

ი. მ. იროლოზი

# ამოცანები ზოგად ფიზიკაში

სსრკ უმაღლესი და საშუალო სპეციალური  
განათლების სამინისტროს მიერ  
დაშვებულია დამხმარე სახელმძღვანელოდ  
უმაღლესი სასწავლებლების სტუდენტთათვის



თბილისის უნივერსიტეტის გამომცემლობა  
თბილისი 1987

წინამდებარე ნაშრომი წარმოადგენს თარგმანს ი. ე. ირო-  
დოვის კრებულისა „ამოცანები ზოგად ფიზიკაში“, რომელიც  
გამოცემულადაა 1979 წელს. კრებულში თავმოყრილია ამო-  
ცანები მექანიკიდან, თერმოდინამიკიდან, ელექტროდინამიკი-  
დან, რხევები და ტალღებიდან, ოპტიკიდან, ატომური და ბირთ-  
ვული ფიზიკიდან.

კრებულის ქართულ გამოცემაში შეტანილია ყველა შესწო-  
რება, რომლებიც ავტორმა რუსული გამოცემის გამოქვეყნების  
შემდეგ გააკეთა.

წიგნი განკუთვნილია ფიზიკისა და სხვა საბუნებისმეტყვე-  
ლო ფაკულტეტების სტუდენტებისათვის.

მთარგმნელი თ. ერქომაიშვილი

ქართული გამოცემის რედაქტორი ნ. პოლიევქტოვ-ნიკოლაძე

რეცენზენტი თ. ხაზარაძე

© „ნაუა“, ფიზიკურ-მათემატიკური ლიტერატურის მთავარი რედაქცია, 1979

© თბილისის უნივერსიტეტის გამომცემლობა, 1987

## ს ა რ ზ ი

წინასიტყვაობა	5
ზოგიერთი რჩევა ამოცანების ამოხსნისათვის	6
მიღებული აღნიშვნები	8
ნ ა წ ი ლ ი 1. მექანიკის ფიზიკური საფუძვლები	9
1.1. კინემატიკა	9
1.2. დინამიკის ძირითადი განტოლება	19
1.3. ენერგიის, იმპულსისა და იმპულსის მომენტის მუდმივობის კანონები	30
1.4. მსოფლიო მიზიდულობა	46
1.5. მყარი სხეულის დინამიკა	50
1.6. მყარი სხეულის დრეკადი დეფორმაცია	62
1.7. ჰიდროდინამიკა	66
1.8. რელატივისტური მექანიკა	71
ნ ა წ ი ლ ი 2. თერმოდინამიკა და მოლეკულური ფიზიკა	80
2.1. გაზის მდგომარეობის განტოლება. პროცესები	90
2.2. თერმოდინამიკის პირველი კანონი. სითბოტევადობა	83
2.3. მოლეკულურ-კინეტიკური თეორია. მაქსველისა და ბოლცმანის განა- წილებანი	93
2.4. თერმოდინამიკის მეორე კანონი. ენტროპია	95
2.5. სითხეები. კაპილარული მოვლენები	101
2.6. ფაზური გარდაქმნები	104
2.7. გადატანის მოვლენები	109
ნ ა წ ი ლ ი 3. ელექტროდინამიკა	115
3.1. მუდმივი ელექტრული ველი ვაკუუმში	115
3.2. გამტარები და დიელექტრიკები ელექტრულ ველში	123
3.3. ელექტროტევადობა. ელექტრული ველის ენერგია	130
3.4. ელექტრული დენი	133
3.5. მუდმივი მაგნიტური ველი. მაგნეტიკები	151
3.6. ელექტრომაგნიტური ინდუქცია. მაქსველის განტოლებები	163
3.7. დამუხტული ნაწილაკების მოძრაობა ელექტრულ და მაგნიტურ ველებში	178
ნ ა წ ი ლ ი 4. რხევები და ტალღები	186
4.1. მექანიკური რხევები	186
4.2. ელექტრული რხევები	202
4.3. დრეკადი ტალღები. აკუსტიკა	211
4.4. ელექტრომაგნიტური ტალღები. გამოსხივება	217
ნ ა წ ი ლ ი 5. ოპტიკა	223
5.1. ფოტომეტრია და გეომეტრიული ოპტიკა	223
5.2. სინათლის ინტერფერენცია	235
5.3. სინათლის დიფრაქცია	242
5.4. სინათლის პოლარიზაცია	254
5.5. სინათლის შთანთქმა. დისპერსია	263

5.6. მოძრავ წყაროთა ობტაცია	267
5.7. სითბური გამოსხივება. სინათლის კვანტური ბუნება	271
ნ ა წ ი ლ ი 6. ატომური და ბირთვული ფიზიკა	273
6.1. ნაწილაკების გაბნევა. რეზერფორდ-ბორის ატომი	278
6.2. ნაწილაკთა ტალღური თვისებები	284
6.3. ატომთა თვისებები. სპექტრები	291
6.4. მოლეკულები და კრისტალები	299
6.5. რადიოაქტიურობა	306
6.6. ბირთვული რეაქციები	310
6.7. ელემენტარული ნაწილაკები	316
პასუხები და ამოხსნები	319
დამატება	426
1. ძირითადი ტრიგონომეტრიული ფორმულები	426
2. სინუსების ცხრილი	427
3. ტანგენსების ცხრილი	428
4. ათობითი ლოგარითმების ცხრილი	429
5. მაჩვენებლიანი ფუნქციები	431
6. ბერძნული ანბანი	433
7. ზოგერთი მუდმივი რიცხვი და მიახლოებითი ფორმულა	433
8. ზოგერთი ცნობა ვექტორებზე	433
9. წარმოებულებისა და ინტეგრალების ცხრილი	434
10. ასტრონომიული სიდიდეები	435
11. ნივთიერებათა სიმკვრივები	435
12. სითბური გაფართოების კოეფიციენტი	436
13. დრეკადობის მუდმივები. სიმტკიცის ზღვარი	436
14. წყლის ნაჯერი ორთქლის წნევა	436
15. მუდმივები გაზებისათვის	437
16. მუდმივები სითხეებისა და მყარი სხეულებისათვის	437
17. ნივთიერებათა დიელექტრიკული შეღწევადობა	438
18. გამტარების კუთრი წინაღობა	438
19. პარა- და დიამაგნეტიკების მაგნიტური ამთვისებლობა	438
20. გარდატეხის მაჩვენებლები	439
21. პოლარიზაციის სიბრტყის ბრუნვა	439
22. ლაზერებიდან ელექტრონების გამოსვლის მუშაობა	440
23. შთანთქმის $K$ — ზოლის კიდე	440
24. შესუსტების მასური კოეფიციენტი	440
25. ატომის იონიზაციის პოტენციალები	441
26. მსუბუქი ატომების მასა	441
27. რადიოიზოტოპების ნახევრად დაშლის პერიოდი	441
28. ფიზიკურ სიდიდეთა ერთეულები	442
29. ელექტროდინამიკის ძირითადი ფორმულები SI და გაუსის სისტემაში	444
30. ძირითადი ფიზიკური მუდმივები	446

## წ ი ნ ა ს ი ტ უ მ ა ო ბ ა

წინამდებარე ამოცანათა კრებული წარმოადგენს რადიკალურად გადა-  
მუშავებულ ი. ე. იროდოვის, ი. ვ. საველიევის, ო. ი. ზამშას „ამოცანა-  
თა კრებულს ზოგად ფიზიკაში“, რომელი; გამოიცა 1975 წელს. გადა-  
მუშავება იმდენად არსებითია, რომ მოცემული სახელმძღვანელო განხი-  
ლულ უნდა იქნეს, როგორც თავიდან შედგენილი. განსაკუთრებით დიდი  
გადამუშავება მოითხოვა მეორე (თერმოდინამიკა და მოლეკულური ფი-  
ზიკა), მესამე (ელექტროდინამიკა) და მეექვსე (ატომური და ბირთვული  
ფიზიკა) ნაწილებმა. ჩატარდა კრებულის მასალის გადანაწილება, კერძოდ,  
შეტანილია ახალი, მეოთხე ნაწილი (რხევები და ტალღები). ამოცანების  
მნიშვნელოვანი ნაწილი შეცვლილია ან გაუმჯობესებული; გარდა ამისა,  
დამატებულია 500-მდე ამოცანა.

მოსწავლეთა მოსახერხებლად და მათი დროის დასაზოგად ყოველი  
თავის დასაწყისში მოტანილია ცნობები შესაბამისი მასალის ძირითადი  
ფორმულების შესახებ. ფორმულები მოყვანილია, როგორც წესს, დაწვე-  
რილებითი განმარტების გარეშე. იგულისხმება, რომ მათში შემავალი სი-  
დიდეების არსი ცნობილია სტუდენტისათვის, რომელიც იწყებს ამოცანის  
ამოხსნას. განმარტება მოცემულია მხოლოდ იმ შემთხვევებში, როცა შე-  
იძლება წარმოიქმნას გაუგებრობა ამა თუ იმ მიზეზის გამო.

ძირითად ტექსტში და პასუხებში ყველა ფორმულა წარმოდგენილია  
ერთეულთა საერთაშორისო სისტემის SI მიხედვით, გარდა მეექვსე ნა-  
წილისა, სადაც გამოყენებულია გაუსის სისტემა. ამოცანების საწყისი  
მოცემულობები და რიცხვითი პასუხები მოცემულია შესაბამისი სიდიდე-  
ებისა და მიახლოებით რიცხვებზე მოქმედების წესების გათვალისწინებით.

კრებული განკუთვნილია სახელმძღვანელოდ, ძირითადად, უმაღლესი  
სასწავლებლების სტუდენტთათვის, რომლებიც ფიზიკას სწავლობენ გა-  
ფართოებული პროგრამით.

დასასრულ, ავტორი გამოხატავს მადლიერების გრძნობას, განსაკუთ-  
რებით, ი. ვ. საველიევის მიმართ, დიდი დახმარებისა და ყურადღებისა-  
თვის, რომელიც მან გაუწია მოცემული წიგნის ხელნაწერზე მუშაობის  
დროს, აგრეთვე ყველა იმ ამხანაგების მიმართ, რომლებმაც აცნობეს თა-  
ვიანთი შენიშვნები ცალკეულ ამოცანებზე და ამით ხელი შეუწვეს კრე-  
ბულის გაუმჯობესებას.

## ზოგიერთი რჩევა ამოცანების ამოხსნისათვის

1. უპირველეს ყოვლისა, გაეცანით დამატებით ცხრილებს, ვინაიდან ამოცანების უმრავლესობის ამოხსნა მათ გარეშე შეუძლებელია. გარდა ამისა, ამ ცხრილებში არსებული საცნობარო მასალა გაცილებით შეგიძლევთ მუშაობას და დაზოგავს თქვენს დროს.

2. ამოცანის ამოხსნის წინ ჯერ კარგად ჩასწვდით მის არსს და დაყენებულ საკითხს. დაადგინეთ, ყველა საჭირო ზონაცემია თუ არა ამოცანის ამოხსნისათვის. თუ მოცემულობა სრული არაა, მას შეავსებთ დამატებითი ცხრილებიდან. გააკეთეთ სქემატური ნახაზი, თუ, რასაკვირველია, ამოცანის პირობა იძლევა ამის საშუალებას; ეს ბევრ შემთხვევაში მკვეთრად გააადვილებს როგორც ამოცანის ამოხსნის ძიებას, ასევე თვით ამოხსნას.

3. ამოცანა ამოხსენით, როგორც წესი, ზოგადად, იმე რომ საძიებელი სიდიდე გამოსახული იყოს დანარჩენი სიდიდეებით. ზოგადი სახით ამოხსნას აქვს განსაკუთრებული უპირატესობა. ვინაიდან საშუალებას იძლევა დაადგინოს გარკვეული კანონზომიერება, თუ როგორ არის საძიებელი სიდიდე დამოკიდებული მოცემულ სიდიდეებზე; გარდა ამისა, ზოგადი სახით მიღებული პასუხი საშუალებას იძლევა დამსჯილთ თვით ამოხსნის სისწორეზე (იხ. შემდეგი პუნქტი).

4. ზოგადი სახით ამოხსნის მიღების შემდეგ შეამოწმეთ მისი განზოცხილება. არასწორი განზომილება მცდარი ამოხსნის უტყუარი ნიშანია. შეძლებისდაგვარად, გამოიკვლიეთ ამოხსნის ყოფაქცევა ზღვრულ კერძო შემთხვევებში. მაგალითად, როგორი სახეც არ უნდა ჰქონდეს ორ განფენილ სხეულს წორის გრავიტაციულ ურთიერთქმედების ძალას, სხეულებს წორის მანძილის გაზრდისას ის აუცილებლად უნდა გადავიდეს ცნობილ ურთიერთქმედების კანონში წერტილოვანი მასებისათვის.

5. როგორც კი შეუდგებით გამოთვლების ჩატარებას, გახსოვდეთ, რომ ფიზიკური სიდიდეების რიცხვითი მნიშვნელობები ყოველთვის მიახლოებითია. ამიტომ გამოთვლების დროს იხელმძღვანელეთ მიახლოებით რიცხვებზე მოქმედების წესებით. კერძოდ, გამოანგარიშებული სიდიდის მიღებული მნიშვნელობის ბოლოს უნდა შეინარჩუნოთ ის ნიშანი, რომლის ერთეული არ აღემატება ამ სიდიდის ცდომილებას. ყველა მომდევნო ციფრი უგულებელყავით.

6. რიცხვითი პასუხის მიღების შემდეგ შეაფასეთ-მისი დამაჯერებლობა. ასეთმა შეფასებამ ზოგჯერ შეძლებს შეიძლება გამოამჟღავნოს მიღებული შედეგის მცდარობა. ასე, მაგალითად, ადამიანის მიერ გასრთლილი ქვის ფრენის სიშორე არ შეიძლება იყოს 1 კმ-ის რიგის, სხეულის სიჩქარე არ შეიძლება აღმოჩნდეს ვაკუუმში სინათლის სიჩქარეზე მეტი და მისთანანი.



## მიღებული აღნიშვნები

ვექტორები აღნიშნულია ზედი, გამართული შრიფტით, მაგალითად,  $\mathbf{r}$ ,  $\mathbf{F}$ ; იგივე ასო ღია შრიფტით ( $r$ ,  $F$ ) ნიშნავს ვექტორის მოდულს.

ორტები—ერთეულოვანი ვექტორები:

$\mathbf{i}$ ,  $\mathbf{j}$ ,  $\mathbf{k}$ —დეკარტის კოორდინატების  $x$ ,  $y$ ,  $z$ -ის (ან  $e_x$ ,  $e_y$ ,  $e_z$ ) ორტებია;

$\mathbf{e}_\rho$ ,  $\mathbf{e}_\varphi$ ,  $\mathbf{e}_z$ —ცილინდრული კოორდინატების  $\rho$ ,  $\varphi$ ,  $z$ -ის ორტებია;  $\mathbf{n}$ ,  $\boldsymbol{\tau}$ —ნორმალისა და მხედის ორტებია.

საშუალო სიდიდეები აღნიშნულია ფრჩხილებით  $\langle \rangle$ , მაგალითად,  $\langle V \rangle$ ,  $\langle P \rangle$ . სიდიდეების წინ  $\Delta$ ,  $d$  და  $\delta$  სიმბოლოები აღნიშნავენ:

$\Delta$ —სიდიდის სასრულ ნაზრდს, მაგალითად,  $\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1$ ,  $\Delta U = U_2 - U_1$ ;

$d$ —დიფერენციალს (უსასრულოდ მცირე ნაზრდი), მაგალითად,  $d\mathbf{r}$ ,  $dU$ ;

$\delta$ —სიდიდის ელემენტარულ მნიშვნელობას, მაგალითად,  $\delta A$  ელემენტარული მუშაობაა.

ნებისმიერი  $f$  ფუნქციის წარმოდგენილი დროით აღნიშნულია  $df/dt$ -ით, ან წერტილით ფუნქციის თავზე  $\dot{f}$ .

ვექტორული ოპერატორი  $\nabla$  („ნაბლა“). ოპერაციები მასთან აღნიშნულია ასე:

$\nabla \varphi$ — $\varphi$ -ს გრადიენტი ( $\text{grad } \varphi$ )

$\nabla \cdot \mathbf{E}$ — $\mathbf{E}$ -ს დივერგენცია ( $\text{div } \mathbf{E}$ )

$\nabla \times \mathbf{E}$ — $\mathbf{E}$ -ს როტორი ( $\text{rot } \mathbf{E}$ )

ნებისმიერი ჯერადის ინტეგრალები აღნიშნულია ერთადერთი ნიშნით  $\int$  და განსხვავდებიან მხოლოდ ინტეგრირების ელემენტის აღნიშვნით:

$dV$ —მოცულობით,  $ds$ —ზედაპირზე,  $d\mathbf{r}$ —წრფეზე.  $\int$  ნიშნით აღნიშნულია ინტეგრალი, ან ჩაკეტილ ზედაპირზე, ან ჩაკეტილ კონტურზე.

## მექანიკის ფიზიკური საფუძვლები

### 1.1. კინემატიკა

❶ წერტილის სიჩქარისა და აჩქარების საშუალო ვექტორები:

$$\langle \mathbf{v} \rangle = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}, \quad \langle \mathbf{w} \rangle = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t}, \quad (1.1. \text{ ა })$$

სადაც  $\Delta \mathbf{r}$  გადაადგილების ვექტორია (რადიუს-ვექტორის ნაზრდი).

❷ წერტილის სიჩქარე და აჩქარება:

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt}, \quad \mathbf{w} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} \quad (1.1. \text{ ბ })$$

❸ წერტილის აჩქარება გამოსახული გევშილებით ტრაექტორიისადმი მხედისა და ნორმალის მიმართულებებზე:

$$\mathbf{w}_\tau = \frac{dv_\tau}{dt}, \quad \mathbf{w}_n = \frac{v^2}{R}, \quad (1.1. \text{ გ })$$

სადაც  $R$  არის სიმრუდის რადიუსი ტრაექტორიის მოცემულ წერტილში.

❹ წერტილის მიერ გავლილი მანძილი:

$$s = \int v dt. \quad (1.1. \text{ დ })$$

❺ მყარი სხეულის კუთხური სიჩქარე და კუთხური აჩქარება:

$$\boldsymbol{\omega} = \frac{d\varphi}{dt}, \quad \boldsymbol{\beta} = \frac{d\boldsymbol{\omega}}{dt}. \quad (1.1. \text{ ე })$$

❻ კავშირი ხაზოვან და კუთხურ სიდიდეებს შორის მყარი სხეულის ბრუნვის დროს:

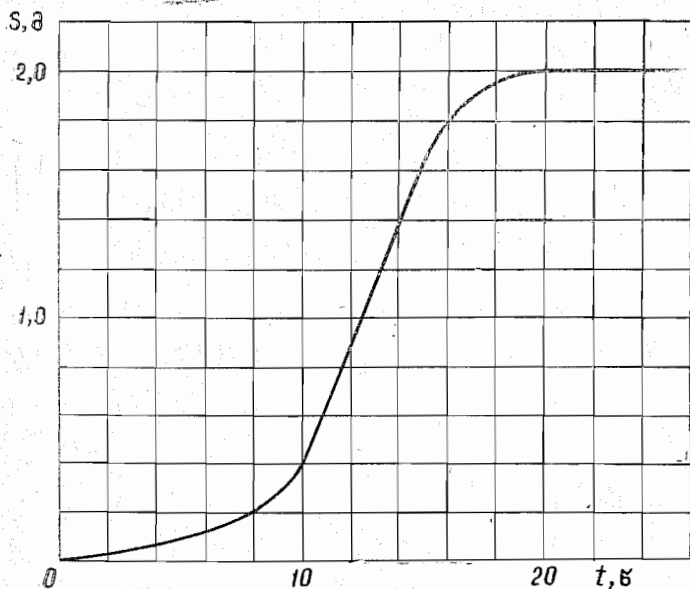
$$\mathbf{v} = [\boldsymbol{\omega} \mathbf{r}], \quad \mathbf{w}_n = \omega^2 R, \quad |\mathbf{w}_\tau| = \beta R, \quad (1.1. \text{ ვ })$$

სადაც  $\mathbf{r}$  განსახილველი წერტილის რადიუს-ვექტორია ბრუნვის ღერძის ნებისმიერი წერტილის მიმართ,  $R$  კი—მანძილი ბრუნვის ღერძიდან.

1.1 დინების მიმართულებით მოძრავე კატერი  $A$  პუნქტში დაეწია ტივს.  $\tau = 6.0$  წთ-ის შემდეგ კატერი ზობრუნდა და შეხვდა ტივს  $A$  პუნქტიდან  $l = 6.0$  კმ-ის მანძილზე. იპოვეთ დინების სიჩქარე, თუ კატერის ძრავა ორივე მიმართულებით მოძრაობისას მუქმობდა ერთნაირად.

1.2. წერტილმა გზის ნახევარი გაიარა  $v_0$  სიჩქარით. გზის დარჩენილ ნაწილზე დროის პირველ ნახევარში ის მოძრაობდა  $v_1$  სიჩქარით, უკანასკნელ მონაკვეთზე კი  $v_2$  სიჩქარით. იპოვეთ წერტილის საშუალო სიჩქარე მთელი დროის განმავლობაში.

1.3. ავტომობილი მოძრაობდა წრფივად ნულოვანი საწყისი სიჩქარით  $w = 5,0$  მ/წმ აჩქარებით, შემდეგ თანაბრად, დაბოლოს შენელებულად, იმავე  $w$  აჩქარებით გაჩერებამდე. მოძრაობის მთელი დრო  $\tau = 25$  წმ-ს, საშუალო სიჩქარე  $\langle v \rangle = 72$  კმ/სთ. რამდენ ხანს მოძრაობდა ავტომობილი თანაბრად?



ნახ. 1.1.

1.4. წერტილი მოძრაობს წრფის გასწვრივ. 1.1 ნახაზზე ნაჩვენებია მის მიერ გავლილი  $s$  მანძილის  $t$  დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი. გრაფიკის დახმარებით იპოვეთ:

- წერტილის საშუალო სიჩქარე მთელი დროის განმავლობაში;
- მაქსიმალური სიჩქარე;
- დროის  $t_0$  მომენტი, რომელშიც მყისი სიჩქარე ტოლი იქნება პირველი  $t_0$  წმ-ის განმავლობაში საშუალო სიჩქარისა;
- საშუალო აჩქარებები პირველი 10 და 16 წმ-ის განმავლობაში.

1.5. ორი ნაწილაკი მოძრაობს  $v_1$  და  $v_2$  მუდმივი სიჩქარეებით. საწყის მომენტში მათი რადიუს-ვექტორებია  $r_1$  და  $r_2$ . ამ ოთხი ვექტორის როგორი თანაფარდობის დროს დაეჯახებიან ნაწილაკები ერთმანეთს?

1.6. ეკვატორის გასწვრივ აღმოსავლეთით  $v_0 = 30$  კმ/წმ სიჩქარით მიცურავს გემი. სამხრეთ-აღმოსავლეთიდან ეკვატორისადმი  $\varphi = 60^\circ$  კუთხით უბერავს  $v = 15$  კმ/სთ სიჩქარის ქარი. იპოვეთ ქარის  $v'$  სიჩქარე გემის მიმართ და  $\varphi'$  კუთხე ეკვატორსა და ქარის მიმართულებას შორის გემთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში.

1.7. ორი მოცურავე უნდა მივიდეს ერთი ნაპირის  $A$  წერტილიდან მეორე ნაპირის მოპირდაპირე  $B$  წერტილში. ამისათვის ერთმა გადაწყვიტა გაცუროს მდინარე  $AB$  წრფის მიმართულებით. მეორეს კი ყოველთვის დინების მართობულად უნდა ეცურა, ხოლო ის მანძილი, რომელზედაც მდინარე მას დასწევდა, გაეგლო ნაპირზე ფეხით  $u$  სიჩქარით.  $u$  სიჩქარის რა მნიშვნელობისათვის მიაღწევს ორივე მოცურავე  $B$  წერტილს ერთდროულად? დინების სიჩქარე  $v_0 = 2,0$  კმ/სთ-ია, წყლის მიმართ თათოუხული მოცურავის სიჩქარე კი  $v' = 2,5$  კმ/სთ.

1.8. განიერი მდინარის შუაში მდგარი ბაკენიდან გამოვიდა ორი  $A$  და  $B$  ნავი. ნაევმა დაიწყო მოძრაობა ურთიერთმართობი მიმართულებით:  $A$  ნავმა მდინარის გასწვრივ,  $B$  ნავმა კი — მის მართობულად. დაშორდნენ რა ბაკენს ერთი და იმავე მანძილით, ნაევი დაბრუნდნენ უკან. იპოვეთ ნაევების მოძრაობის დროთა შეფარდება  $\tau_A/\tau_B$ , თუ თითოეული ნავის სიჩქარე წყლის მიმართ  $\eta = 1,2$ -ჯერ მეტია დინების სიჩქარეზე.

1.9. ნავი მოძრაობს წყლის მიმართ მდინარის დინების სიჩქარეზე  $u = 2,0$ -ჯერ ნაკლები სიჩქარით. დინების მიმართულებისადმი რა კუთხით უნდა იმოძრაოს ნავმა, რომ დინებამ ის რაც შეიძლება ნაკლებად ჩამოაცუროს?

1.10. ერთი წერტილიდან ერთდროულად გაიროლეს ორი სხეული: ერთი ვერტიკალურად ზევით, მეორე კი ჰორიზონტისადმი  $\varphi = 60^\circ$  კუთხით. თითოეული სხეულის საწყისი სიჩქარეა  $v_0 = 25$  მ/წმ. უგულებელვყავით ჰაერის წინააღმდეგობა და იპოვეთ მანძილი სხეულებს შორის  $t = 1,70$  წმ-ის შემდეგ.

1.11. სიმძიმის ძალის ერთგვაროვან ველში  $g$  აჩქარებით მოძრაობს ორი ნაწილაკი. საწყის მომენტში ნაწილაკები იმყოფებოდნენ ერთ წერტილში და ჰქონდათ ჰორიზონტალურად და ურთიერთსაპირისპიროდ მიმართული  $v_1 = 3,0$  მ/წმ და  $v_2 = 4,0$  მ/წმ სიჩქარეები. იპოვეთ მანძილი ნაწილაკებს შორის იმ მომენტისათვის, როდესაც მათი სიჩქარეების ვექტორები ურთიერთმართობულად იქნებიან მიმართული.

1.12.  $\alpha$  გვერდის მქონე ტოლგვერდა სამკუთხედის წვეროებში მოთავსებულია სამი წერტილი. ისინი ერთდროულად იწყებენ მოძრაობას მუდმივი  $v$  მოდულის მქონე სიჩქარით ისე, რომ პირველი წერტილი ყოველთვის მოძრაობს მეორესაკენ, მეორე — მესამისაკენ და მესამე კი პირველისაკენ. რა დროს შემდეგ შეხვდებიან წერტილები ერთმანეთს?

1.13.  $A$  წერტილი მოძრაობს თანაბრად  $v$  სიჩქარით ისე, რომ მისი  $v$  სიჩქარის ვექტორი ყოველთვის მიმართულია  $B$  წერტილისაკენ, რომელიც თავის მხრივ მოძრაობს წრფივად და თანაბრად  $u < v$  სიჩქარით. საწყის მომენტში  $v \perp u$ , ხოლო მანძილი წერტილებს შორის უდრის  $l$ -ს, რადენი ხნის შემდეგ შეხვდებიან წერტილები ერთმანეთს?

1.14.  $l = 350$  მ სიგრძის მატარებელი იწყებს მოძრაობას სწორხაზოვნად  $w = 3,0 \cdot 10^{-2}$  მ/წმ<sup>2</sup> მუდმივი აჩქარებით. მოძრაობის დაწყებიდან  $t = 30$  წმ-ის შემდეგ ჩართეს ლოკომოტივის პროექტორი (პირველი მოვლენა). ამ მოვლენიდან  $\tau = 60$  წმ-ის შემდეგ კი — სასიგნალო ნათურა მატარებლის ბოლოში (მეორე მოვლენა). იპოვეთ მანძილი მოვლენებს შორის დედამიწასთან და მატარებელთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში. როგორ და რა მუდმივი  $F$  სიჩქარით უნდა მოძრაობდეს რომელიმე  $K$  ათვლის სისტემა დედამიწის მიმართ, რომ მასში ორივე მოვლენა მოხდეს ერთ წერტილში?

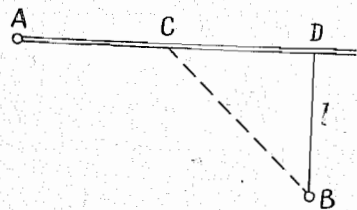
1.15. ლიფტის კაბინა, რომლის სიმაღლე 2,7 მ-ია, იწყებს ასვლას მუდმივი 1,2 მ/წმ<sup>2</sup> აჩქარებით. ასვლის დაწყებიდან 2,0 წმ-ის შემდეგ კაბინის ჭერიდან იწყებს ვარდნას ჭანჭიკი. იპოვეთ:

ა) ჭანჭიკის თავისუფალი ვარდნის დრო;

ბ) თავისუფალი ვარდნის დროის განმავლობაში ჭანჭიკის გადაადგილება და გზა ლიფტის შახტთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში.

1.16. ორი 1 და 2 ნაწილაკი მოძრაობს შესაბამისად  $v_1$  და  $v_2$  მუდმივი სიჩქარით ორი ურთიერთმართობი წრფის გასწვრივ მათი გადაკვეთის  $O$  წერტილისკენ.  $t = 0$  მომენტში ნაწილაკები  $O$  წერტილიდან დაცილებული იყვნენ შესაბამისად  $l_1$  და  $l_2$  მანძილებით, რა დროის შემდეგ გახდება ნაწილაკებს შორის მანძილი უმცირესი? რას უდრის ის?

1.17. გზატკეცილზე მდებარე  $A$  პუნქტიდან (ნახ. 1.2) საჭიროა ავტომანქანით უმცირეს დროში მოგზავნა  $B$  პუნქტში, რომელიც მინდორში მდებარეობს და გზატკეცილიდან  $l$  მანძილითაა დაშორებული. ცნობილია, რომ ავტომანქანის სიჩქარე მინდორში  $\eta$ -ჯერ ნაკლებია, ვიდრე გზატკეცილზე.  $D$  წერტილიდან რა მანძილზე უნდა გადავუხვიოთ გზატკეცილიდან?



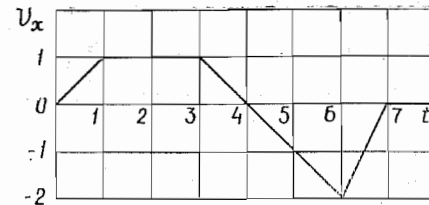
ნახ. 1.2.

1.18. წერტილი მოძრაობს  $x$  ღერძის გასწვრივ სიჩქარით, რომლის  $v_x$  გვეგმილის დამოკიდებულება დროზე აღწერილი გრაფიკით (ნახ. 1.3). დახაზეთ  $w_x$  აჩქარების,  $x$  კოორდინატისა და  $s$  გავლილი მანძილის დროზე დამოკიდებულებების სავარაუდო გრაფიკები, თუ საწყის  $t = 0$  მომენტში წერტილის კოორდინატი  $x = 0$ .

1.19.  $\tau = 10,0$  წმ-ის განმავლობაში წერტილმა გაიარა  $R = 160$  სმ რადიუსის მქონე წრეწირის ნახევარი. ამ ხნის განმავლობაში გათვალეთ:

ა) საშუალო სიჩქარე  $\langle v \rangle$ ;

ბ) სიჩქარის ვექტორის საშუალოს მოდული  $|\langle v \rangle|$ ;



ნახ. 1.3.

გ) სრული აჩქარების ვექტორის საშუალოს მოდული  $\langle w \rangle$ , თუ წერტილი მოძრაობდა მუდმივი ტანგენციალური აჩქარებით.

1.20. ნაწილაკის რადიუს-ვექტორის დამოკიდებულება  $t$  დროზე მოცემულია  $r = at(1 - \alpha t)$  კანონით, სადაც  $a$  მუდმივი ვექტორია,  $\alpha$  კი — დადებითი მუდმივი. იპოვეთ:

ა) ნაწილაკის  $v$  სიჩქარისა და  $w$  აჩქარების დამოკიდებულება დროზე;

ბ) დროის  $\Delta t$  შუალედი, რომლის განმავლობაშიც ნაწილაკი დაბრუნდება საწყის წერტილში და ამ დროში გავლილი  $s$  მანძილი.

1.21.  $t = 0$  მომენტში ნაწილაკმა დაიწყო მოძრაობა კოორდინატა სათავიდან  $x$  ღერძის დადებითი მიმართულებით. მისი სიჩქარე  $v = v_0(1 - t/\tau)$  კანონითაა დამოკიდებული დროზე, სადაც  $\tau = 5,0$  წმ-ს, ხოლო  $v_0$  საწყისი სიჩქარის ვექტორია, რომლის სიდიდე  $v_0 = 10,0$  სმ/წმ-ს. იპოვეთ:

ა) ნაწილაკის  $x$  კოორდინატა დროის 6,0 წმ, 10 წმ და 20 წმ მომენტებისათვის;

ბ) დროის მომენტები, როდესაც ნაწილაკი კოორდინატა სათავიდან 10,0 სმ-ის მანძილზე იმყოფება;

გ) ნაწილაკის მიერ პირველი 4,0 და 8,0 წმ-ის განმავლობაში გავლილი  $s$  მანძილი. ააგეთ  $s(t)$  დამოკიდებულების სავარაუდო გრაფიკი.

1.22. ნაწილაკი მოძრაობს  $x$  ღერძის დადებითი მიმართულებით, ისე, რომ მისი სიჩქარე იცვლება  $v = \alpha/\sqrt{x}$  კანონით, სადაც  $\alpha$  დადებითი მუდმივაა. გაითვალისწინეთ, რომ  $t = 0$  მომენტში ნაწილაკი იმყოფება  $x = 0$  წერტილში და იპოვეთ:

ა) ნაწილაკის სიჩქარისა და აჩქარების დამოკიდებულება დროზე;

ბ) ნაწილაკის საშუალო სიჩქარე იმ დროში, რომლის განმავლობაშიც ის გაივლის გზის პირველ  $s$  მეტრს.



1.23. წერტილი მოძრაობს სწორხაზოვნად და შენელებულად ისეთი აჩქარებით, რომლის მოდული  $w = a\sqrt{v}$  კანონითაა დამოკიდებული მის  $v$  სიჩქარეზე, სადაც  $a$  დადებითი მუდმივია. საწყის მომენტში წერტილის სიჩქარეა  $v_0$ . რა მანძილს გაივლის წერტილი გაჩერებამდე? რა დროში გაივლის ამ მანძილს?

1.24. კოორდინატთა სათავის მიმართ  $A$  წერტილის რადიუს-ვექტორი  $t$  დროის განმავლობაში  $r = at\mathbf{i} - bt^2\mathbf{j}$  კანონით იცვლება, სადაც  $a$  და  $b$  დადებითი მუდმივებია,  $\mathbf{i}$  და  $\mathbf{j}$  კი  $x$  და  $y$  ღერძების ორტეხი. იპოვეთ:

ა)  $y(x)$  წერტილის ტრაექტორიის განტოლება; გამოსახეთ მისი გრაფიკი.

ბ)  $v$  სიჩქარის,  $w$  აჩქარებისა და მათი მოძულებების დამოკიდებულება დროზე;

გ)  $w$  და  $v$  ვექტორებს შორის წარმოქმნილი  $\alpha$  კუთხის დამოკიდებულება დროზე;

დ) მოძრაობის პირველი  $t$  წმ-ის განმავლობაში წერტილის სიჩქარის ვექტორის საშუალო და ამ ვექტორის მოდული.

1.25. წერტილი მოძრაობს  $xy$  სიბრტყეში  $x = at$ ,  $y = at(1 - at)$  კანონით, სადაც  $a$  და  $a$  დადებითი მუდმივებია,  $t$  — დრო. იპოვეთ:

ა) წერტილის ტრაექტორიის განტოლება  $y(x)$ ; გამოსახეთ მისი გრაფიკი;

ბ)  $v$  სიჩქარის და  $w$  აჩქარების დამოკიდებულება დროზე.

გ) ის  $t_0$  მომენტი, როდესაც სიჩქარის ვექტორი აჩქარების ვექტორთან  $\pi/4$  კუთხეს შეადგენს.

1.26. წერტილი მოძრაობს  $xy$  სიბრტყეში  $x = a \sin \omega t$ ,  $y = a(1 - \cos \omega t)$  კანონით, სადაც  $a$  და  $\omega$  დადებითი მუდმივებია. იპოვეთ:

ა) წერტილის მიერ  $\tau$  დროში გავლილი მანძილი;

ბ) კუთხე წერტილის სიჩქარისა და აჩქარების ვექტორებს შორის.

1.27. ნაწილაკი მოძრაობს  $xy$  სიბრტყეში  $w$  მუდმივი აჩქარებით, რომელიც მიმართულია  $y$  ღერძის დადებითი მიმართულების საპირისპიროდ. ნაწილაკის ტრაექტორიის განტოლებაა:  $y = ax - bx^2$ , სადაც  $a$  და  $b$  დადებითი მუდმივებია. იპოვეთ ნაწილაკის სიჩქარე კოორდინატთა სათავში.

1.28. ჰორიზონტისადმი რომელიმე კუთხით,  $v_0$  საწყისი სიჩქარით გასროლეს მცირე ზომის სხეული. უგულებელყავით ჰაერის წინააღმდეგობა და იპოვეთ:

ა) სხეულის  $r(t)$  გადაადგილება, როგორც დროის ფუნქცია;

ბ) სიჩქარის ვექტორის საშუალო  $\langle v \rangle$  პირველი  $t$  წამის განმავლობაში და მოძრაობის მთელ დროში.

1.29. დედამიწის ზედაპირიდან ჰორიზონტისადმი  $\alpha$  კუთხით,  $v_0$  საწყისი სიჩქარით გასროლეს სხეული. უგულებელყავით ჰაერის წინააღმდეგობა და იპოვეთ:

ა) მოძრაობის დრო;

ბ) ასვლის მაქსიმალური სიმაღლე და ფრენის ჰორიზონტალური სიშორე;  $\alpha$  კუთხის რა მნიშვნელობისათვის იქნებიან ისინი ერთმანეთის ტოლი;

გ) ტრაექტორიის განტოლება  $y(x)$ , სადაც  $y$  და  $x$  სხეულის გადაადგილებებია, შესაბამისად, ვერტიკალური და ჰორიზონტალური მიმართულებით;

დ) ტრაექტორიის საწყისი და უმაღლესი წერტილების სიშორულის რადიუსები.

1.30.  $R$ -რადიუსიანი გლუვი, ვერტიკალური ცილინდრის შიდა ზედაპირზე, ვერტიკალისადმი  $\theta$  კუთხით, გაუშვეს მცირე ზომის შაბი. საწყისი სიჩქარის რა მნიშვნელობისათვის დაბრუნდება ის იმ წერტილში, საიდანაც დაიწყო მოძრაობა?

1.31. ბურთულამ დაიწყო ვარდნა უსაწყისო სიჩქარით ჰორიზონტისადმი  $\alpha$  კუთხით დახრილ გლუვ ზედაპირზე. გაიარა რა  $h$  მანძილი, ის დრეკად აღჩვენდა ამ ზედაპირიდან. დავარდნის ადგილიდან რა მანძილზე აირეკლება ბურთულა მეორედ?

1.32. ერთმანეთისაგან 5,10 კმ მანძილით დაშორებული ქვემეხი და სამიზნე ერთ დონეზე იმყოფება. რა დროის შემდეგ მიაღწევს 240 მ/წმ საწყისი სიჩქარით გასროლილი ჭურვი სამიზნეს, თუ ჰაერის წინააღმდეგობა უგულებელყოფილია?

1.33. ქვემეხიდან თანმიმდევრულად  $v_0 = 250$  მ/წმ სიჩქარით გასროლეს ორი ჭურვი. პირველი ჰორიზონტისადმი  $\theta_1 = 60^\circ$  კუთხით, მეორე კი  $\theta_2 = 45^\circ$  კუთხით (აზიმუტი ერთი და იგივეა). უგულებელყავით ჰაერის წინააღმდეგობა და იპოვეთ დროის შუალედი გასროლებს შორის, რომლის დროსაც მოხდება ჭურვების ერთმანეთთან დაჯახება.

1.34. საპაერო ბურთი იწყებს ასვლას დედამიწის ზედაპირიდან ზევით. მისი სიჩქარე მუდმივია და უდრის  $v_0$ -ს. ქარის გავლენით ბურთი იძენს სიჩქარის ჰორიზონტალურ  $v_x = ay$  მდგენელს, სადაც  $a$  მუდმივია.  $y$  კი ასვლის სიმაღლე. იპოვეთ დამოკიდებულება ასვლის სიმაღლეზე;

ა) ბურთის  $x(y)$  წანაცვლების სიდიდისა;

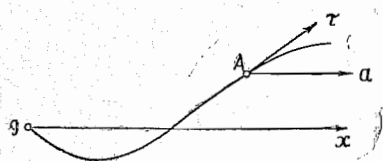
ბ) ბურთის სრული, ტანგენციალური და ნორმალური აჩქარებებისა.

1.35. ნაწილაკი მოძრაობს  $xy$  სიბრტყეში  $v = a\mathbf{i} + bx\mathbf{j}$  სიჩქარით, სადაც  $\mathbf{i}$  და  $\mathbf{j}$   $x$  და  $y$  ღერძების ორტეხია, ხოლო  $a$  და  $b$  — მუდმივები. საწყის მომენტში ნაწილაკი იმყოფება  $x = y = 0$  წერტილში. იპოვეთ:

ა) ნაწილაკის ტრაექტორიის განტოლება  $y(x)$ ;

ბ) სიმრუდის რადიუსის დამოკიდებულება  $x$ -ზე.

1.36.  $A$  ნაწილაკი მოძრაობს ერთი მიმართულებით მოცემული ტრაექტორიის გასწვრივ  $w = at$  ტანგენციალური აჩქარებით, სადაც  $a$   $x$  ღერძის მიმართულების თანხვედრილი მუდმივი ვექტორია (ნახ. 1.4),  $\tau$  კი—მოცემულ წერტილში სიჩქარის ვექტორის თანხვედრილი ერთეულოვანი ვექტორი. იპოვეთ ნაწილაკის სიჩქარის დამოკიდებულება  $x$ -ზე, თუ  $x=0$  წერტილში მისი სიჩქარე იმდენად მცირეა, რომ იგი შეგვიძლია უგულებელვყოთ.



ნახ. 1.4.

1.37. წერტილი მოძრაობს წრეწირის გასწვრივ  $v = ut$  სიჩქარით, სადაც  $u = 0,50$  მ/წმ<sup>2</sup>-ია. იპოვეთ მისი სრული აჩქარება იმ მომენტისათვის, როცა მოძრაობის დაწყებიდან ის გაივლის წრეწირის  $n = 0,10$  ნაწილს.

1.38. წერტილი მოძრაობს წინელებულად  $R$  რადიუსიან წრეწირზე ისე, რომ დროის ნებისმიერი მომენტისათვის მისი ნორმალური და ტანგენციალური აჩქარებების მოდულები ერთმანეთის ტოლია.  $t=0$  მომენტისათვის წერტილის სიჩქარეა  $v_0$ . იპოვეთ:

ა) წერტილის სიჩქარის დამოკიდებულება დროზე და გავლილ  $s$  მანძილზე;

ბ) წერტილის სრული აჩქარების დამოკიდებულება სიჩქარეზე და გავლილ მანძილზე.

1.39. წერტილი მოძრაობს  $R$ -რადიუსიანი წრეწირის რკალის გასწვრივ. მისი სიჩქარის დამოკიდებულება გავლილ მანძილზე გამოისახება  $v = a\sqrt{s}$  კანონით, სადაც  $a$  მუდმივია. იპოვეთ სრული აჩქარების ვექტორისა და სიჩქარის ვექტორის შორის წარმოქმნილი კუთხის დამოკიდებულება გავლილ  $s$  მანძილზე.

1.40. ნაწილაკი მოძრაობს  $R$ -რადიუსიანი წრეწირის რკალზე  $l = a \sin \omega t$  კანონით, სადაც  $l$  წანაცვლებაა საწყისი მდებარეობიდან,  $a$  და  $\omega$ —მუდმივებია. თუ  $R = 1,00$  მ,  $a = 0,80$  მ და  $\omega = 2,00$  რად/წმ, იპოვეთ:

ა) ნაწილაკის სრული  $w$  აჩქარება  $t=0$  და  $\pm a$  წერტილებში;

ბ) სრული აჩქარების მინიმალური  $w_{\min}$  მნიშვნელობა და მისი შესაბამისი  $l_m$  წანაცვლება.

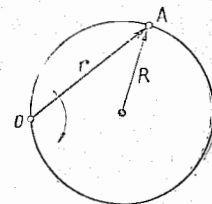
1.41. წერტილი მოძრაობს სიბრტყეზე ისე, რომ მისი ტანგენციალური აჩქარება  $w_\tau = a$ , ხოლო ნორმალური აჩქარება  $w_n = bt^4$ , სადაც  $a$  და  $b$  დადებითი მუდმივებია,  $t$ —დრო.  $t=0$  მომენტისათვის წერტილი უძრავია. იპოვეთ წერტილის ტრაექტორიის სიმრუდის  $R$  რადიუსისა და მისი სრული  $w$  აჩქარების დამოკიდებულება გავლილ  $s$  მანძილზე.

1.42. ნაწილაკი მოძრაობს  $v$  მუდმივი მოდულის მქონე სიჩქარით ბრტყელი  $y(x)$  ტრაექტორიის გასწვრივ. იპოვეთ ნაწილაკის აჩქარება და ტრაექტორიის სიმრუდის რადიუსი  $x=0$  წერტილში, თუ ეს ტრაექტორია წარმოადგენს:

ა)  $y = ax^2$  პარაბოლას;

ბ)  $(x/a)^2 + (y/b)^2 = 1$  ელიფსს. აქ  $a$  და  $b$ —მუდმივებია.

1.43.  $A$  ნაწილაკი მოძრაობს  $R = 50$  სმ რადიუსის წრეწირზე ისე, რომ  $r$  რადიუს-ვექტორი  $O$  წერტილის მიმართ (ნახ. 1.5) ბრუნავს მუდმივი  $\omega = 0,40$  რად/წმ კუთხური სიჩქარით. იპოვეთ ნაწილაკის სიჩქარის მოდული, მისი სრული აჩქარების ვექტორის მიმართულება და მოდული.



ნახ. 1.5.

1.44. ბორბალი ბრუნავს უძრავი ღერძის გარშემო ისე, რომ მისი მობრუნების  $\varphi$  კუთხე დამოკიდებულია დროზე  $\varphi = at^2$  კანონით, სადაც  $a = 0,20$  რად/წმ<sup>2</sup>. იპოვეთ ბორბლის  $A$  წერტილის  $w$  სრული აჩქარება  $t = 2,5$  წმ მომენტისათვის, თუ  $A$  წერტილის ხაზოვანი სიჩქარე ამ მომენტისათვის  $v = 0,65$  მ/წმ-ია.

1.45. ჭურჭმა შეასრულა რა  $n = 2,0$  ბრუნი ლულაში, გამოვარდა  $w = 320$  მ/წმ სიჩქარით. ლულის სიგრძე  $l = 2,0$  მ. იპოვეთ ჭურჭის ბრუნვის კუთხური სიჩქარე ღერძის გარშემო, თუ მის მოძრაობას ლულაში ჩავთვლით თანაბარაჩქარებულად.

1.46. მყარი სხეული ბრუნავს უძრავი ღერძის გარშემო  $\varphi = at - bt^3$  კანონით, სადაც  $a = 6,0$  რად/წმ,  $b = 2,0$  რად/წმ<sup>3</sup>. იპოვეთ:

ა) კუთხური სიჩქარისა და კუთხური აჩქარების საშუალო მნიშვნელობები  $t=0$  მომენტიდან გაჩერებამდე;

ბ) კუთხური აჩქარება გაჩერების მომენტში.

1.47. მყარი სხეული იწყებს ბრუნვას უძრავი ღერძის გარშემო  $\beta = at$  კუთხური აჩქარებით, სადაც  $a = 2,0 \cdot 10^{-2}$  რად/წმ<sup>3</sup>. ბრუნვის დაწყებიდან რა დროის შემდეგ შეადგენს სხეულის ნებისმიერი წერტილის სრული აჩქარების ვექტორი  $\alpha = 60^\circ$  კუთხეს მისი სიჩქარის ვექტორთან?

1.48. მყარი სხეული ბრუნავს წინელებულად უძრავი ღერძის გარშემო  $\beta = \sqrt{a}$  კუთხური აჩქარებით, სადაც  $a$  მისი კუთხური სიჩქარეა. იპოვეთ სხეულის კუთხური სიჩქარის საშუალო მნიშვნელობა მოძრაობის მთელი დროის განმავლობაში, თუ საწყისი მომენტისათვის მისი კუთხური სიჩქარე იყო  $\omega_0$ .

1.49. მყარი სხეული ბრუნავს უძრავი ღერძის გარშემო ისე, რომ მისი კუთხური სიჩქარე მობრუნების  $\varphi$  კუთხეზე  $\omega = \omega_0 - a\varphi$  კანონითაა დამოკიდებული, სადაც  $\omega_0$  და  $a$  დადებითი მუდმივებია.  $t=0$  მომენტი-

2. ი. იროლოვი

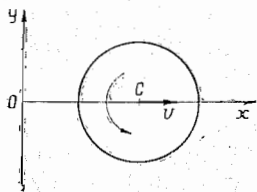
17



სათვის  $\varphi = 0$ . იპოვეთ მოძრაუნების ა) კუთხისა და ბ) კუთხური სიჩქარის დამოკიდებულება დროზე.

1.50. მყარი სხეული იწყებს ბრუნვას უძრავი ღერძის გარშემო  $\beta = \beta_0 \cos \varphi$  კუთხური აჩქარებით, სადაც  $\beta_0$  მუდმივი ვექტორია,  $\varphi$  კი მოძრაუნების კუთხე საწყისი მდგომარეობიდან. იპოვეთ სხეულის კუთხური სიჩქარის დამოკიდებულება  $\varphi$  კუთხეზე. გამოსახეთ ამ დამოკიდებულების გრაფიკი.

1.51. მბრუნავი დისკო მოძრაობს  $x$  ღერძის დადებითი მიმართულებით (ნახ. 1.6). იპოვეთ  $y(x)$  განტოლება, რომელიც ახასიათებს ბრუნვის მყისიერ ღერძის მდებარეობას, თუ საწყის მომენტში დისკოს  $C$  ღერძი იმყოფებოდა  $O$  წერტილში და შემდეგ მოძრაობს:



ნახ. 1.6.

ა)  $\omega$  მუდმივი სიჩქარით, დისკო კი ბრუნავს საათის ისრის საწინააღმდეგო მიმართულებით უსაწყისო კუთხური სიჩქარით და  $\beta$  მუდმივი კუთხური აჩქარებით;

ბ) მუდმივი  $\omega$  აჩქარებით (უსაწყისო სიჩქარით), დისკო კი ბრუნავს საათის ისრის საწინააღმდეგო მიმართულებით,

მუდმივი  $\omega$  კუთხური სიჩქარით.

1.52.  $R=0,50$  მ რადიუსიანი ბორბლის ფერსოზე შერჩეულია  $A$  წერტილი: ბორბალი სრიალის გარეშე მიგორავს  $v=1,00$  მ/წმ სიჩქარით ჰორიზონტალურ ზედაპირზე. იპოვეთ:

ა)  $A$  წერტილის აჩქარების ვექტორის მიმართულება და მოდული;

ბ)  $A$  წერტილის მიერ გავლილი სრული  $s$  მანძილი ზედაპირთან შეხების ორ თანმიმდევრულ მომენტს შორის.

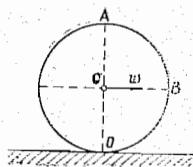
1.53.  $R=10,0$  სმ რადიუსის სფერო სრიალის გარეშე მიგორავს ჰორიზონტალურ ზედაპირზე ისე, რომ მისი ცენტრი მოძრაობს  $w=2,50$  სმ/წმ<sup>2</sup> მუდმივი აჩქარებით. მოძრაობის დაწყებიდან  $t=2,00$  წმ-ის შემდეგ მისი მდებარეობა გამოსახულია 17 ნახაზზე. იპოვეთ:

ა)  $A$ ,  $B$  და  $O$  წერტილების სიჩქარე;

ბ) ამავე წერტილების აჩქარებები.

1.54.  $r$  რადიუსის ცილინდრი სრიალის გარეშე მიგორავს ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე. იპოვეთ  $A$  და  $B$  წერტილების სიბრტყის რადიუსები (იხ. ნახ. 1.7).

1.55. ორი მყარი სხეული ბრუნავს უძრავი ურთიერთმართობულად გადამკვეთი ორი ღერძის გარშემო  $\omega_1=3,0$  რად/წმ და  $\omega_2=4,0$  რად/წმ მუდმივი კუთხური სიჩქარით. იპოვეთ ერთი სხეულის კუთხური სიჩქარე და კუთხური აჩქარება მეორის მიმართ.



ნახ. 1.7.

1.56. მყარი სხეული ბრუნავს  $\omega = at + bt^2$  კუთხური სიჩქარით, სადაც  $a=0,50$  რად/წმ<sup>2</sup>,  $b=0,060$  რად/წმ<sup>3</sup>,  $i$  და  $j$   $x$  და  $y$  ღერძების ორთებია. იპოვეთ:

ა) კუთხური სიჩქარისა და კუთხური აჩქარების მოდულები  $t=10,0$  წმ მომენტისათვის;

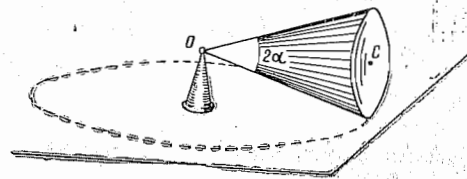
ბ) კუთხური სიჩქარისა და კუთხური აჩქარების ვექტორებს შორის წარმოქმნილი კუთხე ამ მომენტისათვის.

1.57.  $R=5,0$  სმ-ის რადიუსისა და ნახევარგაშლის  $\alpha=30^\circ$  კუთხის მქონე წრიული კონუსი თანაბრად მიგორავს, სრიალის გარეშე, ჰორიზონტალურ ზედაპირზე, როგორც ეს ნაჩვენებია 1.8 ნახაზზე. კონუსის წვერო სახსრულადაა ჩამაგრებული  $O$  წერტილში, რომელიც ერთ დონეზეა კონუსის ფუძის ცენტრთან.  $C$  წერტილის სიჩქარე  $v=10,0$  სმ/წმ. იპოვეთ:

ა) კუთხური სიჩქარის ვექტორის მოდული და კუთხე, რომელსაც ადგენს ეს ვექტორი ვერტიკალურ მიმართულებასთან;

ბ) კონუსის კუთხური აჩქარების მოდული.

1.58. მყარი სხეული ბრუნავს  $\omega_0=0,50$  რად/წმ კუთხური სიჩქარით. ჰორიზონტალური  $AB$  ღერძის გარშემო.  $t=0$  მომენტისათვის დაიწყეს  $AB$  ღერძის ბრუნვა ვერტიკალის გარშემო მუდმივი  $\beta_0=0,10$  რად/წმ<sup>2</sup> კუთხური აჩქარებით. იპოვეთ სხეულის კუთხური სიჩქარე და კუთხური აჩქარება  $t=3,5$  წმ-ის შემდეგ.



ნახ. 1.8.

## 1.2. დინამიკის ძირითადი განტოლება

● მატერიალური წერტილის დინამიკის განტოლება (ნიუტონის მეორე კანონი)

$$m \frac{dv}{dt} = F \quad (1.2 \text{ ა})$$

● იგივე განტოლება გვემართება წერტილის ტრაექტორიის მხეზისა და ნორმალის მიმართულებით:

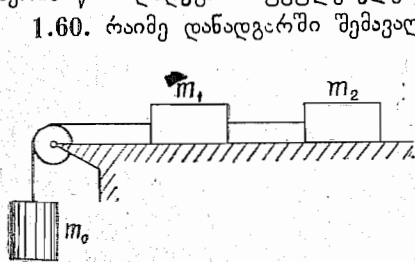
$$m \frac{dv_\tau}{dt} = F_\tau, \quad m \frac{v^2}{R} = F_n. \quad (1.2 \text{ ბ})$$

● წერტილის დინამიკის განტოლება  $K'$  ათვლის არაინერციულ სისტემაში, რომელიც ბრუნავს მუდმივი  $\omega$  კუთხური სიჩქარით, წინსვლით მოძრაობის  $w_0$  აჩქარების მქონე ღერძის გარშემო

$$m\omega' = F - mw_0 + m\omega^2 R + 2m[v'\omega], \quad (1.2 \text{ გ})$$

აღაც  $R$  წერტილის რადიუს-ვექტორია  $K'$  სისტემის ბრუნვის ღერძის მიმართ.

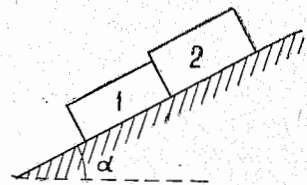
1.59.  $m$  მასის აეროსტატი იწეებს დაშვებას  $30^\circ$  მუდმივი აჩქარებით. განსაზღვრეთ ბალასტის მასა, რომელიც უნდა გადმოვადლოთ აეროსტატიდან, რომ მან შეიძინოს ზევით მიმართული იმავე სიდიდის აჩქარება. ჰაერის წინააღმდეგობა უგულებელყოფილია.



ნახ. 1.9.

ზედაპირს შორის ხახუნის კოეფიციენტი  $\mu$  (ნახ. 1.9). გამოიკვლიეთ შემთხვევები.

1.61. ჰორიზონტალურ  $\alpha$  კუთხით დახრილ სიბრტყეზე მოათავსეს ურთიერთშემხები ორი ძელაკი (ნახ. 1.10). ძელაკების მასებია  $m_1$  და  $m_2$ . ხახუნის კოეფიციენტი ძელაკებსა და დახრილ სიბრტყეს შორის შესაბამისად  $\mu_1$  და  $\mu_2$ -ის ტოლია,  $\mu_1 > \mu_2$ . იპოვეთ:

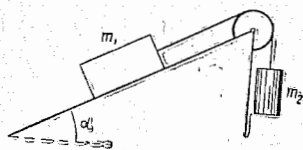


ნახ. 1.10.

ა) ურთიერთაქმედების ძალა ძელაკებს შორის მოძრაობის დროს;

ბ)  $\alpha$  კუთხის ის მინიმალური მნიშვნელობა, რომლის დროსაც დაიწყება სრიალი.

1.62. ჰორიზონტალურ  $\alpha = 15^\circ$  კუთხით დახრილ სიბრტყეზე ქვევიდან ზევით გაუშვეს სხეული. იპოვეთ ხახუნის კოეფიციენტი, თუ სხეულის ასვლის დრო  $t = 2,0$  წმ ნაკლები აღმოჩნდა ჩამოსვლის დროზე.



ნახ. 1.11.

ვია და იპოვეთ  $m_2/m_1$  მასათა შეფარდება, რომლის დროსაც  $m_2$  სხეული:

- დაიწყებს ჩამოსვლას;
- დაიწყებს ასვლას;

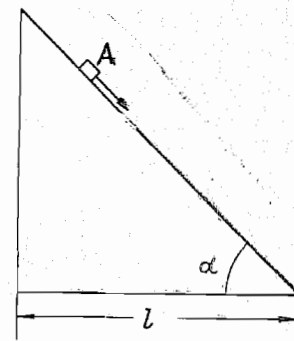
1.63. დანადგარში (ნახ. 1.11) ცნობილია ჰორიზონტალური დახრის  $\alpha$  კუთხე და ხახუნის  $\mu$  კოეფიციენტი  $m_1$  სხეულსა და სიბრტყეს შორის. ბლოკისა და ძაფის მასები უგულებელყოფილია, ხახუნი ბლოკში არ არის. ჩათვალოთ, რომ საწყის მომენტში ორივე სხეული უძრავი

გ) დარჩება უძრავი.

1.64. დახრილი სიბრტყე (ნახ. 1.11) ჰორიზონტალურად დგას  $\alpha = 30^\circ$  კუთხეს. სხეულთა მასების შეფარდებაა  $m_2/m_1 = \eta = 2/3$ .  $m_1$  სხეულსა და დახრილ სიბრტყეს შორის ხახუნის კოეფიციენტი  $\mu = 0,10$ . ბლოკისა და ძაფის მასები უგულებელყოფილია. იპოვეთ  $m_2$  სხეულის აჩქარების სიდიდე და მიმართულება, თუ სისტემამ მოძრაობა დაიწყო უძრავი მდგომარეობიდან.

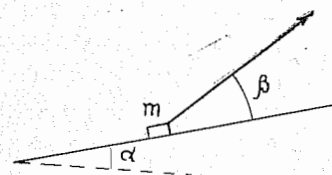
1.65. გლუვ, ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე დევს  $m_1$  მასის დაფა, რომელზეც მოთავსებულია  $m_2$  მასის ძელაკი. ძელაკს მოსდეს ჰორიზონტალური ძალა, რომელიც  $t$  დროსთან ერთად იზრდება  $F = at$  კანონით, სადაც  $a$  — მუდმივია. იპოვეთ დაფის  $w_1$  და ძელაკის  $w_2$  აჩქარებების დამოკიდებულება  $t$  დროზე, თუ ხახუნის კოეფიციენტი დაფასა და ძელაკს შორის  $\mu$ -ს ტოლია. გამოსახეთ ამ დამოკიდებულებების საფარად გრაფიკები.

1.66. მცირე ზომის  $A$  სხეული იწეებს სრიალს სოლის წვეროდან, რომლის ფუძე  $l = 2,10$  მ-ია. სხეულსა და სოლის ზედაპირს შორის ხახუნის კოეფიციენტი  $\mu = 0,140$ .  $\alpha$  კუთხის რა მნიშვნელობისათვის იქნება ჩამოსვლის დრო მინიმალური? (ნახ. 1.12).

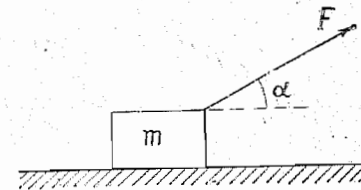


ნახ. 1.12.

1.67.  $m$  მასის ძელაკი ძაფით ააქვთ მუდმივი სიჩქარით ზევით სიბრტყეზე, რომელიც ჰორიზონტალურად  $\alpha$  კუთხითაა დახრილი. (ნახ. 1.13) ხახუნის კოეფიციენტი  $\mu$ -ს ტოლია. იპოვეთ ის  $\beta$  კუთხე, რომელიც უნდა შეადგინოს ძაფმა დახრილ სიბრტყესთან, რომ ძაფის დაჭიმულობა იყოს მინიმალური? რას უდრის ეს დაჭიმულობა?



ნახ. 1.13.



ნახ. 1.14.

1.68 გლუვ ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მოთავსებულ სხეულზე, რომლის მასა  $m$ -ის ტოლია,  $t = 0$  მომენტიდან მოქმედებს იწყებს დროის პროპორციული  $F = at$  ძალა, სადაც  $a$  მუდმივია. ამ ძალის მიმართ

თულება ჰორიზონტთან ყოველთვის ადგენს  $\alpha$  კუთხეს (ნახ. 1.14). იპოვეთ:

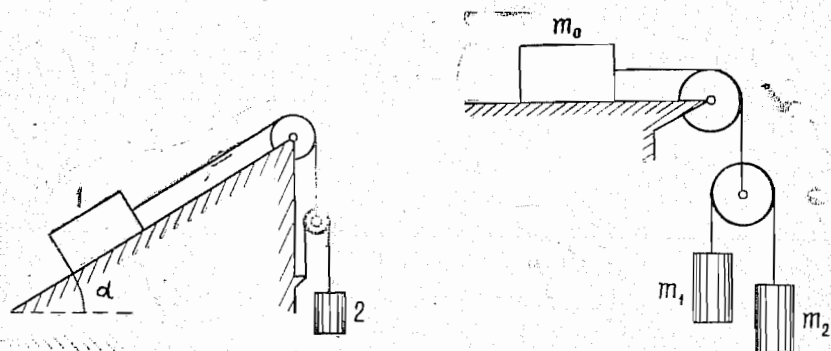
- ა) სხეულის სიჩქარე სიბრტყიდან მოწყვეტის მომენტში;
- ბ) სხეულის მიერ ამ მომენტისათვის გავლილი მანძილი.

**1.69.** გლუვ ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე მოთავსებულ  $m$  მასის მქონე ძელაკს მოსდეს მუდმივი სიდიდის მქონე  $F = mg/3$  ძალა. ძელაკის სწორხაზოვანი მოძრაობისას კუთხეს მოდებულ ძალასა და ჰორიზონტს შორის სივსიდან  $\alpha = as$  კანონით, სადაც  $a$  მუდმივია;  $s$  კი - ძელაკის მიერ საწყისი მდგომარეობიდან გავლილი მანძილი. იპოვეთ ძელაკის სიჩქარე, როგორც  $\alpha$  კუთხის ფუნქცია.

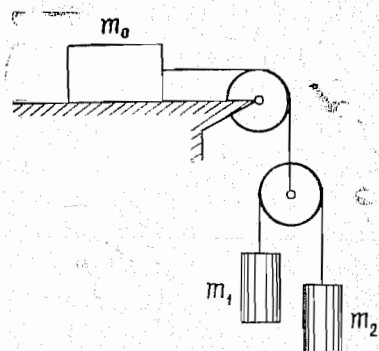
**1.70.**  $k$  ხახუნის კოეფიციენტის მქონე ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე იმყოფება ორი სხეული: ძელაკი და სადგამი ბატარეიანი ელექტროძრავით. ელექტროძრავის ღერძზე დახვეულია ძაფი, რომლის თავისუფალი ბოლო შეერთებულია ძელაკთან. ამ ორ სხეულს შორის მანძილი  $l$ -ის ტოლია. ძრავის ჩართვის შემდეგ ძელაკმა, რომლის მასა ორჯერ მეტია მეორე სხეულის მასაზე, დაიწყო მოძრაობა  $w$  მუდმივი აჩქარებით. რა დროის შემდეგ დაეჯახებიან სხეულები ერთმანეთს?

**1.71.** ლიფტის კაბინის ჭერზე დამაგრებულია ბლოკი, რომელზეც გადაკიდებულია ძაფი. ძაფის ბოლოებზე მიბმულია  $m_1$  და  $m_2$  მასის ტვირთები. კაბინა იწყებს ასვლას  $w_0$  აჩქარებით. უგულებელყავით ხახუნი, ბლოკისა და ძაფის მასები და იპოვეთ:

- ა)  $m_1$  მასის ტვირთის აჩქარებები  $w_1'$  და  $w_2'$  ლიფტის შეჩებისა და კაბინის შიშართ;
- ბ) ძალა, რომლითაც ბლოკი მოქმედებს კაბინის ჭერზე.



ნახ. 1.15.



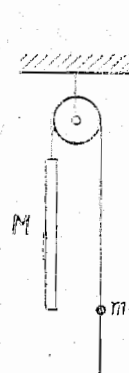
ნახ. 1.16.

**1.72.** იპოვეთ 2 სხეულის  $w$  აჩქარება (ნახ. 1.15) სისტემაში, თუ მისი მასა  $\eta$ -ჯერ მეტია 1 ძელაკის მასაზე და კუთხეს დახრილ სიბრტყესა და ჰორიზონტს შორის  $\alpha$ -ს ტოლია. ხახუნი, ბლოკისა და ძაფის მასები უგულებელყოფილია. გამოიკვლიეთ შესაძლო შემთხვევები.

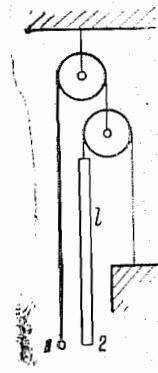
**1.73.** მოცემულ დანადგარში (ნახ. 1.16) სხეულთა მასებია  $m_0, m_1, m_2$ . ხახუნი, ძაფების და ბლოკის მასები უგულებელყოფილია. იპოვეთ  $m_1$  სხეულის აჩქარება. გამოიკვლიეთ შესაძლო შემთხვევები.

**1.74.** სისტემაში (ნახ. 1.17) ღეროსა და ბურთულას მასებია  $M$  და  $m$ , მასთან  $M > m$ . ბურთულას აქვს ხვრელი და შეუძლია სრალი ძაფზე გარკვეული ხახუნით. ბლოკის მასა და მის ღერძში ხახუნი უგულებელყოფილია. საწყის მომენტში ბურთულა იმყოფებოდა ღეროს ქვედა ბოლოს პირდაპირ. მას შემდეგ, რაც სისტემას თავისუფლება მიანიჭეს, ორივე სხეულმა დაიწყო მოძრაობა მუდმივი აჩქარებით. იპოვეთ ხახუნის ძალა ბურთულასა და ძაფს შორის, თუ მოძრაობის დაწყებიდან  $t$  წამის შემდეგ ბურთულა ღეროს ზედა ბოლოსთან აღმოჩნდა. ღეროს სიგრძე  $l$ -ის ტოლია.

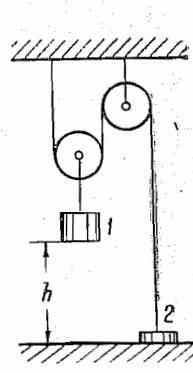
**1.75.** დანადგარში (ნახ. 1.18) 1 ბურთულის მასა  $\eta = 1,8$ -ჯერ მეტია ღეროს მასაზე. ღეროს სიგრძე  $l = 100$  სმ. უგულებელყოფილია ხახუნი, ბლოკებისა და ძაფების მასები. ბურთულა მოათავსეს ღეროს ქვედა ბოლოს დონეზე და გაათავისუფლეს. რა დროის შემდეგ გაუწოროდება ბურთულა ღეროს ზედა ბოლოს?



ნახ. 1.17.



ნახ. 1.18.



ნახ. 1.19.

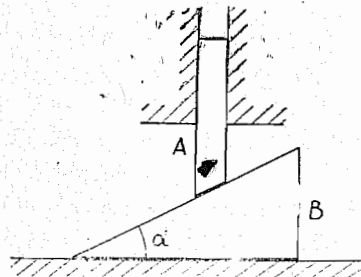
**1.76.** დანადგარში (ნახ. 1.19) 1 სხეულის მასა  $\eta = 4,0$ -ჯერ მეტია 2 სხეულის მასაზე. სიმაღლე  $h = 20$  სმ-ს. ბლოკებისა და ძაფების მასები, აგრეთვე ხახუნი უგულებელყოფილია. რომელია მომენტში 2 სხეული გაათავისუფლეს და დანადგარი ამოძრავდა. იატაკიდან რა მაქსიმალურ სიმაღლეზე აიწევს 2 სხეული?

**1.77.** დანადგარში (ნახ. 1.20)  $B$  სოლისა და  $A$  ღეროს მასების შეფარდება  $\eta$ -ს ტოლია. ხახუნი ყველა შემხებ ზედაპირს შორის უგულებელყოფილია. იპოვეთ ღეროსა და სოლის აჩქარებები.

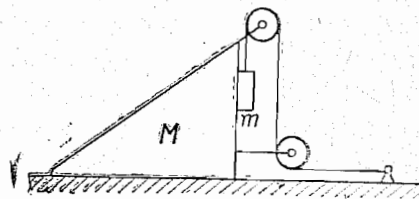
**1.78.** დანადგარში (ნახ. 1.21) ცნობილია  $M$  სოლისა და  $m$  სხეულის მასები. ხახუნი არსებობს მხოლოდ სოლსა და  $m$  სხეულს შორის. ხახუნის



კოეფიციენტი  $k$ -ს ტოლია. იპოვეთ  $m$  სხეულის აჩქარება ჰორიზონტალური ზედაპირის მიმართ, რომელზედაც სრიალებს სოლი. ბლოკისა და ძაფის მასები უგულებელყოფილია.



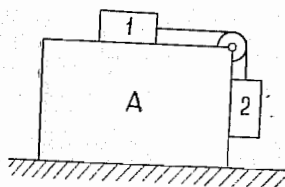
ნახ. 1.20.



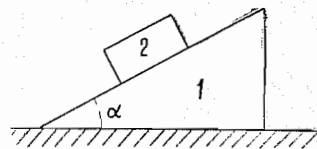
ნახ. 1.21.

**1.79.** რა მინიმალური აჩქარებით უნდა გადაადგილდეს ჰორიზონტალური მიმართულებით  $A$  ძელაკი (ნახ. 1.22), რომ 1 და 2 სხეულები უძრავი დარჩნენ მის მიმართ? სხეულების მასები ერთნაირია, ხახუნის კოეფიციენტი ძელაკსა და ორივე სხეულს შორის  $k$ -ს ტოლია. ბლოკისა და ძაფის მასები, აგრეთვე ბლოკში ხახუნი უგულებელყოფილია.

**1.80.** პრიზმა (ნახ. 1.23), რომელზედაც იმყოფება  $m$  მასის ძელაკი 2, მიანიჭეს მარცხნივ ჰორიზონტალური  $w$  აჩქარება. ამ აჩქარების რა მაქსიმალური მნიშვნელობისათვის დარჩება ძელაკი პრიზმის მიმართ უძრავი, თუ ხახუნის კოეფიციენტი მათ შორის  $k < \operatorname{ctg} \alpha$ ?

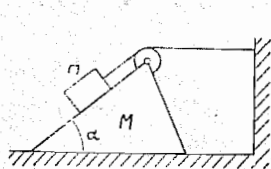


ნახ. 1.22.



ნახ. 1.23.

**1.81.** ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მოთავსებულია  $\alpha$  კუთხის მქონე  $m_1$  მასის 1 პრიზმა (ნახ. 1.23). მასზე დევს  $m_2$  მასის 2 ძელაკი. უგულებელყავით ხახუნი და იპოვეთ პრიზმის აჩქარება.



ნახ. 1.24.

**1.82.** დანადგარში (ნახ. 1.24) ცნობილია  $m$  კუბისა და  $M$  სოლის მასები, აგრეთვე სოლის  $\alpha$  კუთხე. ბლოკისა და ძაფის მასები უგულებელყოფილია. ხახუნი არ არის. იპოვეთ  $M$  სოლის აჩქარება.

**1.83.**  $m$  მასის ნაწილაკი მოძ-

რობს  $R$ -რადიუსიან წრეწირზე. იპოვეთ ნაწილაკზე მოქმედი ძალის ვექტორის საშუალოს მოდული, წრეწირის მეოთხედის ტოლ მანძილზე, თუ ნაწილაკი მოძრაობს:

ა)  $v$  თანაბარი სიჩქარით;

ბ) უსაწყისო სიჩქარით. მუდმივი  $w_c$  ტანგენციალური აჩქარებით.

**1.84.** თვითმფრინავი  $v = 360$  კმ/სთ მუდმივი სიჩქარით ასრულებს „მკედარ მარყუჟს“, რომლის რადიუსი  $R = 500$  მ-ს. იპოვეთ  $m = 70$  კგ მასის მქონე მფრინავის წონა მარყუჟის ქვედა, ზედა და ზუა წერტილებში.

**1.85.** ძაფზე ჩამოკიდებული  $m$  მასის მცირე ბურთულა გადასწიეს ისე, რომ ძაფმა ვერტიკალთან მართი კუთხე შეადგინა, შემდეგ კი გაუშვეს. იპოვეთ:

ა) ბურთულას სრული აჩქარება და ძაფის დაჭიმულობა როგორც  $\varphi$ -ს ფუნქცია, სადაც  $\varphi$  არის ძაფის ვერტიკალიდან გადახრის კუთხე;

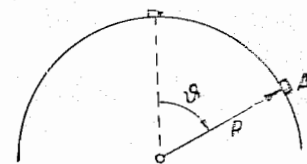
ბ) ძაფის დაჭიმულობა იმ მომენტისათვის, როდესაც ბურთულას სიჩქარის ვერტიკალური მდგენელი მაქსიმალურია;

გ)  $\varphi$  კუთხის სიდიდე ძაფსა და ვერტიკალს შორის იმ მომენტისათვის, როდესაც ბურთულას სრული აჩქარების ვექტორი ჰორიზონტალურადაა მიმართული.

**1.86.** ძაფზე ჩამოკიდებული ბურთულა ისე ირხევა ვერტიკალურ სიბრტყეში, რომ მისი აჩქარებები ქვედა და განაპირა მდებარეობებში სიდიდით ერთმანეთის ტოლია. იპოვეთ ძაფის გადახრის კუთხე განაპირა მდებარეობაში.

**1.87.** მცირე ზომის  $A$  სხეული იწეებს სრიალს  $R$ -რადიუსიანი გლუვი სფეროს წვეროდან. იპოვეთ  $\varphi$  კუთხე (ნახ. 1.25), რომელიც შეესაბამება სფეროდან სხეულის მოწყვეტის წერტილს და სხეულის სიჩქარე ამ მომენტში.

**1.88.** ხელსაწყო (ნახ. 1.26) შედგება ჰორიზონტალურ სიბრტყეში მოთავსებულ  $\Gamma$ -ს მაგვარი გლუვი ლეროსაგან და  $m$  მასის მქონე  $A$  ქუროსაგან, რომელიც  $B$  წერტილთან უწონო ზამბარიდანაა შეერთებული. ზამბარის სიხისტეა  $x$ . მთელი სისტემა ბრუნავს  $\omega$  მუდმივი კუთხური სიჩქარით ვერტიკალური ლეროსის გარშემო, რომელიც გადის  $O$  წერტილზე. იპოვეთ ზამბარის ფარდობითი წაგრძელება. როგორ არის დამოკიდებული ეს შედეგი ბრუნვის მიმართულებაზე?

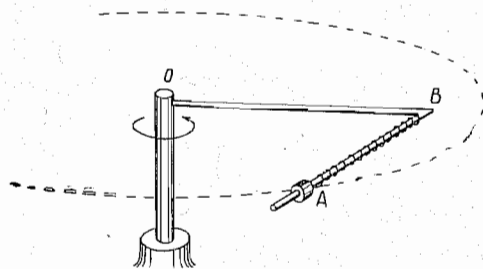


ნახ. 1.25.

**1.89.** ველოსიპედისტი მოძრაობს  $R$ -რადიუსიან წრიულ ჰორიზონტალურ მოედანზე. ხახუნის კოეფიციენტი დამოკიდებულია მხოლოდ  $r$  მანძილზე მოედნის  $O$  ცენტრიდან,  $k = k_0(1 - r/R)$ , სადაც  $k_0$  მუდმივაა. იპოვეთ  $O$  ცენტრის მქონე იმ

წრეწირის რადიუსი, რომელზედაც ველოსიპედისტი მაქსიმალური სიჩქარით იმობრავებს. რას უდრის ეს სიჩქარე?

1.90. ავტომანქანა მოძრაობს პორიზონტალურ ზედაპირზე  $w_{\tau} = 0,62$  მ/წმ<sup>2</sup> მუდმივი ტანგენციალური აჩქარებით, ისე, რომ შემოწერს



ნახ. 1.26.

$R=40$  მ რადიუსიან წრეს. ზედაპირსა და თვლებს შორის სრიალის ხახუნის კოეფიციენტი  $k=0,20$ . რა მანძილს გაივლის მანქანა სრიალის გარეშე, თუ საწყის მომენტში მისი სიჩქარე ნულის ტოლი იყო?

1.91. ავტომობილი მოძრაობს თანაბრად პორიზონტალურ გზაზე, რომელსაც  $y=a \sin(x/a)$  სინუსოიდის ფორმა აქვს, სადაც  $a$  და  $a$  მუდმივებია. ზედაპირსა და მანქანის თვლებს შორის ხახუნის კოეფიციენტი  $k$ -ს ტოლია. რა სიჩქარე უნდა ჰქონდეს მანქანას, რომ მოძრაობა სრულდებოდეს სრიალის გარეშე?

1.92. ნახევარგაშლის ზედაპირზე მქონე გლუვ, წრიულ კონუსზე ჩამოცმულია  $m$  მასის ძეწკვი. რომელიც ქმნის  $R$ -რადიუსიან წრეს, ძეწკვი ბრუნავს  $\omega$  მუდმივი კუთხური სიჩქარით ვერტიკალური ღერძის გარშემო, რომელიც კონუსის სიმეტრიის ღერძს ემთხვევა. იპოვეთ ძეწკვის დამუხრუჭება.

1.93. დამაგრებულ ბლოკზე გადაკიდებულია უწონო ძაფი, რომლის ბოლოებზე მიმაგრებულია  $m_1$  და  $m_2$  მასების მქონე ტვირთები. ხახუნსა და ბლოკს შორის ისეთია, რომ ძაფი იწყებს სრიალს ბლოკზე, როდესაც შეფარდება  $m_2/m_1 = \eta_0$ -ს. იპოვეთ:

ა) ხახუნის კოეფიციენტი;

ბ) ტვირთების აჩქარებები, თუ  $m_2/m_1 = \eta > \eta_0$ .

1.94.  $m$  მასის ნაწილაკი მოძრაობს  $R$ -რადიუსიან ვერტიკალურ ცილინდრის შიგა გლუვ ზედაპირზე. საწყის მომენტში ნაწილაკის  $v_0$  სიჩქარე პორიზონტალურ ქმნის  $\alpha$  კუთხეს. იპოვეთ ნაწილაკის წნევის ძალა ცილინდრის კედელზე.

1.95.  $m$  მასის ნაწილაკი მოძრაობს  $xy$  სიბრტყეში  $x=a \sin \omega t$ ,  $y=b \cos \omega t$  კანონით, სადაც  $a$ ,  $b$ ,  $\omega$ —მუდმივებია. იპოვეთ ნაწილაკზე მოქმედი ძალის ვექტორის სიდიდე და მიმართულება.

1.96.  $m$  მასის სხეული გაისროლეს  $v_0$  სიჩქარით პორიზონტალადმი რაიმე კუთხით. უგულებელყავით ჰაერის წინააღმდეგობა და იპოვეთ:

ა) სხეულის იმპულსის  $\Delta p$  ნაზრდი მოძრაობის პირველი  $t$  წამის განმავლობაში;

ბ) სხეულის იმპულსის  $\Delta p$  ნაზრდის მოდული მთელი მოძრაობის განმავლობაში.

1.97.  $m$  მასის უძრავ ნაწილაკზე  $t=0$  მომენტში დაიწყო მოქმედება ძალამ, რომელიც დროის განმავლობაში იცვლება  $F=at(\tau-t)$  კანონით, სადაც  $a$ —მუდმივი ვექტორია,  $\tau$ —დრო, რომლის განმავლობაშიც მოქმედებს აღნიშნული ძალა იპოვეთ:

ა) ნაწილაკის იმპულსი ძალის მოქმედების დამთავრების შემდეგ;

ბ) მანძილი, რომელსაც გაივლის ნაწილაკი იმ დროის განმავლობაში, როდესაც მოქმედებდა აღნიშნული ძალა.

1.98.  $m$  მასის ნაწილაკი  $t=0$  მომენტში იწყებს მოძრაობას  $F=F_0 \sin \omega t$  ძალის გავლენით, სადაც  $F_0$  და  $\omega$  მუდმივებია. იპოვეთ ნაწილაკის მიერ გავლილი მანძილის დამოკიდებულება  $t$  დროზე. გამოსახეთ ამ დამოკიდებულების სავარაუდო გრაფიკი.

1.99.  $m$  მასის ნაწილაკი  $t=0$  მომენტში იწყებს მოძრაობას  $F=F_0 \cos \omega t$  ძალის გავლენით, სადაც  $F_0$  და  $\omega$ —მუდმივებია. რა დროის განმავლობაში იმობრავებს ნაწილაკი პირველ გაჩერებამდე? რა მანძილს გაივლის ამ დროის განმავლობაში? როგორია ამ გზაზე ნაწილაკის მაქსიმალური სიჩქარე?

1.100.  $m$  მასის კატერი მოძრაობს ტბაზე  $v_0$  სიჩქარით.  $t=0$  მომენტში გამორჩეს ძრავა. ჩათვალით, რომ წყლის წინააღმდეგობის ძალა პროპორციულია კატერის სიჩქარისა  $F=-r v$  და იპოვეთ:

ა) კატერის მოძრაობის დრო გამორთული ძრავით;

ბ) კატერის სიჩქარის დამოკიდებულება მანძილზე, რომელიც გავლილი იყო გამორთული ძრავით და სრული მანძილი გაჩერებამდე;

გ) კატერის საშუალო სიჩქარე იმ დროში, რომლის განმავლობაშიც მისი სიჩქარე შემცირდება,  $v_0$  საწყისი მნიშვნელობიდან,  $\eta$  ჯერ.

1.101.  $k$  სისქის დაფის გახვრეტისას ტყვიის სიჩქარე შეიცვალა  $v_0$ -დან  $v$ -მდე. იპოვეთ ტყვიის მოძრაობის დრო დაფაში, თუ წინააღმდეგობის ძალა სიჩქარის კვადრატის პროპორციულია.

1.102. პატარა ძელაკი იწყებს სრიალს დახრილ სიბრტყეზე, რომელიც პორიზონტალს  $\alpha$  კუთხეს ქმნის. ხახუნის კოეფიციენტი დამოკიდებულია გავლილ  $x$  მანძილზე  $k=ax$  კანონით, სადაც  $a$ —მუდმივია. იპოვეთ მანძილი, რომელსაც ძელაკი გაივლის გაჩერებამდე და მისი მაქსიმალური სიჩქარე ამ გზაზე.

1.103.  $m$  მასის სხეული  $k$  ხახუნის კოეფიციენტის მქონე პორიზონტალურ სიბრტყეზე მოთავსებული.  $t=0$  მომენტში მას მოსდეს პორი-



ზონტალური ძალა, რომელიც დროის განმავლობაში იცვლება  $F = at$  კანონით, სადაც  $a$  — მუდმივი ვექტორია. იპოვეთ მანძილი, რომელიც გაიარა სხეულმა ამ ძალის მოქმედების დაწყებიდან პირველი  $t$  წამის განმავლობაში.

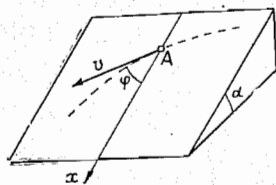
**1.104.**  $m$  მასის სხეული ააგდეს ვერტიკალურად ზევით  $v_0$  სიჩქარით. იპოვეთ ის  $v'$  სიჩქარე, რომლითაც სხეულს უკან დაბრუნდება, თუ ჰაერის წინააღმდეგობის ძალა ტოლია  $kx^2$ , სადაც  $k$  მუდმივია,  $x$  კი სხეულის სიჩქარე.

**1.105.**  $m$  მასის ნაწილაკი მოძრაობს  $P$  სიბრტყეში,  $F$  მუდმივი მოდულის მქონე ძალის გავლენით, რომლის ვექტორი ამ სიბრტყეში ბრუნავს მუდმივი  $\omega$  კუთხური სიჩქარით. ჩათვალით, რომ  $t=0$  მომენტში ნაწილაკი უძრავია და იპოვეთ:

ა) მისი სიჩქარის დამოკიდებულება დროზე;

ბ) მანძილი, რომელსაც გაივლის ნაწილაკი ორ მომდევნო გაჩერებას შორის და ამ დროის განმავლობაში მისი საშუალო სიჩქარე.

**1.106.** მცირე ზომის  $A$  შაბა მოათავსეს დახრილ სიბრტყეზე, რომელიც ჰორიზონტთან ადგენს  $\alpha$  კუთხეს (ნახ. 1.27) და მიაჩვენებს  $v_0$  საწყისი სიჩქარე. იპოვეთ შაბას სიჩქარის დამოკიდებულება  $\varphi$  კუთხეზე, თუ ხახუნის კოეფიციენტი  $k = \tan \alpha$  და საწყისი მომენტში  $\varphi_0 = \pi/2$ .



ნახ. 1.27.

ბით დაიწყებს მოძრაობას ძეწკვის თითოეული ელემენტი, თუ მის ზედა ბოლოს გავათავისუფლებთ იგულისხმება, რომ ძეწკვის სიგრძე  $l < \frac{1}{2}\pi R$ .

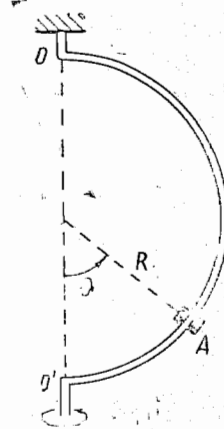
**1.108.** მცირე ზომის სხეული მოათავსეს  $R$ -რადიუსიანი გლუვი სფეროს წვეროში. სფეროს მიაჩვენებს ჰორიზონტალურად მიმართული  $w_0$  მუდმივი აჩქარება. ამის გამო სხეულმა დაიწყო ქვევით ჩამოსრიალება. იპოვეთ:

ა) სხეულის სიჩქარე სფეროს მიმართ მოწყვეტის მომენტში;

ბ)  $\varphi_0$  კუთხე ვერტიკალსა და სფეროს ცენტრიდან მოწყვეტის წერტილისაკენ გავლებულ რადიუს-ვექტორს შორის; გამოთვალეთ  $\varphi_0$ , როდესაც  $w_0 = g$ .

**1.109.** რომელიმე სიბრტყეში მოძრავ ნაწილაკზე მოქმედებს ძალა, რომელიც ყოველთვის მისი სიჩქარის მიმართულების პერპენდიკულარულია და დამოკიდებულია სიბრტყის რაიმე  $O$  წერტილამდე  $r$  მანძილისაგან როგორც  $1/r$ , სადაც  $n$  — მუდმივია. ამ ძალის მოქმედებით ნაწილაკი წარწირზე ასრულებს მდგრად მოძრაობას.  $n$ -ის რა მნიშვნელობისათვისა ეს შეუძლებელი?

**1.110.**  $A$  ქუროს შეუძლია თავისუფლად ისრიალოს  $R$ -რადიუსიანი ნახევარგოლის ფორმის გლუვი ღეროს გასწვრივ (ნახ. 1.28). ეს სისტემა დააბრუნეს ვერტიკალური  $OO'$  ღერძის გარშემო  $\omega$  მუდმივი კუთხური სიჩქარით. იპოვეთ ქუროს მდგრადი მდებარეობის შესაბამისი კუთხე  $\varphi$ .



ნახ. 1. 28.

**1.111.** შაშხანა დაუმინეს ზუსტად ჩრდილოეთის მიმართულებით მდებარე სამიზნის ვერტიკალურ ზოლს და გაისროლეს. გაიგეთ ზოლიდან რომელ მხარეს და რამდენი სანტიმეტრით გადახრება ტყვია სამიზნეში მოხვედრის შემდეგ, თუ სროლა წარმოებდა ჰორიზონტალური მიმართულებით  $\varphi = 60^\circ$  განედზე, ტყვიის სიჩქარე  $v = 900$  მ/წმ, მანძილი სამიზნემდე კი  $s = 1,0$  კმ. ჰაერის წინააღმდეგობა უგულებელყოფილია.

**1.112.** ჰორიზონტალური დისკო ბრუნავს მუდმივი  $\omega = 6,0$  რად/წმ კუთხური სიჩქარით თავისივე ცენტრზე გამავალი ვერტიკალური ღერძის გარშემო. მისი ერთ-ერთი დიამეტრის გასწვრივ მოძრაობს  $m = 0,50$  კგ მასის სხეული დისკოს მიმართ  $v' = 50$  სმ/წმ მუდმივი სიჩქარით. იპოვეთ ის ძალა, რომლითაც დისკო მოქმედებს ამ სხეულზე იმ მომენტში, როცა ის ბრუნვის ღერძიდან  $r = 30$  სმ-ის მანძილზე იმყოფება.

**1.113.** ჰორიზონტალურად მოთავსებულ გლუვ  $AB$  ღეროს აბრუნებენ მუდმივი  $\omega = 2,00$  რად/წმ კუთხური სიჩქარით მის  $A$  ბოლოზე გამავალი ვერტიკალური ღერძის გარშემო.  $A$  წერტილიდან  $v_0 = 1,00$  მ/წმ საწყისი სიჩქარით ღეროს გასწვრივ თავისუფლად სრიალებს  $m = 0,50$  კგ მასის ქურო. იპოვეთ ქუროზე მოქმედი კორიოლისის ძალა (მბრუნავ ღეროსთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში) იმ მომენტში, როცა ის ბრუნვის ღერძიდან  $r = 50$  სმ-ის მანძილზე აღმოჩნდება.

**1.114.**  $R$ -რადიუსიანი ჰორიზონტალურ დისკოს აბრუნებენ მის კიდეზე გამავალი ვერტიკალური ღერძის გარშემო  $\omega$  მუდმივი კუთხური სიჩქარით. დისკოს კიდეზე, მის მიმართ თანაბრად მოძრაობს  $m$  მასის ნაწილაკი. იმ მომენტში, როდესაც იგი ბრუნვის ღერძიდან მაქსიმალურადაა დაშორებული, დისკოსთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში ნაწილაკზე მოქმედი ინერციის ძალების ტოლქმედი ნულს უტოლდება. იპოვეთ:

ა) ნაწილაკის  $w'$  აჩქარება დისკოს მიმართ;

ბ)  $F_{\text{ჩ}}$ -ის დამოკიდებულება მანძილზე ბრუნვის ღერძამდე.

1.115.  $R=1,00$  მ რადიუსის გლუვი სფეროს წვეროდან სრიალს იწყებს  $m=0,30$  კგ მასის სხეული. სფერო ბრუნავს მუდმივი  $\omega=6,0$  რად/წმ კუთხური სიჩქარით თავისივე ცენტრზე გამავალი ვერტიკალური ღერძის გარშემო. იპოვეთ ინერციის ცენტრიდანული და კორიოლისის ძალები სფეროსთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში, სფეროს ზედაპირიდან სხეულის მოწყვეტის მომენტში.

1.116.  $m=20,00$  ტ მასის მატარებელი მოძრაობს ჩრდილოეთის განედის  $\varphi=60^\circ$ -ზე განსაზღვრეთ:

ა) რელსებზე მოქმედი მატარებლის გვერდითი წნევის ძალის მიმართულება და მოდული, თუ იგი მოძრაობს მერიდიანის გასწვრივ  $v=54$  კმ/სთ სიჩქარით;

ბ) რა მიმართულებით და რა სიჩქარით უნდა მოძრაობს მატარებელმა, რომ დედამიწასთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში მასზე მოქმედი ინერციის ძალების ტოლქმედი ნულის ტოლი იყოს?

1.117. ეკვატორზე,  $h=500$  მ-ის სიმალიდან დედამიწაზე ვარდება მცირე ზომის სხეული (დედამიწის მიმართ უსაწყისო სიჩქარით). განსაზღვრეთ ვერტიკალიდან რომელ მხარეს და რა მანძილზე გადაიხრება ეს სხეული ვარდნისას. პერის წინააღმდეგობა უგულებელყოფილია.

### 1.3. ენერგიის, იმპულსისა და იმპულსის მომენტის მუდმივობის კანონები

●  $F$  ძალის მუშაობა და სიმძლავრე:

$$A = \int F dr = \int F_s ds, \quad P = Fv. \quad (1.3 \text{ ა})$$

● ნაწილაკის კინეტიკური ენერგიის ნაზრდი:

$$T_2 - T_1 = A, \quad (1.3 \text{ ბ})$$

სადაც  $A$  წარმოადგენს ნაწილაკზე მოქმედი ყველა ძალის ტოლქმედის მუშაობას.

● მოცემულ ველში ნაწილაკის პოტენციალური ენერგიის შემცირება ტოლია ველის ძალების მუშაობისა:

$$A = U_1 - U_2 \quad (1.3 \text{ გ})$$

● კავშირი ველის ძალასა და ნაწილაკის პოტენციალურ ენერგიას შორის

$$F = -\nabla U. \quad (1.3 \text{ დ})$$

ე. ი. ძალა პოტენციალური ენერგიის ანტიგრადიენტის ტოლია.

ნაწილაკის სრული მექანიკური ენერგიის ნაზრდი მოცემულ პოტენციურ ველში:

$$E_2 - E_1 = A_{\text{გარ}}, \quad (1.3 \text{ ე})$$

სადაც  $A_{\text{გარ}}$ —ყველა გარეშე ძალის მიერ შესრულებული მუშაობის ალგებრული ჯამია, ძალებისა, რომლებიც არ განეკუთვნებიან მოცემულ ველის ძალებს.

● სისტემის სრული მექანიკური ენერგიის ნაზრდი:

$$E_2 - E_1 = A_{\text{გარ}} + A_{\text{შიგ}}^{\text{არაკონს}} \quad (1.3 \text{ ვ})$$

● სისტემის იმპულსის ცვლილების კანონი:

$$\frac{dp}{dt} = F, \quad (1.3 \text{ ზ})$$

სადაც  $F$  ყველა გარე ძალის ტოლქმედია.

● სისტემის ინერციის ცენტრის მოძრაობის განტოლება:

$$m \frac{dv_c}{dt} = F, \quad (1.3 \text{ თ})$$

სადაც  $F$  ყველა გარე ძალის ტოლქმედია.

● სისტემის კინეტიკური ენერგია:

$$T = \tilde{T} + \frac{mv_c^2}{2}, \quad (1.3 \text{ ი})$$

სადაც  $\tilde{T}$  მისი კინეტიკური ენერგიაა ინერციის ცენტრის სისტემაში.

● ცვლადი მასის მქონე სხეულის მოძრაობის განტოლება:

$$m \frac{dv}{dt} = F + \frac{dm}{dt} u, \quad (1.3 \text{ კ})$$

სადაც  $u$  გამოყოფილი (მიერთებული) სივთიერების სიჩქარეა განსახილველ სხეულის მიმართ.

● სისტემის  $M$  იმპულსის მომენტის ცვლილების კანონი (მომენტების განტოლება):

$$\frac{dM}{dt} = N, \quad (1.3 \text{ ლ})$$

სადაც  $N$  ყველა გარე ძალის ჯამური მომენტია.

● სისტემის იმპულსის მომენტი:

$$M = \tilde{M} + [rcp] \quad (1.3 \text{ მ})$$

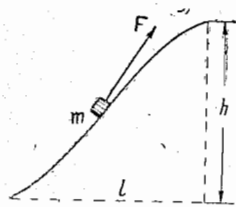
სადაც  $\tilde{M}$  მისი იმპულსის მომენტია ინერციის ცენტრის სისტემაში,  $rc$ —ინერციის ცენტრის რადიუს-ვექტორი,  $p$ —სისტემის იმპულსი.

1.118. ნაწილაკი გადაადგილდა  $xy$  სიბრტყეში რაღაც ტრაექტორიის გასწვრივ  $r_1 = i + 2j$  რადიუს-ვექტორის მქონე 1 წერტილიდან 2 წერტილში, რომლის რადიუს-ვექტორია  $r_2 = 2i - 3j$ . ამასთან, მასზე მოქმედი ძალებიდან ერთ-ერთი  $F = 3i + 4j$ -ის ტოლია. იპოვეთ  $F$  ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა.  $r_1$ ,  $r_2$  და  $F$  გაზომილია საერთაშორისო სისტემის მნიშვნელობით.

1.119.  $m$  მასის ლოკომოტივი მოძრაობას იწყებს სადგურიდან ისე, რომ მისი სიჩქარე  $v = a\sqrt{s}$  კანონითაა დამოკიდებული გავლილ მანძილზე, სადაც  $a$  მუდმივია,  $s$ —გავლილი მანძილი. იპოვეთ ლოკომოტივი

ზე მოქმედი ყველა ძალის ჯამური მუშაობა მოძრაობის დაწყებიდან პირველი  $t$  წამის განმავლობაში.

1.120.  $R$ -რადიუსიან წრეწირზე მოძრავე ნაწილაკის კინეტიკური ენერგია  $T = as^2$  კანონითაა დამოკიდებული გავლილ მანძილზე. აქ  $a$  მუდმივია. იპოვეთ ნაწილაკზე მოქმედი ძალის დამოკიდებულება  $s$  მანძილზე.



ნახ. 1.29.

1.121.  $m$  მასის სხეული ნელა აიტანეს ბორცვზე  $F$  ძალის მოქმედებით, რომელსაც ყოველ წერტილში ტრაექტორიის მხების მიმართულება აქვს (ნახ. 1.29). იპოვეთ ამ ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა, თუ ბორცვის სიმაღლე  $h$ , მისი ფუძის სიგრძე  $l$ , ხახუნის კოეფიციენტი  $k$ .

1.122. ჰორიზონტალში  $\alpha = 30^\circ$ -ით დახრილ სიბრტყეზე უსაწყისო სიჩქარით მისრიალებს  $m = 50$  გ მასის შაიბა. გაიარა რა ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე  $l = 50$  სმ, ის გაჩერდა. იპოვეთ ხახუნის ძალების მიერ შესრულებული მუშაობა მთელ გზაზე, თუ ხახუნის კოეფიციენტი ყველგან  $k = 0,15$  ის ტოლია.

1.123. არადეფორმირებული მსუბუქი ზამბარით შეერთებული  $m_1$  და  $m_2$  მასების მქონე ორი ძელაკი მოთავსებულია ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე. ძელაკებსა და სიბრტყეს შორის ხახუნის კოეფიციენტი  $k$ . როგორი მინიმალური მუდმივი ძალა უნდა მოვლით  $m_1$  მასის ძელაკს ჰორიზონტალური მიმართულებით, რომ მეორე ძელაკი დაიძრას ადგილიდან?

1.124.  $m = 0,80$  კგ მასისა და  $l = 1,5$  მ სიგრძის მქონე ძეწკვი ისე დევს ხორკლიან მაგიდაზე, რომ მისი ერთი ბოლო მაგიდის ნაპირზეა გადმოკიდებული. ძეწკვი თვითონ ჩამოსრიალდება, როცა მისი გადმოკიდებული ნაწილი მთელი სიგრძის  $\eta = 1/3$ -ს შეადგენს. რა მუშაობას შეასრულებენ ძეწკვზე მოქმედი ხახუნის ძალები მაგიდიდან მისი სრული ჩამოსრიალებისას?

1.125. ჰორიზონტალში  $\alpha$  კუთხით  $v_0$  საწყისი სიჩქარით გაისროლეს  $m$  მასის სხეული. იპოვეთ სიმაღლის ძალის მიერ განვითარებული საშუალო სიმძლავრე მოძრაობის მთელი დროის განმავლობაში და ამ ძალის მყისი სიმძლავრის დამოკიდებულება დროზე.

1.126.  $m$  მასის ნაწილაკი მოძრაობს  $R$ -რადიუსიან წრეწირზე ნორმალური აჩქარებით, რომელიც დროის განმავლობაში იცვლება  $w_n = at^2$  კანონით, სადაც  $a$  მუდმივია. იპოვეთ ნაწილაკზე მოქმედი ყველა ძალის სიმძლავრის დამოკიდებულება დროზე და ამ ძალის საშუალო მნიშვნელობა მოძრაობის დაწყებიდან პირველი  $t$  წამის განმავლობაში.

1.127. ჰორიზონტალური სიბრტყის  $O$  წერტილში მოთავსებულია  $m$

მასის მცირე ზომის სხეული. სხეულს მიანიჭეს  $v_0$  ჰორიზონტალური სიჩქარე. იპოვეთ:

ა) ხახუნის ძალის მიერ განვითარებული საშუალო სიმძლავრე მოძრაობის მთელი დროის განმავლობაში, თუ ხახუნის კოეფიციენტი  $k = 0,27$ ,  $m = 1,0$  კგ-ს და  $v_0 = 1,5$  მ/წმ;

ბ) ხახუნის ძალის მაქსიმალური მყისი სიმძლავრე, თუ ხახუნის კოეფიციენტი იცვლება  $k = ax$  კანონით, სადაც  $a$  მუდმივია,  $x$  მანძილია  $O$  წერტილიდან.

1.128. უძრავი ღერძის გარშემო მუდმივი  $\omega = 5,0$  რად/წმ კუთხური სიჩქარით მბრუნავ ათვლის სისტემაში მოძრაობს  $m = 0,10$  კგ მასის მცირე ზომის სხეული. რა მუშაობა შესრულა ინერციის ცენტრიდანულმა ძალამ ამ სხეულის ნებისმიერი გზით გადაადგილებისას 1 წერტილიდან 2 წერტილში. რომლებიც ბრუნვის ღერძიდან  $r_1 = 30$  სმ და  $r_2 = 50$  სმ-ის მანძილებზე არიან განლაგებულნი?

1.129. სისტემა შედგება ორი თანმიმდევრულად შეერთებული ზამბა-რისაგან, რომელთა სიხისტის კოეფიციენტებია  $k_1$  და  $k_2$ . რა მინიმალური მუშაობა უნდა შესრულდეს იმისათვის, რომ ეს სისტემა წაგრძელდეს  $\Delta l$ -ით?

1.130.  $F$  ძალის მოქმედებით დაიწყეს  $m$  მასის მცირე სხეულის აწევა დედამიწის ზედაპირიდან. ძალას სიმაღლის მიხედვით თანდათან ცვლიან  $F = 2(ay - 1)mg$  კანონით, სადაც  $a$  დადებითი მუდმივია. იპოვეთ გზის პირველ ნახევარზე ამ ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა და სხეულის პოტენციალური ენერგიის ნაზრდი დედამიწის სიმაღლის ველში.

1.131. რომელიღაც ველში ნაწილაკის პოტენციალურ ენერგიას აქვს შემდეგი სახე:  $U = a/r^2 - b/r$ , სადაც  $a$  და  $b$  — დადებითი მუდმივებია, ხოლო  $r$  მანძილია ველის ცენტრიდან. იპოვეთ:

ა) ნაწილაკის წონასწორობის მდგომარეობის შესაბამისი  $r_0$ -ის მნიშვნელობა; გამოარკვიეთ, მდგრადია თუ არა ეს მდგომარეობა;

ბ) მიზიდულობის ძალის მაქსიმალური მნიშვნელობა; გამოსახეთ  $U(r)$  და  $F_r(r)$  დამოკიდებულებების გრაფიკები, სადაც  $F_r(r)$  ძალის გეგმილია  $r$  რადიუს-ვექტორზე.

1.132. ნაწილაკის პოტენციალურ ენერგიას რომელიღაც ორგანზომილებიან ძალთა ველში აქვს შემდეგი სახე:  $U = \alpha x^2 + \beta y^2$ , სადაც  $\alpha$  და  $\beta$  დადებითი მუდმივებია და  $\alpha \neq \beta$ . გამოარკვიეთ:

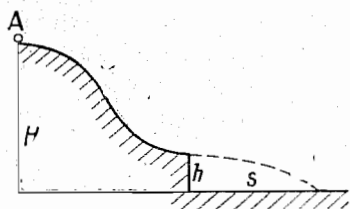
ა) არის თუ არა ეს ველი ცენტრალური;

ბ) როგორი ფორმა აქვთ ეკვიპოტენციალურ ზედაპირებს და იმ ზედაპირებს, რომელთათვისაც ძალის ვექტორის მოდული  $F = \text{const}$ .

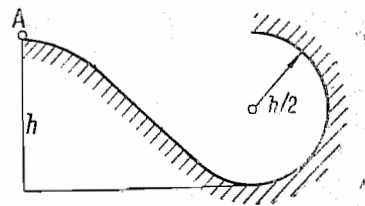
1.133. გვაქვს ორი სტაციონარული ძალთა ველი:  $F = ay\mathbf{i}$  და  $F = ax\mathbf{i} + by\mathbf{j}$ , სადაც  $\mathbf{i}$  და  $\mathbf{j}$   $x$  და  $y$  ღერძების ორთებია,  $a$  და  $b$  — მუდმივები. გამოარკვიეთ პოტენციალურია თუ არა ეს ველები.

1.134. ჰორიზონტალში  $\alpha$  კუთხით დახრილ სიბრტყეზე ქვევიდან ზევით გაუშვეს  $m$  მასის სხეული. სხეულის საწყისი სიჩქარეა  $v_0$ , ხახუნის კოეფიციენტი —  $k$ . რა მანძილს გაივლის ეს სხეული გაჩერებამდე? როგორია ხახუნის ძალის მუშაობა ამ გზაზე?

1.135. მცირე ზომის  $A$  შაიბა უსაწყისო სიჩქარით მოსრიდლებს  $H$  სიმაღლის გლუვი ბორცვის წვეროდან, რომელსაც ჰორიზონტალური ტრამპლინი აქვს (ნახ. 1.30). რა  $h$  სიმაღლე უნდა ჰქონდეს ტრამპლინს, რომ შაიბას ფრენის სიშორე  $s$  იყოს უდიდესი? რას უდრის ეს მანძილი?



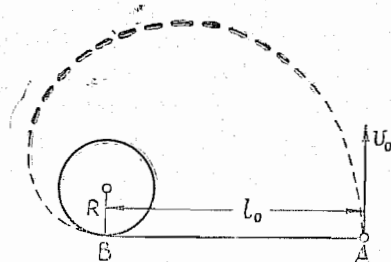
ნახ. 1.30.



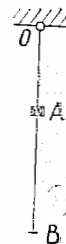
ნახ. 1.31.

1.136. მცირე ზომის  $A$  სხეული მოსრიდლებს  $h$  სიმაღლის დახრილ ღარში, რომელიც გადადის  $h/2$ -რადიუსიან წრეწირში (ნახ. 1.31). უგულვებელყავით ხახუნი და იპოვეთ სხეულის სიჩქარე მისი ტრაექტორიის უმაღლეს წერტილში (ღარიდან მოწყვეტის შემდეგ).

1.137.  $l$  სიგრძის ძაფზე ჩამოკიდებულია  $m$  მასის ბურთულა. როგორი უმცირესი სიჩქარით უნდა გადაადგილდეს წერტილი (სადაც ბურთულაა ჩამოკიდებული) ჰორიზონტალური მიმართულებით, რომ ბურთულამ დაიწყოს წრიული მოძრაობა ამ წერტილის გარშემო? როგორი იქნება ძაფის დაჭიმულობა იმ მომენტისათვის, როდესაც ის გაივლის ჰორიზონტალურ მდებარეობას?



ნახ. 1.32.



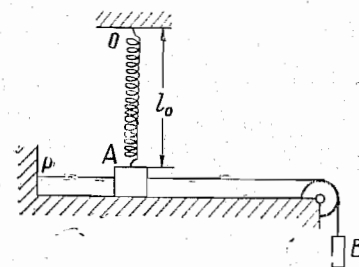
ნახ. 1.33.

1.138. ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე ვერტიკალურად მოთავსებულია  $R$ -რადიუსიანი უძრავი ცილინდრი და მასთან  $l_0$  სიგრძის ჰორიზონტალური  $AB$  ძაფით შეერთებული  $A$  შაიბა (ნახ. 1.32. ზედხედი). შაიბას მი-

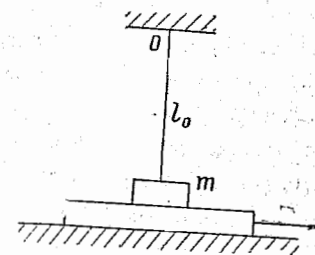
ანიჭეს საწყისი სიჩქარე ისე, როგორც ნახაზზეა ნაჩვენები. რამდენ ხანს იმოძრაებს ის ცილინდრთან დაჯახებამდე? ხახუნი უგულვებელყოფილია.

1.139.  $l$  სიგრძისა და  $k$  დრეკადობის კოეფიციენტის მქონე რეზინის გლუვი ზონარი ერთი ბოლოთი ჩამოკიდებულია  $O$  წერტილში (ნახ. 1.33). მეორე ბოლოზე კი აქვს  $B$  საბჯენი.  $O$  წერტილიდან იწყებს გარდანას  $m$  მასის მცირე  $A$  ქურო. უგულვებელყავით ზონარისა და საბჯენის მასები და იპოვეთ ზონარის მაქსიმალური წაგრძელება.

1.140. გლუვ ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე მოთავსებული  $A$  ძელაკი ძაფებითაა დაკავშირებული  $P$  წერტილთან (ნახ. 1.34) და უწონო ბლოკის მეშვეობით იმავე მასის  $B$  ტვირთთან. გარდა ამისა, ძელაკი დაკავშირებულია  $O$  წერტილთან  $l_0 = 50$  სმ სიგრძის მჩატე არადეფორმირებადი ზამბარით, რომლის სიხისტე  $\kappa = 5mg/l_0$ . ძელაკის მასაა  $m$ .  $PA$  ძაფი გადაწვეს და ძელაკმა დაიწყო მოძრაობა. იპოვეთ მისი სიჩქარე სიბრტყიდან მოწყვეტის მომენტში.



ნახ. 1.34.



ნახ. 1.35.

1.141. ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე დევს ფიცარი. მასზე მოთავსებულია  $m = 1.0$  კგ მასის ძელაკი, რომელიც  $O$  წერტილთან (ნახ. 1.35) შეერთებულია  $l_0 = 40$  სმ-ის სიგრძის მქონე მსუბუქი, არადეფორმირებადი დრეკადი ძაფით. ძელაკსა და დაფას შორის ხახუნის კოეფიციენტი  $k = 0.20$ . დაიწყეს დაფის ნელა გადაადგილება მარჯვნივ იმ მდგომარეობამდე, როდესაც ძელაკმა დაიწყო მასზე სრიალი. ეს მოხდა იმ მომენტში, როდესაც ძაფი ვერტიკალიდან  $\varphi = 30^\circ$  კუთხით გადაიხარა. იპოვეთ ძელაკზე მოქმედი ხახუნის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა ამ წონებისათვის სიბრტყესთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში.

1.142. გლუვ ჰორიზონტალურ მსუბუქ  $AB$  ღეროს შეუძლია ბრუნვა თავის  $A$  ბოლოზე გამავალი ჰორიზონტალური ღერძის გარშემო. ღეროზე მოთავსებულია  $m$  მასის მცირე ქურო, რომელიც  $A$  ბოლოსთან  $l_0$  სიგრძის უწონო ზამბარითაა შეერთებული. ზამბარის სიხისტეა  $\kappa$ . რა მუშაობა უნდა შესრულდეს, რომ ეს სისტემა ნელა დავაბრუნოთ  $\alpha$  კუთხურ სიჩქარემდე?



1.143. ოთახის ჭერზე მიმაგრებულ ბლოკზე გადაკიდებულია ძაფი, რომლის ბოლოებზე  $m_1$  და  $m_2$  მასის სხეულებია მიმაგრებული. ძაფისა და ბლოკის მასები და აგრეთვე ხახუნის უგულებელყოფილია. იპოვეთ ამ სისტემის ინერციის ცენტრის  $w_c$  აჩქარება.

1.144. ორი ურთიერთმოქმედი ნაწილაკი ქმნის იზოლირებულ სისტემას, რომლის ინერციის ცენტრი უძრავია. 1.36 ნახაზზე ნაჩვენებია ორივე ნაწილაკის მდებარეობა რომელიმე მომენტში და  $m_1$  მასის ნაწილაკის ტრაექტორია. ააგეთ  $m_2$  მასის ნაწილაკის ტრაექტორია, თუ  $m_2 = m_1/2$ .

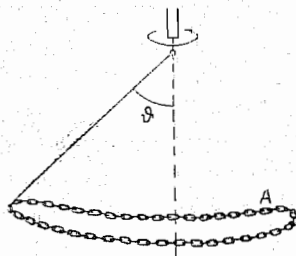


ნახ. 1.36.

1.145.  $m = 0,36$  კგ მასის შეკრული  $A$  ძეწკვი ძაფით არის შეერთებული ცენტრიდანული მანქანის (ნახ. 1.37) ვერტიკალური ღერძის ბოლოსთან. ძეწკვი ბრუნავს მუდმივი  $\omega = 35$  რად/წმ კუთხური სიჩქარით. ამასთან, ძაფი ვერტიკალურ მიმართულებასთან ადგენს  $\varphi = 45^\circ$  კუთხეს. იპოვეთ მანძილი ძეწკვის სიმძიმის ცენტრიდან ბრუნვის ღერძამდე და ძაფის დაჭიმულობა.

1.146.  $A$  წრიული კონუსი, რომლის მასაა  $m = 3,2$  კგ და ნახევარ-გაშლის კუთხე  $\alpha = 10^\circ$ , სრიალის გარეშე და თანაბრად მიგორავს წრიული კონუსის  $B$  ზედაპირზე ისე, რომ  $A$  კონუსის  $O$  წვერო უძრავია (ნახ. 1.38), ხოლო მისი სიმძიმის ცენტრი ერთ დონეზეა  $O$  წვერითთან და მისგან  $l = 17$  სმ-ითაა დაშორებული. კონუსის ღერძი მოძრაობს  $\omega$  კუთხური სიჩქარით. იპოვეთ:

- $A$  კონუსზე მოქმედი უძრავობის ხახუნის ძალა, თუ  $\omega = 1,0$  რად/წმ;
- რა მნიშვნელობებს უნდა ღებულობდეს  $\omega$ , რომ  $A$  კონუსმა იმოძრაოს სრიალის გარეშე, თუ ზედაპირებს შორის ხახუნის კოეფიციენტი  $k = 0,25$ ?



ნახ. 1.37.

1.147.  $K$  ათვლის სისტემაში  $x$  ღერძის გასწვრივ მოძრაობს ორი ნაწილაკი: ერთი  $m_1$  მასის —  $v_1$  სიჩქარით, მეორე  $m_2$  მასისა —  $v_2$  სიჩქარით. იპოვეთ:

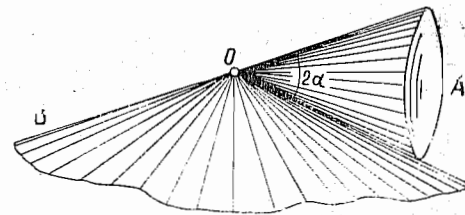
- იმ  $K'$  ათვლის სისტემის  $V$  სიჩქარე, რომელშიაც ამ ნაწილაკების ჯამური კინეტიკური ენერგია მინიმალურია;

- ამ ნაწილაკების ჯამური კინეტიკური ენერგია  $K'$  სისტემაში.

1.148. ათვლის სისტემა, რომელშიც მოცემულ ნაწილაკთა სისტემის ინერციის ცენტრი უძრავია, ასრულებს გადატანით მოძრაობას  $V$  სიჩქარით  $K$  ათვლის ინერციული სისტემის მიმართ. ნაწილაკთა სისტემის მასაა

$m$ , მისი სრული ენერგია ინერციის ცენტრის სისტემაში —  $E$ . იპოვეთ ამ ნაწილაკთა სისტემის  $E$  სრული ენერგია  $K$  ათვლის სისტემაში.

1.149. გლუვ ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე მოთავსებულია  $m_1$  და  $m_2$  მასის ორი პატარა შაიბა, რომლებიც ერთმანეთთან უწონო ზამბარით არიან შეერთებული. შაიბებს მიანიჭეს ჰორიზონტალურ სიბრტყეში ურთიერთ-მართობულად მიმართული  $v_1$

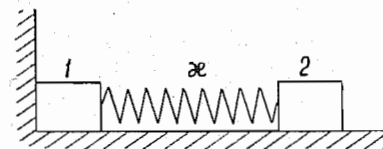


ნახ. 1.38.

და  $v_2$  საწყისი სიჩქარეები. იპოვეთ ამ სისტემის  $E$  ენერგია ინერციის ცენტრის სისტემაში.

1.150. სისტემა შედგება უწონო ზამბარით შეერთებული ორი  $m_1$  და  $m_2$  მასის ბურთულასაგან.  $t = 0$  მომენტში ბურთულებს მიანიჭეს საწყისი  $v_1$  და  $v_2$  სიჩქარეები, რის შემდეგაც სისტემამ დაიწყო მოძრაობა დედამიწის სიმძიმის ერთგვაროვან ველში. უგულებელყავით ჰაერის წინააღმდეგობა და იპოვეთ ამ სისტემის სრული იმპულსის დამოკიდებულება დროზე, მოძრაობის პროცესში, და მისი ინერციის ცენტრის რადიუს-ვექტორის დამოკიდებულება დროზე, საწყისი მდებარეობის მიმართ.

1.151. გლუვ ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მოთავსებულია  $x$ -სიხის-ტის ზამბარით შეერთებული  $m_1$  და  $m_2$  მასის ორი ძელაკი (ნახ. 1.39). 2 ძელაკი გადაადგილეს მარცხნივ მცირე მანძილზე და გაუშვეს.



ნახ. 1.39.

იპოვეთ ამ სისტემის ინერციის ცენტრის სიჩქარე 1 ძელაკის კედლიდან მოწყვეტის შემდეგ.

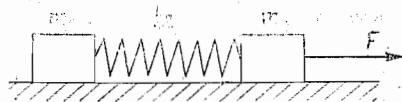
1.152. გლუვ ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე დევს ორი ძელაკი, რომლებიც შეერთებულია  $x$  სიხისტის უწონო ზამბარით, რომლის სი-

გრძე არადეფორმირებულ მდგომარეობაში უდრის  $l_0$ . ერთ-ერთ ძელაკზე დაიწყეს მოქმედება  $F$  მუდმივი ჰორიზონტალური ძალით, როგორც ნაჩვენებია 1.40 ნახაზზე. იპოვეთ მაქსიმალური და მინიმალური მანძილი ძელაკებს შორის სისტემის შემდგომი მოძრაობისას, თუ ძელაკების მასები:



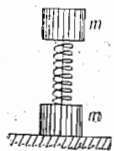
ა) ერთნაირი;

ბ) ტოლია  $m_1$  და  $m_2$ , ხოლო  $F$  ძალა მოდებულია  $m_2$  მასის ძელაქზე.



ნახ. 1.40.

**1.153.** სისტემა შედგება ორი ერთნაირი  $m$  მასის კუბურასაგან, რომელთა შორის მოთავსებულია  $x$  სიხისტის ზამბარა (ნახ. 1.41). კუბურები შეერთებულია ძაფით, რომელსაც რომელიმე მომენტში წვავენ. იპოვეთ:



ნახ. 1.41.

ა) ზამბარის საწყისი შეკუმშვის რა  $\Delta l$  მნიშვნელობისათვის ახტება ქვედა კუბურა ძაფის გადაწყის შემდეგ;

ბ) რა  $h$  სიმაღლეზე აიწევს ამ სისტემის სიმძიმის ცენტრი, თუ ზამბარის შეკუმშვა საწყის მდებარეობაში  $\Delta l = 7mg/k$ .

**1.154.** ორი ერთნაირი 1 და 2 ურიკა, რომლებზეც თითო ადამიანი იმყოფება, მოძრაობს ხახუნის გარეშე, ინერციით, ერთმანეთის შესახვედრად პარალელურ რელსებზე. როდესაც ურიკები გაუსწორდნენ ერთმანეთს, მათი მოძრაობის მართობულად თითოეულიდან გადახტა ადამიანი. ამის შედეგად 1 ურიკა გაჩერდა, ხოლო 2 ურიკამ განაგრძო მოძრაობა წინანდელი მიმართულებით, ისე, რომ მისი სიჩქარე გახდა  $v$ . იპოვეთ ურიკების საწყისი სიჩქარეები  $v_1$  და  $v_2$ , თუ ადამიანის გარეშე თითოეული ურიკის მასაა  $M$ , ხოლო თითოეული ადამიანის მასა  $m$ .

**1.155.** ორი ერთნაირი ურიკა მოძრაობს ინერციით ერთმანეთის მიყოლებით  $v_0$  ერთნაირი სიჩქარით (ხახუნის გარეშე). უკანა ურიკაზე იმყოფება  $m$  მასის ადამიანი, რომელიმე მომენტში ადამიანი თავისი ურიკის მიმართ გადახტა  $u$  სიჩქარით წინა ურიკაში. გაითვალისწინეთ, რომ თითოეული ურიკის მასაა  $M$  და იპოვეთ ის სიჩქარეები, რომლითაც გააგრძელებენ ურიკები მოძრაობას.

**1.156.**  $M$  მასის ურიკის კიდეზე დგას ერთნაირი  $m$  მასის ორი ადამიანი. უგულვებელყავით ხახუნი და იპოვეთ ურიკის სიჩქარე მას შემდეგ, როცა ორივე ადამიანი გადახტება ურიკიდან ერთნაირი  $u$  პორიზონტალური სიჩქარით ურიკის მიმართ:

ა) ერთდროულად;

ბ) ერთმანეთის მიყოლებით.

რომელ შემთხვევაში იქნება ურიკის სიჩქარე მეტი და რამდენჯერ?

**1.157.** გრძელი ძეწკვი ჩამოკიდებულია ძაფზე და თავის ქვედა ბოლოთი ეხება მაგიდის ზედაპირს. აჩვენეთ, რომ ძეწკვის ვარდნის ნებისმიერ მომენტში, მისი ვარდნილი ნაწილის წნევის ძალა მაგიდაზე ორჯერ მეტია უკვე დავარდნილი ნაწილის წნევის ძალაზე.

**1.158.** მასიური ფილის პორიზონტალურ ზედაპირზე  $h = 1,0$  მ სიმაღლიდან ვარდება  $m = 50$  გ მასის ბურთულა. იპოვეთ ჯამური იმპულსი, რომელსაც გადასცემს ბურთულა მრავალჯერადი ახტომისას პორიზონტალურ ფილას, თუ ყოველი დარტყმის შემდეგ ბურთულას სიჩქარე მცირდება  $\eta = 1,25$  ჯერ.

**1.159.**  $M$  მასის ტივი მასზე მყოფი  $m$  მასის ადამიანით უძრავად დგას გუბურაში. ადამიანი ასრულებს ტივის მიმართ  $l'$  გადაადგილებას  $v'(t)$  სიჩქარით და ჩერდება. უგულვებელყავით წყლის წინააღმდეგობა და იპოვეთ:

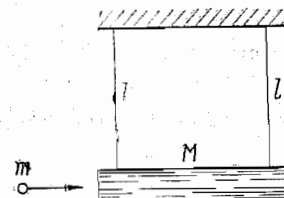
ა) ტივის  $l$  გადაადგილება ნაპირის მიმართ;

ბ) იმ ძალის პორიზონტალური მდგენელი, რომლითაც ადამიანი მოქმედებდა ტივზე მოძრაობისას.

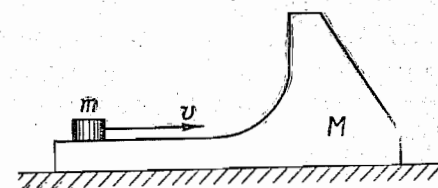
**1.160.** უძრავ ბლოკზე გადაკიდებული თოკის ერთ ბოლოზე ჰკიდია კიბე ადამიანით, მეორეზე კი—მაწონასწორებელი  $M$  მასის ტვირთი.  $m$  მასის ადამიანი ასრულებს  $l'$  გადაადგილებას კიბის მიმართ ზევით და ჩერდება. იპოვეთ ამ სისტემის ინერციის ცენტრის გადაადგილება  $l$ , თუ თოკის მასა და ხახუნი ბლოკის ღერძში უგულვებელყოფილია.

**1.161.** პორიზონტალში  $\alpha$  კუთხით დახრილ გლუვ სიბრტყეზე თავისუფლად იწყებს სრიალს  $M$  მასის ქვემეხი. როცა ქვემეხმა გაიარა  $l$  მანძილი, გაისროლეს, რის შედეგად პორიზონტალური მიმართულებით გამოვარდა ჭურვი  $p$  იმპულსით და ქვემეხი გაჩერდა. იპოვეთ გასროლის ხანგრძლივობა, თუ ჭურვის მასა უგულვებელყოფილია ქვემეხის მასასთან შედარებით.

**1.162.** ორი ერთნაირი  $l$  სიგრძის ძაფზე (ნახ. 1.42) ჩამოკიდებულ  $M$  მასის სხეულს მოხვდა  $m$  მასის პორიზონტალურად მოძრავი ტყვია



ნახ. 1.42.



ნახ. 1.43.

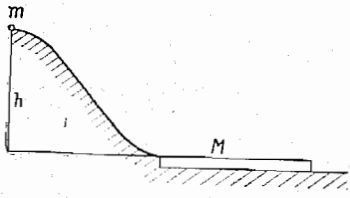
და დარჩა მასში. ამის შედეგად ძაფები გადაიხრება  $\theta$  კუთხით. გაითვალისწინეთ, რომ  $m \ll M$  და იპოვეთ:

ა) ტყვიის სიჩქარე სხეულში მოხვედრამდე;

ბ) სითბოში გადასული ტყვიის საწყისი კინეტიკური ენერგიის ფარდობითი ნაწილი.

**1.163.** გლუვ პორიზონტალურ სიბრტყეზე იმყოფება  $M$  მასის სხეული, მასზე კი  $m$  მასის მცირე შაიბა (ნახ. 1.43). შაიბას მიანიჭეს პორიზონტალურად მიმართული  $v$  სიჩქარე. რა სიმაღლეზე აიწევს შაიბა (თავდაპირველ დონესთან შედარებით)  $M$  სხეულიდან მოწყვეტის შემდეგ? ხახუნი უგულებელყოფილია.

**1.164.**  $m$  მასის მცირე შაიბა მოსრიალეზს უსაწყისო სიჩქარით  $h$  სიმაღლის ბორცვის გლუვი ფერდობიდან და ვარდება  $M$  მასის ფიცარზე, რომელიც დევს ბორცვის ფუძესთან გლუვ პორიზონტალურ სიბრტყეზე (ნახ. 1.44). შაიბასა და დაფას შორის ხახუნის გამო შაიბა მუხრუჭდება და რაღაც მომენტიდან იწყებს მოძრაობას ფიცართან ერთად, როგორც ერთი მთლიანი.



ნახ. 1.44.

1) იპოვეთ ხახუნის ძალების ჯამური მუშაობა ამ პროცესში.

2) შეიძლება თუ არა ვამტკიცოთ, რომ მიღებული შედეგი არ არის დამოკიდებული ათვლის სისტემაზე?

**1.165.**  $h$  სიმაღლიდან დედამიწის ზედაპირზე უსაწყისო სიჩქარით ვარდება ქვა. თუ ჰაერის წინააღმდეგობას არ გავითვალისწინებთ, დაცემის წინ მისი სიჩქარე დედამიწის მიმართ  $v_0 = \sqrt{2gh}$ . მიიღეთ იგივე გამოსახულება ისე, რომ ამოხსნა ჩატარდეს დეჰამიწაზე  $v_0$  მუდმივი სიჩქარით „ვარდნილი“ ათვლის სისტემის მიმართ.

**1.166.**  $v_1 = 3,0\text{ i} - 2,0\text{ j}$  სიჩქარით მოძრაობა 1,0 გ მასის ნაწილაკმა განიცადა აბსოლუტურად არადრეკადი დაჯახება მეორე ნაწილაკთან, რომლის მასაა 2,0 გ, სიჩქარე კი  $v_2 = 4,0\text{ j} - 6,0\text{ k}$ . იპოვეთ წარმოქმნილი ნაწილაკის  $v$  სიჩქარის მიმართულება და მოდული, თუ  $v_1$  და  $v_2$  ვექტორების გეგმილები მოცემულია  $SI$  სისტემის მიხედვით.

**1.167.** იპოვეთ  $m_1$  და  $m_2$  მასების მქონე ბურთულებისაგან შემდგარი იზოლირებული სისტემის კინეტიკური ენერგიის ნაზრდი მათი აბსოლუტურად არადრეკადი დაჯახებისას, თუ დაჯახებამდე ბურთულების სიჩქარეები იყო  $v_1$  და  $v_2$ .

**1.168.**  $m_1$  მასის ნაწილაკმა განიცადა აბსოლუტურად დრეკადი დაჯახება  $m_2$  მასის უძრავ ნაწილაკთან. კინეტიკური ენერგიის რა ფარდობითი ნაწილი დაკარგა მოძრაობა ნაწილაკმა, თუ:

ა) იგი ასხლტა თავის მოძრაობის საწყისი მიმართულებისადმი მართი კუთხით;

ბ) დაჯახება ცენტრალურია.

**1.169.** 1 ნაწილაკმა განიცადა აბსოლუტურად დრეკადი დაჯახება 2 უძრავ ნაწილაკთან. იპოვეთ ამ ნაწილაკების მასათა შეფარდება, თუ: ა) დაჯახება ცენტრალურია და ნაწილაკები ერთნაირი სიჩქარით გაიფანტნენ საწინააღმდეგო მიმართულებებით;

ბ) ნაწილაკები გაიფანტნენ 1 ნაწილაკის მოძრაობის თავდაპირველი მიმართულების სიმეტრიულად და გაფანტვის მიმართულებებს შორის კუთხე  $\varphi = 60^\circ$ .

**1.170.** ასრულებს რა გადატანით მოძრაობას, ბირთვი დრეკად დაეჯახა მეორე. იმავე მასის უძრავ ბირთვს. დაჯახებისას კუთხე ბირთვების ცენტრებს შორის შემაერთებელ წრფეზეა და მოძრავი ბირთვის მოძრაობის მიმართულებას შორის  $\alpha = 45^\circ$ . ჩათვლით, რომ ბურთულები გლუვია და იპოვეთ მოძრავი ბირთვის კინეტიკური ენერგიის  $\eta$  ნაწილი, რომელიც გადავიდა პოტენციალურ ენერგიაში უდიდესი დეფორმაციის მომენტში.

**1.171.**  $v = 50\text{ m/s}$  სიჩქარით მოძრავი ჭურვი სკდება სამ ერთნაირ ნამსხვრევად. ისე, რომ სისტემის კინეტიკური ენერგია  $\eta = 1,5$ -ჯერ იზრდება როგორც მაქსიმალური სიჩქარე შეიძლება ჰქონდეს ერთ-ერთ ნამსხვრევს?

**1.172.** 1 ნაწილაკი, რომელსაც ჰქონდა  $v = 10\text{ m/s}$  სიჩქარე, ცენტრალურად დაეჯახა იმავე მასის 2 უძრავ ნაწილაკს. დაჯახების შედეგად სისტემის კინეტიკური ენერგია შემცირდა  $\eta = 1,0\%$ -ით, იპოვეთ 1 ნაწილაკის სიჩქარის სიდიდე და მიმართულება დაჯახების შემდეგ.

**1.173.**  $m$  მასის ნაწილაკი დაეჯახა  $M$  მასის უძრავ ნაწილაკს, რის შედეგადაც  $m$  მასის ნაწილაკი  $\pi/2$  კუთხით გადაიხარა, ხოლო  $M$  მასის ნაწილაკი ასხლტა  $\varphi = 30^\circ$  კუთხით,  $m$  მასის ნაწილაკის მოძრაობის თავდაპირველი მიმართულებიდან. რამდენი პროცენტით და როგორ შეიცვალა ამ სისტემის კინეტიკური ენერგია, თუ  $M/m = 5,0$ ?

**1.174.** ჩაკეტილი სისტემა შედგება  $m_1$  და  $m_2$  მასის ორი ნაწილაკისაგან. ნაწილაკები ერთმანეთისაკენ მოძრაობენ ურთიერთპერპენდიკულარულად შესაბამისად  $v_1$  და  $v_2$  სიჩქარით. იპოვეთ მათი ინერციის ცენტრთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში:

ა) თითოეული ნაწილაკის იმპულსი;

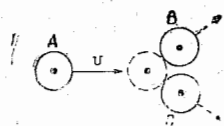
ბ) ორივე ნაწილაკის ჯამური კინეტიკური ენერგია.

**1.175.**  $m_1$  მასის ნაწილაკი აბსოლუტურად დრეკად დაეჯახა  $m_2$  მასის უძრავ ნაწილაკს, მასთან  $m_1 > m_2$ . იპოვეთ ის მაქსიმალური კუთხე, რომელზედაც გადაიხრება მოძრავი ნაწილაკი დაჯახების შედეგად.

**1.176.** გლუვ პორიზონტალურ სიბრტყეზე დევს სამი ერთნაირი  $A$ ,  $B$  და  $C$  შაიბა (ნახ. 1.45).  $A$  შაიბას მიანიჭეს  $v$  სიჩქარე, რის შედეგადაც მან განიცადა აბსოლუტურად დრეკადი დაჯახება ერთდროულად  $B$  და  $C$  შაიბასთან. ამ უკანასკნელთა ცენტრებს შორის მანძილი  $\eta$ -ჯერ მე-

ტია თითოეული შაიბას დიამეტრზე. იპოვეთ  $A$  შაიბას სიჩქარე დაჯახების შემდეგ.  $\eta$ -ს რა მნიშვნელობისათვის უკუიქცევა  $A$  შაიბა დაჯახების შემდეგ; გაჩერდება; გააგრძელებს მოძრაობას წინ?

1.177. მოლეკულა დაეჯახა იმავე მასის მეორე უძრავ მოლეკულას.



ნახ. 1.45.

აჩვენეთ, რომ მოლეკულების გაფანტვის მიმართულებებს შორის კუთხეა

ა) უდრის  $90^\circ$ -ს, თუ დაჯახება აბსოლუტურად დრეკადია;

ბ) განსხვავებულია  $90^\circ$ -გან, თუ დაჯახება არადრეკადია.

1.178. რაკეტა უშვებს გაზის უწყვეტ ჭავლს,

რომლის სიჩქარე რაკეტის მიმართ  $u$ -ს ტოლია. გაზის ხარჯია  $\mu$  კგ/წმ. აჩვენეთ, რომ რაკეტის მოძრაობის განტოლებაა  $m\dot{w} = F - \mu u$ , სადაც  $m$  რაკეტის მასა მოცემულ მომენტში,  $w$  — მისი აჩქარება,  $F$  — გარეშე ძალა.

1.179. რაკეტა მოძრაობს გარეშე ძალების გაუთვალისწინებლად და უშვებს გაზის უწყვეტ ჭავლს რაკეტის მიმართ  $u$  სიჩქარით. იპოვეთ რაკეტის  $v$  სიჩქარე იმ მომენტისათვის, როცა მისი მასა  $m$ -ის ტოლია, თუ საწყის მომენტში მისი მასა იყო  $m_0$ , ხოლო სიჩქარე — ნულის ტოლი. ისარგებლეთ წინა ამოცანაში მოყვანილი ფორმულით.

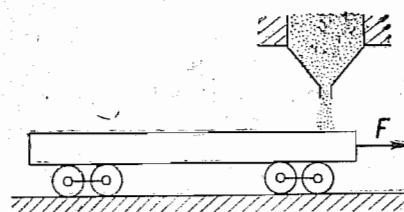
1.180. იპოვეთ რაკეტის მასის ცვლილების კანონი დროის მიხედვით, თუ გარე ძალების მოქმედების გარეშე რაკეტა მოძრაობს  $w$  მუდმივი აჩქარებით. გაზის გამოდენის სიჩქარე რაკეტის მიმართ მუდმივია და უდრის  $u$ -ს, ხოლო საწყის მომენტში მისი მასა იყო  $m_0$ .

1.181.  $m_0$  მასის კოსმოსური ხომალდი მოძრაობს გარეშე ძალების გაუთვალისწინებლად  $v_0$  მუდმივი სიჩქარით. მოძრაობის მიმართულების შესაცვლელად ჩართეს რეაქტიული ძრავა, რომელმაც დაიწყო გაზის გამოტყორცნა ხომალდის მიმართ  $u$  მუდმივი სიჩქარით, რომელიც მუდამ ხომალდის მიმართულების მართობული იყო. ძრავას მუშაობის დამთავრებისას ხომალდის მასა გახდა  $m$ . რა  $\alpha$  კუთხით შეიცვალა ხომალდის მოძრაობის მიმართულება ძრავას მუშაობის განმავლობაში?

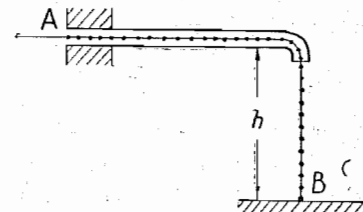
1.182. ქვიშიანი ურიკა მოძრაობს ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე მისი სიჩქარის მიმართულების თანხვედნილი  $F$  მუდმივი ძალის გავლენით. ფსკერზე გაკეთებული ხვრელიდან ქვიშა იყრება  $\mu$  კგ/წმ მუდმივი სიჩქარით. იპოვეთ ურიკას სიჩქარე და აჩქარება  $t$  მომენტში, თუ  $t=0$  მომენტში ქვიშიანი ურიკას ჰქონდა  $m_0$  მასა და მისი სიჩქარე ნულის ტოლი იყო. ხახუნის უგულებელყავით.

1.183.  $F$  მუდმივი ჰორიზონტალური ძალის გავლენით  $m_0$  მასის პლატფორმა იწყებს მოძრაობას მარჯვნივ (ნახ. 1.46). უძრავი ბუნკერი-

დან მასზე იყრება ქვიშა. დატვირთვის სიჩქარე მუდმივია და უდრის  $\mu$  კგ/წმ. იპოვეთ პლატფორმის სიჩქარისა და აჩქარების დამოკიდებულება დროზე დატვირთვის პროცესში. ხახუნის უგულებელყავით.



ნახ. 1.46.

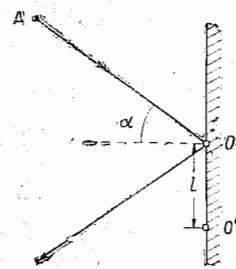


ნახ. 1.47.

1.184.  $l$  სიგრძის  $AB$  ძეწკვი მოთავსებულია გლუვ ჰორიზონტალურ მიწში ისე, რომ მისი სიგრძის  $h$  ნაწილი თავისუფლადაა ჩამოკიდებული და  $B$  ბოლოთი ეხება მაგიდის ზედაპირს (ნახ. 1.47). რომელია მომენტში ძეწკვის  $A$  ბოლო გაათავისუფლეს. რა სიჩქარით გამოვარდება მილიდან ძეწკვის ეს ბოლო?

1.185. რომელია  $O$  წერტილის მიმართ ნაწილაკის იმპულსის მომენტი დამოკიდებულია დროზე შემდეგი კანონით:  $\mathbf{M} = \mathbf{a} + \mathbf{b}t^2$ , სადაც  $\mathbf{a}$  და  $\mathbf{b}$  მუდმივი ვექტორებია, თანაც  $\mathbf{a} \perp \mathbf{b}$  იპოვეთ ნაწილაკზე მოქმედი  $\mathbf{N}$  ძალის მომენტი  $O$  წერტილის მიმართ, რადესაც კუთხე  $\mathbf{N}$  და  $\mathbf{M}$  ვექტორებს შორის აღმოჩნდება  $45^\circ$ -ის ტოლი.

1.186.  $m$  მასის ბურთულა გაისროლეს ჰორიზონტისადმი  $\alpha$  კუთხით,  $v_0$  საწყისი სიჩქარით. იპოვეთ ბურთულას  $\mathbf{M}$  იმპულსის მომენტის ვექტორის სიდიდის დამოკიდებულება მოძრაობის დროზე, გასროლის წერტილის მიმართ. გამოთვალეთ  $\mathbf{M}$  ტრაექტორიის უმაღლეს წერტილში, თუ  $m=130$  გ,  $\alpha=45^\circ$ , ხოლო  $v_0=25$  მ/წმ. ჰაერის წინააღმდეგობა უგულებელყავით.



ნახ. 1.48.

1.187.  $m$  მასის  $A$  შაიბა მოძრაობდა რა  $v$  სიჩქარით გლუვ ჰორიზონტალურ ზედაპირზე, აბსოლუტურად დრეკად დაეჯახა გლუვ, უძრავ კედელს  $O$  წერტილში (ნახ. 1.48). შაიბას მოძრაობის მიმართულებასა და კედლის ნორმალს შორის კუთხე  $\alpha$ -ს ტოლია. იპოვეთ:

ა) წერტილები, რომელთა მიმართაც შაიბის იმპულსის მომენტი მუდმივი რჩება ამ პროცესში;

ბ) შაიბას იმპულსის მომენტის ვექტორის ნაზრდის მოდული  $O'$  წერტილის მიმართ, რომელიც შაიბის მოძრაობის სიბრტყეში  $l$  მანძილითაა დაშორებული  $O$  წერტილიდან.

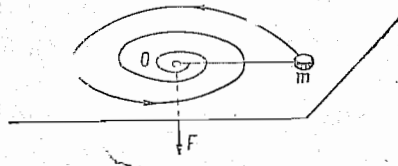
1.188.  $m$  მასის მცირე ზომის ბურთულა  $l$  სიგრძის ძაფითაა მიბმული ჰერის  $O$  წერტილში. იგი ბრუნავს ჰორიზონტალურ წრეწირზე  $\omega$  მუდმივი კუთხური სიჩქარით. რომელი წერტილების მიმართ რჩება ბურთულას  $M$  იმპულსის მომენტი მუდმივი? იპოვეთ ბურთულას იმპულსის მომენტის ვექტორის ნაზრდის მოდული  $O$  წერტილის მიმართ ნახევარი ბრუნის განმავლობაში.

1.189.  $m$  მასის ბურთულა უსაწყისო სიჩქარით ვარდება  $h$  სიმაღლიდან დედამიწის ზედაპირზე. იპოვეთ ბურთულას იმპულსის მომენტის ვექტორის ნაზრდის მოდული ვარდნის დროს იმ ათვლის სისტემის  $O$  წერტილის მიმართ, რომელიც მოძრაობს  $V$  სიჩქარით ჰორიზონტალური მიმართულებით. ვარდნის დაწყებისას  $O$  წერტილი ემთხვევა ბურთულას. პერის წინააღმდეგობას ნუ გაითვალისწინებთ.

1.190. გლუვი ჰორიზონტალური დისკო ბრუნავს მის  $O$  ცენტრზე გამავალი უძრავი ვერტიკალური ღერძის გარშემო  $\omega$  მუდმივი კუთხური სიჩქარით. ამ წერტილიდან რადიალური მიმართულებით  $t=0$  მომენტში  $v_0$  სიჩქარით გაუშვეს შაბა. იპოვეთ შაბის იმპულსის მომენტი  $M(t)$ ,  $O$  წერტილის მიმართ დისკოსთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში. დარწმუნდით, რომ ეს იმპულსის მომენტი კოორდინატის ძალის მოქმედებითაა განპირობებული.

1.191. ნაწილაკი მოძრაობს ჩაკეტილი ტრაექტორიის გასწვრივ ცენტრალურ ძალთა ველში, სადაც მისი პოტენციური ენერგიაა  $U = k/r^2$ ,  $k$  — დადებითი მუდმივაა,  $r$  — მანძილი ნაწილაკიდან ველის  $O$  ცენტრამდე. იპოვეთ ნაწილაკის მასა, თუ მისი მინიმალური დაშორება  $O$  წერტილამდე,  $r_1$ -ის ტოლია, ხოლო სიჩქარე ამ წერტილიდან მაქსიმალურ მანძილზე  $r_2$  —-ის ტოლია.

1.192. მცირე ზომის ბურთულა ჩამოკიდეს  $O$  წერტილში  $l$  სიგრძის უწონო ძაფით. ბურთულა გადახარეს გვერდზე ისე, რომ ძაფმა ვერტიკალთან შეადგინა  $\varphi$  კუთხე. ამის შემდეგ მას მიანიჭეს ვერტიკალური სიბრტყის (სადაც ძაფია განლაგებული) მართობულად ჰორიზონტალური სიჩქარე როგორი საწყისი სიჩქარე უნდა მიენიჭოთ ბურთულას, რომ მოძრაობისას ძაფის ვერტიკალიდან გადახრის მაქსიმალური კუთხე გახდეს  $\pi/2$ -ის ტოლი?



ნახ. 1.49.

მუდმივი სიჩქარით. იპოვეთ ძაფის  $F$  დაჭიმულობის ძალის დამოკიდებულება  $\varphi$  მანძილზე სხეულიდან ხერხამდე, თუ  $r=r_0$ -ისთვის ძაფის კუთხური სიჩქარე იყო  $\omega$ .

1.194.  $R$ -რადიუსიან მძიმე უძრავ ბლოკზე დახვეულია მსუბუქი უკი-შადი ძაფი, რომლის თავისუფალ ბოლოზე ჩამოკიდებულია  $m$  მასის მცირე ზომის სხეული.  $t=0$  მომენტში სისტემამ დაიწყო მოძრაობა. იპოვეთ მისი იმპულსის მომენტი ბლოკის ღერძის მიმართ, როგორც  $t$  დროის ფუნქცია.

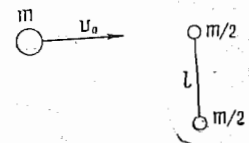
1.195. ჰორიზონტალურად  $\alpha$  კუთხით დახრილ სიბრტყეზე სრიალის გარეშე მიგორავს  $R$  რადიუსისა და  $m$  მასის ერთგვაროვანი სფერო. იპოვეთ სფეროს იმპულსის მომენტის დამოკიდებულება დროზე საწყის მომენტში შეხების წერტილის მიმართ. როგორ შეიცვლება პასუხი, თუ განიხილავთ აბსოლუტურად გლუვ დახრილ სიბრტყეს?

1.196. ნაწილაკთა სისტემას  $O$  წერტილის მიმართ გააჩნია  $p$  იმპულსი და  $M$  იმპულსის მომენტი. იპოვეთ მისი  $M'$  იმპულსის მომენტი  $O'$  წერტილის მიმართ, რომლის მდებარეობა  $O$  წერტილის მიმართ განისაზღვრება  $r_0$  რადიუს-ვექტორით. გამოარკვეთ, რა შემთხვევაში არ იქნება დამოკიდებული ნაწილაკთა სისტემის იმპულსის მომენტი  $O$  წერტილის შერჩევაზე.

1.197. დაამტკიცეთ, რომ ნაწილაკთა სისტემის  $M$  იმპულსის მომენტი  $K$  ათვლის სისტემის  $O$  წერტილის მიმართ გამოისახება შემდეგნაირად:

$$M = \tilde{M} + [r_c p],$$

სადაც  $\tilde{M}$  მისი საკუთარი იმპულსის მომენტია (ინერციის ცენტრთან დაკავშირებულ, წინსვლით მოძრავ ათვლის სისტემაში),  $r_c$  ინერციის ცენტრის რადიუს-ვექტორია  $O$  წერტილის მიმართ, ხოლო  $p$  — ნაწილაკთა სისტემის იმპულსი  $K$  ათვლის სისტემაში.



ნახ. 1.50.

1.198.  $v_0$  სიჩქარით მოძრავ  $m$  მასის ბურთულამ განიცადა ცენტრალური დრეკადი დაჯახება უძრავი ხისტი ჰანტელის ერთ-ერთ ბურთულასთან (ნახ. 1.50). ჰანტელის თითოეული ბურთულას მასაა  $m/2$ , ხოლო მანძილი მათ შორის  $l$ . უგულებელყავით ბურთულების ზომები და იპოვეთ ჰანტელის საკუთარი  $\tilde{M}$  იმპულსის მომენტი დაჯახების შემდეგ, ე. ი. იმპულსის მომენტი ჰანტელის ინერციის ცენტრთან დაკავშირებულ, წინსვლით მოძრავ ათვლის სისტემაში.

1.199. გლუვ ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე მოთავსებულია მცირე ზომის ორი ერთნაირი  $m$  მასის შაბა. შაბები ერთმანეთთან  $x$  სიხისტი-სა და  $l_0$  სიგრძის მსუბუქი არადეფორმირებული ზამბართაა დაკავშირებული. რომელიმე მომენტში ერთ-ერთ შაბას მიანიჭეს ზამბარის მართობულად  $v_0$  ჰორიზონტალური სიჩქარე. იპოვეთ ზამბარის მაქსიმალური



ფარდობითი წაგრძელება მოძრაობისას, თუ ცნობილია, რომ ის გაცდლებით ნაკლებია ერთზე.

#### 1.4. მსოფლიო მიზიდულობა

● მსოფლიო მიზიდულობის კანონი:

$$F = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (1.4a)$$

● მზის გარშემო პლანეტების მიმოქცევის პერიოდების კვადრატები ისე შეეფარდებიან ერთმანეთს, როგორც მათი ორბიტების დიდი ნახევარღერძების კუბები (კეპლერი):

$$T^2 \sim a^3. \quad (1.4b)$$

● წერტილოვანი მასის გრავიტაციული ველის  $G$  დაძაბულობა და  $\varphi$  პოტენციალი:

$$G = -\gamma \frac{m}{r^3} \mathbf{r}, \quad \varphi = -\gamma \frac{m}{r}, \quad (1.4g)$$

● პირველი და მეორე კოსმოსური სიჩქარე:

$$v_1 = \sqrt{gR}, \quad v_2 = \sqrt{2} v_1. \quad (1.4d)$$

1.200.  $M$  მასის პლანეტა მოძრაობს  $v = 34,9$  კმ/წმ სიჩქარით. წრეწირზე მზის გარშემო (ჰელიოცენტრული ათვლის სისტემის მიმართ). იპოვეთ ამ პლანეტის მიმოქცევის პერიოდი მზის გარშემო.

1.201. იუპიტერის მიმოქცევის პერიოდი მზის გარშემო 12-ჯერ მეტია, ვიდრე დედამიწისა. გაითვალისწინეთ, რომ პლანეტების ორბიტები წრიულია და იპოვეთ:

ა) რამდენჯერ მეტია მანძილი იუპიტერიდან მზემდე, ვიდრე მანძილი დედამიწიდან მზემდე;

ბ) იუპიტერის სიჩქარე და აჩქარება ჰელიოცენტრულ ათვლის სისტემაში.

1.202.  $m$  მასის პლანეტა მოძრაობს ელიფსის გასწვრივ მზის გარშემო ისე, რომ მინიმალური მანძილი მზემდე არის  $r$ , მაქსიმალური კი —  $R$ . კეპლერის კანონების დახმარებით იპოვეთ პლანეტის მიმოქცევის პერიოდი.

1.203. მცირე ზომის სხეული იწყებს ვარდნას მზეზე დედამიწის ორბიტის რადიუსის ტოლი მანძილიდან. ჰელიოცენტრულ ათვლის სისტემაში სხეულის საწყისი სიჩქარე ნულის ტოლია. გამოიყენეთ კეპლერის კანონები და იპოვეთ სხეულის ვარდნის დრო.

1.204. წარმოვიდგინოთ მზის სისტემის მოდელი, რომელიც  $\eta$ -ჯერ ნაკლებია ნატურალურ სიდიდეს. მოდელი დამზადებულია იმავე საშუა-

ლო სიმკვრივის მასალისაგან, როგორც აქვთ მზეს და პლანეტებს. როგორ შეიცვლება პლანეტების მოძვლების შესაბამის ორბიტებზე მიმოქცევის პერიოდები?

1.205. ორმაგი ვარსკვლავი წარმოადგენს ინერციის ცენტრის გარშემო ურთიერთმიზიდვის ძალის მოქმედებით მოძრავ ორი ვარსკვლავის სისტემას. იპოვეთ მანძილი ორმაგი ვარსკვლავის კომპონენტებს შორის, თუ მათი საერთო მასაა  $M$ , ხოლო მიმოქცევის პერიოდი —  $T$ .

1.206. იპოვეთ გრავიტაციული ურთიერთქმედების პოტენციური ენერგია:

ა) ერთმანეთისაგან  $r$  მანძილით დაშორებულ  $m_1$  და  $m_2$  მასის ორი მატერიალური წერტილისათვის;

ბ)  $m$  მასის მატერიალური წერტილისა და  $M$  მასისა და  $l$  სიგრძის წვრილი ერთგვაროვანი ლეროსათვის, თუ ისინი იმყოფებიან ერთ წრეზე და დაშორებული არიან  $a$  მანძილით; განსაზღვრეთ აგრეთვე მათი ურთიერთქმედების ძალა.

1.207.  $m$  მასის პლანეტა მოძრაობს ელიფსის გასწვრივ მზის გარშემო ისე, რომ მისი უმცირესი და უდიდესი მანძილები შესაბამისად  $r_1$  და  $r_2$ -ის ტოლია. იპოვეთ ამ პლანეტის  $M$  იმპულსის მომენტი მზის ცენტრის მიმართ.

1.208. მუდმივობის კანონების გამოყენებით დაამტკიცეთ, რომ მზის გარშემო ელიფსის გასწვრივ მოძრავი  $m$  მასის პლანეტის სრული მექანიკური ენერგია დამოკიდებულია მხოლოდ მის  $a$  დიდ ნახევარღერძზე. გამოიყენეთ აღნიშნული ენერგიის  $a$ -ზე დამოკიდებულების ფორმულა.

1.209.  $A$  პლანეტა მოძრაობს მზის გარშემო ელიფსური ორბიტის გასწვრივ როცა ის იმყოფებოდა მზიდან  $r_0$  მანძილზე, მისი სიჩქარე იყო  $v_0$ . ხოლო კუთხე  $r_0$  რადიუს-ვექტორსა და სიჩქარის ვექტორს შორის  $\alpha$ . იპოვეთ პლანეტის უმცირესი და უდიდესი დაშორება მზიდან.

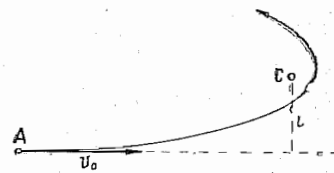
1.210.  $A$  კოსმოსური სხეული იწყებს მოძრაობას  $C$  მზისკენ. სხეულის საწყისი სიჩქარეა  $v_0$ , ხოლო  $v_0$  ვექტორის მხარი მზის ცენტრის მიმართ, ანუ სამიზნე პარამეტრი არის  $l$  (ნახ. 1.51). იპოვეთ ის უმცირესი მანძილი, რომელზეც მიუახლოვდება სხეული მზეს.

1.211.  $m$  მასის ნაწილაკი  $r$  მანძილითაა დაშორებული  $M$  მასის ერთგვაროვანი სფეროს ცენტრიდან. იპოვეთ:

ა) ნაწილაკისა და სფეროს გრა-

ვიტაციული ურთიერთქმედების პოტენციური ენერგია;

ბ) სფეროს მხრიდან ნაწილაკზე მოქმედი მიზიდულობის ძალა.



ნახ. 1.51.



1.212. დაამტკიცეთ, რომ  $A$  ნაწილაკზე მოქმედი მიზიდულობის ძალა წელის ტოლია, თუ ნაწილაკი ერთგვაროვანი სფერული ფენის შიგნითაა მოთავსებული.

1.213.  $m$  მასის ნაწილაკი გადაადგილეს  $R$  რადიუსისა და  $M$  მასის ერთგვაროვანი ნახევარსფეროს ფუძის ცენტრიდან უსასრულობაში. რა მუშაობა შესრულა ამ დროს ნახევარსფეროს მხრიდან ნაწილაკზე მოქმედმა გრავიტაციულმა ძალამ?

1.214. მოცემულია  $R$  რადიუსისა და  $M$  მასის ერთგვაროვანი სფერო. იპოვეთ ამ სფეროს გრავიტაციული ველის  $G$  დაძაბულობისა და  $\varphi$  პოტენციალის დამოკიდებულება  $r$  მანძილზე, რომელიც ათვლილია სფეროს ცენტრიდან ( $r < R$  და  $r > R$  მანძილებისათვის). გამოსახეთ  $G(r)$  და  $\varphi(r)$  დამოკიდებულებების მიახლოებითი გრაფიკები.

1.215.  $\rho$  სიმკვრივის ერთგვაროვანი სფეროს შიგნით მოცემულია სფერული სიღრმე, რომლის ცენტრი  $l$  მანძილითაა დაშორებული სფეროს ცენტრიდან. იპოვეთ მიზიდულობის ველის  $G$  დაძაბულობა სიღრმეში.

1.216. მოცემულია  $R$  რადიუსისა და  $M$  მასის ერთგვაროვანი სფერო. იპოვეთ გრავიტაციული შეკუმშვით გამოწვეული  $p$  წნევა სფეროს შიგნით, როგორც  $r$  მანძილის ფუნქცია მისი ცენტრიდან. გაითვალისწინეთ, რომ დედამიწა წარმოადგენს ერთგვაროვან სფეროს და შეფასეთ  $p$ -ს მნიშვნელობა მის ცენტრში.

1.217. იპოვეთ ნივთიერების გრავიტაციული ურთიერთქმედების საკუთარი პოტენციალური ენერგია, თუ ის წარმოადგენს:

ა)  $R$  რადიუსისა და  $m$  მასის თხელ ერთგვაროვან სფერულ ფენას;

ბ)  $R$  რადიუსისა და  $m$  მასის ერთგვაროვან სფეროს (ისარგებლეთ 1.214 ამოცანის პასუხით).

1.218. დედამიწის ორი თანამგზავრი მოძრაობს წრიულ ორბიტაზე ერთ სიბრტყეში. ერთი თანამგზავრის ორბიტის რადიუსი  $r = 7000$  კმ-ია, ხოლო მეორესი  $\Delta r = 70$  კმ-ით ნაკლები. დროის როგორი შუალედის შემდეგ დაიწყებენ თანამგზავრები პერიოდულად მიახლოებას ერთმანეთთან მინიმალურ მანძილზე?

1.219. იპოვეთ: დედამიწის ზედაპირზე მიზიდულობის ძალით გამოწვეული  $w_1$  აჩქარების, დედამიწის ეკვატორზე ინერციის ცენტრიდანული ძალით გამოწვეული  $w_2$  აჩქარებისა და მზის მოქმედების შედეგად დედამიწაზე მყოფი სხეულების  $w_3$  აჩქარების ზეფარდება.

1.220. რა სიმაღლეზე მცირდება თავისუფალი ვარდნის აჩქარება დედამიწის პოლუსზე ერთი პროცენტით; ორჯერ?

1.221. დედამიწის პოლუსზე სხეულს მიაჩიქეს ვერტიკალურად ზევით მძიმართული  $v_0$  სიჩქარე. იპოვეთ სხეულის ასვლის სიმაღლე, თუ ცნობილია დედამიწის რადიუსი და თავისუფალი ვარდნის აჩქარება მის ზედაპირზე. პაერის წინააღმდეგობა უგულებელყოფილია.

1.222. ხელოვნური თანამგზავრი გაიყვანეს  $v$  სიჩქარით დედამიწის გარშემო წრიულ ორბიტაზე დედამიწის ბრუნვის ლერძთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემის მიმართ, რომელიც ასრულებს გადატანით მოძრაობას. იპოვეთ მანძილი თანამგზავრიდან დედამიწის ზედაპირამდე. ცნობილია დედამიწის რადიუსი და თავისუფალი ვარდნის აჩქარება მის ზედაპირზე.

1.223. გამოთვალეთ დედამიწის სტაციონარული თანამგზავრის წრიული ორბიტის რადიუსი, თუ ის უძრავი რჩება დედამიწის ზედაპირის მიმართ. როგორია მისი სიჩქარე და აჩქარება დედამიწის ცენტრთან დაკავშირებულ ათვლის ინერციული სისტემის მიმართ მოცემულ მომენტში.

1.224. დედამიწის ეკვატორულ სიბრტყეში  $R = 2.00 \cdot 10^4$  კმ რადიუსის წრიულ ორბიტაზე დასავლეთიდან აღმოსავლეთით მოძრავი თანამგზავრი მოჩანს ეკვატორის რომელიმე პუნქტში ყოველ  $\tau = 11,6$  სთ-ის შემდეგ. ამ მონაცემების საფუძველზე გამოთვალეთ დედამიწის მასა. ცნობილია გრავიტაციული მუდმივა.

1.225. თანამგზავრი მოძრაობს დედამიწის ეკვატორულ სიბრტყეში  $R = 1.00 \cdot 10^4$  კმ რადიუსის წრიულ ორბიტაზე აღმოსავლეთიდან დასავლეთისაკენ. იპოვეთ მისი სიჩქარე და აჩქარება დედამიწასთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემის მიმართ.

1.226. რა სიჩქარე უნდა მივანიჭოთ სხეულს პორიზონტალური მიმართულებით დედამიწის ზედაპირის მახლობლად მის პოლუსთან, რომ ის გაიყვანოთ დიდი  $a$  ნახევარღერძის მქონე ელიფსურ ორბიტაზე?

1.227. მთვარის ხელოვნური თანამგზავრი მოძრაობს წრიულ ორბიტაზე, რომლის რადიუსი  $\eta$ -ჯერ მეტია მთვარის რადიუსზე. მოძრაობის დროს თანამგზავრი განიცდის სუსტ წინააღმდეგობას კოსმოსური მტვრის მხრიდან. იპოვეთ თანამგზავრის მოძრაობის დრო მთვარის ზედაპირზე დაცემის მომენტამდე, თუ წინააღმდეგობის ძალა  $F = \alpha v^2$  კანონითაა დამოკიდებული თანამგზავრის სიჩქარეზე. აქ  $\alpha$  მუდმივაა.

1.228. გამოთვალეთ პირველი და მეორე კოსმოსური სიჩქარე მთვარისათვის. შეადარეთ მიღებული შედეგები შესაბამის სიჩქარეებთან დედამიწისათვის.

1.229. კოსმოსური ხომალდი უახლოვდება მთვარეს პარაბოლური ტრაექტორიით, რომელიც თითქმის ეხება მთვარის ზედაპირს. მთვარესთან მაქსიმალური მიახლოებისას მოკლე ხნით ჩართეს სამუხრატე ძრავა და ხომალდი გადავიდა მთვარის თანამგზავრის წრიულ ორბიტაზე. იპოვეთ ხომალდის სიჩქარის მოდულის ნაზრდი დამუხრატეებისას.

1.230. კოსმოსური ხომალდი გაიყვანეს წრიულ ორბიტაზე დედამიწის ზედაპირის მახლობლად. როგორი დამატებითი სიჩქარე უნდა მივანიჭოთ ხომალდს, რომ მან შეძლოს დედამიწის მიზიდულობის დაძლევა?

1.231. მთვარის ცენტრიდან რა მანძილზე იმყოფება წერტილი, რომელიც

მელშიც დედამიწისა და მთვარის მიზიდულობის ჯამური ველის დაძაბულობა ნულის ტოლია? ჩათვალოთ, რომ დედამიწის მასა  $\eta = 81$ -ჯერ მეტია მთვარის მასაზე, ხოლო მანძილი მათ ცენტრებს შორის  $n = 60$ -ჯერ მეტია დედამიწის  $R$  რადიუსზე.

1.232. რა მინიმალური მუშაობა უნდა შესრულდეს  $m = 2,0 \cdot 10^3$  კგ მასის კოსმოსური ხომალდის გასაყვანად დედამიწის ზედაპირიდან მთვარემდე?

1.233. იპოვეთ, მიახლოებით, მესამე კოსმოსური სიჩქარე  $v_3$ , ე. ი. ის უმცირესი სიჩქარე, რომელიც უნდა მივანიჭოთ სხეულს დედამიწის ზედაპირის მიმართ, რომ მან შეძლოს მზის სისტემის დატოვება. დედამიწის ბრუნვა თავისი ღერძის გარშემო უგულებელყოფილია.

### 1.5. მყარი სხეულის დინამიკა

☉ უძრავი  $Z$  ღერძის გარშემო მბრუნავი მყარი სხეულის დინამიკის განტოლება:

$$I\beta_z = N_z, \quad (1.5 \text{ ა})$$

სადაც  $N_z$  არის  $Z$  ღერძის მიმართ გარეშე ძალების მომენტების ალგებრული ჯამი.

☉ შტეინერის თეორემის თანახმად:

$$I = I_c + ma^2. \quad (1.5 \text{ ბ})$$

☉ უძრავი ღერძის გარშემო მბრუნავი მყარი სხეულის კინეტიკური ენერგია:

$$T = \frac{1}{2} I \omega^2. \quad (1.5 \text{ გ})$$

☉ გარეშე ძალების მუშაობა უძრავი ღერძის გარშემო მყარი სხეულის მოძრაობის დროს:

$$A = \int N_z d\varphi \quad (1.5 \text{ დ})$$

☉ მყარი სხეულის კინეტიკური ენერგია ბრტყელი მოძრაობის დროს:

$$T = \frac{I_c \omega^2}{2} + \frac{mv_c^2}{2}. \quad (1.5 \text{ ე})$$

☉ კავშირი გიროსკოპის პრეცესიის  $\vec{\omega}'$  კუთხურ სიჩქარეს,  $I\omega$ -ის ტოლი მისი  $M$  იმპულსის მომენტსა და გარეშე ძალების  $N$  მომენტს შორის:

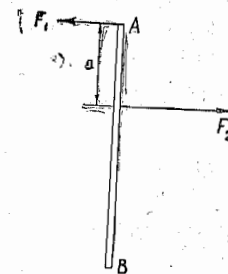
$$[\vec{\omega}', \vec{M}] = \vec{N}. \quad (1.5 \text{ ვ})$$

1.234.  $m = 1,0$  კგ მასის წვრილი ერთგვაროვანი  $AB$  ღერო ორი ანტიპარალელური  $F_1$  და  $F_2$  ძალების მოქმედებით ასრულებს გადატანით მოძრაობას  $w = 2,0$  მ/წმ<sup>2</sup> აჩქარებით (ნახ. 1.52). მანძილი ძალების მოდების წერტილებს შორის  $a = 20$  სმ-ია. იპოვეთ ღეროს სიგრძე თუ  $F_2 = 5,0$  ნ-ს.

1.235. წერტილზე, რომლის რადიუს-ვექტორი კოორდინატთა  $O$  სა-

თავის მიმართ არის  $r = ai + bj$ , მოდებულია  $F = Ai + Bj$  ძალა, სადაც  $a, b, A, B$  მუდმივებია, ხოლო  $i$  და  $j$   $x$  და  $y$  ღერძების ორთები. იპოვეთ  $F$  ძალის  $N$  მომენტი და  $l$  მხარი  $O$  წერტილის მიმართ.

1.236.  $r_1 = ai$  რადიუს-ვექტორის მქონე წერტილზე მოდებულია  $F_1 = Aj$  ძალა,  $r_2 = bj$  რადიუს-ვექტორის მქონე წერტილზე კი  $F_2 = Bi$  ძალა. ორივე რადიუს-ვექტორი განსაზღვრულია კოორდინატთა  $O$  სათავის მიმართ,  $i$  და  $j$   $x$  და  $y$  ღერძების ორთები, ხოლო  $a, b, A$  და  $B$ —მუდმივები. იპოვეთ ტოლქმედი ძალის მხარი  $O$  წერტილის მიმართ.

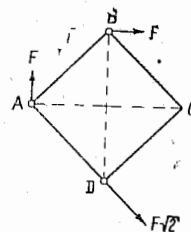


ნახ. 1.52.

1.237. კვადრატულ ფირფიტაზე მოდებულია სამი ძალა (ნახ. 1.53). იპოვეთ ტოლქმედი ძალის მოდული, მიმართულება და ზოდების წერტილი, თუ ის  $BC$  გვერდზეა აღებული.

1.238. იპოვეთ ინერციის მომენტი:

ა)  $m$  მასისა და  $l$  სიგრძის წვრილი ერთგვაროვანი ღეროსათვის მის ერთ-ერთ ბოლოზე მართობულად გამავალი ღერძის მიმართ;



ნახ. 1.53.

ბ)  $m$  მასის,  $a$  და  $b$  გვერდების მქონე თხელი ერთგვაროვანი მართკუთხა ფირფიტისათვის მის ერთ-ერთ წვეროზე, ფირფიტის სიბრტყის მართობულად გამავალი ღერძის მიმართ.

1.239. გამოთვალეთ ინერციის მომენტი:

ა)  $R = 100$  მმ რადიუსისა და  $h = 2,00$  მმ სისქის სპილენძის ერთგვაროვანი დისკოსათვის მისი სიბრტყის მართობული სიმეტრიის ღერძის მიმართ;

ბ)  $m$  მასის და  $R$  რადიუსიანი ფუძის ერთგვაროვანი კონუსისათვის, მისი სიმეტრიის ღერძის მიმართ.

1.240. აჩვენეთ, რომ ნებისმიერი ფორმის თხელი ფირფიტისათვის ადგილი აქვს შემდეგ კავშირს ინერციის მომენტებს შორის:  $I_1 + I_2 = I_3$ , სადაც 1, 2, 3 ერთ წერტილზე გამავალი სამი ურთიერთმართობი ღერძია, თანაც 1 და 2 ღერძები ფირფიტის სიბრტყეში მდებარეობენ. გამოიყენეთ ეს კავშირი და იპოვეთ  $m$  მასისა და  $R$  რადიუსის მქონე თხელი ერთგვაროვანი მრგვალი დისკოს ინერციის მომენტი მის ერთ-ერთ დიამეტრთან თანხვედნითი ღერძის მიმართ.

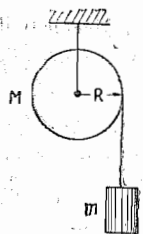
1.241.  $R = 20$  სმ რადიუსის ერთგვაროვან დისკოს აქვს მრგვალი ამონაჭერი (ნახ. 1.54), დისკოს დანარჩენი (დაშტრიხული) ნაწილის მასა  $m = 7,3$  კგ-ია. იპოვეთ ასეთი დისკოს ინერციის მომენტი მისი სიბრტყის მართობულად და ინერციის ცენტრზე გამავალი ღერძის მიმართ.

1.242. ერთგვაროვანი სფეროს ინერციის მომენტის ფორმულის დახმარებით იპოვეთ  $m$  მასისა და  $R$  რადიუსის მქონე თხელი სფერული ფენის ინერციის მომენტი მის ცენტრზე გაშვებული ღერძის მიმართ.

1.243.  $M$  მასისა და  $R$  რადიუსის ერთგვაროვან ცილინდრზე დახვეულია მსუბუქი ძაფი, რომლის ბოლოზე  $m$  მასის სხეულია მიმაგრებული (ნახ. 1.55).  $t=0$  მომენტში სისტემა ამოძრავდა. ცილინდრის ღერძში ხახუნის უგულებელყოფილია. იპოვეთ:

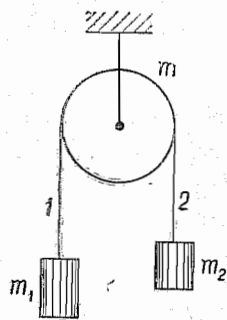
- ცილინდრის კუთხური სიჩქარისა და
- მთელი სისტემის კინეტიკური ენერგიის დამოკიდებულება დროზე.

1.244.  $r$  რადიუსის მაქსველის დისკოს ღერძზე მჭიდროდ დახვეული წვრილი ძაფების ბოლოებზე მიმაგრებულია ჰორიზონტალური თამასა. დისკოს ბრუნვის დაწყებასთან ერთად თამასას ამოძრავებენ ზევით ისე, რომ დისკო რჩება ერთსა და იმავე სიმაღლეზე. დისკოს მასა ღერძთან ერთად  $m$ -ის ტოლია, ხოლო ხელსაწყო ინერციის მომენტი მისი ღერძის მიმართ არის  $J$ . იპოვეთ თითოეული ძაფის დაჭიმულობა და თამასას აჩქარება.

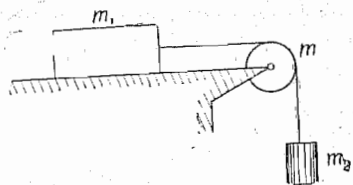


ნახ. 1.55.

1.245.  $m$  მასისა და  $l$  სიგრძის წვრილ ერთგვაროვან ჰორიზონტალურ  $AB$  ღეროს შეუძლია ბრუნვა მის  $A$  ბოლოზე გამავალი ვერტიკალური ღერძის გარშემო. რომელიმე მომენტში  $B$  ბოლოზე დაიწყო მოქმედება  $F$  ძალამ, რომელიც ყოველთვის უძრავი ღეროს საწყისი მდებარეობის პერპენდიკულარულია და მიმართულია ჰორიზონტალურ სიბრტყეში. იპოვეთ ღეროს კუთხური სიჩქარის დამოკიდებულება საწყისი მდებარეობიდან მობრუნების  $\varphi$  კუთხეზე.

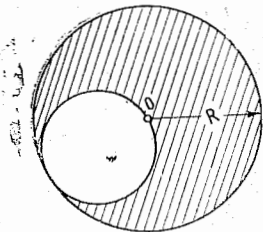


ნახ. 1.56.



ნახ. 1.57.

1.246. 1.56 ნახაზზე ნაჩვენებ დანადგარში ცნობილია ერთგვაროვანი ცილინდრის  $m$  მასა, მისი  $R$  რადიუსი და სხეულთა  $m_1$  და  $m_2$  მასები.

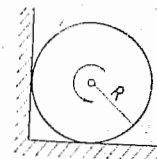


ნახ. 1.54.

ძაფის სრიალი და ცილინდრის ღერძში ხახუნის უგულებელყოფილია. იპოვეთ ცილინდრის კუთხური აჩქარება და ძაფის ვერტიკალური უბნების დაჭიმულობების  $T_1/T_2$  შეფარდება მოძრაობისას. დარწმუნდით, რომ როცა  $m \rightarrow 0$ ,  $T_1 = T_2$ .

1.247. სისტემაში (ნახ. 1.57) ცნობილია სხეულთა  $m_1$  და  $m_2$  მასები, ხახუნის  $\mu$  კოეფიციენტი  $m_1$  სხეულსა და ჰორიზონტალურ სიბრტყეს შორის, აგრეთვე ბლოკის  $m$  მასა, რომელიც შეიძლება ჩავთვალოთ ერთგვაროვან დისკოდ. ძაფი არ სრიალებს ბლოკზე.  $t=0$  მომენტში  $m_2$  სხეული იწყებს დაშვებას, იპოვეთ მოძრაობის დაწყებიდან პირველ  $t$  წამში  $m_1$  სხეულზე მოქმედი ხახუნის ძალის მუშაობა, თუ ძაფის მასა და ხახუნის ბლოკის ღერძში უგულებელყოფილია.

1.248.  $R$  რადიუსიანი ერთგვაროვანი ცილინდრი დააბრუნეს თავისი ღერძის გარშემო  $\alpha_0$  კუთხურ სიჩქარეზე და მოათავსეს კუთხეში (ნახ. 1.58). კუთხის კედლებსა და ცილინდრის შორის ხახუნის კოეფიციენტი  $\mu$ . რამდენ ბრუნს შეასრულებს ცილინდრი გაჩერებამდე?

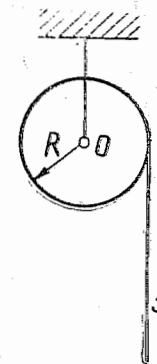


ნახ. 1.58.

1.249.  $R$  რადიუსიანი ერთგვაროვანი დისკო დააბრუნეს  $\omega$  კუთხურ სიჩქარეზე და ფრთხილად დადეს ჰორიზონტალურ ზედაპირზე. რამდენ ხანს იბრუნებს დისკო ზედაპირზე, თუ ხახუნის კოეფიციენტი  $\mu$ ? დისკოს წნევა ზედაპირზე თანაბარია.

1.250. საწყისი  $\alpha_0$  კუთხური სიჩქარის მქონე მქნევარა მუხრუჭდება ისეთი ძალების მოქმედებით, რომელთა მომენტი მისი ღერძის მიმართ  $\sqrt{t}$ -ის პროპორციულია, სადაც  $t$  კუთხური სიჩქარეა. იპოვეთ მქნევარას საშუალო კუთხური სიჩქარე დამუხრუჭების მთელი დროის განმავლობაში.

1.251.  $R$  რადიუსისა და  $M$  მასის ერთგვაროვან ცილინდრს შეუძლია ბრუნვა უძრავი ჰორიზონტალური  $O$  ღერძის გარშემო (ნახ. 1.59). ცილინდრზე ერთ მწკრივად დახვეულია  $m$  მასისა და  $l$  სიგრძის წვრილი ზონარი. იპოვეთ ცილინდრის კუთხური აჩქარების დამოკიდებულება ზონარის ჩამოშვებული ნაწილის  $x$  სიგრძეზე. გაითვალისწინეთ, რომ ზონარის დახვეული ნაწილის სიმძიმის ცენტრი ცილინდრის ღერძზეა.

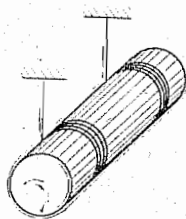


ნახ. 1.59.

1.252. ჰორიზონტალურად  $\alpha$  კუთხით დახრილ სიბრტყეზე სრიალის გარეშე მიგორავს  $m$  მასისა და  $R$  რადიუსის მქონე ერთგვაროვანი სფერო. იპოვეთ:

- ხახუნის კოეფიციენტის ის მნიშვნელობები, რომელთათვისაც მოძრაობა სრულდება სრიალის გარეშე;

ბ) სფეროს კინეტიკური ენერგია მოძრაობის დაწყებიდან  $t$  წამის შემდეგ.  
**1.253.**  $m=8,0$  კგ მასისა და  $R=1,3$  სმ რადიუსის ერთგვაროვანი ცილინდრი (ნახ. 1.60)  $t=0$  მომენტში იწყებს დაშვებას სიმძიმის ძალის მოქმედებით. უგულვებელყავით ძაფის მასა და იპოვეთ:

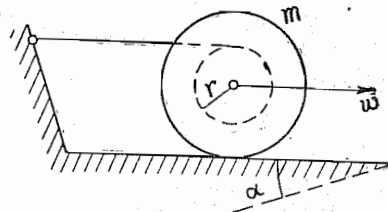


ნახ. 1.60.

ა) თითოეული ძაფის დაჭიმულობა და ცილინდრის კუთხური სიჩქარე;

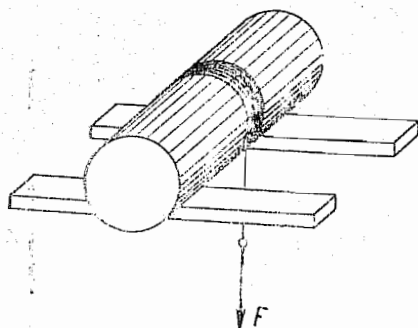
ბ) სიმძიმის ძალის მიერ განვითარებული მყისი სიმძლავრის დამოკიდებულება დროზე.

**1.254.**  $m$  მასის ერთგვაროვანი ცილინდრის ბოლოებზე მჭიდროდაა დახვეული წვრილი ძაფები. ძაფების თავისუფალი ბოლოები მიმაგრებულია ლიფტის კაბინის ჭერზე. კაბინამ დაიწყო ასვლა  $w_0$  აჩქარებით. იპოვეთ ცილინდრის  $w'$  აჩქარება კაბინის მიმართ და  $F$  ძალა, რომლითაც ცილინდრი მოქმედებს (ძაფების საშუალებით) ჭერზე.



ნახ. 1.61.

**1.255.** პორიზონტისადმი  $\alpha=30^\circ$  კუთხით დახრილ გლზე სიბრტყეზე მოთავსებულია ძაფიანი კოჭა. ძაფის თავისუფალი ბოლო დამაგრებულია (ნახ. 1.61). კოჭას მასა  $m=200$  გ, მისი ინერციის მომენტი საკუთარი ღერძის მიმართ  $I=0,45$  გ. მ<sup>2</sup>, დახვეული ძაფის ფენის რადიუსი  $r=3,0$  სმ. იპოვეთ კოჭას ღერძის აჩქარება.



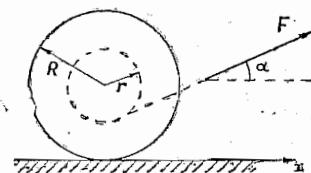
ნახ. 1.62.

თუ  $k$  არის ხახუნის კოეფიციენტი ცილინდრსა და ძელებს შორის.

**1.256.**  $m$  მასის ერთგვაროვანი ცილინდრი ორ პორიზონტალურ ძელზეა მოთავსებული. ცილინდრზე დახვეულია ძაფი, რომლის ჩამოკიდებულ ბოლოს ეწევიან  $F$  მუდმივი ვერტკალური ძალით (ნახ. 1.62). იპოვეთ  $F$  ძალის მაქსიმალური მნიშვნელობა, რომლის დროსაც ცილინდრი იგორებს ჯერ კიდევ სრიალის გარეშე.

რის. რა მაქსიმალურა  $w_{\max}$  აჩქარებით გადაადგილდება ცილინდრის ღერძი?

**1.257.**  $m$  მასის ძაფიანი კოჭა დევს ხორკლიან პორიზონტალურ სიბრტყეზე. მისი ინერციის მომენტი საკუთარი ღერძის მიმართ  $I=\gamma m R^2$ , სადაც  $\gamma$  რიცხვითი კოეფიციენტი,  $R$ —კოჭას გარე რადიუსი. დახვეული ძაფის ფენის რადიუსია  $r$ . ძაფზე პორიზონტისადმი  $\alpha$  კუთხით მიმართული მუდმივი  $F$  ძალის მოქმედების შემდეგ კოჭამ დაიწყო მოძრაობა სრიალის გარეშე (ნახ. 1.63), იპოვეთ:



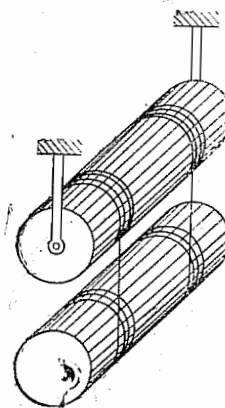
ნახ. 1.63.

ა) კოჭას ღერძის აჩქარების ვექტორის გვემილი  $x$  ღერძზე;

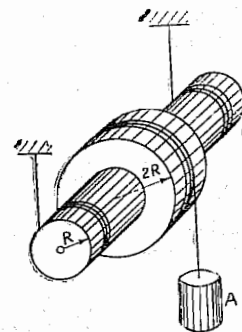
ბ)  $F$  ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა მოძრაობის დაწყებიდან პირველი  $t$  წამის შემდეგ.

**1.258.** დანადგარი (ნახ. 1.64) შედგება  $m$  მასის ორი ერთნაირი ერთგვაროვანი ცილინდრისაგან, რომლებზეც სიმეტრიულად დახვეულია ორი მჩატე ძაფი. იპოვეთ თითოეული ძაფის დაჭიმულობა მოძრაობისას. ზედა ცილინდრის ღერძში ხახუნი უგულვებელყოფილია.

**1.259.** სისტემაში (ნახ. 1.65) ცნობილია  $A$  ტვირთის  $m$  მასა,  $B$  ბლოკის  $M$  მასა, უკანასკნელის ინერციის  $I$  მომენტი საკუთარი ღერძის



ნახ. 1.64.



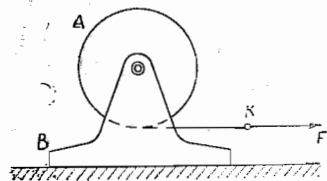
ნახ. 1.65.

მიმართ და ბლოკის რადიუსები  $R$  და  $2R$ . ძაფის მასა უგულვებელყოფილია. იპოვეთ  $A$  ტვირთის აჩქარება სისტემის ამოძრაობის შემდეგ.

**1.260.**  $m_1$  მასის ერთგვაროვან  $A$  ცილინდრს თავისუფლად შეუძლია



ბრუნვა ჰორიზონტალური ღერძის გარშემო, რომელიც  $m_2$  მასის  $B$  ქვე-სადგამზეა დამაგრებული (ნახ. 1.66). ცილინდრზე მჭიდროდაა დახვეული მსუბუქი ძაფი, რომლის  $K$  ბოლოზე მოდებულია მუდმივი ჰორიზონტალური ძალა  $F$ . ხახუნი ჰორიზონტალურ სიბრტყესა და ქვესადგამს შორის უვლებელყოფილია. იპოვეთ:



ნახ. 1.66.

- ა)  $K$  წერტილის აჩქარება;
- ბ) სისტემის კინეტიკური ენერგია მოძრაობის დაწყებიდან  $t$  წამის შემდეგ.

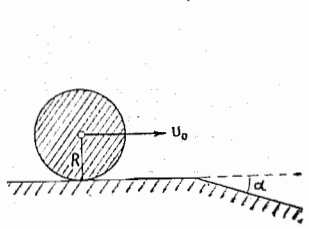
**1.261.** გლუვ ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე დევს  $m_1$  მასის ფიცარი და მასზე  $m_2$  მასის ერთგვაროვანი სფერო. ფიცარზე მოქმედებენ  $F$  მუდმივი ჰორიზონტალური ძალით. იპოვეთ ფიცარისა და სფეროს აჩქარებები, თუ მათ შორის სრიალი უგულებელყოფილია.

**1.262.**  $m$  მასისა და  $R$ -რადიუსიანი ერთგვაროვანი ცილინდრი დააბრუნეს  $\omega_0$  კუთხური სიჩქარით საკუთარი ღერძის გარშემო და გვერდითი ზედაპირით მოათავსეს ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე. ცილინდრსა და სიბრტყეს შორის ხახუნის კოეფიციენტი  $k$ . იპოვეთ:

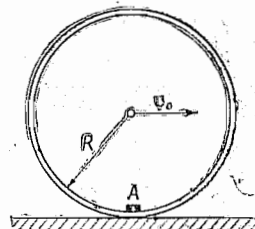
- ა) დრო, რომლის განმავლობაშიც ცილინდრი იმოძრაებს სრიალით;
- ბ) ცილინდრზე მოქმედი სრიალის ხახუნის ძალის სრული მუშაობა.

**1.263.**  $r$ -რადიუსიანი ერთგვაროვანი ბირთვის სრიალის გარეშე მოგორავს  $R$  რადიუსის სფეროს წვეროდან. იპოვეთ ბირთვის კუთხური სიჩქარე სფეროდან მოწყვეტის შემდეგ. ბირთვის საწყისი სიჩქარე შეუმჩნეველად მცირეა.

**1.264.**  $R=15$  სმ-რადიუსიანი ერთგვაროვანი ცილინდრი მიგორავს ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე, რომელიც გადადის ჰორიზონტალში  $\alpha=30^\circ$ -ით დახრილ სიბრტყეში (ნახ. 1.67). იპოვეთ  $r_0$  სიჩქარის ის მაქსიმალური მნიშვნელობა, რომლის დროსაც ცილინდრი ნახტომის გარეშე გადავა დახრილ სიბრტყეზე. სრიალი უგულებელყავით.



ნახ. 1.67.

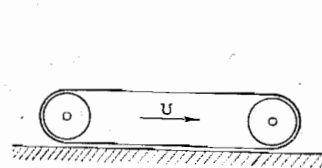


ნახ. 1.68.

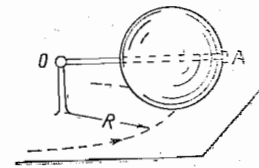
**1.265.**  $R$ -რადიუსიანი თხელი ხისტი სალტის შიგა ზედაპირზე მიმაგრებულია იმავე მასის მცირე ზომის  $A$  სხეული (ნახ. 1.68). სალტე მოძრაობს სრიალის გარეშე ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე ისე, რომ, როდესაც  $A$

სხეული ქვედა მდებარეობაშია, სალტის ცენტრის სიჩქარე  $v_0$ -ის ტოლია  $v_0$ -ის რა მნიშვნელობისათვის არ იხტუნავებს სალტე?

**1.266.** იპოვეთ  $v$  სიჩქარით მოძრაავი ტრაქტორის კინეტიკური ენერგია, თუ მუხლუხას მასაა  $m$  (ნახ. 1.69).



ნახ. 1.69.



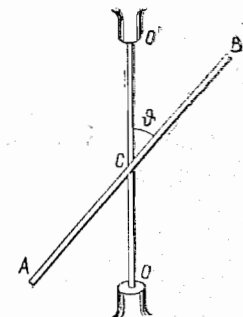
ნახ. 1.70.

**1.267.** ჰორიზონტალური  $OA$  ღერძის გარშემო მბრუნავი  $m$  მასისა და  $r$ -რადიუსიანი ერთგვაროვანი სფერო სრიალის გარეშე მიგორავს ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე (ნახ. 1.70). ამ დროს სფეროს ცენტრი  $v$  სიჩქარით მოძრაობს  $R$ -რადიუსიან წრეწირზე. იპოვეთ სფეროს კინეტიკური ენერგია.

**1.268.** დაამტკიცეთ, რომ  $m$  მასის სხეულზე, უძრავი ღერძის გარშემო  $\omega$  მუდმივი კუთხური სიჩქარით მბრუნავ ათვლის სისტემაში მოქმედებს:

- ა) ინერციის  $F_{in} = m\omega^2 R_c$  ცენტრიდანული ძალა, სადაც  $R_c$  სხეულის ინერციის ცენტრის რადიუს-ვექტორია ბრუნვის ღერძის მიმართ;
- ბ) კორიოლისის  $F_{cor} = 2m[v_c \omega]$  ძალა, სადაც  $v_c$  სხეულის ინერციის სიჩქარეა მბრუნავ ათვლის სისტემაში.

**1.269.**  $m$  მასისა და  $l$  სიგრძის წვრილი ერთგვაროვანი  $AB$  ღეროს შუაგული ხისტადაა დამაგრებული  $OO'$  ბრუნვის ღერძზე (ნახ. 1.17). ღეროს აბრუნებენ მუდმივი  $\omega$  კუთხური სიჩქარით. იპოვეთ ინერციის ცენტრიდანული ძალების ჯამური მომენტი  $C$  წერტილის მიმართ  $OO'$  ღერძთან და ღეროსთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში.



ნახ. 1.71.

**1.270.**  $m$  მასისა და  $l$  სიგრძის წვრილი ერთგვაროვანი ღერო წარმოადგენს კონუსურ საქანს. ღერო თანაბრად ბრუნავს  $\omega$  კუთხური სიჩქარით ვერტიკალური ღერძის გარშემო (ღეროს ზედა ბოლო სახსრულადაა დამაგრებული). იპოვეთ კუთხე  $\varphi$  ღეროსა და ვერტიკალს შორის.

**1.271.**  $\alpha$ -გვერდიანი ერთგვაროვანი კუბურა მოთავსებულია  $k$  ხახუნის კოეფიციენტის მქონე ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე. კუბურას მაინიუმსაწყისი სიჩქარე, რის შემდეგ მან სიბრტყეზე გაიარა გარკვეული მანძილი.

და გაჩერდა. ახსენით კუბურას იმპულსის მომენტის გაქრობა იმ ღერძის მიმართ, რომელიც სიბრტყეზე მდებარეობს და კუბურას მოძრაობის მიმართულების მართობულია. იპოვეთ მანძილი სიმძიმის ძალისა და სიბრტყის მხრიდან მოქმედი ნორმალური წნევის ძალის ტოლქმედებს შორის.

1.272.  $M$  მასისა და  $l$  სიგრძის გლუვი ერთგვაროვანი  $AB$  ღერო თავისუფლად ბრუნავს  $\omega$  კუთხური სიჩქარით ჰორიზონტალურ სიბრტყეში მის  $A$  ბოლოზე გამავალი უძრავი ვერტიკალური ღერძის გარშემო.  $A$  წერტილიდან ღეროზე იწყებს სრიალს  $m$  მასის მცირე ქურო. იპოვეთ ქუროს  $v'$  სიჩქარე ღეროს მიმართ,  $B$  ბოლოს მიღწევის მომენტში.

1.273. გლუვ ჰორიზონტალურ ზედაპირზე დევს  $m=5,0$  კგ მასისა და  $l=90$  სმ სიგრძის ერთგვაროვანი ღერო. ღეროს ერთ-ერთ ბოლოს უბიძგეს მისდამი მართობული ჰორიზონტალური მიმართულებით, ღეროს შედეგად ღეროს გადაეცა  $p=3,0$  ნ.წმ იმპულსი. როგორი ძალა იმოქმედებს ღეროს ერთი ნახევრიდან მეორე ნახევარზე მოძრაობის პროცესში?

1.274.  $l$  გვერდისა და  $M$  მასის თხელი ერთგვაროვანი კვადრატული ფორმის ფირფიტას შეუძლია თავისუფლად იბრუნოს მისი გვერდის თანხედენილი უძრავი ვერტიკალური ღერძის გარშემო. ფირფიტის ცენტრს, მისი ნორმალის გასწვრივ, ღრეკადად ეჯახება  $v$  სიჩქარით მოძრავი  $m$  მასის ბურთულა. იპოვეთ:

- ბურთულას  $v'$  სიჩქარე დაჯახების შემდეგ;
- ჯამური ძალის ჰორიზონტალური მდგენელი, რომლითაც ღერძი იმოქმედებს ფირფიტაზე დაჯახების შემდეგ.

1.275.  $M$  მასისა და  $l$  სიგრძის ერთგვაროვანი ვერტიკალურ ღეროს შეუძლია ბრუნვა თავის ზედა ბოლოს გარშემო. ღეროს ქვედა ბოლოში, მოხვედრის შემდეგ, ჩარჩა  $m$  მასის ჰორიზონტალურად მოძრავი ტყვია, რის შედეგად ღერო გადაიხარა  $\alpha$  კუთხით. გაითვალისწინეთ, რომ  $m \ll M$  და იპოვეთ:

- მოძრავი ტყვიის სიჩქარე;
- „ტყვია-ღეროს“ სისტემის იმპულსის ნაზრდი დაჯახებისას; ამ იმპულსის ცვლილების მიზეზი;
- ზედა ბოლოდან რა  $x$  მანძილზე უნდა მოხდეს ტყვია ღეროს, რომ დაჯახების დროს „ტყვია-ღერო“ სისტემის იმპულსი არ შეიცვალოს.

1.276.  $M$  მასისა და  $R$  რადიუსის ერთგვაროვანი ჰორიზონტალური დისკო თავისუფლად ბრუნავს მის ცენტრზე გამავალი უძრავი ვერტიკალური ღერძის გარშემო.  $m$  მასის მცირე სხეულს შეუძლია ისრიალოს ზახუნის გარეშე დისკოს რადიუსის გასწვრივ. სხეულზე მიბმულია მჩატე ძაფი და გატარებულია დისკოს ღრუ ღერძში ქვევით, თავდაპირველად სხეული იმყოფებოდა დისკოს კიდეთან და სისტემა ბრუნავდა  $\omega_0$  კუთ-

ხური სიჩქარით. შემდეგ ძაფის ქვედა ბოლოს მოსდეს  $F$  ძალა და სხეული ნელა გადაადგილეს ბრუნვის ღერძისაკენ. იპოვეთ:

- სისტემის კუთხური სიჩქარე საბოლოო მდგომარეობაში;
- $F$  ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა.

1.277.  $m_1$  მასის ადამიანი დგას  $m_2$  მასისა და  $R$  რადიუსის ერთგვაროვანი ჰორიზონტალური დისკოს კიდეზე, რომელიც თავისუფლად ბრუნავს მის ცენტრზე გამავალი უძრავი ვერტიკალური ღერძის გარშემო. რომელიმე მომენტში ადამიანმა დაიწყო მოძრაობა დისკოს კიდეზე გასწვრივ, შესარულა გადაადგილება  $\varphi'$  კუთხით დისკოს მიმართ და გაჩერდა. მოძრაობისას ადამიანის სიჩქარე დისკოს მიმართ  $v'(t)$  კანონითაა დამოკიდებული დროზე, უგულებელყავით ადამიანის ზომები და იპოვეთ:

- დისკოს შემობრუნების კუთხე ადამიანის გაჩერების მომენტისათვის;
- ადამიანის მხრიდან დისკოზე მოქმედი ძალის მომენტი ბრუნვის ღერძის მიმართ მოძრაობის დროს.

1.278. ორი ჰორიზონტალური დისკო თავისუფლად ბრუნავს მათ ცენტრებზე გამავალი ვერტიკალური ღერძის გარშემო.  $I_1$  და  $I_2$  დისკოების ინერციის მომენტებია ამ ღერძის მიმართ, ხოლო  $\omega_1$  და  $\omega_2$  — კუთხური სიჩქარეები. ზედა დისკოს ქვედაზე დაცემის შემდეგ ორივე დისკომ, მათ შორის ხახუნის გამო, ერთად დაიწყო მოძრაობა. იპოვეთ:

- დისკოების დამყარებული ბრუნვის კუთხური სიჩქარე;
- ხახუნის ძალების მიერ შესრულებული მუშაობა.

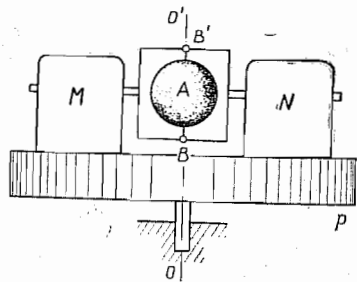
1.279. გლუვ ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე მოთავსებულია მცირე შაიბა და წვრილი  $l$  სიგრძის ერთგვაროვანი ღერო, რომლის მასა  $\eta$ -ჯერ მეტია შაიბის მასაზე. შაიბას მიაწვეს ღეროს მართობულად  $v$  ჰორიზონტალური სიჩქარე, რის შემდეგ მან განიცადა ღრეკადი დაჯახება ღეროს ბოლოსთან. იპოვეთ შაიბის სიჩქარე და ღეროს კუთხური სიჩქარე დაჯახების შემდეგ.  $\eta$ -ს რა მნიშვნელობისათვის იქნება შაიბის სიჩქარე ნულის ტოლი დაჯახების შემდეგ და რა მნიშვნელობისათვის შეიცვლის მიმართულებას საპირისპიროდ?

1.280. უძრავ  $P$  ბაქანზე, რომელიც თავისუფლად ბრუნავს  $OO'$  ვერტიკალური ღერძის გარშემო (ნახ. 1.71), დადგმულია  $M$  ძრავა და მისი გამაწონასწორებელი  $N$  საპირწონე. ამ ღერძის მიმართ ძრავასა და საპირწონეს ინერციის მომენტი ბაქანთან ერთად არის  $I$ . ძრავას ღერძზე დამაგრებულია მჩატე ჩარჩო ერთგვაროვანი  $A$  სფეროთი, რომელიც თავისუფლად ბრუნავს  $\omega_0$  კუთხური სიჩქარით  $OO'$  ღერძის თანხედენილი  $BB'$  ღერძის გარშემო. სფეროს ინერციის მომენტი ბრუნვის ღერძის მიმართ არის  $I_0$ . იპოვეთ:

- ძრავას მიერ შესრულებული მუშაობა  $BB'$  ღერძის  $90^\circ$ -ით,  $180^\circ$ -ით შემობრუნებისას;

ბ) გარეშე ძალთა მომენტი, რომელიც შეაკავებს დანადგარის ღერძს ვერტიკალურ მდგომარეობაში მას შემდეგ, როდესაც ძრავა  $BB'$  ღერძს  $90^\circ$ -ით მოაბრუნებს.

1.281.  $m=1,40$  კგ მასისა და  $l_0=100$  სმ სიგრძის ერთგვაროვანი ჰორიზონტალური  $AB$  ღერო თავისუფლად ბრუნავს მის  $A$  ბოლოზე გა-



ნახ. 1.72.

1.282.  $m$  მასისა და  $l$  სიგრძის ერთგვაროვანი ღეროს შუაგული მყარადაა მიმაგრებული  $OO'$  ვერტიკალურ ღერძთან ისე, რომ კუთხე ღეროსა და ღერძს შორის არის  $\varphi$  (იხ. ნახ. 1.71).  $OO'$  ღერძის ბოლოები დამაგრებულია საკისრებში. სისტემა ბრუნავს  $\omega$  კუთხური სიჩქარით ხახუნის გარეშე. იპოვეთ:

ა) ღეროს  $M$  იმპულსის მომენტის სიდიდე და მიმართულება  $C$  წერტილის მიმართ, აგრეთვე მისი იმპულსის მომენტი ბრუნვის ღერძის მიმართ;

ბ)  $M$  ვექტორის ნახრდის მოდული  $C$  წერტილის მიმართ ნახევრად შემობრუნების დროს.

გ)  $OO'$  ღერძზე ბრუნვის დროს მოქმედი გარეშე ძალების მომენტი  $N$ .

1.283.  $m=0,50$  კგ მასის ბზრიალა, რომლის ღერძი  $\varphi=30^\circ$  კუთხითაა დახრილი ვერტიკალთან, პრეცესირებს სიმძიმის ძალის მოქმედებით. ბზრიალას ინერციის მომენტი მისი სიმეტრიის ღერძის მიმართ  $I=2,0$  გ  $\text{მ}^2$ -ია, ხოლო ბრუნვის კუთხური სიჩქარე ამ ღერძის მიმართ  $\omega=350$  რად/წმ. მანძილი საყრდენი წერტილიდან ბზრიალას ინერციის ცენტრამდე  $l=10$  სმ. იპოვეთ:

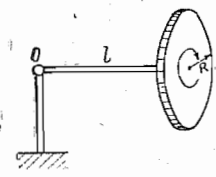
ა) ბზრიალას პრეცესიის კუთხური სიჩქარე;

ბ) საყრდენ წერტილში ბზრიალაზე მოქმედი რეაქციის ძალის ჰორიზონტალური მდგენელის სიდიდე და მიმართულება.

1.284. ლიფტის კაბინის იატაკზე, რომელიც იწყებს ასეღას  $w=2,0$  მ/წმ<sup>2</sup> მუდმივი აჩქარებით, დადგმულია გიროსკოპი, რომელიც წარმოადგენს  $l=10$  სმ სიგრძის ღეროს ბოლოზე მოთავსებულ  $R=5,0$  სმ-რადიუსიან ერთგვაროვან დისკოს (ნახ. 1.73). ღეროს მეორე ბოლო დამაგრებულია  $O$  სახსარში. გიროსკოპი პრეცესირებს  $\omega=0,5$  ბრ/წმ კუთხური

სიჩქარით. იპოვეთ დისკოს საკუთარი კუთხური სიჩქარე, თუ ხახუნის და ღეროს მასა უგულებელყოფილია.

1.285.  $m=1,0$  კგ მასისა და საკუთარი ღერძის მიმართ  $I=4,0$  გ $\text{მ}^2$  ინერციის მომენტის მქონე ბზრიალა ბრუნავს  $\omega=310$  რად/წმ კუთხური სიჩქარით. მისი საყრდენი წერტილი მოთავსებულია ქვესაღვამზე, რომელსაც ჰორიზონტალური მიმართულებით ამოძრავებენ  $w=1,0$  მ/წმ<sup>2</sup> მუდმივი აჩქარებით. მანძილი საყრდენ წერტილსა და ბზრიალას ინერციის ცენტრს შორის  $l=10$  სმ. იპოვეთ ბზრიალას პრეცესიის  $\omega'$  კუთხური სიჩქარის სიდიდე და მიმართულება.



ნახ. 1.73.

1.286.  $m=5,0$  კგ მასისა და  $R=6,0$  სმ რადიუსის ერთგვაროვანი ჭფერო ბრუნავს  $\omega=1250$  რად/წმ კუთხური სიჩქარით მის ცენტრზე გამავალი და ქვესაღვამის საკისრებში დამაგრებული ჰორიზონტალური ღერძის გარშემო. მანძილი საკისრებს შორის  $l=15$  სმ-ია. ქვესაღვამს აბრუნებენ ვერტიკალური ღერძის გარშემო  $\omega'=3,0$  რად/წმ კუთხური სიჩქარით. იპოვეთ გიროსკოპული ძალების სიდიდე და მიმართულება.

1.287.  $m=15$  კგ მასისა და  $r=5,0$  სმ რადიუსის გიროსკოპის ცილინდრული დისკო ბრუნავს  $\omega=330$  რად/წმ კუთხური სიჩქარით. მანძილი საკისრებს შორის, რომლებშიც დამაგრებულია დისკოს ღერძი,  $l=15$  სმ-ს. ღერძს აიძულებენ შეასრულოს  $T=1,0$  წმ პერიოდისა და  $\varphi_m=20^\circ$  ამპლიტუდის მქონე ჰარმონიული რხევა ჰორიზონტალური ღერძის გარშემო. იპოვეთ დისკოს ღერძის მხრიდან საკისრებზე მოქმედი გიროსკოპული ძალების მაქსიმალური მნიშვნელობა.

1.288. გემი მოძრაობს  $v=36$  კმ/სთ სიჩქარით  $R=100$  მ რადიუსის წრეწირის რკალზე. იპოვეთ მქნევარიანი ლილვის მხრიდან საკისრებზე მოქმედი გიროსკოპული ძალების მომენტი, თუ მქნევარიანი ლილვის ინერციის მომენტი ბრუნვის ღერძის მიმართ  $I=3,8 \cdot 10^3$  კგ $\text{მ}^2$  და ასრულებს  $n=300$  ბრ/წმ. ბრუნვის ღერძი გემის გასწვრივაა განლაგებული.

1.289. ლოკომოტივი მოჰყავთ მოძრაობაში ტურბინის საშუალებით, რომლის ღერძი თვლების ღერძების პარალელურია. ტურბინის ბრუნვის მიმართულება თვლების ბრუნვის მიმართულებას ემთხვევა. ტურბინის როტორის მომენტი საკუთარი ღერძის მიმართ  $I=240$  კგ  $\text{მ}^2$ -ია. იპოვეთ, გიროსკოპული ძალებით განპირობებული დამატებითი წნევის ძალა ლიანდაგებზე, როდესაც ლოკომოტივი  $v=50$  კმ/სთ სიჩქარით მოძრაობს  $R=250$  მ რადიუსის მოსახვევში. ლიანდაგებს შორის მანძილი  $l=1,5$  მ-ია. ტურბინა ასრულებს  $n=1500$  ბრ/წმ.

## 1.6. მყარი სხეულის დრეკადი დეფორმაცია

● კავშირი  $\varepsilon$  ფარდობით წაგრძელებასა (კუმშვასა) და  $\sigma$  ძაბვას შორის

$$\varepsilon = \sigma/E, \quad (1.6 \text{ ა})$$

სადაც  $E$  არის იუნგის მოდული,

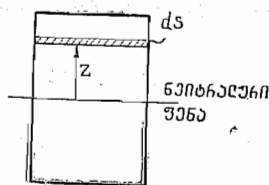
● კავშირი  $\varepsilon'$  ფარდობით განივ კუმშვასა (გაჭიმვასა) და  $\varepsilon$  ფარდობით სიგრძის გაჭიმვას (კუმშვას) შორის:

$$\varepsilon' = -\mu\varepsilon, \quad (1.6 \text{ ბ})$$

სადაც  $\mu$  არის პუასონის კოეფიციენტი.

● დრეკადი ღეროს ღუნვა ხასიათდება დრეკადი წრფის ფორმით, რომელიც გაღის ღეროს განივკვეთების სიმძიმის ცენტრებზე. მცირე ღუნვებისათვის ამ წრფის განმსაზღვრელ განტოლებას აქვს შემდეგი სახე:

$$N(x) = EI \frac{d^2 y}{dx^2}, \quad (1.6 \text{ გ})$$



ნახ. 1.74.

სადაც  $N(x)$  წარმოადგენს დრეკადი ძალების გამლუნავ მომენტს  $x$  კოორდინატის მქონე კვეთაში,  $E$ —იუნგის მოდულს, ხოლო  $I$ —განივკვეთის ინერციის მომენტს ნეიტრალურ ფენაში გამავალი ღერძის მიმართ ( $I = \int z^2 ds$ ; ნახ. 1.74).

● კავშირი  $\gamma$  ფარდობით ძვრასა და  $\tau$  ტანგენციალურ ძაბვას შორის:

$$\gamma = \tau/G, \quad (1.6 \text{ დ})$$

სადაც  $G$  არის ძვრის მოდული.

● კუმშვის კოეფიციენტი (ყოველმხრივი კუმშვის მოდული):

$$\beta = -\frac{1}{V} \frac{dV}{dp} \quad (1.6 \text{ ე})$$

● დრეკადი დეფორმაციის ენერგიის მოცულობითი სიმკვრივე:

$$u = E\varepsilon^2/2, \quad u = G\gamma^2/2 \quad (1.6 \text{ ვ})$$

1.290. როგორი წნევა უნდა მოვდოთ ფოლადის ცილინდრის ბოლოებს, რომ ტემპერატურის  $100^\circ\text{C}$ -ით გაზრდისას მისი სიგრძე არ შეიცვალოს?

1.291. როგორ წნევას გაუძლებს შიგნიდან (გარეშე წნევის უარყოფის დროს): ა) მინის მილი, ბ) მინის სფერული კოლბა, რომელთა რადიუსი  $r = 25$  მმ, ხოლო კედლის სისქე  $\Delta r = 1,0$  მმ?

1.292.  $l = 1,0$  მ სიგრძის პორიზონტალური სპილენძის ღეროს აბრუნებენ მის შუაში გამავალი ვერტიკალური ღერძის გარშემო. ბრუნვის როგორი სიხშირისათვის გაწყდება ღერო?

1.293. ტყვიის მავთულისაგან დამზადებული  $r = 25$  სმ რადიუსის რგოლს აბრუნებენ რგოლის სიბრტყის მართობული და მის ცენტრზე

გამავალი უძრავი ვერტიკალური ღერძის გარშემო. ბრუნვის როგორი სიხშირისათვის გაწყდება მოცემული რგოლი?

1.294.  $d = 1,0$  მმ დიამეტრის მქონე ფოლადის მავთული პორიზონტალურადაა გაჭიმული. მომჭერებს შორის მანძილი  $l = 2,0$  მ-ია. მავთულის შუა 0 წერტილში ჩამოჰკიდეს  $m = 0,25$  კგ მასის ტვირთი. რამდენი სანტიმეტრით ჩამოიწევა 0 წერტილი?

1.295. ერთგვაროვანი დრეკადი ძელაკი მოძრაობს გლუვ პორიზონტალურ სიბრტყეზე  $F_0$  მუდმივი ძალის მოქმედებით, რომელიც თანაბრადაა განაწილებული ძელაკის ტოტალზე. ტოტალის განივკვეთის ფართობია  $S$ , ხოლო ნივთიერების იუნგის მოდული— $E$ . იპოვეთ ძელაკის ფარდობითი შეკუმშვა მოცემული ძალის მოქმედების მიმართულების გასწვრივ.

1.296.  $l$  სიგრძისა და  $m$  მასის წვრილი სპილენძის ერთგვაროვანი ღერო თანაბრად ბრუნავს პორიზონტალურ სიბრტყეში  $\omega$  კუთხური სიჩქარით, მის ერთ-ერთ ბოლოზე გამავალი ვერტიკალური ღერძის გარშემო. იპოვეთ ღეროში დაძაბულობის ძალის დამოკიდებულება ბრუნვის ღერძიდან  $r$  მანძილზე და ღეროს წაგრძელება.

1.297.  $l = 65$  სმ სიგრძის ერთგვაროვანი სპილენძის ცილინდრი დადგეს პორიზონტალურ ზედაპირზე და ზემოდან მოსდეს ვერტიკალური შემკუმშავი  $F = 1000$  ნ ძალა, რომელიც თანაბრადაა განაწილებული მთელ განივკვეთზე. რამდენი კუბური სანტიმეტრით შეიცვლება ამ დროს ცილინდრის მოცულობა?

1.298.  $l$  სიგრძის სპილენძის ღერო ერთი ბოლოთი ჩამოჰკიდეს ჰერზე. იპოვეთ:

ა) საკუთარი წონით გამოწვეული ღეროს წაგრძელება  $\Delta l$ ;

ბ) მისი მოცულობის  $\Delta V/V$  ფარდობითი ცვლილება.

1.299. იუნგის  $E$  მოდულისა და პუასონის  $\mu$  კოეფიციენტის მქონე ძელაკი ყოველმხრივ შეკუმშეს  $p$  წნევით. იპოვეთ:

ა) მისი მოცულობის ფარდობითი შემცირება;

ბ) კუმშვის  $\beta$  კოეფიციენტის კავშირი  $E$  და  $\mu$  მუდმივებს შორის. აჩვენეთ, რომ პუასონის  $\mu$  კოეფიციენტი არ აღემატება  $1/2$ -ს.



ნახ. 1.75.



ნახ. 1.76.

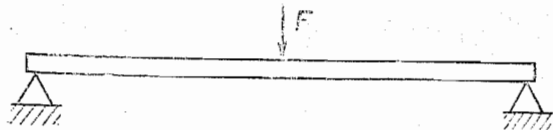
1.300. მართკუთხა კვეთის მქონე ფოლადის კოჭი ერთი ბოლოთი დამონტაჟებულია კედელში (ნახ. 1.75). სიმძიმის ძალის გავლენით ის განიცდის მცირე ღუნვას. იპოვეთ 0 წერტილის მაქსიმალური ნეიტრალურ-



ჩი ფენის სიგრძის რადიუსი, თუ კოჭის გამოშვებული ნაწილის სიგრძე  $l=6,0$  მ, ხოლო სისქე  $h=10$  სმ.

**1.301.** კვადრატული კვეთის ფოლადის ღერო, რომლის გვერდი  $a$ , ერთი ბოლოთი დამონტაჟებულია კედელში ისე, რომ გამოშვებული ნაწილის სიგრძეა  $l$  (ნახ. 1.76). უგულვებელყავით ღეროს მასა და (1.6 გ) განტოლების დახმარებით იპოვეთ დრეკადი წრფის ფორმა, ღერვის ისარი  $\lambda$ , თუ მის  $A$  ბოლოზე მოქმედებს:

- ა) წვეტიდან გამომდინარე მომენტი  $N_0$ ;
- ბ)  $y$  ღერძის გასწვრივ მიმართული  $F$  ძალა.

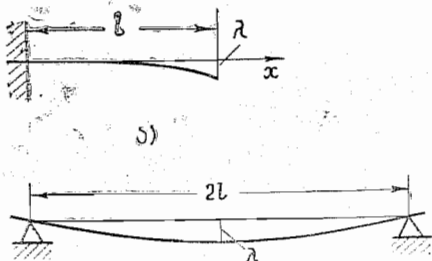


ნახ. 1.77.

**1.302.**  $l$  სიგრძის ფოლადის კოჭი თავისუფლად ეყრდნობა ბოლოებით ორ საყრდენს (ნახ. 1.77). მისი განივკვეთის ინერციის მომენტი  $I$ . უგულვებელყავით კოჭის მასა და იპოვეთ მის შუა წერტილში მოქმედი  $F$  ძალით გამოწვეული ღერვის ისარი  $\lambda$ . ჩათვალით, რომ ღერვები მცირეა.

**1.303.** ფოლადის კოჭს აქვს  $h$  სიმაღლის მართკუთხა კვეთა. იპოვეთ კოჭის საკუთარი წონით გამოწვეული ღერვის ისარი  $\lambda$  ორ შემთხვევაში:

ა) კოჭი ერთი ბოლოთი დამონტაჟებულია კედელში ისე, რომ გამოშვებული ნაწილის სიგრძეა  $l$  (ნახ. 1.78 ა);



ნახ. 1.78.

ბ)  $2l$  სიგრძის კოჭი თავისუფლად ეყრდნობა ბოლოებით ორ საყრდენს (ნახ. 1.78 ბ).

**1.304.**  $h$  სისქის ფოლადის ფირფიტას აქვს  $l$  გვერდის მქონე კვადრატის ფორმა. ამასთანავე,  $h \ll l$ . ფირფიტა  $OO'$  ვერტიკალურ ღერძზეა

დამაგრებული. ღერძს აბრუნებენ მუდმივი  $\beta$  კუთხური აჩქარებით (ნახ. 1.79). იპოვეთ ღერვის ისარი  $\lambda$  მცირე ღერვისათვის.

**1.305.** დაამყარეთ კვეშირი გრესის  $N$  მომენტსა და დაგრესის  $\varphi$  კუთხეს შორის:

ა) მილისათვის, რომლის კედლების  $\Delta r$  სისქე გაცილებით ნაკლებია მილის რადიუსზე;

ბ) წრიული კვეთის მქონე ღეროსათვის. იგულისხმება, რომ ცნობილია მათი  $l$  სიგრძე,  $r$  რადიუსი და  $G$  ძვრის მოდული.

**1.306.** გამოთვალეთ ძალა მომენტი  $N$ , რომელიც იწვევს  $l=3,0$  მ სიგრძის ფოლადის მილის დაგრესას მისი ღერძის გარშემო  $\varphi=2,0^\circ$  კუთხით, თუ მილის შიგა და გარეშე დიამეტრები შესაბამისად  $d_1=30$  მმ და  $d_2=50$  მმ-ია.

**1.307.** იპოვეთ უდიდესი სიმძლავრე, რომელიც შეიძლება გადაეცეთ ფოლადის ლილვის საშუალებით, თუ ის ბრუნავს თავისი ღერძის გარშემო  $\omega=120$  რად/წმ კუთხური სიჩქარით. ლილვის სიგრძეა  $l=200$  სმ, რადიუსი  $r=1,50$  სმ, ხოლო დაგრესის დასაშვები კუთხე  $\varphi=2,5^\circ$ .

**1.308.**  $r_1$  რადიუსის ლილვზე მჭიდროდ ჩამოცმულია  $m$  მასისა და გარეშე  $r_2$  რადიუსის მქონე ერთგვაროვანი რგოლი. ლილვს აბრუნებენ თავის ღერძის გარშემო  $\beta$  მუდმივი კუთხური აჩქარებით. იპოვეთ რგოლში დრეკადი ძალების დამოკიდებულება  $r$  მანძილზე ბრუნვის ღერძიდან.

**1.309.** იპოვეთ დრეკადი დეფორმაციის ენერგია  $m=3,1$  კგ მასის ღეროსათვის, რომელიც გაჭიმულია ისე, რომ მისი ფარდობითი წაგრძელება  $\epsilon=1,0 \cdot 10^{-3}$ .

**1.310.**  $l$  სიგრძისა და  $r$  რადიუსის ფოლადის ცილინდრული ღერო დაკიდეს ერთი ბოლოთი კერზე.

ა) იპოვეთ ღეროს დრეკადი დეფორმაციის ენერგია  $U$ ;

ბ) გამოსახეთ  $U$  ენერგია ღეროს  $\Delta l/l$  ფარდობითი წაგრძელებით.

**1.311.** რა მუშაობა უნდა შესრულდეს, რომ  $l=2,0$  მ სიგრძის,  $h=6,0$  სმ სიგანისა და  $b=2,0$  მმ სისქის ფოლადის ზოლი მოვლუნოთ წრიულ სალტედ? იგულისხმება, რომ პროცესი მიმდინარეობს დრეკადი დეფორმაციის ფარგლებში.

**1.312.** იპოვეთ დრეკადი დეფორმაციის ენერგია ფოლადის ღეროსათვის, რომლის ერთი ბოლო დამაგრებულია, ხოლო მეორე  $\varphi=6,0^\circ$  კუთხითაა დაგრესილი. ღეროს სიგრძე  $l=1,0$  მ-ია, რადიუსი კი  $r=10$  მმ.

**1.313.** იპოვეთ  $l$  სიგრძის ფოლადის ღეროში დრეკადი დეფორმაციის ენერგიის მოცულობითი სიმკვრივის განაწილების დამოკიდებულება ღერძიდან  $r$  მანძილზე. დაგრესის კუთხეა  $\varphi$ .

**1.314.** განსაზღვრეთ დრეკადი დეფორმაციის ენერგიის მოცულობითი სიმკვრივე მტკნარ წყალში  $h=1000$  მ სიღრმეზე.

### 1.7. ჰიდროდინამიკა

● იდეალური სითხის ჰიდროდინამიკის ძირითადი განტოლება (ეილერის განტოლება):

$$\rho \frac{dv}{dt} = f - \nabla p, \quad (1.7 \text{ ა})$$

სადაც  $\rho$  სითხის სიმკვრივეა,  $f$  — მასური ძალების მოცულობითი სიმკვრივე (სიმძიმის ძალის შემთხვევაში  $f = \rho g$ ),  $\nabla p$  — წნევის გრადიენტი.

● ღენის ნებისმიერი წირის გასწვრივ იდეალური სითხის სტაციონარულ ნაკადში მართებულია ბერნულის შემდეგი განტოლება:

$$\frac{\rho v^2}{2} + \rho gh + p = \text{const.} \quad (1.7 \text{ ბ})$$

● ბლანტი სითხის ღინების ხასიათის განმსაზღვრელი რეინოლდსის რიცხვი:

$$Re = \rho v l / \eta, \quad (1.7 \text{ გ})$$

სადაც  $l$  რომელიმე მახასიათებელი ზომაა,  $\eta$  — სითხის სიბლანტე.

● პუაზეილის ფორმულა. მილის განივკვეთში გამავალი სითხის ნაკადი (მვ/წმ-ში):

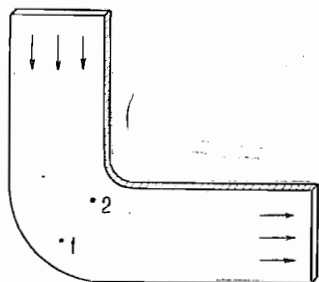
$$Q = \frac{\pi R^4}{8\eta} \frac{p_1 - p_2}{l}, \quad (1.7 \text{ დ})$$

აქ  $R$  და  $l$  მილის რადიუსი და სიგრძეა,  $|p_1 - p_2|$  — წნევითა სხვაობა მის ბოლოებზე.

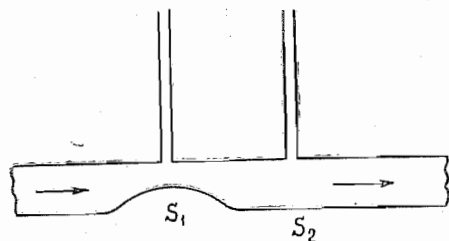
● სტოქსის ფორმულა. ბლანტი სითხეში  $r$  რადიუსის ბურთულას მოძრაობაზე მოქმედი წინააღმდეგობის ძალა:

$$F = 6\pi\eta r v. \quad (1.7 \text{ ე})$$

1.315. იდეალური სითხე მიედინება პორიზონტალურ სიბრტყეში განლაგებული ერთნაირი კვეთის მქონე ბრტყელ მოხრილ მილში (ნახ. 1.80. ხედი ზემოდან). ნაკადი სტაციონარულია. ერთნაირია თუ არა სითხის წნევები და სიჩქარეები 1 და 2 წერტილებში? როგორი სახე აქვს ღენის წირებს?



ნახ. 1.80.

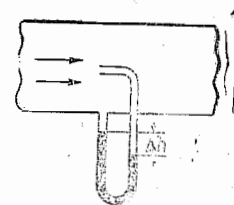


ნახ. 1.81.

1.316. ორი მანომეტრული მილაკი დადგმულია ცველადი კვეთის მქონე პორიზონტალურ მილზე იმ ადგილებში, სადაც მილის კვეთაა  $S_1$

და  $S_2$  (ნახ. 1.81). მილში მიედინება წყალი. იპოვეთ მილის განივკვეთში დროის ერთეულში გამდინარე წყლის მოცულობა, თუ წყლის დონეთა სხვაობა მანომეტრულ მილაკებში  $\Delta h$ -ის ტოლია.

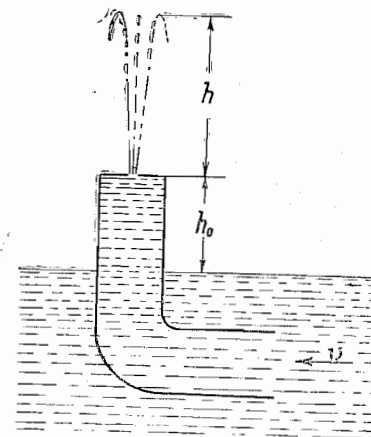
1.317. პიტოს მილაკი (ნახ. 1.82) დადგმულია გაზსადენის ღერის გასწვრივ, რომლის შიდა კვეთის ფართობია  $S$ . უგულვებელყავით სიბლანტე და იპოვეთ დროის ერთეულში მილის კვეთაში გამავალი გაზის მოცულობა, თუ სითხიან მანომეტრში დონეთა სხვაობაა  $\Delta h$ , ხოლო  $\rho_0$  და  $\rho$  სითხისა და გაზის შესაბამისი სიმკვრივებია.



ნახ. 1.82.

1.318. ფსკერში გაკეთებული მცირეხერელიანი განიერი ჭურჭელი შეესებულია წყლითა და ნავით. უგულვებელყავით სიბლანტე და იპოვეთ წყლის გამოდინების სიჩქარე, თუ წყლის ფენის სისქე  $h_1 = 30$  სმ, ხოლო ნავის ფენის სისქე  $h_2 = 20$  სმ.

1.319. მაგიდაზე დგას 50 სმ სიმაღლის განიერი ცილინდრული ჭურჭელი. ჭურჭელი შეესებულია წყლით. უგულვებელყავით სიბლანტე და იპოვეთ ჭურჭლის ფსკერიდან რა სიმაღლეზე უნდა გაკეთდეს მცირე ხერე-



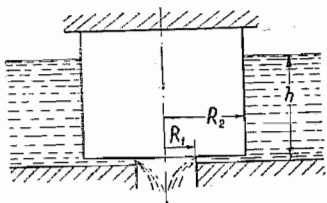
ნახ. 1.83.

ლი, რომ მისგან გამოსული ჭავლი ჭურჭლიდან მაქსიმალურ  $h_{\text{მაქს}}$  მანძილზე დაეცეს მაგიდას. რას უდრის  $h_{\text{მაქს}}$ ?

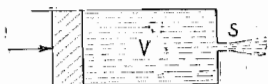
1.320. მოღუნული მილი ჩაუშვებს წყლის ნაკადში (ნახ. 1.83). ნაკადის სიჩქარე მილის მიმართ  $v = 2,5$  მ/წმ. მილის დახშულ ზედა ბოლოს აქვს მცირე ხერელი და  $h_0 = 12$  სმ სიმაღლეზე იმყოფება. რა  $h$  სიმაღლეზე ავა ხერელიდან გამოდინებული წყლის ჭავლი?

1.321. განიერ ჭურჭელში ჩასხმულია  $h$  სიმაღლის იდეალური სითხე. ჭურჭლის ჰორიზონტალურ ფსკერში გაკეთებულია  $R_1$  რადიუსის წრიული ხვრელი, მის ზემოთ კი დამაგრებულია წრიული, დახშული  $R_2 > R_1$  რადიუსის ცილინდრი (ნახ. 1.84). ნაპრალი ცილინდრსა და ჭურჭლის ფსკერს შორის ძალიან მცირეა. იპოვეთ სითხის სტატიკური წნევის დამოკიდებულება ხვრელისა და ცილინდრის ღერძიდან  $r$  მანძილზე, თუ სითხის სიმკვრივეა  $\rho$ .

1.322. რა მუშაობა უნდა შეარულდეს, რამ დგუშზე მუდმივი ძალის მოქმედებით, ჰორიზონტალურად მოთავსებული ცილინდრიდან (ნახ. 1.85)  $t$  დროში გამოიღვენოს მთელი წყალი? ცილინდრში წყლის მოცულობაა  $V$ , ხვრელის კვეთის ფართობი —  $S$ , თანაც,  $S$  გაცილებით ნაკლებია დგუშის ფართობზე. ხახუნა და სიბლანტე უგულებელყოფილია.

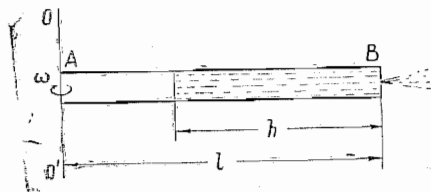


ნახ. 1.84.



ნახ. 1.85.

1.323.  $h$  სიმაღლისა და  $S$  ფართობის ფუძის მქონე ცილინდრული ჭურჭელი ავსებულია წყლით. ჭურჭლის ფსკერში გააღეს  $s \ll S$  ფართის ხვრელი. უგულებელყავით წყლის სიბლანტე და განსაზღვრეთ ჭურჭლიდან მთელი წყლის გამოღინების დრო.



ნახ. 1.86.

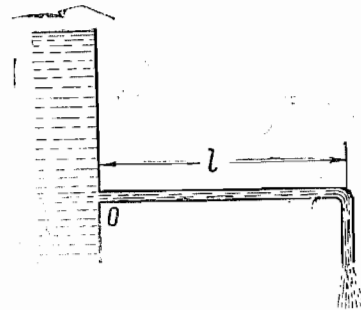
1.324.  $l$  სიგრძის ჰორიზონტალურად მოთავსებული  $AB$  მილი ბრუნავს  $\omega$  მუდმივი კუთხური სიჩქარით მის  $A$  ბოლოზე გამავალი უძრავი ვერტიკალური  $OO'$  ღერძის გარშემო (ნახ. 1.86). მილში იდეალური სითხეა. მისი  $A$  ბოლო ღიაა, ხოლო დახშულ  $B$  ბოლოში გაკეთებულია ძალიან მცირე ხვრელი. იპოვეთ მილის მიმართ გამოღენილი სითხის სიჩქარის დამოკიდებულება მისი სვეტის  $h$  „სიმაღლეზე“.

1.325. აჩვენეთ, რომ იდეალური სითხის სტაციონარული ნაკადის შემთხვევაში (1.7 ა) განტოლება დაიყვანება ბერნულის განტოლებაზე.

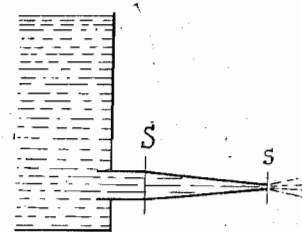
1.326. წყლით საესე განიერი ვერტიკალური ჭურჭლის მოპირდაპირე მხარეს გახსნეს ორი ერთნაირი ხვრელი. თითოეულის ფართობი  $S = 0,50$  სმ<sup>2</sup>. მანძილი მათ შორის სიმაღლის მიხედვით  $\Delta h = 51$  სმ-ია. იპოვეთ გამოღენილი წყლის რეაქციის ჯამური ძალა.

1.327.  $h = 75$  სმ სიმაღლის განიერი ცილინდრული ვერტიკალური ჭურჭლის კედელზე გაკეთებულია ვიწრო ვერტიკალური ხვრელი, რომლის ქვედა ბოლო ჭურჭლის ფსკერს ეყრდნობა. ხვრელის სიგრძეა  $l = 50$  სმ, ხოლო სიგანე —  $b = 1,0$  მმ. ხვრელის დახურვის შემდეგ ჭურჭელი აავსეს წყლით. იპოვეთ გამოღენილი წყლის რეაქციის ჯამური ძალა უშუალოდ ხვრელის გაღების შემდეგ.

1.328. დიდი ავზიდან წყალი მართი კუთხით გამოედინება მოღუნულ მილში, რომლის შიდა რადიუსია  $r = 0,50$  სმ (ნახ. 1.87). მილის ჰორიზონტალური უბნის სიგრძეა  $l = 22$  სმ. წყლის ხარჯი  $Q = 0,50$  ლ/წმ. იპოვეთ წყლის დინებით გამოწვეული მილის კედლებზე ზოქმედი რეაქციის ძალთა მომენტი  $O$  წერტილის მიმართ.



ნახ. 1.87.



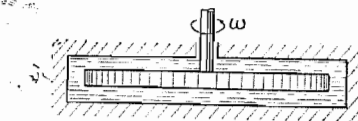
ნახ. 1.88.

1.329. განიერი ღია ავზის კედელზე დამონტაჟებულია ვიწროვადი მილი (ნახ. 1.88), საიდანაც გამოედინება წყალი. მილის კვეთის ფართობი მცირდება  $S = 3,0$  სმ<sup>2</sup>-დან  $S = 1,0$  სმ<sup>2</sup>-მდე. წყლის ღონე ავზში  $h = 4,6$  მ-ით მეტია, ვიდრე მილში. უგულებელყავით წყლის სიბლანტე და იპოვეთ იმ ძალის ჰორიზონტალური მდგენელი, რომელიც გამოგლეჯს მილს ავზიდან.

1.330. წყლიანი ცილინდრული ჭურჭელი ბრუნავს მისი ვერტიკალური ღერძის გარშემო  $\omega$  მუდმივი კუთხური სიჩქარით. იპოვეთ:

ა) წყლის თავისუფალი ზედაპირის ფორმა;

ბ) წყლის წნევის განაწილება ჭურჭლის ფსკერზე მისი რადიუსის გასწვრივ, თუ ფსკერის ცენტრში წნევა  $p_0$ -ის ტოლია



ნახ. 1.89.

1.331.  $R = 10$  სმ რადიუსის თხელი ჰორიზონტალური დისკო მოთავსებულია ცილინდრული ფორმის ზეთიან სიღრუეში. ზეთის სიბლანტეა  $\eta = 0,08$  პ (ნახ. 1.89). ღრეჩოები დისკოსა და სიღრუის ჰორიზონტალურ ზედაპირებს შორის ერთნაირია

და ტოლია  $k=1,0$  მმ. იპოვეთ სიმძლავრე, რომელსაც ავითარებენ დისკოზე მოქმედი სიბლანტის ძალები მისა  $\omega=60$  რად/წმ კუთხური სიჩქარით ბრუნვისას. კიდურა ეფექტები უგულებელყავით.

**1.332.**  $R_1$  რადიუსის გრძელი ცილინდრი მოძრაობს  $v_0$  სიჩქარით საკუთარი ღერძის გასწვრივ, მასთან კოაქსიალურ  $R_2$  რადიუსის უძრავ ცილინდრში. სივრცე ცილინდრებს შორის ბლანტი სითხითაა შევსებული. იპოვეთ სითხის სიჩქარის დამოკიდებულება  $r$  მანძილზე ცილინდრების ღერძამდე. დინება ლამინარულია.

**1.333.**  $R_1$  და  $R_2$  რადიუსის გრძელ კოაქსიალურ ცილინდრებს შორის მოთავსებულია  $\eta$  სიბლანტის მქონე სითხე, ამასთან,  $R_1 < R_2$ . შიდა ცილინდრი უძრავია, ხოლო გარეს აბრუნებენ  $\omega_2$  მუდმივი კუთხური სიჩქარით. სითხის მოძრაობა ლამინარულია. თუ გაითვალისწინებთ, რომ  $r$  რადიუსის ცილინდრული ზედაპირის ფართის ერთეულზე მოქმედი ხახუნის ძალა  $\sigma = \eta r (\partial \omega / \partial r)$  ფორმულით განისაზღვრება, იპოვეთ:

ა) მბრუნავი სითხის კუთხური სიჩქარის დამოკიდებულება  $r$  რადიუსზე;

ბ) გარე ცილინდრის სიგრძის ერთეულზე მოქმედი ხახუნის ძალის მომენტი.

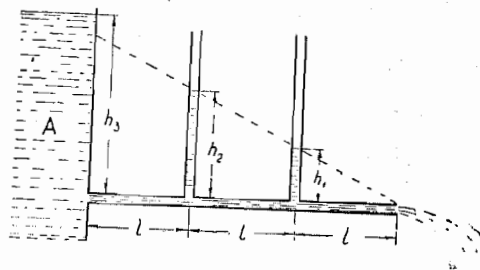
**1.334.**  $l$  სიგრძისა და  $R$  რადიუსის ზილში მიედინება სითხის სტაციონარული ნაკადი, რომლის სიმკვრივეა  $\rho$ , ხოლო სიბლანტე  $\eta$ . სითხის დინების სიჩქარე  $v = v_0(1 - r^2/R^2)$  კანონითაა დამოკიდებული  $r$  მანძილზე მილის ღერძამდე. იპოვეთ:

ა) დროის ერთეულში გამავალი სითხის მოცულობა მილის კვეთაში;

ბ) სითხის კინეტიკური ენერგია მილის მოცულობაში;

გ) სითხის მხრიდან მილზე მოქმედი ხახუნის ძალა;

დ) წნევათა სხვაობა მილის ბოლოებზე.



ნახ. 1.90.

**1.335.** განიერი  $A$  ჭურჭლიდან (ნახ. 1.90) მილის საშუალებით გამოედინება  $\rho=1,0$  გ/სმ<sup>3</sup> სიმკვრივის ბლანტი სითხე. იპოვეთ გამოედინილი სითხის სიჩქარე, თუ  $h_1=10$  სმ,  $h_2=20$  სმ და  $h_3=35$  სმ.  $l$  მანძილები ერთნაირია.

**1.336.** მილსადენის კვეთის რადიუსი მონოტონურად მცირდება  $r = r_0 e^{-\alpha x}$  კანონით, სადაც  $\alpha=0,50$  მ<sup>-1</sup>,  $x$  კი მანძილია მილსადენის სათავიდან. იპოვეთ რეინოლდსის რიცხვების შეფარდება ერთმანეთისაგან  $\Delta x=3,2$  მ მანძილით დაშორებულ კვეთებში.

**1.337.** გლიცერინში  $r_1=1,2$  მმ რადიუსის ბურთულას მოძრაობისას ლამინარული გარსდენა შეიმჩნევა ბურთულას იმ სიჩქარისათვის, რომელიც არ აღემატება  $v_1=23$  სმ/წმ. როგორი მინიმალური  $v_2$  სიჩქარე უნდა ჰქონდეს  $r_2=5,5$  სმ რადიუსის ბირთვს წყალში, რომ გარსდენა გახდეს ტურბულენტური? გლიცერინისა და წყლის სიბლანტე შესაბამისად  $\eta_1=1,39$  პა. წმ და  $\eta_2=1,1$  მპა. წმ-ია.

**1.338.** ტყვიის ბურთულა თანაბრად ეშვება  $\eta=1,39$  პა. წმ. სიბლანტის გლიცერინში. რა მაქსიმალური დიამეტრი შეიძლება ჰქონდეს ბურთულას, რომ გარსდენა იყოს ჯერ კიდევ ლამინარული? ცნობილია, რომ ტურბულენტურ გარსდენაზე გადასვლას შეესაბამება  $Re=0,5$  რიცხვი (ეს არის  $Re$  რიცხვი, რომლის დროსაც მახასიათებელ ზომად ბურთულას დიამეტრია აღებული).

**1.339.**  $d=3,0$  მმ დიამეტრის ფოლადის ბურთულა უსაწყისო სიჩქარით ეშვება  $\eta=90$  მპა. წმ სიბლანტის მქონე პროვანსულ ზეთში. მოძრაობის დაწყებიდან რა ხნის შემდეგ იქნება განსხვავებული ბურთულის სიჩქარე დამყარებულ მნიშვნელობისაგან  $n=1,0\%$ -ით?

## 1.8. რელატივისტური მექანიკა

● სიგრძის ლორენცული შემცირება და მოძრაი საათის სვლის შენელება:

$$l = l_0 \sqrt{1 - (v/c)^2}, \quad \Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}, \quad \text{ნახ. 1.8 ა)} \quad (1.8 \text{ ა})$$

აქ  $l_0$  საკუთარი სიგრძეა,  $\Delta t_0$ —მოძრაი საათის საკუთარი დრო.

● ლორენცის გარდაქმნები\*:

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}, \quad y' = y, \quad t' = \frac{t - xv/c^2}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}. \quad (1.8 \text{ ბ})$$

●  $S_{12}$  ინტერვალი—ინვარიანტული სიდიდე:

$$s_{12}^2 = c^2 t_{12}^2 - l_{12}^2 = \text{inv}, \quad (1.8 \text{ გ})$$

სადაც  $t_{12}$  წარმოადგენს დროის შუალედს 1 და 2 მოვლენებს შორის, ხოლო  $l_{12}$  მანძილია წერტილებს შორის, რომლებშიც მოხდა ეს მოვლენები.

● სიჩქარის გარდაქმნა\*:

\* იგულისხმება, რომ  $K'$  ათვლის სისტემა მოძრაობს  $V$  სიჩქარით  $K$  სისტემის ღერძის დადებითი მიმართულების გასწვრივ, თანაც  $x'$  და  $x$  ღერძები თანხვედნილია, ხოლო  $y'$  და  $y$  ღერძები—პარალელური.



$$v'_x = \frac{v_x - V}{1 - v_x V/c^2}, \quad v'_y = \frac{v_y \sqrt{1 - (V/c)^2}}{1 - v_x V/c^2}. \quad (1.8 \text{ დ})$$

● რელატივისტური მასა და რელატივისტური იმპულსი:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}, \quad p = mv = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}, \quad (1.8 \text{ ე})$$

სადაც  $m_0$  უძრავობის მასაა ან, უბრალოდ, მასა.

● დინამიკის რელატივისტური განტოლება ნაწილაკისათვის:

$$\frac{dp}{dt} = F, \quad (1.8 \text{ ვ})$$

სადაც  $p$  ნაწილაკის რელატივისტური იმპულსია.

● რელატივისტური ნაწილაკის სრული და კინეტიკური ენერგია:

$$E = mc^2 = m_0 c^2 + T, \quad T = (m - m_0) c^2. \quad (1.8 \text{ ზ})$$

● კავშირი რელატივისტური ნაწილაკის ენერგიასა და იმპულსს შორის:

$$E^2 - p^2 c^2 = m_0^2 c^4, \quad pc = \sqrt{T(T + 2m_0 c^2)}. \quad (1.8 \text{ თ})$$

● ნაწილაკთა დაჯახების დროს სასარგებლოა შემდეგი ინვარიანტული სიდიდის გამოყენება:

$$E^2 - p^2 c^2 = m_0^2 c^4, \quad (1.8 \text{ ი})$$

სადაც  $E$  და  $p$  სისტემის სრული ენერგია და იმპულსია დაჯახებამდე,  $m_0$  — წარმოქმნილი ნაწილაკის (ან სისტემის) უძრავობის მასა.

**1.340.** ღერო მოძრაობს გრძივი მიმართულებით  $v$  მუდმივი სიჩქარით  $K$  ათვლის ინერციული სისტემის მიმართ.  $v$  სიჩქარის რა მნიშვნელობისათვის იქნება ღეროს სიგრძე  $\eta = 0,5\%$ -ით ნაკლები მის საკუთარ სიგრძეზე ამ ათვლის სისტემაში?

**1.341.** მოცემულია სამკუთხედი, რომლის ყოველი გვერდის საკუთარი სიგრძეა  $a$ . იპოვეთ ამ სამკუთხედის პერიმეტრი იმ ათვლის სისტემის მიმართ, რომელიც მოძრაობს  $V$  მუდმივი სიჩქარით სამკუთხედის ერთ-ერთი:

ა) ბისექტრისის გასწვრივ;

ბ) გვერდის გასწვრივ.

გამოიკვლიეთ მიღებული შედეგები  $V \ll c$  და  $V \rightarrow c$  შემთხვევისათვის. აქ  $c$  სინათლის სიჩქარეა.

**1.342.** იპოვეთ ღეროს საკუთარი სიგრძე, თუ ათვლის ლაბორატორიულ სისტემაში მისი სიჩქარეა  $v = c/2$ , სიგრძე  $l = 1,00$  მ, ხოლო კუთხე ღეროსა და მოძრაობის მიმართულებას შორის არის  $\phi = 45^\circ$ .

**1.343.** სწორი უძრავი კონუსის ნახევარგაშლის კუთხე  $\phi = 45^\circ$ , ხოლო გვერდითი ზედაპირის ფართობი  $S_0 = 4,0$  მ<sup>2</sup>. იპოვეთ კონუსის ღერძის გასწვრივ  $v = 4/5 c$  სიჩქარით მოძრავ ათვლის სისტემაში:

ა) მისი ნახევარგაშლის კუთხე;

ბ) გვერდითი ზედაპირის ფართობი.

**1.344.** რა სიჩქარით მოძრაობდა საათი  $K$  ათვლის სისტემაში, თუ  $t = 5,0$  წმ-ში ( $K$  სისტემაში) ის  $\Delta t = 0,10$  წმ-ით ჩამორჩა ამ სისტემის საათს?

**1.345.** მუდმივი სიჩქარით მოძრავმა ღერომ ჩაუარა  $K$  ათვლის სისტემაში მყოფ უძრავ ნიშანს.  $K$  სისტემის მიმართ ჩავლის დრო  $\Delta t = 20$  წმ. ღეროსთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში ნიშანი მოძრაობს მის გასწვრივ  $\Delta t' = 25$  წმ-ის განმავლობაში. იპოვეთ ღეროს საკუთარი სიგრძე

**1.346.** რომელიმე არასტაბილური ნაწილაკის სიცოცხლის საკუთარი დრო  $\Delta t_0 = 10$  წმ. იპოვეთ ნაწილაკის დაშლამდე მის მიერ გავლილი მანძილი ლაბორატორიულ ათვლის სისტემაში, სადაც მისი სიცოცხლის ხანგრძლივობა  $\Delta t = 20$  წმ.

**1.347.**  $K$  ათვლის სისტემაში  $v = 0,99c$  სიჩქარით მოძრავმა მიუმეზონმა გაიარა  $l = 3,0$  კმ მანძილი წარმოშობის ადგილიდან დაშლის წერტილამდე. განსაზღვრეთ:

ა) ამ მეზონის სიცოცხლის საკუთარი დრო;

ბ) მეზონის მიერ გავლილი მანძილი  $K$  სისტემაში „მისი თვალსაზრისით“.

**1.348.** ლაბორატორიულ ათვლის სისტემაში ერთი წრფეის გასწვრივ და  $v = 3/4c$  ერთნაირი სიჩქარით მოძრავი ორი ნაწილაკი მოხვდა უძრავ სამიზნეს დროის  $\Delta t = 50$  წმ-ის ინტერვალში. იპოვეთ საკუთარი მანძილი ნაწილაკებს შორის სამიზნეში მოხვედრამდე.

**1.349.** ღერო მოძრაობს მუდმივი სიჩქარით სახაზავის გასწვრივ. თუ ჩავინიშნავთ ღეროს ორივე ბოლოს ერთდროულად სახაზავთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში, მაშინ სახაზავზე ანათვლების სხვაობა  $\Delta x_1 = 4,0$  მ. თუ ჩავინიშნავთ ღეროს ორივე ბოლოს ერთდროულად ამავე ღეროსთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში, მაშინ იმავე სახაზავზე ანათვლების სხვაობა  $\Delta x_2 = 9,0$  მ-ია. იპოვეთ ღეროს საკუთარი სიგრძე და მისი სიჩქარე სახაზავის მიმართ.

**1.350.** პორიზონტალური ღერძის გასწვრივ ერთმანეთთან შესახვედრად მოძრაობს  $l_0$  საკუთარი სიგრძის მქონე ორი ერთნაირი ღერო. ერთ-ერთ ღეროსთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში დროის შეაღები ღეროების მარცხენა და მარჯვენა ბოლოების დამთხვევის მომენტებს შორის აღმოჩნდა  $\Delta t$ . გაიგეთ ერთ-ერთი ღეროს სიჩქარე მეორის მიმართ.

**1.351.** ორი არასტაბილური ნაწილაკი მოძრაობს  $v = 0,990c$  სიჩქარით  $K$  ათვლის სისტემის რომელიმე წრფის მიმართულების გასწვრივ. ამ ათვლის სისტემაში მათ შორის მანძილი  $l = 120$  მ. გარკვეულ მომენტში ორივე ნაწილაკი ერთდროულად დაიშალა მათთან დაკავშირებულ

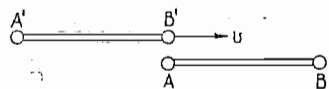
ათვლის სისტემაში. განსაზღვრეთ დროის შუალედი ნაწილაკების დაშლის მომენტებს შორის  $K$  სისტემაში.

1.352.  $K$  სისტემის  $x$  ღერძის გასწვრივ ორიენტირებული ღერო მოძრაობს  $v$  მუდმივი სიჩქარით  $x$  ღერძის თანხვედნილი მიმართულებით. ღეროს წინა ბოლოა (მოძრაობის მიმართულების მიხედვით)  $A$  წერტილი, ხოლო უკანა —  $B$  წერტილი. იპოვეთ:

ა) ღეროს საკუთარი სიგრძე, თუ  $t_A$  მომენტისათვის  $A$  წერტილის კოორდინატაა  $x_A$ , ხოლო  $t_B$  მომენტში  $B$  წერტილის კოორდინატაა  $x_B$ ;

ბ) რა დროის შემდეგ უნდა ჩავინიშნოთ ღეროს თავი და ბოლო  $K$  სისტემაში, რომ ღეროს საკუთარი სიგრძე კოორდინატა სხვაობის ტოლი აღმოჩნდეს?

1.353.  $A'B'$  ღერო მოძრაობს  $v$  მუდმივი სიჩქარით  $AB$  ღეროს მიმართ (ნახ. 1.91). ორივე ღეროს აქვს ერთნაირი  $I_0$  საკუთარი სიგრძე და ყოველი მათგანის ბოლოებზე დადგმულია სინქრონიზებული საათი:  $A$   $B$ -სთან და  $A'$   $B'$ -სთან.



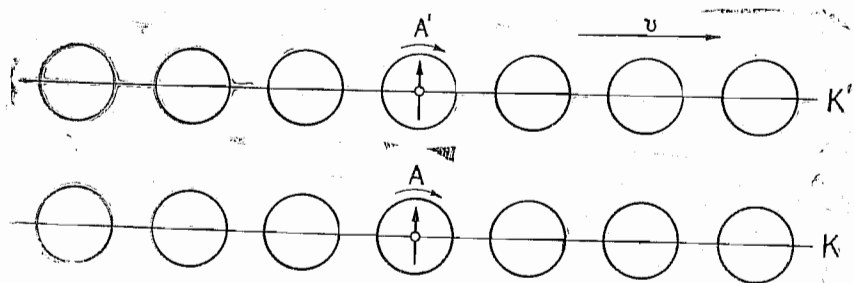
ნახ. 1.91.

დავუშვათ, რომ ის მომენტი, როდესაც  $B'$  საათი გაუსწორდა  $A$  საათს, აღებულია დროის საწყის მომენტად თითოეულ ღეროსთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში. განსაზღვრეთ:

ა)  $B$  და  $B'$  საათების ჩვენებები იმ მომენტში, როდესაც ისინი ერთმანეთის პირდაპირ აღმოჩნდებიან;

ბ) იგივე  $A$  და  $A'$  საათებისათვის.

1.354. მოცემულია ერთმანეთის მიმართ  $v$  სიჩქარით მოძრავი  $K$  და  $K'$  სინქრონიზებული საათების ორი ჯგუფი (ნახ. 1.92). დროის ათვლის



ნახ. 1.92.

საწყისად ავირჩიოთ მომენტი, როდესაც  $A'$  საათი აღმოჩნდება  $A$  საათის პირისპირ. გამოსახეთ ყველა საათის ისრის მიახლოებითი განლაგება ამ მომენტისათვის  $K$  საათებისა და  $K'$  საათების „თვალსაზრისით“.

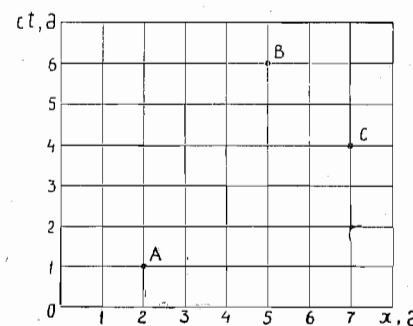
1.355.  $K'$  ათვლის სისტემა მოძრაობს  $V$  სიჩქარით  $K$  სისტემის  $x$  ღერძის თანხვედნილი მიმართულებით. დავუშვათ, რომ კოორდინატა  $O$  და  $O'$  სათავეების დამთხვევის მომენტში ორივე სისტემის საათების ჩვენებები ამ წერტილებში ნულის ტოლი იყო. იპოვეთ  $K$  სისტემაში გადაადგილების  $x$  სიჩქარე წერტილისა, რომელშიც ორივე სისტემის საათების ჩვენებები ყოველთვის ერთნაირი იქნება. დარწმუნდით, რომ  $x < V$ .

1.356.  $K$  ათვლის სისტემის ორ წერტილში მოხდა დროის  $\Delta t$  შუალედით დაშორებული ორი მოვლენა. აჩვენეთ, რომ თუ ამ მოვლენებს შორის არსებობს მიზეზობრივი კავშირი  $K$  სისტემაში (მაგალითად, ტყვიის გასროლა და მოხვედრა სამიზნეში), მაშინ ისინი მიზეზობრივად იქნებიან დაკავშირებული ნებისმიერ სხვა  $K'$  ათვლის ინერციულ სისტემაში.

1.357. სივრცე-დროის დიაგრამაზე (ნახ. 1.93) ნაჩვენებია სამი  $A$ ,  $B$  და  $C$  მოვლენა, რომლებიც მოხდნენ რომელიმე ათვლის ინერციული სისტემის  $x$  ღერძზე. იპოვეთ:

ა) დროის შუალედი  $A$  და  $B$  მოვლენებს შორის იმ ათვლის სისტემაში, სადაც ორივე მოვლენა მოხდა ერთსა და იმავე წერტილში;

ბ) მანძილი  $A$  და  $C$  მოვლენებს შორის იმ ათვლის სისტემაში, სადაც ისინი მოხდნენ ერთდროულად.



ნახ. 1.93.

1.358.  $K$  ათვლის სისტემის  $xy$  სიბრტყეში მოძრაობს ნაწილაკი, რომლის სიჩქარის გეგმილებია  $v_x$  და  $v_y$ . იპოვეთ ამ ნაწილაკის  $v'$  სიჩქარე  $K'$  სისტემაში, რომელიც მოძრაობს  $V$  სიჩქარით  $K$  სისტემის მიმართ  $x$  ღერძის თანხვედნილი მიმართულებით.

1.359. ლაბორატორიული სისტემის მიმართ ერთმანეთთან შესახვედრად  $v_1 = 0,50c$  და  $v_2 = 0,75c$  სიჩქარით მოძრაობს ორი ნაწილაკი. იპოვეთ:

ა) ნაწილაკების დაახლოების სიჩქარე ლაბორატორიულ ათვლის სისტემაში;

ბ) მათი ფარდობითი სიჩქარე.

1.360. საკუთარი  $I_0$  სიგრძის მქონე ორი ერთნაირი ღერო მოძრაობს პარალელური ღერძის გასწვრივ ერთმანეთის შესახვედრად ერთი და იმავე  $v$  სიჩქარით ლაბორატორიული ათვლის სისტემის მიმართ. რას უდრის თითოეული ღეროს სიგრძე სხვა ღეროსთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში.

1.361. ლაბორატორიულ ათვის სისტემაში ერთმანეთის მიმართ მართი კუთხით მოძრაობს ორი რელატივისტური ნაწილაკი, ერთი  $v_1$  სიჩქარით, ხოლო მეორე  $v_2$  სიჩქარით. იპოვეთ:

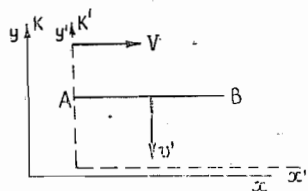
ა) ნაწილაკების დაახლოების სიჩქარე ლაბორატორიულ ათვის სისტემაში;

ბ) მათი ფარდობითი სიჩქარე.

1.362.  $K'$  ათვის სისტემის  $y'$  ღერძის გასწვრივ  $v'$  სიჩქარით მოძრაობს რომელიმე არასტაბილური ნაწილაკი. თავის მხრივ  $K'$  სისტემა მოძრაობს  $K$  სისტემის მიმართ  $V$  სიჩქარით  $x$  ღერძის თანხვედნილობით. ორივე სისტემის  $x'$  და  $x$  ღერძები თანხვედნილია, ხოლო  $y'$  და  $y$  ერთმანეთის პარალელური. იპოვეთ ნაწილაკის მიერ გავლილი მანძილი  $K$  სისტემაში, თუ მისი სივრცის საკუთარი დრო უდრის  $\Delta t_0$ .

1.363. ნაწილაკი მოძრაობს  $K$  სისტემაში  $v$  სიჩქარით, რომელიც  $x$  ღერძთან ადგენს  $\phi$  კუთხეს. იპოვეთ შესაბამისი კუთხე  $K'$  სისტემაში, რომელიც მოძრაობს  $K$  სისტემის მიმართ  $V$  სიჩქარით  $x$  ღერძის მიმართულების გასწვრივ, თუ ორივე სისტემის  $x$  და  $x'$  ღერძები თანხვედნილია.

1.364.  $AB$  ღერო ორიენტირებულია ათვის  $K'$  სისტემის  $x'$  ღერძის პარალელურად და  $v'$  სიჩქარით მოძრაობს ამ სისტემის  $y'$  ღერძის გასწვრივ. თავის მხრივ  $K'$  სისტემა მოძრაობს  $K$  სისტემის მიმართ  $V$  სიჩქარით (ნახ. 1.94). იპოვეთ კუთხე  $\phi$  ღეროსა და  $x$  ღერძს შორის  $K$  სისტემაში.



ნახ. 1.94.

1.365.  $K'$  სისტემა მოძრაობს  $V$  მუდმივი სიჩქარით  $K$  სისტემის მიმართ. იპოვეთ ნაწილაკის  $w'$  აჩქარება  $K'$  სისტემაში, თუ  $K$  სისტემაში ის მოძრაობს

წრფეზე  $v$  სიჩქარით და  $w$  აჩქარებით:

ა)  $V$  ვექტორის მიმართულებით;

ბ)  $V$  ვექტორის მართობულად.

1.366. დედამიწიდან გაშვებული კოსმოსური ზომილი  $w' = 10g$  ერთნაირი აჩქარებით მოძრაობს ზომილის მყისად მიმყოფ, ყოველ ინერციულ სისტემაში. დედამიწის დროთი გაქანება გრძელდებოდა  $\tau = 1,0$  წელი. იპოვეთ რამდენი პროცენტით განსხვავდება ზომილის სიჩქარე სინათლის სიჩქარისაგან გაქანების ბოლოს. როგორია ზომილის მიერ გავლილი მანძილი ამ მომენტისათვის?

1.367. ისარგებლეთ წინა ამოცანის მონაცემებით და იპოვეთ რაკეტის გაქანების დრო  $\tau_0$ , მასთან დაკავშირებულ ათვის სისტემაში. მხედველობაში მიიღეთ, რომ დრო განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$\tau_0 = \int_0^{\tau} \sqrt{1 - (v/c)^2} dt,$$

სადაც  $dt$  დროის ინტერვალია დედამიწასთან დაკავშირებულ ათვის სისტემაში.

1.368. რამდენჯერ აღემატება ნაწილაკის რელატივისტური მასა მის უძრავობის მასას, თუ ნაწილაკის სიჩქარე 0,010%-ით განსხვავდება სინათლის სიჩქარისაგან?

1.369. უძრავი სხეულის სიმკვრივეა  $\rho_0$ . იპოვეთ ათვის სისტემის სიჩქარე მოცემული სხეულის მიმართ, რომელშიაც მისი სიმკვრივე  $\eta = 25\%$ -ით მეტია  $\rho_0$  ზე.

1.370. პროტონი მოძრაობს  $p = 10,0$  გეე/ც იმპულსით, სადაც  $c$  სინათლის სიჩქარეა. რამდენი პროცენტით განსხვავდება ამ პროტონის სიჩქარე სინათლის სიჩქარისაგან?

1.371. რა სიჩქარით მოძრაობს ნაწილაკი, თუ მისი რელატივისტური იმპულსი  $\eta = 2$ -ჯერ აღემატება მის კლასიკურ იმპულსს.

1.372. რა მუშაობა უნდა შესრულდეს, რომ  $m_0$  უძრავობის მასის მქონე ნაწილაკის სიჩქარე გაიზარდოს 0,60c-დან 0,80c-მდე? მიღებული შედეგი შეადარეთ კლასიკური ფორმულიდან მიღებულ წინშეწინააღმდეგობას.

1.373. იპოვეთ ის სიჩქარე, რომლის დროსაც ნაწილაკის კინეტიკური ენერგია მისი უძრავობის ენერგიის ტოლი იქნება.

1.374. რას ეთანადება ნაწილაკის კინეტიკური ენერგიის შეფარდება მის სრულ ენერგიასთან, თუ ნაწილაკის სიჩქარის გამოთვლისას კლასიკური ფორმულით ფარდობითი ცდომილება არ აღემატება  $\epsilon = 0,010$ ?

1.375. იპოვეთ  $m_0$  უძრავობის მასის ნაწილაკის იმპულსის დამოკიდებულება კინეტიკურ ენერგიაზე. გამოთვალეთ 500 გეე კინეტიკური ენერგიის მქონე პროტონის იმპულსი.

1.376.  $T$  კინეტიკური ენერგიის მქონე რელატივისტური ნაწილაკების კონა ეცემა მშთანთქავ სამიზნეს. კონაში დენის ძალაა  $I$ , თითოეული ნაწილაკის მუხტი და უძრავობის მასა შესაბამისად  $e$  და  $m_0$ -ია. იპოვეთ კონის წნევის ძალა სამიზნეზე და მასში გამოყოფილი სიმძლავრე.

1.377. გაზში, რომლის მოცულობის ერთეულში იმყოფება ნელა მოძრავი  $m$  მასის  $n$  ნაწილაკი,  $v$  რელატივისტური სიჩქარით მოძრაობს სფერო. იპოვეთ გაზის მხრიდან სფეროს ზედაპირის ელემენტზე, სფეროს სიჩქარის მართობულად წარმოებული წნევა, თუ ნაწილაკების არეკვლა ღრეკადია. დარწმუნდით, რომ ეს წნევა ერთნაირია სფეროსთან და გაზთან დაკავშირებულ ათვის სისტემაში.

1.378.  $m_0$  უძრავობის მასის ნაწილაკი  $t=0$  მომენტში იწყებს მოძრაობას  $F$  მუდმივი ძალის მოქმედებით. იპოვეთ ნაწილაკის სიჩქარისა და მის მიერ გავლილი მანძილის დამოკიდებულება  $t$  დროზე.

1.379.  $m_0$  უძრაობის მასის ნაწილაკი  $x = \sqrt{a^2 + c^2 t^2}$  კანონით მოძრაობს  $K$  სისტემის  $x$  ღერძის გასწვრივ, აქ  $a$  რომელიმე მუდმივაა,  $c$  — სინათლის სიჩქარე,  $t$  — დრო. იპოვეთ ნაწილაკზე მოქმედი ძალა ამ ათვის სისტემაში.

1.380. რელატივისტური დინამიკის ძირითადი განტოლებიდან გამოდინარე, იპოვეთ:

ა) როდის ემთხვევა ნაწილაკის აჩქარება მასზე მოქმედი  $F$  ძალის მიმართულებას;

ბ) პროპორციულობის კოეფიციენტები  $F$  ძალასა და  $w$  აჩქარებას შორის იმ შემთხვევებში, როდესაც  $F \perp v$  და  $F \parallel v$ , სადაც  $v$  ნაწილაკის სიჩქარეა.

1.381.  $p$  იმპულსისა და  $E$  სრული ენერგიის მქონე რელატივისტური ნაწილაკი მოძრაობს  $K$  სისტემის  $x$  ღერძის გასწვრივ. აჩვენეთ: რომ  $K'$  სისტემაში, რომელიც  $K$  სისტემის მიმართ მოძრაობს  $V$  სიჩქარით მისი  $x$  ღერძის დადებითი მიმართულების გასწვრივ, მოცემული ნაწილაკის იმპულსი და სრული ენერგია შემდეგი ფორმულით განისაზღვრება:

$$p_x' = \frac{p_x - EV/c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \quad E' = \frac{E - p_x V}{\sqrt{1 - \beta^2}},$$

სადაც  $\beta = V/c$

1.382. ფოტონის ენერგია  $K$  სისტემაში ტოლია  $\epsilon$ . ისარგებლეთ წინა ამოცანაში მოყვანილი გარდაქმნის ფორმულებით და იპოვეთ ფოტონის  $\epsilon'$  ენერგია  $K'$  სისტემაში, რომელიც  $K$  სისტემის მიმართ მოძრაობს  $V$  სიჩქარით ფოტონის მოძრაობის მიმართულების გასწვრივ.  $V$ -ს რა მნიშვნელობისათვის იქნება ფოტონის ენერგია  $\epsilon' = \epsilon/2$ ?

1.383. აჩვენეთ, რომ ნაწილაკისათვის  $E^2 - p^2 c^2$  სიდიდე-ინვარიანტია, ე. ი. ათვის ყველა ინერციულ სისტემაში მას ერთი და იგივე მნიშვნელობა აქვს. რას ეთანადრება ამ ინვარიანტის მნიშვნელობა?

1.384.  $T = 2m_0 c^2$  კინეტიკური ენერგიის მქონე ნეიტრონი, აქ  $m_0$  მისი უძრაობის მასაა, ეჯახება სხვა უძრავ ნეიტრონს. განსაზღვრეთ:

ა) ორივე ნეიტრონის ჯამური  $\tilde{T}$  კინეტიკური ენერგია და თითოეული ნეიტრონის  $\tilde{p}$  იმპულსი მათი ინერციის ცენტრთან დაკავშირებულ სისტემაში;

ბ) ინერციის ცენტრის სიჩქარე ნაწილაკთა ამ სისტემისათვის.

1.385.  $m_0$  უძრაობის მასისა და  $T$  კინეტიკური ენერგიის მქონე ნაწილაკი ეჯახება იმავე უძრაობის მასის უძრავ ნაწილაკს. იპოვეთ დაჯახების შედეგად შედგენილი ნაწილაკის უძრაობის მასა და სიჩქარე.

1.386. როგორი უნდა იყოს პროტონის კინეტიკური ენერგია, რომელიც ეჯახება მეორე უძრავ პროტონს, რომ მათი ჯამური კინეტიკური

ენერგია ინერციის ცენტრთან დაკავშირებულ ათვის სისტემაში ისეთივე იყოს, როგორც  $T = 25,0$  გეგ კინეტიკური ენერგიით ერთმანეთის შესახვედრად მოძრავი ორი პროტონის ენერგია?

1.387.  $m_0$  უძრაობის მასის მქონე უძრავი ნაწილაკი იშლება  $m_1$ ,  $m_2$  და  $m_3$  მასის სამ ნაწილაკად. იპოვეთ უდიდესი სრული ენერგია, რომელიც შეიძლება ჰქონდეს, მაგალითად,  $m_1$  ნაწილაკს.

1.388. რელატივისტური რაკეტიდან გაზის ჭავლი გამოიტყორცნება რაკეტის მიმართ არარელატივისტური  $u$  მუდმივი სიჩქარით. იპოვეთ რაკეტის  $v$  სიჩქარის დამოკიდებულება მისი  $m$  უძრაობის მასაზე, თუ საწყის მომენტში რაკეტის უძრაობის მასაა  $m_0$ .



# თერმოდინამიკა და მოლეკულური ფიზიკა

## 2. 1. გაზის მდგომარეობის განტოლება. პროცესები

● იდეალური გაზის მდგომარეობის განტოლება:

$$PV = \frac{M}{M_0} RT, \quad (2.1 \text{ ა})$$

სადაც  $M$  მოლური მასაა (მოლის მასა).

● ბარომეტრული ფორმულა:

$$p = p_0 e^{-Mgh/RT}, \quad (2.1 \text{ ბ})$$

სადაც  $p_0$  არის წნევა  $h=0$  სიმაღლეზე.

● გაზის მდგომარეობის ვან-დერ-ვალსის განტოლება (ერთი მოლისათვის)

$$\left(P + \frac{a}{V_M^2}\right) (V_M - b) = RT, \quad (2.1 \text{ გ})$$

სადაც  $V_M$  არის ერთი მოლის მოცულობა მოცემული  $p$  და  $T$  პარამეტრებისათვის.

2.1.  $V=30$  ლ მოცულობის ჭურჭელში იდეალური გაზის ტემპერატურა ტოლია  $0^\circ\text{C}$ . მას შემდეგ, რაც გამოუმეგეს გაზის ნაწილი, ჭურჭელში წნევა შემცირდა  $\Delta p = 0,73$  ატმ-ით (ტემპერატურის შეუცვლელად). იპოვეთ გამოშვებული გაზის მასა, თუ ნორმალურ პირობებში მისი სიმკვრივე  $\rho = 1$  გ/ლ.

2.2. ორი ერთნაირი ბალონი შეერთებულია სარქველიანი მილით, რომელიც ატარებს გაზს  $\Delta p \geq 1,10$  ატმ წნევით სხვაობის დროს. დასაწყისში ერთ ბალონში იყო ვაკუუმი, მეორეში კი  $t_1 = 27^\circ\text{C}$  ტემპერატურისა და  $p_1 = 1,00$  ატმ წნევის იდეალური გაზი. შემდეგ, ორივე ბალონი გაათბეს  $t_2 = 107^\circ\text{C}$  ტემპერატურამდე. როგორი წნევა დამყარდა გაფართოების შედეგად ვაკუუმიან ბალონში?

2.3.  $V=20$  ლ მოცულობის მჭიმე ჭურჭელში მოთავსებულია  $t=20^\circ\text{C}$  ტემპერატურისა და  $p=2,0$  ატმ წნევის წყალბადის და ჰელიუმის ნარევი. ნარევის მასა  $m=5,0$  გ. იპოვეთ მოცემულ ნარევი წყალბადის მასის შეფარდება ჰელიუმის მასასთან.

2.4. ჭურჭელში მოთავსებულია  $m_1=7,0$  გ აზოტისა და  $m_2=11$  გ ნახშირორჟანგის ნარევი  $T=290$  K და  $p_0=1,0$  ატმ წნევის ქვეშ. იპოვეთ ნარევის სიმკვრივე, თუ გაზები იდეალურია.

2.5.  $V=7,5$  ლ მოცულობის ბალონში  $T=300$  K ტემპერატურაზე მოთავსებულია  $v_1=0,1$  მოლი ჟანგბადის,  $v_2=0,2$  მოლი აზოტის და  $v_3=0,3$  მოლი ნახშირორჟანგის ნარევი. ჩათვალით, რომ გაზები იდეალურია და იპოვეთ:

ა) ნარევის წნევა;

ბ) ნარევის  $M$  საშუალო მოლური მასა, რომელიც შედის მისი მდგომარეობის განტოლებაში  $PV = \frac{m}{M} RT$ , სადაც  $m$  ნარევის მასაა.

2.6. ორივე ჩხრიდან დახურულ ვერტიკალურ ცილინდრში მოთავსებულია ადგილად მოძრავი დღეში, რომლის ორივე მხარეს ჰაერის თითო მოლია. წონასწორულ მდგომარეობაში  $T_0=300$  K ტემპერატურის დროს ცილინდრის ზედა ნაწილის მოცულობა  $\eta=4,0$ -ჯერ მეტია ქვედა ნაწილის მოცულობაზე. რომელ ტემპერატურაზე გახდება მოცულობების შეფარდება  $\eta'=3,0$  ტოლი?

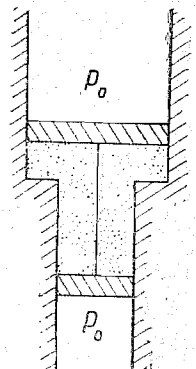
2.7. საპაერო დღეშიანმა ტუმბომ უნდა ამოტუმბოს  $V$  მოცულობის ჭურჭელი. ერთი ციკლის დროს (დღეშის სვლა) ტუმბო იტაცებს  $\Delta V$  მოცულობას. რამდენი ციკლი უნდა შესრულდეს, რომ წნევა ჭურჭელში შემცირდეს  $\eta$ -ჯერ? პროცესი ჩათვალით იზოთერმულად, გაზი კი იდეალურად.

2.8. იპოვეთ ჰაერის წნევა ამოსატუმბ ჭურჭელში, როგორც ამოტუმბვის  $t$  დროის ფუნქცია. ჭურჭლის მოცულობაა  $V$ , საწყისი წნევა  $p_0$  პროცესი ჩათვალით იზოთერმულად, ამოტუმბვის სიჩქარე  $C$  კი არ არის დამოკიდებული წნევაზე.

შენიშვნა. ამოტუმბვის სიჩქარეს უწოდებენ დროის ერთეულში ამოტუმბული გაზის მოცულობას, რომელიც მოცემულ მომენტში გაზის წნევის დროს არის გაზომილი.

2.9.  $V=87$  ლ მოცულობის კამერა ამოიტუმბება დღეშით, რომლის ამოტუმბვის სიჩქარე (იხ. წინა ამოცანის შენიშვნა)  $C=10$  ლ/წმ. რამდენ ხანში შემცირდება წნევა კამერაში  $\eta=1000$ -ჯერ?

2.10. ორივე მხრიდან ღია, გლუვ, შევულ მილს ორი სხვადასხვა განივკვეთი აქვს (ნახ. 2.1). მასში მოთავსებულ, უჭიმვადი ძაფით შეერთებულ ორ დღეშს შორის მოთავსებულია იდეალური გაზის ერთი მოლი. ზედა დღეშის განივკვეთი  $\Delta S=10$  სმ<sup>2</sup>-ით მეტია ქვედაზე. დღეშების საერთო მასა  $m=5,0$  კგ-ს, გარეშე ჰაერის წნევა  $p_0=1,0$  ატმ. რამდენი გრადუსით უნდა გავათბოთ გაზი დღეშებს შორის, რომ ისინი  $l=5,0$  სმ-ით გადაადგილდნენ?



ნახ. 2. 1

2.11. იპოვეთ იდეალური გაზის მაქსიმალურად შესაძლო ტემპერატურა შემდეგი პროცესებისათვის:

$$a) p = p_0 - \alpha V^2; \quad b) p = p_0 e^{-\beta V},$$

სადაც  $p_0$ ,  $\alpha$  და  $\beta$  დადებითი სიდიდეებია,  $V$  კი—გაზის ერთი მოლის მოცულობა.

2.12. განსაზღვრეთ იდეალური გაზის შესაძლო უმცირესი წნევა  $T = T_0 + \alpha V^2$  კანონით მიმდინარე პროცესში, სადაც  $T_0$  და  $\alpha$  დადებითი მუდმივებია,  $V$  კი—გაზის ერთი მოლის მოცულობა. გამოსახეთ ამ პროცესის მიახლოებითი გრაფიკი  $p$ ,  $V$  დიაგრამაზე.

2.13. მაღალი ცილინდრული ჭურჭელი გაზისებრი აზოტით იმყოფება სიმძიმის ერთგვაროვან ველში, რომელშიც თავისუფალი ვარდნის აჩქარება უდრის  $g$ -ს. აზოტის ტემპერატურა სიმაღლის მიხედვით ისე იცვლება, რომ მისი სიმკვრივე ყველგან ერთნაირია. იპოვეთ  $dT/dh$  ტემპერატურის გრადიენტი.

2.14. დავუშვათ, ჰაერის  $p$  წნევა და  $\rho$  სიმკვრივე სიმაღლისაგან დამოკიდებულად დაკავშირებულნი არიან  $p/\rho^n = \text{const}$  თანაფარდობით (აქ  $n$  მუდმივია). იპოვეთ ტემპერატურის შესაბამისი გრადიენტი.

2.15. ვთქვათ, დედამიწის ზედაპირთან ჰაერი ნორმალურ პირობებშია. თუ დავუშვებთ, რომ ჰაერის ტემპერატურა და მოლური მასა არ არიან დამოკიდებული სიმაღლეზე, იპოვეთ მისი წნევა დედამიწის ზედაპირიდან 5,0 კმ სიმაღლეზე და 5,0 კმ-ის სიღრმის შახტში.

2.16. გამოთვალეთ სიმაღლეთა სხვაობა, რომლებზეც ჰაერის სიმკვრივე  $0^\circ\text{C}$  ტემპერატურაზე განსხვავდება:

ა)  $e$ -ჯერ, ბ)  $\eta = 1,0\%$ -ით, თუ ჰაერის ტემპერატურა, მოლური მასა და სიმძიმის ძალის აჩქარება არ არის დამოკიდებული სიმაღლეზე.

2.17.  $M$  მოლური მასის იდეალური გაზი მოთავსებულია მაღალ შევულ ცილინდრულ ჭურჭელში, რომლის განივკვეთი და სიმაღლე შესაბამისად  $S$  და  $h$ -ის ტოლია. გაზის ტემპერატურაა  $T$ , ხოლო წნევა ცილინდრის ქვედა ფუძესთან  $p_0$ . იპოვეთ გაზის მასა ჭურჭელში, თუ ტემპერატურა და თავისუფალი ვარდნის  $g$  აჩქარება არ არის დამოკიდებული სიმაღლეზე.

2.18.  $M$  მოლური მასის იდეალური გაზი მოთავსებულია ძალიან მაღალ შევულ ცილინდრულ ჭურჭელში სიმძიმის ერთგვაროვან ველში, რომლისთვისაც თავისუფალი ვარდნის აჩქარებაა  $g$ . იპოვეთ გაზის სიმძიმის ცენტრის მდებარეობა, თუ მისი ტემპერატურა ყველგან ერთნაირია და  $T$ -ს ტოლია.

2.19.  $M$  მოლური მასის იდეალური გაზი იმყოფება  $g$  თავისუფ-

ფალი ვარდნის აჩქარების მქონე სიმძიმის ერთგვაროვან ველში. იპოვეთ გაზის წნევა, როგორც  $h$  სიმაღლის ფუნქცია, თუ  $h=0$  სიმაღლეზე  $p = p_0$ , ხოლო ტემპერატურა იცვლება შემდეგი კანონით:

$$a) T = T_0(1 - ah); \quad b) T = T_0(1 + ah),$$

სადაც  $a$  დადებითი მუდმივაა.

2.20. ერთი ბოლოდან დახშული ჰორიზონტალური ცილინდრი ბრუნავს  $\omega$  მუდმივი კუთხური სიჩქარით ღია ბოლოზე გამავალი ვერტიკალური ღერძის გარშემო. ჰაერის გარეგანი წნევაა  $p_0$ , ტემპერატურა  $T$ , ჰაერის მოლური მასა კი  $M$ . იპოვეთ ჰაერის წნევა, როგორც ბრუნვის ღერძიდან  $r$  მანძილის ფუნქცია. მოლური მასა არ არის დამოკიდებული  $r$ -ზე.

2.21. როგორი წნევის ქვეშ უნდა მოვაქციოთ ნახშირორჟანგი  $T = 300\text{K}$  ტემპერატურაზე, რომ მისი სიმკვრივე გახდეს  $\rho = 500$  გ/ლ. გამოთვლა ჩაატარეთ როგორც იდეალური, ასევე ვან-დერ-ვაალსის გაზისათვის.

2.22.  $V = 1,00$  ლ მოცულობის ჭურჭელში იმყოფება აზოტის ერთი მოლი. იპოვეთ:

ა) აზოტის ტემპერატურა, რომლის დროსაც იდეალური გაზის მდგომარეობის განტოლებიდან წნევის განსაზღვრის დროს დაშვებული შეცდომა შეადგენს  $\eta = 10\%$  (ვან-დერ-ვაალსის განტოლების შესაბამის წნევათან შედარებით);

ბ) გაზის წნევა აღნიშნულ ტემპერატურაზე.

2.23. რომელიღაც გაზის ერთი მოლი იმყოფება  $V = 0,250$  ლ მოცულობის მქონე ჭურჭელში.  $T_1 = 300\text{K}$  ტემპერატურაზე გაზის წნევა  $p_1 = 90$  ატმ,  $T_2 = 350\text{K}$  ტემპერატურაზე კი— $p_2 = 110$  ატმ. იპოვეთ ვან-დერ-ვაალსის მუდმივები მოცემული გაზისათვის.

2.24. იპოვეთ იზოთერმული კუმშვის  $\kappa$  კოეფიციენტი ვან-დერ-ვაალსის გაზისათვის, როგორც  $V$  მოცულობისა და  $T$  ტემპერატურის ფუნქცია.

$$\text{შენიშვნა. განსაზღვრის თანახმად, } \kappa = -\frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial p}.$$

2.25. ისარგებლეთ წინა ამოცანის ამოხსნის შედეგით და იპოვეთ ის ტემპერატურა, რომლის დროსაც რეალური გაზისათვის იზოთერმული კუმშვის  $\kappa$  კოეფიციენტი მეტი იქნება, ვიდრე იდეალური გაზისათვის. განიხილეთ შემთხვევა, როდესაც მოლური მოცულობა გაცილებით აღემატება  $b$  შესწორებას.

## 2.2. თერმოდინამიკის პირველი კანონი. სითბოტევადობა

● თერმოდინამიკის პირველი კანონი:

$$Q = \Delta U + A, \quad (2.2a)$$

სადაც  $\Delta U$  არის სისტემის შინაგანი ენერგიის ნაზრდი.

● გაზის მიერ შესრულებული მუშაობა

$$A = \int p dv. \quad (2.2 \text{ ბ})$$

● იდეალური გაზის შინაგანი ენერგია

$$U = \frac{m}{M} C_V T = \frac{m}{M} \frac{RT}{\gamma - 1} = \frac{pV}{\gamma - 1} \quad (2.2 \text{ გ})$$

● გაზის მოლური სითბოტევადობა პოლიტროპული პროცესის დროს

$$C = \frac{R}{\gamma - 1} - \frac{R}{n - 1} = \frac{(n - \gamma) R}{(n - 1)(\gamma - 1)}. \quad (2.2 \text{ დ})$$

● ერთი მოლი ჯან-დერ-ვალისის გაზის შინაგანი ენერგია:

$$U = C_V T - \frac{a}{V_M}. \quad (2.2 \text{ ე})$$

2.26. აჩვენეთ, რომ თუ გარეგანი წნევა  $p$  მუდმივია, ოთახში ჰაერის შინაგანი  $U$  ენერგია არ არის დამოკიდებული ტემპერატურაზე. გამოთვალეთ  $U$ , თუ  $p$  ნორმალური ატმოსფერული წნევის ტოლია და ოთახის მოცულობა  $V = 40 \text{ მ}^3$ .

2.27. სითბოგამტარი ჭურჭელი მასში მყოფი გაზით, რომლის მოლური მასა  $M$ -ის ტოლია და  $C_p/C_v = \gamma$ , მოძრაობს  $v$  სიჩქარით. იპოვეთ გაზის ტემპერატურის ნაზრდი ჭურჭლის მყისი შეჩერებისას.

2.28. ჰაერით სავსე ორი, 1 და 2 სითბოგამტარი ჭურჭელი მოკლე ონკანიანი მილითაა შეერთებული. ცნობილია ბალონებში ჰაერის მოცულობა, წნევა და ტემპერატურა ( $V_1, p_1, T_1$  და  $V_2, p_2, T_2$ ). გამოთვალეთ ჰაერის ტემპერატურა და წნევა ონკანის გახსნის შემდეგ.

2.29.  $V = 5,0 \text{ ლ}$  მოცულობის დახშულ ჭურჭელში ნორმალურ პირობებში მყოფი გაზისებრი წყალბადი გააცივებს  $\Delta T = 55 \text{ K}$ -ით. გამოთვალეთ გაზის შინაგანი ენერგიის ნაზრდი და მის მიერ გაცემული სითბოს რაოდენობა.

2.30. სითბოს რა რაოდენობა უნდა გადაეცეს აზოტს მისი იზობარული გაფართოების დროს, რომ გაზმა შეასრულოს  $A = 2,0 \text{ ჯ}$  მუშაობა?

2.31. იდეალური გაზის ერთი მოლი იზობარულად გაათბეს  $\Delta T = 72 \text{ K}$ -ით, მიანიჭეს რა მას სითბოს  $Q = 1,60 \text{ კჯ}$  რაოდენობა. გამოთვალეთ გაზის მიერ შესრულებული მუშაობა, მისი შინაგანი ენერგიის ნაზრდი და  $\gamma = C_p/C_v$  სიდიდე.

2.32.  $T_0 = 300 \text{ K}$  ტემპერატურის, იდეალური გაზის ორი მოლი იზოქორულად გააცივეს, რის შედეგად მისი წნევა  $n = 2,0$ -ჯერ შემცირდა. შემდეგ გაზი იზობარულად გააფართოეს ისე, რომ საბოლოო მდგომარეობაში მისი ტემპერატურა საწყისი ტემპერატურის ტოლი გახდა. იპოვეთ გაზის მიერ შთანთქმული სითბოს რაოდენობა მოცემულ პროცესში.

2.33. გამოთვალეთ  $\gamma = C_p/C_v$  სიდიდე იდეალური გაზების ნარევისათვის, რომელიც შედგება  $v_1 = 2,0$  მოლი ჟანგბადისაგან და  $v_2 = 3,0$  მოლი ნახშირორჟანგისაგან.

2.34. გამოთვალეთ  $c_v$  და  $c_p$  კუთრი სითბოტევადობები იდეალური გაზების ნარევისათვის, რომელიც შედგება  $7,0 \text{ გ}$  აზოტისა და  $20 \text{ გ}$  არგონისაგან.

2.35. შევეულ ცილინდრში უწონო დგუშის ქვეშ მოთავსებულია  $T$  ტემპერატურის იდეალური გაზის ერთი მოლი. დგუშის ზედა ნაწილი ერთვის ატმოსფეროს. რა მუშაობა უნდა შესრულდეს, რომ დგუშის ნელა აწევით გაზის მოცულობა იზოთერმულად გაიზარდოს  $n$ -ჯერ? დგუშის ხახუნი ცილინდრის კედლებთან უგულვებლყოფილია.

2.36. ორივე მხრიდან დახშულ ჰორიზონტალურ ცილინდრში მოთავსებულია მსუბუქად მოძრავი დგუში. დასაწყისში დგუში ყოფს ცილინდრს  $V_0$  მოცულობის მქონე ორ ტოლ ნაწილად, რომლებშიც ერთი და იმავე ტემპერატურისა და ერთნაირი  $p_0$  წნევის იდეალური გაზი იმყოფება. რა მუშაობა უნდა შესრულდეს, რომ დგუშის ნელა გადაადგილებით გაზის ერთი ნაწილის მოცულობა იზოთერმულად გაიზარდოს  $\eta$ -ჯერ გაზის მეორე ნაწილის მოცულობასთან შედარებით.

2.37.  $T_0 = 273 \text{ K}$  ტემპერატურის მქონე იდეალური გაზის სამი მოლი იზოთერმულად გააფართოეს ისე, რომ მისი მოცულობა  $n = 5,0$ -ჯერ გაიზარდა. შემდეგ გაზი იზოქორულად გაათბეს ისე, რომ მისი წნევა საწყისი წნევის ტოლი გახდა. მთელ პროცესში გაზს გადაეცა  $Q = 80 \text{ კჯ}$  სითბოს რაოდენობა. იპოვეთ  $\gamma = c_p/c_v$  სიდიდე მოცემული გაზისათვის.

2.38. იდეალური გაზისათვის გამოსახეთ იზოქორული, იზობარული და ადიაბატური პროცესების გრაფიკები შემდეგ ლიაგრამებზე:

ა)  $p, T$ ; ბ)  $V, T$ .

2.39.  $T_0 = 290 \text{ K}$  ტემპერატურის მქონე ჟანგბადის ერთი მოლი ადიაბატურად შეკუმშეს ისე, რომ მისი წნევა  $\eta = 10,0$ -ჯერ გაიზარდა. იპოვეთ:

ა) გაზის ტემპერატურა შეკუმშვის შემდეგ;

გ) გაზის შეკუმშვაზე შესრულებული მუშაობა.

2.40. გარკვეული მასის აზოტი შეკუმშეს ჯერ ადიაბატურად, შემდეგ კი იზოთერმულად ისე, რომ მოცულობა  $\eta = 5,0$ -ჯერ მცირდებოდა. გაზის საწყისი მდგომარეობა ორივე შემთხვევაში ერთნაირი იყო. იპოვეთ შეკუმშვაზე დახარჯული შესაბამის მუშაობათა ფარდობა.

2.41. იდეალური გაზით ავსებულ სითბოგამტარი დახშული ცილინდრის შიგნით იმყოფება ადვილადმოძრავი სითბოგამტარი დგუში. წონასწორობის დროს დგუში ცილინდრს ყოფს ორ ტოლ ნაწილად. გაზის ტემპერატურაა  $T_0$ . დაიწყეს დგუშის ნელი გადაადგილება.

უიპოვოთ ტემპერატურა, როგორც დიდა და მცირე ნაწილების მოცულობათა  $\eta$  ფარდობის ფუნქცია. გაზის ადიაბატის მაჩვენებელია  $\gamma$ .

2.42. განსაზღვრეთ ჰელიუმის გამოდინების სიჩქარე  $v$  სითბოგაუმტარი ჭურჭლიდან ვაკუუმში მცირე ზომის ჭურჭლთან. გაზის ნაკადის სიჩქარე ჭურჭელში უგულებელყოფილია. ჰელიუმის ტემპერატურა ჭურჭელში  $T=1000$  K-ს.

2.43.  $\gamma$  ადიაბატის მაჩვენებლიანი ერთი მოლი იდეალური გაზის მოცულობა იცვლება  $V=a/T$  კანონით, სადაც  $a$  მუდმივაა. იპოვეთ გაზის მიერ მიღებული სითბოს რაოდენობა ამ პროცესში, თუ ტემპერატურის ნაზრდი არის  $\Delta T$ .

2.44. აჩვენეთ, რომ პროცესი, რომლის დროსაც იდეალური გაზის მუშაობა პროპორციულია მისი შინაგანი ენერგიის შესაბამისი ნაზრდისა, აღიწერება  $pV^n = \text{const}$  განტოლებით, სადაც  $n$  მუდმივაა.

2.45. იპოვეთ იდეალური გაზის მოლური სითბოტევადობა პოლიტროპული  $pV^n = \text{const}$  პროცესის დროს, თუ გაზის ადიაბატის მაჩვენებელი  $\gamma$ -ს ტოლია. პოლიტროპის  $n$  მაჩვენებლის როგორი მნიშვნელობისათვის იქნება სითბოტევადობა უარყოფითი?

2.46. პოლიტროპული პროცესის დროს არგონის მოცულობა გაიზარდა  $\alpha = 4,0$ -ჯერ. ამ დროს წნევა შემცირდა  $\beta = 8,0$ -ჯერ. იპოვეთ არგონის მოლური სითბოტევადობა ამ პროცესის დროს, თუ მას იდეალურ გაზად ჩავთვლით.

2.47. არგონის ერთი მოლი გააჟართეს პოლიტროპულად, რომლის მაჩვენებელია  $n=1,50$ , ამასთან, გაზის ტემპერატურის ნაზრდი  $\Delta T = 26$  K. იპოვეთ:

- ა) გაზის შინაგანი ენერგიის ნაზრდი;
- ბ) გაზის მიერ შესრულებული მუშაობა;
- გ) გაზის მოლური სითბოტევადობა აღნიშნულ პირობებში.

2.48. იდეალური გაზი, რომლის ადიაბატის მაჩვენებელია  $\gamma$ , გააჟართეს  $p=\alpha V$  კანონით, სადაც  $\alpha$  მუდმივაა. გაზის საწყისი მოცულობა ტოლია  $V_0$ -ის, გაჟართების შედეგად მოცულობა გაიზარდა  $\eta$ -ჯერ. იპოვეთ:

- ა) გაზის შინაგანი ენერგიის ნაზრდი;
- ბ) გაზის მიერ შესრულებული მუშაობა;
- გ) გაზის მოლური სითბოტევადობა აღნიშნულ პროცესში.

2.49. იდეალური გაზი, რომლის ადიაბატის მაჩვენებელია  $\gamma$ , გააჟართეს ისე, რომ გაზზე გადაცემული სითბოს რაოდენობა მისი შინაგანი ენერგიის შემცირების ტოლია. იპოვეთ:

- ა) გაზის მოლური სითბოტევადობა ამ პროცესში;
- ბ) პროცესის განტოლება  $T$ ,  $V$  პარამეტრებში;
- გ) ერთი მოლი გაზის მიერ შესრულებული მუშაობა მისი მოცულობის

$\eta$ -ჯერ გაზრდის დროს, თუ საწყისი ტემპერატურა  $T_0$ -ის ტოლია.

2.50.  $\gamma$  ადიაბატის მაჩვენებლიანი იდეალური გაზის ერთი მოლი ასრულებს პროცესს, რომლის დროსაც მისი წნევა ტემპერატურაზე  $p=aT^\alpha$  კანონითაა დამოკიდებული, სადაც  $a$  და  $\alpha$  მუდმივებია, იპოვეთ:

ა) გაზის მიერ შესრულებული მუშაობა, თუ ტემპერატურის ნაზრდი  $\Delta T$ -ს ტოლია;

ბ) გაზის მოლური სითბოტევადობა აღნიშნულ პროცესში;  $\alpha$ -ს რა მნიშვნელობისათვის იქნება სითბოტევადობა უარყოფითი?

2.51.  $\gamma$  ადიაბატის მაჩვენებლიანი იდეალური გაზი ასრულებს პროცესს, რომლის დროსაც მისი შინაგანი ენერგია  $U \propto V^\alpha$  კანონითაა დამოკიდებული მოცულობაზე, სადაც  $\alpha$  მუდმივაა. იპოვეთ:

ა) გაზის მიერ შესრულებული მუშაობა და მასზე გადაცემული სითბოს ის რაოდენობა, რომლის დროსაც შინაგანი ენერგია ღებულობს  $\Delta U$  ნაზრდს;

ბ) გაზის მოლური სითბოტევადობა აღნიშნულ პროცესში.

2.52. იდეალური გაზის მოლური სითბოტევადობა მუდმივი მოცულობის დროს  $C_V$ -ს ტოლია. იპოვეთ გაზის მოლური სითბოტევადობის დამოკიდებულება  $V$  მოცულობაზე, თუ გაზი ასრულებს პროცესს შემდეგი კანონით:

$$\text{ა) } T = T_0 e^{\alpha V}; \quad \text{ბ) } p = p_0 e^{\alpha V};$$

სადაც  $T_0$ ,  $p_0$  და  $\alpha$  მუდმივებია.

2.53.  $\gamma$  ადიაბატის მაჩვენებლიანი იდეალური გაზის ერთი მოლი ასრულებს პროცესს  $p=p_0 + \alpha/V$  კანონით, სადაც  $p_0$  და  $\alpha$  დადებითი მუდმივებია. იპოვეთ:

ა) გაზის სითბოტევადობა როგორც მოცულობის ფუნქცია;

ბ) გაზის შინაგანი ენერგიის ნაზრდი, მის მიერ შესრულებული მუშაობა და გაზზე გადაცემული სითბო, თუ მისი მოცულობა იზრდება  $V_1$ -დან  $V_2$ -მდე.

2.54. იდეალური გაზის ერთი მოლი, რომლის სითბოტევადობა მუდმივი წნევის პირობებში  $C_p$ -ს ტოლია, ასრულებს პროცესს  $T=T_0 + \alpha V$  კანონით, სადაც  $T_0$  და  $\alpha$  მუდმივებია. იპოვეთ:

ა) გაზის სითბოტევადობა, როგორც მოცულობის ფუნქცია;

ბ) გაზზე გადაცემული სითბო, თუ მისი მოცულობა გაიზარდა  $V_1$ -დან  $V_2$ -მდე.

2.55. იდეალური [გაზისათვის] იპოვეთ იმ პროცესის განტოლება ( $T$ ,  $V$  ცვლადებში), რომლის დროსაც გაზის მოლური სითბოტევადობა იცვლება:

$$\text{ა) } C = C_V + \alpha T, \quad \text{ბ) } C = C_V + \beta V, \quad \text{გ) } C = C_V + \alpha p$$

კანონით. აქ  $\alpha$ ,  $\beta$  და  $a$  მუდმივებია.



2.56. იდეალური გაზის ადიაბატის მაჩვენებელი  $\gamma$ -ს ტოლია. მისი მოლური სითბოტევადობა რომელიმე პროცესში იცვლება  $C=\alpha/T$  კანონით, სადაც  $\alpha$  მუდმივია. იპოვეთ:

ა) გაზის ერთი მოლის მიერ შესრულებული მუშაობა მისი გათბობისას  $T_0$  ტემპერატურიდან  $\eta T_0$  ტემპერატურამდე;

ბ) პროცესის განტოლება  $p, V$  ცვლადებში.

2.57. იპოვეთ ვან-დერ-ვაალსის გაზის ერთი მოლის მიერ შესრულებული მუშაობა იზოთერმული გაფართოებისას  $V_1$ -დან  $V_2$  მოცულობამდე  $T$  ტემპერატურის დროს.

2.58. ჟანგბადის ერთი მოლი გაფართოვდა  $V_1=1,00$  ლ მოცულობიდან  $V_2=5,0$  ლ მოცულობამდე მუდმივი  $T=280$  K ტემპერატურის დროს, გამოთვალეთ:

ა) გაზის შინაგანი ენერგიის ნაზრდი;

ბ) შთანთქმული სითბოს რაოდენობა.

გაზი ემორჩილება ვან-დერ-ვაალსის განტოლებას.

2.59. ვან-დერ-ვაალსის გაზისათვის იპოვეთ:

ა) ადიაბატის განტოლება  $P, T$  პარამეტრებში;

გ) მოლური სითბოტევადობების  $C_p - C_v$  სხვაობა, როგორც  $T$  და  $V$ -ს ფუნქცია.

2.60. ორი სითბოგაუმტარი ბალონი ონკანიანი მილითაა შეერთებული.  $V_1=10$  ლ მოცულობის ბალონში მოთავსებულია  $\nu=2,5$  მოლი ნახშირორჟანგი,  $V_2=100$  ლ მოცულობის ბალონი კი ამოტუმბულია მაღალ ვაკუუმამდე. ონკანი გააღეს და გაზი გაფართოვდა ადიაბატურად. იპოვეთ გაზის ტემპერატურის ნაზრდი მიღებული გაფართოების შედეგად, თუ ის ემორჩილება ვან-დერ-ვაალსის განტოლებას.

2.61. სითბოს რა რაოდენობა უნდა მივაწოდოთ ნახშირორჟანგის  $\nu=3,0$  მოლს, რომ ვაკუუმში მისი გაფართოების შედეგად  $V_1=5,0$  ლ-დან  $V_2=10$  ლ მოცულობამდე ტემპერატურა არ შეიცვალოს? გაზი რეალურია.

### 2.3. მოლეკულურ-კინეტიკური თეორია.

#### მაქსველისა და ბოლცმანის განაწილებანი

დროის ერთეულში და ფართის ერთეულზე გაზის მოლეკულების დაჯახებათა რიცხვი:

$$\nu = \frac{1}{4} n \langle v \rangle. \quad (2.3 \text{ ა})$$

სადაც  $n$  არის მოლეკულების კონცენტრაცია,  $\langle v \rangle$  — მათი საშუალო სიჩქარე.

იდეალური გაზის მდგომარეობის განტოლება:

$$p = nkT. \quad (2.3 \text{ ბ})$$

მოლეკულების საშუალო ენერგია:

$$\langle \epsilon \rangle = \frac{i}{2} kT, \quad (2.3 \text{ გ})$$

სადაც  $i$  არის გადატანითი, ბრუნვითი და გაორკეცებული რხევითი თავისუფლების ხარისხთა ჯამი.

მაქსველის განაწილება:

$$dN(v_x) = N \left( \frac{m}{2\pi kT} \right)^{1/2} e^{-mv_x^2/2kT} dv_x, \quad (2.3 \text{ დ})$$

$$dN(v) = N \left( \frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-mv^2/2kT} 4\pi v^2 dv. \quad (2.3 \text{ ე})$$

მაქსველის განაწილების დაყვანილი სახე:

$$dN(u) = N \frac{4}{\sqrt{\pi}} e^{-u^2} u^2 du, \quad (2.3 \text{ ვ})$$

სადაც  $u = v/v_{\text{აზ}}$ ,  $v_{\text{აზ}}$  არის უალბათესი სიჩქარე.

მოლეკულის უალბათესი, საშუალო და კვადრატული სიჩქარეებია:

$$v_{\text{აზ}} = \sqrt{\frac{2kT}{m}}, \quad \langle v \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}, \quad v_{\text{კვ}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}.$$

ბოლცმანის განაწილება:

$$n = n_0 e^{-(U - U_0)/kT},$$

სადაც  $U$  მოლეკულის პოტენციალური ენერგიაა.

2.62. თანამედროვე ვაკუუმის ტუმბოები იძლევიან  $p = 4 \cdot 10^{-15}$  ატმ-მდე წნევის მიღების შესაძლებლობას (ოთახის ტემპერატურაზე). იპოვეთ გაზის მოლეკულების რიცხვი 1 სმ<sup>3</sup>-ში და მათ შორის საშუალო მანძილი მოცემულ წნევაზე.

2.63.  $T=1800$  K ტემპერატურის  $m=1,40$  გ მასის აზოტი იმყოფება  $V=5,0$  ლ მოცულობის ჭურჭელში. გაითვალისწინეთ, რომ მოცემულ ტემპერატურაზე მოლეკულების  $\eta=30\%$  დისოცირდება ატომებად და იპოვეთ გაზის წნევა. გაზი იდეალურია.

2.64. ნორმალურ პირობებში ჰელიუმისა და აზოტის ნარევის სიმკვრივე  $\rho=0,60$  გ/ლ. იპოვეთ მოცემულ ნარევიში ჰელიუმის ატომების კონცენტრაცია. გაზი იდეალურია.

2.65.  $v=400$  მ/წმ სიჩქარის მქონე აზოტის მოლეკულების პარალელური კონა ეცემა კედელს მისი ნორმალისადმი  $\theta=30^\circ$ -იანი კუთხით. კონაში მოლეკულების კონცენტრაციაა  $n=0,90 \cdot 10^{19}$  სმ<sup>-3</sup>. იპოვეთ კონის წნევა კედელზე, თუ ჩავთვლით, რომ მოლეკულები მისგან აირეკლებიან აბსოლუტურად დრეკადი დაჯახების კანონის თანახმად.

2.66. იპოვეთ გაზის მოლეკულების თავისუფლების ხარისხთა რიცხვი, თუ ნორმალურ პირობებში გაზის სიმკვრივე  $\rho=1,3$  მგ/სმ<sup>3</sup>, ხოლო მასში ბგერის გავრცელების სიჩქარე  $v=330$  მ/წმ.

2.67. განსაზღვრეთ გაზში ბგერის გავრცელების  $v$  სიჩქარის შეფარდება გაზის მოლეკულების საშუალო კვადრატულ სიჩქარესთან, თუ მოლეკულები:

ა) ერთატომიანია; ბ) ხისტი ორატომიანია.

2.68.  $N$ -ატომიანი მოლეკულებისაგან შედგენილი გაზის ტემპერატურაა  $T$ , რომლის დროსაც მოლეკულებს აგზნებული აქვთ თავისუფლების ყველა ხარისხი (გადატანითი, ბრუნვითი და რხევითი). იპოვეთ ასეთი გაზის მოლეკულის საშუალო ენერგია. ამ ენერგიის რა ნაწილს შეადგენს გადატანითი მოძრაობის ენერგია?

2.69. გაზი გამთბარია იმ ტემპერატურამდე, რომლის დროსაც მოლეკულებს აგზნებული აქვთ თავისუფლების ყველა ხარისხი (გადატანითი, ბრუნვითი და რხევითი). იპოვეთ ასეთი გაზის მოლური სითბოტევადობა იზოქორული პროცესის დროს, აგრეთვე ადიაბატის  $\gamma$  მაჩვენებელი, თუ გაზი შედგება:

ა) ორატომიანი მოლეკულებისგან,

ბ) წრფივი  $N$  ატომიანი მოლეკულებისაგან,

გ) არაწრფივი  $N$ -ატომიანი მოლეკულებისგან.

2.70.  $N$ -ატომიანი მოლეკულებისაგან შემდგარი იდეალური გაზი ფართოვდება იზობარულად. ჩავთვალოთ, რომ მოლეკულებს აგზნებული აქვთ თავისუფლების ყველა ხარისხი (გადატანითი, ბრუნვითი და რხევითი) და ვიპოვოთ ამ პროცესში გაზზე გადაცემული სითბოს ის ნაწილი, რომელიც იხარჯება გაფართოების მუშაობაზე. რას უდრის ეს ნაწილი ერთატომიანი გაზისათვის?

2.71. იპოვეთ იდეალური გაზის მოლეკულების თავისუფლების ხარისხთა რიცხვი და მოლური მასა, თუ ცნობილია მისი კუთრი სითბოტევადობები  $c_v = 0,65$  კჯ/გ  $K$  და  $c_p = 0,91$  კჯ/გ  $K$ .

2.72. იპოვეთ იმ იდეალური გაზის მოლეკულების თავისუფლების ხარისხთა რიცხვი, რომლის მოლური სითბოტევადობაა:

ა) მუდმივი წნევის დროს  $C_p = 29$  კჯ/(მოლი  $K$ );

ბ)  $pT = \text{const}$  პროცესისთვის კი  $C = 29$  კჯ/(მოლი  $K$ ).

2.73. გამოთვალეთ  $v_1$  მოლი ერთატომიანი და  $v_2$  მოლი ორატომიანი გაზების ნარევის  $\gamma$  ადიაბატის მაჩვენებელი. მოლეკულები ჩათვალით ხისტად.

2.74.  $t = 27^\circ C$  ტემპერატურის მქონე გაზისებრი აზოტით საფარული თბოგაუმტარი ჭურჭელი მოძრაობს  $v = 100$  მ/წმ სიჩქარით. რამდენი პროცენტით და როგორ შეიცვლება გაზის წნევა მისი მყისი გაჩერებისას?

2.75.  $t = 17^\circ C$  ტემპერატურაზე გამოთვალეთ:

ა) ჟანგბადის მოლეკულების საშუალო კვადრატული სიჩქარე და გადატანითი მოძრაობის საშუალო კინეტიკური ენერგია;

ბ) ჰაერში შეწონილი,  $d = 0,10$  მკმ დიამეტრის მქონე წყლის წვეთის საშუალო კვადრატული სიჩქარე.

2.76. რამდენჯერ უნდა გავაფართოოთ ადიაბატურად ორატომიანი ხისტი მოლეკულებისაგან შედგენილი გაზი, რომ მათი საშუალო კვადრატული სიჩქარე  $\eta = 150$ -ჯერ შემცირდეს?

2.77.  $m = 15$  გ მასის აზოტი იმყოფება დახშულ ჭურჭელში  $T = 300 K$  ტემპერატურაზე. სითბოს რა რაოდენობა უნდა გადავცეთ აზოტს, რომ მისი მოლეკულების საშუალო კვადრატული სიჩქარე გაიზარდოს  $\eta = 2$ -ჯერ?

2.78. მოცემულია  $T = 300 K$  ტემპერატურის ხისტი ორატომიანი მოლეკულებისაგან შემდგარი გაზი. გამოთვალეთ მოლეკულების ბრუნვის საშუალო კვადრატული კუთხური სიჩქარე, თუ მისი ინერციის მომენტი  $J = 2,1 \cdot 10^{-39}$  გ.სმ<sup>2</sup>-ის ტოლია.

2.79. ნორმალურ პირობებში მყოფი ხისტი ორატომიანი მოლეკულებისაგან შემდგარი გაზი ადიაბატურად შეკუმშეს ისე, რომ მისი მოცულობა შემცირდა  $\eta = 5,0$ -ჯერ. იპოვეთ მოლეკულის ბრუნვითი მოძრაობის საშუალო კინეტიკური ენერგია საბოლოო მდგომარეობაში.

2.80. რამდენჯერ შეიცვლება ხისტი ორატომიანი მოლეკულების დაჯახებათა რიცხვი კედლის ზედაპირზე დროის ერთეულში, თუ გაზს ადიაბატურად გავაფართოებთ  $\eta$ -ჯერ?

2.81. ხისტი ორატომიანი მოლეკულებისაგან შემდგარი გაზის მოცულობა გაიზარდეს  $\eta = 2,0$ -ჯერ პოლიტროპულად, რომლის ძოლური სითბოტევადობა  $C = R$ . რამდენჯერ შეიცვლება ჭურჭლის კედელთან მოლეკულების დაჯახებათა სიხშირე?

2.82. ხისტი ორატომიანი მოლეკულებისაგან შემდგარი გაზი პოლიტროპულად გააფართოეს ისე, რომ ჭურჭლის კედელთან მოლეკულების დაჯახებათა სიხშირე არ შეიცვალა. იპოვეთ გაზის მოლური სითბოტევადობა ამ პროცესში.

2.83. გამოთვალეთ გაზის მოლეკულების უაღბათესი, საშუალო და საშუალო კვადრატული სიჩქარეები, თუ ნორმალურ ატმოსფერულ წნევაზე მისი სიმკვრივე  $\rho = 100$  გ/ლ-ის ტოლია.

2.84. იპოვეთ გაზის იმ მოლეკულათა ფარდობითი რიცხვი, რომელთა სიჩქარეები განსხვავდებიან არა უმეტეს  $\eta = 1,00\%$ -ით:

ა) უაღბათესი სიჩქარის მნიშვნელობისაგან;

ბ) საშუალო კვადრატული სიჩქარის მნიშვნელობისაგან.

2.85. განსაზღვრეთ გაზის ტემპერატურა, რომლისთვისაც:

ა) წყალბადის მოლეკულების საშუალო კვადრატული სიჩქარე  $\Delta v = 400$  მ/წმ-ით მეტია მათ უაღბათეს სიჩქარეზე;

ბ) ჟანგბადის მოლეკულების სიჩქარეების განაწილების  $F(v)$  ფუნქციას  $v = 420$  მ/წმ სიჩქარეზე აქვს მაქსიმუმი.

2.86. გაზისებრი აზოტისათვის გამოთვალეთ:

ა) ტემპერატურა, რომლის დროსაც მოლეკულების  $v_1=300$  მ/წმ და  $v_2=600$  მ/წმ სიჩქარეებს შეესაბამებათ მაქსიმალური განაწილების  $F(v)$  ფუნქციის ერთი და იგივე მნიშვნელობა.

ბ) მოლეკულების  $v$  სიჩქარე, რომლის დროსაც მაქსიმალური განაწილების  $F(v)$  ფუნქცია  $T_0$  ტემპერატურაზე ისეთივე იქნება, რაც  $\eta$  ჯერ მეტ ტემპერატურაზე.

2.87. აზოტისა და ჟანგბადის ნარევის ტემპერატურის რომელი მნიშვნელობისათვის იქნება აზოტისა და ჟანგბადის მოლეკულების უალბათესი სიჩქარეების შორის განსხვავება  $\Delta v=30$  მ/წმ?

2.88. წყალბადისა და ჰელიუმის ნარევის ტემპერატურაა  $T=300$  K. მოლეკულების  $v$  სიჩქარის რომელი მნიშვნელობისთვის იქნება ორივე გაზის სიჩქარეების მიხედვით მაქსიმალური განაწილების  $F(v)$  ფუნქცია ერთი და იგივე?

2.89. გაზის როგორი ტემპერატურისთვის იქნება სიჩქარეთა მოცემულ ( $v, v+dv$ ) შუალედში მოხვედრილი მოლეკულების რიცხვი უდიდესი? თითოეული მოლეკულის მასაა  $m$ .

2.90. განსაზღვრეთ იმ მოლეკულების ფარდობითი რიცხვი, რომელთა სიჩქარის მდგენელები  $x$  ღერძზე მოთავსებულია ( $v_x, v_x+dv_x$ ) შუალედში, სიჩქარის მართობული მდგენელის მოდულები კი ( $v_1, v_1+dv_1$ ) შუალედში. გაზის ტემპერატურაა  $T$ , ხოლო თითოეული მოლეკულის მასა  $m$ .

2.91. მაქსიმალური განაწილების გამოყენებით გამოთვალეთ სიჩქარის გეგმილის საშუალო  $\langle v_x \rangle$  და ამ გეგმილის მოდულის საშუალო მნიშვნელობა  $\langle |v_x| \rangle$ , თუ გაზის თითოეული მოლეკულის მასაა  $m$ , ტემპერატურა კი  $T$ .

2.92. მაქსიმალური განაწილების კანონის გამოყენებით გამოთვალეთ გაზის მოლეკულათა სიჩქარის  $v_x$  გეგმილის კვადრატის საშუალო  $\langle v_x^2 \rangle$  მნიშვნელობა. გაზის ტემპერატურაა  $T$ , თითოეული მოლეკულის მასა კი  $m$ .

2.93. მაქსიმალური განაწილების კანონის გამოყენებით გამოთვალეთ ფართის ერთეულზე და დროის ერთეულში გაზის მოლეკულების დაჯახებათა რიცხვი  $\nu$ , თუ მოლეკულათა კონცენტრაცია  $n$ -ის ტოლია, ტემპერატურაა  $T$ , თითოეული მოლეკულის მასა კი  $m$ .

2.94. მაქსიმალური განაწილების კანონის დახმარებით განსაზღვრეთ გაზის მიერ კედელზე წარმოებული წნევა, თუ მისი ტემპერატურაა  $T$ , მოლეკულების კონცენტრაცია კი  $n$ .

2.95. მაქსიმალური განაწილების გამოყენებით იპოვეთ იდეალური გაზის მოლეკულათა სიჩქარის შებრუნებული სიდიდის საშუალო მნიშვნელობა  $\langle 1/v \rangle$ , თუ გაზის ტემპერატურაა  $T$ , თითოეული მოლეკულის მასა  $m$ . მიღებული სიდიდე შეადარეთ საშუალო სიჩქარის შებრუნებულ სიდიდეს.

2.96. გაზი შედგება  $m$  მასის მოლეკულებისაგან და მისი ტემპერატურაა  $T$ -ს ტოლია. მაქსიმალური განაწილების კანონის დახმარებით,  $v$  სიჩქარეების მიხედვით, იპოვეთ მოლეკულების შესაბამისი განაწილება  $\epsilon$  კინეტიკური ენერგიების მიხედვით. განსაზღვრეთ კინეტიკური ენერგიის უალბათესი მნიშვნელობა  $\epsilon_{\min}$ . შეესაბამება თუ არა  $\epsilon_{\min}$  უალბათესი სიჩქარეს?

2.97. სითბურ წონასწორობაში მყოფი გაზის ერთატომიანი მოლეკულების რა ნაწილს აქვს საშუალო მნიშვნელობისაგან  $\delta\eta=1,0\%$ -ით განსხვავებული კინეტიკური ენერგია?

2.98.  $T$  ტემპერატურის მქონე გაზის მოლეკულების რა ნაწილს ექნება  $\epsilon_0$ -ზე მეტი გადატანითი მოძრაობის კინეტიკური ენერგია, თუ  $\epsilon_0 > kT$ ?

2.99. ჭურჭლის ზედაპირიდან გამოსულ კონაში მოლეკულების განაწილება სიჩქარეების მიხედვით აღწერილია  $F(v) = A v^3 e^{-mv^2/2kT}$  ფუნქციით, სადაც  $T$  არის გაზის ტემპერატურა ჭურჭელში. იპოვეთ:

ა) მოლეკულათა უალბათესი სიჩქარე კონაში; შეადარეთ მიღებული სიდიდე მოლეკულათა უალბათესი სიჩქარესთან თვით ჭურჭელში;

ბ) მოლეკულათა უალბათესი კინეტიკური ენერგიის მნიშვნელობა კონაში.

2.100.  $n$  კონცენტრაციის იდეალური გაზის ტემპერატურაა  $T$ , მოლეკულის მასა კი  $m$ . მაქსიმალური განაწილების გამოყენებით იპოვეთ დროის ერთეულში კედლის ფართის ერთეულზე, კედლის ნორმალისადმი ( $\phi, \phi+d\phi$ ) კუთხეთა შუალედში დაცემული მოლეკულათა რაოდენობა.

2.101. წინა ამოცანის პირობიდან გამომდინარე, იპოვეთ დროის ერთეულში კედლის ფართის ერთეულზე დაცემულ მოლეკულათა რიცხვი, რომელთა სიჩქარეები მოთავსებულია ( $v, v+dv$ ) შუალედში.

2.102. იპოვეთ ნაწილაკზე მოქმედი ძალა ერთგვაროვან ველში, თუ ნაწილაკების კონცენტრაცია ველის გასწვრივ  $\Delta h=3,0$  მანძილით დაშორებულ ორ ღონეზე  $\eta=2,0$ -ჯერ განსხვავდება. სისტემის ტემპერატურაა  $T=280$  K.

2.103. გუმბათის შეწონილ ნაწილაკებზე მიკროსკოპში დაკვირვებისას აღმოჩნდა, რომ მათი საშუალო რაოდენობა  $\bar{n}=40$  მკმ მანძილით დაშორებულ ორ ფენაში  $\eta=2,0$ -ჯერ განსხვავდება ერთმანეთისგან. გარემოს ტემპერატურაა  $T=290$  K, ნაწილაკების დიამეტრი  $d=0,40$  მკმ, ხოლო მათი სიმკვრივე  $\Delta\rho=0,20$  გ/სმ<sup>3</sup>-ით მეტია გარემომცველი სითხის სიმკვრივეზე. ამ მონაცემების მიხედვით იპოვეთ ავოგადროს რიცხვი.

2.104. დედამიწის ზედაპირთან მყოფი წყალბადის მოლეკულათა კონცენტრაციის შეფარდება აზოტის მოლეკულათა კონცენტრაციასთან უდრის  $\eta_0$ , შესაბამისი შეფარდება დედამიწის ზედაპირიდან  $h=3000$  მ სიმაღლეზე კი  $\eta$ . იპოვეთ  $\eta/\eta_0$  შეფარდება  $T=280$  K ტემპერატურაზე,

თუ თავისუფალი ვარდნის აჩქარება და ტემპერატურა არ არის დამოკიდებული სიმაღლეზე.

**2.105.** ძალიან გრძელ ვერტიკალურ ჭურჭელში მოთავსებულია გაზი, რომელიც შედგება ორი სახის  $m_1$  და  $m_2$  მასის მოლეკულებისაგან. ამასთან,  $m_2 > m_1$ . ამ მოლეკულათა კონცენტრაცია ჭურჭლის ფსკერთან შესაბამისად  $n_1$  და  $n_2$ -ის ტოლია,  $n_2 > n_1$ . გამოთვალეთ ის  $h$  სიმაღლე, რომელზეც ამ ორი სახესხვაობის მოლეკულათა კონცენტრაცია ერთი და იგივე იქნება, თუ  $g$ —თავისუფალი ვარდნის აჩქარება და ტემპერატურა ერთი და იგივეა მთელ სიმაღლეზე.

**2.106.**  $T$  ტემპერატურის ნახშირორჟანგი იმყოფება ძალიან მაღალ ვერტიკალურ ცილინდრულ ჭურჭელში. ვიპოვოთ როგორ შეიცვლება გაზის წნევა ჭურჭლის ფსკერზე, თუ მის ტემპერატურას გავზრდით  $\eta$ -ჯერ, ხოლო სიმძიმის ველს ჩავთვლით ერთგვაროვანად.

**2.107.** ძალიან მაღალ ცილინდრულ ჭურჭელში მოთავსებულია  $T$  ტემპერატურის მქონე გაზი. იპოვეთ გაზის მოლეკულათა პოტენციური ენერგიის საშუალო მნიშვნელობა, თუ სიმძიმის ველი ერთგვაროვანია. როგორ იქნება დამოკიდებული ეს სიდიდე გაზის ერთგვაროვანი ან სხვადასხვანაირი სახეობის მოლეკულების შედგენილობისაგან?

**2.108.** ორივე ბოლოებიდან დახშულ  $l=100$  სმ სიგრძის ჰორიზონტალურ მილს ამოძრავებენ მისი ღერძის გასწვრივ  $w$  მუდმივი აჩქარებით. მილის შიგნით მოთავსებულია  $T=330$  K ტემპერატურის არგონი.  $w$  ს როგორი მნიშვნელობისათვის განსხვავდება არგონის კონცენტრაცია მილის ბოლოებთან  $\eta=1,0\%$ -ით?

**2.109.** იპოვეთ კოლოიდურა ნაწილაკების ერთი მოლის მასა, თუ ვერტიკალური ღერძის გარშემო  $\omega$  კუთხური სიჩქარით მბრუნავ ცენტრიფუგაში ამ ნაწილაკების კონცენტრაცია ბრუნვის ღერძიდან  $r_2$  მანძილზე  $\eta$ -ჯერ მეტია, ვიდრე  $r_1$  მანძილზე (ერთსა და იმავე ჰორიზონტალურ სიბრტყეში). ნაწილაკებისა და გამხსნელის სიმკვრივეები შესაბამისად  $\rho$  და  $\rho_0$ -ის ტოლია.

**2.110.** ორივე მხრიდან დახშულ ჰორიზონტალურ მილს აბრუნებენ  $\omega$  მუდმივი კუთხური სიჩქარით მის ერთ-ერთ ბოლოზე გამაგალი ვერტიკალური ღერძის გარშემო. მილში იმყოფება  $T=300$  K ტემპერატურის ნახშირორჟანგი. მილის სიგრძე  $l=100$  სმ. იპოვეთ  $\omega$ -ს ის მნიშვნელობა, რომლისთვისაც მოლეკულათა კონცენტრაციების შეფარდება მობირდაპირე ბოლოებთან უდრის  $\eta=2,0$ .

**2.111.** მოცემულ ცენტრალურ ველში გაზის მოლეკულათა პოტენციური ენერგია  $U(r)=ar^2$  კანონითაა დამოკიდებული  $r$  მანძილზე ველის ცენტრიდან, აქ  $a$  დადებითი მუდმივაა. გაზის ტემპერატურა და მო-

ლეკულათა კონცენტრაცია ველის ცენტრში შესაბამისად  $T$ -ს და  $n$ -ის ტოლია. იპოვეთ:

- $(r, r+dr)$  შუალედში მოხვედრილ მოლეკულათა რიცხვი;
- მოლეკულათა უაღბათესი მანძილი ველის ცენტრიდან;
- $(r, r+dr)$  ფენაში მოხვედრილი ყველა მოლეკულის ფარდობითი რიცხვი;
- რამდენჯერ შეიცვლება მოლეკულების კონცენტრაცია ველის ცენტრში ტემპერატურის  $\eta$ -ჯერ შემცირებისას.

**2.112.** ისარგებლეთ წინა ამოცანის პირობებით და იპოვეთ:

- მოლეკულათა რიცხვი, რომელთა პოტენციური ენერგიები მოხვედრილი იქნება  $(U, U+dU)$  შუალედში.
- მოლეკულის პოტენციური ენერგიის უაღბათესი მნიშვნელობა; ეს მნიშვნელობა შეადარეთ ველის ცენტრიდან უაღბათეს მანძილზე მყოფი მოლეკულის პოტენციური ენერგიის მნიშვნელობას.

## 2.4. თერმოდინამიკის მეორე კანონი. ენტროპია

● სითბური მანქანის მ. ქ. კ.

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2'}{Q_1}, \quad (2.4 \text{ ა})$$

სადაც  $Q_1$  არის მუშა სხეულის მიერ მიღებული სითბოს რაოდენობა,  $Q_2'$ —გაცემული სითბოს რაოდენობა.

● კარნოს ციკლის მ. ქ. კ.

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}, \quad (2.4 \text{ ბ})$$

სადაც  $T_1$  და  $T_2$  გამახურებლისა და მაცივრის ტემპერატურაა.

● კლაუზიუსის უტოლობა:

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0, \quad (2.4 \text{ გ})$$

სადაც  $\delta Q$  არის სისტემის მიერ მიღებული ელემენტარული სითბო ( $\delta Q$  ალგებრული სიდიდეა).

● სისტემის ენტროპიის ნაზრდი:

$$\Delta S \geq \int \frac{\delta Q}{T}. \quad (2.4 \text{ დ})$$

● თერმოდინამიკის ძირითადი განტოლება შექცევადი პროცესებისათვის:

$$TdS = dU + pdV. \quad (2.4 \text{ ე})$$

● კავშირი ენტროპიასა და  $\Omega$  სტატისტიკურ წონას (თერმოდინამიკური ალბათობა) შორის:

$$S = k \ln \Omega, \quad (2.4 \text{ ვ})$$

სადაც  $k$  ბოლცმანის მუდმივაა.



2.113. რომელ შემთხვევაში გაიზრდება კარნოს ციკლის მ. ქ. კ. უფრო მეტად: სახურებლის ტემპერატურის  $\Delta T$ -ით გაზრდისას, თუ მა- ცივრის ტემპერატურის შემცირებისას იმავე სიდიდით?

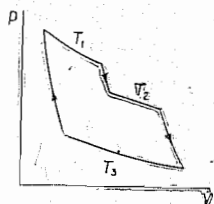
2.114. წყალბადი ასრულებს კარნოს ციკლს. იპოვეთ ციკლის მ. ქ. კ., თუ ადიბატური გაფართოებისას:

ა) გაზის მოცულობა იზრდება  $n=2,0$ -ჯერ;

ბ) წნევა მცირდება  $n=2,0$ -ჯერ.

2.115. კარნოს ციკლით მომუშავე,  $\eta=10\%$  მ. ქ. კ. მქონე სითბურ მანქანას იყენებენ როგორც მაცივარს იმავე სითბური რეზერვუარებისათ- ვის. იპოვეთ მისი სამაცივრო კოეფიციენტი  $\varepsilon$ .

2.116. იდეალური გაზი ასრულებს ციკლს, რომელიც შედგება ერთ- მანეთისწინააღმდეგე იზოთერმებისაგან და ადიბატებისაგან (ნახ. 2.2). იზოთ- ერმული პროცესები წარმოებენ  $T_1$ ,  $T_2$  და  $T_3$  ტემპერატურებზე. იპოვეთ მოცემული ციკლის მ. ქ. კ., თუ ყოველი იზოთერმული გაფართოებისას გაზის მოცულობა ერთი და იმავე რიცხვჯერ იზრდება.



ნახ. 2.2

2.117. იპოვეთ ორი იზოქორისაგან და ორი ადიბატისაგან შემდგარი ციკლის მ. ქ. კ., თუ ციკლის ფარგლებში იდეალური გაზის მოცუ- ლობა იცვლება  $n=10$ -ჯერ. მუშა ნივთიე- რებად აღებულია აზოტი.

2.118. იპოვეთ ორი იზობარისაგან და ორი ადიბატისაგან შემდგარი ციკლის მ. ქ. კ., თუ ციკლის ფარგლებში წნევა იცვლება  $n$ -ჯერ. მუშა სხეულად აღებულია  $\gamma$  ადიბატის მაჩვენებლი-

ნი იდეალური გაზი.

2.119.  $\gamma$  ადიბატის მაჩვენებლიანი იდეალური გაზი ასრულებს ციკლს, რომელიც შედგება ორი იზოქორისაგან და ორი იზობარისაგან. იპოვეთ ასეთი ციკლის მ. ქ. კ., თუ გაზის აბსოლუტური ტემპერატურა იზრდება  $n$ -ჯერ, როგორც იზოქორული გათბობისას, ისე იზობარული გაფართოების დროს.

2.120. იდეალური გაზი ასრულებს ციკლს, რომელიც შედგება:

ა) იზოქორის, ადიბატისა და იზოთერმისაგან;

ბ) იზობარის, ადიბატისა და იზოთერმისაგან;

ამასთან, იზოთერმული პროცესი მიმდინარეობს ციკლის მინიმალური ტე- მპერატურის დროს. ვიპოვოთ თითოეული ციკლის მ. ქ. კ., თუ აბსო- ლუტური ტემპერატურა მის ფარგლებში იცვლება  $n$ -ჯერ.

2.121. იგივე, რაც წინა ამოცანაში, იმ განსხვავებით, რომ იზოთე- რმული პროცესი წარმოებს ციკლის მაქსიმალურ ტემპერატურაზე.

2.122. იდეალური გაზი ასრულებს იზოთერმისაგან, პოლიტროპისა და ადიბატისაგან შემდგარ ციკლს. იპოვეთ ციკლის მ. ქ. კ., თუ ციკლის ფარგლებში იდეალური გაზის მოცულობა იცვლება  $n$ -ჯერ.

ციკლის მაქსიმალურ ტემპერატურაზე. იპოვეთ ციკლის მ. ქ. კ., თუ მის ფარგლებში აბსოლუტური ტემპერატურა იცვლება  $n$ -ჯერ.

2.123.  $\gamma$  ადიბატის მაჩვენებლიანი იდეალური გაზი ასრულებს ადიბა- ტისა, იზობარისა და იზოქორისაგან შემდგარ პირდაპირ ციკლს. იპოვეთ ციკლის მ. ქ. კ., თუ ადიბატური გაფართოებისას გაზის მოცულობა:

ა) იზრდება  $n$ -ჯერ

ბ) მცირდება  $n$ -ჯერ.

2.124. გამოთვალეთ იზოთერმისა, იზობარისა და იზოქორისაგან შემდგარი ციკლის მ. ქ. კ., თუ იზოთერმული პროცესის დროს  $\gamma$  ადიბა- ტის მაჩვენებლიანი იდეალური გაზის მოცულობა:

ა) იზრდება  $n$ -ჯერ

ბ) მცირდება  $n$ -ჯერ.

2.125. იპოვეთ ორი იზოქორისა და ორი იზოთერმისაგან შემდგარი ციკლის მ. ქ. კ., თუ მის ფარგლებში მოცულობა იცვლება  $n$ -ჯერ, აბ- სოლუტური ტემპერატურა კი  $n$ -ჯერ. მუშა ნივთიერებად აღებულია  $\gamma$  ადიბატის მაჩვენებლიანი იდეალური გაზი.

2.126. განსაზღვრეთ ორი იზობარისა და ორი იზოთერმისაგან შემ- დგარი ციკლის მ. ქ. კ., თუ ციკლის ფარგლებში წნევა იცვლება  $n$ -ჯერ, აბსოლუტური ტემპერატურა კი  $n$ -ჯერ. მუშა ნივთიერებად აღებულია  $\gamma$  ადიბატის მაჩვენებლიანი იდეალური გაზი.

2.127.  $\gamma$  ადიბატის მაჩვენებლიანი იდეალური გაზი ასრულებს ციკლს (ნახ. 2.3.), რომლის ფარგლებში აბსოლუტური ტემპერატურა იცვლება  $n$ -ჯერ. იპოვეთ მოცემული ციკლის მ. ქ. კ.

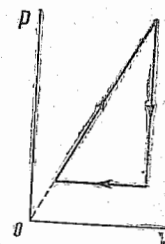
2.128. კლაუზიუსის უტოლობის გამოყენებით აჩვენეთ, რომ ყველა ციკლის მ. ქ. კ., რომლისადაც ერთი და იგივე მოცემული  $T_{\text{ავ}}$  მაქსიმა- ლური და  $T_{\text{ან}}$  მინიმალური ტემპერატურა აქვთ, ნაკლებია კარნოს ცი- კლის მ. ქ. კ.-ზე იმავე  $T_{\text{ავ}}$  და  $T_{\text{ან}}$  ტემპერატურებისათვის.

2.129. კარნოს თერმების გამოყენებით აჩვენეთ, რომ ფიზიკურად ერთგვაროვანი ნივთიერებისათვის, რომლის მდგომარეობა ხასიათდება  $T$  და  $V$  პარამე- ტრებით,

$$(\partial U / \partial V)_T = T(\partial p / \partial T)_V - p,$$

სადაც  $U(T, V)$  ნივთიერების შინაგანი ენერგიაა.

მითითება. გამოიყენეთ კარნოს უსასრულო მცირე ციკლი  $p$ ,  $V$  დიაგრამაზე.



ნახ. 2.3.

2.130. იპოვეთ ერთი მოლი ნახშირორჟანგის ენტროპიის ნაზრდი მი- სი აბსოლუტური ტემპერატურის  $n=2,0$ -ჯერ გაზრდისას, თუ გათბობის პროცესი:

ა) იზოქორულია,

ბ) იზობარულია.

გაზი ჩათვალეთ იდეალურად.

2.131. რამდენჯერ უნდა გავზარდოთ  $\nu=4,0$  მოლი იდეალური გაზის მოცულობა იზოთერმულად, რომ ენტროპიამ მიიღოს  $\Delta S=23\text{ჯ/}K$  ნაზრდი?

2.132. იდეალური გაზის ორი მოლი თავდაპირველად გააცივებს იზოქორულად, შემდეგ იზობარულად გააფართოვებს ისე, რომ გაზის ტემპერატურა გაუტოლდა თავის საწყის მნიშვნელობას. იპოვეთ გაზის ენტროპიის ნაზრდი, თუ მოცემულ პროცესში მისი წნევა შეიცვალა  $n=3,3$ -ჯერ.

2.133.  $m=1,7$  გ მასის ჰელიუმში ადიაბატურად გააფართოვებს  $n=3,0$ -ჯერ, შემდეგ შეკუმშეს იზობარულად საწყის მოცულობამდე. იპოვეთ ენტროპიის ნაზრდი მოცემულ პროცესში.

2.134. იპოვეთ  $\gamma=1,30$  ადიაბატის მაჩვენებლიანი  $\nu=2,0$  მოლი იდეალური გაზის ენტროპიის ნაზრდი, თუ რომელიმე პროცესის დროს მისი მოცულობა გაიზარდა  $\alpha=2,0$ -ჯერ, წნევა კი შემცირდა  $\beta=3,0$ -ჯერ.

2.135. ორ ჭურჭელში მოთავსებულია გაზისებრი ჰელიუმის  $\nu=1,2$  მოლი. ჭურჭლების მოცულობების შეფარდება  $V_2/V_1=\alpha=2,0$  ტოლია, აბსოლუტურ ტემპერატურათა შეფარდება კი  $T_1/T_2=\beta=1,5$ . იპოვეთ ჰელიუმის ენტროპიათა ( $S_2 - S_1$ ) სხვაობა მოცემულ ჭურჭლებში, თუ გაზი იდეალურია.

2.136.  $\gamma$  ადიაბატის მაჩვენებლიანი იდეალური გაზის ერთი მოლი ასრულებს პოლიტროპულ პროცესს, რის შედეგადაც გაზის აბსოლუტური ტემპერატურა იზრდება  $\tau$ -ჯერ. პოლიტროპის მაჩვენებელია  $n$ . იპოვეთ ენტროპიის ნაზრდი მოცემულ პროცესში.

2.137.  $\nu=2,0$  მოლი არგონის გაფართოების პროცესი მიმდინარეობს ისე, რომ გაზის წნევა იზრდება მისი მოცულობის პირდაპირპროპორციულად. იპოვეთ ენტროპიის ნაზრდი გაზის მოცულობის  $\alpha=2,0$ -ჯერ გაზრდისას.

2.138.  $\gamma$  ადიაბატის მაჩვენებლიანი იდეალური გაზი ასრულებს პროცესს  $p=p_0 - \alpha V$  კანონით, სადაც  $p_0$  და  $\alpha$  დადებითი მუდმივებია,  $V$  — მოცულობა. მოცულობის რა მნიშვნელობისათვის მიაღწევს ენტროპია მაქსიმალურ მნიშვნელობას?

2.139. იდეალური გაზის ერთი მოლი ასრულებს პროცესს, რომლის დროსაც ენტროპია  $S=aT+C_0 \ln T$  კანონითაა დამოკიდებული ტემპერატურაზე, სადაც  $a$  დადებითი მუდმივაა,  $C_0$  მოცემული გაზის მოლური სითბოტევადობა მუდმივი მოცულობის დროს. იპოვეთ გაზის ტემპერატურის დამოკიდებულება მოცულობაზე აღნიშნულ პროცესში, თუ  $V=V_0$ -თვის  $T=T_0$ .

2.140. იპოვეთ ვან-დერ-ვაალსის გაზის ერთი მოლის ენტროპიის ნაზრდი მისი მოცულობის იზოთერმული გაფართოებისას  $V_1$ -დან  $V_2$ -მდე. ვან-დერ-ვაალსის შესწორებები ჩათვალეთ ცნობილად.

2.141.  $V_1$  მოცულობისა და  $T_1$  ტემპერატურის მქონე ვან-დერ-ვაალსის გაზის ერთი მოლი გადაყვანილ იქნა  $V_2$  მოცულობისა და  $T_2$  ტემპერატურის მქონე მდგომარეობაში. იპოვეთ გაზის ენტროპიის ნაზრდი, თუ ცნობილია  $C_0$  მოლური სითბოტევადობა.

2.142. ძალიან დაბალ ტემპერატურებზე კრისტალების სითბოტევადობა  $C=aT^3$ , სადაც  $a$  მუდმივია. იპოვეთ კრისტალის ენტროპიის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე მოცემულ არეში.

2.143. იპოვეთ  $m=3,0$  კგ მასის ალუმინის ძელის ენტროპიის ნაზრდი მისი  $T_1=300\text{ K}$ -დან  $T_2=600\text{ K}$ -მდე გათბობისას, თუ ტემპერატურათა ამ ინტერვალში ალუმინის კუთრი სითბოტევადობა  $c=a+bT$ , სადაც  $a=0,77\text{ ჯ/(გ·K)}$ ,  $b=0,46\text{ მჯ/(გ·K}^2)$ .

2.144. რომელიმე პროცესში ნივთიერების ტემპერატურა  $T=aS^b$  კანონითაა დამოკიდებული ენტროპიაზე, სადაც  $a$  და  $b$  მუდმივებია. იპოვეთ ნივთიერების შესაბამისი სითბოტევადობა  $C$  როგორც  $S$ -ის ფუნქცია. რა პირობებშია  $C<0$ ?

2.145. იპოვეთ ტემპერატურის დამოკიდებულება ნივთიერების  $S$  ენტროპიაზე პოლიტროპული პროცესისათვის, რომლის დროსაც ნივთიერების სითბოტევადობაა  $C$ . ცნობილია, რომ  $T_0$  ტემპერატურაზე ნივთიერების ენტროპია  $S_0$ -ის ტოლია. გამოსახეთ  $T(S)$  დამოკიდებულების საგარაუდო გრაფიკები, როდესაც  $C>0$  და  $C<0$ .

2.146. იდეალური გაზის ერთი მოლი ასრულებს პროცესს, რომლის დროსაც ენტროპია  $S=\alpha/T$  კანონითაა დამოკიდებული  $T$ -ზე, სადაც  $\alpha$  მუდმივაა. გაზის სითბოტევადობა  $C_0$ -ს ტოლია. ტემპერატურა იცვლება  $T_1$ -დან  $T_2$ -მდე. იპოვეთ:

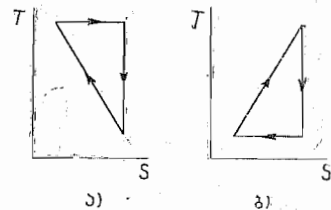
ა) გაზის მოლური სითბოტევადობა, როგორც ტემპერატურის ფუნქცია;

ბ) გაზზე გადაცემული სითბოს რაოდენობა;

გ) გაზის მიერ შესრულებული მუშაობა.

2.147. მუშა სხეული ასრულებს ციკლს (იხ. ნახ. 2.4 ა, ბ), რომლის ფარგლებში აბსოლუტური ტემპერატურა იცვლება  $n$ -ჯერ. იპოვეთ თითოეული ციკლის მ. ქ. კ.  $T$  აბსოლუტური ტემპერატურაა,  $S$  — ენტროპია.

2.148.  $\nu=2,2$  მოლი იდეალური გაზი მოთავსებულია სითბოგაუმტარ ჭურჭელში, რომელიც ვაკუუმთან სითბოგაუმტარ ჭურჭელთან ონკანიანი მილითაა შეერთებული. ონკანის გახსნის შემდეგ გაზის მოცულობა გაიზარდა  $n=3,0$ -ჯერ. მან შეავსო ორივე ჭურჭელი. იპოვეთ გაზის ენტროპიის ნაზრდი.



ნახ. 2.4

2.149. უწონო დგეში ყოფს სითბოგაუმტარ ცილინდრს ორ ტოლ ნაწილად. ერთ ნაწილში იმყოფება  $\gamma$  ადიაბატის მაჩვენებლიანი იდეალური გაზი, მეორეში კი ვაკუუმი. გაზის საწყისი ტემპერატურა  $T_0$ -ის ტოლია. დგეში გაათავისუფლეს და გაზმა დაიკავა მთელი ცილინდრის მოცულობა. შემდეგ დგეში წელა დააბრუნეს პირვანდელ მდგომარეობაში. იპოვეთ გაზის შინაგანი ენერგიისა და ენტროპიის ნაზრდი ამ ორი პროცესის შედეგად.

2.150. გარკვეულ მდგომარეობაში მყოფი იდეალური გაზი გარემომცველ სხეულებთან სითბოს გატაცვლელად გააფართოეს  $V$  მოცულობამდე. იქნება თუ არა ერთნაირი გაზის საბოლოო მდგომარეობაში დამყარებული წნევა, თუ გაფართოება წარმოებდა: ა) სწრაფად, ბ) ძალიან ნელა?

2.151. სათბოაგაუმტარი ჭურჭელი გატარებულია ორ ნაწილად ისე, რომ ერთ-ერთი ნაწილის მოცულობა  $n=2,0$ -ჯერ მეტია მეორისაზე. მცირე ნაწილში იმყოფება  $v_1=0,30$  მოლი აზოტი, დიდში კი  $v_2=0,70$  მოლი ჟანგბადი. გაზების ტემპერატურა ერთი და იგივეა. ტიხარში ხერელის გახსნის შემდეგ გაზები ერთმანეთს შეერევიან. იპოვეთ სისტემის ენტროპიის შესაბამისი ნაზრდი, თუ გაზები იდეალურია.

2.152.  $t_1=97^\circ\text{C}$  ტემპერატურის  $m_1=300$  გ მასის სპილენძი მოათავსეს კალორიმეტრში, სადაც იმყოფებოდა  $t_2=7^\circ\text{C}$  ტემპერატურის  $m_2=100$  გ მასის წყალი. იპოვეთ სისტემის ენტროპიის ნაზრდი ტემპერატურის გათანაბრებისას. კალორიმეტრის სითბოტევადობა უგულებელყოფილია.

2.153. ონკანიანი მილით შეერთებული ორი სითბოგაუმტარი ჭურჭელი შეიცავს ერთი და იმავე იდეალური გაზის თითო მოლს. ერთ ჭურჭელში გაზის ტემპერატურა  $T_1$ -ია, მეორეში კი  $T_2$ . გაზის მოლური სითბოტევადობა მუდმივი მოცულობის დროს  $C_p$ -ს ტოლია. ონკანის გახსნის შემდეგ გაზი გადავიდა ახალ წონასწორულ მდგომარეობაში. იპოვეთ გაზის ენტროპიის ნაზრდი. აჩვენეთ, რომ  $\Delta S > 0$ .

2.154.  $1,0$  სმ<sup>3</sup> მოცულობის მქონე კუბში ოთახის ტემპერატურაზე მოთავსებულია გაზისებრი ჰელიუმის  $N$  ატომი. იპოვეთ:

ა) ალბათობა იმისა, რომ ყველა ატომი ჭურჭლის ერთ ნახევარში მოთავსდება;

ბ)  $N$ -ის მიახლოებითი რიცხვითა მნიშვნელობა, რომლის დროსაც ამ მოვლენას შეიძლება ველოდოდ  $t \approx 10^{10}$  წლის (სამყაროს წლოვანება) განმავლობაში.

2.155. იპოვეთ  $N=10$  ერთნაირი მოლეკულის ჭურჭლის ორ ნახევარში უალბათესი განაწილების სტატისტიკური წონა. განსაზღვრეთ აგრეთვე ასეთი განაწილების ალბათობა.

2.156. ჭურჭელში მოთავსებულია იდეალური გაზის  $N$  მოლეკულა. გავეყთ გონების თვლით ჭურჭელი ორ  $A$  და  $B$  ნახევარად. იპოვეთ  $n$  მოლეკულის მოხვედრის ალბათობა  $A$  ნახევარში. განიხილეთ შემთხვევები, როცა  $N=5$  და  $n=0, 1, 2, 3, 4, 5$ .

2.157.  $V_0$  მოცულობის ჭურჭელში მოთავსებულია იდეალური გაზის  $N$  მოლეკულა. იპოვეთ ალბათობა იმისა, რომ ამ ჭურჭელში გამოყოფილ  $V$  მოცულობის მქონე ნაწილში მოთავსდება  $n$  მოლეკულა. განიხილეთ კერძოდ შემთხვევა, როცა  $V=V_0/2$ .

2.158. იდეალური გაზი იმყოფება ნორმალურ პირობებში. იპოვეთ სფეროს დიამეტრი, რომლის მოცულობაში მოლეკულათა რიცხვის ფარდობითი ფლუქტუაცია  $\eta=1,0 \cdot 10^{-3}$ -ის ტოლია. როგორია მოლეკულათა საშუალო რიცხვი ასეთი სფეროს შიგნით?

2.159. ერთატომიანი მოლეკულებისაგან შედგენილი იდეალური გაზის ერთი მოლი მოთავსებულია  $T_0=300$  K ტემპერატურის ჭურჭელში. როგორ და რამდენჯერ შეიცვლება სისტემის (გაზის) სტატისტიკური წონა, თუ მას გავატობთ იზოქორულად  $\Delta T=1,0$  K-ით?

## 2.5. სითხეები. კაპილარული მოვლენები

● ნებისმიერი ზედაპირის ქვეშ სითხის დამატებითი (კაპილარული) წნევა (ლაპლასის ფორმულა):

$$\Delta p = \alpha \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right), \quad (2.5 \text{ ა})$$

სადაც  $\alpha$  მოცემული სითხის ზედაპირული დაჭიმულობაა.

● თავისუფალი ენერგია:

$$F = U - TS. \quad (2.5 \text{ ბ})$$

● სითხის ზედაპირული ფენის თავისუფალი ენერგიის ნაზრდი:

$$dF = \alpha dS, \quad (2.5 \text{ გ})$$

სადაც  $dS$  წარმოადგენს ზედაპირული ფენის ფართის ნაზრდს.

● სითხის ზედაპირული ფენის ერთეულოვანი ფართის წარმოქმნისათვის საჭირო სითბო მისი ზედაპირის იზოთერმული გაზრდისას:

$$q = -T \frac{d\alpha}{dT}. \quad (2.5 \text{ დ})$$

2.160. იპოვეთ კაპილარული წნევა:

ა)  $d=1,5$  მკმ დიამეტრის ვერცხლისწყლის წვეთში;

ბ)  $d=3$  მმ დიამეტრის საპნის ბუშტის შიგნით, თუ საპნიანი წყლის ზედაპირული დაჭიმულობა  $\alpha=45$  მნ/მ-ის ტოლია.

2.161. ვერცხლისწყლიანი ჭურჭლის ფსკერზე  $d=70$  მკმ დიამეტრის მრგვალი ხერელია. ვერცხლისწყლის ფენის როგორი მაქსიმალური სისქისთვის ის არ გადმოიღვრება ხერელიდან?

2.162. ჰაერით სავსე ჭურჭელში  $p_0$  წნევის ქვეშ მოთავსებულია  $d$  დიამეტრის საპნის ბუშტი. ჰაერის წნევა იზოთერმულად შეამცირეს  $n$ -ჯერ, რის შედეგადაც ბუშტის დიამეტრი გაიზარდა  $\eta$ -ჯერ. იპოვეთ საპნიანი წყლის ზედაპირული დაჭიმულობა.

2.163. იპოვეთ წნევა  $d=4,0$  მკმ დიამეტრის ჰაერის ბუშტში, რომელიც იმყოფება წყალში  $h=5,0$  მ სიღრმეზე.  $p_0$  ატმოსფერული წნევა ნორმალურია.

2.164. გუბურას ფსკერზე გამოიყო  $d=4,0$  მკმ დიამეტრის ჰაერის ბუშტი. წყლის ზედაპირთან ამოსვლისას მისი დიამეტრი გაიზარდა  $n=1,1$ -ჯერ. იპოვეთ გუბურას სიღრმე მოცემულ წერტილში. ატმოსფერული წნევა ნორმალურია. გაფართოების პროცესი ჩათვალით იზოთერმულად.

2.165. იპოვეთ ვერცხლისწყლის დონეთა სხვაობა ორ ვერტიკალურ ზიარ კაპილარულ მილში, რომელთა დიამეტრებია, შესაბამისად,  $d_1=0,50$  მმ და  $d_2=1,00$  მმ, სასაზღვრო კუთხე კი  $\theta=138^\circ$ -ია.

2.166.  $0,50$  მმ შიდა დიამეტრის მქონე ვერტიკალური კაპილარული მილი ჩაუშვეს წყალში ისე, რომ წყლის ზედაპირიდან მილის ამოშვებული ნაწილის სიგრძე აღმოჩნდა  $h=25$  მმ. იპოვეთ მენისკის სიღრუდის რადიუსი.

2.167.  $l=110$  მმ სიგრძისა და  $d=20$  მკმ დიამეტრის არხის მქონე მინის კაპილარი ვერტიკალურად ჩაუშვეს წყალში. კაპილარის ზედა ნაწილი დარჩილურია, ჰაერის გარე წნევა კი ნორმალურია. კაპილარის სიგრძის რა  $x$  ნაწილი უნდა იყოს ჩაშვებული წყალში, რომ წყლის დონე კაპილარში დაემთხვეს მისი გარემომცველი წყლის ზედაპირს?

2.168.  $l$  სიგრძის ვერტიკალური კაპილარი, რომლის ზედა ბოლო დარჩილურია, შეახეს წყლის ზედაპირს, რის შედეგადაც კაპილარში წყალი აიწია  $h$  სიმაღლეზე. სითხის სიმკვრივეა  $\rho$ , კაპილარის შიდა არხის კვეთის დიამეტრია  $d$ , სასაზღვრო კუთხე  $\theta$ , ატმოსფერული წნევა კი  $p_0$ . იპოვეთ სითხის ზედაპირული დაჭიმულობა.

2.169.  $d_1=1,5$  მმ დიამეტრის მინის ღერო სიმეტრიულად ჩაყვას შიდა არხის  $d_2=2$  მმ დიამეტრის მინის კაპილარში. მთელი სისტემა მოათავსეს ვერტიკალურად და შეახეს წყლის ზედაპირს. რა სიმაღლეზე ავა წყალი ასეთ კაპილარში?

2.170. დამსველებელ სითხეში ნაწილობრივ ჩაშვებული ორი შვეუ-ლი ოირფიტა ქმნის ძალიან მცირე ზედაპირის მქონე სოლს. სოლის წი-ბო შვეულია. სითხის სიმკვრივეა  $\rho$ , მისი ზედაპირული დაჭიმულობა  $\alpha$ , სასაზღვრო კუთხე კი  $\theta$ . იპოვეთ სითხის აწევის  $h$  სიმაღლე, როგორც სოლის წიბოდან  $x$  მანძილის ფუნქცია.

2.171. მრგვალი ხერვლიდან გამოიტყორცნება წყლის შვეული ჰაე-ლა ისე, რომ ერთ-ერთ პორიზონტალურ კვეთში ჰაერის დიამეტრი  $d=$

$=2,0$  მმ, ხოლო მის ქვევით  $l=20$  მმ-ის მანძილზე ჰაერის დიამეტრი  $n=1,5$ -ჯერ ნაკლებია. იპოვეთ ერთი წამის განმავლობაში ხერვლიდან გა-მოდენილი წყლის მოცულობა.

2.172. წყლის წვეთი თანაბრად ვარდება ჰაერში. იპოვეთ სხვაობა წვეთის ზედაპირის სიმაღლის რადიუსებს შორის მის ზედა და ქვედა წერტილებში, თუ მათ შორის მანძილი  $h=2,3$  მმ-ის ტოლია.

2.173. ორ პორიზონტალურ მინის ფირფიტას შორის მოთავსებულია  $R$  რადიუსისა და  $h$  სისქის გაბრტყელებული ვერცხლისწყლის წვეთი. იპო-ვეთ ტვირთის  $m$  მასა, რომელიც უნდა მოთავსდეს ზედა ფირფიტაზე, რომ მანძილი ფირფიტებს შორის შემცირდეს  $n$ -ჯერ, თუ  $h \ll R$ , ხოლო  $\theta$  სასაზღვრო კუთხეა. გამოთვალეთ  $m$ , თუ  $R=2,0$  სმ,  $h=0,38$  მმ,  $n=2,0$  და  $\theta=135^\circ$ .

2.174. იპოვეთ მიზიდულობის ძალა  $h=0,10$  მმ-ით დაშორებულ ორ პარალელურ ფირფიტას შორის, მას შემდეგ, რაც მათ შორის მოათავ-სეს  $m=70$  მგ წყლის წვეთი. დასველება სრულად ჩათვალით.

2.175.  $R=5,0$  სმ რადიუსის მინის ორი დისკო დასველეს წყლით და მიადეს ერთმანეთს ისე, რომ წყლის ფენის სისქე დისკოებს შორის აღმოჩნდა  $h=1,9$  მკმ. იპოვეთ დამატებითი ძალა, რომელიც უნ-და მოვდოთ დისკოებს სიბრტყის მართობულად მათი დაშორებისათვის. ჩათვალით, რომ დასველება სრულია.

2.176. ორი შვეული პარალელური მინის ფირფიტა ნაწილობრივაა ჩაშვებული წყალში. ფირფიტების სიგანე  $l=12$  სმ-ია, მათ შორის მანძილი  $d=0,10$  მმ. იპოვეთ მათი ურთიერთმიზიდვის ძალა, თუ წყალი ფირფი-ტებს შორის არ აღწევს მათ ზედა საზღვარს და დასველება სრულია.

2.177. გამოიანგარიშეთ  $R$  რადიუსიანი საპნის ბუშტის გაქრობის დრო, თუ იგი შეერთებულია ატმოსფეროსთან  $l$  სიგრძისა და  $r$  განივ-კვეთის რადიუსიანი კაპილარული მილით. ზედაპირული დაჭიმულობაა  $\alpha$ , გაზის სიბლანტის კოეფიციენტი კი  $\eta$ .

2.178. შვეული კაპილარი შეახეს წყლის ზედაპირს. სითხის რა რაოდენობა გამოიყოფა კაპილარში წყლის ასვლის დროს? ზედაპირული დაჭიმულობა  $\alpha$ -ს ტოლია. დასველება სრულად ჩათვალით.

2.179. გამოთვალეთ ზედაპირული ფენის თავისუფალი ენერგია:

ა)  $d=1,4$  მმ დიამეტრის მქონე ვერცხლისწყლის წვეთისათვის;

ბ)  $d=6,0$  მმ დიამეტრის საპნის ბუშტისათვის, თუ საპნიანი წყლის ზედაპირული დაჭიმულობა  $\alpha=45$  მნ/მ.

2.180. გამოთვალეთ ზედაპირული ფენის თავისუფალი ენერგიის ნა-ზრდი ვერცხლისწყლის ორი ერთნაირი წვეთის იზოთერმული შერწყმი-სას, თუ თითოეული წვეთის დიამეტრი  $d=1,5$  მმ-ია.

2.181. გამოთვალეთ მუშაობა, რომელიც უნდა შესრულდეს  $R$  რადი-



უსიანი საპნის ბუშტის იზოთერმულად გამობერვაზე, თუ გარემომცველი ჰაერის წნევა  $p_0$ -ის ტოლია, საპნიანი წყლის ზედაპირული დაჭიმულობა  $\alpha$ -ს.

**2.182.**  $r$ -რადიუსიანი საპნის ბუშტის შიგნით იმყოფება იდეალური გაზი. გარე წნევა  $p_0$ -ის ტოლია, საპნიანი წყლის ზედაპირული დაჭიმულობაა  $\alpha$ . იპოვეთ  $C - C_p$  სხვაობა ბუშტის შიგნით გაზის გათბობისას მის მოლურ სითბოტევადობასა და მუდმივი წნევის დროს მოლურ სითბოტევადობას შორის.

**2.183.** განიხილეთ კარნოს ციკლი სითხის აფსკისთვის და აჩვენეთ, რომ იზოთერმული პროცესის დროს ზედაპირული ფენის ერთეულოვანი ფართობის წარმოქმნისათვის საჭირო სითბო გამოისახება  $q = -T \cdot d\alpha/dT$  დამოკიდებულებით, სადაც  $d\alpha/dT$  ზედაპირული დაჭიმულობის წარმოებულია ტემპერატურით.

**2.184.**  $T$  ტემპერატურის მქონე საპნის აფსკის ფართი იზოთერმულად გაზარდეს  $\Delta S$ -ით, იპოვეთ:

ა) აფსკის ზედაპირული ფენის ენერგიის ნაზრდი;

ბ) ზედაპირული ფენის შინაგანი ენერგიის ნაზრდი, თუ ცნობილია საპნიანი წყლის ზედაპირული დაჭიმულობა  $\alpha$  და ტემპერატურული კოეფიციენტი  $d\alpha/dT$ .

## 2.6. ფაზური გარდაქმნები

(1) თანაფარდობანი ვან-დერ-ვაალსის კოეფიციენტებსა და ნივთიერების კრიტიკული მდგომარეობის პარამეტრებს შორის:

$$V_{M36} = 3b, \quad p_{36} = \frac{a}{27b^2}, \quad T_{36} = \frac{8a}{27Rb}. \quad (2.6 \text{ ა})$$

● კავშირი ერთი მოლი ნივთიერების კრიტიკულ პარამეტრებს შორის:

$$p_{36} V_{M36} = \frac{3}{8} RT_{36}. \quad (2.6 \text{ ბ})$$

● კლაპეირონ-კლაუზიუსის განტოლება:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{q_{12}}{T(V_2' - V_1')}, \quad (2.6 \text{ გ})$$

● სადაც  $q_{12}$  წარმოადგენს 1-2 გადასვლის დროს შთანთქმულ კუთრ სითბოს,  $V_1'$  და  $V_2'$  პირველი და მეორე ფაზის კუთრი მოცულობებია.

**2.185.** ცილინდრულ ჭურჭელში, უწონო დგუშის ქვეშ,  $t = 100^\circ\text{C}$  ტემპერატურაზე მოთავსებულია წყლის ნაჯერი ორთქლი. დგუშის ნელა შეწევისას ორთქლის მასის მცირე  $\Delta m = 0,70$  გ ნაწილი კონდენსირდება. რა მუშაობა შესრულდა გაზზე? ორთქლი ჩათვალეთ იდეალურ გაზად, ხოლო სითხის მოცულობა უგულებელყავით.

**2.186.**  $V = 6,0$  ლ მოცულობის ჭურჭელში  $250^\circ\text{C}$  ტემპერატურაზე 40 ატმ წნევის ქვეშ მოთავსებულია წყალი ნაჯერ ორთქლთან ერთად. ორთქლის კუთრი მოცულობა ამ პირობებში  $V_0' = 50$  ლ/კგ-ია. სისტემის მასა (წყალი ორთქლთან ერთად)  $m = 5,0$  კგ-ია. იპოვეთ ორთქლის მასა და მოცულობა.

**2.187.**  $V_0 = 5,0$  ლ მოცულობის ცილინდრში დგუშის ქვეშ სივრცე დაკავებული აქვს მხოლოდ წყლის ნაჯერ ორთქლს, რომლის ტემპერატურა  $t = 100^\circ\text{C}$ . იპოვეთ თხევადი გაზის მასა, რომელიც წარმოიქმნება დგუშის ქვეშ ორთქლის მოცულობის იზოთერმულად შემცირებისას  $V = 1,6$  ლ-მდე. ნაჯერი ორთქლი ჩათვლილია იდეალურ გაზად.

**2.188.** ნაჯერი ორთქლის მდგომარეობაში აღებული ნივთიერების გარკვეული მასის მოცულობა იზოთერმულად შეამცირეს  $n$ -ჯერ. საბოლოო მოცულობის რა  $\eta$  ნაწილს დაიკავეს თხევადი ფაზა, თუ ნაჯერი ორთქლისა და თხევადი ფაზის კუთრი მოცულობები განსხვავდებიან ერთმანეთისგან  $N$ -ჯერ ( $N > n$ ). გაეცით პასუხი იმავე შეკითხვას, თუ ნივთიერების საბოლოო მოცულობა  $p, V$  დიაგრამაზე იზოთერმის პორიზონტალური უბნის შუა ნაწილს შეესაბამება.

**2.189.**  $m = 1,00$  კგ მასის წყალი, რომელიც დღეს ნორმალური ატმოსფერული წნევის დროს, მთლიანად გადაიქცა ნაჯერ ორთქლად. იპოვეთ ამ სისტემის ენტროპიისა და შინაგანი ენერგიის ნაზრდი, თუ ნაჯერ ორთქლს ჩავთვლით იდეალურ გაზად.

**2.190.**  $S = 410$  სმ<sup>2</sup> ფართის მქონე უწონო დგუშის ქვეშ სითბოგაუმტარ ცილინდრში მოთავსებულია  $0^\circ\text{C}$  ტემპერატურის  $m = 20$  გ მასის წყალი. გარე წნევა ნორმალურია. რა სიმაღლეზე აიწევა დგუში, თუ წყალს მივანიჭებთ  $Q = 20,0$  კჯ რაოდენობის სითბოს?

**2.191.** წყლის ნაჯერი ორთქლის 1 გ იმყოფება სითბოგაუმტარ ცილინდრში უწონო დგუშის ქვეშ. გარე წნევა ნორმალურია. ცილინდრში შეუშვებს  $t_0 = 22^\circ\text{C}$  ტემპერატურის  $m = 1,0$  გ მასის წყალი. გამოთვალეთ მუშაობა, რომელსაც შესრულებს ატმოსფერული წნევის ძალა დგუშის დაწევისას. ცილინდრის სითბოტევადობა და ხახუნი უგულებელყავით.

**2.192.** თუ ნაჯერი ორთქლის დამატებითი  $\Delta p$  წნევა სითხის ამოზნექილ სფერულ ზედაპირზე გაცილებით ნაკლებია ორთქლის წნევაზე ბრტყელ ზედაპირთან, მაშინ  $\Delta p = (p_0/p_i) 2\alpha/r$ , სადაც  $p_0$  და  $p_i$  შესაბამისად ორთქლისა და სითხის სიმკვრივეებია,  $\alpha$  ზედაპირული დაჭიმულობა,  $r$  კი — ზედაპირის სიმაღლის რადიუსი. მოცემული ფორმულის გამოყენებით იპოვეთ წყლის წვეთის დიამეტრი, რომლის დროსაც ნაჯერი ორთქლის წნევა  $\eta = 1,0\%$ -ით აღემატება ორთქლის წნევას ბრტყელ ზედაპირთან  $t = 27^\circ\text{C}$  ტემპერატურაზე. ორთქლი ჩათვალეთ იდეალურ გაზად.

2.193. იპოვეთ ერთ წამში წყლის ზედაპირის  $1 \text{ სმ}^2$ -დან მის ზევით მყოფ  $t=100^\circ\text{C}$  ტემპერატურის ნაჯერ ორთქლში ამოტყორცნილი ყველა მოლეკულის მასა. ჩათვალოთ, რომ წყლის ზედაპირი აკავებს მასზე დაცემული მოლეკულების  $\eta=3,6\%$ -ს.

2.194. იპოვეთ ვოლფრამის ნაჯერი ორთქლის წნევა  $T=2000 \text{ K}$  ტემპერატურაზე, თუ ცნობილია, რომ მოცემულ ტემპერატურაზე ვოლფრამის ძაფი მაღალ ვაკუუმში აორთქლებისას ფართის ერთეულიდან დროის ერთეულში კარგავს  $\mu=1,2 \cdot 10^{-13} \text{ გ/წმ.სმ}^2$ -ის ტოლ მასას.

2.195. რა სიდიდით გაიზრდება წყლის წნევა ჰურჭლის კედლებზე, თუ მოისპობა ურთიერთმიზიდვა მის მოლეკულებს შორის?

2.196. იპოვეთ  $p_i$  „შინაგანი წნევა“ სითხეში, თუ ცნობილია მისი სიმკვრივე  $\rho$  და ორთქლადქცევის კუთრი სითბო  $q$ . მიიღეთ, რომ  $q$  სითბო ტოლია შინაგანი წნევის ძალების წინააღმდეგ შესრულებული მუშაობისა და სითხე ექვემდებარება ვან-დერ-ვაალსის განტოლებას. გამოთვალეთ  $p_i$  წყლისათვის.

2.197. აჩვენეთ, რომ იმ ნივთიერებისათვის, რომელიც ექვემდებარება ვან-დერ-ვაალსის განტოლებას, კრიტიკულ მდგომარეობაში მართებულია (2.6 ა) და (2.6. ბ) თანადარდობანი.

მითითება: გამოიყენეთ ის ფაქტი, რომ კრიტიკულ მდგომარეობას  $p(V)$  იზოთერმაზე გადაღუნვის წერტილი შეესაბამება.

2.198. გამოთვალეთ ვან-დერ-ვაალსის მუდმივები ნახშირორჟანგისათვის, თუ მისი კრიტიკული ტემპერატურაა  $T_{კრ}=304 \text{ K}$ , ხოლო კრიტიკული წნევა  $p_{კრ}=73 \text{ ატმ}$ .

2.199. იპოვეთ ბენზოლის ( $C_6H_6$ ) კუთრი მოცულობა კრიტიკულ მდგომარეობაში, თუ მისი კრიტიკული ტემპერატურაა  $T_{კრ}=562 \text{ K}$ , კრიტიკული წნევა კი— $p_{კრ}=47 \text{ ატმ}$ .

2.200. წნევის, მოცულობისა და ტემპერატურის ერთეულებად მიიღეთ შესაბამისი კრიტიკული მნიშვნელობები და ჩაწერეთ ვან-დერ-ვაალსის განტოლება დაყვანილ  $\pi$ ,  $v$  და  $\tau$  პარამეტრებში. გამოიყენეთ მიღებული განტოლება და იპოვეთ რამდენჯერ მეტი იქნება გაზის ტემპერატურა მის კრიტიკულ ტემპერატურაზე, თუ მისი წნევა 12-ჯერ მეტია კრიტიკულ წნევაზე, გაზის მოცულობა კი 2-ჯერ ნაკლებია კრიტიკულ მოცულობაზე.

2.201. ცნობილია ვან-დერ-ვაალსის მუდმივები. იპოვეთ:

ა) უდიდესი მოცულობა, რომელიც შეიძლება დაიკავოს  $m=1,00 \text{ კგ}$  მასის წყალმა თხევად მდგომარეობაში;

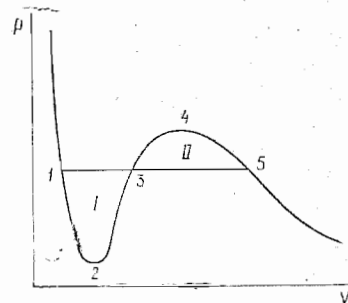
ბ) წყლის ნაჯერი ორთქლის უდიდესი წნევა.

2.202. გამოთვალეთ კრიტიკულ მდგომარეობაში მყოფი ნახშირორჟანგის სიმკვრივე და ტემპერატურა, თუ მას ჩავთვლით რეალურ გაზად.

2.203. ჰურჭლის მოცულობის რა ნაწილს უნდა იკავებდეს თხევადი ეთერი ოთახის ტემპერატურაზე, რომ კრიტიკული ტემპერატურის მიღწევას იგი აღმოჩნდეს კრიტიკულ მდგომარეობაში? ეთერისათვის  $T_{კრ}=467 \text{ K}$ ,  $p_{კრ}=35,5 \text{ ატმ}$ ,  $M=74 \text{ გ/მოლი}$ .

2.204. აჩვენეთ, რომ იზოთერმულ-იზობარული ფაზური გადასვლის შესაბამისი 1—5 წრფის მდებარეობა ისეთია, რომ ამ წრფისა და ვან-დერ-ვაალსის იზოთერმის მიერ შემოსაზღვრული I და II ფართობები ერთმანეთის ტოლია (ნახ. 2.5.).

2.205. ნორმალური წნევის დროს წყალი გააცივებს  $t=-20^\circ\text{C}$  ტემპერატურამდე. წყლის რა ნაწილი გადაიქცევა ყინულად სისტემის წონასწორულ მდგომარეობაში გადასვლის დროს? წყლის ტემპერატურის რა მნიშვნელობისთვის გადაიქცევა ის მთლიანად ყინულად?



ნახ. 2.5

2.206. იპოვეთ ყინულის დნობის ტემპერატურის ნაზრდი  $0^\circ\text{C}$ -ის მახლობლად წნევის  $\Delta p=1,00 \text{ ატმ}$ -ით გაზრდისას, თუ ყინულის კუთრი მოცულობა  $\Delta V'=0,091 \text{ სმ}^3/\text{გ}$ -ით მეტია წყლის კუთრი მოცულობაზე.

2.207. იპოვეთ წყლის ნაჯერი ორთქლის კუთრი მოცულობა ნორმალური წნევის დროს, თუ ცნობილია, რომ წნევის შემცირება  $\Delta p=3,2 \text{ კპა}$  სიდიდით იწვევს წყლის ღულილის ტემპერატურის შემცირებას  $\Delta T=0,9 \text{ K}$  სიდიდით.

2.208. განსაზღვრეთ წყლის ნაჯერი ორთქლის წნევა  $101,1^\circ\text{C}$ -ზე, თუ მას ჩავთვლით იდეალურ გაზად.

2.209.  $t=100^\circ\text{C}$  ტემპერატურაზე დახშულ ჰურჭელში იმყოფება წყლის მცირე რაოდენობა თავის ნაჯერ ორთქლთან ერთად. რამდენი პროცენტით გაიზრდება ნაჯერი ორთქლის მასა სისტემის ტემპერატურის  $\Delta T=1,5 \text{ K}$ -ით გაზრდისას? ორთქლი ჩათვალოთ იდეალურ გაზად და წყლის კუთრი მოცულობა უგულებელყავით ორთქლის კუთრი მოცულობასთან შედარებით.

2.210. იპოვეთ ნაჯერი ორთქლის წნევის  $p(T)$  დამოკიდებულება ტემპერატურაზე, თუ  $T_0$  ტემპერატურისათვის მისი წნევა  $p_0$ -ის ტოლია. ჩათვალოთ, რომ ორთქლადქცევის  $q$  კუთრი სითბო არ არის დამოკიდებული  $T$ -ზე, სითხის კუთრი მოცულობა უგულებელყოფილია ორთქლის კუთრი მოცულობასთან შედარებით. ნაჯერი ორთქლისათვის მართებულია იდეალური გაზის მდგომარეობის განტოლება. გაარკვეეთ, რა პირობებშია დასაშვები აღნიშნული გამარტივებანი.

2.211. ნორმალურ პირობებში ყინული შეკუმშვის  $p=640$  ატმ-წნევაზე. ჩათვალოთ, რომ მოცემულ პირობებში ყინულის დნობის ტემპერატურის შემცირება წრფივად და მოკიდებული წნევაზე და იპოვეთ გამდნარი ყინულის ნაწილი. წყლის კუთრი მოცულობა  $\Delta V' = 0,09$  სმ<sup>3</sup>/გ-ით ნაკლებია ყინულის კუთრი მოცულობაზე.

2.212. სამმაგი წერტილის მახლობლად ნახშირორჟანგის ნაჭერი ორ-თქლის  $p$  წნევა  $\lg p = a - b/T$  კანონითა და მოკიდებული  $T$  ტემპერატურაზე, სადაც  $a$  და  $b$  მუდმივი სიდიდეებია. თუ წნევას გამოვსახავთ ატმოსფერული ერთეულებით, მაშინ სუბლიმაციის პროცესისათვის  $a=9,05$  და  $b=1,80$  კ $K$ , აორთქლების პროცესისათვის კი  $a=6,78$  და  $b=1,31$  კ $K$ -ს. იპოვეთ:

ა) წნევა და ტემპერატურა სამმაგ წერტილში;

ბ) სუბლიმაციის, აორთქლებისა და დნობის კუთრი სითბოთა მნიშვნელობები სამმაგი წერტილის მახლობლად.

2.213.  $m=1,00$  კგ მასისა და  $t=10^{\circ}C$  ტემპერატურის წყალი გაათბეს  $t_2=100^{\circ}C$  ტემპერატურამდე, რის შედეგადაც წყალი მთლიანად აორთქლდა, იპოვეთ სისტემის ენტროპიის ნაზრდი.

2.214.  $t_1=0^{\circ}C$  საწყისი ტემპერატურის ყინული ჯერ გადააქციეს წყლად, შემდეგ კი  $t_2=100^{\circ}C$  ტემპერატურის ორთქლად. იპოვეთ სისტემის ენტროპიის ნაზრდი.

2.215.  $m=90$  გ მასისა და  $t_1=90^{\circ}C$  ტემპერატურის სპილენძის ნაჭერი მოათავსეს კალორიმეტრში, რომელშიც იყო  $3^{\circ}C$  ტემპერატურის 50 გ მასის ყინული. იპოვეთ სპილენძის ენტროპიის ნაზრდი სითბური წონასწორობის დამყარების მომენტისათვის.

2.216.  $m_1=100$  გ მასისა და  $t_1=0^{\circ}C$  ტემპერატურის ყინული მოათავსეს კალორიმეტრში, რომელშიც ესხა  $m_2=100$  გ მასისა და  $t_2$  ტემპერატურის წყალი. იპოვეთ სისტემის ენტროპიის ნაზრდი სითბური წონასწორობის დამყარების მომენტისათვის, თუ უგულებელყოფთ კალორიმეტრის სითბოტევადობას. განიხილეთ ორი შემთხვევა:

ა)  $t_2=60^{\circ}C$  და ბ)  $t_2=94^{\circ}C$ .

2.217. კალორიმეტრში, რომელშიც მოთავსებულია  $t_1=0^{\circ}C$  ტემპერატურის დიდი რაოდენობის ყინული, ჩაასხეს  $m=5,0$  გ და  $t_2=327^{\circ}C$  დნობის ტემპერატურის გამდნარი ტყვია. იპოვეთ სითბური წონასწორობის დამყარების მომენტში სისტემის ტყვია-ყინული ენტროპიის ნაზრდი. ტყვიის დნობის კუთრი სითბო  $q=22,5$  ჯ/კგ, მისი კუთრი სითბოტევადობა კი  $c=0,125$  ჯ/(გ $K$ ).

2.218. ცილინდრში, დგუშის ქვეშ მოთავსებულ წყლის ორთქლს კუმშავენ (ან აფართოებენ) ისე, რომ ის ყოველთვის რჩება ნაჭერ მდგო-

მარეობაში, კონდენსაციის ზღვარზე. ჩათვალოთ ორთქლი იდეალურ გაზად. უგულებელყავით სითხის კუთრი მოცულობა ორთქლის კუთრი მოცულობასთან შედარებით და იპოვეთ მოცემულ პროცესში  $C$  მოლური სითბოტევადობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე. გამოთვალოთ  $C$ -ს მნიშვნელობა  $t=100^{\circ}C$  ტემპერატურისათვის.

2.219. წყლის ერთი მოლი, რომელიც  $T_1$  ტემპერატურაზე წონასწორობაშია მცირე რაოდენობის თავისივე ნაჭერ ორთქლთან, გადააქციეს მთლიანად ნაჭერ ორთქლად  $T_2$  ტემპერატურაზე. იპოვეთ სისტემის ენტროპიის ნაზრდი. ორთქლი მიჩნეულია იდეალურ გაზად და სითხის კუთრი მოცულობა უგულებელყოფილია ორთქლის კუთრი მოცულობასთან შედარებით.

## 2. 7. გადატანის მოვლენები

● ფარდობითი რიცხვი გაზის მოლეკულებისა, რომლებიც დაჭახების გარეშე გადიან  $s$  მანძილს:

$$N/N_0 = e^{-s/\lambda}, \quad (2.7 \text{ ა})$$

სადაც  $\lambda$  არის თავისუფალი განარბენის საშუალო სიგრძე.

● გაზის მოლეკულების თავისუფალი განარბენის საშუალო სიგრძე:

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2} \pi d^2 n}, \quad (2.7 \text{ ბ})$$

სადაც  $d$  წარმოადგენს მოლეკულის ეფექტურ დიამეტრს,  $n$  კი მოლეკულათა კონცენტრაციაა.

● გაზის  $D$  დიფუზიის,  $\eta$  სიბლანტის და  $\kappa$  სითბოგამტარობის კოეფიციენტები:

$$D = \frac{1}{3} \langle v \rangle \lambda, \quad \eta = \frac{1}{3} \langle v \rangle \lambda \rho, \quad \kappa = \frac{1}{3} \langle v \rangle \lambda c_v, \quad (2.7 \text{ გ})$$

სადაც  $\rho$  გაზის სიმკვრივეა,  $c_v$  მისი კუთრი სითბოტევადობაა მუდმივი მოცულობის დროს.

● ფირფიტების ფართის ერთეულზე მოქმედი ხახუნის ძალა მათი ურთიერთპარალელური მოძრაობის დროს ულტრაგაიშვიათებულ გაზში:

$$F = \frac{1}{6} \langle v \rangle \rho |u_1 - u_2|, \quad (2.7 \text{ დ})$$

სადაც  $u_1$  და  $u_2$  ფირფიტების სიჩქარეებია.

● ორ კედელს შორის ულტრაგაიშვიათებულ გაზის მიერ გადატანილი სითბოს ნაკადის სიმკვრივე:

$$q = \frac{1}{6} \langle v \rangle \rho c_v |T_1 - T_2|, \quad (2.7 \text{ ე})$$

სადაც  $T_1$  და  $T_2$  კედლების ტემპერატურებია.

2.220. გამოთვალოთ გაზის მოლეკულების რაოდენობა:

ა) რომლებიც დაჭახების გარეშე გაივლიან თავისუფალი განარბენის  $\lambda$  საშუალო სიგრძეზე მეტ მანძილს;

ბ) რომელთა თავისუფალი განარბენის საშუალო სიგრძე მოთავსებული იქნება  $\lambda$ -დან  $2\lambda$ -მდე შუალედში.

2.221. მოლეკულების ვიწრო კონა შედის გაზიან ჰურჭელში, რომელშიც საკმარის დაბალი წნევაა. იპოვეთ კონაში შემავალი მოლეკულების თავისუფალი განარბენის საშუალო სიგრძე, თუ მოლეკულების ნაკადი კონის გასწვრივ  $\Delta l$  მანძილზე მცირდება  $\eta$ -ჯერ.

2.222. დავუშვათ,  $\alpha dt$  წარმოადგენს იმის ალბათობას, რომ გაზის მოლეკულა განიცდის დაჯახებას,  $dt$  დროის განმავლობაში, აქ  $\alpha$  მუდმივაა. იპოვეთ:

ა) ალბათობა იმისა, რომ მოლეკულა  $t$  დროის განმავლობაში არ განიცდის დაჯახებას;

ბ) საშუალო დრო დაჯახებებს შორის.

2.223. იპოვეთ გაზისებრი აზოტის მოლეკულების თავისუფალი განარბენის საშუალო სიგრძე და მათ შორის დაჯახებების საშუალო დრო, თუ აზოტი იმყოფება:

ა) ნორმალურ პირობებში;

ბ)  $t = 0^\circ C$  ტემპერატურისა და  $p = 1,0$  ნზა წნევის პირობებში (ასეთ წნევას ლებულობენ თანამედროვე ვაკუუმური ტუმბოების საშუალებით).

2.224. რამდენჯერ აღემატება ნორმალურ პირობებში მყოფი აზოტის მოლეკულების თავისუფალი განარბენის საშუალო სიგრძე მის მოლეკულებს შორის საშუალო მანძილს?

2.225. იპოვეთ ნორმალურ პირობებში მყოფი გაზის მოლეკულების თავისუფალი განარბენის საშუალო სიგრძე, თუ მოცემული გაზისათვის ვან-დერ-ვალსის მუდმივა  $b = 40$  მლ/მოლის ტოლია?

2.226. აზოტი იმყოფება ნორმალურ პირობებში. რხევის როგორი სიხშირისათვის იქნება მოცემულ გაზში ბგერის ტალღის სიგრძე მოლეკულების თავისუფალი განარბენის საშუალო სიგრძის ტოლი?

2.227.  $0^\circ C$  ტემპერატურის უანგბადი იმყოფება ჰურჭელში, რომლის მახასიათებელი ზომა  $l = 10$  მმ-ს (ეს ხაზოვანი ზომა განსაზღვრავს ჩვენთვის საინტერესო ფიზიკური პროცესის ხასიათს). იპოვეთ:

ა) გაზის ის წნევა, რომლის დაბლა მოლეკულათა თავისუფალი განარბენის საშუალო სიგრძე  $\lambda \gg l$ ;

ბ) მოლეკულათა წესებადის კონცენტრაცია და საშუალო მანძილი მათ შორის.

2.228. აზოტი იმყოფება ნორმალურ პირობებში. იპოვეთ:

ა) დაჯახებათა რიცხვი, რომელსაც განიცდის საშუალოდ ყოველი მოლეკულა ერთ წამში;

ბ) მოლეკულებს შორის ყველა დაჯახებათა რიცხვი ყოველ წამს აზოტის 1 სმ<sup>3</sup>-ში.

2.229. როგორ იქნება დამოკიდებული მოლეკულების თავისუფალი განარბენის  $\lambda$  საშუალო სიგრძე და დროის ერთეულში ყოველი მოლეკუ-

ლის დაჯახებათა  $\nu$  რიცხვი აბსოლუტურ ტემპერატურაზე თუ გაზი ასრულებს:

ა) იზოქორულ პროცესს; ბ) იზობარულ პროცესს?

2.230. იდეალური გაზი ასრულებს პროცესს, რომლის დროსაც მისი წნევა იზრდება  $n$ -ჯერ. როგორ და რამდენჯერ შეიცვლება  $\lambda$  და  $\nu$  (თავისუფალი განარბენის საშუალო სიგრძე და დროის ერთეულში ყოველი მოლეკულის დაჯახებათა რიცხვი), თუ პროცესი:

ა) იზოქორულია; ბ) იზოთერმულია?

2.231. ორატომიანი ჰისტის მოლეკულებისაგან შემდგარი იდეალური გაზი ასრულებს ადიბატურ პროცესს. როგორ იქნება დამოკიდებული  $\lambda$  და  $\nu$  (თავისუფალი განარბენის საშუალო სიგრძე და ყოველ წამში თითოეული მოლეკულის დაჯახებათა რიცხვი).

ა) მოცულობაზე; ბ) წნევაზე; გ) ტემპერატურაზე?

2.232. იდეალური გაზი ასრულებს პოლიტროპულ პროცესს  $n$  პოლიტროპის მაჩვენებლით. იპოვეთ  $\lambda$  და  $\nu$  (თავისუფალი განარბენის საშუალო სიგრძე და ყოველ წამში თითოეული მოლეკულის დაჯახებათა რიცხვი), როგორც ფუნქცია:

ა)  $V$  მოცულობისა; ბ)  $p$  წნევისა; გ)  $T$  ტემპერატურისა.

2.233. განსაზღვრეთ ჰისტის ორატომიანი მოლეკულებისაგან შემდგარი იდეალური გაზის მოლური სითბოტევადობა პოლიტროპული პროცესის დროს, როდესაც მოლეკულათა შორის დაჯახებათა რიცხვი რჩება უცვლელი:

ა) მოცულობის ერთეულში;

ბ) გაზის მთელ მოცულობაში.

2.234.  $M$  მოლური მასის მქონე იდეალური გაზი მოთავსებულია  $V$  მოცულობის თხელკედლებიან ჰურჭელში, რომლის კედლებზე შენარჩუნებულია  $T$  მუდმივი ტემპერატურა.  $t = 0$  მომენტში ჰურჭლის კედელში გააღეს  $S$  ფართის მცირე ხვრელი. გაზმა დაიწყო გამოდენა ვაკუუმში. განსაზღვრეთ გაზის  $n$  კონცენტრაცია, როგორც  $t$  დროის ფუნქცია, თუ საწყის მომენტში  $n(0) = n_0$ .

2.235. გაზიანი ჰურჭელი ორხვრელიანი თხელი სითბოგაუმტარი ტიხრით გაყოფილია ორ 1 და 2 ტოლ ნაწილად. მოლეკულის თავისუფალი განარბენის საშუალო სიგრძესთან შედარებით ერთი ხვრელის დიამეტრი მცირეა, მეორის კი ძალიან დიდი. მეორე ნაწილში გაზს შენარჩუნებული აქვს  $\eta$ -ჯერ მეტი ტემპერატურა, ვიდრე პირველში. როგორ და რამდენჯერ შეიცვლება მოლეკულათა კონცენტრაცია მე-2 ნახევარში, თუ დავხუროთ მარტო დიდ ხვრელს?

2.236. რომელიღაც პროცესის დროს იდეალური გაზის სიბლანტის



კოეფიციენტი გაიზარდა  $\alpha=2,0$ -ჯერ, დიფუზიის კოეფიციენტი კი  $\beta=4,0$ -ჯერ. როგორ და რამდენჯერ შეიცვლება გაზის წნევა?

2.237. როგორ შეიცვლება იდეალური გაზის  $D$  დიფუზიისა და  $\eta$  სიბლანტის კოეფიციენტი, თუ გაზის მოცულობას გავზრდით  $n$ -ჯერ: ა) იზოთერმულად; გ) იზობარულად?

2.238. იდეალური გაზი შედგება ხისტი ორატომიანი მოლეკულებისაგან. როგორ და რამდენჯერ შეიცვლება  $D$  დიფუზიისა და  $\eta$  სიბლანტის კოეფიციენტი, თუ გაზის მოცულობას ადიბატურად შევამცირებთ  $n=10$ -ჯერ?

2.239. იპოვეთ იდეალური გაზის მიერ შესრულებული პროცესის პოლიტროპის მაჩვენებელი  $n$ , რომლის დროსაც უცვლელი რჩება:

ა) დიფუზიის, ბ) სიბლანტის; გ) სითბოგამტარობის კოეფიციენტი.

2.240. გამოთვალეთ ჰელიუმის ატომის ეფექტური დიამეტრი, თუ ცნობილია მისი სიბლანტის კოეფიციენტი ნორმალურ პირობებში.

2.241. ნორმალურ პირობებში ჰელიუმის სითბოგამტარობის კოეფიციენტი  $8,7$ -ჯერ მეტია, ვიდრე არგონისა. იპოვეთ არგონისა და ჰელიუმის ატომების ეფექტური დიამეტრების შეფარდება.

2.242. ჰელიუმში ნორმალურ პირობებში ავსებს სივრცეს ორ გრძელ კოაქსიალურ ცილინდრს შორის. ცილინდრების საშუალო რადიუსია  $R$ , მათ შორის ღრეჩია  $\Delta R$ , ხოლო  $\Delta R \ll R$ . შიდა ცილინდრი უძრავია, გარე ცილინდრს კი აბრუნებენ საკმაოდ მცირე  $\omega$  კუთხური სიჩქარით. იპოვეთ შიდა ცილინდრის სიგრძის ერთეულზე მოქმედი ხახუნის ძალების მომენტი. რა მნიშვნელობამდე უნდა შევამციროთ ჰელიუმის წნევა (ტემპერატურის შეუცვლელად), რომ საძიებელი ხახუნის ძალების მომენტი შევცირდეს  $n=10$ -ჯერ, თუ  $\Delta R=6$  მმ?

2.243. გაზი ავსებს სივრცეს ორ გრძელ კოაქსიალურ ცილინდრს შორის, რომელთა რადიუსებია  $R_1$  და  $R_2$ ; ამასთან,  $R_1 < R_2$ . შიდა ცილინდრი უძრავია, გარე ცილინდრს კი აბრუნებენ საკმაოდ მცირე  $\omega$  კუთხური სიჩქარით. შიდა ცილინდრის სიგრძის ერთეულზე მოქმედი ხახუნის ძალების მომენტი  $N_1$ -ის ტოლია. მიიღეთ მხედველობაში, რომ  $\mu$  რადიუსის ცილინდრული ზედაპირის ფართის ერთეულზე მოქმედი ხახუნის ძალა  $\sigma=(\eta r \partial \omega / \partial r)$  ფორმულით განისაზღვრება და იპოვეთ გაზის სიბლანტის კოეფიციენტი  $\eta$ .

2.244. თანხვედრილი ღერძების მქონე ორ ერთნაირ პარალელურ დისკოს შორის მანძილია  $h$ , თითოეული დისკოს რადიუსია  $a$ , ამასთან  $a \ll h$ . ერთი დისკო უძრავია, მეორეს კი აბრუნებენ მცირე  $\omega$  კუთხური სიჩქარით. იპოვეთ უძრავ დისკოზე მოქმედი ხახუნის ძალების მომენტი, თუ დისკოებს შორის მოთავსებული გაზის სიბლანტის კოეფიციენტი  $\eta$ -ს ტოლია.

2.245. ამოხსენით წინა ამოცანა, თუ დისკოებს შორის  $M$  მოლური

მასის,  $T$  ტემპერატურისა და  $p$  წნევის ულტრაგაიშვიათებული გაზი იმყოფება.

2.246. ისარგებლეთ პუანკარის (1.7 დ) ფორმულით და განსაზღვრეთ იმ გაზის  $\mu$  მასა, რომელიც გამოედინება  $l$  სიგრძისა და  $a$  რადიუსის მილის განივკვეთიდან დროის ერთეულში, თუ მილის ბოლოებზე მუდმივი  $p_1$  და  $p_2$  წნევებია შენარჩუნებული. გაზის სიბლანტეა  $\eta$ .

2.247. სითბოგაუმტარ გარსში მოთავსებული ღეროს ერთ ბოლოზე შენარჩუნებულია  $T_1$ , მეორე ბოლოზე კი  $T_2$  ტემპერატურა. ღერო შედგება ორი ნაწილისაგან; რომელთა სიგრძეებია  $l_1$  და  $l_2$ , სითბოგამტარობის კოეფიციენტები კი  $\chi_1$  და  $\chi_2$ . იპოვეთ ღეროს ამ ნაწილების შენების ზედაპირის ტემპერატურა.

2.248. ორი ღერო, რომელთა სიგრძეებია  $l_1$  და  $l_2$ , სითბოგამტარობის კოეფიციენტები კი  $\chi_1$  და  $\chi_2$ , ბოლოებით მიადეს ერთმანეთს. იპოვეთ სითბოგამტარობის კოეფიციენტი  $l_1+l_2$  სიგრძის ერთგვაროვანი ღეროსი, თუ იგი სითბოს ატარებს ისევე, როგორც ამ ორი ღეროსგან შედგენილი სისტემა. გაითვალისწინეთ, რომ ამ ორი ღეროს გვერდითი ზედაპირები სითბოგაუმტარია.

2.249. სითბოგაუმტარი გვერდითი ზედაპირის მქონე  $l$  სიგრძის ღერო დამზადებულია ისეთი მასალისაგან, რომლის სითბოგამტარობის კოეფიციენტი  $\chi=\alpha/T$  კანონითაა დამოკიდებული ტემპერატურაზე, აქ  $\alpha$  მუდმივია. ღეროს ბოლოებზე შენარჩუნებულია  $T_1$  და  $T_2$  ტემპერატურა, შესაბამისად, იპოვეთ სითბოს ნაკადის სიმკვრივე და დამოკიდებულება  $T(x)$ , სადაც  $x$  მანძილია  $T_1$  ტემპერატურის მქონე ბოლოდან.

2.250.  $C_1$  და  $C_2$  სითბოტევადობის მქონე ლითონის ორი ნაჭერი დაკავშირებულია  $l$  სიგრძის,  $S$  განივკვეთის ფართობისა და საკმაოდ მცირე  $\chi$  სითბოგამტარობის მქონე ღეროთი. სისტემა სითბოიზოლირებულია გარემომცველი სივრცისაგან.  $t=0$  მომენტისათვის ამ ორ ლითონს შორის ტემპერატურათა სხვაობაა ( $\Delta T$ ). განსაზღვრეთ ლითონებს შორის ტემპერატურათა სხვაობა, როგორც დროის ფუნქცია, თუ უგულებელვყოფთ ღეროს სითბოტევადობას.

2.251. იპოვეთ ტემპერატურათა განაწილება ორ პარალელურ ფირფიტას შორის მოთავსებულ ნივთიერებაში, თუ ფირფიტების ტემპერატურებია  $T_1$  და  $T_2$  შესაბამისად; მათ შორის მანძილი უდრის  $l$ -ს, ხოლო ნივთიერების სითბოგამტარობის კოეფიციენტი  $\chi \sim \sqrt{T}$ .

2.252. ორ დიდ პორიზონტალურ ფირფიტას შორის სივრცე შევსებულია ჰელიუმით. მანძილი ფირფიტებს შორის  $l=50$  მმ-ია. ქვედა ფირფიტის ტემპერატურაა  $T_1=290$  K, ზედასი კი  $T_2=330$  K. იპოვეთ სითბოს ნაკადის სიმკვრივე, თუ გაზის წნევა ახლოა ნორმალურთან.

2.253.  $l=5,0$  მმ-ით დაშორებულ ორ დიდ პარალელურ ფირფიტას შორის მოთავსებულია  $p=1,0$  პა წნევის მქონე ჰელიუმი. ერთი ფირფიტის ტემპერატურაა  $t_1=17^\circ C$ , მეორისა კი  $t_2=37^\circ C$ . იპოვეთ ჰელიუმის ატომების თავისუფალი განაზღვრის საშუალო სიგრძე და სიბზის ნაკადის სიმკვრივე.

2.254. იპოვეთ ტემპერატურის განაწილება  $R_1$  და  $R_2$  რადიუსების მქონე ორ კოაქსალურ ცილინდრს შორის სივრცეში, თუ იგი ერთგვაროვანი სითბოგამტარი ნივთიერებითაა შევსებული, ხოლო ცილინდრის ტემპერატურები მუდმივია და შესაბამისად  $T_1$  და  $T_2$ -ის ტოლია.

2.255. ამოხსენით წინა ამოცანა  $R_1$  და  $R_2$  რადიუსებისა და  $T_1$  და  $T_2$  ტემპერატურების მქონე ორი კონცენტრული სფეროსთვის.

2.256. სითბოგამტარობის  $\chi$  კოეფიციენტისა და განივკვეთის  $R$  რადიუსის მქონე ერთგვაროვან სადენში გადის მუდმივი დენი. სადენის მოცულობის ერთეულში გამოიყოფა  $w$  სითბური სიმძლავრე. იპოვეთ ტემპერატურის განაწილება სადენში, თუ მის ზედაპირზე ტემპერატურა  $T_0$ -ის ტოლია.

2.257.  $R$  რადიუსისა და სითბოგამტარობის  $\chi$  კოეფიციენტის მქონე ერთგვაროვანი სფეროს მთელ მოცულობაში თანაბრად გამოიყოფა  $w$  მოცულობითი სიმკვრივის სითბური სიმძლავრე. იპოვეთ ტემპერატურის განაწილება სფეროში, თუ მის ზედაპირზე ტემპერატურა  $T_0$ -ის ტოლია.

## ელექტროდინამიკა

### 3.1. მუდმივი ელექტრული ველი ვაკუუმში

⊙ წერტილოვანი მუხტის ველის დაძაბულობა და პოტენციალი:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}, \quad \varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}. \quad (3.1 \text{ ა})$$

⊙ კავშირი ველის დაძაბულობასა და პოტენციალს შორის:

$$E = -\nabla\varphi, \quad (3.1 \text{ ბ})$$

⊙ ველის დაძაბულობა უდრის პოტენციალის ანტიგრადიენტს.

⊙ გაუსის თეორემა და  $E$  ვექტორის ცირკულაცია:

$$\oint E dS = q/\epsilon_0, \quad \oint E dr = 0. \quad (3.1 \text{ გ})$$

⊙  $p$  ელექტრული მომენტის მქონე წერტილოვანი დიპოლის ველის პოტენციალი და დაძაბულობა:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p \cos\theta}{r^2}, \quad E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p}{r^3} \sqrt{1+3\cos^2\theta}, \quad (3.1 \text{ დ})$$

სადაც  $\theta$  კუთხეა  $r$  და  $p$  ვექტორებს შორის,

⊙  $p$  დიპოლის  $W$  ენერგია გარეშე ელექტრულ ველში და დიპოლზე მოქმედი ძალა მომენტი  $N$ :

$$W = -pE, \quad N = [pE]. \quad (3.1 \text{ ე})$$

⊙ დიპოლზე მოქმედი  $F$  ძალა და მისი  $F_x$  გვემდო.

$$F = p \frac{\partial E}{\partial r}, \quad F_x = p \cdot \nabla E_x, \quad (3.1 \text{ ვ})$$

სადაც  $\partial E / \partial r$   $E$  ვექტორის წარმოებულია დიპოლის მიმართულების გასწვრივ,  $\nabla E_x$  კი —  $E_x$  ფუნქციის გრადიენტი.

3.1. გამოთვალეთ ელექტროსტატიკური და გრავიტაციული ურთიერთქმედების ძალების შეფარდება ორ ელექტრონს შორის, ორ პროტონს შორის. ნაწილაკის  $q/m$  კუთრი მუხტის როგორი მნიშვნელობისათვის იქნებოდა ეს ძალები სიდიდით ერთმანეთის ტოლი ორი ერთნაირი ნაწილაკის ურთიერთქმედების შემთხვევაში?

3.2. რა ძალით ურთიერთმოქმედებენ 1 გ მასისა და 1 მ მანძილზე დაშორებული სპილენძის ორი ბურთულა, თუ მათ ში ყველა ელექტრო-

ნის ჯამური მუხტი 1%-ით განსხვავდება ყველა ბირთვის ჯამური მუხტისაგან?

3.3. ერთ წერტილში დამატებული  $l$  სიგრძის აბრეშუმის ორ ძაფზე ჩამოკიდებულია  $m$  მასის ერთნაირად დამუხტული ორი მცირე ბურთულა. მანძილი ბურთულებს შორის  $x \ll l$ . იპოვეთ თითოეული ბურთულადან მუხტის გადინების  $dq/dt$  სიჩქარე, თუ მათი დაახლოების სიჩქარე  $v = a/\sqrt{x}$  კანონითაა მოცემული. აქ  $a$  მუდმივაა.

3.4. ორი დადებითი  $q_1$  და  $q_2$  მუხტი იმყოფება  $r_1$  და  $r_2$  რადიუს-ვექტორების მქონე წერტილებში. იპოვეთ უარყოფითი  $q_3$  მუხტი და იმ წერტილის  $r_3$  რადიუს-ვექტორი, რომელშიც ის უნდა მოვათავსოთ, რომ თითოეულ მუხტზე მოქმედი ძალის ტოლქმედი ნულის ტოლი აღმოჩნდეს.

3.5. წვრილი მავთულის  $r$  რადიუსიან რგოლზე მოთავსებულია  $q$  მუხტი. როგორი იქნება მავთულის გამჭიმავი ძალის ნაზრდი, თუ რგოლის ცენტრში მოვათავსებთ  $q_0$  წერტილოვან მუხტს?

3.6. დადებითი წერტილოვანი 50 მკკ მუხტი იმყოფება  $xy$  სიბრტყის იმ წერტილში, რომლის რადიუს-ვექტორია  $r_0 = 2i + 3j$ ; აქ  $i$  და  $j$   $x$  და  $y$  ღერძების ორტეზია. იპოვეთ ელექტრული ველის დაძაბულობა  $E$  და მისი მოდული  $r = 8i - 5j$  რადიუს-ვექტორის მქონე წერტილში.  $r_0$  და  $r$  მოცემულია ერთეულთა საერთაშორისო სისტემაში.

3.7.  $2l$  დიამეტრის მქონე კვადრატის წვეროებში მოთავსებულია წერტილოვანი  $q$  და  $-q$  მუხტები (ნახ. 3.1). იპოვეთ ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორის სიდიდე კვადრატის ცენტრიდან  $x$  მანძილით დაშორებულ და მის წვეროების მიმართ სიმეტრიულად განლაგებულ წერტილში.



ნახ. 3.1

3.8.  $R = 20$  სმ რადიუსის ნახევარრგოლი თანაბრად დადამუხტული  $q = 0,7$  ნკ მუხტით; იპოვეთ ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორის სიდიდე ნახევარრგოლის სიმრუდის ცენტრში.

3.9.  $r$  რადიუსის წვრილი მავთულის რგოლზე მოთავსებულია  $q$  მუხტი. იპოვეთ ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორის სიდიდე რგოლის ღერძზე, როგორც მის ცენტრამდე  $l$  მანძილის ფუნქცია. გამოიკვლიეთ მიღებული დამოკიდებულება  $l \gg R$  მანძილებისათვის. განსაზღვრეთ დაძაბულობის მაქსიმალური მნიშვნელობა და შესაბამისი მანძილი  $l$ . ააგეთ  $E(l)$  დამოკიდებულების მიახლოებითი გრაფიკი.

3.10.  $-q$  მუხტი თანაბრად განაწილებული  $R$  რადიუსის წვრილ რგოლზე, რომლის ცენტრში მოთავსებულია  $q$  წერტილოვანი მუხტი. იპოვეთ ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორის სიდიდე რგოლის

ღერძზე, მისი ცენტრიდან  $x$  მანძილით დაშორებულ წერტილში, თუ  $x \gg R$ .

3.11. სისტემა შედგება  $R$  რადიუსის წვრილი,  $q$  სიდიდით დამუხტული მავთულის რგოლისაგან და ძალიან გრძელი თანაბრად დამუხტული ძაფისაგან, რომელიც განლაგებულია რგოლის ღერძის გასწვრივ ისე, რომ მისი ერთ-ერთი ბოლო რგოლის ცენტრს ემთხვევა. ძაფის სიგრძის ერთეულზე მოდის  $\lambda$  მუხტი. იპოვეთ ურთიერთქმედების ძალა რგოლსა და ძაფს შორის.

3.12.  $R$  რადიუსის წვრილი გაუმტარი რგოლი  $\lambda = \lambda_0 \cos \varphi$  ხაზოვანი სიმკვრივითაა დამუხტული, სადაც  $\lambda_0$  მუდმივაა,  $\varphi$  — აზიმუტის კუთხე. იპოვეთ ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორის სიდიდე:

ა) რგოლის ცენტრში;

ბ) რგოლის ღერძზე, როგორც მის ცენტრამდე  $x$  მანძილის ფუნქცია. გამოიკვლიეთ მიღებული გამოსახულება  $x \gg R$  მანძილებისათვის.

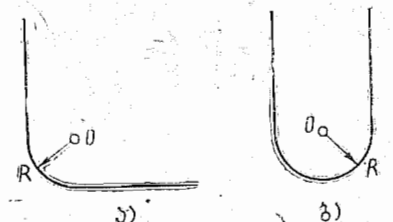
3.13. ვაკუუმში მოთავსებული წვრილი, სწორი  $2a$  სიგრძის ღერო თანაბრად დადამუხტული  $q$  მუხტით. იპოვეთ ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორის სიდიდის დამოკიდებულება ღეროს ცენტრიდან  $r$  მანძილზე იმ წერტილებისათვის, რომლებიც იმყოფებიან:

ა) ღეროს მართობულ და მის ცენტრზე გამავალ წრფეზე;

ბ) ღეროს გარეთ მისი ღერძის გასწვრივ წრფეზე. გამოიკვლიეთ მიღებული გამოსახულებები  $r \gg a$  მანძილებისათვის.

3.14. ძალიან გრძელი, წრფივი ძაფი თანაბრად დადამუხტული  $\lambda$  ხაზოვანი სიმკვრივით. იპოვეთ ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორის სიდიდე და მიმართულება იმ წერტილში, რომელიც დაშორებულია ძაფიდან  $y$  მანძილით და ძაფის ერთ-ერთ ბოლოზე გამავალ პერპენდიკულარზეა.

3.15. მოცემულია  $\lambda$  ხაზოვანი სიმკვრივით თანაბრად დამუხტული ძაფის მოხაზულობა (ნახ. 3.2 ა და ბ). იმის გათვალისწინებით, რომ სიმრუდის  $R$  რადიუსი გაცილებით ნაკლებია ძაფის სიგრძეზე, იპოვეთ ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორის სიდიდე  $O$  წერტილში.



ნახ. 3.2 ა და ბ

3.16.  $r$  რადიუსის სფერო  $\sigma = ar$

ზედაპირული სიმკვრივითაა დამუხტული, სადაც  $a$  მუდმივი ვექტორია,  $r$  — სფეროს წერტილის რადიუს-ვექტორი, გავლებული მისი ცენტრიდან. იპოვეთ ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორი სფეროს ცენტრში.

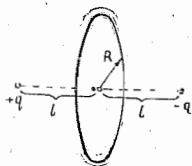
3.17.  $R$  რადიუსის სფეროს მუხტის ზედაპირული სიმკვრივე დამოკიდებულია პოლარულ  $\theta$  კუთხეზე შემდეგნაირად:  $\sigma = \sigma_0 \cos \theta$ , სადაც  $\sigma_0$  და-

დებითი მუდმივია. აჩვენეთ, რომ მუხტის ასეთი განაწილება შეიძლება წარმოვიდგინოთ, როგორც  $R$  რადიუსის თანაბრად დამუხტული ორი სფეროს ერთიმეორის მიმართ მცირე წანაცვლების შედეგი. სფეროები ტოლი და სხვადასხვა ნიშნის მუხტითაა დამუხტული. ისარგებლეთ ამ წარმოდგენით და იპოვეთ ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორი მოცემული სფეროს შიგნით.

3.18. იპოვეთ  $\rho = ar$  მუხტის მოცულობითი სიმკვრივისა და  $R$  რადიუსის სფეროს ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორი მის ცენტრში.  $a$  მუდმივი ვექტორია, ხოლო  $r$  — სფეროს ცენტრიდან გავლებული რადიუს-ვექტორი.

3.19. თანაბრად დამუხტული ძალიან გრძელი ძაფი გაჭიმულია  $R$  რადიუსის წრის ღერძის გასწვრივ და ერთი ბოლოთი ეყრდნობა მის ცენტრს. მუხტის ხაზოვანი სიმკვრივეა  $\lambda$ . იპოვეთ წრის ფართობში გამავალი  $E$  ვექტორის ნაკადი.

3.20. ორი წერტილოვანი  $q$  და  $-q$  მუხტი ერთმანეთისგან  $2l$  მანძილითაა დაშორებული. იპოვეთ  $R$  რადიუსის წრეში გამავალი ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორის ნაკადი (ნახ. 3.3).



ნახ. 3.3

3.21.  $R$  რადიუსის სფერო თანაბრადაა დამუხტული  $\rho$  მოცულობითი სიმკვრივით. იპოვეთ სფეროს ცენტრიდან  $r_p < R$  მანძილით დაშორებული სფეროს კვეთაში გამავალი ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორის ნაკადი.

3.22. ორი გრძელი ურთიერთპარალელური ძაფი თანაბრადაა დამუხტული ისე, რომ თითოეული მათგანის სიგრძის ერთეულზე მოდის  $\lambda$  მუხტი. მანძილი მათ შორის  $l$ -ის ტოლია. იპოვეთ ელექტრული ველის დაძაბულობის მაქსიმალური მნიშვნელობა ძაფებს შორის სიმეტრიულად განლაგებულ სიბრტყეში.

3.23. უსასრულოდ გრძელი წრიული კვეთის ცილინდრული ზედაპირი თანაბრადაა დამუხტული სიგრძის გასწვრივ  $\sigma = \sigma_0 \cos \varphi$  ზედაპირული სიმკვრივით, აქ  $\varphi$  წარმოადგენს ცილინდრულ კოორდინატთა სისტემის პოლარულ კუთხეს, რომლის  $z$  ღერძი მოცემული ზედაპირის ღერძს ემთხვევა. იპოვეთ ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორის სიდიდე და მიმართულება  $z$  ღერძზე.

3.24. ელექტრული ველის დაძაბულობა დამოკიდებულია  $x$  და  $y$  კოორდინატებზე შემდეგი კანონით.  $E = a(xi + yj)/(x^2 + y^2)$ , სადაც  $a$  მუდმივია,  $i$  და  $j$  —  $x$  და  $y$  ღერძების ორტეზი. იპოვეთ იმ  $R$  რადიუსის სფერულ ზედაპირში გამავალი  $E$  ვექტორის ნაკადი, რომლის ცენტრი კოორდინატთა სათავეს თანხვედნისაა.

3.25.  $R$  რადიუსის სფეროს აქვს დადებითი მუხტი, რომლის მოცულობითი სიმკვრივე  $\rho = \rho_0(1 - r/R)$  კანონითაა გამოსახული, სადაც  $r$  მან-

ძილია სფეროს ცენტრამდე, ხოლო  $\rho_0$  მუდმივია. გაითვალისწინეთ, რომ სფეროსა და გარემომცველი სივრცის დიელექტრიკული შეღწევადობა ერთის ტოლია და იპოვეთ:

ა) ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორის სიდიდე სფეროს შიგნით და მის გარეთ, როგორც  $r$  მანძილის ფუნქცია;

ბ) დაძაბულობის მაქსიმალური  $E_{\max}$  მნიშვნელობა და მისი შესაბამისი  $r_m$  მანძილი.

3.26. სისტემა შედგება სფერული სიმეტრიით დამუხტული  $R$  რადიუსის სფეროსაგან და  $\rho = \alpha/r$  მუხტის მოცულობითი სიმკვრივის მქონე გარემოსაგან; აქ  $\alpha$  მუდმივია, ხოლო  $r$  მანძილია სფეროს ცენტრიდან. განსაზღვრეთ სფეროს მუხტი, რომლის დროსაც ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორის სიდიდე სფეროს გარეთ არ იქნება დამოკიდებული  $r$  მანძილზე. რას უდრის ეს დაძაბულობა? სფეროსა და გარემოს დიელექტრიკული შეღწევადობა ერთის ტოლია.

3.27. სივრცე  $\rho = \rho_0 e^{-\alpha r^3}$  მოცულობითი სიმკვრივის მუხტითაა შევსებული, სადაც  $\rho_0$  და  $\alpha$  დადებითი მუდმივებია,  $r$  მანძილია მოცემული სისტემის ცენტრიდან. იპოვეთ ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორის სიდიდე, როგორც  $r$ -ის ფუნქცია. გამოიკვლიეთ მიღებული გამოსახულება  $r$ -ის მცირე და დიდი მნიშვნელობებისათვის, ე. ი. როდესაც  $\alpha r^3 \ll 1$  და  $\alpha r^3 \gg 1$ .

3.28.  $\rho$  მოცულობითი სიმკვრივით თანაბრად დამუხტული სფეროს შიგნით არის სფერული სიღრუე. სიღრუის ცენტრი სფეროს ცენტრის მიმართ  $a$  სიდიდითაა წანაცვლებული. იპოვეთ ველის  $E$  დაძაბულობა სიღრუეში, თუ დიელექტრიკული შეღწევადობა ერთის ტოლია.

3.29.  $\rho$  მოცულობითი სიმკვრივით თანაბრად დამუხტული უსასრულო, გრძელი, წრიული ცილინდრის შიგნით არის წრიული ცილინდრული სიღრუე. ცილინდრისა და სიღრუის ღერძებს შორის მანძილია  $a$ . იპოვეთ ელექტრული ველის  $E$  დაძაბულობა სიღრუეში. დიელექტრიკული შეღწევადობა ერთის ტოლია.

3.30. მოცემულია  $R$  რადიუსის ორი წვრილი მავთულის რგოლი, რომელთა ღერძები ერთმანეთის თანხვედნისაა. რგოლების მუხტებია  $q$  და  $-q$ . იპოვეთ პოტენციალთა სხვაობა რგოლების ცენტრებს შორის, თუ ისინი დაშორებული არიან  $a$  მანძილით.

3.31. მოცემულია  $\lambda = 0,40$  მკ/მ ხაზოვანი სიმკვრივით თანაბრად დამუხტული უსასრულო გრძელი წრფივი ძაფი. გამოთვალეთ 1 და 2 წერტილებს შორის პოტენციალთა სხვაობა, თუ 2 წერტილი  $\eta = 2,0$ -ჯერ უფრო შორსაა ძაფიდან, ვიდრე 1 წერტილი.

3.32. იპოვეთ ელექტრული ველის პოტენციალი და დაძაბულობა  $R$  რადიუსის ნახევარსფეროს ცენტრში, თუ ის თანაბრადაა დამუხტული  $\sigma$  ზედაპირული სიმკვრივით.



3.33. ვაკუუმში მოთავსებული მრგვალი, ძალიან თხელი  $R$  რადიუსის ფირფიტა თანაბრად დატენილია  $\sigma$  ზედაპირული სიმკვრივით. იპოვეთ ელექტრული ველის პოტენციალი და დაძაბულობა ფირფიტის ღერძზე, როგორც ფირფიტის ცენტრიდან ათვლილი  $l$  მანძილის ფუნქცია. გამოთვალეთ მიღებული გამოსახულება  $l \rightarrow 0$  და  $l \gg R$  შემთხვევებისათვის.

3.34. იპოვეთ  $\varphi$  პოტენციალი  $R$  რადიუსის თხელი დისკოს კიდედან, თუ მუხტი თანაბრად განაწილებული დისკოზე  $\sigma$  ზედაპირული სიმკვრივით.

3.35. იპოვეთ  $\varphi = ar$  პოტენციალის მქონე ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორი, სადაც  $a$  მუდმივი ვექტორია, ხოლო  $r$  ველის წერტილის რადიუს-ვექტორი.

3.36. განსაზღვრეთ ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორი, თუ ველის პოტენციალი დამოკიდებულია  $x$  და  $y$  კოორდინატებზე შემდეგი კანონით:

ა)  $\varphi = a(x^2 - y^2)$ ;

ბ)  $\varphi = axy$ ,

სადაც  $a$  მუდმივაა. გამოსახეთ ამ ველების მიახლოებითი სახე  $E$  ვექტორის წირებით ( $xy$  სიბრტყეში).

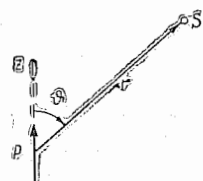
3.37. ელექტროსტატიკური ველის პოტენციალს აქვს შემდეგი სახე:  $\varphi = a(x^2 + y^2) + bz^2$ , სადაც  $a$  და  $b$  მუდმივებია. იპოვეთ ველის დაძაბულობის ვექტორის მოდული და მიმართულება. როგორი ფორმა აქვთ ეკვიპოტენციურ ზედაპირებს, თუ:

ა)  $a > 0, b > 0$ ; ბ)  $a > 0, b < 0$ ?

3.38.  $R$  რადიუსის სფეროს მოცულობაში თანაბრად განაწილებული  $q$  მუხტი. გაითვალისწინეთ, რომ დიელექტრიკული შერწყმადობა ყველგან ერთი ტოლია და იპოვეთ პოტენციალი:

ა) სფეროს ცენტრში;

ბ) სფეროს შიგნით, როგორც მისი ცენტრიდან  $r$  მანძილის ფუნქცია.



ნახ. 3. 4.

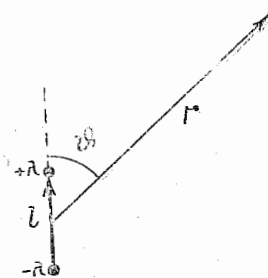
3.39. აჩვენეთ, რომ  $p$  ელექტრული მომენტის მქონე დიპოლის (ნახ. 3.4.) ველის პოტენციალი გამოსახება შემდეგნაირად:  $\varphi = pr/4\pi\epsilon_0 r^3$ , სადაც  $r$  რადიუს-ვექტორია. ამ გამოსახულების დახმარებით იპოვეთ დიპოლის ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორის მოდული, როგორც  $r$ -ის და  $\theta$ -ის ფუნქცია.

3.40.  $p$  ელექტრული მომენტის მქონე წერტილოვანი დიპოლი ორიენტირებულია  $z$  ღერძის თანხედენილი მიმართულებით და მოთავსებულია კოორდინატა სათავეში. იპოვეთ ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორის გეგმილები  $E_x$  და  $E_y$  ( $z$  ღერძის

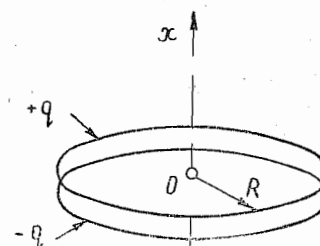
მართობულ სიბრტყეზე  $S$  წერტილში) (იხ. ნახ. 3.4). რომელ წერტილებშია  $E \perp p$ ?

3.41.  $p$  მომენტის მქონე წერტილოვანი ელექტრული დიპოლი მოთავსებულია გარეშე ერთგვაროვან ელექტრულ ველში, რომლის დაძაბულობაა  $E_0$ , თანაც  $p \uparrow \uparrow E$ . ამ შემთხვევაში ერთ-ერთი ეკვიპოტენციური ზედაპირი, რომელიც დიპოლს მოიცავს, სფეროს წარმოადგენს. იპოვეთ მისი რადიუსი.

3.42. ორი პარალელური წვრილი ძაფი თანაბრად დატენილი  $\lambda$  და  $-\lambda$  ხაზოვანი სიმკვრივით. მანძილი მათ შორის  $l$ -ის ტოლია. იპოვეთ ელექტრული ველის პოტენციალი და დაძაბულობის ვექტორის სიდიდე,  $r \ll l$  მანძილზე, რომელიც ადგენს  $\theta$  კუთხეს  $l$  ვექტორთან (ნახ. 3.5).



ნახ. 3.5



ნახ. 3.6.

3.43. წვრილი მავთულისაგან დამზადებული  $R$  რადიუსის ორი კოაქსიალური რგოლი ერთმანეთისაგან მცირე  $l (l \ll R)$  მანძილითაა დაშორებული. რგოლების მუხტებია  $q$  და  $-q$ . იპოვეთ ელექტრული ველის პოტენციალი და დაძაბულობის ვექტორის  $E_x$  გეგმილი სისტემის ღერძზე, როგორც  $x$  კოორდინატის ფუნქცია (ნახ. 3.6). ერთ ნახაზზე ააგეთ მიღებული დამოკიდებულებების მიახლოებითი გრაფიკები. გამოიკვლიეთ ეს ფუნქციები  $|x| \gg R$  წერტილებებისათვის.

3.44. ერთმანეთისაგან  $l$  მანძილით დაშორებული ორი უსასრულო სიბრტყე თანაბრად დატენილი  $\sigma$  და  $-\sigma$  ზედაპირული სიმკვრივით (ნახ. 3.7). სიბრტყეებს აქვთ  $R$  რადიუსის კოაქსიალური ხვრელები, თანაც  $l \ll R$ . იპოვეთ ელექტრული ველის პოტენციალი და დაძაბულობის ვექტორის  $E_x$  გეგმილი სისტემის ღერძზე, როგორც  $x$  კოორდინატის ფუნქცია, თუ  $x$  ღერძი  $O$  სათავეთ არჩეულია ისე, როგორც ნაჩვენებია ნახაზზე. ააგეთ  $\varphi(x)$  ფუნქციის მიახლოებითი გრაფიკი.

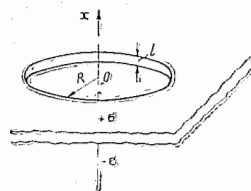
3.45. მოცემულია თხელფირფიტებიანი  $R$  რადიუსის წრიული ბრტყეული კონდენსატორი. ფირფიტები  $l (l \ll R)$  მანძილითაა ერთმანეთისაგან დაშორებული და თანაბრად არიან დატენილი  $\sigma$  და  $-\sigma$  ზედაპირული სიმკვრივით. იპოვეთ სასტემის ღერძზე ელექტრული ველის პოტენციალისა

და დაძაბულობის ვექტორის მოდულის დამოკიდებულება ფირფიტებამდე  $x$  მანძილზე, თუ  $x \gg l$ . გამოიკვლიეთ მიღებული გამოსახულება, როდესაც  $x \gg R$ .

3.46.  $p$  ელექტრული მომენტის მქონე დიპოლი მოთავსებულია  $r$  მანძილზე  $\lambda$  ხაზოვანი სიმკვრივით თანაბრად დამუხტული გრძელი ძაფიდან. იპოვეთ დიპოლზე მოქმედი  $F$  ძალა, თუ  $p$  ვექტორი ორიენტირებულია:

- ა) ძაფის გასწვრივ;
- ბ)  $r$  რადიუს-ვექტორის გასწვრივ;
- გ) ძაფისა და  $r$  რადიუს-ვექტორის მართობულად.

3.47. იპოვეთ ერთმანეთისაგან  $l=10$  მმ მანძილზე დაშორებული წყლის ორი მოლეკულის ურთიერთქმედების ძალა, თუ მათი ელექტრული მომენტები ერთი წრფის გასწვრივაა ორიენტირებული. თითოეული მოლეკულის მომენტი  $p=0,62 \cdot 10^{-29}$  კ.მ.



ნახ. 3.7

3.48. იპოვეთ ელექტროსტატიკური  $E=a(yi+xj)$  ველის  $\varphi(x,y)$  პოტენციალი, თუ  $a$  მუდმივაა, ხოლო  $i$  და  $j$  —  $x$  და  $y$  ღერძების ორტები.

3.49. იპოვეთ ელექტროსტატიკური  $E=2axyi+a(x^2-y^2)j$  ველის  $\varphi(x,y)$  პოტენციალი, სადაც  $a$  მუდმივაა, ხოლო  $i$  და  $j$  —  $x$  და  $y$  ღერძების ორტები.

3.50. იპოვეთ ელექტროსტატიკური  $E=ayj+(ax+bz)j+bzk$  ველის  $\varphi(x,y,z)$

პოტენციალი, სადაც  $a$  და  $b$  მუდმივებია, ხოლო  $i, j, k$  —  $x, y, z$  ღერძების ორტები.

3.51. სივრცის რომელიმე წერტილში ველის პოტენციალი  $\varphi = -ax^3 + bx$  კანონითაა დამოკიდებული მხოლოდ  $x$  კოორდინატზე, სადაც  $a$  და  $b$  მუდმივებია. იპოვეთ  $\rho(x)$  მოცულობითი მუხტის განაწილება.

3.52.  $d$  მანძილზე დაშორებულ ორ დიდ, პარალელურ ფირფიტას შორის თანაბრად განაწილებული მოცულობითი მუხტი. ფირფიტებს შორის პოტენციალთა სხვაობაა  $\Delta\varphi$ . როგორი უნდა იყოს მუხტის  $\rho$  მოცულობითი სიმკვრივე, რომ ერთ-ერთი ფირფიტის მაქსიმალურ ველის დაძაბულობა გახდეს ნულის ტოლი? რას ეთანაბრება ამ დროს ველის დაძაბულობა მეორე ფირფიტასთან?

3.53. დამუხტული სფეროს შიგნით ველის პოტენციალი  $\varphi = ar^2 + b$  კანონითაა დამოკიდებული ცენტრიდან  $r$  მანძილზე, სადაც  $a$  და  $b$  მუდმივებია. იპოვეთ  $\rho(r)$  მოცულობითი მუხტის განაწილება სფეროს შიგნით.

### 3.2. გამტარები და დიელექტრიკები ელექტრულ ველში

● ელექტრული ველის დაძაბულობა გამტარის ზედაპირთან ვაკუუმში:

$$E_n = \sigma / \epsilon_0. \quad (3.2 \text{ ა})$$

● ჩაკეტილ ზედაპირზე გამავალი  $P$  პოლარიზაციის ვექტორის ნაკადი:

$$\oint P dS = -q, \quad (3.2 \text{ ბ})$$

სადაც  $q'$  ამ ზედაპირის შიგნით არსებული მთელი მუხტების ალგებრული ჯამია.

● გაუსის თეორემა  $D$  ვექტორისათვის:

$$D = \epsilon_0 E + P, \quad \oint D dS = q, \quad (3.2 \text{ გ})$$

სადაც  $q$  ჩაკეტილი ზედაპირის შიგნით არსებული გარეშე მუხტების ალგებრული ჯამია.

● სასაზღვრო პირობები ორი დიელექტრიკის გამყოფ ზედაპირზე:

$$P_{2n} - P_{1n} = -\sigma'; \quad D_{2n} - D_{1n} = \sigma, \quad E_{2\tau} = E_{1\tau}, \quad (3.2 \text{ დ})$$

სადაც  $\sigma'$  და  $\sigma$  მთელი და გარეშე მუხტების ზედაპირული სიმკვრივეებია, ხოლო  $n$  ნორმალური მიმართულია 1 გარემოდან 2 გარემოში.

● იზოტროპიული დიელექტრიკებისათვის:

$$P = \chi \epsilon_0 E, \quad D = \epsilon \epsilon_0 E, \quad \epsilon = 1 + \chi. \quad (3.2 \text{ ე})$$

● თუ იზოტროპიული, ერთგვაროვანი დიელექტრიკი ავსებს მთელ სივრცეს ორ ეკვიპოტენციურ ზედაპირს შორის:

$$E = E_0 / \epsilon. \quad (3.2 \text{ ვ})$$

3.54. მცირე ზომის ბურთულა  $l$  სიხისტის იზოლირებულ დრეკად დაფხეა დაკიდებული. მთელი სისტემა მოთავსებულია უსაზღვრო, ჰომოგენულ გამტარი სიბრტყის ზეგით. ბურთულამ დამუხტვის შემდეგ ჩამოიწია  $x$  სმ-ით და მანძილი მას და სიბრტყეს შორის გახდა  $l$ . იპოვეთ ბურთულას მუხტი.

3.55. წერტილოვანი  $q$  მუხტი  $l$  მანძილითაა დაშორებული უსასრულო, გამტარი სიბრტყიდან. რა მუშაობა უნდა შესრულდეს, რომ ეს მუხტი ნელა დავაშორდეთ სიბრტყეს ძალიან დიდ მანძილზე?

3.56. ორი წერტილოვანი  $q$  და  $-q$  მუხტი ერთმანეთისაგან დაშორებულია  $l$  მანძილით, ხოლო უსასრულო, გამტარი სიბრტყიდან ერთნაირი  $l/2$  მანძილით. იპოვეთ სიბრტყის ერთ მხარეს:

ა) თითოეულ მუხტზე მოქმედი ელექტრული ძალის ვექტორის მოდული;

ბ) ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორის მოდული ამ მუხტებს შორის შუა წერტილში.

3.57. ორ ურთიერთმართობ გამტარ ნახევარსიბრტყეს შორის იმყოფება წერტილოვანი  $q$  მუხტი. მუხტიდან თითოეულ ნახევარსიბრტყეზე ნანძილი უდრის  $l$ -ს. იპოვეთ მუხტზე მოქმედი ძალის ვექტორის მოდული.

3.58.  $p$  ელექტრული მომენტის მქონე წერტილოვანი დიპოლი  $l$  მან-

ძილითაა დაშორებული უსასრულო გამტარი სიბრტყიდან. იპოვეთ დიპოლზე მოქმედი ძალის ვექტორის მოდული, თუ  $p$  სიბრტყის პერპენდიკულარულია.

**3.59.** წერტილოვანი  $q$  მუხტი  $L$  მანძილითაა დაშორებული უსაზღვრო, გამტარი სიბრტყიდან. იპოვეთ სიბრტყეზე ინდუცირებული მუხტების ზედაპირული სიმკვრივე, როგორც  $r$  მანძილის ფუნქცია, რომელიც მუხტიდან სიბრტყეზე დაშვებული პერპენდიკულარის ფუძიდანაა ათვლილი.

**3.60.** წვრილი უსასრულო გრძელი ძაფი დამუხტულია  $\lambda$  ხაზოვანი სიმკვრივით და უსაზღვრო გამტარი სიბრტყის პარალელურია. მანძილი მათ შორის  $L$ -ის ტოლია, იპოვეთ:

- ა) ძაფის სიგრძის ერთეულზე მოქმედი ძალის ვექტორის სიდიდე;
- ბ) მუხტის ზედაპირული  $\sigma(x)$  სიმკვრივის ანაწილება სიბრტყეზე, სადაც  $x$  არის მანძილი ძაფზე გამავალი და გამტარი ზედაპირისადმი მართობი სიბრტყიდან.

**3.61.** ძალიან გრძელი სწორი ძაფი ორიენტირებულია უსასრულო გამტარი სიბრტყის მართობულად და მანძილი მისი უახლოესი პოლოდან სიბრტყემდე  $L$ -ის ტოლია. ძაფი დამუხტულია თანაბრად  $\lambda$  ხაზოვანი სიმკვრივით. დაუშვათ, რომ  $O$  წერტილი წარმოადგენს ძაფის კვალს სიბრტყეზე. იპოვეთ ინდუცირებული მუხტის ზედაპირული სიმკვრივე სიბრტყეზე:

- ა)  $O$  წერტილში;
  - ბ) როგორც  $r$  მანძილის ფუნქცია  $O$  წერტილამდე.
- 3.62.**  $R$ -რადიუსიანი წვრილი მავთულის რგოლის მუხტია  $q$ . რგოლი პარალელურადაა განლაგებული უსაზღვრო გამტარი სიბრტყის მიმართ და მისგან  $L$  მანძილითაა დაშორებული. იპოვეთ:
- ა) მუხტის ზედაპირული სიმკვრივე სიბრტყის იმ წერტილში, რომელიც რგოლის სიმეტრიულია;
  - ბ) ელექტრული ველის დაძაბულობა და პოტენციალი რგოლის ცენტრში.

**3.63.** იპოვეთ დაუმუხტავი გამტარი სფეროს ფ პოტენციალი, თუ სფეროს გარეთ მისი ცენტრიდან  $L$  მანძილზე მოთავსებულია წერტილოვანი  $q$  მუხტი.

**3.64.** დაუმუხტავი გამტარი სფერული ფენის  $O$  ცენტრიდან  $r$  მანძილზე იმყოფება  $q$  მუხტი. გამტარის შიდა და გარე რადიუსებია შესაბამისად  $R_1$  და  $R_2$ . იპოვეთ პოტენციალი  $O$  წერტილში, თუ  $r < R_1$ .

**3.65.** სისტემა შედგება ორი კონცენტრული გამტარი სფეროსაგან, ამასთანავე,  $a$  რადიუსის შიდა სფეროზე მოთავსებულია დადებითი  $q_1$  მუხტი. როგორი  $q_2$  მუხტი უნდა მოვათავსოთ  $b$  რადიუსის გარე სფეროზე, რომ შიდა სფეროს პოტენციალი გახდეს ნულის ტოლი? როგორ იქნება

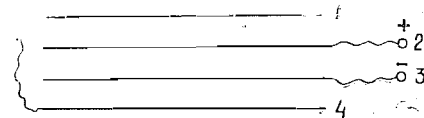
დამოკიდებული ფ პოტენციალი სისტემის ცენტრამდე  $r$  მანძილზე? და-ხაზეთ ამ დამოკიდებულების მიახლოებითი გრაფიკი.

**3.66.** ოთხი დიდი ლითონის ფირფიტა ერთიმეორისაგან დაშორებულია მცირე  $d$  მანძილით (ნახ. 3.8). განაპირა ფირფიტები შეერთებულია გამტარით, ხოლო შიდა ფირფიტებზე მოდებულია  $\Delta\varphi$  პოტენციალთა სხვაობა. იპოვეთ:

ა) ელექტრული ველის დაძაბულობის მნიშვნელობები მეზობელ ფირფიტებს შორის;

ბ) თითოეული ფირფიტის ერთეულზე მოსული ჯამური მუხტი.

**3.67.** ორი უსაზღვრო გამტარი ფირფიტა ერთიმეორისაგან დაშორებულია  $L$  მანძილით. ფირფიტებს შორის, პირველი ფირფიტიდან  $x$  მანძილზე, მოთავსებულია წერტილოვანი  $q$  მუხტი. იპოვეთ თითოეულ ფირფიტაზე ინდუცირებული მუხტი.



ნახ. 3. 8.

**3.68.** იპოვეთ ელექტრული ძალა, რომელიც მოქმედებს ნებისმიერი გამტარის ზედაპირის ერთეულზე მოთავსებულ მუხტზე, იმ წერტილში, სადაც გამტარის მუხტის ზედაპირული სიმკვრივე  $\sigma$ -ს ტოლია.

**3.69.**  $R=1,5$  სმ რადიუსის ლითონის ბურთულას მუხტი  $q=20$  მკკ. იპოვეთ ბურთულას ერთ-ერთ ნახევარზე მოთავსებულ მუხტზე მოქმედი ჯამური ძალის ვექტორის მოდული.

**3.70.**  $R$ -რადიუსიანი დაუმუხტავი გამტარი სფერო მოთავსეს გარეშე ერთგვაროვან ელექტრულ ველში, რის შედეგადაც სფეროს ზედაპირზე წარმოიქმნა ინდუცირებული მუხტი  $\sigma=\sigma_0 \cos \theta$  ზედაპირული სიმკვრივით, სადაც  $\sigma_0$  მუდმივია,  $\theta$  კი—პოლარული კუთხე. იპოვეთ ერთი ნიშნის მთელ ინდუცირებულ მუხტზე მოქმედი ჯამური ელექტრული ძალის ვექტორის მოდული.

**3.71.**  $E=1,0$  კვ/სმ დაძაბულობის ელექტრული ველი წყალში ქმნის პოლარიზაციას, რომელიც ეკვივალენტურია  $N$  მოლეკულიდან მხოლოდ ერთ-ერთის სწორი ორიენტაციისა. იპოვეთ  $N$ . წყლის მოლეკულის ელექტრული მომენტი  $p=0,62 \cdot 10^{-29}$  კ. მ.

**3.72.** პოლარიზაციის  $\beta$  კოეფიციენტის მქონე არაპოლარული მოლეკულა იმყოფება საკმაოდ დიდ  $L$  მანძილზე  $p$  ელექტრული მომენტის მქონე პოლარული მოლეკულიდან. იპოვეთ ამ მოლეკულებს შორის ურთიერთქმედების ძალის ვექტორის სიდიდე, თუ  $p$  ვექტორი მოლეკულაზე გამავალი წრფის გასწვრივაა ორიენტირებული.

**3.73.**  $R$  რადიუსის თანაბრად დამუხტული წვრილი რგოლის დერ-

ძვე მოთავსებულია არაპოლარული მოლეკულა. რგოლის ცენტრიდან რა  $x$  მანძილზე იქნება მოცემულ მოლეკულაზე მოქმედი ძალის ვექტორის  $F$  სიდიდე:

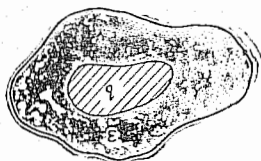
- ნულის ტოლი;
- მაქსიმალური?

ააგეთ  $F_x(x)$  დამოკიდებულების მიახლოებითი გრაფიკი.

3.74. ერთგვაროვანი იზოტროპიული დიელექტრიკისაგან დამზადებულ სფეროს ცენტრში მოთავსებულია გარეშე წერტილოვანი  $q$  მუსტი. დიელექტრიკის შეღწევადობაა  $\epsilon$ . იპოვეთ პოლარიზაციის  $P$  ვექტორის დამოკიდებულება  $r$  რადიუს-ვექტორზე, რომელიც გავლებულია სისტემის ცენტრიდან, და  $q'$  მუსტი იმ სფეროს შიგნით, რომლის რადიუსი ნაკლებია მოცემული სფეროს რადიუსზე.

3.75. აჩვენეთ, რომ ერთგვაროვანი დიელექტრიკისა და გამტარის საზღვარზე დიელექტრიკის ბმული მუხტის ზედაპირული სიმკვრივე  $\sigma' = -\sigma(\epsilon-1)/\epsilon$ , სადაც  $\epsilon$  დიელექტრიკული შეღწევადობაა,  $\sigma$  კი მუხტის ზედაპირული სიმკვრივე გამტარზე.

3.76.  $q$  მუხტის მქონე ნებისმიერი ფორმის გამტარი გარემოცულია  $\epsilon$  შეღწევადობის ერთგვაროვანი დიელექტრიკით (ნახ. 3.9.) იპოვეთ ჯამური ზედაპირული ბმული მუხტი დიელექტრიკის შიდა და გარე ზედაპირზე.



ნახ. 3.9

3.77. ერთგვაროვანი იზოტროპიული დიელექტრიკი წარმოადგენს სფერულ შრეს, რომლის შიდა და გარე რადიუსებია  $a$  და  $b$ . ააგეთ ელექტრული ველის  $E$  დაძაბულობისა და პოტენციალის  $\varphi$  მანძილზე დამოკიდებულების მიახლოებითი გრაფიკები, თუ დიელექტრიკს გააჩნია დადებითი თავისუფალი მუხტი, რომელიც თანაბრადაა განაწი-

ლებული:

- ფენის შიდა ზედაპირზე;
  - ფენის მთელ მოცულობაში;
- კ. მანძილი ათვლილია სისტემის ცენტრიდან.

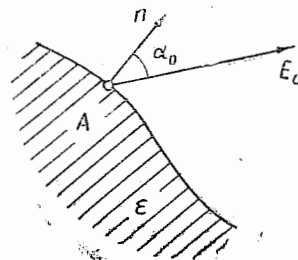
3.78. მინისა და ვაკუუმის გამყოფი ზედაპირის  $A$  წერტილის (ნახ. 3.10) მახლობლად ელექტრული ველის დაძაბულობა ვაკუუმში  $E = 10,0$  ვ/მ, ამასთანავე  $E_0$  ვექტორისა და გამყოფი ზედაპირის  $n$  ნორმალს შორის კუთხე  $\alpha_0 = 30^\circ$ . იპოვეთ ველის  $E$  დაძაბულობა მინაში  $A$  წერტილის მახლობლად,  $\alpha$  კუთხე  $E$  და  $n$  ვექტორებს შორის და ბმული მუხტების ზედაპირული სიმკვრივე  $A$  წერტილში.

3.79.  $\epsilon$  შეღწევადობის ერთგვაროვანი იზოტროპიული დიელექტრიკის ბრტყელ ზედაპირთან ელექტრული ველის დაძაბულობა ვაკუუმში  $E_0$ -ის.

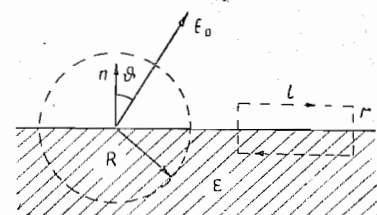
ტოლია, თანაც,  $E_0$  ვექტორი დიელექტრიკის ზედაპირისადმი გავლებულ ნორმალთან ქმნის  $\theta$  კუთხეს (ნახ. 3.11). გაითვალისწინეთ, რომ ველი დიელექტრიკის შიგნით და გარეთ ერთგვაროვანია და იპოვეთ:

ა)  $R$  რადიუსის სფეროში გამავალი  $E$  ვექტორის ნაკადი. სფეროს ცენტრი დიელექტრიკის ზედაპირზეა;

ბ) ვექტორის ცირკულაცია  $L$  სიგრიძის  $\Gamma$  კონტურზე (იხ. ნახ. 3.11), რომლის სიბრტყე დიელექტრიკის ზედაპირის მართობი და  $E_0$  ვექტორის პარალელურია.



ნახ. 3.10



ნახ. 3.11

3.80. უსასრულო დიდი ფირფიტა, რომელიც დამზადებულია  $\epsilon$  შეღწევადობის ერთგვაროვანი დიელექტრიკისაგან, თანაბრადაა დამუხტული  $\rho > 0$  მოცულობითი სიმკვრივის მქონე თავისუფალი მუხტით. ფირფიტის სისქეა  $2d$ . იპოვეთ:

ა) ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორის სიდიდისა და პოტენციალის დამოკიდებულება  $x$  მანძილზე, რომელიც ფირფიტის შუაგულიდანაა ათვლილი (ფირფიტის შუაგულში პოტენციალი ჩათვალით ნულის ტოლად). საკოორდინატო  $x$  ღერძი აირჩიეთ ფირფიტის მართობულად და ააგეთ  $E_x(x)$  და  $\varphi(x)$  დამოკიდებულებების მიახლოებითი გრაფიკები;

ბ) ბმული მუხტის ზედაპირული და მოცულობითი სიმკვრივე.

3.81.  $\epsilon$  შეღწევადობის ერთგვაროვანი იზოტროპიული დიელექტრიკისაგან დამზადებულია  $R$ -რადიუსიანი სფერო. მის შიგნით თავისუფალი მუხტები თანაბრადაა განაწილებული  $\rho > 0$  მოცულობითი სიმკვრივით. იპოვეთ:

ა) ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორის სიდიდის დამოკიდებულება სფეროს ცენტრიდან  $r$  მანძილზე; ააგეთ  $E(r)$  და  $\varphi(r)$  დამოკიდებულებების მიახლოებითი გრაფიკები;

ბ) ბმული მუხტების მოცულობითი და ზედაპირული სიმკვრივე.

3.82.  $R$  რადიუსისა და  $d$  სისქის დიელექტრიკისაგან დამზადებული წრიული დისკო სტატიკურადაა პოლარიზებული ისე, რომ პოლარიზა-

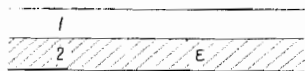


ციის  $P$  ვექტორი იმყოფება დისკოს სიბრტყეში და ყველგან ერთნაირია. იპოვეთ ელექტრული ველის  $E$  დაძაბულობა დისკოს ცენტრში, თუ  $d \ll R$ .

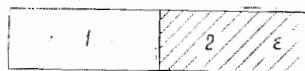
3.83. გარკვეულ პირობებში, როდესაც არ არის გარეშე ველი, უსაზღვრო, დაუმუხტავი დიელექტრიკული ფირფიტის პოლარიზაციის ვექტორს აქვს შემდეგი სახე:  $P = P_0(1 - x^2/d^2)$ , სადაც  $P_0$  მართობი ვექტორია ფირფიტის მიმართ,  $x$  მანძილი ათვლილია ფირფიტის შუაგულიდან, ხოლო  $d$  მისი სისქის ნახევარია. იპოვეთ ელექტრული ველის  $E$  დაძაბულობა ფირფიტის შიგნით და პოტენციალთა სხვაობა მის ზედაპირებს შორის.

3.84. თავდაპირველად სივრცე ბრტყელი კონდენსატორის შემონაფენებს შორის შევსებულია ჰაერით და ფირფიტებს შორის ღრეჩოში ველის დაძაბულობაა  $E_0$ . შემდეგ, ღრეჩოს ნახევარს, როგორც ნაჩვენებია 3.12 ნახაზზე, ავსებენ  $\epsilon$  შეღწევადობის ერთგვაროვანი იზოტროპიული დიელექტრიკით. იპოვეთ  $E$  და  $D$  ვექტორების სიდიდეები ღრეჩოს ორივე (1 და 2) ნაწილში, თუ დიელექტრიკის შეტანისას:

- ა) დაძაბულობა შემონაფენებს შორის არ იცვლებოდა;
- ბ) მუხტები შემონაფენებზე იყო უცვლელი.



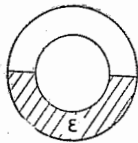
ნახ. 3.12.



ნახ. 3.13

3.85. ამოხსენით წინა ამოცანა იმ განსხვავებით, რომ ღრეჩოს ნახევარი შეავსეს დიელექტრიკით ისე, როგორც ნაჩვენებია 3.13 ნახაზზე.

3.86. სფერული კონდენსატორის შემონაფენებს შორის სივრცის ნახევარი შეავსეს  $\epsilon$  შეღწევადობის ერთგვაროვანი იზოტროპიული დიელექტრიკით (ნახ. 3.14). კონდენსატორის მუხტია  $q$ . იპოვეთ ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორის სიდიდის დამოკიდებულება  $r$  მანძილზე, რომელიც შემონაფენების სიმრუდის ცენტრიდანაა ათვლილი.



ნახ. 3.14

3.87. მცირე ზომის ორი ერთნაირი ბურთული ერთი და იმავე ნიშნის მუხტითაა დამუხტული და ტოლი სიგრძის იზოლირებული ძაფებით დაკიდებულია ერთ წერტილში. გარემომცველი სივრცის ნახევარს შევსებისას ძაფების გაშლის კუთხე არ შეიცვალა. იპოვეთ ნივთიერების სიმკვრივე, რომლისგანაცაა დამზადებული ბურთულები.

3.88. ერთგვაროვანი იზოტროპიული  $\epsilon = 5,00$  შეღწევადობის დიელექტრიკისაგან დამზადებული სფეროს შიგნით შექმნილია ერთგვაროვანი

$E = 100$  ვ/მ დაძაბულობის ელექტრული ველი. სფეროს რადიუსია  $R = 3,0$  სმ. იპოვეთ ბმული მუხტების მაქსიმალური ზედაპირული სიმკვრივე და ერთი ნიშნის სრული ბმული მუხტი.

3.89. ერთგვაროვანი იზოტროპიული დიელექტრიკის ბრტყელი ზედაპირიდან  $l$  მანძილზე, ვაკუუმში იმყოფება წერტილოვანი  $q$  მუხტი. დიელექტრიკი ავსებს მთელი სივრცის ნახევარს. მისი შეღწევადობაა  $\epsilon$ . იპოვეთ:

ა) ბმული მუხტების ზედაპირული სიმკვრივის დამოკიდებულება  $r$  მანძილზე, რომელიც ათვლილია წერტილოვანი  $q$  მუხტიდან; გამოიკვლიეთ მიღებული შედეგი, როდესაც  $l \rightarrow 0$ ;

ბ) ჯამური ბმული მუხტი დიელექტრიკის ზედაპირზე.

3.90. ისარგებლეთ წინა ამოცანის პირობითა და ამოხსნით. იპოვეთ დიელექტრიკის ზედაპირზე მყოფი ბმული მუხტების მხრიდან  $q$  მუხტზე მოქმედი ძალის ვექტორის სიდიდე.

3.91. წერტილოვანი  $q$  მუხტი მოთავსებულია სიბრტყეზე, რომელიც გამოყოფს ვაკუუმს  $\epsilon$  შეღწევადობის უსასრულო ერთგვაროვანი იზოტროპიული დიელექტრიკისაგან. იპოვეთ  $D$  და  $E$  ვექტორების სიდიდეებისა და  $\varphi$  პოტენციალის დამოკიდებულება მუხტიდან  $r$  მანძილზე.

3.92.  $q$  სიდიდის მუხტის მქონე მცირე ზომის გამტარი ბურთულა იმყოფება  $\epsilon$  შეღწევადობის ერთგვაროვანი იზოტროპიულ დიელექტრიკში. ბურთულა  $l$  მანძილითაა დაშორებული დიელექტრიკისა და ვაკუუმის გამყოფი ბრტყელი, უსაზღვრო ზედაპირიდან. იპოვეთ ბმული მუხტების ზედაპირული სიმკვრივე დიელექტრიკ-ვაკუუმის გამყოფ ზედაპირზე, როგორც ბურთულაიდან ათვლილი  $r$  მანძილის ფუნქცია. გამოიკვლიეთ მიღებული შედეგი, როდესაც  $l \rightarrow 0$ .

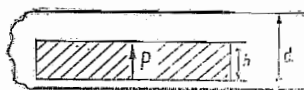
3.93. გამტარი სიბრტყით შემოსაზღვრული სივრცის ნახევარი შევსებულია  $\epsilon$  შეღწევადობის ერთგვაროვანი იზოტროპიული დიელექტრიკით, რომელშიც აღნიშნული სიბრტყიდან  $l$  მანძილზე  $q$  მუხტის მქონე ლითონის მცირე ბურთულაა მოთავსებული. იპოვეთ გამტარი სიბრტყის საზღვართან მყოფი ბმული მუხტების ზედაპირული სიმკვრივე, როგორც ბურთულაიდან  $r$  მანძილის ფუნქცია.

3.94. ერთგვაროვანი, სტატიკურად პოლარიზებული დიელექტრიკი, რომელიც წარმოადგენს  $k$  სისქის ფირფიტას, მოთავსებულია ბრტყელი კონდენსატორის შიგნით, რომლის შემონაფენები გამტართაა შეერთებული. დიელექტრიკის პოლარიზაციის ვექტორია  $P$  (ნახ. 3.15). მანძილი კონდენსატორის ფირფიტებს შორის  $d$ -ს ტოლია. იპოვეთ ელექტრული ველის დაძაბულობისა და ინდუქციის ვექტორები ფირფიტის შიგნით და მის გარეთ.

3.95. გრძელი, წრიული კვეთის დიელექტრიკული ცილინდრი ისეა პოლარიზებული, რომ  $P = \alpha r$ , სადაც  $\alpha$  დადებითი მუდმივაა,  $r$  კი — მანძილი

დერძიდან. იპოვეთ ბმული მუხტების  $\rho'$  მოცულობითი სიმკვრივის და მოკიდებულება  $\rho'$  მანძილზე.

**3.96.** დიელექტრიკული სფერო ერთგვაროვნად და სტატიკურადაა პოლარიზებული. მისი პოლარიზაციის ვექტორია  $\mathbf{P}$ . თუ მივიღებთ მხედველობაში, რომ ასეთნაირად პოლარიზებული სფერო შეიძლება წარმოვიდგინოთ, როგორც დიელექტრიკის ყველა დადებითი მუხტის მცირე წანაცვლების შედეგი ყველა უარყოფითი მუხტის მიმართ,



ნახ. 3.15.

ა) იპოვეთ ელექტრული ველის  $\mathbf{E}$  დაძაბულობა სფეროს შიგნით;

ბ) აჩვენეთ, რომ ველი სფეროს გარეთ წარმოადგენს სფეროს ცენტრში მოთავსებული დიპოლის ველს, და, რომ ამ ველის პოტენციალი

$\varphi = \frac{Pr}{4\pi\epsilon_0}$ , სადაც  $P_0$  სფეროს ელექტრული მომენტი,  $r$  კი მანძილი მისი ცენტრიდან.

**3.97.** ისარგებლეთ წინა ამოცანის ამოხსნის შედეგით და იპოვეთ ელექტრული ველის  $\mathbf{E}_0$  დაძაბულობა სფერულ სიღრუეში, რომელიც  $\epsilon$  შეღწევადობის მქონე უსაზღვრო ერთგვაროვან დიელექტრიკშია, თუ სიღრუიდან საკმაოდ ჰოშორებით ველის დაძაბულობაა  $\mathbf{E}$ .

**3.98.**  $\mathbf{E}_0$  დაძაბულობის ერთგვაროვან ელექტრულ ველში მოათავსეს ერთგვაროვანი დიელექტრიკული სფერო. ამ პირობებში დიელექტრიკი ერთგვაროვნად პოლარიზდება. იპოვეთ ელექტრული ველის  $\mathbf{E}$  დაძაბულობა სფეროს შიგნით და პოლარიზაციის  $\mathbf{P}$  ვექტორი დიელექტრიკისათვის, რომლის შეღწევადობაა  $\epsilon$ . ამოხსნის დროს ისარგებლეთ 3.96 ამოცანის შედეგით.

**3.99.** უსასრულო, გრძელი, წრიული კვეთის დიელექტრიკული ცილინდრი ერთგვაროვნად და სტატიკურადაა პოლარიზებული, ამასთან, პოლარიზაციის  $\mathbf{P}$  ვექტორი ცილინდრის ღერძის პერპენდიკულარულია, იპოვეთ ელექტრული ველის  $\mathbf{E}$  დაძაბულობა დიელექტრიკში.

**3.100.** ერთგვაროვანი დიელექტრიკისაგან დამზადებული წრიული კვეთის გრძელი ცილინდრი  $\mathbf{E}_0$  დაძაბულობის ერთგვაროვან ელექტრულ ველში მოათავსეს. ცილინდრის ღერძი  $\mathbf{E}_0$  ვექტორის პერპენდიკულარულია. ამ პირობებში დიელექტრიკი ერთგვაროვნად პოლარიზდება. ისარგებლეთ წინა ამოცანის ამოხსნის შედეგით და იპოვეთ ელექტრული ველის  $\mathbf{E}$  დაძაბულობა ცილინდრის შიგნით და პოლარიზაციის  $\mathbf{P}$  ვექტორი დიელექტრიკისათვის, რომლის შეღწევადობაა  $\epsilon$ .

### 3.3. ელექტროტევადობა. ელექტრული ველის ენერგია

● ბრტყელი კონდენსატორის ტევადობა:

$$C = \epsilon\epsilon_0 S/d.$$

(3.3 ა)

● წერტილოვანი მუხტებისაგან შემდგარი სისტემის ურთიერთქმედების ენერგია:

$$W = \frac{1}{2} \sum q_i \varphi_i, \quad (3.3\text{ბ})$$

● სისტემის სრული ელექტრული ენერგია მუხტის უწყვეტი განაწილების დროს:

$$W = 1/2 \int \rho \varphi dV. \quad (3.3\text{გ})$$

● ორი დამუხტული სხეულის სრული ელექტრული ენერგია:

$$W = W_1 + W_2 + W_{12}, \quad (3.3\text{დ})$$

სადაც  $W_1$  და  $W_2$  სხეულთა საკუთარი ენერგია,  $W_{12}$  კი — ურთიერთქმედების ენერგია.

● დამუხტული კონდენსატორის ენერგია:

$$W = \frac{qU}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2}. \quad (3.3\text{ე})$$

● ელექტრული ველის ენერგიის მოცულობითი სიმკვრივე:

$$w = \frac{ED}{2} = \frac{\epsilon\epsilon_0 E^2}{2}. \quad (3.3\text{ვ})$$

**3.101.** იპოვეთ  $R_1$  რადიუსიანი სფერული გამტარის ტევადობა, თუ ის გარემოცულია მასთან მიმდებარე კონცენტრული ფენის ერთგვაროვანი დიელექტრიკით, რომლის შეღწევადობაა  $\epsilon$ , ხოლო გარეშე რადიუსი —  $R_2$ .

**3.102.** გ.ე.მ.  $d$ -ის წყაროს მიმდევრობით შეუერთეს ბრტყელი  $C$  ტევადობის პაერის ორი კონდენსატორი. შემდეგ ერთ-ერთი კონდენსატორი შეაგსეს  $\epsilon$  შეღწევადობის ერთგვაროვანი დიელექტრიკით. რამდენჯერ შემცირდა ამ კონდენსატორში ელექტრული ველის დაძაბულობა? დაადგინეთ წყაროში გამავალი მუხტი.

**3.103.** ბრტყელი კონდენსატორის შემონაფენებს შორის სივრცე მიმდევრობითაა შევსებული ორი დიელექტრიკული ფენით, რომელთა სისქეებია  $d_1$  და  $d_2$ , შეღწევადობები კი —  $\epsilon_1$  და  $\epsilon_2$ . თითოეული შემონაფენის ფართობია  $S$ . იპოვეთ:

ა) კონდენსატორის ტევადობა;

ბ) ბმული მუხტების  $\sigma'$  სიმკვრივე დიელექტრიკული ფენების გამყოფ ზედაპირზე, თუ ძაბვა კონდენსატორზე  $U$ -ს ტოლია და ელექტრული ველი პირველი ფენიდან მეორე ფენისაკენაა მიმართული.

**3.104.** ბრტყელი კონდენსატორის შემონაფენებს შორის სივრცე შევსებულია იზოტროპული დიელექტრიკით, რომლის შეღწევადობაა  $\epsilon$  იცვლება ფირფიტისადმი პერპენდიკულარული მიმართულების გასწვრივ პირდაპირპროპორციულად  $\epsilon_1$ -დან  $\epsilon_2$  მნიშვნელობამდე, თანაც  $\epsilon_2 > \epsilon_1$ . თითოეული შემონაფენის ფართობია  $S$ , ხოლო მანძილი მათ შორის —  $d$ . იპოვეთ:

ა) კონდენსატორის ტევადობა;

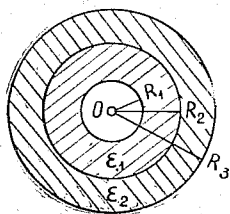
ბ) ბმული მუხტების მოცულობითი სიმკვრივე, როგორც  $\epsilon$ -ის ფუნქცია.

ცია, თუ კონდენსატორის მუხტი  $q$ -ს ტოლია და  $E$  ველი მიმართულია  $\varepsilon$ -ის ზრდის მიმართულებით.

3.105. იპოვეთ  $R_1$  და  $R_2 > R_1$  რადიუსებიანი სფერული კონდენსატორის ტევადობა, თუ ის შევსებულია იზოტროპული დიელექტრიკით, რომლის შეღწევალობა იცვლება  $\varepsilon = a/r$  კანონით, სადაც  $a$  მუდმივია,  $r$  კი—მანძილი კონდენსატორის ცენტრიდან.

3.106. ცილინდრული კონდენსატორი შევსებულია ორი  $\varepsilon_1$  და  $\varepsilon_2$  შეღწევალობის მქონე ცილინდრული შრის ფორმის დიელექტრიკით. ფენების შიდა რადიუსებია შესაბამისად  $R_1$  და  $R_2 > R_1$ . ელექტრული ველის მაქსიმალურად დასაშვები დამატულობა ამ დიელექტრიკისათვის  $E_{1m}$  და  $E_{2m}$ -ია. როგორი თანაფარდობა უნდა არსებობდეს  $\varepsilon$ ,  $R$  და  $E_m$  შორის, რომ ძაბვის ზრდის დროს ველის დამატულობამ ერთდროულად მიაღწიოს, როგორც ერთი, ასევე მეორე დიელექტრიკის გარღვევის შესაბამის მნიშვნელობას?

3.107. მოცემულია ორფენიანი ცილინდრული კონდენსატორი, რომლის მონაცემები მოცემულია 3.16 ნახაზზე. ელექტრული ველის დამატულობის ზღვრული მნიშვნელობები, რომლის დროსაც იწყება მოცემული დიელექტრიკების გარღვევა, შესაბამისად  $E_1$  და  $E_2$ -ის ტოლია. ძაბვის რა მნიშვნელობისათვის მოხდება კონდენსატორის გარღვევა, თუ  $\varepsilon_1 R_1 E_1 < \varepsilon_2 R_2 E_2$ ?



ნახ. 3.16

3.108. ორი ერთნაირი კვეთის  $a$ -რადიუსიანი გრძელი წრფივი სადენი ერთმანეთის პარალელურადაა განლაგებული ჰაერში. მანძილი მათ ღერძებს შორის არის  $b$ . იპოვეთ სადენების სიგრძის ერთეულზე გაანგარიშებული ურთიერთტევადობა, თუ  $b \gg a$ .

3.109. წრფივი გრძელი სადენი უსასრულო გამტარი სიბრტყის პარალელურადაა

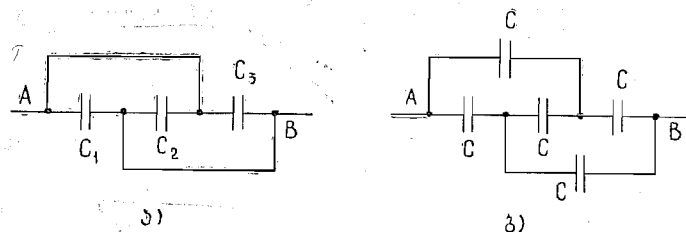
განლაგებული. სადენების კვეთის რადიუსია  $a$ , მანძილი სადენის ღერძსა და სიბრტყეს შორის კი— $b$ . იპოვეთ სადენის სიგრძის ერთეულზე გაანგარიშებული სისტემის საერთო ტევადობა, თუ  $a \ll b$ .

3.110. იპოვეთ ორი ერთნაირი  $a$ -რადიუსიანი ლითონის ბურთულასაგან შემდგარი სისტემის ტევადობა, თუ მათ ცენტრებს შორის მანძილი უდრის  $b$ -ს, ხოლო  $b \gg a$ . სისტემა მოთავსებულია  $\varepsilon$  შეღწევალობის ერთგვაროვან დიელექტრიკში.

3.111. განსაზღვრეთ ტევადობა სისტემისა, რომელიც შედგება  $a$ -რადიუსიანი ბურთულასაგან და უსაზღვრო, გამტარი სიბრტყისაგან. მანძილი ბურთულის ცენტრიდან სიბრტყემდე  $l$ -ის ტოლია, ხოლო  $l \gg a$ .

3.112. იპოვეთ ერთნაირი კონდენსატორისაგან შემდგარი სისტემის ტევადობა  $A$  და  $B$  წერტილებს შორის. იხილეთ:

ა) ნახ. 3.17 ა; ბ) ნახ. 3.17 ბ.



ნახ. 3.17

3.113. ლითონის ოთხი ერთნაირი ფირფიტა განლაგებულია ჰაერში ერთიმეორისაგან  $d$  ერთნაირი მანძილით. თითოეული ფირფიტის ფართობია  $S$ . იპოვეთ სისტემის ტევადობა  $A$  და  $B$  წერტილებს შორის, თუ ფირფიტები შეერთებულია ისე, როგორც ნაჩვენებია: ა) ნახ. 3.18 ა; ბ) 3.18 ბ.

3.114.  $C_1 = 1,0$  მკფ ტევადობის კონდენსატორი უძღებს არა უმეტეს  $U_1 = 6,0$  კვ ძაბვას,  $C_2 = 2,0$  მკფ ტევადობის კონდენსატორი კი არა უმეტეს  $U_2 = 4,0$  კვ ძაბვას. რა ძაბვას გაუძღებს ამ კონდენსატორებისაგან შემდგარი სისტემა, თუ მათ მიმდევრობით შეეყვანებთ?

3.115. იპოვეთ პოტენციალთა სხვაობა  $A$  და  $B$  წერტილებს შორის (ნახ. 3.19), თუ  $\varepsilon = 110$  ვ-ია, ხოლო ტევადობების შეფარდება  $C_2/C_1 = \eta = 2,0$ .

3.116. იპოვეთ ტევადობა უსასრულო წრედისა, რომელიც შედგება

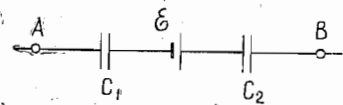


ნახ. 3.19

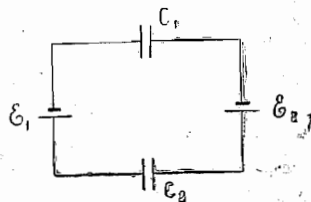
ნახ. 3.20

ნილია ერთი და იმავე რგოლის განმეორებით. რგოლი შედგება  $C$  ტევადობის ორი ერთნაირი კონდენსატორისაგან (ნახ. 3.20).

3.117. რომელიღაც წრედში მოცემულია  $AB$  უბანი (ნახ. 3.21). წყაროს ე.მ.დ.  $\mathcal{E} = 10$  ვ-ია, კონდენსატორების ტევადობაა  $C_1 = 1,0$  მკფ,  $C_2 = 2,0$  მკფ, ხოლო პოტენციალთა სხვაობა  $\varphi_A - \varphi_B = 5,0$  ვ. იპოვეთ ძაბვა თითოეულ კონდენსატორზე.



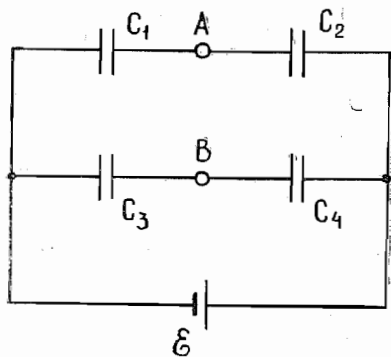
ნახ. 3.21



ნახ. 3.22

3.118. იპოვეთ პოტენციალთა სხვაობა თითოეული კონდენსატორის მარცხენა და მარჯვენა შემონაწევრებს შორის (ნახ. 3.22).

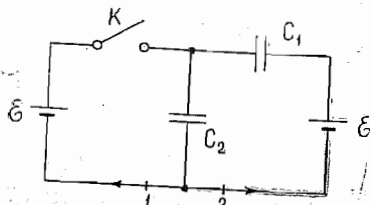
3.119. იპოვეთ თითოეული კონდენსატორის მუხტი 3.22 ნახაზზე ნაჩვენებ წრედში.



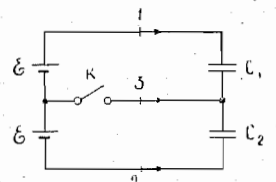
ნახ. 3.23

3.120. განსაზღვრეთ  $\varphi_A - \varphi_B$  პოტენციალთა სხვაობა  $A$  და  $B$  წერტილებს შორის (ნახ. 3.23). რა შემთხვევაში იქნება ის ნულის ტოლი?

3.121.  $U = 110$  ვ ძაბვამდე დამუხტული  $C_1 = 1,0$  მკფ ტევადობის კონდენსატორი პარალელურად შეაერთეს  $C_2 = 2,0$  მკფ და  $C_3 = 3,0$  მკფ ტევადობის მქონე, მიმდევრობით შეერთებულ ორი დაუმუხტავი კონდენსატორისაგან შედგენილი სისტემის ბოლოებს. რა მუხტი გაივლის ამ დროს შემაერთებელ სადენებში?



ნახ. 3.24



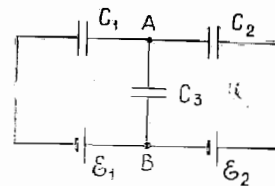
ნახ. 3.25

3.122. რა მუხტი გაივლის (ნახ. 3.24) ისრებით ნაჩვენები მიმართულების გასწვრივ, 1 და 2 კვეთაში, თუ წრედს შევკრავთ  $K$  ჩამრთველით.

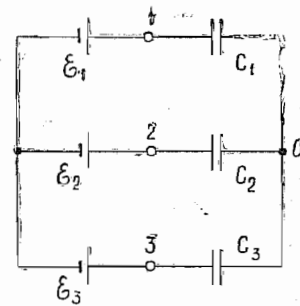
3.123. იპოვეთ ისრებით ნაჩვენები მიმართულებით (ნახ. 3.25) 1, 2 და 3 კვეთებში გამავალი მუხტი წრედის შეკვრის შემდეგ. თითოეული ბატარეის ე. მ. დ.  $\mathcal{E} = 60$  ვ-ია, კონდენსატორების ტევადობებია  $C_1 = 2,0$  მკფ და  $C_2 = 3,0$  მკფ.

3.124. იპოვეთ სქემის  $A$  და  $B$  წერტილებს შორის  $\varphi_A - \varphi_B$  პოტენციალთა სხვაობა (ნახ. 3.26).

3.125. განსაზღვრეთ პოტენციალი 1 წერტილში (ნახ. 3.27), თუ  $O$  წერტილის პოტენციალს ჩავთვლით ნულის ტოლად. ანალოგიურად ჩაწერეთ (ისარგებლეთ მიღებული ფორმულის სიმეტრიით) პოტენციალის გამოსახულება 2 და 3 წერტილებში.



ნახ. 3.26



ნახ. 3.27

3.126. იპოვეთ სქემის ტევადობა  $A$  და  $B$  წერტილებს შორის (ნახ. 3.28).

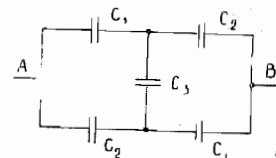
3.127. განსაზღვრეთ წერტილოვანი მუხტების ურთიერთქმედების ენერგია, თუ ისინი განლაგებული არიან  $a$  გვერდის მქონე კვადრატის წვეროებში, ნახ. 3.29-ზე მოცემული სამი შემთხვევისათვის.

3.128. მოცემულია  $q$  და  $-q$  მუხტების მონაცვლეობის უსასრულო წრფივი ჯაჭვი. მანძილი მეზობელ მუხტებს შორის არის  $a$ . იპოვეთ თითოეული მუხტის ყველა დანარჩენთან ურთიერთქმედების ენერგია.

მითითება. ისარგებლეთ  $\ln(1+x)$  ფუნქციის მწკრივად დაშლის ხერხით  $x$  სიდიდის მიმართ.

3.129. წერტილოვანი  $q$  მუხტი უსაზღვრო გამტარი სიბრტყიდან  $l$  მანძილითაა დაშორებული. იპოვეთ ამ მუხტისა და სიბრტყეზე ინდუცირებული მუხტების ურთიერთქმედების ენერგია.

3.130. განსაზღვრეთ ორი სფეროს ურთიერთქმედების ენერგია, რომელთა  $q_1$  და  $q_2$  მუხტები სფერული სიმეტრიით არიან განაწილებული. მანძილი სფეროების ცენტრებს შორის  $l$ -ის ტოლია,

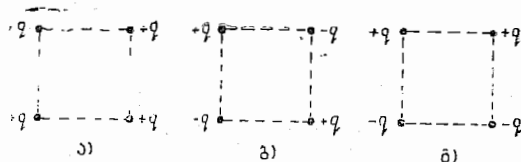


ნახ. 3.28



მითითება. პირველ რიგში, უნდა განისაზღვროს ურთიერთქმედების ენერგია სფეროსა და თხელ სფერულ ფენას შორის.

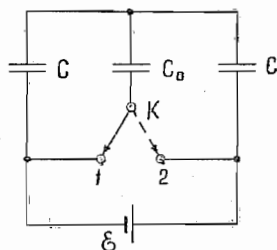
3.131.  $U = 300$  ვ ძაბვამდე დამუხტული  $C_1 = 1,0$  მკფ ტევადობის კონდენსატორი პატალელურად შეუერთეს დაუმუხტავ  $C_2 = 2,0$  მკფ ტევადობის კონდენსატორს. იპოვეთ ამ სისტემის ელექტრული ენერგიის ნაზრდი წონასწორობის დამყარების მომენტისათვის. ახსენით მიღებული შედეგი.



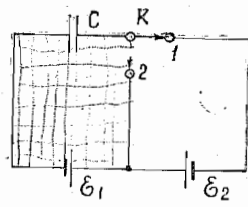
ნახ. 3.29

3.132. სიტბოს რა რაოდენობა გამოიყოფა წრედში (ნახ. 3.30)  $K$  ჩამრთველის გადართვის დროს 1 მდებარეობიდან 2 მდებარეობაში?

3.133. სიტბოს რა რაოდენობა გამოიყოფა წრედში (ნახ. 3.31) ჩამრთველის გადართვის დროს 1 მდებარეობიდან 2 მდებარეობაში?



ნახ. 3.30



ნახ. 3.31

3.134. სისტემა შედგება  $R_1$  და  $R_2$  რადიუსების მქონე ორი კონცენტრული ლითონის თხელი გარსისაგან, რომელთა მუხტებია შესაბამისად  $q_1$  და  $q_2$ . იპოვეთ თითოეული გარსის საკუთარი  $W_1$  და  $W_2$  ენერგია, გარსების ურთიერთქმედების  $W_{12}$  ენერგია და სისტემის სრული  $W$  ელექტრული ენერგია.

3.135.  $R$ -რადიუსიანი სფეროს მოცულობაში თანაბრად განაწილებული  $q$  მუხტი. ჩათვალით, რომ დიელექტრიკული შეღწევადობა ერთის ტოლია და იპოვეთ:

- სფეროს საკუთარი ელექტროსტატიკური ენერგია;
- სფეროს შიგნით მომარაგებული  $W_1$  ენერგიის შეფარდება გარემოცველ სივრცეში არსებულ  $W_2$  ენერგიასთან.

3.136. ერთგვაროვანი, იზოტროპიული,  $\epsilon = 30$  შეღწევადობის მქონე

დიელექტრიკისაგან დამზადებული სფერული შრის ცენტრში იმყოფება წერტილოვანი  $q = 3,0$  მკფ მუხტი. ფენის შიგა რადიუსია  $a = 250$  მმ, გარე კი  $b = 500$  მმ. იპოვეთ ელექტროსტატიკური ენერგია დიელექტრიკში.

3.137.  $q$  მუხტით თანაბრად დამუხტული  $R_1$  რადიუსის მქონე სფერული გარსი გააფართოვოს  $R_2$  რადიუსამდე. იპოვეთ ელექტროსტატიკური ძალების მიერ შესრულებული მუშაობა.

3.138. მოცემულია  $q$  მუხტით თანაბრად დამუხტული სფერული გარსი, რომლის ცენტრში მოთავსებულია წერტილოვანი  $q_0$  მუხტი. იპოვეთ ელექტრული ძალების მიერ შესრულებული მუშაობა გარსის გაფართოებისას, როდესაც მისი რადიუსი იზრდება  $R_1$ -დან  $R_2$ -მდე.

3.139. თანაბრად დამუხტული სფერული გარსის მუხტის ზედაპირული სიმკვრივეა  $\sigma$ . ისარგებლეთ ენერგიის მუდმივობის კანონით და იპოვეთ გარსის ზედაპირის ერთეულზე მოქმედი ელექტრული ძალის ვექტორის სიდიდე.

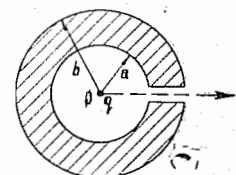
3.140. დაუმუხტავ, გამტარ სფერულ ფენას გაკეთებული აქვს მცირე ზომის ხვრელი (ნახ. 3.32). გამტარის  $O$  ცენტრში მოთავსებულია წერტილოვანი  $q$  მუხტი. ფენის შიგა და გარე რადიუსებია შესაბამისად  $a$  და  $b$ . როგორი მუშაობა უნდა შესრულდეს ელექტრული ძალების საწინააღმდეგოდ, რომ  $q$  მუხტი ხვრელის გავლით ნელა გადავიტანოთ  $O$  წერტილიდან უსასრულობაში?

3.141. მოცემულია ჰაერის ბრტყელი კონდენსატორი, რომლის შემონაფენების ფართობია  $S$ . რა მუშაობა უნდა შესრულდეს ელექტრული ძალების საწინააღმდეგოდ, რომ მანძილი შემონაფენებს შორის ნელა გავზარდოთ  $x_1$ -დან  $x_2$ -მდე, თუ, ამავე დროს, უცვლელს დავტოვებთ:

- კონდენსატორის  $q$  მუხტს;
- კონდენსატორზე მოდებულ  $U$  ძაბვას?

3.142. ბრტყელი კონდენსატორის შიგნით, მისი შემონაფენების პარალელურად, მოთავსებულია ბრტყელი ფირფიტა, რომლის სისქე შეადგენს შემონაფენებს შორის მანძილის  $\eta = 0,60$  ნაწილს. ფირფიტის გარეშე კონდენსატორის ტევადობაა  $C = 20$  ნფ. თავდაპირველად კონდენსატორი პარალელურად შეუერთეს  $U = 200$  ვ მუდმივი ძაბვის წყაროს, შემდეგ გამოერთეს და ფირფიტა ნელა გამოიღეს. იპოვეთ ფირფიტის გამოღებისას ელექტრული ძალების საწინააღმდეგოდ შესრულებული მუშაობა, თუ ფირფიტა: ა) ლითონისაა; ბ) მინისაა.

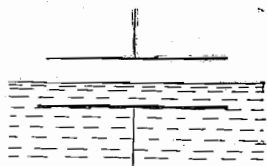
3.143. ჰორიზონტალურ მდგომარეობაში მყოფი ბრტყელი კონდენსატორი ჩაუშვეს წყალში, რომელმაც შეავსო შემონაფენებს შორის  $d = 1,0$  მმ



ნახ. 3.32

სიგანის ღრეჩო. შემდეგ კონდენსატორი შეუერთეს  $U=500$  ვ (მუდმივი) ძაბვის წყაროს. იპოვეთ წყლის წნევის ნაზრდი ღრეჩოში.

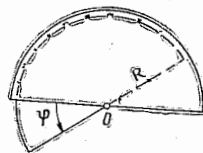
**3.144.** ბრტყელი კონდენსატორი განლაგებულია ჰორიზონტალურად ისე, რომ მისი ერთ-ერთი ფირფიტა სითხის ზედაპირის ზემოთაა, მეორე კი სითხის ზედაპირის ქვემოთ (ნახ. 3.33). სითხის დიელექტრიკული შეღწევაა  $\epsilon$ , ხოლო სიმკვრივე —  $\rho$ . რა სიმაღლეზე აიწევს სითხის დონე კონდენსატორში, თუ მის ფირფიტებს დავმუხტავთ  $\sigma$  ზედაპირული სიმკვრივით?



ნახ. 3.33

**3.145.** ცილინდრული კონდენსატორის შემონაფენებს შორის სივრცე შევსებულია დიელექტრიკით, რომლის შეღწევაა  $\epsilon$  შემონაფენების საშუალო რადიუსია  $R$ , ღრეჩოს სიგანე —  $d$ , თანაც  $d \ll R$ . კონდენსატორის შემონაფენები შეერთებულია  $U$  მუდმივი ძაბვის წყაროსთან. იპოვეთ ელექტრული ძალის ვექტორის სიდიდე, რომელიც დიელექტრიკს კონდენსატორში შეზიდავს.

**3.146.** კონდენსატორი შედგება ორი უძრავი  $R$ -რადიუსიანი ნახევარწრის ფორმის ფირფიტისაგან. კონდენსატორის ფირფიტებს შორის მოთავსებულია  $\epsilon$  შეღწევალობის დიელექტრიკისაგან დამზადებული ფირფიტა, რომელსაც თავისუფლად შეუძლია ბრუნვა  $O$  ღერძის გარშემო (ნახ. 3.34). მოძრავი ფირფიტის სისქეა  $d$ , რაც პრაქტიკულად წარმოადგენს მანძილს უძრავ ფირფიტებს შორის. კონდენსატორზე მოდებულია  $U$  მუდმივი ძაბვა. იპოვეთ მოძრავ ფირფიტაზე მოქმედი ძალთა მომენტის სიდიდე  $O$  ღერძის მიმართ, ნახაზზე ნაჩვენებები მდგომარეობისათვის.



ნახ. 3.34

### 3.4. ელექტრული დენი

- ომის კანონი წრედის არაერთგვაროვანი უბნისათვის:

$$I = \frac{U_{12}}{R} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 - \mathcal{E}_{12}}{R}, \quad (3.4 \text{ ა})$$

სადაც  $U_{12}$  ძაბვის ვარდნაა მოცემულ უბანზე.

- ომის კანონის დიფერენციალური სახე:

$$j = \sigma(E + E^*), \quad (3.4 \text{ ბ})$$

სადაც  $E^*$  გარეშე ძალთა ველის დაძაბულობაა.

- კირხჰოფის წესები:

$$\sum I_k = 0, \quad \sum I_k R_k = \sum \mathcal{E}_k. \quad (3.4 \text{ გ})$$

- დენის სიმძლავრე  $P$  და სითბური სიმძლავრე  $Q$ :

$$P = UI = (\varphi_1 - \varphi_2 + \mathcal{E}_{12})I, \quad Q = RI^2. \quad (3.4 \text{ დ})$$

- დენის კუთრი სიმძლავრე  $P_{კუ}$  და დენის კუთრი სითბური სიმძლავრე  $Q_{კუ}$ :

$$P_{კუ} = j(E + E^*), \quad Q_{კუ} = qj^2. \quad (3.4 \text{ ე})$$

- დენის სიმკვრივე ლითონში:

$$j = enu, \quad (3.4 \text{ ვ})$$

სადაც  $u$  დენის მატარებლის საშუალო სიჩქარეა.

- გაზის მოცულობის ერთეულში და დროის ერთეულში რეკომბინირებული იონების რიცხვი:

$$\dot{n}r = rn^2, \quad (3.4 \text{ ზ})$$

სადაც  $r$  რეკომბინაციის კოეფიციენტია.

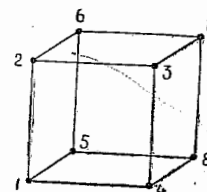
**3.147.**  $a=1,0$  სმ-რადიუსიანი გრძელი ცილინდრი  $v=10$  მ/წმ მუდმივი სიჩქარით მოძრაობს საკუთარი ღერძის გასწვრივ. მისი ზედაპირი თანაბრად დატენილია. ელექტრული ველის დაძაბულობა უშუალოდ ცილინდრის ზედაპირთან  $E=0,9$  კვ/სმ-ია. რას ეთანაბრება შესაბამისი კონვექციური დენი, ანუ დენი, რომელიც მუხტის მექანიკური გადატანითა განპირობებულია?

**3.148.** პერის ცილინდრული კონდენსატორი შეერთებულია მუდმივი  $U=200$  ვ ძაბვის წყაროსთან. ვერტიკალურ მდგომარეობაში მყოფ კონდენსატორს  $s=5,0$  მმ/წმ სიჩქარით უშვებენ გამოხდილ წყალში. შემონაფენებს შორის ღრეჩოს სიგანეა  $d=2,0$  მმ, ხოლო შემონაფენების სიშორის საშუალო რადიუსი —  $r=50$  მმ. გაითვალისწინეთ, რომ  $d \ll r$  და იპოვეთ მიმდევარ საღებებში გამავალი დენი.

**3.149.**  $0^\circ\text{C}$  ტემპერატურაზე 1 გამტარის წინალობა  $\eta$ -ჯერ ნაკლებია 2 გამტარის წინალობაზე, მათი წინალობის ტემპერატურული კოეფიციენტებია  $\alpha_1$  და  $\alpha_2$ . იპოვეთ ამ გამტარებისაგან შედგენილი წრედის უბნის წინალობის ტემპერატურული კოეფიციენტი, თუ ისინი შეერთებული არიან: ა) მიმდევრობით; ბ) პარალელურად.

**3.150.** იპოვეთ წინალობა კუბის ფორმის მავთულიანი კარკასისა (ნახ. 3.35), თუ ის შეერთებული იქნება წრედში შემდეგი წერტილებით: ა) 1—7; ბ) 1—2; გ) 1—3. კარკასის თითოეული წიბოს წინალობა  $R$ -ის ტოლია.

**3.151.** წრედში (ნახ. 3.36)  $R_x$  წინალობის როგორი მნიშვნელობისათვის არაა დამოკიდებული  $A$  და  $B$  წერტილებს შორის წინალობა უჯრედების რიცხვზე?

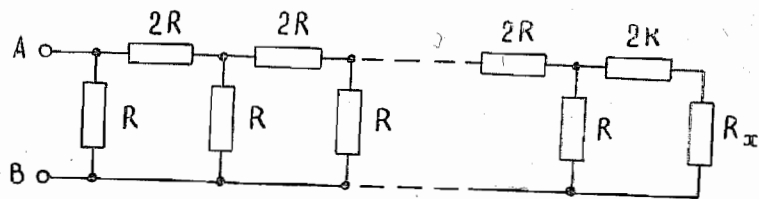


ნახ. 3.35

**3.152.** 3.37 ნახაზზე გამოსახულია უსასრულო წრედი, რომელიც შედგენილია  $R_1=4,0$  ომი და  $R_2=3,0$  ომი წინალობებისაგან მიღებული

ერთი და იმავე რგოლის განმეორებით. იპოვეთ წრედის წინაღობა  $A$  და  $B$  წერტილებს შორის.

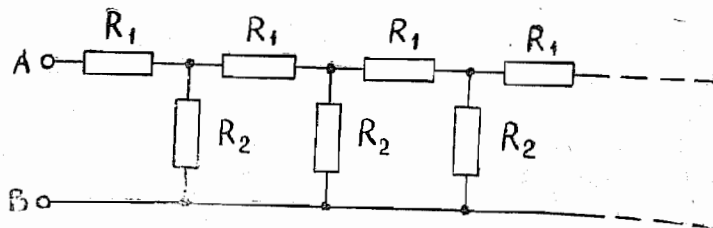
3.153. მოცემულია კვადრატულჯგერდებიანი უსასრულო მავთულის ბადე (ნახ. 3.38). მეზობელ კვანძწერტილებს შორის გამტარის წი-



ნახ. 3.36

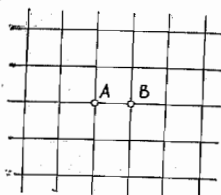
ნალობაა  $R_0$ . იპოვეთ ამ ბადის წინაღობა  $A$  და  $B$  წერტილებს შორის. მითითება. ისარგებლეთ სიმეტრიისა და სუპერპოზიციის პრინციპით.

3.154. ორ კოაქსიალურ, იდეალურად გამტარ თხელ ცილინდრს შორის სივრცე შევსებულია ერთგვაროვანი  $\rho$  კუთრი წინაღობის მქონე



ნახ. 3.37

სუსტად გამტარი გარემოთი. ცილინდრების რადიუსებია  $a$  და  $b$ , თანაც  $a < b$ , თითოეული ცილინდრის სიგრძეა  $l$ . უგულვებელყავით კილური ეფექტი და იპოვეთ გარემოს წინაღობა ცილინდრებს შორის.



ნახ. 3.38

3.155.  $a$  რადიუსის ლითონის სფერო გარშემორტყმულია  $b$  რადიუსის თხელი ლითონის გარსით. სივრცე ამ ორ ელექტროდს შორის  $\rho$  კუთრი წინაღობის ერთგვაროვანი სუსტად გამტარი გარემოთია შევსებული. იპოვეთ ელექტროდთა შორისი შუალედის წინაღობა. გამოიკვლიეთ მიღებული გამოსახულება, როდესაც  $b \rightarrow \infty$ .

3.156. სივრცე ორ გამტარ კონცენტრულ სფეროებს შორის, რომელთა რადიუსებია  $a$  და  $b$  ( $a < b$ ), შევსებულია ერთგვაროვანი სუსტად

გამტარი ნივთიერებით. ასეთი სისტემის ტევადობაა  $C$ . იპოვეთ გარემოს კუთრი წინაღობა, თუ გარეშე ძაბვიდან გამომდინარე შემდეგ სფეროებს შორის პოტენციალთა სხვაობა  $\Delta\phi$  დროში მცირდება  $\eta$ -ჯერ.

3.157.  $a$ -რადიუსის ლითონის ორი ერთნაირი ბურთულა მოთავსებულია  $\rho$  კუთრი წინაღობის ერთგვაროვან სუსტად გამტარ გარემოში. იპოვეთ ბურთულებს შორის გარემოს წინაღობა იმ პირობით, რომ მანძილი მათ შორის ბევრად აღემატება ბურთულების რადიუსს.

3.158.  $a$ -რადიუსის ლითონის ბურთულა მოთავსებულია  $l$  მანძილზე უსაზღვრო, იდეალურად გამტარი სიბრტყიდან. ბურთულას ირგვლივ სივრცე შევსებულია  $\rho$  კუთრი წინაღობის ერთგვაროვანი სუსტად გამტარი გარემოთი. იპოვეთ  $a \ll l$  შემთხვევისათვის:

ა) გამტარი სიბრტყის დენის სიმკვრივის დამოკიდებულება  $r$  მანძილზე, რომელიც ათვლილია ბურთულადან, თუ პოტენციალთა სხვაობა ბურთულასა და სიბრტყეს შორის  $U$ -ს ტოლია;

ბ) გარემოს წინაღობა ბურთულასა და სიბრტყეს შორის.

3.159. ორი გრძელი პარალელური სადენი მოთავსებულია  $\rho$  კუთრი წინაღობის სუსტად გამტარ გარემოში. სადენების ღერძებს შორის მანძილი  $l$ -ის ტოლია. თითოეული სადენის განივკვეთის რადიუსია  $a$ . იპოვეთ  $a \ll l$  შემთხვევისათვის:

ა) დენის სიმკვრივე წერტილში, რომელიც ერთნაირი  $r$  მანძილითაა დაშორებული სადენების ღერძებიდან, თუ სადენებს შორის პოტენციალთა სხვაობაა  $U$ ;

ბ) სადენების სიგრძის ერთეულზე გაანგარიშებული გარემოს წინაღობა.

3.160. ბრტყელი კონდენსატორის შემონაფენებს შორის ღრეჩო შევსებულია  $\rho = 100$  გომი. მ კუთრი წინაღობის მინით. კონდენსატორის ტევადობაა  $C = 4,0$  ნფ. იპოვეთ კონდენსატორში გაყვანილი დენის სიდიდე, როდესაც მასზე მოდებულია  $U = 2,0$  კვ ძაბვა.

3.161. ნებისმიერი ფორმის ორი გამტარი მოთავსებულია უსაზღვრო ერთგვაროვან სუსტად გამტარ გარემოში, რომლის კუთრი წინაღობაა  $\rho$ , დიელექტრიკული შეღწევადობა კი— $\epsilon$ . იპოვეთ მოცემული სისტემისათვის  $RC$  ნამრავლის მნიშვნელობა, სადაც  $R$  გარემოს წინაღობაა გამტარებს შორის,  $C$  გამტარების ურთიერთტევადობა გარემოს არსებობის დროს.

3.162.  $\rho$  კუთრი წინაღობის გამტარი ესაზღვრება  $\epsilon$  შეღწევადობის მქონე დიელექტრიკს. რომელიმე  $A$  წერტილში გამტარის ზედაპირთან ელექტრული ინტუქცია  $D$ -ს ტოლია, თანაც  $D$  ვექტორი გამტარიდანაა მიმართული და ზედაპირის ნორმალთან ადგენს  $\alpha$  კუთხეს. იპოვეთ გამტარზე მუხტის ზედაპირული სიმკვრივე  $A$  წერტილის მახლობლად და დენის სიმკვრივე გამტარში ამავე წერტილის მახლობლად.

3.163. ბრტყელი კონდენსატორის შემონაფენებს შორის ღრეჩო შევსებულია სუსტად გამტარი გარემოთი, რომლის კუთრი გამტარობა ფი-

რეიტებისადმი მართობული მიმართულებით იცვლება პირდაპირპროპორციულად  $\sigma_1 = 1,0$  კსმ/მ-დან  $\sigma_2 = 2,0$  კსმ/მ-მდე. თითოეული ფირფიტის ფართობი  $S = 230$  სმ<sup>2</sup>-ია, ღრუხოს სიგანე  $d = 2,0$  მმ. იპოვეთ კონდენსატორში გამავალი დენი  $I = 300$  ვ ძაბვის დროს.

**3.164.** აჩვენეთ, რომ მუდმივი დენის წირების გარდატეხის კანონს, ორ გამტარ გარემოს გამყოფ ზედაპირზე, აქვს შემდეგი სახე:  $\epsilon_2 \sigma_2 / \epsilon_1 \sigma_1 = \sigma_2 / \sigma_1$ , სადაც  $\sigma_1$  და  $\sigma_2$  გარემოს გამტარუნარიანობა,  $\epsilon_2$  და  $\epsilon_1$  კუთხეებია დენის წირებსა და გამყოფი ზედაპირის ნორმალს შორის.

**3.165.** ერთნაირი კვეთის ორი ცილინდრული გამტარი, რომელთა კუთხი წინაღობებია  $\rho_1$  და  $\rho_2$ , ერთიმეორესთან ტორსებითაა მიჭკრილი. იპოვეთ მუხტი მოცემული გამტარების გამყოფ ზედაპირზე, თუ 1 გამტარიდან 2 გამტარისაკენ მიედინება  $I$  დენი.

**3.166.** ღრეჩო ბრტყელი კონდენსატორის შემონაფენებს შორის შეესებულია მიმდევრობით განლაგებული ორი დიელექტრიკული ფენით, რომელთა სისქეებია  $d_1$  და  $d_2$ , შედწევადობები  $\epsilon_1$  და  $\epsilon_2$ , ხოლო კუთრი წინალობები  $\rho_1$  და  $\rho_2$ . კონდენსატორი იმყოფება  $U$  მუდმივი ძაბვის ქვეშ, თანაც ელექტრული ველი მიმართულია 1 ფენიდან 2 ფენისაკენ. იპოვეთ: გარეშე მუხტების  $\sigma$  ზედაპირული სიმკვრივე დიელექტრიკული ფენების გამყოფ ზედაპირზე და ის პირობა, რომლის დროსაც  $\sigma=0$ .

**3.167.** ბრტყელი კონდენსატორის ფირფიტებს შორის მათავსებულია არაერთგვაროვანი სუსტად გამტარი გარემო. 1 ფირფიტიდან 2 ფირფიტამდე გადასვლის დროს მისი დიელექტრიკული შეღწევადობა და კუთრი წინაღობა იცვლება  $\varepsilon_1$ ,  $\rho_1$  მნიშვნელობებიდან  $\varepsilon_2$ ,  $\rho_2$  მნიშვნელობამდე. კონდენსატორზე მოდებულია მუდმივი ძაბვა და მასში 1 ფირფიტიდან 2 ფირფიტისაკენ მიმართულებით გადის  $I$  დენი. იპოვეთ ჯამური გარეშე, მუხტი მოცემულ გარემოში.

**3.168.** ბრტყელი კონდენსატორის ფირფიტებს შორის მოთავსებულია. არაერთგვაროვანი სუსტად გამტარი გარემო, რომლის კუთრი წინაღობა:  $\rho$  პირდაპირპროპორციულად იცვლება მხოლოდ ფირფიტების მართობული. მიმართულებით. მაქსიმალური კუთრი წინაღობის შეფარდება მინიმალურ. მნიშვნელობასთან  $\eta$ -ს ტოლია. ღრეჩოს სიგანეა  $d$ . იპოვეთ ღრეჩოში მუხ-ტის მოცულობითი სიმკვრივე, თუ კონდენსატორზე მოდებულია  $U$  ძაბვა.

**3.169.** წრიული  $N$  განივკვეთის მქონე გრძელი გამტარი დამზადებულია მასალისაგან, რომლის კუთრი წინაღობა  $\rho = \alpha/r^2$  კანონითაა დამოკიდებული მხოლოდ  $r$  მანძილზე გამტარის ღერძიდან, სადაც  $\alpha$  მუდმივაა, იპოვეთ:

- ბ) ელექტრული ველის დაძაბულობა გამტარში, რომელიც განაპირობებს მასში  $I$  დენის გავლას.

3.170.  $C=400$  პვ ტევადობის კონდენსატორი  $R=650$  ომი წინაღობის გავლით შეუერთეს  $U_0$  მუდმივი ძაბვის წყაროს. რა დროის შემდეგ მიაღწევს ძაბვა კონდენსატორზე  $U=0,90 U_0$  მნიშვნელობას?

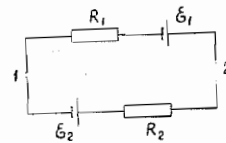
3.171. კონდენსატორი შეესებულება  $\varepsilon=2,1$  შეღწეადობის დიელექტრიკით.  $\tau=3,0$  წთ-ის განმავლობაში ის კარგავს მასზე გადაცემული მუხტის ნახევარს. გამოთვალეთ კონდენსატორის კუთხრი წინაღობა, თუ გაითვალისწინებთ, რომ მუხტის გაჟონვა წარმოებს მხოლოდ დიელექტრიკული შუასაღების გავლით.

3.172. წრელი შედგება მუდმივი  $\mathcal{C}$  ე. მ. ძ-ის მქონე წყაროსაგან და მასთან მიმდევრობით შეერთებულ  $R$  წინალობისა და  $C$  ტევადობის კონდენსატორისაგან. წყაროს შიგა წინალობა უგულებელყოფილა.  $t=0$  მომენტში კონდენსატორის ტევადობა სწრაფად (ნახტომით) შეამცირეს  $\eta$ -ჯერ. იპოვეთ წრედში დენის დამოკიდებულება დროზე.

3.173. ამპერმეტრი და ვოლტმეტრი მიმდევრობით შეუერთეს  $\mathcal{E}=6,0$  ვ. მ. ბატარეას. თუ ვოლტმეტრს პარალელურად შეუერთებთ რომელიმე წინაღობას, მაშინ მისი ჩვენება  $\eta=2,0$ -ჯერ შემცირდება, ამპერმეტრის ჩვენება კი გაიზრდება იმდენჯერვე. იპოვეთ ვოლტმეტრის ჩვენება წინააღობის შეერთების შემდეგ.

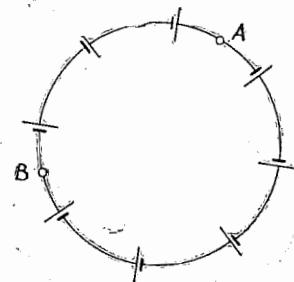
3.174. იპოვეთ პოტენციალთა სხვაობა  $\varphi_1 - \varphi_2$  3.39 ნახაზზე მოცემულ სქემაში, თუ  $R_1 = 10$  ომს,  $R_2 = 20$  ომი,  $\mathcal{E}_1 = 5$  ვ და  $\mathcal{E}_2 = 2,0$  ვ. დენის წყაროების შიგა წინაღობები უგულებელყოფილია.

3.175. ორი ერთნაირი ე. ძ. ძ.-ის მქონე მიმდევრობით შეერთებული დენის წყაროს შიგა წინააღობებია  $R_1$  და  $R_2$ , ამასთან,  $R_2 > R_1$ . იპოვეთ გარეშე წინააღობა  $R$ , რომლის დროსაც პოტენციალთა სხვაობა ერთ-ერთი წყაროს (სახელდობრ, რომლის?) მომჭირბზე ნულის ტოლი გახდება.

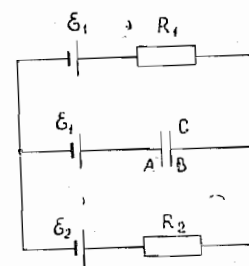


63b.3.39

3.176. სხვადასხვა ე. მ.  $\mu$ -ის მქონე  $N$  დენის წყარო შეეზრთებულია ისე, როგორც 3.40 ნახაზზეა ნაჩვენები. წყაროების ე. მ.  $\mu$ -ები პროპორ-



656. 3.40



506. 3.41

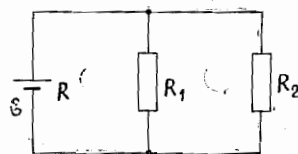


ციულია მათი შიგა წინაღობებისა, ე. ი.  $\mathcal{E} = \alpha R$ , სადაც  $\alpha$  მოცემული მუდმივაა. შემადგენელი სადენების წინაღობა უგულებელყოფილია. იპოვეთ: ა) დენი წრედში;

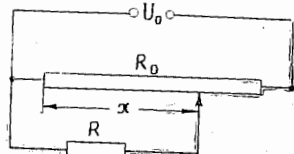
ბ) პოტენციალთა სხვაობა  $A$  და  $B$  წერტილებს შორის, რომლებიც ყოფენ წრედს  $n$  და  $N-n$  რგოლებად.

3.177. სქემაში (ნახ. 3.41) წყაროების ე. მ. ძ-ია  $\mathcal{E}_1 = 1,03$ ;  $\mathcal{E}_2 = 2,5$  ვ, ხოლო წინაღობები  $R_1 = 10$  ომი,  $R_2 = 20$  ომი. წყაროების შიგა წინაღობები უგულებელყოფილია. იპოვეთ  $\varphi_A - \varphi_B$  პოტენციალთა სხვაობა  $C$  კონდენსატორის  $A$  და  $B$  შემონადენებს შორის.

3.178. სქემაში (ნახ. 3.42) წყაროს ე. მ. ძ.  $\mathcal{E} = 5,0$  ვ-ს, ხოლო წინაღობები  $R_1 = 4,0$  ომს,  $R_2 = 6,0$  ომს. წყაროს შიგა წინაღობა  $R = 0,10$  ომია. იპოვეთ  $R_1$  და  $R_2$  წინაღობებზე გამავალი დენები.



ნახ. 3.42

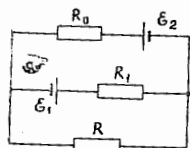


ნახ. 3.43

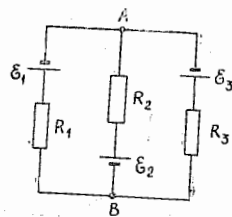
3.179. 3.43 ნახაზზე ნაჩვენებია პოტენციომეტრის სქემა, რომლის საშუალებით შეიძლება გვეცვალოთ  $R$  წინაღობის ხელსაწყოზე მიწოდებული  $U$  ძაბვა. პოტენციომეტრზე, რომლის სიგრძეა  $l$ , ხოლო წინაღობა  $R_0$ , მოდებულია  $U_0$  ძაბვა. იპოვეთ ხელსაწყოზე აღებული  $U$  ძაბვის დამოკიდებულება  $x$  მანძილზე. ცალკე გამოიკვლიეთ შემთხვევა, როდესაც  $R \gg R_0$ .

3.180. იპოვეთ ე. მ. ძ. და შიგა წინაღობა წყაროსი, რომელიც ორი  $\mathcal{E}_1$  და  $\mathcal{E}_2$  ე. მ. ძ-ისა და  $R_1$  და  $R_2$  შიგა წინაღობების მქონე პარალელურად შეერთებული წყაროს ეკვივალენტურია.

3.181. იპოვეთ  $R$  წინაღობაში (ნახ. 3.44) გამავალი დენის სიდიდე და მიმართულება, თუ წყაროების ე. მ. ძ-ია  $\mathcal{E}_1 = 1,5$  ვ,  $\mathcal{E}_2 = 3,7$  ვ, ხოლო წინაღობები  $R_1 = 10$  ომი,  $R_2 = 20$  ომი და  $R = 5,0$  ომი. დენის წყაროების შიგა წინაღობები უგულებელყოფილია.



ნახ. 3.44

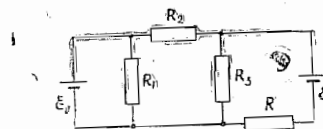


ნახ. 3.45

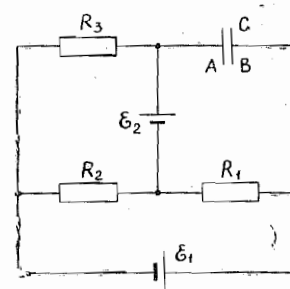
3.182. სქემაში (ნახ. 3.45) წყაროების ე. მ. ძ-ია  $\mathcal{E}_1 = 1,5$  ვ,  $\mathcal{E}_2 = 2,0$  ვ,  $\mathcal{E}_3 = 2,5$  ვ, ხოლო წინაღობები  $R_1 = 10$  ომი,  $R_2 = 20$  ომი,  $R_3 = 30$  ომი. წყაროების შიგა წინაღობები უგულებელყოფილია. იპოვეთ:

ა)  $R_1$  წინაღობაში გამავალი დენი;

ბ)  $\varphi_A - \varphi_B$  პოტენციალთა სხვაობა  $A$  და  $B$  წერტილებს შორის.



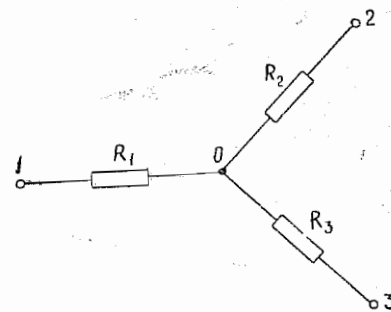
ნახ. 3.46



ნახ. 3.47

3.183. იპოვეთ  $R$  წინაღობაში (ნახ. 3.46.) გამავალი დენი. ორივე წყაროს შიგა წინაღობები უგულებელყოფილია.

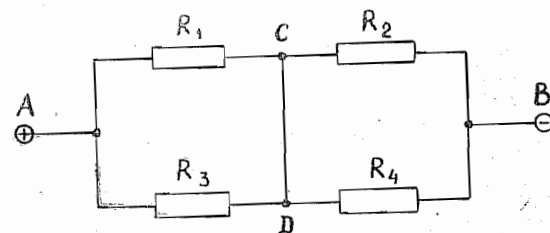
3.184. იპოვეთ  $\varphi_A - \varphi_B$  პოტენციალთა სხვაობა  $C$  კონდენსატორის შემონადენებს შორის (ნახ. 3.47), თუ წყაროების ე. მ. ძ.  $\mathcal{E}_1 = 4,0$  ვ,  $\mathcal{E}_2 = 1,0$  ვ, ხოლო წინაღობებია  $R_1 = 10$  ომი,  $R_2 = 20$  ომი და  $R_3 = 30$  ომი. წყაროების შიგა წინაღობები უგულებელყოფილია.



ნახ. 3.48

3.185. იპოვეთ წრედის (ნახ. 3.48) უბნის  $R_1$  წინაღობაში გამავალი დენი, თუ წინაღობებია  $R_1 = 10$  ომი,  $R_2 = 20$  ომი,  $R_3 = 30$  ომი, ხოლო 1, 2 და 3 წერტილების პოტენციალები შესაბამისად  $\varphi_1 = 10$  ვ,  $\varphi_2 = 6$  ვ,  $\varphi_3 = 5$  ვ-ის ტოლია.

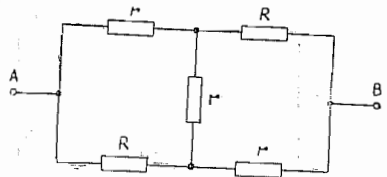
3.186. წრედის (ნახ. 3.49)  $A$  და  $B$  წერტილებს შორის შენარჩუნებულია  $U = 25$  ვ მუდმივა ძაბვა. იპოვეთ დენის მნიშვნელობა და მიმართუ-



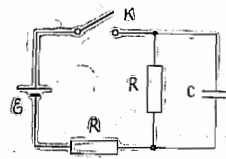
ნახ. 3.49

ლება  $CD$  უბანზე, თუ წინაღობებია  $R_1=1,0$  ომი,  $R_2=2,0$  ომი,  $R_3=3,0$  ომი და  $R_4=4,0$  ომი.

3.187. სქემაში (ნახ. 3.50) იპოვეთ წინაღობა  $A$  და  $B$  წერტილებს შორის.



ნახ. 3.50



ნახ. 3.51

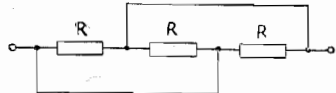
3.188. იპოვეთ (ნახ. 3.51)  $C$  კონდენსატორზე მოდებული ძაბვის დამოკიდებულება დროზე  $t=0$  მომენტში  $K$  ჩამრთველის შეერთების დროს.

3.189. რამდენი სითბო გამოიყოფა  $R$  წინაღობის სპირალში, მასში ელექტრობის  $q$  რაოდენობის გავლისას, თუ დენი სპირალში:

ა) თანაბრად კლებულობდა ნულამდე  $\Delta t$  დროის განმავლობაში;

ბ) მონოტონურად კლებულობდა ნულამდე ისე, რომ ყოველ  $\Delta t$  წამის განმავლობაში ის მცირდებოდა ორჯერ?

3.190.  $R_0$  შიგა წინაღობის მქონე მუდმივი დენის წყაროს შეუერთეს სამი ერთნაირი  $R$  წინაღობა. ისინი შეერთებული წარიან ერთიმეორესთან ისე, როგორც ნაჩვენებია 3.52 ნახაზზე. რა მნიშვნელობა უნდა ჰქონდეს  $R$ -ს, რომ ამ უბანზე გამოყოფილი სითბური სიმძლავრე იყოს უდიდესი?



ნახ. 3.52

3.192.  $\mathcal{E}=2,6$  ვ ე. მ.  $d$ -ის მქონე, გარე წინაღობაზე ჩართული აკუმულატორი იძლევა  $I=1,0$  დენს. ამ დროს პოტენციალთა სხვაობა აკუმულატორის პოლუსებს შორის  $U=2,0$  ვ-ია. იპოვეთ აკუმულატორში გამოყოფილი სითბური სიმძლავრე და ის სიმძლავრე, რომელსაც ავითარებენ მასში ელექტრული ძალები.

3.193. მუდმივი დენის ელექტროძრავა შეუერთეს  $U$  ძაბვას. ლუზას გრაგნილის წინაღობაა  $R$ . როგორი მნიშვნელობის დენმა უნდა გაიაროს გრაგნილში, რომ ძრავას სასარგებლო სიმძლავრე იყოს მაქსიმალური? რას უდრის ის? როგორია ამ დროს ძრავის მ. ქ. კ.?

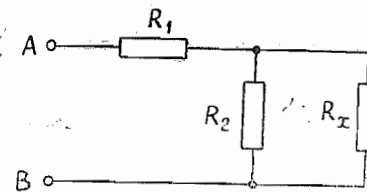
3.194. რამდენი პროცენტით შემცირდება ვარვარების ძაფის დიამეტრი ორთქლების შედეგად, თუ წინანდელი ტემპერატურის შესაბამისად

ნებლად მოგვიხდა ძაბვის გაზრდა  $\eta=1,0\%$ -ით? გაითვალისწინეთ, რომ ძაფის მიერ გარემომცველ სივრცეში თბოგაცემა მისი ზედაპირის ფართობის პროპორციულია.

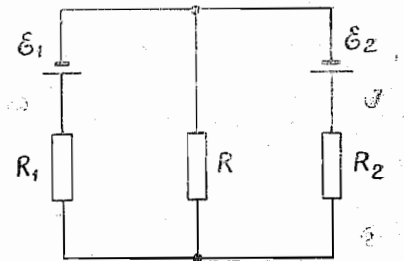
3.195. მოცემულია გამტარი, რომლის საერთო სითბოტევადობაა  $C$ , ხოლო მისი  $R$  წინაღობა არ არის დამოკიდებული ტემპერატურაზე.  $t=0$  მომენტში ის შეუერთეს  $U$  მუდმივ ძაბვას. იპოვეთ გამტარის  $T$  ტემპერატურის დამოკიდებულება დროზე, თუ მის მიერ გაცემული სითბური სიმძლავრე გარემომცველ სივრცეში  $q=k(T-T_0)$ , სადაც  $k$  მუდმივია,  $T_0$  — გარემომცველი გარემოს ტემპერატურა (ამავე დროს გამტარის საწყისი ტემპერატურაა).

3.196. მოცემულ (ნახ. 3.53) სქემაში წინაღობებია  $R_1=20$  ომი და  $R_2=30$  ომი. იპოვეთ  $R_x$  წინაღობის ის მნიშვნელობა, როდესაც მასზე გამოყოფილი სითბური სიმძლავრე პრაქტიკულად არ იქნება დამოკიდებული ამ წინაღობის მცირე ცვლილებაზე? იგულისხმება, რომ ამ დროს ძაბვა  $A$  და  $B$  წერტილებს შორის მუდმივია.

3.197. სქემაში (ნახ. 3.54) მოცემულია წინაღობები  $R_1$  და  $R_2$ , და აგრეთვე წყაროების  $\mathcal{E}_1$  და  $\mathcal{E}_2$



ნახ. 3.53



ნახ. 3.54

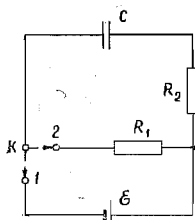
ე. მ. ძ-ები. წყაროების შიგა წინაღობები უგულებელყოფილია. როგორი უნდა იყოს  $R$  წინაღობის მნიშვნელობა, რომ მასზე გამოყოფილი სითბური სიმძლავრე იყოს მაქსიმალური? რას უდრის ის?

3.198.  $N=300$  ერთნაირი ელემენტისაგან შემდგარი შერეული ბატარეა შეერთებულია გარე  $R=10$  ომი წინაღობაზე. თითოეული ელემენტის შიგა წინაღობაა  $r=0,3$  ომი, იპოვეთ  $n$  რაოდენობა პარალელური ჯგუფებისა, რომლებიც შეიცავენ მიმდევრობით მიერთებული ელემენტების ერთნაირ რიცხვს, რომლის დროსაც გარე წინაღობაზე გამოიყოფა მაქსიმალური სითბური სიმძლავრე.

3.199.  $C=5,00$  მკვ ტევადობის კონდენსატორი შეუერთეს  $\mathcal{E}=200$  ვ ე. მ.  $d$ -ის მუდმივ წყაროს (ნახ. 3.55). შემდეგ  $K$  გადამრთველი გადაიყვანეს 1 მდებარეობიდან 2 მდებარეობაში. იპოვეთ  $R_1=500$  ომი წინაღობაზე გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა, თუ  $R_2=330$  ომს.

**3.200.** ბრტყელი კონდენსატორის შემონაფენებს შორის მოთავსებულია (შემონაფენების პარალელურად) ლითონის ფირფიტა, რომლის სისქე შეადგენს შემონაფენებს შორის მანძილის  $\eta = 0,60$  ნაწილს. უფირფიტოდ კონდენსატორის ტევადობაა  $C = 20$  ნფ. კონდენსატორი შეერთებულია  $U = 100$  ვ მუდმივი ძაბვის წყაროსთან. ფირფიტა ნელა გამოიღეს კონდენსატორიდან. იპოვეთ:

- კონდენსატორის ენერგიის ნაზრდი;
- ფირფიტის ამოღებაზე შესრულებული მექანიკური მუშაობა.



ნახ. 3.55

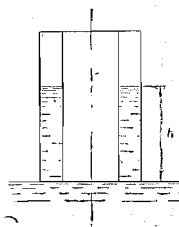
**3.202.**  $U$  მუდმივი ძაბვის წყაროსთან შეერთებული ცილინდრული კონდენსატორი თავისი ტორსით ეყრდნობა წყლის ზედაპირს (ნახ. 3.56). მანძილი კონდენსატორის შემონაფენებს შორის გაცილებით ნაკლებია მათ საშუალო რადიუსზე. იპოვეთ ის  $h$  სიმაღლე, რომელზეც დადგება წყლის ღონე კონდენსატორის შემონაფენებს შორის, კაპილარული მოვლენები უგულებელყოფილია.

**3.203.** სფერული კონდენსატორის შემონაფენების რადიუსებია  $a$  და  $b$ , თანაც  $a < b$ . შემონაფენებს შორის სივრცე შევსებულია  $\varepsilon$  დიელექტრიკული შეღწევადობისა და  $\rho$  კუთრი წინაღობის ერთგვაროვანი ნივთიერებით. თავდაპირველად კონდენსატორი დაუმუხტავია.  $t = 0$  მომენტში შიდა შემონაფენს გადაეცა  $q_0$  მუხტი. იპოვეთ:

- შიდა შემონაფენზე მუხტის ცვლილების დამოკიდებულება დროზე;
- სითბოს რაოდენობა, რომელიც გამოიყოფა მუხტის გაღნების შედეგად.

**3.204.**  $C = 2,00$  მკფ ტევადობის კონდენსატორის შემონაფენებს გადასცეს სხვადასხვა ნიშნის  $q_0 = 1,00$  მკ მუხტი. შემდეგ, შემონაფენები  $R = 5,0$  მგომი წინააღობით შეერთდეს. იპოვეთ:

- $\tau = 2,00$  წმ-ში გავლილი მუხტი ამ წინააღობაში;
- ამავე დროში წინააღობაში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა.

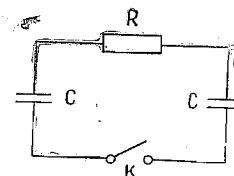


ნახ. 3.56

**3.205.** მოცემულ (ნახ. 3.57) სქემაში თითოეული კონდენსატორის ტევადობაა  $C$ , ხოლო წინააღობა  $R$ . ერთ-ერთი კონდენსატორი დამუხტეს  $U_0$  ძაბვამდე, ხოლო შემდეგ,  $t = 0$  მომენტში ჩართეს  $K$  ჩამრთველი. იპოვეთ:

- წრედში  $I$  დენის დამოკიდებულება დროზე;
- გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა, თუ ცნობილია  $I(t)$  დამოკიდებულება.

**3.206.**  $r = 25$  სმ-ის კოჭა, რომელიც შეიცავს  $\ell = 500$  მ სიგრძის სპილენძის წვრილ მავთულს, ბრუნავს  $\omega = 300$  რად/წმ კუთხური სიჩქარით საკუთარი ღერძის გარშემო. მოსრიალე კონტაქტების საშუალებით კოჭა შეერთებულია ბალისტიკურ გალვანომეტრთან. მთელი წრედის საერთო წინააღობაა  $R = 21$  ომი. იპოვეთ დენის მატარებლის კუთრი მუხტი სპილენძში, თუ კოჭას მკვეთრი დამუხრუჭებისას გალვანომეტრში გაიარა  $q = 10$  ნკ მუხტმა.



ნახ. 3.57

**3.207.** იპოვეთ ელექტრონების ჯამური იმპულსი წრფივი  $\ell = 1000$  მ სიგრძის გამტარში, რომელშიც გადის  $I = 70$  ა დენი.

**3.208.** სპილენძის სადენში გადის  $j = 1,0$  ა/მმ<sup>2</sup> სიმკვრივის დენი. ჩათვალით, რომ სპილენძის თითოეულ ატომზე მოდის ერთი თავისუფალი ელექტრონი და შეაფასეთ ელექტრონის მიერ გავლილი მანძილი, თუ ის  $\ell = 10$  მმ-ით გადაადგილდა სადენის გასწვრივ.

**3.209.**  $\ell = 1000$  მ სიგრძისა და  $S = 1,0$  მმ<sup>2</sup> განივკვეთის წრფივი სპილენძის გამტარში გადის  $I = 4,5$  ა დენი. ჩათვალით, რომ სპილენძის თითოეულ ატომზე მოდის ერთი თავისუფალი ელექტრონი და იპოვეთ:

- დრო, რომლის განმავლობაშიც ელექტრონი გადაადგილდება სადენის ერთი ბოლოდან მეორე ბოლოსაკენ;
- მოცემულ სადენში ყველა თავისუფალ ელექტრონზე მოქმედი ელექტრული ძალების ჯამი.

**3.210.**  $U = 600$  კვ პოტენციალთა სხვაობით აჩქარებული პროტონების ერთგვაროვან კონას  $r = 5,0$  მმ რადიუსის წრიული კვეთა აქვს. იპოვეთ ელექტრული ველის დაძაბულობა კონის ზედაპირზე და პოტენციალთა სხვაობა კონის ზედაპირსა და მის ღერძს შორის  $I = 50$  მა დენის დროს.

**3.211.** ვაკუუმში მოთავსებულია ორი დიდი პარალელური ფირფიტა. ერთ-ერთი ფირფიტა წარმოადგენს კათოდს, ანუ წყაროს ელექტრონებისა, რომელთა საწყისი სიჩქარე უმნიშვნელოდ მცირეა. მოპირდაპირე ფირფიტისაკენ მიმართული ელექტრონული ნაკადი სივრცეში ქმნის მოცულობით მუხტს. ამის შედეგად პოტენციალი ფირფიტებს შორის ღრე-

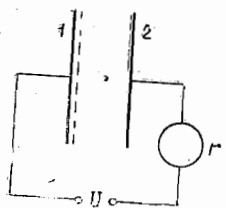
როში  $\varphi = ax^{4/3}$  კანონით იცვლება, სადაც  $a$  დადებითი მუდმივაა, ხოლო  $x$  — მანძილი კათოდიდან. იპოვეთ:

ა) სივრცული მუხტის მოცულობითი სიმკვრივის დამოკიდებულება  $x$ -ზე;

ბ) დენის სიმკვრივე.

3.212. ორ პარალელურ ფირფიტას შორის ჰაერის აიონებენ რენტგენული გამოსხივებით. ფირფიტებს შორის მანძილი  $d=20$  მმ-ს, ხოლო თითოეული ფირფიტის ფართობი  $S=500$  სმ<sup>2</sup>-ს, იპოვეთ დადებითი იონების კონცენტრაცია, თუ  $U=100$  ვ ძაბვის დროს ფირფიტებს შორის გადის  $I=3,0$  მკა დენი, რომელიც გაცილებით ნაკლებია გაჯერების დენზე. ჰაერში იონების ძვრადობა  $u_+^0=1,37$  სმ<sup>2</sup>/(ვ. წმ), ხოლო  $u_-^0=1,91$  სმ<sup>2</sup>/(ვ. წმ).

3.213. გაზის დაიონება წარმოებს უშუალოდ ბრტყელი 1 ელექტროდის ზედაპირთან (ნახ. 3,58), რომელიც 2 ელექტროდიდან  $l$  მანძილითაა დაშორებული. ელექტროდებს შორის მოდებულია  $U=U_0 \sin \omega t$  ცვლადი ძაბვა.  $\omega$  სიხშირის შემცირებისას აღმოჩნდა, რომ გალვანომეტრი უჩვენებს დენს მხოლოდ  $\omega < \omega_0$  სიხშირისათვის, სადაც  $\omega_0$  რომელიმე ზღვრული სიხშირეა. იპოვეთ იმ იონების ძვრადობა, რომლებიც აღწევენ 2 ელექტროდს ამ პირობებში.



ნახ. 3.53.

3.214. ერთიმეორესთან ახლოს მდებარე ორ ფირფიტას შორის ჰაერი თანაბრად დაიონდება ულტრაიისფერი გამოსხივებით. ფირფიტებს შორის ჰაერის მოცულობა  $V=500$  სმ<sup>3</sup>, ხოლო დანაკვარი ნაჭერი დენი  $I_{\text{ნაჭ}}=0,48$  მკა. იპოვეთ:

ა) იონიზატორის მიერ დროის ერთეულში და მოცულობის ერთეულში წარმოქმნილი იონების წყვილთა რიცხვი;

ბ) იონების წყვილთა წონასწორული კონცენტრაცია, თუ ჰაერის იონების რეკომბინაციის კოეფიციენტი  $r=1,67 \cdot 10^{-6}$  სმ<sup>3</sup>/წმ.

3.215. გამორთეს ხანგრძლივად მომუშავე იონიზატორი, რომელიც დროის ერთეულში და ჰაერის მოცულობის ერთეულში ქმნიდა იონების წყვილთა  $n_i=3,5 \cdot 10^9$  სმ<sup>-3</sup> წმ<sup>-1</sup> რაოდენობას. ჩათვალით, რომ ჰაერში იონების დაკარგვის ერთადერთი პროცესია რეკომბინაცია  $r=1,67 \cdot 10^{-6}$  სმ<sup>3</sup>/წმ კოეფიციენტით და იპოვეთ, იონიზატორის გამორთვის შემდეგ, რა დროში შემცირდება იონების კონცენტრაცია  $\eta=2,0$ -ჯერ.

3.216. ჰაერის ბრტყელი კონდენსატორი, რომლის ფირფიტებს შორის მანძილი  $d=5,0$  მმ-ს, დამუხტეს  $U=90$  ვ პოტენციალთა სხვაობამდე, შემდეგ კი გამორთეს ძაბვის წყაროდან. იპოვეთ ის დრო, რომლის განმავლობაშიც

ვოლტაჟი ძაბვა კონდენსატორზე შემცირდება  $\eta=1,0\%$ -ით, თუ დროის ერთეულსა და მოცულობის ერთეულში, ჩვეულებრივ პირობებში, ჰაერში საშუალოდ წარმოიქმნება იონების წყვილთა  $n_i=5,0$  სმ<sup>-3</sup> წმ<sup>-1</sup> რაოდენობა და, რომ მოცემული ძაბვა ნაჭერ დენს შეესაბამება.

3.217. კონდენსატორის ბრტყელ ფირფიტებს შორის სივრცე შევსებულია გაზით. ფირფიტებს შორის მანძილია  $d$ . ერთ-ერთი ფირფიტა წამში აფრქვევს  $\nu_0$  ელექტრონს, რომლებიც ელექტრულ ველში მოძრაობისას გაზის მოლეკულებს დააიონებენ ისე, რომ თითოეული ელექტრონი თავისი გაზის სივრცის ერთეულზე ქმნის  $\alpha$  ახალ ელექტრონს (და იონს). იპოვეთ ელექტრონული დენი მოპირდაპირე ფირფიტასთან, თუ უგულებელყოფილია გაზის მოლეკულების იონიზაცია წარმოქმნილი იონებით.

3.218. გაზი, რომელიც  $d$  მანძილით დაშორებული კონდენსატორის ფირფიტებს შორისაა მოთავსებული, თანაბრად დაიონდება ულტრაიისფერი გამოსხივებით ისე, რომ ერთ წამში მოცულობის ერთეულში წარმოიქმნება  $n_i$  ელექტრონი. ელექტრულ ველში, მოძრაობისას ისინი დაიონებენ გაზის მოლეკულებს, ამავე დროს თითოეული ელექტრონი თავისი გაზის სივრცის ერთეულზე წარმოქმნის  $\alpha$  ახალ ელექტრონს (და იონს). იპოვეთ ელექტრონული დენის სიმკვრივე უდიდესი პოტენციალის მქონე ფირფიტასთან, თუ იონებით დაიონება უგულებელყოფილია.

### 3. 5. მუდმივი მაგნიტური ველი. მაგნიტიკები

● არარელატივისტური  $v$  სიჩქარით მოძრავე წერტილოვანი  $q$  მუხტის მაგნიტურ ველი:

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q [\mathbf{vr}]}{r^3}. \quad (3.5 \text{ ა})$$

● ბიო-სავარას კანონი:

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{[\mathbf{j}r]}{r^3} dV, \quad d\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I[d\mathbf{l}r]}{r^3}. \quad (3.5 \text{ ბ})$$

●  $\mathbf{B}$  ვექტორის ცირკულაცია გაკუმში. გაუსის თეორემა:

$$\oint \mathbf{B} d\mathbf{r} = \mu_0 I; \quad \oint \mathbf{B} d\mathbf{S} = 0. \quad (3.5 \text{ გ})$$

● ლორენცის ძალა:

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E} + q[\mathbf{vB}]. \quad (3.5 \text{ დ})$$

● ამპერის ძალა:

$$d\mathbf{F} = [j\mathbf{B}]dV, \quad d\mathbf{F} = I[d\mathbf{l}, \mathbf{B}]. \quad (3.5 \text{ ე})$$

● მაგნიტურ  $\mathbf{p}_m = I\mathbf{S}$  დიპოლზე მოქმედი ძალა და ძალთა მომენტი:

$$\mathbf{F} = \mathbf{p}_m \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial x}, \quad \mathbf{N} = [\mathbf{p}_m \mathbf{B}], \quad (3.5 \text{ ვ})$$



სადაც  $\partial \mathbf{B} / \partial n$  —  $\mathbf{B}$  ვექტორის წარმოებულია დიპოლსწმომართულების გასწვრივ.  
 $\mathbf{J}$  დამაგნიტებულობის ცირკულაცია:

$$\oint \mathbf{J} d\mathbf{r} = I', \quad (3.5 \text{ ზ})$$

სადაც  $I'$  არის ჯამური მოლეკულური დენი.

●  $\mathbf{H}$  ვექტორი და მისი ცირკულაცია:

$$\mathbf{H} = \frac{\mathbf{B}}{\mu_0} - \mathbf{J}, \quad \oint \mathbf{H} d\mathbf{r} = I, \quad (3.5 \text{ თ})$$

სადაც  $I$  მაკროსკოპული დენების ალგებრული ჯამია.

● სასაზღვრო პირობები ორი მაგნიტიკის გამყოფ ზედაპირზე:

$$B_{1n} = B_{2n}, \quad H_{1\tau} = H_{2\tau}. \quad (3.5 \text{ ე})$$

● იმ მაგნიტიკებ ისათვის, რომლებსთვისაც  $\mathbf{J} = \mathbf{xH}$

$$\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H}, \quad \mu = 1 + \chi \quad (3.5 \text{ კ})$$

**3. 219.** წვრილი სადენისაგან დამზადებული  $R = 100$  მმ რადიუსის წრიული ზვიას გასწვრივ ცირკულირებს  $I = 1,00$  ა დენი. იპოვეთ მაგნიტური ინდუქცია:

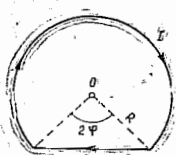
ა) ზვიას ცენტრში;

ბ) ზვიას ღერძზე იმ წერტილში, რომელიც  $x = 100$  მმ-თაა დაშორებული მისი ცენტრიდან.

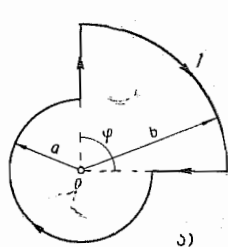
**3.220.**  $I$  დენი გადის წვრილ გამტარში, რომელიც  $R$  რადიუსიან წრეწირში ჩახაზულ წესიერ  $n$  კუთხედს წარმოადგენს. იპოვეთ მაგნიტური ინდუქცია მოცემული კონტურის ცენტრში. გამოიკვლიეთ მიღებული გამოსახულება, როდესაც  $n \rightarrow \infty$ .

**3.221.** იპოვეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია კონტურის ცენტრში, რომელსაც მართკუთხედის ფორმა აქვს, თუ მისი დიაგონალი  $d = 16$  სმ, დიაგონალებს შორის კუთხე  $\varphi = 30^\circ$ , ხოლო კონტურში გადის  $I = 5,0$  ა დენი.

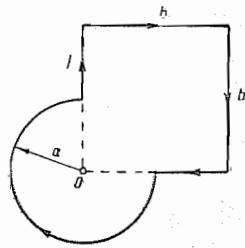
**3.222.**  $I = 5,0$  ა დენი გადის 3.59 ნახაზზე ნაჩვენებ მოლუნულ წვრილ სადენში. სადენის მოლუნული ნაწილის რადიუსი  $R = 120$  მმ, ხოლო კუთხე  $2\varphi = 90^\circ$ . იპოვეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია  $O$  წერტილში.



ნახ. 3.59



ნახ. 3.60



**3.223.** იპოვეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია  $I$  დენიანი კონტურის  $O$  წერტილში, რომელიც ნაჩვენებია:

ა) 3.60 ა ნახაზზე;  $a, b$  რადიუსები და  $\varphi$  კუთხე ცნობილია;

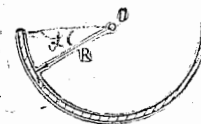
ბ) 3.60 ბ ნახაზზე;  $a$  რადიუსი და  $b$  გვერდი ცნობილია.

● **3.224.**  $R$  რადიუსიანი გრძელი თხელკედლიანი მილის გასწვრივ გადის  $I$  დენი. მთელ სიგრძეზე მილს  $\chi$  სიგანის გრძივი განაპერი აქვს. იპოვეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია მილის შიგნით, თუ  $\chi \ll R$ .

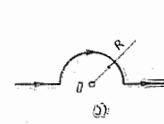
● **3.225.**  $I$  დენი გადის გრძელი სწორხაზოვანი გამტარის გასწვრივ, რომლის კვეთას  $R$  რადიუსიანი თხელი ნახევარგოლის ფორმა (ნახ. 3.61) აქვს. იპოვეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია  $O$  წერტილში.

**3.226.** განსაზღვრეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია  $O$  წერტილში, თუ  $I$  დენიან გამტარს აქვს 3.62 ა, ბ, გ ნახაზზე ნაჩვენები ფორმა. გამტარის მოლუნული ნაწილის რადიუსია  $R$ , ხოლო გამტარის უბნები ძალიან გრძელია.

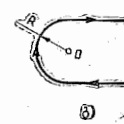
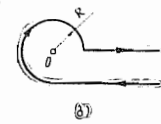
**3.227.**  $I = 5,0$  ა დენიან, ძალიან გრძელ მოლუნულ გამტარს მართი კუთხის ფორმა აქვს. იპოვეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია წერტილში, რომელიც გამტარის სიბრტყიდან  $l = 35$  სმ-ითაა დაშორებული და გამტარების ღერძის წერტილში გამავალ მართობზე იმყოფება.



ნახ. 3.61.

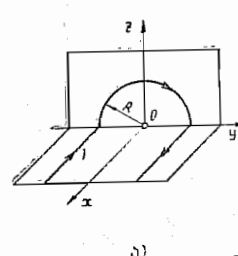


ნახ. 3.62

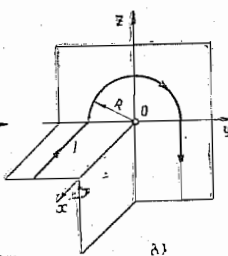


● **3.228.** იპოვეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია  $O$  წერტილში, თუ  $I = 8,0$  ა დენიან ერთგვაროვან გამტარს აქვს 3.63 ა, ბ, გ ნახაზზე ნაჩვენები ფორმა. გამტარის მოლუნული ნაწილის რადიუსი  $R = 100$  მმ, ხოლო გამტარის სწორხაზოვანი უბნები ძალიან გრძელია.

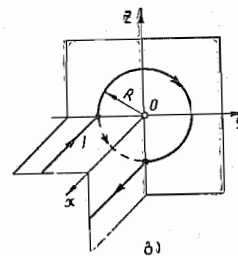
**3.229.** განსაზღვრეთ მაგნიტური ველის  $\mathbf{B}$  ვექტორის სიდიდე და მიმართულება:



ა)



ბ)



ბ)

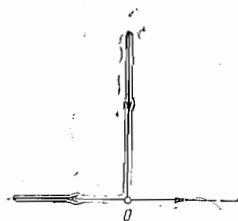
ნახ. 3.63

ა) უსასრულო სიბრტყისათვის, რომლის ყველა წერტილში გადის ერთნაირი,  $i$  ხაზოვანი სიმკვრივის დენი;

ბ) ორი პარალელური უსასრულო სიბრტყისათვის, თუ თითოეულ სიბრტყეში გადის ერთნაირი,  $i$  და  $-i$  ხაზოვანი სიმკვრივის დენი.

**3.230.**  $2d$  სისქის უსასრულო ფირფიტაში მისი ზედაპირის პარალელურად, გადის  $j$  სიმკვრივის ერთგვაროვანი. დენი. იპოვეთ ამ დენის მაგნიტური ველის ინდუქციის დამოკიდებულება ფირფიტის შუა სიბრტყიდან ათვლილ  $x$  მანძილზე. მაგნიტური შეღწევადობა ყველგან ერთის ტოლია.

**3.231.** გრძელ წრფივ გამტარში გადის  $I$  მუდმივი დენი.  $O$  წერტილიდან (ნახ. 3.64) ის რადიალურ-სიმეტრიულად განედინება უსაზღვრო გამტარ სიბრტყეზე, რომელიც გამტარის მართობულია. იპოვეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია სივრცის ყოველ წერტილში.



ნახ. 3.64

**3.232.** მოცემულია  $I$ -დენიანი წრიული ხვია.

იპოვეთ  $\int \mathbf{B} d\mathbf{r}$  ინტეგრალი ხვიას ღერძის გასწვრივ  $-\infty$ -დან  $+\infty$ -მდე საზღვრებში. ახსენით მიღებული შედეგი.

**3.233.** წრიულ ერთგვაროვან წრფივ გამტარში, რომლის კვეთის რადიუსია  $R$ , გადის  $j$  სიმკვრივის მუდმივი დენი. იპოვეთ ამ დენის მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორი იმ წერტილში, რომლის მდებარეობა სადენის ღერძის მიმართ განისაზღვრება  $r$  რადიუს-ვექტორით. მაგნიტური შეღწევადობა ყველგან ერთის ტოლია.

**3.234.** წრიული კვეთის ერთგვაროვანი გრძელი წრფივი გამტარის შიგნით არის მრგვალი გრძელი ცილინდრული სილრუე, რომლის ღერძი გამტარის ღერძის პარალელურია და მისგან  $l$  მანძილითაა წანაცვლებული. გამტარში გადის  $j$  სიმკვრივის მუდმივი დენი. იპოვეთ მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორი სილრუის შიგნით. განიხილეთ შემთხვევა, როდესაც  $l \rightarrow 0$ .

**3.235.** იპოვეთ დენის სიმკვრივის დამოკიდებულება  $r$  მანძილზე, რომელიც ათვლილია აქსიალურად სიმეტრიული ელექტრონების პარალელური ნაკადის ღერძიდან. თუ მაგნიტური ველის ინდუქცია დამოკიდებულია  $r$ -ზე, როგორც  $B = b r^a$ , სადაც  $b$  და  $a$  დადებითი მუდმივებია.

**3.236.** ერთშრიანი კოჭას (სოლენოიდი) სიგრძე  $l$ -ის ტოლია, ხოლო რადიუსი  $R$ . სიგრძის ერთეულზე ხვების რაოდენობაა  $n$ . იპოვეთ  $I$  დენს გადისას მაგნიტური ველის ინდუქცია კოჭას ცენტრში.

**3.237.** ძალიან გრძელი წრფივი სოლენოიდის კვეთის რადიუსია  $R$ , სიგრძის ერთეულზე ხვების რიცხვი კი  $n$ . სოლენოიდში გადის  $I$  მუდ-

მივი დენი. დავუშვათ, რომ  $x$  არის მანძილი სოლენოიდის ტორსიდან მისი ღერძის გასწვრივ. იპოვეთ:

ა) მაგნიტური ველის ინდუქცია ღერძზე, როგორც  $x$ -ის ფუნქცია; ააგეთ  $B$  ინდუქციის  $x/R$  შეფარდებაზე დამოკიდებულების მიახლოებითი გრაფიკი;

ბ)  $x_0$  მანძილი ღერძის იმ წერტილამდე, რომელშიც ველის ინდუქცია სოლენოიდის სილრეში წაპოვნი ინდუქციისაგან განსხვავდება  $\eta = 1\%$ -ით.

**3.238.**  $R = 2,5$  სმ რადიუსის განიკვეთის ძალიან გრძელი წრფივი სოლენოიდის გრაგნილად გამოყენებულია  $h = 2,0$  სმ სიგანის თხელი გამტარი ლენტი, რომელიც, პრაქტიკულად, მჭიდროდაა დახვეული ერთ ფენად. ლენტში გადის  $I = 5,0$  ა მუდმივი დენი, იპოვეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია სოლენოიდის შიგნით და მის გარეთ, როგორც მისი ღერძიდან  $r$  მანძილის ფუნქცია.

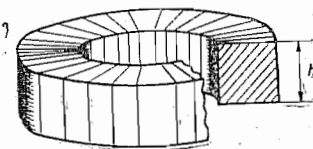
**3.239.** მცირე განიკვეთის ხის ტოროიდზე თანაბრად დახვეული სადენის  $N = 2,5 \cdot 10^3$  ხვია, რომელშიც გადის  $I$  დენი. იპოვეთ ტოროიდის შიგნით მაგნიტური ველის ინდუქციის შეფარდება  $\eta$  მაგნიტური ველის ინდუქციასთან მის ცენტრში.

**3.240.** წრიული კვეთის გრძელ წრფივ გამტარში გადის  $I = 10$  ა მუდმივი დენი. იპოვეთ გამტარის ღერძული კვეთის ერთ-ერთ ნახევარზე გამავალი მაგნიტური ნაკადი, თუ გაანგარიშებას ჩაატარებთ მისი სიგრძის ერთ მეტრზე.

**3.241.** მოცემულია  $I$  დენიანი, ძალიან გრძელი წრფივი სოლენოიდი. სოლენოიდის განიკვეთის ფართობია  $S$ , ხოლო ხვიათა რიცხვი სიგრძის ერთეულზე— $n$ . იპოვეთ სოლენოიდის ტორსზე გამავალი  $\mathbf{B}$  ვექტორის ნაკადი.

**3.242.** 3.65 ნახაზზე ნაჩვენებია მართკუთხედის კვეთის მქონე წრიული სოლენოიდი. იპოვეთ ამ კვეთაში გამავალი მაგნიტური ნაკადი, თუ გრაგნილში დენი  $I = 1,7$  ა, ხვების საერთო რაოდენობაა  $N = 1000$ , ხოლო გარე დიამეტრის შეფარდება შიდა დიამეტრთან  $\eta = 1,6$ , სისქე კი  $h = 5,0$  სმ.

**3.243.** იპოვეთ წვრილი, წრიული- $\phi$ -<sup>1</sup> დენიანი ხვიას მაგნიტური მომენტი. თუ ხვიას რადიუსი  $R = 100$  მმ, ხოლო მის ცენტრში მაგნიტური ველის ინდუქცია  $B = 6,0$  მკტლ-ს.



ნახ. 3.65

**3.244.** გამოთვალეთ  $I = 0,8$  ა დენიანი წვრილი გამტარის მაგნიტური მომენტი, თუ გამტარი მჭიდროდაა დახვეული ტორის ნახევარზე (ნახ. 3.66). ტორის კვეთის დიამეტრია  $d = 5,0$  სმ, ხვების რიცხვი კი  $N = 500$ .

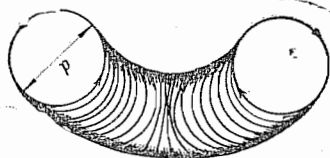
3.245. წვრილი მავთული (იზოლაციით) ქმნის ბრტყელ სპირალს, რომელიც წარმოადგენს მჭიდროდ განლაგებულ  $N=100$  ხეიას (ნახ. 3.67). სპირალში გადის  $I=8$  მა დენი. შიგა და გარე ხეიების რადიუსებია  $a=50$  მმ და  $b=100$  მმ. იპოვეთ:

- მაგნიტური ველის ინდუქცია სპირალის ცენტრში;
- სპირალის მაგნიტური მომენტი მოცემული დენისათვის.

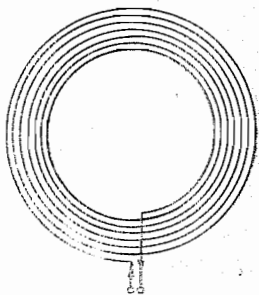
3.246.  $R$  რადიუსიანი გაუმტარი თხელი დისკო თანაბრად დაამუხტული ერთი მხრიდან  $\sigma$  ზედაპირული სიმკვრივით. დისკო ბრუნავს საკუთარი ღერძის გარშემო  $\omega$  კუთხური სიჩქარით. იპოვეთ:

- მაგნიტური ველის ინდუქცია დისკოს ცენტრში;
- დისკოს მაგნიტური მომენტი.

3.247.  $R=50$  მმ რადიუსიანი გაუმტა-



ნახ. 3.66.



ნახ. 3.67

რი სფერო თანაბრად დაამუხტული  $\sigma=10,0$  მკვ/მ<sup>2</sup> ზედაპირული სიმკვრივით. სფერო ბრუნავს მის ცენტრზე გამავალი ღერძის გარშემო  $\omega=70$  რად/წმ კუთხური სიჩქარით. იპოვეთ მაგნიტური ინდუქცია სფეროს ცენტრში.

3.248.  $R$  რადიუსისა და  $m$  მასის ერთგვაროვან სფეროს მოცულობაში თანაბრად განაწილებული  $\rho$  მუხტი. სფერო ბრუნავს მის ცენტრზე გამავალი ღერძის გარშემო  $\omega$  კუთხური სიჩქარით. იპოვეთ შესაბამისი მაგნიტური მომენტი და მისი შეფარდება მექანიკურ მომენტთან.

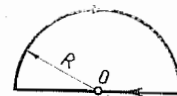
3.249.  $R$  რადიუსიანი გრძელი დიელექტრიკული ცილინდრი სტატიკურად პოლარიზებული ისე, რომ მის ყველა წერტილში პოლარიზებული  $\mathbf{P}=\alpha \mathbf{r}$ , სადა  $\alpha$  დადებითი მუდმივაა, ხოლო  $\mathbf{r}$  მანძილია მისი ღერძიდან. ცილინდრი დააბრუნეს  $\omega$  კუთხური სიჩქარით საკუთარი ღერძის გარშემო. იპოვეთ მაგნიტური ველის  $\mathbf{B}$  ინდუქცია ცილინდრის ცენტრში.

3.250. ორი პროტონი მოძრაობს ერთმანეთის პარალელურად ერთი და იმავე  $v=300$  კმ/წმ სიჩქარით. იპოვეთ მაგნიტური და ელექტრული ურთიერთქმედების ძალების შეფარდება მოცემული პროტონებისათვის.

3.251. იპოვეთ  $I=8,0$  ა დენიანი წვრილი გამტარის სიგრძის ერთეულზე

მოქმედი ძალის ვექტორის სიდიდე და მიმართულება 0 წერტილში, თუ გამტარი მოლუნულია ისე, როგორც ნაჩვენებია:

- 368 ა ნახაზზე, ხოლო მომრგვალების რადიუსი  $R=10$  სმ;
- 3.68 ბ ნახაზზე და მანძილი გამტარის გრძელ, ერთმანეთის პარალელურ უბნებს შორის  $l=10$  სმ.



ა)

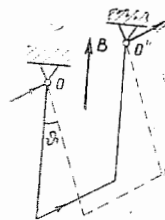


ბ)

ნახ. 3.68

3.252.  $I=10$  მა დენიანი კოჭა მოათავსეს ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში ისე, რომ მისი ღერძი ველის მიმართულებას დაემთხვა. ერთმანეთი კოჭას გრაგნილი დამზადებულია  $d=0,10$  მმ დიამეტრის სპილენძის მავთულისაგან. ხეიების რადიუსი  $R=30$  მმ. გარე ველის რამდენად მნიშვნელობისთვის გაწყდება კოჭას გრაგნილი?

3.253.  $S=2,5$  მმ<sup>2</sup> განივკვეთის სპილენძის მავთული მოლუნულია კვადრატის სამი გვერდის სახით და შეუძლია ბრუნვა  $OO'$  ჰორიზონტალური ღერძის გარშემო (ნახ. 3.69). სადენი მოათავსებულია ერთგვაროვან, ვერტიკალურად მიმართულ მაგნიტურ ველში. იპოვეთ ველის ინდუქცია, თუ მოცემულ სადენში  $I=16$  ა დენის გავლისას გადახრის კუთხე  $\theta=20^\circ$ .



ნახ. 3.69

3.254. სასწორის მხრეულის ბოლოზე მიმაგრებული მცირე  $K$  კოჭა, რომლის ხეიათა რიცხვი  $N=200$ , მოათავსეს მაგნიტის ბუნიკებს შორის ღრეჩოში, როგორც ნაჩვენებია 3.70 ნახაზზე. კოჭას განივკვეთია  $S=1,0$  სმ<sup>2</sup>, ხოლო  $OA$  მხრეულის სიგრძე  $l=30$  სმ.

სასწორი წონასწორობაშია, როდესაც კოჭაში დენი არ გადის. მას შემდეგ, რაც კოჭაში გაატარეს  $I=22$  მა დენი, წონასწორობის აღსადგენად საჭირო გახდა სასწორის პინაზე ტვირთის შეცვლა  $\Delta m=60$  კგ-ით.

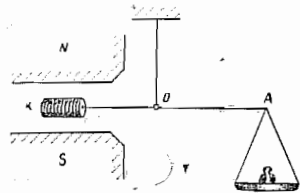
იპოვეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია კოჭას ადგილას.

3.255.  $I=0,90$  ა დენიანი კვადრატული ფორმის ჩარჩო განლაგებულია ერთ სიბრტყეში გრძელ წრფივ გამტართან ერთად, რომელშიც გადის  $I_0=5,0$  ა დენი. ჩარჩოს გვერდი  $a=8,0$  სმ ჩარჩოს მოპირდაპირე გვერდების შუაგულში გამავალი ღერძები გამტარის პარალელურია და დაშორებულია მისგან მანძილით, რომელიც  $\eta=1,5$ -ჯერ მეტია ჩარჩოს გვერდზე. იპოვეთ:

- ჩარჩოზე მოქმედი ამპერის ძალა;

ბ) მექანიკური მუშაობა, რომელიც სრულდება ჩარჩოს მობრუნებაზე მისი ღერძის გარშემო  $180^\circ$ -ით, თუ ღერები უცვლელია.

3.256. ორი გრძელი პარალელური სადენი, რომელთა წინაღობა უგულებელყოფილია, შერთებულია ერთი ბოლოთი რაღაც  $R$  წინაღობით, მეორე ბოლოთი კი მუდმივი ძაბვის წყაროსთან. მანძილი სადენების



ნახ. 3.70

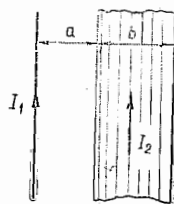
ღერძებს შორის  $\eta = 20$ -ჯერ მეტია თითოეული სადენის კვეთის რადიუსზე. გაიგეთ  $R$  წინაღობის ის მნიშვნელობა, როდესაც სადენებს შორის ურთიერთქმედების ძალა გახდება ნულის ტოლი.

3.257. გრძელ წრფივ გამტარში, რომლის კვეთას  $R$  რადიუსიანი წვრილი ნახევარგოლის ფორმა აქვს, გადის  $I$  დენი. ასეთივე დენი გადის, საწინააღმდეგო

მიმართულებით, წვრილ გამტარში, რომელიც განლაგებულია პირველი გამტარის „ღერძზე“ (0 წერტილი, ნახ. 3.61). იპოვეთ მოცემული გამტარების სიგრძის ერთეულზე მოქმედი მაგნიტური ურთიერთქმედების ძალა.

3.258. ორ გრძელ წვრილ პარალელურ გამტარში (ნახ. 3.71) გადის  $I_1$  და  $I_2$  დენი. გამტარებს შორის მანძილი უდრის  $a$ -ს, მარჯვენა გამტარის სიგანე კი  $b$ -ს. მიიღეთ მხედველობაში, რომ ორივე გამტარი ერთ სიბრტყეშია მოთავსებული და იპოვეთ გამტარების სიგრძის ერთეულზე მოქმედი მაგნიტური ურთიერთქმედების ძალა.

3.259. სისტემა შედგება ორი პარალელური სიბრტყისგან. სიბრტყეებში გამავალი დენები მათ შორის ქმნის  $B$  ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველს. მოცემული არეს გარეთ მაგნიტური ველი უგულებელყოფილია. იპოვეთ თითოეული სიბრტყის ზედაპირის ერთეულზე მოქმედი მაგნიტური ძალა.



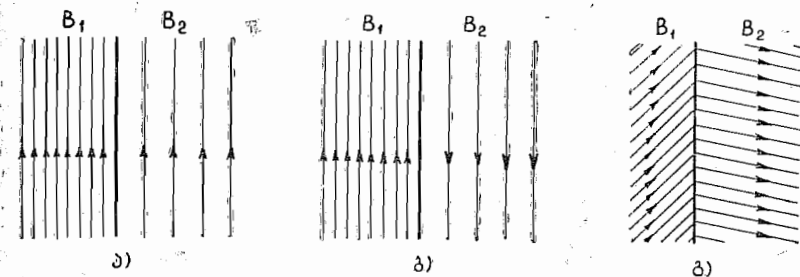
ნახ. 3.71

3.260. დენიანი გამტარი სიბრტყე მოათავსეს გარეშე ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში. ამის შედეგად მაგნიტური ველის ინდუქცია სიბრტყის ერთ მხარეს  $B_1$ -ის ტოლი აღმოჩნდა, მეორე მხარეს კი  $B_2$ -ის. იპოვეთ სიბრტყის ზედაპირის ერთეულზე მოქმედი მაგნიტური ძალა 3.72 ნახაზზე ნაჩვენებ შემთხვევებში. გაარკვიეთ თითოეულ შემთხვევისთვის დენის მიმართულება სიბრტყეში.

3.261. ელექტრომაგნიტურ ტუმბოში, გამდინარი ლითონის გადასატუმბად, მილის უბანი ლითონთან ერთად მოთავსებულია  $B$  ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში (ნახ. 3.73). მილის ამ უბნის გავლით,  $B$

ვექტორისა და მილის ღერძის პერპენდიკულარული მიმართულებით გაატარეს  $I$  დენი. იპოვეთ ტუმბოს მიერ შექმნილიან ჰარბი წნევა, თუ  $B = 0,10$  ტლ,  $I = 100$  ა, ხოლო  $a = 2,0$  სმ-ს.

3.262.  $R$  რადიუსიანი გრძელი თხელკედლიანი წრიული ცილინდრის გასწვრივ გადის  $I$  დენი. როგორ წნევას განიცდიან ცილინდრის კედლები?



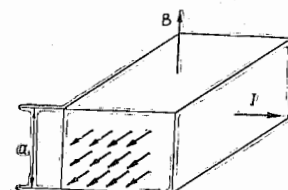
ნახ. 3.72 ა) ბ) გ)

3.263. როგორ წნევას განიცდის გრძელი წრფივი სოლენოიდის გვერდითი ზედაპირი, თუ სიგრძის ერთეულზე ის შეიცავს  $n$  ზვიას და მასში გადის  $I$  დენი?

3.264.  $R$  რადიუსიანი კვეთის გრძელ ერთშიან სოლენოიდში გადის  $I$  დენი. სოლენოიდის სიგრძის ერთეულზე ზვიათა რიცხვია  $n$ . იპოვეთ დენის ძალის ის ზღვრული მნიშვნელობა, რომლის დროსაც გრავნილი გაწყდება, თუ გრავნილის მავთულის გაწყვეტისთვის ზღვრული დატვირთვა  $F_{ზღ}$ -ის ტოლია.

3.265. ბრტყელი კონდენსატორის თითოეული ფირფიტის ფართობია  $S$ , მანძილი ფირფიტებს შორის არის  $d$ . კონდენსატორი მოათავსეს  $\rho$  კუთრი წინაღობის გამტარი სითხის ნაკადში. სითხე მოძრაობს  $v$  მუდმივი სიჩქარით ფირფიტების პარალელურად. სისტემა მოთავსებულია  $B$  ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში, ამასთან,  $B$  ვექტორი ფირფიტების პარალელურია და ნაკადის მიმართულების პერპენდიკულარული. კონდენსატორის ფირფიტები გარეშე  $R$  წინაღობით შეერთეს. რა სიმძლავრე გამოიყოფა ამ წინაღობაზე?  $R$ -ის რა მნიშვნელობისთვის გამოიყოფა მაქსიმალური სიმძლავრე? რას უდრის ეს სიმძლავრე?

3.266.  $R = 5,0$  მმ რადიუსის განიკვეთის სპილენძის წრფივ გამტარში გადის  $I = 50$  ა დენი. იპოვეთ პოტენციალთა სხვაობა გამტარის ღერძის



ნახ. 3.73



და მის ზედაპირს შორის. სპილენძისათვის გამტარობის ელექტრონების კონცენტრაცია  $n = 0,9 \cdot 10^{23} \text{ სმ}^{-3}$ .

3.267. ნატრიუმის გამტარში ხოლის ეფექტის გაზომვისას, როდესაც დენის სიმკვრივე  $j = 200 \text{ ა/სმ}^2$ -ია, ხოლო მაგნიტური ველის ინდუქცია  $B = 1,00 \text{ ტლ}$ , განივი ველის დაძაბულობა აღმოჩნდა  $E = 5,0 \text{ მკვ/სმ}$ -ის ტოლი. იპოვეთ გამტარობის ელექტრონების კონცენტრაცია და მისი შეფარდება ატომების კონცენტრაციასთან მოცემულ გამტარში.

3.268. იპოვეთ გამტარობის ელექტრონების ძვრადობა სპილენძის გამტარში, თუ  $B = 100 \text{ მტლ}$  ინდუქციის მაგნიტურ ველში, ხოლის ეფექტის გაზომვისას, განივი ელექტრული ველის დაძაბულობა, მოცემულ გამტარში ნაკლები აღმოჩნდა სიგრძივი ელექტრული ველის დაძაბულობაზე  $\eta = 3,1 \cdot 10^3$ -ჯერ.

3.269. გრძელი წრფივი  $I$  დენიანი გამტარიდან  $r$  მანძილზე იმყოფება მცირე ზომის დენიანი ხვია. ხვიას მაგნიტური მომენტია  $p_m$ . იპოვეთ ხვიაზე მოქმედი ძალის ვექტორის სიდიდე და მიმართულება, თუ  $p_m$  ვექტორი:

- წრფივი გამტარის პარალელურია;
- მიმართულია  $r$  რადიუს-ვექტორის გასწვრივ;
- ემახვევა მაგნიტური ველის მიმართულებას, რომელსაც ქმნის  $I$  დენი ხვიას ადგილმდებარეობაში.

3.270.  $p_m$  მაგნიტური მომენტის მქონე დენიანი კოჭა  $R$  რადიუსიანი წრიული ხვიას ღერძზეა მოთავსებული. ხვიაში გადის  $I$  დენი. იპოვეთ კოჭაზე მოქმედი ძალის ვექტორის სიდიდე, თუ მანძილი მას და ხვიას ცენტრს შორის  $x$ -ის ტოლია, ხოლო  $p_m$  ვექტორი ხვიას ღერძის მიმართულების თანხვედრითაა.

3.271. იპოვეთ  $p_{1m} = 4,0 \text{ მა. მ}^2$  და  $p_{2m} = 6,0 \text{ მა. მ}^2$  მაგნიტური მომენტების მქონე ორი კოჭას ურთიერთქმედების ძალა, თუ მათი ღერძები ერთ წრფეზეა მოთავსებული და კოჭებს შორის  $l = 20 \text{ სმ}$  მანძილი გაცილებით მეტია მათ ზაზოვან ზომებზე.

3.272. მუდმივი მაგნიტი წარმოადგენს საკმაოდ თხელ დისკოს და თავისი ღერძის გასწვრივია დამაგნიტებული. დისკოს რადიუსი  $R = 1,0 \text{ სმ}$ . შეფასეთ დისკოს ფერსოზე გამავალი  $I$  დენის მნიშვნელობა, თუ დისკოს ღერძზე წერტილში, რომელიც მისი ცენტრიდან  $x = 10 \text{ სმ}$ -ითაა დაშორებული, მაგნიტური ველის ინდუქცია  $B = 30 \text{ მკტლ}$ .

3.273. ვაკუუმში ერთგვაროვანი იზოტროპიული მაგნეტიკის ბრტყელი ზედაპირის მახლობლად მაგნიტური ველის ინდუქციაა  $B$ , ამასთან,  $B$  ვექტორი ზედაპირის ნორმალთან ადგენს  $\alpha$  კუთხეს. მაგნეტიკის მაგნიტური შეღწევადობაა  $\mu$ . იპოვეთ მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორის  $B'$  სიდიდე მაგნეტიკში ზედაპირის მახლობლად.

3.274. ვაკუუმში, მაგნეტიკის ბრტყელი ზედაპირის მახლობლად, მაგნიტური ველის ინდუქციაა  $B$ , ხოლო  $B$  ვექტორი ზედაპირისადმი გავლებულ  $n$  ნორმალთან ადგენს  $\theta$  კუთხეს (ნახ. 3.74). მაგნეტიკის მაგნიტური შეღწევადობაა  $\mu$ . იპოვეთ:

ა)  $H$  ვექტორის ნაკადი, რომელიც  $R$ -რადიუსიანი სფეროს  $S$  ზედაპირზე გადის და რომლის ცენტრი მაგნეტიკის ზედაპირზეა მოთავსებული;

ბ)  $B$  ვექტორის ცირკულაცია  $l$  გვერდის მქონე კვადრატული კონტურის გასწვრივ, როგორც ნაჩვენებია ნახაზზე.

3.275. წრიული კვეთის, გრძელი ერთგვაროვანი ცილინდრული სადენის გასწვრივ გადის  $I$  მუდმივი დენი. სადენი დამზადებულია  $x$  მაგნიტური ამთვისებლობის მქონე პარამაგნეტიკისაგან. იპოვეთ:

ა) ზედაპირული მოლეკულური დენი  $I_{\text{ზედ}}$ ;

ბ) მოცულობითი მოლეკულური დენი  $I_{\text{მოც}}$ .

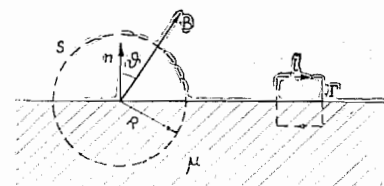
როგორი მიმართულება აქვთ ამ დენებს ერთიმეორის მიმართ?

3.276. უსასრულო გრძელი წრფივი დენიანი სოლენოიდი პარამაგნეტიკითაა „ნახევრად“ შევსებული (ნახ. 3.75). გამოსახეთ  $B$  მაგნიტური ინდუქციის,  $H$  დაძაბულობისა და  $J$  დამაგნიტებულობის დამოკიდებულება  $x$ -ზე, რომელიც სოლენოიდის ღერძის გასწვრივია აღებული.

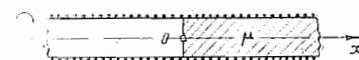
3.277. წრფივი უსასრულო გრძელი  $I$  დენიანი გამტარი ორი გაუმტარი გარემოს გამყოფ ზედაპირზეა მოთავსებული. მათი მაგნიტური შეღწევადობებია  $\mu_1$  და  $\mu_2$ . იპოვეთ მთელ სივრცეში მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორის სიდიდის დამოკიდებულება  $r$  მანძილზე სადენამდე. მხედველობაში მიიღეთ, რომ  $B$  ვექტორის ძალწირები წრეწირებია, რომელთა ცენტრი გამტარის ღერძზეა.

3.278. ვაკუუმისა და მაგნეტიკის ბრტყელ გამყოფ ზედაპირზე დევს წრიული დენიანი კონტური. მაგნეტიკის შეღწევადობაა  $\mu$ . იპოვეთ მაგნიტური ველის  $B$  ინდუქცია კონტურის ღერძის ნებისმიერ წერტილში, თუ ამ წერტილში მაგნეტიკის გარეშე ველის ინდუქციაა  $B_0$ . განაზოგადეთ მიღებული შედეგი ველის თითოეული წერტილისათვის.

3.279. თუ ერთგვაროვანი მაგნეტიკისაგან დამზადებულ სფეროს მოვათავსებთ  $B_0$  ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში, მაშინ ის ერთგვაროვანად დამაგნიტდება. იპოვეთ  $B$  ინდუქცია  $\mu$  მაგნიტური შეღწე-



ნახ. 3.74



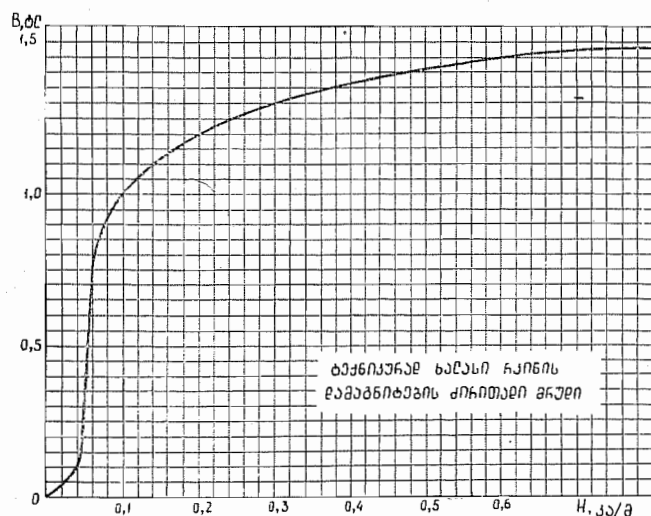
ნახ. 3.75

ვადობის მქონე სფეროს შიგნით, თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ ერთგვაროვნად დამაგნიტებული სფეროს შემთხვევაში, მის შიგნით, მაგნიტური ველი ერთგვაროვანია და მისი დაძაბულობა  $H = -J/3$ , სადაც  $J$  დამაგნიტებულობა.

3.280. მუდმივ მაგნიტზე, რომელსაც  $l=15$  სმ სიგრძის ცილინდრის ფორმა აქვს, თანაბრად დაახვეის წვრილი მავთულის  $N=300$  ხვია. მასში  $I=3,0$  ა დენის გატარების შემდეგ ველი მაგნიტის გარეთ გაქრა. იპოვეთ კოერციტიული  $H_c$  ძალა ნივთიერებისათვის, რომლისგანაც დამზადებულია მაგნიტი.

3.281. მუდმივ მაგნიტს აქვს რგოლის ფორმა, რომლის პოლუსებს შორის ვიწრო ღრეჩოა. რგოლის საშუალო დიამეტრი  $d=20$  სმ. ღრეჩოს სიგანეა  $b=2,0$  მმ, ხოლო მაგნიტური ველის ინდუქცია ღრეჩოში  $B=40$  მტლ. უგულებელყავით მაგნიტური ნაკადის გაბნევა ღრეჩოს კიდეებთან და იპოვეთ მაგნიტური ველის დაძაბულობის ვექტორის სიდიდე მაგნიტის შიგნით.

3.282.  $R=250$  მმ საშუალო რადიუსის ტოროიდულ რკინის გულარზე დახვეულია  $N=1000$  ხვიასაგან შემდგარი გრაგნილი. გულარში გაკეთებულია  $b=1,00$  მმ სიგანის განივი განაჭერი. გრაგნილში  $I=0,85$  ა



ნახ. 3.76.

დენის გავლისას მაგნიტური ველის ინდუქცია ღრეჩოში  $B=0,75$  ტლ. უგულებელყავით მაგნიტური ნაკადის გაფანტვა ღრეჩოს კიდეებთან და იპოვეთ რკინის მაგნიტური შეღწევადობა.

3.283. 3.76 ნახაზე ნაჩვენებია ტექნიკურად ხალასი რკინის დამაგ-

ნიტების ძირითადი მრუდი. ამ გრაფიკის საშუალებით ააგეთ  $\mu$  მაგნიტური შეღწევადობის მაგნიტური ველის  $H$  დაძაბულობისაგან დამოკიდებულების მრუდი.  $H$ -ის რა მნიშვნელობას შეესაბამება მაქსიმალური შეღწევადობა? რას უდრის  $\mu_{\text{max}}$ ?

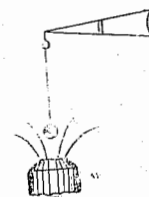
3.284.  $d=50$  სმ საშუალო დიამეტრის წვრილ რკინის რგოლზე დახვეულია  $N=800$  ხვიანი გრაგნილი, რომელშიც გადის  $I=3,0$  ა დენი. რგოლს აქვს  $b=2,0$  მმ სიგანის განივი განაჭერი. უგულებელყავით მაგნიტური ნაკადის გაფანტვა ღრეჩოს კიდეებთან და გრაფიკის საშუალებით (იხ. ნახ. 3.76) იპოვეთ რკინის მაგნიტური შეღწევადობა.

3.285.  $S$  ფართობის განივკვეთისა და  $\chi$  მაგნიტური ამთვისებლობის მქონე პარამაგნეტიკისაგან დამზადებული გრძელი წვრილი ცილინდრული ღერო დენიანი კოჭას ღერძის გასწვრივია მოთავსებული. ღეროს ერთი ბოლო კოჭას ცენტრშია, სადაც მაგნიტური ველის ინდუქციაა  $B$ , მეორე ბოლო კი იმ არეში, სადაც მაგნიტური ველი პრაქტიკულად უგულებელყოფილია. რა ძალით მოქმედებს კოჭა ღეროზე?

3.286. დანადგარში (ნახ.3.77) სასწორის დახმარებით ზომავენ ძალას, რომლითაც  $V=41$  მმ<sup>3</sup> მოცულობის პარამაგნიტული ბურთულა მიიზიდება  $M$  ელექტრომაგნიტის პოლუსისაკენ. მაგნიტური ველის ინდუქცია ბუნების ღერძზე დამოკიდებულია  $x$  სიმაღლეზე შემდეგნაირად:  $B=B_0 e^{-\alpha x^2}$ , სადაც  $B_0=1,50$  ტლ,  $\alpha=100$  მ<sup>-2</sup> იპოვეთ:

ა) ის  $x_0$  სიმაღლე, რომელზეც უნდა მოვათავსოთ ბურთულა, რომ მიზიდულობის ძალა იყოს მაქსიმალური;

ბ) პარამაგნეტიკის მაგნიტური ამთვისებლობა, თუ მიზიდვის ძალის მაქსიმალური მნიშვნელობა  $F_{\text{max}}=160$  მკნ.



ნახ. 3.77

3.287.  $\chi$  მაგნიტური ამთვისებლობის პარამაგნეტიკისაგან დამზადებული  $V$  მოცულობის მცირე ზომის ბურთულა ნელა გადაადგილეს კოჭას ღერძის გასწვრივ წერტილიდან, სადაც მაგნიტური ველის ინდუქციაა  $B$ , იმ არეში, სადაც მაგნიტური ველი პრაქტიკულად უგულებელყოფილია. გამოთვალეთ მაგნიტური ძალების საწინააღმდეგოდ შესრულებული მუშაობა.

### 3.6. ელექტრომაგნიტური ინდუქცია. მაქსველის განტოლებები

● ფარადის ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონი:

$$\mathcal{E}_i = -\frac{d\Phi}{dt} = -\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad (3.6 \text{ ა})$$

● სოლენოიდისა და ტოროიდის შემთხვევისათვის:

$$\Phi = N\Phi_1, \quad (3.6 \text{ ბ})$$

სადაც  $N$  ხვიათა რაოდენობაა,  $\Phi_1$  — თითოეულ ხვიაზე გამავალი მაგნიტური ნაკადი.

● სოლენოიდის ინდუქციურობა:

$$L = \mu \mu_0 n^2 V. \quad (3.6 \text{ გ})$$

● დენის საკუთარი ენერგია და ორი დენის ურთიერთქმედების ენერგია:

$$W = \frac{LI^2}{2}, \quad W_{12} = L_{12} I_1 I_2. \quad (3.6 \text{ დ})$$

● მაგნიტური ველის ენერგიის მოცულობითი სიმკვრივე:

$$w = \frac{B^2}{2\mu\mu_0} = \frac{BH}{2}. \quad (3.6 \text{ ე})$$

● წანაცვლების დენის სიმკვრივე:

$$j_{\text{წან}} = \frac{\partial D}{\partial t}. \quad (3.6 \text{ ვ})$$

● მაქსველის განტოლებები დიფერენციალური სახით:

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}, \quad \nabla \cdot \mathbf{B} = 0,$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} + \mathbf{j}, \quad \nabla \cdot \mathbf{D} = \rho, \quad (3.6 \text{ ზ})$$

სადაც  $\nabla \times \equiv \text{rot}$  (როტორი),  $\nabla \cdot \equiv \text{div}$  (დივერგენცია).

● ველების გარდაქმნის ფორმულები ათვლის  $K$  სისტემიდან მის მიმართ  $\mathbf{v}_0$  სიჩქარით მოძრავ  $K'$  სისტემაში გადასვლის დროს.  $v_0 \ll c$  შემთხვევისათვის

$$\mathbf{E}' = \mathbf{E} + [\mathbf{v}_0 \mathbf{B}], \quad \mathbf{B}' = \mathbf{B} - [\mathbf{v}_0 \mathbf{E}]/c^2, \quad (3.6 \text{ თ})$$

ზოგად შემთხვევაში

$$E'_{\parallel} = E_{\parallel}; \quad B'_{\parallel} = B_{\parallel},$$

$$\mathbf{E}'_{\perp} = \frac{\mathbf{E}_{\perp} + [\mathbf{v}_0 \mathbf{B}]}{\sqrt{1 - (v_0/c)^2}}, \quad \mathbf{B}'_{\perp} = \frac{\mathbf{B}_{\perp} - [\mathbf{v}_0 \mathbf{E}]/c^2}{\sqrt{1 - (v_0/c)^2}}, \quad (3.6 \text{ ი})$$

სადაც  $\parallel$  და  $\perp$  სიმბოლოებით აღნიშნულია  $\mathbf{v}_0$  ვექტორის პარალელური და პერპენდიკულარული მდგენელები.

● ელექტრომაგნიტური ველის ინვარიანტები:

$$\mathbf{E} \mathbf{B} = inv, \quad E^2 - v^2 B^2 = inv. \quad (3.6 \text{ კ})$$

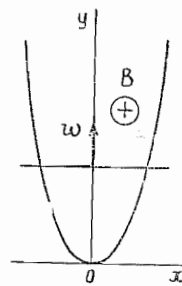
3.288.  $B$  ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში იმყოფება  $y = ax^2$  პარაბოლის ფორმის სადენი, თანაც  $B$  ვექტორი  $x, y$  სიბრტყის პერპენდიკულარულია.  $t=0$  მომენტში პარაბოლის წვეროდან  $\mathbf{w}$  მუდმივი, აჩქარებით წინსვლით გადაადგილებას იწყებს შესაკრავი (ნახ. 3.78). იპოვეთ ინდუქციის ე. მ. ძ.-ის დამოკიდებულება  $y$ -ზე წარმოქმნილ კონტურში.

3.289. მართკუთხა კონტური, რომელსაც აქვს  $l$  სიგრძის მოსრილი შესაკრავი, მოთავსებულია ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში, რომელიც კონტურის სიბრტყის პერპენდიკულარულია (ნახ. 3.79). ველის ინდუქციაა  $B$ . შესაკრავის წინალობაა  $R$ .  $AB$  და  $CD$  გვერდების წინალობები კი  $R_1$  და  $R_2$ . უგულვებელყავით კონტურის თვითინდუქცია და იპოვეთ დენი შესაკრავში, თუ ის ასრულებს წინსვლით გადაადგილებას  $v$  მუდმივი სიჩქარით.

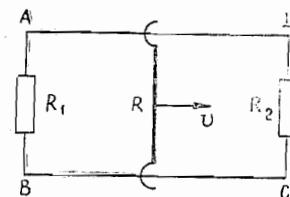
3.290.  $a = 25$  სმ რადიუსიან ლითონის დისკოს აბრუნებენ  $\omega = 130$  რად/წმ კუთხური სიჩქარით საკუთარი ღერძის გარშემო. იპოვეთ პოტენციალთა სხვაობა დისკოს ცენტრსა და ფერსოს შორის, თუ:

ა) არ არის გარეშე მაგნიტური ველი;

ბ) არსებობს დისკოს მართობული  $B = 5,0$  მტლ ინდუქციის გარეშე ერთგვაროვანი



ნახ. 3.78



ნახ. 3.79

როგანი მაგნიტური ველი.

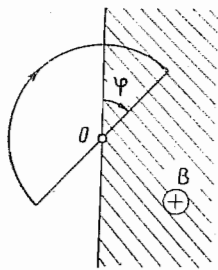
3.291.  $d = 20$  სმ დიამეტრის ნახევარწრეწირის ფორმით მოღუნულ წვერილ  $AC$  გამტარს აბრუნებენ  $\omega = 100$  რად/წმ მუდმივი კუთხური სიჩქარით  $B = 5,0$  მტლ ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში, ისე რომ  $\omega \parallel B$ . ბრუნვის ღერძი გადის გამტარის  $A$  ბოლოზე და  $AC$  წრფის (დიამეტრის) პერპენდიკულარულია. იპოვეთ წრფივი  $\int \mathbf{E} d\mathbf{r}$  ინტეგრალის მნიშვნელობა, გამტარის გასწვრივ,  $A$  წერტილიდან  $C$  წერტილამდე. განაზოგადეთ მიღებული შედეგი.

3.292. მავთულის კონტური, რომელიც  $a$ -რადიუსიან ნახევარწრეს შემოსაზღვრავს, მოთავსებულია  $B$  ინდუქციის ერთგვაროვანი მაგნიტური ველის საზღვარზე (ნახ. 3.80).  $t=0$  მომენტიდან კონტური იწყებს ბრუნვას  $\beta$  მუდმივი კუთხური აჩქარებით  $O$  ღერძის გარშემო, რომელიც ველის საზღვარზე  $B$  ვექტორის ძალწირს ემთხვევა. იპოვეთ კონტურში ინდუქციის ე. მ. ძ.-ის დამოკიდებულება დროზე. ააგეთ ამ დამოკიდებულების მიახლოებითი გრაფიკი. ე. მ. ძ.-ის დადებით მიმართულებად მიღებულია ნახაზზე ნაჩვენები ისრის მიმართულება.

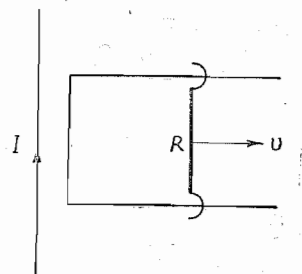
3.293. გრძელი წრფივი  $I$  დენიანი გამტარი და მოძრავ შესაკრავიანი  $\Pi$ -სმაგვარი გამტარი მოთავსებული არიან ერთ სიბრტყეში (ნახ. 3.81).

სიგრძისა და  $R$  წინაღობის შესაკრავი მოძრაობს მარჯვნივ  $v$  მუდმივი სიჩქარით. იპოვეთ კონტურში ინდუცირებული დენი, როგორც შესაკრავსა და წრფეზე გამტარს შორის  $r$  მანძილის ფუნქცია. უგულებელყოფილია II-სმაგვარი გამტარის წინაღობა და კონტურის თვითინდუქცია.

3.294.  $a$  გვერდის მქონე კვადრატული ჩარჩო და გრძელი წრფივი  $I$ -დენიანი გამტარი მოთავსებული არიან ერთ სიბრტყეში (ნახ. 3.82). ჩარ-



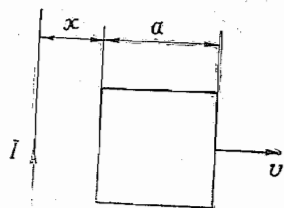
ნახ. 3.80



ნახ. 3.81

ჩო ასრულებს წინსვლით გადაადგილებას მარჯვნივ  $v$  მუდმივი სიჩქარით. იპოვეთ ჩარჩოში აღძრული ინდუქციის ე. მ. ძ-ის დამოკიდებულება  $x$  მანძილზე.

3.295.  $m$  მასის ლითონის ღერო ბრუნავს ჰორიზონტალური  $O$  ღერძის გარშემო და თანაც სრიალებს  $a$ -რადიუსიან რგოლისებრ გამტარზე (ნახ. 3.83). სისტემა მოთავსებულია  $B$  ინ-

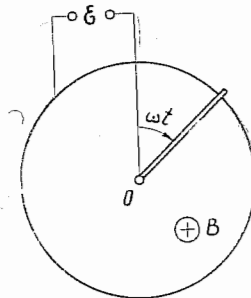


ნახ. 3.82

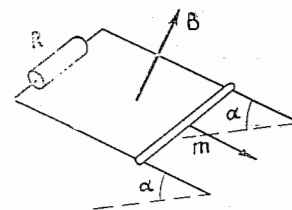
დუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში, რომელიც რგოლის სიბრტყის პერპენდიკულარულია. ღერძი და რგოლი შეერთებული არიან ე. მ. ძ. წყაროსთან და ქმნიან  $R$  წინაღობის წრედს. უგულებელყავით ხახუნი, წრედის ინდუქციურობა, რგოლის წინაღობა და იპოვეთ, რა კანონით უნდა იცვლებოდეს წყაროს ე. მ.ძ., რომ ღერო ბრუნავდეს მუდმივი  $\omega$  კუთხური სიჩქარით.

ვის გადაადგილების სიბრტყის პერპენდიკულარულია. უგულებელყოფილია სალტეების, შესაკრავისა და მოსრიალე კონტაქტების წინაღობა და, აგრეთვე, კონტურის თვითინდუქცია. იპოვეთ შესაკრავის დამყარებული სიჩქარე.

3.297. წინა ამოცანისაგან განსხვავებით, სისტემაში (ნახ. 3.84) წინაღობის ნაცვლად სალტეების ბოლოები შეერთებულია  $C$  ტევადობის კონდენსატორით. იპოვეთ შესაკრავის აჩქარება.



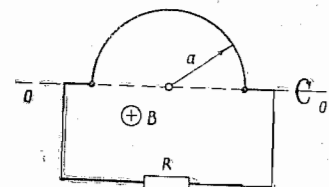
ნახ. 3.83



ნახ. 3.84

3.298. სადენი, რომელსაც  $a$  რადიუსიანი ნახევარწრფივით მოყვანილობა აქვს, ბრუნავს  $OO'$  ღერძის გარშემო  $\omega$  კუთხური სიჩქარით  $B$  ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში (ნახ. 3.85). ბრუნვის ღერძი ველის მიმართულების მართობულია. მთელი წრედის წინაღობაა  $R$ . უგულებელყავით ინდუცირებული დენის მაგნიტური ველი და იპოვეთ კონტურში გამოყოფილი სითბური სიმძლავრის საშუალო მნიშვნელობა ბრუნვის პერიოდის განმავლობაში.

3.299. ელექტრომაგნიტის პოლუსებს შორის მოთავსებულია მცირე ზომის კოჭა, რომლის ღერძი ემთხვევა მაგნიტური ველის მიმართულებას. კოჭას განივკვეთის ფართობი  $S=3,0$  მმ<sup>2</sup>, ხოლო ხვეიების რაოდენობა  $N=60$ . კოჭას  $180^\circ$ -ით მობრუნებისას, თავისი დიამეტრის გარშემო, მასთან მიერთებულ ბალისტიკურ გალვანომეტრში გადის  $q=4,5$  მკკ მუხტი. იპოვეთ მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორის სიდიდე პოლუსებს შორის, თუ ელექტრული წრედის სრული წინაღობა  $R=40$  ომს.



ნახ. 3.85

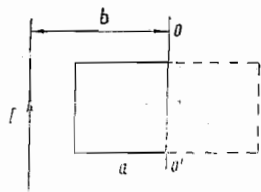
3.300.  $a$ -გვერდიანი კვადრატული ფორმის მავთულის ჩარჩო და  $I$  მუდმივდენიანი წრფივი გამტარი მოთავსებულია ერთ სიბრტყეში (ნახ. 3.86). ჩარჩოს ინდუქციურობა და წინაღობა არის  $L$  და  $R$ . ჩარჩო მოაბრუნეს  $180^\circ$ -ით  $OO'$  ღერძის გარშემო, რომელიც დენიანი გამტარიდან  $b$  მა-

3.296. ორი გლუვი სპილენძის სალტე, რომლებზეც სიმძიმის ძალის გავლენით სრიალებს  $m$  მასის სპილენძის შესაკრავი, ჰორიზონტალურ ქმნის  $a$  კუთხეს (ნახ. 3.84). სალტეების ზედა ბოლოები  $R$  წინაღობითაა შეერთებული. სალტეებს შორის მანძილი  $l$ -ის ტოლია. სისტემა მოთავსებულია  $B$  ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში, რომელიც შესაკრავ-

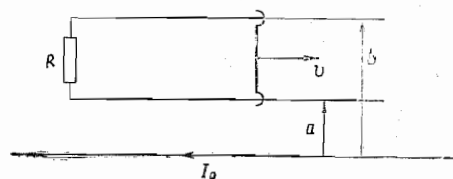


ნძილითაა დაშორებული. იპოვეთ ჩარჩოში გამავალი ელექტრობის რაოდენობა.

3.301. მოცემულია  $I_0$ -დენიანი გრძელი წრფივი გამტარი. მისგან  $a$  და  $b$  მანძილებზე პარალელურადაა განლაგებული ორი გამტარი, რომლებიც შეკრულია ერთი ბოლოდან  $R$  წინააღობით (ნახ. 3.87). შესაყრავი ღერო ხახუნის გარეშე მოძრაობს სადენებზე  $v$  მუდმივი სიჩქარით. უგულებელყავით სადენების, ღეროსა და მოსრიალე კონტაქტების წინააღობა და აგრეთვე კოჭას ინდუქციურობა. იპოვეთ:



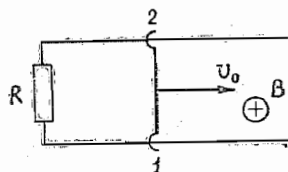
ნახ. 3.86



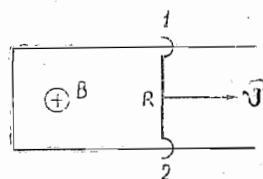
ნახ. 3.87

- ა) ინდუქციური დენის მნიშვნელობა და მიმართულება ღეროში;
- ბ) ძალა, რომელიც შეუწინააღმდეგებს ღეროს მუდმივ სიჩქარეს.

3.302.  $m$  მასის 12 გამტარი ხახუნის გარეშე სრიალებს ერთიმეორისაგან  $l$  მანძილით დაშორებულ ორ გრძელ გამტარ რელსზე (ნახ. 3.88). მარცხნიდან რელსები შეკრულია  $R$  წინააღობით. სისტემა მოთავსებულია  $B$  ინდუქციის მაგნიტურ ველში, რომელიც კონტურის სიბრტყის მართობულია.  $t=0$  მომენტში 12 ღეროს მიანიჭეს მარჯვნივ  $v_0$  საწყისი სიჩქარე. უგულებელყავით რელსების და 12 ღეროს წინააღობა და აგრეთვე თვით-ინდუქცია. იპოვეთ:



ნახ. 3.88



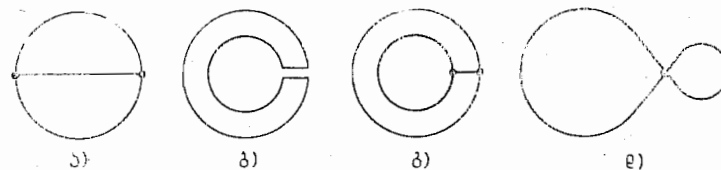
ნახ. 3.89

- ა) ღეროს მიერ გავლილი მანძილი გაჩერებამდე;
- ბ) ამ დროს  $R$  წინააღობაზე გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა.

3.303. ჰორიზონტალურ სიბრტყეში მოთავსებულ II-სმაგვარ გამტარზე ხახუნის გარეშე შეუძლია სრიალი 12 შესაყრავს (ნახ. 3.89). შესაყრავის სიგრძეა  $l$ , მასა  $m$ , ხოლო წინააღობა  $R$ . სისტემა მოთავსებულია  $B$  ინდუქციის ვერტიკალურად მიმართულ ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში.  $t=0$  მომენტში შესაყრავი დაშორებულია გამტარის ბოლოდან  $a$  მანძილით. იპოვეთ:

ლში.  $t=0$  მომენტში შესაყრავზე იწყებს მოქმედებას ჰორიზონტალური მუდმივი  $F$  ძალა და ამის შედეგად ის იწყებს წინსვლით გადაადგილებას მარჯვნივ. იპოვეთ შესაყრავის სიჩქარის დამოკიდებულება დროზე. უგულებელყოფილია კონტურის ინდუქციურობა და II-ს მაგვარი გამტარის წინააღობა.

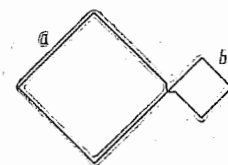
3.304. 3.90 ნახაზზე ნაჩვენებია წვრილი მავთულებისაგან დამზადებული ბრტყელი კონტურები, რომლებიც მოთავსებული არიან ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში. ველი მიმართულია ნახაზის სიბრტყისაკენ. დაიწყეს ველის ინდუქციის შემცირება. იპოვეთ ამ კონტურებში ინდუქციური დენის მიმართულება.



ნახ. 3.90.

3.305. ბრტყელ კონტურს (ნახ. 3.91) აქვს  $a=20$  სმ და  $b=10$  სმ გვერდების მქონე ორი კვადრატის მოყვანილობა. კონტური მოთავსებულია მისი სიბრტყის მართობულ ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში. ველის ინდუქცია იცვლება  $B=B \sin \omega t$  კანონით, სადაც  $B_0=10$  მტლ, ხოლო  $\omega=100$  რად/წმ. იპოვეთ კონტურში ინდუქციური დენის ამპლიტუდა, თუ მისი სიგრძის ერთეულის წინააღობა  $\rho=50$  მგ ომი/მ. კონტურის ინდუქციურობა უგულებელყოფილია.

3.306. ბრტყელი სპირალი შეიცავს ძალიან დიდ  $N$  რაოდენობა ხეიას, რომლებიც მჭიდროდაა დახვეული. სპირალი მოთავსებულია მისი სიბრტყის მართობულ ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში. სპირალის ხეიების გარეშე რადიუსია  $a$ . ველის ინდუქცია იცვლება  $B=B_0 \sin \omega t$  კანონით, სადაც  $B_0$  და  $\omega$  მუდმივებია. იპოვეთ სპირალში აღძრული ინდუქციის ე. მ. ძის ამპლიტუდური მნიშვნელობა.



ნახ. 3.91.

3.307. II-სმაგვარი გამტარი მოთავსებულია მისი სიბრტყის მართობულ ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში, რომელიც დროის მიხედვით იცვლება  $B=0.10$ , ტლ/წმ სიჩქარით. ამ გამტარის პარალელური გვერდების გასწვრივ უსაწყისო სიჩქარით და  $w=10$  სმ/წმ<sup>2</sup> აჩქარებით გადაადგილებენ გამტარ შესაყრავს. შესაყრავის სიგრძე  $l=20$  სმ. იპოვეთ ე. მ. ძ. კონტურში.

რში მოძრაობის დაწყებიდან  $t=2,0$  წმ-ის შემდეგ, თუ  $t=0$  მომენტში კონტურის ფართობი და მაგნიტური ველის ინდუქცია ნულის ტოლია. უგულებელყოფილია კონტურის ინდუქციურობა.

3.308.  $\alpha$ -რადიუსიანი კვეთისა და სიგრძის ერთეულზე ხვიათა  $n$  რიცხვის მქონე გრძელ წრფივ სოლენოიდში დენი იცვლება  $I$  ა/წმ მუდმივი სიჩქარით. იპოვეთ გრივალური ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორის სიდიდე როგორც  $r$  მანძილის ფუნქცია, რომელიც ათვლილია სოლენოიდის ღერძიდან. ააგეთ ამ დამოკიდებულების მიახლოებითი გრაფიკი.

3.309. გრძელ წრფივ სოლენოიდზე, რომლის კვეთის დიამეტრი  $d=5$  სმ და სიგრძის თითოეული სანტიმეტრი შეიცავს  $n=20$  ხვიას, მჭიდროდაა ჩამოცმული  $S=1,0$  მმ<sup>2</sup> განივკვეთის სპილენძის მავთულისაგან დამზადებული წრფივი ხვია. იპოვეთ დენი ხვიაში, თუ სოლენოიდის გრადიენტში დენს ზრდიან  $I=100$  ა/წმ მუდმივი სიჩქარით. ხვიას ინდუქციურობა უგულებელყოფილია.

3.310.  $\alpha$ -რადიუსიანი კვეთის გრძელ სოლენოიდზე მჭიდროდაა ჩამოცმული მავთულის რგოლი იზოლაციით, თანაც რგოლის ერთი ნახევრის წინაღობა  $\eta$ -ჯერ მეტია, ვიდრე მეორე ნახევრისა. სოლენოიდის მაგნიტური ველის ინდუქცია იცვლება  $B=bt$  კანონით, სადაც  $b$  მუდმივია. იპოვეთ ელექტროსტატიკური ველის დაძაბულობის ვექტორის სიდიდე რგოლში.

3.311.  $m$  მასის წვრილი გაუმტარი რგოლის მუხტია  $q$ . მას თავისუფლად შეუძლია ბრუნვა საკუთარი ღერძის გარშემო. საწყის მომენტში რგოლი უძრავია. შემდეგ ქმნიან რგოლის სიბრტყის პერპენდიკულარულ, პრაქტიკულად ერთგვაროვან მაგნიტურ ველს. ველი იზრდება რაღაც  $B(t)$  კანონით. იპოვეთ რგოლის  $\omega$  კუთხური სიჩქარის დამოკიდებულება ინდუქციაზე.

3.312.  $\alpha$  რადიუსისა და  $r$  წინაღობის წვრილი მავთულის რგოლი მოთავსებულია გრძელი სოლენოიდის შიგნით ისე, რომ მათი ღერძები თანხვედნილია. სოლენოიდის სიგრძე  $l$ , ხოლო კვეთის რადიუსი— $b$ . რომელიმე მომენტში სოლენოიდი მიუერთეს  $U$  მუდმივი ძაბვის წყაროს. წრედის სრული წინაღობაა  $R$ . უგულებელყავით რგოლის ინდუქციურობა და იპოვეთ რგოლის სიგრძის ერთეულზე მოქმედი რადიალური ძალის მაქსიმალური მნიშვნელობა.

3.313.  $R$  წინაღობის უძრავ კონტურზე გამავალი მაგნიტური ნაკადი  $\tau$  დროის განმავლობაში იცვლება  $\Phi=at(\tau-t)$  კანონით. იპოვეთ კონტურში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა ამ დროში. კონტურის ინდუქციურობა უგულებელყოფილია.

3.314. გრძელი სოლენოიდის შუაში მოთავსებულია მართკუთხედის ფორმის კვეთის კოაქსიალური რგოლი, რომელიც დამზადებულია  $\rho$  კუთხური წინაღობის გამტარი მასალისაგან. რგოლის სისქეა  $h$ , ხოლო მისი

შიდა და გარე რადიუსები— $a$  და  $b$ . იპოვეთ ინდუქციური დენი რგოლში, თუ სოლენოიდის მაგნიტური ველის ინდუქცია იცვლება  $B=\beta t$  კანონით, სადაც  $\beta$  მუდმივია. რგოლის ინდუქციურობა უგულებელყოფილია.

3.315. რამდენი მეტრი წვრილი მავთული უნდა ავიღოთ  $l_0=100$  სმ სიგრძისა და  $L=1,0$  მჰნ ინდუქციურობის სოლენოიდის დასამზადებლად, თუ სოლენოიდის კვეთის დიამეტრი გაცილებით ნაკლებია მის სიგრძეზე.

3.316. იპოვეთ  $l$  სიგრძის სოლენოიდის ინდუქციურობა, თუ მის გრადიენტად აღებულია  $m$  მასის სპილენძის მავთული. გრადიენტის წინაღობაა  $R$ . სოლენოიდის დიამეტრი გაცილებით ნაკლებია მის სიგრძეზე.

3.317.  $L=300$  მჰნ ინდუქციურობისა და  $R=140$  მგ. ომი წინაღობის კოჭა მიუერთეს მუდმივი ძაბვის წყაროს. რა დროში მიაღწევს კოჭაში გამავალი დენი დამყარებული მნიშვნელობის  $\eta=50\%$ ?

3.318.  $l=1,0$  მ სიგრძის წრფივი სოლენოიდი წარმოადგენს ერთშრიან გრადიენტს, რომელიც დამზადებულია  $m=1,0$  კგ მასის სპილენძის მავთული-საგან. გამოთვალეთ ამ სოლენოიდის დროის მუდმივა  $\tau$ , თუ მისი კვეთის დიამეტრი გაცილებით ნაკლებია მის სიგრძეზე.

მითითება.  $\tau$  დროის მუდმივა ეწოდება  $L/R$  შეფარდებას, სადაც  $L$  ინდუქციურობაა,  $R$ —აქტიური წინაღობა.

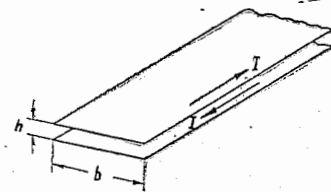
3.319. იპოვეთ კაბელის სიგრძის ერთეულის ინდუქციურობა, თუ კაბელი წარმოადგენს თხელკედლიანი ლითონის ორ კოაქსიალურ ცილინდრს. გარე ცილინდრის რადიუსი  $\eta=3,6$ -ჯერ მეტია შიდა ცილინდრის რადიუსზე, მაგნიტური შეღწევადობა ცილინდრებს შორის ერთის ტოლია.

3.320. განსაზღვრეთ  $N$  ხვიასაგან შემდგარი ტოროიდული სოლენოიდის ინდუქციურობა, რომლის შიდა რადიუსია  $b$ , განივკვეთს კი აქვს  $a$  გვერდის კვადრატის ფორმა. სოლენოიდის შიგნით სივრცე შევსებულია  $\mu$  მაგნიტური შეღწევადობის ერთგვაროვანი პარამაგნეტიკით.

3.321. განსაზღვრეთ ორსადენიანი ლენტური ხაზის (ნახ. 3.92) სიგრძის ერთეულის ინდუქციურობა, თუ ლენტებს შორის  $h$  მანძილი გაცილებით ნაკლებია მათ  $b$  სიგანეზე, სახელდობრ,  $b/h=50$ .

3.322. იპოვეთ ორსადენიანი ხაზის სიგრძის ერთეულის ინდუქციურობა, თუ თითოეული სადენის რადიუსი  $\eta$ -ჯერ ნაკლებია მათ ღერძებს შორის მანძილზე. ველი სადენების შიგნით უგულებელყოფილია, მაგნიტური შეღწევადობა ყველგან ერთის ტოლია და  $\eta \gg 1$ .

3.323.  $\alpha$  რადიუსისა და  $L$  ინდუქციურობის ზეგამტარი წრფივი



ნახ. 3.92

რგოლი მოთავსებულია  $B$  ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში. რგოლის სიბრტყე  $B$  ვექტორის პარალელურია, ხოლო დენი რგოლში ნულის ტოლია. რგოლის სიბრტყე მოაბრუნეს ველის პერპენდიკულარულად  $90^\circ$ -ით. იპოვეთ:

ა) დენი რგოლში მობრუნების შემდეგ;

ბ) ამ დროს შესრულებული მუშაობა.

3.324.  $I_0 = 1,9$  ა დენი გადის გრძელ შეკრულ სოლენოიდში, რომლის სადენი ზეგამტარ მდგომარეობაში იმყოფება. იპოვეთ დენი სოლენოიდში მას შემდეგ, როდესაც, გაჭიმვის შედეგად, მისი სიგრძე გაზარდეს  $\eta = 5\%$ -ით.

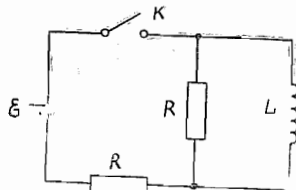
3.325.  $b = 1,0$  მმ რადიუსის წვრილი მავთულისაგან დამზადებული  $a = 50$  მმ რადიუსიანი რგოლი მოათავსეს  $B = 0,50$  მტლ ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში ისე, რომ რგოლის სიბრტყე  $B$  ვექტორის მართობული აღმოჩნდა. რგოლი გააცივეს ზეგამტარ მდგომარეობამდე, ხოლო შემდეგ გამოართეს მაგნიტური ველი. იპოვეთ დენი რგოლში. მხედველობაში მიიღეთ, რომ წვრილი რგოლის ინდუქციურობა, რომლის გასწვრივაც გადის ზედაპირული დენი, გამოისახება შემდეგნაირად:  $L = \mu_0 a \left( \ln \frac{8a}{b} - 2 \right)$ .

3.326. ჩაკეტილი წრედი შედგება მიმდევრობით შეერთებული მუდმივი ე. მ. ძის წყაროსა და  $L$  ინდუქციურობის დროსელისაგან. მთელი წრედის აქტიური წინაღობაა  $R$ .  $t = 0$  მომენტში დროსელის ინდუქციურობა ნახტომით გაზარდეს  $\eta$ -ჯერ. იპოვეთ წრედში დენის დამოკიდებულება დროზე.

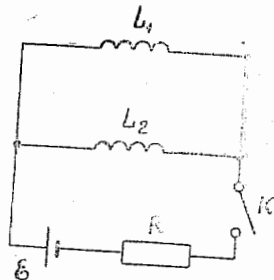
მითითება. ინდუქციურობის ნახტომისებური ცვლილებისას სრული მაგნიტური ნაკადი (ნაკადთა გადაბმულობა) უცვლელია.

3.327. იპოვეთ  $L$  ინდუქციურობაში (ნახ. 3.93) გამავალი დენის დამოკიდებულება დროზე  $t = 0$  მომენტში  $K$  ჩამრთველის ჩართვის შემდეგ.

3.328. სქემაში (ნახ. 3.94) ცნობილია წყაროს  $\mathcal{E}$  ე. მ. ძ.,  $R$  წინა-



ნახ. 3.93.



ნახ. 3.94

ღობა და კოჭების  $L_1$  და  $L_2$  ინდუქციურობანი. უგულებელყოფილია წყაროს შიგა წინაღობა და კოჭების წინაღობები. იპოვეთ კოჭებში დამყარებული დენები  $K$  ჩამრთველის ჩართვის შემდეგ.

3.329. გამოთვალეთ გრძელი წრფივი გამტარისა და  $a$  და  $b$  გვერდების მქონე მართკუთხა ჩარჩოს ურთიერთინდუქცია. ჩარჩო და წრფივი გამტარი მოთავსებულია ერთ სიბრტყეში, თანაც, გამტართან უახლოესი ჩარჩოს  $b$  გვერდი გამტარის პარალელურია და მისგან  $l$  მანძილითაა დაშორებული.

3.330. განსაზღვრეთ ტოროიდული კოჭასა და მისი ღერძის გასწვრივ გამავალი უსასრულო წრფივი გამტარის ურთიერთინდუქცია. კოჭას მართკუთხა კვეთის მოყვანილობა აქვს. მისი შიგა რადიუსია  $a$ , გარე კი— $b$ . გამტარის პარალელური ტორის განივკვეთის გვერდის სიგრძეა  $h$ , ხოლო კოჭას ზედათა რიცხვი— $N$ . სისტემა მოთავსებულია  $\mu$  შეღწევადობის ერთგვაროვან მაგნიტიკში.

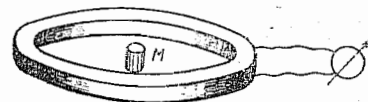
3.331. ორი კონცენტრული წვრილი გამტარი, რომლებსაც  $a$  და  $b$  რადიუსების მქონე წრეწირების ფორმა აქვთ, მოთავსებულია ერთ სიბრტყეში. თუ  $a \ll b$ , იპოვეთ:

ა) მათი ურთიერთინდუქცია;

ბ) მაგნიტური ნაკადი, რომელიც განსჭვალავს გარე გამტარზე გადაჭიმულ ზედაპირს, როდესაც შიდა გამტარში გადის  $I$  დენი.

3.332. მცირე ზომის ცილინდრული  $M$  მაგნიტი (ნახ. 3.95)  $a$  რადიუსიანი თხელი კოჭას ცენტრში იმყოფება. კოჭა შედგება  $N$  ზეისაგან და შეერთებულია ბალისტიკურ გალვანომეტრთან. მთელი წრედის აქტიური წინაღობაა  $R$ . იპოვეთ მაგნიტის მაგნიტური მომენტი, თუ მისი კოჭიდან გამოყვანისას გალვანომეტრში გაიარა  $q$  რაოდენობის ელექტრობა.

3.333. იპოვეთ მიახლოებითი ფორმულა ორი ერთნაირი  $a$ -რადიუსიანი წვრილი ზვიების ურთიერთინდუქციისათვის, თუ ზვიების ღერძები თანხვედნილია, ხოლო მათი ცენტრები ერთმეორისაგან  $l$  მანძილითაა დაშორებული. გაითვალისწინეთ, რომ  $l \gg a$ .



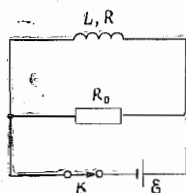
ნახ. 3.95

3.334. მოცემულია  $L_{12}$  ურთიერთინდუქციურობის მქონე ორი უძრავი კონტური. ერთ-ერთ კონტურში დაიწყეს დენის ცვლილება  $I_1 = \alpha t$  კანონით, სადაც  $\alpha$  მუდმივია,  $t$ —დრო. იპოვეთ დენის ცვლილების  $I_2(t)$  კანონი მეორე კონტურში, რომლის ინდუქციურობაა  $L_2$ , ხოლო წინაღობა  $R$ .

3.335.  $L = 2,0$  მჰნ ინდუქციურობისა და  $R = 1,0$  ომი წინაღობის კოჭა შეერთებულია მუდმივი  $\mathcal{E} = 3,0$  ვ. ე. მ. ძის წყაროსთან (ნახ. 3.96). კოჭას პარალელურად შეერთებულია  $R_0 = 2,0$  ომი წინაღობა. იპოვეთ კოჭაში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა  $K$  ჩამრთველის გამოართვის შემდეგ. უგულებელყოფილია წყაროს შიგა წინაღობა.

3.336. რკინის ტორზე დახვეულია  $N=500$  ხვია მაგნიტული. იპოვეთ მაგნიტური ველის ენერგია, თუ  $I=2,0$  ა დენის არსებობისას ტორის განივკვეთზე გამავალი მაგნიტური ნაკადი  $\Phi=1,0$  ვებ-ია.

3.337. რკინის გულარში, რომელსაც  $a=3,0$  სმ-რადიუსიანი წრიული კვეთის ტორის სახე აქვს და რომლის გრაგნილი შედგება  $N=1000$  ხვიასაგან, გადის  $I=1,0$  ა დენი. ტორის საშუალო რადიუსი  $b=32$  სმ. 3.76 ნახაზის დახმარებით იპოვეთ გულარში დაგროვილი მაგნიტური ენერგია, თუ დავუშვებთ, რომ ველის  $H$  დაძაბულობა ერთი და იგივეა მთელ კვეთაში და ეთანაბრება დაძაბულობის მნიშვნელობას კვეთის ცენტრში.



ნახ. 3.96

3.338. მაგნეტიკისაგან დამზადებული წვრილი რგოლის საშუალო დიამეტრი  $d=30$  სმ. გრაგნილში ხვიების რიცხვი  $N=800$ . რგოლის განივკვეთის ფართობი  $S=5,0$  სმ<sup>2</sup>. რგოლში გაკეთებულია განივი  $b=2,0$  მმ სივანის განაჭერი. გრაგნილში გარკვეული მნიშვნელობის დენის გაგლისას მაგნეტიკის მაგნიტური შეღწევალობა  $\mu=1400$ . უგულებელყავით მაგნიტუ-

რი ნაკადის გაბნევა ღრეჩოს კიდეებთან და იპოვეთ:

ა) შეფარდება მაგნიტური ენერგიისა ღრეჩოში, მაგნიტურ ენერგიასთან მაგნეტიკაში;

ბ) სისტემის ინდუქციურობა—ორი ხერხით—ნაკადისა და ენერგიის საშუალებით.

3.339.  $a$ -რადიუსიანი გრძელი ცილინდრის ზედაპირი თანაბრად დადამუხტული და ბრუნავს  $\omega$  კუთხური სიჩქარით საკუთარი ღერძის გარშემო. იპოვეთ ცილინდრის სიგრძის ერთეულზე მოსული მაგნიტური ველის ენერგია, თუ ცილინდრის მუხტის ხაზოვანი სიმკვრივეა  $\lambda$ , ხოლო  $\mu=1$ .

3.340. რა მნიშვნელობა უნდა ჰქონდეს ელექტრული ველის დაძაბულობას ვაკუუმში, რომ ამ ველის მოცულობითი სიმკვრივე გაუთანაბრდეს  $B=1,0$  ტლ ინდუქციის მაგნიტური ველის მოცულობით სიმკვრივეს (იხეე ვაკუუმში)?

3.341.  $a=10$  სმ რადიუსიანი წვრილი თანაბრად დამუხტული რგოლი ბრუნავს  $\omega=100$  რად/წმ კუთხური სიჩქარით საკუთარი ღერძის გარშემო. იპოვეთ მაგნიტური და ელექტრული ველების ენერგიების მოცულობითი სიმკვრივეების შეფარდება რგოლის ღერძზე იმ წერტილში, რომელიც  $l=a$  მანძილითაა დაშორებული რგოლის ცენტრიდან.

3.342. მაგნიტური ენერგიის მოცულობითი სიმკვრივის გამოსახულებიდან გამომდინარე აჩვენეთ, რომ პარან დიამაგნეტიკის მოცულობის ერთეულის დამაგნიტებაზე შესრულებული მუშაობა  $A=-JB/2$ .

† 3.343.  $L$  ინდუქციურობის ორ კოჭას აერთებენ: ა) მიმდევრობით, ბ) პარალელურად. იპოვეთ სისტემის ინდუქციურობა ორივე შემთხვევაში, თუ უგულებელყოფილია კოჭების ურთიერთინდუქციურობა.

3.344. ერთნაირი სიგრძისა და თითქმის ერთნაირი კვეთის ორი სოლენოიდი ერთმანეთშია ჩადგმული. იპოვეთ მათი ურთიერთინდუქციურობა, თუ მათი ინდუქციურობებია  $L_1$  და  $L_2$ .

3.345. აჩვენეთ, რომ ვაკუუმში მოთავსებული ორი დენიანი კონტურის ურთიერთქმედების მაგნიტური ენერგია შეიძლება წარმოდგენილი იყოს როგორც:  $W_{\text{ურთ}} = (1/\mu_0) \int \mathbf{B}_1 \mathbf{B}_2 dV$ , სადაც  $\mathbf{B}_1$  და  $\mathbf{B}_2$  პირველი და მეორე კონტურის, ცალ-ცალკე, დენების მიერ შექმნილი მაგნიტური ველის ინდუქციებია მოცულობის  $dV$  ელემენტში.

3.346. იპოვეთ ურთიერთქმედების ენერგია  $I_1$  და  $I_2$ -დენიანი კონტურებისათვის, თუ ორივე კონტურს აქვს  $a$  და  $b$  რადიუსების მქონე წრეწირის სახე ( $a \ll b$ ). ამ კონტურების ცენტრები ერთ წერტილშია მოთავსებული და მათი სიბრტყეები ერთიმეორესთან  $\theta$  კუთხეს ადგენენ.

3.347. ორ კონცენტრულ სფეროს შორის სივრცე შევსებულია ერთგვაროვანი, სუსტად გამტარი ნივთიერებით, რომლის კუთრი წინაღობაა  $\rho$ , დიელექტრიკული შეღწევალობა კი— $\epsilon$ .  $t=0$  მომენტში შიდა სფერო დამუხტეს. იპოვეთ:

ა) კავშირი წანაცვლების დენის სიმკვრივისა და გამტარობის დენის ვექტორებს შორის გარემოს ნებისმიერ წერტილში და დროის ერთსა და იმავე მომენტში;

ბ) ნებისმიერ ჩაკეტილ ზედაპირზე გამავალი წანაცვლების დენი, თუ ზედაპირი მთლიანად გარემოშია მოთავსებული და მოიცავს შიგა სფეროს, რომლის მუხტი მოცემულ მომენტში  $q$ -ს ტოლია.

3.348. ბრტყელი კონდენსატორი შედგენილია ორი დისკოთი, რომელთა შორის ერთგვაროვანი სუსტად გამტარი გარემოა. კონდენსატორი დამუხტეს და გამორთეს ძაბვის წყაროდან. უგულებელყავით კიღური ეფექტები და აჩვენეთ, რომ კონდენსატორის შიგნით არ არის მაგნიტური ველი.

3.349. ბრტყელი ჰაერიანი კონდენსატორი, რომლის ფირფიტების ფართობი  $S=100$  სმ<sup>2</sup>, მიმდევრობითაა შეერთებული ცვლადი დენის წრედში. იპოვეთ ელექტრული ველის დაძაბულობის ამპლიტუდა კონდენსატორში, თუ მიმდევარ (სადენებში) სინუსოიდური დენის ამპლიტუდა  $I_m=1,0$  მა, ხოლო დენის სიხშირე  $\omega=1,6 \cdot 10^7$  წმ<sup>-1</sup>.

3.350. წრიული დისკოს ფორმის მქონე ბრტყელი კონდენსატორის შემონაფენებს შორის სივრცე შევსებულია  $\sigma$  კუთრი გამტარობისა და  $\epsilon$  დიელექტრიკული შეღწევალობის ერთგვაროვანი სუსტად გამტარი ნივთიერებით. შემონაფენებს შორის მანძილი უდრის  $d$ -ს. უგულებელყავით



კიდური ეფექტები და იპოვეთ შემონაფენებს შორის მაგნიტური ველის დაძაბულობა კონდენსატორის ღერძიდან  $r$  მანძილზე, თუ კონდენსატორზე მოდებულია  $U = U_m \cos \omega t$  ცვლადი ძაბვა.

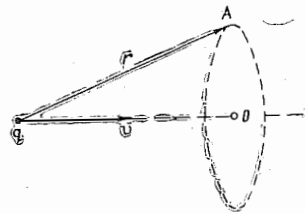
3.351. გრძელი წრფივი სოლენოიდის სიგრძის ერთეული შეიცავს  $n$  ხვიას. მასში გადის  $I = I_m \sin \omega t$  ცვლადი დენი. იპოვეთ წანაცვლების დენის სიმკვრივის დამოკიდებულება სოლენოიდის ღერძიდან  $r$  მანძილზე. სოლენოიდის კვეთის რადიუსია  $R$ .

3.352. წერტილოვანი  $q$  მუხტი მოძრაობს  $v = \text{const}$  არარელატივისტური სიჩქარით. იპოვეთ წანაცვლების დენის  $j_{\text{წა}}$  სიმკვრივე იმ წერტილში, რომელიც  $r$  მანძილითაა დაშორებული მუხტიდან:

- მუხტის ტრაექტორიის თანხვედრილ წრფეზე;
- ტრაექტორიის მართობულ და მუხტზე გამავალ წრფეზე.

3.353. წვრილი სადენისაგან დამზადებულ  $a$ -რადიუსიან რგოლზე იმყოფება  $q$  მუხტი. რგოლი უახლოვდება დაკვირვების  $P$  წერტილს ისე, რომ მისი ცენტრი სწორხაზოვნად მოძრაობს  $v$  მუდმივი სიჩქარით. ამ დროს რგოლის სიბრტყე ყოველთვის მისი მოძრაობის მიმართულების პერპენდიკულარულია. როგორი  $x_m$  მანძილით იქნება რგოლი დაშორებული  $P$  წერტილიდან იმ მომენტში, როდესაც  $P$  წერტილში წანაცვლების დენის სიმკვრივე აღმოჩნდება მაქსიმალური? რისი ტოლია ამ დენის მნიშვნელობა?

3.354. წერტილოვანი  $q$  მუხტი მოძრაობს  $v = \text{const}$  არარელატივისტური სიჩქარით. გამოიყენეთ თეორემა  $\mathbf{H}$  ვექტორის ცირკულაციის შესახებ (ნახ. 3.97) წყვეტილი წრეწირის გასწვრივ და იპოვეთ  $\mathbf{H}$  ვექტორი  $A$  წერტილში, როგორც  $r$  რადიუს-ვექტორისა და მუხტის  $v$  სიჩქარის ფუნქცია.



ნახ. 3.97

3.355. მაქსველის განტოლებების დახმარებით დამტკიცეთ, რომ:

- დროით ცვლადი მაგნიტური ველი ვერ იარსებებს ელექტრული ველის გარეშე;
- ერთგვაროვანი ელექტრული ველი ვერ იარსებებს, თუ არსებობს დროით ცვლადი მაგნიტური ველი;

ცვლადი მაგნიტური ველი;

გ) სიღრუის შიგნით ერთგვაროვანი ელექტრული (ან მაგნიტური) ველი შეიძლება იყოს დროით ცვლადი.

3.356. აჩვენეთ, რომ მაქსველის განტოლებებიდან გამომდინარეობს ელექტრული მუხტის მუდმივობის კანონი:  $\nabla \cdot \mathbf{j} = -\partial \rho / \partial t$ .

3.357. აჩვენეთ, რომ მაქსველის განტოლებები  $\nabla \times \mathbf{E} = -\partial \mathbf{B} / \partial t$  და

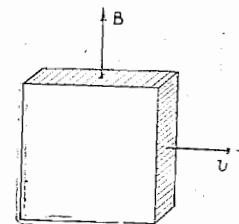
$\nabla \times \mathbf{B} = 0$  შეთავსებადია, ე. ი. პირველი მათგანი არ ეწინააღმდეგება მეორეს.

3.358. ათვლის ინერციული სისტემის რომელიმე არეში მოცემულია  $\mathbf{a}$  კუთხური სიჩქარით მბრუნავი მაგნიტური ველი, რომლის ინდუქციაა  $B$ . იპოვეთ ამ არეში  $\nabla \times \mathbf{E}$  გამოსახულება, როგორც  $\mathbf{a}$  და  $\mathbf{B}$  ვექტორების ფუნქცია.

3.359. ათვლის ინერციულ  $K$  სისტემაში მოცემულია  $\mathbf{B}$  ინდუქციის ერთგვაროვანი წმინდა მაგნიტური ველი. იპოვეთ ელექტრული ველის დაძაბულობა  $K'$  სისტემაში, რომელიც მოძრაობს  $K$  სისტემის მიმართ  $v$  არარელატივისტური სიჩქარით, თანაც  $v \perp \mathbf{B}$ . ამ საკითხის ამოსახსნელად განიხილეთ ორივე სისტემაში წარმოსახვით მუხტზე მოქმედი ძალები იმ მომენტში, როდესაც მუხტის სიჩქარე  $K'$  სისტემაში ნულის ტოლია.

3.360. არაფერომაგნიტური ლითონისაგან დამზადებული დიდი ფირფიტა მოძრაობს  $v = 90$  სმ/წმ მუდმივი სიჩქარით  $B = 50$  მტლ ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში, როგორც 3.98 ნახაზზეა ნაჩვენები. იპოვეთ მოძრაობის შედეგად ფირფიტაზე წარმოქმნილი ელექტრული მუხტის ზედაპირული სიმკვრივე.

3.361.  $a = 5,0$  სმ რადიუსიან გრძელ ალუმინის ცილინდრს აბრუნებენ საკუთარი ღერძის გარშემო  $B = 10$  მტლ ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში. ბრუნვის კუთხური სიჩქარეა  $\omega = 45$  რად/წმ, თანაც  $\omega \parallel \mathbf{B}$ . უგულებელყავით წარმოქმნილი მუხტების მაგნიტური ველი და იპოვეთ მათი მოცულობითი და ზედაპირული სიმკვრივე.



ნახ. 3.98

3.362. არარელატივისტური წერტილოვანი  $q$  მუხტი მოძრაობს  $v$  მუდმივი სიჩქარით. ველების გარდაქმნის ფორმულების დახმარებით იპოვეთ ამ მუხტის მაგნიტური ველის  $\mathbf{B}$  ინდუქცია იმ წერტილში, რომლის მდებარეობა, მუხტის მიმართ, განისაზღვრება  $r$  რადიუს-ვექტორით.

3.363. (3.6 თ) ფორმულების დახმარებით აჩვენეთ, რომ თუ ათვლის ინერციულ  $K$  სისტემაში მოცემულია მხოლოდ ელექტრული ან მხოლოდ მაგნიტური ველი, მაშინ ნებისმიერ სხვა ინერციულ  $K'$  სისტემაში იარსებებს როგორც ელექტრული, ასევე, მასთან ერთდროულად, მაგნიტური ველიც, თანაც  $\mathbf{E}' \perp \mathbf{B}'$ .

3.364. ინერციულ  $K$  სისტემაში მხოლოდ  $\mathbf{B} = b(y\mathbf{i} - x\mathbf{j}) / (x^2 + y^2)$  ინდუქციის მაგნიტური ველია, სადაც  $b$ —მუდმივაა, ხოლო  $\mathbf{i}$  და  $\mathbf{j}$ — $x$  და  $y$  ღერძების ორთები. იპოვეთ ელექტრული ველის  $\mathbf{E}'$  დაძაბულობა  $K'$  სისტემაში, რომელიც მოძრაობს  $K$  სისტემის მიმართ არარელატივისტური

$v = vk$  მუდმივი სიჩქარით, სადაც  $k$  ლერძის ორტია. ჩათვალით, რომ  $z'$  ლერძი ემთხვევა  $z$  ლერძს. რა სახე აქვს  $E'$  ველს?

3.365. ინერციულ  $K$  სისტემაში მოცემულია მხოლოდ  $E = a(xi + yj) \times 1/(x^2 + y^2)$  დაძაბულობის ელექტრული ველი, სადაც  $a$  მუდმივაა, ხოლო  $i$  და  $j$  —  $x$  და  $y$  ლერძები ორტები. იპოვეთ მაგნიტური ველის  $B'$  ინდუქცია  $K'$  სისტემაში, რომელიც მოძრაობს  $K$  სისტემის მიმართ არარელატივისტური  $v = vk$  მუდმივი სიჩქარით, სადაც  $k$  ლერძის ორტია. ჩათვალით, რომ  $z'$  ლერძი ემთხვევა  $z$  ლერძს. რა სახე აქვს  $B'$  ველს?

3.366. დარწმუნდით, რომ (3.6 თ) გარდაქმნის ფორმულები გამოდინარეობენ (3.6 ი) ფორმულიდან, როდესაც  $v_0 \ll c$ .

3.367. ინერციულ  $K$  სისტემაში მოცემულია მხოლოდ  $E = 8$  კვ/მ დაძაბულობის ელექტრული ველი. ინერციულ  $K'$  სისტემაში, რომელიც მოძრაობს  $K$  სისტემის მიმართ  $v$  მუდმივი სიჩქარით, იპოვეთ სიდიდე და მიმართულება:

ა)  $E'$  ვექტორისა, ბ)  $B'$  ვექტორისა;

თუ  $v$  ვექტორი ადგენს  $\alpha = 45^\circ$ -იან კუთხეს  $E$  ვექტორთან და შეადგენს სინათლის სიჩქარის  $\beta = 0,60$  ნაწილს.

3.368. ამოხსენით ამოცანა, რომელიც განსხვავდება წინა ამოცანისაგან მხოლოდ იმით, რომ  $K$  სისტემაში მოცემულია არა ელექტრული ველი, არამედ  $B = 0,8$  ტლ ინდუქციის მაგნიტური ველი.

3.369. ელექტრომაგნიტურ ველს გააჩნია ორი ინვარიანტული სიდიდე. (3.6 ი) გარდაქმნის ფორმულების დახმარებით აჩვენეთ, რომ ასეთი სიდიდეებია:

ა)  $EB$ ; ბ)  $E^2 - c^2 B^2$ .

3.370. ათვლის ინერციულ  $K$  სისტემაში მოცემულია ორი ერთგვაროვანი ურთიერთმართობი  $E = 40$  კვ/მ დაძაბულობის ელექტრული და  $B = 0,20$  ტლ ინდუქციის მაგნიტური ველი. იპოვეთ ველის  $E'$  დაძაბულობა (ან  $B'$  ინდუქცია) იმ ათვლის  $K'$  სისტემაში, სადაც აკვირდებიან მხოლოდ ერთ ველს (ელექტრულს ან მაგნიტურს)

მითითება. ისარგებლეთ ველის ინვარიანტებით.

3.371. წერტილოვანი  $q$  მუხტი მოძრაობს წრფივად და თანაბრად რელატივისტური სიჩქარით, რომელიც შეადგენს სინათლის სიჩქარის  $\beta$  ნაწილს ( $\beta = v/c$ ). იპოვეთ ამ მუხტის ელექტრული ველის  $E$  დაძაბულობა იმ წერტილში, რომლის რადიუს-ვექტორი მუხტის მიმართ  $r$ -ის ტოლია და მისი სიჩქარის ვექტორთან ადგენს  $\theta$  კუთხეს.

### 3.7. დამუხტული ნაწილაკების მოძრაობა ელექტრულ და მაგნიტურ ველში

ლორენცის ძალა:

$$F = qE + q[vB]. \quad (3.7 \text{ ა})$$

რელატივისტური ნაწილაკის მოძრაობის განტოლება:

$$\frac{d}{dt} \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} = F. \quad (3.7 \text{ ბ})$$

დამუხტული ნაწილაკის მიმოქცევის პერიოდი მაგნიტურ ველში:

$$T = \frac{2\pi m}{qB}, \quad (3.7 \text{ გ})$$

სადაც  $m$  ნაწილაკის რელატივისტური მასაა  $m = m_0 \sqrt{1 - (v/c)^2}$ .

ბეტატრონული პირობა — ელექტრონის მოძრაობის პირობა წრიულ ორბიტაზე ბეტატრონში:

$$B_0 = \frac{1}{2} \langle B \rangle, \quad (3.7 \text{ დ})$$

სადაც  $B_0$  მაგნიტური ველის ინდუქცია ორბიტაზე,  $\langle B \rangle$  — ინდუქციის საშუალო მნიშვნელობა ორბიტის შიგნით.

3.372.  $t = 0$  მომენტში ბრტყელი კონდენსატორის ერთ-ერთი ფირფიტიდან უმნიშვნელო მცირე სიჩქარით გამოვარდა ელექტრონი. ფირფიტებს შორის მოდებულია ამაჩქარებელი, დროით ცვლადი  $U = at$  ძაბვა, სადაც  $a = 100$  ვ/წმ. მანძილი ფირფიტებს შორის  $l = 5,0$  სმ-ია. რა სიჩქარით მიუახლოვდება ელექტრონი მოპირდაპირე ფირფიტას?

3.373.  $U$  პოტენციალთა სხვაობით აჩქარებული პროტონი  $t = 0$  მომენტში მოხვდა ბრტყელი კონდენსატორის განივ ერთგვაროვან ელექტრულ ველში. ფირფიტის სიგრძე მოძრაობის მიმართულების გასწვრივ  $l$ -ის ტოლია. ველის დაძაბულობა იცვლება შემდეგნაირად:  $E = at$ , სადაც  $a$  — მუდმივაა. ჩათვალით, რომ პროტონი არარელატივისტურია და იპოვეთ კუთხე მისი მოძრაობის მიმართულებებს შორის კონდენსატორში მოხვედრამდე და კონდენსატორის გავლის შემდეგ. უგულებელყავით კიდური ეფექტები.

3.374.  $q/m$  კუთრი მუხტის მქონე ნაწილაკი  $E = E_0 - ax$  ელექტრული ველის გავლენით მოძრაობს სწორხაზოვნად, აქ  $a$  დადებითი მუდმივაა,  $x$  — მანძილი წერტილიდან, სადაც ნაწილაკი თავდაპირველად იყო უძრავი. იპოვეთ:

ა) ნაწილაკის მიერ გავლილი მანძილი იმ წერტილამდე, სადაც ის გაჩერდა;

ბ) ნაწილაკის აჩქარება ამ წერტილში.

3.375. ელექტრონი იწყებს მოძრაობას  $E = 10$  კვ/სმ დაძაბულობის ერთგვაროვან ელექტრულ ველში. მოძრაობის დაწყებიდან რა დროის შემდეგ გახდება ელექტრონის კინეტიკური ენერგია მისი უძრავობის ენერგიის ტოლი?

3.376. განსაზღვრეთ აჩქარება რელატივისტური ელექტრონისა, რომელიც მოძრაობს  $E$  დაძაბულობის ერთგვაროვან ელექტრულ ველის

გასწვრივ, იმ მომენტში, როდესაც მისი კინეტიკური ენერგია  $T$ -ს ტოლია.

3.377.  $t=0$  მომენტში რელატივისტური პროტონი შეიჭრა  $v_0$  სიჩქარით იმ არეში, სადაც განივი ერთგვაროვანი  $E$  დაძაბულობის ელექტრული ველია, თანაც  $v_0 \perp E$ . იპოვეთ დროზე დამოკიდებულება:

ა) იმ  $\mu$  კუთხისა, რომელსაც ადგენს პროტონის  $v$  სიჩქარის ვექტორი მისი მოძრაობის საწყის მიმართულებასთან;

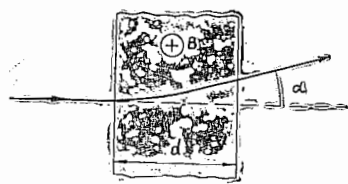
ბ) სიჩქარის ვექტორის  $v_x$  გვეგმილისა, თუ  $x$  ღერძი ემთხვევა მოძრაობის საწყის მიმართულებას.

3.378.  $U=500$  კვ პოტენციალთა სხვაობით აჩქარებულმა პროტონმა გაიარა  $B=0,51$  ტლ ინდუქციის მქონე განივი ერთგვაროვანი მაგნიტური ველი. ველის სიგანეა  $d=10$  სმ (ნახ. 3.99). იპოვეთ პროტონის გადახრის  $\alpha$  კუთხე მოძრაობის საწყისი მიმართულებიდან.

3.379. დამუხტული ნაწილაკი მოძრაობს  $r=100$  მმ-რადიუსიანი წრეწირის გასწვრივ  $B=10,0$  მტლ ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში. იპოვეთ მისი სიჩქარე და მიმოქცევის პერიოდი, თუ ნაწილაკი წარმოადგენს:

ა) არარელატივისტურ პროტონს;

ბ) რელატივისტურ ელექტრონს.



ნახ. 3.99

3.380.  $q$  მუხტისა და უძრაობის  $m_0$  მასის რელატივისტური ნაწილაკი მოძრაობს  $r$ -რადიუსიან წრეწირზე  $B$  ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში. იპოვეთ:

ა) ნაწილაკის იმპულსის ვექტორის სიდიდე;

ბ) ნაწილაკის კინეტიკური ენერგია;

გ) ნაწილაკის აჩქარება.

3.381. განსაზღვრეთ კინეტიკური ენერგიის ის მნიშვნელობები, როდესაც ელექტრონისა და პროტონის მიმოქცევის პერიოდი ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში  $\eta=1,0\%$ -ით მეტია მათი მიმოქცევის პერიოდზე არარელატივისტური სიჩქარით მოძრაობისას.

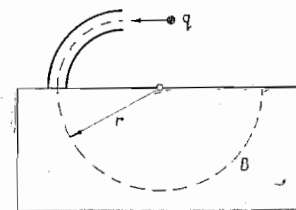
3.382.  $U=1,0$  კვ პოტენციალთა სხვაობით აჩქარებული ელექტრონი მოძრაობს ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში  $\alpha=30^\circ$ -ით  $B$  ვექტორთან, რომლის სიდიდე  $B=29$  მტლ. იპოვეთ ელექტრონის ტრაექტორიის ხრახნის ბიჯი.

3.383.  $U$  პოტენციალთა სხვაობით აჩქარებული არარელატივისტური დამუხტული ნაწილაკების სუსტად განშლადი კონა გამოდის  $A$  წერტილიდან წრფივი სოლენოიდის ღერძის გასწვრივ. მაგნიტური ველის ინდუქციის ორ მომდევნო  $B_1$  და  $B_2$  მნიშვნელობებისათვის კონა ფოკუსდება  $A$  წერტილიდან  $l$  მანძილზე. იპოვეთ ნაწილაკის  $q/m$  კუთრი მუხტი.

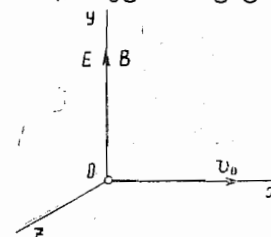
3.384. წრფივი სოლენოიდის ღერძზე მდებარე  $A$  წერტილიდან  $s$  სიჩქარით გამოდის არარელატივისტური ელექტრონი, რომელიც ღერძთან ადგენს  $\alpha$ -კუთხეს. მაგნიტური ველის ინდუქციაა  $B$ . იპოვეთ მანძილი ღერძიდან ელექტრონის ეკრანზე მოხვედრის წერტილაზდე, თუ ეკრანი ღერძის მართობულია და მდებარეობს  $l$  მანძილზე  $A$  წერტილიდან.

3.385.  $\alpha$ -რადიუსიანი ცილინდრული გამტარის ზედაპირიდან, რომელშიც გადის  $I$  მუდმივი დენი, გამტარის ზედაპირის მართობულად გამოიტყორცნება  $s_0$  საწყისი სიჩქარის მქონე ელექტრონი. რა მაქსიმალურ მანძილზე დაშორდება ელექტრონი გამტარის ღერძს, ვიდრე დაიწყებს უკან დაბრუნებას დენის მაგნიტური ველის გავლენით.

3.386. არარელატივისტურმა დამუხტულმა ნაწილაკმა გაიარა ცილინდრული კონდენსატორის ელექტრული ველი, შემდეგ კი მოხვდა  $B$  ინდუქციის ერთგვაროვან განივ მაგნიტურ ველში (ნახ. 3.100). კონდენსატორში ნაწილაკი მოძრაობს წრეწირის რკალის გასწვრივ, მაგნიტურ ველში კი  $r$  რადიუსის ნახევარწრეწირის გასწვრივ. კონდენსატორზე პოტენციალთა სხვაობაა  $U$ , ხოლო შემონაფენების რადიუსებია  $a$  და  $b$ , თანაც  $a < b$ . იპოვეთ ნაწილაკის სიჩქარე და მისი  $q/m$  კუთრი მუხტი.



ნახ. 3.100



ნახ. 3.101

3.387. იმ გარემოს კოორდინატთა  $O$  სათავიდან, სადაც შექმნილია  $y$  ღერძის პარალელური  $E$  დაძაბულობისა და  $B$  ინდუქციის ერთგვაროვანი ელექტრული და მაგნიტური ველი,  $x$  ღერძის გასწვრივ გამოვარდა  $q/m$  კუთრი მუხტის მქონე ნაწილაკი, რომლის საწყისი სიჩქარე  $v_0$ -ის ტოლია. არარელატივისტური შემთხვევისათვის იპოვეთ:

ა) ნაწილაკის  $y_n$  კოორდინატი იმ მომენტში, როდესაც ის  $n$ -ჯერ გადაკვეთს  $y$  ღერძს;

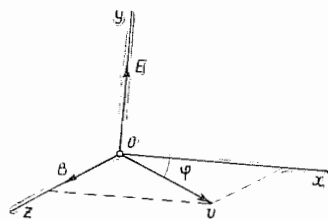
ბ)  $\alpha$  კუთხე ნაწილაკის სიჩქარის ვექტორსა და  $y$  ღერძს შორის ამ მომენტში.

3.388.  $q/m$  კუთრი მუხტისა და სხვადასხვა სიჩქარის მქონე ერთნაირი იონების ვიწრო კონა შედის იმ გარემოს (ნახ. 3.101)  $O$  წერტილში, სადაც შექმნილია  $E$  დაძაბულობისა და  $B$  ინდუქციის პარალელური ერთგვაროვანი ელექტრული და მაგნიტური ველი. კონის მიმართულება  $O$

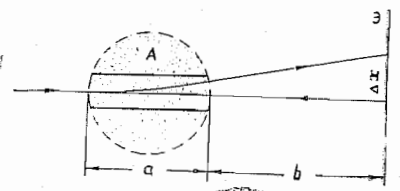
წერტილში ემთხვევა  $x$  ღერძს.  $O$  წერტილიდან  $L$  მანძილზე მოთავსებულია ბრტყელი ეკრანი, რომელიც ღერძის მართობულადაა ორიენტირებული. იპოვეთ იონების კვალის განტოლება ეკრანზე. აჩვენეთ, რომ  $x \ll L$ -თვის ის წარმოადგენს პარაბოლის განტოლებას.

3.389. არარელატივისტური პროტონების კონა გადახრის გარეშე ვრცელდება არეში, რომელშიც შექმნილია  $E=120$  კვ/მ დაძაბულობისა და  $B=50$  მტლ ინდუქციის მქონე ერთგვაროვანი, განივი, ურთიერთმართობი ელექტრული და მაგნიტური ველი. შემდეგ კონა ეჯახება ჩამიწებულ სამიზნეს. იპოვეთ კონის მხრიდან სამიზნეზე მოქმედი ძალა, თუ კონაში დენი  $I=0,80$  მა-ია.

3.390. არარელატივისტური პროტონები მოძრაობენ სწორხაზოვნად იმ არეში, სადაც შექმნილია  $E=4,0$  კვ/მ და  $B=50$  მტლ ერთგვაროვანი ურთიერთმართობი ელექტრული და მაგნიტური ველი, პროტონების ტრაექტორია მდებარეობს  $xz$  სიბრტყეში (ნახ. 3.102) და  $x$  ღერძთან ადგენს  $\varphi=30^\circ$ -იან კუთხეს. იპოვეთ იმ ხრახნის ბიჯი, რომლის გასწვრივაც იმოძრავენ პროტონები ელექტრული ველის გამორთვის შემდეგ.



ნახ. 3.102



ნახ. 3.103

3.391. არარელატივისტურ დამუხტულ ნაწილაკთა კონა გადის  $A$  არეს (ნახ. 3.103), რომელშიც შექმნილია  $E$  დაძაბულობისა და  $B$  ინდუქციის განივი ურთიერთმართობი ელექტრული და მაგნიტური ველი. თუ გამოვრთავთ მაგნიტურ ველს, კონის კვალი  $\exists$  ეკრანზე წაინაცვლებს  $\Delta x$ -ით. განსაზღვრეთ ნაწილაკთა  $q/m$  კუთრი მუხტი, თუ ცნობილია  $a$  და  $b$  მანძილები.

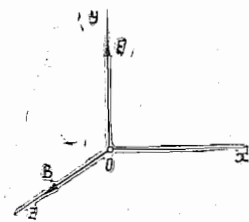
3.392.  $q/m$  კუთრი მუხტის მქონე ნაწილაკი მოძრაობს არეში, სადაც შექმნილია  $E$  დაძაბულობისა და  $B$  ინდუქციის ერთგვაროვანი ურთიერთმართობი ელექტრული და მაგნიტური ველები (ნახ. 3.104).  $t=0$  მომენტში ნაწილაკი იმყოფებოდა  $O$  წერტილში და ჰქონდა ნულოვანი სიჩქარე. იპოვეთ არარელატივისტური შემთხვევისათვის:

ა) ნაწილაკის მოძრაობის კანონი  $x(t)$  და  $y(t)$ ; რა სახე აქვს ტრაექტორიას?

ბ) ტრაექტორიის უბნის სიგრძე იმ ორ უახლოეს წერტილს შორის, სადაც ნაწილაკის სიჩქარე ნულის ტოლია;

გ) ნაწილაკის სიჩქარის ვექტორის გვერდის საშუალო მნიშვნელობა  $x$  ღერძზე (დრეფტული სიჩქარე).

3.393. სისტემა შედგება  $\alpha$ -რადიუსიანი გრძელი ცილინდრული ანოდისაგან და მასთან კოაქსიალური  $b$ -რადიუსიანი ცილინდრული კათოდისაგან ( $b < a$ ). სისტემის ღერძზე მოთავსებულია ვარვარების  $I$ -დენიანი ძაფი, რომელიც გარემომცველ სივრცეში წარმოქმნის მაგნიტურ ველს. იპოვეთ პოტენციალთა სხვაობის უმცირესი მნიშვნელობა კათოდსა და ანოდს შორის, რომლის დროსაც კათოდისა და ანოდს შორის სიჩქარით ამოტყორცნილი თერმოელექტრონები მიაღწევენ ანოდს.



ნახ. 3.104

3.394. მაგნეტრონი არის ხელსაწყო, რომელიც შედგება  $\alpha$ -რადიუსიანი ვარვარების ძაფისა და  $b$ -რადიუსიანი კოაქსიალური ცილინდრული ანოდისაგან. სისტემა მოთავსებულია ძაფის პარალელურ ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში. ძაფსა და ანოდს შორის მოდებულია ამაჩქარებელი  $U$  პოტენციალთა სხვაობა. იპოვეთ მაგნიტური ველის ინდუქციის ის მნიშვნელობა, როდესაც ძაფიდან უსაწყისო სიჩქარით ამოტყორცნილი ელექტრონები მიაღწევენ ანოდს.

3.395.  $q/m$  კუთრი მუხტის მქონე დამუხტული ნაწილაკი იწყებს მოძრაობას არეში, სადაც შექმნილია ერთგვაროვანი ურთიერთმართობი ელექტრული და მაგნიტური ველი. მაგნიტური ველი მუდმივია და მისი ინდუქციაა  $B$ , ელექტრული ველი კი იცვლება  $E=E_m \cos \omega t$  კანონით, სადაც  $\omega = qB/m$ . იპოვეთ ნაწილაკის მოძრაობის კანონი  $x(t)$  და  $y(t)$  არარელატივისტური შემთხვევისათვის, თუ  $t=0$  მომენტში ის იმყოფებოდა  $O$  წერტილში (იხ. ნახ. 3.104). სავარაუდოდ, როგორი სახე აქვს ნაწილაკის ტრაექტორიას?

3.396. ციკლოტრონის გენერატორის სიხშირე  $\nu=10$  მგჰც-ია, იპოვეთ ეფექტური ამაჩქარებელი ძაბვა ამ ციკლოტრონის ღუანტებზე, როდესაც მანძილი პროტონების ორ მეზობელ,  $r=0,5$  მ რადიუსიან ტრაექტორიებს შორის არ იქნება  $\Delta r=1,0$  სმ-ზე ნაკლები.

3.397. ციკლოტრონში პროტონებს აჩქარებენ ისე, რომ მათი ტრაექტორიის სიმრუდის მაქსიმალური რადიუსი  $r=50$  სმ. იპოვეთ:

ა) პროტონების კინეტიკური ენერგია აჩქარების ბოლოს, თუ ციკლოტრონში მაგნიტური ველის ინდუქცია  $B=1,0$  ტლ;



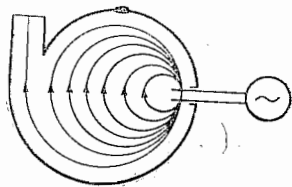
ბ) ციკლოტრონის გენერატორის მინიმალური სიხშირე, როგორც დროსა ციკლოტრონებს აჩქარების ბოლოს ექნებათ  $T=20$  მგევი კინეტიკური ენერგია.

3.398. ერთჯერად იონიზებულ  $He^+$  იონებს აჩქარებენ ციკლოტრონში ისე, რომ ორბიტის მაქსიმალური რადიუსი  $r=60$  სმ. ციკლოტრონის გენერატორის სიხშირე  $\nu=10,0$  მგჰც, ხოლო დუანტებს შორის ეფექტური ამაჩქარებელი ძაბვა  $U=50$  კვ. უგულებელყავით ღრეჩო დუანტებს შორის და იპოვეთ:

ა) იონების აჩქარების პროცესის მთელი დრო;

ბ) იონის მიერ აჩქარების მთელ ციკლში გავლილი მანძილის მიახლოებითი მნიშვნელობა.

3.399. ვინაიდან ელექტრონების მიმოქცევის პერიოდი ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში ენერგიის ზრდასთან ერთად სწრაფად იზრდება, ამიტომ ციკლოტრონი უფარგისი ხდება მათი აჩქარებისათვის. ეს ნაკლი აცილებულია მიკროტრონში (ნახ. 3.105), სადაც ელექტრონის მიმოქცევის პერიოდის  $\Delta T$  ცვლილება ამაჩქარებელი ველის  $T_0$  პერიოდის ჯერადია. რამდენჯერ უნდა გაიაროს ელექტრონმა მიკროტრონის ამაჩქარებელი შეაღული, რომ მან შეიძინოს  $W=4,6$  მგევი ენერგია, თუ  $\Delta T=T_0$ , ხოლო მაგნიტური ველის ინდუქცია  $B=107$  მტლ, ამაჩქარებელი ველის სიხშირე კი  $\nu=3000$  მგჰც?



ნახ. 3.105

3.400. ციკლოტრონი რომ არ მოიშალოს, რაც დაკავშირებულია ნაწილაკის მიმოქცევის პერიოდის ცვლილებასთან მისი ენერგიის ზრდის დროს, ნელა ცვლიან (ამოღულებენ) ამაჩქარებელი ველის სიხშირეს. რა კანონით უნდა ვცვალოთ ეს  $\omega(t)$  სიხშირე, თუ მაგნიტური ველის ინდუქციაა  $B$  და ნაწილაკი ერთი

ბრუნვის დროს იძენს  $\Delta W$  ენერგიას? ნაწილაკის მუხტია  $q$ , მასა  $m$ .

3.401.  $q/m$  კუთრი მუხტის ნაწილაკი მოთავსებულია წრიული კვეთის სოლენოიდის შიგნით მისი ღერძიდან  $r$  მანძილზე. გრაფიკში ჩართეს დენი და მაგნიტური ველის ინდუქცია გახდა  $B$ . იპოვეთ ნაწილაკის სიჩქარე და მისი ტრაექტორიის სიმრუდის რადიუსი, თუ ჩავთვლით, რომ სოლენოიდში დენის ზრდის განმავლობაში უგულებელყავით ნაწილაკის წანაცვლება.

3.402. ბეტატრონში  $r=25$  სმ რადიუსის წონასწორობი ორბიტის შიგნით მაგნიტური ნაკადი, აჩქარების დროის განმავლობაში, პრაქტიკულად, მუდმივი  $\Phi=5,0$  ვბ/წმ სიჩქარით იზრდება. იპოვეთ ელექტრონის მიერ შესრულებული ბრუნთა რიცხვი აჩქარების დროს და მის მიერ გავლილი შესაბამისი მანძილის მნიშვნელობა.

3.403. აჩვენეთ, რომ ბეტატრონში ელექტრონები იმოძრაებენ მუდმივი რადიუსის მქონე წრიული ორბიტის გასწვრივ იმ პირობით, თუ მაგნიტური ველის ინდუქცია ორბიტაზე ტოლი იქნება ორბიტის შიგნით ველის ინდუქციის საშუალო მნიშვნელობის ნახევრისა (ბეტატრონული პირობა).

3.404. ბეტატრონული პირობის დახმარებით იპოვეთ ელექტრონის წრიული ორბიტის რადიუსი, თუ ცნობილია მაგნიტური ველის ინდუქციის დამოკიდებულება ველის ღერძიდან  $r$  მანძილზე. განიხილეთ ეს საკითხი  $B=B_0 - ar^2$  ველის მაგალითზე, სადაც  $B_0$  და  $a$  დადებითი მუდმივებია.

3.405. ბეტატრონული პირობის დახმარებით აჩვენეთ, რომ გრივალური ელექტრონული ველის დაძაბულობას, ბეტატრონში წონასწორობი ორბიტაზე, აქვს ექსტრემუმი.

3.406. ბეტატრონში მაგნიტური ველის ინდუქცია  $r=20$  სმ რადიუსის წონასწორობი ორბიტაზე  $\Delta t=1,0$  მწმ დროის განმავლობაში იცვლება პრაქტიკულად მუდმივი სიჩქარით ნულიდან  $B=0,40$  ტლ-მდე. იპოვეთ ელექტრონის მიერ თითოეული ბრუნის დროს მიღებული ენერგია.

3.407. მაგნიტური ველის ინდუქცია ბეტატრონში  $r$  რადიუსის წონასწორობი ორბიტაზე აჩქარების დროს იცვლება ნულიდან  $B$ -მდე პრაქტიკულად მუდმივი სიჩქარით. თუ ჩათვლით, რომ ელექტრონის საწყისი სიჩქარე ნულის ტოლია, იპოვეთ:

ა) აჩქარების განმავლობაში ელექტრონის მიერ მიღებული ენერგია;

ბ) ელექტრონის მიერ გავლილი გზის შესაბამისი მნიშვნელობა, თუ აჩქარების დრო  $\Delta t$ -ს ტოლია.

რხევეები და ტალღები

4.1. მექანიკური რხევები

- პარმონიული რხევის განტოლება და მისი ამოხსნა:

$$\ddot{x} + \omega_0^2 x = 0 \quad x = a \cos(\omega_0 t + \alpha), \quad (4.1 \text{ ა})$$

სადაც  $\omega_0$  რხევის საკუთარი სიხშირეა.

- მიღებული რხევის განტოლება და მისი ამოხსნა:

$$\ddot{x} + 2\beta \dot{x} + \omega_0^2 x = 0, \quad x = a_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \alpha), \quad (4.1 \text{ ბ})$$

სადაც  $\beta$  მიღების კოეფიციენტი,  $\omega$  კი—მიღებული რხევის სიხშირე:

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}. \quad (4.1 \text{ გ})$$

- მიღების ლოგარითმული დეკრემენტი  $\lambda$  და ვარგისობა  $Q$ :

$$\lambda = \beta T, \quad Q = \pi / \lambda, \quad (4.1 \text{ დ})$$

სადაც  $T = 2\pi / \omega$

- იძულებითი რხევის განტოლება და მისი დამყარებული ამოხსნა:

$$\ddot{x} + 2\beta \dot{x} + \omega_0^2 x = f_0 \cos \omega t. \quad x = a \cos(\omega t - \varphi), \quad (4.1 \text{ ე})$$

სადაც

$$a = \frac{f_0}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2 \omega^2}}, \quad \tan \varphi = \frac{2\beta \omega}{\omega_0^2 - \omega^2}. \quad (4.1 \text{ ვ})$$

- წანაცვლების ამპლიტუდა აღწევს მაქსიმუმს, როდესაც:

$$\omega_{\text{რეზ}} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}. \quad (4.1 \text{ ზ})$$

- მაიქულებელი ძალის საშუალო სიმძლავრე დამყარებული რხევის დროს:

$$\langle P \rangle = 2\beta E_0 \text{ მაქს}, \quad (4.1 \text{ თ})$$

სადაც  $E_0$  მაქს—კინეტიკური ენერგიის მაქსიმალური მნიშვნელობაა.

4.1. წერტილი ასრულებს რხევას  $x$  ღერძის გასწვრივ  $x = a \cos(\omega t - \pi/4)$  კანონით. ააგეთ მიახლოებით:

ა)  $x$  წანაცვლების, სიჩქარის  $v_x$  გვეგმილისა და აჩქარების  $w_x$  გვეგმილის  $t$  დროზე დამოკიდებულების გრაფიკები;

ბ) სიჩქარის  $v_x$  გვეგმილისა და აჩქარების  $w_x$  გვეგმილის  $x$  კოორდინატ-ზე დამოკიდებულების გრაფიკები.

4.2. წერტილი მოძრაობს  $x$  ღერძის გასწვრივ  $x = a \sin^2(\omega t - \pi/4)$  კანონით. იპოვეთ:

ა) რხევის ამპლიტუდა და პერიოდი; ააგეთ  $x(t)$  გრაფიკი;

ბ) სიჩქარის  $v_x$  გვეგმილი, როგორც  $x$  კოორდინატის ფუნქცია; ააგეთ  $v_x(x)$  გრაფიკი.

4.3. ნაწილაკი ასრულებს პარმონიულ რხევას  $x$  ღერძის გასწვრივ  $x = 0$  წონასწორობის მდგომარეობის მახლობლობაში. რხევის სიხშირე  $\omega = 4,00 \text{ წმ}^{-1}$  რომელიმე მომენტში ნაწილაკის კოორდინატი  $x_0 = 25,0 \text{ სმ}$ , მისი სიჩქარე კი  $v_{x0} = 100 \text{ სმ/წმ}$ . იპოვეთ ნაწილაკის  $x$  კოორდინატი და  $v_x$  სიჩქარე ამ მომენტიდან  $t = 2,40 \text{ წმ}$ -ის შემდეგ.

4.4. იპოვეთ ნაწილაკის პარმონიული რხევის წრიული სიხშირე და ამპლიტუდა, თუ წონასწორობის მდებარეობიდან  $x_1$  და  $x_2$  მანძილებზე მისი სიჩქარე შეესაბამისად  $v_1$  და  $v_2$ .

4.5. რომელიმე წრფის გასწვრივ წერტილი ასრულებს  $T = 0,6 \text{ წმ}$  პერიოდისა და  $a = 10,0 \text{ სმ}$  ამპლიტუდის მქონე პარმონიულ რხევას. იპოვეთ წერტილის საშუალო სიჩქარე  $\langle v \rangle$  დროის იმ შუალედში, როდესაც ის გადის  $a/2$ -ის ტოლ მანძილს:

ა) კილური მდებარეობიდან;

ბ) წონასწორობის მდებარეობიდან.

4.6.  $t = 0$  მომენტში წერტილი იწყებს რხევას  $x$  ღერძის გასწვრივ  $x = a \sin \omega t$  კანონით. იპოვეთ მოძრაობის დაწყებიდან პერიოდის  $3/8$ -ის შემდეგ:

ა) წერტილის სიჩქარის ვექტორის გვეგმილის საშუალო მნიშვნელობა  $\langle v_x \rangle$ ;

ბ) სიჩქარის ვექტორის საშუალო მოდული  $|\langle v \rangle|$ ;

გ) სიჩქარის მოდულის საშუალო მნიშვნელობა  $\langle v \rangle$ .

4.7. ნაწილაკი მოძრაობს  $x$  ღერძის გასწვრივ  $x = a \cos \omega t$  კანონით. იპოვეთ მის მიერ გავლილი მანძილი  $t = 0$  მომენტიდან  $t$  მომენტამდე.

4.8.  $t = 0$  მომენტში ნაწილაკი იწყებს მოძრაობას  $x$  ღერძის გასწვრივ ისე, რომ მისი სიჩქარის გვეგმილი იცვლება  $v_x = 35 \cos \pi t \text{ სმ/წმ}$  კანონით, სადაც  $t$  იზომება წამებში. იპოვეთ ნაწილაკის მიერ გავლილი მანძილი მოძრაობის დაწყებიდან პირველ  $t = 2,80 \text{ წმ}$ -ში.

4.9. ნაწილაკი ასრულებს პარმონიულ რხევას  $x$  ღერძის გასწვრივ  $x = a \cos \omega t$  კანონით. ჩათვალოთ, რომ  $(-a, +a)$  ინტერვალში ნაწილაკის უოტნის  $P$  ალბათობა ერთი ტოლია და იპოვეთ  $dP/dx$  ალბათობის სიმკვრივის დამოკიდებულება  $x$ -ზე, სადაც  $dP$  წარმოადგენს ნაწილაკის მოხვედრის ალბათობას  $(x, x+dx)$  შუალედში. ააგეთ  $dP/dx$ -ის  $x$ -ზე დამოკიდებულების გრაფიკი.

4.10. გრაფიკის მიხედვით იპოვეთ იმ რხევის ამპლიტუდა  $a$ , რომელიც მიიღება ერთი მიმართულების მქონე შემდეგი რხევების შეკრების დროს:

ა)  $x_1 = 3,0 \cos(\omega t + \pi/3)$ ,  $x_2 = 8,0 \sin(\omega t + \pi/6)$ ;

ბ)  $x_1 = 3,0 \cos \omega t$ ,  $x_2 = 5,0 \cos(\omega t + \pi/4)$ ,  $x_3 = 6,0 \sin \omega t$ .

4.11. წერტილი ერთდროულად მონაწილეობს ორი ერთნაირი მიმართულების მქონე რხევით მოძრაობაში, რომლებიც სრულდება შემდეგი კანონით:  $x_1 = a \cos \omega t$  და  $x_2 = a \cos 2\omega t$ . იპოვეთ წერტილის მაქსიმალური სიჩქარე.

4.12. ორი ერთნაირი მიმართულების ჰარმონიული რხევის შეკრების დროს წერტილის ჯამური რხევა შემდეგი სახისაა:  $x = a \cos 2,1t \cos 50,0t$ , სადაც  $t$  იზომება წამებში. იპოვეთ შესაყარებ რხევათა წრიული სიხშირეები და ჯამური რხევის ძვერების პერიოდი.

4.13.  $A$  წერტილი ასრულებს რხევას გარკვეული ჰარმონიული კანონით ათვლის  $K'$  სისტემაში, რომელიც თავის მხრივ ჰარმონიულად ირხევა  $K$  სისტემის მიმართ. ორივე რხევა სრულდება ერთი და იმავე მიმართულების გასწვრივ.  $K'$  სისტემის რხევების 20 ან 24 ჰც სიხშირისათვის  $K$  სისტემაში წარმოქმნილი  $A$  წერტილის ძვერების სიხშირე  $\gamma$ -ს ტოლი აღმოჩნდა.  $K'$  სისტემის რხევას რა სიხშირისათვის გახდება  $A$  წერტილის ძვერების სიხშირე  $2\gamma$ -ს ტოლი?

4.14. წერტილი მოძრაობს  $xy$  სიბრტყეში შემდეგი კანონით:  $x = a \sin \omega t$ ,  $y = b \cos \omega t$ , სადაც  $a$ ,  $b$  და  $\omega$  დადებითი მუდმივებია. იპოვეთ:

ა) წერტილის ტრაექტორიის განტოლება  $y(x)$  და მისი მოძრაობის მიმართულება ტრაექტორიის გასწვრივ;

ბ) წერტილის  $w$  აჩქარების დამოკიდებულება  $r$  რადიუს-ვექტორზე კოორდინატთა სათავის მიმართ.

4.15. იპოვეთ წერტილის ტრაექტორიის განტოლება  $y(x)$ . თუ ის მოძრაობს შემდეგი კანონით:

ა)  $x = a \sin \omega t$ ,  $y = a \sin 2\omega t$ ;

ბ)  $x = a \sin \omega t$ ,  $y = a \cos 2\omega t$ .

აავეთ ამ ტრაექტორიების გრაფიკები.

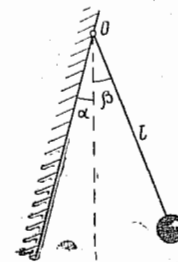
4.16.  $m$  მასის ნაწილაკი მოთავსებულია ერთგანზომილებიან პოტენციურ ველში, სადაც მისი პოტენციური ენერგია დამოკიდებულია კოორდინატზე შემდეგნაირად:  $U(x) = U_0(1 - \cos ax)$ ,  $U_0$  და  $a$  მუდმივებია. იპოვეთ ნაწილაკის მცირე რხევების პერიოდი წონასწორობის მდებარეობის მახლობლად.

4.17. გაეცით პასუხი წინა ამოცანაში დასმულ კითხვაზე, თუ პოტენციურ ენერგიას აქვს შემდეგი სახე:  $U(x) = a/x^2 - b/x$ , სადაც  $a$  და  $b$  დადებითი მუდმივებია.

4.18. ჰორიზონტალურად დაჭიმული  $l = 1,0$  მ სიგრძის სიმის შუაში დამაგრებულია  $m = 40$  გ მასის ბურთულა. იპოვეთ ბურთულას ვერტიკალური მცირე რხევების პერიოდი, თუ სიმის დაჭიმულობა  $F = 10$  ნ მუდმივია.

4.19. განსაზღვრეთ მათემატიკური საქანის ( $l = 20$  სმ სიგრძის ძაფზე დაკიდებული ბურთულა) მცირე რხევების პერიოდი, თუ ის მოთავსებულია სითხეში, რომლის სიმკვრივე  $\eta = 3,0$ -ჯერ ნაკლებია ბურთულას სიმკვრივეზე. სითხის წინააღმდეგობა უგულებელყავით.

4.20. ბურთულა დაკიდეს  $l$  სიგრძის ძაფზე კედლის  $O$  წერტილში. კედელი ვერტიკალთან ადგენს მცირე  $\alpha$  კუთხეს (ნახ. 4.1). ძაფი ბურთულასთან ერთად გადახარეს მცირე  $\beta$  ( $\beta > \alpha$ ) კუთხით და გაუშვეს. იპოვეთ ასეთი საქანის რხევის პერიოდი, თუ ბურთულას დაჯახება კედელთან აბსოლუტურად დრეკალია.



ნახ. 4.1.

4.21. ქანქარიანი საათი მოათავსეს ლიფტის კაბინაში, რომელმაც დაიწყო ასვლა  $w$  ( $w < g$ ) მუდმივი აჩქარებით.  $h$  სიმაღლეზე კაბინის აჩქარებამ, სიდიდის შეუცვლელად, შეიცვალა მიმართულება საპირისპიროდ. მოძრაობის დაწყებიდან რა ხნის შემდეგ იქნება სწორი საათის ჩვენება?



ნახ. 4.2.

4.22. გამოთვალეთ არეომეტრის მცირე რხევების პერიოდი (ნახ. 4.2), რომელსაც ნელა უბიძგეს ვერტიკალური მიმართულებით. არეომეტრის მასაა  $m = 50$  გ, მისი მილის რადიუსია  $r = 3,2$  მმ, სითხის სიმკვრივე კი  $\rho = 1,00$  გ/სმ<sup>3</sup>. უგულებელყავით სითხის წინააღმდეგობა.

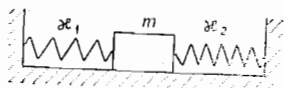
4.23. მოცემულია  $\alpha = 13$  ნ/მ სიხისტის არადეფორმირებული ზამბარა, რომლის ორივე ბოლო დამაგრებულია. ზამბარის ერთ-ერთი ბოლოდან მისი სიგრძის  $\eta = 1/3$  მანძილზე დაამაგრეს  $m = 25$  გ მასის მცირე ზომის სხეული. იპოვეთ მოცემული სხეულის მცირე სიგრძივი რხევების პერიოდი, თუ ზამბარის მასა და სხეულის სიმძიმის ძალა უგულებელყოფილია.

4.24. განსაზღვრეთ  $m$  მასის სხეულის მცირე სიგრძივი რხევების პერიოდი (ნახ. 4.3), თუ ზამბარების სიხისტეებია  $\alpha_1$  და  $\alpha_2$ , მათი მასები და ხახუნის უგულებელყოფილია.

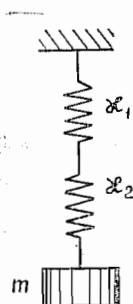
4.25. იპოვეთ  $m$  მასის მცირე ვერტიკალური რხევების პერიოდი (ნახ. 4.4). ზამბარების სიხისტეებია  $\alpha_1$  და  $\alpha_2$ , მათი მასები კი უგულებელყოფილია.

4.26. 2ℓ სიგრძის დაჭიმული სიზის შუაში დამაგრებულია მცირე მასის სხეული. წონასწორობის მდებარეობაში სიზის დაჭიმულობაა  $T_0$ . იპოვეთ სხეულის განივი მიმართულების მცირე რხევების კუთხური სიხშირე. სიზის მასა უგულებელყოფილია. სიმძიმის ძალას ნუ მიიღებთ მხედველობაში.

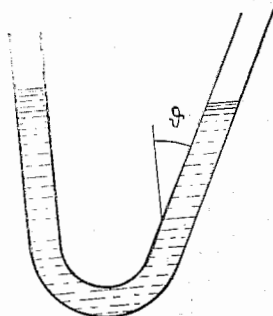
4.27. განსაზღვრეთ  $m = 200$  გ მასის ვერცხლის



ნახ. 4.3.



ნახ. 4.4.



ნახ. 4.5.

წყლის რხევის პერიოდი, თუ ის ჩასხმულია მოხრილ მილში (ნახ. 4.5). მილის მარჯვენა მუხლი ვერტიკალთან ადგენს  $\phi = 30^\circ$ . მილის განივკვეთი  $S = 0,50$  სმ<sup>2</sup>. ვერცხლისწყლის სიბლანტე უგულებელყოფილია.



ნახ. 4.6.

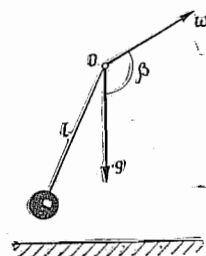
4.28. ორ სწრაფად მბრუნავ ცილინდრზე მოათავსეს ერთგვაროვანი ღერო (ნახ. 4.6). მანძილი ცილინდრების ღერძებს შორის  $l = 20$  სმ, ხახუნის კოეფიციენტი ღერძსა და ცილინდრებს შორის  $k = 0,18$ . აჩვენეთ, რომ ღერო შეასრულებს პარმონიულ რხევას და იპოვეთ მისი პერიოდი.

4.29. წარმოიდგინეთ შახტი, რომელიც განჭოლავს დედამიწას მისი ბრუნვის ღერძის გასწვრივ. დედამიწა ჩათვალეთ ერთგვაროვან სფეროდ, უგულებელყავით ჰაერის წინააღმდეგობა და იპოვეთ:

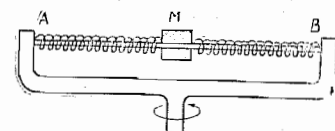
- შახტში ვარდნილი სხეულის მოძრაობის განტოლება;
- რამდენ ხანში მიაღწევს სხეული შახტის მეორე ბოლოს;
- სხეულის სიჩქარე დედამიწის ცენტრში.

4.30. იპოვეთ  $l$  სიგრძის მათემატიკური საქანის მცირე რხევების პერიოდი, თუ მისი დაკიდების  $O$  წერტილი მოძრაობს დედამიწის ზედაპირის მიმართ, ნებისმიერი მიმართულებით,  $w$  მუდმივი აჩქარებით (ნახ. 4.7).

გამოთვალეთ პერიოდი, როდესაც  $l = 21$  სმ,  $w = g/2$  და კუთხე  $w$  და  $g$  ვექტორებს შორის  $\beta = 120^\circ$ -ის ტოლია.



ნახ. 4.7.



ნახ. 4.8.

4.31. დანადგარში (ნახ. 4.8)  $m = 0,20$  კგ მასის  $M$  ქურო ორ ერთნაირ ზამბარას შორისაა დამაგრებული, რომელთა ჯამური სიხისტე  $\kappa = 20$  ნ/მ. ქურო თავისუფლად სრიალებს პორიზონტალური  $AB$  ღერძის გასწვრივ. დანადგარი ბრუნავს  $\omega = 4,4$  რად/წმ მუდმივი კუთხური სიჩქარით ღეროს შუაში გამავალი ვერტიკალური ღერძის გარშემო. იპოვეთ ქუროს მცირე რხევების პერიოდი.  $\omega$ -ს რა მნიშვნელობისათვის არ შესრულებს ქურო რხევას?

4.32. ფიცარი, მასზე მოთავსებული ძელაკით, ასრულებს  $a = 10$  სმ/ამპლიტუდის პორიზონტალურ პარმონიულ რხევას. იპოვეთ ხახუნის კოეფიციენტი ფიცარსა და ძელაკს შორის, თუ უკანასკნელი იწყებს სრიალს ფიცარზე, როდესაც მისი რხევის პერიოდი  $T = 1,0$  წმ-ზე უნაკლებია.

4.33. იპოვეთ 80 სმ სიგრძის მათემატიკური საქანის გადახრის კუთხის დამოკიდებულება დროზე, თუ საწყის მომენტში საქანი:

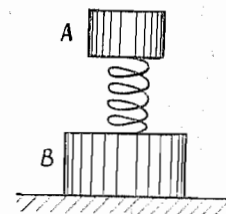
ა) გადახარეს  $3,0^\circ$  კუთხით და გაუშვეს ბიძგის გარეშე;

ბ) იმყოფებოდა წონასწორობის მდებარეობაში და მის ქვედა ბოლოს მიანიჭეს  $0,22$  მ/წმ პორიზონტალური სიჩქარე;

გ) გადახარეს  $3,0^\circ$  კუთხით და მის ქვედა ბოლოს მიანიჭეს წონასწორობის მდებარეობისაკენ მიმართული  $0,22$  მ/წმ სიჩქარე.

4.34.  $m_1 = 1,00$  კგ მასის  $A$  სხეული და

$m_2 = 4,10$  კგ მასის  $B$  სხეული დაკავშირებული არიან ერთმანეთთან ზამბარით (ნახ. 4.9).  $A$  სხეული ასრულებს  $a = 1,6$  სმ ამპლიტუდისა და  $\omega = 25$  წმ<sup>-1</sup> სიხშირის თავისუფალ ვერტიკალურ პარმონიულ რხევას.



ნახ. 4.9.



იპოვეთ ამ სისტემის საყრდენ სიბრტყეზე წნევის ძალის უდიდესი და უმცირესი მნიშვნელობები. ზამბარის მასა უგულებელყოფილია.

4.35. ფიცარი, რომელზეც დევს  $m$  მასის სხეული, იწყებს მოძრაობას ვერტიკალურად ზევით  $y=a(1-\cos \omega t)$  კანონით, სადაც  $y$  წანაცვლებაა საწყისი მდებარეობიდან, ხოლო  $\omega=11$  წმ<sup>-1</sup>. იპოვეთ:

ა) სხეულის მხრიდან ფიცარზე წარმოებული წნევის ძალის დამოკიდებულება დროზე, თუ  $a=4,0$  სმ; ააგეთ ამ დამოკიდებულების გრაფიკი;  
ბ) ფიცრის რხევის მინიმალური ამპლიტუდა, რომლის დროსაც სხეული ჩამორჩება მას;

გ) ფიცრის რხევის ამპლიტუდა, რომლის დროსაც სხეული ახტება  $h=50$  სმ სიმაღლეზე საწყისი მდებარეობის მიმართ ( $t=0$  მომენტში).

4.36. გაუჭიმავ ზამბარაზე, რომელიც ზედა ბოლოთია დამაგრებული, დაკიდეს და შემდეგ ბიძგის გარეშე გაუშვეს  $m$  მასის სხეული. ზამბარის სიხისტეა  $k$ . უგულებელყავით მისი მასა და იპოვეთ:

ა) სხეულის მოძრაობის კანონი  $y(t)$ , სადაც  $y$  მისი წანაცვლებაა საწყისი მდებარეობიდან;

ბ) ზამბარის მაქსიმალური და მინიმალური დაჭიმულობა მოძრაობის დროს.

4.37.  $m$  მასის ნაწილაკი მოძრაობს  $F=-\alpha m r$  ძალის გავლენით; აქ  $\alpha$  დადებითი მუდმივაა,  $r$ —ნაწილაკის რადიუს-ვექტორი კოორდინატთა სათავეს მიმართ. იპოვეთ მისი მოძრაობის ტრაექტორია, თუ საწყისი მომენტში  $r=r_0$ , ხოლო სიჩქარე  $v=v_0$ , სადაც  $i$  და  $j$   $x$  და  $y$  ღერძების ორთქები.

4.38. ლიფტის კაბინის ჭერზე დამაგრებულ ზამბარაზე დაკიდებულია  $m$  მასის სხეული. ზამბარის სიხისტეა  $k$ .  $t=0$  მომენტში კაბინა იწყებს ასვლას  $w$  აჩქარებით. უგულებელყავით ზამბარის მასა და იპოვეთ ტვირთის მოძრაობის  $y(t)$  კანონი კაბინის მიმართ, თუ  $y(0)=0$  და  $y'(0)=0$ . განიხილეთ ორი შემთხვევა:

ა)  $w=\text{const}$ ;

ბ)  $w=\alpha t$ , სადაც  $\alpha$  მუდმივაა.

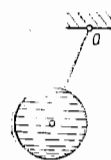
4.39.  $m=0,50$  კგ მასის სხეული დაკიდებულია  $k=50$  ნ/მ სიხისტის რეზინის ზონარზე. იპოვეთ მაქსიმალური მანძილი, რომელზეც შეიძლება ჩამოეწიოთ სხეული ქვემოთ, ისე, რომ მის რხევებს ჰქონდეს ჯერ კიდევ ჰარმონიული ხასიათი. როგორია ამ დროს სხეულის რხევის ენერგია?

4.40.  $m$  მასის სხეული ჩამოვარდა  $h$  სიმაღლიდან ზამბარიანი სასწორის პინაზე (ნახ. 4.10). ზამბარის სიხისტეა  $k$ . პინისა და ზამბარის მასები უგულებელყოფილია. სხეული მიეკრო პინას და მასთან ერთად დაიწყო ჰარმონიული რხევის შესრულება ვერტიკალური მიმართულებით. იპოვეთ რხევის ამპლიტუდა და მისი ენერგია.

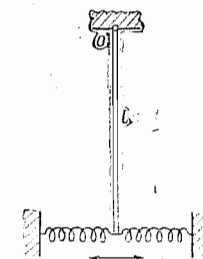
4.41. წინა ამოცანის პირობებში პინის მასაა  $M$ . იპოვეთ რხევის ამპლიტუდა ამ შემთხვევაში.

4.42.  $m$  მასის ნაწილაკი მოძრაობს  $xy$  სიბრტყეში სიჩქარეზე დამოკიდებული  $F=a(yi-xj)$  ძალის მოქმედებით, სადაც  $a$  დადებითი მუდმივაა,  $i$  და  $j$ — $x$  და  $y$  ღერძების ორთქები. საწყისი  $t=0$  მომენტში ნაწილაკი იმყოფებოდა  $x=y=0$  წერტილში და ჰქონდა  $v_0$  სიჩქარე  $j$  ორტის მიმართულების გასწვრივ. იპოვეთ ნაწილაკის მოძრაობის  $x(t)$ ,  $y(t)$  კანონი და ტრაექტორიის განტოლება.

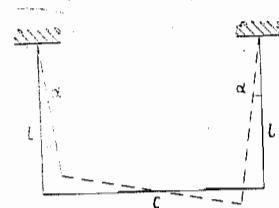
4.43. საქანი წარმოადგენს მხატე თხელკედლიან  $R$ -რადიუსიან, წყლით სავსე სფერულ ჭურჭელს (ნახ. 4.11). მანძილი ჩამოკიდების  $O$  წერტილიდან ჭურჭლის ცენტრამდე  $L$ -ის ტოლია. რამდენჯერ შეიცვლება ასეთი საქანის მცირე რხევების პერიოდი მას შემდეგ, რაც წყალი გაიყინება? წყლის სიბლანტეა და მისი მოცულობის ცვლილება გაყინვისას უგულებელყოფილია.



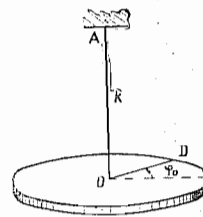
ნახ. 4.11.



ნახ. 4.12.



ნახ. 4.13.



ნახ. 4.14.

დროს ძაფები გადაიხარნენ  $\alpha=5,0^\circ$  კუთხით. შემდეგ ღერო გაათავისუფლეს და მან დაიწყო მცირე რხევების შესრულება. იპოვეთ:

ა) რხევების პერიოდი;

ბ) ღეროს რხევის ენერგია.

4.46. სისტემა (ნახ. 4.14) შედგება  $m$  მასისა და  $R$  რადიუსის პორიზონტალური ერთგვაროვანი  $D$  დისკოსაგან და წვრილი  $AO$  ღეროსაგან, რომლის გრძნის კოეფიციენტი  $k$ . იპოვეთ მცირე გრძნითი რხევების ამპლიტუდა და მათი ენერგია, თუ საწყის მომენტში დისკო მოაბრუნეს  $\phi_0$  კუთხით წონასწორობის მდებარეობიდან და მიანიჭეს  $\dot{\phi}_0$  კუთხური სიჩქარე.

4.47.  $m$  მასისა და  $l$  სიგრძის ერთგვაროვანი ღერო ასრულებს მცირე რხევას მის ზედა ბოლოზე გამავალი პორიზონტალური ღერძის გარშემო. იპოვეთ პერიოდის განმავლობაში ღეროს საშუალო კინეტიკური ენერგია, თუ საწყის მომენტში იგი გადახარეს ვერტიკალიდან  $\phi_0$  კუთხით და მიანიჭეს  $\dot{\phi}_0$  კუთხური სიჩქარე.

4.48. ფიზიკური საქანი დააყენეს ისე, რომ მისი სიმძიმის ცენტრი აღმოჩნდა დაკიდების წერტილის ზევით. ამ მდებარეობიდან საქანმა დაიწყო მოძრაობა მდგრადი წონასწორობის მდებარეობისაკენ, რომელიც გაიარა  $\alpha$  კუთხური სიჩქარით. უგულბელყოფით ხახუნი და იპოვეთ მოცემული საქანის მცირე რხევების პერიოდი.

4.49. ფიზიკური საქანი ასრულებს მცირე რხევას პორიზონტალური ღერძის გარშემო  $\omega_1 = 15,0$  წმ<sup>-1</sup> სიხშირით. თუ მასზე დავამატებთ  $m = 50$  გ მასის მცირე ზომის სხეულს  $l = 20$  სმ-ის მანძილზე ბრუნვის ღერძის ქვემოთ, მისი რხევის სიხშირე გახდება  $\omega_2 = 10,0$  წმ<sup>-1</sup>. იპოვეთ ამ საქანის ინერციის მომენტი ბრუნვის ღერძის მიმართ.

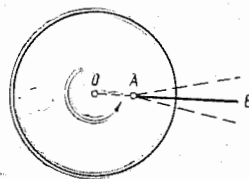
4.50. ორი ფიზიკური საქანი ასრულებს მცირე რხევებს ერთი და იმავე პორიზონტალური ღერძის გარშემო  $\omega_1$  და  $\omega_2$  სიხშირეებით. მოცემული ღერძის მიმართ მათი ინერციის მომენტებია შესაბამისად  $I_1$  და  $I_2$ . საქანები მოიყვანეს მდგრადი წონასწორობის მდგომარეობაში და მიამატეს ერთიმეორეს, როგორი იქნება შედგენილი საქანის მცირე რხევების სიხშირე?

4.51.  $l$  სიგრძის ერთგვაროვანი ღერო ასრულებს მცირე რხევას პორიზონტალური  $OO'$  ღერძის გარშემო, რომელიც გადის მის ერთ-ერთ წერტილში და ღეროს მართობულია. იპოვეთ ისეთი მანძილი ღეროს ინერციის ცენტრსა და  $OO'$  ღერძს შორის, რომ რხევის პერიოდი გახდეს უმცირესი. რას ეთანაბრება ეს მანძილი?

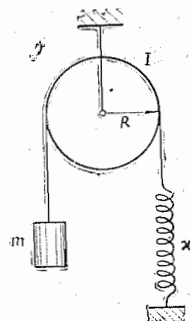
4.52. ტოლგვერდა სამკუთხედის ფორმის თხელი ერთგვაროვანი ფირფიტა ასრულებს მცირე რხევას მის ერთ-ერთ გვერდიდან თანხვედრილი პორიზონტალური ღერძის გარშემო. სამკუთხედის სიმაღლეა  $h$ . იპოვეთ რხევის პერიოდი და მოცემული საქანის დაყვანილი სიგრძე.

4.53. გლუვ პორიზონტალურ დისკოს აბრტუნებენ ვერტიკალური  $O$  ღერძის გარშემო (ნახ. 4.15)  $\alpha$  მუდმივი კუთხური სიჩქარით. მასზე მოთავსებულია  $l$  სიგრძის წვრილი ერთგვაროვანი  $AB$  ღერო, რომელიც

ასრულებს მცირე რხევას ვერტიკალური  $A$  ღერძის გარშემო.  $A$  ღერძი დამაგრებულია დისკოზე  $O$  ღერძიდან  $\alpha$  მანძილზე. იპოვეთ ამ რხევების სიხშირე  $\omega_0$ .



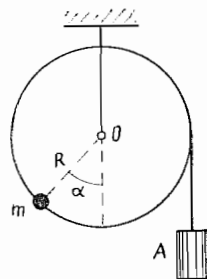
ნახ. 4.15.



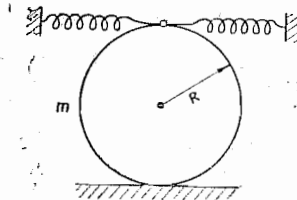
ნახ. 4.16.

4.54. იპოვეთ სისტემის (ნახ. 4.16) მცირე რხევების სიხშირე. ცნობილია ბლოკის  $R$  რადიუსი, მისი ინერციის მომენტი  $I$  ბრუნვის ღერძის მიმართ, სხეულის  $m$  მასა და ზამბარის  $k$  სიხისტე. ძაფისა და ზამბარის მასები უგულბელყოფილია; ძაფი ბლოკზე არ სრიალებს და ხახუნი ბლოკის ღერძში უგულბელყოფილია.

4.55.  $M$  მასისა და  $R$  რადიუსის ერთგვაროვანი ცილინდრულ ბლოკს შეუძლია თავისუფლად შემობრუნდეს პორიზონტალური  $O$  ღერძის გარშემო (ნახ. 4.17). ბლოკზე მჭიდროდაა დახვეული ძაფი, რომლის თავისუფალ ბოლოზე მიამაგრებულია  $A$  ტვირთი.  $\alpha$  კუთხის გარკვეული მნიშვნე-



ნახ. 4.17.



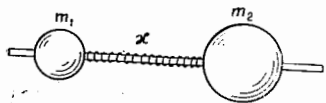
ნახ. 4.18.

ლობისათვის ეს ტვირთი აწონასწორებს ბლოკის ფერსოზე დამაგრებულ  $m$  მასის წერტილოვან სხეულს. იპოვეთ სისტემის მცირე რხევების სიხშირე.

4.56.  $r$ -რადიუსიანი ერთგვაროვანი ცილინდრი მიგორავს სრიალის გარეშე  $R$ -რადიუსიანი ცილინდრის შიდა ზედაპირზე. ამ დროს ცილინდრი ასრულებს მცირე რხევას. იპოვეთ მისი პერიოდი.

4.57.  $m$  მასის ერთგვაროვანი ცილინდრი ასრულებს მცირე რხევას ორი ზამბარის მოქმედებით, რომელთა საერთო სიხისტა  $\chi$  (ნახ. 4.18). იპოვეთ ამ რხევის პერიოდი, თუ სრიალი უგულებელყოფილია.

4.58.  $m_1$  და  $m_2$  მასის ორი კუბი შეაერთეს  $\chi$  სიხისტის უწონო ზამბარით და მოათავსეს გლუვ ჰორიზონტალურ ზედაპირზე. კუბები ოდნავ მიუხსლოვეს ერთმანეთს და ერთდროულად გაათავისუფლეს. იპოვეთ სისტემის საკუთარი რხევების სიხშირე.



ნახ. 4.19.

4.59.  $m_1 = 1,0$  კგ და  $m_2 = 2,0$  კგ მასის ორი სფერო წვრილ, გლუვ ჰორიზონტალურ ლერძზე ჩამოაცვეს (ნახ. 4.19). სფეროები დაუკავშირეს ერთი-

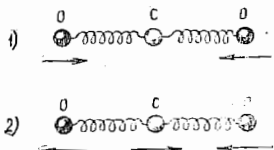
მეორეს მხატე  $\chi = 24$  ნ/მ სიხისტის ზამბარით. მარცხენა სფეროს მიანიჭეს  $v_1 = 12$  სმ/წმ საწყისი სიჩქარე. იპოვეთ:

- სისტემის რხევის სიხშირე მოძრაობის პროცესში;
- რხევის ენერგია და ამპლიტუდა.

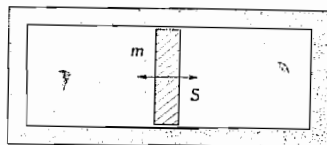
4.60. იპოვეთ ორი დისკოსაგან შემდგარი სისტემის მცირე გრენითი რხევების პერიოდი, თუ ისინი ჩამოცმულია წვრილ  $k$  გრენის კოეფიციენტის მქონე ლერძზე. ლერძს ლერძის მიმართ დისკოების ინერციის მომენტებია  $I_1$  და  $I_2$ .

4.61.  $CO_2$  მოლეკულის მოდელი წარმოადგენს ერთნაირი მხატე ზამბარებით მიერთებულ სამ ბურთულას, რომლებიც წონასწორობის მდგომარეობაში ერთი წრფის გასწვრივ არიან განლაგებული. ასეთ სისტემას შეუძლია შეასრულოს ორი სახის სიგრძივი რხევა (ნახ. 4.20). იპოვეთ ამ რხევების სიხშირეთა შეფარდება, თუ ატომთა მასები ცნობილია.

4.62. ორავე მხრიდან დახშულ ცილინდრში მოთავსებულია  $m$  მასისა და  $S$  ფართის მქონე დგუში. ცილინდრი სავსეა იდეალური გაზით (ნახ. 4.21). წონასწორობის მდგომარეობაში დგუში ყოფს ცილინდრს ორ ტოლ ნაწილად. თითოეული ნაწილის მოცულობაა  $V_0$ , ხოლო გაზის წნევა —  $p_0$ . დგუში ოდნავ გადაადგილეს წონასწორობის მდგომარეობიდან და გაათა-



ნახ. 4.20.

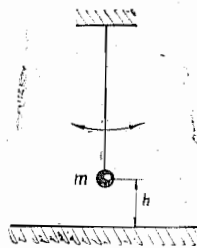


ნახ. 4.21.

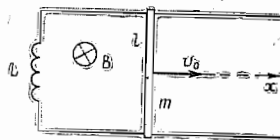
ვისუფლეს. იპოვეთ მისი რხევის სიხშირე, თუ გაზი ასრულებს ადიაბატურ პროცესს. ხახუნი უგულებელყავით.

4.63.  $m = 21$  გ მასის მცირე ზომის ბურთულა დაკიდებულია გაუმტარ ჯაფზე და იმყოფება  $h = 12$  სმ სიმაღლეზე დიდი ჰორიზონტალური გამტარი სიბრტყიდან. ბურთულა ასრულებს მცირე რხევას (ნახ. 4.22). მას შემდეგ, რაც მას მიანიჭეს რაღაც  $q$  მუხტი, რხევის პერიოდი  $\eta = 2,0$ -ჯერ შეიცვალა. იპოვეთ  $q$ .

4.64. მაგნიტური ისარი ასრულებს მცირე რხევას ველის მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მართობი ლერძის გარშემო. ველის ინდუქციის შეცვლისას ისარის რხევის პერიოდი შემცირდა  $\eta = 5,0$ -ჯერ. რამდენჯერ და როგორ შეიცვალა ველის ინდუქცია? რხევების მიღევა უგულებელყოფილია.



ნახ. 4.22.



ნახ. 4.23.

4.65. კონტური ორი პარალელური გამტართაა შედგენილი (ნახ. 4.23),  $L$  ინდუქციურობის სოლენოიდით და  $m$  მასის გამტარი ლერთი, რომელსაც თავისუფლად შეუძლია სრიალი (ხახუნის გარეშე) გამტარების გასწვრივ. გამტარები მოთავსებულია ჰორიზონტალურ სიბრტყეში,  $B$  ინდუქციის ერთგვაროვან ვერტიკალურ მაგნიტურ ველში. გამტარებს შორის მანძილია  $l$ .  $t = 0$  მომენტში ლერძს მიანიჭეს მარჯვნივ  $v_0$  საწყისი სიჩქარე. იპოვეთ მისი მოძრაობის  $x(t)$  კანონი, თუ კონტურის წინაღობა უგულებელყოფილია.

4.66.  $L$  ინდუქციურობის კოჭა აერთებს ორი ვერტიკალური სპილენძის სალტეების ზედა ბოლოებს, რომლებიც ერთიმეორისაგან  $l$  მანძილითაა დაშორებული. სალტეების გასწვრივ უსაწყისო სიჩქარით გარდება  $m$  მასის ჰორიზონტალური შესაკრავი — გამტარი სალტეებთან კონტაქტის დარღვევის გარეშე. მთელი სისტემა მოთავსებულია  $B$  ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში, რომელიც სალტეების სიბრტყის პერპენდიკულარულია. იპოვეთ გამტარის მოძრაობის განტოლება  $x(t)$ .

4.67. წერტილის მიღევადი რხევები წარმოებს  $x = a_0 e^{-\beta t} \sin \omega t$  კანონით. იპოვეთ:

- რხევების ამპლიტუდა და წერტილის სიჩქარე  $t = 0$  მომენტი-სათვის;

ბ) დროის მომენტები, როდესაც წერტილი აღწევს კიდურ მდებარეობებს.

4.68. სხეული ასრულებს გრძელ რხევას  $\varphi = \varphi_0 e^{-\beta t} \cos \omega t$  კანონით, იპოვეთ:

ა) სხეულის კუთხური სიჩქარე  $\dot{\varphi}$  და კუთხური აჩქარება  $\ddot{\varphi}$   $t=0$  მომენტისათვის;

ბ) დროის ის მომენტები, როდესაც კუთხური სიჩქარე ხდება მაქსიმალური.

4.69. წერტილი ასრულებს მიღვეად რხევებს  $y$  სინშირითა და მიღვეის  $\beta$  კოეფიციენტით (4.1 ბ) კანონის მიხედვით. იპოვეთ საწყისი ამპლიტუდა  $a_0$  და საწყისი ფაზა  $\alpha$ , თუ  $t=0$  მომენტისათვის წერტილის წანაცვლება და მისი სიჩქარის გეგმილი ტოლია:

ა)  $x(0)=0$  და  $v_x(0)=x_0$ ; ბ)  $x(0)=x_0$  და  $v_x(0)=0$ .

4.70. წერტილი ასრულებს  $\omega=25$  რად/წმ სინშირის მიღვეად რხევებს. იპოვეთ მიღვეის  $\beta$  კოეფიციენტი, თუ საწყის მომენტში წერტილის სიჩქარე ნულის ტოლია, მისი წანაცვლება კი წონასწორობის მდებარეობიდან ამ მომენტში  $\eta=1,20$ -ჯერ ნაკლებია ამპლიტუდაზე.

4.71. წერტილი ასრულებს  $y$  სინშირისა და მიღვეის  $\beta$  კოეფიციენტის მქონე მიღვეად რხევებს. იპოვეთ წერტილის სიჩქარის ამპლიტუდის დამოკიდებულება დროზე, თუ  $t=0$  მომენტისათვის:

ა) მისი წანაცვლების ამპლიტუდაა  $a_0$ ;

ბ) წერტილის წანაცვლება  $x(0)=0$  და მისი სიჩქარის გეგმილი  $v_x(0)=x_0$ .

4.72. მოცემულია ორი მიღვეადი რხევა, რომელთა  $T$  პერიოდი და მიღვეის  $\beta$  კოეფიციენტი ცნობილია:  $T_1=0,10$  მწმ,  $\beta_1=100$  წმ<sup>-1</sup> და  $T_2=10$  მწმ,  $\beta_2=10$  წმ<sup>-1</sup>. ამ რხევებიდან რომელი უფრო სწრაფად მიიღვეა?

4.73. მათემატიკური საქანი ასრულებს რხევებს გარემოში, სადაც მიღვეის ლოგარითმული დეკრემენტი  $\lambda_0=1,50$ . როგორი იქნება მიღვეის ლოგარითმული დეკრემენტი, თუ გარემოს წინააღმდეგობას გავზარდით  $n=2,00$ -ჯერ? რამდენჯერ უნდა გავზარდოთ გარემოს წინააღმდეგობა, რომ რხევაში შეუძლებელი იყოს?

4.74. უწონო ზამბარაზე დაკიდეს ტვირთი, რის შედეგად ზამბარა წაგრძელდა  $\Delta x=9,8$  სმ-ით. როგორი პერიოდით დაიწყებს რხევას ტვირთი, თუ მას ნელა უბიძგებთ ვერტიკალური მიმართულებით? მიღვეის ლოგარითმული დეკრემენტი  $\lambda=3,1$ .

4.75. იპოვეთ იმ ოსცილატორის ვარგისობა, რომლის წანაცვლების ამპლიტუდა  $\eta=20$ -ჯერ მცირდება ყოველ  $n=110$  რხევის შემდეგ.

4.76. ნაწილაკი გადაადგილეს წონასწორობის მდებარეობიდან

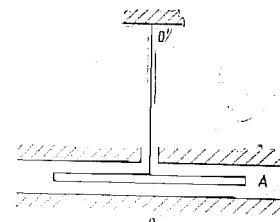
$l=1,0$  სმ ით და ხელი გაუშვეს. რა მანძილს გაივლის ეს ნაწილაკი რხევის შედეგად სრულ გაჩერებამდე, თუ მიღვეის ლოგარითმული დეკრემენტი  $\lambda=0,020$ ?

4.77. იპოვეთ  $l=50$  სმ სიგრძის მათემატიკური საქანის ვარგისობა, თუ  $\tau=5,2$  წთ დროის შუალედში მისი სრული მექანიკური ენერგია შემცირდა  $\eta=4,0 \cdot 10^4$ -ჯერ.

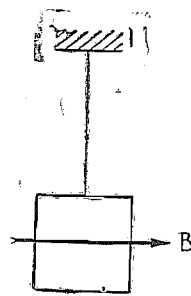
4.78.  $R=13$  სმ რადიუსიანი ერთგვაროვანი დისკო ბრუნავს ჰორიზონტალური ღერძის გარშემო, რომელიც დისკოს სიბრტყის პერპენდიკულარულია და გადის მის კიდეზე. იპოვეთ ამ დისკოს მცირე რხევების პერიოდი, თუ მიღვეის ლოგარითმული დეკრემენტი  $\lambda=1,00$ .

4.79.  $m$  მასისა და  $R$  რადიუსის თხელი ერთგვაროვანი დისკო დაკიდებულია ღრეკად ძაფზე ჰორიზონტალურ მდგომარეობაში და სითხეში ასრულებს გრძელ რხევას. ძაფის მხრიდან მოქმედი ღრეკადი ძალების მომენტი  $N=\alpha\varphi$ , სადაც  $\alpha$  მუდმივაა,  $\varphi$  კი—მობრუნების კუთხე წონასწორობის მდებარეობიდან. დისკოს ზედაპირის ერთეულზე მოქმედი წინააღმდეგობის ძალა  $F_r=\eta v$ , სადაც  $\eta$  მუდმივაა,  $v$  კი—დისკოს მოცემული ელემენტის სიჩქარე სითხის მიმართ. იპოვეთ მცირე რხევების სინშირე.

4.80.  $R$ -რადიუსიანი  $A$  დისკო ჩამოკიდებულია ღრეკად ძაფზე ორ უძრავ სიბრტყეს შორის (ნახ. 4.24) და ასრულებს გრძელ რხევებს საკუთარი  $OO'$  ღერძის გარშემო. ამ ღერძის მიმართ დისკოს ინერციის მომენტი  $I$ . ღრეკო დისკოსა და თითოეულ სიბრტყეს შორის  $h$ -ის ტოლია, თანაც,  $h \ll R$ . იპოვეთ  $A$  დისკოს გარემომცველი გაზის სიბლანტე, თუ დისკოს რხევის პერიოდია  $T$ , ხოლო მიღვეის ლოგარითმული დეკრემენტი— $\lambda$ .



ნახ. 4.24.



ნახ. 4.25.

4.81. გამტარი, რომელსაც  $\alpha$ -გვერდიანი კვადრატული ჩარჩოს ფორმა აქვს, დაკიდებულია ღრეკად ძაფზე და მოთავსებულია  $B$  ინდუქციის ერთგვაროვან ჰორიზონტალურ მაგნიტურ ველში. წონასწორობის მდებარეობაში ჩარჩოს სიბრტყე  $B$  ვექტორის პარალელურია (ნახ. 4.25). წონასწორული მდებარეობიდან გამოყვანისას ჩარჩო ასრულებს მცირე რხევას მის ცენტრზე გამავალი ვერტიკალური ღერძის გარშემო. ჩარჩოს ინერციის მომენტი ამ ღერძის მიმართ არის  $I$ , მისი ელექტრული წინააღობა კი— $R$ . უგულებელყავით ჩარჩოს ინდუქციურობა და იპოვეთ დრო, რომლის შემდეგაც მისი კუთხური მობრუნების ამპლიტუდა შემცირდება  $e$ -ჯერ.



4.82.  $k=0,10$  ხახუნის კოეფიციენტის პორიზონტალურ სიბრტყეზე მოთავსებულია  $m=0,50$  კგ მასის ძელაკი, რომელიც კედელთან არადეფორმირებული პორიზონტალური ზამბარითაა შეერთებული. ზამბარის სიხისტე  $\kappa=2,45$  ნ/სმ. მისი მასა უგულებელყოფილია. ძელაკი გადაადგილეს ისე, რომ ზამბარა წაგრძელდა  $x_0=3,0$  სმ-ით, შემდეგ კი გაათავისუფლეს. იპოვეთ:

- ძელაკის რხევის პერიოდი;
- ძელაკის მიერ შესრულებული რხევითა რიცხვი გაჩერებამდე.

4.83.  $m$  მასის ბურთულას შეუძლია შეასრულოს არამილევადი პარამონიული რხევა  $x=0$  წერტილის მახლობლად  $\omega_0$  საკუთარი სიხშირით.  $t=0$  მომენტში, როდესაც ბურთულა იმყოფებოდა წონასწორობის მდებარეობაში, მას მოსდეს  $x$  ღერძის თანხედენილი იძულებითი  $F_x = F_0 \cos \omega t$  ძალა. იპოვეთ ბურთულას იძულებითი რხევების კანონი  $x(t)$ .

4.84.  $m$  მასის ნაწილაკს შეუძლია შეასრულოს არამილევადი პარამონიული რხევა  $\kappa$  კოეფიციენტის დრეკადი ძალის მოქმედებით, როდესაც ნაწილაკი იმყოფებოდა წონასწორობის მდებარეობაში, მას მოსდეს  $F$  მუდმივი ძალა, რომელიც მოქმედებდა  $\tau$  წამის განმავლობაში. იპოვეთ ნაწილაკის რხევის ამპლიტუდა ამ ძალის მოქმედების შეწყვეტის შემდეგ. ააგეთ  $x(t)$  რხევის მიახლოებითი გრაფიკი, გამოიკვლიეთ შესაძლო შემთხვევები.

4.85. ზამბარა წაგრძელდა  $\Delta l$  სიდიდით მას შემდეგ, რაც მასზე დაკიდეს  $m$  მასის ბურთულა. გარეშე ვერტიკალური ძალის მოქმედებით, რომელიც პარამონიული კანონით იცვლება და რომლის ამპლიტუდა  $F_0$ -ის ტოლია, ბურთულა ასრულებს იძულებით რხევებს. მილევის ლოგარითმული დეკრემენტია  $\lambda$ . უგულებელყავით ზამბარის მასა და იპოვეთ იძულებითი ძალის წრიული სიხშირე, რომლის დროსაც ბურთულას წანაცვლების ამპლიტუდა მაქსიმალურია. განსაზღვრეთ ეს ამპლიტუდა.

4.86. იძულებითი პარამონიული რხევების წანაცვლების ამპლიტუდები  $a_1=400$  რად/წმ და  $a_2=600$  რად/წმ სიხშირეებისათვის ერთმანეთის ტოლია. იპოვეთ ის სიხშირე, რომელსაც შეესაბამება წანაცვლების ამპლიტუდის უდიდესი მნიშვნელობა.

4.87. იძულებითი პარამონიული ძალის  $a_1$  და  $a_2$  სიხშირეებისათვის ნაწილაკის სიჩქარის ამპლიტუდა უდიდესი მნიშვნელობის ნახევრის ტოლია. იპოვეთ:

- სიჩქარის რეზონანსის შესაბამისი სიხშირე;
- მილევის  $\beta$  კოეფიციენტი და ნაწილაკის მილევადი რხევების სიხშირე.

4.88. რომელიღაც რეზონანსული მრუდი შეესაბამება მილევის  $\lambda=1,60$  ლოგარითმული დეკრემენტის მქონე მექანიკურ მერხვე სისტემას, ამ მრუ-

დისათვის იპოვეთ ნიწილაკების უდიდესი ამპლიტუდის შეფარდება წანაცვლების ამპლიტუდასთან ძალიან მცირე სიხშირის დროს.

4.89. გარეშე, ვერტიკალური  $F_x = F_0 \cos \omega t$  ძალის მოქმედების შედეგად ზამბარაზე ჩამოკიდებული სხეული ასრულებს დამყარებულ იძულებით რხევას  $x = a \cos(\omega t - \varphi)$  კანონით. იპოვეთ  $F$  ძალის მუშაობა რხევის პერიოდის განმავლობაში.

4.90.  $m=50,0$  გ მასის ბურთულა ჩამოკიდებულია  $\kappa=20,0$  ნ/მ სიხისტის უწონო ზამბარაზე.  $\omega=25,0$  რად/წმ სიხშირის იძულებითი ვერტიკალური ძალის მოქმედებით ბურთულა ასრულებს  $a=1,3$  სმ ამპლიტუდის დამყარებულ რხევას. ამ დროს ბურთულას წანაცვლება  $\varphi = \frac{3}{4}\pi$ .

ფაზით ჩამორჩება იძულებით ძალას. იპოვეთ:

- მოცემული ოსცილატორის ვარგისობა;
- იძულებითი ძალის მუშაობა რხევის პერიოდის განმავლობაში.

4.91. უწონო ზამბარაზე ჩამოკიდებული  $m$  მასის ბურთულას შეუძლია შეასრულოს  $\beta$  მილევის კოეფიციენტის მქონე ვერტიკალური რხევები. რხევების საკუთარი სიხშირეა  $\omega_0$ . გარეშე ვერტიკალური  $F = F_0 \cos \omega t$  ძალის მოქმედებით ბურთულა ასრულებს დამყარებულ პარამონიულ რხევებს. იპოვეთ:

- $F$  ძალის საშუალო სიმძლავრე  $\langle P \rangle$  რხევის პერიოდის განმავლობაში;
- $F$  ძალის  $\omega$  სიხშირე, რომელსაც შეესაბამება  $\langle P \rangle$ -ს მაქსიმალური მნიშვნელობა; რას ეთანადებდა  $\langle P \rangle_{\max}$ -ს?

4.92. უწონო ზამბარაზე ჩამოკიდებულ ბურთულაზე ვერტიკალური მიმართულებით მოქმედებს გარეშე პერიოდული ძალა  $F$ , რომლის სიხშირე შეიძლება ვცვალოთ ამპლიტუდის შეუცვლელად. მილევის კოეფიციენტი  $\eta$ -ჯერ ნაკლებია ბურთულას რხევის  $\omega_0$  საკუთარ სიხშირეზე. რამდენი პროცენტით განსხვავდება  $F$  ძალის საშუალო სიმძლავრე  $\langle P \rangle$  პერიოდის განმავლობაში, წანაცვლების რეზონანსის შესაბამისი სიხშირის დროს. ამ ძალის საშუალო სიმძლავრის  $\langle P \rangle_{\max}$  მაქსიმალური მნიშვნელობისაგან?

4.93. ერთგვაროვანი პორიზონტალური დისკო თავისი ცენტრით დამაგრებულია დრეკად ვერტიკალურ ღეროზე და ძალთა  $N_z = N_m \cos \omega t$  მომენტის მოქმედებით ასრულებს იძულებით გრეხით რხევას. რხევა წარმოებს  $\varphi = \varphi_m \cos(\omega t - \alpha)$  კანონით. იპოვეთ:

- დისკოზე მოქმედი ხახუნის ძალის მუშაობა რხევის პერიოდის განმავლობაში;
- მოცემული ოსცილატორის ვარგისობა, თუ საკუთარი ღერძის მიმართ დისკოს ინერციის მომენტია  $I$ .

## 4.2. ელექტრული რხევები

● კონტურის მიღებული რხევები:

$$q = q_m e^{-\beta t} \cos(\omega t + \alpha),$$

სადაც

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}, \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad \beta = \frac{R}{2L}. \quad (4.2 \text{ ა})$$

● მიღების  $\lambda$  ლოგარითმული დეკრემენტი და კონტურის ვარგისობა განისაზღვრება (4.1 დ) ფორმულებით. სუსტი მიღების დროს:

$$\lambda = \pi R \sqrt{\frac{C}{L}}, \quad Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}. \quad (4.2 \text{ ბ})$$

● დამყარებული იძულებითი რხევები, კონტურში  $U = U_m \cos \omega t$  ძაბვის მიმდევრობით შეერთების დროს:

$$I = I_m \cos(\omega t - \varphi), \quad (4.2 \text{ გ})$$

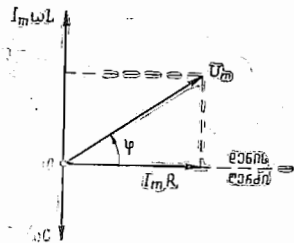
სადაც

$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}, \quad \text{tg} \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}. \quad (4.2 \text{ დ})$$

ძაბვების შესაბამისი ვექტორული დიაგრამა ნაჩვენებია 4.26 ნახაზზე.

● ცვლადი დენის წრედში გამოყოფილი სიმძლავრე:

$$P = IU \cos \varphi, \quad (4.2 \text{ ე})$$



ნახ. 4.26.

სადაც  $U$  და  $I$  ძაბვისა და დენის მოქმედი (ეფექტური) მნიშვნელობებია:

$$U = U_m / \sqrt{2}, \quad I = I_m / \sqrt{2} \quad (4.2 \text{ ვ})$$

4.94. რაღაც მიზეზის გამო სპილენძის ბრტყელ ფირფიტაში თავისუფალი ელექტრონები გადაადგილდნენ მცირე  $x$  მანძილით ფირფიტის ზედაპირის მართობულად. ამის შედეგად წარმოიქმნება ზედაპირული მუხტი და მისი შესაბამისი დამაბრუნებელი ძალა, რომელმაც გამოიწვია ეგრეთ წოდებული პლაზმური რხევების აგზნება. იპოვეთ ამ რხევების წრითული სიხშირე, თუ სპილენძში თავისუფალი ელექტრონების კონცენტრაცია  $n = 0,85 \cdot 10^{29} \text{ მ}^{-3}$ .

4.95. რხევით კონტურში, რომელიც შედგება  $C$  ტევადობის კონდენსატორისა და  $L$  ინდუქციურობის კოჭასაგან, სრულდება თავისუფალი არამიღვადი რხევები. კონდენსატორზე ძაბვის ამპლიტუდაა  $U_m$ ; იპოვეთ კავშირი კონტურში  $I$  დენსა და კონდენსატორზე  $U$  ძაბვას შორის დრო-

ის ნებისმიერი მომენტისათვის. ეს საკითხი ამოხსენით როგორც ომის კანონის საფუძველზე, ასევე ენერგიის მუდმივობის კანონის დახმარებით.

4.96. რხევით კონტურში ჩართულია  $C$  ტევადობის კონდენსატორი, უმნიშვნელო წინააღობის  $L$  ინდუქციურობის კოჭა და ჩამრთველი. გამორთული წრედის დროს კონდენსატორი დამუხტეს  $U_m$  ძაბვამდე, შემდეგ კი,  $t=0$  მომენტში წრედი შეკრეს. იპოვეთ:

ა) კონტურში დენის დამოკიდებულება დროზე;

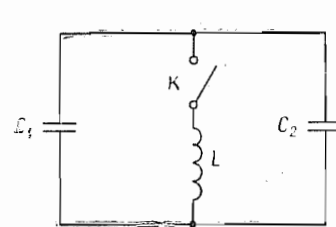
ბ) თვითინდუქციის ე.მ.დ. კოჭაში იმ მომენტისათვის, როდესაც კონდენსატორის ელექტრული ენერგია აღმოჩნდება კოჭაში დენის ენერგიის ტოლი.

4.97. რხევით კონტურში, რომელიც შედგება ბრტყელი კონდენსატორისა და უმნიშვნელო აქტიური წინააღობის მქონე ინდუქციური კოჭასაგან, წარმოებს  $W$  ენერგიის რხევები. კონდენსატორის ფირფიტები ნელა გასწიეს ისე, რომ რხევის სიხშირე  $\eta$ -ჯერ გაიზარდა. იპოვეთ ამ დროს შესრულებული მუშაობა.

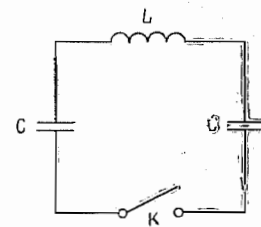
4.98. რხევით კონტურში (ნახ. 4.27) კოჭას ინდუქციურობა  $L=2,5$  მჰნ, კონდენსატორების ტევადობა  $C_1=2,0$  მკფ და  $C_2=3,0$  მკფ. კონდენსატორები დამუხტეს  $U=180$  ვ ძაბვამდე და წრედი შეკრეს  $K$  ჩამრთველით. იპოვეთ:

ა) საკუთარი რხევების პერიოდი;

ბ) კოჭაზე გამავალი დენის ამპლიტუდური მნიშვნელობა.



ნახ. 4.27.



ნახ. 4.28.

4.99. ელექტრულ წრედს (ნახ. 4.28) აქვს უმნიშვნელო მცირე აქტიური წინააღობა. მარცხენა კონდენსატორი დამუხტეს  $U_0$  ძაბვამდე, შემდეგ კი  $t=0$  მომენტში წრედი შეკრეს  $K$  ჩამრთველით. იპოვეთ ძაბვების დამოკიდებულება დროზე, მარცხენა და მარჯვენა კონდენსატორებზე.

4.100. რხევითი კონტური შედგება  $L$  ინდუქციურობის კოჭასა და  $C$  ტევადობის კონდენსატორისაგან. კოჭასა და მიმყვანი სადენების წინააღობა უმნიშვნელოა. კოჭა მოთავსებულია მუდმივ მაგნიტურ ველში ისე, რომ კოჭას ყველა ხეიას გამსჭვალავი ჯამური ნაკადია  $\Phi$ .  $t=0$  მომენტში გამორთეს მაგნიტური ველი. გაითვალისწინეთ, რომ გამორთვის დრო

ბევრად ნაკლებია კონტურის საკუთარი რხევის პერიოდთან შედარებით და იპოვეთ კონტურში დენის დამოკიდებულება  $t$  დროზე.

4.101. კონტურში სრულდება თავისუფალი მიღევადი რხევა, რომლის დროსაც ძაბვა კონდენსატორზე იცვლება  $U = U_m e^{-\beta t} \cos \omega t$  კანონით. იპოვეთ დროის ის მომენტები, როდესაც ძაბვის სიდიდე კონდენსატორზე ლებულობს:

- ამპლიტუდურ მნიშვნელობებს;
- მაქსიმალურ (ექსტრემალურ) მნიშვნელობებს.

4.102. რხევითი კონტური შეიცავს  $C$  ტევადობის კონდენსატორს,  $L$  ინდუქციურობის კოჭას, აქტიურ  $R$  წინაღობასა და  $K$  ჩამრთველს. გამორთული წრედის დროს კონდენსატორი დამუხტეს, შემდეგ წრედი შეკრეს და კონტურში აღიძრა რხევები. იპოვეთ კონდენსატორზე ძაბვის შეფარდება მის ამპლიტუდურ მნიშვნელობასთან უშუალოდ წრედის ჩართვის მომენტში.

4.103.  $C$  ტევადობისა და  $L$  ინდუქციურობის მქონე კონტურში სრულდება თავისუფალი მიღევადი რხევა, რომლის დროსაც დენი იცვლება  $I = I_m e^{-\beta t} \sin \omega t$  კანონით. იპოვეთ კონდენსატორზე ძაბვა, როგორც დროის ფუნქცია და კერძოდ  $t=0$  მომენტში.

4.104. რხევითი კონტური შედგება  $C=4,0$  მკფ ტევადობის კონდენსატორის,  $L=2,0$  მჰ ინდუქციურობის კოჭასა და  $R=10$  ომი აქტიური წინაღობისაგან. იპოვეთ კოჭას მაგნიტური ველის ენერგიის შეფარდება კონდენსატორის ელექტრული ველის ენერგიასთან, როდესაც დენი აღწევს მაქსიმალურ მნიშვნელობას.

4.105. რხევითი კონტური შეიცავს ორ მიმდევრობით შეერთებულ კოჭას, რომელთა აქტიური წინაღობებია  $R_1$  და  $R_2$ . ინდუქციურობები კი— $L_1$  და  $L_2$ , თანაც მათი ურთიერთინდუქციურობა უგულებელყოფილია. ორივე ეს კოჭა უნდა შევცვალოთ ერთი კოჭათი ისე, რომ კონტურის სიხშირე და ვარგისობა არ შეიცვალოს. იპოვეთ ასეთი კოჭის ინდუქციურობა და აქტიური წინაღობა.

4.106. იპოვეთ ის დრო, რომლის განმავლობაშიც დენის რხევის ამპლიტუდა  $Q=5000$  ვარგისობის კონტურში შემცირდება  $\eta=2,0$ -ჯერ, თუ რხევის სიხშირე  $\nu=2,2$  მგჰც-ია.

4.107. რხევითი კონტური შედგება  $C=10$  მკფ ტევადობის,  $L=25$  მჰ ინდუქციურობისა და  $R=1,0$  ომი აქტიური წინაღობისაგან. რამდენი რხევის შემდეგ შემცირდება დენის ამპლიტუდა ამ კონტურში  $e$ -ჯერ?

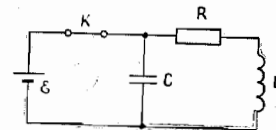
4.108. რამდენი პროცენტით განსხვავდება  $Q=5,0$  ვარგისობის კონტურის თავისუფალი რხევების  $\omega$  სიხშირე ამ კონტურის საკუთარი რხევების  $\omega_0$  სიხშირისაგან?

4.109. სქემაში (ნახ. 4.29) ელემენტის ე.მ.დ.  $\mathcal{E}=2,0$  ვ-ია, მისი შიგა წინაღობა  $r=9,0$  ომი, კონდენსატორის ტევადობა  $C=10$  მკფ, კოჭას

ინდუქციურობა  $L=100$  მჰნ, ხოლო წინაღობა  $R=1,0$  ომი. რომელი-ღაც მომენტში წრედი გამორთეს. იპოვეთ კონტურში რხევის ენერგია:

ა) უშუალოდ წრედის გამორთვისას;

ბ) წრედის გამორთვიდან  $t=3,0$  წმ-ის შემდეგ.



ნახ. 4.29.

4.110.  $Q=50$  ვარგისობისა და რხევის საკუთარი  $\nu_0=5,5$  კჰც სიხშირის მქონე კონტურში აღიძრულია მიღევადი რხევები. რამდენ ხანში შემცირდება კონტურში მომარაგებული ენერგია  $\eta=2,0$ -ჯერ?

4.111. რხევითი კონტური შეიცავს გამუხონავ კონდენსატორს. კონდენსატორის ტევადობაა  $C$ , მისი აქტიური წინაღობა კი— $R$ . კოჭას ინდუქციურობაა  $L$ . კოჭასა და მიმყვანი სადენების წინაღობა უგულებელყოფილია. იპოვეთ:

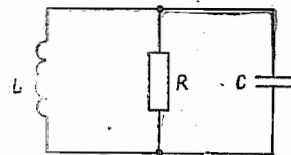
ა) ასეთი კონტურის მიღევადი რხევების სიხშირე;

ბ) კონტურის ვარგისობა.

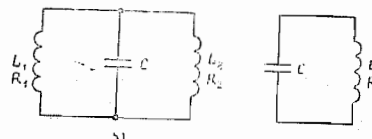
4.112. იპოვეთ  $C=2,0$  მკფ ტევადობისა და  $L=5,0$  მჰნ ინდუქციურობის კონტურის ვარგისობა, თუ კონდენსატორზე  $U_m=1,0$  ვ ძაბვის ამპლიტუდის არამიღევადი რხევების შენარჩუნებისათვის საჭიროა კონტურს მივაწოდოთ  $\langle P \rangle = 0,10$  ვტ სიმძლავრე. კონტურში რხევების მიღევა უმნიშვნელოა.

4.113. როგორი საშუალო სიმძლავრე უნდა მივაწოდოთ აქტიური  $R=0,45$  ომი წინაღობის მქონე რხევით კონტურს, რომ მასში შევინარჩუნოთ  $I_m=30$  მა ამპლიტუდიანი დენის არამიღევადი პარამონიული რხევები?

4.114. რხევითი კონტური შედგება  $C=1,2$  ნფ ტევადობის კონდენსატორის,  $L=6,0$  მკჰ ინდუქციურობის კოჭასა და  $R=0,50$  ომი აქტიური წინაღობისაგან. როგორი საშუალო სიმძლავრე უნდა მივაწოდოთ კონტურს, რომ მასში შევინარჩუნოთ არამიღევადი პარამონიული რხევები, თუ კონდენსატორზე ძაბვის ამპლიტუდა  $U_m=10$  ვ?



ნახ. 4.30.



ნახ. 4.31.

4.415. იპოვეთ 4.30 ნახაზზე მოცემული კონტურის მიღევადი რხევების სიხშირე. ცნობილია  $C$  ტევადობა,  $L$  ინდუქციურობა და  $R$  აქ-

ტიური წინაღობა. გამოარკვეით, როგორი თანაფარდობა უნდა იყოს  $C$ ,  $L$  და  $R$  სიდიდეებს შორის, რომ შესაძლებელი იყოს რხევების არსებობა.

4.116. მოცემულია ორი რხევითი კონტური (ნახ. 4.31) ერთნაირი ტევადობის კონდენსატორებით. როგორი თანაფარდობა უნდა არსებობდეს ინდუქციურობებსა და კოჭების აქტიურ წინაღობებს შორის, რომ ორივე კონტურში თავისუფალი რხევების სიხშირე და მილევა იყოს ერთნაირი? მარცხენა კონტურის კოჭების ურთიერთინდუქციურობა უგულებელყოფილია.

4.117. კონტური შედგება მიმდევრობით შეერთებულ  $C$  ტევადობის კონდენსატორის,  $L$  ინდუქციურობის კოჭას, ჩამრთველისა და მოცემული კონტურისათვის კრიტიკული მნიშვნელობის ტოლი წინაღობისაგან. გამართული წრედის დროს კონდენსატორი დამუხტეს  $U_0$  ძაბვამდე, ხოლო  $t=0$  მომენტში წრედი შეკრეს. იპოვეთ კონტურში  $I$  დენის დამოკიდებულება დროზე. რას ეთანადება  $I_{\max}$ ?

4.118.  $R$  აქტიური წინაღობისა და  $L$  ინდუქციურობის მქონე კოჭა  $t=0$  მომენტში მიუერთეს  $U = U_m \cos \omega t$  ძაბვის წყაროს. იპოვეთ კოჭაში დენის დამოკიდებულება დროზე.

4.119. წრედი, რომელიც შედგება მიმდევრობით შეერთებული  $C$  ტევადობის კონდენსატორისა და  $R$  წინაღობისაგან,  $t=0$  მომენტში მიუერთეს ცვლადი  $U = U_m \cos \omega t$  ძაბვის წყაროს. იპოვეთ წრედში დენის დამოკიდებულება დროზე.

4.120. გრძელი ერთშრიანი სოლენოიდი დამზადებულია  $\rho$  კუთრი წინაღობის მავთულისაგან. სიგრძის ერთეულზე მჭიდროდ განლაგებული ხვიების რაოდენობაა  $n$ . მავთულის იზოლაციის სისქე უგულებელყოფილია. სოლენოიდის კვეთის რადიუსია  $a$ . იპოვეთ ფაზათა სხვაობა დენსა და  $v$  სიხშირის ძაბვას შორის, რომელიც სოლენოიდის ბოლოებზეა მოდებული.

4.121. წრედი, რომელიც შედგება მიმდევრობით შეერთებული  $R = 110$  ომი აქტიური წინაღობისა და კონდენსატორისაგან, მიუერთეს  $U_m = 110$  ვ ამპლიტუდის ცვლადი ძაბვის წყაროს. ამ დროს წრედში დამყარებული დენის ამპლიტუდა  $I_m = 0,50$  ა. იპოვეთ ფაზათა სხვაობა დენსა და მოდებულ ძაბვას შორის.

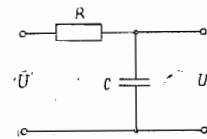
4.122. 4.32 ნახაზზე ნაჩვენებია მასწორებელი ფილტრის უმარტივესი სქემა. მარცხენა შესავალზე აწვდიან  $U = U_0(1 + \cos \omega t)$  ძაბვას. იპოვეთ:

ა) გამოშვებული ძაბვა  $U'(t)$ ;  
ბ)  $RC$  სიდიდის მნიშვნელობა, როდესაც გამოსავალზე ძაბვის ცვლადი მდგენელის ამპლიტუდა  $\eta = 7,0$ -ჯერ ნაკლები იქნება მუდმივ მდგენელზე, თუ  $\omega = 314$  წმ<sup>-1</sup>.

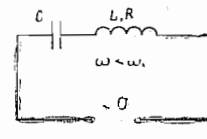
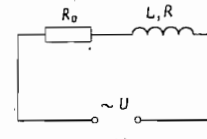
4.123. ააგეთ ძაბვების მიახლოებითი ვექტორული დიაგრამები ელე-

ქტრულ წრედებში (ნახ. 4.33, ა, ბ). იგულისხმება, რომ გარეშე ძაბვა  $U$  ჰარმონიულია და მისი სიხშირე  $\omega$ -ს ტოლია.

4.124. წრედი, რომელიც შედგება მიმდევრობით შეერთებული  $C = 22$  მკვ ტევადობის კონდენსატორისაგან, აქტიური  $R = 20$  ომი წინაღობისა და  $L = 0,35$  ჰნ ინდუქციურობის კოჭასაგან,  $U_m = 180$  ვ ამპლი-



ნახ. 4.32.



ნახ. 4.33.

ტუდისა და  $\omega = 3,14$  წმ<sup>-1</sup> სიხშირის ცვლადი ძაბვის ქსელშია შეერთებული. იპოვეთ:

- დენის ამპლიტუდა წრედში;
- ფაზათა სხვაობა დენსა და გარეშე ძაბვას შორის;
- ძაბვის ამპლიტუდები კონდენსატორზე და კოჭაზე.

4.125. წრედი, რომელიც შედგება  $C$  ტევადობის კონდენსატორისაგან,  $R$  წინაღობისა და უმნიშვნელო აქტიური წინაღობის მქონე  $L$  ინდუქციურობის კოჭასაგან, მიუერთეს სინუსოიდური ძაბვის გენერატორს, რომლის სიხშირე შეიძლება ვცვალოთ მუდმივი ამპლიტუდის დროს. იპოვეთ ის სიხშირე, რომლისთვისაც ძაბვის ამპლიტუდა იქნება მაქსიმალური:

- კონდენსატორზე;
- კოჭაზე.

4.126. წრედის ბოლოებზე, რომელიც შედგება მიმდევრობით შეერთებული კონდენსატორისაგან,  $R = 40$  ომი აქტიური წინაღობისა და  $L = 0,36$  ჰნ ინდუქციურობის კოჭასაგან, მოდებულია  $\omega = 314$  წმ<sup>-1</sup> სიხშირისა და  $U_m = 180$  ვ ამპლიტუდის ცვლადი ძაბვა. კონდენსატორის ტევადობის რა მნიშვნელობისთვის იქნება კოჭაზე ძაბვის ამპლიტუდა მაქსიმალური? იპოვეთ ეს ამპლიტუდა და ძაბვის შესაბამისი ამპლიტუდა კონდენსატორზე.

4.127.  $C$  ტევადობის კონდენსატორი, რომლის შემონაფენებს შორის სივრცე შევსებულია  $R$  აქტიური წინაღობის მქონე სუსტად გამტარი ნივთიერებით, მიუერთეს ცვლადი  $U = U_m \cos \omega t$  ძაბვის წყაროს. იპოვეთ დამყარებული დენის დამოკიდებულება დროზე მიმცემ სადენებში. სადენების წინაღობა უგულებელყოფილია.

4.128. რხევითი კონტური შედგება  $C$  ტევადობის კონდენსატორისა და  $L$  ინდუქციურობის სოლენოიდისაგან. სოლენოიდი ინდუქციურადაა



დაკავშირებული უმნიშვნელო აქტიური წინაღობისა და  $L_2$  ინდუქციურობის მქონე მოკლედ ჩართულ კოჭასთან. მათი ურთიერთინდუქციის კოეფიციენტი  $L_{12}$ . იპოვეთ მოცემული რხევითი კონტურის საკუთარი სიხშირე.

4.129. იპოვეთ ვარგისობა რხევითი კონტურისა, რომელშიც მიმდევრობით ჩართულია ცვლადი ე.მ.დ.-ის წყარო, თუ რეზონანსის დროს ძაბვა კონდენსატორზე  $n$ -ჯერ აღემატება ძაბვას წყაროს მომქმედებზე.

4.130. მიმდევრობით შეერთებული კოჭასა და კონდენსატორისაგან შემდგარი წრედი ჩართულია ცვლადი ე.მ.დ.-ის მქონე წყაროსთან, თანაც, კოჭას ინდუქციურობა შეერთებულია ისე, რომ დენი წრედში მაქსიმალურია. იპოვეთ სისტემის ვარგისობა, თუ ცნობილია, რომ ინდუქციურობის  $n$ -ჯერ გაზრდისას დენი წრედში მცირდება  $\eta$ -ჯერ.

4.131. მიმდევრობით შეერთებული კონდენსატორისა და აქტიური წინაღობის მქონე კოჭასაგან შედგენილი წრედი შეერთებულია პარაზონული ძაბვის წყაროსთან, რომლის სიხშირე შეიძლება ცვალთ ძაბვის ამპლიტუდის შეუცვლელად.  $\omega_1$  და  $\omega_2$  სიხშირეებისათვის დენის ამპლიტუდა  $n$ -ჯერ ნაკლები აღმოჩნდა რეზონანსულ ამპლიტუდაზე. იპოვეთ:

ა) რეზონანსული სიხშირე; ბ) წრედის ვარგისობა.

4.132. აჩვენეთ, რომ კონტურში, რომელშიც ხორციელდება იძულებითი რხევები, მცირე მილევის დროს ვარგისობა  $Q \approx \omega_0/\Delta\omega$ , სადაც  $\omega_0$  რხევების საკუთარი სიხშირეა, ხოლო  $\Delta\omega$ —რეზონანსული  $I(\omega)$  მრუდის სიგანე, იმ „სიმაღლეზე“, რომელიც  $\sqrt{2}$ -ჯერ ნაკლებია დენის ამპლიტუდაზე რეზონანსის დროს.

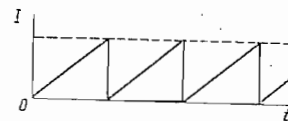
4.133. წრედის ბოლოებზე, რომელიც შედგება მიმდევრობით შეერთებული კონდენსატორისა და კოჭასაგან, მიწოდებულია ორი ერთნაირი ამპლიტუდისა და სხვადასხვა სიხშირის ცვლადი ძაბვა. ერთი ძაბვის სიხშირე საკუთარი ( $\omega_0$ ) სიხშირის ტოლია, ხოლო მეორე  $\eta$ -ჯერ მეტია. იპოვეთ ორივე ძაბვის მიერ აღძრული დენების ამპლიტუდების ( $I_0/I$ ) შეფარდება, თუ სისტემის ვარგისობაა  $Q$ . გამოიანგარიშეთ ეს შეფარდება, როდესაც  $Q = 10$  და  $100$ , თუ  $\eta = 1,10$ .

4.134. აკუმულატორის  $I_0$  მუდმივი დენით დამუხტვისას საჭიროა  $t_0$  საათი. რა დრო დასჭირდება ასეთი აკუმულატორის დამუხტვას ქსელიდან ნახევარპერიოდისანი გამმართველის გავლით, თუ დენის მოქმედი მნიშვნელობაა  $I_0$ ?

4.135. იპოვეთ დენის მოქმედი მნიშვნელობა, თუ მისი საშუალო მნიშვნელობაა  $I_0$ , ხოლო დენი დამოკიდებულია დროზე შემდეგი კანონით:

- ა) ნახ. 4.34;  
ბ)  $I \sim |\sin \omega t|$ .

4.136.  $L = 7$  მჰ ინდუქციურობისა და აქტიური  $R = 44$  ომი წინაღობის სოლენოიდი თავდაპირველად მიუერთეს  $U_0$  მუდმივი ძაბვის წყაროს, შემდეგ კი მოქმედი  $U = U_0$  მნიშვნელობის სინუსოიდური ძაბვის გენერატორს. გენერატორის როგორი სიხშირისათვის იქნება სოლენოიდის მიერ მოხმარებული სიმძლავრე  $\eta = 5,0$ -ჯერ ნაკლები, ვიდრე პირველ შემთხვევაში?



ნახ. 4. 34.

4.137.  $U = 100$  ვ ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობის მქონე წრედში ჩართეს კოჭა, რომლის ინდუქციურობის წინაღობაა  $X_L = 30$  ომი, ხოლო იმპედანსი  $Z = 50$  ომი. იპოვეთ ფაზათა სხვაობა დენსა და ძაბვას შორის, აგრეთვე კოჭაში გამოყოფილი სითბური სიმძლავრე.

4.138.  $L = 0,70$  მჰ ინდუქციურობისა და  $r = 20$  ომი აქტიური წინაღობის კოჭა მიმდევრობით არის შეერთებული  $R$  უინდუქციო წინაღობასთან. ამ წრედის ბოლოებს შორის მოდებულია  $U = 220$  ვ მოქმედი მნიშვნელობისა და  $\omega = 314$  წმ<sup>-1</sup> სიხშირის ცვლადი ძაბვა.  $R$  წინაღობის როგორი მნიშვნელობისათვის გამოიყოფა წრედში მაქსიმალური სითბური სიმძლავრე? რას ეთანადრება ეს სიმძლავრე?

4.139. წრედი, რომელიც შედგება მიმდევრობით შეერთებული კონდენსატორისა და კოჭასაგან, ჩართულია ქსელში. კონდენსატორის ტევადობის შეცვლით, კოჭაში გამოყოფილი სითბური სიმძლავრე გაიზარდა  $n = 1,7$ -ჯერ. რამდენი პროცენტით შეიცვალა ამ დროს  $\cos \varphi$ -ის მნიშვნელობა?

4.140.  $Q = 100$  ვარგისობის რხევით კონტურში მიმდევრობით ჩართეს მუდმივი ამპლიტუდის ძაბვის, სინუსოიდური ე.მ.დ.-ის წყარო. გარეშე ძაბვის რომელიმე სიხშირისათვის კონტურში გამოყოფილი სითბური სიმძლავრე აღმოჩნდა მაქსიმალური. რამდენი პროცენტით უნდა შევცვალოთ ეს სიხშირე, რომ გამოყოფილი სიმძლავრე შემცირდეს  $n = 2,0$ -ჯერ?

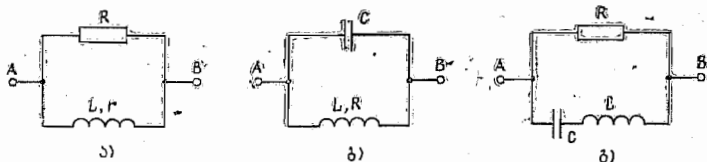
4.141. წრედი, რომელიც შედგება მიმდევრობით შეერთებული  $R = 50,16$  კომი უინდუქციო წინაღობისა და აქტიური წინაღობის კოჭასაგან, მიუერთეს ძაბვის  $U = 220$  ვ მოქმედი მნიშვნელობის ქსელს. იპოვეთ კოჭაში გამოყოფილი სითბური სიმძლავრე, თუ ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობები  $R$  წინაღობაზე და კოჭაზე შესაბამისად  $U_1 = 80$  ვ და  $U_2 = 180$  ვ-ის ტოლია.

4.142. კოჭა და  $R = 25$  ომი უინდუქციო წინაღობა შეერთებულია პარალელურად ცვლადი ძაბვის ქსელში. იპოვეთ კოჭაში გამოყოფილი სითბური სიმძლავრე, თუ ქსელიდან მოხმარება  $I = 0,90$  ა დენი,

კოჭაში და  $R$  წინაღობაში გამავალი დენები შესაბამისად  $I_1=0,50$  ა და  $I_2=0,60$  ა-ის ტოლია.

4.143.  $\omega=314$  წმ<sup>-1</sup> სიხშირის ცვლადი დენისათვის იპოვეთ სრული წინაღობა წრედის უბნისათვის, რომელიც შედგება პარალელურად ჩართული  $C=73$  მკვ ტევადობის კონდენსატორისა და  $R=100$  ომი აქტიური წინაღობისაგან.

4.144. ააგეთ დენების მიახლოებითი ვექტორული დიაგრამები 4.35 ნახაზზე ნაჩვენებ ელექტრულ კონტურებში. იგულისხმება, რომ  $A$  და  $B$  წერტილებს შორის მოდებული ძაბვა სინუსოიდურია და თითოეული კონტურის პარამეტრები შერჩეულია ისე, რომ კონტურზე გამავალი  $I_0$  დენი ფაზით ჩამორჩება გარეშე ძაბვას.



ნახ. 4. 35.

4.145.  $C=1,0$  მკვ ტევადობის კონდენსატორი,  $R=0,10$  ომი აქტიური წინაღობისა და  $L=1,0$  მჰნ ინდუქციურობის კოჭა პარალელურად შეუერთეს  $U=313$  მოქმედი მნიშვნელობის სინუსოიდური ძაბვის წყაროს. იპოვეთ:

- ა)  $\omega$  სიხშირე, რომლის დროსაც ადგილი ექნება რეზონანსს;
- ბ) მიწოდებული დენის მოქმედი მნიშვნელობა რეზონანსის დროს, აგრეთვე კოჭაზე და კონდენსატორზე გამავალი შესაბამისი დენები.

4.146.  $\omega$  სიხშირის სინუსოიდური ძაბვის წყაროს პარალელურად მიუერთეს  $C$  ტევადობის კონდენსატორი და  $R$  აქტიური წინაღობის მქონე  $L$  ინდუქციურობის კოჭა. იპოვეთ ფაზათა სხვაობა კონტურში მიყვანილ დენსა და წყაროს ძაბვას შორის.

4.147. წრედის უბანი შედგება პარალელურად შეერთებული  $C$  ტევადობის კონდენსატორისა და  $R$  აქტიური წინაღობის მქონე  $L$  ინდუქციურობის კოჭასაგან. იპოვეთ ამ უბნის სრული წინაღობა  $\omega$  სიხშირის ცვლადი ძაბვისათვის.

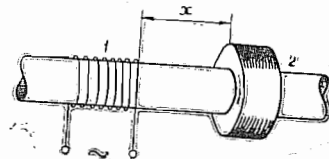
4.148.  $R$  აქტიური წინაღობისა და  $L$  ინდუქციურობის მქონე წვრილი მავთულის რგოლს აბრუნებენ  $\omega$  მუდმივი კუთხური სიჩქარით ბრუნვის ღერძის მართობულ, გარეშე ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში. ამ დროს რგოლზე გამავალი გარეშე ველის მაგნიტური ინდუქციის ნაკადი დამოკიდებულია დროზე  $\Phi=\Phi_0 \cos \omega t$  კანონით. აჩვენეთ, რომ:

- ა) რგოლში ინდუქციური დენი  $I=I_m \sin (\omega t-\varphi)$  კანონითაა დამო-

კიდებული დროზე, სადაც  $I_m=\omega \Phi_0 / \sqrt{R^2+\omega^2 L^2}$ , ხოლო  $\tan \varphi=\omega L / R$ ;  
 ბ) ბრუნვის შესანარჩუნებლად გარეშე ძაბვის მიერ განვითარებული საშუალო მექანიკური სიმძლავრე განისაზღვრება ფორმულით.

$$P=1/2 \omega^2 \Phi_0^2 R / (R^2+\omega^2 L^2).$$

4.149. ხის გულარზე ჩამოცმულია ორი კოჭა (ნახ. 4.36):  $L_1$  ინდუქციურობის კოჭა 1 და მოკლე შეერთებული  $L_2$  ინდუქციურობისა და  $R$  აქტიური წინაღობის კოჭა 2. კოჭების ურთიერთინდუქცია  $L_{12}(x)$  კანონითაა დამოკიდებული მათ შორის  $x$  მანძილზე. იპოვეთ კოჭებს შორის ურთიერთქმედების ძალის დროით გასაშუალებელი მნიშვნელობა, როდესაც 1 კოჭაში გადის  $I_1=I_0 \cos \omega t$  ცვლადი დენი.



ნახ. 4.36.

#### 4.3. დრეკადი ტალღები. აკუსტიკა

- ბრტყელი და სფერული ტალღის განტოლებებია:

$$\xi=a \cos (\omega t-k x), \quad \xi=\frac{a_0}{r} \cos (\omega t-k r) \quad (4.3 \text{ ა})$$

ერთგვაროვანი შთანთქმედი გარემოსათვის ამ ფორმულებში შედის შესაბამისად  $n-v$  და  $e-v$  მაჩვენებლები, სადაც  $\gamma$  ტალღის მიღების კოეფიციენტი.

- ტალღური განტოლება:

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 \xi}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2}=\frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} . \quad (4.3 \text{ ბ})$$

- გრძივი ტალღების ფაზური სიჩქარე ( $v_{||}$ ) დრეკად გარემოში და განივი ტალღების ( $v_{\perp}$ ) ფაზური სიჩქარე სიმში:

$$v_{||}=\sqrt{E / \rho}, \quad v_{\perp}=\sqrt{T / \rho_1}, \quad (4.3 \text{ გ})$$

სადაც  $E$  იუნგის მოდულია,  $\rho$ —გარემოს სიმკვრივე,  $T$ —სიმის დაჭიმულობა,  $\rho_1$ —სიმის ხაზოვანი სიმკვრივე.

- დრეკადი ტალღის ენერგიის მოცულობითი სიმკვრივე:

$$w=\rho a^2 \omega^2 \sin ^2(\omega t-k x), \quad\langle w\rangle=1 / 2 \rho a^2 \omega^2 . \quad (4.3 \text{ დ})$$

- ენერგიის ნაკადის სიმკვრივე (უმოვის ვექტორი) მსრბოლი პარმონიული ტალღისათვის:

$$j=w v, \quad\langle j\rangle=1 / 2 \rho a^2 \omega^2 v . \quad (4.3 \text{ ე})$$

- ზოგად შემთხვევაში გრძივი ტალღებისათვის:

$$j=-\sigma u, \quad (4.3 \text{ ვ})$$

სადაც  $\sigma$  ძაბვაა,  $\sigma = E \partial \xi / \partial x$ . ii—გარემოს ნაწილაკთა სიჩქარე.

● მღვარი ტალღის განტოლება:

$$\xi = a \cos kx \cos \omega t. \quad (4.3 \text{ ზ})$$

● ღოპლერის აკუსტიკური ეფექტი:

$$n = n_0 \frac{v + v_{\text{მიმდ.}}}{v + v_{\text{წყ.}}} \quad (4.3 \text{ თ})$$

● ბგერის ხმამაღლობის დონე (ბელებში)

$$L = 10 \lg(I/I_0). \quad (4.3 \text{ ი})$$

● კავშირი ბგერითი ტალღის  $I$  ინტენსივობასა და წნევის რხევის  $(\Delta p)_m$  ამპლიტუდას შორის:

$$I = (\Delta p^2)_m / 2 \rho v. \quad (4.3 \text{ კ})$$

4.150. რა დროში გაივლის ბგერითი ტალღა  $l$  მანძილს  $A$  და  $B$  წერტილებს შორის, თუ ჰაერის ტემპერატურა ამ წერტილებს შორის იცვლება წრფივად  $T_1$ -დან  $T_2$ -მდე? ბგერის სიჩქარე ჰაერში  $v = \alpha \sqrt{T}$ , სადაც  $\alpha$  მუდმივაა.

4.151. ა სიხშირის ბრტყელი ჰარმონიული ტალღა  $v$  სიჩქარით ვრცელდება იმ მიმართულებით, რომელიც ადგენს  $\alpha$ ,  $\beta$  და  $\gamma$  კუთხეებს  $x$ ,  $y$  და  $z$  ღერძებთან. იპოვეთ რხევების ფაზათა სხვაობა გარემოს  $x_1$ ,  $y_1$ ,  $z_1$  და  $x_2$ ,  $y_2$ ,  $z_2$  წერტილებისათვის.

4.152. ა სიხშირის ბრტყელი ტალღა ვრცელდება ისე, რომ რხევების რომელიმე ფაზა გადაადგილდება  $x$ ,  $y$ ,  $z$  ღერძების გასწვრივ შესაბამისი  $v_1$ ,  $v_2$ ,  $v_3$  სიჩქარეებით. იპოვეთ  $k$  ტალღური ვექტორი, თუ მოცემულია კოორდინატთა ღერძების  $e_x$ ,  $e_y$ ,  $e_z$  ორთები.

4.153.  $K$  გარემოში ვრცელდება დრეკადი ბრტყელი ტალღა  $\xi = a \cos(\omega t - kx)$ . იპოვეთ ამ ტალღის განტოლება ათვლის  $K'$  სისტემაში, რომელიც მოძრაობს  $x$  ღერძის თანხედენილი მიმართულებით  $K$  გარემოს მიმართ  $V$  მუდმივი სიჩქარით. გამოიკვლიეთ მიღებული გამოსახულება.

4.154. აჩვენეთ, რომ ნებისმიერი დიფერენცირებადი  $f(t + \alpha x)$  ფუნქცია, სადაც  $\alpha$  მუდმივაა, წარმოადგენს ტალღური განტოლების ამოხსნას. რა ფიზიკური არსი აქვს  $\alpha$  მუდმივას?

4.155. მსრბოლი ბრტყელი ბგერითი ტალღის განტოლებას აქვს  $\xi = 60 \cdot \cos(1800 t - 5,3x)$  სახე, სადაც  $\xi$  იზომება მიკრომეტრებით,  $t$  წამებით,  $x$  მეტრებით. იპოვეთ:

ა) გარემოს ნაწილაკების წანაცვლების ამპლიტუდის შეფარდება ტალღის სიგრძესთან;

ბ) გარემოს ნაწილაკების სიჩქარის რხევის ამპლიტუდა და მისი შეფარდება ტალღის გავრცელების სიჩქარესთან;

გ) გარემოს ფარდობითი დეფორმაციის რხევის ამპლიტუდა და მისი კავშირი გარემოს ნაწილაკების სიჩქარის რხევის ამპლიტუდასთან.

4.156. ერთგვაროვან დრეკად გარემოში ვრცელდება  $\xi = a \cos(\omega t - kx)$  სახის ბრტყელი ტალღა.  $t=0$  მომენტისათვის გამოსახეთ:

ა)  $\xi$ ,  $\partial \xi / \partial t$  და  $\partial \xi / \partial x$  სიდიდეების  $x$ -ზე დამოკიდებულების გრაფიკები;

ბ) გარემოს ნაწილაკების სიჩქარის მიმართულება წერტილებში, სადაც  $\xi=0$ , გრძივი და განივი ტალღის შემთხვევაში;

გ) გარემოს  $\rho(x)$  სიმკვრივის განაწილების მიახლოებითი გრაფიკი გრძივი ტალღისათვის;

4.157. ერთგვაროვან გარემოში ვრცელდება  $\xi = a e^{-\gamma x} \cos(\omega t - kx)$  სახის ბრტყელი დრეკადი ტალღა; აქ  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\omega$  და  $k$  მუდმივებია. იპოვეთ რხევების ფაზათა სხვაობა წერტილებში, სადაც გარემოს ნაწილაკების წანაცვლების ამპლიტუდები განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან  $\eta=1$ , 0%-ით, თუ  $\gamma=0,42 \text{ მ}^{-1}$ , ხოლო ტალღის სიგრძე  $\lambda=50 \text{ სმ}$ .

4.158. იპოვეთ სფერული ტალღების წერტილოვანი წყაროს მდებარეობის შესაბამისი რადიუს-ვექტორი, თუ ცნობილია, რომ ეს წყარო მოთავსებულია  $r_1$  და  $r_2$  რადიუს-ვექტორების შესაბამისი წერტილების შემაერთებელ წრფეზე. ამ წერტილებში გარემოს ნაწილაკების რხევის ამპლიტუდებია  $a_1$  და  $a_2$ . გარემო ერთგვაროვანია, ტალღების მიღება კი—უმნიშვნელოდ მცირე.

4.159. იზოტროპიული წერტილოვანი წყარო ასხივებს  $v=1,45$  კპც სიხშირის ბგერით რხევებს. წყაროდან  $r_0=5,0$  მ მანძილზე გარემოს ნაწილაკების წანაცვლების ამპლიტუდაა  $a_0=50$  მკმ, ხოლო  $A$  წერტილში, რომელიც მოთავსებულია  $r=10,0$  მ მანძილზე წყაროდან, წანაცვლების ამპლიტუდა  $\eta=3,0$ -ჯერ ნაკლებია  $a_0$ -ზე. იპოვეთ:

ა) ტალღის მიღების  $\gamma$  კოეფიციენტი;

ბ) გარემოს ნაწილაკების სიჩქარის რხევის ამპლიტუდა  $A$  წერტილში.

4.160. დრეკად ერთგვაროვან გარემოში ვრცელდება ორი ბრტყელი ტალღა, ერთი  $x$  ღერძის გასწვრივ, ხოლო მეორე  $y$  ღერძის გასწვრივ:  $\xi_1 = a \cos(\omega t - kx)$ ,  $\xi_2 = a \cos(\omega t - ky)$ . გარკვეულ გარემოს ნაწილაკების მოძრაობის ხასიათი  $xy$  სიბრტყეში, თუ ორივე ტალღა:

ა) განივია, რხევების ერთნაირი მიმართულებით;

ბ) გრძივია.

4.161. გარემოში ვრცელდება არამიღვადი ბრტყელი ჰარმონიული ტალღა. იპოვეთ რხევების სრული ენერგიის მოცულობითი სიმკვრივის საშუალო  $\langle w \rangle$ , თუ გარემოს ნებისმიერ წერტილში წანაცვლების მაქსიმუმის გავლის მომენტიდან პერიოდის ერთი მეექვსედის შემდეგ ენერგიის მოცულობითი სიმკვრივე  $w_0$ -ის ტოლია.

4.162. იზოტროპიული წერტილოვანი ბგერის წყარო მოთავსებულია რგოლის სიბრტყის მართობზე, რომელიც გადის მის  $O$  ცენტრზე. მანძილი  $O$  წერტილსა და წყაროს შორის  $l=1,00$  მ-ის ტოლია, რგოლის რადიუსია  $R=0,50$  მ. იპოვეთ რგოლით შემოსაზღვრულ ფართობზე გამავალი ენერგიის საშუალო ნაკადი, თუ  $O$  წერტილში ბგერის ინტენსივობაა  $I_0=30$  მკვტ/მ<sup>2</sup>. ტალღების მილევა უმნიშვნელოდ მცირეა.

4.163. იზოტროპიული წერტილოვანი წყარო, რომლის ბგერითი სიმძლავრე  $P=0,10$  ვტ-ს, მოთავსებულია  $R=1,0$  მ რადიუსისა და  $h=2,0$  მ სიმაღლის ღრუ ცილინდრის ცენტრში. დაუშვით, რომ ცილინდრის კედლები მთლიანად შთანთქავენ ბგერას და იპოვეთ ცილინდრის გვერდით ზედაპირზე დაცემული ენერგიის საშუალო ნაკადი.

4.164. ერთგვაროვან დრეკად გარემოში დამყარდა  $\xi=a \cos kx \cdot \cos \omega t$  სახის ბრტყელი მდგარი ტალღა. გამოსახეთ:

ა)  $\xi$  და  $\partial \xi / \partial x$  სიდიდეების  $x$ -ზე დამოკიდებულების გრაფიკები  $t=0$  და  $t=T/2$  მომენტებისათვის, სადაც  $T$  რხევების პერიოდია;

ბ) გარემოს  $\rho(x)$  სიმკვრივის განაწილების გრაფიკი გრძივი რხევებისათვის  $t=0$  და  $t=T/2$  მომენტებში;

გ) გარემოს ნაწილაკთა სიჩქარეების განაწილების გრაფიკი  $t=T/4$  მომენტში; მიუთითეთ ამ მომენტში სიჩქარეების განაწილება სიბურცეებში გრძივი და განივი რხევებისათვის.

4.165.  $\rho$  სიმკვრივის ერთგვაროვან გარემოში დამყარდა  $\xi=a \cos kx \times \cos \omega t$  სახის გრძივი მდგარი ტალღა. იპოვეთ მოცულობითი სიმკვრივის გამოსახულება:

ა) პოტენციური ენერგიისათვის  $w_a(x, t)$ ;

ბ) კინეტიკური ენერგიისათვის  $w_k(x, t)$ .

გამოსახეთ სრული ენერგიის  $w$  მოცულობითი სიმკვრივის განაწილების გრაფიკები წანაცვლების ორ მეზობელ კვანძს შორის  $t=0$  და  $t=T/4$  მომენტებში, სადაც  $T$  რხევების პერიოდია.

4.166. 120 სმ სიგრძის სიმზე წარმოიქმნა მდგარი ტალღა, ამასთანავე, სიმის წერტილები, რომელთა წანაცვლების ამპლიტუდაა 3,5 მმ, ერთმეორისაგან 15,0 სმ-ითაა დაშორებული. იპოვეთ წანაცვლების მაქსიმალური ამპლიტუდა. რომელ ობერტონს შეესაბამება ეს რხევა?

4.167. იპოვეთ ძირითადი ტონის სიხშირეების შეფარდება ორი ერთნაირი სიმისათვის მას შემდეგ, როდესაც ერთ-ერთი გაჭიმეს  $\eta_1=2,0\%$ -ით, მეორე კი— $\eta_2=4,0\%$ -ით. დაჭიმულობა გაჭიმვის პროპორციულია.

4.168. განსაზღვრეთ, როგორ და რამდენჯერ შეიცვლება გაჭიმული სიმის ძირითადი ტონის სიხშირე, თუ მის სიგრძეს დავამოკლებთ 35 %-ით, დაჭიმულობას კი გავზრდით 70%-ით.

4.169. ჰაერში ბგერის სიჩქარის განსაზღვრისათვის, აკუსტიკური რეზონანსის მეთოდის საშუალებით, გამოიყენება დგუშაინი მილი და ბგე-

რითი მემბრანა, რომელიც ფარავს მილის ერთ-ერთ ბოლოს. იპოვეთ ბგერის სიჩქარე, თუ მანძილი დგუშის ორ მდებარეობას შორის, როდესაც შემჩნევა რეზონანსი  $\nu=2000$  ჰც სიხშირეზე,  $l=8,5$  სმ-ის ტოლია.

4.170. იპოვეთ მილში ჰაერის სვეტის საკუთარი რხევების შესაძლო რიცხვი, რომელთა სიხშირე  $\nu_0=1250$  ჰც-ზე ნაკლებია. მილის სიგრძე  $l=85$  სმ. ბგერის სიჩქარე  $v=340$  მ/წმ. განიხილეთ ორი შემთხვევა:

ა) მილი დახშულია ერთი ბოლოდან;

ბ) მილი ღიაა ორივე ბოლოდან.

გაითვალისწინეთ, რომ მილის ღია ბოლოები წანაცვლების სიბურცეებს წარმოადგენენ.

4.171.  $l=50$  სმ სიგრძის სპილენძის ღერო შუაგულშია დამაგრებული. იპოვეთ ამ ღეროს საკუთარი გრძივი რხევების რიცხვი 20-დან 50 კჰც-მდე სიხშირეთა დიაპაზონში, რა სიხშირეებია ესენი?

4.172.  $m$  მასის სიმი ორივე ბოლოთი დამაგრებული, მასში აღიძვრება  $\omega$  წრიული სიხშირისა და წანაცვლების მაქსიმალური  $A_{\max}$  ამპლიტუდის მქონე ძირითადი ტონის რხევები. იპოვეთ:

ა) სიმის მაქსიმალური კინეტიკური ენერგია;

ბ) სიმის კინეტიკური ენერგიის საშუალო მნიშვნელობა რხევის პერიოდის განმავლობაში.

4.173.  $S$  განივკვეთის ფართისა და  $\rho$  სიმკვრავის ერთგვაროვან ღეროში დამყარდა  $\xi=a \sin kx \cdot \cos \omega t$  სახის მდგარი ტალღა. იპოვეთ სრული მექანიკური ენერგია, რომელიც წანაცვლების მეზობელ კვანძებზე გამავალ კვეთებს შორისაა მოქცეული.

4.174.  $\nu_0=1000$  ჰც სიხშირის ბგერითი რხევების წყარო  $u=0,17$  მ/წმ სიჩქარით მოძრაობს კედლის ნორმალის გასწვრივ. ამავე ნორმალზე განლაგებულია  $\Pi_1$  და  $\Pi_2$  ორი უძრავი მიმღები, ამასთან, მიმღებებისა და წყაროს განლაგების მიმდევრობა ასეთია:  $\Pi_1$ —წყარო— $\Pi_2$ —კედელი. რომელი მიმღები არეგისტრირებს ბგერებს და როგორია მათი სიხშირე? ბგერის სიჩქარე  $v=340$  მ/წმ.

4.175. უძრავი დამკვირვებელი აღიქვამს ბგერით რხევებს ორი კამერტონიდან, რომელთაგან ერთ-ერთი უახლოვდება მას, მეორე კი იმავე სიჩქარით შორდება. ამ დროს დამკვირვებელს ესმის  $\nu=2,0$  ჰც სიხშირის ძველები. იპოვეთ თითოეული კამერტონის სიჩქარე, თუ მათი რხევების სიხშირეა  $\nu_0=680$  ჰც, ხოლო ჰაერში ბგერის სიჩქარე  $v=340$  მ/წმ.

4.176.  $x$  ღერძზე მოთავსებულია მიმღები და  $\nu=2000$  ჰც სიხშირის ბგერითი რხევების წყარო. ამ ღერძის გასწვრივ წყარო ასრულებს  $\omega$  წრიული სიხშირისა და  $a=50$  სმ ამპლიტუდის ჰარმონიულ რხევებს. რა მნიშვნელობა უნდა ჰქონდეს  $\omega$ -ს, რომ უძრავმა მიმღებმა აღიქვას  $\Delta \nu=200$  ჰც სიხშირული ინტერვალის სიგანე? ბგერის სიჩქარე  $v=340$  მ/წმ.

4.177.  $\nu_0=1700$  ჰც სიხშირის ბგერითი რხევების წყარო და მიმღები



მოთავსებული არიან ერთ წერტილში.  $t=0$  მომენტიდან წყარო შორდება მიმღებს  $w=10,0$  მ/წმ მუდმივი აჩქარებით. იპოვეთ უძრავი მიმღების მიერ აღქმული რხევების სიხშირე, წყაროს მოძრაობის დაწყებიდან  $t=10,0$  წმ-ის შემდეგ, თუ ბგერის სიჩქარე  $v=340$  მ/წმ.

4.178. ბგერის წყარო, რომლის საკუთარი სიხშირეა  $\nu_0=1,8$  კჰც, თანაბრად მოძრაობს უძრავი დამკვირვებლიდან  $l=250$  მ-ით დაშორებული წრფის გასწვრივ. წყაროს სიჩქარე შეადგენს ბგერის სიჩქარის  $\eta=0,80$  ნაწილს. იპოვეთ:

ა) დამკვირვებლის მიერ აღქმული ბგერის სიხშირე იმ მომენტში, როდესაც წყარო აღმოჩნდება მის პირდაპირ;

ბ) მანძილი წყაროსა და დამკვირვებელს შორის იმ მომენტში, როდესაც დამკვირვებლის მიერ აღქმული სიხშირე  $\nu=\nu_0$ .

4.179. უძრავი წყარო ავრცელებს მონოქრომატულ ბგერას. მას  $u=33$  მ/წმ სიჩქარით უახლოვდება კედელი. გარემოში ბგერის გავრცელების სიჩქარეა  $v=330$  მ/წმ. როგორ და რამდენი პროცენტით იცვლება ბგერის ტალღის სიგრძე კედლიდან არეკვლისას?

4.180.  $\nu_0=1700$  ჰც სიხშირის ბგერითი რხევების წყარო და მიმღები კედლისადმი ერთი და იმავე ნორმალზეა მოთავსებული. წყარო და მიმღები უძრავია, კედელი კი შორდება წყაროს  $u=6,0$  სმ/წმ სიჩქარით. იპოვეთ მიმღების მიერ რეგისტრირებული ბგერების სიხშირე. ბგერის სიჩქარე  $v=340$  მ/წმ.

4.181. იპოვეთ ბგერითი ტალღის მიღების  $\gamma$  კოეფიციენტი, თუ წერტილოვანი იზოტროპიული ბგერის წყაროდან  $r_1=10$  მ და  $r_2=20$  მ მანძილებზე ბგერითი ტალღის ინტენსივობის მნიშვნელობები  $\eta=4,5$ -ჯერ განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან.

4.182.  $x$  ღერძის გასწვრივ ვრცელდება ბრტყელი ბგერითი ტალღა. ტალღის მიღების კოეფიციენტი  $\gamma=0,0230$  მ<sup>-1</sup>.  $x=0$  წერტილში ხმამაღლობის დონე  $L=60$  დბ. იპოვეთ:

ა) ხმამაღლობის დონე  $x=50$  მ კოორდინატის მქონე წერტილში;

ბ) წერტილის  $x$  კოორდინატი, რომელშიც აღარ ისმის ბგერა.

4.183. წერტილოვანი იზოტროპიული ბგერის წყაროდან  $r_0=20,0$  მ-ზე ხმამაღლობის დონე  $L_0=30,0$  დბ. უგულებელყავით ბგერითი ტალღის მიღება და იპოვეთ:

ა) ხმამაღლობის დონე წყაროდან  $r=10,0$  მ მანძილზე;

ბ) წყაროდან ის მანძილი, რომელზეც არ აღიქმება ბგერა.

4.184.  $A$  დამკვირვებელმა, რომელიც  $r_1=5,0$  მ მანძილზე იმყოფება მბგერი კამერტონიდან, ბგერის გაქრობა ჩაინიშნა  $\tau=19$  წმ-ით უფრო გვიან, ვიდრე  $B$  დამკვირვებელმა, რომელიც კამერტონიდან  $r_2=50,0$  მ-ითაა დაშორებული. ბგერის სიჩქარე  $v=340$  მ/წმ-ია. იპოვეთ კა-

მერტონის რხევების მიღების კოეფიციენტი  $\beta$ , თუ ბგერითი ტალღების მიღება ჰაერში უგულებელყავილია.

4.185.  $\rho$  სიმკვრივის გარემოში ვრცელდება ბრტყელი გრძივი ჰარმონიული ტალღა. ტალღის სიჩქარეა  $v$ . გაითვალისწინეთ, რომ ტალღის გავლის დროს გარემოს სიმკვრივის ცვლილება  $\Delta\rho \ll \rho$  და აჩვენეთ, რომ:

ა) წნევის ნაზრდი გარემოში  $\Delta p = -\rho v^2 (\partial\xi/\partial x)$ , სადაც  $\partial\xi/\partial x$  ფარდობითი დეფორმაცია;

ბ) ტალღის ინტენსივობა განისაზღვრება (4.3 ი) ფორმულით.

4.186. ჰაერში ვრცელდება ბრტყელი ბგერითი ტალღა. მისი გავრცელების გზაზე მოთავსებულია  $R=50$  სმ რადიუსის სფერო. ბგერითი ტალღის სიგრძეა  $\lambda=5,0$  სმ, სიხშირე —  $\nu=6,8$  კჰც, წნევის რხევების ამპლიტუდა ჰაერში —  $(\Delta p)_m=3,5$  პა. იპოვეთ სფეროს ზედაპირზე დაცემული ენერგიის ნაკადის საშუალო მნიშვნელობა რხევის პერიოდის განმავლობაში.

4.187.  $A$  წერტილი იმყოფება  $r=1,5$  მ მანძილზე  $\nu=600$  ჰც სიხშირის წერტილოვანი იზოტროპიული ბგერის წყაროდან. წყაროს ბგერითი სიმძლავრეა  $P=0,80$  ვტ. უგულებელყავით ტალღების მიღება. ჩათვალით, რომ ბგერის სიჩქარე ჰაერში  $v=340$  მ/წმ და  $A$  წერტილისათვის იპოვეთ:

ა) წნევის რხევების  $(\Delta p)_m$  ამპლიტუდა და მისი შეფარდება ჰაერის წნევისთან;

ბ) გარემოს ნაწილაკთა რხევების ამპლიტუდა; შეადარეთ ის ბგერის ტალღის სიგრძეს.

4.188. 200 ჰც სიხშირის წერტილოვანი იზოტროპიული ბგერის წყაროდან  $r=100$  მ მანძილზე ხმამაღლობის დონე  $L=50$  დბ. სმენადობის ზღურბლი ამ სიხშირეზე შეესაბამება ბგერის  $I_0=0,10$  ნეტ/მ<sup>2</sup> ინტენსივობას. ბგერითი ტალღის მიღების კოეფიციენტი  $\gamma=5,0 \cdot 10^{-4}$  მ<sup>-1</sup>, იპოვეთ წყაროს ბგერითი სიმძლავრე.

#### 4.4. ელექტრომაგნიტური ტალღები. გამოსხივება

● ელექტრომაგნიტური ტალღის ფაზური სიჩქარე:

$$v=c/\sqrt{\epsilon\mu}, \text{ სადაც } c=1/\sqrt{\epsilon_0\mu_0}. \quad (4.4 \text{ ა})$$

● მსრბოლ ელექტრომაგნიტურ ტალღაში:

$$E\sqrt{\epsilon\epsilon_0}=H\sqrt{\mu\mu_0}. \quad (4.4 \text{ ბ})$$

● ელექტრომაგნიტური ველის ენერგიის მოცულობითი სიმკვრივე:

$$w=\frac{ED}{2} + \frac{BH}{2}. \quad (4.4 \text{ გ})$$

● ელექტრომაგნიტური ენერგიის ნაკადის სიმკვრივე—პოინტინგის ვექტორი:

$$\mathbf{S} = [\mathbf{E}\mathbf{H}]. \quad (4.4 \text{ დ})$$

● დიპოლის გამოსხივების ენერგიის ნაკადის სიმკვრივე ტალღურ ზონაში:

$$S \sim \frac{1}{r^2} \sin^2 \theta, \quad (4.4 \text{ ე})$$

სადაც  $r$  მანძილია დიპოლიდან,  $\theta$ —კუთხე  $r$  რადიუს-ვექტორსა და დიპოლის ღერძს შორის.

●  $P(t)$  ელექტრული მომენტის მქონე დიპოლისა და  $\mathbf{w}$  აჩქარებით მოძრაობის  $q$  მუხტის გამოსხივების სიმძლავრეები:

$$P = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{2\dot{\mathbf{p}}^2}{3c^3}, \quad P = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{2q^2 w^2}{3c^3}. \quad (4.4 \text{ ვ})$$

4.189.  $\nu = 3,0$  მგჰც სიხშირის ელექტრომაგნიტური ტალღა გადადის ვაკუუმიდან  $\epsilon = 4,0$  დიელექტრიკულ შეღწევადობის არამაგნიტურ გარემოში. იპოვეთ მისი ტალღის სიგრძის ნაზრდი.

4.190. ბრტყელი ელექტრომაგნიტური ტალღა მართობულად ეცემა  $l$  სისქის, არამაგნიტური ნივთიერების ბრტყელპარალელური ფენის ზედაპირს. ნივთიერების დიელექტრიკული შეღწევადობა ექსპონენციალურად კლებულობს წინა ზედაპირის  $\epsilon_1$  მნიშვნელობიდან უკანა ზედაპირის  $\epsilon_2$  მნიშვნელობამდე. იპოვეთ ამ ფენაში გამავალი ტალღის მოცემული ფაზის გაგრძელების დრო.

4.191.  $\nu = 10$  მგჰც სიხშირის ბრტყელი ელექტრომაგნიტური ტალღა ვრცელდება  $\sigma = 10$  მსმ/მ კუთრი გამტარობისა და  $\epsilon = 9$  დიელექტრიკული შეღწევადობის მქონე სუსტად გამტარ გარემოში. იპოვეთ გამტარობისა და წანაცვლების დენების სიმკვრივების ამპლიტუდების შეფარდება.

4.192. ვაკუუმში ვრცელდება ბრტყელი ელექტრომაგნიტური ტალღა  $\mathbf{E} = E_m \cos(\omega t - kx)$ . ცნობილია  $E_m$  და  $k$  სიდიდეები. იპოვეთ  $\mathbf{H}$  ვექტორის დამოკიდებულება დროზე  $\mathbf{r} = 0$  რადიუს-ვექტორის მქონე წერტილში.

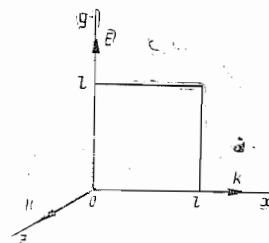
4.193. ვაკუუმში ვრცელდება ბრტყელი ელექტრომაგნიტური ტალღა  $\mathbf{E} = E_m \cos(\omega t - kx)$ , სადაც  $E_m = E_m e_y$ ,  $\mathbf{k} = k e_x$ , ხოლო  $e_x$ ,  $e_y$   $x$ ,  $y$  ღერძების ორთეხა. იპოვეთ  $\mathbf{H}$  ვექტორი  $\mathbf{r} = x e_x$  რადიუს-ვექტორის მქონე წერტილში შემდეგი მომენტებისათვის: ა)  $t = 0$ ; ბ)  $t = t_0$ . განიხილეთ შემთხვევა, როდესაც  $E_m = 160$  ვ/მ,  $k = 0,51$  მ<sup>-1</sup>,  $x = 7,7$  მ და  $t_0 = 33$  ნწმ.

4.194. ვაკუუმში ვრცელდება ბრტყელი ელექტრომაგნიტური ტალღა  $\mathbf{E} = E_m \cos(\omega t - kx)$ , რომელიც  $l$  გვერდის მქონე კვადრატულ კონტურში აღძრავს  $F_{\text{ინდ}}$  ინდუქციის ე.მ.ძ-ს. კონტურის განლაგება ნაჩვენებია 4.37 ნახაზზე. იპოვეთ  $E_{\text{ინდ}}(t)$ , თუ  $E_m = 50$  ვ/მ, სიხშირე  $\nu = 100$  მგჰც, ხოლო  $l = 50$  სმ.

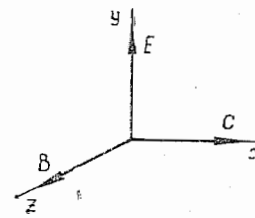
4.195. მაქსველის განტოლებებიდან გამომდინარე, აჩვენეთ, რომ ბრტყელი ელექტრომაგნიტური ტალღისათვის (ნახ. 4.38), რომელიც ვრცელდება ვაკუუმში,

$$\frac{\partial E}{\partial t} = -c^2 \frac{\partial B}{\partial x}, \quad \frac{\partial B}{\partial t} = -\frac{\partial E}{\partial x},$$

4.196. იპოვეთ პოინტინგის  $\langle \mathbf{S} \rangle$  ვექტორის საშუალო  $\mathbf{E} = E_m \cos(\omega t - kx)$  ბრტყელი ელექტრომაგნიტური ტალღისათვის, თუ ტალღა ვრცელდება ვაკუუმში.



ნახ. 4. 37.



ნახ. 4. 38.

4.197. ვაკუუმში ვრცელდება ბრტყელი ელექტრომაგნიტური ტალღა, რომლის სიხშირე  $\nu = 100$  მგჰც, ელექტრული მდგენელის ამპლიტუდა კი— $E_m = 50$  ვ/მ. იპოვეთ რხევის პერიოდის განმავლობაში:

- წანაცვლების დენის სიმკვრივის სიდიდე;
- ენერგიის ნაკადის სიმკვრივე.

4.198.  $R = 50$  სმ რადიუსის სფერო მოთავსებულია  $\epsilon = 4,0$  დიელექტრიკული შეღწევადობის არამაგნიტურ გარემოში. გარემოში ვრცელდება ბრტყელი ელექტრომაგნიტური ტალღა, რომლის დაძაბულობის ელექტრული მდგენელის ამპლიტუდაა  $E_m = 200$  ვ/მ. როგორი ენერგია ეცემა სფეროს  $t = 1,0$  წთ-ის განმავლობაში?

4.199. ვაკუუმში  $x$  ღერძის გასწვრივ დამყარდა მდგარი ელექტრომაგნიტური ტალღა, რომლის ელექტრული მდგენელი  $\mathbf{E} = E_m \cos kx \cdot \cos \omega t$ . იპოვეთ ტალღის მაგნიტური  $\mathbf{B}(x, t)$  მდგენელი. გამოსახეთ ტალღის ელექტრული და მაგნიტური ( $\mathbf{E}$  და  $\mathbf{B}$ ) მდგენელების განაწილების მიახლოებითი სურათი  $t = 0$  და  $t = T/4$  მომენტებისათვის, სადაც  $T$  რხევის პერიოდია.

4.200. ვაკუუმში  $x$  ღერძის გასწვრივ დამყარდა მდგარი ელექტრომაგნიტური ტალღა  $\mathbf{E} = E_m \cos kx \cdot \cos \omega t$ . იპოვეთ პოინტინგის ვექტორის  $x$  გვერდის  $S_x(x, t)$  და მისი საშუალო მნიშვნელობა რხევის პერიოდის განმავლობაში.

4.201. პერის ბრტყელი კონდენსატორი, რომლის შემონაფენებს  $R=6,0$  სმ რადიუსიანი დისკოს ფორმა აქვს, შეერთებულია  $\omega=1000$  რად/წმ სიხშირის ცვლადი სინუსოიდური ძაბვის წყაროსთან. იპოვეთ მაგნიტური და ელექტრული ენერგიის ამპლიტუდების მნიშვნელობების შეფარდება კონდენსატორის შიგნით.

4.202.  $\omega=1000$  რად/წმ სიხშირის ცვლადი სინუსოიდური დენი გადის სწორი სოლენოიდის გრაგნილში, რომლის კვეთის რადიუსია  $R=6,0$  სმ. იპოვეთ ელექტრული და მაგნიტური ენერგიის ამპლიტუდების მნიშვნელობების შეფარდება სოლენოიდის შიგნით.

4.203. მრგვალი პარალელური ფირფიტების მქონე ბრტყელ კონდენსატორს ნელა მუხტავენ. აჩვენეთ, რომ კონდენსატორის გვერდით ზედაპირზე გამავალი პოინტინგის ვექტორის ნაკადი დროის ერთეულში კონდენსატორის ენერგიის ნაზრდის ტოლია. გამოთვლის დროს უგულებელყავით ველის გაბნევა კიდეებზე.

4.204. წრიული კვეთის წრფივ გამტარში გადის  $I$  დენი. იპოვეთ მოცემული გამტარის  $R$  წინაღობის უბნის გვერდით ზედაპირზე გამავალი პოინტინგის ვექტორის ნაკადი.

4.205.  $U$  პოტენციალთა სხვაობით აჩქარებული არარელატივისტური პროტონები ქმნიან  $I$  დენის წრიული კვეთის კონას. იპოვეთ კონის გარეთ პოინტინგის ვექტორის სიდიდე და მიმართულება მისი ღერძიდან  $r$  მანძილზე.

4.206. გრძელი წრფივი სოლენოიდის გრაგნილში გამავალი დენი საკმაოდ ნელა იზრდება. აჩვენეთ, რომ სოლენოიდში მაგნიტური ველის ენერგიის ზრდის სიჩქარე მის გვერდით ზედაპირზე გამავალი პოინტინგის ვექტორის ნაკადის ტოლია.

4.207. ნახაზზე (4.39) ნაჩვენებია მუდმივი დენის გადაცემის ორსაღნიანი ხაზის უბანი. დენის მიმართულება ისრებითაა აღნიშნული. გაითვალისწინეთ, რომ პოტენციალი  $\varphi_2 > \varphi_1$  და პოინტინგის ვექტორის დახმარებით დაადგინეთ, სად იმყოფება დენის გენერატორი: მარცხნივ თუ მარჯვნივ?



ნახ. 4.39.

4.208.  $U$  მუდმივი ძაბვის წყაროდან ენერგია გადაეცემა მომხმარებელს უმნიშვნელო აქტიური წინაღობის გრძელი წრფივი კოაქსიალური კაბელით. მოხმარებული დენი  $I$ -ს ტოლია. იპოვეთ კაბელის განივკვეთზე გამავალი ენერგიის ნაკადი. კაბელის გარეშე გამტარი გარსი იგულისხმეთ როგორც თხელკედლიანი.

4.209.  $U=U_0 \cos \omega t$  ცვლადი ძაბვის გენერატორი გადასცემს მომხმარებელს ენერგიას უმნიშვნელო აქტიური წინაღობის გრძელი წრფივი კოაქსიალური კაბელით. წრედში დენი იცვლება  $I=I_0 \cos(\omega t - \varphi)$

კანონით. იპოვეთ კაბელის განივკვეთზე გამავალი დროით გასაშუალებული ენერგიის ნაკადი. კაბელის გარე გარსი თხელკედლიანია.

4.210. აჩვენეთ, რომ ღარი გარემოს გამყოფ ზედაპირზე პოინტინგის ნორმალური მდგენელები არ განიცდიან წყვეტას, ე. ი.  $S_{1n} = S_{2n}$ .

4.211. დამატკიცეთ, რომ არარელატივისტურ დამუხტულ ნაწილაკთა ჩაკეტილ სისტემას, რომელიც შედგება ერთნაირი კუთრი მუხტის მქონე ნაწილაკებისაგან, არ გააჩნია დიპოლური გამოსხივება.

4.212. იპოვეთ ელექტრონის გამოსხივების საშუალო სიმძლავრე, თუ ის ასრულებს  $x=0,10$  ნმ ამპლიტუდისა და  $\omega=6,5 \cdot 10^{14}$  რად/წმ სიხშირის ჰარმონიულ რხევებს.

4.213. იპოვეთ  $e$  მუხტისა და  $m$  მასის არარელატივისტური ნაწილაკის გამოსხივების სიმძლავრე, თუ ნაწილაკი მოძრაობს  $R$ -რადიუსიან წრიულ ორბიტაზე, უძრავი წერტილოვანი  $q$  მუხტის ველში.

4.214.  $e$  მუხტისა და  $m$  მასის ნაწილაკმა არარელატივისტური  $v$  სიჩქარით ჩაუქროლა  $b$  მანძილზე მოთავსებულ  $q$  მუხტის მქონე უძრავ ნაწილაკს. უგულებელყავით მოძრავი ნაწილაკის ტრაექტორიის გამრუდება და იპოვეთ ნაწილაკის მიერ გამოსხივებაზე დაკარგული ენერგია მოძრაობის მთელი დროის განმავლობაში.

4.215. არარელატივისტური პროტონი შეფერინდა ნორმალის გასწვრივ  $B=1,0$  ტლ ინდუქციის განივი ერთგვაროვანი მაგნიტური ველის ნახევარსივრცეში. იპოვეთ პროტონის მიერ გამოსხივებაზე დაკარგული ენერგიის შეფარდება მის საწყის კინეტიკურ ენერგიასთან ველში მოძრაობის მთელი დროის განმავლობაში.

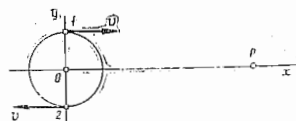
4.216. არარელატივისტური დამუხტული ნაწილაკი მოძრაობს  $B$  ინდუქციის განივ ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში. იპოვეთ ნაწილაკის კინეტიკური ენერგიის შემცირების (გამოსხივების გამო) კანონი, რა დროში შემცირდება მისი კინეტიკური ენერგია  $e$ -ჯერ? გამოიანგარიშეთ ეს დრო ელექტრონისათვის და პროტონისათვის.

4.217. დამუხტული ნაწილაკი მოძრაობს  $y$  ღერძის გასწვრივ  $y=a \cos \omega t$  კანონით, დაკვირვების  $P$  წერტილი კი მოთავსებულია  $x$  ღერძზე ნაწილაკიდან  $l$  მანძილზე ( $l \geq a$ ). იპოვეთ ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ნაკადის სიმკვრივეთა  $S_1/S_2$  შეფარდება  $P$  წერტილში იმ მომენტისათვის, როდესაც ნაწილაკის კოორდინატი  $y_1=0$  და  $y_2=a$ . გამოთვალეთ ეს შეფარდება, როდესაც  $\omega=3,3 \cdot 10^6$  რად/წმ და  $l=190$  მ.

4.218. დამუხტული ნაწილაკი თანაბრად მოძრაობს  $v$  სიჩქარით  $R$ -რადიუსიან წრეწირზე, რომელიც მოთავსებულია  $xy$  სიბრტყეში (ნახ. 4.40). დამკვირვებელი იმყოფება  $x$  ღერძზე  $P$  წერტილში, რომელიც დაშორებულია წრეწირის ცენტრიდან  $R$ -ზე გაცილებით მეტ მანძილზე, იპოვეთ:

ა) კავშირი ნაწილაკის დასაკვირვებელი აჩქარების  $y$  გეგმილის მნიშვნელობასა და მის  $y$  კოორდინატს შორის;

ბ) ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ნაკადის სიმკვრივების  $S_1/S_2$  შეფარდება  $P$  წერტილში იმ მომენტებისათვის, როდესაც ნაწილაკი მოძრაობს  $P$  დამკვირვებლისაკენ და უკან, როგორც ნახაზზეა ნაჩვენები.



ნახ. 4. 40.

თბ სხივზე, რომელიც დაშორებულა მისგან  $r$  მანძილით, ენერგიის ნაკადის სიმკვრივის საშუალო მნიშვნელობა  $S_0$ -ის ტოლია. იპოვეთ დიპოლის გამოსხივების საშუალო სიმძლავრე.

4.220. ელემენტარული დიპოლის მიერ გამოსხივებული საშუალო სიმძლავრე  $P_0$ . იპოვეთ ელექტრომაგნიტური ველის ენერგიის მოცულობითი სიმკვრივის საშუალო მნიშვნელობა ვაკუუმში—ტალღურ ზონაში იმ სხივზე, რომელიც მიმართულია დიპოლის ღერძის მართობულად და მისგან  $r$  მანძილითაა დაშორებული.

4.221. მუდმივი  $y$  მოდულის ელექტრულ დიპოლს აბრუნებენ  $\omega$  მუდმივი კუთხური სიჩქარით იმ ღერძის გარშემო, რომელიც გადის დიპოლის შუაგულში და მისი პერპენდიკულარულია. იპოვეთ ასეთი დიპოლის გამოსხივების სიმძლავრე.

4.222. თავისუფალი ელექტრონი იმყოფება ბრტყელი ელექტრომაგნიტური ტალღის ველში. უგულებელყავით ტალღის მაგნიტური მდგენელის გავლენა მის მოძრაობაზე და იპოვეთ ოსცილირებული ელექტრონის მიერ დროის ერთეულში გამოსხივებული საშუალო ენერგიის შეფარდება დაცემული ტალღის ენერგიის ნაკადის სიმკვრივის საშუალო მნიშვნელობასთან.

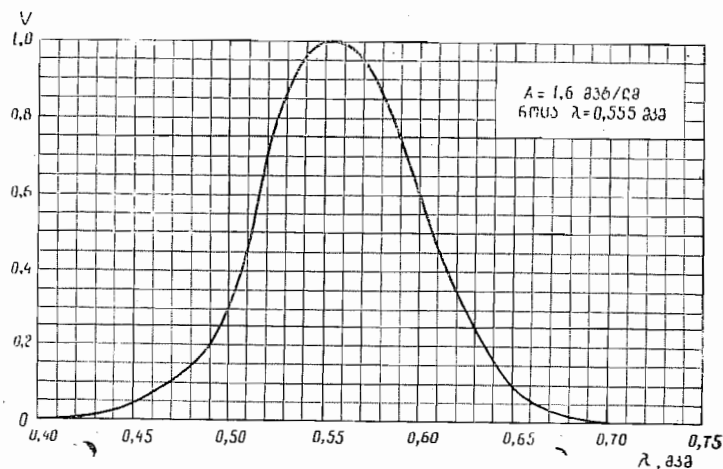
4.223. ა სიხშირის ბრტყელი ელექტრომაგნიტური ტალღა ეცემა დრეკადად ბმულ ელექტრონს, რომლის საკუთარი სიხშირეა  $\omega_0$ . უგულებელყავით რხევების მიღევა და იპოვეთ ელექტრონის მიერ დროის ერთეულში გაბნეული საშუალო ენერგიის შეფარდება დაცემული ტალღის ენერგიის ნაკადის სიმკვრივის საშუალო მნიშვნელობასთან.

4.224. გაითვალისწინეთ, რომ ნაწილაკს აქვს ბურთულის ფორმა და ის შთანთქავს მასზე დაცემულ მთელ სინათლეს. იპოვეთ მისი რადიუსი, რომლისთვისაც ნაწილაკის მიზიდვა მზისკენ სინათლის წნევის ძალითაა კომპენსირებული. მზის სინათლის გამოსხივების სიმძლავრეა  $P = 4 \cdot 10^{26}$  ვტ, ხოლო ნაწილაკის სიმკვრივე  $\rho = 1,0$  გ/სმ<sup>3</sup>.

## ოპტიკა

### 5.1. ფოტომეტრია და გეომეტრიული ოპტიკა

● თვალის ფარდობითი სპექტრული მგრძნობიარობის  $V(\lambda)$  მრუდი ნაჩვენებია 5.1 ნახაზზე.



ნახ. 5.1.

● სინათლის ძალა  $I$  და განათებულობა  $E$ :

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}, \quad E = \frac{d\Phi_{\text{გაფ.}}}{dS}. \quad (5.1 \text{ ა})$$

● წერტილოვანი იზოტროპული წყაროს მიერ წარმოქმნილი განათებულობა:

$$E = \frac{I \cos \alpha}{r^2}, \quad (5.1 \text{ ბ})$$

სადაც  $\alpha$  კუთხეა ზედაპირის ნორმალსა და წყაროსაკენ მიმართულებას შორის.

●  $M$  ნათება და  $L$  სიკაშკაშე:

$$M = \frac{d\Phi_{\text{გაფ.}}}{dS}, \quad L = \frac{d\Phi}{d\Omega dS \cos \theta}. \quad (5.1 \text{ გ})$$

● ლამბერტის წყაროსათვის  $L = \text{const}$  და ნათება:

$$M = \pi L. \quad (5.1 \text{ დ})$$



● კავშირი პრიზმის  $\theta$  გარდამტეხ კუთხესა და უმცირესი გადახრის  $\alpha$  კუთხე შორის:

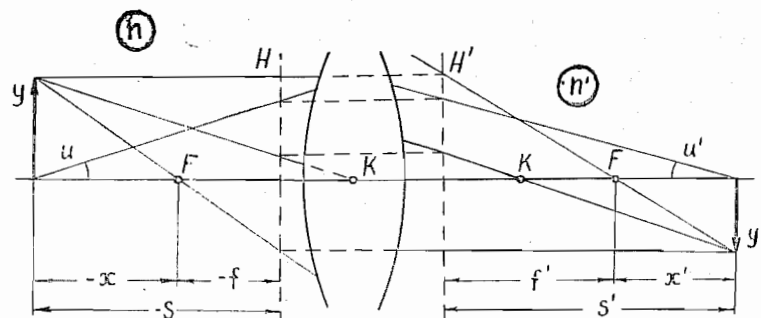
$$\sin \frac{\alpha + \theta}{2} = n \sin \frac{\theta}{2}, \quad (5.1 \text{ ე})$$

სადაც  $n$  პრიზმის გარდატეხის მაჩვენებელია.

● სფერული სარკის ფორმულა:

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{2}{R}, \quad (5.1 \text{ ვ})$$

სადაც  $R$  სარკის სიმრუდის რადიუსია.



ნახ. 5.2.

● ცენტრირებული ოპტიკური სისტემის ფორმულები (ნახ. 5.2):

$$\frac{n'}{s'} - \frac{n}{s} = \Phi, \quad \frac{f'}{s'} + \frac{f}{s} = 1, \quad xs' = ff'. \quad (5.1 \text{ ზ})$$

● თანფარდობები ფოკუსურ მანძილებსა და ოპტიკურ ძალას შორის:

$$f' = \frac{n'}{\Phi}, \quad f = -\frac{n}{\Phi}, \quad \frac{f'}{f} = -\frac{n'}{n}. \quad (5.1 \text{ თ})$$

● სფერული გარდამტეხი ზედაპირის ოპტიკური ძალა:

$$\Phi = \frac{n' - n}{R}. \quad (5.1 \text{ ი})$$

● თხელი ლინზის ოპტიკური ძალა  $n_0$  გარდატეხის მაჩვენებლიან გარემოში:

$$\Phi = (n - n_0) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right), \quad (5.1 \text{ კ})$$

სადაც  $n$  ლინზის გარდატეხის მაჩვენებელია.

●  $d$  სისქის სქელი ლინზის ოპტიკური ძალა:

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 - \frac{d}{n} \Phi_1 \Phi_2. \quad (5.1 \text{ ლ})$$

ეს ფორმულა მართებულია აგრეთვე ორი თხელი ლინზისაგან შემდგარი სისტემისათვის, რომელთა შორის მოთავსებულია  $n$  გარდატეხის მაჩვენებლიანი გარემო.

● მთავარი სიბრტყეები  $H$  და  $H'$  დაშორებული არიან სქელი ლინზის ზედაპირების  $O$  და  $O'$  წვეროებიდან (ნახ. 5.3) შემდეგ მანძილებზე:

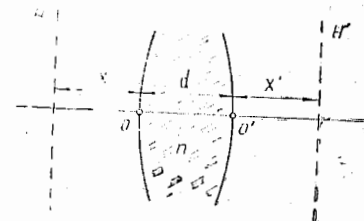
$$X = \frac{d}{n} \Phi_1, \quad X' = -\frac{d}{n} \Phi_2. \quad (5.1 \text{ მ})$$

● ლავრანტ-პელმჰოლცის ინვარიანტი:

$$nyu = \text{const}. \quad (5.1 \text{ ნ})$$

● ოპტიკური ხელსაწყოს გამადიდებლობა:

$$\Gamma = \frac{\text{tg } \varphi'}{\text{tg } \varphi}, \quad (5.1 \text{ ო})$$



ნახ. 5.3.

სადაც  $\varphi'$  და  $\varphi$  საგნის კუთხური ზომებია ხელსაწყოთი დაკვირვებისას და მის გარეშე (ლუპისა და მიკროსკოპის შემთხვევაში  $\varphi$  კუთხე შეესაბამება დაკვირვების საუკეთესო ხედვის მანძილს, როცა  $l_0 = 25$  სმ);

5.1. თვალის ფარდობითი სპექტრული მგრძნობიარობის მრუდის დახმარებით იპოვეთ:

ა) ენერგიის ნაკადი, რომელიც შეესაბამება 0,51 და 0,64 მკმ ტალღის სიგრძის 1,0 ლმ სინათლის ნაკადს;

ბ) 0,58-დან 0,63 მკმ-მდე ტალღის სიგრძეთა ინტერვალზე მოსული სინათლის ნაკადი, თუ ენერგიის შესაბამისი ნაკადი  $\Phi_0 = 4,5$  მეტ, თანაც უკანასკნელი თანაბრადაა განაწილებული ამ ინტერვალის ყოველი ტალღის სიგრძეზე. გაითვალისწინეთ, რომ მოცემულ სპექტრულ ინტერვალში  $V(\lambda)$  ტალღის სიგრძის წრფივი ფუნქციაა.

5.2. წერტილოვანი იზოტროპული წყარო ასხივებს  $\lambda = 0,59$  მკმ ტალღის სიგრძის  $\Phi = 10$  ლმ სინათლის ნაკადს. იპოვეთ ამ სინათლის ნაკადის ელექტრული და მაგნიტური ველის დამახულობის ამპლიტუდური მნიშვნელობები წყაროდან 1,0 მ-ის მანძილზე. ისარგებლეთ 5.1 ნახაზზე მოცემული მრუდით.

5.3. იპოვეთ გაუმკვირვალე სფეროს დასხივებული ნაწილის საშუალო განათებულობა, თუ მასზე ეცემა:

ა) პარალელური სინათლის ნაკადი, რომელიც ნორმალის გასწვრივ დაცემის წერტილში ქმნის  $E_0$  განათებულობას;

ბ) სინათლე წერტილოვანი იზოტროპული წყაროდან, რომელიც  $l = 100$  სმ-ის მანძილზეა მოთავსებული სფეროს ცენტრიდან; სფეროს რადიუსი  $R = 60$  სმ, ხოლო სინათლის ძალა  $I = 36$  კდ.

5.4. განსაზღვრეთ იმ ზედაპირის ნათება, რომლის სიკაშკაშე  $L = L_0 \cos \theta$  კანონითა და ოკიდებული მიმართულებაზე, სადაც  $\theta$  წარმოადგენს კუთხეს გამოსხივების მიმართულებასა და ზედაპირის ნორმალს შორის.

5.5. რომელიმე მნათი ზედაპირი ასხივებს ლამბერტის კანონით. მისი სიკაშკაშეა  $L$ . იპოვეთ:

ა) სინათლის ნაკადი, რომელსაც ასხივებს ამ ზედაპირის  $\Delta S$  ელემენტი კონუსის შიგნით, რომლის ღერძი ამ ელემენტის პერპენდიკულარულია, თუ კონუსის ნახევარგაშლის კუთხე არის  $\theta$ ;

ბ) ასეთი წყაროს ნათება.

5.6.  $R=1,0$  მ მრგვალი მაგიდის ცენტრის ზემოთ ჩამოკიდებულია  $S=100$  სმ<sup>2</sup> ფართის ბრტყელი ჰორიზონტალური დისკოს ფორმის სანათი. სანათის სიკაშკაშე არ არის დამოკიდებული მიმართულებაზე და  $L=1,6 \cdot 10^4$  კლ/მ<sup>2</sup>-ის ტოლია. მაგიდის ზედაპირიდან რა სიმაღლეზე უნდა ჩამოვკიდოთ სანათი, რომ მაგიდის განაპირა წერტილების განათებულობა იყოს მაქსიმალური? რას ეთანადებთ ეს განათებულობა? წყარო ჩათვალით წერტილოვნად.

5.7.  $R=1,0$  მ რადიუსის მრგვალი მაგიდის ცენტრის ზემოთ  $h=1,0$  მ სიმაღლეზე ჩამოკიდებულია წერტილოვანი წყარო, რომლის სინათლის ძალა  $I$  ისეა დამოკიდებული მიმართულებაზე, რომ მაგიდის თითოეული წერტილი თანაბრად განათებული. იპოვეთ  $I(\theta)$  ფუნქციის სახე, სადაც  $\theta$  წარმოადგენს კუთხეს გამოსხივების მიმართულებასა და ვერტიკალს შორის, და მაგიდაზე დაცემული სინათლის ნაკადი, თუ  $I(0)=I_0=100$  კლ.

5.8. პარაბოლური ვერტიკალური სხივი ანათებს  $R=2,0$  მ რადიუსის მრგვალი ოთახის ჭერის ცენტრს. ამ დროს ჭერზე წარმოიქმნება  $S=100$  სმ<sup>2</sup> ფართის მცირე ზომის აბინათი. აბინათის განათებულობა  $E=1000$  ლკ; ჭერის არეკვლის კოეფიციენტი  $\rho=0,80$ . იპოვეთ ჭერიდან არეკვლილი სინათლის მიერ წარმოქმნილი უდიდესი განათებულობა კედელზე. ჩათვალით, რომ არეკვლა ლამბერტის კანონს ემორჩილება.

5.9. ნახევარსფეროს ფორმის თანაბრად მნათი გუმბათი ეყრდნობა ჰორიზონტალურ ზედაპირს. განსაზღვრეთ განათებულობა ამ ზედაპირის ცენტრში, თუ გუმბათის სიკაშკაშე  $L$ -ის ტოლია და არ არის დამოკიდებული მიმართულებაზე.

5.10. ლამბერტის წყაროს უსასრულო სიბრტყის ფორმა აქვს. მისი სიკაშკაშე  $L$ -ის ტოლია. იპოვეთ იმ ფართობის განათებულობა, რომელიც მოცემული წყაროს პარალელურია.

5.11. მაგიდის ზემოთ მოთავსებულია სანათი, რომელიც წარმოადგენს  $R=25$  სმ რადიუსიან ბრტყელ ჰორიზონტალურ დისკოს. მანძილი სანათსა და მაგიდის ზედაპირს შორის  $h=75$  სმ; მაგიდის განათებულობა

სანათის ცენტრის ქვევით  $E_0=70$  ლკ. იპოვეთ ამ წყაროს ნათება, თუ მას ლამბერტის წყაროდ მივიჩნევთ.

5.12. მცირე ზომის სანათი, რომელსაც  $R=6,0$  სმ რადიუსის თანაბრად მნათი სფეროს ფორმა აქვს, მოთავსებულია  $h=3,0$  მ-ის მანძილზე იატაკიდან. სანათის სიკაშკაშე  $L=2,0 \cdot 10^4$  კლ/მ<sup>2</sup> და არ არის დამოკიდებული მიმართულებაზე. იპოვეთ იატაკის განათებულობა უშუალოდ სანათის ქვეშ.

5.13. ვექტორულად გამოსახეთ სინათლის სხივის არეკვლის კანონი სარკეზე დაცემული და არეკვლილი სხივის მიმართველი  $e$  და  $e'$  ორბიტებისა და სარკის ზედაპირის გარე  $n$  ნორმალთ.

5.14. აჩვენეთ, რომ სინათლის სხივი, რომელიც თანმიმდევრულად არეკვლება სამი ურთიერთმართობი ბრტყელი სარკიდან, საპირისპიროდ შეიცვლის მიმართულებას.

5.15. როგორია  $\theta$ , დაცემის კუთხე, თუ წყლის ზედაპირიდან არეკვლილი სხივი გარდატეხილი სხივის პერპენდიკულარულია?

5.16. მოცემულია ბრტყელი საზღვრის მქონე ორი ოპტიკური გარემო. დავუშვათ, რომ სხივის დაცემის ზღვრული კუთხე  $\theta_{\text{ზღვ}}$ -ის ტოლია, ხოლო  $\theta_1$  არის დაცემის კუთხე, რომლის დროსაც გარდატეხილი სხივი არეკვლილი სხივის პერპენდიკულარულია (იგულისხმება, რომ სხივი ვრცელდება ოპტიკურად მეტად მკვრივი გარემოდან). იპოვეთ ამ ორი გარემოს ფარდობითი გარდატეხის მაჩვენებელი, თუ  $\sin \theta_{\text{ზღვ}}/\sin \theta_1 = \eta = 1,28$ .

5.17. სინათლის სხივი ეცემა  $d=0,6$  სმ სისქის ბრტყელ-პარალელურ მინის ფირფიტას. დაცემის კუთხე  $\theta=60^\circ$ . იპოვეთ ფირფიტაში გასული სხივის წანაცვლების სიდიდე.

5.18. აუზის კიდესთან დგას ადამიანი და აკვირდება ქვას ფსკერზე. აუზის სიღრმე  $h$ -ის ტოლია. წყლის ზედაპირიდან რა მანძილზეა ქვის მოჩვენებითი გამოსახულება, თუ ხედვის სხივი წყლის ზედაპირის ნორმალთან ადგენს  $\theta$  კუთხეს?

5.19. აჩვენეთ, რომ მცირე  $\theta$  გარდამტეხი კუთხის მქონე პრიზმაში გარდატეხილი სხივი გადაიხრება  $\alpha \approx (n-1)\theta$  კუთხით, რომელიც აგრეთვე მცირეა და არ არის დამოკიდებული დაცემის კუთხეზე.

5.20. სინათლის სხივი ვრცელდება  $\theta$  გარდამტეხი კუთხისა და  $n$  გარდატეხის მაჩვენებლიან პრიზმაში. დავუშვათ, რომ  $\alpha$  არის სხივის გადახრის კუთხე. აჩვენეთ, რომ პრიზმაში სხივის სიმეტრიული სვლის დროს:

ა) კუთხე  $\alpha$  მინიმალურია;

ბ) კავშირი  $\alpha$  და  $\theta$  კუთხეებს შორის განისაზღვრება (5.1 დ) ფორმულით.

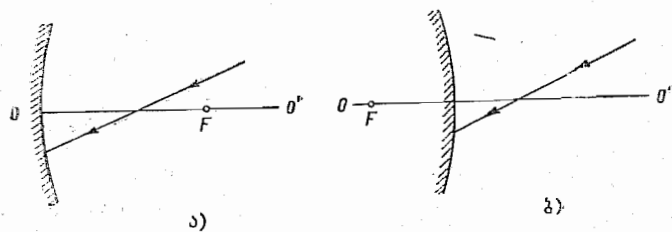
5.21. მინის პრიზმისათვის სხივის უმცირესი გადახრის კუთხე პრიზმის გარდამტეხი კუთხის ტოლია. იპოვეთ გარდამტეხი კუთხე.

5.22. იპოვეთ საზღვრები, რომლებშიც შეიძლება იცვლებოდეს სხივის გადახრის კუთხე, თუ სხივი ვრცელდება  $\varphi=60^\circ$  გარდამტეხი კუთხის მქონე მინის პრიზმაში.

5.23.  $60^\circ$  გარდატეხის კუთხის მქონე სამწახნაგა პრიზმა ჰაერში იძლევა  $37^\circ$  უმცირესი გადახრის კუთხეს. გადახრის კუთხის რა უმცირეს მნიშვნელობას მოგვცემს ეს პრიზმა წყალში?

5.24. სინათლის სხივი, რომელიც ორ მონოქრომატულ მდგენელს შეიცავს, გადის  $\varphi=60^\circ$  გარდამტეხი კუთხის მქონე სამწახნაგა პრიზმაში. განსაზღვრეთ კუთხე  $\Delta\alpha$  სხივის ორივე მდგენელს შორის პრიზმის გავლის შემდეგ, თუ მათთვის გარდატეხის მაჩვენებლებია 1,515 და 1,520, ხოლო პრიზმა უმცირესი გადახრის კუთხითაა ორიენტირებული.

5.25. ფერმას პრინციპის დახმარებით გამოიყენეთ ორი გარემოს გამყოფ ზედაპირზე სინათლის სხივის არეკვლისა და გარდატეხის კანონები.

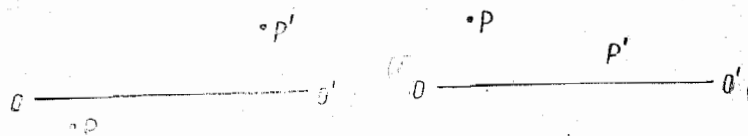


ნახ. 5.4.

5.26. აგებით იპოვეთ:

ა) სხივის სვლა ჩაზნექილი და ამოზნექილი სფერული სარკეებიდან არეკვლის შემდეგ (ნახ. 5.4, სადაც  $F$  ფოკუსია,  $OO'$  — ოპტიკური ღერძი);

ბ) სარკისა და მისი ფოკუსის მდებარეობა 5.5 ნახაზზე ნაჩვენებ შემთხვევებისათვის. აქ  $P$  და  $P'$  შეუღლებული წერტილებია.



ნახ. 5.5.

5.27. განსაზღვრეთ ჩაზნექილი სარკის ფოკუსური მანძილი, თუ:

ა) საგანსა და გამოსახულებას შორის  $l=15$  სმ მანძილისათვის გაზომილი მანძილი  $\beta=-2,0$ ;

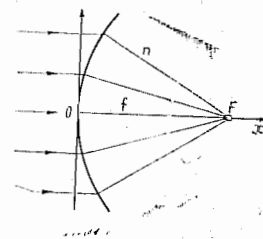
ბ) საგნის ერთი მდებარეობისათვის განივი გამადიდებლობა  $\beta_1=-0,50$ , ხოლო მეორე მდებარეობისათვის, რომელიც  $l=5,0$  სმ-ითაა

წანაცვლებული პირველი მდებარეობიდან, განივი გამადიდებლობა  $\beta_2=-0,25$ .

5.28.  $I_0=100$  კდ სინათლის ძალის წერტილოვანი წყარო  $s=20,0$  სმ-ითაა დაშორებული  $f=25,0$  სმ ფოკუსური მანძილის მქონე ჩაზნექილი სარკის წვეროდან. განსაზღვრეთ სინათლის ძალა არეკვილ კონაში, თუ სარკის არეკვლის კოეფიციენტი  $\rho=0,80$ .

5.29. ფერმას პრინციპის დახმარებით გამოიყენეთ პარაქსიალური სხივების გარდატეხის ფორმულა  $R$ -რადიუსიან სფერულ ზედაპირზე, რომელიც ყოფს  $n$  და  $n'$  გარდატეხის მაჩვენებლიან ორ გარემოს.

5.30. სინათლის პარალელური კონა ეცემა ვაკუუმიდან ზედაპირზე, რომელიც  $n$  გარდატეხის მაჩვენებლიან არეს შემოსაზღვრავს (ნახ. 5.6). იპოვეთ ამ ზედაპირის ფორმა, ანუ  $x(r)$  განტოლება, როდესაც კონა  $O$  წვეროდან  $f$  მანძილით დაშორებულ  $F$  წერტილში დაფოკუსდება. როგორი მაქსიმალური რადიუსი უნდა ჰქონდეს კვეთას, რომ შევძლოთ მისი დაფოკუსება?



ნახ. 5.6.

5.31. წერტილოვანი წყარო 20 სმ-ითაა დაშორებული მინის სიმეტრიული ორმხრივამოზნექილი ლინზის ზედაპირიდან. ლინზის სისქე 5,0 სმ-ის ტოლია, ხოლო ზედაპირების სიმრუდის რადიუსები — 5,0 სმ. ამ ლინზის უკანა ზედაპირიდან რა მანძილზე წარმოიქმნება წყაროს გამოსახულება?

5.32.  $d=9,0$  სმ სისქის მინის ამოზნექილ-ბრტყელი ლინზის ამოზნექილი ზედაპირის წინ მოთავსებულია საგანი. ამ საგნის გამოსახულება მიიღება ლინზის ბრტყელ ზედაპირზე, რომელიც ეკრანის როლს ასრულებს. განსაზღვრეთ:

ა) განივი გამადიდებლობა, თუ ლინზის ამოზნექილი ზედაპირის სიმრუდის რადიუსი  $R=2,5$  სმ;

ბ) გამოსახულების განათებულობა, თუ საგნის სიკაშკაშე  $L=7700$  კდ/მ<sup>2</sup>, ხოლო ლინზის ამოზნექილი ზედაპირის შესასვლელი ზვრელის დიამეტრი  $D=5,0$  მმ; სინათლის დანაკარგები უგულებელყოფილია.

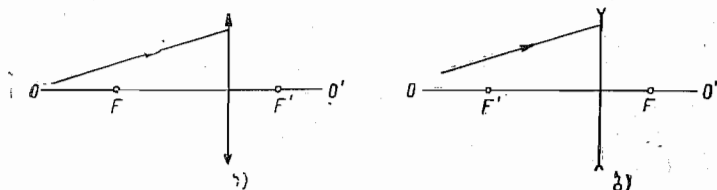
5.33. იპოვეთ ოპტიკური ძალა და ფოკუსური მანძილები:

ა)  $n_0=1,7$  გარდატეხის მაჩვენებლის მქონე სითხეში მოთავსებული თხელი მინის ლინზისათვის, თუ ჰაერში ლინზის ოპტიკური ძალა  $\Phi=-5,0$  დპ;

ბ) თხელი სიმეტრიული ორმხრივამოზნექილი მინის ლინზისათვის, რომლის ერთ მხარეს ჰაერია, მეორე მხარეს კი — წყალი და, თუ ჰაერში ამ ლინზის ოპტიკური ძალა  $\Phi=+10$  დპ.

### 5.34. აგებით იპოვეთ:

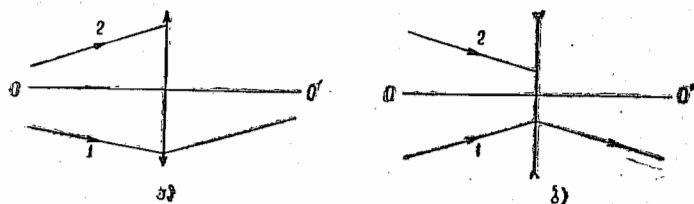
ა) სხივის სვლა შემკრები და გამბნევი თხელი ლინზების მეორე მხარეს (ნახ. 5.7), სადაც  $OO'$  ოპტიკური ღერძია,  $F$  და  $F'$  წინა და უკანა ფოკუსები;



ნახ. 5.7.

ბ) თხელი ლინზისა და მისი ფოკუსების მდებარეობა, თუ ცნობილია  $OO'$  ოპტიკური ღერძისა და წყვილი  $PP'$  შეუღლებული წერტილების მდებარეობა (იხ. ნახ. 5.5); ლინზების ორივე მხარეს ერთი და იგივე გარემო;

გ) მე-2 სხივის სვლა შემკრები და გამბნევი თხელი ლინზების მეორე მხარეს (ნახ. 5.8), თუ ცნობილია ლინზისა და მისი  $OO'$  ოპტიკური ღერძის მდგომარეობა და 1-ლი სხივის სვლა; ლინზების ორივე მხარეს ერთი და იგივე გარემო.



ნახ. 5.8.

5.35.  $f=25$  სმ ფოკუსური მანძილის მქონე თხელი შემკრები ლინზა აგეგმილებს საგნის გამოსახულებას ეკრანზე, რომელიც  $l=5,0$  მ მანძილითაა დაშორებული ლინზიდან. ეკრანი  $\Delta l=18$  სმ-ით მიუახლოვეს ლინზას. რამდენით უნდა გადავადგილოთ საგანი, რომ ეკრანზე ისევ მივიღოთ მისი მკაფიო გამოსახულება?

5.36. სინათლის წყარო  $l=90$  სმ-ითაა დაშორებული ეკრანიდან. თხელი შემკრები ლინზა, რომელიც სინათლის წყაროსა და ეკრანს შორისაა მოთავსებული, იძლევა წყაროს მკაფიო გამოსახულებას ორ მდგომარეობაში. განსაზღვრეთ ლინზის ფოკუსური მანძილი, თუ:

- მანძილი ლინზის ორ მდებარეობას შორის  $\Delta l=30$  სმ;
- გამოსახულების განივი ზომები ლინზის ერთი მდებარეობისათვის  $\eta=4,0$ -ჯერ მეტია, ვიდრე მეორისათვის.

5.37. საგანსა და ეკრანს შორის, რომელთა ურთიერთმდებარეობა უცვლელია, ათავსებენ თხელ შემკრებ ლინზას ლინზის გადაადგილებით პოულობენ ორ მდებარეობას, რომელთათვისაც ეკრანზე მიიღება საგნის მკაფიო გამოსახულება. იპოვეთ საგნი, განივი ზომა, თუ ლინზის ერთი მდებარეობისათვის გამოსახულების ზომაა  $h'=2,0$  მმ, ხოლო მეორისათვის  $h''=4,5$  მმ.

5.38.  $D:f=1:3,5$  ( $D$ —ლინზის დიამეტრია,  $f$ —მისი ფოკუსური მანძილი) ფარდობითი სვრელის მქონე თხელი შემკრები ლინზა იძლევა საკმაოდ დაშორებული საგნის გამოსახულებას ფოტოფირზე. საგნის სიკაშკაშეა  $L=260$  კლ/მ<sup>2</sup>. სინათლის დანაკარგები ლინზაში შეადგენს  $\alpha=0,10$  იპოვეთ გამოსახულების განათებულობა.

5.39. როგორაა დამოკიდებული ნამოვილი გამოსახულების სიკაშკაშე თხელი შემკრები ლინზის  $D$  დიამეტრზე, თუ გამოსახულებას ვაკვირდებით:

- უშუალოდ;
- თეთრ ეკრანზე, რომელიც აბნევს სხივებს ლამბერტის კანონით.

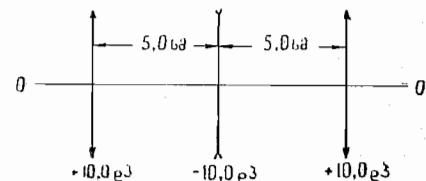
5.40. მოცემულია ორი თხელი სიმეტრიული ლინზა: ერთი შემკრებია  $n_1=1,70$  გარდატეხის მაჩვენებლით, ხოლო მეორე გამბნევია  $n_2=1,51$  გარდატეხის მაჩვენებლით. ორივე ლინზის ზედაპირის სიმრუდის რადიუსებია  $R=10$  სმ. ლინზები მიჯრით მიადგეს ერთმანეთს და ჩაუშვებს წყალში. როგორაა ამ სისტემის ფოკუსური მანძილი წყალში?

5.41. განსაზღვრეთ ფოკუსური მანძილი ჩაზნექილი სფერული სარკისა, რომელიც წარმოადგენს თხელ სიმეტრიულ ორმხრივამოზნექილ მინის ლინზას და რომლის ერთი ზედაპირი მოვერცხლილია. ლინზის ზედაპირის სიმრუდის რადიუსი  $R=40$  სმ.

5.42. 5.9 ნახაზზე ნაჩვენებია სამი თხელი ლინზისაგან შედგენილი ცენტრირებული სისტემა. სისტემა იმყოფება ჰაერში. განსაზღვრეთ:

ა) მარცხნიდან დაცემული პარალელური კონის შეკრების წერტილის მდებარეობა სისტემის გავლის შემდეგ;

ბ) მანძილი პირველი ლინზიდან წერტილამდე, რომელიც მოთავსებულია ღერძზე სისტემის მარცხნივ და როდესაც ეს წერტილი და მისი გამოსახულება სიმეტრიულადაა განლაგებული სისტემის მიმართ.



ნახ. 5.9.

5.43. 10-ჯერადი გამადიდებლობის მქონე გალილეის მილის სიგრძე უსასრულობაზე დაყენებისას 45 სმ-ის ტოლია. განსაზღვრეთ:

- მილის ობიექტივისა და ოკულარის ფოკუსური მანძილები;
- რა მანძილზე უნდა გადავადგილოთ მილის ოკულარი, რომ საგნები ნათლად დაინახოთ 50 მ-ის მანძილზე.



5.44. იპოვეთ უსასრულობაზე დაყენებული კეპლერის ტიპის ჭოგრის გამადიდებლობა, თუ მილის ობიექტივის ბუდის დიამეტრია  $D$ , ხოლო ოკულარის მიერ წარმოქმნილი ამ ბუდის გამოსახულების დიამეტრი— $d$ .

5.45. სინათლის ნაკადის გავლისას ჭოგრში მისი ინტენსივობა იზრდება  $\eta = 4,0 \cdot 10^4$  ჯერ. იპოვეთ დაშორებული საგნის კუთხური ზომა, თუ ამ მილში დაკვირვებისას მისი გამოსახულების კუთხური ზომა  $\psi' = 2,0^\circ$ .

5.46.  $\Gamma = 15$  გამადიდებლობის კეპლერის ტიპის ჭოგრი ჩაუშვებს წყალში, რომელმაც შეაგზო მისი შიდა ნაწილი. იმისათვის, რომ სისტემა დარჩეს ტელესკოპური იმავე ზომებისათვის, შეცვალეს ობიექტივი. როგორი გახდება ამის შემდეგ მილის გამადიდებლობა წყალში? ოკულარის მინის გარდატეხის მაჩვენებელი  $n = 1,50$ .

5.47. როგორი  $\Gamma$  გამადიდებლობა უნდა ჰქონდეს ჭოგრს, რომლის ობიექტივის დიამეტრი  $D = 6,0$  სმ, რომ ობიექტის გამოსახულების განათებულობა ძვალის ბადურაზე ნაკლები არ იყოს განათებულობაზე ჭოგრის გარეშე დაკვირვებისას? თვალის გუგის დიამეტრი ჩათვალოთ  $d_0 = 3,0$  მმ-ის ტოლად. უგულებელყავით სინათლის დანაკარგები ჭოგრში.

5.48. მიკროსკოპის ობიექტივისა და ოკულარის ოპტიკური ძალა შესაბამისად 100 და 20 დპ-ის ტოლია. მიკროსკოპის გამადიდებლობაა 50. როგორი იქნება ამ მიკროსკოპის გამადიდებლობა, თუ მანძილს ობიექტივსა და ოკულარს შორის 2,0 სმ-ით გავზრდით?

5.49. მიკროსკოპის რიცხვითი აპერტურა  $\sin \alpha = 0,12$ , სადაც  $\alpha$  წარმოადგენს ობიექტივის ბუდეზე დაცემულ სხივთა კონუსის ნახევარგაშლის კუთხეს. თვალის გუგის დიამეტრი  $d_0 = 4,0$  მმ. განსაზღვრეთ მიკროსკოპის გამადიდებლობა, რომლისთვისაც:

ა) მიკროსკოპიდან გამოსული სინათლის კონის დიამეტრი თვალის გუგის დიამეტრის ტოლია;

ბ) თვალის ბადურაზე გამოსახულების განათებულობა არ იქნება დამოკიდებული გამადიდებლობაზე (განიხილეთ შემთხვევა, როდესაც „მიკროსკოპი—თვალი“ სისტემაში გამავალი სინათლის კონა ობიექტივის ბუდეშია შემოსაზღვრული).

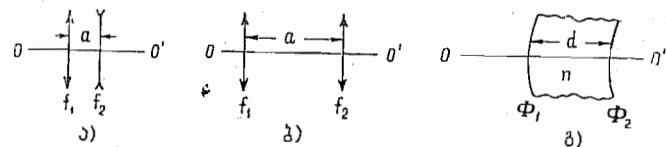
5.50. ორმხრივამოზნეკილი თხელი სიმეტრიული მინის ლინზის ზედაპირის სიმაღლის რადიუსი  $R = 7,50$  სმ. იპოვეთ ლინზის მთავარი სიბრტყეების, ფოკუსებისა და კვანძი წერტილების მდებარეობა, თუ მის ერთ მხარეს ჰაერია, ხოლო მეორე მხარეს—წყალი.

5.51. აგებით იპოვეთ 5.10 ნახაზზე ნაჩვენები ცენტრირებული ოპტიკური სისტემების ფოკუსებისა და მთავარი სიბრტყეების მდებარეობა თუ:

ა) ტელეობიექტივი წარმოადგენს შემკრები და გამზნევი თხელი ლინზების სისტემას ( $f_1 = 1,5a$ ,  $f_2 = 1,5a$ );

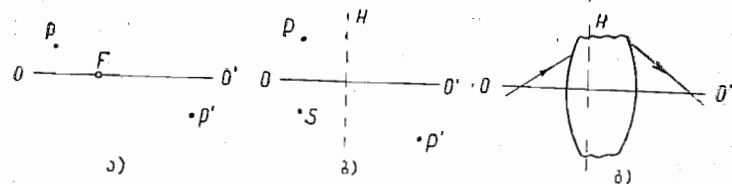
ბ) სისტემა წარმოადგენს ორ შემკრებ თხელ ლინზას ( $d = 4$  სმ,  $n = 1,5$ ,  $\Phi_1 = +50$  დპ,  $\Phi_2 = -50$  დპ).

5.52. ოპტიკური სისტემა მოთავსებულია ვაკუუმში. დაუშვათ, რომ  $OO'$  მისი ოპტიკური ღერძია,  $F_1$  და  $F'$ —წინა და უკანა ფოკუსები,



ნახ. 5.10

$H$  და  $H'$  წინა და უკანა მთავარი სიბრტყეები, ხოლო  $P$  და  $P'$ —შეუღლებული წერტილები. აგებით იპოვეთ:



ნახ. 5.11.

ა)  $F'$  და  $H'$ -ის მდებარეობა (ნახ. 5.11 ა);

ბ)  $S$  წერტილის შეუღლებული  $S'$  წერტილის მდებარეობა (ნახ. 5.11 ბ);

გ)  $F$ ,  $F'$  და  $H'$ -ის მდებარეობა (ნახ. 5.11 გ, სადაც ნაჩვენებია სხივის სვლა სისტემამდე და სისტემის გავლის შემდეგ).

5.53. დაუშვათ, რომ  $F$  და  $F'$  ოპტიკური სისტემის წინა და უკანა ფოკუსებია, ხოლო  $H$  და  $H'$ —მისი წინა და უკანა მთავარი წერტილები. აგებით იპოვეთ  $S$  წერტილის  $S'$  განოსახულების მდებარეობა  $S$ ,  $F$ ,  $F'$  და  $H$ ,  $H'$  წერტილთა შემდეგი განლაგებისათვის:

ა)  $FSSH'H'$ ;

ბ)  $HSH'FH'$ ;

გ)  $H'SF'FH$ ;

დ)  $F'H'SHF$ ;

5.54. ტელეობიექტივი შედგება ორი თხელი ლინზისაგან. წინა შემკრებია, ხოლო უკანა—გამზნევი. მათი ოპტიკური ძალაა  $\Phi_1 = +10$  დპ და  $\Phi_2 = -10$  დპ. იპოვეთ:

ა) ამ სისტემის ფოკუსური მანძილი და მთავარი სიბრტყეების მდებარეობა, თუ მანძილი ლინზებს შორის  $d = 4,0$  სმ;

ბ)  $d$  მანძილი ლინზებს შორის, რომლისთვისაც სისტემის  $f$  ფოკუსური მანძილის შეფარდება  $\Gamma$  მანძილთან შემკრებ ლინზასა და უკანა მთავარი ფოკუსის შორის, იქნება მაქსიმალური. რას უდრის ეს შეფარდება?

5.55. გამოთვალეთ სქელი ამოზნექილ-ჩაზნექილი მინის ლინზის მთავარი სიბრტყეებისა და ფოკუსების მდებარეობა, თუ ამოზნექილი ზედაპირის სიბრტყედის რადიუსია  $R_1=10,0$  სმ, ჩაზნექილის— $R_2=5,0$  სმ, ხოლო ლინზის სისქე  $d=3,0$  სმ.

5.56. ცენტრირებული ოპტიკური სისტემა შედგება ორი თხელი ლინზისაგან, რომელთა ფოკუსური მანძილებია  $f_1$  და  $f_2$ , ხოლო მანძილი ლინზებს შორის  $d$ -ს ტოლია. მოცემული სისტემა უნდა შეიცვალოს ერთი თხელი ლინზით, რომელიც ობიექტის ნებისმიერი მდებარეობისათვის იძლევა იმავე განივ გამადიდებლობას, რასაც გვაქვს წინა სისტემა. როგორი უნდა იყოს ამ ლინზის ფოკუსური მანძილი და მისი მდებარეობა ორი ლინზისაგან შემდგარი სისტემის მიმართ?

5.57. სისტემა შედგება შემკრები თხელი სიმეტრიული მინის ლინზისაგან, რომლის ზედაპირების სიბრტყედის რადიუსი  $R=38$  სმ-ია და ლინზის ოპტიკური ღერძის მართობულად განლაგებული ბრტყელი სარკისაგან. მანძილი ლინზასა და სარკეს შორის  $l=12$  სმ-ს. როგორი იქნება ამ სისტემის ოპტიკური ძალა, თუ სივრცეს ლინზსა და სარკეს შორის შევსებთ წყლით?

5.58. როგორი სისქე უნდა ჰქონდეს ამოზნექილ-ჩაზნექილ სქელ მინის ლინზას, რომ:

ა) ის გახდეს ტელესკოპური, თუ მისი ამოზნექილი ზედაპირის სიბრტყედის რადიუსი  $\Delta R=1,5$  სმ-ით მეტია ჩაზნექილი ზედაპირის სიბრტყედის რადიუსზე?

ბ) მისი ოპტიკური ძალა გახდეს  $-1,0$  დპ-ის ტოლი, თუ მისი ამოზნექილი და ჩაზნექილი ზედაპირების სიბრტყედის რადიუსები შესაბამისად 10,0 და 7,5 სმ-ის ტოლია?

5.59. იპოვეთ მთავარი სიბრტყეების მდებარეობა, ფოკუსური მანძილი და ოპტიკური ძალის ნიშანი ამოზნექილ-ჩაზნექილი სქელი მინის ლინზისა, რომლის:

ა) სისქეა  $d$ , ხოლო ზედაპირების სიბრტყედის რადიუსები ერთნაირია და  $R$ -ის ტოლია;

ბ)  $R_1$  და  $R_2$  ( $R_2 > R_1$ ) სიბრტყედის რადიუსიანი გარდამტეხი ზედაპირები კონცენტრულია.

5.60. ტელესკოპური სისტემა შედგენილია ორი მინის სფეროსაგან, რომელთა რადიუსებია  $R_1=5,0$  სმ და  $R_2=1,0$  სმ. გამოთვალეთ მანძილი ამ სფეროების ცენტრებს შორის და სისტემის გამადიდებლობა, თუ ობიექტის როლს ასრულებს დიდი სფერო?

5.61. ორი ერთნაირი სიმეტრიული ორმხრივამოზნექილი სქელი ლინზა მიჯრითაა მიწყობილი. თითოეული ლინზის სისქე მათი ზედაპირების სიბრტყედის რადიუსების ტოლია,  $d=R=3,0$  სმ. იპოვეთ ამ სისტემის ოპტიკური ძალა ჰაერში.

5.62. სინათლის გავრცელებისას იზოტროპულ გარემოში, რომლის გარდატეხის მაჩვენებელი  $n$  ნელა იცვლება წერტილიდან წერტილამდე, სხივის სიბრტყედის რადიუსი  $\rho$  განისაზღვრება ფორმულით:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\partial}{\partial N} (\ln n),$$

სადაც წარმოებული აღებულია სხივის მიმართ მთავარი ნორმალის მიმართულებით. მიიღეთ იგივე ფორმულა, თუ გაითვალისწინებთ, რომ ასეთ გარემოში მართებულია გარდატეხის შედეგი კანონი:  $n \sin \varphi = \text{const}$ , სადაც  $\varphi$  არის კუთხე სხივსა და  $\nabla n$  ვექტორს შორის მოცემულ წერტილში.

5.63. იპოვეთ იმ სინათლის სხივის სიბრტყედის რადიუსი, რომელიც ვრცელდება პოზიზონტალური მიმართულებით, დედამიწის ზედაპირის ჩახლობლად, სადაც ჰაერის გარდატეხის მაჩვენებლის გრადიენტი  $\partial n / \partial N \approx 3 \cdot 10^{-8} \text{ მ}^{-1}$  (იხ. წინა ამოცანა). რა მნიშვნელობა უნდა ჰქონდეს ამ გრადიენტს, რომ სინათლის სხივი გავრცელდეს წრეწირის გასწვრივ დედამიწის გარშემო?

## 5.2. სინათლის ინტერფერენცია

● ინტერფერენციის ზოლის სიგანე:

$$\Delta x = \frac{l}{d} \lambda, \quad (5.2 \text{ ა})$$

სადაც  $l$  არის მანძილი ეკრანიდან წყარომდე,  $d$ —მანძილი წყაროებს შორის.

● დროითი და სივრცული კოჰერენტულობა. კოჰერენტულობის სიგრძე და რადიუსი:

$$l_{\text{კოჰ}} \approx \frac{\lambda^2}{\Delta \lambda}, \quad \rho_{\text{კოჰ}} \approx \frac{\lambda}{\varphi}, \quad (5.2 \text{ ბ})$$

სადაც  $\varphi$  წყაროს კუთხური ზომაა.

● მაქსიმუმების პირობა  $b$  სიქის თხელი ფიკტიციურიდან არეკეილი სინათლის ინტერფერენციის დროს:

$$2b \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_1} = (k+1/2)\lambda, \quad (5.2 \text{ გ})$$

სადაც  $k$  მთელი რიცხვია.

● ნიუტონის რგოლები მიიღება სინათლის არეკვლისას ჰაერის შუა შრის ზედაპირებიდან, რომელიც მინის ფიკტიციურსა და მასთან მიმდებარე  $R$ -რადიუსიანი ლინზის ამოზნექილ ზედაპირს შორისაა შექმნილი. რგოლების რადიუსია:

$$r = \sqrt{\lambda R k / 2}, \quad (5.2 \text{ დ})$$

თანაც რგოლები ნათელია, თუ  $k=1,3,5,\dots$  და ბნელი, თუ  $k=2,4,6,\dots$   $k=0$  მნიშვნელობას ცენტრალური ბნელი ლაქის შუაგული შეესაბამება.

5.64. აჩვენეთ, რომ ორი ჰარმონიული რხევის შეკრების დროს ჯამური რხევის დროით გასაშუალებული ენერგია თითოეული მათგანის ენერგიის ჯამის ტოლია, თუ რხევები:

ა) კოპერენტული არაა და ერთი და იმავე მიმართულებისაა, თანაც, მათი ფაზათა სხვაობის ყველა მნიშვნელობა თანაბარალობათურია;

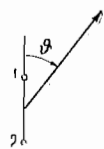
ბ) ურთიერპერპენდიკულარულია, აქვთ ერთი და იგივე სიხშირე და ნებისმიერი ფაზათა სხვაობა.

5.65. იპოვეთ გრაფიკულად იმ რხევის ამპლიტუდა, რომელიც მიიღება ერთი მიმართულების სამი რხევის შეკრების დროს:

$$\xi_1 = a \cos \omega t, \quad \xi_2 = 2a \sin \omega t, \quad \xi_3 = 1,5a \cos(\omega t + \pi/3).$$

5.66. ჯამური რხევა მიიღება  $\xi_k = a \cos[\omega t + (k-1)\varphi]$  სახის ერთი მიმართულების კოპერენტული რხევების შეკრების შედეგად. აქ  $k$  რხევის ნომერია ( $k=1,2,\dots,N$ ),  $\varphi$ —ფაზათა სხვაობა  $k$ -ურ და  $(k-1)$  რხევებს შორის. იპოვეთ ჯამური რხევის ამპლიტუდა.

5.67. სისტემა (ნახ. 5.12) შედგება ორ, 1 და 2, წერტილოვანი კოპერენტული გამომსხივებლისაგან, რომლებიც ისეა განლაგებული სიბრტყეში, რომ მათი დიპოლური მომენტები ამ სიბრტყის პერპენდიკულარულია. მანძილი გამომსხივებლებს შორის არის  $d$ , გამოსხივების ტალღის სიგრძე— $\lambda$ . გაითვალისწინეთ, რომ 2 გამომსხივებლის რხევები  $\varphi$  ( $\varphi < \pi$ ) ფაზით ჩამორჩება 1 გამომსხივებლის რხევებს და იპოვეთ:

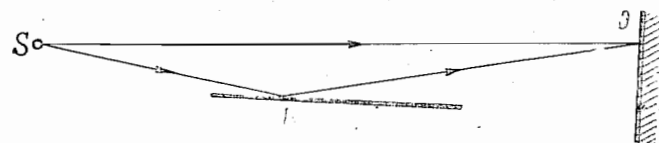


ნახ. 5.12.

ა) ის  $\varphi$  კუთხეები, რომელთათვისაც გამოსხივების ინტენსივობა მაქსიმალურია;

ბ) პირობები იმისა, რომ  $\varphi = \pi$  მიმართულების გასწვრივ გამოსხივების ინტენსივობა იყოს მაქსიმალური, საწინააღმდეგო მიმართულებით კი—მინიმალური.

5.68. უძრავი გამომსხივებელი სისტემა შედგება ერთიმეორისაგან  $d$  მანძილით დაშორებული პარალელური ვიბრატორებისაგან, რომლებიც



ნახ. 5.13.

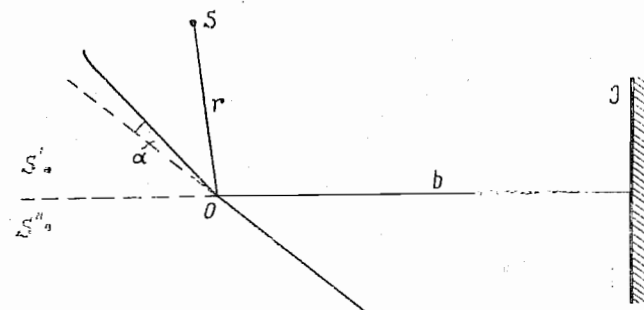
ქმნიან წრფივ ძეწკვს. ვიბრატორების რხევების ფაზა წრფივად იცვლება ძეწკვის გასწვრივ. იპოვეთ მეზობელ ვიბრატორებს შორის  $\Delta\varphi$  ფაზათა სხვაობის დამოკიდებულება დროზე, რომლისთვისაც სისტემის გამოსხივე-

ბის მთავარი მაქსიმუმი შეასრულებს ადგილმდებარეობის წრიულ „მიმოხილვას“ ა მუდმივი კუთხური სიჩქარით.

5.69. ლოილის ცდაში (ნახ. 5.13) უშუალოდ  $S$  წყაროდან (ვიწრო ხვრელიდან) გამოსული სინათლის ტალღა სარკიდან არეკვლილ ტალღასთან ინტერფერირებს. ამის შედეგად ე ეკრანზე წარმოიქმნება ინტერფერენციული ზოლების სისტემა. მანძილი წყაროდან ეკრანამდე  $l=100$  სმ. წყაროს რომელიმე მდებარეობისათვის ინტერფერენციული ზოლის სიგანე ეკრანზე  $\Delta x=0,25$  მმ-ია, ხოლო მას შემდეგ, როდესაც წყარო ეკრანის სიბრტყიდან  $\Delta h=0,60$  მმ მანძილით გადაადგილეს, ზოლების სიგანე  $\eta=1,5$ -ჯერ შემცირდა. იპოვეთ სინათლის ტალღის სიგრძე.

5.70. ორი კოპერენტული სინათლის ბრტყელი ტალღა, რომელთა გავრცელების მიმართულებებს შორის კუთხე  $\psi \ll 1$ , თითქმის ნორმალურად ეცემა ეკრანს. ტალღების ამპლიტუდები ერთნაირია. აჩვენეთ, რომ ეკრანზე მანძილი მეზობელ მაქსიმუმებს შორის  $\Delta x = \lambda/\psi$ , სადაც  $\lambda$  არის ტალღის სიგრძე.

5.71. 5.14 ნახაზზე ნაჩვენებია ინტერფერენციული სქემა ფრენელის სარკეებით. კუთხე სარკეებს შორის  $\alpha=12^\circ$ ; მანძილი სარკეების გადაკვეთის წრფიდან  $S$  ვიწრო ხვრელამდე და ე ეკრანამდე შესაბამისად  $r=$



ნახ. 5. 14.

$=10,0$  სმ და  $b=130$  სმ-ის ტოლია; სინათლის ტალღის სიგრძე  $\lambda=0,55$  მკმ. განსაზღვრეთ:

ა) ინტერფერენციული ზოლის სიგანე ეკრანზე და შესაძლო მაქსიმუმების რაოდენობა;

ბ) ინტერფერენციული სურათის წანაცვლება ეკრანზე ხვრელის  $\delta l=1,0$  მმ-ით გადაადგილებისას  $r$ -რადიუსიანი რკალის გასწვრივ, რომლის ცენტრი  $O$  წერტილშია;

გ) რა მაქსიმალური მკაჟ. სიგანე უნდა ჰქონდეს ხვრელს, რომ ეკრანზე ჯერ კიდევ მკაფიოდ ჩანდეს ინტერფერენციული ზოლები?

5.72. სინათლის ბრტყელი ტალღა ეცემა ფრენელის სარკეებს, რომელთა შორის კუთხე  $\alpha = 2,0'$ . განსაზღვრეთ სინათლის ტალღის სიგრძე, თუ ეკრანზე ინტერფერენციული ზოლების სიგანე  $\Delta x = 0,55$  მმ-ია.

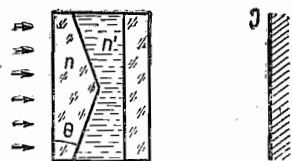
5.73. 5,0 სმ დიამეტრისა და  $f = 25,0$  სმ ფოკუსური მანძილის მქონე თხელი ლინზა გაჭრეს დიამეტრის გასწვრივ ორ ერთნაირ ნახევარად ისე, რომ ამოკვეთილი ფენის სისქე  $a = 1,00$  მმ-ის ტოლი აღმოჩნდა. ამის შემდეგ ორივე ნახევარი ერთმანეთს მიადეს და ამრიგად მიღებული ბილინზის ფოკალური სიბრტყეში მოათავსეს ვიწრო ზერელი, რომელიც ასხივებს  $\lambda = 0,60$  მკმ ტალღის სიგრძის მონოქრომატულ სინათლეს. ბილინზის უკან, მისგან  $b = 50$  სმ-ის მანძილზე, მოათავსეს ეკრანი. განსაზღვრეთ:

ა) ინტერფერენციული ზოლების სიგანე ეკრანზე და მაქსიმუმების შესაძლო რაოდენობა;

ბ) ზერელის მაქსიმალური სიგანე  $\delta_{\max}$ , რომლის დროსაც ეკრანზე ჯერ კიდევ მკაფიოდ გამოჩნდება ინტერფერენციული ზოლები.

5.74. მანძილი ფრენელის ბიპრიზმიდან ვიწრო ზერელამდე და ეკრანამდე შესაბამისად  $a = 25$  სმ და  $l = 100$  სმ-ია. ბიპრიზმა მინისაგანაა დანზადებული და მისი გარდამტეხი კუთხე  $\theta = 20'$ . იპოვეთ სინათლის ტალღის სიგრძე, თუ ინტერფერენციული ზოლის სიგანე ეკრანზე  $\Delta x = 0,55$  მმ-ია.

5.75.  $\lambda = 0,70$  მკმ სიგრძის სინათლის ბრტყელი ტალღა მართობულად ეცემა მინისაგან ( $n = 1,520$ ) დანზადებული და  $\theta = 5,0^\circ$  გარდამტეხი კუთხის მქონე ბიპრიზმის ფუძეს. ბიპრიზმის უკან (ნახ. 5.15) ბრტყელპარალელური ფირფიტაა მოთავსებული, ხოლო მათ შორის სივრცე ბენზოლითაა ( $n' = 1,500$ ) შევსებული. იპოვეთ ინტერფერენციული ზოლების



ნახ. 5.15.

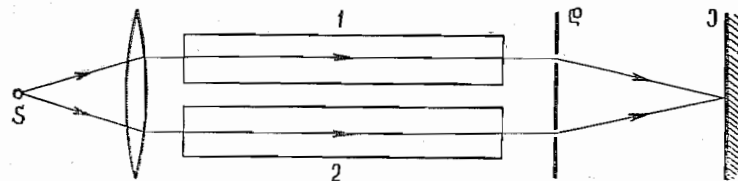
სიგანე ეკრანზე, რომელიც ამ სისტემის უკანაა მოთავსებული.

5.76. ერთიმეორისაგან  $d = 2,5$  მმ-ით დაშორებულ ორ ვიწრო ზერელისაგან შემდგარ დიფრაგმას მართობულად ეცემა მონოქრომატული სინათლის ბრტყელი ტალღა. ეკრანზე, რომელიც დიფრაგმიდან  $l = 100$  სმ-ითაა დაშორებული,

წარმოიქმნება ინტერფერენციული ზოლების სისტემა. რა მანძილზე და რომელ მხარეს წანაცვლდებიან ეს ზოლები, თუ ერთ-ერთ ზერელს  $h = 10$  მკმ სისქის მინის ფირფიტით გადავხურავთ?

5.77. 5.16 ნახაზზე ნაჩვენებია ინტერფერომეტრის სქემა, რომელსაც იყენებენ გამჭვირვალე ნივთიერებების გარდატეხის მაჩვენებლის გასაზომად.

აქ  $S$  წარმოადგენს ვიწრო ზერელს, რომელსაც  $\lambda = 589$  ნმ მონოქრომატული სინათლით ასხივებენ. 1 და 2 ჰაერით სავსე ორი ერთნაირი მილია, რომელთა სიგრძე  $l = 10,0$  სმ-ია, ხოლო დ ორზერელიანი დიფრაგ-



ნახ. 5.16.

მა. როდესაც 1 მილში ჰაერი ამიაკით შეცვალეს, ეკრანზე ინტერფერენციულმა სურათმა  $N = 17$  ზოლით გადაინაცვლა ზევით. ჰაერის გარდატეხის მაჩვენებელი  $n = 1,000277$ . განსაზღვრეთ ამიაკის გარდატეხის მაჩვენებელი.

5.78. მინის ზედაპირზე მოთავსებულ წყლის აფსკს,  $\varphi = 30^\circ$  კუთხით ჩორმალისადმი, ეცემა  $\lambda = 0,68$  მკმ ტალღის სიგრძის სინათლე. იპოვეთ აფსკის სისქის შემცირების სიჩქარე (აორთქლების გამო), თუ არეკვლილი სინათლის ინტენსივობა ისე იცვლება, რომ არეკვლის თანამიმდევრულ მაქსიმუმებს შორის დროის შუალედი  $\Delta t = 15$  წთ-ს.

5.79. თხელ აფსკს ( $n = 1,33$ ) ეცემა თეთრი სინათლის პარალელური კონა. დაცემის კუთხე  $\varphi_1 = 52^\circ$ . როგორი უნდა იყოს აფსკის სისქე, რომ სარკულად არეკვლილი სინათლე ყველაზე მეტად ყვითლად იყოს შეფერილი ( $\lambda = 0,60$  მკმ)?

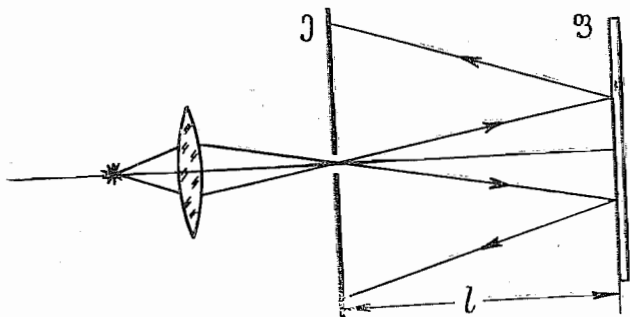
5.80. იპოვეთ 1,33 გარდატეხის მაჩვენებლიანი აფსკის მინიმალური სისქე, რომლის დროსაც 0,64 მკმ ტალღის სიგრძის სინათლე მაქსიმალურ არეკვლას განიცდის, ხოლო 0,40 მკმ ტალღის სიგრძის სინათლე საერთოდ არ აირეკლება. სინათლის დაცემის კუთხე  $30^\circ$ -ის ტოლია.

5.81. მინის ზედაპირიდან არეკვლის დროს სინათლის დანაკარგის შემცირებისათვის მინას  $n' = \sqrt{n}$  გარდატეხის მაჩვენებლიანი ნივთიერების თხელი ფენით ფარავენ. აქ  $n$  მინის გარდატეხის მაჩვენებელია. ამ დროს ფენის ორივე ზედაპირიდან არეკვლილი სინათლის ტალღის ამპლიტუდები ერთი და იგივეა. როგორი სისქე უნდა ჰქონდეს ფენას, რომ  $\lambda$  ტალღის სიგრძის სინათლისათვის მინის არეკვლის უნარიანობა ჩორმალის გასწვრივ ნულის ტოლი იყოს.

5.82.  $n = 1,5$  გარდატეხის მაჩვენებლიანი ნივთიერების თხელ აფსკს ეცემა  $\lambda = 0,60$  მკმ სიგრძის გაბნეული მონოქრომატული სინათლე. განსაზღვრეთ აფსკის სისქე, თუ ჩორმალიდან  $\varphi = 45^\circ$  კუთხით არეკვლილი სინათლეში კუთხური მანძილი მეზობელ მაქსიმუმებს შორის უდრის  $\delta\varphi = 3,0^\circ$ .



5.83. მონოქრომატული სინათლე გადის ეკრანის ხვრელში (ნახ. 5.17) და მინის თხელი ბრტყელ-პარალელური ფიფქიდან არეკვლის შემდეგ ეკრანზე ქმნის ტოლი დახრილობის ინტერფერენციული ზოლების სისტემას. ფიფქის სისქეა  $d$ , მანძილი ფიფქიდან და ეკრანს შორის —  $l$ , ხოლო  $i$ -ური და  $k$ -ური ბნელი რგოლების რადიუსები —  $r_i$  და  $r_k$ . იპოვეთ სინათლის ტალღის სიგრძე, თუ  $r_{i,k} \ll l$ .



ნახ. 5.17.

5.84.  $\lambda$  სიგრძის მონოქრომატული სინათლის ბრტყელი ტალღა ეცემა შინის სოლის ზედაპირს, რომლის წახნაგებს შორის კუთხე  $\alpha \ll 1$ . დაცემის სიბრტყე სოლის წიბოს პერპენდიკულარულია. დაცემის კუთხე  $\theta_1$ -ის ტოლია. იპოვეთ მანძილი ინტერფერენციული ზოლების მეზობელ მაქსიმუმებს შორის ეკრანზე, რომელიც არეკვლილი სინათლის მართობულადაა მოთავსებული.

5.85. საკმაოდ დაშორებული წერტილოვანი წყაროდან მინის სოლის ზედაპირს მართობულად ეცემა  $\lambda = 0,55$  მკმ ტალღის სიგრძის სინათლე. არეკვლილ სინათლეში აკვირდებიან ინტერფერენციული ზოლების სისტემას, რომლის მეზობელ მაქსიმუმებს შორის მანძილი, სოლის ზედაპირზე  $\Delta x = 0,21$  მმ-ია. იპოვეთ:

- კუთხე სოლის წახნაგებს შორის;
- სინათლის მონოქრომატულობის ხარისხი ( $\Delta\lambda/\lambda$ ), თუ ინტერფერენციული ზოლების გაქრობა შეიმჩნევა სოლის წვეროდან  $l \approx 1,5$  სმ-ის მანძილზე.

5.86. ბრტყელ-ამოხნეილი მინის ლინზა თავისი ამოხნეილი ზედაპირით ეხება მინის ფირფიტას. ლინზის ამოხნეილი ზედაპირის სიმრუდის რადიუსია  $R$ , ხოლო სინათლის ტალღის სიგრძე —  $\lambda$ . იპოვეთ ნიუტონის რგოლის  $\Delta r$  სიგანის დამოკიდებულება მის  $r$  რადიუსზე იმ არეში, სადაც  $\Delta r \ll r$ .

5.87.  $R = 40$  სმ სიმრუდის რადიუსის ბრტყელ-ამოხნეილი მინის ლინზა ამოხნეილი ზედაპირით ეხება მინის ფირფიტას. ამ დროს, არე-

კვლილ სინათლეში ერთ-ერთი რგოლის რადიუსი  $r = 2,5$  მმ. მოცემულ რგოლზე დაკვირვებისას ლინზა ფრთხილად დააშორეს ფირფიტას  $\Delta h = 5,0$  მკმ-ით. როგორი იქნება ამ რგოლის რადიუსი?

5.88. ბრტყელ-ამოხნეილი მინის ლინზის სფერული ზედაპირის წვეროსთან გაკეთებულია  $r_0 = 3$  მმ რადიუსიანი გახეხილი ბრტყელი უბანი, რომლითაც ლინზა მინის ფირფიტას ეხება. ლინზის ამოხნეილი ზედაპირის სიმრუდის რადიუსი  $R = 150$  სმ. იპოვეთ შეექვსე ნათელი რგოლის რადიუსი,  $\lambda = 655$  ნმ ტალღის სიგრძის სინათლეში დაკვირვებისას.

5.89. ბრტყელ-ამოხნეილი მინის ლინზა, რომლის სფერული ზედაპირის სიმრუდის რადიუსი  $R = 12,5$  სმ, მინის ფირფიტაზეა მიჭერილი. არეკვლილ სინათლეში ნიუტონის მეთე და მეთუთმეტე ბნელი რგოლების დიამეტრებია  $d_1 = 1,00$  მმ და  $d_2 = 1,50$  მმ. განსაზღვრეთ სინათლის ტალღის სიგრძე.

5.90. ორი ბრტყელ-ამოხნეილი თხელი მინის ლინზა სფერული ზედაპირებით ეხება ერთმანეთს. იპოვეთ ასეთი სისტემის ოპტიკური ძალა, თუ  $\lambda = 0,60$  მკმ სიგრძის არეკვლილ სინათლეში მეხუთე ნათელი რგოლის დიამეტრი  $d = 1,50$  მმ-ს.

5.91. ერთიმეორესთან მიდებული ორი თხელი სიმეტრიული მინის ლინზა, რომელთაგან ერთი ორმხრივამოხნეილია, მეორე კი — ორმხრივ-ჩახნეილი, ქმნის  $\Phi = 0,50$  დპ ოპტიკური ძალის მქონე სისტემას. ამ სისტემიდან,  $\lambda = 0,61$  მკმ სიგრძის არეკვლილ სინათლეში, აკვირდებიან ნიუტონის რგოლებს. განსაზღვრეთ:

- მეთე ბნელი რგოლის რადიუსი;
- როგორ შეიცვლება ამ რგოლის რადიუსი, თუ ლინზებს შორის სივრცეს წყლით შევავსებთ?

5.92. ბრტყელ-ამოხნეილი ლინზის სფერული ზედაპირი ეხება მინის ფირფიტას. სივრცე ლინზის და ფირფიტის შორის გოგირდნახშირბადითაა შევსებული. ლინზის, გოგირდნახშირბადისა და ფირფიტის გარდატეხის მაჩვენებლები შესაბამისად  $n_1 = 1,50$ ,  $n_2 = 1,63$  და  $n_3 = 1,70$ -ის ტოლია. ლინზის სფერული ზედაპირის სიმრუდის რადიუსი  $R = 100$  სმ. განსაზღვრეთ  $\lambda = 0,50$  მკმ სიგრძის არეკვლილ სინათლეში ნიუტონის მეხუთე ბნელი რგოლის რადიუსი.

5.93. თარსივიან ინტერფერომეტრში გამოყენებულია ვერცხლისწყლის ნარინჯისფერი ხაზი, რომელიც  $\lambda_1 = 576,97$  ნმ და  $\lambda_2 = 579,03$  ნმ ტალღის სიგრძის ორი კომპონენტისაგან შედგება. რა უმცირესი რიგის ინტერფერენციისათვის ექნება ინტერფერენციულ სურათს ყველაზე უარესი სიმკვეთრე?

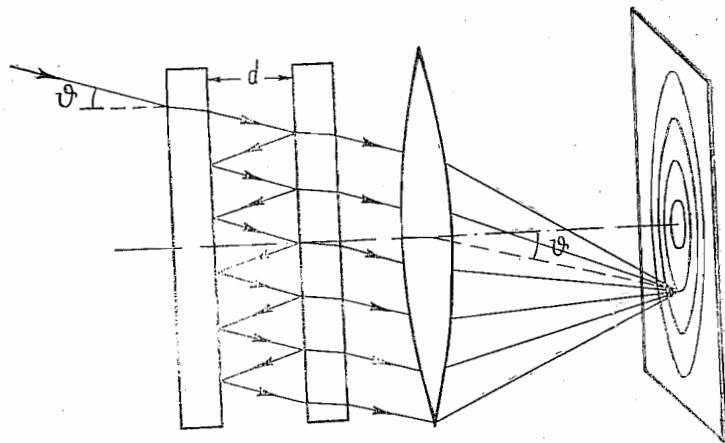
5.94. მაიკელსონის ინტერფერომეტრში გამოყენებული იყო ნატრიუმის ყვითელი ხაზი, რომელიც  $\lambda_1 = 589,0$  ნმ და  $\lambda_2 = 589,6$  ნმ ტალღის სიგრძის ორი კომპონენტისაგან შედგება. ერთ-ერთი სარკის გადა-

ტანითი გადაადგილებისას ინტერფერენციული სურათი პერიოდულად ქრებოდა (რატომ?). იპოვეთ სარკის გადაადგილება ორი მიმდევრობითი, ყველაზე მკაფიო ინტერფერენციული სურათის გამოჩენას შორის.

5.95. თუ ფაბრი-პეროს ეტალონს  $\lambda$  ტალღის სიგრძის გაბნეული მონოქრომატული სინათლით გავ-ნათებთ, ლინზის ფოკალურ სიბრტყეში წარმოიქმნება კონცენტრული რგოლებისაგან შემდგარი ინტერფერენციული სურათი (ნახ. 5.18). ეტალონის სისქეა  $d$ . განსაზღვრეთ, როგორაა და-მოკიდებული ინტერფერენციის რიგისაგან:

ა) რგოლების განლაგება;

ბ) ინტერფერენციული ზოლების კუთხური სიგანე.



ნახ. 5.18.

5.96.  $d = 2,5$  სმ სიქის ფაბრი-პეროს ეტალონისათვის იპოვეთ:

ა)  $\lambda = 0,50$  მკმ ტალღის სიგრძის სინათლის ინტერფერენციის მაქსი-მალური რიგი;

ბ) დისპერსიული არე  $\Delta\lambda$ , ე. ი. ტალღის სიგრძის სპექტრული ინტერ-ვალი, რომლისთვისაც ჯერ კიდევ არ ექნება ადგილი სხვა ინტერფერენ-ციული რიგებით გადაფარვას, თუ დაკვირვება წარმოება  $\lambda = 0,50$  მკმ ტალღის სიგრძის მახლობლად.

### 5.3. სინათლის დიფრაქცია

● ფრენელის  $k$ -ური ზონის გარე საზღვრის რადიუსი

$$r_k = \sqrt{k\lambda \frac{ab}{a+b}}, \quad k=1,2,3,\dots \quad (5.3 \text{ ა})$$

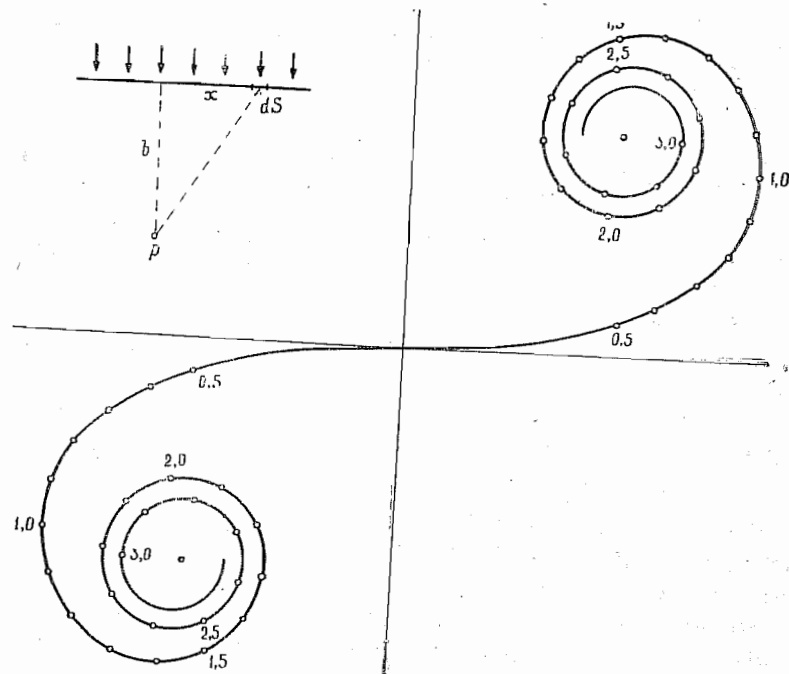
● კორნის სპირალი (ნახ. 5.19). ამ სპირალზე რიცხვები  $v$  პარამეტრის მნიშვნე-ლობებს წარმოადგენენ. ბრტყელი ტალღისათვის  $v = x\sqrt{2/b\lambda}$ , სადაც  $x$  და  $b$  ტალ-

ღური ზედაპირის  $dS$  ელემენტის მდებარეობის მახასიათებელი მანძილებია დაკვირვების  $P$  წერტილის მიმართ, როგორც ეს ნახაზის მარცხენა ზედა კუთხეშია ნაჩვენები.

● ფრაუნჰოფერის დიფრაქცია ხერხელზე, სინათლე პერპენდიკულარულად ეცემა ხერხელს. ინტენსივობის მანიშუმების პირობა:

$$b \sin \vartheta = \pm k\lambda, \quad k=1,2,3,\dots, \quad (5.3 \text{ ბ})$$

სადაც  $b$  ხერხელის სიგანეა,  $\vartheta$  — დიფრაქციის კუთხე.



ნახ. 5.19.

● დიფრაქციული მესერი, სინათლე პერპენდიკულარულად ეცემა მესერს. ფრაუნ-ჰოფერის მთავარი მაქსიმუმების პირობა:

$$d \sin \vartheta = \pm k\lambda, \quad k=0,1,2,\dots \quad (5.3 \text{ გ})$$

დამატებითი მინიმუმების პირობა:

$$d \sin \vartheta = \pm \frac{k'}{N}\lambda, \quad (5.3 \text{ დ})$$

სადაც  $k'=1,2,\dots$  გარდა  $0, N, 2N,\dots$

● დიფრაქციული მესრის კუთხური დისპერსია:

$$D = \frac{d\vartheta}{d\lambda} = \frac{k}{d \cos \vartheta} \quad (5.3 \text{ ე})$$

● დიფრაქციული მესრის გარჩევისუნარიანობა:

$$R = \frac{\lambda}{\delta l} = kN, \quad (5.3 \text{ გ})$$

სადაც  $N$  შტრიხების რაოდენობაა მესერში.

● ობიექტივის გარჩევისუნარიანობა:

$$R = \frac{1}{\delta \eta} = \frac{D}{1,22\lambda}, \quad (5.3 \text{ ზ})$$

სადაც  $\delta \eta$  არის ობიექტივის მიერ გარჩეული უმცირესი კუთხური მანძილი, ხოლო  $D$ —ობიექტივის დიამეტრი.

● ბრევი-ველდის ფორმულა. დიფრაქციული მაქსიმუმების პირობა:

$$2d \sin \alpha = \pm k\lambda. \quad (5.3 \text{ თ})$$

სადაც  $d$  საბრტყეთშორისი მანძილია, ხოლო  $\alpha$  სრიალის კუთხე,  $k=1,2,3,\dots$

5.97. სინათლის ბრტყელი ტალღა მართობულად ეცემა მრგვალი ხერხელის მქონე დიფრაგმას, რომელიც  $P$  წერტილისათვის ეკრანზე ხსნის ფრენელის პირველ  $N$  ზონას. ეკრანი  $b$  მანძილითაა დაშორებული დიფრაგმიდან. სინათლის ტალღის სიგრძეა  $\lambda$ . იპოვეთ სინათლის  $I_0$  ინტენსივობა დიფრაგმის წინ, თუ ცნობილია სინათლის ინტენსივობის განაწილება ეკრანზე  $I(r)$ . სადაც  $r$  მანძილია  $P$  წერტილიდან.

5.98.  $r=1,0$  მმ-რადიუსიანი წრიული ხერხელის მქონე დიფრაგმის წინ,  $a=100$  სმ-ის მანძილზე მოთავსებულია  $\lambda=0,50$  მკმ ტალღის სიგრძის სინათლის წერტილოვანი წყარო. იპოვეთ  $b$  მანძილი დიფრაგმიდან დაკვირვების წერტილიდან, რომლისთვისაც ფრენელის ზონების რაოდენობა ხერხელში  $k=3$ .

5.99. სინათლის წერტილოვანი წყაროსა და ეკრანს შორის მოათავსეს მრგვალი ხერხელიანი დიფრაგმა. ხერხელის  $r$  რადიუსი შეიძლება ვცვალოთ ცდის ჩატარების დროს. მანძილი დიფრაგმიდან წყარომდე და ეკრანამდე შესაბამისად  $a=100$  სმ და 125 სმ-ია. განსაზღვრეთ სინათლის ტალღის სიგრძე, თუ ეკრანზე დიფრაქციული სურათის ცენტრში განათებულობის მაქსიმუმი შეიმჩნევა  $r_1=1,00$  მმ რადიუსისათვის, ხოლო შემდეგი მაქსიმუმი  $r_2=1,29$  მმ თვის.

5.100.  $I_0$  ინტენსივობის მონოქრომატული სინათლის ბრტყელი ტალღა მართობულად ეცემა მრგვალი ხერხელის მქონე გაუმჭვირვალე ეკრანს. როგორი იქნება სინათლის  $I$  ინტენსივობა ეკრანის უკან იმ წერტილში, რომლისთვისაც ხერხელი:

ა) ფრენელის პირველი ზონის ტოლია; პირველი ზონის შიდა ნახევარის ტოლია;

ბ) გაუტოლეს ფრენელის პირველ ზონას, ხოლო შემდეგ გადახურეს მისი ნახევარი?

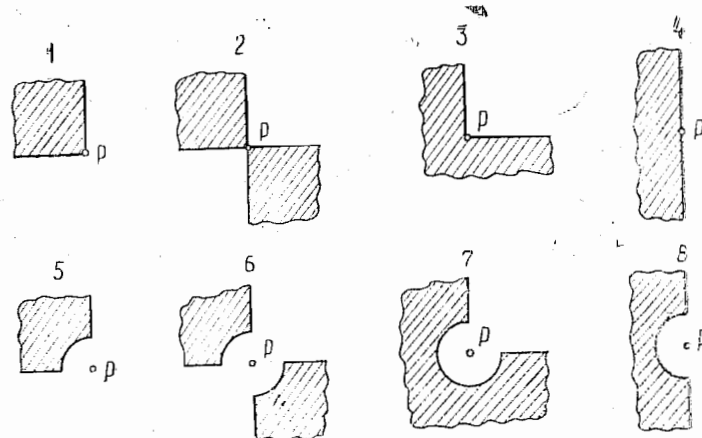
5.101.  $I_0$  ინტენსივობის მონოქრომატული სინათლის ბრტყელი ტალ-

ღა მართობულად ეცემა გაუმჭვირვალე დისკოს, რომელიც დაკვირვების  $P$  წერტილისათვის ფარავს ფრენელის პირველ ზონას. როგორი იქნება სინათლის  $I$  ინტენსივობა  $P$  წერტილში მას შემდეგ, როდესაც დისკოს ჩამოაცლიან:

ა) მის ნახევარს;

ბ) ფრენელის პირველი ზონის გარე ნახევრის ნახევარს?

5.102. 5.20 ნახაზზე ნაჩვენებ გაუმჭვირვალე ეკრანების ზედაპირებს მართობულად ეცემა  $I_0$  ინტენსივობის მონოქრომატული სინათლის ბრტყელი ტალღა. იპოვეთ სინათლის  $I$  ინტენსივობა  $P$  წერტილში:



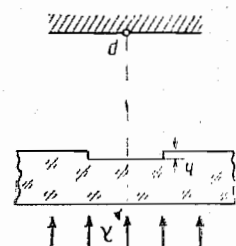
ნახ. 5.20.

ა) რომელიც 1—3 ეკრანების კუთხის წვეროს უკან და 4 ნახევარ-სიბრტყის კიდე უკანა;

ბ) რომლისთვისაც 5—8 ეკრანების მომრგვალებული კიდე ფრენელის პირველი ზონის საზღვარს ემთხვევა.

განაზოგადეთ მიღებული შედეგები ერთი ფორმულით 1—4 ეკრანებისათვის და ცალკე 5—8 ეკრანებისათვის.

5.103.  $\lambda=0,60$  მკმ სიგრძის სინათლის ბრტყელი ტალღა მართობულად ეცემა საკმაოდ დიდ მინის ფირფიტას, რომლის მეორე მხარეს მრგვალი ამონაჭერია გაკეთებული (ნახ. 5.21). დაკვირვების  $P$  წერტილისათვის ის წარმოადგენს ფრენელის პირველ ერთნახევარ ზონას. იპოვეთ ამონაჭერის სიღრმე  $h$ , რომლისთვისაც სინათლის ინტენსივობა  $P$  წერტილში იქნება:



ნახ. 5.21.

ა) მაქსიმალური;

ბ) მინიმალური;

გ) დაცემული სინათლის ინტენსივობის ტოლი.

5.104.  $I_0$  ინტენსივობისა და  $\lambda$  ტალღის სიგრძის სინათლის ბრტყე-  
ლი ტალღა მართობულად ეცემა მინის დიდ ფირფიტას, რომლის მეორე  
მხარე მრგვალხერელიან გაუმჭვირვალე ეკრანს წაჰოადგენს. დაკვირვე-  
ბის  $P$  წერტილისათვის ხერხელი ფრენელის პირველი ზონის სიდიდისაა.  
ხერხელის შუაში გაკეთებულია ფრენელის ზონის ნახევრის ტოლი მრგვა-  
ლი ამონაჭერი. როგორი უნდა იყოს ამონაჭერის სიღრმე  $h$ , რომ  $P$  წერ-  
ტილში სინათლის ინტენსივობა იყოს მაქსიმალური? რას უდრის ის?

5.105.  $\lambda=0,60$  მკმ ტალღის სიგრძის სინათლე მართობულად ეცემა  
მინის დისკოს ზედაპირს. რომელიც დაკვირვების  $P$  წერტილისათვის ფა-  
რავს ერთნახევარ ფრენელის ზონას. როგორი სისქე უნდა ჰქონდეს დის-  
კოს, რომ  $P$  წერტილში სინათლის ინტენსივობა იყოს მაქსიმალური?

5.106.  $\lambda=0,54$  მკმ სინათლის ბრტყელი ტალღის გზაზე მოათავსეს  
 $f=50$  სმ ფოკუსური მანძილის თხელი შემკრები ლინზა, მის უკან  
მრგვალხერელიანი დიფრაგმა, ღოღო დიფრაგმიდან  $b=75$  სმ მანძილზე  
ეკრანი. როგორი რადიუსები შეიძლება ჰქონდეს ხერხელს, რომ ეკრანზე  
მივიღოთ დიფრაქციული სურათის ცენტრის მაქსიმალური განათებულობა?

5.107. მრგვალ ხერხელს მართობულად ეცემა მონოქრომატული სი-  
ნათლის ბრტყელი ტალღა. ხერხელიდან  $b=9,0$  მ-ის მანძილზე მოთავსე-  
ბულია ეკრანი, რომელზეც აკვირდებიან დიფრაქციულ სურათს. ხერხელის  
დიამეტრი  $\eta=3,0$ -ჯერ შეამცირეს. როგორ  $b'$  მანძილზე უნდა მოვათავ-  
სოთ ეკრანი, რომ მასზე მივიღოთ წინა შემთხვევის მსგავსი  $\eta$ -ჯერ შემცი-  
რებული დიფრაქციული სურათი?

5.108.  $D=40$  მმ დიამეტრის გაუმჭვირვალე ბურთულა  $\lambda=0,55$  მკმ  
სინათლის წყაროსა და ფირფიტას შორისაა მოთავსებული. მანძილი წყა-  
როსა და ბურთულას შორის  $a=12$  მ-ია, ღოღო ბურთულასა და ფირფიტა-  
ს შორის  $d=18$  მ. იპოვეთ:

ა) გამოსახულების  $y'$  ზომა ფირფიტაზე, თუ წყაროს განივი ზომა  
 $y=6,0$  მმ-ს;

ბ) ბურთულას ზედაპირზე ქაოსურად განლაგებული უსწორმასწორო-  
თა მინიმალური სიმაღლე, რომლის დროსაც ბურთულა გადაეღობება  
სინათლეს.

შენიშვნა. გაანგარიშება და ცდა გვიჩვენებს, რომ ეს ხდება მაშინ,  
როდესაც უსწორმასწოროთა სიმაღლე ფრენელის ზონის სიგანეს ეთა-  
ნაბრება. ფრენელის ზონაზე გაღის გაუმჭვირვალე ეკრანის კიდე.

5.109. ზონური ფირფიტის წინ  $a=1,5$  მ-ის მანძილზე მოთავსებუ-  
ლია მონოქრომატული სინათლის წერტილოვანი წყარო. ფირფიტიდან

$b=1,0$  მ მანძილზე წარმოიქმნება წყაროს გამოსახულება. იპოვეთ ზონუ-  
რი ფირფიტის ფოკუსური მანძილი.

5.110.  $I_0$  ინტენსივობისა და  $\lambda=0,4$  მკმ სიგრძის სინათლის ბრტყე-  
ლი ტალღა მართობულად ეცემა მინის დიდ ფირფიტას, რომლის პროფი-  
ლი 5.22 ნახაზზეა ნაჩვენები. როგორი  $h$  სიმაღლე უნდა ჰქონდეს საფე-  
ხურს, რომ მის ქვემოთ განლაგებულ წერტი-  
ლებში სინათლის ინტენსივობა იყოს:

ა) მინიმალური;

ბ)  $I_0$ -ზე ორჯერ ნაკლები (არეკვლის დროს  
უგზულეზად დაანაკარგები).

5.111. მონოქრომატული სინათლის ბრტყე-  
ლი ტალღა მართობულად ეცემა გაუმჭვირვალე  
ნახევარსიბრტყეს. მის უკან  $b=100$  სმ-ის მან-  
ძილზე მოთავსებულია ეკრანი. კორნიუს სპირალის (ნახ.5.19) დახმარე-  
ბით იპოვეთ:

ა) პირველი მაქსიმუმისა და მისი მეზობელი მინიმუმის ინტენსივობე-  
ბის შეფარდება;

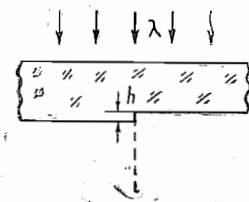
ბ) სინათლის ტალღის სიგრძე, თუ მანძილი პირველ ორ მაქსიმუმს  
შორის  $\Delta x=0,63$  მმ-ია.

5.112.  $0,70$  მმ სიგანის გრძელ გაუმჭვირვალე ზოლს მართობულად  
ეცემა  $0,60$  მკმ სიგრძის სინათლის ბრტყელი ტალღა. მის უკან  $100$  სმ-  
ის მანძილზე მოთავსებულია ეკრანი. 5.19 ნახაზის დახმარებით იპოვეთ  
დიფრაქციული სურათის შუაში სინათლის ინტენსივობის შეფარდება სი-  
ნათლის ინტენსივობასთან გეომეტრიული ჩრდილის კიდეზე.

5.113. მონოქრომატული სინათლის ბრტყელი ტალღა მართობულად  
ეცემა გრძელ მართკუთხა ღრეჩოს, რომლის უკან  $b=60$  სმ-ის მანძილზე  
ეკრანი მოთავსებულია. თავდაპირველად აღებული იყო ღრეჩოს ისეთი  
სიგანე, რომ ეკრანზე დიფრაქციული სურათის შუაში შეიმჩნეოდა ყვე-  
ლაზე ღრმა მინიმუმი. ამის შემდეგ, ღრეჩოს სიგანის  $\Delta h=0,70$  მმ ით  
გაზრდის დროს, სურათის ცენტრში მიიღეს შემდეგი მინიმუმი. იპოვეთ  
სინათლის ტალღის სიგრძე.

5.114.  $\lambda=0,65$  მკმ სიგრძის სინათლის ბრტყელი ტალღა მართობუ-  
ლად ეცემა მინის დიდ ფირფიტას, რომლის მეორე მხარეს გაკეთებულია  
გრძელი  $0,60$  მმ სიგანის მართკუთხა ამონაჭერი. 5.19 ნახაზის დახმარე-  
ბით იპოვეთ ამონაჭერის სიღრმე  $h$ , როდესაც ეკრანზე დიფრაქციული  
სურათის შუაში მივიღებთ განათებულობის მაქსიმუმს. ეკრანი ფირფიტა-  
დან  $77$  სმ-ითაა დაშორებული.

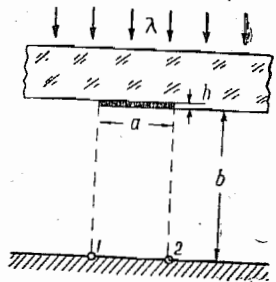
5.115.  $\lambda=0,65$  მკმ სინათლის ბრტყელი ტალღა მართობულად ეცემა  
მინის დიდ ფირფიტას, რომლის მოპირდაპირე მხარეს არის საფეხური და  
 $a=0,30$  მმ სიგანის გაუმჭვირვალე ზოლი (ნახ. 5.23). ფირფიტიდან  $b=$



ნახ. 5.22.



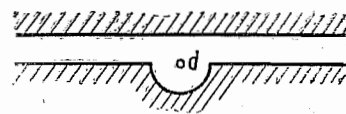
=110 სმ-ის მანძილზე მოთავსებულია ეკრანი. საფეხურის სიმაღლე  $h$  ისეა შერჩეული, რომ ეკრანის 2 წერტილში სინათლის ინტენსივობა მაქსიმალურია. 5.19 ნახაზის დახმარებით იპოვეთ ინტენსივობების შეფარდება 1 და 2 წერტილებში.



ნახ. 5.23.

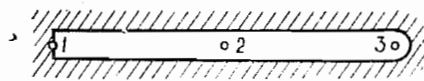
დიუსის 0.90 ნაწილს შეადგენს. 5.19 ნახაზის დახმარებით იპოვეთ სინათლის ინტენსივობა  $P$  წერტილში.

5.117. მონოქრომატული სინათლის ბრტყელი ტალღა მართობულად ეცემა გრძელღერძიან გაუმჭვირვალე ეკრანს, რომლის ფორმა 5.25 ნახაზზეა ნაჩვენები. 5.19 ნახაზის დახმარებით იპოვეთ სინათლის ინტენსივობების შეფარდება 1, 2 და 3 წერტილებში, რომლებიც ერთი და იმავე მანძილითაა დაშორებული ეკრანიდან მის უკან, თუ 3 წერტილისათვის ღერძის მომრგვალებული ნაპირი ფრენელის პირველი ზონის საზღვარს ემთხვევა.



ნახ. 5.24.

5.118. მონოქრომატული სინათლის ბრტყელი ტალღა მართობულად ეცემა გაუმჭვირვალე ეკრანს. უკანასკნელი წარმოადგენს გრძელ ზოლს, რომლის შუაში გაკეთებულია მრგვალი ხვრელი. დაკვირვების  $P$  წერტილისათვის ხვრელი ფრენელის ზონის ნახევარს ემთხვევა, თანაც, მისი დიამეტრი  $\eta = 1,07$ -ჯერ ნაკლებია ზოლის სიგანეზე. 5.19 ნახაზის დახმარებით იპოვეთ სინათლის ინტენსივობა  $P$  წერტილში, თუ დაცემული სინათლის ინტენსივობა უდრის  $I_0$ -ს.



ნახ. 5.25.

5.119.  $h$  სიგანის გრძელ მართკუთხა ღერძის მართობულად ეცემა  $\lambda$  საგრძნის სინათლის ტალღა. იპოვეთ ფრაუნჰოფერის დიფრაქციის დროს სინათლის ინტენსივობის კუთხური განაწილება და მინიმუმების კუთხური მდებარეობა.

5.120.  $h = 11$  მკმ სიგანის ღერძის ნორმალურად ეცემა მონოქრომატული სინათლე. ღერძის უკან  $f = 150$  მმ ფოკუსური მანძილის მქონე თხელი ლინზაა, რომლის ფოკალურ სიბრტყეში მოთავსებულია ეკრანი. იპოვეთ სინათლის ტალღის სიგრძე, თუ მანძილი სიმეტრიულად განლაგებულ მესამე რაგის მინიმუმზე შორის (ეკრანზე)  $x = 50$  მმ-ის ტოლია.

5.121.  $h = 10$  მკმ სიგანის ღერძის ეცემა  $\lambda = 0,50$  მკმ ტალღის სიგრძის სინათლე. დაცვის კუთხე  $\varphi_0 = 30^\circ$ -ს. იპოვეთ პირველი მინიმუმების კუთხური მდებარეობა, თუ ისინი ფრაუნჰოფერის ცენტრალური მაქსიმუმის ორივე მხარეს არიან განლაგებულნი.

5.122.  $\varphi = 15^\circ$  გარდამტეხი კუთხის მქონე მინის სოლის წახნაგს მართობულად ეცემა  $\lambda = 0,60$  მკმ სიგრძის სინათლის ბრტყელი ტალღა. მოპირდაპირე გაუმჭვირვალე წახნაგზე, სოლის წიბოში პარალელურად,  $h = 10$  მკმ სიგანის ხვრელია. იპოვეთ:

ა) კუთხე  $\Delta\varphi$ , ნულოვანი რიგის ფრაუნჰოფერის მაქსიმუმზე მიმართულებასა და დაცემული სინათლის მიმართულებას შორის;

ბ) ნულოვანი რიგის ფრაუნჰოფერის მაქსიმუმის კუთხური სიგანე.

5.123.  $d = 1,0$  მმ პერიოდის ამრეკლავ დიფრაქციულ მესერს  $\alpha_0 = 1,0^\circ$  სრიალის კუთხით ეცემა მონოქრომატული სინათლე.  $\alpha = 3,5^\circ$  სრიალის კუთხის მიმართულებით წარმოიქმნება მეორე რიგის ფრაუნჰოფერის მაქსიმუმი. იპოვეთ სინათლის ტალღის სიგრძე.

5.124. გამოსახეთ სავარაუდო დიფრაქციული სურათი, რომელიც წარმოიქმნება სამი ერთნაირი ხვრელისაგან შემდგარი მესრიდნ, ფრაუნჰოფერის დიფრაქციის დროს, თუ მესრის პერიოდის შეფარდება ხვრელის სიგანესთან ტოლია:

ა) ორის; ბ) სამის.

5.125. თუ სინათლე მართობულად ეცემა დიფრაქციულ მესერს, დიფრაქციის კუთხე  $\lambda_1 = 0,65$  მკმ ხანისათვის მეორე რიგში,  $45^\circ$ -ის ტოლია. იპოვეთ დიფრაქციის კუთხე  $\lambda_2 = 0,50$  მკმ ხანისათვის მესამე რიგში.

5.126. დიფრაქციულ მესერს მართობულად ეცემა 535 ნმ ტალღის სიგრძის სინათლე. იპოვეთ მისი პერიოდი, თუ ფრაუნჰოფერის ერთ-ერთ მაქსიმუმს  $35^\circ$ -იანი დიფრაქციის კუთხე შეესაბამება, ხოლო სპექტრის უდიდესი რიგი ხუთის ტოლია.

5.127. განსაზღვრეთ  $d = 2,2$  მკმ პერიოდის დიფრაქციულ მესერზე მართობულად დაცემული მონოქრომატული სინათლის ტალღის სიგრძე, თუ პირველი და მეორე რიგის ფრაუნჰოფერის მაქსიმუმებისავე მიმართულებებს შორის კუთხე  $\Delta\varphi = 15^\circ$ -ს.

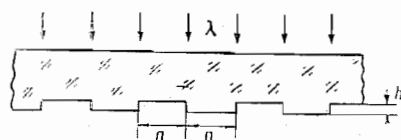
5.128. 1,50 მკმ პერიოდის გამჭვირვალე დიფრაქციულ მესერს ეცემა 530 ნმ ტალღის სიგრძის სინათლე. იპოვეთ მესრის ნორმალთან შედგენილი კუთხე იმ მიმართულებისათვის, რომლისთვისაც წარმოიქმნება

უდიდესი რიგის ფრაუნჰოფერის მაქსიმუმი, თუ სინათლე ეცემა მესერს:  
ა) მართობულად; ბ) ნორმალისადმი  $60^\circ$ -იანი კუთხით.

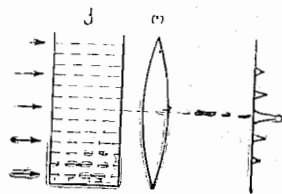
5.129.  $\lambda = 0,60$  მკმ ტალღის სიგრძის სინათლე მართობულად ეცემა დიფრაქციულ მესერს, რომელიც  $R = 20$  სმ სიმაღლის რადიუსის ბრტყელ-ამოზნექილი ცილინდრული შინის ლინზის ბრტყელ ზედაპირზეა დატანილი. მესერის პერიოდი  $d = 6,0$  მკმ-ს. იპოვეთ ამ ლინზის ფოკალური სიბრტყეში მანძილი სიმეტრიულად განლაგებული პირველი რიგის მთავარ მაქსიმუმებს შორის.

5.130.  $\theta = 30^\circ$  გარდამტეხი კუთხის მქონე შინის სოლის წახნაგს მართობულად ეცემა  $\lambda = 0,50$  მკმ სიგრძის სინათლის ბრტყელი ტალღა. მოპირდაპირე მხარეზე დატანილია  $d = 2,00$  მკმ პერიოდის გამჭვირვალე დიფრაქციული მესერი, რომლის შტრიხები სოლის წიბოს პარალელურია. იპოვეთ კუთხე დაცემული სინათლის მიმართულებასა და ნულოვანი და პირველი რიგის ფრაუნჰოფერის მთავარ მაქსიმუმებზე მიმართულებებს შორის. როგორი მაქსიმალური რიგი აქვს სპექტრს? დაცემული სინათლის მიმართულებიდან რა კუთხით დაიმზირება ის?

5.131.  $\lambda$  სიგრძის სინათლის ბრტყელი ტალღა მართობულად ეცემა ფაზურ დიფრაქციულ მესერს, რომლის პროფილი 5.26 ნახაზზეა ნაჩვენები. მესერი დატანილია  $n$  გარდატეხის მაჩვენებლიან ზინის ფირფიტაზე. იპოვეთ შტრიხის სიღრმე  $h$ , რომლისთვისაც ფრაუნჰოფერის ცენტრალური მაქსიმუმის ინტენსივობა ნულის ტოლია. როგორია ამ დროს პირველი მაქსიმუმის შესაბამისი დიფრაქციის კუთხე?



ნახ. 5.26.



ნახ. 5.27.

5.132. 5.27. ნახაზზე ნაჩვენებია დანადგარის სქემა, რომელშიც აკვირდებიან სინათლის დიფრაქციის ულტრაბერკაზე.  $\lambda = 0,55$  მკმ სიგრძის სინათლის ბრტყელი ტალღა გადის კ წყლიან კიუვეტში, რომელშიც აგზნებულია  $\nu = 4,7$  მკვც სიხშირის მდგარი ულტრაბერკითი ტალღა. ოპტიკურად არაერთგვაროვან პერიოდულ სტრუქტურაზე სინათლის დიფრაქციის შედეგად  $f = 35$  სმ ფოკალური მანძილის მქონე ო ობიექტივის ფოკალურ სიბრტყეში წარმოიქმნება დიფრაქციული სპექტრი. მეზობელ მაქსიმუმებს შორის მანძილი  $\Delta x = 0,60$  მმ-ს. იპოვეთ ულტრაბერკითი ტალღების გავრცელების სიჩქარე წყალში.

5.133. ორმაგი ვარსკვლავის კომპონენტებს შორის  $\psi$  კუთხური მანძილის გასაზომად მაიკელსონის მეთოდის გამოყენებით, ტელესკოპის ობიექტივის წინ ათავსებენ ორი ვიწრო პარალელური ზვრელის მქონე დიფრაგმას, რომლის ზვრელებს შორის  $d$  მანძილი ცვალებადია.  $d$ -ს შემცირებით ობიექტივის ფოკალურ სიბრტყეში აღმოაჩინეს დიფრაქციული სურათის ხილვადობის პირველი გაუარესება, როცა  $d = 95$  სმ-ს. იპოვეთ  $\psi$ , თუ სინათლის ტალღის სიგრძე  $\lambda = 0,55$  მკმ ს.

5.134. გამჭვირვალე დიფრაქციული მესერის პერიოდი  $d = 1,50$  მკმ-ს. აიპოვეთ  $\lambda = 530$  ნმ სპექტრული ხაზის უდიდესი რიგის მაქსიმუმის შესაბამისი კუთხური დისპერსია  $D$  (კუთხ. წთ/ნმ-ში), თუ სინათლე ეცემა მესერს:

ა) მართობულად; ბ) ნორმალისადმი  $\theta_0 = 45^\circ$ -იანი კუთხით.

5.135. დიფრაქციულ მესერს მართობულად ეცემა  $\lambda$  სიგრძის სინათლის ტალღა. იპოვეთ მისი კუთხური დისპერსიის დამოკიდებულება დიფრაქციის კუთხეზე.

5.136.  $d = 2,5$  მკმ პერიოდის დიფრაქციულ მესერს მართობულად ეცემა  $\lambda = 589,0$  ნმ სიგრძის სინათლე. შტრიხების რაოდენობა მესერზე უდრის  $N = 10000$ . იპოვეთ მეორე რიგის დიფრაქციული მაქსიმუმის კუთხური სიგანე.

5.137. აჩვენეთ, რომ დიფრაქციულ მესერზე სინათლის მართობულად დაცემისას მისი გარჩევისუნარიანობის მაქსიმალური სიდიდე არ აღემატება  $1/\lambda$  მნიშვნელობას, სადაც  $\lambda$  მესერის სიგანეა, ხოლო  $\lambda$ —სინათლის ტალღის სიგრძე.

5.138. დიფრაქციული მესერის მაგალითზე აჩვენეთ, რომ რელეს კრიტერიუმით დასაშვები ორი მაქსიმუმის სიხშირეთა სხვაობა განაპირა ინტერფერირებული რხევების გავლის დროთა სხვაობის შებრუნებული სიდიდის ტოლია, ე. ი.  $\delta \nu = 1/\delta t$ .

5.139. სინათლე, რომელიც  $600,000$  და  $600,050$  ნმ ტალღის სიგრძეების მქონე ორ სპექტრულ ხაზს შეიცავს, მართობულად ეცემა  $10,0$  მმ სიგანის დიფრაქციულ მესერს, დიფრაქციის  $\theta$  კუთხისათვის ეს ხაზები გარჩევის ზღვარზე აღმოჩნდნენ (რელეს კრიტერიუმის თანახმად). იპოვეთ  $\theta$ .

5.140. სინათლე მართობულად ეცემა  $l = 6,5$  სმ სიგანის გამჭვირვალე დიფრაქციულ მესერს, რომლის ყოველ მილიმეტრზე  $200$  შტრიხია. გამოსავლელი სპექტრი შეიცავს  $\lambda = 670,8$  ნმ სიგრძის სპექტრულ ხაზს, რომელიც  $\delta \lambda = 0,015$  ნმ სიდიდით განსხვავებული ორი კომპონენტისაგან შედგება. იპოვეთ:

ა) სპექტრის რომელ რიგში იქნებიან გარჩეულნი ეს კომპონენტები;

ბ) ტალღის სიგრძეთა მინიმალური სხვაობა, როგორცაა გაარჩევი ეს მესერი  $\lambda \approx 670$  ნმ-ის არეში.

5.141. 10 მმ სიგანის გამჭვირვალე მესერზე სინათლის მართობულად-  
დაცემის დროს აღმოჩნდა, რომ ნატრიუმის ყვითელი ხაზის კომპონენ-  
ტები (589,0 და 589,6 ნმ) დაწყებული სპექტრის მეხუთე რიგიდან გა-  
რჩეულია. შეაფასეთ:

ა) ამ მესერის პერიოდი;

ბ) რა სიგანე უნდა ჰქონდეს იმავე პერიოდის მქონე მესერს, რომ მე-  
სამე რიგში გაარჩაოთ  $\lambda = 460,0$  ნმ სიგრძის სპექტრული ხაზის დუბ-  
ლეტი, რომლის კომპონენტები 0,13 ნმ-ით განსხვავდებიან.

5.142 კვარცის სპექტროგრაფის გამჭვირვალე დიფრაქციული მესერის.  
სიგანე უდრის 25 მმ-ს. მის თითოეულ მილიმეტრზე 250 შტრიხია. ობი-  
ექტივის ფოკუსური მანძილი, რომლის ფოკალურ სიბრტყეში ფოტოფირ-  
ფიტაა მოთავსებული, 80 სმ-ია. სინათლე მართობულად ეცემა მესერს.  
გამოსაკვლევი სპექტრი შეიცავს სპექტრულ ხაზს, რომლის დუბლეტის  
კომპონენტების ტალღის სიგრძეები 310,154 ნმ და 310,184 ნმ-ის ტო-  
ლია. განსაზღვრეთ:

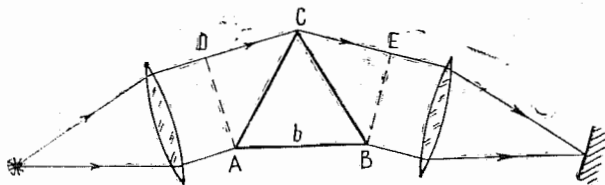
ა) მანძილი ფოტოფირფიტაზე ამ დუბლეტის კომპონენტებს შორის.  
პირველი და მეორე რიგის სპექტრებში;

ბ) გაირჩევიან თუ არა ისინი სპექტრის ამ რიგებში.

5.143. სპექტროგრაფის სამწახნაგა პრიზმისათვის ზღვრული გარჩევის-  
უნარიანობა  $\lambda/\delta\lambda$  განპირობებულია სინათლის დიფრაქციით პრიზმის კი-  
დეებიდან (როგორც ხვრელიდან). რელეის კრიტერიუმის შესაბამისად,  
პრიზმის უმცირესი გადახრის კუთხეზე დაყენების დროს

$$\lambda/\delta\lambda = b|dn/d\lambda|,$$

სადაც  $b$  პრიზმის ფუძის სიგანეა (ნახ. 5.28),  $dn/d\lambda$  — მისი ნივთიერების  
დისპერსია. გამოიყენეთ ეს ფორმულა.



ნახ. 5.28.

5.144. სპექტროგრაფის სამწახნაგა პრიზმა დამზადებულია მინისაგან,  
რომლის გარდატეხის მაჩვენებელი სინათლის ტალღის სიგრძეზე  $n = A +$   
 $+ B/\lambda^2$  კანონითაა დამოკიდებული, სადაც  $A$  და  $B$  მუდმივებია, თანაც,  
 $B = 0,010$  მკმ<sup>2</sup>. წინა ამოცანაში მოყვანილი ფორმულის დახმარებით  
იპოვეთ:

ა) პრიზმის გარჩევისუნარიანობის დამოკიდებულება  $\lambda$ -ზე; გამოთვა-  
ლეთ  $\lambda/\delta\lambda$ ,  $\lambda_1 = 434$  ნმ და  $\lambda_2 = 656$  ნმ-ის მახლობლად, თუ პრიზმის  
ფუძის სიგანე  $b = 5,0$  სმ-ს;

ბ) იმ პრიზმის ფუძის სიგანე, რომელსაც აქვს უნარი გაარჩიოს ნატ-  
რიუმის ყვითელი დუბლეტი (589,0 და 589,6 ნმ).

5.145. როგორია სამწახნაგა პრიზმის ფუძის სიგანე, რომ მას ისეთივე  
გარჩევისუნარიანობა ჰქონდეს, როგორც 10000 შტრიხისაგან შემდგარ  
დიფრაქციულ მესერს სპექტრის მეორე რიგში? პრიზმის ნივთიერების  
დისპერსია  $|dn/d\lambda| = 0,10$  მკმ<sup>-1</sup>.

5.146. მოცემულია ჭოგარი, რომლის ობიექტივის დიამეტრი  $D =$   
 $= 5,0$  სმ-ს. განსაზღვრეთ ჭოგარის ობიექტივის გარჩევისუნარიანობა და  
მინიმალური მანძილი ორ წერტილს შორის, რომლებიც  $l = 3,0$  კმ-ის მან-  
ძილითაა დაშორებული ჭოგრიდან და რომლებიც შეიძლება გაარჩიოს  
ჭოგრმა (ჩათვალით, რომ  $\lambda = 0,55$  მკმ-ს).

5.147. გამოიანგარიშეთ უმცირესი მანძილი მთვარეზე ორ წერტილს  
შორის, რომლებიც 5 მ დიამეტრის სარკიანი რეფლექტორით გაირჩევა.  
სინათლის ტალღის სიგრძე  $\lambda = 0,55$  მკმ-ს.

5.148. განსაზღვრეთ ჭოგარის მინიმალური გამადიდებლობა, თუ მისი  
ობიექტივის დიამეტრი  $D = 5,0$  სმ-ს, რომლის დროსაც მთლიანადაა გა-  
მოყენებული მისი ობიექტივის გარჩევისუნარიანობა, ხოლო თვალის გუ-  
ვის დიამეტრი  $d_0 = 4,0$  მმ-ია.

5.149. მოცემულია მიკროსკოპი, რომლის ობიექტივის რიცხვითი აპერ-  
ტურა  $\sin \alpha = 0,24$ , სადაც  $\alpha$  ობიექტივის ბუდეზე დაცემული სხივების  
კონუსის ნახევარგაშლის კუთხეა. იპოვეთ ამ მიკროსკოპის მიერ გარჩეუ-  
ლი მინიმალური მანძილი, თუ ობიექტივს ოპტიმალურად გავანათებთ  
 $\lambda = 0,55$  მკმ ტალღის სიგრძის სინათლით.

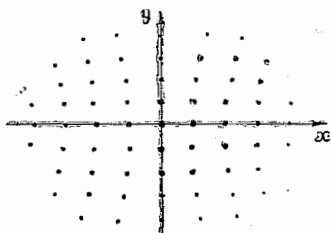
5.150. იპოვეთ მიკროსკოპის მინიმალური გამადიდებლობა, თუ მისი  
ობიექტივის რიცხვითი აპერტურა  $\sin \alpha = 0,24$ , ღოზლის დროსაც მთლიან-  
ადაა გამოყენებული ობიექტივის გარჩევისუნარიანობა. თვალის გუვის  
დიამეტრი  $d_0 = 4,0$  მმ-ია.

5.151.  $a$  პერიოდის გამზნევი ცენტრებისაგან შემდგარ წრფივ  
ჯაჭვს  $60,0^\circ$ -ანი სრიალის კუთხით ეცემა  $\lambda$  ტალღის სიგრძის რენტგენის  
სხივების კონა. იპოვეთ თითოეული დიფრაქციული მაქსიმუმის შესაბამი-  
სი სრიალის კუთხე, თუ  $\lambda = \frac{2}{5} a$ .

5.152. გამზნევი ცენტრებისაგან შემდგარ ბრტყელ მართკუთხა მესერს  
მართობულად ეცემა  $\lambda = 40$  მკმ ტალღის სიგრძის რენტგენის სხივე-  
ბის კონა და მესრიდან  $l = 10$  სმ მანძილით დაშორებულ ბრტყელ ეკრან-  
ზე იძლევა დიფრაქციული მაქსიმუმების სისტემას (ნახ. 5.29). იპოვეთ  
მესერის  $a$  და  $b$  პერიოდები  $x$  და  $y$  ღერძების გასწვრივ, თუ მანძილი

სიმეტრიულად განლაგებულ მეორე რიგის მაქსიმუმებს შორის  $\Delta x = 60$  მმ-ს ( $x$  ღერძის გასწვრივ), ხოლო  $\Delta y = 40$  მმ-ს ( $y$  ღერძის გასწვრივ).

5.153. სამგანზომილებიან მართკუთხა მესერს, რომლის პერიოდებია  $a$ ,  $b$  და  $c$ , ეცემა რენტგენის სხივების კონა. დაცემული კონის მიმართულება თანხვედნილია მიმართულებებისა, რომლის გასწვრივ მესერის პერიოდია  $a$ . იპოვეთ მიმართულებები დიფრაქციული მაქსიმუმებისაკენ და ტალღის ის სიგრძეები, რომელთათვისაც ადგილი აქვს ამ მაქსიმუმებს.



ნახ. 5.29.

5.154.  $\rho = 2,16$  გ/სმ<sup>3</sup> სიმკვრივის  $\text{NaCl}$  მონოკრისტალის ბუნებრივ წახნაგს  $\alpha = 60,0^\circ$  სრიალის კუთხით ეცემა რენტგენის სხივების ვიწრო კონა. სრული არეკვლის

დროს ამ წახნაგიდან წარმოიქმნება მეორე რიგის მაქსიმუმი. განსაზღვრეთ გამოსხივებული ტალღის სიგრძე.

5.155.  $\lambda = 174$  პმ სიგრძის რენტგენის სხივების კონა ეცემა მონოკრისტალის ზედაპირს, რომელიც ბრუნავს ამ ზედაპირის პარალელური და დაცემული კონის პერპენდიკულარულად მიმართული ღერძის გარშემო. ამ დროს მონოკრისტალის ზედაპირის პარალელურ სიბრტყეთა სისტემიდან მეორე და მესამე რიგის მაქსიმუმებისაკენ მიმართულებებს შორის კუთხე  $\alpha = 60^\circ$ -ს. იპოვეთ შესაბამისი სიბრტყეთშორისი მანძილი.

5.156. პოლიკრისტალურ ნიმუშში  $\lambda = 17,8$  პმ სიგრძის რენტგენის სხივთა კონის გავლისას, ნიმუშიდან  $l = 15$  სმ მანძილით დაშორებულ ეკრანზე დიფრაქციული რგოლების სისტემა წარმოიქმნება. განსაზღვრეთ ნათელი რგოლის რადიუსი, რომელიც სიბრტყეთა სისტემიდან არეკვლის მეორე რიგს შეესაბამება, თუ სიბრტყეთშორისი მანძილი  $d = 155$  პმ-ს.

#### 5.4. სინათლის პოლარიზაცია

● პოლარიზატორის გაშვების სიბრტყე წარმოადგენს სინათლის  $E$  ვექტორის გაშვების სიბრტყეს.

● სინათლის პოლარიზაციის ხარისხი:

$$P = \frac{I_{\text{მაქ}} - I_{\text{მინ}}}{I_{\text{მაქ}} + I_{\text{მინ}}} \quad (5.4 \text{ ა})$$

● მალიუსის კანონი:

$$I = I_0 \cos^2 \varphi, \quad (5.4 \text{ ბ})$$

● ბრიუსტერის კანონი:

$$\operatorname{tg} \varphi_B = n_2 / n_1. \quad (5.4 \text{ გ})$$

● ფრენელის ფორმულები ორ დიელექტრიკს გამყოფი საზღვრიდან არეკვლილი სინათლის ინტენსივობისათვის:

$$I'_I = I \frac{\sin^2(\vartheta_1 - \vartheta_2)}{\sin^2(\vartheta_1 + \vartheta_2)}, \quad I'_{II} = I_{II} \frac{\operatorname{tg}^2 \vartheta_1 - \operatorname{tg}^2 \vartheta_2}{\operatorname{tg}^2 \vartheta_1 + \operatorname{tg}^2 \vartheta_2}. \quad (5.4 \text{ დ})$$

სადაც  $I_I$  და  $I_{II}$  იმ დაცემული სინათლის ინტენსივობებია, რომლის სინათლის ვექტორის რხევები დაცემის სიბრტყის პერპენდიკულარული და პარალელურია შესაბამისად.

● კრისტალური ფირფიტა ორ  $P$  და  $P'$  პოლარიზატორს შორისაა. თუ კუთხე  $P$  პოლარიზატორის გაშვების სიბრტყესა და ფირფიტის ოპტიკურ  $OO'$  ღერძს შორის  $45^\circ$ -ია, მაშინ  $P'$  პოლარიზატორში გავლილი სინათლის ინტენსივობა იქნება მაქსიმალური ან მინიმალური შემდეგი შემთხვევებისათვის:

$P$ და $P'$ პოლარიზატორები	$\delta = 2\pi k$	$\delta = (2k+1)\pi$
პარალელურია	$I'_{II} = \text{მაქს.}$	$I'_{II} = \text{მინ.}$
გადაჯვარედინებულია	$I'_I = \text{მინ.}$	$I'_I = \text{მაქს.}$

(5.4 ე)

აქ  $\delta = 2\pi(n_o - n_e)d/\lambda$  ფაზათა სხვაობაა ჩვეულებრივ და არაჩვეულებრივ სხივებს შორის,  $k = 0, 1, 2, \dots$

● პოლარიზაციის სიბრტყის ბუნებრივი და მაგნიტური ბრუნვა:

$$\varphi_{\text{ბუნ}} = \alpha l, \quad \varphi_{\text{მაგ}} = V l H, \quad (5.4 \text{ ვ})$$

სადაც  $\alpha$  ბრუნვის მუდმივაა,  $V$ —ვერდეს მუდმივა. ხსნარებისათვის  $\alpha = [\alpha]c$ , სადაც  $[\alpha]$  ბრუნვის კუთრი მუდმივაა, ხოლო  $c$ —აქტიური ნივთიერების კონცენტრაცია.

5.157.  $I_0$  ინტენსივობის მონოქრომატული ბუნებრივი სინათლე მართობულად ეცემა ორ შემხებ პოლარიზაციულ ნახევარსიბრტყეების სისტემას, რომელთა გაშვების სიბრტყეები ურთიერთპერპენდიკულარულია. გამოსახეთ ეკრანზე ამ სისტემის დიფრაქციული სურათის საფარული სახე. როგორია სინათლის ინტენსივობა დიფრაქციული სურათის შუაში?

5.158.  $I_0$  ინტენსივობის ბუნებრივი სინათლის ბრტყელი მონოქრომატული ტალღა მართობულად ეცემა მრგვალხვერიდან გაუმჭვირაველ ეკრანს, რომელიც დაცივრების  $P$  წერტილისათვის ფრენელის პირველ ზონას ემთხვევა. იპოვეთ სინათლის ინტენსივობა  $P$  წერტილში მას შემდეგ, რაც ხვერილი გადახურეს ორი ერთნაირი პოლარიზატორით, რომელთა გაშვების სიბრტყეები ურთიერთპერპენდიკულარულია, ხოლო მათი გამყოფი საზღვარი გადის:

ა) ხვერელის დიამეტრზე;

ბ) ფრენელის ზონის პირველი ნახევრის შემომფარგვლელი წრეწირის გასწვრივ.

5.159. წრფივად პოლარიზებული სინათლის კონა ეცემა პოლარიზატორს, რომელიც კონის ღერძის გარშემო ბრუნავს  $\omega = 21$  რად/წმ კუთხური სიჩქარით. იპოვეთ ერთი ბრუნვის დროს პოლარიზატორში გავლილი სინათლის ენერგია, თუ ენერგიის ნაკადი დაცემულ კონაში  $\Phi_0 = 4,0$  მვტ-ის ტოლია.

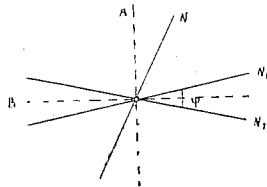


5.160 ბუნებრივი სინათლის კონა ეცემა  $N=6$  ნიკოლისაგან შემდგარ სისტემას, რომელშიც თითოეულის გაშვების სიბრტყე წინა ნიკოლის გაშვების სიბრტყის მიმართ  $\varphi=30^\circ$  კუთხითაა მობრუნებული. სინათლის ნაკადის რა ნაწილი გაივლის ამ სისტემაში?

5.161. სამ მიმდევრობით განლაგებულ ერთნაირ პოლარიზებისაგან შემდგარ სისტემას ეცემა ბუნებრივი სინათლე. შუა პოლარიზდის გაშვების სიბრტყე დანარჩენი ორი პოლარიზდის გაშვების სიბრტყეებთან ადგენს  $\varphi=60^\circ$ -იან კუთხეს. თითოეულ პოლარიზდის ისეთი შთანთქმის უნარი აქვს, რომ მასზე წრფივად პოლარიზებული სინათლის დაცემის დროს გაშვების მაქსიმალური კოეფიციენტი  $\tau=0,81$ . რამდენჯერ შემცირდება სინათლის ინტენსივობა ამ სისტემის გავლის შემდეგ?

5.162. ნაწილობრივად პოლარიზებული სინათლის პოლარიზაციის ხარისხი  $P=0,25$ . იპოვეთ ამ სინათლის პოლარიზებული მდგენელის ინტენსივობის შეფარდება ბუნებრივი მდგენელის ინტენსივობასთან.

5.163. ნაწილობრივად პოლარიზებულ კონას დაუხვედრეს ნიკოლი. ნიკოლის  $\varphi=60^\circ$ -იანი კუთხით მობრუნებისას იმ მდგომარეობიდან, რომელიც სინათლის გაშვების მაქსიმუმს შეესაბამება, გავლილი სინათლის ინტენსივობა  $\eta=3,0$ -ჯერ შემცირდა. იპოვეთ დაცემული სინათლის პოლარიზაციის ხარისხი.



ნახ. 5.30.

ტყეების შემთხვევაში. იპოვეთ სინათლის პოლარიზაციის ხარისხი, რომელსაც ქმნის:

ა) თითოეული პოლარიზატორი ცალ-ცალკე;

ბ) მთლიანი სისტემა პოლარიზატორების პარალელური გაშვების სიბრტყეების შემთხვევაში.

5.165. ნიკოლს ეცემა ორა ერთნაირი ინტენსივობის წრფივად პოლარიზებული პარალელური კონა, რომელთა  $N_1$  და  $N_2$  რხევის სიბრტყეები ერთმანეთთან ადგენენ მცირე  $\varphi$  კუთხეს (ნახ. 5.30). ნიკოლის უკან ორივე კონის ინტენსივობის გასათანაბრებლად მისი გაშვების  $N$  სიბრტყე დაყენებულა უნდა იყოს  $A$  ან  $B$  ბისექტრისაზე. განსაზღვრეთ  $\varphi$  კუთხის ის მნიშვნელობა, როცა ნიკოლის  $A$  მდებარეობიდან მცირე  $\delta\varphi \ll \varphi$  კუთხით მობრუნება გამოიწვევს ორივე კონის ინტენსივობის  $\Delta I/I$

5.164. ბუნებრივი სინათლის კონას დაუხვედრეს ორი ერთნაირი არასრულყოფილი პოლარიზატორი. როდესაც პოლარიზატორების გაშვების სიბრტყეები ერთმანეთის პარალელურია, სისტემა ატარებს  $\eta=10,0$ -ჯერ მეტ სინათლეს, ვიდრე გადაჯვარდინებული გაშვების სიბრ-

ფარდობითი ცვლილების  $\eta=100$ -ჯერ მეტ გადიდებას, ვიდრე  $B$  მდებარეობიდან იმავე კუთხით მობრუნებისას.

5.166. ფრენელს ფორმულების დახმარებით აჩვენეთ, რომ დიელექტრიკის ზედაპირიდან არეკვლილი სინათლე იქნება მთლიანად პოლარიზებული, თუ დაცემის  $\chi_1$  კუთხე აკმაყოფილებს  $\text{tg } \chi_1 = n$  პირობას, სადა  $n$  დიელექტრიკის გარდატეხის მაჩვენებელია. რას უდრის ამ დროს კუთხე არეკვლილ და გარდატეხილ სხივებს შორის?

5.167. ბუნებრივი სინათლე ბრიუსტერის კუთხით ეცემა მინის ზედაპირს, ფრენელის ფორმულების დახმარებით განსაზღვრეთ:

ა) არეკვლის კოეფიციენტი;

ბ) გარდატეხილი სინათლის პოლარიზაციის ხარისხი.

5.168.  $I_0$  ინტენსივობის ბუნებრივი სინათლის ბრტყელი კონა ბრიუსტერის კუთხით ეცემა წყლის ზედაპირს. ამ დროს სინათლის ნაკადის  $p=0,039$  ნაწილი აირეკლება. იპოვეთ გარდატეხილი სინათლის ინტენსივობა.

5.169. ბრტყლად პოლარიზებული სინათლის კონა ბრიუსტერის კუთხით ეცემა წყლის ზედაპირს. სინათლის ვექტორის რხევის საბრტყე დაცემის სიბრტყესთან ადგენს  $\varphi=45^\circ$ -იან კუთხეს. იპოვეთ არეკვლის კოეფიციენტი.

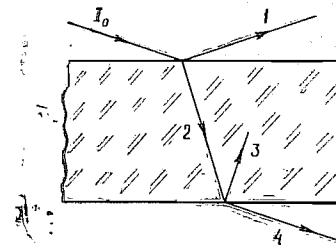
5.170. ბუნებრივი სინათლის ვიწრო კონა ბრიუსტერის კუთხით ეცემა ბრტყელ-პარალელურ გამჭვირვალე სქელი ფირფიტის ზედაპირს. ამ დროს ზედა ზედაპირიდან აირეკლება სინათლის ნაკადის  $p=0,080$  ნაწილი. იპოვეთ 1—4 კონების პოლარიზაციის ხარისხი (ნახ. 5.31).

5.171. ბრტყელ-პარალელურ მინის ფირფიტას ბრიუსტერის კუთხით ეცემა  $I_0$  ინტენსივობის სინათლის ვიწრო კონა (იხ. ნახ. 5.31). ფრენელის ფორმულების დახმარებით განსაზღვრეთ:

ა) გავლილი კონის ინტენსივობა  $I_4$ , თუ დაცემული სინათლე წრფივადაა პოლარიზებული, ხოლო მისი რხევის სიბრტყე დაცემის სიბრტყის პერპენდიკულარულია;

ბ) ფირფიტაში გასული კონის პოლარიზაციის ხარისხი, თუ დაცემული სინათლე ბუნებრივია.

5.172. ბუნებრივი სინათლის ვიწრო კონა ბრიუსტერის კუთხით ეცემა სტოლეტოვის ოზმას, რომელიც შედგება  $N$  ბრტყელ-პარალელური სქელი მინის ფირფიტებისაგან. იპოვეთ:



ნახ. 5.31.

ა) გავლილი კონის პოლარიზაციის ხარისხი  $P$ ;

ბ) რას ეთანხმება  $P$ , თუ  $N=1,2,5$  და  $10$ .

5.173. ფრენელის ფორმულების დახმარებით განსაზღვრეთ:

ა) ბუნებრივი სინათლის არეკვლის კოეფიციენტი მინის ზედაპირზე მართობულად დაცემის დროს;

ბ) სინათლის ნაკადის ფარდობითი დანაკარგი ბუნებრივი სინათლის პარაქსიალური კონის გავლისას მინის ხუთი ლინზისაგან შემდგარ ცენტრირებულ ოპტიკურ სისტემაში (უგულებელყავით სინათლის მეორადი არეკვლა).

5.174. გამჭვირვალე ნივთიერების შრით დაფარულ მინის ზედაპირს მართობულად ეცემა სინათლის ტალღა. უგულებელყავით მეორადი არეკვლა და აჩვენეთ, რომ ასეთი შრის ორივე ზედაპირიდან არეკვლილი სინათლის ტალღის ამპლიტუდები ერთნაირი იქნება, თუ  $n' = \sqrt{n}$ , სადა  $n'$  და  $n$  შრისა და მინის გარდატეხის მაჩვენებლებია შესაბამისად.

5.175. ბუნებრივი სინათლის კონა მართობულად ეცემა მინის ზედაპირს. დაცემის კუთხე  $45^\circ$ -ის ტოლია. ფრენელის ფორმულების დახმარებით იპოვეთ:

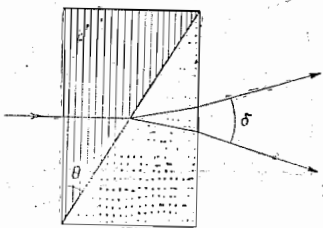
ა) არეკვლილი სინათლისა და ბ) გარდატეხილი სინათლის პოლარიზაციის ხარისხი.

5.176. ჰიუგენის პრინციპის მიხედვით ააგეთ ტალღური ფრონტი და ჩვეულებრივი და არაჩვეულებრივი სხივების მიმართულებები ერთლერძიან კრისტალში, რომლის ოპტიკური ღერძი:

ა) დაცემის სიბრტყის პერპენდიკულარულია და კრისტალის ზედაპირის პარალელური;

ბ) დაცემის სიბრტყეში მდებარეობს და კრისტალის ზედაპირის პარალელურია;

გ) მდებარეობს დაცემის სიბრტყეში კრისტალის ზედაპირისადმი  $45^\circ$ -იანი კუთხით, ხოლო სინათლე ეცემა ოპტიკური ღერძის მართობულად.



ნახ. 5.32.

5.177. ისლანდიური შპატისაგან დამზადებულ ვოლასტონის პრიზმის ზედაპირს მართობულად ეცემა  $\lambda = 589$  ნმ ტალღის სიგრძის ბუნებრივი სინათლის ვიწრო კონა (ნახ. 5.32). პრიზმის ორივე ნაწილის ოპტიკური

ღერძები ურთიერთპერპენდიკულარულია იპოვეთ  $\theta$  კუთხე კონების მიმართულებებს შორის პრიზმის უკან, თუ  $\theta = 30^\circ$ .

5.178. როგორაა პოლარიზებული ბრტყელი ელექტრომაგნიტური ტალღა, თუ მისი გავრცელების მიმართულების პერპენდიკულარულ  $x$  და  $y$  ღერძებზე  $E$  ვექტორის გვემილები შემდეგი განტოლებებით განისაზღვრება:

$$a) E_x = E \cos(\omega t - kx), \quad E_y = E \sin(\omega t - kx).$$

$$b) E_x = E \cos(\omega t - kx), \quad E_y = E \cos(\omega t - kx + \pi/4)$$

$$g) E_x = E \cos(\omega t - kx), \quad E_y = E \cos(\omega t - kx + \pi).$$

5.179. დასამზადებელია ოპტიკური ღერძის პარალელური კვარცის ფირფიტა, რომლის სისქე არ უნდა აღემატებოდეს  $0,50$  მმ-ს. იპოვეთ ამ ფირფიტის მაქსიმალური სისქე, თუ  $\lambda = 589$  ნმ ტალღის სიგრძის წრფივად პოლარიზებული სინათლის გავლის შემდეგ ის:

ა) განიცდის მხოლოდ პოლარიზაციის სიბრტყის შემობრუნებას;

ბ) გახდება წრიულად პოლარიზებული.

5.180. ოპტიკური ღერძის პარალელურად ამოჭრილი კვარცის ფირფიტა ორ გადაჯვარედინებულ ნიკოლს შორის მოათავსეს. კუთხე ნიკოლების გაშვების სიბრტყეებსა და ფირფიტის ოპტიკურ ღერძს შორის  $45^\circ$ -ის ტოლია. ფირფიტის სისქე  $d = 0,50$  მმ-ს. როგორი ტალღის სიგრძეები უნდა შეირჩეს  $0,50-0,60$  მკმ ინტერვალად, რომ ამ სისტემაში გამავალი სინათლის ინტენსივობა არ იყოს დამოკიდებული უკანა ნიკოლის მოპრუნებაზე? ტალღის სიგრძეთა ამ ინტერვალში ჩვეულებრივი და არაჩვეულებრივი სხივების გარდატეხის მაჩვენებლების სხვაობა  $\Delta n = 0,0090$ .

5.181. ბუნებრივი თეთრი სინათლე ეცემა ორი გადაჯვარედინებულ ნიკოლისაგან შემდგარ სისტემას, რომელთა შორის ოპტიკური ღერძის პარალელურად ამოჭრილი  $1,5$  მმ სისქის კვარცის ფირფიტაა მოათავსებული. ფირფიტის ღერძი ნიკოლების გაშვების სიბრტყეებთან ადგენს  $45^\circ$ -იან კუთხეს. ამ სისტემაში გასული სინათლე დაშლეს სპექტრად. რამდენი ბნელი ზოლი აღმოჩნდება  $0,55-0,60$  მკმ ტალღის სიგრძეთა ინტერვალში? ტალღის სიგრძეთა ამ ინტერვალში ჩვეულებრივი და არაჩვეულებრივი სხივების გარდატეხის მაჩვენებელთა სხვაობაა  $0,0090$ .

5.182. ოპტიკური ღერძის პარალელურად ამოჭრილი კრისტალური ფირფიტის სისქე  $0,25$  მმ-ია და  $\lambda = 530$  ნმ სიგრძისათვის ტალღის მეოთხედი ფირფიტის როლს ასრულებს. ტალღის როგორი სიგრძეებისათვის შესარულებს ის ტალღის მეოთხედის ფირფიტის როლს სპექტრის ხილული ნაწილის არეში? გაითვალისწინეთ, რომ ხილული სპექტრის ყველა ტალღის სიგრძისათვის ჩვეულებრივი და არაჩვეულებრივი სხივების გარდატეხის მაჩვენებელთა სხვაობა ერთი და იგივეა და  $n_e - n_o = 0,0090$ .

5.183. ოპტიკური ღერძის პარალელურად ამოჭრილი კვარცის ფირფიტა მოათავსებულია ორ გადაჯვარედინებულ ნიკოლს შორის ისე, რომ მისი ოპტიკური ღერძი ნიკოლების გაშვების სიბრტყეებთან ადგენს  $45^\circ$ -იან კუთხეს. რა მინიმალური სისქე უნდა ჰქონდეს ფირფიტას, რომ  $\lambda_1 = 643$  ნმ სიგრძის სინათლემ ეს სისტემა გაიაროს მაქსიმალური ინტენსივობით, ხოლო  $\lambda_2 = 564$  ნმ სიგრძის სინათლემ — ძლიერ შესუსტებული?

ორივე ტალღის სიგრძისათვის ჩვეულებრივი და არაჩვეულებრივი სხივების გარდატეხის მაჩვენებელთა სხვაობა  $n_e - n_o = 0,0090$ .

5.184. ორ გადაჯვარედინებულ პოლარიზაციას შორის მოთავსეს  $\theta = 3,5^\circ$  გარდამტეხი კუთხის მქონე კვარცის სოლი. სოლის ოპტიკური ღერძი მისი წიბოს პარალელურია და პოლარიზაციის გაშვების სიბრტყეებთან ადგენს  $45^\circ$ -იან კუთხეს. ამ სისტემაში  $\lambda = 550$  ნმ სინათლის გავლის დროს შეიმჩნევა ინტერფერენციული ზოლების სისტემა. თითოეული ზოლის სიგანე  $\Delta x = 1,0$  მმ. აღნიშნული ტალღის სიგრძისათვის განსაზღვრეთ სხვაობა კვარცის გარდატეხის მაჩვენებლებს შორის ჩვეულებრივი და არაჩვეულებრივი სხივებისათვის.

5.185.  $I_0$  ინტენსივობის ბუნებრივი მონოქრომატული სინათლე ეცემა ორი პოლარიზაციისაგან შემდგარ სისტემას, რომელთა შორის ოპტიკური ღერძის პარალელურად ამოჭრილი კრისტალური ფირფიტაა მოთავსებული. ფირფიტა ჩვეულებრივ და არაჩვეულებრივ სხივებს შორის წარმოქმნის  $\delta$  ფაზათა სხვაობას. აჩვენეთ, რომ ამ სისტემაში გამავალი სინათლის ინტენსივობა

$$I = \frac{1}{2} I_0 [\cos^2(\varphi - \varphi') - \sin 2\varphi \cdot \sin 2\varphi' \cdot \sin^2(\delta/2)],$$

სადაც  $\varphi$  და  $\varphi'$  არის კუთხეები კრისტალის ოპტიკურ ღერძსა და პოლარიზაციის გაშვების სიბრტყეებს შორის. განიხილეთ გადაჯვარედინებული და პარალელური პოლარიზაციის შემთხვევა.

5.186. ოპტიკური ღერძის პარალელურად ამოჭრილ კრისტალურ ფირფიტას მართობულად ეცემა წრიულად პოლარიზებული მონოქრომატული სინათლე. ფირფიტის უკან მოთავსებულია ნიკოლი, რომლის გაშვების სიბრტყე ფირფიტის ოპტიკურ ღერძთან ადგენს  $\varphi$  კუთხეს. აჩვენეთ, რომ ამ სისტემაში გასული სინათლის ინტენსივობა

$$I = I_0(1 + \sin 2\varphi \cdot \sin \delta),$$

სადაც  $\delta$  არის ფირფიტით გამოწვეული ფაზათა სხვაობა ჩვეულებრივ და არაჩვეულებრივ სხივებს შორის.

5.187. როგორ უნდა გავარჩიოთ პოლარიზაციისა და დადებითი ერთ-ღერძიანი კრისტალისაგან ( $n_e > n_o$ ) დამზადებული ტალღის მეოთხედი ფირფიტის დახმარებით:

ა) წრიულად მარცხნივპოლარიზებული სინათლე მარჯვნივპოლარიზებული სინათლისაგან;

ბ) ბუნებრივი სინათლე წრიულად პოლარიზებულისაგან, და ბუნებრივი და წრიულად პოლარიზებული სინათლის ნარევისაგან?

5.188.  $\lambda$  ტალღის სიგრძის სინათლე ეცემა გადაჯვარედინებულ 3 პოლარიზატორისა და 2 ანალიზატორისაგან შემდგარ სისტემას, რომელთა შორის მოთავსებულია ბაბინეს კომპენსატორი (ნახ. 5.33), კომპენსატორი

რი შედგება კვარცის ორი სოლისაგან, რომელთაგან ერთ-ერთის ოპტიკური ღერძი სოლის წიბოს პარალელურია, მეორესი კი—სოლის პერპენდიკულარული. პოლარიზატორისა და ანალიზატორის გაშვების სიბრტყეები კომპენსატორის ოპტიკურ ღერძებთან ადგენენ  $45^\circ$ -იან კუთხეს. ცნობილია სოლების გარდამტეხი კუთხე  $\theta$  ( $\theta \ll 1$ ) და კვარცის გარდატეხის მაჩვენებლების სხვაობა  $n_e - n_o$ . გამოსაკვლევი ორმაგგარდამტეხი 6 ნიმუშის შეტანისას (მისი ოპტიკური ღერძი ისეა ორიენტირებული, როგორც ნაჩვენებია ნახაზზე) დასაკვირვებელი ინტერფერენციული ზოლები  $\delta x$  მმ-ით წაინაცვლენ ზევით. იპოვეთ:

ა) ინტერფერენციული ზოლის სიგანე  $\Delta x$ ;

ბ) ჩვეულებრივი და არაჩვეულებრივი სხივების ოპტიკურ სვლათა სხვაობის სიდიდე და ნიშანი, რომელსაც წარმოქმნის 6 ნიმუში.

5.189. დამატების ცხრილების

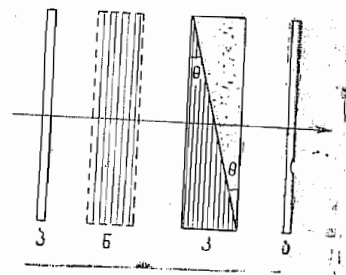
დახმარებით გამოიანგარიშეთ სხვაობა კვარცის გარდატეხის მაჩვენებლებს შორის წრეზე მარჯვნივ და მარცხნივპოლარიზებული სინათლისათვის, თუ  $\lambda = 589,5$  ნმ-ს,

5.190. 0,59 მმ ტალღის სიგრძის წრფივადპოლარიზებული სინათლე ეცემა კვარცის სამწახნაგა პრიზმას (ნახ. 5.34), რომლის გარდამტეხი კუთხე  $\theta = 30^\circ$ . სინათლე პრიზმაში გრცელდება ოპტიკური ღერძის გასწვრივ, რომლის მიმართულება შტრიხითაა ნაჩვენები.  $P$  პოლარიზდის უკან

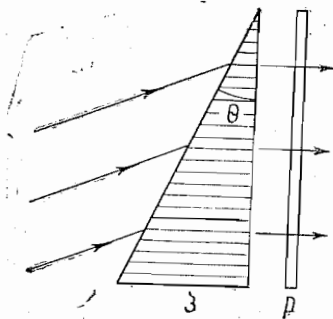
აკვირდებიან ბნელი და ნათელი ზოლების სისტემას, რომელთა სიგანე  $\Delta x = 15,0$  მმ-ს. იპოვეთ კვარცის ბრუნვის მუდმივა და სინათლის ინტენსივობის განაწილების ხასიათი პოლარიზდის უკან.

5.191. ბუნებრივი მონოქრომატული სინათლე ეცემა ორი გადაჯვარედინებული ნიკოლისაგან შემდგარ სისტემას, რომელთა შორის მოთავსებულია ოპტიკური ღერძის მართობულად ამოჭრილი კვარცის ფირფიტა. იპოვეთ ფირფიტის ის მინიმალური სისქე, როდესაც ეს სისტემა გაატარებს სინათლის ნაკადის  $\eta = 0,30$  ნაწილს, თუ კვარცის ბრუნვის მუდმივა  $\alpha = 17$  კუთხ. გრად/მმ.

5.192. სინათლე გადის ორი გადაჯვარედინებული ნიკოლისაგან შემდგარ სისტემაში, რომელთა შორის ოპტიკური ღერძის მართობულად ამო-



ნახ. 5.33.



ნახ. 5.34.

ჭრილი კვარცის ფირფიტაა მოთავსებული. განსაზღვრეთ ფირფიტის ის მინიმალური სისქე, რომლის დროსაც 426 ნმ ტალღის სიგრძის სინათლე მთლიანად იქნება შეკავებული ამ სისტემის მიერ, ხოლო 491 ნმ ტალღის სიგრძის სინათლე სანახევროდ გაივლის. ტალღის ამ სიგრძეებისათვის კვარცის ბრუნვის მუდმივა 41,5 კუთხ. გრად/მმ და 31,1 კუთხ. გრად/მმ-ია შესაბამისად.

**5.193.** ცილინდრული მინის ჭურჭლის გასწვრივ გრცელდება 589 ნმ ტალღის სიგრძის წრფივადპოლარიზებული სინათლე. ჭურჭელი 500 გ/ლ კონცენტრაციის მქონე ოდნავ ამღვრეული შაქრის ხსნარითაა შევსებული. გვერდრიდან დაკვირვებისას მოჩანს ხრახნისებრი ზოლების სისტემა, თანაც ღერძის გასწვრივ მანძილი მეზობელ ბნელ ზოლებს შორის 50 სმ-ია. ახსენით ზოლების წარმოქმნა და განსაზღვრეთ ხსნარის ბრუნვის მუდმივა.

**5.194.** ორ გადაჯვარედინებულ ნიკოლს შორის მოათავსეს კერის უჯრედი ისე, რომ  $E$  ელექტრული ველის მიმართულება კონდენსატორში ნიკოლების გამწვების სიბრტყეებთან ადგენს  $45^\circ$ -იან კუთხეს. კონდენსატორის სიგრძე  $l=10$  სმ-ს და ნიტრობენზოლითაა შევსებული. სისტემაში გადის  $\lambda=0,50$  მკმ სიგრძის სინათლე. გაითვალისწინეთ, რომ მოცემულ შემთხვევაში კერის მუდმივა  $B=2,2 \cdot 10^{-15}$  სმ/ვ<sup>2</sup>-ს და განსაზღვრეთ:

ა) ელექტრული ველის მინიმალური დაძაბულობა  $E$  კონდენსატორში, როცა ამ სისტემაში გამავალი სინათლის ინტენსივობა არ იქნება დამოკიდებული უკანა ნიკოლის მობრუნებაზე;

ბ) სინათლის წყვეტათა რიცხვი ერთ წამში, თუ კონდენსატორზე მოდებულია  $\nu=10$  მგჰც სიხშირის სინუსოიდური ძაბვა, ხოლო დაძაბულობის ამპლიტუდური მნიშვნელობა  $E_m=50$  კვ/სმ ს.

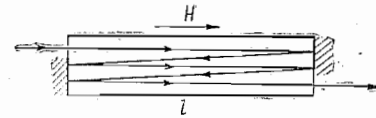
შენიშვნა. კერის მუდმივა წარმოადგენს  $B$  კოეფიციენტს  $n_e - n_o = B\lambda E^2$  ფორმულაში.

**5.195.** ნივთიერებაში  $H$  დაძაბულობის ერთგვაროვანი მაგნიტური ველის გასწვრივ გადის  $\omega$  წრიული სიხშირის მოძოქრომატული ბრტყლადპოლარიზებული სინათლე. იპოვეთ წრეზე მარჯვნივ და მარცხნივპოლარიზებული სინათლის კონის კომპონენტთა გარდატეხის მაჩვენებლების სხვაობა, თუ ვერდეს მუდმივა უდრის  $V$ -ს.

**5.196.** ორ პოლარიზდ შორის განლაგებულ სოლენოიდის გრძივ მაგნიტურ ველში მოათავსეს რომელიღაც ნივთიერება. მილის სიგრძე ნივთიერებასთან ერთად  $l=30$  სმ-ია. იპოვეთ ვერდეს მუდმივა, თუ  $H=56,5$  კა/მ ველის დაძაბულობის დროს ველის ერთი მიმართულებისათვის პოლარიზაციის სიბრტყის მობრუნების კუთხე  $\varphi_1=+5^\circ 10'$ -ია, ხოლო ველის საწინააღმდეგო მიმართულებისათვის —  $\varphi_2=-3^\circ 20'$ .

**5.197.** ბრტყლადპოლარიზებული სინათლის ვიწრო კონა გადის მარჯვნივ მბრუნავ დადებით ნივთიერებაში, რომელიც გრძივ მაგნიტურ ველ-

შია მოთავსებული (ნახ. 5.35). იპოვეთ გამოსული კონის პოლარიზაციის სიბრტყის მობრუნების კუთხე, თუ მილის სიგრძე ნივთიერებასთან ერთად  $l$ -ის ტოლია, მისი ბრუნვის მუდმივა  $\alpha$ , ვერდეს მუდმივა —  $V$ , ხოლო მაგნიტური ველის დაძაბულობა —  $H$ .



ნახ. 5.35.

**5.198.** ორ პოლარიზდ შორის განლაგებული სოლენოიდის გრძივ მაგნიტურ ველში მოთავსებულია  $l=36$  სმ სიგრძის მილი ბენზოლით.

პოლარიზდების გაწვევის სიბრტყეებს შორის კუთხე  $45^\circ$ -ია. იპოვეთ მაგნიტური ველის მინიმალური დაძაბულობა, თუ 589 ნმ ტალღის სიგრძის სინათლე ამ სისტემას გაივლის ერთი მიმართულებით (ოპტიკური ვენტილი). როგორ იმოქმედებს ეს ოპტიკური ვენტილი, თუ მოცემულ მაგნიტურ ველს საპირისპიროდ შეუვსვლით მიმართულებას.

**5.199.** ცდა გვიჩვენებს, რომ სხეულს წრიულადპოლარიზებული სინათლით დასხივებისას ენიჭება ბრუნვითი მომენტი (სადოვსკის ეფექტი). ეს დაკავშირებულია იმასთან, რომ მოცემულ სინათლეს გააჩნია იმავე სიხშირის მომენტი, რომლის ნაკადის სიმკვრივე ვაკუუმში  $M=I/\omega$ , სადაც  $I$  სინათლის ინტენსივობაა,  $\omega$  — მისი რხევების წრიული სიხშირე. დაფუძნებით, რომ  $\lambda=0,70$  მკმ ტალღის სიგრძის წრიულადპოლარიზებული სინათლე მართობულად ეცემა  $m=10$  კგ მასის ერთგვაროვან შავ დისკოს, რომელიც თავისუფლად ბრუნავს საკუთარი ღერძის გარშემო. რა ხნის შემდეგ გახდება მისი კუთხური სიჩქარე  $\omega_0=1,0$  რად/წმ-ის ტოლი, თუ  $I=10$  ვტ/სმ<sup>2</sup>?

## 5.5. სინათლის შთანთქმა. დისპერსია

დისპერსიის ელემენტარული თეორიის თანახმად, ნივთიერების დიელექტრიკული შეღწევადობა

$$\epsilon = 1 + \sum_k \frac{n_k e^2 / m \epsilon_0}{\omega_{0k}^2 - \omega^2}, \quad (5.5 \text{ ა})$$

სადაც  $n_k$  საკუთარი  $\omega_{0k}$  სიხშირის მქონე ელექტრონების კონცენტრაციაა.

კავშირი ნივთიერების გარდატეხის მაჩვენებელსა და დიელექტრიკულ შეღწევადობას შორის:

$$n = \sqrt{\epsilon}. \quad (5.5 \text{ ბ})$$

$v$  ფაზური და  $u$  ჯგუფური სიჩქარე:

$$v = \frac{\omega}{k}, \quad u = \frac{d\omega}{dk}. \quad (5.5 \text{ გ})$$



● რელის ფორმულა:

$$u = v - \lambda \frac{dv}{d\lambda}. \quad (5.5 \text{ დ})$$

● ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ვიწრო კონის შესუსტების კანონი:

$$I = I_0 e^{-\mu d}, \quad (5.5 \text{ ე})$$

სადაც  $\mu = \kappa + \kappa'$ ,  $\mu$ ,  $\kappa$ ,  $\kappa'$  შესუსტების, შთანთქმისა და გაბნევის ხაზოვანი მაჩვენებლებია.

5.200. მონოქრომატული სინათლის ტალღაში იმყოფება თავისუფალი ელექტრონი. სინათლის ინტენსივობა  $I = 150 \text{ ვტ/მ}^2$ , ხოლო მისი სიხშირე  $\omega = 3,4 \cdot 10^{15} \text{ წმ}^{-1}$ . იპოვეთ:

ა) ელექტრონის რხევისა და სიჩქარის ამპლიტუდები;

ბ)  $F_a/F_0$  ფარდობა, სადაც  $F_a$  და  $F_0$  იმ ძალების ამპლიტუდური მნიშვნელობებია, რომლითაც მოქმედებენ ელექტრონზე სინათლის ტალღის მაგნიტური და ელექტრული მდგენელები; აჩვენეთ აგრეთვე, რომ ეს შეფარდება  $\frac{1}{2} v/c$  ტოლია, სადაც  $v$  ელექტრონის სიჩქარის ამპლიტუდაა, ხოლო  $c$  — სინათლის სიჩქარე.

მითითება. ელექტრონის მოძრაობის განტოლებაში არ გაითვალისწინოთ ველის მაგნიტური მდგენელის მოქმედება (როგორც გამოთვლებიდან ჩანს, ის შეუმჩნეველად მცირეა).

5.201. გაიშვიათებულ პლაზმაში ვრცელდება  $\omega$  სიხშირის ელექტრომაგნიტური ტალღა. პლაზმაში თავისუფალი ელექტრონების კონცენტრაცია  $n_0$ -ის ტოლია. უგულებელყავით ტალღის ურთიერთქმედება პლაზმის იონებთან და იპოვეთ დამოკიდებულება:

ა) პლაზმის დიელექტრიკული შეღწევადობისა სიხშირეზე;

ბ) ელექტრომაგნიტური ტალღის ფაზური სიჩქარისა ტალღის სიგრძეზე პლაზმაში.

5.202. იპოვეთ იონოსფეროს თავისუფალი ელექტრონების კონცენტრაცია, თუ  $v = 100 \text{ მკვ}$  სიხშირის რადიოტალღებისათვის მისი გარდატეხის მაჩვენებელი  $n = 0,90$ .

5.203. გაითვალისწინეთ, რომ რენტგენის საკმაოდ ხისტი სხივებისათვის ნივთიერების ელექტრონები შეიძლება ჩაითვალოს თავისუფალ ელექტრონებად და განსაზღვრეთ, რამდენით განსხვავდება ერთისაგან გრაფიტის გარდატეხის მაჩვენებელი რენტგენის სხივებისათვის, რომლის ტალღის სიგრძე ვაკუუმში  $\lambda = 50 \text{ პმ-ს}$ .

5.204. ელექტრონი, რომელზეც მოქმედებს კვაზიდრეკადი ძალა  $kx$  და „ხახუნის ძალა“  $\gamma x$ , მოთავსებულია ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ველში. ველის  $E$  მდგენელი  $E = E_0 \cos \omega t$  კანონითაა დამოკიდებული დროზე. უგულებელყავით ველის მაგნიტური მდგენელის მოქმედება და იპოვეთ:

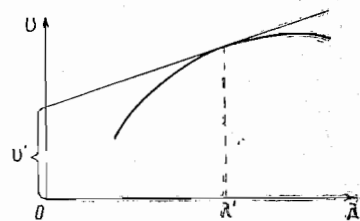
ა) ელექტრონის მოძრაობის განტოლება;

ბ) ელექტრონის მიერ შთანთქმული საშუალო სიმძლავრე; მაქსიმალური საშუალო სიმძლავრის გამოსახულება და მისი შესაბამისი სიხშირე.

5.205. მთელ რიგ შემთხვევებში ნივთიერების დიელექტრიკული შეღწევადობა  $\epsilon$  კომპლექსურია ან უარყოფითი, ხოლო გარდატეხის მაჩვენებელი კომპლექსური ( $n' = n + ix$ ) ან წმინდა წარმოსახვითი ( $n' = ix$ ). ჩაწერეთ ბრტყელი ტალღის განტოლება ამ შემთხვევებისათვის და გამოაკვირეთ ასეთი გარდატეხის მაჩვენებლების ფიზიკური შინაარსი.

5.206. სხვადასხვა სიხშირის რადიოტალღებით გაიშვიათებული პლაზმის ზონდირებისას აღმოჩნდა, რომ  $\lambda > \lambda_0 = 0,75 \text{ მ}$  სიგრძის რადიოტალღები სრულ შინაგან არეკვლას განიცდიან. იპოვეთ პლაზმაში თავისუფალი ელექტრონების კონცენტრაცია.

5.207.  $u$  ჯგუფური სიჩქარის განსაზღვრიდან გამომდინარე მიიღეთ რელის ფორმულა (5.5 დ). აჩვენეთ, რომ  $\lambda = \lambda'$  წერტილის მახლობლად  $u$  სიჩქარე  $v'$  მონაკვეთის ტოლია, რომელსაც ჩამოჭრის  $v(\lambda)$  მრუდის  $\lambda'$  წერტილში გავლებული მხები (ნახ. 5.36).



ნახ. 5.36

5.208. იპოვეთ დამოკიდებულება  $u$  ჯგუფურ და  $v$  ფაზურ სიჩქარეს შორის დისპერსიის შემდეგი კანონებისათვის:

ა)  $v \sim 1/\sqrt{\lambda}$

ბ)  $v \sim k$

გ)  $v \sim 1/\omega^2$

აქ  $\lambda$ ,  $k$  და  $\omega$  ტალღის სიგრძე, ტალღური რიცხვი და წრიული სიხშირეა.

5.209. რომელიმე გარემოში კავშირი ელექტრომაგნიტური ტალღის ჯგუფურ და ფაზურ სიჩქარეებს შორის  $u \cdot v = c^2$  სახითაა მოცემული, სადაც  $c$  არის სინათლის სიჩქარე ვაკუუმში. იპოვეთ ამ გარემოს დიელექტრიკული შეღწევადობის დამოკიდებულება ტალღის სიხშირეზე  $\epsilon(\omega)$ .

5.210. გოგირდნახშირბადის გარდატეხის მაჩვენებელი 509 ნმ, 534 ნმ და 589 ნმ ტალღის სიგრძეებისათვის შესაბამისად 1,647, 1,640 და 1,630-ის ტოლია. გამოთვალეთ სინათლის ფაზური და ჯგუფური სიჩქარეები  $\lambda = 534 \text{ ნმ}$  სიგრძის მახლობლად.

5.211. ბრტყელი სინათლის იმპულსი ვრცელდება გარემოში, სადაც  $v$  ფაზური სიჩქარე  $v = a + b\lambda$  კანონითაა დამოკიდებული ტალღის სიგრძეზე; აქ  $a$  და  $b$  დადებითი მუდმივებია. აჩვენეთ, რომ ასეთ გარემოში  $\tau = 1/b$  დროის შემდეგ აღდგენილი იქნება ნებისმიერი სინათლის იმპულსის ფორმა.

5.212.  $I_0$  ინტენსივობის ბუნებრივი სინათლის კონა ეცემა ორი გადაჯვარედინებული ნიკოლისაგან შემდგარ სისტემას, რომელთა შორის  $H$  დაძაბულობის გრძივ მაგნიტურ ველში  $x$  შთანთქმის მაჩვენებელიანი ხსნარით სავსე მილია მოთავსებული. მილის სიგრძე უდრის  $l$ -ს, ხოლო ვერდეს მუდმივა  $-V$ -ს. იპოვეთ ამ სისტემაში გამავალი სინათლის ინტენსივობა

5.213.  $I_0$  ინტენსივობის მონოქრომატული სინათლის ბრტყელი ტალღა მართობულად ეცემა ბრტყელ-პარალელურ ფირფიტას, რომლის ზედაპირების არეკვლის კოეფიციენტი  $p$ . გაითვალისწინეთ მრავალჯერადი არეკვლა და იპოვეთ გამავალი სინათლის ინტენსივობა, თუ:

- ფირფიტა იდეალურად გამჭვირვალეა (არა აქვს ადგილი შთანთქმას);
- შთანთქმის წრფივი მაჩვენებელი უდრის  $x$ -ს, ხოლო ფირფიტის სისქე  $d$ -ს.

5.214. რომელიმე ნივთიერებისაგან დაამზადეს ორი  $d_1=3,8$  მმ და  $d_2=9,0$  მმ სისქის ფირფიტა. ამ ფირფიტების მონოქრომატული სინათლის კონაში რიგრიგობით შეტანისას აღმოჩნდა, რომ პირველი ფირფიტა ატარებს სინათლის ნაკადის  $\tau_1=0,84$  ნაწილს, ხოლო მეორე  $\tau_2=0,70$  ნაწილს. იპოვეთ ამ ნივთიერების შთანთქმის წრფივი მაჩვენებელი, თუ სინათლე ეცემა მართობულად. უგულებელყავით მეორადი არეკვლები.

5.215.  $l=0,50$  სმ სისქის  $N=5$  ერთნაირი ბრტყელ-პარალელური მინის ფირფიტების ოზმაში გადის მონოქრომატული კონა. ფირფიტების თითოეული ზედაპირის არეკვლის კოეფიციენტი  $p=0,050$ . ფირფიტების ოზმაში გამავალი სინათლის ინტენსივობის შეფარდება დაცემული სინათლის ინტენსივობასთან  $\tau=0,55$ -ის ტოლია. უგულებელყავით მეორადი არეკვლები და განსაზღვრეთ მოცემული მინის შთანთქმის მაჩვენებელი.

5.216.  $l$  სისქის ბრტყელ-პარალელური ფირფიტის ზედაპირის მართობულად ეცემა სინათლის მონოქრომატული კონა. ფირფიტის ნივთიერების შთანთქმის მაჩვენებელი წრფივად იცვლება მისი ზედაპირის ნორმალის გასწვრივ  $x_1$ -დან  $x_2$  მნიშვნელობამდე. ფირფიტის თითოეული ზედაპირის არეკვლის კოეფიციენტი უდრის  $p$ -ს. უგულებელყავით მეორადი არეკვლები და განსაზღვრეთ ასეთი ფირფიტის გამავლის კოეფიციენტი.

5.217.  $l$  სისქის ბრტყელ-პარალელურ გამჭვირვალე ფირფიტას მართობულად ეცემა  $I_0$  ინტენსივობის სინათლის კონა. კონა შეიცავს ერთნაირი სპექტრული ინტენსივობის ყველა ტალღის სიგრძეს  $\lambda_1$  დან  $\lambda_2$  მდე დიაპაზონში. განსაზღვრეთ ფირფიტაში გამავალი კონის ინტენსივობა, თუ ტალღის სიგრძეთა ამ დიაპაზონში შთანთქმის მაჩვენებელი წრფივად და დამოკიდებული  $\lambda$ -ზე  $x_1$ -დან  $x_2$  მდე საზღვრებში, ხოლო თითოეული ზედაპირის არეკვლის კოეფიციენტი უდრის  $p$ -ს. უგულებელყავით მეორადი არეკვლები.

5.218. შუქფილტრი წარმოადგენს  $d$  სისქის ფირფიტას, რომლის შთანთქმის მაჩვენებელი შემდეგნაირადაა დამოკიდებული  $\lambda$  ტალღის სიგრძეზე:

$$x(\lambda) = x(1 - \lambda/\lambda_0)^2 \text{ სმ}^{-1},$$

სადაც  $x$  და  $\lambda_0$  მუდმივებია. იპოვეთ ამ შუქფილტრის გაშვების ზოლის სიგანე  $\Delta\lambda$ . ანუ ის სიგანე, როცა სინათლის შესუსტება ზოლის კიდეებთან  $\eta$ -ჯერ მეტია, ვიდრე  $\lambda_0$ -ის დროს. არეკვლის კოეფიციენტი შუქფილტრის ზედაპირებიდან ერთნაირია ტალღის ყველა სიგრძისათვის.

5.219. მონოქრომატული წერტილოვანი წყარო, რომელიც  $\Phi$  სინათლის ნაკადს ასხივებს, მოთავსებულია ნივთიერების სფერული შრის ცენტრში, რომლის შიდა რადიუსია  $a$ , გარე კი  $b$ . ნივთიერების შთანთქმის წრფივი მაჩვენებელი უდრის  $x$ -ს, ხოლო ზედაპირების არეკვლის კოეფიციენტი  $p$ -ს. უგულებელყავით მეორადი არეკვლები და იპოვეთ სინათლის ინტენსივობა ამ ნივთიერებიდან გამოსვლის შემდეგ.

5.220. რამდენჯერ შემცირდება 20 სმ ტალღის სიგრძის რენტგენის გამოსხივების ვიწრო კონის ინტენსივობა  $d=1,0$  მმ სისქის ტყვიის ფირფიტის გავლის შემდეგ, თუ მოცემული გამოსხივების ტალღის სიგრძისათვის შესუსტების მასური მაჩვენებელი  $\mu/p=3,6$  სმ<sup>2</sup>/გ?

5.221. 2,6 სმ სისქის ალუმინის ეკრანში გადის 62 სმ ტალღის სიგრძის რენტგენის გამოსხივების ვიწრო კონა. რა სისქის უნდა ავიღოთ ტყვიის ეკრანი, რომ მივიღოთ კონის ასეთივე შესუსტება? მოცემული გამოსხივებისათვის ალუმინისა და ტყვიის შესუსტების მასური მაჩვენებლებია 3,48 სმ<sup>2</sup>/გ და 72 სმ<sup>2</sup>/გ.

5.222. იპოვეთ ალუმინისათვის მონოქრომატული რენტგენის გამოსხივების ვიწრო კონის ნახევრად შესუსტებისა შრის სისქე, თუ შესაბამისი შესუსტების მასური მაჩვენებელი  $\mu/p=0,32$  სმ<sup>2</sup>/გ.

5.223. გამოიანგარაშეთ ნახევრად შესუსტების შრეთა რაოდენობა ფირფიტაში, როპელიც  $\eta=50$ -ჯერ ამცირებს რენტგენის გამოსხივების ვიწრო კონის ინტენსივობას.

## 5.6. მოძრავ წყაროთა ოპტიკა

● დოპლერის ეფექტი, როდესაც  $v \ll c$ :

$$\frac{\Delta\omega}{\omega} = \frac{v}{c} \cos \vartheta, \quad (5.6 \text{ ა})$$

სადაც  $v$  წყაროს სიჩქარეა,  $\vartheta$  — კუთხე წყაროს მოძრაობის მიმართულებასა და დამკვირვებლის წრფეს შორის.

● დოპლერის ეფექტი ზოგად შემთხვევაში:

$$\omega = \omega_0 \frac{\sqrt{1-\beta^2}}{1-\beta \cos \vartheta}, \quad (5.6 \text{ ბ})$$

სადაც  $\beta = v/c$ .

● თუ  $\vartheta = 0$ , დოპლერის ეფექტს გრძივი ეწოდება, ხოლო როდესაც  $\vartheta = \frac{\pi}{2}$  —

—განივი.

● ვაილოვ-ჩერენკოვის ეფექტი:

$$\cos \vartheta = \frac{c}{nv}, \quad (5.6 \text{ გ})$$

სადაც  $\vartheta$  არის კუთხე გამოსხივების გავრცელების მიმართულებასა და ნაწილაკის  $v$  სიჩქარის ვექტორს შორის.

5.224. ფიზოს ცდაში, სინათლის სიჩქარის განსაზღვრისას, კბილანასა და სარკეს შორის მანძილი  $l = 7,0$  კმ-ს, კბილანების რიცხვი  $\nu = 720$ . სინათლის ორ მომდევნო გაქრობას აკვირდებოდნენ კბილანას  $n_1 = 283$  ბრ/წმ და  $n_2 = 313$  ბრ/წმ ბრუნვის სიჩქარის დროს. იპოვეთ სინათლის სიჩქარე.

5.225. სინათლის წყარო მიმდებარის მიმართ მოძრაობს  $v$  სიჩქარით. აჩვენეთ, რომ როცა  $v \ll c$ , სინათლის სიხშირის ფარდობითი ცვლილება განსაზღვრება (5.6 ა) ფორმულით.

5.226. აგზნებული  $\text{He}^+$  იონების მიერ გამოსხივებული ერთ-ერთი სპექტრული ხაზის ტალღის სიგრძე  $\lambda = 410$  ნმ-ს. იპოვეთ ამ ხაზის დოპლერის  $\Delta\lambda$  წანაცვლება, თუ მისი დაკვირვება წარმოებს  $T = 10$  მგვე კინეტიკური ენერგიით მოძრავი იონების კონის მიმართ  $\vartheta = 30^\circ$  კუთხით.

5.227. მზის დისკოს დიამეტრალურად საპირისპირო კიდეებიდან  $\lambda = 0,59$  მკმ სპექტრულ ხაზზე დაკვირვებისას აღმოჩნდა სხვაობა ტალღის სიგრძეში  $\delta\lambda = 8,0$  პმ. იპოვეთ მზის ბრუნვის პერიოდი საკუთარი დერძის გარშემო.

5.228. დოპლერის ეფექტმა მოგვცა საშუალება აღმოგვეჩინა იმდენად დაშორებული ორმაგი ვარსკვლავები, რომელთა გარჩევა ტელესკოპის საშუალებით შეუძლებელია. ესეთი ვარსკვლავების სპექტრული ხაზები პერიოდულად ორმაგები ხდებიან, საიდანაც დავასკვნით, რომ წყაროს როლს ასრულებს ორივე ვარსკვლავი, რომლებიც ბრუნავენ მასათა ცენტრის გარშემო. ჩათვალოთ, რომ ორივე ვარსკვლავის მასა ერთი და იგივეა და იპოვეთ მათ შორის მანძილი და მათი მასები, თუ სპექტრული ხაზის მაქსიმალური გახლეჩა  $(\Delta\lambda/\lambda)_m = 1,2 \cdot 10^{-4}$ , და წარმოიქმნება ყოველ  $\tau = 30$  დღის შემდეგ.

5.229.  $\omega_0$  სიხშირის ბრტყელი ელექტრომაგნიტური ტალღა მართობულად ეცემა სარკის ზედაპირს, რომელიც  $V$  რელატივისტური სიჩქარით მოძრაობს ტალღის შესახვედრად. ისარგებლოთ დოპლერის ფორმულით და იპოვეთ არეკვლილი ტალღის სიხშირე. გაამარტივეთ მიღებული გამოსახულება, როცა  $V \ll c$ .

5.230. რადიოლოკატორი მუშაობს  $\lambda = 50,0$  სმ ტალღის სიგრძეზე. განსაზღვრეთ მოახლოებული თვითმფრინავის სიჩქარე, თუ ძველების სიხშირე გადამცემის სიგნალსა და თვითმფრინავიდან არეკვლილ სიგნალს შორის ლოკატორის ადგილას  $\Delta\nu = 1,00$  კჰც ს.

5.231. გაითვალისწინეთ, რომ ტალღის ფაზა  $\omega t - kx$  ინვარიანტია, ე. ი. არ იცვლება ერთი ინერციული სისტემიდან მეორეში გადასვლის დროს და განსაზღვრეთ, როგორ გარდაიქმნებიან მასში შემავალი  $\omega$  სიხშირე და ტალღური რიცხვი  $k$ . განიხილეთ ერთგანზომილებიანი შემთხვევა.

5.232. რა სიჩქარით გვშორდება ნისლოვანება, თუ ცნობილია, რომ მის სპექტრში წყალბადის  $\lambda_0 = 434$  ნმ ხაზი (უძრავი წყაროსათვის) 130 ნმ სიდიდითაა წანაცვლებული წითელ მხარეს.

5.233. რა სიჩქარით უნდა მოძრაობდეს ავტომობილი, რომ შეუქნიშნის წითელი ფერი ( $\lambda \approx 0,70$  მკმ) მწვანედ ( $\lambda \approx 0,55$  მკმ) გადაიქცეს.

5.234. მონოქრომატული სინათლის წყარო მოძრაობს  $v_2 = \frac{3}{4}c$  სიჩქარით, ხოლო მის უკან იმავე წრფის გასწვრივ  $v_1 = \frac{1}{2}c$  სიჩქარით — დამკვირვებელი. სინათლის საკუთარი სიხშირე  $\omega_0$ -ის ტოლია. იპოვეთ სინათლის სიხშირე, რომელსაც დააფიქსირებს დამკვირვებელი.

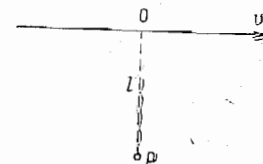
5.235. ატომური წყალბადის ერთ-ერთი სპექტრული ხაზის ტალღის სიგრძე  $\lambda = 656,3$  ნმ-ს. იპოვეთ ამ ხაზის დოპლერის წანაცვლება  $\Delta\lambda$ , თუ დაკვირვება წარმოებს  $T = 1,0$  მგვე კინეტიკური ენერგიით მოძრავი წყალბადის ატომების კონის მიმართ მართი კუთხით (დოპლერის განივი ეფექტი).

5.236. წყარო, რომელიც  $\omega_0 = 3,0 \cdot 10^{10}$  წმ<sup>-1</sup> საკუთარი სიხშირის ელექტრომაგნიტურ სიგნალს ასხივებს, მუდმივი  $v = 0,80 c$  სიჩქარით მოძრაობს წრფის გასწვრივ, რომელიც უძრავი  $P$  დამკვირვებლიდან  $l$  მანძილითაა დაშორებული (ნახ. 5.37). იპოვეთ სიგნალის სიხშირე, რომელსაც აღიქვამს დამკვირვებელი იმ მომენტში, როდესაც:

ა) წყარო  $O$  წერტილში აღმოჩნდება;

ბ) დამკვირვებელი დაინახავს მას  $O$

წერტილში.

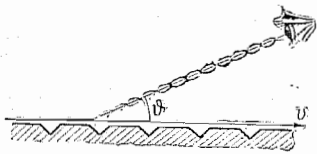


ნახ. 5.37.

5.237. ელექტრონების ვიწრო კონა გადის უშუალოდ ლითონის სარკის ზედაპირის ზევით, რომელზეც  $d = 2,0$  მკმ პერიოდის მქონე დიფრაქციული მესერია დატანილია. ელექტრონები მოძრაობენ მესერის შტრიხებზე მართობულად  $c$  სიჩქარისაგან მცირედ განსხვავებული  $v$  სიჩქარით. ამ დროს შეიმჩნევა ხილული გამოსხივება — ელექტრონების ტრაექტორიას აქვს ზოლის სახე, რომლის შეფერილობა დამოკიდებულია დაკვირვების

მ კუთხეზე (ნახ. 5.38). ასევე ეს მოვლენა იპოვეთ შემჩნეული გამო-  
სხვევის ტალღის სიგრძე  $\lambda = 45^\circ$ -იანი კუთხისათვის.

5.238.  $T$  ტემპერატურის გაზი შედგება თერმოდინამიკურ წონასწო-  
რობაში მყოფი  $m$  მასის ატომებისაგან. დაუშვათ, რომ ატომების მიერ  
გამოსხივებული სინათლის საკუთარი სიხ-  
შირე  $\omega_0$ -ის ტოლია.



ნახ. 5.38.

ა) აჩვენეთ, რომ გაზისხივებული სი-  
ნათლის სპექტრული განაწილება განი-  
საზღვრება ფორმულით:

$$I\omega = I_0 e^{(-\omega - \omega_0)/T}$$

( $I_0$  წარმოადგენს  $\omega_0$  სიხშირის შესაბამის.  
სპექტრულ ინტენსივობას,  $a = mc^2/2kT$ ).

ბ) იპოვეთ მოცემული სპექტრული ხაზის ფარდობითი სიგანე,  
 $\Delta\omega/\omega_0$ , ე. ი. ხაზის სიგანე სიხშირეებს შორის, რომლებსთვისაც  $I\omega =$   
 $= I_0/2$ .

5.239. ბრტყელი ელექტრომაგნიტური ტალღა ვრცელდება გარემოში,  
რომელიც  $V \ll c$  მუდმივი სიჩქარით მოძრაობს ათვლის  $K$  ინერციული  
სისტემის მიმართ. იპოვეთ ამ ტალღის სიჩქარე  $K$  სისტემაში, თუ გარე-  
მოს გარდატეხის მაჩვენებელი უდრის  $n$ -ს, ხოლო ტალღის გავრცელების  
მიმართულება ემთხვევა გარემოს მოძრაობის მიმართულებას.

5.240. სინათლის აბერაცია მდგომარეობს იმაში, რომ ვარსკვლავებზე,  
დაკვირვებისას ისინი ცის თაღზე ნამდვილი მდებარეობიდან წანაცვლებულ-  
ნი გვეჩვენებენ (დედამიწის ორბიტული მოძრაობის გამო). ეკლიპტი-  
კის სიბრტყეში მიმართულება ვარსკვლავზე პერიოდულად იცვლება და  
ვარსკვლავი  $\delta\theta = 41''$  კუთხის ფარგლებში ასრულებს მოძრაობით რხევას.  
იპოვეთ დედამიწის სიჩქარე ორბიტაზე.

5.241. აჩვენეთ, რომ სინათლის გავრცელების მიმართულებასა და  $x$ -  
ღერძს შორის  $\theta$  კუთხის გარდაქმნა  $K$ -დან  $K'$  ათვლის სისტემაში გა-  
დასვლის დროს, განისაზღვრება ფორმულით;

$$\cos \theta' = \frac{\cos \theta - \beta}{1 - \beta \cos \theta}$$

სადაც  $\beta = V/c$ ,  $V$  წარმოადგენს  $K'$  სისტემის სიჩქარეს  $K$  სისტემის მი-  
მართ. ორივე სისტემის  $x$  და  $x'$  ღერძები ერთმანეთის თანხვედრითაა.

5.242. იპოვეთ იმ კონუსის ნახევარგაშლის კუთხე, რომელშიც დედა-  
მიწაზე მყოფი დამკვირვებლისათვის გამოჩნდება ნახევარსფეროზე განლა-  
გებული ვარსკვლავები, თუ დამკვირვებელი დედამიწის მიმართ მოძრაობს  
 $V$  რელატივისტური სიჩქარით, რომელიც სინათლის სიჩქარისაგან 1,0%-  
ით განსხვავდება. გამოიყენეთ წინა ამოცანაში მოყვანილი ფორმულა.

5.243. რა პირობებში გამოასხივებს სინათლეს დამუხტული ნაწილაკი  
 $n$  გარდატეხის მაჩვენებლიან გარემოში თანაბრად მოძრაობისას (ვაკე-  
ლოვ-ჩერენკოვის ეფექტი). იპოვეთ ამ გამოსხივების მიმართულება.

მითითება. განიხილეთ დროის სხვადასხვა მომენტებში ნაწილაკის  
მიერ აგზნებული რხევების ინტერფერენცია.

5.244. იპოვეთ ელექტრონისა და პროტონის კინეტიკური ენერგიის  
ის უმცირესი მნიშვნელობა, როდესაც  $n = 1,60$  გარდატეხის მაჩვენებლიან  
გარემოში დგელი ექნება ჩერენკოვის გამოსხივებას. რომელი ნაწილაკე-  
ბისათვის იქნება კინეტიკური ენერგიის ეს მნიშვნელობა  $T_{\text{მინ}} = 29,6$  მეგე-  
ვის ტოლი?

5.245. გასაზღვრეთ იმ ელექტრონების კინეტიკური ენერგია, რომ-  
ლებიც  $n = 1,50$  გარდატეხის მაჩვენებლიან გარემოში თავისი გავრცელებ-  
ის მიმართულებისადმი  $\theta = 30^\circ$  კუთხით ასხივებენ სინათლეს.

#### 5.7. სითბური გამოსხივება. სინათლის კვანტური ბუნება

● ენერგეტიკული ნათება:

$$M_\nu = \frac{c}{4} u, \quad (5.7 \text{ ა})$$

სადაც  $u$  არის სითბური გამოსხივების ენერგიის მოცულობითი სიმკვრივე.

● ვინის ფორმულა და ვინის წანაცვლების კანონი:

$$u_\omega = \omega^3 F(\omega/T), \quad T\lambda_m = b, \quad (5.7 \text{ ბ})$$

სადაც  $\lambda_m$  წარმოადგენს  $u_\lambda$  ფუნქციის მაქსიმუმის შესაბამის ტალღის სიგრძეს.

● სტეფან-ბოლცმანის კანონი:

$$M_\nu = \sigma T^4, \quad (5.7 \text{ გ})$$

სადაც  $\sigma$  არის სტეფან-ბოლცმანის მუდმივა.

● პლანკის ფორმულა:

$$u_\omega = \frac{\hbar \omega^3}{\pi^2 c^3} \frac{1}{e^{\hbar \omega / kT} - 1}. \quad (5.7 \text{ დ})$$

● აინშტაინის ფორმულა ფოტოეფექტისათვის:

$$\hbar \omega = A + \frac{mv_{\text{მაქ}}^2}{2}. \quad (5.7 \text{ ე})$$

● კომპტონის ეფექტი:

$$\Delta \lambda = \lambda_c (1 - \cos \theta), \quad (5.7 \text{ ვ})$$

სადაც  $\lambda_c = 2\pi \hbar / mc$  წარმოადგენს კომპტონის ტალღის სიგრძეს.

5.246. ვინის ფორმულის დახმარებით აჩვენეთ, რომ

ა) გამოსხივების უაღმათესი სიხშირე  $\omega_{\text{უაღმა}} \sim T$ ;

ბ) სითბური გამოსხივების მაქსიმალური სპექტრული სიმკვრივე  
( $u_\omega$ )<sub>მაქ</sub>  $\sim T^3$ ;



ბ) ენერგეტიკული ნათება  $M_g \sim T^4$ .

5.247. მოცემულია სითბური გამოსხივების ორი აბსოლუტურად შავი წყარო. ერთის ტემპერატურაა  $T_1 = 2500 K$ . იპოვეთ მეორე წყაროს ტემპერატურა, თუ მისი გამოსხივების უნარიანობის მაქსიმუმის შესაბამისი ტალღის სიგრძე  $\Delta\lambda = 0,50$  მკმ-ით მეტია პირველი წყაროს გამოსხივების უნარიანობის მაქსიმუმის შესაბამისი ტალღის სიგრძეზე.

5.248. აბსოლუტურად შავი სხეულის ენერგეტიკული ნათება  $M_g = 3,0$  ვტ/სმ<sup>2</sup>-ს. განსაზღვრეთ ამ სხეულის გამოსხივების უნარიანობის შესაბამისი ტალღის სიგრძე.

5.249. მზის გამოსხივება თავისი სპექტრული შედგენილობით ძალიან ჰგავს აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივებას, რომლის გამოსხივების უნარიანობის მაქსიმუმი მოდის 0,48 მკმ ტალღის სიგრძეზე. იპოვეთ მზის მიერ გამოსხივების გამო ყოველ წამს დაკარგული მასა. შეაფასეთ ის დრო, რომლის განმავლობაშიც მზის მასა 1%-ით შემცირდება.

5.250. იპოვეთ  $\rho = 0,10$  გ/სმ<sup>3</sup> სიმკვრივის მთლიანად დაიონებული წყალბადის პლაზმის ტემპერატურა, რომლის დროსაც სითბური გამოსხივების წნევა პლაზმის ნაწილაკების გაზურ-კინეტიკური წნევის ტოლია. გაითვალისწინეთ, რომ სითბური გამოსხივების წნევა  $p = u/3$ , სადაც  $u$  გამოსხივების ენერგიის მოცულობითი სიმკვრივეა და მაღალ ტემპერატურაზე ნივთიერება იდეალური გაზის მდგომარეობის განტოლებას ექვემდებარება.

5.251.  $d = 1,2$  სმ დიამეტრის სპილენძის ბურთულა მოათავსეს ამოტუმბულ ჭურჭელში, რომლის კედლებს უნარჩუნებენ აბსოლუტურ ნულთან ახლო ტემპერატურას. ბურთულას საწყისი ტემპერატურა  $T_0 = 300 K$ -ს. გაითვალისწინეთ, რომ ბურთულას ზედაპირზე აბსოლუტურად შავია და იპოვეთ რა ხნის შემდეგ შემცირდება მისი ტემპერატურა  $\eta = 2,0$ -ჯერ?

5.252. მოცემულია ერთნაირი  $d = 1,0$  სმ დიამეტრის მცირე ხვრელის მქონე ორი სილრუე (იხ. 5.39) აბსოლუტურად ამრეკლავი გარე ზედაპირებით. მანძილი ხვრელებს შორის  $l = 10$  სმ-ია. პირველ სილრუეში მუდმივი  $T_1 = 1700 K$  ტემპერატურაა შენარჩუნებული. იპოვეთ მეორე სილრუეში დამყარებული ტემპერატურა.



ნახ. 5.39.

მითითება. გაითვალისწინეთ, რომ აბსოლუტურად შავი სხეული კოსინუსური გამომსხივებელია.

5.253.  $V = 1,0$  ლ მოცულობის სილრუე  $T = 2000 K$  ტემპერატურის სითბური გამოსხივებითაა შევსებული. იპოვეთ:

- ა)  $C_V$  სითბოტევადობა; ბ) ამ გამოსხივების ენტროპია  $S$ .

5.254. გაითვალისწინეთ, რომ სითბური გამოსხივების ენერგიის სპექტრული განაწილება ექვემდებარება ვინის ფორმულას  $u(\omega, T) = A\omega^3 e^{-a\omega/T}$ , სადაც  $a = 7,64$  პწმ.  $K$  და  $T = 2000 K$  ტემპერატურისათვის იპოვეთ გამოსხივების უალბათისი:

- ა) სიხშირე; ბ) ტალღის სიგრძე.

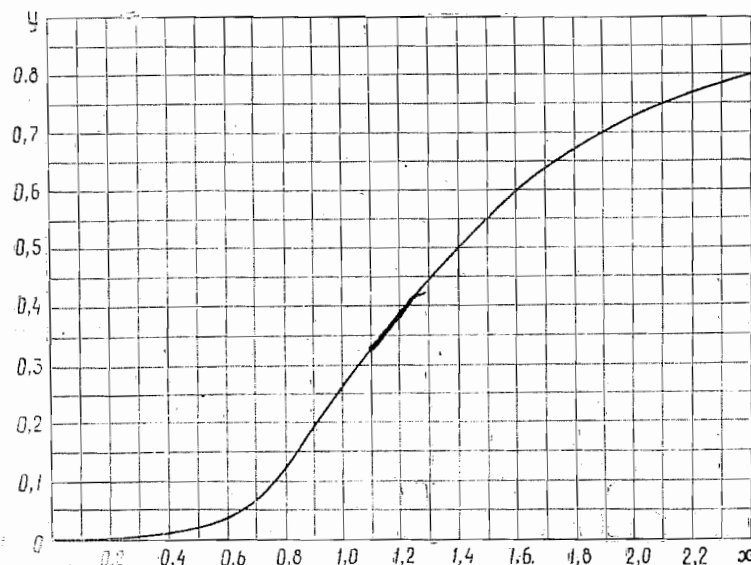
5.255. პლანკის ფორმულის დახმარებით მიიღეთ გამოსხივების  $u_\omega$  მოცულობითი სპექტრული სიმკვრივის მიახლოებითი გამოსახულებები იმ არისათვის, სადაც:

- ა)  $\hbar\omega \ll kT$  (რელი-ჯინსის ფორმულა);

- ბ)  $\hbar\omega \gg kT$  (ვინის ფორმულა).

5.256. პლანკის ფორმულა გამოსხივების  $u_\omega$  მოცულობითი სპექტრული სიმკვრივისათვის გარდაქმნით ისე, რომ  $\omega$  ცვლადის ნაცვლად მასში შედიოდეს  $\nu$  (წრფივი სიხშირე) და  $\lambda$  (ტალღის სიგრძე) ცვლადები.

5.257. პლანკის ფორმულის დახმარებით იპოვეთ აბსოლუტურად შავი სხეულის ერთეულოვანი ზედაპირის გამოსხივების სიმძლავრე, რომელიც გამოსხივების სპექტრული სიმკვრივის ახლოს ტალღის სიგრძეთა



ნახ. 5.40.

$\Delta\lambda = 1,0$  ნმ ვიწრო ინტერვალს შეესაბამება, თუ სხეულის ტემპერატურა  $T = 3000 K$ -ს.

5.258. 5.40 ნახაზე ნაჩვენებია  $y(x)$  ფუნქციის გრაფიკი, რომელიც 0-დან  $x$ -მდე სპექტრულ ინტერვალზე მოსული სითბური გამოსხივების

მთლიანი სიმძლავრის ფარდობით ნაწილს ახასიათებს. აქ  $x = \lambda/\lambda_m$  ( $\lambda_m$  გამოსხივების სპექტრული სიმკვრივის მაქსიმუმის შესაბამისი ტალღის სიგრძეა). ამ გრაფიკის დახმარებით იპოვეთ:

ა) ტალღის სიგრძე, რომელიც გამოსხივების სპექტრს ორ ენერგეტიკულად ტოლ ნაწილად გაყოფს, როდესაც ტემპერატურა  $3700\text{ K}$ -ს ტოლია;

ბ) სპექტრის ხილულ უბანზე ( $0,40-0,76$  მკმ) მოსული გამოსხივების სრული სიმძლავრის ნაწილი  $5000\text{ K}$  ტემპერატურაზე;

გ) რამდენჯერ გაიზრდება გამოსხივების სიმძლავრე  $\lambda > 0,76$  მკმ ტალღის სიგრძეთა არეში ტემპერატურის  $3000$ -დან  $5000\text{ K}$ -მდე გაზრდის დროს.

**5.259.** პლანკის ფორმულის დახმარებით იპოვეთ გამოსახულება, რომელიც ( $\omega$ ,  $\omega + d\omega$ ) და ( $\lambda$ ,  $\lambda + d\lambda$ ) სპექტრულ ინტერვალში,  $T$  ტემპერატურის დროს, განსაზღვრავს ფოტონების რაოდენობას სივრცის  $1\text{ სმ}^3$ -ში

**5.260.** იზოტროპიული წერტილოვანი წყარო ასხივებს  $\lambda = 589$  ნმ სპექტრის სინათლეს. წყაროს სინათლის სიმძლავრე  $P = 10$  ვტ-ს. იპოვეთ:

ა) ფოტონების ნაკადის საშუალო სიმკვრივე წყაროდან  $r = 2,0$  მ-ის მანძილზე;

ბ) მანძილი წყაროდან იმ წერტილამდე, სადაც ფოტონების საშუალო კონცენტრაცია  $n = 100$  სმ $^{-3}$ -ს.

**5.261.** კორპუსკულური წარმოდგენების დახმარებით აჩვენეთ, რომ დროის ერთეულში სინათლის ბრტყელი ნაკადის მიერ გადატანილი იმპულსი არ არის დამოკიდებული მის სპექტრულ შედგენილობაზე და მხოლოდ ენერგიის ნაკადით განისაზღვრება.

**5.262.**  $\tau = 0,13$  ნწმ ხანგრძლივობის იმპულსით ლაზერმა გამოსხივა  $E = 10$  ჯ ენერგიის სინათლის კონა. იპოვეთ ასეთი სინათლის იმპულსის საშუალო წნევა, თუ მას  $d = 10$  მკმ ლაქის სახით დავაფოკუსებთ კონის მართობულ ზედაპირზე, რომლის არეკვლის კოეფიციენტი  $\rho = 0,50$ .

**5.263.**  $\rho = 0,60$  არეკვლის კოეფიციენტის მქონე სარკისებრი თიხის ეცემა  $E = 7,5$  ჯ ენერგიის სინათლის მოკლე იმპულსი, რომელსაც თითქმის ვიწრო პარალელური კონის სახე აქვს. დაცემის კუთხე  $\varphi = 30^\circ$ . კორპუსკულური წარმოდგენების დახმარებით განსაზღვრეთ ფირფიტაზე გადაცემული იმპულსი.

**5.264.**  $\rho = 0,8$  არეკვლის კოეფიციენტის მქონე სარკისებრი ზედაპირი ეცემა  $I = 0,20$  ვტ/სმ $^2$  ინტენსივობის სინათლის ბრტყელი ტალღა. დაცემის კუთხე  $\varphi = 45^\circ$ . კორპუსკულური წარმოდგენების დახმარებით განსაზღვრეთ სინათლის მიერ ამ ზედაპირზე წაძვრეტილი ნოქალური წნევის მნიშვნელობა

**5.265.**  $I = 0,70$  ვტ/სმ $^2$  ინტენსივობის სინათლის ბრტყელი ტალღა

ანათებს აბსოლუტურად სარკისებრი ზედაპირის მქონე სფეროს. სფერო რადიუსი  $R = 5,0$  სმ-ს. კორპუსკულური წარმოდგენების დახმარებით იპოვეთ სფეროზე წარმოებული სინათლის წნევის ძალა.

**5.266.** მრგვალი, აბსოლუტურად სარკისებრი ზედაპირის ლერძზე მოთავსებულია იზოტროპიული წერტილოვანი წყარო, რომლის სინათლის სიმძლავრე უდრის  $P$  ს. მანძილი წყაროსა და ფირფიტას შორის  $\eta$ -ჯერ მეტია მის რადიუსზე. კორპუსკულური წარმოდგენების დახმარებით იპოვეთ ფირფიტაზე წარმოებული სინათლის წნევის ძალა.

**5.267.** ათვლის  $K$  სისტემაში  $\alpha$  სინზირის ფოტონი მართობულად ეცემა სარკეს, რომელიც  $V$  რელატივისტური სიჩქარით მოძრაობს ფოტონის შესახვედრად. იპოვეთ, ფოტონის არეკვლის დროს, სარკეზე გადაცემული იმპულსი:

ა) სარკესთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში;

ბ)  $K$  სისტემაში.

**5.268.**  $m = 10$  მგ მცირე ზომის იდეალურად ამრეკლი სარკე  $l = 10$  სმ სიგრძის უწონო ძაფზე ჩამოკიდებული იპოვეთ ძაფის გადახრის კუთხე, თუ სარკის ნორმალის გასწვრივ პერიზონტალური მიმართულებით „გაისროლეს“  $E = 13$  ჯ ენერგიის ლაზერული გამოსხივების მოკლე იმპულსი. რის ხარჯზე მიიღებს სარკე კინეტიკურ ენერგიას?

**5.269.**  $M$  მასისა და  $R$  რადიუსის ვარსკვლავის ზედაპირიდან გამო-სხივდა  $\alpha$  სინზირის ფოტონი. იპოვეთ ფოტონის სინზირის გრავიტაციული წანაცვლება  $\Delta\omega/\omega$  ვარსკვლავიდან ძალიან შორ მანძილზე.

**5.270.** რენტგენის მიღზე ძაბვის  $\eta = 1,5$ -ჯერ გაზრდის დროს უწყვეტი რენტგენის სპექტრის მოკლესალღიანი საზღვრის ტალღის სიგრძე  $\Delta\lambda = 0,28$  პმ-ით შეიცვალა. იპოვეთ საწყისი ძაბვა მილზე.

**5.271.**  $\text{NaCl}$ -ის მონოკრისტალს ეცემა რენტგენის სხივების ვიწრო კონა. სრიალის უმცირესი კუთხე, რომლის დროსაც ადგილი აქვს სარკულ არეკვლას  $d = 0,28$  ნმ სიბრტყეთშორისი მანძილის კრისტალური სიბრტყეების სისტემიდან,  $\alpha = 4,1^\circ$ -ს. როგორი ძაბვა მოღებული რენტგენის მილზე?

**5.272.** იპოვეთ უწყვეტი რენტგენის სპექტრის მოკლესალღიანი საზღვრის ტალღის სიგრძე, თუ მილის ანტიკათოდისაკენ მიმავალი ელექტრონების სიჩქარე  $v = 0,85 c$ , სადაც  $c$  სინათლის სიჩქარეა.

**5.273.** განსაზღვრეთ თუთიისათვის ფოტოეფექტის წითელი საზღვარი და მისი ზედაპირიდან  $250$  ნმ ტალღის სიგრძის ელექტრომაგნიტური გამოსხივების მიერ ამოტყორცნილი ფოტოელექტრონების მაქსიმალური სიჩქარე.

**5.274.** ლითონის ზედაპირის  $\lambda_1 = 0,35$  მკმ და  $\lambda_2 = 0,54$  მკმ ტალღის სიგრძის სინათლით რიგრიგობით განათებისას აღმოჩნდა, რომ ფოტოელექტრონების შესაბამისი მაქსიმალური სიჩქარეები  $\eta = 2,0$ -ჯერ განსხ-

გავდებიან ერთმანეთისაგან. იპოვეთ გამოსვლის მუშაობა ამ ლითონის ზედაპირიდან.

5.275. რა მაქსიმალურ პოტენციალამდე დაიშუბტება განმხოლოებული სპილენძის ბურთულა მისი  $\lambda=140$  ნმ ტალღის სიგრძის ელექტრომაგნიტური გამოსხივებით დასხივებისას?

5.276. იპოვეთ ლითიუმის ზედაპირიდან ელექტრომაგნიტური გამოსხივებით ამოტყორცნილი ფოტოელექტრონების მაქსიმალური კინეტიკური ენერგია. გამოსხივების ელექტრული მდგენელის დაძაბულობა  $E = a(1 + \cos \omega t) \cos \omega t$ , კანონითაა დამოკიდებული დროზე. აქ  $a$  მუდმივაა,  $\omega = 6,0 \cdot 10^{14}$  წმ<sup>-1</sup>, ხოლო  $a_0 = 3,60 \cdot 10^{15}$  წმ<sup>-1</sup>.

5.277. გაჯერების რეჟიმში მყოფ ფოტოელემენტი ეცემა  $\lambda=0,30$  მკმ ტალღის სიგრძის ელექტრომაგნიტური გამოსხივება. ფოტოელემენტის შესაბამისი სპექტრული მგრძნობიარობა  $J=4,8$  მა/ვტ. იპოვეთ ფოტოელექტრონების გამოსვლა, ე. ი. თითოეულ დაცემულ ფოტონზე მოსული ფოტოელექტრონების რაოდენობა.

5.278. მოცემულია ვაკუუმური ფოტოელემენტი, რომლის ერთი ელექტროდი ცეზიუმისაა, მეორე კი—სპილენძის. განსაზღვრეთ სპილენძის ელექტროდისაგან მოძრავი ფოტოელექტრონების მაქსიმალური სიჩქარე ცეზიუმის ელექტროდის  $0,22$  მკმ ტალღის სიგრძის ელექტრომაგნიტური გამოსხივებით განათებისას, თუ ელექტროდებს: გარედან შევეურთეთო ერთმანეთს.

5.279. ფოტოდენი, რომელიც ვაკუუმური ფოტოელემენტის წრედში აღიჭვრება თუთიის ელექტროდის  $262$  ნმ ტალღის სიგრძის ელექტრომაგნიტური გამოსხივებით განათებისას, შეწყდება. თუ ჩავრთავთ  $1,5$  ვის ტოლ გარეშე დამამუხრუჭებელ ძაბვას. იპოვეთ მოცემული ფოტოელემენტის გარეშე კონტაქტურ პოტენციალთა სხვაობის სიდიდე და პოლარულობა.

5.280. გამოიყენეთ სინათლის სიჩქარე  $c$ , ნაწილაკის მასა  $m$ , პლანკის მუდმივა  $h$  და შეადგინეთ გამოსახულება სიდიდისათვის, რომელსაც ექნება სიგრძის განზომილება. რა სიდიდეა ეს?

5.281. მუდმივობის კანონებს დახმარებით აჩვენეთ, რომ თავისუფალი ელექტრონი ვერ წთანთჟავს მთლიანად ფოტონს.

5.282. ახსენით ნივთიერების მიერ სინათლის კომპტონური გაბნევის შემდეგი თავისებურებანი:

ა)  $\Delta\lambda$  წანაცვლების დამოუკიდებლობა გამბნევი ნივთიერების ბუნებაზე;

ბ) გაბნეული სინათლის წანაცვლებული კომპონენტის ინტენსივობის გაზრდა ნივთიერების ატომური ნომრის შემცირებისა და აგრეთვე გაბნევის კუთხის გაზრდის დროს;

გ) წაუნაცვლებელი კომპონენტის არსებობა გაბნეულ გამოსხივებაში.

5.283. გამბნევი ნივთიერებას ეცემა რენტგენის მონოქრომატული გამოსხივების ვიწრო კონა. ამ დროს  $\varphi_1=60^\circ$  და  $\varphi_2=120^\circ$  კუთხეებით გაბნეული გამოსხივების ტალღის სიგრძეები  $\eta=2,0$ -ჯერ უანსხვავდებიან ერთმანეთისაგან. იპოვეთ დაცემული გამოსხივების ტალღის სიგრძე, თუ გაითვალისწინებთ, რომ გაბნევა წარმოებს თავისუფალ ელექტრონებზე.

5.284.  $h\nu=1,00$  მკევი ენერგიის ფოტონი გაიბნა თავისუფალ უძრავ ელექტრონზე. იპოვეთ უკუცემის ელექტრონის კინეტიკური ენერგია, თუ გაბნევის შედეგად ფოტონის ტალღის სიგრძე  $\eta=25\%$ -ით შეიცვალა.

5.285.  $\lambda=6,0$  პმ ტალღის სიგრძის ფოტონი მართი კუთხით გაიბნა უძრავ თავისუფალ ელექტრონზე. იპოვეთ:

ა) გაბნეული ფოტონის სიხშირე;

ბ) უკუცემის ელექტრონის კინეტიკური ენერგია.

5.286. უძრავ თავისუფალ ელექტრონზე  $\varphi=120^\circ$ -იანი კუთხით გაიბნა  $h\nu=250$  კევი ენერგიის ფოტონი. განსაზღვრეთ გაბნეული ფოტონის ენერგია.

5.287. უძრავ თავისუფალ ელექტრონზე გაიბნა  $p=1,02$  მგევი/ც იმპულსის ფოტონი. აქ  $c$  სინათლის სიჩქარეა. ამის შედეგად ფოტონის იმპულსი გახდა  $p'=0,255$  მგევი/ც. რა კუთხით გაიბნა ფოტონი?

5.288. უძრავ თავისუფალ ელექტრონზე  $\varphi=120^\circ$ -იანი კუთხით გაიბნა ფოტონი. ამის შედეგად ელექტრონმა შეიძინა  $T=0,45$  მგევის ტოლი კინეტიკური ენერგია. იპოვეთ ფოტონის ენერგია გაბნევამდე.

5.289. იპოვეთ რენტგენის გამოსხივების ტალღის სიგრძე, თუ კომპტონის ელექტრონებს მაქსიმალური კინეტიკური ენერგია  $T_{\text{max}}=0,19$  მგევი.

5.290. უძრავ თავისუფალ ელექტრონზე გაიბნა  $h\nu=0,15$  მგევი ენერგიის ფოტონი, რის შედეგად მისი ტალღის სიგრძე  $\Delta\lambda=3,0$  პმ-ით შეიცვალა. რა კუთხით ამოიტყორცნება კომპტონის ელექტრონი

5.291. ფოტონი, რომლის ენერგია  $\eta=2,0$ -ჯერ მეტია ელექტრონის უძრაობის ენერგიაზე, განიცდის ცენტრალურ დაჯახებას უძრავ თავისუფალ ელექტრონთან. იპოვეთ  $B=0,12$  ტლ მაგნიტურ ველში უკუცემის ელექტრონის ტრაექტორიის სიმრუდის რადიუსი. იგულისხმება, რომ უკუცემის ელექტრონის მოძრაობა ველის მიმართულების პერპენდიკულარულია.

5.292. ფოტონმა განიცადა რა დაჯახება რელატივისტურ ელექტრონთან,  $\varphi=60^\circ$ -იანი კუთხით გაიბნა, ხოლო ელექტრონი გაჩერდა. იპოვეთ გაბნეული ფოტონის ტალღის სიგრძის კომპტონური წანაცვლება.

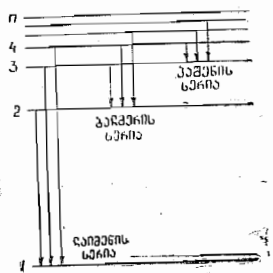
# ატომური და ბირთვული ფიზიკა\*

## 6.1. ნაწილაკების გაბნევა. რეზერფორდ-ბორის ატომი

● უძრავი ბირთვის კულონური ველის მოქმედებით დამუხტული ნაწილაკის გაბნევის  $\varphi$  კუთხე განისაზღვრება ფორმულით:

$$\tan \frac{\varphi}{2} = \frac{q_1 q_2}{2 b T}, \quad (6.1 \text{ ა})$$

სადაც  $q_1$  და  $q_2$  ნაწილაკისა და ბირთვის მუხტებია,  $b$  — სამიზნე პარამეტრი,  $T$  — დამჯახებელი ნაწილაკის კინეტიკური ენერგია.



ნახ. 6.1.

● რეზერფორდის ფორმულა. მოძრაობის საწყისი მიმართულებიდან  $\varphi$  კუთხით ელემენტარულ  $d\Omega$  სხეულოვან კუთხეში გაბნეული ნაწილაკების ფარდობითი რიცხვი:

$$\frac{dN}{N} = n \left( \frac{q_1 q_2}{4 T} \right)^2 \frac{d\Omega}{\sin^4(\varphi/2)}, \quad (6.1 \text{ ბ})$$

სადაც  $n$  კილიტის ფართის ერთეულზე განლაგებული ბირთვების რაოდენობაა,  $d\Omega = \sin \varphi d\varphi d\varphi$ .

● ბალმერის განზოგადებული ფორმულა (ნახ. 6.1):

$$\omega = R Z^2 \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right), \quad R = \frac{m e^4}{2 \hbar^3}; \quad (6.1 \text{ გ})$$

სადაც  $\omega$  არის გადასვლის სიხშირე ( $\nu_m - 1$ )  $n_1$  და  $n_2$

კვანთური რიცხვების მქონე ენერგეტიკულ დონეებს შორის,  $R$  — რიდბერგის მუდმივა,  $Z$  — წყალბადის მსგავსი იონის რიგითი ნომერი.

6.1. ტომსონის მოდელის მიხედვით გამოიანგარიშეთ წყალბადის ატომის რადიუსი და მის მიერ გამოსხივებული სინათლის ტალღის სიგრძე, თუ ცნობილია, რომ ატომის იონიზაციის ენერგია  $E = 13,6$  ევს.

6.2. 0,27 მგევე კინეტიკური ენერგიის მქონე  $\alpha$  ნაწილაკი  $60^\circ$ -იანი კუთხით გაიბნა ოქროს კილიტაზე. იპოვეთ სამიზნე პარამეტრის შესაბამისი მნიშვნელობა.

6.3. რა მინიმალურ მანძილზე მიუახლოვდება  $T = 0,40$  მგევე კინეტიკური ენერგიის მქონე  $\alpha$  ნაწილაკი (ცენტრალური დაჯახებისას):

ა) ტყვიის ატომის უძრავ მიმე ბირთვის;

ბ) თავდაპირველად უძრავ  $Li^+$ -ის მსუბუქ თავისუფალ ბირთვის?

6.4.  $T = 0,50$  მგევე კინეტიკური ენერგიის მქონე  $\alpha$  ნაწილაკი გაიბნა ვერცხლისწყლის ატომის უძრავი ბირთვის კულონურ ველში  $\varphi = 90^\circ$ -იანი კუთხით. იპოვეთ:

ა) მისი ტრაექტორიის სიმრუდის უმცირესი რადიუსი;

ბ) ის უმცირესი მანძილი, რომელზეც ის მიუახლოვდება ბირთვის.

6.5.  $T$  კინეტიკური ენერგიისა და  $b$  სამიზნე პარამეტრის მქონე პროტონი გაიბნა ოქროს უძრავი ბირთვის კულონურ ველში. იპოვეთ გაბნევის შედეგად მოცემულ ბირთვზე გადაცემული იმპულსი.

6.6.  $T = 10$  მგევე კინეტიკური ენერგიის პროტონმა  $b = 10$  პმ მანძილზე ჩაუქროლა თავისუფალ უძრავ ელექტრონს. იპოვეთ ელექტრონის მიერ მიღებული ენერგია. ჩათვალით, რომ პროტონის ტრაექტორია წრფის წარმოადგენს, ელექტრონი კი პრაქტიკულად უძრავი რჩება.

6.7.  $T$  კინეტიკური ენერგიის მქონე ნაწილაკი გაიბნა  $R$  რადიუსისა და  $U_0$  სიღრმის სფერულ პოტენციურ ორმოზე. ანუ იმ ველის მიერ, რომელშიც ნაწილაკის პოტენციური ენერგია

$$U = \begin{cases} 0, & \text{როცა } r > R, \\ -U_0, & \text{როცა } r < R, \end{cases}$$

სადაც  $r$  არის მანძილი ორმოს ცენტრიდან. იპოვეთ კავშირი ნაწილაკის  $b$  სამიზნე პარამეტრისა და მოძრაობის საწყისი მიმართულებიდან გადახრის  $\varphi$  კუთხეს შორის.

6.8.  $R$ -რადიუსიან უძრავ სფეროს ასხივებენ  $\gamma$  რადიუსის მქონე ნაწილაკების პარალელური ნაკადით. ჩათვალით, რომ ნაწილაკის დაჯახება სფეროსთან დრეკადია და იპოვეთ:

ა) ნაწილაკის გადახრის  $\varphi$  კუთხის დამოკიდებულება  $b$  სამიზნე პარამეტრზე;

ბ) ფარდობითი რიცხვი ნაწილაკებისა, რომლებიც სფეროსთან დაჯახების შემდეგ გაიბნენ ( $\varphi$ ,  $\varphi + d\varphi$ ) კუთხეთა ინტერვალში;

გ) ალბათობა იმისა, რომ სფეროსთან დაჯახებული ნაწილაკი გაიბნევა წინა ნახევარსფეროში ( $\varphi < \pi/2$ ).

6.9. 1,0 მკმ სისქის პლატინის კილიტას მართობულად ეცემა 1,0 მგევე კინეტიკური ენერგიის  $\alpha$  ნაწილაკების ჭევიწრო კონა. ჯგუზებული ნაწილაკების დაკვირვება წარმოებს დაცემული კონის მიმართულებიდან  $60^\circ$ -იანი კუთხით, 1,0 სმ<sup>2</sup> ფართის წრიული შემშვები ხვრელის მქონე მთვლელის საშუალებით, რომელიც კილიტის გაბნევი უბნიდან 10 სმ-ითაა დაშორებული. გაბნეული  $\alpha$  ნაწილაკების რა ნაწილი ეცემა მთვლელის ხვრელს?

\* ამ ნაწილში ყველა ფორმულა მოცემულია გაუსის სისტემაში.



6.10. ოქროს კილიტას მართობულად ეცემა  $T=0,50$  მკეკ კინეტიკური ენერგიისა და  $I=5,0 \cdot 10^5$  ნაწილაკების ინტენსივობის  $\alpha$  ნაწილაკების ვიწრო კონა. იპოვეთ კილიტის სისქე, თუ გაბნევი უბნიდან  $r=15$  სმ მანძილზე, დატეხული კონის მიმართულებიდან  $\varphi=60^\circ$ -იანი კუთხით გაბნეული ნაწილაკების საკადის სიმკვრივე  $J=40$  ნაწილაკი/სმ<sup>2</sup>·წმ.

6.11.  $\alpha$  ნაწილაკების ვიწრო კონა მართობულად ეცემა ვერცხლის კილიტას. მის უკან დადგმულია მრიცხველი, რომელიც არეგისტრირებს გაბნეულ ნაწილაკებს რეზერფორდის ფორმულის შესაბამისად. თუ ვერცხლის კილიტას შევცვლით იმავე მასური სისქის პლატინის კილიტით, დროის ერთეულში რეგისტრირებული  $\alpha$  ნაწილაკების რიცხვი  $\eta=1,52$ -ჯერ გაიზარდება. იპოვეთ პლატინის რიგითი ნომერი, თუ ცნობილია ვერცხლის რიგითი ნომერი და ორივე ელემენტის მასური რიცხვი.

6.12.  $\rho d=1,50$  მგ/სმ<sup>2</sup> მასური სისქის ოქროს კილიტას მართობულად ეცემა  $T=0,50$  მკეკ კინეტიკური ენერგიის  $\alpha$  ნაწილაკების ვიწრო კონა. კონის ინტენსივობაა  $I_0=5,0 \cdot 10^5$  ნაწილაკი/წმ. იპოვეთ კილიტის მიერ  $\tau=30$  წთ-ის განმავლობაში გაბნეულ  $\alpha$  ნაწილაკთა რიცხვი კუთხეთა შემდეგ ინტერვალში:

ა)  $59^\circ-61^\circ$ , ბ)  $\varphi_0=60^\circ$ -ის ზევით.

6.13.  $\rho d=1,0$  მკმ სისქის ვერცხლის კილიტას მართობულად ეცემა  $v=6 \cdot 10^6$  მ/წმ სიჩქარის პროტონების ვიწრო კონა. იპოვეთ პროტონების გაბნევის ალბათობა უკანა ნახევარსფეროში ( $\varphi > 90^\circ$ ).

6.14.  $T=600$  კეკ კინეტიკური ენერგიის  $\alpha$  ნაწილაკების ვიწრო კონა მართობულად ეცემა ოქროს კილიტას, რომელიც შეიცავს  $n=1,1 \cdot 10^{19}$  ბირთვ./სმ<sup>2</sup>. იპოვეთ  $\varphi < \varphi_0=70^\circ$  კუთხით გაბნეული  $\alpha$  ნაწილაკების ფარდობითი რიცხვი.

6.15.  $\rho d=1,5$  მგ/სმ<sup>2</sup> მასური სისქის თითბრის კილიტას მართობულად ეცემა  $T=1,4$  მკეკ კინეტიკური ენერგიის პროტონების ვიწრო კონა. კილიტაში სპილენძისა და თუთიის შეფარდებაა 7:3. იპოვეთ  $\varphi_0=30^\circ$ -ზე მეტ კუთხეზე გაბნეული პროტონების ფარდობითი რიცხვი.

6.16. იპოვეთ ურანის ბირთვის ეფექტური კვეთა, რომელიც შეესაბამება  $T=1,5$  მკეკ კინეტიკური ენერგიის  $\alpha$  ნაწილაკების გაბნევას  $\varphi_0=60^\circ$ -ზე მეტ კუთხეთა ინტერვალში.

6.17. ოქროს ბირთვის ეფექტური კვეთა, რომელიც შეესაბამება მონოენერგეტიკული  $\alpha$  ნაწილაკების გაბნევას  $90^\circ$ -დან  $180^\circ$ -მდე კუთხეთა ინტერვალში,  $\Delta\sigma=0,50$  კბ.ა. განსაზღვრეთ:

ა)  $\alpha$  ნაწილაკების კინეტიკური ენერგია;

ბ)  $\varphi=60^\circ$  კუთხის შესაბამისი გაბნევის დიფერენციალური კვეთა  $d\sigma/d\Omega$  (კბ/სტრ).

6.18. კლასიკური ელექტროდინამიკის თანახმად,  $w$  აჩქარებით მოძ-

რავი ელექტრონი გამოსხივების შედეგად ენერგიას კარგავს შემდეგი კანონის მიხედვით:

$$\frac{dE}{dt} = \frac{2e^2}{3c^3} w^2,$$

სადაც  $e$  არის ელექტრონის მუხტი,  $c$ —სინათლის სიჩქარე. შეაფასეთ ის დრო, რომლის განმავლობაშიც ელექტრონის ენერგია  $\eta=10$ -ჯერ შემცირდება, თუ ის ასრულებს  $w=5 \cdot 10^{15}$  წმ<sup>-1</sup> სიხშირის პარმონიკულ რხევებს.

6.19. ისარგებლეთ წინა ამოცანაში მოყვანილი ფორმულით და შეაფასეთ დრო, რომლის განმავლობაშიც წყალბადის ატომში  $r=50$  პმ რადიუსის წრიულ ორბიტაზე მოძრავი ელექტრონი დაეცემა ბირთვს. სიმარტივისათვის ჩათვალოთ, რომ  $w$  ვექტორი ყოველთვის ატომის ცენტრისკენა მიმართული.

6.20. აჩვენეთ, რომ წყალბადისმსგავსი იონის მეზობელ წრიულ ორბიტებს შორის ელექტრონის გადასვლის დროს წარმოქმნილი ფოტონის სიხშირე  $\omega$  შემდეგ უტოლობას აკმაყოფილებს:  $\omega_n > \omega > \omega_{n+1}$ , სადაც  $\omega_n$  და  $\omega_{n+1}$  ბირთვის გარშემო ამ წრიულ ორბიტებზე ელექტრონის მოძიქევის სიხშირეებია. დარწმუნდით, რომ როდესაც  $n \rightarrow \infty$ , ფოტონის სიხშირე  $\omega \rightarrow \omega_n$ .

6.21.  $m$  მასის ნაწილაკი მოძრაობს წრიულ ორბიტაზე  $U(r)=1/r^2/2$  ცენტრალური სიმეტრიის პოტენციურ ველში. ბორის დაკვანტვის პირობის დახმარებით იპოვეთ ამ ნაწილაკის ორბიტების შესაძლო რადიუსები და ენერგეტიკული დონეები.

6.22.  $\text{He}^+$  იონისა და წყალბადის ატომისათვის გამოიანგარიშეთ:

ა) ბორის პირველი ორბიტის რადიუსი და ელექტრონის სიჩქარე ამ ორბიტაზე;

ბ) ელექტრონის კინეტიკური ენერგია და მისი ზმის ენერგია ძირითად მდგომარეობაში;

გ) იონიზაციის პოტენციალი, აგზნების პირველი პოტენციალი და რუზონანსული ხაზის ტალღის სიგრძე ( $n'=2 \rightarrow n=1$ ).

6.23. გამოიანგარიშეთ ელექტრონის მიმოქცევის წრიული სიხშირე  $\text{He}^+$  იონის ბორის მეორე ორბიტაზე.

6.24. წყალბადისმსგავსი სისტემებისათვის იპოვეთ  $n$ -ურ ორბიტაზე ელექტრონის მოძრაობის შესაბამისი  $\mu_n$  მაგნიტურა მომენტი და მაგნიტური მომენტის შეფარდება მექანიკურ მომენტთან  $\mu_n/M_n$  გამოიანგარიშეთ მაგნიტური მომენტი ბორის პირველ ორბიტაზე მყოფი ელექტრონისათვის.

6.25. გამოიანგარიშეთ წყალბადის ატომის ცენტრში მაგნიტური ველის ინდუქცია, რომელსაც აღძრავს ელექტრონი ბორის პირველ ორბიტაზე მოძრაობისას.

6.26. ტალღის სიგრძეთა სკალაზე გამოთვალეთ და გამოსახეთ სპექტრული ინტერვალები, რომლებშიც მოქცეულია ლაიმანის, ბალმერისა და პაშენის სერიები ატომური წყალბადისათვის. ამ სკალაზე გამოყავით სპექტრის ხილული ნაწილი

6.27. რომელ სერიას მიეკუთვნება ატომურა წყალბადის სპექტრული ხაზი, რომლის ტალღური რიცხვი ბალმერის სერიის ორი ხაზის 486,1 ნმ და 410,2 ნმ ტალღური რიცხვების სხვაობის ტოლია? რას ეთანხმება ამ ხაზის ტალღის სიგრძე?

6.28. ატომური წყალბადისათვის გამოიანგარიშეთ:

ა) ბალმერის სერიის პირველი სამი ხაზის ტალღის სიგრძე;

ბ) სპექტრული ხელსაწყოს მინიმალური გარჩევისუნარიანობა  $\lambda/\delta\lambda$ , რომლის დროსაც გაირჩევა ბალმერის სერიის პირველი 20 ხაზი

6.29.  $l=6,6$  მმ სივანის დიფრაქციულ მესერს მართობულად ეცემა ატომური წყალბადის გამოსხივება. მიღებულ სპექტრში დიფრაქციის რომელიღაც მ კუთხისათვის გარჩევის ზღვარზე აღმოჩნდა (რელეს კრიტერიუმის თანახმად) ბალმერის სერიის 50-ე ხაზი იპოვეთ ეს კუთხე.

6.30. რომელ ელემენტს მიეკუთვნება წყალბადისმსგავსი სპექტრი, რომლის ხაზების ტალღის სიგრძეები ოთხჯერ უფრო მოკლეა, ვიდრე ატომური წყალბადისა?

6.31. რამდენ სპექტრულ ხაზს გამოასხივებს ატომური წყალბადი, რომელიც მე- $n$  ენერგეტიკულ დონეზეა აგზნებული?

6.32. რა ხაზებს შეიცავს ატომური წყალბადის შთანთქმის სპექტრი 94,5 ნმ-დან 120,0 ნმ-მდე ტალღის სიგრძეთა დიაპაზონში?

6.33. იპოვეთ  $He^+$  იონის აგზნებული მდგომარეობის შესაბამისი კვანტური რიცხვი  $n$ , თუ ძირითად მდგომარეობაში გადასვლისას ამ იონმა თანამიმდევრულად გამოასხივა 108,5 ნმ და 30,4 ნმ ტალღის სიგრძის შესაბამისი ორი ფოტონი.

6.34. გამოიანგარიშეთ რიდბერგის მუდმივა  $R$ , თუ ცნობილია, რომ  $He^+$  იონებისათვის ბალმერისა და ლაიმანის სერიების მეწინავე ხაზების ტალღის სიგრძეებს შორის სხვაობა  $\Delta\lambda=133,7$  ნმ-ს.

6.35. იპოვეთ წყალბადისმსგავსი იონი, რომლის ბალმერისა და ლაიმანის სერიების მეწინავე ხაზების ტალღის სიგრძეებს შორის სხვაობა 50,3 ნმ-ია.

6.36. იპოვეთ  $He^+$  იონების იმ სპექტრული სერიის მეწინავე ხაზის ტალღის სიგრძე, რომლის კიდურა ხაზებს შორის ინტერვალი  $\Delta\omega=5,18 \cdot 10^{15}$  წმ $^{-1}$ .

6.37. იპოვეთ ელექტრონის ბმის ენერგია იმ წყალბადისმსგავსი იონების ძირითად მდგომარეობაში, რომელთა სპექტრში ბალმერის სერიის მესამე ხაზის ტალღის სიგრძე 108,5 ნმ-ის ტოლია.

6.38.  $He$ -ის ატომის ძირითად მდგომარეობაში ელექტრონის ბმის ენერგია  $E_0=24,6$  ევ-ს. იპოვეთ ამ ატომიდან ორივე ელექტრონის აპოსავლევად საჭირო ენერგია.

6.39. იპოვეთ ძირითად მდგომარეობაში მყოფი, უძრავი  $He^+$  იონებიდან  $\lambda=18,0$  ნმ ტალღის სიგრძის ელექტრომაგნიტური გამოსხივებით ამოგლეჯილი ფოტოელექტრონების სიჩქარე.

6.40. რა მინიმალური კინეტიკური ენერგიით უნდა მოქარაობდეს წყალბადის ატომი, რომ უძრავ წყალბადის ატომთან არადრეკადი ცენტრალური დაჯახებისას ერთ-ერთმა მათგანმა გამოასხივოს ფოტონი? იგულისხმება, რომ დაჯახებამდე ორივე ატომი ძირითად მდგომარეობაში იმყოფებოდა.

6.41. წყალბადის უძრავმა ატომმა გამოასხივა ფოტონი, რომელიც ლაიმანის სერიის მეწინავე ხაზს შეესაბამება. რა სიჩქარეს შეიძენს ატომი?

6.42. წინა ამოცანის პირობიდან გამომდინარე იპოვეთ, რამდენი პროცენტით განსხვავდება გამოსხივებული ფოტონის ენერგია წყალბადის ატომში შესაბამისი გადასვლის ენერგიისაგან?

6.43. უძრავმა  $He^+$  იონმა გამოასხივა ლაიმანის სერიის მეწინავე ხაზის შესაბამისი ფოტონი. ამ ფოტონმა ძირითად მდგომარეობაში მყოფი წყალბადის უძრავი ატომიდან ამოგლეჯა ფოტოელექტრონი. იპოვეთ ფოტოელექტრონის სიჩქარე.

6.44. იპოვეთ წყალბადის აგზნებული ატომების სიჩქარე, თუ მათი მოძრაობის მიმართულებისადმი  $\theta=45^\circ$ -იანი კუთხით გამოსხივების დაკვირვების დროს ლაიმანის სერიის მეწინავე ხაზის ტალღის სიგრძე აღმოჩნდა  $\Delta\lambda=0,20$  ნმ-ით წანაცვლებული.

6.45. ბორი-ზომერფელდის პოსტულატის თანახმად ნაწილაკის პოტენციურ ველში პერიოდული მოძრაობის დროს უნდა სრულდებოდეს დაკვანტვის შემდეგი წესი:

$$\oint p dq = 2\pi n.$$

სადაც  $q$  და  $p$  არის ნაწილაკის განზოგადებული კოორდინატი და იმპულსი,  $n$  — მთელი რიცხვი. ისარგებლეთ ამ წესით და იპოვეთ  $m$  მასის ნაწილაკის ენერგიის დასაშვები მნიშვნელობები, თუ ნაწილაკი მოძრაობს:

ა) უსასრულო მაღალი კედლის მქონე  $l$  სივანის ერთგანზომილებიან მართკუთხა პოტენციურ ორმოში;

ბ)  $r$ -რადიუსიან წრეწირზე;

გ) ერთგანზომილებიან  $U=\alpha x^2/2$  სახის პოტენციურ ველში, სადაც  $\alpha$  დადებითი მუდმივაა;

დ) წრიულ ორბიტაზე ცენტრალურ ველში, სადაც ნაწილაკის პოტენციური ენერგია  $U=-\alpha/r$ . აქ  $\alpha$  დადებითი მუდმივაა.

6.46. წყალბადის ბირთვის მოძრაობის გათვალისწინებით იპოვეთ ძირითად მდგომარეობაში ელექტრონისა და რიდბერგის მუდმივას გამოსახულებები. რამდენი პროცენტით განსხვავდება ბირთვის მოძრაობის გათვალისწინების გარეშე მიღებული ბმის ენერგიისა და რიდბერგის მუდმივას მნიშვნელობები ამ სიდიდეების დაზუსტებული მნიშვნელობებისაგან?

6.47. მსუბუქი ( $H$ ) და მძიმე ( $D$ ) წყალბადის ატომებისათვის იპოვეთ სხვაობა:

ა) მათი ელექტრონების ბმის ენერგიებს შორის ძირითად მდგომარეობაში;

ბ) ლაიმანის სერიის მეწინავე ხაზების ტალღის სიგრძეებს შორის.

6.48. გამოიხატოს მძიმე მდგომარეობაში მყოფი სისტემის ნაწილაკებს შორის მანძილი, შესაბამისი ბმის ენერგია და ლაიმანის სერიის მეწინავე ხაზის ტალღის სიგრძე, თუ სისტემა წარმოადგენს:

ა) წყალბადის მეზოატომს, რომელშიც ბირთვის როლს ასრულებს პროტონი (მეზოატომში ელექტრონის ნაცვლად მოძრაობს მეზონი, რომელსაც ისეთივე სიდიდის მუხტი აქვს, ხოლო მასა  $207$ -ჯერ მეტი);

ბ) პოზიტრონიუმს, რომელიც მასათა ცენტრის გარშემო მოძრაობს ელექტრონისა და პოზიტრონისაგან შედგება.

## 6.2. ნაწილაკთა ტალღური თვისებები

❶  $p$  იმპულსის მქონე ნაწილაკის დებროილის ტალღის სიგრძე:

$$\lambda = \frac{2\pi\hbar}{p}. \quad (6.2 \text{ ა})$$

❷ განუზღვრელობის თანფარდობა:

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \hbar. \quad (6.2 \text{ ბ})$$

❸ შრედინგერის დროითი და სტაციონარული განტოლებები:

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \psi + U\psi; \quad (6.2 \text{ გ})$$

$$\nabla^2 \psi + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U)\psi = 0,$$

სადაც  $\psi$  სრული ტალღური ფუნქციაა,  $\psi$  — მისი კოორდინატული ნაწილი,  $\nabla^2$  — ლაპლასის ოპერატორი,  $E$  და  $U$  — ნაწილაკის სრული და პოტენციური ენერგია. სფერულ კოორდინატებში:

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \sin^2 \theta \frac{\partial}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} \quad (6.2 \text{ დ})$$

❹  $U(x)$  პოტენციური ჯგერის გამჟღავნების კოეფიციენტი:

$$D \approx \exp \left[ -\frac{2}{\hbar} \int_{x_1}^{x_2} \sqrt{2m(U-E)} dx \right], \quad (6.2 \text{ ე})$$

სადაც  $x_1$  და  $x_2$  — მკვეთრად კოორდინატებია, რომელთა შორის  $U > E$ .

6.49. გამოთვალეთ დებროილის ტალღის სიგრძე ერთნაირი  $100$  ევ კინეტიკური ენერგიის ელექტრონისათვის, პროტონისათვის და ურანის ატომისათვის.

6.50. როგორი დამატებითი ენერგია უნდა მიეწოდოს ელექტრონს რომ მისი დებროილის ტალღის სიგრძე  $100$  პმ-დან  $50$  პმ-მდე შეიცვალოს?

6.51. უძრავ დეიტონს (მძიმე წყალბადის ბირთვი) ეჯახება  $T = 25$  ევ, კინეტიკური ენერგიის ნეიტრონი. იპოვეთ ორივე ნაწილაკის დებროილის ტალღის სიგრძე მათი ინერციის ცენტრის სისტემაში.

6.52.  $\lambda_1$  და  $\lambda_2$  დებროილის ტალღის სიგრძის ორი ერთნაირი არარელატივისტური ნაწილაკი მოძრაობს ურთიერთპერპენდიკულარული მიმართულებით. იპოვეთ თითოეული ნაწილაკის დებროილის ტალღის სიგრძე მათი ინერციის ცენტრის სისტემაში.

6.53. იპოვეთ წყალბადის მოლეკულების დებროილის ტალღის სიგრძე, რომელიც შეესაბამება მათ უალბათეს სიჩქარეს ოთახის ტემპერატურაზე.

6.54. იპოვეთ დებროილის უალბათესი ტალღის სიგრძე ოთახის ტემპერატურაზე თერმოდინამიკურ წონასწორობაში მყოფი წყალბადის მოლეკულებისათვის.

6.55. მიიღეთ გამოსახულება  $T$  კინეტიკური ენერგიით მოძრავი რელატივისტური ნაწილაკის დებროილის  $\lambda$  ტალღის სიგრძისათვის. როგორ მნიშვნელობებს უნდა ღებულობდეს  $T$  ელექტრონისა და პროტონისათვის, რომ არარელატივისტური ფორმულის გამოყენებით  $\lambda$ -ს განსაზღვრის დროს შეცდომა არ აღემატებოდეს  $1\%$ -ს?

6.56. კინეტიკური ენერგიის რა მნიშვნელობისათვის იქნება ელექტრონის დებროილის ტალღის სიგრძე მისი  $\lambda_c$  კომპტონის ტალღის სიგრძის ტოლი?

6.57. იპოვეთ რენტგენის მილში ანტიკათოდისაკენ მიმავალი რელატივისტური ელექტრონების დებროილის ტალღის სიგრძე, თუ რენტგენის უწყვეტი სპექტრის მოკლესალღიანი საზღვრის ტალღის სიგრძე  $\lambda_k = 10,0$  პმ-ს.

6.58.  $b = 1,0$  მკმ სიგანის ვიწრო მართკუთხა ხვრელის მქონე დიფრაგმას მართობულად ეცემა მონოენერგეტიკული ელექტრონების პარალელური ნაკადი. განსაზღვრეთ ამ ელექტრონების სიჩქარე, თუ ხვრელიდან  $l = 50$  სმ მანძილით დაშორებულ ეკრანზე ცენტრალური დიფრაქციული მაქსიმუმის სიგანე  $\Delta x = 0,36$  მმ-ს.

6.59. ორ ვიწროხვრელიან დიფრაგმას მართობულად ეცემა  $U = 25$  ევ პოტენციალთა სხვაობით აჩქარებული ელექტრონების პარალელური ნაკადი. მანძილი ხვრელებს შორის  $d = 50$  მკმ-ს. განსაზღვრეთ მანძილი დიფრაქციული სურათის მეზობელ მაქსიმუმებს შორის ეკრანზე, რომელიც ხვრელიდან  $l = 100$  სმ-ითაა დაშორებული.

6.60. ალუმინის მონოკრისტალის ბუნებრივ წახნაგს  $\varphi = 30^\circ$  სრიალის კუთხით ეცემა მონოენერგეტიკული ელექტრონების ვიწრო კონა. ამ მონოკრისტალის პარალელურ მეზობელ კრისტალურ სიბრტყეებს შორის მანძილი  $d = 0,20$  ნმ. ამჩქარებელი ძაბვის რაღაც  $U_0$  მნიშვნელობისათვის შემჩნეული იყო სარკული არეკვლის მაქსიმუმი. იპოვეთ  $U_0$ , თუ ცნობილია, რომ სარკული არეკვლის მომდევნო მაქსიმუმი წარმოიქმნებოდა ამჩქარებელი ძაბვის  $\eta = 2,25$ -ჯერ გაზრდის შემდეგ.

6.61. ნიკელის მონოკრისტალის ზედაპირს მართობულად ეცემა მონოენერგეტიკული ელექტრონების ვიწრო კონა. იმ მიმართულების გასწვრივ, რომელიც ზედაპირის ნორმალთან  $\varphi = 55^\circ$  კუთხეს ადგენს, აკვირდებიან მეოთხე რიგის არეკვლის მაქსიმუმს, როდესაც ელექტრონების ენერგია  $T = 180$  ევ-ს. გამოიანგარიშეთ სიბრტყეთშორისი მანძილის შესაბამისი მნიშვნელობა.

6.62.  $T = 10$  ევ კინეტიკური ენერგიის ელექტრონების ვიწრო კონა გადის პოლიკრისტალური ალუმინის კილიტაში და ეკრანზე ქმნის დიფრაქციული რგოლების სისტემას. გამოიანგარიშეთ კრისტალური სიბრტყეების რომელიმე სისტემიდან მესამე რიგის არეკვლის შესაბამისი სიბრტყეთშორისი მანძილი, თუ მისთვის დიფრაქციული რგოლის დიამეტრი  $D = 3,20$  სმ-ს. ეკრანსა და კილიტას შორის მანძილი  $l = 10,0$  სმ-ს.

6.63.  $U_i = 15$  ვ ზიდა პოტენციალის მქონე ლითონის ზედაპირს ეცემა  $U$  პოტენციალთა სხვაობით აჩქარებული ელექტრონების კონა. იპოვეთ:  
ა) ლითონის გარდატეხის მაჩვენებელი ელექტრონებისათვის, თუ  $U = 150$  ვ-ს,

ბ) შეფარდება  $U/U_i$ , რომლის დროსაც გარდატეხის მაჩვენებელი განსხვავდება ერთისაგან არა უმეტეს  $\eta = 1,0$  %-ით.

6.64.  $m$  მასის ნაწილაკი უსასრულოდ მაღალკედლიან ერთგანზომილებიან მართკუთხა პოტენციურ ორმოშია მოთავსებული. ორმოს სიგანეა  $l$ . იპოვეთ ნაწილაკის ენერგიის შესაძლო მნიშვნელობები. გაითვალისწინეთ, რომ ხორციელდება მისი მოძრაობის მხოლოდ ის მდგომარეობები, რომელთათვისაც მოცემული ორმოს საზღვრებში მოთავსდება დებრიოლის ტალღის ნახევრის მთელი რიცხვი.

6.65. ტალღური წარმოდგენების საფუძველზე მოახდინეთ ბორის კვანტური პირობების ინტერპრეტაცია: აჩვენეთ, რომ წყალბადის ატომში ელექტრონს შეუძლია მოძრაობა მხოლოდ იმ წრიულ ორბიტებზე, რომლებზეც დებრიოლის ტალღების მთელი რიცხვი თავსდება.

6.66. განსაზღვრეთ ის უმცირესი შეცდომა, რომლითაც განსაზღვრება ელექტრონის, პროტონისა და 1 მგ მასის ბურთულას სიჩქარე, თუ ნაწილაკებისა და ბურთულა ცენტრის კოორდინატები 1 მკმ განუზღვრელობითაა დადგენილი.

6.67. განუზღვრელობის თანაფარდობის დახმარებით შეაფასეთ წყალ-

ბადის ატომში ელექტრონის სიჩქარის განუზღვრელობა, თუ ატომის ზომა  $l = 0,10$  ნმ-ს. მიღებული სიდიდე შეადარეთ ელექტრონის სიჩქარეს მოცემული ატომის ბორის პირველ ორბიტაზე.

6.68. აჩვენეთ, რომ იმ ნაწილაკისათვის, რომლის ადგილმდებარეობის განუზღვრელობაა  $\Delta x = \lambda/2\pi$ , სადაც  $\lambda$  მისი დებრიოლის ტალღის სიგრძეა, სიჩქარის განუზღვრელობა თვით ნაწილაკის სიჩქარის რიგისაა.

6.69. თავისუფალი ელექტრონი თავდაპირველად  $l = 0,10$  ნმ ზომის არეში იყო ლოკალიზებული. განუზღვრელობის თანაფარდობის დახმარებით შეაფასეთ ის დრო, რომლის განმავლობაშიც შესაბამისი ტალღური პაკეტის სიგანე  $\eta = 10$ -ჯერ გაიზარდება.

6.70. განუზღვრელობის თანაფარდობის დახმარებით შეაფასეთ  $l = 0,20$  ნმ ზომის არეში ლოკალიზებული ელექტრონის კინეტიკური ენერგია.

6.71.  $T \approx 4$  ევ კინეტიკური ენერგიის ელექტრონი  $l = 1$  მკმ ზომის არეშია ლოკალიზებული. განუზღვრელობის თანაფარდობის დახმარებით შეაფასეთ მისი სიჩქარის ფარდობითი განუზღვრელობა.

6.72. ელექტრონი უსასრულოდ მაღალი კედლების მქონე ერთგანზომილებიან პოტენციურ ორმოშია მოთავსებული. ორმოს სიგანეა  $l$ . განუზღვრელობის თანაფარდობის დახმარებით შეაფასეთ ელექტრონის წნევის ძალა ამ ორმოს კედლებზე მისი ენერგიის შესაძლო მინიმალური მნიშვნელობის დროს.

6.73.  $m$  მასის ნაწილაკი მოძრაობს ერთგანზომილებიან  $U = kx^2/2$  პოტენციურ ველში (პარამონიული ოსცილატორი). განუზღვრელობის თანაფარდობის დახმარებით შეაფასეთ ასეთ ველში ნაწილაკის ენერგიის შესაძლო მინიმალური მნიშვნელობა.

6.74. განუზღვრელობის თანაფარდობის დახმარებით შეაფასეთ წყალბადის ატომში ელექტრონის ენერგიის შესაძლო მინიმალური მნიშვნელობა და შესაბამისი ეფექტური მანძილი ბირთვამდე.

6.75.  $v = 600$  მ/წმ სიჩქარით მოძრავი წყალბადის ატომების პარალელური კონა მართობულად ეცემა ვიწროხვრელიან დაფარავს, რომლის უკან  $l = 1$  მ-ის მანძილზე ეკრანია მოთავსებული. განუზღვრელობის თანაფარდობის დახმარებით შეაფასეთ ხვრელის სიგანე  $b$ , რომლისთვისაც მისი გამოსახულების სიგანე ეკრანზე იქნება მინიმალური.

6.76. იპოვეთ შრედინგერის ერთგანზომილებიანი დროითი განტოლების კერძო ამოხსნა  $m$  მასის თავისუფლად მოძრავი ნაწილაკისათვის.

6.77. ნაწილაკი იმყოფება ძირითად მდგომარეობაში აბსოლუტურად გაუმჭვირვალე კედლების მქონე ( $0 < x < l$ )  $l$  სიგანის ერთგანზომილებიან მართკუთხა პოტენციურ ორმოში. იპოვეთ ნაწილაკის ყოფნის ალბათობა

$$\frac{1}{3} l \leq x \leq \frac{2}{3} l \text{ არეში.}$$



6.78 ნაწილაკი უსასრულოდ მაღალი კედლების მქონე ერთგანზომილებიან მართკუთხა პოტენციურ ორმოში იმყოფება. ორმოს სიგანეა  $l$ . იპოვეთ ნაწილაკის სტაციონარული მდგომარეობების ნორმირებული ტალღური ფუნქციები, თუ  $x$  კოორდინატის ათვლის სათავე ორმოს შუა წერტილშია.

6.79. დაამტკიცეთ, რომ უსასრულოდ მაღალი კედლების მქონე ერთგანზომილებიან პოტენციურ ორმოში მოთავსებული ნაწილაკის სტაციონარული მდგომარეობების ტალღური ფუნქციები ორთოგონალურია, ე. ი. აკმაყოფილებს პირობას  $\int_0^l \psi_n \psi_{n'} dx$ , თუ  $n' \neq n$ . აქ  $l$  ორმოს სიგანეა, ხოლო  $n$  — მთელი რიცხვებია.

6.80. ელექტრონი უსასრულოდ მაღალკედლიან ერთგანზომილებიან მართკუთხა პოტენციურ ორმოში იმყოფება. ორმოს სიღრმე  $l$  ისეთია, რომ ენერგეტიკული დონეები ძალიან მჭიდროდაა ერთმანეთთან განლაგებული. იპოვეთ  $dN/dE$  დონეთა რიცხვის დამოკიდებულება  $E$ -ზე. გამოთვალეთ ვან ინტერვალზე დონეთა რიცხვის დამოკიდებულება  $E$ -ზე. გამოთვალეთ  $dN/dE$ . როდესაც  $E=1,0$  ევ-ს, ხოლო  $l=1,0$  სმ-ს.

6.81.  $m$  მასის ნაწილაკი აბსოლუტურად გაუმჭვირვალე კედლების მქონე ორგანზომილებიან პოტენციურ ორმოში იმყოფება. იპოვეთ:

ა) ნაწილაკის ენერგიის შესაძლო მნიშვნელობები, თუ ორმოს გვერდებია  $l_1$  და  $l_2$ .

ბ) ნაწილაკის ენერგიის მნიშვნელობები პირველ ოთხ დონეზე, თუ ორმო  $l$ -გვერდებიანი კვადრატია.

6.82. ნაწილაკი აბსოლუტურად გაუმჭვირვალე კედლების მქონე ორგანზომილებიან მართკუთხა პოტენციურ ორმოში ( $0 < x < a, 0 < y < b$ ) იმყოფება. განსაზღვრეთ  $0 < x < a/3$  არეში უმცირესი ენერგიის ნაწილაკის მოხვედრის ალბათობა.

6.83.  $m$  მასის ნაწილაკი აბსოლუტურად გაუმჭვირვალე კედლების მქონე სამგანზომილებიან კუბურ პოტენციურ ორმოში იმყოფება. კუბის გვერდია  $a$ . იპოვეთ:

ა) ნაწილაკის ენერგიის საკუთარი მნიშვნელობები;

ბ) მესამე და მეოთხე დონის ენერგიების სხვაობა;

გ) მეექვსე დონის ენერგია და მის შესაბამის მდგომარეობათა რიცხვი (კვადრატების ჯერადობა).

6.84. შრედინგერის განტოლების დახმარებით აჩვენეთ, რომ იმ წერტილში, სადაც ნაწილაკის  $U(x)$  პოტენციურ ენერგიას სასრული წყვეტა აქვს, ტალღური ფუნქცია ინარჩუნებს სიგლუვეს, ე. ი. უწყვეტია მისი პირველი რიგის წარმოებული კოორდინატით.

6.85.  $m$  მასის ნაწილაკი იმყოფება ერთგანზომილებიან  $U(x)$  პოტენ-

ციურ ველში, რომლის სახე 6.2 ნახაზზეა ნაჩვენები, სადაც  $U(0) = \infty$ . იპოვეთ:

ა) განტოლება, რომელიც განსაზღვრავს ნაწილაკის ენერგიის შესაძლო მნიშვნელობებს  $E < U_0$  არეში; ეს განტოლება დაიყვანეთ შემდეგ სახეზე:

$$\sin kl = \pm kl \sqrt{\hbar^2/2ml^2 U_0},$$

სადაც  $k = \sqrt{2mE/\hbar^2}$ .

მოცემული განტოლების გრაფიკული ამონახსნის დახმარებით აჩვენეთ, რომ ნაწილაკის ენერგიის შესაძლო მნიშვნელობები ქმნის დისკრეტულ სპექტრს;

ბ)  $l^2 U_0$  სიდიდის ია მინიმალური მნიშვნელობა, რომლის დროსაც  $E < U_0$  არეში პირველი ენერგეტიკული დონე გამოჩნდება.  $l^2 U_0$  სიდიდის რა მინიმალური მნიშვნელობაზე გამოჩნდება მე- $n$  დონე?

6.86. ისარგებლეთ წინა ამოცანის ამოხსნით და განსაზღვრეთ  $x > l$  არეში  $E = U_0/2$  ენერგიის ნაწილაკის მოხვედრის ალბათობა, თუ  $l^2 U_0 = (3/4\pi)^2 \hbar^2/m$ .

6.87. იპოვეთ  $m$  მასის ნაწილაკის ენერგიის შესაძლო მნიშვნელობები, თუ ის სფერულად-სიმეტრიულ პოტენციურ ორმოში იმყოფება:  $U(r) = 0$ , როცა  $r < r_0$  და  $U(r) = \infty$ , როცა  $r = r_0$ ; განიხილეთ ის შემთხვევა როდესაც ნაწილაკის მოძრაობა მხოლოდ  $r$ -ზე დამოკიდებული  $\psi(r)$  ტალღური ფუნქციითაა აღწერილი.

მიითითება. შრედინგერის განტოლების ამოხსნის დროს ისარგებლეთ  $\psi(r) = \chi(r)/r$  ჩასმით.

6.88. წინა ამოცანის პირობის გათვალისწინებით იპოვეთ:

ა) ნაწილაკის ნორმირებული საკუთარი ფუნქციები იმ მდგომარეობებში, რომელშიც  $\psi(r)$  მხოლოდ  $r$ -ზეა დამოკიდებული;

ბ) უაღრესი მნიშვნელობა  $r$  უაღრესი ნაწილაკის ძირითადი მდგომარეობისათვის და ნაწილაკის მოხვედრის ალბათობა  $r < r_0$  არეში.

6.89.  $m$  მასის ნაწილაკი სფერულად-სიმეტრიულ პოტენციურ ორმოში იმყოფება:  $U(r) = 0$ , როცა  $r < r_0$  და  $U(r) = U_0$ , როცა  $r > r_0$ .

ა)  $\psi(r) = \chi(r)/r$  ჩასმის საშუალებით იპოვეთ განტოლება, რომელიც განსაზღვრავს ნაწილაკის  $E$  ენერგიის საკუთარ მნიშვნელობებს, როცა  $E < U_0$ , ე. ი. როდესაც მოძრაობა მხოლოდ  $r$ -ზე დამოკიდებული  $\psi(r)$  ტალღური ფუნქციითაა აღწერილი. ეს განტოლება დაიყვანეთ შემდეგ სახეზე:

$$\sin kr_0 = \pm kr_0 \sqrt{\hbar^2/2mr_0^2 U_0}; \text{ სადაც } k = \sqrt{2mE/\hbar}.$$

ბ) განსაზღვრეთ  $r_0^2 U_0$  სიდიდის მნიშვნელობა, რომლის დროსაც გამოჩნდება პირველი დონე.

**6.90** ერთგანზომილებიან პოტენციურ  $U(x) = kx^2/2$  ველში მყოფი  $m$  მასის ნაწილაკის ძირითადი მდგომარეობისათვის ტალღური ფუნქცია შემდეგი სახისაა:  $\psi(x) = Ae^{-\alpha x^2}$ , სადაც  $A$  ნორმირების კოეფიციენტი,  $\alpha$  — დადებითი მუდმივა. შრედინგერის განტოლების დახმარებით იპოვეთ  $\alpha$  და ნაწილაკის  $E$  ენერგია ამ მდგომარეობაში.

**6.91.** განსაზღვრეთ წყალბადის ატომის ელექტრონის ენერგია სტაციონარულ მდგომარეობაში, რომლისთვისაც ტალღური ფუნქცია  $\psi(r) = A(1 + ar)e^{-ar}$  სახითაა მოცემული, სადაც  $A$ ,  $a$  და  $\alpha$  მუდმივებია.

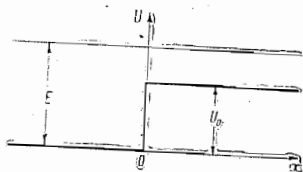
**6.92.** წყალბადის ატომის ძირითად მდგომარეობაში ელექტრონის ტალღური ფუნქცია  $\psi(r) = Ae^{-r/r_1}$  სახითაა მოცემული, სადაც  $A$  მუდმივა,  $r_1$  — ბორის პირველი რადიუსი. იპოვეთ:

ა) უალბათესი მანძილი ელექტრონსა და ბირთვს შორის;

ბ) ელექტრონზე მოქმედი კულონური ძალის მოდულის საშუალო მნიშვნელობა;

გ) ელექტრონის პოტენციური ენერგიის საშუალო მნიშვნელობა ბირთვის ველში.

**6.93.** იპოვეთ წყალბადის ატომის ცენტრში ელექტრონის მიერ წარმოქმნილი საშუალო ელექტროსტატიკური პოტენციალი, თუ ელექტრონი იმყოფება ძირითად მდგომარეობაში, რომლის ტალღური ფუნქციაა  $\psi(r) = Ae^{-r/r_1}$ , სადაც  $A$  მუდმივა,  $r_1$  — ბორის პირველი რადიუსი.



ნახ. 6.3.

**6.94.**  $m$  მასისა და  $E$  ენერგიის მქონე ნაწილაკები მარცხნიდან უახლოვდები-

ან პოტენციურ ჯებირს (ნახ. 6.3). იპოვეთ:

ა) ამ ჯებირის არეკვლის კოეფიციენტი  $R$ , როცა  $E < U_0$ ;

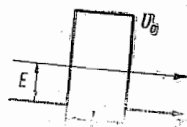
ბ)  $x > 0$  არეში ნაწილაკების შეღწევის ეფექტური სიღრმე, როცა  $E < U_0$ , ე. ი. მანძილი ჯებირის საზღვრიდან იმ წერტილამდე, სადაც ნაწილაკის მოხვედრის ალბათობა  $e$  ჯერ მცირდება.

**6.95.** ისარგებლეთ (6.2 ე) ფორმულით და  $E$  ენერგიის მქონე ელექტრონისათვის იპოვეთ  $l$  სიგანისა და  $U_0$  სიმაღლის პოტენციური ჯებირის გავლის ალბათობა  $D$ , თუ ჯებირის ფორმა ნაჩვენებია:

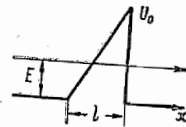
ა) 6.4 ნახაზზე;

ბ) 6.5 ნახაზზე.

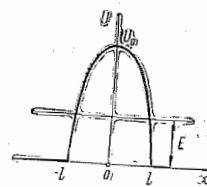
**6.96.** (2.6 ე) ფორმულის დახმარებით იპოვეთ  $m$  მასისა და  $E$  ენერგიის მქონე ნაწილაკის მიერ პოტენციური ჯებირის (ნახ. 6.6) გავლის ალბათობა. აქ  $U(x) = U_0(1 - x^2/l^2)$ .



ნახ. 6.4.



ნახ. 6.5.



ნახ. 6.6.

### 6.8. ატომთა თვისებები. სპექტრები

● თერმების სპექტრული აღნიშვნა:  $\chi(L)J$ , სადაც  $\chi = 2S + 1$  მულტიპლეტირობა,  $L$ ,  $S$ ,  $J$  — კვანტური რიცხვები.

$$L = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, \dots$$

$$(L): S, P, D, F, G, H, I, \dots$$

● ტუტე ლითონების ატომთა თერმები:

$$T = \frac{R}{(n+a)^2},$$

(6.3 ა)

სადაც  $R$  რიდბერგის მუდმივა,  $a$  — რიდბერგის შესწორება. 6.7 ნახაზზე ნაჩვენებია ლითონის ატომთა თერმების სკემა.

● ატომის მექანიკური მომენტები:

$$M_L = \hbar \sqrt{L(L+1)},$$

ანალოგიურად  $M_S$  და  $M_J$ .

(6.3 ბ)

● ჰუნდის წესები:

1) უმცირესი ენერგია გააჩნია თერმს, რომელსაც მოცემული ელექტრონული კონფიგურაციის დროს  $S$ -ის მაქსიმალური მნიშვნელობა და ამ  $S$ -ის დროს  $L$ -ის მაქსიმალური მნიშვნელობა აქვს;

2) ძირითადი (ნორმალური) ატომისათვის  $J = |L - S|$ , ანუ ქვედახარის ნახევარზე ნაკლებადაა შევსებული, ხოლო დანარჩენ შემთხვევებში  $J = L + S$ .

● ბოლცმანის განაწილება:

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{g_2}{g_1} e^{-(E_2 - E_1)/kT},$$

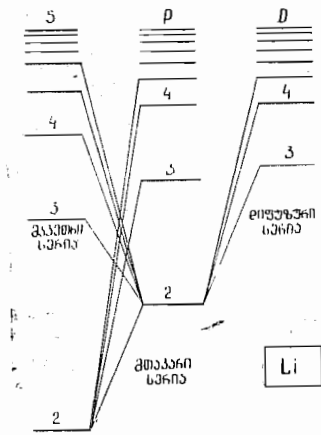
სადაც  $g_1$  და  $g_2$  შესაბამისი დონეების სტატისტიკური წონებია (გადაგვარების ჯერადობები).

● დროის ერთეულში ატომის გადასვლის ალბათობა 1 დონეიდან მეორე მდგომარეობაში 2 დონეს შორის — სპონტანური და ინდუცირებული გამოსხივებისა და შთანთქმისათვის:

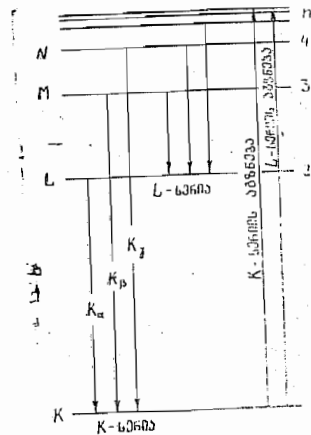
$$P_{21}^{b1} = A_{21}, \quad P_{21}^{inl} = B_{21}u_\omega, \quad P_{12}^{out} = B_{12}u_\omega,$$

(6.3 გ)

სადაც  $A_{21}$ ,  $B_{21}$ ,  $B_{12}$  აინშტაინის კოეფიციენტებია,  $\mu$  — გამოსხივების სპექტრული სიმკვრივე, რომელიც მოცემულ დონეებს შორის გადასვლის  $\omega$  სიხშირეს შეესაბამება.



ნახ. 6.7.



ნახ. 6.8.

● კავშირი აინშტაინის კოეფიციენტებს შორის:

$$g_1 B_{12} = g_2 B_{21}, \quad B_{21} = \frac{\pi^2 c^3}{h \omega^3} A_{21}. \quad (6.3 \text{ ე})$$

● რენტგენული სპექტრების წარმოქმნის სქემა (ნახ. 6.8).  
● მოზლის კანონი  $K_\alpha$  ხაზისათვის:

$$\omega K_\alpha = \frac{3}{4} R(Z - \sigma)^2. \quad (6.3 \text{ ვ})$$

სადაც  $\sigma$  — შესწორება, რომელიც მსუბუქი ელემენტებისათვის ერთი ტოლია.

● ატომის მაგნიტური მომენტი და ლანდეს ფაქტორი (მამრავლი):

$$\mu = g V J(J+1) \mu_B, \quad g = 1 + \frac{J(J+1) + S(S+1) - L(L+1)}{2J(J+1)}. \quad (6.3 \text{ ზ})$$

● სუსტ მაგნიტურ ველში სპექტრული ხაზების ზეემანისეული გახლეჩა:

$$\Delta \omega = (m_1 g_1 - m_2 g_2) \mu_B B / \hbar. \quad (6.3 \text{ თ})$$

● მაგნიტური ველის გასწვრივ გამოსხივების დროს  $m_1 = m_2$  გადასვლებით გამოწვეული ზეემანისეული კომპონენტები არ შეიმჩნევა.

6.97. ლითიუმის ატომის ვალენტური ელექტრონის ბმის ენერგია  $2S$  და  $2P$  მდგომარეობებში, შესაბამისად, 5,39 ევ და 3,54 ევ-ის ტოლია. იპოვეთ რიდბერგის შესწორებები ამ ატომის  $S$  და  $P$  თერმებისათვის.

6.98. იპოვეთ რიდბერგის შესწორება ნატრიუმის ატომის  $3P$  თერმისათვის, რომლის აგზნების პირველი პოტენციალი უდრის 2,10 ე-ს, ხოლო ვალენტური ელექტრონის ბმის ენერგია ძირითად  $3S$  მდგომარეობაში 5,14 ევ-ს.

6.99. იპოვეთ ლითიუმის ატომის ვალენტური ელექტრონის ბმის ენერგია ძირითად მდგომარეობაში, თუ ცნობილია, რომ მკვეთრი სერიის მეწინავე ხაზის ტალღის სიგრძე  $\lambda_1 = 813$  ნმ-ს, ხოლო ამ სერიის მოკლესტალღიანი საზღვრის ტალღის სიგრძე  $\lambda_2 = 350$  ნმ-ს.

6.100. განსაზღვრეთ ლითიუმის აგზნებული ატომების  $3S$  მდგომარეობიდან  $2S$  ძირითად მდგომარეობაში გადასვლის დროს წარმოქმნილი სპექტრული ხაზების ტალღის სიგრძეები.  $S$  და  $P$  თერმებისათვის რიდბერგის შესწორებებია  $-0,41$  და  $-0,04$ .

6.101. ნატრიუმის რეზონანსული ხაზის ყვითელი დუბლეტის კომპონენტების ტალღის სიგრძეები. რომელიც  $3P \rightarrow 3S$  გადასვლითაა გამოწვეული, 589,00 ნმ და 589,56 ნმ-ია. იპოვეთ  $3P$  თერმის გახლეჩის სიდიდე ევ-ით.

6.102. ატომური ცეზიუმის მკვეთრი სერიის მეწინავე ხაზი 1358,8 ნმ და 1469,5 ნმ ტალღის სიგრძეების მქონე დუბლეტს წარმოადგენს. იპოვეთ სიხშირეთა ( $\text{წმ}^{-1}$ ) ინტერვალები ამ სერიის მომდევნო ხაზების კომპონენტებს შორის.

6.103. ჩაწერეთ წყალბადის ატომის თერმების სპექტრული აღნიშვნები, თუ ელექტრონი იმყოფება მდგომარეობაში, რომლის მთავარი კვანტური რიცხვი  $n=3$ .

6.104. რამდენი და როგორი მნიშვნელობების  $J$  კვანტური რიცხვი შეიძლება ჰქონდეს ატომს იმ მდგომარეობაში, რომლის კვანტური რიცხვები  $S$  და  $L$  შესაბამისად ტოლია:

ა) 2 და 3; ბ) 3 და 3; გ) 5/2 და 2?

6.105. იპოვეთ  $4P$  და  $5D$  მდგომარეობაში მყოფ ატომთა სრული მექანიკური მომენტების შესაძლო მნიშვნელობები.

6.106. იპოვეთ შესაძლო მაქსიმალური სრული მექანიკური მომენტი და თერმის შესაბამისი სპექტრული აღნიშვნა:

ა) ნატრიუმის ატომისათვის, რომლის ვალენტური ელექტრონის მთავარი კვანტური რიცხვი  $n=4$ ;

ბ)  $1s^2 2p3d$  ელექტრონული კონფიგურაციის ატომისათვის.

6.107. ცნობილია, რომ  $F$  და  $D$  მდგომარეობებში  $J$  კვანტური რიცხვის შესაძლო მნიშვნელობათა რაოდენობა ერთნაირია და ხუთის ტოლია. განსაზღვრეთ სინური მექანიკური მომენტი ამ მდგომარეობებში.

6.108. ატომი იმ მდგომარეობაშია, რომლის მუდტაბლეტურობა სამის ტოლია, ხოლო სრული მექანიკური მომენტი უდრის  $\hbar\sqrt{20}$ . როგორი იქნება შესაბამისი კვანტური რიცხვი  $L$ ?

6.109. იპოვეთ შემდეგი სახის თერმების შესაძლო მულტიპლეტულობა  $x$ :

ა)  ${}^x D_2$ ; ბ)  ${}^x P_{3/2}$ ; გ)  ${}^x F_1$ .

6.110. რომელიმე ატომს. გარდა შევსებული გარსებისა, აქვს სამი ელექტრონი ( $s$ ,  $p$  და  $d$ ) და იმყოფება ამ კონფიგურაციისათვის შესაძლო მაქსიმალური სრული მექანიკური მომენტის მქონე მდგომარეობაში. იპოვეთ, ატომის შესაბამის ვექტორულ მოდელში, კუთხე მოცემული ატომის სპინურ და სრულ მექანიკურ მომენტებს შორის.

6.111. ატომი  $S=1$  სპინური კვანტური რიცხვის მდგომარეობაში იმყოფება და გააჩნია  $\hbar\sqrt{6}$ -ის ტოლი სრული მექანიკური მომენტი. შესაბამის ვექტორულ მოდელში კუთხე სპინურ და სრულ მექანიკურ მომენტებს შორის  $\varphi = 73,2^\circ$ . ჩაწერეთ ამ მდგომარეობის თერმის სპექტრული სიმბოლო.

6.112. ჩაწერეთ თერმების სპექტრული სიმბოლოები ერთი  $p$  ელექტრონისა და ერთი  $d$  ელექტრონის: გან შემდგარი ორელექტრონიანი სისტემისათვის.

6.113. სისტემა შედგება  $d$  ელექტრონისა და  ${}^2P_{3/2}$  მდგომარეობაში მყოფი ატომისაგან იპოვეთ ამ სისტემის შესაძლო სპექტრული თერმები.

6.114. დაადგინეთ, ქვემოთ ჩამოთვლილი გადასვლებიდან რომელია აკრძალული შერჩევის წესით:  ${}^2D_{3/2} \rightarrow {}^2P_{1/2}$ ,  ${}^3P_1 \rightarrow {}^2S_{1/2}$ ,  ${}^3F_3 \rightarrow {}^3P_2$ ,  ${}^4F_{7/2} \rightarrow {}^4D_{5/2}$ .

6.115. განსაზღვრეთ ლითიუმის ატომის  $3D$  მდგომარეობის გადაგვარების ჯამური ჯერადობა. გამოარკვეთ ამ სიდიდის ფიზიკური აზრი.

6.116. იპოვეთ სრული მექანიკური მომენტის შესაძლო მაქსიმალური მნიშვნელობების მქონე  ${}^2P$ ,  ${}^3D$  და  ${}^4F$  მდგომარეობების გადაგვარების ჯერადობა.

6.117. დაწერეთ თერმის სპექტრული აღნიშვნა. თუ მისი გადაგვარება შეიძლება ტოლია, ხოლო კავშირი  $L$  და  $S$  კვანტურ რიცხვებს შორის  $L=3S$  თანფარდობითაა მოცემული.

6.118. რომელი ელემენტის ატომს ექნება შევსებული  $K$ ,  $L$  და  $M$  გარსები,  $4s$  ქვეგარსი და ნახევრად  $4p$  ქვეგარსი?

6.119. ისარგებლეთ ჰუნდის წესებით და იპოვეთ ძირითადი თერმი იმ ატომისა, რომლის შეუვსებელი ქვეგარსი შეიცავს:

ა) სამ  $p$  ელექტრონს; ბ) ოთხ  $p$  ელექტრონს.

6.120. ჰუნდის წესების დახმარებით იპოვეთ ატომის სრული მექანიკური მომენტი ძირითად მდგომარეობაში, თუ მისი შეუვსებელი ქვეგარსი შეიცავს:

ა) სამ  $d$  ელექტრონს, ბ) შეიძლება  $d$  ელექტრონს.

6.121. ისარგებლეთ ჰუნდის წესებით და იპოვეთ ელექტრონების

რაოდენობა ატომის ერთადერთ შეუვსებელ ქვეგარსში, რომლის ძირითადი თერმია:

ა)  ${}^3F_2$ ; ბ)  ${}^2P_{3/2}$ ; გ)  ${}^6S_{5/2}$ .

6.122. ჰუნდის წესების დახმარებით ჩაწერეთ ატომის ძირითადი თერმის სპექტრული სიმბოლო, რომლის ერთადერთი შეუვსებელი ქვეგარსი შევსებულია:

ა)  $1/3$ -ით, ხოლო  $S=1$ ; ბ)  $70\%$ -ით, ხოლო  $S=3/2$ .

6.123. რომელიმე ატომის ერთადერთი შეუვსებელი ქვეგარსი შეიცავს სამ ელექტრონს; ამასთან-ვე ატომის ძირითადი თერმისათვის  $L=3$ . ჰუნდის წესების დახმარებით იპოვეთ მოცემული ატომის ძირითადი მდგომარეობის სპექტრული სიმბოლო.

6.124. ჰუნდის წესების დახმარებით იპოვეთ ატომის ძირითადი მდგომარეობის მაგნიტური მომენტი, თუ ატომის ღია ქვეგარსი ზუსტად ნახევრადია შევსებული ხუთი ელექტრონით.

6.125. წყალბადის ატომების რა ფარდობითი ნაწილი იმყოფება მდგომარეობაში, რომლის მთავარი კვანტური რიცხვი  $n=2$ , ხოლო ტემპერატურა  $T=3000\text{ K}$ ?

6.126. განსაზღვრეთ  $3P$  მდგომარეობაში მყოფი გაზისებრი ნატრიუმის ატომების რიცხვითა შეფარდება  $3S$  ძირითად მდგომარეობაში მყოფი ატომების რიცხვთან  $T=2400\text{ K}$  ტემპერატურაზე. ცნობილია, რომ  $3P \rightarrow 3S$  გადასვლას  $\lambda=589\text{ ნმ}$  ტალღის სიგრძის სპექტრული ხაზი შეესაბამება.

6.127. გამოიანგარიშეთ აგზნებული ატომების სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობა, თუ ცნობილია, რომ ძირითად მდგომარეობაში გადასვლით განპირობებული სპექტრული ხაზის ინტენსივობა,  $\nu=600\text{ მ/წმ}$  სიჩქარით მოძრავი ატომების კონის გასწვრივ  $l=2,5\text{ მმ}$ -ის მანძილზე,  $\eta=25$ -ჯერ მცირდება.

6.128. ვერცხლისწყლიანი ნათურის  $\lambda=253,65\text{ ნმ}$  ტალღის სიგრძის რეზონანსული ხაზით გაანათეს ვერცხლისწყლის გაიშვიათებული ორთქლი, რომლის ატომები პრაქტიკულად ყველა ძირითად მდგომარეობაშია. მოცემული ხაზის გამოსხივების სიმძლავრე  $P=35\text{ ვტ-ს}$ . იპოვეთ ატომთა რაოდენობა რეზონანსული აგზნების მდგომარეობაში, რომლის სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობა  $\tau=0,15\text{ მკწმ-ს}$ .

6.129.  $n=3,6 \cdot 10^{16}\text{ სმ}^{-3}$  კონცენტრაციის მქონე ატომური ლითიუმის ტემპერატურა  $T=1500\text{ K}$ . ამ დროს გაზის მოცულობის ერთეულში  $\lambda=671\text{ ნმ}$  ( $2P \rightarrow 2S$ ) რეზონანსული ხაზის გამოსხივების სიმძლავრე  $P=0,30\text{ ვტ/სმ}^3$ . იპოვეთ რეზონანსული აგზნების მდგომარეობაში ლითიუმის ატომების სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობა.

6.130. ატომური წყალბადი თერმოდინამიკურ წონასწორობაშია თავის გამოსხივებასთან. იპოვეთ:



ა)  $2P$  დონიდან ატომების ინდუცი-ებული და სპონტანური გამოსხივების ალბათობების შეფარდება  $T=3000\text{ K}$  ტემპერატურაზე;

ბ) ის ტემპერატურა, როდესაც ეს ალბათობები ერთმანეთს გაუთანაბრდება.

**6.131.**  $T$  ტემპერატურის გაზში ვრცელდება სინათლის კონა, რომლის სიხშირე ატომების გადასვლის რეზონანსული სიხშირის ტოლია, ამასთან,  $\hbar\omega \gg kT$ . გაითვალისწინეთ ინდუცირებული გამოსხივება და აჩვენეთ, რომ გაზის შთანთქმის კოეფიციენტი  $\kappa = \kappa_0(1 - e^{-\hbar\omega/kT})$ , სადაც  $\kappa_0$  შთანთქმის კოეფიციენტის მნიშვნელობაა, როცა  $T \rightarrow 0$ .

**6.132.** ვერცხლისწყლის რეზონანსული ხაზის ტალღის სიგრძე  $\lambda = 253,65\text{ ნმ}$ , ხოლო მისი ატომების სიციცხლის საშუალო ხანგრძლივობა რეზონანსული აგზნების მდგომარეობაში  $\tau = 0,15\text{ მკმ-ს}$ . შეაფასეთ ამ ხაზის დოპლერული გაგანიერების შეფარდება მის ბუნებრივ სიკანესთან, როდესაც გაზის ტემპერატურა  $T = 300\text{ K-ს}$ .

**6.133.** იპოვეთ სპილენძის ( $L=29$ )  $K_{\alpha}$ -ხაზის ტალღის სიგრძე, თუ ცნობილია, რომ რკინის ( $L=26$ )  $K_{\alpha}$ -ხაზის ტალღის სიგრძე  $193\text{ პმ-ია}$ .

**6.134** მოზლის კანონის დახმარებით გამოიანგარიშეთ:

ა) ალუმინისა და კობალტის  $K_{\alpha}$ -ხაზის ტალღის სიგრძე;

ბ) სხვაობა ვანადიუმის  $K$ -და  $L$ -ელექტრონების ბმის ენერგიებს შორის.

**6.135.** რამდენი ელემენტი განლაგდება მწყრივში იმ ელემენტებს შორის, რომელთა  $K_{\alpha}$ -ხაზის ტალღის სიგრძეებია  $250\text{ პმ}$  და  $179\text{ პმ}$ ?

**6.136.** იპოვეთ ძაბვა ნიკელის ანტიკათოდის მქონე რენტგენის მილზე, თუ  $K_{\alpha}$ -ხაზის ტალღის სიგრძესა და უწყვეტი რენტგენული სპექტრის მოკლესტალიან საზღვარს შორის სხვაობა  $84\text{ პმ-ია}$ .

**6.137.** ალუმინის ანტიკათოდის მქონე რენტგენის მილზე მოდებული რომელია ძაბვის დროს უწყვეტი რენტგენული სპექტრის მოკლესტალიანი საზღვრის ტალღის სიგრძე  $0,50\text{ ნმ-ია}$ . შეიმჩნევა თუ არა ამ დროს მახასიათებელი სპექტრის  $K$ -სერი, რომლის აგზნების პოტენციალი უდრის  $1,56\text{ კე-ს}$ ?

**6.138.** თუ რენტგენის მილზე ძაბვა  $U_1 = 10\text{ კე-დან}$   $U_2 = 70\text{ კე-მდე}$  გაიზრდება, ტალღის სიგრძეთა ინტერვალი  $K_{\alpha}$ -ხაზსა და უწყვეტი რენტგენის სპექტრის მოკლესტალიან საზღვარს შორის გაიზრდება  $n = 3,0$ -ჯერ. გაითვალისწინეთ, რომ ამ მილის ანტიკათოდი მსუბუქი ელემენტისაგანაა დამზადებული და განსაზღვრეთ მისი რიგითი ნომერი.

**6.139.** რომელი მსუბუქი ელემენტის შთანთქმის სპექტრში იქნება რენტგენის სხივების შთანთქმის  $K$ - და  $L$ -კიდეების სიხშირეთა სხვაობა  $\Delta\omega = 6,85 \cdot 10^{18}\text{ წმ}^{-1}$ ?

**6.140.** გამოთვალეთ ვანადიუმის  $K$ -ელექტრონის ბმის ენერგია, თუ შთანთქმის  $L$ -კიდის ტალღის სიგრძე  $\lambda_L = 2,4\text{ ნმ-ს}$ .

**6.141.** იპოვეთ ტიტანის  $L$ -ელექტრონის ბმის ენერგია, თუ სხვაობა  $K$ -სერიის მეწინავე ხაზის ტალღის სიგრძესა და მის მოკლესტალიან საზღვარს შორის  $\Delta\lambda = 26\text{ პმ-ს}$ .

**6.142.** იპოვეთ რკინის ატომების  $K$ -გარსიდან თუთიის  $K_{\alpha}$  გამოსხივებით ამოგლეჯილი ფოტოელექტრონების კინეტიკური ენერგია და სიჩქარე, თუ რკინისათვის შთანთქმის  $K$ -ზოლის კიდე  $\lambda_K = 174\text{ პმ-ს}$ .

**6.143.** გამოიანგარიშეთ ლანდეს ფაქტორი ატომებისათვის:

ა)  $S$  მდგომარეობებში; ბ) სინგლეთურ მდგომარეობებში.

**6.144.** გამოიანგარიშეთ ლანდეს ფაქტორი შემდეგი თერმებისათვის:

ა)  ${}^6F_{1/2}$ ; ბ)  ${}^4D_{1/2}$ ; გ)  ${}^5F_2$ ; დ)  ${}^5P_1$ ; ე)  ${}^3P_0$ .

**6.145.** გაპოიანგარიშეთ ატომის მაგნიტური მომენტი ბორის მ.გნე. ტონებში;

ა)  ${}^1F$ -მდგომარეობაში;

ბ)  ${}^2D_{3/2}$ -მდგომარეობაში;

გ) იმ მდგომარეობაში, რომლისთვისაც  $S=1$ ,  $L=2$ , ხოლო ლანდეს ფაქტორი  $g=4/3$ .

**6.146.** განსაზღვრეთ ატომის სპინური მექანიკური მომენტი  $D_z$  მდგომარეობაში, თუ ამ მდგომარეობაში მაგნიტური მომენტის პროექციის მაქსიმალური მნიშვნელობა ბორის ოთხი მაგნეტონის ტოლია.

**6.147.**  $L=2$ ,  $S=2$  და რომელია განსაზღვრული მნიშვნელობის  $J$  კვანტური რიცხვების მქონე მდგომარეობაში მყოფი ატომი სუსტ მაგნიტურ ველშია მოთავსებული. იპოვეთ მისი მაგნიტური მომენტი, თუ ცნობილია, რომ მექანიკური მომენტსა და ველის მიმართულებას შორის უმცირესი შესაძლო კუთხე  $30^\circ$ -ის ტოლია?

**6.148.** ნატრიუმის ატომის ვალენტური ელექტრონი  $n=3$  მთავარი კვანტური რიცხვის მქონე მდგომარეობაში იმყოფება და ამავე დროს გააჩნია შეძლებისდაგვარად მაქსიმალური სრული მექანიკური მომენტი. რას უდრის ამ მდგომარეობაში მისი მაგნიტური მომენტი?

**6.149.** აგზნებულ ატომს აქვს  $1s^2 2s^2 2p^3$  ელექტრონული კონფიგურაცია და ამ დროს იმყოფება მაქსიმალური სრული მექანიკური მომენტის მქონე მდგომარეობაში. იპოვეთ ატომის მაგნიტური მომენტი ამ მდგომარეობაში.

**6.150.** იპოვეთ ატომის სრული მექანიკური მომენტი  $S=3/2$  და  $L=2$  მდგომარეობაში, თუ ცნობილია, რომ მისი მაგნიტური მომენტი ნულის ტოლია.

**6.151.** რომელია ატომი იმყოფება მდგომარეობაში, რომლისთვისაც  $S=2$ , სრული მექანიკური მომენტი  $M=1/2\hbar$ , მაგნიტური მომენტი კი ნულის ტოლია, დაწერეთ შესაბამისი თერმის სპექტრული სიმბოლო.

**6.152.**  ${}^2P_{3/2}$  მდგომარეობაში მყოფი ატომი  $B=1,0$  კგ ინდუქციის მაგნიტურ ველშია მოთავსებული. ვექტორული მოდელის თვალსაზრისით.

იპოვეთ ამ ატომის სრული მექანიკური მომენტის პრეცესიის კუთხური სიჩქარე.

6.153.  ${}^2P_{1/2}$  მდგომარეობაში მყოფი ატომი  $r=5$  სმ-რადიუსიანი ზეის ლერძზეა მოთავსებული. ზეიაში დენი  $I=10$  ა-ს. მანძილი ატომსა და ზეის ცენტრს შორის ზეის რადიუსის ტოლია. განსაზღვრეთ ამ დენის მაგნიტური ველის მხრიდან ატომზე მოქმედი მაქსიმალური ძალა

6.154. ნორმალურ მდგომარეობაში მყოფი წყალბადის ატომი  $I=10$  ა-დენიანი გრძელი წრფივი გამტარიდან  $r=2,5$  სმ-ითაა დაშორებული, იპოვეთ ატომზე მოქმედი ძალა.

6.155.  $I_1=5,0$  სმ განფენილობის განივი, მკვეთრად არაერთგვაროვან მაგნიტურ ველში შტერნისა და ჰერლანის მეთოდით გაუშვეს ძირითად  ${}^4F_{3/2}$  მდგომარეობაში მყოფი. ვანადიუმის ატომების ვიწრო კონა. მაგნიტიდან  $I_2=15$  სმ-ით დაშორებულ ეკრანზე აკვირდებიან კონის გახლეჩას. ატომების კინეტიკური ენერგია  $T=22$  მევ-ს. რას უნდა ეთანაბრებოდეს მაგნიტური ველის  $B$  ინდუქციის გრადიენტი, რომ ეკრანზე გახლეჩილი კონის კიდურა კომპონენტებს შორის მანძილი იყოს  $\delta=2,0$  მმ?

6.156. რამდენ ქვედონედ გაიხლეჩება სუსტ მაგნიტურ ველში მოცემული თერმის:

ა)  ${}^3P_0$ ; ბ)  ${}^2F_{5/2}$ ; გ)  ${}^4D_{1/2}$ ?

6.157. ატომი  $B=2,50$  კგ ინდუქციის სუსტ მაგნიტურ ველშია მოთავსებული იპოვეთ შემდეგი თერმების გახლეჩის სრული სიდიდე ევ-ით:

ა)  ${}^1D$ ; ბ)  ${}^3F_4$

6.158. ზეემანის რომელ ეფექტს (მარტივი, რთული) ამჟღავნებენ სუსტ მაგნიტურ ველში სპექტრული ხაზები, რომლებიც შემდეგი გადასვლებითაა გამოწვეული:

ა)  ${}^1P \rightarrow {}^1S$ ; ბ)  ${}^2D_{5/2} \rightarrow {}^2P_{3/2}$ ; გ)  ${}^3D_1 \rightarrow {}^3P_0$ ; დ)  ${}^5I_8 \rightarrow {}^5H_4$ .

6.159. განსაზღვრეთ ატომის სინგლეტური თერმის სპექტრული სიბოლო, თუ  $B=3,0$  კგ ინდუქციის სუსტ მაგნიტურ ველში ამ თერმის გახლეჩის სრული სიგანე  $\Delta E=104$  მკევ-ს?

6.160. ცნობილია, რომ ატომის სპექტრული ხაზი  $\lambda=612$  ნმ სინგლეტური თერმებს შორის გადასვლითაა გამოწვეული. გამოიანგარიშეთ ინტერვალ  $\Delta \lambda$  ამ ხაზის განაპირა კომპონენტებს შორის  $B=10,0$  კგ ინდუქციის მაგნიტურ ველში.

6.161. იპოვეთ მაგნიტური ველის  $B$  ინდუქციის ის მინიმალური მნიშვნელობა, როდესაც  $\lambda/\delta \lambda=1,0 \cdot 10^5$  გარჩევისუნარიანობის მქონე სპექტრული ხელსაწყო საშუალებით შეიძლება გაირჩეს სინგლეტური თერმებს შორის გადასვლით გამოწვეული  $\lambda=536$  ნმ სპექტრული ხაზის კომპონენტები. დაკვირვება წარმოებს მაგნიტური ველის პერპენდიკულარული მიმართულებით.

6.162.  ${}^3D_1 \rightarrow {}^3P_0$  გადასვლით გამოწვეული სპექტრული ხაზი სუსტ მაგნიტურ ველში განიცდის ზეემანისეულ გახლეჩას. მაგნიტური ველის

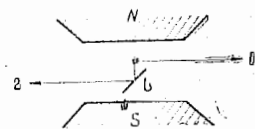
შემართულების მართობულად დაკვირვებისას ზეემანისეული სტრუქტურის ხაზის მეზობელ კომპონენტებს შორის ინტერვალ  $\Delta \lambda=1,32 \cdot 10^{-10}$  მ-ს. იპოვეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია იმ წერტილში, სადაც წყაროა მოთავსებული.

6.163. ნატრიუმის ყვითელი ხაზის ( ${}^2P \rightarrow {}^2S$ ) დუბლეტის ტალღის სიგრძეებია 589,59 ნმ და 589,00 ნმ. იპოვეთ:

ა) ინტერვალების შეფარდება სუსტ მაგნიტურ ველში  ${}^2P_{3/2}$  და  ${}^2P_{1/2}$  თერმების ზეემანისეული გახლეჩის მეზობელ ქვედონეებს შორის;

ბ) მაგნიტური ველის  $B$  ინდუქცია, რომლის დროსაც ინტერვალ თერმის ზეემანისეული გახლეჩის დროს მეზობელ ქვედონეებს შორის  $\eta=5$ -ჯერ ნაკლები იქნება, ვიდრე  ${}^2P$  თერმის ბუნებრივი გახლეჩისას.

6.164. გამოსახეთ  ${}^2P_{3/2}$  და  ${}^2S_{1/2}$  თერმებს შორის შესაძლო გადასვლების სქემა სუსტ მაგნიტურ ველში.  $B=4,5$  კგ ინდუქციის მაგნიტური ველისათვის გამოიანგარიშეთ ამ ხაზის კომპონენტების ზეემანისეული წანაცვლება (მმ-1-ში).



ნახ. 6.9.

6.165. ერთი და იმავე სპექტრულ ხაზს, რომელიც ზეემანის ანომალურ ეფექტს განიცდის, აკვირდებიან როგორც 1, ასევე 2 მიმართულებით ს სარკიდან არეკლის შემდეგ (ნახ. 6.9). რამდენი ზეემანისეული კომპონენტი შეიმჩნევა ორივე მიმართულებით, თუ სპექტრული ხაზი შემდეგი გადასვლითაა განპირობებული:

ა)  ${}^2P_{3/2} \rightarrow {}^2S_{1/2}$ ; ბ)  ${}^3P_2 \rightarrow {}^3S_1$ ?

6.166. გამოიანგარიშეთ სუსტ მაგნიტურ ველში  ${}^3D_3 \rightarrow {}^3P_2$  სპექტრული ხაზის სრული გახლეჩა  $\Delta \lambda$ , თუ ინდუქცია  $B=3,4$  კგ-ს.

#### 6.4. მოლეკულები და კრისტალები

● ორატომიანი მოლეკულის ბრუნვითი ენერგია:

$$E_J = \frac{\hbar^2}{2I} J(J+1), \quad (6.4 \text{ ა})$$

სადაც  $I$  არის მოლეკულის ინერციის მომენტი.

● ორატომიანი მოლეკულის რხევითი ენერგია:

$$E_v = \hbar \omega (v + 1/2), \quad (6.4 \text{ ბ})$$

სადაც  $\omega$  წარმოადგენს მოლეკულის რხევის საკუთარ სიხშირეს.

● კვანტური პარმონიული ოსცილატორის საშუალო ენერგია  $T$  ტემპერატურაზე:

$$\langle E \rangle = \frac{\hbar \omega}{2} + \frac{\hbar \omega}{e^{\hbar \omega / kT} - 1}. \quad (6.4 \text{ გ})$$

● დეზაის ფორმულა. კრისტალის მოლური რხევითი ენერგია:

$$U=9R\theta \left[ \frac{1}{8} + \left( \frac{T}{\theta} \right)^4 \int_0^{\theta/T} \frac{x^3 dx}{e^x - 1} \right], \quad (6.4 \text{ დ})$$

სადაც  $\theta$  დეზაის ტემპერატურაა,

$$\theta = \hbar \omega_{\text{მაკ}} / k. \quad (6.4 \text{ ე})$$

● როცა  $T \ll \theta$  კრისტალის მოლური რხევითი სითბოტევადობა:

$$C = \frac{12}{5} \pi^4 R \left( \frac{T}{\theta} \right)^3. \quad (6.4 \text{ ვ})$$

● თავისუფალი ელექტრონების განაწილება კრისტალში აბსოლუტური ნულის-მახლობლად:

$$dn = \frac{\sqrt{2} m^{3/2}}{\pi^2 \hbar^3} \sqrt{E} dE, \quad (6.4 \text{ ზ})$$

სადაც  $dn$  წარმოადგენს  $E, E+dE$  ენერგიების მქონე ელექტრონების კონცენტრაციას.  $E$  ენერგია გამტარობის ზონის ფსკერიდანაა ათვლილი.

● ფერმის დონე, როცა  $T=0$ :

$$E_F = \frac{\hbar^2}{2m} (3\pi^2 n)^{2/3}, \quad (6.4 \text{ თ})$$

სადაც  $n$  თავისუფალი ელექტრონების კონცენტრაციაა ლითონში.

**6.167.** განსაზღვრეთ პირველ აგზნებულ ბრუნვით დონეზე მყოფი  $N_F$  მოლეკულის ბრუნვის კუთხური სიჩქარე, თუ მის ბირთვებს შორის მანძილი  $d=189$  პმ-ს.

**6.168.**  $\text{HCl}$  მოლეკულისათვის იპოვეთ ბრუნვითი კვანტური რიცხვები იმ ორი მეზობელი დონისათვის, რომელთა ენერგიებს შორის სხვაობა 7,86 მევ-ია. მოლეკულის ბირთვებს შორის მანძილი 127,5 პმ-ის ტოლია.

**6.169.** იპოვეთ ჟანგბადის მოლეკულის მექანიკური მომენტი, თუ მისი ბრუნვითი ენერგია  $E=2,16$  მევ-ია, ხოლო მანძილი ბირთვებს შორის  $d=121$  პმ ს.

**6.170.** აჩვენეთ, რომ ორატომიანი მოლეკულის წმინდა ბრუნვითი სპექტრის მეზობელ სპექტრულ ხაზებს შორის სიხშირეთა ინტერვალები ერთნაირი სიდიდისაა. იპოვეთ  $\text{CH}$  მოლეკულის ინერციის მომენტი და მანძილი ბირთვებს შორის, თუ ამ მოლეკულების წმინდა ბრუნვითი სპექტრის მეზობელ ხაზებს შორის ინტერვალი  $\Delta\omega=5,47 \cdot 10^{12}$  წმ<sup>-1</sup>.

**6.171.** იპოვეთ  $\text{HF}$  მოლეკულისათვის ნულოვანი და პირველ აგზნებულ რხევით დონეებს შორის მოთავსებული ბრუნვითი დონეების რაოდენობა, თუ ჩათვლით, რომ ბრუნვითი მდგომარეობები დამოკიდებული არაა რხევით მდგომარეობებზე. ამ მოლეკულის რხევის საკუთარი სიხში-

რე უდრის  $7,79 \cdot 10^{14}$  წმ<sup>-1</sup>, ხოლო მანძილი ბირთვებს შორის 91,7 პმ-ს.

**6.172.** შეადგენეთ, რამდენ ხაზს შეიცავს  $\text{CO}$  მოლეკულის წმინდა ბრუნვითი სპექტრი, თუ მოლეკულის რხევის საკუთარი სიხშირე  $\omega=4,09 \cdot 10^{14}$  წმ<sup>-1</sup>, ხოლო ინერციის მომენტი  $I=1,44 \cdot 10^{-38}$  გ. სმ<sup>2</sup>-ს.

**6.173.** ორატომიანი მოლეკულისათვის იპოვეთ  $dN/dE$ -ს (ენერგიის ერთეულზე ინტერვალზე მოსული ბრუნვითი დონეების რაოდენობა) დამოკიდებულება  $E$  ბრუნვით ენერგიაზე. გამოიანგარიშეთ ეს სიდიდე  $J=10$  ბრუნვითი კვანტური რიცხვით განსაზღვრულ მდგომარეობაში მყოფი  $\text{H}_2$  მოლეკულისათვის. მანძილი ამ მოლეკულის ბირთვებს შორის უდრის 267 პმ-ს.

**6.174.** იპოვეთ ორატომიანი მოლეკულის პირველ რხევით და პირველ ბრუნვით დონეებზე აგზნებისათვის აუცილებელი ენერგიების შეფარდება. გამოიანგარიშეთ ეს შეფარდება შემდეგი მოლეკულებისათვის:

მოლეკულა	$\omega, 10^{14}$ წმ <sup>-1</sup>	$d, \text{პმ}$
ა) $\text{H}_2$	8,3	74
ბ) $\text{HI}$	4,35	160
გ) $\text{I}_2$	0,40	267

აქ  $\omega$  მოლეკულის რხევის საკუთარი სიხშირეა,  $d$ —მანძილი მის ბირთვებს შორის.

**6.175.** წყალბადის მოლეკულის რხევის საკუთარი სიხშირე უდრის  $8,28 \cdot 10^{14}$  წმ<sup>-1</sup>, ბირთვებს შორის მანძილი კი—74 პმ-ს. იპოვეთ პირველ აგზნებულ რხევით დონეზე ( $v=1$ ) მოლეკულათა რიცხვის შეფარდება პირველ აგზნებულ ბრუნვით დონეზე ( $J=1$ ) მოლეკულათა რიცხვთან, როცა  $T=880 \text{ K}$ . გაითვალისწინეთ, რომ ბრუნვითი დონეების გადაგვარების ჯერადობაა  $2J+1$ .

**6.176.** გაითვალისწინეთ, რომ ბრუნვითი დონეების გადაგვარების ჯერადობა  $g=2J+1$  და იპოვეთ  $\text{O}_2$  მოლეკულის ყველაზე მეტად დასახლებული ბრუნვითი დონის  $J$  კვანტური რიცხვი  $T=300 \text{ K}$ -ზე. გამოსახეთ ამ ტემპერატურაზე ბრუნვითი დონეების დასახლების,  $N_J/N_0$ -ის  $J$ -ზე დამოკიდებულების მიახლოებითი გრაფიკი.

**6.177.** ისარგებლეთ ბოლცმანის განაწილებით და გამოიყენეთ (6.4 გ) ფორმულა. მისი დახმარებით მიიღეთ გამოსახულება ორატომიანი გაზის  $C_{V,46}$  მოლური რხევითი სითბოტევადობისათვის. გამოიანგარიშეთ  $C_{V,46}$  გაზისათვის, რომელიც შედგება  $\text{Cl}_2$  მოლეკულებისაგან  $300 \text{ K}$ -ზე. ამ მოლეკულების რხევის საკუთარი სიხშირე  $1,064 \cdot 10^{14}$  წმ<sup>-1</sup>-ის ტოლია.

6.178. HCl მოლეკულის გამოსხივების სპექტრის რხევით-ბრუნვითი ზოლის შუაში, სადაც შერჩევის წესით აკრძალული არაა „ნულოვანი“ ხაზი, მეზობელ ხაზებს შორის ინტერვალი  $\Delta\omega = 0,79 \cdot 10^{13}$  წმ<sup>-1</sup>. გამოთვალეთ მანძილი HCl მოლეკულის ბირთვებს შორის.

6.179. გამოიანგარიშეთ  $F_2$  მოლეკულის კომბინაციური გაბნევის რხევით სპექტრში წაუნაცვლებელ ხაზთან უახლოესი წითელი და იისფერი თანამგზავრების ტალღის სიგრძეება, თუ დაცემული სინათლის ტალღის სიგრძე  $\lambda_0 = 404,7$  ნმ-ს, ხოლო მოლეკულის რხევის საკუთარი სიხშირე  $\omega = 2,15 \cdot 10^{14}$  წმ<sup>-1</sup>.

6.180. იპოვეთ  $S_2$  მოლეკულის რხევის საკუთარი სიხშირე და კვაზიდრეკადი ძალის კოეფიციენტი, თუ სინათლის კომბინაციური გაბნევის რხევით სპექტრში წაუნაცვლებელი ხაზის უახლოესი წითელი და იისფერი თანამგზავრების ტალღის სიგრძეებია 346,6 ნმ და 330,0 ნმ.

6.181. იპოვეთ  $Cl_2$  მოლეკულებზე სინათლის კომბინაციური გაბნევის რხევით სპექტრში წაუნაცვლებელი ხაზის უახლოესი იისფერი და წითელი თანამგზავრების ინტენსიურობების შეფარდება  $T = 300$  K-ზე, თუ ამ მოლეკულების რხევის საკუთარი სიხშირე  $\omega = 1,06 \cdot 10^{14}$  წმ<sup>-1</sup>. რამდენჯერ შეიცვლება ეს შეფარდება ტემპერატურის ორჯერ გადიდებისას?

6.182. განსაზღვრეთ  $I$  სიგრძის სიმის საკუთარი განივი რხევების რაოდენობა ( $\omega$ ,  $\omega + d\omega$ ) სიხშირეთა ინტერვალში, თუ რხევის გავრცელების სიჩქარეა  $v$ . გაითვალისწინეთ, რომ რხევები ერთ სიბრტყეში წარმოებს.

6.183. მოცემულია  $S$  ფართის მემბრანა. იპოვეთ მისი სიბრტყის პერპენდიკულარული საკუთარი რხევების რაოდენობა ( $\omega$ ,  $\omega + d\omega$ ) სიხშირეთა ინტერვალში, თუ რხევების გავრცელების სიჩქარეა  $v$ .

6.184. იპოვეთ  $V$  მოცულობის მართკუთხა პარალელებიპედის საკუთარი განივი რხევების რაოდენობა ( $\omega$ ,  $\omega + d\omega$ ) სიხშირეთა ინტერვალში, თუ რხევების გავრცელების სიჩქარეა  $v$ .

6.185. დაუშვით, რომ გრძივი და განივი რხევები  $v$  ერთნაირი სიჩქარით ვრცელდება და განსაზღვრეთ დეზაის ტემპერატურა:

ა) ერთგანზომილებიანი კრისტალისათვის, რომელიც ერთნაირი ატომებისაგან შედგენილ ჯაჭვს წარმოადგენს და რომლის სიგრძის ერთეული  $n_0$  ატომს შეიცავს;

ბ) ორგანზომილებიანი კრისტალისათვის, რომელიც ერთნაირი ატომებისაგან შედგენილ კვადრატულ მესერს წარმოადგენს და რომლის ფართის ერთეული  $n_0$  ატომს შეიცავს;

გ) ერთნაირი ატომებისაგან შედგენილი მარტივი კუბური მესრისათვის, რომლის მოცულობის ერთეული  $n_0$  ატომს შეიცავს.

6.186. გამოიანგარიშეთ დეზაის ტემპერატურა რკინისათვის, რომელ-

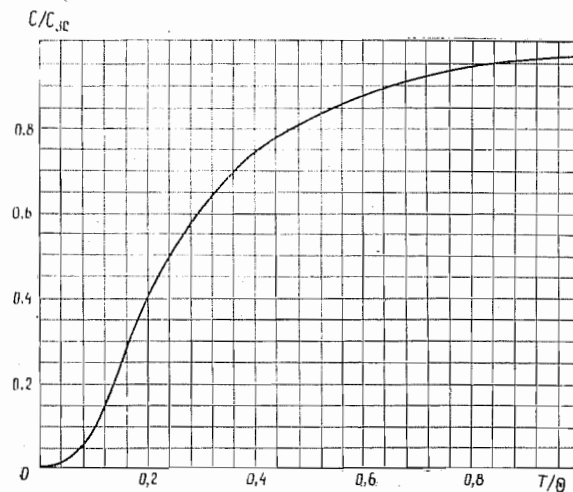
შიც გრძივი და განივი რხევების გავრცელების სიჩქარეებია 5,85 კმ/წმ და 3,23 კმ/წმ.

6.187. შეაფასეთ აკუსტიკური რხევების გავრცელების სიჩქარე ალუმინში, თუ მისი დეზაის ტემპერატურა  $\Theta = 396$  K-ს.

6.188. მიიღეთ გამოსახულება, რომელიც განსაზღვრავს ერთგანზომილებიანი კრისტალის მოლური სითბოტევადობის დამოკიდებულებას  $T$  ტემპერატურაზე, თუ კრისტალის დეზაის ტემპერატურაა  $\Theta$ . გაამარტივეთ მიღებული გამოსახულება  $T \gg \Theta$  შემთხვევისათვის.

6.189. ერთნაირი ატომებისაგან შედგენილი ჯაჭვის რხევების სიხშირე  $\omega = \omega_{\text{აკ}} \sin(kx/2)$  კანონითაა დამოკიდებული  $k$  ტალღურ რიცხვზე, სადაც  $\omega_{\text{აკ}}$  რხევების მაქსიმალური სიხშირეა,  $k = 2\pi/\lambda$  —  $\omega$  სიხშირის შესაბამისი ტალღური რიცხვი,  $a$  — მანძილი მეზობელ ატომებს შორის. ისარგებლეთ ამ დისპერსიული თანადარდობით და იპოვეთ სიხშირეთა ერთეულოვან ინტერვალზე მოსული გრძივი რხევების  $dN/d\omega$  რიცხვის დამოკიდებულება  $\omega$  ზე, თუ ჯაჭვის სიგრძე უდრის  $L$ -ს. ნაპოვნი  $dN/d\omega$ -ს დახმარებით იპოვეთ ჯაჭვის გრძივი რხევების სრული რაოდენობა.

6.190. გამოთვალეთ  $\Theta = 330$  K დეზაის ტემპერატურის მქონე სპილენძის ერთ გრამზე მოსული ნულოვანი რხევების ენერგია.



ნახ. 6.10.

6.191. 6.10 ნახაზზე გამოსახულია კრისტალის სითბოტევადობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე (დეზაის მიხედვით). აქ  $C_0$  კლასიკური სითბოტევადობაა,  $\Theta$  — დეზაის ტემპერატურა. ამ გრაფიკის დახმარებით იპოვეთ:

ა) დეზაის ტემპერატურა ვერცხლისათვის, თუ  $T = 65$  K-ზე მისი მოლური სითბოტევადობა უდრის 15 ჯ/(მოლი. K);



ალუმინის მოლური სითბოტევადობა, როცა  $T=80\text{ K}$ , თუ  $T=250\text{ K}$ -ზე ის  $22,4\text{ ჯ/(მოლი. K)}$ -ის ტოლია;

გ) რხევის მაქსიმალური სიხშირე სპილენძისათვის, თუ  $T=125\text{ K}$ -ზე მისი სითბოტევადობა 25%-ით განსხვავდება კლასიკური მნიშვნელობისაგან

6.192. აჩვენეთ, რომ კრისტალის მოლური სითბოტევადობა  $T \ll \Theta$  ტემპერატურისათვის, სადაც  $\Theta$  დებაის ტემპერატურაა, (6.4 ვ) ფორმულით განისაზღვრება.

6.193. შეიძლება თუ არა  $20\text{ K}$  და  $30\text{ K}$  ტემპერატურები ჩაითვალოს დაბალ ტემპერატურებად კრისტალისათვის, რომლის სითბოტევადობა ამ ტემპერატურებზე, შესაბამისად  $0,225\text{ ჯ/(მოლი. K)}$  და  $0,760\text{ ჯ/(მოლი. K)}$ -ის ტოლია.

6.194. დებაის მოდელში გამოთვალეთ კრისტალის ერთ ოსცილატორ-ზე მოსული ნულოვანი რხევების ენერგიის საშუალო მნიშვნელობა, თუ კრისტალის დებაის ტემპერატურაა  $\Theta$ .

6.195. გამოსახეთ კრისტალის რხევების ენერგიის სიხშირეთა მიხედვით განაწილების სპექტრი (ნულოვანი რხევების გათვალისწინების გარეშე). განიხილეთ ორი შემთხვევა:  $T=\Theta/2$  და  $T=\Theta/4$ , სადაც  $\Theta$  დებაის ტემპერატურაა.

6.196. შეაფასეთ ფონონის ენერგიისა და იმპულსის მაქსიმალური მნიშვნელობები სპილენძში, რომლის დებაის ტემპერატურა უდრის  $330\text{ K}$ -ს.

6.197. ისარგებლეთ (6.4 ზ) ფორმულით და  $T=0$  ტემპერატურაზე იპოვეთ:

ა) ლითონში თავისუფალი ელექტრონების მაქსიმალური კინეტიკური ენერგია, თუ მისი კონცენტრაციაა  $n$ ;

ბ) თავისუფალი ელექტრონების საშუალო კინეტიკური ენერგია, თუ ცნობილია მათი მაქსიმალური კინეტიკური ენერგია  $T_{\text{მაქ}}$ .

6.198. თავისუფალი ელექტრონების რამდენ პროცენტს აქვს ლითონში  $T=0$  ტემპერატურაზე კინეტიკური ენერგია, რომელიც მაქსიმალურის ნახევარს აღემატება?

6.199. იპოვეთ ნატრიუმის ერთ ატომზე მოსული თავისუფალი ელექტრონების რაოდენობა  $T=0$  ტემპერატურაზე, თუ ფერმის დონე  $E_F=3,07\text{ ევ-ს}$ , ხოლო ნატრიუმის სიმკვრივე უდრის  $0,97\text{ გ/სმ}^3$ -ს.

6.200. რა ტემპერატურამდე უნდა გავათბოთ კლასიკური ელექტრონული გაზი, რომ მისი ელექტრონების საშუალო ენერგია გაუთანაბრდეს სპილენძის თავისუფალი ელექტრონების საშუალო ენერგიას  $T=0$  ტემპერატურაზე? გაითვალისწინეთ, რომ სპილენძის ერთ ატომზე მოდის ერთი თავისუფალი ელექტრონი.

6.201. გამოიანგარიშეთ ლითონში  $T=0$  ტემპერატურაზე ინტერვალის თავისუფალი ელექტრონების მეზობელ დონეებს შორის (ელექტრონვოლტებში) ფერმის დონის მაქსიმალური, თუ თავისუფალი ელექტრონების კონცენტრაცია  $n=2,0 \cdot 10^{22}\text{ სმ}^{-3}$ , ხოლო ლითონის მოცულობა  $V=1,0\text{ სმ}^3$ .

6.202. ისარგებლეთ (6.4 ზ) ფორმულით და  $T=0$  ტემპერატურაზე იპოვეთ:

ა) თავისუფალი ელექტრონების განაწილება სიჩქარეების მიხედვით;

ბ) თავისუფალი ელექტრონების საშუალო სიჩქარის შეფარდება მათ მაქსიმალურ სიჩქარესთან.

6.203. (6.48) ფორმულის საშუალებით იპოვეთ ლითონში  $T=0$  ტემპერატურაზე თავისუფალი ელექტრონების განაწილების ფუნქცია დებროილის ტალღის სიგრძეების მიხედვით.

6.204. გამოიანგარიშეთ ელექტრონული გაზის წნევა ლითონის ნატრიუმში  $T=0$  ტემპერატურაზე, თუ მასში თავისუფალი ელექტრონების კონცენტრაცია  $n=2,5 \cdot 10^{22}\text{ სმ}^{-3}$ . ისარგებლეთ იდეალური გაზის მდგომარეობის განტოლებით.

6.205. ელექტრონულ მილაკში კათოდის  $T=2000\text{ K}$ -დან ტემპერატურის  $\Delta T=1,0\text{ K}$ -ით გაზრდის დროს გაჩერების დენი იზრდება  $\eta=1,4\%$ -ით. იპოვეთ კათოდიდან ელექტრონის გამოსვლის მუშაობა.

6.206. იპოვეთ ლითონის ნატრიუმის გარდატეხის კოეფიციენტი  $T=135\text{ ევ}$  კინეტიკური ენერგიის მქონე ელექტრონებისათვის. გაითვალისწინეთ, რომ ნატრიუმის თითოეულ ატომზე მოდის ერთი თავისუფალი ელექტრონი.

6.207. იპოვეთ ელექტრონ-ხერელი წყვილის წარმოქმნის მინიმალური ენერგია წმინდა უმინარეგო ნახევარგამტარში, რომლის ელექტროგამტარობა ტემპერატურის  $T_1=300\text{ K}$ -დან  $T_2=400\text{ K}$ -მდე გაზრდისას  $\eta=5,0$ -ჯერ იზრდება.

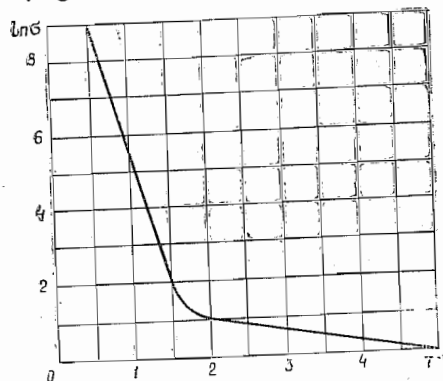
6.208. ძალიან დაბალ ტემპერატურებზე წმინდა უმინარეგო გერმანიუმისათვის ფოტოგამტარობის წითელი საზღვარი  $\lambda_f=1,7\text{ მკმ-ს}$ . იპოვეთ მოცემული გერმანიუმის წინაღობის ტემპერატურული კოეფიციენტი ოთახის ტემპერატურაზე.

6.209. 6.11 ნახაზზე ნაჩვენებია ელექტროგამტარობის ლოგარითმის ( $T$ , კK) ტემპერატურის შეზღუდულ სიდიდებზე დამოკიდებულების გრაფიკი რომელიმე  $n$ -ტიპის ნახევარგამტარისათვის. ამ გრაფიკის დახმარებით იპოვეთ ნახევარგამტარის აკრძალული ზონის სიგანე და დონორული დონეების აქტივაციის ენერგია.

6.210. რომელიმე წმინდა უმინარეგო ნახევარგამტარის კუთრი წინაღობა ოთახის ტემპერატურაზე  $\rho=50\text{ ომი} \cdot \text{სმ-ს}$ . სინათლის წყაროს 20 ი. იროლოგი

ჩართვის შემდეგ ის უდრიდა  $\rho_1 = 40$  ომი. სმ, ხოლო სინათლის წყაროს გამორთვიდან  $t = 8$  მწმ-ის შემდეგ კუთრი წინაღობა აღმოჩნდა  $\rho_2 = 45$  ომი. სმ-ის ტოლი. იპოვეთ გამტარობის ელექტრონებისა და ხერვლების სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობა.

6.211. ხოლის ეფექტის გაზომვის დროს  $h = 10$  მმ სიგანისა და  $l = 50$  მმ სიგრძის  $p$ -ტიპის ნახევარგამტარული ფირფიტა  $B = 5,0$  კგს



ნახ. 6.11.

ინდუქციის მაგნიტურ ველში მოათავსეს. ფირფიტის ბოლოებზე  $U = 10$  ვ პოტენციალთა სხვაობაა მოდებული. ამ დროს ხოლისეული პოტენციალ-თა სხვაობა  $U_H = 50$  მვ-ის ტოლი აღმოჩნდა, კუთრი წინაღობა კი  $\rho = 2,5$  ომი. სმ. იპოვეთ ხერვლების კონცენტრაცია და მათი ძვრადობა.

6.212. ხოლის ეფექტის გაზომვის დროს  $B = 5,0$  კგს ინდუქციის მაგნიტურ ველში ელექტრული ველის განივი დაძაბულობა წმინდა უმინარეო გერმანიუმში აღმოჩნდა  $\eta = 10$ -ჯერ ნაკლები ელექტრული ველის გრძივ დაძაბულობაზე. იპოვეთ სხვაობა გამტარობის ელექტრონებისა და ხერვლების ძვრადობებს შორის მოცემულ ნახევარგამტარში.

6.213. ნახევარგამტარში, რომელშიც გამტარობის ელექტრონების ძვრადობა  $\eta = 2,0$ -ჯერ მეტია ხერვლების ძვრადობაზე, ხოლის ეფექტი არ შეიმჩნევა. იპოვეთ ხერვლებისა და გამტარობის ელექტრონების კონცენტრაციათა შეფარდება ამ ნახევარგამტარში.

## 6.5. რადიოაქტიურობა

● რადიოაქტიური დაშლის ძირითადი კანონი:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (6.5 \text{ ა})$$

● კავშირი დაშლის  $\lambda$  მუდმივას, სიცოცხლის საშუალო  $\tau$  ხანგრძლივობასა და ნახევრად დაშლის  $T$  პერიოდს შორის:

$$\lambda = \frac{1}{\tau} = \frac{\ln 2}{T} \quad (6.5 \text{ ბ})$$

● კუთრი აქტიურობა წარმოადგენს ნივთიერების ერთეულოვანი მასის აქტიურობას.

6.214. ცნობილია ბირთვის დაშლის მუდმივა  $\lambda$ . განსაზღვრეთ:

ა) ალბათობა იმისა, რომ ის დაიშლება 0-დან  $t$ -მდე დროის შუალედში;

ბ) მისი სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობა  $\tau$ .

† 6.215. კობალტის რადიოაქტიური ბირთვების რა ნაწილი დაიშლება ერთ თვეში, თუ მათი ნახევრად დაშლის პერიოდი 71,3 დღეა?

† 6.216. რამდენ  $\beta$  ნაწილაკს გამოასხივებს ერთი საათის განმავლობაში  $\text{Na}^{24}$  იზოტოპის 1,0 მკგ, რომლის ნახევრად დაშლის პერიოდი 15 სთ-ია?

6.217.  $\text{Mg}^{23}$  რადიოიზოტოპის  $\beta$  დაშლის შესწავლის დროს  $t = 0$  მომენტში ჩართეს მთვლეელი.  $t_1 = 2,0$  წმ მომენტისათვის მან აღრიცხა  $N_1$   $\beta$  ნაწილაკი, ხოლო  $t_2 = 3t_1$  მომენტისათვის 2,66-ჯერ მეტი. იპოვეთ მოცემული ბირთვების სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობა.

6.218. რომელიმე პრეპარატის აქტიურობა 7,0 დღე-ღამის განმავლობაში 2,5-ჯერ მცირდება. იპოვეთ მისი ნახევრად დაშლის პერიოდი.

6.219. საწყის მომენტში რომელიმე რადიოიზოტოპის აქტიურობა შეადგენდა 650 ნაწ./წთ. როგორი იქნება ამ პრეპარატის აქტიურობა მისი ნახევრად დაშლის პერიოდის ნახევრის განმავლობაში?

6.220. იპოვეთ  $\text{Cs}^{55}$  რადიოაქტიური იზოტოპის დაშლის მუდმივა და სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობა, თუ ცნობილია, რომ მისი აქტიურობა ერთ საათში 4,0%-ით მცირდება. დაშლის პროდუქტი რადიოაქტიური არაა.

6.221. 1,0 გ მასის  $\text{U}^{238}$  პრეპარატი ერთ წამში ასხივებს  $1,24 \cdot 10^4$   $\alpha$ -ნაწილაკს. იპოვეთ ამ იზოტოპის ნახევრად დაშლის პერიოდი და პრეპარატის აქტიურობა.

6.222. განსაზღვრეთ ძველი ხის საგნების ასაკი, თუ ცნობილია, რომ მათში  $\text{C}^{14}$  იზოტოპის კუთრი აქტიურობა შეადგენს ახლად მოჭრილ ხეში მყოფი იზოტოპის კუთრი აქტიურობის  $3/5$ .  $\text{C}^{14}$  ბირთვების ნახევრად დაშლის პერიოდი 5570 წელია.

6.223. ურანის მადანში  $\text{U}^{238}$  ბირთვების რიცხვთა შეფარდება  $\text{Pb}^{206}$  ბირთვების რიცხვთან უდრის  $\eta = 2,8$ . შეაფასეთ მადნის ასაკი, თუ ურანის მწკრივის დაშლის საბოლოო პროდუქტია  $\text{Pb}^{206}$ .  $\text{U}^{238}$  ბირთვების ნახევრად დაშლის პერიოდი  $4,5 \cdot 10^9$  წელი.

6.224. გამოიანგარიშეთ  $\text{Na}^{24}$  და  $\text{U}^{235}$  იზოტოპების კუთრი აქტიურობა, თუ მათი ნახევრად დაშლის პერიოდები შესაბამისად 15 სთ და  $7,1 \cdot 10^8$  წელია.

6.225. ადამიანის სისხლში შეიყვანეს  $A = 2,0 \cdot 10^3$  დაშლ./წმ აქტიუ-

რობის მქონე  $\text{Na}^{24}$  რადიოიზოტოპის შემცველი ხსნარის მცირე რაოდენობა.  $t=5,0$  სთ-ის შემდეგ აღებული 1 სმ<sup>3</sup> სისხლის აქტიურობა აღმოჩნდა  $A'=16$  დაშლ./ (წთ. სმ<sup>3</sup>). მოცემული რადიოიზოტოპის ნახევრად დაშლის პერიოდი  $T=15$  სთ-ს. იპოვეთ ადამიანის სისხლის მოცულობა.

6.226. აქტიური  $\text{Co}^{58}$  და არააქტიური  $\text{Co}^{59}$  კობალტისაგან შემდგარი პრეპარატის კუთრი აქტიურობა უდრის  $2,2 \cdot 10^{12}$  დაშლ./ (წმ. გ).  $\text{Co}^{58}$  ნახევრად დაშლის პერიოდი 71,3 დღე-ღამეა. იპოვეთ ამ პრეპარატში აქტიური კობალტის მასის შეფარდება პრეპარატის მასასთან (%-ში).

6.227. რომელიღაც პრეპარატი შეიცავს სხვადასხვა ნახევრად დაშლის პერიოდის მქონე ორ  $\beta$ -აქტიურ კომპონენტს. გაზომვებმა მოგვეცეს პრეპარატის აქტიურობის ნატურალური ლოგარითმის შემდეგი დამოკიდებულება  $t$ (სთ) დროზე:

$t$	0	1	2	3	5	7	10	14	20
$\ln A$	4,10	3,60	3,10	2,60	2,06	1,82	1,60	1,32	0,90

იპოვეთ ორივე კომპონენტის ნახევრად დაშლის პერიოდი და ამ კომპონენტთა რადიოაქტიური ბირთვების რიცხვთა შეფარდება  $t=0$  მომენტში.

6.228. ბირთვულ რეაქტორში  $q=2,7 \cdot 10^9$  ბირთ./წმ მუდმივი სიჩქარით წარმოიქმნება  $\text{P}^{32}$  რადიოიზოტოპი, რომლის ნახევრად დაშლის პერიოდი  $T=14,3$  დღე-ღამეა. რადიოიზოტოპის წარმოქმნიდან რა ხნის შემდეგ გახდება მისი აქტიურობა  $A=1,0 \cdot 10^9$  დაშლ./წმ?

6.229.  $\lambda_1$  დაშლის მუდმივას მქონე  $A_1$  რადიოიზოტოპი გარდაიქმნა  $\lambda_2$  დაშლის მუდმივას მქონე  $A_2$  რადიოიზოტოპად. გაითვალისწინეთ, რომ საწყის მომენტში პრეპარატი შეიცავდა მხოლოდ  $A_1$  იზოტოპის ბირთვებს და იპოვეთ:

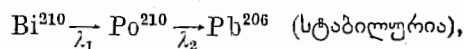
ა)  $A_2$  რადიოიზოტოპის დაგროვების კანონი;

ბ) რა ხნის შემდეგ მიაღწევს  $A_2$  რადიოიზოტოპის აქტიურობა მაქსიმუმს?

6.230. ამოხსენით წინა ამოცანა, თუ  $\lambda_1=\lambda_2=\lambda$ .

6.231.  $A_1$  რადიოიზოტოპი განიცდის გარდაქმნას  $A_1 \rightarrow A_2 \rightarrow A_3$  (სტაბილურია) ჯაჭვის სახით. შესაბამისი დაშლის მუდმივებია  $\lambda_1$  და  $\lambda_2$ . ჩათვალით, რომ საწყის მომენტში პრეპარატი შეიცავდა მხოლოდ  $A_1$  იზოტოპის  $N_{10}$  ბირთვს და იპოვეთ  $A_3$  სტაბილური იზოტოპის დაგროვების კანონი.

6.232.  $\text{Bi}^{210}$  რადიოაქტიური იზოტოპი იშლება შემდეგი ჯაჭვის სახით



სადაც  $\lambda_1$  და  $\lambda_2$  დაშლის მუდმივებია.  $\lambda_1=1,60 \cdot 10^{-6}$  წმ<sup>-1</sup>, ხოლო  $\lambda_2=5,80 \cdot 10^{-8}$  წმ<sup>-1</sup>. გამოთვალეთ 1,00 მგ მასის  $\text{Bi}^{210}$  პრეპარატის  $\alpha$  და  $\beta$  აქტიურობა მისი დამზადებიდან ერთი თვის შემდეგ.

6.233. ა) რა იზოტოპი წარმოიქმნება  $\text{Ra}^{226}$   $\alpha$ -აქტიური იზოტოპიდან ხუთი  $\alpha$ -დაშლისა და ოთხი  $\beta$ -დაშლის შემდეგ?

ბ) რამდენ  $\alpha$ - და  $\beta$ -დაშლას განიცდის  $\text{U}^{238}$ , თუ საბოლოოდ ის გარდაიქმნება  $\text{Pb}^{206}$  სტაბილურ იზოტოპად?

6.234.  $\text{P}^{300}$  უძრავმა ბირთვმა გამოასხივა  $T_\alpha=5,77$  მგევ კინეტიკური ენერგიის  $\alpha$ -ნაწილაკი. იპოვეთ შეილობრივი ბირთვის უკუტყემის სიჩქარე. ამ პროცესში გამოყოფილი სრული ენერგიის რა ნაწილს შეადგენს შეილობრივი ბირთვის უკუტყემის ენერგია?

6.235. განსაზღვრეთ სითბოს რაოდენობა, რომელსაც გამოყოფს  $\text{P}^{210}$  პრეპარატის 1,00 მგ ამ ბირთვების სიცოცხლის საშუალო დროის განმავლობაში, თუ ცნობილია, რომ გამოტყორცნილი  $\alpha$ -ნაწილაკების კინეტიკური ენერგია უდრის 5,3 მგევ-ს და პრაქტიკულად ყველა შეილობრივი ბირთვი უშუალოდ ძირითად მდგომარეობაში წარმოიქმნება.

6.236.  $\text{P}^{210}$  ბირთვების  $\alpha$ -დაშლას (ძირითადი მდგომარეობიდან) თან ახლავს 5,30 მგევ და 4,50 მგევ კინეტიკური ენერგიის მქონე  $\alpha$ -ნაწილაკების ორი ჯგუფის გამოსხივება. ამ ნაწილაკების გამოსხივების შედეგად შეილობრივი ბირთვები, შესაბამისად, ძირითად და აგზნებულ მდგომარეობაში აღმოჩნდებიან. იპოვეთ აგზნებული ბირთვების მიერ გამოსხივებული  $\gamma$ -კვანთების ენერგია.

6.237. ჰაერში  $\alpha$ -ნაწილაკების საშუალო განარბენი ნორმალურ პირობებში  $R=0,98 \cdot 10^{-27}$  სმ ფორმულით განისაზღვრება, სადაც  $\sigma_0$  (სმ/წმ)  $\alpha$ -ნაწილაკის სიჩქარეა. ისარგებლეთ ამ ფორმულით და იპოვეთ 7,0 მგევ საწყისი კინეტიკური ენერგიის მქონე  $\alpha$ -ნაწილაკისათვის:

ა) საშუალო განარბენი;

ბ) მოცემული  $\alpha$ -ნაწილაკის მიერ მთელ  $R$  გზაზე და მის პირველ ნახევარზე წარმოქმნილი წყვილი იონების საშუალო რაოდენობა. ჩათვალით, რომ ერთი წყვილი იონის წარმოქმნის ენერგია უდრის 34 ევ-ს.

6.238. იპოვეთ  $\beta^-$  და  $\beta^+$  დაშლისა და  $K$ -წატაცების დროს გამოყოფილი ენერგია  $Q$ , თუ ცნობილია დედობრივი ატომის მასა  $M_e$ , შეილობრივი ატომის მასა  $M_z$  და ელექტრონის მასა  $m$ .

6.239. ცხრილიდან აღებული ატომთა მასების მნიშვნელობების დახმარებით იპოვეთ  $\text{Be}^{10}$  ბირთვების მიერ გამოტყორცნილი  $\beta$ -ნაწილაკების მაქსიმალური კინეტიკური ენერგია და უშუალოდ ძირითად მდგომარეობაში წარმოქმნილი შეილობრივი ბირთვების უკუტყემის შესაბამისი კინეტიკური ენერგია.

6.240. შეაფასეთ  $m=1,0$  მგ მასის  $\beta^-$  აქტიური  $\text{Na}^{24}$  პრეპარატის მიერ გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა კალორიმეტრში ერთი დღე-ღამის განმავლობაში. გაითვალისწინეთ, რომ  $\beta$ -ნაწილაკების კინეტიკური ენერგია საშუალოდ, მოცემული დაშლის დროს, მაქსიმალურად შესაძლო ენერგიის  $1/3$ -ის ტოლია.

6.241. ცხრილიდან აღებული ატომთა მასების მნიშვნელობების საშუალებით გამოიანგარიშეთ  $C^{11}$  ბირთვის მიერ გამოტყორცნილი პოზიტრონისა და ნეიტრონის კინეტიკური ენერგია იმ შემთხვევაში, როდესაც შეილობრივი ბირთვი არ განიცდის უკუტყეპას.

6.242. იპოვეთ უკუტყეპის ბირთვის ენერგია  $Na^{13}$  ბირთვის პოზიტრონული დაშლის დროს იმ შემთხვევაში, როდესაც პოზიტრონის ენერგია მაქსიმალურია.

6.243. ცხრილიდან აღებული ატომთა მასების მნიშვნელობების დახმარებით განსაზღვრეთ  $Be^7$  ატომში  $K$ -წატაცების შედეგად წარმოქმნილი ბირთვის სიჩქარე, თუ შეილობრივი ბირთვი უშუალოდ ძირითად მდგომარეობაში აღმოჩნდა.

6.244. ძირითად მდგომარეობაში გადასვლისას აგზნებული  $Ag^{109}$  ბირთვები ასხივებენ ან 87 კეე ენერგიის  $\gamma$ -კვანტებს ან კონვერსიულ  $K$ -ელექტრონებს (მათი ბმის ენერგიაა 26 კეე). განსაზღვრეთ ამ ელექტრონების სიჩქარე.

6.245.  $E=129$  კეე აგზნების ენერგიის მქონე თავისუფალმა უძრავმა  $Ir^{191}$  ბირთვმა ძირითად მდგომარეობაში გადასვლისას გამოასხივა  $\gamma$ -კვანტი. გამოიანგარიშეთ ბირთვის უკუტყეპის შედეგად წარმოქმნილი  $\gamma$ -კვანტის ენერგიის ფარდობითი ცვლილება.

6.246. როგორი ფარდობითი სიჩქარით უნდა უახლოვდებოდნენ ერთმანეთს თავისუფალი  $Ir^{191}$  ბირთვებისაგან შემდგარი წყარო და შთანთქმელი, რომ დავაკვირდეთ  $\epsilon=129$  კეე ენერგიის  $\gamma$ -კვანტების მაქსიმალური შთანთქმის?

6.247.  $\gamma$ -კვანტების წყარო შთანთქმელზე  $\mu=20$  მ-ით მაღლაა მოთავსებული. რა სიჩქარით უნდა გადაადგილდეს წყარო ზევით, რომ შთანთქმელის ადგილზე მთლიანად დაკომპენსირდეს დედამიწის მიზიდულობის ველით გამოწვეული  $\gamma$ -კვანტების ენერგიის გრავიტაციული ცვლილება?

6.248. რა მინიმალურ სიმაღლეზე უნდა ავითანოთ  $Zn^{67}$ -ის აგზნებული ბირთვების შემცველი  $\gamma$ -კვანტების წყარო, რომ დედამიწის ზედაპირზე რეგისტრაციის დროს მესბაუერის ხაზის გრავიტაციული წანაცვლება ამ ხაზის სიგანეს აღემატოს? ცნობილია, რომ რეგისტრირებული  $\gamma$ -კვანტების ენერგია  $\epsilon=93$  კეე-ს და ისინი წარმოიქმნებიან  $Zn^{67}$  ბირთვების ძირითად მდგომარეობაში გადასვლის დროს, ხოლო აგზნებული მდგომარეობის სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობა  $\tau=14$  მკწმ-ს.

## 6.6. ბირთვული რეაქციები

● ბირთვის ბმის ენერგია:

$$E_{\text{ბმ}} = Zm_H + (A-Z)m_n - M, \quad (6.6 \text{ ა})$$

სადაც  $Z$  არის ბირთვის მუხტი ( $e$  ერთეულში),  $A$ —მასური რიცხვი,  $m_H$ ,  $m_n$  და  $M$ —წყალბადის ატომის, ნეიტრონისა და მოცემული ბირთვის ატომის მასები.

გამოთვლების დროს სასარგებლოა შემდეგი ფორმულის გამოყენება:

$$E_{\text{ბმ}} = Z\Delta H + (A-Z)\Delta n - \Delta, \quad (6.6 \text{ ბ})$$

სადაც  $\Delta H$ ,  $\Delta n$  და  $\Delta$ —წყალბადის ატომის, ნეიტრონისა და მოცემული ბირთვის შესაბამისი ატომის მასის სიჭარბეა.

● ბირთვული რეაქციის ენერგეტიკული სქემა

$$m + M \rightarrow M^* \rightarrow m' + M' + Q \quad (6.6 \text{ გ})$$

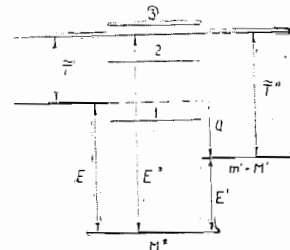
ნაჩვენებია 6.12 ნახაზზე, სადაც  $m + M$  და  $m' + M'$  ნაწილაკების უძრავობის მასათა ჯამია რეაქციამდე და რეაქციის შემდეგ,  $\tilde{T}$  და  $\tilde{T}'$ —ნაწილაკების ჯამური კინეტიკური ენერგია რეაქციამდე და რეაქციის შემდეგ (ინერციის ცენტრის სისტემაში),  $E^*$ —შუალედური ბირთვის აგზნების ენერგია,  $Q$ —რეაქციის ენერგია,  $E$  და  $E'$ — $m$  და  $m'$  ნაწილაკთა ბმის ენერგია შუალედურ ბირთვში, 1, 2, 3—შუალედური ბირთვის ენერგიის დონეები.

● დაცემული ნაწილაკის ზღურბლური (მიმალური) კინეტიკური ენერგია, რომლის დროსაც შესაძლებელი ხდება ენდოენერგეტიკული ბირთვული რეაქცია:

$$T_{\text{ზღ}} = \frac{m+M}{M} |Q|, \quad (6.6 \text{ დ})$$

სადაც  $m$  და  $M$  დაცემული ნაწილაკისა და სამიზნე ბირთვის მასაა.

● ბირთვული ენერგიის გამოსვლა—ნაწილაკთა ფარდობითი ნაწილი, რომლებმაც განიცადეს ბირთვული ურთიერთქმედება.



ნახ. 6.12.

6.249.  $T_{\alpha}=7,0$  მგეე კინეტიკური ენერგიის მქონე  $\alpha$ -ნაწილაკი დრეკადად გაიბნა  $Li^6$ -ის უძრავ ბირთვზე. განსაზღვრეთ უკუტყეპის ბირთვის კინეტიკური ენერგია, თუ ორივე ნაწილაკის მიმართულებებს შორის გაფანტვის კუთხე  $\varphi=60^\circ$ .

6.250. ნეიტრონმა განიცადა დრეკადი დაჯახება უძრავ დეიტონთან. განსაზღვრეთ ნეიტრონის მიერ დაკარგული კინეტიკული ენერგიის ნაწილი:

ა) ცენტრალური დაჯახების დროს;

ბ) მართი კუთხით გაფანტვის დროს.

6.251. განსაზღვრეთ ის მინიმალური კუთხე, რომელზეც გაიბნევა დეიტონი უძრავ პროტონთან დრეკადი დაჯახების დროს.

6.252. შეფასეთ ბირთვის სიმკვრივე და ნუკლონების რაოდენობა ბირთვის მოცულობის ერთეულში, თუ ბირთვის რადიუსი  $R=0,13 \sqrt{A}$ , სადაც  $A$  მასური რიცხვია.

6.253. ჩაწერეთ გამოტოვებული აღნიშვნა ( $x$ ) შემდეგ ბირთვულ რეაქციებში:

ა)  $B^{10}(x, \alpha)Be^8$ , ბ)  $O^{17}(d, n)x$ ,

გ)  $Na^{23}(p, x)Ne^{20}$ , დ)  $x(p, n)Ar^{37}$ .



6.254. აჩვენეთ, რომ  $A$  მასური რიცხვისა და  $Z$  მუხტის მქონე ბირთვის ბმის ენერგია შეიძლება განისაზღვროს (6.6 ბ) ფორმულით.

6.255. იპოვეთ იმ ბირთვის ბმის ენერგია, რომელსაც პროტონებისა და ელექტრონების ერთი და იგივე რაოდენობა აქვს და რომლის რადიუსიც  $1,5$ -ჯერ ნაკლებია  $Al^{27}$  ბირთვის რადიუსზე.

6.256. ცხრილიდან აღებული ატომთა მასების მნიშვნელობების დახმარებით იპოვეთ:

- ა)  $O^{16}$  ბირთვში ერთ ნუკლონზე მოსული ბმის საშუალო ენერგია;
- ბ)  $B^{11}$  ბირთვში ნეიტრონისა და  $\alpha$ -ნაწილაკის ბმის ენერგია;
- გ) ენერგია, რომელიც აუცილებელია  $O^{16}$  ბირთვის გასაყოფად ოთხ ერთნაირ ნაწილაკად.

6.257. იპოვეთ სხვაობა ნეიტრონისა და პროტონის ბმის ენერგიებს შორის  $B^{11}$ -ის ბირთვში. ახსენით მათი განსხვავების მიზეზი.

6.258. გამოიანგარიშეთ ენერგია, რომელიც აუცილებელია  $Ne^{20}$  ბირთვის გასაყოფად ორ  $\alpha$ -ნაწილაკად და  $C^{12}$  ბირთვად, თუ ცნობილია, რომ  $Ne^{20}$ ,  $He^4$  და  $C^{12}$  ბირთვებში ერთ ნუკლონზე მოსული ენერგია, შესაბამისად,  $8,03$  მგევ,  $7,07$  მგევ, და  $7,68$  მგევ-ის ტოლია.

6.259. გამოიანგარიშეთ მ. ა. ე.-ში მასა:

- ა)  $Li^6$  ატომისა, რომლის ბირთვის ბმის ენერგიაა  $41,3$  მგევ;
- ბ)  $C^{10}$  ბირთვისა, რომელშიც ერთ ნუკლონზე მოსული ბმის ენერგია  $6,04$  მგევ-ის ტოლია.

6.260. ცნობილია  $A_1 + A_2 \rightarrow A_3 + A_4$  ბირთვულ რეაქციაში მონაწილე ბირთვების ბმის ენერგიები  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$  და  $E_4$ . იპოვეთ ამ რეაქციის ენერგია.

6.261. თუ გაითვალისწინებთ, რომ  $U^{235}$  ბირთვის გაყოფის ერთი აქტის დროს თავისუფლდება  $200$  მგევ ენერგია, განსაზღვრეთ:

ა) ერთი კილოგრამი  $U^{235}$  იზოტოპის დაწვის დროს გამოყოფილი ენერგია და  $30$  კვ/გ თბოუნარიანობის მქონე ქვანახშირის მასა, რომელიც სითბური თვალსაზრისით ერთი კილოგრამი  $U^{235}$  იზოტოპის ეკვივალენტურია;

ბ)  $U^{235}$  იზოტოპის მასა, რომელმაც განიცადა გაყოფა  $30$  კილოტონა ტროტილის ეკვივალენტის მქონე ბომბის აფეთქებისას, თუ ტროტილის სითბური ეკვივალენტი  $4,1$  კვ/გ-ის ტოლია.

6.262. რა რაოდენობის სითბო გამოიყოფა  $H^2$  დეიტერიუმიდან ერთი გრამი  $He^4$  წარმოქმნის დროს? იპოვეთ ქვანახშირის მასა, რომელიც სითბური თვალსაზრისით მიღებული სიდიდის ეკვივალენტურია. ქვანახშირის თბოუნარიანობაა  $30$  კვ/გ.

6.263. ცხრილიდან აღებული ატომთა მასების მნიშვნელობების დახმარებით გამოიანგარიშეთ ერთ ნუკლონზე მოსული ენერგია, რომელიც გამოიყოფა  $Li^6 + H^2 \rightarrow 2He^4$  თერმობირთვული რეაქციის დროს. მიღებული

სიდიდე შეადარეთ ერთ ნუკლონზე მოსულ ენერგიას. რომელიც გამოიყოფა  $U^{235}$ -ის ბირთვის დაშლის დროს (იხ. ამოცანა 6.261).

6.264. განსაზღვრეთ  $Li^7 + p \rightarrow 2He^4$  რეაქციის ენერგია, თუ ცნობილია, რომ  $Li^7$  და  $He^4$  ბირთვებში ერთ ნუკლონზე მოსული ენერგია შესაბამისად  $5,60$  მგევ და  $7,06$  მგევ-ის ტოლია.

6.265. იპოვეთ  $N^{14}(\alpha, p)O^{17}$  რეაქციის ენერგია, თუ დაცემული  $\alpha$ -ნაწილაკის კინეტიკური ენერგიაა  $T_\alpha = 4,0$  მგევ, ხოლო  $\alpha$ -ნაწილაკის მოძრაობის მიმართულებისადმი  $\theta = 60^\circ$  კუთხით გამოტყორცნილი პროტონის კინეტიკური ენერგია  $T_p = 2,09$  მგევ.

6.266. ცხრილიდან აღებული ატომთა მასების მნიშვნელობების დახმარებით განსაზღვრეთ შემდეგი რეაქციების ენერგია:

- ა)  $Li^7(p, n)Be^7$ ,    ბ)  $Be^9(n, \gamma)Be^{10}$ ,
- გ)  $Li^7(\alpha, n)B^{10}$ ,    დ)  $O^{16}(d, \alpha)N^{14}$ .

6.267. ცხრილიდან აღებული ატომთა მასების მნიშვნელობების დახმარებით იპოვეთ  $B^{10}(n, \alpha)Li^7$  რეაქციის პროდუქტების სიჩქარე, თუ რეაქცია მიმდინარეობს ბორის უძრავ ბირთვთან ძალიან ნელი ნეიტრონების ურთიერთქმედების შედეგად.

6.268. პროტონები, რომლებიც უძრავ ლითიუმის სამიზნეს ეჯახებიან, იწვევენ  $Li^7(p, n)Be^7$  რეაქციას. როგორი კინეტიკური ენერგია უნდა ჰქონდეს პროტონს, რომ წარმოქმნილი ნეიტრონი უძრავი აღმოჩნდეს?

6.269.  $T = 5,3$  მგევ კინეტიკური ენერგიის მქონე  $\alpha$ -ნაწილაკი იწვევს  $Q = +5,7$  მგევ ენერგიის  $Be^9(d, n)C^{12}$  ბირთვულ რეაქციას. იპოვეთ  $\alpha$ -ნაწილაკის მოძრაობის მიმართულებისადმი მართი კუთხით გამოტყორცნილი ნეიტრონის კინეტიკური ენერგია.

6.270.  $T = 1,0$  მგევ კინეტიკური ენერგიის მქონე პროტონები ბომბავენ ლითიუმის სამიზნეს, რის შედეგად აკვირდებიან  $p + Li^7 \rightarrow 2He^4$  რეაქციას. იპოვეთ თითოეული  $\alpha$ -ნაწილაკის კინეტიკური ენერგია და მათი გაფანტვის კუთხე. თუ გაფანტვა სიმეტრიულია დაცემული პროტონების მიმართულების მიმართ.

6.271.  $m$  მასის ნაწილაკის დაჯახება  $M$  მასის უძრავ ბირთვთან იწვევს ენდონერგეტიკულ რეაქციას. აჩვენეთ, რომ ზღურბლური (მინიმალური) კინეტიკური ენერგია, რომლის დროსაც შესაძლებელია ეს რეაქცია. (6.6 დ) ფორმულით განისაზღვრება.

6.272. როგორი კინეტიკური ენერგია უნდა მივიანიჭოთ პროტონს, რომ მან შეძლოს  $E_{\alpha\alpha} = 2,2$  მგევ ბმის ენერგიის მქონე მძიმე წყალბადის უძრავი ბირთვის გახლეჩა?

6.273. ლითიუმისა და ბერილიუმის სამიზნეების პროტონების მონოენერგეტიკული კონი დასხივებისას აღმოჩნდა, რომ რეაქცია  $Li^7(p, n)Be^7$  —  $1,65$  მგევ ხორციელდება, ხოლო  $Be^9(p, n)B^{10}$  —  $1,85$  მგევ — არა. იპოვეთ პროტონების კინეტიკური ენერგიის შესაძლო მნიშვნელობები.

6.274.  $B^{11}$ -ის უძრავ ბირთვებზე ( $n, \alpha$ ) რეაქციის აგზნებისათვის ნეიტრონების ზღურბლური კინეტიკური ენერგია  $T_{ზღ} = 4,0$  მგევ-ს იპოვეთ ამ რეაქციის ენერგია.

6.275. იპოვეთ პროტონების ზღურბლური კინეტიკური ენერგია, რომელიც  $Li^7$ -ის ბირთვებზე ( $p, n$ ) და ( $p, d$ ) რეაქციების აგზნებისათვისაა აუცილებელი.

6.276. ცხრილიდან აღებული ატომთა მასების მნიშვნელობების დახმარებით იპოვეთ  $\alpha$ -ნაწილაკის ზღურბლური კინეტიკური ენერგია, რომელიც  $Li^7(\alpha, n)B^{10}$  ბირთვული რეაქციისათვისაა აუცილებელი. როგორია ამ დროს  $B^{10}$  ბირთვის სიჩქარე?

6.277.  $T = 10$  მგევ კინეტიკური ენერგიის მქონე ნეიტრონი იწვევს  $C^{12}(n, \alpha)Be^9$  ბირთვულ რეაქციას, რომლის ზღურბლი  $T_{ზღ} = 6,17$  მგევ-ს. იპოვეთ დაცემული ნეიტრონების მიმართ მართი კუთხით გამოტყორცნილი  $\alpha$ -ნაწილაკების კინეტიკური ენერგია.

6.278. რამდენი პროცენტით აღემატება  $\gamma$ -კვანტის ზღურბლური ენერგია დეიტონის ბმის ენერგიას ( $E_{ბმ} = 2,2$  მგევ)  $\gamma + H^2 \rightarrow n + p$  რეაქციაში?

6.279.  $H^2$ -ის ბირთვმა ჩაიჭირა  $T = 1,5$  მგევ კინეტიკური ენერგიის მქონე პროტონი: იპოვეთ წარმოქმნილი ბირთვის აგზნების ენერგია.

6.280.  $C^{13}(d, n)N^{14}$  ბირთვული რეაქციის გამოსვლას აქვს მაქსიმუმი და დაცემული დეიტონების  $Ti$  კინეტიკური ენერგიის შემდეგი მნიშვნელობებისათვის: 0,60 მგევ, 0,90 მგევ, 1,55 მგევ და 1,80 მგევ. ცხრილიდან აღებული ატომთა მასების მნიშვნელობების დახმარებით იპოვეთ შუალედური ბირთვის შესაბამისი ენერგეტიკული დონეები.

6.281.  $d = 0,50$  მმ სისქის კადმიუმის ფირფიტის გავლის შემდეგ სითბური ნეიტრონების ვიწრო კონა  $\eta = 360$ -ჯერ სუსტდება. განსაზღვრეთ ამ ნეიტრონების კადმიუმის ბირთვებთან ურთიერთქმედების ეფექტური კვეთა.

6.282. რამდენჯერ შემცირდება სითბური ნეიტრონების ვიწრო კონის ინტენსივობა  $d = 5,0$  სმ სისქის მძიმე წყლის ფენის გავლის შემდეგ, თუ დეიტერიუმისა და უანგბადის ბირთვების ურთიერთქმედების ეფექტური კვეთა სითბური ნეიტრონებისათვის, შესაბამისად,  $\sigma_1 = 7,0$  ბ და  $\sigma_2 = 4,2$  ბ-ის ტოლია.

6.283. სითბური ნეიტრონების ვიწრო კონა გადის რკინის ფირფიტაში, რომლის შთანთქმისა და გაბნევის ეფექტური კვეთა, შესაბამისად,  $\sigma_{\alpha} = 2,5$  ბ და  $\sigma_{\beta} = 11$  ბ-ის ტოლია. განსაზღვრეთ გაბნევის შემდეგ კონიდან გამოვარდნილი ნეიტრონების ფარდობითი ნაწილი, თუ ფირფიტის სისქე  $d = 0,50$  სმ-ს.

6.284. ბირთვული რეაქციის გამოსვლა, რომელიც რადიოაქტიური იზოტოპების წარმოქმნით მიმდინარეობს, შეიძლება დახასიათდეს ორნაირად: ან ბირთვული რეაქციების  $w$  რიცხვის შეფარდებით დაცემულ ნაწილაკთა რიცხვთან, ან  $k$  სიდიდით, რომელიც წარმოადგენს წარმოქმნი-

ლი რადიოიზოტოპის აქტიურობის შეფარდებას დაცემულ ნაწილაკთა რიცხვთან. იპოვეთ:

ა) წარმოქმნილი რადიოიზოტოპის ნახევრად დაშლის პერიოდი, თუ ცნობილია  $w$  და  $k$ ;

ბ)  $Li^7(p, n)Be^7$  რეაქციის გამოსვლა  $w$ , თუ ლითიუმის სამიზნის პროტონების კონით დასხივებისას ( $t = 2,0$  სთ-ის განმავლობაში, როდესაც კონაში დენი  $I = 10$  მკა-ს)  $Be^7$  იზოტოპის აქტიურობა აღმოჩნდა  $A = 1,35 \cdot 10^8$  დაშლ./წთ, ხოლო მისი ნახევრად დაშლის პერიოდი  $T = 53$  დღე-ღამე.

6.285.  $Au^{197}$  სტაბილური იზოტოპისაგან შემდგარ თხელ ოქროს კილიტას, ზედაპირისაღმი ნორმალის გასწვრივ, ასხივებენ  $J = 1,0 \cdot 10^{10}$  ნაწილ./წმ. სმ<sup>2</sup> ნაკადის სიმკვრივის მქონე სითბური ნეიტრონებით. კილიტის მასაა  $m = 10$  მგ. ნეიტრონების ჩაქერის შედეგად წარმოიქმნება  $\beta$ -აქტიური იზოტოპი  $Au^{198}$ , რომლის წარმოქმნის ეფექტური კვეთა  $\sigma = 98$  ბ-ს, ხოლო ნახევრად დაშლის პერიოდი  $T = 2,7$  დღე-ღამეს. იპოვეთ:

ა) დასხივების დრო, რომლის განმავლობაში  $Au^{197}$  ბირთვების რიცხვი  $\eta = 1,0\%$ -ით შემცირდება;

ბ) ხანგრძლივი დასხივების პროცესში წარმოქმნილი  $Au^{198}$  ბირთვების მაქსიმალური რაოდენობა.

6.286. რომელიმე სტაბილური იზოტოპისაგან დამზადებულ თხელ კილიტას ასხივებენ სითბური ნეიტრონებით, რომლებიც ნორმალის გასწვრივ ეცემიან ზედაპირს. ნეიტრონების ჩაქერის შედეგად წარმოიქმნება  $\lambda$  დაშლის მუდმივას მქონე რადიოაქტიური იზოტოპი, იპოვეთ კილიტის ზედაპირის ერთეულზე გაანგარიშებული ამ რადიოიზოტოპების დაგროვების კანონი  $N(t)$ . ნეიტრონების ნაკადის სიმკვრივეა  $J$ , კილიტის ზედაპირის ერთეულზე ბირთვების რაოდენობა— $n$ , ხოლო აქტიური ბირთვების წარმოქმნის ეფექტური კვეთა— $\sigma$ .

6.287. სითბური ნეიტრონების ნაკადი პერპენდიკულარულად ეცემა  $m = 0,20$  გ მასის ოქროს კილიტას  $t = 6,0$  სთ-ის განმავლობაში. დასხივების დამთავრებიდან  $\tau = 12$  სთ-ის შემდეგ კილიტის აქტიურობა აღმოჩნდა  $A = 1,9 \cdot 10^7$  დაშლ./წმ. იპოვეთ ნეიტრონების ნაკადის სიმკვრივე, თუ რადიოაქტიური იზოტოპის ბირთვის ეფექტური კვეთა  $\sigma = 96$  ბ-ს, ხოლო მისი ნახევრად დაშლის პერიოდი  $T = 2,7$  დღე-ღამეს.

6.288. რამდენი ნეიტრონი იქნება მეასე თაობაში, თუ გაყოფა იწყება  $N_0 = 1000$  ნეიტრონიდან და მიმდინარეობს  $k = 1,05$  გამრავლების კოეფიციენტის მქონე გარემოში?

6.289. იპოვეთ  $P = 100$  მგ-ტ სითბური სიმძლავრის მქონე ურანის რეაქტორში დროის ერთეულში წარმოქმნილი ნეიტრონების რაოდენობა, თუ გაყოფის თითოეულ აქტზე მოსული ნეიტრონების საშუალო რიცხვი

$\nu=2,5$ . გაითვალისწინეთ, რომ თითოეული გაყოფის დროს თავისუფლდება  $E=200$  მეგე ენერგია.

**6.290.** სითბურ ნეიტრონებზე აგებულ ბირთვულ რეაქტორში ნეიტრონების ერთი თაობის სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობა  $\tau=0,10$  წმ-ს. გაითვალისწინეთ, რომ გამრავლების კოეფიციენტი  $k=1,010$  და იპოვეთ:

ა) რამდენჯერ გაიზრდება რეაქტორში  $t=1,0$  წთ-ის განმავლობაში ნეიტრონების რაოდენობა და მათი სიმძლავრე;

ბ) რეაქტორის პერიოდი  $T$ , ე. ი. ის დრო, რომლის განმავლობაშიც მისი სიმძლავრე გაიზრდება  $e$ -ჯერ.

### 6.7. ელემენტარული ნაწილაკები

⊗ რელატივისტური ნაწილაკის სრული ენერგია და იმპულსი:

$$E=m_0c^2+T, \quad pc=\sqrt{T(T+2m_0c^2)}, \quad (6.7 \text{ ა})$$

სადაც  $T$  ნაწილაკის კინეტიკური ენერგიაა.

⊗ ნაწილაკთა დაჯახების განხილვის დროს სასარგებლოა შემდეგი ინვარიანტული სიდიდე:

$$E^2-p^2c^2=m_0^2c^4, \quad (6.7 \text{ ბ})$$

სადაც  $E$  და  $p$  არის სისტემის სრული ენერგია და იმპულსი დაჯახებამდე,  $m_0$ —წარმოქმნილი ნაწილაკის უძრავობის მასა.

⊗ უძრავ  $M$ -ნაწილაკზე დაცემული  $m$ -ნაწილაკის ზღურბლური (მინიმალური) კინეტიკური ენერგია, რომელიც  $m+M \rightarrow m_1+m_2+\dots$  ენდოენერგეტიკული რეაქციის წარმოქმნისთვისაა აუცილებელი:

$$T_{\text{ზღ}}=\frac{(m_1+m_2+\dots)^2-(m+M)^2}{2M}c^2, \quad (6.7 \text{ გ})$$

სადაც  $m$ ,  $M$ ,  $m_1$ ,  $m_2, \dots$  შესაბამისი ნაწილაკების უძრავობის მასებია.

⊗ ელემენტარულ ნაწილაკებზე მიწერილი კვანტური რიცხვები:

$Q$ —ელექტრული მუხტი;

$L$ —ლეპტონური მუხტი;

$B$ —ბარიონული მუხტი;

$T$ —იზოტოპური სპინი;  $T_z$ —მისი პროექცია;

$S$ —უცნაურობა:  $S=2\langle Q \rangle - B$ ,

$Y$ —ჰიპერმუხტი;  $Y=B+S$ .

⊗ კავშირი ძლიერ ურთიერთქმედებ ნაწილაკთა კვანტურ რიცხვებს შორის:

$$Q=T_z+\frac{Y}{2}=T_z+\frac{B+S}{2}. \quad (6.7 \text{ დ})$$

⊗ ნაწილაკთა ურთიერთქმედების დროს ადგილი აქვს  $Q$ ,  $L$  და  $B$  მუხტების მუდმივობის კანონს. ძლიერი ურთიერთქმედების დროს ადგილი აქვს აგრეთვე  $S$  (ან  $Y$ ),  $T$  და მისი  $T_z$  პროექციის მუდმივობის კანონს.

**6.291.** გამოიანგარიშეთ პროტონების კინეტიკური ენერგია, თუ მათი იმპულსებია  $0,10$  გეგ/ც,  $1,0$  გეგ/ც, და  $10$  გეგ/ც, სადაც  $e$  არის სინათლის სიჩქარე.

**6.292.** იპოვეთ  $\pi$ -მეზონების მიერ გავლილი საშუალო მანძილი, თუ მათი კინეტიკური ენერგია  $\eta=1,2$ -ჯერ მეტია მათ უძრავობის ენერგიაზე. ძალიან ნელი  $\pi$ -მეზონების სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობა  $\tau_0=25,5$  წმ-ს.

**6.293.**  $T=100$  მეგე კინეტიკური ენერგიის უარყოფითი  $\pi$ -მეზონები გაჩენის ადგილიდან დაშლამდე გადიან  $l=11$  მ მანძილს. იპოვეთ ამ მეზონების სიცოცხლის საკუთარი დრო.

**6.294.** მოცემულია  $T$  კინეტიკური ენერგიის  $\pi$ -მეზონების ვიწრო კონა, რომელთა უძრავობის ენერგია კინეტიკურ ენერგიას ეთანაბრება. იპოვეთ ნაწილაკთა ნაკადების შეფარდება ერთიმეორესთან  $l=20$  მ მანძილით დაშორებულ კონის კვეთებში. ამ მეზონების სიცოცხლის საკუთარი საშუალო დრო  $\tau_0=25,5$  წმ-ს.

**6.295.** გაჩერებული  $\pi^+$ -მეზონი დაიშალა მიუონად და ნეიტრინოდ. იპოვეთ მიუონის კინეტიკური ენერგია და ნეიტრინოს ენერგია.

**6.296.** იპოვეთ გაჩერებული  $\Sigma^-$ -ჰიპერონის დაშლის დროს ( $\Sigma^- \rightarrow n + \pi^-$ ) წარმოქმნილი ნეიტრონის კინეტიკური ენერგია.

**6.297.** გაჩერებული დადებითი მიუონი პოზიტრონად და ორ ნეიტრინოდ დაიშალა. იპოვეთ პოზიტრონის შესაძლო მაქსიმალური კინეტიკური ენერგია.

**6.298.** უძრავი ნეიტრალური ნაწილაკი დაიშალა  $T=5,3$  მეგე კინეტიკური ენერგიის მქონე პროტონად და  $\pi^-$ -მეზონად. იპოვეთ ამ ნაწილაკის მასა. რა ნაწილაკია ეს?

**6.299.**  $T=50$  მეგე კინეტიკური ენერგიის მქონე მოძრავი უარყოფითი  $\pi$ -მეზონი დაიშალა მიუონად და ნეიტრინოდ. იპოვეთ  $\pi$ -მეზონის მოძრავობის მიმართულებისადმი მართი კუთხით გამოტყორცნილი ნეიტრინოს ენერგია.

**6.300.**  $T_\Sigma=320$  მეგე კინეტიკური ენერგიის მქონე მოძრავი  $\Sigma^+$ -ჰიპერონი დაიშალა ნეიტრალურ ნაწილაკად და  $\pi^+$ -მეზონად, რომელიც  $T_\pi=42$  მეგე კინეტიკური ენერგიით გამოიტყორცნება ჰიპერონის მოძრავობის მიმართულებისადმი მართი კუთხით. იპოვეთ ნეიტრალური ნაწილაკის უძრავობის მასა (მეგე-ში).

**6.301.** მოძრავი ნეიტრალური  $\pi$ -მეზონი ერთნაირი ენერგიის მქონე ორ  $\gamma$ -კვანტად დაიშალა. მათ ზეიმართულებებს შორის კუთხე  $\varphi=60^\circ$ . იპოვეთ  $\pi$ -მეზონის კინეტიკური ენერგია და თითოეული  $\gamma$ -კვანტის ენერგია.

**6.302.**  $m$  უძრავობის მასის მქონე რელატივისტური ნაწილაკი უძრავ  $M$  მასის ნაწილაკთან დაჯახების შედეგად იწვევს ახალი ნაწილაკების გაჩენის რეაქციას:  $m+M \rightarrow m_1+m_2+\dots$ , სადაც მარჯვნივ ჩაწერილია წარმოქმნილი ნაწილაკების უძრავობის მასები. ისარგებლოთ  $E^2-p^2c^2$  სიდიდის ინვარიანტობით და აჩვენეთ, რომ  $m$  ნაწილაკის ზღურბლური კი-

ნეტიკური ენერგია ამ რეაქციისათვის (2.7 გ) ფორმულით განისაზღვრება.

6.303.  $T=750$  კეე კინეტიკური ენერგიის პოზიტრონი ეჯახება უძრავ თავისუფალ ელექტრონს. ანიჰილაციის შედეგად წარმოიქმნება ერთნაირი ენერგიის ორი  $\gamma$ -კვანტი. განსაზღვრეთ კუთხე მათ მიმართულებებს შორის.

6.304. იპოვეთ  $\gamma$ -კვანტის ზღურბლური ენერგია, რომელიც აუცილებელია შემდეგი წყვილის წარმოქმნისათვის:

ა) ელექტრონ-პოზიტრონი უძრავი ელექტრონის ველში;

ბ)  $\pi^- \rightarrow \pi^+$  მეზონები უძრავი პროტონის ველში.

6.305.  $T$  კინეტიკური ენერგიის პროტონები ეჯახებიან უძრავ წყალბადის სამიზნეს. იპოვეთ შემდეგი რეაქციების ზღურბლური მნიშვნელობები:

ა)  $p + p \rightarrow p + p + p + \bar{p}$ , ბ)  $p + p \rightarrow p + p + \pi^0$ .

6.306. წყალბადის სამიზნეს ასხივებენ  $\pi^-$  მეზონებით. გამოიანგარიშეთ ამ მეზონების კინეტიკური ენერგიების ზღურბლური მნიშვნელობები, რომელთათვისაც შესაძლებელია შემდეგი რეაქციების მიმდინარეობა:

ა)  $\pi^- + p \rightarrow K^+ + \Sigma^-$ , ბ)  $\pi^0 + p \rightarrow K^+ + \Lambda^0$ .

6.307. იპოვეთ ნეიტრალური ელემენტარული ნაწილაკის უცნაურობა  $S$  და ჰიპერმუხტი  $Y$ , თუ მისი იზოტოპური სპინის პროექცია  $T_z = +1/2$ . ხოლო ბარიონული მუხტი  $B = +1$ . რა ნაწილაკია ეს?

6.308. ქვემოთ ჩამოთვლილი პროცესებიდან რომელია აკრძალული ლეპტონური მუხტის მუდმივობის კანონით:

- |                                            |                                                |
|--------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 1) $n \rightarrow p + e + \nu$ ;           | 4) $p + e^- \rightarrow n + \nu$ ;             |
| 2) $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + e^- + e^+$ ; | 5) $\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu + \bar{\nu}$ ; |
| 3) $\pi^- \rightarrow \mu^- + \nu$ ;       | 6) $K^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}$ ;       |

6.309. ქვემოთ ჩამოთვლილი პროცესებიდან რომელს კრძალავს უცნაურობის მუდმივობის კანონი:

- |                                             |                                                 |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1) $\pi^- + p \rightarrow \Sigma^- + K^+$ ; | 4) $n + p \rightarrow \Lambda^0 + \Sigma^+$ ;   |
| 2) $\pi^- + p \rightarrow \Sigma^+ + K^-$ ; | 5) $\pi^- + n \rightarrow \Xi^- + K^+ + K^-$ ;  |
| 3) $\pi^- + p \rightarrow K^+ + K^- + n$ ;  | 6) $K^- + p \rightarrow \Omega^- + K^+ + K^0$ ; |

6.310. მიუთითეთ ქვემოთ ჩამოთვლილი პროცესების ამკრძალავი მიზეზები:

- |                                                 |                                                      |
|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 1) $\Sigma^- \rightarrow \Lambda^0 + \pi^-$ ;   | 4) $n + p \rightarrow \Sigma^+ + \Lambda^0$ ;        |
| 2) $\pi^- + p \rightarrow K^+ + K^-$ ;          | 5) $\pi^- \rightarrow \mu^- + e^+ + e^-$ ;           |
| 3) $K^- + n \rightarrow \Omega^- + K^+ + K^0$ ; | 6) $\mu^- \rightarrow e^- + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$ . |

## პასუხები და ამოხსნები

1.1.  $v = l/2\pi = 3,0$  კმ/სთ.

1.2.  $\langle v \rangle = 2v_0 (v_1 + v_2) / (2v_0 + v_1 + v_2)$

1.3.  $\Delta t = \tau \sqrt{1 - 4\langle v \rangle / w\tau} = 15$  წმ.

1.4. ა) 10 სმ/წმ; ბ) 25 სმ/წმ; გ)  $t_0 = 16$  წმ; დ) 2,5 და 0,7 სმ/წმ.

1.5.  $(r_1 - r_2) / |r_1 - r_2| = (v_2 - v_1) / |v_2 - v_1|$ .

1.6.  $v' = \sqrt{v_0^2 + v^2 + 2v_0 v \cos \varphi} \approx 40$  კმ/სთ,  $\varphi' = 19^\circ$ .

1.7.  $u = \frac{v_0}{(1 - v_0^2/v'^2)^{1/2} - 1} = 3,0$  კმ/სთ.

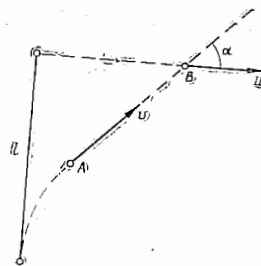
1.8.  $\tau_A/\tau_B = \eta / \sqrt{\eta^2 - 1} = 1,8$ ,

1.9.  $\vartheta = \arcsin(1/\eta) + \pi/2 = 120^\circ$ .

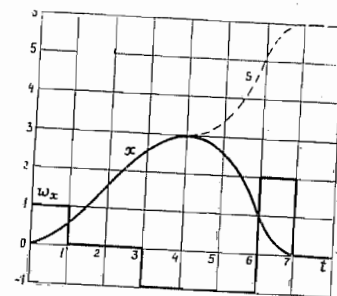
1.10.  $l = r_0 t \sqrt{2(1 - \sin \vartheta)} = 22$  მ.

1.11.  $l = (v_1 + v_2) \sqrt{v_1 v_2 / g} = 2,5$  მ.

1.12.  $t = 2a/3v$ .



ნახ. 1.



ნახ. 2.

1.13. 1. ნახაზიდან ჩანს, რომ  $A$  და  $B$  წერტილების დაახლოების სიჩქარე ტოლია  $v - u \cos \alpha$ , სადაც  $\alpha$  კუთხე დამოკიდებულია დროზე. წერტილების შეხვედრამდე აუცილებელია, რომ შესრულდეს ორი პირობა:

$$\int_0^{\tau} (v - u \cos \alpha) dt = l, \quad \int_0^{\tau} v \cos \alpha dt = u\tau,$$



სადაც  $\tau$  არის სიძიებელი დრო, ამ ორი გამოსახულებიდან გამოვღი-  
ნარეობს, რომ

$$\tau = vl/(v^2 - u^2).$$

1.14.  $x_1 - x_2 = l - w\tau(t + \tau/2) = 0,24$  კმ. მატარებლის შესახვედრად  
 $V = 4,0$  მ/წმ სიჩქარით.

1.15. ა) 0,7 წმ; ბ) შესაბამისად 0,7 და 1,3 მ.

$$1.16. \quad t_m = \frac{v_1 l_1 + v_2 l_2}{v_1^2 + v_2^2}, \quad l_{\text{მოც}} = \frac{|l_1 v_2 - l_2 v_1|}{\sqrt{v_1^2 + v_2^2}}.$$

$$1.17. \quad CD = l / \sqrt{\eta^2 - 1}.$$

1.18. იხ. ნახ. 2.

1.19. ა)  $\langle v \rangle = \pi R / \tau = 50$  სმ/წმ; ბ)  $|\langle v \rangle| = 2R / \tau = 32$  სმ/წმ; გ)  $|\langle w \rangle| = 2\pi R / \tau^2 = 10$  სმ/წმ<sup>2</sup>.

1.20. ა)  $v = a(1 - 2\alpha t)$ ,  $w = -2\alpha a = \text{const}$ ; ბ)  $\Delta t = 1/\alpha$ ,  $s = a/2\alpha$ .

1.21. ა)  $x = v_0 t(1 - t/2\tau)$ ; ბ) 1,1; 9 და 11 წმ.

ბ)  $s = \begin{cases} (1 - t/2\tau) v_0 t & \text{როცა } t \leq \tau \\ [1 + (1 - t/\tau)^2] v_0 t/2 & \text{როცა } t \geq \tau. \end{cases}$  შესაბამისად 24 სმ და 34 სმ.

1.22. ა)  $v = \alpha^2 t/2$ ,  $w = \alpha^2/2$ ; ბ)  $\langle v \rangle = \alpha \sqrt{s/2}$ .

1.23. ა)  $s = (2/3a) v_0^{3/2}$ ; ბ)  $t = 2\sqrt{v_0/a}$ .

1.24. ა)  $y = -x^2 b/a^2$ ; ბ)  $v = ai - 2btj$ ,  $w = -2bj$ ,  $v = \sqrt{a^2 + 4b^2 t^2}$ ,  
 $w = 2b$ ; გ)  $\text{tg } \alpha = a/2bt$ ; დ)  $\langle v \rangle = ai - btj$ ,  $|\langle v \rangle| = \sqrt{a^2 + b^2 t^2}$ .

1.25. ა)  $y = x - x^2 \alpha/a$ ; ბ)  $v = a\sqrt{1 + (1 - 2\alpha t)^2}$ ,  $w = 2\alpha a = \text{const}$ ;  
გ)  $t_0 = 1/\alpha$ .

1.26. ა)  $s = a\omega\tau$ ; ბ)  $\pi/2$ .

$$1.27. \quad v_0 = \sqrt{(1 + a^2) w/2b}$$

1.28. ა)  $r = v_0 t + gt^2/2$ ; ბ)  $\langle v \rangle_t = v_0 + gt/2$ ,  $\langle v \rangle = v_0 - g(v_0/g)/g^2$ .

1.29. ა)  $\tau = 2(v_0/g) \sin \alpha$ ; ბ)  $h = (v_0^2/2g) \sin^2 \alpha$ ,  $l = (v_0^2/g) \sin 2\alpha$ ,  $\alpha = 76^\circ$   
გ)  $y = x \text{tg } \alpha - (g/2v_0^2 \cos^2 \alpha) x^2$ ; დ)  $R_1 = v_0^2/g \cos \alpha$ ,  $R_2 = (v_0^2/g) \cos^2 \alpha$ .

1.30.  $v_0 = \sqrt{2\pi Rgn/\sin 2\theta}$ , სადაც  $n$  მთელი რიცხვია.

1.31.  $l = 8h \sin \alpha$ .

1.32. 0,41 ან 0,71 წთ-ის შემდეგ, რაც დამოკიდებულია საწყის კუ-  
თხეზე.

$$1.33. \quad \Delta t = \frac{2v_0 \sin(\theta_1 - \theta_2)}{g \cos \theta_1 + \cos \theta_2} = 11 \text{ წმ.}$$

1.34. ა)  $x = (a/2v_0)y^2$ ; ბ)  $w = av_0$ ,  $w_\tau = a^2 y / \sqrt{1 + (ay/v_0)^2}$ ,  
 $w_n = av_0 / \sqrt{1 + (ay/v_0)^2}$ .

1.35. ა)  $y = (b/2a)x^2$ ; ბ)  $R = v^2/w_n = v^2 / \sqrt{w^2 - w_\tau^2} = (a/b)[1 + (xb/a)^2]^{3/2}$ .

$$1.36. \quad v = \sqrt{2ax}.$$

$$1.37. \quad w = a\sqrt{1 + (4\pi n)^2} = 0,8 \text{ მ/წმ}^2.$$

1.38. ა)  $v = v_0/(1 + v_0 t/R) = v_0 e^{-s/R}$ ; ბ)  $w = \sqrt{2v_0^2/R} e^{s/R} = \sqrt{2} v^2/R$ .

$$1.39. \quad \text{tg } \alpha = 2s/R.$$

1.40. ა)  $w_0 = a^2 \omega^2/R = 2,6$  მ/წმ<sup>2</sup>.  $w_a = a\omega^2 = 3,2$  მ/წმ<sup>2</sup>; ბ)  $w_{\text{მოც}} = a\omega^2 \sqrt{1 - (R/2a)^2} = 2,5$  მ/წმ<sup>2</sup>,  $l_m = \pm a \sqrt{1 - R^2/2a^2} = \pm 0,37$  მ.

$$1.41. \quad R = a^3/2bs, \quad w = a\sqrt{1 + (4bs^2/a^3)^2}.$$

$$1.42. \quad \text{ა) } w = 2av^2. \quad R = 1/2a; \quad \text{ბ) } w = bv^2/a^2, \quad R = a^2/b.$$

$$1.43. \quad v = 2R\omega = 0,40 \text{ მ/წმ}, \quad w = 4R\omega^2 = 0,32 \text{ მ/წმ}^2.$$

$$1.44. \quad w = (v/t) \sqrt{1 + 4a^2 t^4} = 0,7 \text{ მ/წმ}^2.$$

$$1.45. \quad \omega = 2\pi n v/l = 2,0 \cdot 10^3 \text{ რად/წმ.}$$

$$1.46. \quad \text{ა) } \langle \omega \rangle = 2a/3 = 4 \text{ რად/წმ.}$$

$$\langle \beta \rangle = \sqrt{3ab} = 6 \text{ რად/წმ}^2;$$

$$\text{ბ) } \beta = 2\sqrt{3ab} = 12 \text{ რად/წმ}^2.$$

$$1.47. \quad t = \sqrt[3]{(4/a) \text{tg } \alpha} = 7 \text{ წმ.}$$

$$1.48. \quad \langle \omega \rangle = \omega_0/3.$$

$$1.49. \quad \text{ა) } \varphi = (1 - e^{-at})\omega_0/a; \quad \text{ბ) } \omega = \omega_0 e^{-at}.$$

$$1.50. \quad \omega_z = \pm \sqrt{2\beta_0 \sin \varphi}, \quad \text{იხ. ნახ. 3.}$$

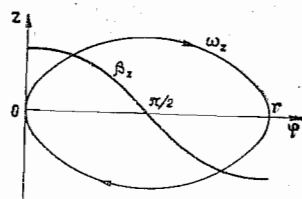
1.51. ა)  $y = v^2/\beta x$  (ჰიპერბოლა); ბ)  $y = \sqrt{2wx}/\omega$  (პარაბოლა).

1.52. ა)  $w_A = v^2/R = 2,0$  მ/წმ<sup>2</sup>  $w_A$  ვეპტორი ყოველთვის მიმართუ-  
ლია ბორბლის ცენტრისაკენ; ბ)  $s = 8R = 4,0$  მ.

1.53. ა)  $v_A = 2wt = 10$  სმ/წმ,  $v_B = \sqrt{2}wt = 7,1$  სმ/წმ,  $v_0 = 0$ ;  
ბ)  $w_A = 2w\sqrt{1 + (wt^2/2R)^2} = 5,6$  სმ/წმ<sup>2</sup>,  $w_B = w\sqrt{1 + (1 - wt^2/R)^2} = 2,5$  სმ/წმ<sup>2</sup>,  $w_0 = w^2 t^2/R = 2,5$  სმ/წმ<sup>2</sup>.

$$1.54. \quad R_A = 4r, \quad R_B = 2\sqrt{2}r.$$

$$1.55. \quad \omega = \sqrt{\omega_1^2 + \omega_2^2} = 5 \text{ რად/წმ}, \quad \beta = \omega_1 \omega_2 = 12 \text{ რად/წმ}^2.$$



ნახ. 3.

1.56. ა)  $\omega = at \sqrt{1 + (bt/a)^2} = 8$  რად/წმ,  $\beta = a \sqrt{1 + (2bt/a)^2} = 1,3$  რად/წმ<sup>2</sup>; ბ)  $17^\circ$ .

1.57. ა)  $\omega = v/R \cos \alpha = 2,3$  რად/წმ.  $60^\circ$ ; ბ)  $\beta = (v/R)^2 \operatorname{tg} \alpha = 2,3$  რად/წმ<sup>2</sup>.

1.58.  $\omega = \omega_0 \sqrt{1 + (\beta_0 t / \omega_0)^2} = 0,6$  რად/წმ,  $\beta = \beta_0 \sqrt{1 + \omega_0^2 t^2} = 0,2$  რად/წმ<sup>2</sup>.

1.59.  $\Delta m = 2mw/(g+w)$ .

1.60.  $w = \frac{m_0 - k(m_1 + m_2)}{m_0 + m_1 + m_2} g$ ,  $T = \frac{(1+k)m_0}{m_0 + m_1 + m_2} m_2 g$ .

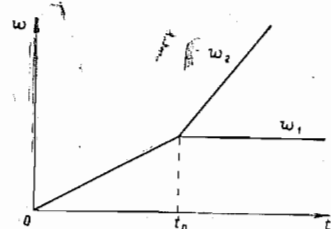
1.61. ა)  $F = \frac{(k_1 - k_2) m_1 m_2 g \cos \alpha}{m_1 + m_2}$ ; ბ)  $\operatorname{tg} \alpha_{\text{ან}} = \frac{k_1 m_1 + k_2 m_2}{m_1 + m_2}$ .

1.62.  $k = [(\eta^2 - 1) / (\eta^2 + 1)] \operatorname{tg} \alpha = 0,16$ .

1.63. ა)  $m_2/m_1 > \sin \alpha + k \cos \alpha$ ; ბ)  $m_2/m_1 < \sin \alpha - k \cos \alpha$ ;

გ)  $\sin \alpha - k \cos \alpha < m_2/m_1 < \sin \alpha + k \cos \alpha$ .

1.64.  $w_2 = g(\eta - \sin \alpha - k \cos \alpha) / (\eta + 1) = 0,05 g$ .



ნახ. 4.

1.65. როცა  $t \leq t_0$  აჩქარებები

$w_1 = w_2 = at / (m_1 + m_2)$ ; როცა  $t \geq t_0$

$w_1 = kgm_2/m_1$ ,  $w_2 = (at - km_2g) / m_2$ .

აქ  $t_0 = kgm_2(m_1 + m_2) / am_1$ . იხ. ნახ. 4.

1.66.  $\operatorname{tg} 2\alpha = -1/k$ ,  $\alpha = 49^\circ$ ,

1.67.  $\operatorname{tg} \beta = k$ ;  $T_{\text{ან}} = mg(\sin \alpha + k \cos \alpha) / \sqrt{1 + k^2}$ .

1.68. ა)  $v = \frac{mg^2 \cos \alpha}{2a \sin^2 \alpha}$ , ბ)  $s = \frac{m^2 g^3 \cos \alpha}{6a^2 \sin^3 \alpha}$ .

1.69.  $v = \sqrt{2g/3a} \sin \alpha$ .

1.70.  $\tau = \sqrt{2l/(3w + kg)}$ ,

1.71.  $w_1 = \frac{(m_1 - m_2)g + 2m_2 w_0}{m_1 + m_2}$ ,  $w'_1 = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} (g - w_0)$ ;

ბ)  $F = \frac{4m_1 m_2}{m_1 + m_2} (g - w_0)$ .

1.72.  $w = 2g(2\eta - \sin \alpha) / (4\eta + 1)$ .

1.73.  $w_1 = \frac{4m_1 m_2 + m_0(m_1 - m_2)}{4m_1 m_2 + m_0(m_1 + m_2)} g$ .

1.74.  $F_{\text{ბაზ}} = 2lmM / (M - m) t^2$ .

1.75.  $t = \sqrt{2l(4 + \eta)/3g(2 - \eta)} = 1,4$  წმ.

1.76.  $H = 6h\eta / (\eta + 4) = 0,6$  მ.

1.77.  $w_A = g/(1 + \eta \operatorname{ctg}^2 \alpha)$ ,  $w_B = g/(\operatorname{tg} \alpha + \eta \operatorname{ctg} \alpha)$ .

1.78.  $w = g\sqrt{2} / (2 + k + M/m)$ .

1.79.  $w_{\text{ან}} = g(1 - k)/(1 + k)$ .

1.80.  $w_{\text{ბაზ}} = g(1 + k \operatorname{ctg} \alpha) / (\operatorname{ctg} \alpha - k)$ .

1.81.  $w = g \sin \alpha \cos \alpha / (\sin^2 \alpha + m_1/m_2)$ .

1.82.  $w = \frac{mg \sin \alpha}{M + 2m(1 - \cos \alpha)}$ .

1.83. ა)  $|\langle F \rangle| = 2\sqrt{2}mv^2/\pi R$ ; ბ)  $|\langle F \rangle| = mv\tau$ .

1.84. 2,1; 0,7 და 1,5 კმ.

1.85. ა)  $w = g\sqrt{1 + 3\cos^2 \vartheta}$ ,  $T = 3mg \cos \vartheta$ ; ბ)  $T = mg\sqrt{3}$ ;

გ)  $\cos \vartheta = 1/\sqrt{3}$ ,  $\vartheta = 54,7^\circ$ .

1.86.  $\approx 53^\circ$ .

1.87.  $\vartheta = \arccos(2/3) \approx 48^\circ$ ,  $v = \sqrt{2gR/3}$ .

1.88.  $\varepsilon = 1/(\alpha/m\omega^2 - 1)$ . არ არის დამოკიდებული ბრუნვის უმცირესი სიხვედრის ლევაზე.

1.89.  $r = R/2$ ,  $v_{\text{ბაზ}} = 1/2 \sqrt{kgR}$ .

1.90.  $s = 1/2 R \sqrt{(kg/lw\tau)^2 - 1} = 60$  მ.

1.91.  $v \leq \alpha \sqrt{kg/a}$ ,

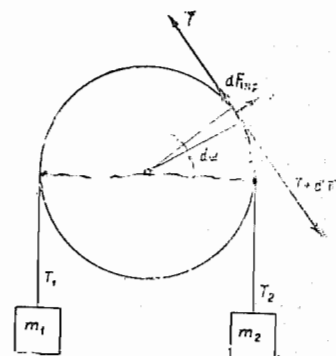
1.92.  $T = (\operatorname{ctg} \vartheta + \omega^2 R/g) mg/2\pi$ ,

1.93. ა) განვიხილოთ ბლოკზე ძაღის გვირგვინი ელემენტი (ნახ. 5). მისი უწონობის გამო  $dT = dF_{\text{ბაზ}} = kdF_n$  და  $dF_n = Td\alpha$ . აქედან  $dT/T = kd\alpha$ . ამ განტოლების ინტეგრირებით ვღებულობთ

$k = (\ln \eta_0)/\pi$ ; ბ)  $w = g(\eta - \eta_0)/(\eta + \eta_0)$ .

1.94.  $F = (mv_0^2/R) \cos^2 \alpha$ .

1.95.  $F = -m\omega^2 r$ , სადაც  $r$  ნაწილაკის რადიუს-ვექტორია კოორდინატთა სისტემის მიმართ;  $F = m\omega^2 \sqrt{x^2 + y^2}$ .



ნახ. 5.

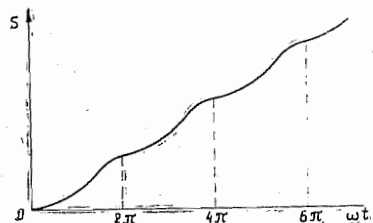
1.96. ა)  $\Delta p = mgt$ ; ბ)  $|\Delta p| = -2m(v_0 g)/g$ .

1.97. ა)  $p = at^3/6$ ; ბ)  $s = at^4/12m$ .

1.98.  $s = (\omega t - \sin \omega t) F_0/m\omega^2$ , იხ. ნახ. 6.

1.99.  $t = \pi/\omega$ ;  $s = 2F_0/m\omega^2$ ;  $v_{\text{მაქს.}} = F_0/m\omega$ .

1.100. ა)  $v = v_0 e^{-tr/m}$ ,  $t \rightarrow \infty$ ; ბ)  $v = v_0 - sr/m$ ,  $s_{\text{სრული}} = \frac{mv_0}{r}$ .



ნახ. 6.

ბ)  $\langle v \rangle = v_0 \frac{\eta - 1}{\eta \ln \eta}$ .

1.101.  $t = \frac{h(v_0 - v)}{v_0 v \ln(v_0/v)}$

1.102.  $s = \frac{2}{a} \operatorname{tg} \alpha$ ,  $v_{\text{მაქს.}} =$

$= \sqrt{\frac{g}{a} \sin \alpha \operatorname{tg} \alpha}$ , მითითებულია მო-

სახერხებელი რომ იყოს მოძრაობის განტოლების ინტეგრება, აჩვენება უნდა წარმოვადგინოთ, როგორც  $dv/dt$  და შემდეგ  $dt = dx/v$  ფორმულით მოვახდინოთ ცვლადების შეცვლა.

1.103.  $s = 1/6 a (t - t_0)^3/m_1$  სადაც  $t_0 = kmg/a$  არის მოძრაობის დაწყების მომენტი. როცა  $t \leq t_0$ , გზა  $s = 0$ .

1.104.  $v' = v_0 / \sqrt{1 + kv_0^2/mg}$ .

1.105. ა)  $v = (2F/m\omega) |\sin(\omega t/2)|$ , ბ)  $\Delta s = 8F/m\omega^2$ ,  $\langle v \rangle = 4F/\pi m\omega$ .

1.106.  $v = v_0/(1 + \cos \varphi)$ . მითითებულია. აქ  $w_x = -w_x$ , ამიტომ  $v = -v_x + \text{const}$ . საწყისი პირობიდან გამომდინარეობს, რომ  $\text{const} = v_0$ , გარდა ამისა,  $v_x = v \cos \varphi$ .

1.107.  $w = [1 - \cos(l/R)] Rg/l$ .

1.108. ა)  $v = \sqrt{2gR/3}$  ბ)  $\cos \varphi_0 = \frac{2 + \eta \sqrt{5 + 9\eta^2}}{3(1 + \eta^2)}$ , სადაც  $\eta = w_0/g$ ,  $\varphi_0 \approx 17^\circ$ ,

1.109. როცა  $n < 1$ , უარყოფითი მნიშვნელობების ჩათვლით.

2.110. თუ  $\omega^2 R > g$ , მაშინ არსებობს წონასწორობის ორი მდგარეობა:  $\varphi_1 = 0$  და  $\varphi_2 = \arccos(g/\omega^2 R)$ . თუ  $\omega^2 R < g$ , მაშინ არსებობს მხოლოდ ერთი წონასწორობის მდგარეობა  $\varphi_1 = 0$ . სანამ არსებობს მხოლოდ ქვედა წონასწორობის მდგარეობა, ის მდგრადია, მეორე წონასწორობის მდგარეობის გამოვლინებისას (ის ყოველთვის მდგრადია) ქვედა მდგარეობა ხდება არამდგრადი.

1.111.  $h \approx (\omega s^2/v) \sin \varphi = 7$  სმ, სადაც  $\omega$  დელამიწის ბრუნვის კუთხური სიჩქარეა.

1.112.  $F = m\sqrt{g^2 + \omega^4 r^2 + (2v'\omega)^2} = 8$  ნ.

1.113.  $F_{\text{კოზ}} = 2m\omega^2 r \sqrt{1 + (v_0/\omega r)^2} = 2,8$  ნ.

1.114. ა)  $w' = \omega^2 R$ ; ბ)  $F_{\text{ნე}} = m\omega^2 r \sqrt{(2R/r)^2 - 1}$ .

1.115.  $F_{\text{ორ}} = m\omega^2 R \sqrt{5/9} = 8$  ნ,  $F_{\text{კოზ}} = 2/3 m\omega^2 R \sqrt{5 + 8g/3\omega^2 R} = 17$  ნ.

1.116. ა)  $F = 2m\omega$  ა  $\sin \varphi = 3,8$  კნ, მარჯვენა ლიანდაგზე (მატარებლის სელის მიმართ); ბ) პარალელის გასწვრივ აღმოსავლეთიდან დასავლეთი-საქენ  $v = 1/2$  ა  $R \cos \varphi \approx 420$  კმ/სთ სიჩქარით, აქ  $\omega$  დელამიწის კუთხური სიჩქარეა საკუთარი ღერძის ირგვლივ,  $R$ —მისი რადიუსი.

1.117. გადაიხრება აღმოსავლეთისაკენ  $x \approx 2/3$  ან  $\sqrt{2h/g} = 24$  სმ-ით. აქ  $\omega$  დელამიწის კუთხური სიჩქარეა საკუთარი ღერძის გარშემო.

1.118.  $A = F(r_2 - r_1) = -17$  ჯ.

1.119.  $A = ma^4 t^2/8$ .

1.120.  $F = 2as \sqrt{1 + (s/R)^2}$ .

1.121.  $A = mg(h + kl)$ .

1.122.  $A = -kmg/l(1 - k \operatorname{ctg} \alpha) = -0,05$  ჯ.

1.123.  $F_{\text{ანე}} = (m_1 + m_2/2)kg$ .

1.124.  $A = -(1 - \eta) \eta mgl/2 = -1,3$  ჯ.

1.125.  $\langle P \rangle = 0$ ,  $P = mg(gt - v_0 \sin \alpha)$ .

1.126.  $P = mRat$ ,  $\langle P \rangle = mRat/2$ .

1.127. ა)  $\langle P \rangle = -kmgv_0/2 = -2$  ვტ; ბ)  $P_{\text{მაქს.}} = -1/2 mv_0^2 \sqrt{\alpha g}$ .

1.128.  $A = 1/2 m\omega^2 (r_2^2 - r_1^2) = 0,20$  ჯ.

1.129.  $A_{\text{ანე}} = 1/2 k (\Delta l)^2$ , სადაც  $k = k_1 k_2 / (k_1 + k_2)$ .

1.130.  $A = 3mg/4a$ ,  $\Delta U = mg/2a$ .

1.131. ა)  $r_0 = 2a/b$ , მდგრადია; ბ)  $F_{\text{მაქს.}} = b^3/27a^2$ . იხ. ნახ. 7.

1.132. ა) არა; ბ) ელიფსები, რომელთა ნახევარღერძების შეფარდება  $a/b = \sqrt{\beta/\alpha}$  აგრეთვე ელიფსებია, მაგრამ  $a/b = \beta/\alpha$ .

1.133. პოტენციურია მეორე ძალთა ველი.

1.134.  $s = v_0^2/2g (\sin \alpha + k \cos \alpha)$ ,  $A = -mv_0^2 k/2(k + \operatorname{tg} \alpha)$ .

1.135.  $h = H/2$ ;  $s_{\text{მაქს.}} = H$ .

1.136.  $v = 2/3 \sqrt{gh/3}$ .

1.137.  $v_{\text{ანე}} = \sqrt{5gl}$ ;  $T = 3mg$ .

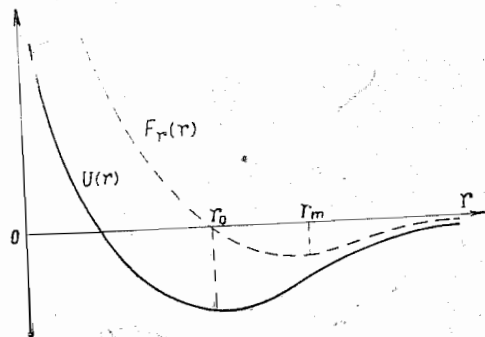
$$1.138. t = l_0^2 / 2v_0 R.$$

$$1.139. \Delta l = (1 + \sqrt{1 + 2kl/mg}) mg/k,$$

$$1.140. v = \sqrt{19gl_0/32} = 1,7 \text{ მ/წმ.}$$

$$1.141. A = \frac{kmg l_0}{2} \frac{1 - \cos \varphi}{(\sin \varphi + k \cos \varphi) \cos \varphi} = 0,09 \text{ ჯ.}$$

$$1.142. A = \kappa l_0^2 \eta (1 + \eta) / 2 (1 - \eta)^2, \text{ სადა } \eta = m\omega^2 / \kappa.$$



ნახ. 7.

$$1.143. w_c = g(m_1 - m_2)^2 / (m_1 + m_2)^2.$$

$$1.145. r = (g/\omega^2) \tan \varphi = 0,8 \text{ სმ. } T = mg / \cos \varphi = 5 \text{ ნ.}$$

$$1.146. \text{ა) } F_{\text{საბ}} = mg [\sin \alpha + (\omega^2 l / g) \cos \alpha] = 6 \text{ ნ;}$$

$$\text{ბ) } \omega < \sqrt{g(k - \tan \alpha) / l(1 + k \tan \alpha)} = 2 \text{ რად/წმ.}$$

$$1.147. \text{ა) } \mathbf{V} = (m_1 \mathbf{v}_1 + m_2 \mathbf{v}_2) / (m_1 + m_2); \text{ ბ) } T = \mu (\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_2)^2 / 2, \text{ სადა } \mu = m_1 m_2 / (m_1 + m_2).$$

$$1.148. E = \tilde{E} + mV^2/2.$$

$$1.149. \tilde{E} = \mu (v_1^2 + v_2^2) / 2, \text{ სადა } \mu = m_1 m_2 / (m_1 + m_2).$$

$$1.150. \mathbf{p} = \mathbf{p}_0 + m\mathbf{g}t, \text{ სადა } \mathbf{p}_0 = m_1 \mathbf{v}_1 + m_2 \mathbf{v}_2, m = m_1 + m_2; \mathbf{r}_C = \mathbf{v}_0 t + \mathbf{g}t^2/2, \text{ სადა } \mathbf{v}_0 = (m_1 \mathbf{v}_1 + m_2 \mathbf{v}_2) / (m_1 + m_2).$$

$$1.151. v_C = \kappa \sqrt{\kappa m_2 / (m_1 + m_2)}.$$

$$1.152. \text{ა) } l_{\text{საქს}} = l_0 + F/\kappa, l_{\text{საფ}} = l_0; \text{ ბ) } l_{\text{საქს}} = l_0 + 2m_1 F / \kappa (m_1 + m_2),$$

$$l_{\text{საფ}} = l_0,$$

$$1.153. \text{ა) } \Delta l > 3mg/\kappa; \text{ ბ) } h = (1 + \kappa \Delta l / mg)^2 mg / 8\kappa = 8mg/\kappa.$$

$$1.154. \mathbf{v}_1 = -m\mathbf{v} / (M - m), \mathbf{v}_2 = M\mathbf{v} / (M - m).$$

$$1.155. \mathbf{v}_{\text{სა}} = \mathbf{v}_0 - \frac{m}{M + m} \mathbf{u}; \mathbf{v}_{\text{საფ}} = \mathbf{v}_0 + \frac{mM}{(M + m)^2} \mathbf{u}.$$

$$1.156. \text{1) } \mathbf{v}_1 = -\frac{2m}{M + 2m} \mathbf{u}; \text{ 2) } \mathbf{v}_2 = -\frac{m(2M + 3m)}{(M + m)(M + 2m)} \mathbf{u},$$

$$v_2/v_1 = 1 + m/2(M + m) > 1.$$

$$1.158. \Delta p = m \sqrt{2gh} (1 + \eta) / (\eta - 1) = 0,2 \text{ კგ. მ/წმ.}$$

$$1.159. \text{ა) } l = -\frac{m}{M + m} l'; \text{ ბ) } F = -\frac{mM}{M + m} \frac{dv'}{dt}.$$

$$1.160. l = m'l' / 2M.$$

$$1.161. \tau = (p \cos \alpha - M \sqrt{2gl \sin \alpha}) / Mg \sin \alpha.$$

$$1.162. \text{ა) } v = (2M/m) \sqrt{gl} \sin(\varphi/2); \text{ ბ) } \eta \approx 1 - m/M.$$

$$1.163. h = Mv^2 / 2g(M + m).$$

$$1.164. \text{1) } A = -\mu gh, \text{ სადა } \mu = mM / (m + M); \text{ 2) კი.}$$

$$1.166. \mathbf{v} = 1,0\mathbf{i} + 2,0\mathbf{j} - 4,0\mathbf{k}. v \approx 4,6 \text{ მ/წმ.}$$

$$1.167. \Delta T = -\mu (\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_2)^2 / 2, \text{ სადა } \mu = m_1 m_2 / (m_1 + m_2).$$

$$1.168. \text{ა) } \eta = 2m_1 / (m_1 + m_2); \text{ ბ) } \eta = 4m_1 m_2 / m_1 + m_2^2.$$

$$1.169. \text{ა) } m_1/m_2 = 1/3; \text{ ბ) } m_1/m_2 = 1 + 2\cos \varphi = 2,0.$$

$$1.170. \eta = 1/2 \cos^2 \alpha = 0,25.$$

$$1.171. v_{\text{საქს}} = v(1 + \sqrt{2(\eta - 1)}) = 1,0 \text{ კმ/წმ.}$$

$$1.172. \text{იმოძრავენ იმავე მიმართულებით, მაგრამ}$$

$$v' = (1 - \sqrt{1 - 2\eta}) v / 2$$

$$\text{სიჩქარით. როცა } \eta \ll 1, v' \approx \eta v / 2 = 5 \text{ სმ/წმ.}$$

$$1.173. \Delta T/T = (1 + m/M) \tan^2 \varphi + m/M - 1 = -40\%.$$

$$1.174. \text{ა) } p = \mu \sqrt{v_1^2 + v_2^2}; \text{ ბ) } T = 1/2 \mu (v_1^2 + v_2^2). \text{ აქ}$$

$$\mu = m_1 m_2 / (m_1 + m_2).$$

$$1.175. \sin \varphi_{\text{საქს}} = m_2 / m_1.$$

$$1.176. v' = -v(2 - \eta^2) / (6 - \eta^2). \text{ შესაბამისად, როდესაც } \eta \text{ ნაკლებია,}$$

$$\text{ტოლია და მეტია } \sqrt{2} \text{-ზე.}$$

1.178. დავუშვათ, რომელიმე  $t$  მომენტში რაკეტის მასაა  $m$  და სიჩქარე  $v$  (ჩვენთვის საინტერესო ათვლის სისტემის მიმართ). განვიხილოთ ათვლის ინერციული სისტემა, რომელსაც ისეთივე სიჩქარე აქვს, როგორც რაკეტას მოცემულ მომენტში. ათვლის ამ სისტემაში „რაკეტა—გამოტყორცნილი გაზის პორცია“ სისტემის იმპულსის ნაზრდი  $dt$  დროის განმავლობაში არის  $d\mathbf{p} = m d\mathbf{v} + \mu d\mathbf{t} \cdot \mathbf{u} = \mathbf{F} dt$ .

$$1.179. v = -u \ln(m_0/m).$$



$$1.180. m = m_0 e^{-wt/u},$$

$$1.181. \alpha = (u/v_0) \ln(m_0/m).$$

$$1.182. v = \frac{F}{\mu} \ln \frac{m_0}{m_0 - \mu t}, \quad w = \frac{F}{m_0 - \mu t}.$$

$$1.183. v = Ft/m_0(1 + \mu t/m_0), \quad w = F/m_0(1 + \mu t/m_0)^2.$$

$$1.184. v = \sqrt{2gh \ln(l/h)}.$$

$$1.185. N = 2b\sqrt{a/b}.$$

$$1.186. M = \frac{1}{2} m g v_0 t^2 \cos \alpha; \quad M = (m v_0^3 / 2 g) \sin^2 \alpha \cos \alpha = 37 \text{ კგ მ}^2/\text{წმ},$$

1.187. ა) კედლისადმი პერპენდიკულარულ და  $O$  წერტილზე გამავალი წრფის ყველა წერტილის მიმართ ბ)  $|\Delta M| = 2mvl \cos \alpha$ .

$$1.188. \text{წრეწირის ცენტრის მიმართ. } |\Delta M| = 2\sqrt{1 - (g/w^2)^2} mgl / \omega.$$

$$1.189. |\Delta M| = \hbar m V.$$

$$1.190. M = m \omega v_0^2 t^2,$$

$$1.191. m = 2k r_1^2 / v_2^2,$$

$$1.192. v_0 = \sqrt{2gl / \cos \varphi}.$$

$$1.193. F = m \omega_0^2 r_0^4 / r^3.$$

$$1.194. M_z = R m g t,$$

$$1.195. M = R m g t \sin \alpha. \text{ არ შეიცვლება.}$$

1.196.  $M' = M - [r_0 p]$ . იმ შემთხვევაში, როდესაც  $p=0$ , ე. ი. ინერციის ცენტრის სისტემაში.

$$1.198. \tilde{M} = \frac{1}{3} m v_0.$$

1.199.  $\varepsilon_{\text{მაქს}} \approx m v_0^2 / \chi l_0^2$ . ამოხსნა მოსახერხებელია ჩატარდეს ინერციის ცენტრის სისტემაში.

$$1.200. T = 2\pi \gamma M / v^3 = 225 \text{ დღე-ღამე.}$$

$$1.201. \text{ა) } 5,2\text{-ჯერ; ბ) } 13 \text{ კმ/წმ, } 2,2 \cdot 10^{-4} \text{ მ/წმ}^2.$$

1.202.  $T = \pi \sqrt{(r+R)^3 / 2\gamma M}$ . საკმარისია განვიხილოთ მოძრაობა წრეწირზე, რომლის რადიუსი მოცემული ელიფსის დიდი ნახევარღერძის ტოლია, ე. ი.  $(r+R)/2$ , კეპლერის მიხედვით მიმოქცევის პერიოდი იგივე იქნება.

1.203. სხეულის ვარდნა მზეზე შეიძლება განვიხილოთ, როგორც მოძრაობა ძალიან გაჭიმული (ზღვარში გადაგვარებული) ელიფსის გასწვრივ, რომლის დიდი ღერძი პრაქტიკულად დედამიწის ორბიტის  $R$  რადიუსის ტოლია. მაშინ კეპლერის მიხედვით,  $(2\pi/T)^2 = [(R/2)/R]^3$ , სადაც  $\tau$  არის ვარდნის დრო (ნახევარი ბრუნვის დრო გაჭიმული ელიფსის გასწვრივ),  $T$ —დედამიწის მიმოქცევის პერიოდი მზის ირგვლივ. აქედან

$$\tau = T/4\sqrt{2} = 65 \text{ დღე-ღამე.}$$

1.204. არ შეიცვლება.

$$1.205. l = \sqrt[3]{\gamma M (T/2\pi)^2}.$$

$$1.206. \text{ა) } U = -\gamma m_1 m_2 / r; \text{ ბ) } U = -\gamma (mM/l) \ln(1+l/a),$$

$$F = \gamma mM/a(a+l).$$

$$1.207. M = m \sqrt{2\gamma m_C r_1 r_2 / (r_1 + r_2)}, \text{ სადაც } m_C \text{ მზის მასაა.}$$

$$1.208. E = T + U = -\gamma m m_C / 2a, \text{ სადაც } m_C \text{ მზის მასაა.}$$

$$1.209. r_m = \frac{r_0}{2-\eta} [1 \pm \sqrt{1-(2-\eta)\eta \sin^2 \alpha}], \text{ სადაც}$$

$$\eta = r_0 v_0^2 / \gamma m_C, \quad m_C \text{ მზის მასაა.}$$

$$1.210. r_{\text{ან}} = (\gamma m_C / v_0^2) [\sqrt{1 + (v_0^2 / \gamma m_C)^2} - 1], \text{ სადაც } m_C \text{ მზის მასაა.}$$

1.211. ა) დასაწყისში განვიხილოთ  $\rho$  რადიუსისა და  $\delta M$  მასის თხელი სფერული ფენა. ნაწილაკისა და ამ ფენის ბს ელემენტარული სარტყელის ურთიერთქმედების ენერგიაა (ნახ. 8)

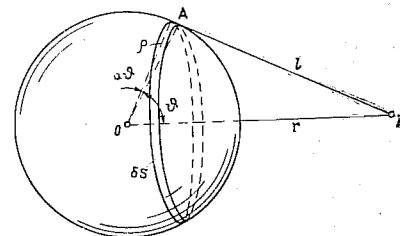
$$dU = -\gamma (m \delta M / 2l) \sin \varphi d\varphi. (*)$$

$OAP$  სამკუთხედისათვის, კოსინუსების თეორემის თანახმად,  $l^2 = \rho^2 + r^2 - 2\rho r \cos \varphi$ . ამ გამოსახულების დიფერენციალის გათვალისწინებით შემდეგ (\*) ფორმულას მივცეთ ინტეგრებისათვის მოსახერხებელი სახე. მთელ ფენაზე ინტეგრების შემდეგ ვიპოვიოთ  $\delta U =$

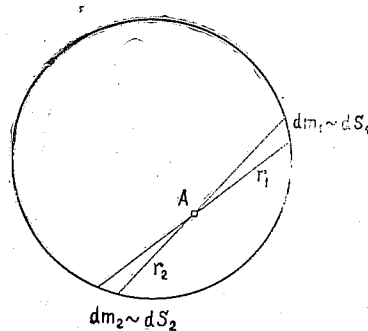
$$= -\gamma m \delta M / r, \text{ დაბოლოს, სფეროს ყველა ფენაზე ინტეგრების შემდეგ მივიღებთ, რომ } U = -\gamma m M / r; \text{ ბ) } F_r = -\partial U / \partial r = -\gamma m M / r^2.$$

1.212. თავდაპირველად განვიხილოთ ნივთიერების თხელი სფერული ფენა (ნახ. 9). ავავოთ მცირე გაშლის კუთხის მქონე კონუსი, რომლის წვერო მოთავსებულია  $A$  წერტილში. ამ კონუსის მიერ ფენაში ამოჭრილი უბნების ფართობების შეფარდებაა  $dS_1 : dS_2 = r_1^2 : r_2^2$ .

ამოჭრილი უბნების მასები კი უბნების ფართობების პროპორციულია. ამიტომ მათი მხრიდან  $A$  ნაწილაკზე მოქმედი მიზიდვის ძალები სიდიდით



ნახ. 8.



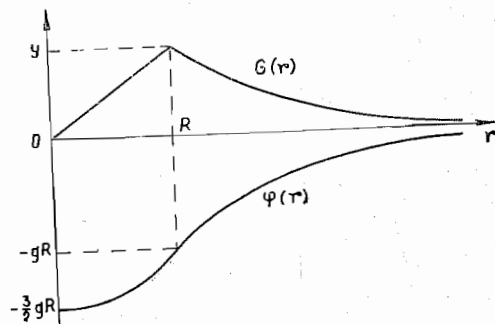
ნახ. 9.

ტოლია და მიმართულია ერთმანეთის საწინააღმდეგოდ. შემდეგი უკვე ნათელია.

$$1.213. A = -\frac{3}{2}\gamma m M/R.$$

$$1.214. G = \begin{cases} -(\gamma M/R^3)r, & \text{როცა } r \leq R; \\ -(\gamma M/r^3)r, & \text{როცა } r \geq R. \end{cases}$$

$$\varphi = \begin{cases} -\frac{3}{2}(1-r^2/3R^2)\gamma M/R, & \text{როცა, } r \leq R, \\ -\gamma M/r, & \text{როცა } r \geq R. \end{cases} \text{ იხ. ნახ. 10.}$$



ნახ. 10.

$$1.215. G = -\frac{4}{3}\pi\gamma\rho_1. \text{ სიღრუს შიგნით ველი ერთგვაროვანია.}$$

$$1.216. p = \frac{3}{8}(1-r^2/R^2)\gamma M^2/\pi R^4. \text{ მიახლოებით } 1,8 \cdot 10^6 \text{ ატმ.}$$

1.217. ა) სფერული ფენა დავყოთ მცირე ელემენტებად, რომელთა მასებია  $\delta m$ . მაშინ თითოეული ელემენტის ურთიერთქმედების ენერგია დანარჩენებთან  $\delta U = \gamma m \delta m / R$ . თუ ავჯამავთ ყველა ელემენტებით და გავითვალისწინებთ, რომ ურთიერთმოქმედი ელემენტების თითოეული წყვილი საბოლოო შედეგში შევა ორჯერ, მივიღებთ  $U = -\gamma m^2/2R$ ; ბ)  $U = -3\gamma m^2/5R$ .

$$1.218. \Delta t \approx \frac{2\pi}{\sqrt{\gamma M}} \frac{r^{3/2}}{3\Delta r/2r + \delta} = \begin{cases} 4,5 \text{ დღე-ღამე} & (\delta=0), \\ 0,84 \text{ სთ.} & (\delta=2). \end{cases}$$

$$1.219. w_1 : w_2 : w_3 = 1 : 0,0034 : 0,0006,$$

$$1.220. 32 \text{ კმ; } 2650 \text{ კმ,}$$

$$1.221. h = R/(2gR/v_0^2 - 1).$$

$$1.222. h = R(gR/v^2 - 1).$$

$$1.223. r = \sqrt[3]{\gamma M (T/2\pi)^2} = 4,2 \cdot 10^4 \text{ კმ, სადაც } M \text{ და } T \text{ დედამიწის მასა და მისი მიმოქცევის პერიოდია საკუთარი ლერძის ირგვლივ; } 3,1 \text{ კმ/წმ. } 0,22 \text{ მ/წმ}^2.$$

$$1.224. M = (4\pi^2 R^3/\gamma T^2)(1+T/\tau)^2 = 6 \cdot 10^{24} \text{ კგ. სადაც } T \text{ დედამიწის მიმოქცევის პერიოდია საკუთარი ლერძის ირგვლივ.}$$

$$1.225. v' = \frac{2\pi R}{T} + \sqrt{\frac{\gamma M}{R}} = 7,0 \text{ კმ/წმ,}$$

$$w' = \frac{\gamma M}{R^2} \left( 1 + \frac{2\pi R}{T} \sqrt{\frac{R}{\gamma M}} \right) = 4,9 \text{ მ/წმ}^2.$$

აქ  $M$  დედამიწის მასაა,  $T$ —მიმოქცევის პერიოდი საკუთარი ლერძის ირგვლივ.

1.226.  $v_0 = \sqrt{2gR(1-R/2a)}$ , სადაც  $R$  დედამიწის რადიუსია,  $g$ —თავისუფალი ვარდნის სტანდარტული აჩქარება.

1.227. თანამგზავრის სრული  $E$  ენერგიის დანაკლისი  $dt$  დროში არის  $-dE = Fvdt$ .  $E$  და  $v$  გამოვსახოთ, როგორც მანძილის ფუნქცია თანამგზავრსა და მთვარის ცენტრის შორის და ამ განტოლებას მივცეთ ინტეგრებისათვის მოსახერხებელი სახე. ამის შედეგად მივიღებთ:

$$\tau \approx (\sqrt{\eta} - 1)m/\alpha \sqrt{gR}.$$

$$1.228. v_1 = 1,67 \text{ კმ/წმ. } v_2 = 2,37 \text{ კმ/წმ.}$$

$$1.229. \Delta v = \sqrt{\gamma M/R} (1 - \sqrt{2}) = -0,70 \text{ კმ/წმ, სადაც } M \text{ და } R \text{ მთვარის მასა და რადიუსია.}$$

$$1.230. \Delta v = \sqrt{gR} (\sqrt{2} - 1) = 3,27 \text{ კმ/წმ, სადაც } g \text{ თავისუფალი ვარდნის ნორმალური აჩქარებაა, } R \text{—დედამიწის რადიუსი.}$$

$$1.231. r = nR/(1 + \sqrt{\eta}) = 3,8 \cdot 10^4 \text{ კმ.}$$

$$1.232. A \approx \gamma m (M_1/R_1 + M_2/R_2) = 1,3 \cdot 10^8 \text{ კგ, სადაც } M \text{ და } R \text{ დედამიწისა და მთვარის მასა და რადიუსია.}$$

$$1.233. v_3 \approx \sqrt{2v_1^2 + (\sqrt{2}-1)^2 v_1^2} \approx 17 \text{ კმ/წმ. აქ } v_1^2 = \gamma M_e/R, M_e$$

და  $R$  დედამიწის მასა და რადიუსია;  $V_1^2 = \gamma M_c/r$ ,  $M_c$  მზის მასაა,  $r$ —დედამიწის ორბიტის რადიუსი. ამ ოხსნა. ვისარგებლოთ ენერგიის მუდმივობის კანონით დედამიწის ცენტრთან დაკავშირებულ წინსვლით მოძრაე ათვლის სისტემაში

$$\frac{mv_e^2}{2} = \gamma \frac{mM_e}{R} + \frac{mv^2}{2}, \quad (1)$$

სადაც  $m$  სხეულის მასაა,  $v$ —მისი სიჩქარე დედამიწიდან მოშორებით. მეორე პირობა:

$$v + V_1 = \sqrt{2} V_1, \quad (2)$$

სადაც  $V_1$  დედამიწის სიჩქარეა ორბიტაზე,  $\sqrt{2} V_1$  კი—სიჩქარე, რომელიც აუცილებელია იმისათვის, რომ სხეულმა შეძლოს მზის სისტემის დატოვება. თუ გამოვრიცხავთ  $v$  (1) და (2)-დან, მივიღებთ გამოსახულებას  $v_e$ —სთვის.

$$1.234. l=2aF_2/mw=1,0 \text{ მ.}$$

$$1.235. N=(aB-bA)k, \text{ სადაც } k \text{ არის } z \text{ ღერძის ორტი};$$

$$l=|aB-bA|/\sqrt{A^2+B^2}.$$

$$1.236. l=|aA-bB|/\sqrt{A^2+B^2}.$$

1.237.  $F_{\text{ტოლ.}}=2F$ . ეს ძალა  $AC$  დიაგონალის პარალელურობა, მისი მოღებვის წერტილი კი განლაგებულია  $BC$  გვერდის შუა წერტილში.

$$1.238. \text{ ა) } I=1/3 ml^2; \text{ ბ) } I=1/3 m(a^2+b^2).$$

$$1.239. \text{ ა) } I=1/2 \pi \rho b R^4=2,8 \text{ გ} \cdot \text{მ}^2; \text{ ბ) } I=3/10 m R^2.$$

$$1.240. I=1/4 m R^2.$$

$$1.241. I=(37/72) m R^2=0,15 \text{ კგ} \cdot \text{მ}^2.$$

$$1.242. I=2/3 m R^2.$$

$$1.243. \text{ ა) } \omega=gt/R(1+M/2m); \text{ ბ) } T=mg^2 t^2/2(1+M/2m).$$

$$1.244. T=1/2 mg; w_0=gm r^2/I.$$

$$1.245. \omega=\sqrt{6F \sin \varphi/ml}.$$

$$1.246. \beta=\frac{|m_2-m_1|g}{(m_1+m_2+m/2)R}, \quad \frac{T_1}{T_2}=\frac{m_1(m+4m_2)}{m_2(m+4m_1)}.$$

$$1.247. A=-\frac{(m_2-km_1)km_4 g^2 t^2}{m+2(m_1+m_2)}.$$

$$1.248. n=(1+k^2)\omega_0^2 R/8\pi k(k+1)g.$$

$$1.249. t=3/4 \omega R/kg.$$

$$1.250. \langle \omega \rangle=1/3 \omega_0.$$

$$1.251. \beta=2mgx/RI(M+2m).$$

$$1.252. \text{ ა) } k \geq 2/7 \tan \alpha; \text{ ბ) } T=5/14 mg^2 t^2 \sin^2 \alpha.$$

$$1.253. \text{ ა) } T=1/6 mg=13 \text{ ნ}, \beta=2/3 g/R=5 \cdot 10^2 \text{ რად/წმ}^2;$$

$$\text{ ბ) } P=2/3 mg^2 t.$$

$$1.254. w'=2/3(g-w_0), F=1/3 m(g-w_0).$$

$$1.255. w=g \sin \alpha/(1+I/mr^2)=1,6 \text{ მ/წმ}^2.$$

$$1.256. F_{\text{ბაჟ.}}=3kmg/(2-3k); w_{\text{ბაჟ.}}=2kg/(2-3k).$$

$$1.257. \text{ ა) } w_x=\frac{F(\cos \alpha-r/R)}{m(1+\gamma)}; \text{ ბ) } A=\frac{F^2 t^2 (\cos \alpha-r/R)^2}{2m(1+\gamma)}.$$

$$1.258. T=1/10 mg.$$

$$1.259. w=3g(M+3m)/(M+9m+I/R^2).$$

$$1.260. \text{ ა) } w=\frac{F(3m_1+2m_2)}{(m_1+m_2)m_1}; \text{ ბ) } T=\frac{F^2 t^2 (3m_1+2m_2)}{2m_1(m_1+m_2)}.$$

$$1.261. w_1=F/(m_1+2/7 m_2); w_2=2/7 w_1,$$

$$1.262. \text{ ა) } t=1/3 \omega_0 R/kg; \text{ ბ) } A=-1/6 m \omega_0^2 R^2.$$

$$1.263. \omega=\sqrt{10g(R+r)/17 r^2}.$$

$$1.264. v_0=\sqrt{1/3 g R(7 \cos \alpha-4)}=1,0 \text{ მ/წმ}.$$

$$1.265. v_0=\sqrt{8gR}.$$

$$1.266. T=mv^2.$$

$$1.267. T=7/10 mv^2(1+2/7 r^2/R^2).$$

$$1.269. N=1/24 m \omega^2 l^2 \sin 2\varphi.$$

$$1.270. \cos \varphi=3/2 g/\omega^2 l.$$

$$1.271. \Delta x=1/2 ka.$$

$$1.272. v'=\omega_0 l/\sqrt{1+3m/M}.$$

$$1.273. F=9/2 p^2/ml=96,$$

$$1.274. \text{ ა) } v'=\frac{3m-4M}{3m+4M} v; \text{ ბ) } F=\frac{8Mv^2}{l(1+4M/3m)^2}.$$

$$1.275. \text{ ა) } v=(M/m)\sqrt{2/3 gl} \sin(\alpha/2); \text{ ბ) } \Delta p=M\sqrt{1/6 gl} \sin(\alpha/2).$$

$$\text{ გ) } x \approx 2/3 l.$$

$$1.276. \text{ ა) } \omega=(1+2m/M)\omega_0; \text{ ბ) } A=1/2 m \omega_0^2 R^2(1+2m/M).$$

$$1.277. \text{ ა) } \varphi=-\frac{2m_1}{2m_1+m_2} \varphi'; \text{ ბ) } N_z=-\frac{m_1 m_2 R}{2m_1+m_2} \frac{dv'}{dt}.$$

$$1.278. \text{ ა) } \omega=\frac{I_1 \omega_1 + I_2 \omega_2}{I_1 + I_2}; \text{ ბ) } A=-\frac{I_1 I_2}{2(I_1 + I_2)} (\omega_1 - \omega_2)^2,$$

$$1.279. v'=v(4-\eta)/(4+\eta), \omega=12v/l(4+\eta). \text{ როცა } \eta=4 \text{ და } \eta>4.$$

$$1.280. \text{ ა) } A_{90^\circ}=1/2 I_0^2 \omega_0^2/(I+I_0), A_{180^\circ}=2I_0^2 \omega_0^2/I.$$

$$\text{ ბ) } N=I_0^2 \omega_0^2/(I+I_0).$$

$$1.281. \omega=\sqrt{2g/l}=6,0 \text{ რად/წმ}; F=mg l_0/l=25 \text{ ნ}.$$

$$1.282. \text{ ა) } M=1/12 m \omega l^2 \sin \varphi, M_z=M \sin \varphi,$$

$$\text{ ბ) } |\Delta M|=1/12 m \omega l^2 \sin 2\varphi; \text{ გ) } N=1/24 m \omega^2 l^2 \sin 2\varphi.$$

$$1.283. \text{ ა) } \omega'=mg l/I \omega=0,7 \text{ რად/წმ}; \text{ ბ) } F=m \omega'^2 l \sin \varphi=10 \text{ მნ},$$

$$\text{ აბ. ნახ. 11.}$$

$$1.284. \omega=(g+w)/\pi n I^2=3 \cdot 10^2 \text{ რად/წმ}.$$

$$1.285. \omega'=ml \sqrt{g^2 + \omega^2}/I \omega=0,8 \text{ რად/წმ}. \omega' \text{ ვექტორი ვერტიკალთან ადგენს } \varphi=\arctg(w/g)=6^\circ \text{ კუთხეს}.$$

$$1.286. F'=2/5 m R^2 \omega'/l=0,30 \text{ კნ}.$$

$$1.287. F_{\text{ბაჟ.}}=\pi m r^2 \varphi_m \omega/l T=0,09 \text{ კნ}.$$

$$1.288. N=2\pi n I v/R=6 \text{ კნ} \cdot \text{მ}.$$

1.289.  $F_{\text{გა}} = 2\pi n I v / R l = 1,4$  კნ. ასეთი სიდიდით იზრდება წნევის ძალა გარე რელსზე, შიდა რელსზე კი მცირდება.

1.290.  $p = \alpha E \Delta T = 2,2 \cdot 10^3$  ატმ. სადაც  $\alpha$  სითბური გაფართოების კოეფიციენტი.

1.291. ა)  $p \approx \sigma_m \Delta r / r = 20$  ატმ; ბ)  $p \approx 2\sigma_m \Delta r / r = 40$  ატმ. აქ  $\sigma_m$  მინის სიმტკიცის ზღვარია.

1.292.  $n = \sqrt{2\sigma_m / \rho} / \pi l = 0,8 \cdot 10^2$  ბრ/წმ, სადაც  $\sigma_m$  სიმტკიცის ზღვარია,  $\rho$  აპილენძის სიმკვრივე.

1.293.  $n = \sqrt{\sigma_m / \rho} / 2\pi R = 23$  ბრ/წმ; სადაც  $\sigma_m$  სიმტკიცის ზღვარია,  $\rho$  ტყეის სიმკვრივე.

1.294.  $x \approx l \sqrt{mg / 2\pi d^2 E} = 2,5$  სმ.

1.295.  $\varepsilon = 1/2 F_0 / E S$

1.296.  $T = 1/2 m \omega^2 l (1 - r^2 / l^2)$ ,  $\Delta l = 1/3 \rho \omega^2 l^3 / E$ , სადაც  $\rho$  სპილენძის სიმკვრივეა.

1.297.  $\Delta V = (1 - 2\mu) F l / E = 1,6$  მმ<sup>3</sup>, სადაც  $\mu$  პუასონის კოეფიციენტი სპილენძისთვის.

1.298. ა)  $\Delta l = 1/2 \rho g l^2 / E$ ; ბ)  $\Delta V / V = (1 - 2\mu) \Delta l / l$ . აქ  $\rho$  სიმკვრივეა,  $\mu$  კი პუასონის კოეფიციენტი სპილენძისათვის.

1.299. ა)  $\Delta V / V = -3(1 - 2\mu) p / E$ ; ბ)  $\beta = 3(1 - 2\mu) / E$ .

1.300.  $R = 1/6 E h^2 / \rho g l^2 = 0,12$  კმ, სადაც  $\rho$  ფოლადის სიმკვრივეა.

1.301. ა) აქ  $N$  არ არის დამოკიდებული  $x$ -ზე და ტოლია  $N_0$ . გამოსავალი განტოლების ორჯერ ინტეგრება საწყისი  $dy/dx = 0$  და  $y(0) = 0$  პირობების გათვალისწინებით, მოგვცემს  $y = (N_0 / 2EI) x^2$ . ეს პარაბოლის განტოლებაა. ლენტის ისარი  $\lambda = N_0 l^2 / 2EI$ , სადაც  $I = a^4 / 12$ .

ბ) მოცემულ შემთხვევაში  $N(x) = F(l - x)$  და  $y = (F / 2EI)(l - x/3)x^2$ ;  $\lambda = F l^3 / 3EI$ , სადაც  $I$  იგივეა, რაც წინა პუნქტში.

1.302.  $\lambda = F l^3 / 48 EI$ .

1.303. ა)  $\lambda = 3/2 \rho g l^4 / E h^2$ ; ბ)  $\lambda = 5/2 \rho g l^4 / E h^2$ , აქ  $\rho$  ფოლადის სიმკვრივეა.

1.304.  $\lambda = 9/32 \rho l^5 / E h^2$ , სადაც  $\rho$  ფოლადის სიმკვრივეა.

1.305. ა)  $\varphi = (l / 2\pi r^3 \Delta r G) \cdot N$ ; ბ)  $\varphi = (2l / \pi r^4 G) \cdot N$ .

1.306.  $N = \pi(d_2^4 - d_1^4) G \varphi / 32 l = 0,5$  კნ.

1.307.  $P = 1/3 \pi r^4 G \varphi = 17$  კვტ.

1.308.  $N = 1/2 \beta m (r_2^4 - r_1^4) / (r_2^2 - r_1^2)$ ,

1.309.  $U = 1/2 m E \varepsilon^2 / \rho = 0,04$  კჯ, სადაც  $\rho$  ფოლადის სიმკვრივეა.

1.310. ა)  $U = 1/6 \pi r^2 l^3 \rho^2 g^2 / E$ ; ბ)  $U = 2/3 \pi r^2 l E (\Delta l / l)^2$ .  $\rho$  ფოლადის სიმკვრივეა.

1.311.  $A \approx 1/6 \pi^2 h \delta^3 E / l = 0,08$  კჯ.

1.312.  $U = 1/4 \pi r^4 G \varphi^2 / l = 7$  ჯ.

1.313.  $u = 1/2 G \varphi^2 r^2 / l^2$ .

1.314.  $u = 1/2 \beta (\rho g h)^2 = 23,5$  კჯ/მ<sup>3</sup>, სადაც  $\beta$  ქუქუმშის კოეფიციენტი.

1.315.  $p_1 > p_2$ ,  $v_1 < v_2$ , ლენტის წირების სიმკვრივე იზრდება. 1 წერტილიდან 2 წერტილში გადასვლის დროს.

1.316.  $Q = S_1 S_2 \sqrt{2g \Delta h / (S_2^2 - S_1^2)}$ .

1.317.  $Q = S \sqrt{2g \Delta h \rho_0 / \rho}$ .

1.318.  $v = \sqrt{2g(h_1 + h_2 \rho_1 / \rho_2)} = 3$  მ/წმ, სადაც  $\rho_1$  და  $\rho_2$  წყლისა და ნავთის სიმკვრივეებია.

1.319.  $h = 25$  სმ;  $l_{\text{ავტ.}} = 50$  სმ.

1.320.  $h = 1/2 v^2 / g - h_0 = 20$  სმ.

1.321.  $p = p_0 + \rho g h (1 - R_1^2 / r^2)$ , სადაც  $R_1 < r < R_2$ ,  $p_0$  ატმოსფერული წნევა.

1.322.  $A = 1/2 \rho V^3 / s^2 t^2$ , სადაც  $\rho$  წყლის სიმკვრივეა.

1.323.  $\tau = \sqrt{2h / g} S / s$ .

1.324.  $v = \omega h \sqrt{2l / h - 1}$

1.326.  $F = 2 \rho g S \Delta h = 0,50$  ნ.

1.327.  $F = \rho g b l (2h - l) = 5$  ნ.

1.328.  $N = \rho l Q^2 / \pi r^2 = 0,7$  ნ.

1.329.  $F = \rho g h (S - s)^2 / S = 6$  ნ.

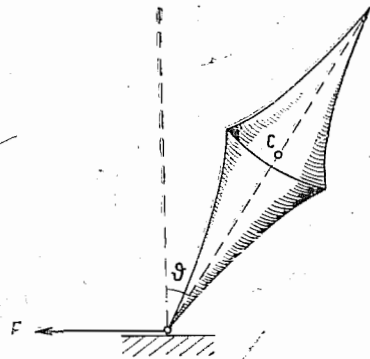
1.330. ა) ბრუნვის პარაბოლოიდი  $z = (\omega^2 / 2g) r^2$ , სადაც  $z$  სიმაღლეა სითხის ზედაპირიდან ჭურჭლის ღერძის გასწვრივ,  $r$  — მანძილი ბრუნვის ღერძიდან; ბ)  $p = p_0 + 1/2 \rho \omega^2 r^2$ .

1.331.  $P = \pi \eta \omega^2 R^4 / h = 9$  ვტ.

1.332.  $v = v_0 \frac{\ln(r/R_2)}{\ln(R_1/R_2)}$ .

1.333. ა)  $\omega = \omega_2 \frac{R_1^2 R_2^2}{R_2^2 - R_1^2} \left( \frac{1}{R_1^2} - \frac{1}{r^2} \right)$ ; ბ)  $N = 4\pi \eta \omega_2 \frac{R_1^2 R_2^2}{R_2^2 - R_1^2}$ .

1.334. ა)  $Q = 1/2 \pi v_0 R^2$ ; ბ)  $T = 1/6 \pi l R^2 \rho v_0^2$ ; გ)  $F_{\text{ხახ}} = 4\pi \eta l v_0$ ; დ)  $\Delta p = 4\eta l v_0 / R^2$ .



ნახ. 11.



1.335. დამატებითი  $\Delta h = 5$  სმ დაწნევა მილის მარცხენა ბოლოში მასში შემავალ სითხეს ანიჭებს კინეტიკურ ენერგიას.  $\rho v^2/2 = \rho g \Delta h$  პირობიდან მივიღებთ  $v = \sqrt{2g\Delta h} = 1,0$  მ/წმ.

1.336. საძიებელი შეფარდება ტოლია  $e^{\alpha \Delta x} = 5$ .

1.337.  $v_2 = v_1 \frac{r_1 \rho_1 \eta_2}{r_2 \rho_2 \eta_1} = 5$  მკმ/წმ.

1.338.  $d = \sqrt[3]{\frac{18 \text{Re} \eta^2}{(\rho_1 - \rho_0) \rho_0 g}} = 5$  მმ, სადაც  $\rho_0$  და  $\rho$  გლიცერინისა

და ტყვიის სიმკვრივეებია.

1.339.  $t = -\frac{\rho d^2}{18\eta} \ln n = 0,20$  წმ.

1.340.  $v = c \sqrt{\eta(2-\eta)} = 0,1c$  წმ, სადაც  $c$  სინათლის სიჩქარეა

1.341. ა)  $P = a(1 + \sqrt{4-3\beta^2})$ ; ბ)  $P = a(\sqrt{1-\beta^2} + \sqrt{4-\beta^2})$ . აქ  $\beta = V/c$ .

1.342.  $l_0 = l \sqrt{(1-\beta^2 \sin^2 \vartheta)/(1-\beta^2)} = 1,08$  მ, სადაც  $\beta = v/c$ .

1.343. ა)  $\text{tg } \vartheta' = \frac{\text{tg } \vartheta}{\sqrt{1-\beta^2}}$ , აქედან  $\vartheta' = 59^\circ$ ;

ბ)  $S = S_0 \sqrt{1-\beta^2 \cos^2 \vartheta} = 3,3$  მ<sup>2</sup>. აქ  $\beta = v/c$ .

1.344.  $v = c \sqrt{\left(2 - \frac{\Delta t}{t}\right) \frac{\Delta t}{t}} = 0,6 \cdot 10^8$  მ/წმ.

1.345.  $l_0 = c \Delta t' \sqrt{1 - (\Delta t / \Delta t')^2} = 4,5$  მ.

1.346.  $s = c \Delta t \sqrt{1 - (\Delta t_0 / \Delta t)^2} = 5$  მ.

1.347. ა)  $\Delta t_0 = (l/v) \sqrt{1 - (v/c)^2} = 1,4$  მკწმ;

ბ)  $l' = l \sqrt{1 - (v/c)^2} = 0,42$  კმ.

1.348.  $l_0 = v \Delta t / \sqrt{1 - (v/c)^2} = 17$  მ.

1.349.  $l_0 = \sqrt{\Delta x_1 \Delta x_2} = 6,0$  მ,  $v = c \sqrt{1 - \Delta x_1 / \Delta x_2} = 2,2 \cdot 10^8$  მ/წმ.

1.350.  $v = \frac{2l_0 / \Delta t}{1 + (l_0 / c \Delta t)^2}$ .

1.351. წინ მოძრავე ნაწილაკი დაიშალა  $\Delta t = l\beta/c(1-\beta^2) = 20$  მკწმ-ით უფრო გვიან. აქ  $\beta = v/c$ .

1.352. ა)  $l_0 = \frac{x_A - x_B - v(t_A - t_B)}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$ ; ბ)  $t_A - t_B = (1 - \sqrt{1 - (v/c)^2}) l_0 / v$ ,

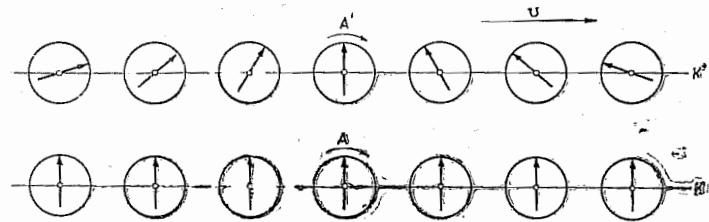
აბ  $t_B - t_A = (1 + \sqrt{1 - (v/c)^2}) l_0 / v$ .

1.353. ა)  $t(B) = l_0/v$ ,  $t(B') = (l_0/v) \sqrt{1 - (v/c)^2}$ ;

ბ)  $t(A) = (l_0/v) \sqrt{1 - (v/c)^2}$ ,  $t(A') = l_0/v$ .

1.354.  $K$  სისტემის საათის „თვალსაზრისით“ იხ. ნახ. 12.

1.355.  $x = (1 - \sqrt{1 - \beta^2}) c / \beta$ , სადაც  $\beta = V/c$ .



ნახ. 12.

1.356. ამისათვის აუცილებელია დავრწმუნდეთ იმაში, რომ როდესაც  $\Delta t = t_2 - t_1 > 0$ , მაშინ  $\Delta t' = t'_2 - t'_1 > 0$ .

1.357. ა) 13 წმ; ბ) 4,0 მ. მითითებული ისარგებლეთ ინტერვალის ინვარიანტულობით.

1.358.  $v' = \frac{\sqrt{(v_x - V)^2 + v_y^2 (1 - V^2/c^2)}}{1 - v_x V/c^2}$ .

1.359. ა)  $v = v_1 + v_2 = 1,25c$ ; ბ)  $v = (v_1 + v_2)/(1 + v_1 v_2/c^2) = 0,91 c$ .

1.360.  $l = l_0 (1 - \beta^2)/(1 + \beta^2)$ , სადაც  $\beta = v/c$ .

1.361. ა)  $v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}$ ; ბ)  $v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 - (v_1 v_2/c)^2}$ .

1.362.  $s = \Delta t_0 \sqrt{\frac{V^2 + (1 - \beta^2) v'^2}{(1 - \beta^2)(1 - v'^2/c^2)}}$ , სადაც  $\beta = V/c$ .

1.363.  $\text{tg } \vartheta' = \frac{\sqrt{1 - \beta^2} \sin \vartheta}{\cos \vartheta - V/c}$ , სადაც  $\beta = V/c$ .

1.364.  $\text{tg } \vartheta = v' V/c^2 \sqrt{1 - (V/c)^2}$ .

1.365. ა)  $w' = w(1 - \beta^2)^{1/2}/(1 - \beta v/c)$ ; ბ)  $w' = w(1 - \beta^2)$ . აქ  $\beta = V/c$ .

1.366. ისარგებლეთ კავშირით  $w$  და  $w'$  აჩქარებებს შორის დედამიწასთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში.

$$w' = (1 - v^2/c^2)^{-3/2} \frac{dw}{dt}$$

ეს ფორმულა მოყვანილია წინა ამოცანის ამოხსნაში (ა პუნქტი), სადაც დაშვებულია, რომ  $V = v$ . ამ განტოლების ინტეგრებით (როცა  $w' = \text{const}$ ) მივიღებთ  $v = w't / \sqrt{1 + (w't/c)^2}$ . საძიებელი გზა

$l = (\sqrt{1 + (w't/c)^2} - 1) c^2 / w' = 0,91$  სინათლის წელს;

22 ი. იორდოვი

$$(c-v)/c = 1/2 (c/w't)^2 = 0,47\%$$

1.367. თუ გავითვალისწინებთ, რომ  $v = w't / \sqrt{1 + (w't/c)^2}$ , მივიღებთ

$$\tau_0 = \int_0^{\tau} \frac{dt}{\sqrt{1 + (w't/c)^2}} = \frac{c}{w'} \ln \left[ \frac{w'\tau}{c} + \sqrt{1 + \left(\frac{w'\tau}{c}\right)^2} \right] = 3,5 \text{ თვე.}$$

1.368.  $m/m_0 \approx 1 / \sqrt{2(1-\beta)} \approx 70$ , სადაც  $\beta = v/c$ .

1.369.  $v = c \sqrt{\eta(2+\eta)/(1+\eta)} = 0,6c$ , სადაც  $c$  სინათლის სიჩქარეა. აქ გამოყენებულია სიმკვრივის განსაზღვრა, როგორც სხეულის უძრავობის მასის შეფარდება მის მოცულობასთან.

1.370.  $(c-v)/c = 1 - [1 + (m_0c/p)^2]^{-1/2} = 0,44\%$ .

1.371.  $v = (c/\eta) \sqrt{\eta^2 - 1} = 1/2 c \sqrt{3}$ .

1.372.  $A = 0,42 m_0 c^2$   $0,14 m_0 c^2$ -ის მაგიერად.

1.373.  $v = 1/2 c \sqrt{3} = 2,6 \cdot 10^8$  მ/წმ.

1.374. როცა  $\varepsilon \ll 1$  შეფარდება  $T/m_0 c^2 \lesssim 4/3 \varepsilon \approx 0,013$ .

1.375.  $p = \sqrt{T(T + 2m_0 c^2)} / c = 1,09$  გეგ/ც, სადაც  $c$  სინათლის სიჩქარეა.

1.376.  $F = (I/ec) \sqrt{T(T + 2m_0 c^2)}$ ,  $P = TI/e$ .

1.377.  $p = 2nmv^2/(1-v^2/c^2)$ .

1.378.  $v = Fct / \sqrt{m_0^2 c^2 + F^2 t^2}$ ,  $l = \sqrt{(m_0 c^2 / F)^2 + c^2 t^2} - m_0 c^2 / F$ .

1.379.  $F = m_0 c^2 / a$ .

1.380. ა) ორ შემთხვევაში  $F \parallel v$  და  $F \perp v$ ; ბ)  $F_{\perp} = m_0 w / \sqrt{1-\beta^2}$ ,  $F_{\parallel} = m_0 w / (1-\beta^2)^{3/2}$ , სადაც  $\beta = v/c$ .

1.382.  $\varepsilon' = \varepsilon \sqrt{(1-\beta)(1+\beta)}$ , სადაც  $\beta = V/c$ .  $V = 3/5 c$ .

1.383.  $E^2 - p^2 c^2 = m_0^2 c^4$ , სადაც  $m_0$  ნაწილაკის უძრავობის მასაა.

1.384. ა)  $\tilde{T} = 2m_0 c^2 (\sqrt{1 + T/2m_0 c^2} - 1) = 777$  მგეგ,  $\tilde{p} = \sqrt{1/2 m_0 T} = 940$  მგეგ/ც, ბ)  $V = c \sqrt{T/(T + 2m_0 c^2)} = 2,12 \cdot 10^8$  მ/წმ.

1.385.  $M_0 = \sqrt{2m_0(T + 2m_0 c^2)} / c$ ,  $V = c \sqrt{T/(T + 2m_0 c^2)}$ .

1.386.  $T' = 2T(T + 2m_0 c^2) / m_0 c^2 = 1,43 \cdot 10^3$  გეგ.

1.387.  $E_{1\text{მაქს}} = \frac{m_0^2 + m_1^2 - (m_2 + m_3)^2}{2m_0} c^2$ ,  $m_1$  ნაწილაკს ექნება უდიდესი

ენერგია იმ შემთხვევაში, როდესაც დანარჩენი ორი  $m_2$  და  $m_3$  ნაწილაკებისგან შემდგარი სისტემის ენერგია იქნება უმცირესი, ე. ი. როდესაც ისინი მოძრაობენ, როგორც ერთი მთლიანი სისტემა.

1.388.  $v/c = \frac{1 - (m/m_0)^{2u/c}}{1 + (m/m_0)^{2u/c}}$ . ისარგებლოთ იმპულსის მუდმივობის კანონით (1.178 ამოცანის ამოხსნის მსგავსად) და სიჩქარის გარდაქმნის რელატივისტური ფორმულით.

2.1.  $m = \rho V \Delta p / p_0 = 30$  გ. სადაც  $p_0$  ნორმალური ატმოსფერული წნევაა.

2.2.  $p = 1/2 (p_1 T_2 / T_1 - \Delta p) = 0,10$  ატმ.

2.3.  $m_1/m_2 = (1 - a/M_2) / (a/M_1 - 1) = 0,50$ , სადაც  $a = mRT/pV$ .

2.4.  $\rho = \frac{p_0(m_1 + m_2)}{RT(m_1/M_1 + m_2/M_2)} = 1,5$  გ/ლ.

2.5. ა)  $p = (v_1 + v_2 + v_3) RT/V = 2,0$  ატმ; ბ)  $M = (v_1 M_1 + v_2 M_2 + v_3 M_3) / (v_1 + v_2 + v_3) = 36,7$  გ/მოლი.

2.6.  $T = T_0 \eta' (\eta^2 - 1) / \eta (\eta'^2 - 1) = 0,42$  კკ.

2.7.  $n = \frac{\ln \eta}{\ln(1 + \Delta V/V)}$ .

2.8.  $p = p_0 e^{-Ct/V}$ .

2.9.  $t = (V/C) \ln \eta = 1,0$  წთ.

2.10.  $\Delta T = (mg + p_0 \Delta S) l / R = 0,9$  კ.

2.11. ა)  $T_{\text{მაქს}} = 2/3 (p_0/R) \sqrt{p_0/3\alpha}$ ; ბ)  $T_{\text{მაქს}} = p_0/e\beta R$ .

2.12.  $p_{\text{მაქს}} = 2R/\alpha T_0$ .

2.13.  $dT/dh = -Mg/R = -33$  მკ/მ.

2.14.  $dT/dh = -Mg(n-1)/nR$ .

2.15. 0,5 და 2 ატმ.

2.16. ა)  $h = RT/Mg = 8,0$  კმ; ბ)  $h \approx \eta RT/Mg = 0,08$  კმ.

2.17.  $m = (1 - e^{-Mgh/RT}) p_0 S l g$ .

2.18.  $\overline{h_c} = \int_0^{\infty} h \rho dh / \int_0^{\infty} \rho dh = RT/Mg$ .

2.19. ა)  $p = p_0(1 - ah)^n$ ,  $h < 1/a$ ; ბ)  $p = p_0 / (1 + ah)^n$ . აქ  $n = Mg/aRT_0$ .

2.20.  $p = p_0 e^{M\omega^2 r^2 / 2RT}$ .

2.21.  $p_{0g} = \rho RT/M = 280$  ატმ;  $p = \rho RT / (M - \rho b) - a\rho^2 / M^2 = 80$  ატმ.

$$2.22. \text{ ა) } T = a(V-b)(1+\eta) / RV(\eta V+b) = 133 \text{ K};$$

$$\text{ბ) } p = RT / (V-b) - a/V^2 = 9,9 \text{ ატმ.}$$

$$2.23. a = V^2(T_1 p_2 - T_2 p_1) / (T_2 - T_1) = 185 \text{ ატმ} \cdot \text{ლ}^2 / \text{მოლი}^2;$$

$$b = V - R(T_2 - T_1) / (p_2 - p_1) = 0,042 \text{ ლ/მოლი.}$$

$$2.24. \kappa = V^2(V-b)^2 / [RTV^3 - 2a(V-b)^2].$$

$$2.25. T > a/bR.$$

$$2.26. U = pV / (\gamma - 1) = 10 \text{ მგჯ.}$$

$$2.27. \Delta T = \frac{1}{2} M v^2 (\gamma - 1) / R.$$

$$2.28. T = T_1 T_2' (p_1 V_1 + p_2 V_2) / (p_1 V_1 T_2 + p_2 V_2 T_1);$$

$$p = (p_1 V_1 + p_2 V_2) / (V_1 + V_2).$$

$$2.29. \Delta U = -p_0 V \Delta T / T_0 (\gamma - 1) = -0,25 \text{ მგჯ.}, Q' = -\Delta U.$$

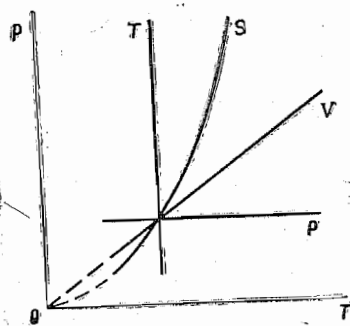
$$2.30. Q = A\gamma / (\gamma - 1) = 7 \text{ მგჯ.}$$

$$2.31. A = R\Delta T = 0,60 \text{ მგჯ.}, \Delta U = Q - R\Delta T = 1,00 \text{ მგჯ.};$$

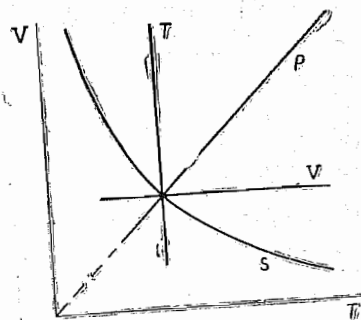
$$\gamma = Q / (Q - R\Delta T) = 1,6$$

$$2.32. Q = \gamma RT_0 (1 - 1/n) = 2,5 \text{ მგჯ.}$$

$$2.33. \gamma = \frac{\nu_1 \gamma_1 (\gamma_2 - 1) + \nu_2 \gamma_2 (\gamma_1 - 1)}{\nu_1 (\gamma_2 - 1) + \nu_2 (\gamma_1 - 1)} = 1,33.$$



ა)



ბ)

ნახ. 13.

$$2.34. c_V = 0,42 \text{ მგჯ. / (გ. K)}, c_P = 0,65 \text{ მგჯ. / (გ. K)}.$$

$$2.35. A = RT(n-1-\ln n).$$

$$2.36. A' = p_0 V_0 \ln[(\eta+1)^2 / 4\eta].$$

$$2.37. \gamma = 1 + (n-1) / (Q / \gamma RT_0 - \ln n) = 1,4.$$

2.38. იხ. ნახ. 13, სადაც  $V$  — იზოქორული პროცესია,  $p$  — იზობარული,  $T$  — იზოთერმული,  $S$  — ადიაბატური.

$$2.39. \text{ ა) } T = T_0 \eta^{(\gamma-1)/\gamma} = 0,56 \text{ მკ}; \text{ ბ) } A' = RT_0 (\eta^{(\gamma-1)/\gamma} - 1) / (\gamma - 1) = 5,6 \text{ მგჯ.}$$

$$2.40. \text{ ადიაბატური შეკუმშვისას მეტია } n = (\eta^{\gamma-1} - 1) / (\gamma - 1) \ln \eta = 1,4\text{-ჯერ.}$$

$$2.41. T = T_0 [(\eta+1)^2 / 4\eta]^{(\gamma-1)/2}.$$

$$2.42. v = \sqrt{2\gamma RT / (\gamma - 1) M} = 3,3 \text{ კმ/წ.}$$

$$2.43. Q = R\Delta T (2 - \gamma) / (\gamma - 1).$$

$$2.45. C_n = R(n - \gamma) / (n - 1)(\gamma - 1); C_n < 0, \text{ როცა } 1 < n < \gamma.$$

$$2.46. C = R(n - \gamma) / (n - 1)(\gamma - 1) = -4,2 \text{ მგჯ. / (K} \cdot \text{მოლი)}, \text{ სადაც } n = \ln \beta / \ln \alpha.$$

$$2.47. \text{ ა) } Q = R(n - \gamma) \Delta T / (n - 1)(\gamma - 1) = 0,11 \text{ მგჯ.};$$

$$\text{ბ) } A = -R\Delta T / (n - 1) = 0,43 \text{ მგჯ.}$$

$$2.48. \text{ ა) } \Delta U = \alpha V_0^2 (\eta^2 - 1) / (\gamma - 1); \text{ ბ) } A = \frac{1}{2} \alpha V_0^2 (\eta^2 - 1);$$

$$\text{გ) } C = \frac{1}{2} R(\gamma + 1) / (\gamma - 1).$$

$$2.49. \text{ ა) } C = -R / (\gamma - 1); \text{ ბ) } TV^{(\gamma-1)/2} = \text{const};$$

$$\text{გ) } A = 2RT_0 (1 - \eta^{(1-\gamma)/2}) / (\gamma - 1).$$

$$2.50. \text{ ა) } A = (1 - \alpha) R\Delta T; \text{ ბ) } C = R / (\gamma - 1) + R(1 - \alpha); C < 0, \text{ როცა } \alpha > \gamma / (\gamma - 1),$$

$$2.51. \text{ ა) } A = \Delta U (\gamma - 1) / \alpha; Q = \Delta U [1 + (\gamma - 1) / \alpha];$$

$$\text{ბ) } C = R / (\gamma - 1) + R / \alpha$$

$$2.52. \text{ ა) } C = C_V + R / \alpha V; \text{ ბ) } C = C_V + R / (1 + \alpha V).$$

$$2.53. \text{ ა) } C = \gamma R / (\gamma - 1) + \alpha R / p_0 V; \text{ ბ) } \Delta U = p_0 (V_2 - V_1) / (\gamma - 1);$$

$$A = p_0 (V_2 - V_1) + \alpha \ln(V_2 / V_1); Q = \gamma p_0 (V_2 - V_1) / (\gamma - 1) + \alpha \ln(V_2 / V_1).$$

$$2.54. \text{ ა) } C = C_P + RT_0 / \alpha V; \text{ ბ) } Q = \alpha C_P (V_2 - V_1) + RT_0 \ln(V_2 / V_1).$$

$$2.55. \text{ ა) } V e^{-\alpha T / R} = \text{const}; \text{ ბ) } T e^{R / \beta V} = \text{const}; \text{ გ) } V - \alpha T = \text{const.}$$

$$2.56. \text{ ა) } A = \alpha \ln \eta - RT_0 (\eta - 1) / (\gamma - 1); \text{ ბ) } p V \gamma e^{\alpha(\gamma-1) / p V} = \text{const.}$$

$$2.57. A = RT \ln \frac{V_2 - b}{V_1 - b} + a \left( \frac{1}{V_2} - \frac{1}{V_1} \right), \text{ სადაც } a \text{ და } b \text{ ვან-დერ-ვაალსის მუდმივებია.}$$

$$2.58. \text{ ა) } \Delta U = a / V_1 - a / V_2 = 0,11 \text{ მგჯ.}; \text{ ბ) } Q = RT \ln \frac{V_2 - b}{V_1 - b} = 3,8 \text{ მგჯ.}$$

$$2.59. \text{ ა) } T(V-b)^{R/C_V} = \text{const}; \text{ ბ) } C_P - C_V = \frac{R}{1 - 2a(V-b)^2 / RTV^3}.$$

$$2.60. \Delta T = - \frac{\gamma a V_2 (\gamma - 1)}{R V_1 (V_1 + V_2)} = -3,0 \text{ K.}$$

$$2.61. Q = \nu^2 a (V_2 - V_1) / V_1 V_2 = 0,33 \text{ კვ.}$$

$$2.62. n = p/kT = 1 \cdot 10^5 \text{ სმ}^{-3}; \langle l \rangle = 0,2 \text{ მმ.}$$

$$2.63. p = (1 + \eta) m R T / M V = 1,9 \text{ ატმ, სადაც } M \text{ აზოტის ერთი მო-}$$

$$\text{ლის მასაა. } 2.64. n = (p/kT - \rho/m_2) / (1 - m_1/m_2) = 1,6 \cdot 10^{19} \text{ სმ}^{-3}, \text{ სადაც } m_1 \text{ და } m_2 \text{ ჰელიუმისა და აზოტის მოლეკულოთა მასებია.}$$

$$2.65. p = 2nmv^2 \cos^2 \theta = 1,0 \text{ ატმ, სადაც } m \text{ აზოტის მოლეკულის მასაა.}$$

$$2.66. i = 2 / (\rho v^2 / p - 1) = 5.$$

$$2.67. v/v_{\text{კ}} = \sqrt{(i+2)/3i}; \text{ ა) } 0,75; \text{ ბ) } 0,68.$$

$$2.68. \langle \varepsilon \rangle = \begin{cases} (3N-3)kT & \text{არაწრფივი მოლეკულებისათვის,} \\ (3N-5/2)kT & \text{წრფივი მოლეკულებისათვის.} \end{cases}$$

$$\text{შესაბამისად } 1/2 (N-1) \text{ და } 1/(2N-5/3).$$

$$2.69. \text{ ა) } C_V = 7/2 R, \gamma = 9/7; \text{ ბ) } C_V = (3N-5/2)R, \gamma = (6N-3)/(6N-5); \text{ გ) } C_V = 3(N-1)R, \gamma = (N-2/3)/(N-1).$$

$$2.70. A/Q = \begin{cases} 1/(3N-2) & \text{არაწრფივი მოლეკულებისათვის,} \\ 1/(3N-3/2) & \text{წრფივი მოლეკულებისათვის.} \end{cases}$$

$$\text{ერთატომიანი მოლეკულებისათვის } A/Q = 2/5.$$

$$2.71. M = R/(c_p - c_v) = 32 \text{ გ/მოლი; } i = 2/(c_p/c_v - 1) = 5.$$

$$2.72. \text{ ა) } i = 2(C_p/R - 1) = 5; \text{ ბ) } i = 2[C/R + 1/(n-1)] = 3, \text{ სადაც } n = 1/2 \text{ პოლიტროპის მაჩვენებელია.}$$

$$2.73. \gamma = (5v_1 + 7v_2) / (3v_1 + 5v_2).$$

$$2.74. \text{ გაიზრდება } \Delta p/p = M v^2 / i R T = 2,2\% \text{-ით, სადაც } i = 5.$$

$$2.75. \text{ ა) } v_{\text{კ}} = \sqrt{3RT/M} = 0,47 \text{ კმ/წმ. } \langle \varepsilon \rangle = 3/2 kT = 6,0 \cdot 10^{-21} \text{ ჯ; } \text{ ბ) } v_{\text{კ}} = 3 \sqrt{2kT/\pi \rho d^3} = 0,15 \text{ მ/წმ.}$$

$$2.76. \eta^i = 7,6\text{-ჯერ.}$$

$$2.77. Q = 1/2 (\eta^2 - 1) i m R T / M = 10 \text{ კვ.}$$

$$2.78. \omega_{\text{კ}} = \sqrt{2kT/I} = 6,3 \cdot 10^{12} \text{ რად/წმ.}$$

$$2.79. \langle \varepsilon \rangle_{\text{ბ.}} = kT_0 \eta^{2/i} = 0,7 \cdot 10^{-20} \text{ ჯ.}$$

$$2.80. \text{ შემცირდება } \eta^{(i+1)/i} \text{-ჯერ, სადაც } i = 5.$$

$$2.81. \text{ შეპცირდა } \eta^{(i-1)/(i-2)} = 2,5 \text{ ჯერ.}$$

$$2.82. C = 1/2 R (i+1) = 3R.$$

$$2.83. v_{\text{კ.ბ.}} = \sqrt{2p/\rho} = 0,45 \text{ კმ/წმ, } \langle v \rangle = 0,51 \text{ კმ/წმ, } v_{\text{კ}} = 0,55 \text{ კმ/წმ.}$$

$$2.84. \text{ ა) } \delta N/N = (8/\sqrt{\pi}) e^{-1} \delta \eta = 1,66\%;$$

$$\text{ ბ) } \delta N/N = 12 \sqrt{3/2\pi} e^{-3/2} \delta \eta = 1,85\%.$$

$$2.85. \text{ ა) } T = \frac{m (\Delta v)^2}{k (\sqrt{3} - \sqrt{2})^2} = 380 \text{ K; } \text{ ბ) } T = \frac{mv^2}{2k} = 340 \text{ K.}$$

$$2.86. \text{ ა) } T = \frac{m (v_2^2 - v_1^2)}{4k \ln (v_2/v_1)} = 330 \text{ K; } \text{ ბ) } v = \sqrt{\frac{3kT_0}{m} \frac{\eta \ln \eta}{\eta - 1}}.$$

$$2.87. T = \frac{m_N (\Delta v)^2}{2k (1 - \sqrt{m_N/m_0})^2} = 0,37 \text{ კK.}$$

$$2.88. v = \sqrt{\frac{3kT \ln (m_2/m_1)}{m_2 - m_1}} = 1,61 \text{ კმ/წმ.}$$

$$2.89. T = 1/3 m v^2 / k.$$

$$2.90. dN/N = \left( \frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-mv^2/2kT} 2\pi v_{\perp} dv_{\perp} dv_{\parallel},$$

$$2.91. \langle v_x \rangle = 0, \langle |v_x| \rangle = \sqrt{2kT/\pi m}.$$

$$2.92. \langle v_x^2 \rangle = kT/m.$$

$$2.93. v = 1/4 n \langle v \rangle, \text{ სადაც } \langle v \rangle = \sqrt{8kT/\pi m}.$$

$$2.94. p = \int_0^{\infty} 2mv_x \cdot v_x dn(v_x) = nkT, \text{ სადაც}$$

$$dn(v_x) = (m/2\pi kT)^{1/2} n \cdot e^{-mv_x^2/2kT} dv_x.$$

$$2.95. \langle 1/v \rangle = \sqrt{2m/\pi kT} = 4/\pi \langle v \rangle.$$

$$2.96. dN/N = 2\pi (\pi kT)^{-3/2} e^{-\varepsilon/kT} \sqrt{\varepsilon} d\varepsilon; \text{ ზეარბ. } = 1/2 kT; \text{ არა.}$$

$$2.97. \delta N/N = 3\sqrt{6\pi} e^{-3/2} \delta \eta = 0,9\%.$$

$$2.98. \text{ სიძიებელი სიდიდე}$$

$$\frac{\Delta N}{N} = \frac{2\pi}{(\pi kT)^{3/2}} \int_{\varepsilon_0}^{\infty} \sqrt{\varepsilon} e^{-\varepsilon/kT} d\varepsilon.$$

ინტეგრალის მნიშვნელობაში მთავარ როლს ასრულებს  $\varepsilon$ -ის უმცირესი მნიშვნელობები, სახელდობრ,  $\varepsilon \approx \varepsilon_0$ . ნელა ცვლადი  $\sqrt{\varepsilon}$  მამრავლი შეიძლება გავითანოთ ინტეგრალის ნიშნის გარეთ და მისი მნიშვნელობა ავიღოთ, როცა  $\varepsilon = \varepsilon_0$ . მაშინ

$$\frac{\Delta N}{N} = 2 \sqrt{\varepsilon_0 / \pi kT} e^{-\varepsilon_0/kT}.$$

$$2.99. v_{\text{კ.ბ.}} = \sqrt{3kT/m}; \text{ ბ) } v_{\text{კ.ბ.}} = kT.$$

$$2.100. dv = \int_{v=0}^{\infty} dn(d\Omega/4\pi) v \cos \theta = n(2kT/\pi m)^{1/2} \sin \theta \cos \theta d\theta.$$



$$2.101. \quad d\nu = \int_{\nu=0}^{\pi/2} d\nu (d\Omega/4\pi) \nu \cos \vartheta = \pi (m/2\pi kT)^{3/2} e^{-m\nu^2/2kT} \cdot \nu^3 d\nu.$$

$$2.102. \quad F = (kT/\Delta h) \ln \eta = 0,9 \cdot 10^{-19} \text{ ბ.}$$

$$2.103. \quad N_A = (6RT/\pi d^3 \Delta \rho g h) \ln \eta \approx 6,4 \cdot 10^{23} \text{ მოლი}^{-1}.$$

$$2.104. \quad \eta/\eta_0 = e^{(M_2 - M_1)gh/RT} = 1,39.$$

$$2.105. \quad h = \frac{kT \ln (n_2/n_1)}{(m_2 - m_1)g}.$$

$$2.106. \quad \text{არ შეიცვლება.}$$

$$2.107. \quad \langle U \rangle = kT. \text{ არ არის დამოკიდებული.}$$

$$2.108. \quad w \approx \eta RT/Ml \approx 70g.$$

$$2.109. \quad M = \frac{2RT\rho \ln \eta}{(\rho - \rho_0)(r_2^2 - r_1^2)\omega^2}.$$

$$2.110. \quad \omega = \sqrt{(2RT/Ml^2) \ln \eta} = 280 \text{ რად/წმ.}$$

$$2.111. \quad \text{ა) } dN = n_0 e^{-ar^2/kT} 4\pi r^2 dr; \quad \text{ბ) } r_{\text{ზარბ.}} = \sqrt{kT/a};$$

$$\text{გ) } dN/N = (a/\pi kT)^{3/2} e^{-ar^2/kT} 4\pi r^2 dr; \quad \text{დ) } \text{გაიზრდება } \eta^{3/2} \text{-ჯერ.}$$

$$2.112. \quad \text{ა) } dN = (2\pi n_0/a^{3/2}) e^{-U/kT} \sqrt{U} dU; \quad \text{ბ) } U_{\text{ზარბ.}} = 1/2 kT.$$

$$2.113. \quad \text{მეორე შემთხვევაში.}$$

$$2.114. \quad \text{ა) } \eta = 1 - n^{1-\gamma} = 0,25; \quad \text{ბ) } \eta = 1 - n^{1/\gamma-1} = 0,18.$$

$$2.115. \quad \varepsilon = (1-\eta)/\eta = 9.$$

$$2.116. \quad \eta = 1 - 2T_3/(T_1 + T_2).$$

$$2.117. \quad \eta = 1 - n^{1-\gamma} = 60\%.$$

$$2.118. \quad \eta = 1 - n^{-(1-1/\gamma)}.$$

$$2.119. \quad \eta = 1 - (n + \gamma)/(1 + \gamma n).$$

$$2.120. \quad \text{ორივე შემთხვევაში } \eta = 1 - \frac{\ln n}{n-1}.$$

$$2.121. \quad \text{ორივე შემთხვევაში } \eta = 1 - \frac{n-1}{n \ln n}.$$

$$2.122. \quad \eta = 1 - \frac{n-1}{n \ln n}.$$

$$2.123. \quad \text{ა) } \eta = 1 - \gamma \frac{n-1}{n^\gamma - 1}; \quad \text{ბ) } \eta = 1 - \frac{n^\gamma - 1}{\gamma(n-1)n^{\gamma-1}}.$$

$$2.124. \quad \text{ა) } \eta = 1 - \frac{\gamma(n-1)}{n-1 + (\gamma-1)n \ln n};$$

$$\text{ბ) } \eta = 1 - \frac{n-1 + (\gamma-1) \ln n}{\gamma(n-1)}.$$

$$2.125. \quad \eta = \frac{(\tau-1) \ln \nu}{\tau \ln \nu + (\tau-1)/(\gamma-1)}.$$

$$2.126. \quad \eta = \frac{(\tau-1) \ln n}{\tau \ln n + (\tau-1)\gamma/(\gamma-1)}.$$

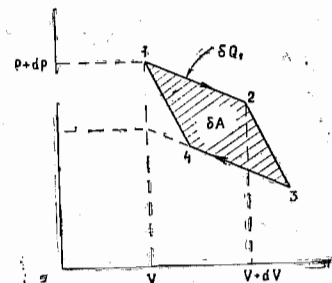
$$2.127. \quad \eta = 1 - 2 \frac{\gamma + \sqrt{\tau}}{(1+\gamma)(1+\sqrt{\tau})}.$$

$$2.128. \quad \text{უტოლობა } \int \frac{\delta Q_1}{T_1} - \int \frac{\delta Q_2}{T_2} \leq 0 \text{ მხოლოდ გაძლიერდება, თუ}$$

$T_1$ -ს შევცვლით  $T_{\text{მაქს.}}$ -ით და  $T_2$ -ს  $T_{\text{მინ.}}$ -ით. მაშინ  $Q_1/T_{\text{მაქს.}} - Q_2/T_{\text{მინ.}} < 0$ , აქედან

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} < \frac{T_{\text{მაქს.}} - T_{\text{მინ.}}}{T_{\text{მაქს.}}}, \text{ ან } \eta < \eta_{\text{კარნო}}.$$

2.129. კარნოს თეორემის თანახმად  $\delta A/\delta Q_1 = dT/T$ . ვიპოვოთ გამოსახულებები  $\delta A$  და  $\delta Q_1$ -სთვის. კარნოს უსასრულო მცირე ციკლისათვის (ის შეიძლება ჩავთვალოთ მე-14 ნახაზზე ნაჩვენებ 1234 პარალელოგრამად)



ნახ. 14.

$$\delta A = dp \cdot dV = (\partial p/\partial T)_V dT \cdot dV,$$

$$\delta Q_1 = dU_{12} + p dV = [(\partial U/\partial V)_T + p] dV,$$

ახლა ჩავსვათ უკანასკნელი ორი გამოსახულება პირველში.

$$2.130. \quad \text{ა) } \Delta S = \frac{R \ln n}{\gamma - 1} = 19 \text{ ჯ/(K. მოლი);}$$

$$\text{ბ) } \Delta S = \frac{\gamma R \ln n}{\gamma - 1} = 25 \text{ ჯ/(K. მოლი).}$$

$$2.131. \quad n = e^{\Delta S/\nu R} = 2,0.$$

$$2.132. \quad \Delta S = \nu R \ln n = 20 \text{ ჯ/K.}$$

$$2.133. \quad \Delta S = -\frac{m}{M} \frac{\gamma R}{\gamma - 1} \ln n = -10 \text{ ჯ/K.}$$

$$2.134. \quad \Delta S = (\gamma \ln \alpha - \ln \beta) \nu R/(\gamma - 1) = -11 \text{ ჯ/K.}$$

$$2.135. \quad S_2 - S_1 = \nu R \left( \ln \alpha - \frac{\ln \beta}{\gamma - 1} \right) = 1,0 \text{ ჯ/K.}$$

$$2.136. \quad \Delta S = \frac{(n - \gamma)R}{(n - 1)(\gamma - 1)} \ln \tau.$$

$$2.137. \Delta S = \frac{\gamma(\gamma+1)R}{\gamma-1} \ln \alpha = 46 \text{ ჯ/კ.}$$

$$2.138. V_m = \gamma p_0 / \alpha (1 + \gamma).$$

$$2.139. T = T_0 + (R/a) \ln (V/V_0).$$

$$2.140. \Delta S = R \ln [(V_2 - b)/(V_1 - b)].$$

$$2.141. \Delta S = C_V \ln (T_2/T_1) + R \ln [(V_2 - b)/(V_1 - b)].$$

$$2.142. S = aT^3/3.$$

$$2.143. \Delta S = m[a \ln (T_2/T_1) + b(T_2 - T_1)] = 2,0 \text{ ჯ/კ.}$$

$$2.144. C = S/n; C < 0, \text{ როცა } n < 0.$$

$$2.145. T = T_0 e^{(S - S_0)/C}, \text{ ახ. ნახ. 15.}$$

$$2.146. \text{ ა) } C = -\alpha/T; \text{ ბ) } Q = \alpha \ln (T_1/T_2);$$

$$\text{ გ) } A = \alpha \ln (T_1/T_2) + C_V (T_1 - T_2).$$

$$2.147. \text{ ა) } \eta = (n-1)/2n;$$

$$\text{ ბ) } \eta = (n-1)/(n+1).$$

$$2.148. \Delta S = \nu R \ln n = 20 \text{ ჯ/კ.}$$

$$2.149. \Delta U = (2\gamma - 1) RT_0/(\gamma - 1), \Delta S = R \ln 2.$$

$$2.150. \text{ წნევა მეტი იქნება სწრაფი გაფართოების შემდეგ.}$$

$$2.151. \Delta S = \nu_1 R \ln (1+n) + \nu_2 R \ln (1+1/n) = 5,1 \text{ ჯ/კ.}$$

$$2.152. \Delta S = m_1 c_1 \ln (T/T_1) + m_2 c_2 \ln (T/T_2) = 4,4 \text{ ჯ/კ, სადაც } T = (m_1 c_1 T_1 + m_2 c_2 T_2) / (m_1 c_1 + m_2 c_2), c_1 \text{ და } c_2 \text{ სპილენძისა და წყლის კუთრი სითბოტევადობებია.}$$

$$2.153. \Delta S = C_V \ln \frac{(T_1 + T_2)^2}{4T_1 T_2} > 0.$$

$$2.154. \text{ ა) } P = 1/2^N; \text{ ბ) } N = \frac{\lg(t/\tau)}{\lg 2} \approx 80, \text{ სადაც } \tau \sim 10^{-5} \text{ წმ ჰე-}$$

ლიუმის ატომის მიერ ჭურჭლის ზომის რიგის მანძილის გავლის საშუალო დროა.

$$2.155. \Omega_{\text{უაღ.}} = N! / [(N/2)!]^2 = 252. P_{N/2} = \Omega_{\text{უაღ.}} / 2^N = 24,6\%.$$

$$2.156. P_n = \frac{N!}{n! (N-n)! 2^N}; \text{ შესაბამისად } 1/32, 5/32, 10/32, 10/32, 5/32, 1/32.$$

$$2.157. P_n = \frac{N!}{n! (N-n)!} p^n (1-p)^{N-n}, \text{ სადაც } p = V/V_0.$$

$$2.158. d = \sqrt[3]{6/\pi n_0} \eta^2 = 0,4 \text{ მკმ, სადაც } n_0 \text{ ლოშიდტის რიცხვია; } \langle n \rangle = 1/\eta^2 = 1,0 \cdot 10^6.$$

$$2.159. \text{ გაიზრდება } \Omega/\Omega_0 = (1 + \Delta T/T_0)^{iN_A/2} = 10^{1,31 \cdot 10^{21}} \text{ -ჯერ.}$$

$$2.160. \text{ ა) } \Delta p = 4\alpha/d = 13 \text{ ატმ; ბ) } \Delta p = 8\alpha/d = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ ატმ.}$$

$$2.161. h = 4\alpha/\rho g d = 21 \text{ სმ.}$$

$$2.162. \alpha = 1/8 p_0 d (1 - \eta^3/n)/(\eta^2 - 1).$$

$$2.163. p = p_0 + \rho g h + 4\alpha/d = 2,2 \text{ ატმ.}$$

$$2.164. h = [p_0 (n^3 - 1) + 4\alpha (n^2 - 1)/d]/\rho g = 5 \text{ მ.}$$

$$2.165. \Delta h = 4\alpha |\cos \vartheta| (d_2 - d_1)/d_1 d_2 \rho g = 11 \text{ მმ.}$$

$$2.166. R = 2\alpha/\rho g h = 0,6 \text{ მმ.}$$

$$2.167. x = l/(1 + p_0 d/4\alpha) = 1,4 \text{ სმ.}$$

$$2.168. \alpha = [\rho g h + p_0 l/(l-h)]d/4 \cos \vartheta.$$

$$2.169. h = 4\alpha/\rho g (d_2 - d_1) = 6 \text{ სმ.}$$

$$2.170. h = 2\alpha \cos \vartheta/\rho g x \sin \varphi.$$

$$2.171. V_1 = 1/4 \pi d^2 \sqrt{\frac{2gl - 4\alpha(n-1)/\rho d}{n^4 - 1}} = 0,9 \text{ სმ}^3/\text{წმ.}$$

$$2.172. R_2 - R_1 \approx 1/8 \rho g h^3/\alpha = 0,20 \text{ მმ.}$$

$$2.173. m \approx 2\pi R^2 \alpha |\cos \vartheta| (n^2 - 1)/gh = 0,7 \text{ კგ.}$$

$$2.174. F \approx 2\alpha m/\rho h^2 = 1,0 \text{ ნ.}$$

$$2.175. F = 2\pi R^2 \alpha/h = 0,6 \text{ კგ.}$$

$$2.176. F = 2\alpha^2 l/\rho g d^3 = 13 \text{ ნ.}$$

$$2.177. t = 2l\eta R^4/\alpha r^4,$$

$$2.178. Q = 2\pi \alpha^2/\rho g.$$

$$2.179. \text{ ა) } F = \pi \alpha d^2 = 3 \text{ მკგ; ბ) } F = 2\pi \alpha d^2 = 10 \text{ მკგ.}$$

$$2.180. \Delta F = 2\pi \alpha d^2 (2^{-1/3} - 1) = -1,5 \text{ მკგ.}$$

$$2.181. A' = F + pV \ln (p/p_0), \text{ სადაც } F = 8\pi R^2 \alpha, p = p_0 + 4\alpha/R, V = 4/3 \pi R^3.$$

$$2.182. C - C_p = 1/2 R/(1 + 3/8 p_0 r/\alpha).$$

$$2.184. \text{ ა) } \Delta S = -2 (d\alpha/dT) \Delta \sigma; \text{ ბ) } \Delta U = 2 (\alpha - T \cdot d\alpha/dT) \Delta \sigma.$$

$$2.185. A = \Delta m RT/M = 1,2 \text{ ჯ.}$$

$$2.186. m_0 = (V' - mV'_0)/(V'_0 - V'_0) = 20 \text{ გ; } V_0 = 1,0 \text{ ლ. აქ } V'_0 \text{ წყლის კუთრი მოცულობაა.}$$

$$2.187. m_b \approx M p_0 (V_0 - V)/RT = 2,0 \text{ გ, სადაც } p_0 \text{ ნორმალური ატმოსფერული წნევაა.}$$

$$2.188. \eta = (n-1)/(N-1); \eta = 1/(N+1).$$

$$2.189. \Delta S = m q/T = 6,0 \text{ ჯ/კ; } \Delta U = m (q - RT/M) = 2,1 \text{ მკგ, სადაც } T = 373 \text{ კ.}$$

$$2.190. h \approx \frac{(Q - mc\Delta T)}{p_0 S(1 + qM/RT)} = 20 \text{ სმ}, \text{ სადა } c \text{ წყლის კუთრი-}$$

სითბოტევადობა,  $\Delta T = 100 \text{ K}$ ,  $q$  — წყლის ორთქლადქცევის კუთრი სითბო,  $T$  — მისი დუღილის ტემპერატურა.

2.191.  $A = mc(T - T_0)RT/qM = 25 \text{ ჯ}$ , სადა  $c$  წყლის კუთრი სითბოტევადობა,  $T$  — ორთქლის საწყისი ტემპერატურა, რომელიც ტოლია წყლის დუღილის ტემპერატურისა (ეს ჩანს პირობიდან),  $q$  — ორთქლის კონდენსაციის კუთრი სითბო.

$$2.192. d \approx 4\alpha M/\eta p RT = 0,2 \text{ მკმ}, \text{ სადა } p \text{ წყლის სიმკვრივეა.}$$

$$2.193. \mu = \eta p_0 \sqrt{M/2\pi RT} = 0,35 \text{ გ/(წმ} \cdot \text{სმ}^2), \text{ სადა } p_0 \text{ ნორმალური ატმოსფერული წნევაა.}$$

$$2.194. p = \mu \sqrt{2\pi RT/M} = 0,9 \text{ ნპა.}$$

$$2.195. \Delta p = a/V_M^2 = 1,7 \cdot 10^4 \text{ ატმ.}$$

$$2.196. p_i \approx p q. \text{ მიახლოებით } 2 \cdot 10^4 \text{ ატმ.}$$

$$2.198. a = \frac{27}{64} R^2 T_{\text{კვ}}^2 / p_{\text{კვ}} = 3,6 \text{ ატმ} \cdot \text{ლ}^2/\text{მოლი}^2, b = \frac{1}{8} RT_{\text{კვ}} / p_{\text{კვ}} = 0,043 \text{ ლ/მოლი.}$$

$$2.199. V'_{\text{კვ}} = \frac{3}{8} RT_{\text{კვ}} / M p_{\text{კვ}} = 4,7 \text{ სმ}^3/\text{გ.}$$

$$2.200. (\pi + 3/\nu^2)(3\nu - 1) = 8\tau, \tau = 1,5.$$

$$2.201. \text{ა) } V_{\text{მაქს.}} = 3bm/M = 5,0 \text{ ლ; ბ) } p_{\text{მაქს.}} = a/27b^2 = 230 \text{ ატმ.}$$

$$2.202. T_{\text{კვ}} = \frac{8}{27} a/bR = 0,30 \text{ კK}, p_{\text{კვ}} = \frac{1}{3} M/b = 0,34 \text{ გ/სმ}^3.$$

$$2.203. \eta = \frac{8}{3} M p_{\text{კვ}} / p RT_{\text{კვ}} = 0,25, \text{ სადა } p \text{ ეთერის სიმკვრივეა ოთახის ტემპერატურაზე.}$$

$$2.204. \text{გამოვიყენოთ (2.4 ე) განტოლება შექცევადი იზოთერმული } 1-2-3-4-5-3-1 \text{ ციკლისათვის}$$

$$T \oint dS = \oint dU + \oint p dV.$$

ვინაიდან პირველი ორი ინტეგრალი ნულის ტოლია, ამიტომ  $\oint p dV = 0$ . ეს კი შესაძლებელია მხოლოდ I და II ფართობების ტოლობის დროს. შევნიშნოთ, რომ ეს მსჯელობა არ გამოდგება, მაგალითად, 1-2-3-1 ციკლისათვის, ის შეუქცევადია, ვინაიდან შეიცავს შეუქცევად გადასვლას ერთფაზიანი მდგომარეობიდან სამფაზიან მდგომარეობაში, რომელიც სრულდება მე-3 წერტილში.

$$2.205. \eta = c |t| / q = 0,25, \text{ სადა } q \text{ ყინულის დნობის კუთრი სითბოა, როცა } t = -80^\circ \text{C.}$$

$$2.206. \Delta T = -(T\Delta V'/q)\Delta p = -7,5 \text{ მK}, \text{ სადა } q \text{ ყინულის დნობის კუთრი სითბოა.}$$

$$2.207. V'_{\text{წმ}} \approx q\Delta T/T\Delta p = 1,7 \text{ მ}^3/\text{კგ}, q \text{ ორთქლადქცევის კუთრი სითბოა, } T = 373 \text{ K.}$$

$$2.208. p_{\text{წმ}} \approx p_0(1 + qM\Delta T/RT^2) = 1,04 \text{ ატმ}, \text{ სადა } q \text{ ორთქლადქცევის კუთრი სითბოა, } p_0 \text{ — ნორმალური ატმოსფერული წნევა, } \Delta T = 1,1 \text{ K.}$$

$$2.209. \Delta m/m = (qM/RT - 1)\Delta T/T = 5\%.$$

$$2.210. p = p_0 \exp \left[ \frac{qM}{R} \left( \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) \right]. \text{ ეს გამართლებანი დასაშვებია}$$

კრიტიკულზე გაცილებით ნაკლებ ტემპერატურათა მცირე ინტერვალისათვის.

$$2.211. \eta \approx c p T \Delta V' / q^2 = 0,03, \text{ სადა } c \text{ ყინულის კუთრი სითბოტევადობა, } T \approx 273 \text{ K}, q \text{ — დნობის კუთრი სითბო.}$$

$$2.212. \text{ა) } 216 \text{ K}, 5,1 \text{ ატმ; ბ) შესაბამისად, } 0,78, 0,57 \text{ და } 0,21 \text{ კგ/გ.}$$

$$2.213. \Delta S \approx m[c \ln(T_2/T_1) + q/T_2] = 7,2 \text{ კჯ/K.}$$

$$2.214. \Delta s \approx q_{\text{დნ}}/T_1 + c \ln(T_2/T_1) + q_{\text{გა}}/T_2 = 8,6 \text{ ჯ/(გ} \cdot \text{K).}$$

$$2.215. \Delta S = mc \ln(T/T_1) = -10 \text{ ჯ/K}, \text{ სადა } c \text{ სპილენძის კუთრი სითბოტევადობა, } T = 273 \text{ K (ამ პირობებში ყინული გადნება ნაწილობრივ).}$$

$$2.216. \text{ა) როცა } m_2 c_2 t_2 < m_1 q, \text{ ყინული არ დნება მთლიანად და}$$

$$\Delta S = m_2 c_2 \left( \frac{T_2}{T_1} - 1 - \ln \frac{T_2}{T_1} \right) = 9,2 \text{ ჯ/K;}$$

$$\text{ბ) როცა } m_2 c_2 t_2 > m_1 q, \text{ ყინული მთლიანად დნება და}$$

$$\Delta S = \frac{m_1 q}{T_1} + c_2 \left( m_1 \ln \frac{T}{T_1} - m_2 \ln \frac{T_2}{T} \right) = 18 \text{ ჯ/K,}$$

სადაც

$$T = \frac{m_1 T_1 + m_2 T_2 - m_1 q/c_2}{m_1 + m_2}.$$

$$2.217. \Delta S = m q \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) + m c \left( \frac{T_2}{T_1} - 1 - \ln \frac{T_2}{T_1} \right) = 0,48 \text{ ჯ/K.}$$

$$2.218. C = C_p - qM/T = -74 \text{ ჯ/(K} \cdot \text{მოლი)}, \text{ სადა } C_p = R\gamma/(\gamma - 1).$$

$$2.219. \Delta S = qm/T_2 + C_p \ln(T_2/T_1), \text{ სადა } C_p = R\gamma/(\gamma - 1).$$

$$2.220. \text{ა) } \eta \approx 0,37; \text{ ბ) } \eta \approx 0,23.$$

$$2.221. \lambda = \Delta l / l \ln \eta.$$

$$2.222. \text{ა) } P = e^{-\alpha t}; \text{ ბ) } \langle t \rangle = 1/\alpha.$$

2.223. ა)  $\lambda=0,06$  მკმ,  $\tau=0,13$  წმ; ბ)  $\lambda=6$  მკმ,  $\tau=3,8$  სთ.

2.224. 18-ჯერ.

2.225.  $\lambda=(2\pi N_A/3b)^{2/3}(\hbar T_0/\sqrt{2\pi p_0})=84$  მმ.

2.226.  $\nu=\pi d^2 p_0 N_A \sqrt{2\gamma/MRT_0}=5,5$  გჰც.

2.227. ა) 0,7 პა; ბ)  $2 \cdot 10^{14}$  სმ<sup>-3</sup>, 0,2 მკმ.

2.228. ა)  $\nu=\sqrt{2\pi d^2 n \langle v \rangle}=0,74 \cdot 10^{10}$  წმ<sup>-1</sup>;

ბ)  $\nu=1/2 \sqrt{2\pi d^2 n^2 \langle v \rangle}=1,0 \cdot 10^{20}$  წმ<sup>-1</sup>. სმ<sup>-3</sup>, სადაც

$$n=p_0/kT_0, \langle v \rangle=\sqrt{8RT/\pi M}.$$

2.229. ა)  $\lambda=\text{const}$ ,  $\nu \sim \sqrt{T}$ ; ბ)  $\lambda \sim T$ ,  $\nu \sim 1/\sqrt{T}$ .

2.230. ა)  $\lambda=\text{const}$ ,  $\nu$  გაიზარდა  $\sqrt{n}$ -ჯერ; ბ)  $\lambda$  შემცირდება  $n$ -ჯერ,  $\nu$  გაიზარდა  $n$ -ჯერ.

2.231. ა)  $\lambda \sim V$ ,  $\nu \sim V^{-6/5}$ ; ბ)  $\lambda \sim p^{-5/7}$ ,  $\nu \sim p^{6/7}$   
გ)  $\lambda \sim T^{-5/2}$ ,  $\nu \sim T^3$ .

2.232. ა)  $\lambda \sim V$ ,  $\nu \sim V^{-(n+1)/2}$ ; ბ)  $\lambda \sim p^{-1/n}$ ,  $\nu \sim p^{(n+1)/2n}$ ;  
გ)  $\lambda \sim T^{1/(1-n)}$ ,  $\nu \sim T^{(n+1)/2(n-1)}$ .

2.233. ა)  $C=1/4 R(1+2i)=23$  ჯ/(K. მოლი);  
ბ)  $C=1/2 R(i+2)=29$  ჯ/(K. მოლი).

2.234.  $n=n_0 e^{-t/\tau}$ , სადაც  $\tau=4V/S \langle v \rangle$ ,  $\langle v \rangle=\sqrt{8RT/\pi M}$ .

2.235. გაიზარდა  $(1+\eta)/(1+\sqrt{\eta})$ -ჯერ.

2.236. გაიზარდა  $\alpha^2/\beta=2,0$ -ჯერ.

2.237. ა)  $D$  გაიზარდა  $n$ -ჯერ,  $\eta=\text{const}$ ; ბ)  $D$  გაიზარდა  $n^{3/2}$ -ჯერ,  
გ)  $\eta \sim \sqrt{n}$ -ჯერ.

2.238.  $D$  შემცირდება  $n^{4/5} \approx 6,3$ -ჯერ,  $\eta$  გაიზარდა  $n^{1/5} \approx 1,6$ -ჯერ.

2.239. ა)  $n=3$ ; ბ)  $n=1$ ; გ)  $n=1$ .

2.240. 0,18 მმ.

2.241.  $d_{Ar}/d_{He}=1,7$ .

2.242.  $N_1 \approx 2\pi\eta\omega R^3/\Delta R$ ;  $p=\sqrt{2\hbar kT/\pi d^2 n \Delta R}=0,7$  პა.

2.243.  $\eta=(1/R_1^2-1/R_2^2) N_1/4\pi\omega$ .

2.444.  $N=1/2 \pi\eta\omega a^4/\hbar$ .

2.245.  $N=1/3 \omega a^4 p \sqrt{\pi M/2RT}$ .

3.246.  $\mu=\frac{\pi a^4 M}{16\eta RT} \frac{|p_2^2-p_1^2|}{l}$ .

2.247.  $T=(\kappa_1 T_1/l_1+\kappa_2 T_2/l_2)/(\kappa_1/l_1+\kappa_2/l_2)$ .

2.248.  $\kappa=(l_1+l_2)/(l_1/\kappa_1+l_2/\kappa_2)$ .

2.249.  $T(x)=T_1(T_2/T_1)^{x/l}$ ;  $q=(\alpha/l) \ln(T_2/T_1)$ .

2.250.  $\Delta T=(\Delta T)_0 e^{-\alpha t}$ , სადაც  $\alpha=(1/C_1+1/C_2)S\kappa/l$ .

2.251.  $T=T_1[1+(x/l)[(T_2/T_1)^{3/2}-1]]^{2/3}$ , სადაც  $x$  მანძილია  $T_1$  ტემპერატურის მქონე ფირფიტიდან.

2.252.  $q=\frac{2iR^{3/2}(T_2^{3/2}-T_1^{3/2})}{9\pi^{3/2}ld^2N_A\sqrt{M}}=4,0$  ვტ/მ<sup>2</sup>, სადაც  $i=3$ ,  $d$  ჰელიუ-

მის ატომის ეფექტური დიამეტრია.

2.253.  $\lambda=23$  მმ  $> l$ , ე. ი. გაზი ულტრაგაიშვიათებულია.

$q=p \langle v \rangle (t_2-t_1)/6T(\gamma-1)=22$  ვტ/მ<sup>2</sup>, სადაც  $\langle v \rangle=\sqrt{8RT/\pi M}$ ,  
 $T=1/2 (T_1+T_2)$ .

2.254.  $T=T_1+\frac{T_2-T_1}{\ln(R_2/R_1)} \ln \frac{r}{R_1}$ .

2.255.  $T=T_1+\frac{T_2-T_1}{1/R_1+1/R_2} \left( \frac{1}{R_1}-\frac{1}{r} \right)$ .

2.256.  $T=T_0+(R^2-r^2)w/4\kappa$ ,

2.257.  $T=T_0+(R^2-r^2)w/6\pi$ .

3.1.  $F_{3\gamma}/F_{\gamma\gamma}$  შეფარდება ტოლია შესაბამისად  $[4 \cdot 10^{42}$  და  $1 \cdot 10^{33}]$   $q/m=0,86 \cdot 10^{-10}$  ვ/კგ.

3.2. მიახლოებით  $2 \cdot 10^{15}$  ნ.

3.3.  $dq/dt=3/2 a \sqrt{2\pi\epsilon_0 mg/l}$ .

3.4.  $q_3=\frac{q_1 q_2}{(\sqrt{q_1}+\sqrt{q_2})^2}$ ,  $r_3=\frac{r_1 \sqrt{q_2}+r_2 \sqrt{q_1}}{\sqrt{q_1}+\sqrt{q_2}}$ .

3.5.  $\Delta T=\frac{qq_0}{8\pi^2\epsilon_0 r^2}$ .

3.6.  $E=2,7i-3,6j$ ,  $E=4,5$  კვ/მ.

3.7.  $E=\frac{gl}{\sqrt{2\pi\epsilon_0}(l^2+x^2)^{3/2}}$ .

3.8.  $E=\frac{q}{2\pi^2\epsilon_0 R^2}=0,10$  კვ/მ.



$$3.9. E = \frac{ql}{4\pi\epsilon_0(r^2+l^2)^{3/2}}. \text{ როცა } l \gg r, \text{ დაძაბულობა } E \approx \frac{q}{4\pi\epsilon_0 l^2},$$

$$E_{\text{მაქს.}} = \frac{q}{6\sqrt{3}\pi\epsilon_0 r^2}, \text{ როცა } l = r/\sqrt{2}.$$

$$3.10. E = \frac{3qR^2}{4\pi\epsilon_0 r^4}.$$

$$3.11. F = \frac{q\lambda}{4\pi\epsilon_0 R}.$$

$$3.12. \text{ ა) } E = \frac{\lambda_0}{4\epsilon_0 R}; \text{ ბ) } E = \frac{\lambda_0 R^2}{4\epsilon_0(x^2+R^2)^{3/2}}, \text{ როცა } x \gg R \text{ დაძაბუ-}$$

$$\text{ლობა } E \approx \frac{p}{4\pi\epsilon_0 x^3}, \text{ სადაც } p = \pi R^2 \lambda_0.$$

$$3.13. \text{ ა) } E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r \sqrt{a^2+r^2}}; \text{ ბ) } E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0(r^2-a^2)}. \text{ ორივე შე-}$$

$$\text{მთხვევაში, როცა } r \gg a, \text{ დაძაბულობა } E \approx \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}.$$

$$3.14. E = \frac{\lambda\sqrt{2}}{4\pi\epsilon_0 y}. E \text{ ვექტორი მიმართულია } 45^\circ \text{ კუთხით ძაფი-}$$

$$\text{სადმი. } 3.15. \text{ ა) } E = \frac{\lambda\sqrt{2}}{4\pi\epsilon_0 R}; \text{ ბ) } E = 0.$$

$$3.16. E = -\frac{1}{3} a r / \epsilon_0.$$

$$3.17. E = -\frac{1}{3} k \sigma_0 / \epsilon_0, \text{ სადაც } k \text{ ზღვრის ორტიკა, საიდანაც აითვლება}$$

$$\text{ფი კუთხე. როგორც ჩანს, მოცემული სფეროს შიგნით ველი ერთგვარო-}$$

$$\text{ვანია. } 3.18. E = -\frac{1}{6} a R^2 / \epsilon_0.$$

$$3.19. |\Phi| = \frac{1}{2} \lambda R \epsilon_0. \Phi\text{-ის ნიშანი დამოკიდებულია წრის მიმართ}$$

$$\text{ნორმალის მიმართულების არჩევაზე. } 3.20. |\Phi| = \frac{q}{\epsilon_0} \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{1+(R/l)^2}} \right).$$

$$\Phi\text{-ის ნიშანი დამოკიდებულია წრის მიმართ ნორმალის მიმართულების არჩევაზე.}$$

$$3.21. |\Phi| = \frac{1}{3} \pi r_0 (R^2 - r_0^2) / \epsilon_0.$$

$$3.22. E_{\text{მაქს.}} = \lambda / \pi \epsilon_0 l.$$

$$3.23. E = \frac{1}{2} \sigma_0 / \epsilon_0, \text{ ამავე დროს } E \text{ ვექტორის მიმართულება შეესა-}$$

$$\text{ბამება } \varphi = \pi \text{ კუთხეს.}$$

$$3.24. \Phi = 4\pi R a.$$

$$3.25. \text{ ა) } E = \frac{\rho_0 r}{3\epsilon_0} \left( 1 - \frac{3r}{4R} \right), \text{ როცა } r \leq R, E = \frac{\rho_0 R^3}{12\epsilon_0 r^2}, \text{ როცა } r \geq R;$$

$$\text{ბ) } E_{\text{მაქს.}} = \frac{1}{9} \rho_0 R / \epsilon_0, \text{ როცა } r_m = \frac{2}{3} R.$$

$$3.26. q = 2\pi R^2 \alpha, E = \frac{1}{2} \alpha / \epsilon_0.$$

$$3.27. E = \frac{\rho_0}{3\epsilon_0 \alpha r^2} (1 - e^{-\alpha r^2}). \text{ შესაბამისად } E \approx \frac{\rho_0 r}{3\epsilon_0} \text{ და } E \approx \frac{\rho_0}{3\epsilon_0 \alpha r^2}.$$

$$3.28. E = \frac{1}{3} a \rho / \epsilon_0.$$

$$3.29. E = \frac{1}{2} a \rho / \epsilon_0, \text{ სადაც } a \text{ ვექტორი მიმართულია სიღრუს ღერძი-}$$

$$\text{საკენ. } 3.30. \Delta\varphi = \frac{q}{2\pi\epsilon_0 R} \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{1+(a/R)^2}} \right).$$

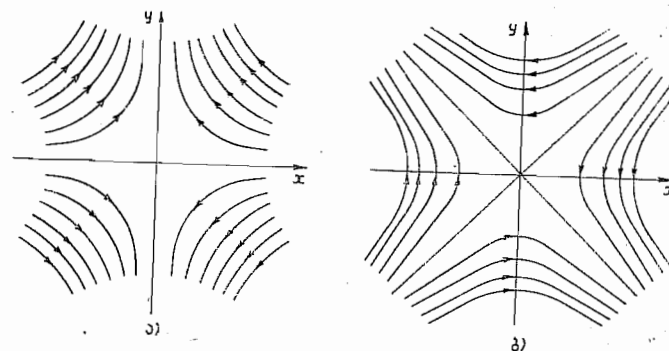
$$3.31. \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln \eta = 5 \text{ კვ.}$$

$$3.32. \varphi = \frac{1}{2} \sigma R / \epsilon_0, E = \frac{1}{4} \sigma / \epsilon_0.$$

$$3.33. \varphi = \frac{\sigma l}{2\epsilon_0} (\sqrt{1+(R/l)^2} - 1), E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left( 1 - \frac{l}{\sqrt{l^2+R^2}} \right).$$

$$\text{როცა } l \rightarrow 0 \text{ პოტენციალი } \varphi = \frac{\sigma R}{2\epsilon_0}, E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}; \text{ როცა } l \gg R \text{ პოტენციალი}$$

$$\varphi \approx \frac{q}{4\pi\epsilon_0 l}, F \approx \frac{q}{4\pi\epsilon_0 l^2}, \text{ სადაც } q = \sigma \pi R^2.$$



ნახ. 16.

$$3.34. \varphi = \sigma R / \pi \epsilon_0.$$

$$3.35. E = -a, \text{ ე. ი. ველი ერთგვაროვანია.}$$

$$3.36. \text{ ა) } E = -2a(xi - yj); \text{ ბ) } E = -a(yi + xj). \text{ აქ } i, j - x, y \text{ ღერძების ორტიკები. იხ. ნახ. 16, რომელიც შეესაბამება შემთხვევას } a > 0.$$

$$23 \text{ ი. იროლოვი}$$

$$3.37. E = -2(axi + ayj + bz k), E = 2 \sqrt{a^2(x^2 + y^2) + b^2 z^2}.$$

ა)  $\sqrt{\varphi/a}$  და  $\sqrt{\varphi/b}$  ბრუნვის ელიფსოიდის ნახევარღერძებია. ბ) როცა  $\varphi > 0$ , ვლემულობთ ბრუნვის ცალკალაა ჰიპერბოლოიდს; როცა  $\varphi = 0$ , ვლემულობთ სწორ წრიულ კონუსს; როცა  $\varphi < 0$  — ბრუნვის ორკალთა ჰიპერბოლოიდს.

$$3.38. ა) \varphi_0 = \frac{3q}{8\pi\epsilon_0 R}; ბ) \varphi = \varphi_0 \left(1 - \frac{r^2}{3R^2}\right), r \leq R.$$

$$3.39. E = \sqrt{E_r^2 + E_\theta^2} = \frac{p}{4\pi\epsilon_0 r^3} \sqrt{1 + 3\cos^2 \theta}, \text{ სადაც } E_r \text{ წარმო-}$$

ადგენს  $E$  ვექტორის რადიალურ მდგენელს,  $E_\theta$  კი მისი პერპენდიკულარული მდგენელია.

$$3.40. E_z = \frac{p}{4\pi\epsilon_0} \frac{3\cos^2 \theta - 1}{r^3}, E_\perp = \frac{p}{4\pi\epsilon_0} \frac{3\sin \theta \cos \theta}{r^3}; E \perp p$$

იმ წერტილებში, რომლებიც მდებარეობენ კონუსის გვერდით ზედაპირზე. კონუსის ღერძი ემთხვევა  $z$  ღერძს და მისი ნახევრად გაშლის კუთხეა  $\theta$ , რომლისთვისაც  $\cos \theta = 1/\sqrt{3}$  ( $\theta_1 = 54,7^\circ$ ,  $\theta_2 = 123,5^\circ$ ), ამ წერტილებში

$$E = E_\perp = \frac{p \sqrt{2}}{4\pi\epsilon_0 r^3}.$$

$$3.41. R = \sqrt[3]{\frac{p}{4\pi\epsilon_0 E_0}}.$$

$$3.42. \varphi \approx \frac{\lambda l}{2\pi\epsilon_0 r} \cos \theta, E \approx \frac{\lambda l}{2\pi\epsilon_0 r^2}.$$

$$3.43. \varphi = \frac{ql}{4\pi\epsilon_0} \frac{x}{(R^2 + x^2)^{3/2}}, E_x = -\frac{ql}{4\pi\epsilon_0} \frac{R^2 - 2x^2}{(R^2 + x^2)^{5/2}}, \text{ სადაც}$$

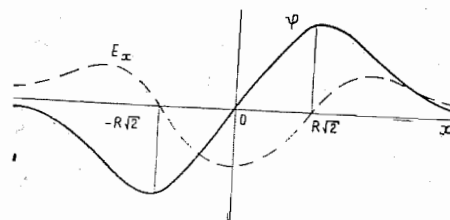
$E_x$  არის  $E$  ვექტორის გვერდითი  $x$  ღერძზე. ამ დამოკიდებულებათა გრაფიკები ნაჩვენებია მე-17 ნახაზზე. როცა  $|x| \gg R$ , პოტენციალი

$$\varphi \approx \frac{ql}{4\pi\epsilon_0 x^2} \text{ და } E_x \approx \frac{ql}{2\pi\epsilon_0 x^3}.$$

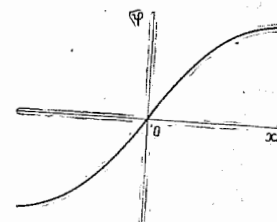
$$3.44. \varphi = \frac{\sigma l}{2\epsilon_0} \frac{x}{\sqrt{x^2 + R^2}}, E_x = -\frac{\sigma l R^2}{2\epsilon_0 (x^2 + R^2)^{3/2}}. \text{ იხ. ნახ. 18.}$$

$$3.45. \varphi \approx \pm \frac{\sigma l}{2\epsilon_0} \left(1 - \frac{x}{\sqrt{x^2 + R^2}}\right), E \approx \frac{\sigma l R^2}{2\epsilon_0 (x^2 + R^2)^{3/2}}, \text{ როცა}$$

$x \gg R$ , პოტენციალი  $\varphi \approx \pm \frac{p}{4\pi\epsilon_0 x^2}$  და  $E \approx \frac{p}{2\pi\epsilon_0 x^3}$ , სადაც  $p = \pi R^2 \sigma l$ .  $\varphi$ -სთვის მოცემულ გამოსახულებებში პლუსის ნიშანი შეესაბამება სივრცის დადებითად დამუხტული ფირფიტის მხრიდან, მინუსი კი უარყოფითად დამუხტული ფირფიტის მხრიდან.



ნახ. 17.



ნახ. 18.

$$3.46. ა) F = 0; ბ) F = -\frac{\lambda p}{2\pi\epsilon_0 r^2}; გ) F = \frac{\lambda p}{2\pi\epsilon_0 r^2}.$$

$$3.47. F = \frac{3p^2}{2\pi\epsilon_0 l^4} = 2,1 \cdot 10^{-16} \text{ ნ.}$$

$$3.48. \varphi = -axy + \text{const.}$$

$$3.49. \varphi = ay \left(\frac{y^2}{3} - x^2\right) + \text{const.}$$

$$3.50. \varphi = -y(ax + bz) + \text{const.}$$

$$3.51. \rho = 6\epsilon_0 ax.$$

$$3.52. \rho = 2\epsilon_0 \Delta \varphi / d^2; E = \rho d / \epsilon_0.$$

$$3.53. \rho = -6\epsilon_0 a.$$

$$3.54. q = 4l \sqrt{\pi\epsilon_0 kx}.$$

$$3.55. A = \frac{q^2}{16\pi\epsilon_0 l}.$$

$$3.56. ა) F = \frac{(2\sqrt{2}-1)q^2}{8\pi\epsilon_0 l^2}; ბ) E = 2 \left(1 - \frac{1}{5\sqrt{5}}\right) \frac{q}{\pi\epsilon_0 l^2}.$$

$$3.57. F = \frac{(2\sqrt{2}-1)q^2}{32\pi\epsilon_0 l^2}.$$

$$3.58. F = \frac{3p^2}{32\pi\epsilon_0 l^4}.$$

$$3.59. \sigma = -\frac{ql}{2\pi(l^2 + r^2)^{3/2}}, \quad q_{\text{ინდ}} = -q.$$

$$3.60. \text{ ა) } F_1 = \frac{\lambda^2}{4\pi\epsilon_0 l}; \quad \text{ ბ) } \sigma = \frac{l\lambda}{\pi(l^2 + x^2)}.$$

$$3.61. \text{ ა) } \sigma = \frac{\lambda}{2\pi l}; \quad \text{ ბ) } \sigma(r) = \frac{\lambda}{2\pi\sqrt{l^2 + r^2}}.$$

$$3.62. \text{ ა) } \sigma = \frac{lq}{2\pi(l^2 + R^2)^{3/2}}; \quad \text{ ბ) } E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{4l^2 [1 + 1/4 (R/l)^2]^{3/2}},$$

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R} \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + 4(l/R)^2}} \right).$$

$$3.63. \varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 l},$$

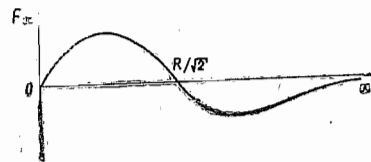
$$3.64. \varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right).$$

$$3.65. q_2 = -\frac{b}{a} q_1; \quad \varphi = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0} \times \begin{cases} 1/r - 1/a, & \text{როცა } a \leq r \leq b, \\ 1 - b/a)/r, & \text{როცა } r \geq b. \end{cases}$$

$$3.66. \text{ ა) } E_{23} = \Delta\varphi/d, \quad E_{12} = E_{34} = 1/2 E_{23}; \quad \text{ ბ) } |\sigma_1| = \sigma_4 = 1/2 \epsilon_0 \Delta\varphi/d.$$

$$\sigma_2 = |\sigma_3| = 3/2 \epsilon_0 \Delta\varphi/d.$$

3.67.  $q_1 = -q(l-x)/l$ ,  $q_2 = -qx/l$ . მითითებულია, თუ  $q$  მუხტის გონების თვალთა თანაბრად განეფენო სიბრტყეზე, რომელიც გადის ამ მუხტზე და ფირფიტების პარალელურია, მაშინ ნათელია, რომ  $q_1$  და  $q_2$  მუხტები არ შეიცვლება. შეიცვლება მხოლოდ მათი განაწილება და ელექტრულ ველს ადვილად გამოვთვლით.



ნახ. 19.

სადაც  $n_0$  მოლეკულების კონცენტრაციაა.

$$3.72. F = \frac{3\beta p^2}{4\pi^2 \epsilon_0 l^7}.$$

$$3.73. \text{ ა) } x = R/\sqrt{2}; \quad \text{ ბ) } x = \begin{cases} 1,1R & (\text{მიზიდვა}), \\ 0,29R & (\text{განზიდვა}) \end{cases} \text{ იხ. ნახ. 19.}$$

$$3.74. P = \frac{\epsilon - 1}{\epsilon} \frac{q}{4\pi r^3} r, \quad q' = -\frac{\epsilon - 1}{\epsilon} q.$$

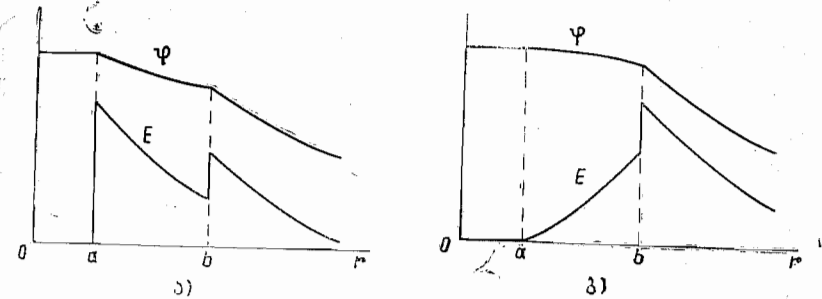
$$3.76. q'_{\text{ინდ}} = -q(\epsilon - 1)/\epsilon, \quad q'_{\text{გარე}} = q(\epsilon - 1)/\epsilon.$$

$$3.77. \text{ იხ. ნახ. 20.}$$

$$3.78. E = \frac{E_0}{\epsilon} \sqrt{\cos^2 \alpha_0 + \epsilon^2 \sin^2 \alpha_0} = 5,2 \text{ ვ/მ}; \quad \text{tg } \alpha = \epsilon \text{tg } \alpha_0,$$

აქედან

$$\alpha = 74^\circ; \quad \sigma' = \frac{\epsilon_0(\epsilon - 1)}{\epsilon} E_0 \cos \alpha_0 = 64 \text{ პკ/მ}^2.$$



ნახ. 20.

$$3.79. \text{ ა) } \oint E ds = \frac{\epsilon - 1}{\epsilon} \pi R^2 E_0 \cos \theta;$$

$$\text{ ბ) } \oint D dr = -\epsilon_0(\epsilon - 1) l E_0 \sin \theta.$$

$$3.80. \text{ ა) } E = \begin{cases} \rho l / \epsilon_0, & \text{როცა } l < d, \\ \rho d / \epsilon_0, & \text{როცა } l > d; \end{cases}$$

$$\varphi = \begin{cases} -\rho l^2 / 2\epsilon_0; & \text{როცა } l \leq d, \\ -(d/2 + l - d) \rho d / \epsilon_0, & \text{როცა } l \geq d, \end{cases}$$

$E_x(x)$  და  $\varphi(x)$ -ის დამოკიდებულებების გრაფიკები იხ. ნახ. 21.

$$\text{ ბ) } \sigma' = \rho d(\epsilon - 1)/\epsilon, \quad \rho' = -\rho(\epsilon - 1)/\epsilon.$$

$$3.81. \text{ ა) } E = \begin{cases} \rho r / 3\epsilon_0, & \text{როცა } r < R, \\ \rho R^3 / 3\epsilon_0 r^2, & \text{როცა } r > R; \end{cases} \quad \text{ ბ) } \rho' = -\rho(\epsilon - 1)/\epsilon,$$

$$\sigma' = \rho R(\epsilon - 1)/3\epsilon. \text{ იხ. ნახ. 22.}$$

$$3.82. E = -dP/4\epsilon_0 R.$$

$$3.83. E = -P_0(1 - x^2/d^2)/\epsilon_0, \quad U = 4dP_0/3\epsilon_0.$$

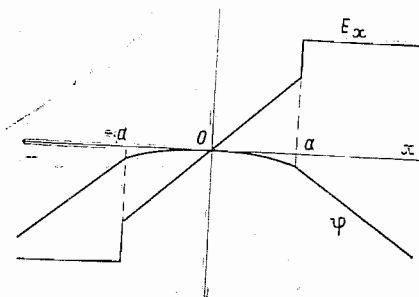
$$3.84. \text{ ა) } E_1 = 2\epsilon E_0/(\epsilon + 1), \quad E_2 = 2E_0/(\epsilon + 1), \quad D_1 = D_2 =$$

$$= 2\varepsilon_0 E_0 / (\varepsilon + 1); \text{ ბ) } E_1 = E_0, E_2 = E_0 / \varepsilon, D_1 = D_2 = \varepsilon_0 E_0$$

$$3.85. \text{ ა) } E_1 = E_2 = E_0, D_1 = \varepsilon_0 E_0, D_2 = \varepsilon D_1; \text{ ბ) } E_1 = E_2 = 2E_0 / (\varepsilon + 1), D_1 = 2\varepsilon_0 E_0 / (\varepsilon + 1), D_2 = \varepsilon D_1.$$

$$3.86. E = q / 2\pi\varepsilon_0 (\varepsilon + 1) r^2.$$

$$3.87. \rho = \rho_0 \varepsilon / (\varepsilon - 1) = 1,6 \text{ გ/სმ}^3, \text{ სადაც } \varepsilon \text{ და } \rho_0 \text{ ნავთის დიელექტრიკული შეღწევადობა და სიმკვრივეა.}$$



ნახ. 21.

$$\sigma' = -ql(\varepsilon - 1) / 2\pi r^3 (\varepsilon + 1), \text{ როცა } l \rightarrow 0 \text{ } \sigma' \rightarrow 0; \text{ ბ) } q' = -q(\varepsilon - 1) / (\varepsilon + 1),$$

$$3.90. F = q^2 (\varepsilon - 1) / 16\pi\varepsilon_0 l^2 (\varepsilon + 1).$$

$$3.91. D = \begin{cases} q / 2\pi (1 + \varepsilon) r^2 - \text{ვაკუუმში,} \\ \varepsilon q / 2\pi (1 + \varepsilon) r^2 - \text{დიელექტრიკში.} \end{cases}$$

$$\left. \begin{aligned} E &= q / 2\pi\varepsilon_0 (1 + \varepsilon) r^2 \\ \varphi &= q / 2\pi\varepsilon_0 (1 + \varepsilon) r \end{aligned} \right\} \text{ -- ვაკუუმში და დიელექტრიკში.}$$

$$3.92. \sigma' = ql(\varepsilon - 1) / 2\pi r^3 \varepsilon (\varepsilon + 1);$$

$$\text{როცა } l \rightarrow 0, \sigma' \rightarrow 0.$$

$$3.93. \sigma' = ql(\varepsilon - 1) / 2\pi r^3 \varepsilon.$$

$$3.94. E_1 = Ph / \varepsilon_0 d \text{ (ღრწოში),}$$

$$E_2 = -(1 - h/d)Ph / \varepsilon_0, D_1 = D_2 = Ph / d$$

$$3.95. \rho' = -2\alpha, \text{ ე. ი. არ არის დამოკიდებული } r\text{-ზე.}$$

$$3.96. \text{ ა) } E = -P / 3\varepsilon_0.$$

$$3.97. E_0 = 1/3 (\varepsilon + 2) E.$$

$$3.98. E = 3E_0 / (\varepsilon + 2), P = 3\varepsilon_0 E_0 (\varepsilon - 1) / (\varepsilon + 2).$$

$$3.99. E = -P / 2\varepsilon_0.$$

$$3.100. E = 2E_0 / (\varepsilon + 1); P = 2\varepsilon_0 E_0 (\varepsilon - 1) / (\varepsilon + 1).$$

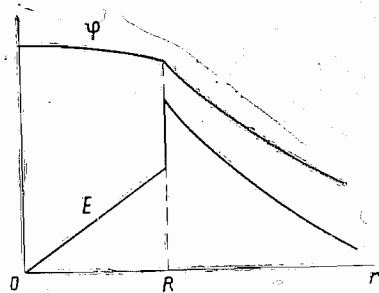
$$3.101. C = \frac{4\pi\varepsilon_0 \varepsilon R_1}{1 + (\varepsilon - 1)R_1/R_2}.$$

ტრიკული შეღწევადობა და სიმკვრივეა.

$$3.88. \sigma'_{\text{მაკ.}} = (\varepsilon - 1)\varepsilon_0 E = 3,5 \text{ ნკ/მ}^2,$$

$$q' = \pi R^2 (\varepsilon - 1)\varepsilon_0 E = 10 \text{ პკ.}$$

3.89. ა) ვისარგებლოთ D ვექტორის ნორმალური მდგენელის უწყვეტობით დიელექტრიკის საზღვარზე, მივიღებთ



ნახ. 22

$$3.102. \text{ დაძაბულობა შემცირდა } 1/2 (\varepsilon + 1)\text{-ჯერ; } q = 1/2 C \mathcal{E} (\varepsilon - 1) / (\varepsilon + 1).$$

$$3.103. \text{ ა) } C = \frac{\varepsilon_0 S}{d_1 / \varepsilon_1 + d_2 / \varepsilon_2}; \text{ ბ) } \sigma' = \varepsilon_0 U \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\varepsilon_1 d_2 + \varepsilon_2 d_1}.$$

$$3.104. \text{ ა) } C = \varepsilon_0 (\varepsilon_2 - \varepsilon_1) S / d \ln (\varepsilon_2 / \varepsilon_1); \text{ ბ) } \rho' = -q (\varepsilon_2 - \varepsilon_1) / d S \varepsilon^2.$$

$$3.105. C = 4\pi\varepsilon_0 a / \ln (R_2 / R_1).$$

$$3.106. \text{ შემდეგი პირობით } \varepsilon_1 R_1 E_{1m} = \varepsilon_2 R_2 E_{2m}.$$

$$3.107. U = R_1 E_1 [\ln (R_2 / R_1) + (\varepsilon_1 / \varepsilon_2) \ln (R_3 / R_2)].$$

$$3.108. C_1 \approx \pi\varepsilon_0 / \ln (b/a).$$

$$3.109. C \approx 2\pi\varepsilon_0 / \ln (2b/a).$$

3.110.  $C \approx 2\pi\varepsilon_0 \varepsilon a$ . მითითებულა, როცა  $b \gg a$ , შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ ბურთულაზე მუხტები პრაქტიკულად თანაბრად განაწილებული.

$$3.111. C \approx 4\pi\varepsilon_0 a.$$

$$3.112. \text{ ა) } C_{\text{საერთო}} = C_1 + C_2 + C_3; \text{ ბ) } C_{\text{საერთო}} = C.$$

$$3.113. \text{ ა) } C = 2\varepsilon_0 S / 3d; \text{ ბ) } C = 3\varepsilon_0 S / 2d,$$

$$3.114. U \leq U_1 (1 + C_1 / C_2) = 9 \text{ კვ}$$

$$3.115. U = \mathcal{E} / (1 + 3\eta + \eta^2) = 10 \text{ ვ.}$$

3.116.  $C_x = C (\sqrt{5} - 1) / 2 = 0,62 C$ . ვინაიდან წრედი უსასრულოა, ყველა რგოლი, დაწყებული მეორედან, შეიძლება შეიცვალოს საძიებელი  $C_x$  ტევადობით.

$$3.117. U_1 = q / C_1 = 10 \text{ ვ, } U_2 = q / C_2 = 5 \text{ ვ, სადაც } q = (\varphi_A - \varphi_B + \mathcal{E}) \times C_1 C_2 / (C_1 + C_2).$$

$$3.118. U_1 = (\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1) / (1 + C_1 / C_2), U_2 = (\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2) / (1 + C_2 / C_1).$$

$$3.119. q = | \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 | C_1 C_2 / (C_1 + C_2),$$

$$3.120. \varphi_A - \varphi_B = \mathcal{E} \frac{C_2 C_3 - C_1 C_4}{(C_1 + C_2)(C_3 + C_4)}. \text{ თუ } C_1 / C_2 = C_3 / C_4.$$

$$3.121. q = \frac{U}{1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3} = 0,06 \text{ მკ.}$$

$$3.122. q_1 = \mathcal{E} C_2, q_2 = -\mathcal{E} C_1 C_2 / (C_1 + C_2).$$

$$3.123. q_1 = \mathcal{E} C_1 (C_1 - C_2) / (C_1 + C_2) = -24 \text{ მკკ,}$$

$$q_2 = \mathcal{E} C_2 (C_1 - C_2) / (C_1 + C_2) = -36 \text{ მკკ, } q_3 = \mathcal{E} (C_2 - C_1) = +60 \text{ მკკ}$$

$$3.124. \varphi_A - \varphi_B = (C_2 \mathcal{E}_2 - C_1 \mathcal{E}_1) / (C_1 + C_2 + C_3).$$

$$3.125. \varphi_1 = \frac{\mathcal{E}_2 C_2 + \mathcal{E}_3 C_3 - \mathcal{E}_1 (C_2 + C_3)}{C_1 + C_2 + C_3},$$



$$\varphi_2 = \frac{\mathcal{E}_1 C_1 + \mathcal{E}_3 C_3 - \mathcal{E}_2 (C_1 + C_3)}{C_1 + C_2 + C_3};$$

$$\varphi_3 = \frac{\mathcal{E}_1 C_1 + \mathcal{E}_2 C_2 - \mathcal{E}_3 (C_1 + C_2)}{C_1 + C_2 + C_3}.$$

$$3.126. C_{\text{საერთო}} = \frac{2C_1 C_2 + C_3 (C_1 + C_2)}{C_1 + C_2 + 2C_3}.$$

$$3.127. \text{ ა) } W = (\sqrt{2} + 4) q^2 / 4\pi\epsilon_0 a;$$

$$\text{ ბ) } W = (\sqrt{2} - 4) q^2 / 4\pi\epsilon_0 a; \text{ გ) } W = -\sqrt{2} q^2 / 4\pi\epsilon_0 a.$$

$$3.128. W = -\frac{2 \ln 2}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{a}.$$

$$3.129. W = -q^2 / 8\pi\epsilon_0 l.$$

$$3.130. W = q_1 q_2 / 4\pi\epsilon_0 l.$$

$$3.131. \Delta W = -\frac{1}{2} U^2 C_1 C_2 / (C_1 + C_2) = -0,03 \text{ მჯ.}$$

$$3.132. Q = \mathcal{E}^2 C C_0 / (2C + C_0).$$

$$3.133. Q = \frac{1}{2} C \mathcal{E}^2. \text{ საინტერესოა, რომ მიღებული შედეგი არ არის დამოკიდებული } \mathcal{E}_1 \text{-ზე.}$$

$$3.134. W = W_1 + W_2 + W_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{q_1^2}{2R_1} + \frac{q_2^2}{2R_2} + \frac{q_1 q_2}{R_2} \right).$$

$$3.135. \text{ ა) } W = 3q^2 / 20\pi\epsilon_0 R; \text{ ბ) } W_1 / W_2 = 1/5.$$

$$3.136. W = (q^2 / 8\pi\epsilon_0 \epsilon) (1/a - 1/b) = 27 \text{ მჯ.}$$

$$3.137. A = (q^2 / 8\pi\epsilon_0) (1/R_1 - 1/R_2).$$

$$3.138. A = \frac{q(q_0 + q/2)}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right).$$

$$3.139. F_1 = \sigma^2 / 2\epsilon_0.$$

$$3.140. A = (q^2 / 8\pi\epsilon_0) (1/a - 1/b),$$

$$3.141. \text{ ა) } A = q^2 (x_2 - x_1) / 2\epsilon_0 S; \text{ ბ) } A = \epsilon_0 S U^2 (x_2 - x_1) / 2x_1 x_2.$$

$$3.142. \text{ ა) } A = \frac{1}{2} C U^2 \eta / (1 - \eta)^2 = 1,5 \text{ მჯ.}$$

$$\text{ ბ) } A = \frac{1}{2} C U^2 \eta \epsilon (\epsilon - 1) / [\epsilon - \eta (\epsilon - 1)]^2 = 0,8 \text{ მჯ.}$$

$$3.143. \Delta p = \epsilon_0 \epsilon (\epsilon - 1) U^2 / 2d^2 = 7 \text{ კპა} = 0,07 \text{ ატმ.}$$

$$3.144. h = (\epsilon - 1) \sigma^2 / 2\epsilon_0 \epsilon \rho g.$$

$$3.145. F = \pi R \epsilon_0 (\epsilon - 1) U^2 d.$$

$$3.146. N = (\epsilon - 1) \epsilon_0 R^2 U^2 / 4d.$$

$$3.147. I = 2\pi\epsilon_0 a E v = 0,5 \text{ მკა.}$$

$$3.148. I \approx 2\pi\epsilon_0 (\epsilon - 1) r v U / d = 0,11 \text{ მკა.}$$

$$3.149. \text{ ა) } \alpha = (\alpha_1 + \eta \alpha_2) / (1 + \eta); \text{ ბ) } \alpha \approx (\alpha_2 + \eta \alpha_1) / (1 + \eta).$$

$$3.150. \text{ ა) } \frac{5}{6} R; \text{ ბ) } \frac{7}{12} R; \text{ გ) } \frac{3}{4} R.$$

$$3.151. R_x = R (\sqrt{3} - 1).$$

$$3.152. R = (1 + \sqrt{1 + 4R_2/R_1}) R_1 / 2 = 6 \text{ ლმი. მიითითებთ. ვინაი-}$$

დან წრელი უსასრულოა, ყველა რგოლი, დაწყებული მეორედან, შეიძ-  
ლება შეიცვალოს საძიებელი  $R$  წინააღობის ტოლი წინააღობით.

$$3.153. A \text{ და } B \text{ წერტილებს გონების თვალთ მივუერთოთ } U \text{ ძაბვის წყარო, მაშინ } U = IR = I_0 R_0, \text{ სადაც } I \text{ დენია მიმყვან სადენებში, } I_0 \text{ — დენი } AB \text{ გამტარში.}$$

$I_0$  დენი შეიძლება წარმოვიდგინოთ, როგორც ორი დენის სუპერპო-  
ზიცია.  $I$  დენი რომ შედიოდეს  $A$  წერტილში და განედინოს ბაღეზე  
უსასრულობაში, მაშინ  $AB$  გამტარზე, სიმეტრიის გამო, გაივლიდა  $1/4$   
დენი. ანალოგიურად,  $I$  დენი რომ შემოდის ბაღეში უსასრულობი-  
დან და გამოედინოს  $B$  წერტილიდან, მაშინ  $AB$  გამტარზე გაივლიდა  
 $1/4$  დენი. ამ ორი ამოხსნის ზედდება მოგვცემს  $I_0 = I/2$ . ამიტომ  
 $R = R_0/2$ .

$$3.154. R = (\rho / 2\pi l) \ln(b/a).$$

$$3.155. R = \rho(b - a) / 4\pi ab, \text{ როცა } b \rightarrow \infty, R = \rho / 4\pi a.$$

$$3.156. \rho = 4\pi \Delta t a b / (b - a) C \ln \eta.$$

$$3.157. R = \rho / 2\pi a.$$

$$3.158. \text{ ა) } j = 2alU / \rho r^3; \text{ ბ) } R = \rho / 4\pi a.$$

$$3.159. \text{ ა) } j = lU / 2\rho r^2 \ln(l/a); \text{ ბ) } R_1 = (\rho / \pi) \ln(l/a).$$

$$3.160. I = UC / \rho \epsilon \epsilon_0 = 1,5 \text{ მკა.}$$

$$3.161. RC = \rho \epsilon \epsilon_0.$$

$$3.162. \sigma = D_n = D \cos \alpha; j = D \sin \alpha / \epsilon \epsilon_0 \rho.$$

$$3.163. I = US (\sigma_2 - \sigma_1) / d \ln(\sigma_2 / \sigma_1) = 5 \text{ ნა.}$$

$$3.165. q = \epsilon_0 (\rho_2 - \rho_1) I.$$

$$3.166. \sigma = \epsilon_0 U (\epsilon_2 \rho_2 - \epsilon_1 \rho_1) / (\rho_1 d_1 + \rho_2 d_2), \sigma = 0, \text{ როცა } \epsilon_1 \rho_1 = \epsilon_2 \rho_2.$$

$$3.167. q = \epsilon_0 l (\epsilon_2 \rho_2 - \epsilon_1 \rho_1).$$

$$3.168. \rho = 2\epsilon_0 U (\eta - 1) / d^2 (\eta + 1).$$

$$3.169. \text{ ა) } R_1 = 2\pi \alpha / S^2; \text{ ბ) } E = 2\pi \alpha I / S^2.$$

$$3.170. t = -RC \ln(1 - U/U_0) = 0,6 \text{ მკწმ.}$$

$$3.171. \rho = \tau/\varepsilon_0 \varepsilon \ln 2 = 1,4 \cdot 10^{13} \text{ ომი} \cdot \text{მ.}$$

$$3.172. I = [(\eta - 1) \mathcal{E} / R] e^{-\eta t / RC}.$$

$$3.173. U = \mathcal{E} / (\eta + 1) = 2,0 \text{ ვ.}$$

$$3.174. \varphi_1 - \varphi_2 = (\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2) R_1 / (R_1 + R_2) - \mathcal{E}_1 = -4 \text{ ვ.}$$

$$3.175. R = R_2 - R_1, \Delta\varphi = 0 \text{ იმ დენის წყაროზე, რომლის შიდა წინა-  
ღობა ტოლია } R_2.$$

$$3.176. \text{ა) } I = \alpha; \text{ბ) } \varphi_A - \varphi_B = 0.$$

$$3.177. \varphi_A - \varphi_B = (\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2) R_1 / (R_1 + R_2) = -0,5 \text{ ვ.}$$

$$3.178. I_1 = \mathcal{E} R_2 / (RR_1 + R_1 R_2 + R_2 R) = 1,2 \text{ ა, } I_2 = I_1 R_1 / R_2 = 0,8 \text{ ა.}$$

$$3.179. U = U_0 R x / [R l + R_0 (l - x) x / l], \text{ როცა } R \gg R_0, U \approx U_0 x / l.$$

$$3.180. \mathcal{E} = (\mathcal{E}_1 R_2 + \mathcal{E}_2 R_1) / (R_1 + R_2), R_i = R_1 R_2 / (R_1 + R_2).$$

$$3.181. I = (R_1 \mathcal{E}_2 - R_2 \mathcal{E}_1) / (RR_1 + R_1 R_2 + R_2 R) = 0,02 \text{ ა, დენის მი-  
მართულებად მარცხნიდან მარჯვნივ (იხ. ნახ. 3. 44).}$$

$$3.182. \text{ა) } I_1 = [R_3 (\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2) + R_2 (\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_3)] / (R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1) = \\ = 0,06 \text{ ა; ბ) } \varphi_A - \varphi_B = \mathcal{E}_1 - I_1 R_1 = 0,9 \text{ ვ.}$$

$$3.183. I = [\mathcal{E} (R_2 + R_3) + \mathcal{E}_0 R_3] / [R (R_2 + R_3) + R_2 R_3].$$

$$3.184. \varphi_A - \varphi_B = [\mathcal{E}_2 R_3 (R_1 + R_2) - \mathcal{E}_1 R_1 (R_2 + R_3)] / (R_1 R_2 + R_2 R_3 + \\ + R_3 R_1) = -1,0 \text{ ვ.}$$

$$3.185. I_1 = [R_3 (\varphi_1 - \varphi_2) + R_2 (\varphi_1 - \varphi_3)] / (R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1) = 0,2 \text{ ა.}$$

$$3.186. I = \frac{U}{R_2} \left( \frac{R_1 + R_2}{R_1 [1 + R_2 R_4 (R_1 + R_3) / R_1 R_3 (R_2 + R_4)]} - 1 \right) = 1,0 \text{ ა.}$$

დენი გადის C წერტილიდან D წერტილისკენ.

$$3.187. R_{AB} = r(r + 3R) / (R + 3r)$$

$$3.188. U = \frac{1}{2} \mathcal{E} (1 - e^{-2t / RC}).$$

$$3.189. \text{ა) } Q = \frac{4}{3} q^2 R / \Delta t; \text{ბ) } Q = \frac{1}{2} \ln 2 \cdot q^2 R / \Delta t.$$

$$3.190. R = 3 R_0.$$

$$3.192. Q = I (\mathcal{E} - U) = 0,6 \text{ ვტ. } P = -IU = -2,0 \text{ ვტ.}$$

$$3.193. I = U / 2R; P_{\text{მაქს.}} = U^2 / 4R; \eta = \frac{1}{2}.$$

$$3.194. 2\eta = 2\% - \text{ით.}$$

$$3.195. T - T_0 = (1 - e^{-kt/C}) U^2 / kR.$$

$$3.196. R_x = R_1 R_2 / (R_1 + R_2) = 12 \text{ ომი.}$$

$$3.197. R = R_1 R_2 / (R_1 + R_2); Q_{\text{მაქს.}} = (\mathcal{E}_1 R_2 + \mathcal{E}_2 R_1)^2 / 4 R_1 R_2 (R_1 + R_2).$$

$$3.198. n = \sqrt{N r / R} = 3.$$

$$3.199. Q = \frac{1}{2} C \mathcal{E}^2 R_1 / (R_1 + R_2) = 60 \text{ მკვ.}$$

$$3.200. \text{ა) } \Delta W = -\frac{1}{2} C U^2 \eta / (1 - \eta) = -0,15 \text{ მკვ;} \\ \text{ბ) } A = \frac{1}{2} C U^2 \eta / (1 - \eta) = 0,15 \text{ მკვ.}$$

$$3.201. \Delta W = -\frac{1}{2} (\varepsilon - 1) C U^2 = -0,5 \text{ მკვ, } A_{\text{მაქს.}} = \frac{1}{2} (\varepsilon - 1) C U^2 = 0,5 \text{ მკვ.}$$

$$3.202. h \approx \frac{1}{2} \varepsilon_0 (\varepsilon - 1) U^2 / \rho g d^2, \text{ სადაც } \rho \text{ წყლის სიმკვრივეა.}$$

$$3.203. \text{ა) } q = q_0 e^{-t/\varepsilon_0 \varepsilon d}; \text{ბ) } Q = (1/a - 1/b) q_0^2 / 8 \pi \varepsilon_0 \varepsilon.$$

$$3.204. \text{ა) } q = q_0 (1 - e^{-\tau / RC}) = 0,18 \text{ მკვ;} \\ \text{ბ) } Q = (1 - e^{-2\tau / RC}) q_0^2 / 2C = 82 \text{ მკვ.}$$

$$3.205. \text{ა) } I = (U_0 / R) e^{-2t / RC}; \text{ბ) } Q = \frac{1}{4} C U_0^2.$$

$$3.206. e/m = \hbar \omega r / g R = 1,8 \cdot 10^{11} \text{ კ/კმ.}$$

$$3.207. p = \hbar I m / e = 0,40 \text{ მკვ} \cdot \text{წმ.}$$

$$3.208. s = e n l \langle v \rangle / j \sim 10^7 \text{ მ, სადაც } n \text{ თავისუფალი ელექტრონების  
კონცენტრაციაა, } \langle v \rangle - \text{ელექტრონების სითბური მოძრაობის საშუალო  
სიჩქარე.}$$

$$3.209. \text{ა) } t = e n l S / I = 3 \text{ მკწმ; ბ) } F = e n l \rho I = 1,0 \text{ მგწ, სადაც } \rho \text{ სპი-  
ლენძის სიმკვრივეა.}$$

$$3.210. E = (I / 2 \pi \varepsilon_0 r) \sqrt{m / 2 e U} = 32 \text{ ვ/მ.}$$

$$\Delta\varphi = (I / 4 \pi \varepsilon_0) \sqrt{m / 2 e U} = 0,80 \text{ ვ.}$$

$$3.211. \text{ა) } \rho(x) = -\frac{4}{9} \varepsilon_0 a x^{-3/3}; \text{ბ) } j = \frac{4}{9} \varepsilon_0 a^3 / 2 \sqrt{2 e / m}.$$

$$3.212. n = I d / e (u_0^+ + u_0^-) U S = 2,3 \cdot 10^8 \text{ სმ}^{-3}.$$

$$3.213. u_0 = \omega_0 l^2 / 2 U_0.$$

$$3.214. \text{ა) } \dot{n}_i = I_{\text{მაქს.}} / e V = 6 \cdot 10^9 \text{ სმ}^{-3} \cdot \text{წმ}^{-1}; \\ \text{ბ) } n = \sqrt{\dot{n}_i / r} = 6 \cdot 10^7 \text{ სმ}^{-3},$$

$$3.215. t = (\eta - 1) / \sqrt{r \dot{n}_i} = 13 \text{ მწმ.}$$

$$3.216. t = \varepsilon_0 \eta U / e \dot{n}_i d^2 = 4,6 \text{ დღე-ღამე.}$$

$$3.217. I = e \nu_0 e^{ad}.$$

$$3.218. j = (e^{ad} - 1) e n_1 / \alpha.$$

$$3.219. a) B = \mu_0 I / 2R = 6,3 \text{ მკტლ};$$

$$b) B = \mu_0 R^2 I / 2 (R^2 + x^2)^{3/2} = 2,3 \text{ მკტლ}.$$

$$3.220. B = n \mu_0 I \operatorname{tg}(\pi/n) / 2\pi R. \text{ როცა } n \rightarrow \infty, B = \mu_0 I / 2R.$$

$$3.221. B = 4 \mu_0 I / \pi d \sin \varphi = 0,10 \text{ მკტლ}.$$

$$3.222. B = (\pi - \varphi + \operatorname{tg} \varphi) \mu_0 I / 2\pi R = 28 \text{ მკტლ}.$$

$$3.223. a) B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \left( \frac{2\pi - \varphi}{a} + \frac{\varphi}{b} \right); b) B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \left( \frac{3\pi}{4a} + \frac{\sqrt{2}}{b} \right).$$

$$3.224. B \approx \mu_0 h I / 4\pi^2 R r, \text{ სადაც } r \text{ მანძილია ჰრილიდან.}$$

$$3.225. B = \mu_0 I / \pi^2 R.$$

$$3.226. a) B = (\mu_0 / 4\pi) (\pi I / R); b) B = (\mu_0 / 4\pi) (1 + 3\pi/2) I / R;$$

$$b) B = (\mu_0 / 4\pi) (2 + \pi) I / R.$$

$$3.227. B = (\mu_0 / 4\pi) I \sqrt{2} / l = 2,0 \text{ მკტლ}.$$

$$3.228. a) B = (\mu_0 / 4\pi) \sqrt{4 + \pi^2} I / R = 0,30 \text{ მკტლ};$$

$$b) B = (\mu_0 / 4\pi) \sqrt{2 + 2\pi + \pi^2} I / R = 0,34 \text{ მკტლ};$$

$$b) B = (\mu_0 / 4\pi) \sqrt{2} I / R = 0,11 \text{ მკტლ}.$$

$$3.229. a) B = \mu_0 i / 2; b) B = \mu_0 i \text{ სიბრტყეებს შორის და } B = 0 \text{ სიბრტყეების გარეთ.}$$

$$3.230. B = \begin{cases} \mu_0 j x & \text{ფირფიტის შიგნით,} \\ \mu_0 j d & \text{ფირფიტის გარეთ.} \end{cases}$$

$$3.231. \text{ იმ ნახევარსიბრტყეში, სადაც იმყოფება წრფივი გამტარი } B = \mu_0 I / 2\pi r, r \text{ მანძილია გამტარიდან. მეორე ნახევარსიბრტყეში } B = 0.$$

$$3.232. \text{ მოცემული ინტეგრალი ტოლია } \mu_0 I.$$

$$4.233. B = \begin{cases} \frac{1}{2} \mu_0 [j r], & \text{როცა } r \leq R. \\ \frac{1}{2} \mu_0 [j r] R^2 / r^2, & \text{როცა } r \geq R. \end{cases}$$

$$3.234. B = \frac{1}{2} \mu_0 [j l], \text{ ე. ი. ველი სიღრუეში ერთგვაროვანია.}$$

$$3.235. j(r) = (b / \mu_0) (1 + \alpha) r^{\alpha-1}.$$

$$3.236. B = \mu_0 n I / \sqrt{1 + (2R/l)^2}.$$

$$3.237. a) B = \frac{1}{2} \mu_0 n I (1 - x / \sqrt{x^2 + R^2}), \text{ სადაც } x > 0 \text{ სოლენოიდის გარეთ და } x < 0 \text{ სოლენოიდის შიგნით; იხ. ნახ. 23;}$$

$$b) x_0 = R(1 - 2\eta) / 2 \sqrt{\eta(1 - \eta)} \approx 5R.$$

$$3.238. B = \begin{cases} (\mu_0 I / h) \sqrt{1 - (h / 2\pi R)^2} = 0,3 \text{ მკტლ. } r < R. \\ (\mu_0 / 4\pi) 2I / r, & r > R. \end{cases}$$

$$3.239. \eta \approx N / \pi = 8 \cdot 10^2.$$

$$3.240. \Phi = (\mu_0 / 4\pi) I = 1,0 \text{ მკვბ/მ}.$$

$$3.241. \Phi = \Phi_0 / 2 = \mu_0 n I S / 2,$$

სადაც  $\Phi_0$  არის სოლენოიდის განივკვეთზე გამავალი  $B$  ვექტორის ნაკადი მისი ტარსებიდან მომდინარეობს.

$$3.242. \Phi = (\mu_0 / 4\pi) 2I N h \ln \eta = 8 \text{ მკვბ}.$$

$$3.243. p_m = 2\pi R^3 B / \mu_0 = 30 \text{ მა. მ}^2.$$

$$3.244. p_m = \frac{1}{2} N I d^2 = 0,5 \text{ ა. მ}^2.$$

$$3.245. a) B = \frac{\mu_0 I N \ln(b/a)}{2(b-a)} = 7 \text{ მკტლ};$$

$$b) p_m = \frac{1}{3} \pi I N (a^2 + ab + b^2) = 15 \text{ მა. მ}^2.$$

$$3.246. a) B = \frac{1}{2} \mu_0 \sigma v R; b) p_m = \frac{1}{4} \pi \sigma \omega R^4.$$

$$3.247. B = \frac{2}{3} \mu_0 \sigma \omega R = 29 \text{ მკტლ}.$$

$$3.248. p_m = \frac{1}{5} q R^2 \omega; p_m / M = q / 2m.$$

$$3.249. B = \frac{1}{2} \mu_0 \alpha \omega R^2.$$

$$3.250. F_3 / F_2 = \mu_0 \epsilon_0 v^2 = (v/c)^2 = 1,00 \cdot 10^{-6}.$$

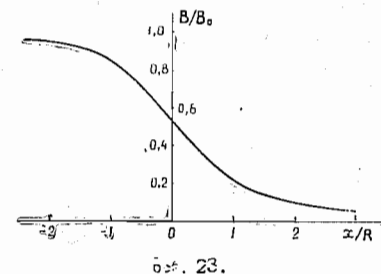
$$3.251. a) F_1 = \mu_0 I^2 / 4R = 0,20 \text{ მფ/მ}; b) F_1 = \mu_0 I^2 / \pi l = 0,13 \text{ მფ/მ}.$$

$$3.252. B = \pi d^2 \sigma_m / 4 R I = 9 \text{ მკტლ, სადაც } \sigma_m \text{ სპილენძის სიმტკიცის ზღვარია.}$$

$$3.253. B = (2\rho g S / I) \operatorname{tg} \varphi = 10 \text{ მკტლ, სადაც } \rho \text{ სპილენძის სიმკვრივეა.}$$

$$3.254. B = \Delta m g l / N I S = 0,4 \text{ ტლ}.$$

$$3.255. a) F = 2 \mu_0 I I_0 / \pi (4\eta^2 - 1) = 0,40 \text{ მკნ}; b) A = (\mu_0 \alpha I I_0 / \pi) \times \ln[(2\eta + 1) / (2\eta - 1)] = 0,10 \text{ მკწ}.$$



ნახ. 23.

$$3.256. R \approx \sqrt{\mu_0 \varepsilon_0} (\ln \eta) / \pi = 0,36 \text{ კომი.}$$

$$3.257. F_1 = \mu_0 I^2 / \pi^2 R.$$

$$3.258. F_1 = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2I_1 I_2}{b} \ln(1 + b/a).$$

$$3.259. F_1 = B^2 / 2\mu_0.$$

3.260. სამივე შემთხვევაში  $F_1 = (B_1^2 - B_2^2) / 2\mu_0$ . ძალა მოქმედებს მარჯვნივ. ღენი გამტარ სიბრტყეში მიმართულია ნახაზისკენ.

$$3.261. \Delta p = IB/a = 0,5 \text{ კპა}$$

$$3.262. p = \mu_0 I^2 / 8\pi^2 R^2.$$

$$3.263. p = \frac{1}{2} \mu_0 n^2 I^2.$$

$$3.264. I_{\text{ზღ}} = \sqrt{2F_{\text{ზღ}} / \mu_0 n R}.$$

$$3.265. P = v^2 B^2 d^2 R / (R + \rho d / S)^2; \text{ როცა } R = \rho d / S, \text{ სიმძლავრე}$$

$$P = P_{\text{ზღ}} = \frac{1}{4} v^2 B^2 d S / \rho,$$

$$3.266. U = \frac{1}{4} \mu_0 I^2 / \pi^2 R^2 n e = 2 \text{ ვ.}$$

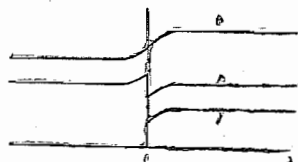
$$3.267. n = jB/eE = 2,5 \cdot 10^{28} \text{ მ}^{-3}; \text{ თითქმის } 1:1.$$

$$3.268. u_0 = 1/\eta B = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ მ}^2/(\text{ვ. წმ}).$$

$$3.269. \text{ ა) } F = 0; \text{ ბ) } F = (\mu_0 / 4\pi) 2I p_m / r^2, F \uparrow B;$$

$$\text{ გ) } F = (\mu_0 / 4\pi) 2I p_m / r^2, F \uparrow r.$$

$$3.270. F = (\mu_0 / 4\pi) 6\pi R^2 I p_m x / (R^2 + x^2)^{5/2}.$$



ნახ. 24.

$$3.271. F = \frac{3}{2} \mu_0 p_{1m} p_{2m} / \pi l^4 = 9 \text{ ნი.}$$

$$3.272. I' \approx 2 B x^3 / \mu_0 R^2 = 0,5 \text{ კა.}$$

$$3.273. B' = B \sqrt{\mu^2 \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}.$$

$$3.274. \text{ ა) } \oint H dS = \pi R^2 B \cos \vartheta (\mu - 1) / \mu \mu_0;$$

$$\text{ ბ) } \oint B dr = (1 - \mu) B l \sin \vartheta.$$

$$3.275. \text{ ა) } I'_{\text{ზღ}} = \chi I; \text{ ბ) } I'_{\text{გარ}} = \chi I; \text{ საპირისპირო მიმართულებით.}$$

$$3.276. \text{ იხ. ნახ. 24.}$$

$$3.277. B = \frac{\mu_0 \mu_1 \mu_2}{\mu_1 + \mu_2} \frac{I}{\pi r}.$$

$$3.278. B = 2B_0 \mu / (1 + \mu).$$

$$3.279. B = 3B_0 \mu / (2 + \mu).$$

$$3.280. H_c = NI/l = 6 \text{ კა/მ.}$$

$$3.281. H \approx bB / \mu_0 \pi d = 0,10 \text{ კა/მ.}$$

$$3.282. \text{ როცა } b \ll R, \text{ შეღწევალობა } \mu \approx 2\pi R B / (\mu_0 NI - bB) = 3,7 \cdot 10^3.$$

$$3.283. H = 0,06 \text{ კა/მ, } \mu_{\text{ფაქს}} \approx 1,0 \cdot 10^4,$$

$$3.284. \text{ თეორეტიკური H ვექტორის ცირკულაციის შესახებ, მივიღებთ}$$

$$B \approx \frac{\mu_0 NI}{b} - \frac{\mu_0 \pi d}{b} H = 1,51 - 0,987 H \text{ (კა/მ).}$$

გარდა ამისა,  $B$  და  $H$  შორის არსებობს დამოკიდებულება, რომლის გრაფიკი ნაჩვენებია 3.76 ნახაზზე. საძიებელი  $H$  და  $B$  მნიშვნელობები უნდა აკმაყოფილებდნენ ორივე განტოლებას ერთდროულად. ამ განტოლებათა სისტემის გრაფიკული ამოხსნა გვაძლევს  $H \approx 0,26 \text{ კა/მ.}$   $B \approx 1,25 \text{ ტლ}$  და  $\mu = B / \mu_0 H \approx 4 \cdot 10^3.$

$$3.285. F \approx \frac{1}{2} \chi S B^2 / \mu_0.$$

$$3.286. \text{ ა) } x_m = 1 / \sqrt{4a}; \text{ ბ) } \chi = \mu_0 F_{\text{ზღ}} \sqrt{e/a} / \sqrt{B_0^2} = 3,6 \cdot 10^{-4}.$$

$$3.287. A \approx \frac{1}{2} \chi V B^2 / \mu_0.$$

$$3.288. \mathcal{E}_i = B y \sqrt{8w/a}.$$

$$3.289. I = B v l / (R + R_\mu), \text{ სადაც } R_\mu = R_1 R_2 / (R_1 + R_2).$$

$$3.290. \text{ ა) } \Delta \varphi = \frac{1}{2} \omega^2 a^2 m / e = 3,0 \text{ ნვ; ბ) } \Delta \varphi \approx \frac{1}{2} \omega B a^2 = 20 \text{ მვ.}$$

$$3.291. \int_A^C E dr = -\frac{1}{2} \omega B d^2 = -10 \text{ მვ.}$$

3.292.  $\mathcal{E}_i = \frac{1}{2} (-1)^n B a \beta t$ , სადაც  $n = 1, 2, \dots$  ნახევარბრუნის ნომერი, რომელსაც ეკუთვნის მოცემული  $t$  მომენტი.  $\mathcal{E}_i(t)$  გრაფიკი ნაჩვენებია 25-ე ნახაზზე, სადაც  $t_n = \sqrt{2\pi n / \beta}.$

$$3.293. I_{\text{ინ}} = \alpha / r, \text{ სადაც } \alpha = \frac{1}{2} \mu_0 l \pi I / \pi R.$$

$$3.294. \mathcal{E}_t = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2I a^2 v}{x(x+a)}.$$

$$3.295. \mathcal{E}_i = \frac{1}{2} (\omega a^3 B^2 + 2mg \sin \omega t) / a B.$$

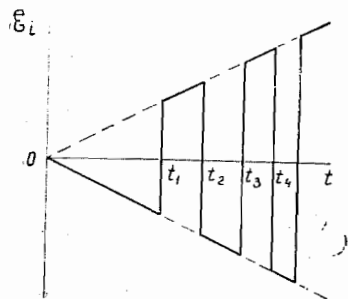
$$3.296. v = \frac{mgR \sin \alpha}{B^2 l^2}.$$



$$3.297. w = \frac{g \sin \alpha}{1 + l^2 B^2 C / m},$$

$$3.298. \langle P \rangle = 1/2 (\pi \omega a^2 B)^2 / R.$$

$$3.299. B = 1/2 q R / NS = 0,5 \text{ ტლ.}$$



ნახ. 25.

$$3.300. q = \frac{\mu_0 a I}{2\pi R} \ln \frac{b+a}{b-a}, \text{ ე. ი.}$$

არ არის დამოკიდებული  $L$ -ზე.

$$3.301. \text{ ა) } I = \frac{\mu_0 I_0 v}{2\pi R} \ln \frac{b}{a};$$

$$\text{ბ) } F = \frac{v}{R} \left( \frac{\mu_0 I_0}{2\pi} \ln \frac{b}{a} \right)^2.$$

$$3.302. \text{ ა) } s = v_0 m R / l^2 B^2;$$

$$\text{ბ) } Q = 1/2 m v_0^2.$$

$$3.303. v = \frac{F}{\alpha m} (1 - e^{-\alpha t}), \text{ სადაც } \alpha = B^2 l^2 / m R.$$

3.304. ა) წრიული გამტარის გასწვრივ—საათის ისრის მიმართულე-  
ბით შესაკრავში დენი არ არის; ბ) გარე გამტარში—საათის ისრის მიმარ-  
თულეობით; გ) ორივე წრიულ გამტარში—საათის ისრის მიმართულეობით;  
შესაკრავში დენი არ არის; დ) „რვიანის“ მარცხენა ნაწილში—საათის  
ისრის მიმართულეობით.

$$3.305. I = 1/4 \omega B_0 (a-b) / \rho = 0,5 \text{ ა.}$$

$$3.306. \mathcal{E}_{im} = 1/3 \pi a^2 N \omega B_0.$$

$$3.307. \mathcal{E}_i = 3/2 v l B \dot{I} t^2 = 12 \text{ მვ.}$$

$$3.308. E = \begin{cases} 1/2 \mu_0 n \dot{I} r, & \text{როცა } r < a. \\ 1/2 \mu_0 n \dot{I} a^2 / r, & \text{როცა } r > a. \end{cases}$$

$$3.309. I = 1/4 \mu_0 n S d \dot{I} / \rho = 2 \text{ მა, სადაც } \rho \text{ სპილენძის კუთრი წინა-}$$

$$\text{ლობაა.}$$

$$3.310. E = 1/2 a b (\eta - 1) / (\eta + 1).$$

$$3.311. \omega = -\frac{q}{2m} B(t).$$

$$3.312. F_{1\text{მაკვ}} = \frac{\mu_0 a^2 U^2}{4\pi R l b^2}.$$

$$3.313. Q = 1/3 a^2 \pi^3 / R.$$

$$3.314. I = 1/4 (b^2 - a^2) \beta h / \rho.$$

$$3.315. l = \sqrt{4\pi \mu_0 L / \mu_0} = 0,10 \text{ კმ.}$$

$$3.316. L = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m R}{l \rho \rho_0}, \text{ სადაც } \rho \text{ და } \rho_0 \text{ სპილენძის კუთრი წინალო-}$$

ბა და სიმკვრივეა.

$$3.317. t = -\frac{L}{R} \ln(1-\eta) = 1,5 \text{ წმ.}$$

$$3.318. \tau = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m}{l \rho \rho_0} = 0,7 \text{ მწმ, სადაც } \rho \text{ კუთრი წინალობაა, } \rho_0 \text{—}$$

სპილენძის სიმკვრივე.

$$3.319. L_1 = \frac{\mu_0 \mu_0}{2\pi} \ln \eta = 0,26 \text{ მკვ/მ.}$$

$$3.320. L = \frac{\mu_0}{2\pi} \mu N^2 a \ln \left( 1 + \frac{a}{b} \right).$$

$$3.321. L_1 = \mu_0 h / b = 25 \text{ მკვ/მ.}$$

$$3.322. L_1 = \frac{\mu_0}{4\pi} (1 + 4 \ln \eta).$$

$$3.323. \text{ ა) } I = \pi a^2 B / L; \text{ ბ) } A = 1/2 \pi^2 a^4 B^2 / L.$$

$$3.324. I = I_0 (1 + \eta) = 2 \text{ ა.}$$

$$3.325. I = \frac{\pi a B}{\mu_0 \left( \ln \frac{8a}{b} - 2 \right)} = 50 \text{ ა.}$$

$$3.326. I = \frac{\mathcal{E}}{R} [1 + (\eta - 1) e^{-t\eta R / L}].$$

$$3.327. I = \frac{\mathcal{E}}{R} (1 - e^{-tR / 2L}).$$

$$3.328. I_1 = \frac{\mathcal{E} L_2}{R(L_1 + L_2)}, \quad I_2 = \frac{\mathcal{E} L_1}{R(L_1 + L_2)}.$$

$$3.329. L_{12} = \frac{\mu_0 b}{2\pi} \ln \left( 1 + \frac{a}{l} \right).$$

$$3.330. L_{12} = \frac{\mu_0 \mu h N}{2\pi} \ln \frac{b}{a}.$$

$$3.331. \text{ ა) } L_{12} \approx 1/2 \mu_0 \pi a^2 / b; \text{ ბ) } \Phi_{21} = 1/2 \mu_0 \pi a^2 I / b.$$

$$3.332. p_m = 2aRq / \mu_0 N.$$

$$3.333. L_{12} \approx 1/2 \mu_0 \pi a^4 / l^3.$$

$$3.334. I_2 = \frac{\alpha L_{12}}{R} (1 - e^{-tR/L_2}).$$

$$3.335. Q = \frac{L \mathcal{E}^2}{2R^2 (1 + R_0/R)} = 3 \text{ მკჯ.}$$

$$3.336. W = 1/2 N \Phi I = 0,5 \text{ ჯ.}$$

$$3.337. W = BH \pi^2 a^2 b = 2,0 \text{ ჯ, სადაც } H = 1/2 NI / \pi b.$$

$$3.338. \text{ ა) } W_c / W_a \approx \mu b / \pi d = 3,0; \text{ ბ) } L \approx \frac{\mu_0 S N^2}{b + \pi d / \mu} = 0,15 \text{ ჰფ.}$$

$$3.339. W_1 = \mu_0 \lambda^2 \omega^2 a^2 / 8\pi.$$

$$3.340. E = B / \sqrt{\epsilon_0 \mu_0} = 3 \cdot 10^8 \text{ ვ/მ.}$$

$$3.341. w_a / w_b = \epsilon_0 \mu_0 \omega^2 a / l^2 = 1,1 \cdot 10^{-15}.$$

$$3.343. \text{ ა) } L_{\text{საგნ}} = 2L; \text{ ბ) } L_{\text{საგნ}} = L/2.$$

$$3.344. L_{12} = \sqrt{L_1 L_2}.$$

$$3.346. W_{12} = \frac{\mu_0 \pi a^2}{2b} I_1 I_2 \cos \varphi.$$

$$3.347. \text{ ა) } j_{\text{საგნ}} = -j; \text{ ბ) } I_{\text{საგნ}} = q / \epsilon_0 \epsilon \rho.$$

$$3.348. \text{ გამტარობის ღენის გარდა უნდა გაითვალისწინოთ წანაცვლები.}$$

$$3.349. E_m = I_m / \epsilon_0 \omega S = 7 \text{ ვ/სმ.}$$

$$3.350. H = H_m \cos(\omega t + \alpha), \text{ სადაც } H_m = \frac{r U_m}{2d} \sqrt{\sigma^2 + (\epsilon_0 \epsilon \omega)^2},$$

$\alpha$  — კი განისაზღვრება ფორმულით  $\operatorname{tg} \alpha = \epsilon_0 \epsilon \omega / \sigma$ .

$$3.351. j_{\text{საგნ}} = \begin{cases} 1/2 \ddot{B} r, & \text{როცა } r < R, \\ 1/2 \ddot{B} R^2 / r, & \text{როცა } r > R. \end{cases}$$

$$\ddot{B} = \mu_0 n I_m \omega^2 \sin \omega t.$$

$$3.352. \text{ ა) } j_{\text{საგნ}} = \frac{2qv}{4\pi r^3}; \text{ ბ) } j_{\text{საგნ}} = -\frac{qv}{4\pi r^3}.$$

$$3.353. x_m = 0, j_{\text{საგნ მაქს}} = \frac{qv}{4\pi a^3}.$$

$$3.354. H = \frac{q[vr]}{4\pi r^3}.$$

3.355. ა) თუ  $\mathbf{B}(t)$ , მაშინ  $\nabla \times \mathbf{E} = -\partial \mathbf{B} / \partial t \neq 0$ .  $\mathbf{E}$  — ველის სივრცული წარმოებულების განსხვავება ნულისაგან ( $\nabla \times \mathbf{E} \neq 0$ ) შესაძლებელია მხოლოდ ელექტრული ველის არსებობისას.

ბ) თუ  $\mathbf{B}(t)$ , მაშინ  $\nabla \times \mathbf{E} = -\partial \mathbf{B} / \partial t \neq 0$ . ერთგვაროვან ველში კი  $\nabla \times \mathbf{E} = 0$ .

გ) დაშვების თანახმად  $\mathbf{E} = a f(t)$ , სადაც  $a$  კოორდინატისაგან დამოუკიდებელი ვექტორია,  $f(t)$  — დროის ნებისმიერი ფუნქცია. მაშინ  $-\partial \mathbf{B} / \partial t = \nabla \times \mathbf{E} = 0$ , ე. ი.  $\mathbf{B}$  — ველი არ არის დამოკიდებული დროზე. საზოგადოდ, ეს ეწინააღმდეგება  $\nabla \times \mathbf{H} = \partial \mathbf{D} / \partial t$  განტოლებას, ვინაიდან ამ შემთხვევაში მარცხენა ნაწილი არ არის დამოკიდებული დროზე, მარჯვენა კი დამოკიდებულია. გამონაკლისია შემთხვევა, როდესაც  $f(t)$  წრფივი ფუნქციაა. ამ შემთხვევაში  $\mathbf{E}$  — ველი შეიძლება იყოს დროით ცვლადი.

3.356. ავიღოთ დივერგენცია  $\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{j} + \partial \mathbf{D} / \partial t$  განტოლების ორივე ნაწილიდან. თუ მივიღებთ მხედველობაში, რომ როტორის დივერგენცია ყოველთვის ნულის ტოლია, გვექნება  $0 = \nabla \cdot \mathbf{j} + \frac{\partial}{\partial t} (\nabla \cdot \mathbf{D})$ . დარჩება გასათვალისწინებელი, რომ  $\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho$ .

3.357. ავიღოთ დივერგენცია პირველი განტოლების ორივე ნაწილიდან. ვინაიდან როტორის დივერგენცია ყოველთვის ნულის ტოლია,  $\nabla \cdot (\partial \mathbf{B} / \partial t) = 0$  ან  $\frac{\partial}{\partial t} (\nabla \cdot \mathbf{B}) = 0$ . აქედან  $\nabla \cdot \mathbf{B} = \text{const}$ , რაც სინამდვილეში არ ეწინააღმდეგება მეორე განტოლებას.

$$3.358. \nabla \times \mathbf{E} = -[\omega \mathbf{B}].$$

$$3.359. \mathbf{E}' = [\mathbf{v} \mathbf{B}].$$

$$3.360. \sigma = \epsilon_0 \nu B = 0,40 \text{ პკ/მ}^2.$$

$$3.361. \rho = -2\epsilon_0 \omega \mathbf{B} = -0,08 \text{ ნკ/მ}^3; \sigma = \epsilon_0 \omega \mathbf{B} = 2 \text{ პკ/მ}^2.$$

$$3.362. \mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q[\mathbf{v} \mathbf{r}]}{r^3}.$$

$$3.364. \mathbf{E}' = b \mathbf{r} / r^2, \text{ სადაც } r \text{ მანძილია } z' \text{ ღერძიდან.}$$

$$3.365. \mathbf{B}' = \frac{a[\mathbf{r} \mathbf{v}]}{c^2 r^2}, \text{ სადაც } r \text{ მანძილია } z' \text{ ღერძიდან.}$$

$$3.367. \text{ ა) } E' = E \sqrt{\frac{1 - \beta^2 \cos^2 \alpha}{1 - \beta^2}} = 9 \text{ კვ/მ; } \operatorname{tg} \alpha' = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\sqrt{1 - \beta^2}},$$

საიდანაც  $\alpha' \approx 51^\circ; \text{ ბ) } B' = \frac{\beta E \sin \alpha}{c \sqrt{1 - \beta^2}} = 14 \text{ მკტლ.}$

$$3.368. \text{ ა) } E' = \frac{\beta B \sin \alpha}{c \sqrt{1-\beta^2}} = 1,4 \text{ ნვ/მ};$$

$$\text{ბ) } B' = B \sqrt{\frac{1-\beta^2 \cos^2 \alpha}{1-\beta^2}} = 0,9 \text{ ტლ, } \alpha' \approx 51^\circ.$$

$$3.370. B' = B \sqrt{1-(E/cB)^2} \approx 0,15 \text{ მტლ.}$$

3.371. დავუშვათ, რომ  $q$  მუხტი მოძრაობს  $K$  ათვის სისტემის  $x$  ღერძის დადებითი მიმართულების გასწვრივ. გადავიღეთ  $K'$  სისტემაში. რომლის სათავეში ეს მუხტი უძრავია (ორივე სისტემის  $x'$  და  $x$  ღერძები ერთმანეთს,  $y'$  და  $y$  ღერძები ერთმანეთის პარალელურია).  $K'$  სისტემაში მუხტის ველს ყველაზე მარტივი სახე აქვს:  $E' = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r'^3} \mathbf{r}'$  და  $x, y$  სიბრტყეში

$$E'_x = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r'^3} x', \quad E'_y = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r'^3} y'.$$

აზლა გადავიღეთ უკან  $K$  სისტემაში. იმ მომენტში, როდესაც  $q$  მუხტი გაივლის  $K$  სისტემის კოორდინატთა სათავეს.  $r$  ვექტორის  $x, y$  გეგმილები დაკავშირებულია  $r'$  ვექტორის  $x', y'$  გეგმილებთან შემდეგი თანადარობებით

$$x = r \cos \vartheta = x' \sqrt{1-(v/c)^2}, \quad y = r \sin \vartheta = y'.$$

გარდა ამისა, (3.63)-ის შებენიერებული გარდაქმნების თანახმად,

$$E_x = E'_x, \quad E_y = E'_y / \sqrt{1-(v/c)^2}.$$

ყველა ამ განტოლების ერთობლივი ამოხსნა მოგვცემს:

$$\mathbf{E} = E_x \mathbf{i} + E_y \mathbf{j} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qr}{r^3} \frac{1-\beta^2}{(1-\beta^2 \sin^2 \vartheta)^{3/2}}.$$

ყურადღება უნდა მიექცეს იმ გარემოებას, რომ მოცემულ შემთხვევაში ( $v = \text{const}$ )  $\mathbf{E}$  ვექტორი  $\mathbf{r}$  ვექტორის კოლინეარულია.

$$3.372. v = \sqrt[3]{\frac{1}{2} a l e / m} = 16 \text{ კმ/წმ.}$$

$$3.373. \lg \alpha = \frac{a l^2}{4} \sqrt{\frac{m}{2eU^3}}.$$

$$3.374. \text{ ა) } x = 2E_0/a; \quad \text{ბ) } w = qE_0/m.$$

$$3.375. t = \frac{\sqrt{T(T+2m_0 c^2)}}{ceE} = 3,0 \text{ ნწმ.}$$

$$3.376. w = \frac{eE}{m_0(1+T/m_0 c^2)^3}.$$

$$3.377. \text{ ა) } \lg \vartheta = \frac{eEt}{m_0 v_0} \sqrt{1-(v_0/c)^2}, \text{ სადაც } e \text{ და } m_0 \text{ პროტონის მუხტი და მასაა.}$$

$$\text{ბ) } v_x = v_0 / \sqrt{1+(1-v_0^2/c^2)(eEt/m_0 c^2)^2}.$$

$$3.378. \alpha = \arcsin \left( dB \sqrt{\frac{q}{2mU}} \right) = 30^\circ.$$

$$3.379. \text{ ა) } v = reB/m = 100 \text{ კმ/წმ, } T = 2\pi m/eB = 6,5 \text{ მკწმ};$$

$$\text{ბ) } v = c / \sqrt{1+(m_0 c / reB)^2} = 0,51 c, \quad T = \frac{2\pi m_0}{eB \sqrt{1-(v/c)^2}} = 4,1 \text{ ნწმ.}$$

$$3.380. \text{ ა) } p = qrB; \quad \text{ბ) } T = m_0 c^2 (\sqrt{1+(qrB/m_0 c)^2} - 1);$$

$$\text{გ) } w = \frac{c^2}{r[1+(m_0 c / qrB)^2]}.$$

$$3.381. T = \eta m_0 c^2. \text{ შესაბამისად, } 5 \text{ კეე და } 9 \text{ მგეე.}$$

$$3.382. \Delta l = 2\pi \sqrt{2mU/eB^2} \cos \alpha = 2,0 \text{ სმ.}$$

$$3.383. q/m = \frac{8\pi^2 U}{l^2 (B_2 - B_1)^2}.$$

$$3.384. r = 2\rho |\sin(\varphi/2)|, \text{ სადაც } \rho = \frac{mv}{eB} \sin \alpha, \quad \varphi = \frac{leB}{mv \cos \alpha}.$$

$$3.385. r_{\text{აკუს}} = ae^{v_0/b}, \text{ სადაც } b = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{e}{m} I.$$

$$3.386. v = \frac{U}{rB \ln(b/a)}, \quad q/m = \frac{U}{r^2 B^2 \ln(b/a)}.$$

$$3.387. \text{ ა) } y_n = \frac{2\pi^2 m E n^2}{q B^2}; \quad \text{ბ) } \lg \alpha = \frac{v_0 B}{2\pi E n}.$$

$$3.388. z = l \lg \sqrt{\frac{qB^2}{2mE}} y; \text{ როცა } z \ll l \text{ ეს განტოლება მარტივდება}$$

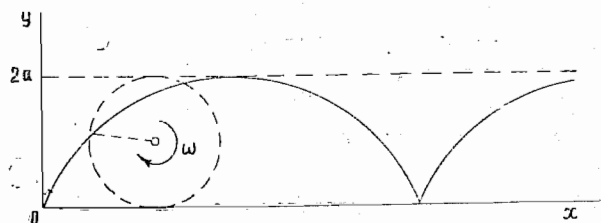
$$y = (2mE/q l^2 B^2) z^2.$$

$$3.389. F = mEI/qB = 20 \text{ მკნ.}$$

$$3.390. \Delta l = \frac{2\pi m E}{e B^2} \lg \varphi = 6 \text{ სმ.}$$

$$3.391. q/m = \frac{a(a+2b)B^2}{2E\Delta x}.$$

3.392. ა)  $x=a(\omega t - \sin \omega t)$ ;  $y=a(1 - \cos \omega t)$ . სადაც  $a=mE/qB^2$ ,  $\omega=qB/m$ . ტრაექტორია არის ციკლოიდა (ნახ. 26). ნაწილაკის მოძრაობა წარმოადგენს  $a$  რადიუსის წრის ფერსოზე მოთავსებული წერტილის მოძრაობას, თუ წრე სრიალის გარეშე მიგორავს  $x$  ღერძის გასწვრივ ისე,



ნახ. 26.

რომ მისი ცენტრი გადაადგილდება  $v=E/B$  სიჩქარით; ბ)  $s=8mE/gB^2$ ; გ)  $\langle v_x \rangle = E/B$ .

$$3.393. U = 2 \frac{e}{m} \left( \frac{\mu_0 I}{4\pi} \right)^2 \ln \frac{a}{b}.$$

$$3.394. B \leq \frac{2b}{b^2 - a^2} \sqrt{\frac{2m}{e} U}.$$

$$3.395. y = \frac{a}{2\omega} t \sin \omega t, \quad x = \frac{a}{2\omega^2} (\sin \omega t - \omega t \cos \omega t), \quad \text{სადაც}$$

$a=qEm/m$  ტრაექტორიის აქვს დაცარული სპირალის სახე,

$$3.396. U \geq 2\pi^2 v^2 m r \Delta r / e = 0,10 \text{ მგვ.}$$

$$3.397. \text{ ა) } T = \frac{(e r B)^2}{2m} = 12 \text{ მგვ; } \text{ ბ) } v_{\text{ფოტ}} = \frac{1}{\pi r} \sqrt{\frac{T}{2m}} = 20 \text{ მგვ/წმ.}$$

$$3.398. \text{ ა) } t = \frac{\pi^2 v m r^2}{e U} = 17 \text{ მკწმ; } \text{ ბ) } s \approx \frac{4\pi^3 v^2 m r^2}{3e U} = 0,74 \text{ კმ.}$$

მითითება. აქ  $s \sim \sum_{n=1}^N v_n \sim \sum \sqrt{n}$ , სადაც  $v_n$  ნაწილაკის სიჩქარე

ამაჩვენებელი შუალედის მე- $n$  გავლის შემდეგ. ვინაიდან  $N$  დიდია

$$\sum_{n=1}^N \sqrt{n} \approx \int_0^N \sqrt{n} dn.$$

$$3.399. n = 2\pi v W / e B c^2 = 9.$$

$$3.400. \omega = \omega_0 / \sqrt{1 + at}, \quad \text{სადაც } \omega_0 = qB/m, \quad a = qB \Delta W / \pi m^2 c^2.$$

$$3.401. v = \frac{1}{2} r q B / m, \quad \rho = r/2.$$

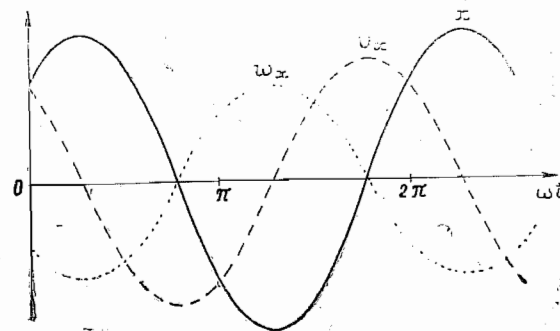
$$3.402. N = W / e \Phi = 5 \cdot 10^6 \text{ ბრუნ, } s = 2\pi r N = 8 \cdot 10^3 \text{ კმ.}$$

3.403. ერთი მხრივ

$$\frac{dp}{dt} = eE = \frac{e}{2\pi r} \frac{d\Phi}{dt},$$

სადაც  $p$  ელექტრონის იმპულსია,  $r$  — ორბიტის რადიუსი,  $\Phi$  — მის შიგნით მაგნიტური ნაკადი,  $\Phi = \pi r^2 \langle B \rangle$ .

მეორე მხრივ,  $dp/dt$  შეიძლება ვიპოვოთ, თუ გავადიფერენცირებთ  $p = e r B$  თანადრობას, როდესაც  $r = \text{const}$ . მიღებული გამოსახულებით



ნახ. 27.

ბეზის შედარებიდან გამომდინარეობს, რომ  $dB_0/dt = \frac{1}{2} d\langle B \rangle / dt$ , კერძოდ, ეს პირობა იქნება შესრულებული, თუ  $B_0 = \frac{1}{2} \langle B \rangle$ .

$$3.404. r_0 = \sqrt{2B_0 / 3a}.$$

$$3.405. dE/dr = \vec{B}(r_0) - \frac{1}{2} \langle \vec{B} \rangle = 0.$$

$$3.406. \Delta W = 2\pi r^2 e B / \Delta t = 0,10 \text{ კევ.}$$

$$3.407. \text{ ა) } W = (\sqrt{1 + (reB/m_0 c)^2} - 1) m_0 c^2; \text{ ბ) } s = W \Delta t / re B.$$

$$4.1. \text{ ა) იხ. ნახ. 27; } \text{ ბ) } (v_x/a\omega)^2 + (x/a)^2 = 1 \text{ და } w_x = -\omega^2 x.$$

$$4.2. \text{ ა) ამპლიტუდა ტოლია } a/2, \text{ პერიოდი } T = \pi/\omega; \text{ იხ. ნახ. 28 } \text{ ა; } \text{ ბ) } v_x^2 = 4\omega^2 x(a-x), \text{ იხ. ნახ. 28 } \text{ ბ.}$$

$$4.3. x = a \cos(\omega t + \alpha) = -29 \text{ სმ, } v_x = -81 \text{ სმ/წმ, სადაც}$$

$$a = \sqrt{x_0^2 + (v_{x0}/\omega)^2}, \quad \alpha = \arctg(-v_{x0}/\omega x_0).$$

$$4.4. \omega = \sqrt{(v_1^2 - v_2^2)/(x_2^2 - x_1^2)}, \quad a = \sqrt{(v_1^2 x_2^2 - v_2^2 x_1^2)/(v_1^2 - v_2^2)}$$

$$4.5. \text{ ა) } \langle v \rangle = 3a/T = 0,50 \text{ მ/წმ; } \text{ ბ) } \langle v \rangle = 6a/T = 1,0 \text{ მ/წმ.}$$

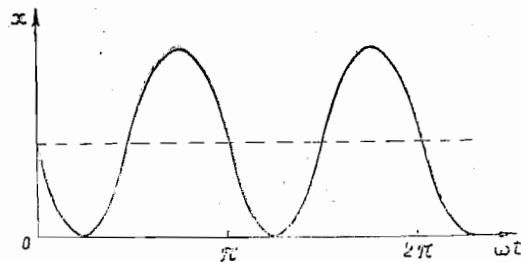


$$4.6. \text{ ა) } \langle v_x \rangle = \frac{2\sqrt{2}}{3\pi} a\omega; \text{ ბ) } |\langle v \rangle| = \frac{2\sqrt{2}}{3\pi} a\omega;$$

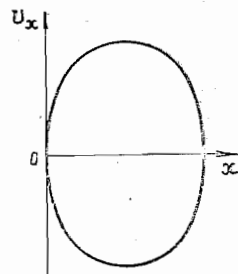
$$\text{გ) } \langle v \rangle = \frac{2(4-\sqrt{2})}{3\pi} a\omega.$$

$$4.7. \quad s = \begin{cases} a[n+1-\cos(\omega t - n\pi/2)], & n-\text{ლუწია,} \\ a[n+\sin(\omega t - n\pi/2)], & n-\text{ქენტი.} \end{cases}$$

აქ  $n$  არის  $2\omega t/\pi$  შეფარდების მთელი რიცხვი.



ა)



ბ)

ნახ. 28.

$$4.8. s=0,6 \text{ მ.}$$

$$4.9. \quad dP/dx = 1/\pi\sqrt{a^2-x^2}.$$

$$4.10. \text{ ორივე შემთხვევაში } a=7.$$

$$4.11. v_{\text{მაქს}} = 2,73 a\omega.$$

$$4.12. 47,9 \text{ და } 52,1 \text{ რად/წმ, } 1,5 \text{ წმ.}$$

$$4.13. 18 \text{ ან } 26 \text{ ჰც.}$$

$$4.14. \text{ ა) } x^2/a^2 + y^2/b^2 = 1, \text{ საათის ისრის მიმართულებით; ბ) } w = -\omega^2 r.$$

$$4.15. \text{ ა) } y^2 = 4x^2(1-x^2/a^2); \text{ ბ) } y = a(1-2x^2/a^2). \text{ იხ. ნახ. 29.}$$

$$4.16. T = 2\pi\sqrt{m/a^3 U_0}.$$

$$4.17. T = 4\pi a\sqrt{ma/b^2}.$$

$$4.18. T = \pi\sqrt{ml/F} = 0,2 \text{ წმ.}$$

$$4.19. T = 2\pi\sqrt{\eta l / g(\eta-1)} = 1,1 \text{ წმ.}$$

$$4.20. T = 2\sqrt{l/g}[\pi/2 + \arcsin(\alpha/\beta)].$$

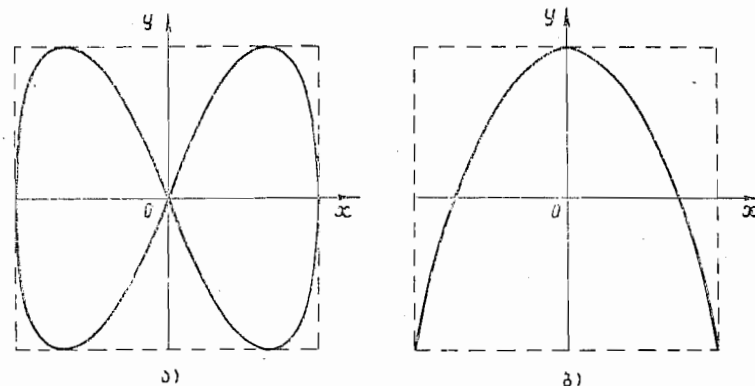
$$4.21. t = \sqrt{\frac{2h}{w}} \frac{\sqrt{1+\eta} - \sqrt{1-\eta}}{1 - \sqrt{1-\eta}}, \text{ სადაც } \eta = w/g.$$

$$4.22. T = \sqrt{4\pi m / \rho g r^2} = 2,5 \text{ წმ.}$$

$$4.23. T = 2\pi\sqrt{\eta(1-\eta)m/\kappa} = 0,13 \text{ წმ.}$$

$$4.24. T = 2\pi\sqrt{m/(\kappa_1 + \kappa_2)}.$$

$$4.25. T = 2\pi\sqrt{m/\kappa}, \text{ სადაც } \kappa = \kappa_1\kappa_2/(\kappa_1 + \kappa_2).$$



ნახ. 29.

$$4.26. \omega = \sqrt{2T_0 / ml}.$$

$$4.27. T = 2\pi\sqrt{m/S\rho g(1+\cos\vartheta)} = 0,8 \text{ წმ.}$$

$$4.28. T = \pi\sqrt{2l/kg} = 1,5 \text{ წმ.}$$

4.29. ა)  $\ddot{x} + (g/R)x = 0$ , სადაც  $x$  სხეულის წანაცვლებაა დედამიწის ცენტრის მიმართ,  $R$ —მისი რადიუსი,  $g$ —თავისუფალი ვარდნის ნორმალური აჩქარება; ბ)  $\tau = \pi\sqrt{R/g} = 42$  წთ; გ)  $v = \sqrt{gR} = 7,9$  კმ/წმ.

$$4.30. T = 2\pi\sqrt{l/|g-w|} = 0,8 \text{ წმ, სადაც } |g-w| = \sqrt{g^2 + \omega^2 - 2g\omega\cos\beta}.$$

$$4.31. T = 2\pi / \sqrt{\kappa/m - \omega^2} = 0,7 \text{ წმ. } \omega \geq \sqrt{\kappa/m} = 10 \text{ რად/წმ.}$$

$$4.32. k = 4\pi^2 a/gT^2 = 0,4.$$

$$4.33. \text{ ა) } \vartheta = 3,0^\circ \cos 3,5 t; \text{ ბ) } \vartheta = 4,5^\circ \sin 3,5 t;$$

$$\text{გ) } \vartheta = 5,4^\circ \cos(3,5 t + 1,0). \text{ აქ } t \text{ იზომება წამებში.}$$

$$4.34. F = (m_1 + m_2)g \pm m_1 a\omega^2 = 60 \text{ და } 40 \text{ ნ.}$$

$$4.35. \text{ ა) } F = mg \left( 1 + \frac{a\omega^2}{g} \cos \omega t \right), \text{ იხ. ნახ. 30;}$$

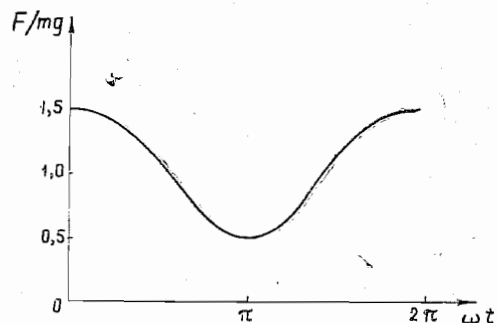
$$\text{ბ) } a_{\text{სივ}} = g/\omega^2 = 8 \text{ სმ; გ) } a = (\omega\sqrt{2h/g} - 1)g/\omega^2 = 20 \text{ სმ.}$$

4.36. ა)  $y = (1 - \cos \omega t) mg / \kappa$ , სადაც  $\omega = \sqrt{\kappa / m}$ ; ბ)  $T_{\text{მაქს}} = 2mg$ ,  
 $T_{\text{მინ}} = 0$

4.37.  $(x/r_0)^2 + \alpha (y/v_0)^2 = 1$ .

4.38. ა)  $y = (1 - \cos \omega t) w / \omega^2$ ; ბ)  $y = (\omega t - \sin \omega t) \alpha / \omega^3$ . აქ  
 $\omega = \sqrt{\kappa / m}$ .

4.39.  $\Delta h_{\text{მაქს}} = mg/k = 10$  სმ,  $E = m^2 g^3 / 2k = 4,8$  მჯ.



ნახ. 30.

4.40.  $a = (mg / \kappa) \sqrt{1 + 2h\kappa/mg}$ ,  $E = mgh + m^2 g^2 / 2\kappa$ .

4.41.  $a = (mg / \kappa) \sqrt{1 + 2h\kappa / (m + M)g}$ .

4.42. მოძრაობის განტოლება ჩავწეროთ გეგმილებში  $x$  და  $y$  ღერძებზე

$\ddot{x} = a\dot{y}$ ,  $\ddot{y} = -a\dot{x}$ , სადაც  $a = \mu/m$ .

მათი ინტეგრება (საწყისი პირობების გათვალისწინებით) მოგვცემს  $x = (v_0/\omega)(1 - \cos \omega t)$ ,  $y = (v_0/\omega) \sin \omega t$ . აქედან  $(x - v_0/\omega)^2 + y^2 = (v_0/\omega)^2$ . ეს არის  $v_0/\omega$  რადიუსის წრეწირის განტოლება, რომლის ცენტრი მოთავსებულია  $x_0 = v_0/\omega$ ,  $y_0 = 0$  წერტილში.

4.43. გაიზრდება  $\sqrt{1 + \frac{2}{5}(R/l^2)}$ -ჯერ. აქ გათვალისწინებულია ის, რომ წყალი გაყინვამდე ასრულებს წინსვლით მოძრაობას და სისტემა იქცევა როგორც მათემატიკური საქანი.

4.44.  $\omega = \sqrt{\frac{3g}{2l} \left( 1 + \frac{2\kappa l}{mg} \right)}$ .

4.45. ა)  $T = 2\pi \sqrt{l/3g} = 1,1$  წმ; ბ)  $E = \frac{1}{2} mgl\alpha^2 = 0,05$  ჯ.

4.46.  $\varphi_m = \varphi_0 \sqrt{1 + mR^2 \dot{\varphi}_0^2 / 2k\varphi_0^2}$ ,  $E = \frac{1}{2} k\varphi_m^2$ .

4.47.  $\langle T \rangle = \frac{1}{8} mgl\dot{\varphi}_0^2 + \frac{1}{12} ml^2 \dot{\varphi}_0^2$ .

4.48.  $T = 4\pi/\omega$ .

4.49.  $I = ml^2 (\omega_2^2 - g/l) / (\omega_1^2 - \omega_2^2) = 0,8$  გ. მ².

4.50.  $\omega = \sqrt{(I_1 \omega_1^2 + I_2 \omega_2^2) / (I_1 + I_2)}$ .

4.51.  $x = l/2 \sqrt{3}$ ,  $T_{\text{მინ}} = 2\pi \sqrt{l/g \sqrt{3}}$ .

4.52.  $T = \pi \sqrt{2h/g}$ .  $l_{\text{ფაქტ}} = h/2$ .

4.53.  $\omega_0 = \sqrt{3a\omega^2/2l}$ .

4.54.  $\omega_0 = \sqrt{\kappa / (m + I/R^2)}$ .

4.55.  $\omega_0 = \sqrt{\frac{2mg \cos \alpha}{MR + 2mR(1 + \sin \alpha)}}$ .

4.56.  $T = 2\pi \sqrt{3(R-r)/2g}$ .

4.57.  $T = \pi \sqrt{3m/2\kappa}$ .

4.58.  $\omega_0 = \sqrt{\kappa/\mu}$ , სადაც  $\mu = m_1 m_2 / (m_1 + m_2)$ .

4.59. ა)  $\omega = \sqrt{\kappa/\mu} = 6$  წმ⁻¹; ბ)  $E = \frac{1}{2} \mu v_1^2 = 5$  მჯ,  $a = v_1/\omega = 2$  სმ. აქ  $\mu = m_1 m_2 / (m_1 + m_2)$ .

4.60.  $T = 2\pi \sqrt{I'/k}$ , სადაც  $I' = I_1 I_2 / (I_1 + I_2)$ .

4.61.  $\omega_2/\omega_1 = \sqrt{1 + 2m_0/m_C} \approx 1,9$ , სადაც  $m_0$  და  $m_C$  უანგბადის და ნახშირბადის ატომების მასებია.

4.62.  $\omega = S \sqrt{2\gamma p_0 / mV_0}$ , სადაც  $\gamma$  ადიაბატის მაჩვენებელია.

4.63.  $q = 4h \sqrt{\pi \epsilon_0 m g (\eta^2 - 1)} = 2,0$  მკვ.

4.64. ველის ინტენსიუტა გაიზარდა  $\eta^2 = 25$ -ჯერ.

4.65.  $x = (v_0/\omega) \sin \omega t$ , სადაც  $\omega = lB/\sqrt{mL}$ .

4.66.  $x = (1 - \cos \omega t)g/\omega^2$ , სადაც  $\omega = lB/\sqrt{mL}$ .

4.67. ა)  $a_0$  და  $a_0\omega$ ; ბ)  $t_n = \frac{1}{\omega} \left( \arctg \frac{\omega}{\beta} + n\pi \right)$ ,

სადაც  $n = 0, 1, 2, \dots$

4.68. ა)  $\dot{\varphi}(0) = -\beta\varphi_0$ ,  $\ddot{\varphi}(0) = (\beta^2 - \omega^2)\varphi_0$ ;

ბ)  $t_n = \frac{1}{\omega} \left( \arctg \frac{\omega^2 - \beta^2}{2\beta\omega} + n\pi \right)$ , სადაც  $n = 0, 1, 2, \dots$

4.69. ა)  $a_0 = \frac{|\ddot{x}_0|}{\omega}$ ,  $\alpha = \begin{cases} -\pi/2 & \text{თუ } \dot{x}_0 > 0 \\ +\pi/2 & \text{თუ } \dot{x}_0 < 0 \end{cases}$ ;

ბ)  $a_0 = |x_0| \sqrt{1 + (\beta/\omega)^2}$ ,  $\alpha = \text{arctg}(-\beta/\omega)$ , თანაც  $-\pi/2 < \alpha < 0$ , თუ  $x_0 > 0$ , და  $\pi/2 < \alpha < \pi$ , თუ  $x_0 < 0$ .

$$4.70. \beta = \omega \sqrt{\eta^2 - 1} = 5 \sqrt{2}^{-1}.$$

$$4.71. \text{ ა) } v(t) = a_0 \sqrt{\omega^2 + \beta^2} e^{-\beta t}; \text{ ბ) } v(t) = |x_0| \sqrt{1 + (\beta/\omega)^2} e^{-\beta t}.$$

4.72. პასუხი დამოკიდებულია იმაზე, თუ რა აზრია ჩადებული მოცემულ კითხვაში. უფრო სწრაფად მიიღევა პირველი რხევა. თუ თითოეული რხევისათვის ავიღებთ მისი დროის ბუნებრივ მასშტაბს  $-T$  პერიოდს, მაშინ ამ დროში უფრო სწრაფად მიიღევა მეორე რხევა.

$$4.73. \lambda = n\lambda_0 / \sqrt{1 + (1 - n^2)(\lambda_0/2\pi)^2} = 3,3. \quad n' = \sqrt{1 + (2\pi/\lambda_0)^2} = 4,3 \text{ გერ.}$$

$$4.74. T = \sqrt{(4\pi^2 + \lambda^2)\Delta x/g} = 0,70 \text{ წმ.}$$

$$4.75. Q = \pi n / \ln \eta = 5 \cdot 10^2.$$

$$4.76. s \approx l(1 + e^{-\lambda/2}) / (1 - e^{-\lambda/2}) = 2 \text{ მ.}$$

$$7.77. Q = 1/2 \sqrt{\frac{4g\tau^2}{l \ln^2 \eta} - 1} = 1,3 \cdot 10^2.$$

$$4.78. T = \sqrt{3/2 (4\pi^2 + \lambda^2)R/g} = 0,9 \text{ წმ.}$$

$$4.79. \omega = \sqrt{\frac{2\alpha}{mR^2} - \left(\frac{\pi\eta R^2}{m}\right)^2}.$$

$$4.80. \eta = 2\lambda h I / \pi R^4 T.$$

$$4.81. \tau = 2RI/a^4 B^2.$$

$$4.82. \text{ ა) } T = 2\pi \sqrt{m/\kappa} = 0,28 \text{ წმ; ბ) } n = (x_0 - \Delta)/4\Delta = 3,5 \text{ რხევა.} \\ \text{აქ } \Delta = kmg/\kappa.$$

$$4.83. x = \frac{F_0/m}{\omega^2 - \omega_0^2} (\cos \omega_0 t - \cos \omega t).$$

4.84. მოძრაობის განტოლებები და მათი ამოხსნა:

$$t \leq \tau, \ddot{x} + \omega_0^2 x = F/m, \quad x = (1 - \cos \omega_0 t) F/k,$$

$$t \geq \tau, \ddot{x} + \omega_0^2 x = 0, \quad x = a \cos[\omega_0(t - \tau) + \alpha], \text{ სადაც}$$

$\omega_0^2 = k/m$ ,  $a$  და  $\alpha$  ნებისმიერი მუდმივებია.  $x$  და  $\dot{x}$ -ის უწყვეტობის პირობიდან გამომდინარე  $t = \tau$  მომენტში ვპოულობთ საძიებელ ამპლიტუდას  $a = (2F/k) |\sin(\omega_0 t/2)|$ .

$$4.85. \omega_{\text{რეზ}} = \sqrt{\frac{1 - (\lambda/2\pi)^2}{1 + (\lambda/2\pi)^2} \frac{g}{\Delta l}}, \quad a_{\text{რეზ}} = \frac{\lambda F_0 \Delta l}{4\pi m g} \left(1 + \frac{4\pi^2}{\lambda^2}\right).$$

$$4.86. \omega_{\text{რეზ}} = \sqrt{(\omega_1^2 + \omega_2^2)/2} = 5,1 \cdot 10^3 \text{ რად/წმ.}$$

$$4.87. \text{ ა) } \omega_0 = \sqrt{\omega_1 \omega_2}; \text{ ბ) } \beta = |\omega_2 - \omega_1|/2 \sqrt{3},$$

$$\omega = \sqrt{\omega_1 \omega_2 - (\omega_2 - \omega_1)^2/12}.$$

$$4.88. \eta = (1 + \lambda^2/4\pi^2) \pi \lambda = 2,1.$$

$$4.89. A = \pi a F_0 \sin \varphi.$$

$$4.90. Q = 1/2 \sqrt{\frac{4\omega^2 \omega_0^2}{(\omega^2 - \omega_0^2)^2 \text{tg}^2 \varphi} - 1} = 2,2;$$

$$\text{ბ) } A = \pi m a^2 (\omega_0^2 - \omega^2) \text{tg} \varphi = 6 \text{ მკ, აქ } \omega_0 = \sqrt{\kappa/m}.$$

$$4.91. \text{ ა) } \langle P \rangle = \frac{F_0^2 \beta \omega^2/m}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2 \omega^2}; \text{ ბ) } \omega = \omega_0; \langle P \rangle_{\text{მაქს}} = F_0^2/4\beta m.$$

$$4.92. \frac{\langle P \rangle_{\text{მაქს}} - \langle P \rangle}{\langle P \rangle_{\text{მაქს}}} = \frac{100}{\eta^2 - 1} \%. \quad \text{ფ.}$$

$$4.93. \text{ ა) } A = -\pi \varphi_m N_m \sin \alpha;$$

$$\text{ბ) } Q = \frac{\sqrt{(\cos \alpha + 2\omega^2 I \varphi_m / N_m)^2 - 1}}{2 \sin \alpha},$$

$$4.94. \omega = \sqrt{n e^2 / \epsilon_0 m} = 1,65 \cdot 10^{16} \text{ წმ}^{-1}.$$

$$4.95. U^2 + I^2 L/C = U_m^2.$$

$$4.96. \text{ ა) } I = I_m \sin \omega_0 t, \text{ სადაც } I_m = U_m \sqrt{C/L}, \omega_0 = 1/\sqrt{LC};$$

$$\text{ბ) } \mathcal{E}_s = U_m / \sqrt{2}.$$

$$4.97. A = (\eta^2 - 1) W.$$

$$4.98. \text{ ა) } T = 2\pi \sqrt{L(C_1 + C_2)} = 0,7 \text{ მწმ;}$$

$$\text{ბ) } I_m = U \sqrt{(C_1 + C_2)/L} = 8 \text{ ა.}$$

4.99.  $U = 1/2 (1 \pm \cos \omega t) U_0$ , სადაც პლუს ნიშანი შეესაბამება მარცხენა კონდენსატორს, ხოლო მინუსი — მარჯვენას;  $\omega = \sqrt{2/LC}$ .

$$4.100. I = \frac{\Phi}{L} \cos(t/\sqrt{LC}).$$

$$4.101. \text{ ა) } t_n = \frac{\pi n}{\omega}; \text{ ბ) } t_n = \frac{1}{\omega} \left[ \text{arctg} \left( \frac{-\beta}{\omega} \right) + \pi n \right].$$

$$\text{აქ } n = 0, 1, 2, \dots$$

$$4.102. U_0/U_m = \sqrt{1 - \frac{R^2 C}{4L}}.$$

$$4.103. U_C = I_m \sqrt{L/C} e^{-\beta t} \sin(\omega t + \alpha), \text{ ამასთან } \operatorname{tg} \alpha = \omega/\beta;$$

$$U_C(0) = I_m \sqrt{\frac{L}{C(1 + \beta^2/\omega^2)}}$$

$$4.104. W_L/W_C = L/CR^2 = 5.$$

$$4.105. L = L_1 + L_2, R = R_1 + R_2.$$

$$4.106. t = \frac{Q}{\pi \nu} \ln \eta = 0,5 \text{ წმ.}$$

$$4.107. n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{4L}{CR^2} - 1} = 16.$$

$$4.108. \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} = 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + 1/(2Q)^2}} \approx \frac{1}{8Q^2} = 0,5\%.$$

$$4.109. \text{ ა) } W_0 = 1/2 \cdot \mathcal{E}^2 (L + CR^2) / (r + R)^2 = 2,0 \text{ მჯ;}$$

$$\text{ბ) } W = W_0 e^{-tR/L} = 0,10 \text{ მჯ.}$$

$$4.110. t \approx -\frac{Q}{2\pi \nu_0} \ln \eta = 1,0 \text{ მწმ.}$$

$$4.111. \text{ ა) } \omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{1}{4R^2C^2}}; \text{ ბ) } Q = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{4R^2C}{L} - 1}.$$

ამოხსნის დროს უნდა გაითვალისწინოთ, რომ  $dq/dt = I - I'$ , სადაც  $q$  კონდენსატორის მუხტია, ხოლო  $I$  კოჭაზე გამავალი დენი,  $I'$  — გაჟონვის დენი ( $I' = U/R$ ).

$$4.112. Q = \frac{U_m^2}{2\langle P \rangle} \sqrt{\frac{C}{L}} = 1,0 \cdot 10^2.$$

$$4.113. \langle P \rangle = R \langle I^2 \rangle = 1/2 R I_m^2 = 20 \text{ მვტ.}$$

$$4.114. \langle P \rangle = 1/2 R C U_m^2 / L = 5 \text{ მვტ.}$$

$$4.115. \omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{1}{4R^2C^2}}; R < \frac{1}{2} \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

$$4.116. \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} = \frac{1}{L} \text{ და } \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{R}.$$

$$4.117. I = \frac{U_0}{L} t e^{-t/\sqrt{LC}}; I = I_{\text{მაქს}} = \frac{U_0}{e} \sqrt{\frac{C}{L}} \quad t_m = \sqrt{LC}$$

მმმენტში.

$$4.118. I = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} [\cos(\omega t - \varphi) - \cos \varphi \cdot e^{-tR/L}].$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \omega L/R.$$

$$4.119. I = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + 1/(\omega C)^2}} [\cos(\omega t - \varphi) - \cos \varphi \cdot e^{-t/RC}],$$

$$\operatorname{tg} \varphi = -\frac{1}{\omega RC}.$$

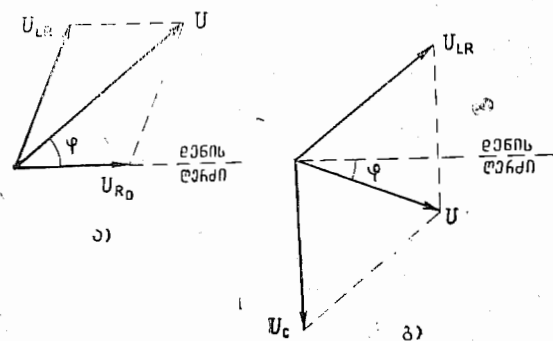
4.120. დენი ჩამორჩება ძაბვას  $\varphi$  კუთხის ფაზით, რომელიც განისაზღვრება  $\operatorname{tg} \varphi = \frac{\mu_0 \pi^2 \nu a}{4n\rho}$  განტოლებიდან.

4.121. დენი ჩამორჩება ძაბვას  $\varphi = 60^\circ$  კუთხის ფაზით, რომელიც განისაზღვრება  $\operatorname{tg} \varphi = \sqrt{(U_m/R I_m)^2 - 1}$  განტოლებიდან.

4.122. ა)  $U' = U_0 + U_m \cos(\omega t - \alpha)$ , სადაც  $U_m = U_0 / \sqrt{1 + (\omega RC)^2}$ ,  $\alpha = \arctg(\omega RC)$ ; ბ)  $RC = \sqrt{\eta^2 - 1}/\omega = 22 \text{ მწმ.}$

4.123. იხ. ნახ. 31.

$$4.124. \text{ ა) } I_m = U_m / \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2} = 4,5 \text{ ა;}$$



ნახ. 31.

ბ)  $\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L - 1/\omega C}{R}$ ,  $\varphi = -60^\circ$  (დენი უსწრებს ძაბვას); გ)  $U_C = I_m/\omega C = 0,65 \text{ ვ, } U_L = I_m \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2} = 0,50 \text{ ვ.}$

4.125. ა)  $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}$ ; ბ)  $\omega = \omega_0 / \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}$ , სადაც  $\omega_0^2 = 1/LC$ ,  $\beta = R/2L$ .

4.126. როცა  $C = \frac{1}{\omega^2 L} = 28 \text{ მკფ; } U_L = U_m \sqrt{1 + (\omega L/R)^2} = 0,54 \text{ ვ; } U_C = U_m \omega L/R = 0,51 \text{ ვ.}$



4.127.  $I = I_m \cos(\omega t + \varphi)$ , სადაც  $I_m = \frac{U_m}{R} \sqrt{1 + (\omega RC)^2}$  და  $\tan \varphi = \omega RC$ .

4.128.  $\omega_0 = \sqrt{\frac{L_2}{C(L_1 L_2 - L_{12}^2)}}$

4.129.  $Q = \sqrt{n^2 - 1/4}$ .

4.130.  $Q = \sqrt{\frac{\eta^2 - 1}{(n - 1)^2} \cdot \frac{1}{4}}$ .

4.131. ა)  $\omega_0 = \sqrt{\omega_1 \omega_2}$ ; ბ)  $Q = \sqrt{\frac{\omega_1 \omega_2 (n^2 - 1)}{(\omega_2 - \omega_1)^2} \cdot \frac{1}{4}}$ .

4.133.  $I_0/I = \sqrt{1 + (Q^2 + 1/4)(\eta^2 - 1)^2/\eta^2}$ , შესაბამისად 2,2 და 19.

4.134.  $t = 1/2 \pi t_0$ .

4.135. ა)  $I = \frac{2}{\sqrt{3}} I_0 \approx 1,15 I_0$ ; ბ)  $I = \frac{\pi}{\sqrt{8}} I_0 \approx 1,11 I_0$ .

4.136.  $v = \frac{R}{2\pi L} \sqrt{\eta - 1} = 2$  კმ/წმ.

4.137. დენი ჩამორჩება ძაბვას  $\varphi = \arccos \sqrt{1 - (X_L/Z)^2} \approx 37^\circ$  კუთხის ფაზით,  $P = \frac{U^2}{Z^2} \sqrt{Z^2 - X_L^2} = 0,16$  კვტ.

4.138. როცა  $R = \omega L - r = 0,20$  კომი;  $P_{\text{ავს}} = \frac{U^2}{2\omega L} = 0,11$  კვტ.

4.139. გაიზარდა  $\sqrt{n - 1} \approx 30\%$ -ით.

4.140. როცა  $Q \gg 1$ , შეფარდება  $\Delta\omega/\omega_0 \approx 1/2 \sqrt{n - 1}/Q = 0,5\%$ .

4.141.  $P_2 = 1/2 (U^2 - U_1^2 - U_2^2)/R = 30$  ვტ.

4.142.  $P_1 = 1/2 (I^2 - I_1^2 - I_2^2) R = 2,5$  ვტ.

4.143.  $Z = R / \sqrt{1 + (\omega CR)^2} = 40$  ომი.

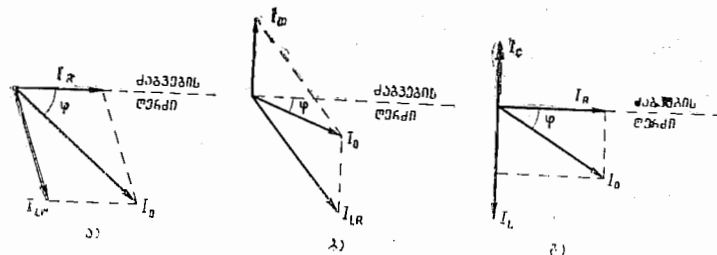
4.144. იხ. ნახ. 32.

4.145. ა)  $\omega_{\text{ავს}} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{L^2}} = 3 \cdot 10^4$  რად/წმ; ბ)  $I = URC/L = 3$  მ.  $I_L = U \sqrt{C/L} = 1,0$  ა,  $I_C = U \sqrt{\frac{C}{L} - \left(\frac{RC}{L}\right)^2} = 1,0$  ა.

4.146.  $\tan \varphi = \frac{\omega C (R^2 + \omega^2 L^2) - \omega L}{R}$ .

4.147.  $Z = \sqrt{\frac{R^2 + \omega^2 L^2}{(\omega CR)^2 + (1 - \omega^2 CL)^2}}$ .

4.149.  $\langle F_x \rangle = \frac{\omega^2 L_2 L_{12} I_0^2}{2(R^2 + \omega^2 L_2^2)} \cdot \frac{\partial L_{12}}{\partial x}$ .



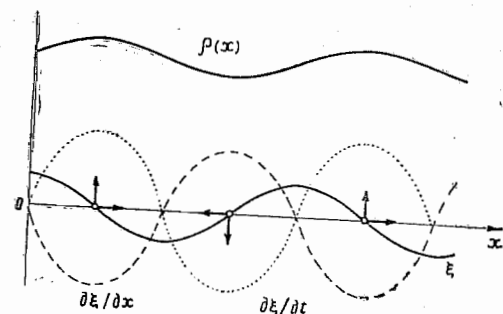
ნახ. 32.

4.150.  $t = \frac{2l}{\alpha(\sqrt{T_1} + \sqrt{T_2})}$ .

4.151.  $\Delta\varphi = \frac{\omega}{v} | (x_1 - x_2) \cos \alpha + (y_1 - y_2) \cos \beta + (z_1 - z_2) \cos \gamma |$ .

4.152.  $\mathbf{k} = \omega \left( \frac{\mathbf{e}_x}{v_1} + \frac{\mathbf{e}_y}{v_2} + \frac{\mathbf{e}_z}{v_3} \right)$ .

4.153.  $\xi = a \cos [(1 - V/v) \omega t - kx']$ , სადაც  $v = \omega/k$ .



ნახ. 33.

4.155. ა)  $a/\lambda = 5,1 \cdot 10^{-5}$ ; ბ)  $v_m = 11$  სმ/წმ,  $3,2 \cdot 10^{-4}$ ; გ)  $(\partial \xi / \partial x)_m = 3,2 \cdot 10^{-4}$ ,  $(\partial \xi / \partial t)_m = v(\partial \xi / \partial x)_m$ , სადაც  $v = 0,34$  კმ/წმ — ტალღის სიჩქარე.

4.156. იხ. ნახ. 33.

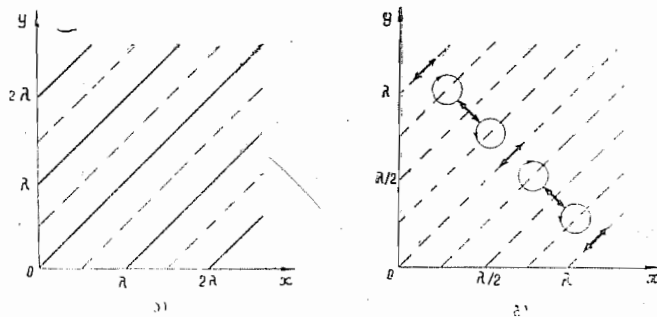
25 ი. იროლოვი

$$4.157. \Delta\varphi = -\frac{2\pi}{\gamma\lambda} \ln(1-\eta) \approx \frac{2\pi\eta}{\gamma\lambda} = 0,3 \text{ რად.}$$

$$4.158. r = (a_1 r_1 + a_2 r_2) / (a_1 + a_2)$$

$$4.159. \text{ ა) } \gamma = \frac{\ln(\eta r_0/r)}{r-r_0} = 0,08 \text{ მ}^{-1}; \text{ ბ) } v_m = \frac{2\pi\eta a_0}{\gamma} = 15 \text{ სმ/წმ.}$$

4.169. ა) იხ. ნახ. 34 ა. გარემოს ნაწილაკები უწყვეტი წრფეების წერტილებში ( $y = x \pm n\lambda$ ,  $n=0, 1, 2, \dots$ ) ირხევიან მაქსიმალური ამპლი-



ნახ. 34.

ტუდით, ხოლო წყვეტილ წრფეებზე სულ არ ირხევიან. ბ) იხ. ნახ. 34 ბ. გარემოს ნაწილაკები  $y = x \pm n\lambda$ ,  $y = x \pm (n \pm 1/2)\lambda$  და  $y = x \pm (n \pm 1/4)\lambda$  წრფეების წერტილებში ირხევიან შესაბამისად ამ წრფეების გასწვრივ, წრფეების პერპენდიკულარულად და მოძრაობენ წრეწირებზე (აქ  $n=0, 1, 2, \dots$ ). დანარჩენ წერტილებში ნაწილაკები მოძრაობენ ელიფსების გასწვრივ.

$$4.161. \langle w \rangle = 2/3 w_0$$

$$4.162. \langle \Phi \rangle = 2\pi l^2 I_0 \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{1+(R/l)^2}} \right) = 20 \text{ მკვტ.}$$

$$4.163. \langle \Phi \rangle = P / \sqrt{1+(2R/h)^2} = 0,07 \text{ ვტ.}$$

$$4.164. \text{ ა) და ბ) — იხ. ნახ. 35; გ) — იხ. ნახ. 36.}$$

$$4.165. \text{ ა) } w_p = 1/2 \rho a^2 \omega^2 \sin^2 kx \cdot \cos^2 \omega t;$$

$$\text{ ბ) } w_k = 1/2 \rho a^2 \omega^2 \cos kx \cdot \sin^2 \omega t. \text{ იხ. ნახ. 37.}$$

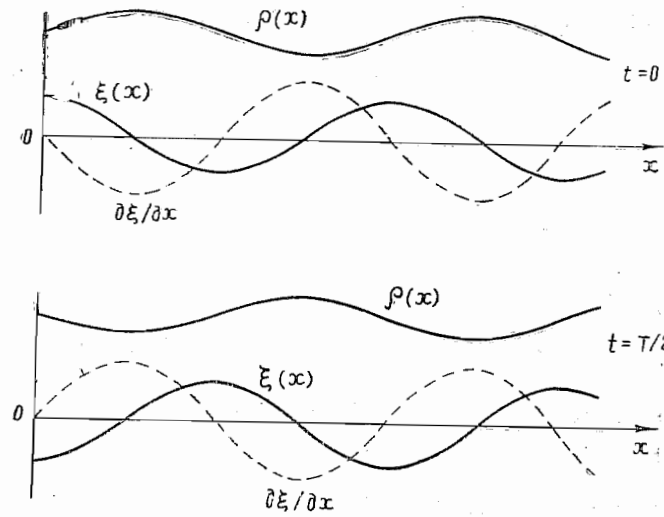
$$4.166. a_{\text{მაქს.}} = 5 \text{ მმ; მესამე ობერტონს.}$$

$$4.167. \frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{\eta_2(1+\eta_1)}{\eta_1(1+\eta_2)}} = 1,4.$$

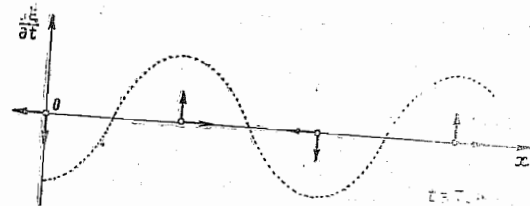
$$4.168. \text{ გაიზრდება } \eta = \frac{\sqrt{1-\Delta T/T}}{1+\Delta l/l} = 2\text{-ჯერ.}$$

$$4.169. v = 2lv = 0,34 \text{ კმ/წმ.}$$

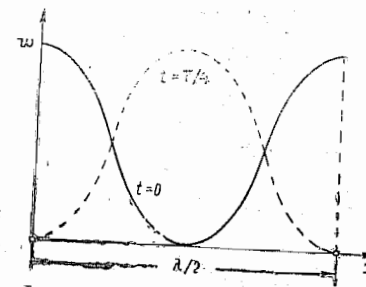
$$4.170. \text{ ა) } v_n = \frac{v}{4l} (2n+1), \text{ ექვსი რხევა; ბ) } v_n = \frac{v}{2l} (n+1), \text{ აქაც ექვსი რხევა. აქ } n=0, 1, 2, \dots$$



ნახ. 35.



ნახ. 36.



ნახ. 37.

4.171.  $v_n = \frac{2n+1}{2l} \sqrt{\frac{E}{\rho}} = 3,8 (2n+1) \text{ კმ/წმ};$  ოთხი რხევა 26,6; 34,2; 41,8 და 49,4 კმ/წმ სიხშირეებით.

4.172. ა)  $T_{\text{მაქს}} = \frac{1}{4} m \omega^2 a_{\text{მაქს}}^2$ ; ბ)  $\langle T \rangle = \frac{1}{8} m \omega^2 a_{\text{მაქს}}^2$ .

4.173.  $W = \frac{1}{4} \pi S \rho \omega^2 a^2 / k$ .

4.174.  $v_{\text{მაქს}} = 2v_0 u / (v^2 - u^2) \approx 2v_0 u / v = 1,0 \text{ კმ/წმ}.$

4.175.  $u = \frac{v v_0 (\sqrt{1 + (v/v_0)^2} - 1)}{v} \approx \frac{v v_0}{2v_0} = 0,5 \text{ მ/წმ}.$

4.176.  $\omega = \frac{v_0 v}{a \Delta v} (\sqrt{1 + (\Delta v / v_0)^2} - 1) = 34 \text{ რად/წმ}.$

4.177.  $v = v_0 / \sqrt{1 + 2\omega t / v} = 1,35 \text{ კმ/წმ}.$

4.178. ა)  $v = v_0 / (1 - \eta^2) = 5 \text{ კმ/წმ};$  ბ)  $r = l \sqrt{1 + \eta^2} = 0,32 \text{ კმ}.$

4.179. მცირდება  $2u / (v + u) = 2,0\%$ -ით.

4.180.  $v = 2v_0 u / (v + u) = 0,60 \text{ კმ/წმ}.$

4.181.  $\gamma = \frac{\ln(\eta r_1^2 / r_2^2)}{2(r_2 - r_1)} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ მ}^{-1}.$

4.182. ა)  $L' = L - 20 \gamma x \lg e = 50 \text{ დბ};$  ბ)  $x = 0,30 \text{ კმ}.$

4.183. ა)  $L = L_0 + 20 \lg(r_0 / r) = 36 \text{ დბ};$  ბ)  $r > 0,63 \text{ კმ}.$

4.184.  $\beta = \frac{\ln(r_2 / r_1)}{\tau + (r_2 - r_1) / v} = 0,12 \text{ წმ}^{-1}.$

4.185. განვიხილოთ  $dx$  სისქისა და ერთეულოვანი განივკვეთის მქონე გარემოს ბრტყელი ელემენტის მოძრაობა. ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად,  $\rho dx \cdot \ddot{\xi} = -dp$ , სადაც  $dp$  წნევის ნაზრდია  $dx$  სიგრძეზე. თუ გავითვალისწინებთ, რომ  $\ddot{\xi} = v \cdot (d^2 \xi / dx^2)$  ტალღური განტოლებაა, მაშინ ტოლობას გადავწერთ შემდეგი სახით

$$\rho v^2 \frac{d^2 \xi}{dx^2} dx = -dp.$$

ამ განტოლების ინტეგრება მოგვცემს

$$\Delta p = -\rho v^2 \frac{d\xi}{dx} + \text{const.}$$

ტალღის დეფორმაციის უქონლობისას კარბი წნევა  $\Delta p = 0$ . აქედან  $\text{const} = 0$

4.186.  $\langle \Phi \rangle = \pi R^2 (\Delta p)_m / 2\rho v \lambda = 11 \text{ მგტ}.$

4.187. ა)  $(\Delta p)_m = \sqrt{\rho v P / 2\pi r^2} = 5 \text{ პა};$   $(\Delta p)_m / p = 5 \cdot 10^{-5};$   
ბ)  $a = (\Delta p)_m / 2\pi \nu \rho v = 3 \text{ მკმ},$   $a / \lambda = 5 \cdot 10^{-6}.$

4.188.  $P = 4\pi r^2 e^2 \gamma^2 I_0 \cdot 10^L = 1,4, \text{ ვტ},$  სადაც  $L$  იზომება ბელეებით.

4.189.  $\Delta \lambda = (1 / \sqrt{\varepsilon - 1}) c / \nu = -50 \text{ მ}.$

4.190.  $t = 2 (\sqrt{\varepsilon_1} - \sqrt{\varepsilon_2}) l / c \ln(\varepsilon_1 / \varepsilon_2).$

4.191.  $j / j_{\text{მაქს}} = \sigma / 2\pi \nu \varepsilon_0 = 2.$

4.192.  $H = \frac{1}{k} \sqrt{\varepsilon_0 / \mu_0} [k E_m] \cos(ckt),$  სადაც  $c$  ტალღის სიჩქარეა ვაკუუმში.

4.193. ა)  $H = e_z E_m \sqrt{\varepsilon_0 / \mu_0} \cos kx = -0,30 e_z;$

ბ)  $H = e_z E_m \sqrt{\varepsilon_0 / \mu_0} \cos(ckt_0 - kx) = 0,18 e_z.$  აქ  $e_z$  წარმოადგენს  $z$  ღერძის ორტს.  $H$  იზომება ა/მ-ით.

4.194.  $\mathcal{E}_{\text{ინდ}} = l E_m [\cos \omega t - \cos(\omega t - \omega l / c)] = 25 \cos(\omega t + \pi/3) \text{ მვ.}$  აქ  $\omega l / c = \pi/3.$

4.196.  $\langle S \rangle = \frac{1}{2} k \varepsilon_0 c^2 E_m^2 / \omega.$

4.197. ა)  $\langle j_{\text{მაქს}} \rangle = 4 \varepsilon_0 \nu E_m = 0,18 \text{ მა/მ}^2;$  ბ)  $\langle S \rangle = \frac{1}{2} \varepsilon_0 c E_m^2 = 3,3 \text{ მკვტ/მ}^2.$

4.198. აქ  $t \gg T,$  სადაც  $T$  რხევების პერიოდია, ამიტომ

$$W = \frac{1}{2} \sqrt{\varepsilon_0 / \mu_0} E_m^2 \pi R^2 t = 5 \text{ კვ}.$$

4.199.  $B = B_m \sin kx \cdot \sin \omega t,$  სადაც  $B_m \perp E_m.$  თანაც  $B_m = E_m / c.$

4.200.  $S_x = \frac{1}{4} \varepsilon_0 c E_m^2 \sin 2kx \cdot \sin 2\omega t, \langle S_x \rangle = 0.$

4.201.  $W_a / W_b = \frac{1}{8} \varepsilon_0 \mu_0 \omega^2 R^2 = 5,0 \cdot 10^{-15}.$

4.202.  $W_a / W_b = \frac{1}{8} \varepsilon_0 \mu_0 \omega^2 R^2 = 5,0 \cdot 10^{-15}.$

4.204.  $\Phi_S = I^2 R.$

4.205.  $S = I^2 \sqrt{m / 2eU} / 4\pi^2 \varepsilon_0 r^2.$

4.207. მარტხნიდან.

4.208.  $\Phi = UI.$

4.209.  $\langle \Phi \rangle = \frac{1}{2} U_0 I_0 \cos \varphi.$

4.211. სისტემის ელექტრული დიპოლური მომენტი  $p = \sum e r_i = (e/m) M r_c,$  სადაც  $M$  სისტემის მასაა,  $r_c$  — მისი ინერციის ცენტრის რადიუს-ვექტორი. რადგანაც გამოსხივების სიმძლავრე  $P \sim \dot{p}^2 \sim \dot{r}_c^2,$  ხოლო ჩვენს შემთხვევაში  $\dot{r}_c = 0.$  მაშინ  $P = 0.$

$$4.212. \langle P \rangle = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2 a^2 \omega^4}{3c^3} = 5 \cdot 10^{-15} \text{ ვტ.}$$

$$4.213. P = \frac{1}{(4\pi\epsilon_0)^3} \frac{2}{3c^3} \left( \frac{qe^2}{mR^2} \right)^2.$$

$$4.214. \Delta W \approx \frac{1}{(4\pi\epsilon_0)^3} \frac{\pi e^4 q^2}{3c^3 m^2 v h^3}.$$

$$4.215. \Delta W/T = \frac{1}{3} e^3 B / \epsilon_0 c^3 m^2 = 2 \cdot 10^{-18}.$$

$$4.216. T = T_0 e^{-\alpha t}, \text{ სადაც } \alpha = \frac{1}{3} e^4 B^2 / \pi \epsilon_0 c^3 m^3. t_0 \text{ დროის შემდეგ, სადაც}$$

$$t_0 = \frac{1}{\alpha} = \begin{cases} 2,5 \text{ წმ ელექტრონისათვის} \\ 1,6 \cdot 10^{10} \text{ წმ } = 0,5 \cdot 10^3 \text{ წელს პროტონისათვის.} \end{cases}$$

$$4.217. S_1/S_2 = \tan^2(\omega l/c) = 3.$$

4.218. ა) დავუშვათ, რომ  $t$  დროის მომენტი, როდესაც ნაწილაკი იმყოფება წრეწირის განსაზღვრულ  $x$ ,  $y$  წერტილში,  $t'$  ის მომენტი, როდესაც ინფორმაცია ამის შესახებ აღწევს  $P$  წერტილს. თუ აღვნიშნავთ  $y$  კოორდინატის დასაკვირვებელ მნიშვნელობებს  $P$  წერტილში  $y'$ -ით (იხ. ნახ. 4. 40), მაშინ შეგვიძლია ჩავწეროთ

$$t' = t + \frac{l - x(t)}{c}; \quad y'(t') = y(t).$$

საძიებელ აჩქარებას ვიპოვით  $y'$ -ის ორჯერადი დიფერენცირებით  $t'$ -ით;

$$\frac{dy'}{dt'} = \frac{dy}{dt} - \frac{dy}{dt} \frac{dt}{dt'}, \quad \frac{d^2 y'}{dt'^2} = \frac{d}{dt'} \frac{d}{dt} \left( \frac{dy'}{dt'} \right) = \frac{v^2}{R} \frac{v/c - y/R}{(1 - vy/cR)^3}.$$

სადაც გათვალისწინებულია, რომ  $x = R \sin \omega t$ ,  $y = R \cos \omega t$  და  $\omega = v/R$ .  
ბ) ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ენერგიის ნაკადის  $S$  სიმკვრივე პროპორციულია ნაწილაკის დაკვირვებადი აჩქარების  $y$  გეგმილის კვადრატისა. აქედან

$$S_1/S_2 = (1 + v/c)^4 / (1 - v/c)^4.$$

$$4.219. \langle P \rangle = \frac{8}{3} \pi r^2 S_0.$$

$$4.220. \langle w \rangle = \frac{3}{8} P_0 / \pi r^2 c.$$

$$4.221. P = \frac{1}{6} p^2 \omega^4 / \pi \epsilon_0 c^3.$$

$$4.222. \langle P \rangle / \langle S \rangle = (e^2/m)^2 \mu_0^2 / 6\pi.$$

$$4.223. \langle P \rangle / \langle S \rangle = \frac{\mu_0^2}{6\pi} \frac{(e^2/m)^2 \omega^4}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2}.$$

$$4.224. R = 3P/16 \pi c \gamma M c \approx 0,6 \text{ მკმ.}$$

5.1. ა) 3 და 9 მეტ; ბ)  $\Phi = \frac{1}{2} (V_1 + V_2) \Phi_0 / A = 1,6 \text{ ლმ}$ , სადაც  $A = 1,6 \text{ მეტ/ლმ}$ ,  $V_1$  და  $V_2$  თვალის ფარდობითი სპექტრული მგრძნობიარობის მნიშვნელობებია მოცემული ტალღის სიგრძეებისათვის.

5.2.  $E_m = \sqrt{\mu_0/\epsilon_0} A \Phi / 2\pi r^2 V_\lambda$ , აქედან  $E_m = 1,1 \text{ ვ/მ}$ ,  $H_m = 3,0 \text{ მა/მ}$ . აქ  $A = 1,6 \text{ მეტ/ლმ}$ ,  $V_\lambda$  თვალის ფარდობითი სპექტრული მგრძნობიარობაა მოცემული ტალღის სიგრძისათვის.

$$5.3. \text{ ა) } \langle E \rangle = \frac{1}{2} E_0; \text{ ბ) } \langle E \rangle = \frac{1 - \sqrt{1 - (R/l)^2}}{1 - R/l} \frac{I}{R^2} = 50 \text{ ლქ.}$$

$$5.4. M = \frac{2}{3} \pi L_0.$$

$$5.5. \text{ ა) } \Phi = \pi L \Delta S \sin^2 \vartheta; \text{ ბ) } M = \pi L.$$

$$5.6. h \approx R, \quad E = LS/4R^2 = 40 \text{ ლქ.}$$

$$5.7. I = I_0 / \cos^3 \vartheta, \quad \Phi = \pi I_0 R^2 / h^2 = 3 \cdot 10^3 \text{ ლმ.}$$

$$5.8. E_{\text{ავ}} = (9/16 \pi \sqrt{3}) \rho E S / R^2 = 0,21 \text{ ლქ. ჰერიდან } R / \sqrt{3} \text{ მან. ძილზე.}$$

$$5.9. E = \pi L.$$

$$5.10. E = \pi L.$$

$$5.11. M = E_0 (1 + h^2/R^2) = 7 \cdot 10^2 \text{ ლმ/მ}^2.$$

$$5.12. E_0 = \pi L R^2 / h^2 = 25 \text{ ლქ.}$$

$$5.13. e' = e - 2(e n) n.$$

5.14. დავუშვათ, რომ  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $n_3$  მოცემული სარკეების სიბრტყეების ნორმალების ორტეზია, ხოლო,  $e_0$ ,  $e_1$ ,  $e_2$ ,  $e_3$  — პირველადი სხივისა და პირველი, მეორე და მესამე სარკეებიდან არეკვლილი სხივების ორტეზია. ამრიგად (იხ. წინა ამოცანის პასუხი):

$$e_1 = e_0 - 2(e_0 n_1) n_1, \quad e_2 = e_1 - 2(e_1 n_2) n_2, \quad e_3 = e_2 - 2(e_2 n_3) n_3.$$

ამ გამოსახულებების მარცხენა და მარჯვენა ნაწილების წვერ-წვერად შეკრება მოგვცემს  $e_3 = -e_0$ ,

$$5.15. \vartheta_1 = \arctg n = 53^\circ,$$

$$5.16. n_1/n_2 = 1 / \sqrt{\eta^2 - 1} = 1,25.$$

$$5.17. x = [1 - \sqrt{(1 - \sin^2 \vartheta) / (n^2 - \sin^2 \vartheta)}] d \sin \vartheta = 3,1 \text{ სმ.}$$

$$5.18. h' = (h n^2 \cos^3 \vartheta) / (n^2 - \sin^2 \vartheta)^{3/2}.$$

$$5.21. \theta = 83^\circ.$$

$$5.22. 37^\circ \text{ -დან } 58^\circ \text{ -მდე.}$$



5.23.  $\alpha = 8,7^\circ$ .

5.24.  $\Delta\alpha = \frac{2 \sin(\theta/2)}{\sqrt{1-n^2 \sin^2(\theta/2)}} \Delta n = 0,44^\circ$ .

5.27. ა)  $f = l^2 / (1 - \beta^2) = 10$  სმ; ბ)  $f = l\beta_1\beta_2 / (\beta_2 - \beta_1) = 2,5$  სმ.

5.28.  $I' = \rho I_0 f^2 / (f - s)^2 = 2,0 \cdot 10^3$  კდ.

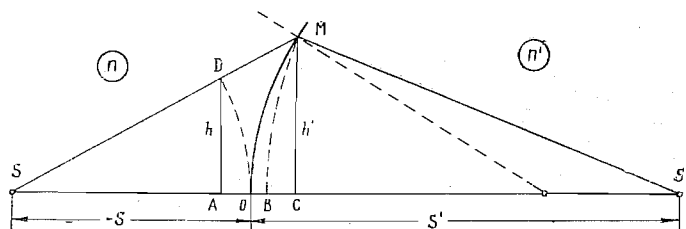
5.29. დაეუშვათ, რომ  $S$  სინათლის წერტილოვანი წყაროა, ხოლო  $S'$  — მისი გამოსახულება (ნახ. 38). ფერმას პრინციპის თანახმად  $S$ -დან გამოსული და  $S'$ -ში შეკრებილი ყველა სხივის ოპტიკური სიგრძე ერთნაირია.  $S$  და  $S'$  ცენტრებიდან გავავლოთ  $SO$  და  $S'M$  რადიუსებს. მქონე წრეწირები, მაშინ  $(DM)$  და  $(OB)$  ოპტიკური გზები ერთნაირი უნდა იყოს:

$$n \cdot DM = n' \cdot OB. \quad (*)$$

მაგრამ პარაქსიალური სხივებისათვის  $DM \approx AO + OC$ , სადაც  $AO \approx \approx h^2 / (-2s)$  და  $OC \approx h^2 / 2R$ . გარდა ამისა,

$$OB = OC - BC \approx h'^2 / 2R - h'^2 / 2s', \quad h' \approx h$$

გათვალისწინება და ამ გამოსახულების ჩასმა  $(*)$ -ში მოგვცემს  $n'/s' = -n/s = (n' - n)/R$ .



ნახ. 38.

5.30.  $x = \frac{nf}{n+1} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{(n+1)r^2}{(n-1)f^2}} \right),$   
 $r_{\text{მაქ}} = f \sqrt{(n-1)/(n+1)}.$

5.31. 6,3 სმ.

5.32. ა)  $\beta = 1 - d(n-1)/nR = -0,20$ ; ბ)  $E = \pi n^2 D^2 L / 4d^2 = 42$  ლქ.

5.33. ა)  $\Phi = \Phi_0(n - n_0)/(n-1) = 2,0$  დზ,  $f' = -f = n_0/\Phi = 85$  სმ;

ბ)  $\Phi = 1/2 \Phi_0(2n - n_0 - 1)/(n-1) = 6,7$  დზ,  $f = 1/\Phi \approx 15$  სმ,  $f' = n_0/\Phi \approx \approx 20$  სმ. აქ  $n$  და  $n_0$  მინისა და წყლის გარდატეხის მაჩვენებლებია.

5.35.  $\Delta x \approx \Delta l f^2 / (l - f)^2 = 0,5$  მმ.

5.36. ა)  $f = [l^2 - (\Delta l)^2] / 4l = 20$  სმ; ბ)  $f = l \sqrt{\eta} / (1 + \sqrt{\eta})^2 = 20$  სმ.

5.37.  $h = \sqrt{h' h''} = 30$  მმ.

5.38.  $E = (1 - \alpha) \pi L D^2 / 4 f^2 = 15$  ლქ.

5.39. ა) არ არის დამოკიდებული  $D$ -ზე; ბ)  $D^2$ -ის პროპორციულია.

5.40.  $f = n_0 R / 2 (n_1 - n_2) = 35$  სმ, სადაც  $n_0$  წყლის გარდატეხის მაჩვენებელია.

5.41.  $f = R / 2 (2n - 1) = 10$  სმ.

5.42. ა) ბოლო ლინზიდან მარჯვნივ 3,3 სმ-ის დაშორებით;

ბ)  $l = 17$  სმ.

5.43. ა) 50 და 5 სმ; ბ) გადაწიეთ 0,5 სმ-ით.

5.44.  $\Gamma = D/d$ .

5.45.  $\psi = \psi' / \sqrt{\eta} = 0,6'$ .

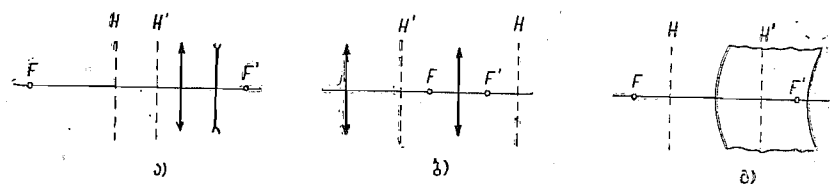
5.46.  $\Gamma' = (\Gamma + 1) \frac{n - n_0}{n_0(n-1)} - 1 = 3,1$ , სადაც  $n_0$  წყლის გარდატეხის მაჩვენებელია.

5.47.  $\Gamma \leq D/d_0 = 20$ .

5.48.  $\Gamma = 60$ .

5.49. ა)  $\Gamma = 2\alpha l_0 / d_0 = 15$ , სადაც  $l_0$  საუკეთესო ხედვის მანძილია. (25 სმ); ბ)  $\Gamma \leq 2\alpha l_0 / d_0$ .

5.50. მთავარი სიბრტყეები ლინზის ცენტრს ემთხვევა. ჰაერში და წყალში ფოკუსური მანძილებია:  $f = -1/\Phi = -11$  სმ,  $f' = n_0/\Phi = +15$  სმ.



ნახ. 39.

აქ  $\Phi = (2n - n_0 - 1)/R$ , სადაც  $n$  და  $n_0$  მინისა და წყლის გარდატეხის მაჩვენებლებია. კვანძი წერტილები ერთმანეთს ემთხვევა და განლაგებული არიან წყალში ლინზიდან  $x = f' + f = 3,7$  სმ მანძილზე.

5.51. იხ. ნახ. 39.

5.54. ა) სისტემის ოპტიკური ძალაა  $\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 - d\Phi_1\Phi_2 = +4$  დზ, ფოკუსური მანძილი 25 სმ-ის ტოლია. ორივე მთავარი სიბრტყე შემკრები. ლინზის წინაა განლაგებული: წინა — შემკრები ლინზიდან 10 სმ-ის მან-

ძილზე, ხოლო უკანა 10 სმ-ის მანძილზე გამზნევი ლინზიდან ( $x = d\Phi_2/\Phi$  და  $x' = -d\Phi_1/\Phi$ ); ბ)  $d = 5$  სმ; მიახლოებით 4/3.

5.55. მოცემული ლინზის ოპტიკური ძალა  $\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 - (d/n)\Phi_1\Phi_2$ ,  $x = d\Phi_2/n\Phi = 5,0$  სმ,  $x' = -d\Phi_1/n\Phi = 2,5$  სმ, ე. ი. ორივე მთავარი სიბრტყე ლინზის გარეთაა განლაგებული მისი ამოზნექილი ზედაპირის მხრიდან.

5.56.  $f = \frac{f_1 f_2}{f_1 + f_2 - d}$ . ლინზა უნდა მოთავსდეს სისტემის წინა მთავარ სიბრტყეში, ე. ი.  $x = f_1 d / (f_1 + f_2 - d)$  მანძილზე პირველი ლინზიდან.

5.57.  $\Phi = 2\Phi' - 2\Phi'^2 l / n_0 = 3,0$  დბ, სადაც  $\Phi' = (2n - n_0 - 1)/R$ ,  $n$  და  $n_0$  მინისა და წყლის გარდატეხის მაჩვენებლებია.

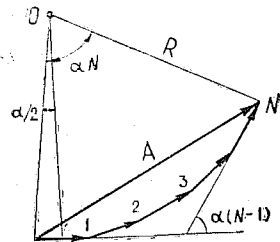
5.58. ა)  $d = n\Delta R / (n - 1) = 4,5$  სმ; ბ)  $d = 3,0$  სმ.

5.59. ა)  $\Phi = d(n - 1)^2 / nR^2 > 0$ , მთავარი სიბრტყეები მდებარეობენ ამოზნექილი ზედაპირის მხრიდან და ერთიმეორისაგან  $d$  მანძილითაა დაშორებული; ამავე დროს, წინა მთავარი სიბრტყე ლინზის ამოზნექილი ზედაპირიდან  $R/(n - 1)$  მანძილითაა დაშორებული; ბ)  $\Phi = (1/R_2 - 1/R_1) \times (n - 1)/n < 0$ ; ორივე მთავარი სიბრტყე გადის ლინზის ზედაპირების სიმრუდის საერთო ცენტრზე.

5.60.  $d = 1/2 n (R_1 + R_2) / (n - 1) = 9,0$  სმ,  $\Gamma = R_1/R_2 = 5,0$ .

5.61.  $\Phi = 2(n^2 - 1) / n^2 R = 37$  დბ.

5.63.  $\rho = \frac{n}{dn/dN} = 3 \cdot 10^7$  მ;  $dn/dN = 1.6 \cdot 10^{-7}$  მ<sup>-1</sup>.



ნახ. 40.

წერტილშია. მაშინ, როგორც ნახაზიდან ჩანს,

$$A = 2R \sin \frac{\alpha N}{2}, \quad a = 2R \sin \frac{\alpha}{2}.$$

ვამოვირიცხოთ ამ ორი განტოლებიდან  $R$ , მივიღებთ:

$$A = a \frac{\sin(\alpha N/2)}{\sin(\alpha/2)}.$$

5.67. ა)  $\cos \varphi = (k - \varphi/2\pi) \lambda/d$ ,  $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ; ბ)  $\varphi = \pi/2$ ,  $d/\lambda = k + 1/4$ ,  $k = 0, 1, 2, \dots$

5.68.  $\Delta\varphi = 2\pi[k - (d/\lambda) \sin(\omega t + \alpha)]$ , სადაც  $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

5.69.  $\lambda = 2\Delta x \Delta h/l(\eta - 1) = 0,6$  მკმ.

5.71.  $\Delta x = \lambda(b + r)/2\alpha r = 1,1$  მმ, 9 მაქსიმუმი; ბ) სურათის წანაცვლება  $\delta x = (b/r)\delta l = 13$  მმ; გ) სურათი ჯერ კიდევ მკაფიო იქნება, თუ  $\delta x \leq \Delta x/2$ , აქედან  $\delta_{\text{აკ.}} = (1 + r/b) \lambda/4\alpha = 43$  მკმ.

5.72.  $\lambda = 2\alpha \Delta x = 0,64$  მკმ.

5.73. ა)  $\Delta x = \lambda f/a = 0,15$  მმ, 13 მაქსიმუმი; ბ) ზოლები ჯერ კიდევ საკმაოდ მკაფიოა, თუ  $\delta x \leq \Delta x/2$ , სადაც  $\delta x$  ხვრელის კილურა ელემენტებიდან მიღებული ინტერფერენციული სურათების წანაცვლებაა, აქედან  $\delta_{\text{აკ.}} = \lambda f^2/2ab = 37$  მკმ.

5.74.  $\lambda = 2a\theta(n - 1) \Delta x / (a + b) = 0,6$  მკმ.

5.75.  $\Delta x \approx \lambda/2\theta(n - n') = 0,20$  მმ.

5.76. ზოლები  $\Delta x = h\lambda(n - 1)/d = 2,0$  მმ-ით წანაცვლებიან გადაფარული ხვრელის მხარეს.

5.77.  $n' = n + N\lambda/l = 1,000377$ .

5.78.  $v = \lambda / (2\Delta t \sqrt{n^2 - \sin^2 \varphi}) = 1,1$  მკმ/სთ.

5.79.  $d = 1/4 \lambda(1 + 2k) / \sqrt{n^2 - \sin^2 \varphi_1} = 0,14(1 + 2k)$  მკმ, სადაც  $k = 0, 1, 2, \dots$

5.80.  $d_{\text{აკ.}} = 0,65$  მკმ.

5.81.  $d = 1/4 \lambda(1 + 2k) / \sqrt{n}$ , სადაც  $k = 0, 1, 2, \dots$

5.82.  $d = \lambda \frac{\sqrt{n^2 - \sin^2 \varphi}}{\sin 2\varphi} = 15$  მკმ.

5.83.  $\lambda \approx \frac{d(n_1^2 - n_2^2)}{4nl^2(i - k)}$ .

5.84.  $\Delta x = \frac{\lambda \cos \varphi_1}{2\alpha \sqrt{n^2 - \sin^2 \varphi_1}}$ .

5.85. ა)  $\theta = 1/2 \lambda/n\Delta x = 3'$ ; ბ)  $\Delta\lambda/\lambda \approx \Delta x/l = 0,014$ .

5.86.  $\Delta r \approx 1/4 \lambda R/r$ .

5.87.  $r' = \sqrt{r^2 - 2R\Delta h} = 1,5$  მმ.

$$5.88. r = \sqrt{r_0^2 + (k-1/2)\lambda R} = 3,8 \text{ მმ, სადაც } k=6.$$

$$5.89. \lambda = 1/4 (d_2^2 - d_1^2) / R(k_2 - k_1) = 0,50 \text{ მკმ, სადაც } k_1 \text{ და } k_2 \text{ ბნელი რგოლების ნომერებია.}$$

$$5.90. \Phi = 2(n-1)(2k-1)\lambda/d^2 = 2,4 \text{ დპ, სადაც } k \text{ ნათელი რგოლის ნომერია.}$$

$$5.91. \text{ ა) } r = \sqrt{2k\lambda(n-1)/\Phi} = 3,5 \text{ მმ, სადაც } k=10;$$

$$\text{ბ) } r' = r/\sqrt{n_0} = 3,0 \text{ მმ, სადაც } n_0 \text{ წყლის გარდატეხის მაჩვენებელია.}$$

$$5.92. r = \sqrt{1/2(1+2k)\lambda R/n_2} = 1,3 \text{ მმ, სადაც } k=5.$$

$$5.93. k_{\text{ან}} = 1/2 \lambda_1 / (\lambda_2 - \lambda_1) = 140.$$

$$5.94. \text{ ერთი მკაფიო სურათიდან მეორეზე გადასვლის პირობაა;}$$

$$(k+1)\lambda_1 = k\lambda_2.$$

სადაც  $k$  რომელიმე მთელი რიცხვია. სარკის შესაბამისი გადაადგილება განისაზღვრება  $2\Delta h = k\lambda_2$  განტოლებით. ამ ორ განტოლებიდან მივიღებთ:

$$\Delta h = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2(\lambda_2 - \lambda_1)} \approx \frac{\lambda^2}{2\Delta\lambda} = 0,3 \text{ მმ.}$$

5.95. ა) მაქსიმუმების პირობაა:  $2d \cos \varphi = k\lambda$ ; აქედან გამომდინარეობს, რომ  $\varphi$ -ს (ანუ რგოლების რადიუსის) გაზრდის დროს (იხ. ნახ. 5.18) ინტერფერენციის  $k$  რიგი მცირდება. ბ) თუ გაითვალისწინებთ, რომ ერთი მაქსიმუმიდან მეორეზე გადასვლისას  $k$  ერთით იცვლება და წინამდებარე განტოლების ორივე მხარეს გააღიფერენცირებთ, მიიღებთ  $\Delta\varphi = 1/2 \lambda / d \sin \varphi$ ; აქედან ნათელია, რომ ზოლების სიგანე  $\varphi$ -ს გაზრდისას მცირდება.

$$5.96. \text{ ა) } k_{\text{მაქ}} = 2d/\lambda = 1,0 \cdot 10^5; \text{ ბ) } \Delta\lambda = \lambda/k = \lambda^2/2d = 5 \text{ პმ.}$$

$$5.97. I_0 = \frac{2}{hN\lambda} \int_0^\infty I(r) r dr.$$

$$5.98. b = ar^2/(k\lambda a - r^2) = 2,0 \text{ მ.}$$

$$5.99. \lambda = (r_2^2 - r_1^2)(a+b)/2ab = 0,60 \text{ მკმ.}$$

$$5.100. \text{ ა) } I \approx 4I_0, I \approx 2I_0; \text{ ბ) } I \approx I_0.$$

$$5.101. \text{ ა) } I \approx 0; \text{ ბ) } I \approx I_0/2.$$

$$5.102. \text{ ა) } I_1 \approx 9/16 I_0, I_2 = 1/4 I_0, I_3 = 1/16 I_0, I_4 = I_2, \\ I \approx (1 - \varphi/2\pi)^2 I_0; \text{ ბ) } I_5 \approx 25/16 I_0, I_6 \approx 9/4 I_0, I_7 \approx 49/16 I_0, I_8 = I_6, \\ I \approx (1 + \varphi/2\pi)^2 I_0. \text{ აქ } \varphi \text{ ეკრანის მიერ დაფარული კუთხეა.}$$

$$5.103. \text{ ა) } h = \lambda(k+3/8)/(n-1) = 1,2(k+3/8) \text{ მკმ;}$$

$$\text{ბ) } h = 1,2(k+7/8) \text{ მკმ; გ) } h = 1,2k \text{ ან } 1,2(k+3/4) \text{ მკმ. აქ } k=0, 1, 2, \dots$$

$$5.104. h = \lambda(k+3/4)/(n-1), \text{ სადაც } k=0, 1, 2, \dots; \text{ ბ) } I_{\text{მაქ}} \approx 8I_0.$$

$$5.105. h = \lambda(k+5/8)/(n-1) = 1,2(k+5/8) \text{ მკმ, სადაც } k=0, 1, 2, \dots$$

$$5.106. r = \sqrt{k\lambda f b / (b-f)} = 0,9 \sqrt{k} \text{ მმ, სადაც } k=1, 3, 5, \dots$$

$$5.107. b' = b/\eta^2 = 1,0 \text{ მ.}$$

$$5.108. \text{ ა) } y' = yb/a = 9 \text{ მმ; ს) } h_{\text{ან}} \approx ab\lambda/D(a+b) = 0,10 \text{ მმ.}$$

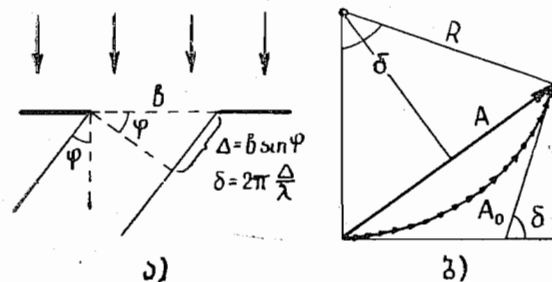
5.109.  $f = ab/(a+b) = 0,6 \text{ მ.}$  ეს მნიშვნელობა მთავარ ფოკუსს შეესაბამება, რომლის გარდა არსებობენ სხვა ფოკუსებიც.

$$5.110. \text{ ა) } h = 0,60(2k+1) \text{ მკმ; ბ) } h = 0,30(2k+1) \text{ მკმ, აქ } k=0, 1, 2, \dots$$

$$5.111. \text{ ა) } I_{\text{მაქ}}/I_{\text{ან}} \approx 1,7; \text{ ბ) } \lambda = 2(\Delta x)^2/b(v_2 - v_1)^2 \approx 0,7 \text{ მკმ, სადაც } v_1 \text{ და } v_2 \text{ პარამეტრის შესაბამისი მნიშვნელობებია კორნიუს სპირალზე.}$$

$$5.112. I_{\text{მაქ}}/I_{\text{ან}} \approx 2,6.$$

$$5.113. \lambda = (\Delta h)^2/2b(v_2 - v_1)^2 = 0,55 \text{ მკმ, სადაც } v_1 \text{ და } v_2 \text{ პარამეტრის შესაბამისი მნიშვნელობებია კორნიუს სპირალზე.}$$



ნახ. 41.

$$5.114. h \approx \lambda(k+3/4)/(n-1), \text{ სადაც } k=0, 1, 2, \dots$$

$$5.115. I_2/I_1 \approx 1,9.$$

$$5.116. I \approx 2,8 I_0.$$

$$5.117. I_1 : I_2 : I_3 \approx 1 : 4 : 7.$$

$$5.118. I \approx I_0.$$

5.119. სვრელი გონების თვალთ დაცვით მრავალ ერთნაირ ზოლად და 41 ა ნახაზის გათვალისწინებით გამოვსახოთ ძეწკვი შესაბამისი ელემენტარული ვექტორებისა დიფრაქციის ფ კუთხის განსაზღვრისათვის. თუ ფ საკმაოდ მცირეა, ძეწკვი შექმნის R-რადიუსიან რკალს (ნახ. 41).

ფუშვით, რომ ძეწვეის სიგრძე  $A_0$ -ის ტოლია, ხოლო ჯამური ვექტორი არის  $A$ . მაშინ, როგორც 41ბ ნახაზიდან ჩანს,

$$A_0 = R\delta, \quad A = 2R \sin(\delta/2),$$

სადაც  $\delta$  ფაზათა სხვაობაა ძეწვეის კიდურა ვექტორებს შორის. ამ ორი ტოლობიდან გამოვრიცხოთ  $R$ , მივიღებთ:

$$A = A_0 \frac{\sin(\delta/2)}{\delta/2}.$$

აქედან, ინტენსივობა ( $I \sim A^2$ )

$$I = I_0 \frac{\sin^2(\delta/2)}{(\delta/2)^2},$$

სადაც  $I_0$  სინათლის ინტენსივობაა დიფრაქციული სურათის შუაში (როცა  $\varphi = 0$ ),  $\delta = 2\pi b \sin \varphi$ .

$\varphi$  კუთხის გაზრდის დროს  $\delta$  იზრდება და, როგორც ჩანს, 41 ა ნახაზიდან, ძეწვეი დაიგრძელება. როდესაც  $\delta = 2\pi, 4\pi, \dots, 2\pi k$ , ძეწვეი შეიკვრება შესაბამისად ერთჯერ, ორჯერ,  $\dots, k$ -ჯერ, რაც მიგვიყვანს შემდეგ პირობამდე:  $b \sin \varphi = k\lambda$ ,  $k = 1, 2, \dots$

5.120.  $\lambda = \frac{b/k}{\sqrt{1 + 4(f/x)^2}} = 0,6$  მკმ, სადაც  $k$  მინიმუმის რიგია.

5.121.  $b(\sin \varphi - \sin \varphi_0) = k\lambda$ ; როცა  $k = +1$  და  $k = -1$ ,  $\varphi$  კუთხეები შესაბამისად  $33^\circ$  და  $27^\circ$ -ია.

5.122. ა)  $\Delta\varphi = \arcsin(n \sin \theta) - \theta = 7,9^\circ$ ; ბ)  $b(\sin \varphi_1 - n \sin \varphi) = \pm \lambda$ . პირობიდან მივიღებთ  $\Delta\varphi = \varphi_{+1} - \varphi_{-1} = 7,3^\circ$ .

5.123.  $\lambda \approx (\alpha^2 - \alpha_0^2) d / 2k = 0,6$  მკმ.

5.125.  $55^\circ$ .

5.126.  $d = 2,8$  მკმ.

5.127.  $\lambda = (d \sin \Delta\varphi) / \sqrt{5 - 4 \cos \Delta\varphi} = 0,54$  მკმ.

5.128. ა)  $45^\circ$ ; ბ)  $-64^\circ$ .

5.129.  $x = 2R / [(n-1)\sqrt{(d/\lambda)^2 - 1}] = 8$  სმ.

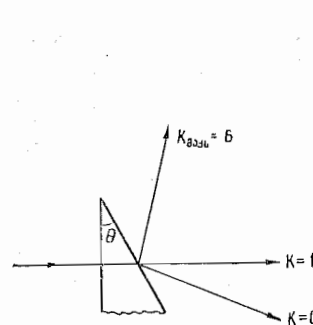
5.130.  $d[n \sin \theta - \sin(\theta + \varphi_k)] = k\lambda$  პირობიდან მივიღებთ  $\varphi_0 = -18,5^\circ$ ,  $\varphi_{+1} = 0^\circ$ ;  $k_{\text{ავ}} = +6$ ,  $\varphi_{+6} = +78,5^\circ$ . იხ. ნახ. 42.

5.131.  $h_k = \lambda(k - 1/2) / (n - 1)$ , სადაც  $k = 1, 2, \dots$ ;  $a \sin \varphi_1 = \lambda/2$ .

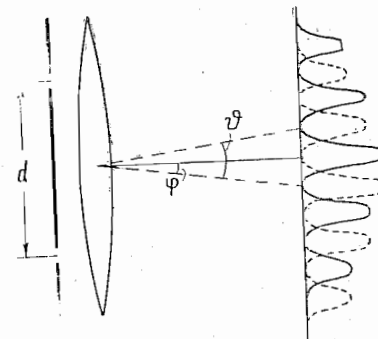
5.132.  $v = \lambda \nu f / \Delta x = 1,5$  კმ/წმ.

5.133. თითოეული ვარსკვლავი ობიექტივის ფოკალურ სიბრტყეში თავის დიფრაქციულ სურათს იძლევა, ამავე დროს მათი ნულოვანი მაქ-

სიმუმები ერთიმეორისაგან  $\varphi$  კუთხითაა დაშორებული (ნახ. 43),  $d$  მანძილის შემცირების დროს კუთხე  $\varphi$  ყოველი დიფრაქციული სურათის მეზობელ მაქსიმუმებს შორის გაიზრდება და როდესაც  $\varphi = 2\psi$ -ს გაუტანაბრდება, მივიღებთ ხედვის პირველ გაუარესებას: ზოლების ერთი სის-



ნახ. 42.



ნახ. 43.

ტემის მაქსიმუმები მეორე სისტემის მინიმუმებს დაემთხვევა. ამრიგად,  $\varphi = 2\psi$  პირობიდან და  $\sin \varphi = \lambda/d$  ფორმულიდან მივიღებთ  $\psi \approx \lambda/2d = 0,06^\circ$ .

5.134. ა)  $D = k/d \sqrt{1 - (k\lambda/d)^2} = 6,5$  კუთხ. წთ./წმ, სადაც  $k = 2$ ;

ბ)  $D = k/d \sqrt{1 - (k\lambda/d - \sin \varphi_0)^2} = 13$  კუთხ. წთ./წმ, სადაც  $k = 4$ .

5.135.  $d\varphi/d\lambda = (\operatorname{tg} \varphi)/\lambda$ .

5.136.  $\Delta\varphi = 2\lambda/Nd \sqrt{1 - (k\lambda/d)^2} = 11''$ .

5.139.  $\varphi = 46$ .

5.140. ა) მეოთხეში; ბ)  $\delta\lambda_{\text{გზ}} \approx \lambda^2 l = 7$  პმ.

5.141. ა)  $d = 0,05$  მმ; ბ)  $l = 6$  სმ.

5.142. ა) 6 და 12 მკმ; ბ) პირველ რიგში არა; მეორეში—კი.

5.143. რელეის კრიტერიუმის თანახმად,  $\lambda$  ტალღის სიგრძის მქონე ხაზის მაქსიმუმი უნდა დაემთხვეს  $\lambda + \delta\lambda$  ხაზის პირველ მინიმუმს. ორივე პირობა გადახრის უმცირესი კუთხისათვის ჩავწეროთ კიდურა სხივების ოპტიკურ სვლათა სხვაობით (იხ. ნახ. 5.28):

$$\ln - (DC + CE) = 0, \quad \ln(n + \delta n) - (DC + CE) = \lambda + \delta\lambda.$$

აქედან  $\delta n \approx \lambda$ .

5.144. ა)  $\lambda/\delta\lambda = 2bB/\lambda^3$ ; შესაბამისად,  $1,2 \cdot 10^4$  და  $0,35 \cdot 10^4$ ;

ბ) 1,0 სმ

5.145. მიახლოებით 20 სმ.

5.146.  $R = 7 \cdot 10^4$ ,  $\Delta y_{\text{გზ}} \approx 4$  სმ.

5.147. მიახლოებით 50 მ.

5.148. დაუშვათ, რომ  $\Delta\psi$  და  $\Delta\psi'$  შესაბამისად მილის ობიექტივისა და თვალის მიერ გარჩეული მინიმალური კუთხური მანძილებია ( $\Delta\psi = 1,22 \lambda/D$ ,  $\Delta\psi' = 1,22 \lambda/d_0$ ). მაშინ მილის საძიებელი გამაღილებლობა  $\Gamma_{\text{მინ}} = \Delta\psi'/\Delta\psi = D/d_0 = 13$ .

5.149.  $d_{\text{მინ}} = 0,61 \lambda / \sin \alpha = 1,4 \text{ მკმ}$ .

5.150. დაუშვათ  $d_{\text{მინ}}$  არის მიკროსკოპის ობიექტივის მიერ გარჩეული უმცირესი მანძილი,  $\Delta\psi$  — კუთხე, რომლითაც მოჩანს ობიექტი საუკეთესო ხედვის მანძილიდან  $l_0$  (25 სმ), ხოლო  $\Delta\psi'$  — თვალის მიერ გარჩეული მინიმალური კუთხური მანძილი ( $\Delta\psi' = 1,22 \lambda/d_0$ ). მაშინ მიკროსკოპის საძიებელი გამაღილებლობა  $\Gamma_{\text{მინ}} = \Delta\psi'/\Delta\psi = 2 (l_0/d_0) \sin \alpha = 30$ .

5.151. 26, 60, 84, 107 და  $134^\circ$ .

5.152.  $a = 0,28 \text{ მ}$ ,  $b = 0,41 \text{ მ}$ .

5.153. დაუშვათ, რომ  $\alpha$ ,  $\beta$  და  $\gamma$  წარმოადგენენ კუთხეებს დიფრაქციულ მაქსიმუმზე მიმართულებასა და მესრის მიმართულებებს შორის  $a$ ,  $b$  და  $c$  პერიოდების გასწვრივ შესაბამისად. მაშინ ამ კუთხეების მნიშვნელობები განისაზღვრება შემდეგი პირობებიდან:  $a(1 - \cos \alpha) = k_1 \lambda$ ,  $b \cos \beta = k_2 \lambda$  და  $c \cos \gamma = k_3 \lambda$ . თუ მივიღებთ, რომ

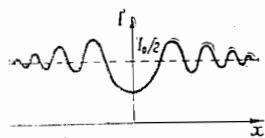
$$\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 1,$$

გვექნება

$$\lambda = \frac{2k_1/a}{(k_1/a)^2 + (k_2/b)^2 + (k_3/c)^2}.$$

5.154.  $\lambda = \frac{2}{k} \sqrt{\frac{m}{2\rho}} \sin \alpha = 244 \text{ პმ}$ , სადაც  $k=2$ ,  $m$  — ნატრიუმის  $\text{NaCl}$  მოლეკულის მასა.

5.155.  $d = \frac{\lambda}{2 \sin(\alpha/2)} \sqrt{k_1^2 + k_2^2 - 2k_1 k_2 \cos(\alpha/2)} = 0,28 \text{ მმ}$ , სადაც



ნახ. 44.

$k_1$  და  $k_2$  არეკვლის რიგია.

5.156.  $r = l \tan 2\alpha = 3,5 \text{ სმ}$ , სადაც  $\alpha$  არის  $2d \sin \alpha = k\lambda$  პირობით განსაზღვრული სრიალის კუთხე.

5.157. იხ. ნახ. 44.  $I_0/4$ .

5.158. ა)  $I_0$ ; ბ)  $2I_0$ .

5.159.  $E = \pi \Phi_0 / \omega = 0,6 \text{ მვ}$ .

5.160.  $\eta = 1/2 (\cos \varphi)^{2(N-1)} = 0,12$ .

5.161.  $I_0/I = \frac{2}{\tau^2 \cos^4 \varphi} \approx 60$ .

5.162.  $I_{\text{პოლ}}/I_{\text{ნეპ}} = P/(1-P) = 0,3$ .

5.163.  $P = (\eta - 1)/(1 - \eta \cos 2\varphi) = 0,8$ .

5.164. ა) ბუნებრივი სინათლე წარმოვიდგინოთ  $I_0$  ინტენსივობის ორი ურთიერთპერპენდიკულარული მდგენელის სახით. დაუშვათ, რომ თითოეული პოლარიზატორი თავის სიბრტყეში ატარებს იმ სინათლის  $\alpha_1$  ნაწილს, რომლის რხევის სიბრტყე პოლარიზატორის სიბრტყის პარალელურია და იმ სინათლის  $\alpha_2$  ნაწილს, რომლის რხევის სიბრტყე პოლარიზატორის სიბრტყის პერპენდიკულარულია. მაშინ პოლარიზატორების სისტემის პარალელური და პერპენდიკულარული სიბრტყეებისათვის მასში გამავალი სინათლის ინტენსივობა იქნება შესაბამისად

$$I_{\parallel} = \alpha_1^2 I_0 + \alpha_2^2 I_0, \quad I_{\perp} = \alpha_1 \alpha_2 I_0 + \alpha_2 \alpha_1 I_0,$$

ამავე დროს, პირობის თანახმად,  $I_{\parallel}/I_{\perp} = \eta$ .

მეორე მხრივ, თითოეული პოლარიზატორის მიერ წარმოქმნილი პოლარიზაციის ხარისხი

$$P_0 = (\alpha_1 - \alpha_2)/(\alpha_1 + \alpha_2).$$

ამ ფორმულებიდან  $\alpha_1$  და  $\alpha_2$ -ის გამორიცხვა მოგვცემს

$$P_0 = \sqrt{(\eta - 1)/(\eta + 1)} = 0,905.$$

ბ)  $P = \sqrt{1 - 1/\eta^2} = 0,995$ .

5.165. თორივე კონის ინტენსივობების ფარდობითი ცვლილება  $A$  და  $B$  შემთხვევებისათვის

$$(\Delta I/I)_A = 4 \cot(\varphi/2) \cdot \delta\varphi, \quad (\Delta I/I)_B = 4 \tan(\varphi/2) \cdot \delta\varphi.$$

აქედან  $\eta = (\Delta I/I)_A / (\Delta I/I)_B = \cot^2(\varphi/2)$ ,  $\varphi = 11,5^\circ$ .

5.166.  $90^\circ$ .

5.167. ა)  $\rho = 1/2 (n^2 - 1)^2 / (n^2 + 1)^2 = 0,074$ ; ბ)  $P = \rho / (1 - \rho) = \frac{(1 + n^2)^2 - 4n^2}{(1 + n^2) + 4n^2} = 0,080$ . აქ  $n$  მინის გარდატეხის მაჩვენებელია.

5.168.  $I = I_0(1 - \rho)/n = 0,72 I_0$ , სადაც  $n$  წყლის გარდატეხის მაჩვენებელია.

5.169.  $\rho = [(n^2 - 1)/(n^2 + 1)] \sin^2 \varphi = 0,038$ , სადაც  $n$  წყლის გარდატეხის მაჩვენებელია.

5.170.  $P_1 = P_3 = 1$ ,  $P_2 = \frac{\rho}{1 - \rho} = 0,087$ ,

$$P_4 = \frac{2\rho(1 - \rho)}{1 - 2\rho(1 - \rho)} = 0,17.$$

5.171. ა) ამ შემთხვევაში ფირფიტის თითოეული ზედაპირიდან არეკვლის კოეფიციენტი  $\rho = (n^2 - 1)^2 / (n^2 + 1)^2$ , ამიტომ

$$I_4 = I_0(1 - \rho)^2 = 16 I_0 n^4 / (1 + n^2)^2 = 0,725 I_0;$$



ბ)  $P = \frac{1-(1-\rho')^2}{1+(1-\rho')^2} = \frac{(1+n^2)^4-16n^4}{(1+n^2)^4+16n^4} \approx 0,16$ , სადაც  $\rho'$  სინათლის იმ მდგენელის არეკვლის კოეფიციენტი, რომლის სინათლის ვექტორი დაცემის სიბრტყის პერპენდიკულარულად ირხევა.

5.172. ა)  $P = (1-\alpha^{4N}) / (1+\alpha^{4N})$ , სადაც  $\alpha = 2n / (1+n^2)$ ,  $n$  მინის გარდატეხის მაჩვენებელი; ბ) შესაბამისად 0,16, 0,31, 0,67 და 0,92.

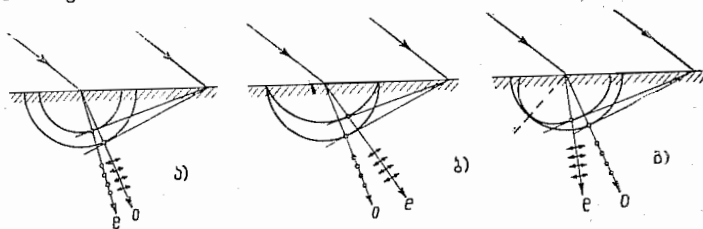
5.173. ა)  $\rho = (n-1)^2 / (n+1)^2 = 0,040$ ; ბ)  $\Delta\Phi/\Phi = 1 - (1-\rho)^{2N} = 0,34$ , სადაც  $N$  ლინზების რაოდენობაა.

5.175. ა) 0,83; ბ) 0,044.

5.176. იხ. ნახ. 45, სადაც  $\sigma$  და  $e$  ჩვეულებრივი და არაჩვეულებრივი სხივებია.

5.177.  $\delta \approx 11^\circ$ .

5.178. კოორდინატთა მარჯვენა სისტემისათვის:



ნახ. 45.

1) წრიული, საათის ისრის საპირისპიროდ, თუ დამზერა ხდება ტალღის შემხვედრი მიმართულებით;

2) ელიფსური, საათის ისრის მიმართულებით, თუ დამზერა ხდება ტალღის შემხვედრი მიმართულებით; ელიფსის დიდი ღერძი  $y=x$  წრფეს ემთხვევა;

3) ბრტყელი პოლარიზაცია,  $y=-x$  წრფის გასწვრივ.

5.179. ა) 0,490 მმ; ბ) 0,475 მმ.

5.180.  $\lambda = 4d\Delta n / (2k+1)$ ; 0,58, 0,55 და 0,51 მკმ, როდესაც  $k=15, 16$  და  $17$ , შესაბამისად.

5.181. ოთხი.

5.182. 0,69 და 0,43 მკმ.

5.183.  $d = (k-1/2) \lambda_1 / \Delta n = 0,25$  მმ, სადაც  $k=4$ .

5.184.  $\Delta n = \lambda / \theta \Delta x = 0,009$ .

5.185. გადაჭვარდინებულ პოლარიზატორებში გამავალი სინათლის ინტენსივობა აღვნიშნოთ  $I_\perp$ , ხოლო პარალელურში —  $I_\parallel$ , მაშინ:

$$I_\perp = 1/2 I_0 \sin^2 2\varphi \cdot \sin^2 (\delta/2),$$

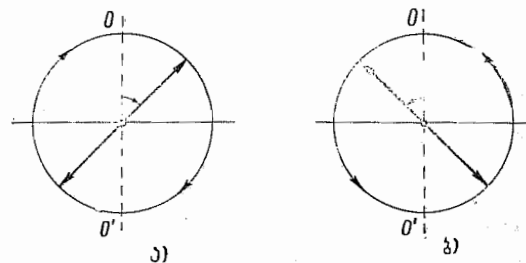
$$I_\parallel = 1/2 I_0 [1 - \sin^2 2\varphi \cdot \sin^2 (\delta/2)].$$

მაქსიმუმისა და მინიმუმის პირობები:

პოლარიზაციები	$I_{\max}$	$I_{\min}$
$\perp$	$\Delta = (k+1/2)\lambda, \varphi = \pi/4$	$\Delta = k\lambda, \varphi = \text{ნებისმიერია}$
$\parallel$	$\Delta = k\lambda, \varphi = \text{ნებისმიერია}$	$\Delta = (k+1/2)\lambda, \varphi = \pi/4$

აქ  $\Delta$  ჩვეულებრივი და არაჩვეულებრივი სხივების ოპტიკურ სვლათა სხვაობაა,  $k=0, 1, 2, \dots$

5.187. ა) თუ სინათლე მარჯვნივპოლარიზებულია წრეზე (დამკვირვებლისათვის), მაშინ ტალღის სიგრძის მეოთხედის ტოლი ფირფიტის უკან ის წრფივად პოლარიზებული ხდება, თანაც სინათლის ვექტორის



ნახ. 46.

რხევის მიმართულება  $+45^\circ$  კუთხეს ადგენს კრისტალის  $OO'$  ღერძთან (ნახ. 46 ა); მარცხნივპოლარიზებული სინათლისათვის ეს კუთხე ეთანაბრება  $-45^\circ$  (ნახ. 46 ბ).

ბ) თუ პოლარიზაციის ბრუნვის დრის (როცა ის ფირფიტის უკანაა მოთავსებული), ფირფიტის ნებისმიერი მდებარეობისათვის, გამავალი სინათლის ინტენსივობა არ იცვლება — სინათლე ბუნებრივია, თუ იცვლება და ნულამდე ეცემა, მაშინ სინათლე წრფივულადაა პოლარიზებული; თუ იცვლება, მაგრამ ნულამდე არ ეცემა, მაშინ სინათლე წარმოადგენს ბუნებრივისა და წრფივად პოლარიზებულის ნარევს.

5.188. ა)  $\Delta x = 1/2 \lambda (n_e - n_o) \theta$ , ბ)  $d(n'_o - n'_e) = -2(n_e - n_o) \theta \delta x < 0$ .

5.189.  $\Delta n = \alpha \lambda / \pi = 0,71 \cdot 10^{-4}$ , სადაც  $\alpha$  ბრუნვის მუდმივაა.

5.190.  $\alpha = \pi / \Delta x \tan \theta = 21$  კუთხ. გრად./მმ,  $I(x) \sim \cos^2(\pi x / \Delta x)$ , სადაც  $x$  მანძილია მაქსიმუმიდან.

5.191.  $d_{\min} = (1/\alpha) \arcsin \sqrt{2\eta} = 3,0$  მმ.

5.192. 8,7 მმ.

5.193.  $[\alpha] = 72$  კუთხ. გრად./დმ. გ/სმ<sup>3</sup>.

5.194. ა)  $E_{\text{ფიზ}} = 1/\sqrt{4Bl} = 10,6$  კვ/სმ; ბ)  $2,2 \cdot 10^8$  წყვეტა წამში.

5.195.  $\Delta n = 2cHV/\omega$ , სადაც  $c$  სინათლის სიჩქარე ვაკუუმში.

5.196.  $V = 1/2 (\varphi_1 - \varphi_2) / lH = 0,015$  კუთხ. წთ/ა.

5.197. თუ ლაკირებას ვაწარმოებთ გამოსული სხივის შემხვედრი მიმართულებით და დადებით მიმართულებას ავირჩევთ საათის ისრის მიმართულებით, მაშინ  $\varphi = (\alpha - VNH)l$ , სადაც  $N$  წარმოადგენს სხივის გავლის რაოდენობას ნივთიერებაში (5.35 ნახაზზე  $N = 5$ ).

5.198.  $H_{\text{ფიზ}} = \pi/4Vl = 4,0$  კა/მ, სადაც  $V$  ვერდეს მუდმივაა. მიმართულება, რომლის გასწვრივაც ვრცელდება სინათლე, საპირისპიროდ შეიცვლება.

5.199.  $t = mc\omega_0 / \lambda I = 12$  სთ. ამ ეფექტის სიმცირის მიუხედავად, ის დამხვებული იყო როგორც ხილული სინათლისათვის, ასევე სანტიმეტრიანი ტალღებისათვის.

5.200. ა)  $a = eE_0/m\omega^2 = 5 \cdot 10^{-16}$  სმ, სადაც  $E_0 = \sqrt{2I/\epsilon_0 c}$ ,  $v = a\omega = 1,7$  სმ/წმ; ბ)  $F_3 / F_2 = 2,9 \cdot 10^{-11}$ .

5.201. ა)  $\epsilon = 1 - n_0 e^2 / \epsilon_0 m \omega^2$ ,  $v = c \sqrt{1 + (n_0 e^2 / 4\pi^2 \epsilon_0 m c^2) \lambda^2}$ .

5.202.  $n_0 = (4\pi^2 v^2 m \epsilon_0 / e^2) (1 - n^2) = 2,4 \cdot 10^7$  სმ<sup>-3</sup>.

5.203.  $n - 1 = -n_0 e^2 \lambda^2 / 8\pi^2 \epsilon_0 m c^2 = -5,4 \cdot 10^{-7}$ , სადაც  $n_0$  ელექტრონების კონცენტრაციაა ნახშირბადში.

5.204. ა)  $x = a \cos(\omega t + \varphi)$ , სადაც  $a$  და  $\varphi$  განისაზღვრებიან შემდეგი ფორმულებით

$$a = \frac{eE_0/m}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2 \omega^2}}, \quad \text{tg } \varphi = \frac{2\beta \omega}{\omega^2 - \omega_0^2}.$$

აქ  $\beta = \gamma/2m$ ,  $\omega_0^2 = k/m$ ,  $m$  — ელექტრონის მასა,

$$\text{ბ) } \langle P \rangle = \frac{m\beta (eE_0/m)^2 \omega^2}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2 \omega^2}, \quad \langle P \rangle_{\text{ავ}} = \frac{m}{4\beta} \left( \frac{eE_0}{m} \right)^2,$$

როცა  $\omega = \omega_0$ .

5.205. ტალღის განტოლება ჩავწეროთ შემდეგი სახით:

$A = A_0 e^{i(\omega t - kx)}$ , სადაც  $k = 2\pi/\lambda$  თუ  $n' = n + i\kappa$ , მაშინ  $k = (2\pi/\lambda_0)n'$  და

$$A = A_0 e^{2\pi \kappa x / \lambda_0} e^{i(\omega t - 2\pi n x / \lambda_0)},$$

ან ნამდვილი სახით

$$A = A_0 e^{\kappa' x} \cos(\omega t - k' x),$$

ე: ი. სინათლე ბრტყელი ტალღის სახით ვრცელდება, რომლის ამპლიტუდა დამოკიდებულია  $x$ -ზე. როდესაც  $\kappa < 0$ , ამპლიტუდა მცირდება (ტალღის მიღწევა შთანთქმის გამო). თუ  $n' = i\kappa$ , მაშინ  $A = A_0 e^{\kappa' x} \cos \omega t$ . ეს წარ-

მოადგენს ექსპონენციალურად კლებადი ამპლიტუდის მქონე (როცა  $\kappa < 0$ ) მდგარ ტალღას. ამ შემთხვევაში სინათლე გარემოში (შთანთქმის გარეშე) სრულ შინაგან არეკვლას განიცდის.

5.206.  $n_0 = 4\pi^2 \epsilon_0 m c^2 / e^2 \lambda_0^2 = 2,0 \cdot 10^9$  სმ<sup>-3</sup>.

5.208. ა)  $u = 3/2 v$ ; ბ)  $u = 2v$ ; გ)  $u = 1/3 v$ .

5.209.  $\epsilon = 1 + A/\omega^2$ , სადაც  $A$  მუდმივაა.

5.210.  $v = c/n = 1,83 \cdot 10^8$  მ/წმ,  $u = [1 + (\lambda/n)(dn/d\lambda)] c/n = 1,70 \cdot 10^8$  მ/წმ.

5.211. საკმარისია მსჯელობა ჩაატაროთ ტალღური იმპულსის სამი პარამონიული მდგენელისათვის (უფრო მარტივია გრაფიკის დახმარებით).

5.212.  $I = 1/2 I_0 e^{-\kappa l} \sin^2 \varphi$ , სადაც  $\varphi = V l H$ .

5.213. ა)  $I = I_0 (1 - \rho)^2 (1 + \rho^2 + \rho^4 + \dots) = I_0 (1 - \rho)^2 / (1 - \rho^2)$ ;

ბ)  $I = I_0 (1 - \rho)^2 \sigma (1 + \sigma^2 \rho^2 + \sigma^4 \rho^4 + \dots) = I_0 \sigma (1 - \rho)^2 / (1 - \sigma^2 \rho^2)$ , სადაც  $\sigma = \exp(-\kappa d)$ .

5.214.  $\kappa = \frac{\ln(\tau_1/\tau_2)}{d_2 - d_1} = 0,35$  სმ<sup>-1</sup>.

5.215.  $\kappa = \frac{1}{lN} \ln \frac{(1 - \rho)^{2N}}{\tau} = 0,034$  სმ<sup>-1</sup>.

5.216.  $\tau = (1 - \rho)^2 \exp[-1/2 (\kappa_1 + \kappa_2) l]$ .

5.217.  $I = I_0 (1 - \rho)^2 \frac{e^{-\kappa_1 l} - e^{-\kappa_2 l}}{(\kappa_2 - \kappa_1) l}$ .

5.218.  $\Delta \lambda = 2\lambda_0 \sqrt{(\ln \eta)/\alpha d}$ .

5.219.  $I = \frac{\Phi}{4\pi b^2} (1 - \rho)^2 e^{-\kappa(b-a)}$ ,

5.220. შემცირდება  $\exp(\mu d) = 0,6 \cdot 10^2$  -ჯერ.

5.221.  $d = 0,3$  მმ.

5.222.  $d = (\ln 2)/\mu = 8$  მმ.

5.223.  $N = (\ln \eta) / \ln 2 = 5,6$ .

5.224.  $c = 2l\lambda (n_2 - n_1) = 3,0 \cdot 10^8$  მ/წმ.

5.225. უპირველეს ყოვლისა, აღვნიშნოთ, რომ როდესაც  $v \ll c$  დრო პრაქტიკულად ერთნაირად მიმდინარეობს იმ ათვლის სისტემებში, რომლებიც დაკავშირებული არიან როგორც წყაროსთან, ასევე მიმღებთან. დავუშვათ, რომ წყარო ასხივებს  $T_0$  ინტერვალის მქონე მოკლე ხნის

იმპულსებს. მაშინ მიმდებთან დაკავშირებულ ათვის სისტემაში, მანძილი ორ მომდევნო იმპულსებს შორის, დაკვირვების წრფის გასწვრივ,  $\lambda = cT_0 - v_r T_0$ , სადაც  $v_r$  წყაროს სხივური სიჩქარეა ( $v_r = v \cos \varphi$ ). მიღებული იმპულსების სიხშირე  $\nu = c/\lambda = \nu_0 / (1 - v_r/c)$ , სადაც  $\nu_0 = 1/T_0$ . აქედან  $(\nu - \nu_0)/\nu_0 = (v/c) \cos \varphi$ .

$$5.226. \Delta\lambda = -\lambda \sqrt{2T/mc^2} \cos \varphi = -26 \text{ ნმ.}$$

$$5.227. T = 4\pi R\lambda/c\delta\lambda = 25 \text{ დღე-ღამე, სადაც } R \text{ მზის რადიუსია.}$$

$$5.228. d = (\Delta\lambda/\lambda)_{mc^2/\pi} = 3 \cdot 10^7 \text{ კმ, } m = (\Delta\lambda/\lambda)_m^3 c^3 \pi / 2\pi\gamma = 2,9 \cdot 10^{29} \text{ კგ,}$$

სადაც  $\gamma$  გრავიტაციული მუდმივაა.

$$5.229. \omega = \omega_0 (1 + \beta) / (1 - \beta), \text{ სადაც } \beta = v/c; \omega \approx \omega_0 (1 + 2v/c).$$

$$5.230. v = \frac{1}{2} \lambda \Delta\nu \approx 900 \text{ კმ/სთ.}$$

5.231.  $\omega t - kx = \omega' t' - k' x'$  ტოლობაში  $t'$  და  $x'$  სიდიდეების ჩასმის შემდეგ (ლორენცის გარდაქმნებიდან) მივიღებთ:

$$\omega = \omega' (1 + \beta) / \sqrt{1 - \beta^2}, \quad k = k' (1 + \beta) / \sqrt{1 - \beta^2},$$

სადაც  $\beta = v/c$ . აქ გათვალისწინებულია, რომ  $\omega' = ck'$ .

$$5.232. \omega = \omega_0 \sqrt{(1 - \beta)/(1 + \beta)} \text{ ფორმულიდან მივიღებთ: } \beta = v/c = 0,26.$$

$$5.233. v = c \frac{(\lambda/\lambda')^2 - 1}{(\lambda/\lambda')^2 + 1} = 7,1 \cdot 10^4 \text{ კმ/წმ.}$$

$$5.234. \omega = \omega_0 \sqrt{3/7}.$$

$$5.235. \Delta\lambda = \lambda T / m_0 c^2 = 0,70 \text{ ნმ, სადაც } m_0 \text{ ატომის მასაა.}$$

$$5.236. \text{ ა) } \omega = \omega_0 / \sqrt{1 - \beta^2} = 5,0 \cdot 10^{10} \text{ რად/წმ;}$$

$$\text{ ბ) } \omega = \omega_0 \sqrt{1 - \beta^2} = 1,8 \cdot 10^{10} \text{ რად/წმ. აქ } \beta = v/c.$$

5.237. ელექტრონის მუხტი ლითონში ინდუცირებულ დადებით მუხტთან ერთად ქმნის დიპოლს. ელექტრონთან დაკავშირებულ ათვის სისტემაში დიპოლის ელექტრული მომენტი იცვლება  $T' = d'/v$  პერიოდით; აქ  $d' = d \sqrt{1 - (v/c)^2}$ . შესაბამისი „საკუთარი“ სიხშირე  $\nu' = v'/d'$ . დოპლერის ეფექტის შედეგად დამზერილი სიხშირე

$$\nu = \nu' \frac{\sqrt{1 - (v/c)^2}}{1 - (v/c) \cos \varphi} = \frac{v/d}{1 - (v/c) \cos \varphi}.$$

მას შეესაბამება  $\lambda = c/\nu = d(c/v - \cos \varphi)$  ტალღის სიგრძე. როდესაც  $\varphi = 45^\circ$  და  $v \approx c$ , ტალღის სიგრძე  $\lambda \approx 0,6$  მკმ.

5.238. ა) დავუშვათ, რომ  $v_x$  წარმოადგენს გამომსხივარი ატომის სიჩქარის ვექტორის პროექციას დაკვირვების ხაზის მიმართულებაზე.  $v_x, v_x + dv_x$  გვემიღების მქონე ატომების რიცხვი

$$n(v_x) dv_x \sim \exp(-mv_x^2 / 2kT) \cdot dv_x.$$

$v_x$  სიჩქარის მქონე ატომების მიერ გამოსხივებული სინათლის სიხშირე  $\omega = \omega_0 (1 + v_x/c)$ . ამ გამოსახულების დახმარებით ვიპოვიოთ ატომთა განაწილებას სიხშირეების მიხედვით:  $n(\omega) d\omega = n(v_x) dv_x$ . დაბოლოს, უნდა გავითვალისწინოთ, რომ გამოსხივების სპექტრული ინტენსივობა

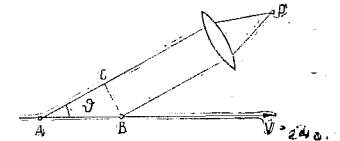
$$I_\omega \sim n(\omega). \text{ ბ) } \Delta\omega/\omega_0 = 2\sqrt{(2\ln 2)kT/mc^2},$$

$$5.239. u = \frac{c/n \pm V}{1 + V/cn}. \text{ თუ } V \ll c, \text{ მაშინ } u \approx \frac{c}{n} + V \left(1 - \frac{1}{n^2}\right).$$

$$5.240. v = \frac{1}{2} c \delta\varphi = 30 \text{ კმ/წმ.}$$

$$5.242. \varphi' = 8^\circ.$$

5.243.  $V$  სიჩქარით მოძრავი და-მუხტული ნაწილაკი თავისი ველით აღავსნებს გარემოს ატომებს და ისინი სინათლის ტალღების წყაროები ხდებიან. ნაწილაკის მოძრაობის გზაზე



ნახ. 47.

ავიღოთ ორი ნებისმიერი  $A$  და  $B$  წერტილი. ნაწილაკის გავლის შემდეგ ამ წერტილებიდან გამოსხივებული სინათლის ტალღები ერთდროულად მიაღწევენ  $P$  წერტილს (ნახ. 47) და ერთიმეორეს გააძლიერებენ, თუ სინათლის ტალღის გავრცელების დრო  $A$  წერტილიდან  $C$  წერტილში უდრის ნაწილაკის მოძრაობის დროს  $AB$  გზაზე. აქედან ვღებულობთ  $c\delta\varphi = v/V$ , სადაც  $v = c/n$  სინათლის ფაზური სიჩქარეა. ჩანს, რომ გამოსხივება შესაძლებელია მხოლოდ მაშინ, როდესაც  $V > v$ , ე. ი. როდესაც ნაწილაკის სიჩქარე მეტია სინათლის ფაზურ სიჩქარეზე გარემოში.

$$5.244. T_{\text{გზ}} = (n / \sqrt{n^2 - 1} - 1) mc^2; \text{ შესაბამისად } 0,14 \text{ მეგე და } 0,26 \text{ გეე. } \mu\text{-მეზონებისათვის.}$$

$$5.245. T = \left( \frac{n \cos \varphi}{\sqrt{n^2 \cos^2 \varphi - 1}} - 1 \right) mc^2 = 0,23 \text{ მეგე.}$$

$$5.247. T_2 = \lambda T_1 / (\lambda + T_1 \Delta\lambda) = 1,75 \text{ კკ.}$$

$$5.248. \lambda_m = 3,4 \text{ მკმ.}$$

$$5.249. 5 \cdot 10^9 \text{ კგ/წმ, მიახლოებით } 10^{11} \text{ წელი.}$$

$$5.250. T = \sqrt{3cR\rho/\sigma M} = 2 \cdot 10^7 \text{ K, სადაც } R \text{ გაზების უნივერსალური მუდმივაა, } M \text{ — წყალბადის მოლური მასა.}$$

$$5.251. t = (\eta^3 - 1) c \rho d / 18 \sigma T_0^3 = 3 \text{ სთ, სადაც } c \text{ სპილენძის კუთრი სითბოტევადობაა, ხოლო } \rho \text{ — მისი სიმკვრივე.}$$

$$5.252. T_2 = T_1 \sqrt{d/2l} = 0,4 \text{ კკ.}$$

$$5.253. \text{ ა) } C_V = (\partial U / \partial T)_V = 16 \sigma T^3 V / c = 3 \text{ ნჯ/კ, სადაც } U = 4 \sigma T^4 V / c; \text{ ბ) } S = 16 \sigma T^3 V / 3c = 1,0 \text{ ნჯ/კ.}$$

5.254. ა)  $\omega_{\text{კაბ}} = 3T/\omega = 0,785 \cdot 10^{15} \text{ წმ}^{-1}$ ; ბ)  $\lambda_{\text{კაბ}} = 2\pi c\alpha/5T = 1,44 \text{ მკმ}$ .

5.255. ა)  $u_{\omega} = (kT/\pi^2 c^3) \omega^2$ ; ბ)  $u_{\omega} = \hbar / \pi^2 c^3 \omega^3 e^{-\hbar\omega/kT}$ .

5.256.  $u_{\nu} = \frac{16\pi^2 \hbar}{c^3} \frac{\nu^3}{e^{2\pi \hbar \nu / kT} - 1}$ ,  $u_{\lambda} = \frac{16\pi^2 \hbar c \lambda^{-5}}{e^{2\pi \hbar c / kT \lambda} - 1}$ .

5.257.  $\Delta P = 4\pi^2 c^2 \hbar T^5 \Delta \lambda / b^5 (e^{2\pi \hbar c / kb} - 1) = 0,31 \text{ ვტ/სმ}^2$ .

სადაც  $b$  მუდმივაა ვინის წანაცვლების კანონში.

5.258. ა)  $1,1 \text{ მკმ}$ ; ბ)  $0,37$ ; გ)  $P_2/P_1 = (T_2/T_1)^4 (1-y_2)/(1-y_1) = 4,9$ .

5.259.  $n_{\omega} d\omega = \frac{1}{\pi^2 c^3} \frac{\omega^2 d\omega}{e^{\hbar\omega/kT} - 1}$ ,  $n_{\lambda} d\lambda = \frac{8\pi \lambda^{-4} d\lambda}{e^{2\pi \hbar c / kT \lambda} - 1}$ .

5.260. ა)  $\langle j \rangle = P\lambda / 8\pi^2 c \hbar r^2 = 6 \cdot 10^{13} \text{ სმ}^2 \cdot \text{წმ}^{-1}$ ;

ბ)  $r = \sqrt{P\lambda / 2\hbar n / 2\pi c} = 9 \text{ მ}$ .

5.261.  $dp/dt = \Phi_0 / c$ .

5.262.  $\langle p \rangle = 4(1+\rho) E / \pi d^2 c \tau \approx 50 \text{ ატმ}$ .

5.263.  $p = (E/c) \sqrt{1+\rho^2 + 2\rho \cos^2 \vartheta} = 35 \text{ მგ} \cdot \text{წმ}$ .

5.264.  $p = (I/c) (1+\rho) \cos^2 \vartheta = 0,6 \text{ მგ/სმ}^2$ .

5.265.  $F = \pi R^2 I / c = 0,18 \text{ მკგ}$ .

5.266.  $F = P/2c (1+\eta^2)$ .

5.267. ა)  $\Delta p = \frac{2\hbar\omega}{c} \frac{\sqrt{1-\beta^2}}{1-\beta}$ ; ბ)  $\Delta p = \frac{2\hbar\omega}{c} \frac{1}{1-\beta}$ . აქ  $\beta = v/c$ .

აქედან ჩანს, რომ სარკესთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში სარკეს ნაკლები იმპულსი გადაეცემა.

5.268.  $\sin(\vartheta/2) \approx E/mc \sqrt{gl}$ ,  $\vartheta = 0,5^\circ$ .

5.269.  $\Delta\omega/\omega_0 = -(1 - e^{-\gamma M/Rc^2}) < 0$ , ე. ი. ფოტონის სიხშირე მცირდება.

5.270.  $U = 2\pi \hbar c (1 - 1/\eta) / e \Delta \lambda = 16 \text{ ავ}$ .

5.271.  $U = \pi \hbar c / ed \sin \alpha = 31 \text{ ავ}$ .

5.272.  $\lambda_{\text{ან}} = 2\pi \hbar / mc (\gamma - 1) = 2,8 \text{ პმ}$ , სადაც  $\gamma = 1 / \sqrt{1 - (v/c)^2}$ .

5.273.  $332 \text{ მმ}$ ,  $6,6 \cdot 10^5 \text{ მ/წმ}$ .

5.274.  $A = 2\pi c \hbar \frac{(\eta^2 - \lambda_2/\lambda_1)}{\lambda_2 (\eta^2 - 1)} = 1,9 \text{ ავ}$ .

5.275.  $\varphi_{\text{მაქს}} = 4,4 \text{ ვ}$ .

5.276.  $T_{\text{მაქს}} = \hbar(\omega_0 + \omega) - A_{\text{მაქს}} = 0,38 \text{ ავ}$ .

5.277.  $w = 2\pi c \hbar J / e \lambda = 0,020$ .

5.278.  $v_{\text{მაქს}} = 6,4 \cdot 10^5 \text{ მ/წმ}$ .

5.279.  $0,5 \text{ გ}$ ; მისი პოლარულობა გარეშე ძაბვის პოლარულობის საპირისპიროა.

5.280.  $\hbar/mc$  მიცემული ნაწილაკის კომპტონის ტალღის სიგრძეა.

5.281. ჩაწერით ენერგიისა და იმპულსის მუდმივობის კანონები ელექტრონთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში ფოტონთან დაჯახებამდე:  $\hbar\omega + m_0 c^2 = mc^2$ ,  $\hbar\omega/c = mv$ , სადაც  $m = m_0 \sqrt{1 - (v/c)^2}$ . აქედან გამომდინარეობს, რომ  $v = 0$  ან  $c$ -ს. ორივე შედეგს არა აქვს ფიზიკური აზრი.

5.282. ა) გაბნევა წარმოებს თავისუფალ ელექტრონებზე; ბ) იზრდება თავისუფალი ელექტრონების რაოდენობა (თავისუფალ ელექტრონებში ვგულისხმობთ ელექტრონებს, რომელთა ბმის ენერგია გაცილებით ნაკლებია ფოტონების მიერ მათზე გადაცემულ ენერგიაზე); გ) წაუნაცვლებელი კომპონენტის არსებობა აიხსნება გაბნევით ძლიერად ბმულ ელექტრონებზე და ბირთვებზე.

5.283.  $\lambda = 4\pi \lambda_c [\sin(\vartheta_2/2) - \eta \sin(\vartheta_1/2)] / (\eta - 1) = 1,2 \text{ პმ}$ .

5.284.  $T = \hbar\omega \eta / (1 + \eta) = 0,20 \text{ მეგე}$ .

4.285. ა)  $\omega' = 2\pi c / (\lambda + 2\pi \hbar / mc) = 2,2 \cdot 10^{20} \text{ რად/წმ}$ ;

ბ)  $T = \frac{2\pi c \hbar / \lambda}{1 + \lambda mc / 2\pi \hbar} = 60 \text{ ავ}$ .

5.286.  $\hbar\omega' = \frac{\hbar\omega}{1 + 2(\hbar\omega/mc^2) \sin(\vartheta/2)} = 0,144 \text{ მეგე}$ .

5.287.  $\sin(\vartheta/2) = \sqrt{mc(p - p')/2pp'}$ , აქედან  $\vartheta = 120^\circ$ .

5.288.  $\hbar\omega = [1 + \sqrt{1 + 2mc^2/T \sin^2(\vartheta/2)}] T/2 = 0,68 \text{ მეგე}$ .

5.289.  $\lambda = (2\pi \hbar / mc) (\sqrt{1 + 2mc^2/T_{\text{მაქს}}} - 1) = 3,7 \text{ პმ}$ .

5.290.  $\text{tg } \varphi = \frac{\sqrt{4\pi \hbar / mc \Delta \lambda} - 1}{1 + \hbar\omega / mc^2}$ ,  $\varphi = 31^\circ$ .

5.291.  $\rho = \frac{2\eta(1+\eta)mc}{(1+2\eta)eB} = 3,4 \text{ სმ}$ .

5.292.  $\Delta \lambda = (4\hbar/mc) \sin^2(\vartheta/2) = 1,2 \text{ პმ}$ .

6.1.  $r = 3e^2/2E = 0,16 \text{ მმ}$ ,  $\lambda = (2\pi c/e) \sqrt{mr^3} = 0,24 \text{ მკმ}$ .

6.2.  $b = 0,73 \text{ პმ}$ .

6.3. ა)  $r_{\text{ან}} = 0,59 \text{ პმ}$ ; ბ)  $r_{\text{ან}} = (2Ze^2/T) (1 + m_{\alpha}/m_{Li}) = 0,034 \text{ პმ}$ .

6.4. ა)  $\rho_{\text{ან}} = (Ze^2/T) \text{ctg}^2(\vartheta/2) = 0,23 \text{ პმ}$ ; ბ)  $\kappa_{\text{ან}} = [1 + \text{csc}(\vartheta/2)] \times \times Ze^2/T = 0,56 \text{ პმ}$ .

$$6.5. p \approx 2 \sqrt{2mT/[1+(2bT/Ze^2)^2]}.$$

$$6.6. T_e = m_e c^4 / m_e b^2 T = 4 \text{ ევ.}$$

$$6.7. b = \frac{Rn \sin(\vartheta/2)}{\sqrt{1+n^2-2n \cos(\vartheta/2)}}, \text{ სადაც } n = \sqrt{1+U_0/T}.$$

$$6.8. \text{ა) } \cos(\vartheta/2) = b/(R+r); \text{ბ) } dP = 1/2 \sin \vartheta d\vartheta; \text{გ) } P = 1/2.$$

$$6.9. 3,3 \cdot 10^{-5}.$$

$$6.10. d = (4Jr^2 T^2 / n I Z e^4) \sin^4(\vartheta/2) = 1,5 \text{ მკმ, სადაც } n \text{ ბირთვების კონცენტრაციაა.}$$

$$6.11. Z_{Pt} = Z_{Ag} \sqrt{\eta A_{Pt} / A_{Ag}} = 78.$$

$$6.12. \text{ა) } 1,6 \cdot 10^6; \text{ბ) } N = \pi n d (Ze^2/T)^2 \operatorname{ctg}^2(\vartheta_0/2) I_0 \tau = 2,0 \cdot 10^7, \text{ სადაც } n \text{ ბირთვების კონცენტრაციაა.}$$

$$6.13. P = \pi n d (Ze^2/mv^2)^2 = 0,006, \text{ სადაც } n \text{ ბირთვების კონცენტრაციაა.}$$

$$6.14. \Delta N/N = 1 - \pi n Z^2 e^4 / T^2 \operatorname{tg}^2 \vartheta_0/2 = 0,6.$$

$$6.15. \Delta N/N = \frac{\pi e^4}{4T^2} \left( 0,7 \frac{Z_1^2}{M_1} + 0,3 \frac{Z_2^2}{M_2} \right) \rho d \cdot N_A \operatorname{ctg}^2 \frac{\vartheta}{2} = 1,4 \cdot 10^{-3}, \text{ სადაც } Z_1 \text{ და } Z_2 \text{ სპილენძისა და თუთიის რიგითი ნომრებია, } M_1 \text{ და } M_2 \text{ — მათი მოლეკულის მასები, ხოლო } N_A \text{ — ავოგადროს რიცხვი.}$$

$$6.16. \Delta \sigma = \pi (Ze^2/T)^2 \operatorname{ctg}^2(\vartheta_0/2) = 0,73 \text{ კბ.}$$

$$6.17. \text{ა) } 0,9 \text{ მგვევ; ბ) } d\sigma/d\Omega = \Delta \sigma / 4\pi \sin^4(\vartheta/2) = 0,64 \text{ კბ/სტრ.}$$

$$6.18. t = (3mc^3/2e^2\omega^2) \ln \eta = 15 \text{ წმ.}$$

$$6.19. t \approx m^2 c^3 r^3 / 4e^4 \approx 13 \text{ პწმ.}$$

$$6.21. r_n = \sqrt{n\hbar/m\omega}, E_n = n\hbar\omega, \text{ სადაც } n = 1, 2, \dots, \omega = \sqrt{k/m}.$$

6.22.

	$r_1, \text{ პმ}$	$v, 10^6 \text{ მ/წმ}$	$T, \text{ ევ}$	$E_{\text{ფოტ}}, \text{ ევ}$	$\varphi_1, \text{ გ}$	$\varphi_2, \text{ გ}$	$\lambda, \text{ ნმ}$
H	52,9	2,18	13,6	13,6	13,6	10,2	121,5
He <sup>+</sup>	26,5	4,36	54,5	54,5	54,5	40,8	30,4

$$6.23. \omega = me^4 Z^2 / \hbar^3 n^3 = 2,07 \cdot 10^{16} \text{ წმ}^{-1}.$$

$$6.24. \mu_n = ne\hbar/2mc, \mu_n/M_n = e/2mc, \mu_1 = \mu_B.$$

$$6.25. B = m^2 e^7 / c \hbar^5 = 125 \text{ კგს.}$$

$$6.27. \text{ბრეკეტის სერია, } \gamma_{6-4} = 2,63 \text{ მკმ.}$$

$$6.28. \text{ა) } 657, 487 \text{ და } 434 \text{ ნმ; ბ) } \lambda/\delta\lambda \approx 1,5 \cdot 10^3.$$

$$6.29. \text{როცა } n \gg 1 \sin \vartheta \approx n^3 \pi c / lR, \text{ საიდანაც } \vartheta \approx 60^\circ.$$

$$6.30. \text{He}^+.$$

$$6.31. N = 1/2 n(n-1).$$

$$6.32. 97,3, 102,6 \text{ და } 121,6 \text{ ნმ.}$$

$$6.33. n = 5.$$

$$6.34. R = \frac{176 \pi c}{15 Z^2 \Delta \lambda} = 2,07 \cdot 10^{16} \text{ წმ}^{-1}.$$

$$6.35. Z = \sqrt{(176/15) \pi c / R \Delta \lambda} = 3, \text{ Li}^{++}.$$

$$6.36. \lambda = (2\pi c / \Delta \omega) (Z \sqrt{R/\Delta \omega} - 1) / (2Z \sqrt{R/\Delta \omega} - 1) = 0,47 \text{ მკმ.}$$

$$6.37. E_{\text{ფოტ}} = 54,4 \text{ ევ (He}^+).$$

$$6.38. E = E_0 + 4\hbar R = 79 \text{ ევ.}$$

$$6.39. v = \sqrt{2(\hbar\omega - 4\hbar R)/m} = 2,3 \cdot 10^6 \text{ მ/წმ, სადაც } \omega = 2\pi c/\lambda.$$

$$6.40. T_{\text{ფოტ}} = 3/2 \hbar R = 20,5 \text{ ევ.}$$

$$6.41. v = 3\hbar R / 4mc = 3,25 \text{ მ/წმ, სადაც } m \text{ ატომის მასაა.}$$

$$6.42. (\varepsilon - \varepsilon')/\varepsilon \approx 3\hbar R / 8mc^2 = 0,55 \cdot 10^{-6} \%, \text{ სადაც } m \text{ ატომის მასაა.}$$

$$6.43. v = 2\sqrt{\hbar R/m} = 3,1 \cdot 10^6 \text{ მ/წმ, სადაც } m \text{ ელექტრონის მასაა.}$$

$$6.44. v = 3R\Delta\lambda / 8\pi \cos \vartheta = 0,7 \cdot 10^6 \text{ მ/წმ.}$$

$$6.45. \text{ა) } E_n = n^2 \pi^2 \hbar^2 / 2m l^2; \text{ბ) } E_n = n^2 \hbar^2 / 2m r^2; \text{გ) } E_n = n\hbar \sqrt{\alpha/m};$$

$$\text{დ) } E_n = -m\alpha^2 / 2\hbar^2 n^2.$$

$$6.46. E_{\text{ფოტ}} = \mu e^4 / 2\hbar^2, R = \mu e^4 / 2\hbar^3, \text{ სადაც } \mu \text{ სისტემის დაყვანილი მასაა. ბირთვის მოძრაობის გათვალისწინების გარეშე ეს სიდიდეები წყალბადის ატომისათვის } m/M \approx 0,055\% \text{-ით მეტია, სადაც } m \text{ და } M \text{ ელექტრონისა და პროტონის მასებია.}$$

$$6.47. E_D - E_H = 3,7 \text{ მევ, } \lambda_H - \lambda_D = 33 \text{ პმ.}$$

$$6.48. \text{ა) } 0,285 \text{ პმ, } 2,53 \text{ კევ, } 0,65 \text{ ნმ; ბ) } 106 \text{ პმ, } 6,8 \text{ ევ, } 0,243 \text{ მკმ.}$$

$$6.49. 123, 2,86 \text{ და } 0,186 \text{ პმ.}$$

$$6.50. 0,45 \text{ კევ.}$$

$$6.51. \text{ორივე ნაწილაკისათვის } \lambda = 2\pi\hbar (1 + m_n/md) / \sqrt{2m_n T} = 8,6 \text{ პმ.}$$

$$6.52. \tilde{\lambda} = 2\lambda_1 \lambda_2 / \sqrt{\lambda_1^2 + \lambda_2^2}.$$

$$6.53. \lambda = 2\pi\hbar / \sqrt{2mkT} = 128 \text{ პმ.}$$

$$6.54. \text{თავდაპირველად ვიპოვოთ მოლეკულების განაწილების ფუნქცია დებროილის ტალღის სიგრძეების მიხედვით. } f(v)dv = -\varphi(\lambda)d\lambda \text{ თანაფარდობიდან, სადაც } f(v) \text{ მაქსიმუმის განაწილების ფუნქციაა სიჩქარეების მიხედვით, მივიღებთ:}$$



$$\varphi(\lambda) = A\lambda^{-4} e^{-a/\lambda^2}, \quad a = 2\pi^2 \hbar^2 / mkT.$$

პირობა  $d\varphi/d\lambda = 0$  გვაძლევს  $\lambda_{\text{max}} = \pi \hbar / \sqrt{mkT} = 0,09$  ნმ.

6.55.  $\lambda = 2\pi \hbar / \sqrt{2mT(1 + T/2mc^2)}$ ,  $T \leq 4mc^2 \Delta\lambda/\lambda = 20,4$  კევ (ელექტრონებისათვის) და 37,5 მკევ (პროტონებისათვის).

$$6.56. T = (\sqrt{2} - 1) mc^2 = 0,21 \text{ მკევ.}$$

$$6.57. \lambda = \lambda_h / \sqrt{1 + mc\lambda_h / \pi \hbar} = 3,3 \text{ პმ.}$$

$$6.58. v = 4\pi \hbar l / mb \Delta x = 2,0 \cdot 10^6 \text{ მ/წმ.}$$

$$6.59. \Delta x = 2\pi \hbar l / d\sqrt{2meU} = 4,9 \text{ პმ.}$$

$$6.60. U_0 = \pi^2 \hbar^2 / 2me (\sqrt{\eta} - 1)^2 d^2 \sin^2 \vartheta = 0,15 \text{ კევ.}$$

$$6.61. d = \pi \hbar k / \sqrt{2mT} \cos(\vartheta/2) = 0,21 \text{ ნმ, სადაც } k = 4,$$

$$6.62. d = \pi \hbar k / \sqrt{2mT} \sin \vartheta = 0,23 \pm 0,04 \text{ ნმ, სადაც } k = 3,$$

ხოლო კუთხე  $\vartheta$  განისაზღვრება ფორმულით  $\tan 2\vartheta = D/2l$ .

$$6.63. \text{ ა) } n = \sqrt{1 + U_i/U} = 1,05; \text{ ბ) } U/U_i \geq 1/\eta(2 + \eta) = 50.$$

$$6.64. E_n = n^2 \pi^2 \hbar^2 / 2ml^2, \text{ სადაც } n = 1, 2, \dots$$

$$6.66. 1 \cdot 10^4, 1 \cdot 10 \text{ და } 1 \cdot 10^{-20} \text{ სმ/წმ}$$

$$6.67. \Delta v \approx \hbar / ml = 1 \cdot 10^6 \text{ მ/წმ; } v_1 = 2,2 \cdot 10^6 \text{ მ/წმ.}$$

$$6.69. \Delta t \approx \eta ml^2 / \hbar \approx 10^{-16} \text{ წმ.}$$

$$6.70. T_{\text{aof}} \approx \hbar^2 / 2ml^2 = 1 \text{ ევ. აქ აღებულია } p \approx \Delta p \text{ და } \Delta x = l.$$

$$6.71. \Delta v/v \sim \hbar / l \sqrt{2mT} = 1 \cdot 10^{-4}.$$

$$6.72. F \approx \hbar^2 / ml^3.$$

6.73. თუ გავითვალისწინებთ, რომ  $p \sim \Delta p \sim \hbar / \Delta x \sim \hbar / x$ , მივიღებთ  $E = T + U \approx \hbar^2 / 2mx^2 + kx^2/2$ .  $dE/dx = 0$  პირობიდან ვიპოვით  $x_0$ , ხოლო შემდეგ  $E_{\text{aof}} \approx \hbar \sqrt{k/m} = \hbar \omega$ , სადაც  $\omega$  ოსცილატორის წრიული სიხშირეა. ზუსტი გაანგარიშება გვაძლევს  $\hbar \omega/2$ .

6.74. თუ გავითვალისწინებთ, რომ  $p \sim \Delta p \sim \hbar / \Delta r$  და  $\Delta r \sim r$ , მივიღებთ:  $E = p^2 / 2m - e^2/r \approx \hbar^2 / 2mr^2 - e^2/r$ .  $dE/dr = 0$  პირობიდან ვიპოვით  $r_{\text{aof}} \approx \hbar^2 / me^2 = 53$  პმ,  $E_{\text{aof}} \approx -me^4 / 2\hbar^2 = -13,6$  ევ.

6.75. გამოსახულების სიგანე  $\Delta \approx \delta + \Delta' \approx \delta + \hbar / p\delta$ , სადაც  $\Delta'$  არის დამატებითი გაგანიერება, რომელიც  $\Delta p_y$  იმპულსის განუზღვრელობასთანაა დაკავშირებული (ხვრელში გავლის დროს),  $p$  წყალბადის დაცემული ატომების იმპულსია.  $\Delta(\delta)$  ფუნქციას აქვს მინიმუმი, როდესაც  $\delta \approx \sqrt{\hbar / mv} = 0,01$  ნმ;

6.76. შრედინგერის განტოლების ამოხსნას ვეძებთ შემდეგი სახით  $\Psi = \psi(x) \cdot f(t)$ . ამ ფუნქციის ჩასმა საწყის განტოლებაში და  $x$  და  $t$  ცვლადების განცალკევება მოგვცემს ორ განტოლებას. მათი ამოხსნა:  $\psi(x) \sim e^{ikx}$ , სადაც  $k = \sqrt{2mE} / \hbar$ ,  $E$  ნაწილაკის ენერგიაა, ხოლო  $f(t) \sim e^{-i\omega t}$ , სადაც  $\omega = E/\hbar$ . მივიღებთ:  $\Psi = ae^{i(kx - \omega t)}$ , სადაც  $a$  რომელიმე მუდმივაა.

$$6.77. P = 1/3 + \sqrt{3/2}\pi = 0,61.$$

$$6.78. \psi = \begin{cases} A \cos(\pi nx/l), & \text{თუ } n=1, 3, 5, \dots, \\ A \sin(\pi nx/l), & \text{თუ } n=2, 4, 6, \dots \end{cases}$$

$$\text{აქ } A = \sqrt{2/l}.$$

$$6.80. dN/dE = (l/\pi \hbar) \sqrt{m/2E}; \text{ როცა } E=1 \text{ ევ, მაშინ } dN/dE = 0,8 \cdot 10^7 \text{ დონე/ევ.}$$

6.81. ა) ამ შემთხვევაში შრედინგერის განტოლებას აქვს შემდეგი სახე:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + k^2 \psi = 0, \quad k^2 = 2mE/\hbar^2.$$

კოორდინატთა სათავედ ავირჩიოთ ორმოს ერთ-ერთი კუთხე. პირობის თანახმად, ორმოს გვერდებზე  $\psi(x, y)$  ფუნქცია უნდა ეთანაბრებოდეს ნულს, ამიტომ ორმოს შიგნით ის შეიძლება ვეძებოთ ასეთი სახით  $\psi(x, y) = a \sin k_1 x + \sin k_2 y$ , ვინაიდან ორ გვერდზე ( $x=0$  და  $y=0$ )  $\psi=0$ .  $k_1$  და  $k_2$  შესაძლო მნიშვნელობებს ვიპოვით ორმოს მოპირდაპირე გვერდებზე  $\psi$ -ის ნულთან გათანაბრების პირობიდან:

$$\psi(l_1, y) = 0, \quad k_1 = \pm(\pi/l_1) n_1, \quad n_1 = 1, 2, 3, \dots,$$

$$\psi(x, l_2) = 0, \quad k_2 = \pm(\pi/l_2) n_2, \quad n_2 = 1, 2, 3, \dots,$$

ტალღური ფუნქციის ჩასმა შრედინგერის განტოლებაში მოგვცემს  $k_1^2 + k_2^2 = k^2$ , საიდანაც

$$E_{n_1 n_2} = (\pi^2 / l_1^2 + \pi^2 / l_2^2) \hbar^2 / 2m.$$

ბ) 9,87, 24,7, 39,5 და 49,4 ( $\hbar^2 / ml^2$  ერთეულებში).

$$6.82. P = 1/3 - \sqrt{3/4}\pi = 19,5\%.$$

6.83. ა)  $E = (\pi^2 / l_1^2 + \pi^2 / l_2^2) \hbar^2 / 2ma^2$ , სადაც  $n_1, n_2, n_3$  ნულისაგან განსხვავებული მთელი რიცხვებია; ბ)  $\Delta E = \pi^2 \hbar^2 / ma^2$ ; გ) მე-6 ლონისათვის  $n_1^2 + n_2^2 + n_3^2 = 14$ , ხოლო  $E = 7\pi^2 \hbar^2 / ma^2$ ; მდგომარეობათა რიცხვი ექვსის ტოლია (ის ეთანაბრება 1, 2, 3 სამეულის გადანაცვლებათა რიცხვს).

6.84. შრედინგერის განტოლება ვაინტეგროთ  $x$  კოორდინატის მცირე ინტერვალზე, რომლის შიგნით არის  $U(x)$  ნახტომი, მაგალითად,  $x=0$  წერტილში:

$$\frac{\partial \psi}{\partial x}(+\delta) - \frac{\partial \psi}{\partial x}(-\delta) = \int_{-\delta}^{+\delta} \frac{2m}{\hbar^2} (E - U) \psi dx.$$

$U$  ნახტომის სასრულობის გამო, როდესაც  $\delta \rightarrow 0$  ინტეგრალიც მიისწრაფის ნულისაკენ.

6.85. ა) შრედინგერის განტოლება ჩავწეროთ ორი არისათვის:

$$0 < x < l, \quad \psi_1' + k^2 \psi_1 = 0, \quad k^2 = 2mE/\hbar^2.$$

$$x > l, \quad \psi_2'' - \kappa^2 \psi_2 = 0, \quad \kappa^2 = 2m(U_0 - E)/\hbar^2.$$

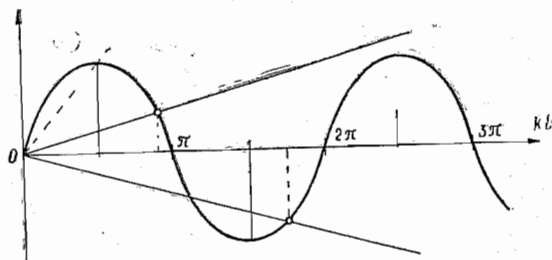
მათი ზოგადი ამოხსნები:

$$\psi_1(x) = a \sin(kx + \alpha), \quad \psi_2(x) = b e^{-\kappa x} + e^{\kappa x}$$

უნდა აკმაყოფილებდნენ სტანდარტულ პირობებს.  $\psi_1(0) = 0$  პირობიდან და ტალღური ფუნქციის სასრულობის მოთხოვნიდან გამომდინარეობს, რომ  $\alpha = 0$  და  $e = 0$ . დაბოლოს  $x = l$  წერტილში  $\psi(x)$  ფუნქციისა და მისი წარმოებულის უწყვეტობიდან გამომდინარე, მივიღებთ  $\operatorname{tg} kl = -k/\kappa$ , საიდანაც

$$\sin kl = \pm kl \sqrt{\hbar^2 / 2ml^2 U_0}.$$

თუ გამოვსახავთ გრაფიკულად უკანასკნელი განტოლების მარცხენა და მარჯვენა მხარეს (ნახ. 48). მივიღებთ წრფისა და სინუსოიდის გადა-



ნახ. 48.

კვეთის წერტილებს. ამ დროს  $E$  ენერგიის საკუთარი მნიშვნელობების შესაბამისი მოცემული განტოლების ფესვები შესაბამებიან გადაკვეთის იმ წერტილებს  $(kl)_i$ , რომელთათვისაც  $\operatorname{tg}(kl)_i < 0$ , ე. ი. ამ განტოლების ფესვები წრეწირის ლუწ მეთხედვებში იმყოფებიან (ეს უბნები აბსცისათა-ლერძზე მუქი მონაკვეთებითაა გამოყოფილი ნახაზზე), გრაფიკიდან ჩანს, რომ განტოლების ფესვები, ე. ი. ნაწილაკის ბმული მდგომარეობები ყოველთვის არ არსებობენ. წყვეტილი ხაზით ნაჩვენებია წრფის ზღვრული მდებარეობა, ბ)  $(l^2 U_0)_{\text{კრიტ}} = \pi^2 \hbar^2 / 8m$ ,  $(l^2 U_0)_{\text{ნაკრიტ}} = (2n-1)\pi^2 \hbar^2 / 8m$ .

6.86. დავუშვათ, რომ  $P_a$  და  $P_i$  ნაწილაკის ყოფნის ალბათობებია ორმოს შიგნით და გარეთ.

მაშინ

$$\frac{P_a}{P_i} = \frac{\int_0^l b^2 e^{-2\kappa x} dx}{\int_0^l a^2 \sin^2 kx dx} = \frac{2}{2+3\pi},$$

სადაც  $b/a$  შეფარდება განისაზღვრება  $\psi_1(l) = \psi_2(l)$  პირობიდან. თუ გავითვალისწინებთ, რომ  $P_a + P_i = 1$ , მაშინ  $P_a = 2/(4+3\pi) = 14,9\%$ ,

ნაწილაკის ყოფნის ალბათობა იმ არეში, სადაც მისი ენერგია  $E < U$ , წარმოადგენს წმინდა კვანტურ ეფექტს. ეს არის ნაწილაკის ტალღური თვისებების შედეგი, რომელიც გამორიცხავს ერთდროულად კოორდინატისა და იმპულსის ზუსტ მნიშვნელობებს და, ამრიგად, ნაწილაკის სრული ენერგიის დაყოფას პოტენციურ და კინეტიკურ ენერგიებად. უკანასკნელი შეიძლება გაკეთდეს მხოლოდ განუზღვრელობის თანაფარდობით მოცემული სიზუსტის ფარგლებში.

6.87. მითითებული ჩასმის შედეგად მივიღებთ:

$$\chi'' + k^2 \chi = 0, \quad \text{სადაც } k^2 = 2mE/\hbar^2.$$

ამ განტოლების ამოხსნას ვეძებთ შემდეგი სახით  $\chi = a \sin(kr + \alpha)$ .  $r = 0$  წერტილში  $\psi$  ტალღური ფუნქციის სასრულობის მოთხოვნიდან გამომდინარეობს, რომ  $\alpha = 0$ . ამრიგად,  $\psi = (a/r) \sin kr$ .  $\psi(r_0) = 0$  სასაზღვრო პირობიდან მივიღებთ  $kr_0 = n\pi$ , სადაც  $n = 1, 2, \dots$  აქედან

$$E_n = n^2 \pi^2 \hbar^2 / 2mr_0^2.$$

$$6.88. \text{ ა) } \psi(r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi r_0}} \frac{\sin(n\pi r/r_0)}{r}, \quad n = 1, 2, \dots,$$

ბ)  $r_{\text{უკრ}} = r_0/2$ ; 50%.

6.89. ა) შრედინგერის განტოლების ამოხსნები  $\psi(r)$  ფუნქციისათვის:

$$r < r_0, \quad \chi_1 = A \sin(kr + \alpha), \quad \text{სადაც } k = \sqrt{2mE}/\hbar;$$

$$r > r_0, \quad \chi_2 = B e^{\kappa r} + C e^{-\kappa r}, \quad \text{სადაც } \kappa = \sqrt{2m(U_0 - E)}/\hbar.$$

მთელ სივრცეში  $\psi(r)$  ფუნქციის შემოსაზღვრულობის მოთხოვნიდან გამომდინარეობს, რომ  $\alpha = 0$ ,  $B = 0$ . ამრიგად;

$$\psi_1 = A \frac{\sin kr}{r}, \quad \psi_2 = C \frac{e^{-\kappa r}}{r}.$$

$r = r_0$  წერტილში  $\psi$  ფუნქციისა და მისი წარმოებულის უწყვეტობის პირობიდან მივიღებთ  $\operatorname{tg} kr_0 = -k/\kappa$ , ან

$$\sin kr_0 = \pm \sqrt{\hbar^2 / 2m r_0^2 U_0} \kappa r_0.$$

ეს განტოლება, როგორც 6.85 ამოცანის ამოხსნაშია ნაჩვენები, განსაზღვრავს ენერგიის საკუთარი მნიშვნელობების დისკრეტულ სპექტრს.

ბ)  $r_0^2 U_0 = \pi^2 \hbar^2 / 8m$ .

6.90.  $\alpha = m\omega / 2\hbar$ ,  $E = \hbar\omega / 2$ , სადაც  $\omega = \sqrt{k/m}$ .

6.91.  $E = -me^4 / 8\hbar^2$ , ე. ი.  $n=2$  მთავარი კვანტური რიცხვის მქონე დონე.

6.92. ა) ელექტრონის ყოფნის ალბათობა ბირთვიდან  $r$ ,  $r+dr$  მანძილზე  $dP = \psi^2(r) (4\pi r^2 dr)$ .  $dP/dr$  ფუნქციის მაქსიმუმის პირობიდან მივიღებთ:  $r_{\max} = r_1$ ; ბ)  $\langle F \rangle = 2e^2/r_1^3$ ; გ)  $\langle U \rangle = -e^2/r_1$ .

6.93.  $\varphi_0 = \int (\rho/r) 4\pi r^2 dr = -e/r_1$ , სადაც  $\rho = -e\psi^2$  მუხტის მოცულობითი სიმკვრივეა,  $\psi$  — ნორმირებული ტალღური ფუნქცია.

6.94. ა) შრედინგერის განტოლების ამოხსნები ჯებირის საზღვრის შარტხნივ და მარჯვნივ ჩაფეხრით შემდეგი სახით:

$$x < 0, \psi_1(x) = a_1 e^{ik_1 x} + b_1 e^{-ik_1 x}, \text{ სადაც } k_1 = \sqrt{2mE} / \hbar,$$

$$x > 0, \psi_2(x) = a_2 e^{ik_2 x} + b_2 e^{-ik_2 x}, \text{ სადაც } k_2 = \sqrt{2m(E-U_0)} / \hbar.$$

მივიღოთ, რომ დაცემული ტალღა  $a_1$  ამპლიტუდით ხასიათდება, არეკვლილი კი —  $b_2$  ამპლიტუდით. ვინაიდან  $x > 0$  არეში მხოლოდ გამგლევი ტალღა არსებობს, ამიტომ  $b_2 = 0$ . არეკვლის კოეფიციენტი  $R$  წარმოადგენს არეკვლილ ნაწილაკთა ნაკადის შეფარდებას დაცემულ ნაკადთან, ან შესაბამისი ტალღების ამპლიტუდების კვადრატების შეფარდებას.  $\psi$  ფუნქციისა და მისი წარმოებულის უწყვეტობის პირობიდან  $x=0$  წერტილში, გვექნება:  $a_1 + b_1 = a_2$  და  $a_1 - b_1 = (k_2/k_1)a_2$ , საიდანაც

$$R = (b_1/a_1)^2 = (k_1 - k_2)^2 / (k_1 + k_2)^2.$$

ბ)  $E < U_0$  შემთხვევისათვის შრედინგერის განტოლების ამოხსნას ჯებირის მარჯვნივ აქვს შემდეგი სახე:

$$\psi_2(x) = a_2 e^{\kappa x} + b_2 e^{-\kappa x}, \text{ სადაც } \kappa = \sqrt{2m(U_0 - E)} / \hbar.$$

თუ  $\psi(x)$  სასრულია, მაშინ  $a_2 = 0$ . ჯებირის ქვევით ნაწილაკის ყოფნის ალბათობის სიმკვრივე  $P_2(x) = \psi_2^2(x) \sim e^{-2\kappa x}$ . აქედან  $x_{\text{ფ}} = 1/2\kappa$ .

6.95. ა)  $D \approx \exp \left[ -\frac{2l}{\hbar} \sqrt{2m(U_0 - E)} \right];$

ბ)  $D \approx \exp \left[ -\frac{8l \sqrt{2m}}{3\hbar U_0} (U_0 - E)^{3/2} \right].$

6.96.  $D \approx \exp \left[ -\frac{\pi l}{\hbar} \sqrt{\frac{2m}{U_0}} (U_0 - E) \right].$

6.97.  $-0,41 S$  — თერმისათვის და  $-0,04 P$  — თერმისათვის.

6.98.  $\alpha = \sqrt{\hbar R / (E_0 - e\varphi_1)} - 3 = -0,88.$

6.99.  $E_{33} = \hbar R / (\sqrt{R\lambda_1\lambda_2/2\pi c\Delta\lambda} - 1)^2 = 5,3 \text{ ევ}.$

6.100.  $0,82 \text{ მკმ } (3S \rightarrow 2P) \text{ და } 0,63 \text{ მკმ } (2P \rightarrow 2S).$

6.101.  $\Delta E = 2\pi\hbar c\Delta\lambda/\lambda^2 = 2,0 \text{ მევ}.$

6.102.  $\Delta\omega = 1,05 \cdot 10^{14} \text{ წმ}^{-1}.$

6.103.  $3S_{1/2}, 3P_{1/2}, 3P_{3/2}, 3D_{3/2}, 3D_{5/2}.$

6.104. ა)  $1, 2, 3, 4, 5$ ; ბ)  $0, 1, 2, 3, 4, 5, 6$ ; გ)  $1/2, 3/2, 5/2, 7/2, 9/2.$

6.105.  $^4P$  მდგომარეობისათვის:  $\hbar\sqrt{3}/2, \hbar\sqrt{15}/2$  და  $\hbar\sqrt{35}/2$ ;  $^5D$  მდგომარეობისათვის:  $0, \hbar\sqrt{2}, \hbar\sqrt{6}, \hbar\sqrt{12}, \hbar\sqrt{20}.$

6.106. ა)  $^2F_{7/2}, M_{\text{მაქს}} = \hbar\sqrt{63}/2$ ; ბ)  $^2F_4, M_{\text{მაქს}} = 2\hbar\sqrt{5}$

6.107.  $F$ -მდგომარეობაში  $M_s = \hbar\sqrt{6}$ ;  $D$ -მდგომარეობისათვის შეიძლება მხოლოდ დადგინდეს, რომ  $M_s \geq \hbar\sqrt{6}.$

6.108.  $3, 4, 5.$

6.109. ა)  $1, 3, 5, 7, 9$ ; ბ)  $2, 4, 6$ ; გ)  $5, 7, 9.$

6.110.  $31^\circ.$

6.111.  $^3D_2.$

6.112.  $^1P_1, ^1D_2, ^1F_3, ^3P_{0,1,2}, ^3D_{1,2,3}, ^3F_{2,3,4}.$

6.113. იგივე, რაც წინა ამოცანაში.

6.114. მეორე და მესამე.

6.115.  $g = 4 + 6 = 10.$

6.116.  $4, 7$  და  $10.$

6.117.  $^3F_3,$

6.118.  $\Delta S.$

6.119. ა)  $^4S_{3/2}$ ; ბ)  $^3P_2.$

6.120. ა)  $^4F_{3/2}, \hbar\sqrt{15}/2$ ; ბ)  $^4F_{9/2}, \hbar 3\sqrt{11}/2.$

6.121. ა) ორი  $d$ -ელექტრონი; ბ) ხუთი  $p$ -ელექტრონი; გ) ხუთი  $d$ -ელექტრონი.

6.122. ა)  $^3P_0$ ; ბ)  $^4F_{9/2}.$

6.123.  $^4F_{3/2}$

6.124.  $\mu = \mu_B \sqrt{35} (^6S_{5/2}).$

6.125.  $\eta = n^2 e^{-\hbar\omega/kT} = 3 \cdot 10^{-17}$ , სადაც  $\omega = R(1 - 1/n^2).$   
27, ი. იროდოვი

6.126.  $N/N_0 = (g/g_0) e^{-\hbar\omega/kT} = 1,14 \cdot 10^{-4}$ , სადაც  $g$  და  $g_0$  წარმოადგენენ  $3P$  და  $3S$  ღონეების სტატისტიკულ წონებს (გადაგვარების ჯერადობა) შესაბამისად ( $g=6$ ,  $g_0=2$ ).

6.127.  $\tau = l/v \ln \eta = 1,3$  მკწმ.

6.128.  $N = \lambda \tau P / 2\pi c \hbar = 7 \cdot 10^9$ ,

6.129.  $\tau = (n \hbar \omega / P) (g/g_0) e^{-\hbar\omega/kT} = 65$  ნწმ, სადაც  $g$  და  $g_0$  რეზონანსული და ძირითადი ღონეების გადაგვარების ჯერადობებია.

6.130. ა)  $P_{\text{ნე}}/P_{\text{მ}} = 1/(e^{\hbar\omega/kT} - 1) \approx 10^{-34}$ , სადაც  $\omega = \frac{3}{4} R$ ;  
ბ)  $T = 1,7 \cdot 10^5 K$ .

6.131. დავუშვათ, რომ გამავალი სინათლის ინტენსივობაა  $I$ . ამ სიდიდის შემცირება  $dx$  სისქის ნივთიერების ფენის გავლის შემდეგ ტოლია

$$-dI = \kappa I dx = (N_1 B_{12} - N_2 B_{21}) (I/c) \hbar \omega dx,$$

სადაც  $N_1$  და  $N_2$  ატომთა კონცენტრაციაა ქვედა და ზედა ღონეებზე,  $B_{12}$  და  $B_{21}$  აინშტაინის კოეფიციენტებია, აქედან

$$\kappa = (\hbar \omega / c) N_1 B_{12} (1 - g_1 N_2 / g_2 N_1).$$

შემდეგ უნდა გავითვალისწინოთ ბოლცმანის განაწილება და ის ფაქტი, რომ  $\hbar \omega \gg kT$  (ამ დროს  $N_1 \approx N_0$ ,  $N_0$  ატომების მთლიანი კონცენტრაცია).

6.132.  $\Delta \lambda_{\text{გო}} / \Delta \lambda_{\text{გფ}} \approx 4\pi \tau \nu_{\text{გფ}} / \lambda \approx 10^3$ , სადაც  $\tau \nu_{\text{გფ}} = \sqrt{2RT/M}$ .

6.133.  $\lambda = 154$  კმ.

6.134. ა) 843 კმ  $\Delta L$ -თვის, 180 კმ  $C_0$ -თვის; ბ)  $\approx 5$  კევ.

6.135. სამი.

6.136.  $U = 15$  კვ.

6.137. კი.

6.138.  $Z = 1 + 2\sqrt{(n-1)eU_1/3\hbar R(n-U_1/U_2)} = 29$ ,

6.139.  $Z = 1 + \sqrt{4\Delta\omega/3R} = 22$ . ტიტანი.

6.140.  $E_{\text{გფ}} = \frac{3}{4} \hbar R (Z-1)^2 + 2\pi c \hbar / \lambda_L = 5,5$  კევ.

6.141.  $E_L = \hbar \omega / (2\pi c / \omega \Delta\lambda - 1) \approx 0,5$  კევ, სადაც  $\omega = \frac{3}{4} R (Z-1)^2$ .

6.142.  $T = \frac{3}{4} \hbar R (Z-1)^2 - 2\pi c \hbar / \lambda_K = 1,45$  კევ,  $v = 2,26 \cdot 10^7$  მ/წმ.

6.143. ა)  $g=2$ , სინგლეტური მდგომარეობის გამოკლებით, სადაც  $g=0/0$ ; ბ)  $g=1$ .

6.144. ა)  $-2/3$ ; ბ) 0; გ) 1; დ)  $5/2$ ; ე) 0/0.

6.145. ა)  $\sqrt{12} \mu_B$ ; ბ)  $2\sqrt{3/5} \mu_B$ ; გ)  $(8/\sqrt{3}) \mu_B$ .

6.146.  $M_s = 2\sqrt{3} \hbar$ .

6.147.  $\mu = 3\sqrt{3} \mu_B$ .

6.148.  $\mu = 3\sqrt{7/5} \mu_B$ .

6.149.  $\mu = (5\sqrt{5}/2) \mu_B$ .

6.150.  $M = \hbar\sqrt{3}/2$ .

6.151.  ${}^5F_1$ .

6.152.  $\omega = \mu_B g B / \hbar = 1,2 \cdot 10^{10}$  წმ $^{-1}$ , სადაც  $g$  ლანდეს ფაქტორია.

6.153.  $F_{\text{გფ}} = \mu_B g_{\text{გფ}} / \partial B / \partial z = (3/\sqrt{8}) \pi I g J \mu_B / cr^2 = 4 \cdot 10^{-27}$  გ.

6.154.  $F = 2J \mu_B / cr^2 = 3 \cdot 10^{-26}$  გ.

6.155.  $dB/dz = 2T \partial / \partial g J \mu_B l_1 (l_1 + 2l_2) = 15$  კგს/სმ.

6.156. ა) არ გაიხლიჩება; ბ) ექვსად; გ) არ გაიხლიჩება ( $g=0$ ).

6.157. ა) 58 მკევ; ბ)  $\Delta E = 2g J \mu_B B = 145$  მკევ.

6.158. ა) მარტივი; ბ) რთული; გ) მარტივი; დ) რთული (აქ ორივე თერმისათვის ლანდეს ფაქტორი ერთი და იგივეა).

6.159.  $L = \Delta E / 2\mu_B B = 3$ ;  ${}^1F_3$ .

6.160.  $\Delta\lambda = \lambda^2 e B / 2\pi m c^2 = 35$  პმ.

6.161.  $B_{\text{გფ}} = 4,0$  კგს.

6.162.  $B = \hbar \Delta\omega / g \mu_B = 3,0$  კგს., სადაც  $g$  წარმოადგენს ლანდეს ფაქტორს  $D$ -თერმისათვის.

6.163. ა) 2:1 (ლანდეს შესაბამისი ფაქტორების შეფარდება);  
ბ)  $B = 2\pi c \hbar \Delta\lambda / g \mu_B \eta \lambda^2 = 5,5$  კგს.

6.164.  $\Delta\omega = (\pm 1, 3, \pm 4, 0, \pm 6, 6) \cdot 10^{10}$  წმ $^{-1}$ , ექვსი კომპონენტი.

6.165. ა) ექვსი (1) და ოთხი (2); ბ) ცხრა (1) და ექვსი (2).

6.166.  $\Delta\omega = (m_1 g_1 - m_2 g_2)_{\text{გფ}} e B / m c = 1,0 \cdot 10^{11}$  წმ $^{-1}$ .

6.167.  $\omega = 4\sqrt{2} \hbar / m d^2 = 1,57 \cdot 10^{11}$  წმ $^{-1}$ , სადაც  $m$  მოლეკულის მასაა.

6.168. 2 და 3:

6.169.  $M = \sqrt{m d^2 E / 2} = 3,5 \hbar$ , სადაც  $m$  მოლეკულის მასაა.

6.170.  $I = \hbar / \Delta\omega = 1,93 \cdot 10^{-40}$  გ·სმ $^2$ ,  $d = 112$  პმ.

6.171. 13 ღონე.

6.172.  $N \approx \sqrt{2I\omega / \hbar} = 33$  ხაზი.

6.173.  $dN/dE \approx \sqrt{I/2\hbar^2 E}$ , სადაც  $I$  არის მოლეკულის ინერციის მომენტი, როცა  $J=10$ ,  $dN/dE = 1,0 \cdot 10^4$  ღონე/ევ.

6.174.  $E_{\text{გფ}} / E_{\text{გფ}} = \alpha \mu d^2 / \hbar$ , სადაც  $\mu$  მოლეკულის დაყვანილი მასაა;  
ა) 36; ბ)  $1,7 \cdot 10^2$ ; გ)  $2,9 \cdot 10^3$ .

6.175.  $N_{\text{ახ}}/N_{\text{ბ}} = 1/3 e^{-\hbar(\omega-2B)/kT} = 3,1 \cdot 10^{-4}$ , სადაც  $B = \hbar/2I$ .  $I$  მოლეკულის ინერციის მომენტი.

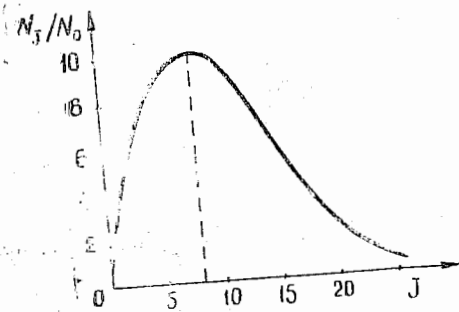
6.176.  $J_m = \frac{1}{2} \left( \frac{2d}{\hbar} \sqrt{kT\mu} - 1 \right) = 8$ , სადაც  $\mu$  მოლეკულის დაჟვანილი მასაა,  $d$ —მანძილი ბირთვებს შორის.  $N_1/N_0$  ის  $J$ -ზე დამოკიდებული გრაფიკი 49-ე ნახაზზეა მოცემული.

6.177. განსაზღვრის თანახმად

$$\langle E \rangle = \frac{\sum E_v \exp(-E_v/kT)}{\sum \exp(-E_v/kT)} = \frac{\sum E_v \exp(-\alpha E_v)}{\sum \exp(-\alpha E_v)},$$

სადაც  $E_v = \hbar\omega(v+1/2)$ ,  $\alpha = 1/kT$ . აქ აჯამვა სრულდება  $v$ -ს მიხედვით 0-დან  $\infty$ -მდე შემდეგნაირად:

$$\begin{aligned} \langle E \rangle &= -\frac{\partial}{\partial \alpha} \ln \sum \exp(-\alpha E_v) = -\frac{\partial}{\partial \alpha} \ln \frac{\exp(-\alpha \hbar\omega/2)}{1 - \exp(-\alpha \hbar\omega)} = \\ &= \frac{\hbar\omega}{2} + \frac{\hbar\omega}{\exp(\hbar\omega/kT) - 1}; \\ C_{V_{\text{ახ}}} &= N \frac{\partial \langle E \rangle}{\partial T} = \\ &= \frac{R(\hbar\omega/kT)^2 e^{\hbar\omega/kT}}{(e^{\hbar\omega/kT} - 1)^2} = \\ &= 1,2 \cdot 10^{-4} R, \end{aligned}$$



ნახ. 49.

სადაც  $R$  გაზების უნივერსალური მუდმივაა.

6.178.  $d = \sqrt{2\hbar/\mu\Delta\omega} = 0,13$  ნმ, სადაც  $\mu$  მოლეკულის დაჟვანილი მასაა.

6.179.  $\lambda = \lambda_0/(1 \mp \alpha\lambda_0/2\pi c) = 423$  და  $387$  ნმ.

6.180.  $\omega = \pi c(\lambda_5 - \lambda_0)/\lambda_5 \lambda_0 = 1,37 \cdot 10^{14}$  წმ<sup>-1</sup>,  $\alpha = 4,96$  ნ/სმ.

6.181.  $I_0/I_5 = \exp(-\hbar\omega/kT) = 0,067$ . გაიზრდება 3,9-ჯერ.

6.182.  $dN_\omega = (l/\pi v) d\omega$ .

6.183.  $dN_\omega = (S/2\pi v^2) \omega d\omega$ .

6.184.  $dN_\omega = (V/\pi^2 v^3) \omega^2 d\omega$ .

6.185. ა)  $\Theta = (\hbar/k)\pi v n_0$ ; ბ)  $\Theta = (\hbar/k) v \sqrt{4\pi n_0}$ ;

გ)  $\Theta = (\hbar/k) v \sqrt{6\pi^2 n_0}$ .

6.186.  $\Theta = (\hbar/k) \sqrt{18\pi^2 n_0} / \left( v_{||}^{-3} + 2v_{\perp}^{-3} \right) = 470$  K, სადაც  $n_0$  ატომთა

კონცენტრაციაა.

6.187.  $v \approx \hbar\Theta/\hbar \sqrt{6\pi^2 n_0} = 3,4$  კმ/წმ, სადაც  $n_0$  ატომთა კონცენტრაციაა. ცხრილის მნიშვნელობებია:  $v_{||} = 6,3$  კმ/წმ,  $v_{\perp} = 3,1$  კმ/წმ.

6.188. ერთი მოლი „კრისტალის“ რხევითი ენერგიაა

$$U = R\Theta \left[ \frac{1}{4} + \left( \frac{T}{\Theta} \right)^2 \int_0^{\Theta/T} \frac{x dx}{e^x - 1} \right],$$

სადაც  $x = \hbar\omega/kT$ , აქედან მოლური სითბოტევადობა

$$C = R \left( \frac{2T}{\Theta} \int_0^{\Theta/T} \frac{x dx}{e^x - 1} - \frac{\Theta/T}{e^{\Theta/T} - 1} \right).$$

როცა  $T \gg \Theta$  სითბოტევადობა  $C \approx R$ .

6.189. ა)  $dN/d\omega = 2l/\pi a \sqrt{\omega_{\text{აკუს}}^2 - \omega^2}$ ; ბ)  $N = l/a$ , ე. ი. უდრის ატომების რიცხვს ჯაჭვში.

6.190.  $U_0 = \epsilon R\Theta/\epsilon\mu = 48,6$  ჯ/გ, სადაც  $\mu$  სპილენძის მოლური მასაა.

6.191. ა)  $\Theta \approx 220$  K; ბ)  $C \approx 10$  ჯ/(მოლი. K);

გ)  $\omega_{\text{აკუს}} = 4,1 \cdot 10^{13}$  წმ<sup>-1</sup>.

6.193. კი, ვინაიდან ამ ტემპერატურებზე სითბოტევადობა  $T^3$ -ის პროპორციულია.

6.194.  $\langle E \rangle = 3/8 \Theta$ .

6.195. იხ. ნახ. 50.

6.196.  $\hbar\omega_{\text{აკუს}} = 28$  მევ,

$\hbar k_{\text{აკუს}} \sim 10^{-19}$  გ. სმ/წმ.

6.197. ა)  $T_{\text{აკუს}} = (3\pi^2 n)^{2/3} \hbar^2/2m$ ;

ბ)  $\langle T \rangle = 3/5 T_{\text{აკუს}}$ .

6.198.  $\eta = 1 - 2^{-3/2} \approx 65\%$ .

6.199. 0,93.

6.200.  $\approx 3 \cdot 10^4$  K.

6.201.  $\Delta E =$

$$= 2\pi^2 \hbar^2 / mV (3\pi^2 n)^{1/3} = 2 \cdot 10^{-22}$$
 ევ.

6.202. ა)  $dn_v = (m^3/\pi^2 \hbar^3) v^2 dv$ ;

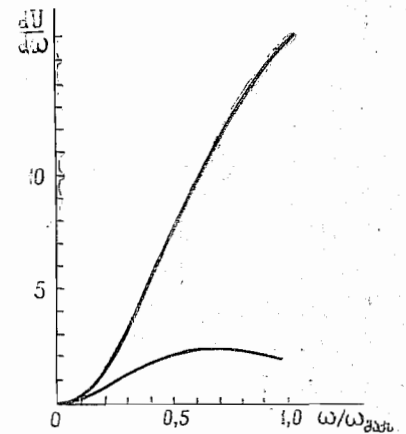
ბ)  $\langle v \rangle / v_{\text{აკუს}} = 3/4$ .

6.203.  $dn_\lambda = 8\pi \lambda^{-4} d\lambda$ .

6.204.  $p = 2/3 n \langle T \rangle = (\pi^3/9\pi \hbar^2/5m) n^{5/3} \approx 5 \cdot 10^4$  ატმ.

6.205.  $A = kT (\eta T/\Delta T - 2) = 4,5$  ევ.

6.206.  $n = \sqrt{1 + U_0/T} = 1,02$ , სადაც  $U_0 = T_{\text{აკუს}} + A$ ,



ნახ. 50.



$T_{\text{ავს}} = (3\pi^2 n)^{2/3} \hbar^2 / 2m$ .  $A$  გამოსვლის მუშაობაა.

$$6.207. E_{\text{ავს}} = \frac{2kT_1 T_2}{T_2 - T_1} \ln \eta = 0,33 \text{ ევ.}$$

$$6.208. \alpha = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial T} = - \frac{\pi c \hbar}{k T^2 \lambda_5} = -0,05 K^{-1}, \text{ სადაც } \rho \sim e^{\Delta E_0 / 2kT},$$

$\Delta E_0$  არის აკრძალული ზონის სიგანე.

$$6.209. \Delta E = -2k \frac{\Delta \ln \sigma}{\Delta (T^{-1})} = 1,2 \text{ და } 0,06 \text{ ევ.}$$

$$6.210. \tau = t / \ln \frac{(\rho - \rho_1) \rho_2}{(\rho - \rho_2) \rho_1} = 0,01 \text{ წმ.}$$

$$6.211. n = \hbar B U / e \hbar \rho U_H = 5 \cdot 10^{15} \text{ სმ}^{-3}, u_0 = U_H / \hbar B U = 0,05 \text{ მ}^2 / (\text{ვ. წმ}),$$

$$6.212. |u_0 - u_0^+| = 1/\eta B = 0,20 \text{ მ}^2 / (\text{ვ. წმ}).$$

$$6.213. n^+ / n^- = \eta^2 = 4,0$$

$$6.214. \text{ა) } P = 1 - \exp(-\lambda t); \text{ბ) } \tau = 1/\lambda.$$

$$6.215. \text{მიახლოებით } 1/4.$$

$$6.216. 1,2 \cdot 10^{15}.$$

$$6.217. \tau \approx 16 \text{ წმ.}$$

$$6.218. T = 5,3 \text{ დღე-ღამე.}$$

$$6.219. 4,6 \cdot 10^2 \text{ ნაწილაკი/წმ.}$$

$$6.220. \lambda = -(1/t) \ln(1-\eta) \approx \eta/t = 1,1 \cdot 10^{-5} \text{ წმ}^{-1}, \tau = 1/\lambda = 1,0 \text{ წელი.}$$

$$6.221. T = 4,5 \cdot 10^9 \text{ წელი, } A = 1,2 \cdot 10^4 \text{ დაშლა/წმ.}$$

$$6.222. 4,1 \cdot 10^3 \text{ წელი.}$$

$$6.223. \text{მიახლოებით } 2,0 \cdot 10^9 \text{ წელი.}$$

$$6.224. \text{შესაბამისად } 3,2 \cdot 10^{17} \text{ და } 0,8 \cdot 10^5 \text{ დაშლა/(წმ. გ).}$$

$$6.225. V = (A/A') \exp(-t \ln 2/T) = 6 \text{ ლ.}$$

$$6.226. 0,19\%.$$

$$6.227. T_1 = 1,6 \text{ სთ, } T_2 = 9,8 \text{ სთ; } N_2 / N_1 = (T_2 / T_1) \exp(\ln A_2 - \ln A_1) = 10.$$

$$6.228. t = -(T / \ln 2) \ln(1 - A/q) = 9,5 \text{ დღე-ღამე.}$$

$$6.229. \text{ა) } N_2(t) = N_{10} \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t});$$

$$\text{ბ) } t_m = \frac{\ln(\lambda_1 / \lambda_2)}{\lambda_1 - \lambda_2}.$$

$$6.230. \text{ა) } N_2(t) = \lambda N_{10} t \exp(-\lambda t); \text{ბ) } t_m = 1/\lambda.$$

$$6.231. N_3(t) = N_{10} \left( 1 + \frac{\lambda_1 e^{-\lambda_2 t} - \lambda_2 e^{-\lambda_1 t}}{\lambda_2 - \lambda_1} \right).$$

$$6.232. \dot{N}_\beta = N_0 \lambda_1 \exp(-\lambda_1 t) = 0,72 \cdot 10^{11} \text{ ნაწილ./წმ,}$$

$\dot{N}_\alpha = N_0 (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \lambda_1 \lambda_2 / (\lambda_2 - \lambda_1) = 1,46 \cdot 10^{11} \text{ ნაწილ./წმ}$  აქ  $N_0$  არის  $\text{Bi}^{210}$  ბირთვების საწყისი რაოდენობა.

$$6.233. \text{ა) } \text{Pb}^{206}; \text{ბ) რვა } \alpha\text{-დაშლა და ექვსი } \beta\text{-დაშლა.}$$

$$6.234. v = \sqrt{2m_\alpha T_\alpha} / m = 3,4 \cdot 10^5 \text{ მ/წმ; } 0,020.$$

$$6.235. 1,6 \text{ მგჯ.}$$

$$6.236. 0,82 \text{ მგევ.}$$

$$6.237. \text{ა) } 6,1 \text{ სმ; ბ) შესაბამისად } 2,1 \cdot 10^5 \text{ და } 0,77 \cdot 10^5.$$

$$6.238. Q = \begin{cases} (M_\pi - M_\pi) c^2 & \beta^-\text{-დაშლისა და } K \text{ წატაცების დროს,} \\ (M_\pi - M_\pi - 2m) c^2 & \beta^+\text{-დაშლის დროს.} \end{cases}$$

$$6.239. 0,56 \text{ მგევ და } 47,5 \text{ ევ.}$$

$$6.240. 5 \text{ მგჯ.}$$

$$6.241. 0,32 \text{ და } 0,65 \text{ მგევ.}$$

$$6.242. T \approx 1/2 Q (Q + 2mc^2) / M_N c^2 = 0,11 \text{ ევ, სადაც } Q = (M_N - M_C - 2m) c^2, m\text{-ელექტრონის მასა.}$$

$$6.243. 40 \text{ კმ/წმ.}$$

$$6.244. 0,45 \text{ c, სადაც c არის სინათლის სიჩქარე.}$$

$$6.245. \Delta \varepsilon / \varepsilon = E / 2mc^2 = 3,6 \cdot 10^{-7}, \text{ სადაც } m \text{ არის ბირთვის მასა.}$$

$$6.246. v \approx \varepsilon / mc = 0,22 \text{ კმ/წმ, სადაც } m \text{ არის ბირთვის მასა.}$$

$$6.247. v = gh/c = 65 \text{ მკმ/წმ.}$$

$$6.248. h_{\text{ავს}} = \hbar^2 c^2 / g \varepsilon \tau = 4,6 \text{ მ.}$$

$$6.249. T = T_\alpha / [1 + (M - m)^2 / 4mM \cos^2 \theta] = 6,0 \text{ მგევ, სადაც } m \text{ და } M \text{ არის } \alpha\text{-ნაწილაკისა და ლითონის ბირთვის მასა.}$$

$$6.250. \text{ა) } \eta = 4mM / (m + M)^2 = 0,89; \text{ბ) } \eta = 2m / (m + M) = 2/3 \text{ აქ } m \text{ და } M \text{ ნეიტრონისა და დეიტონის მასებია.}$$

$$6.251. \vartheta_{\text{ავს}} = \arcsin(m_1 / m_2) = 30^\circ, \text{ სადაც } m_1 \text{ და } m_2 \text{ პროტონისა და დეიტონის მასებია.}$$

$$6.252. 2 \cdot 10^{11} \text{ კგ/სმ}^3, 1 \cdot 10^{38} \text{ ნუკლონი/სმ}^3.$$

$$6.253. \text{ა) } d; \text{ბ) } F^{17}; \text{გ) } \alpha; \text{დ) } \text{Cl}^{37}.$$

$$6.255. Be^8, E_{\text{ავს}} = 56,5 \text{ მგევ.}$$

$$6.256. \text{ა) } 8,0 \text{ მგევ; ბ) } 11,5 \text{ და } 8,7 \text{ მგევ; გ) } 14,5 \text{ მგევ.}$$

$$6.257. E_n - E_p = 0,22 \text{ მგევ.}$$

$$6.258. E = 20 \varepsilon_{Ne} = 2 \cdot 4 \varepsilon_\alpha - 12 \varepsilon_C = 11,9 \text{ მგევ, სადაც } \varepsilon \text{ ერთ ნუკლონზე მოსული ბმის ენერგიაა შესაბამის ბირთვში.}$$

- 6.259. ა) 8,0225 მ. ა. ე., ბ) 10,0135 მ. ა. ე.  
 6.260.  $Q = (E_3 + E_4) - (E_1 + E_2)$ .  
 6.261. ა)  $8,2 \cdot 10^{10}$  კგ,  $2,7 \cdot 10^6$  კგ; ბ) 1,5 კგ.  
 6.262.  $5,74 \cdot 10^7$  კგ;  $2 \cdot 10^4$  კგ.  
 6.263. 2,79 მგვე; 0,15 მგვე.  
 6.264.  $Q = 8\varepsilon_x - 7\varepsilon_{Li} = 17,3$  მგვე.  
 6.265.  $Q = (1 + \eta_p) T_p - (1 - \eta_\alpha) T_\alpha - 2 \sqrt{\eta_p \eta_\alpha T_p T_\alpha} \cos \vartheta = -1,2$  მგვე, სადაც  $\eta_p = m_p/m_Q$ ,  $\eta_\alpha = m_\alpha/m_O$ .  
 6.266. ა) -1,65 მგვე; ბ) 6,82 მგვე; გ) -2,79 მგვე; დ) 3,11 მგვე.  
 6.267.  $v_\alpha = 0,92 \cdot 10^7$  მ/წმ,  $v_{Li} = 0,53 \cdot 10^7$  მ/წმ.  
 6.268. 1,9 მგვე.  
 6.269.  $T_n = \frac{Q + (1 - m_\alpha/m_C)T}{1 + m_n/m_C} = 8,5$  მგვე.  
 6.270. 9,1 მგვე,  $170,5^\circ$ .  
 6.272.  $T \geq E_{\alpha\alpha} (m_p + m_d)/m_d = 3,3$  მგვე.  
 6.273. 1,89-დან 2,06 მგვე-მდე შუალედში.  
 6.274.  $Q = -^{11}_{12} T_{\Sigma} = -3,7$  მგვე.  
 6.275. შესაბამისად 1,88 და 5,75 მგვე.  
 6.276. 4,4 მგვე;  $5,3 \cdot 10^6$  მ/წმ.  
 6.277.  $T_\alpha = \frac{1}{m_3 + m_4} \left[ (m_4 - m_1) T - \frac{m_2 m_4}{m_1 + m_2} T_{\Sigma} \right] = 2,2$  მგვე,  
 სადაც  $m_1, m_2, m_3, m_4$  არის ნეიტრონის,  $C^{12}$ -ბირთვის,  $\alpha$ -ნაწილაკის და  $Be^9$ -ბირთვის მასები.  
 6.278.  $E_{\alpha\alpha}/2mc^2 = 0,06\%$ -ით, სადაც  $m$  ლეიტონის მასაა.  
 6.279.  $E = Q + ^2_3 T = 6,5$  მგვე.  
 6.280.  $E_i = E_{\alpha\alpha} + \frac{mc}{m_d + m_C} T_i = 16,7, 16,9, 17,5$  და  $17,7$  მგვე.  
 სადაც  $E_{\alpha\alpha}$  ლეიტონის ბმის ენერგიაა საშუალოდ ბირთვში.  
 6.281.  $\sigma = (M/N\rho d) \ln \eta = 2,5$  კბ, სადაც  $M$  კადმიუმის მოლური მასაა,  $N$ -ავოგადროს რიცხვი,  $\rho$ -კადმიუმის სიმკვრივე.  
 6.282.  $I_0/I = \exp[(2\sigma_1 + \sigma_2)nd] = 20$ , სადაც  $n$  მძიმე წყლის მოლეკულათა კონცენტრაციაა.  
 6.283.  $w = \{1 - \exp[-(\sigma_s + \sigma_a)nd]\} \sigma_s/(\sigma_s + \sigma_a) = 0,35$ , სადაც  $n$  რკინის ბირთვების კონცენტრაციაა.  
 6.284. ა)  $T = (w/k) \ln 2$ ; ბ)  $w = AT_e/It \ln 2 = 2 \cdot 10^{-3}$ .  
 6.285. ა)  $t = \eta/\sigma J = 3 \cdot 10^6$  წელი; ბ)  $N_{\text{ავ}} = J\sigma N_0 T/\ln 2 = 1,0 \cdot 10^{13}$ , სადაც  $N_0$  არის  $Au^{197}$  ბირთვების რაოდენობა კილიტაში.  
 6.286.  $N = (1 - e^{-\lambda t}) J n \sigma / \lambda$ .

- 6.287.  $J = Ae^{\lambda t} / \sigma N_0 (1 - e^{-\lambda t}) = 6 \cdot 10^9$  ნაწილ./ (სმ<sup>2</sup>. წმ), სადაც  $\lambda$  დაშლის მუდმივაა.  $N_0$ -კი  $Au$  ბირთვების რაოდენობა კილიტაში.  
 6.288.  $N = N_0 k t^{-1} = 1,3 \cdot 10^5$ , სადაც  $i$  არის თაობათა რიცხვი.  
 6.289.  $N = \nu P/E = 0,8 \cdot 10^{19}$  წმ<sup>-1</sup>.  
 6.290. ა)  $N/N_0 = 4 \cdot 10^2$ ; ბ)  $T = \tau/(k-1) = 10$  წმ.  
 6.291. შესაბამისად 0,05, 0,4 და 9 გვე.  
 6.292.  $\langle l \rangle = c\tau_0 \sqrt{\eta/(\eta+2)} = 15$  მ.  
 6.293.  $\tau_0 = lmc / \sqrt{T(T+2mc^2)} = 26$  ნწმ, სადაც  $m$  წარმოადგენს  $\pi$ -მეზონის უძრავობის მასას.  
 6.294.  $J/J_0 = \exp[-lmc/\tau_0 \sqrt{T(T+2mc^2)}] = 0,22$ , სადაც  $m$  არის  $\pi$ -მეზონის უძრავობის მასა.  
 6.295\*.  $T_\mu = (m_\pi - m_\mu)^2/2m_\pi = 4,1$  მგვე,  $E_\nu = 29,8$  მგვე.  
 6.296\*.  $T = [(m_\Sigma - m_n)^2 - m_\pi^2]/2m_\Sigma = 19,5$  მგვე.  
 6.297\*.  $T_{\text{ავ}} = (m_\mu - m_e)^2/2m_\mu = 52,5$  მგვე.  
 6.298\*.  $m = m_p + T + \sqrt{m_\pi^2 + T(T+2m_p)} = 1115$  მგვე,  $\Lambda$ -ნაწილაკი.  
 6.299\*.  $E_\nu = ^1/2 (m_\pi^2 - m_\mu^2) / (m_\pi + T) = 22$  მგვე.  
 6.300\*.  $m = \sqrt{m_\Sigma^2 + m_\pi^2 - 2(m_\Sigma + T_\Sigma)(m_\pi + T_\pi)} = 0,94$  გვე, ნეიტრონი.  
 6.301\*.  $T_\pi = m_\pi [\csc(\theta/2) - 1]$ ,  $E_\gamma = m_\pi/2 \sin(\theta/2)$ . როცა  $\theta = 60^\circ$ ,  $T_\pi = E_\gamma = m_\pi$ .  
 6.303\*.  $\cos(\theta/2) = 1/\sqrt{1+2m/T}$ , აქედან  $\theta = 99^\circ$ .  
 6.304\*. ა)  $E_{\text{ზღვ.}} = 4m_e = 2,04$  მგვე; ბ)  $E_{\text{ზღვ.}} = 2m_\pi (1 + m_\pi/m_p) = 320$  მგვე.  
 6.305\*. ა)  $T_{\text{ზღვ.}} = 6m_p = 5,6$  გვე; ბ)  $T_{\text{ზღვ.}} = m_\pi (4m_p + m_\pi)/2m_p = 0,28$  გვე.  
 6.306. ა) 0,90 გვე; ბ) 0,77 გვე.  
 6.307.  $S = -2$ ,  $Y = -1$ ,  $\Xi$ -ნაწილაკი.  
 6.308. აკრძალულია 1, 2 და 3.  
 6.309. აკრძალულია 2, 4 და 5.  
 6.310. ენერგეტიკულად (1); დანარჩენ პროცესებში მუდმივი არაა: ბარიონული მუხტი (2), ელექტრული მუხტი (3), უცნაურობა (4), ლეპტონური მუხტი (5) და (6)-ელექტრონული და მიონური.

\* ვარსკვლავით აღნიშნულ 6.295-6.305 ამოცანებში შემოკლებული აღნიშვნაა გამოყენებული;  $mc^2$  ნაცვლად  $m$ .

# დამატება

## 1. ძირითადი ტრიგონომეტრიული ფორმულები

$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$ $\sec^2 \alpha - \tan^2 \alpha = 1$ $\csc^2 \alpha - \cot^2 \alpha = 1$ $\sin \alpha \cdot \csc \alpha = 1$ $\cos \alpha \cdot \sec \alpha = 1$ $\tan \alpha \cdot \cot \alpha = 1$	$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cos \beta \pm \cos \alpha \sin \beta$ $\cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cos \beta \mp \sin \alpha \sin \beta$ $\tan(\alpha \pm \beta) = \frac{\tan \alpha \pm \tan \beta}{1 \mp \tan \alpha \cdot \tan \beta}$ $\cot(\alpha \pm \beta) = \frac{\cot \alpha \cot \beta \mp 1}{\cot \beta \pm \cot \alpha}$
$\sin \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + \cot^2 \alpha}}$ $\cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 \alpha}}$ $\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cos \alpha$ $\cos 2\alpha = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha$ $\tan 2\alpha = \frac{2 \tan \alpha}{1 - \tan^2 \alpha}$ $\cot 2\alpha = \frac{\cot^2 \alpha - 1}{2 \cot \alpha}$	$\sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$ $\sin \alpha - \sin \beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \sin \frac{\alpha - \beta}{2}$ $\cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$ $\cos \alpha - \cos \beta = -2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \sin \frac{\alpha - \beta}{2}$ $\tan \alpha \pm \tan \beta = \frac{\sin(\alpha \pm \beta)}{\cos \alpha \cos \beta}$ $\cot \alpha \pm \cot \beta = \pm \frac{\sin(\alpha \pm \beta)}{\sin \alpha \sin \beta}$
$\sin^2 \frac{\alpha}{2} = \frac{1 - \cos \alpha}{2}$ $\cos^2 \frac{\alpha}{2} = \frac{1 + \cos \alpha}{2}$	$2 \sin \alpha \sin \beta = \cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta)$ $2 \cos \alpha \cos \beta = \cos(\alpha - \beta) + \cos(\alpha + \beta)$ $2 \sin \alpha \cos \beta = \sin(\alpha - \beta) + \sin(\alpha + \beta)$
$\operatorname{sh} \alpha = \frac{e^\alpha - e^{-\alpha}}{2}$ $\operatorname{ch} \alpha = \frac{e^\alpha + e^{-\alpha}}{2}$	$\operatorname{th} \alpha = \frac{e^\alpha - e^{-\alpha}}{e^\alpha + e^{-\alpha}}$ $\operatorname{cth} \alpha = \frac{e^\alpha + e^{-\alpha}}{e^\alpha - e^{-\alpha}}$

## 2. სინუსების ცხრილი

$\varphi^\circ$	$0'$	$20'$	$40'$	$\varphi^\circ$	$0'$	$20'$	$40'$
0	0,0000	0,0058	0,0116	45	0,7071	0,7112	0,7153
1	0,0175	0,0233	0,0291	46	0,7193	0,7234	0,7274
2	0,0349	0,0407	0,0465	47	0,7314	0,7353	0,7393
3	0,0523	0,0581	0,0640	48	0,7431	0,7470	0,7504
4	0,0698	0,0756	0,0814	49	0,7547	0,7585	0,7622
5	0,0872	0,0929	0,0987	50	0,7660	0,7698	0,7735
6	0,1045	0,1103	0,1161	51	0,7771	0,7809	0,7844
7	0,1219	0,1276	0,1334	52	0,7880	0,7916	0,7951
8	0,1392	0,1449	0,1507	53	0,7986	0,8021	0,8056
9	0,1564	0,1622	0,1679	54	0,8090	0,8124	0,8158
10	0,1736	0,1794	0,1851	55	0,8192	0,8225	0,8258
11	0,1908	0,1965	0,2022	56	0,8290	0,8323	0,8355
12	0,2079	0,2136	0,2196	57	0,8387	0,8418	0,8450
13	0,2250	0,2306	0,2363	58	0,8480	0,8511	0,8542
14	0,2419	0,2476	0,2532	59	0,8572	0,8601	0,8631
15	0,2588	0,2644	0,2700	60	0,8660	0,8689	0,8718
16	0,2756	0,2812	0,2868	61	0,8746	0,8774	0,8802
17	0,2924	0,2979	0,3035	62	0,8829	0,8857	0,8884
18	0,3090	0,3145	0,3201	63	0,8910	0,8936	0,8962
19	0,3256	0,3311	0,3365	64	0,8988	0,9013	0,9038
20	0,3420	0,3475	0,3529	65	0,9063	0,9088	0,9112
21	0,3584	0,3638	0,3692	66	0,9135	0,9159	0,9182
22	0,3746	0,3800	0,3854	67	0,9205	0,9228	0,9250
23	0,3907	0,3961	0,4014	68	0,9272	0,9293	0,9315
24	0,4067	0,4120	0,4173	69	0,9336	0,9356	0,9377
25	0,4226	0,4279	0,4331	70	0,9397	0,9417	0,9436
26	0,4384	0,4436	0,4488	71	0,9455	0,9474	0,9492
27	0,4540	0,4592	0,4643	72	0,9511	0,9528	0,9546
28	0,4695	0,4746	0,4797	73	0,9563	0,9580	0,9596
29	0,4848	0,4899	0,4950	74	0,9613	0,9628	0,9644
30	0,5000	0,5050	0,5100	75	0,9659	0,9674	0,9689
31	0,5150	0,5200	0,5250	76	0,9703	0,9717	0,9730
32	0,5299	0,5348	0,5398	77	0,9744	0,9757	0,9769
33	0,5446	0,5495	0,5544	78	0,9781	0,9793	0,9805
34	0,5592	0,5640	0,5688	79	0,9816	0,9827	0,9838
35	0,5736	0,5783	0,5831	80	0,9848	0,9858	0,9868
36	0,5878	0,5925	0,5972	81	0,9877	0,9886	0,9894
37	0,6018	0,6065	0,6111	82	0,9903	0,9911	0,9918
38	0,6157	0,6202	0,6248	83	0,9925	0,9932	0,9939
39	0,6293	0,6338	0,6383	84	0,9945	0,9951	0,9957
40	0,6428	0,6472	0,6517	85	0,9962	0,9967	0,9971
41	0,6561	0,6604	0,6648	86	0,9976	0,9980	0,9983
42	0,6691	0,6734	0,6777	87	0,9986	0,9989	0,9992
43	0,6820	0,6862	0,6905	88	0,9994	0,9996	0,9997
44	0,6947	0,6988	0,7030	89	0,9998	0,9999	1,0000

3. ტანგენსების ცხრილი

ფ°	0'	20'	40'	ფ°	0'	20'	40'
0	0,0000	0,0058	0,0116	45	1,0000	1,012	1,024
1	0,0175	0,0233	0,0291	46	1,036	1,048	1,060
2	0,0349	0,0407	0,0466	47	1,072	1,085	1,098
3	0,0524	0,0582	0,0641	48	1,111	1,124	1,137
4	0,0699	0,0758	0,0816	49	1,150	1,164	1,178
5	0,0875	0,0934	0,0992	50	1,192	1,2086	1,220
6	0,1051	0,1110	0,1169	51	1,235	1,250	1,265
7	0,1228	0,1287	0,1346	52	1,280	1,295	1,311
8	0,1405	0,1465	0,1524	53	1,327	1,343	1,360
9	0,1584	0,1644	0,1703	54	1,376	1,393	1,411
10	0,1763	0,1823	0,1883	55	1,428	1,446	1,464
11	0,1944	0,2004	0,2065	56	1,483	1,501	1,520
12	0,2126	0,2186	0,2247	57	1,540	1,560	1,580
13	0,2309	0,2370	0,2432	58	1,600	1,621	1,643
14	0,2493	0,2555	0,2617	59	1,664	1,686	1,709
15	0,2679	0,2742	0,2805	60	1,732	1,756	1,780
16	0,2867	0,2931	0,2994	61	1,804	1,829	1,855
17	0,3057	0,3121	0,3185	62	1,881	1,907	1,935
18	0,3249	0,3314	0,3378	63	1,963	1,991	2,020
19	0,3443	0,3508	0,3574	64	2,050	2,081	2,112
20	0,3640	0,3706	0,3772	65	2,145	2,177	2,211
21	0,3839	0,3906	0,3973	66	2,246	2,282	2,318
22	0,4040	0,4108	0,4176	67	2,356	2,394	2,434
23	0,4245	0,4314	0,4383	68	2,475	2,517	2,560
24	0,4452	0,4522	0,4592	69	2,605	2,651	2,699
25	0,4663	0,4734	0,4806	70	2,747	2,798	2,850
26	0,4877	0,4950	0,5022	71	2,904	2,960	3,018
27	0,5095	0,5169	0,5243	72	3,078	3,140	3,204
28	0,5317	0,5392	0,5467	73	3,271	3,340	3,412
29	0,5543	0,5619	0,5696	74	3,487	3,566	3,647
30	0,5774	0,5851	0,5930	75	3,732	3,821	3,914
31	0,6009	0,6088	0,6168	76	4,011	4,113	4,219
32	0,6249	0,6330	0,6412	77	4,331	4,449	4,574
33	0,6494	0,6577	0,6661	78	4,705	4,843	4,989
34	0,6745	0,6830	0,6916	79	5,145	5,309	5,485
35	0,7002	0,7089	0,7177	80	5,671	5,871	6,084
36	0,7265	0,7355	0,7445	81	6,314	6,561	6,827
37	0,7536	0,7627	0,7720	82	7,115	7,429	7,770
38	0,7813	0,7907	0,8002	83	8,144	8,556	9,010
39	0,8098	0,8195	0,8292	84	9,514	10,08	10,71
40	0,8391	0,8491	0,8591	85	11,43	12,25	13,20
41	0,8693	0,8796	0,8899	86	14,30	15,60	17,17
42	0,9004	0,9110	0,9217	87	19,08	21,47	24,54
43	0,9325	0,9435	0,9545	88	28,64	34,37	42,96
44	0,9657	0,9770	0,9884	89	57,29	85,94	171,9

4. ათობითი ლოგარითმების ცხრილი

№	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0000	0043	0086	0128	0170	0212	0253	0294	0334	0374
11	0414	0453	0492	0531	0569	0607	0645	0682	0719	0755
12	0792	0828	0864	0899	0934	0969	1004	1038	1072	1106
13	1139	1173	1206	1239	1271	1303	1335	1367	1399	1430
14	1461	1492	1523	1553	1584	1614	1644	1673	1703	1732
15	1761	1790	1818	1847	1875	1903	1931	1959	1987	2014
16	2041	2068	2095	2122	2148	2175	2201	2227	2253	2279
17	2304	2330	2355	2380	2405	2430	2455	2488	2504	2529
18	2553	2577	2601	2625	2648	2672	2695	2718	2742	2765
19	2788	2810	2833	2856	2878	2900	2923	2945	2967	2989
20	3010	3032	3054	3075	3096	3118	3139	3160	3181	3201
21	3222	3243	3263	3284	3304	3324	3345	3365	3385	3404
22	3424	3444	3464	3483	3502	3522	3541	3560	3579	3598
23	3617	3636	3655	3674	3692	3711	3729	3747	3766	3784
24	3802	3820	3838	3856	3874	3892	3909	3927	3945	3962
25	3979	3997	4014	4031	4048	4065	4082	4099	4116	4133
26	4150	4166	4183	4200	4216	4232	4249	4265	4281	4298
27	4314	4330	4346	4362	4378	4393	4409	4425	4440	4456
28	4472	4487	4502	4518	4533	4548	4564	4579	4594	4609
29	4624	4639	4654	4669	4683	4698	4713	4728	4742	4757
30	4771	4786	4800	4814	4829	4843	4857	4871	4886	4900
31	4914	4928	4942	4955	4969	4983	4997	5011	5024	5038
32	5051	5065	5079	5092	5105	5110	5132	5145	5159	5172
33	5185	5198	5211	5224	5237	5250	5263	5276	5289	5302
34	5315	5328	5340	5353	5366	5378	5391	5403	5416	5428
35	5441	5453	5465	5478	5490	5502	5514	5527	5539	5551
36	5563	5575	5587	5599	5611	5623	5635	5647	5658	5670
37	5682	5694	5705	5717	5729	5740	5752	5763	5775	5786
38	5798	5809	5821	5832	5843	5855	5866	5877	5888	5899
39	5911	5922	5933	5944	5955	5966	5977	5988	5999	6010
40	6021	6031	6042	6053	6064	6075	6085	6096	6107	6117
41	6128	6138	6149	6160	6170	6180	6191	6201	6212	6222
42	6232	6243	6253	6263	6274	6284	6294	6304	6314	6325
43	6335	6345	6355	6365	6375	6385	6395	6405	6415	6425
44	6435	6444	6454	6464	6474	6484	6493	6503	6513	6522
45	6532	6542	6551	6561	6571	6580	6590	6599	6609	6618
46	6628	6637	6646	6656	6665	6675	6684	6693	6702	6712
47	6721	6730	6739	6749	6758	6767	6776	6785	6794	6803
48	6812	6821	6830	6839	6848	6857	6866	6875	6884	6893
49	6902	6911	6920	6928	6937	6946	6955	6964	6972	6981
50	6990	6998	7007	7016	7024	7033	7042	7050	7059	7067
51	7076	7084	7093	7101	7110	7118	7126	7135	7148	7152
52	7160	7168	7177	7185	7193	7202	7210	7218	7226	7235
53	7243	7251	7259	7267	7275	7284	7292	7300	7308	7316
54	7324	7332	7340	7348	7356	7364	7372	7380	7388	7396

## მე-4 ცხრ. გაგრძელება

№	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
55	7404	7412	7419	7427	7435	7443	7451	7459	7466	7475
56	7482	7490	7497	7505	7513	7520	7528	7536	7543	7551
57	7559	7566	7574	7582	7589	7597	7604	7612	7619	7627
58	7634	7642	7649	7657	7664	7672	7679	7686	7694	7701
59	7709	7716	7723	7731	7738	7745	7752	7760	7767	7774
60	7782	7789	7796	7803	7810	7818	7825	7832	7839	7846
61	7853	7860	7868	7875	7882	7889	7896	7903	7910	7917
62	7924	7931	7938	7945	7952	7959	7966	7973	7980	7987
63	7993	8000	8007	8014	8021	8028	8035	8041	8048	8055
64	8062	8069	8075	8082	8089	8096	8102	8109	8116	8122
65	8129	8136	8142	8149	8156	8162	8169	8176	8182	8189
66	8195	8202	8209	8215	8222	8228	8235	8241	8248	8254
67	8261	8267	8274	8280	8287	8293	8299	8306	8312	8319
68	8325	8331	8338	8344	8351	8357	8363	8370	8376	8382
69	8388	8395	8401	8407	8414	8420	8426	8432	8439	8445
70	8451	8457	8463	8470	8476	8482	8488	8494	8500	8506
71	8513	8519	8525	8531	8537	8543	8549	8555	8561	8567
72	8573	8579	8585	8591	8597	8603	8609	8615	8621	8627
73	8633	8639	8645	8651	8657	8663	8669	8675	8681	8686
74	8692	8698	8704	8710	8716	8722	8727	8733	8739	8745
75	8751	8756	8762	8768	8774	8779	8785	8791	8797	8802
76	8808	8814	8820	8825	8831	8837	8842	8848	8854	8859
77	8865	8871	8876	8882	8887	8893	8899	8904	8910	8915
78	8921	8927	8932	8938	8943	8949	8954	8960	8965	8971
79	8976	8982	8987	8993	8998	9004	9009	9015	9020	9025
80	9031	9036	9042	9047	9053	9058	9063	9069	9074	9079
81	9085	9090	9096	9101	9106	9112	9117	9122	9128	9133
82	9138	9143	9149	9154	9159	9165	9170	9175	9180	9186
83	9191	9196	9201	9206	9212	9217	9222	9227	9232	9238
84	9243	9248	9253	9258	9263	9269	9274	9279	9284	9289
85	9294	9299	9304	9309	9315	9320	9325	9330	9335	9340
86	9345	9350	9355	9360	9365	9370	9375	9380	9384	9390
87	9395	9400	9405	9410	9415	9420	9425	9430	9435	9440
88	9445	9450	9455	9460	9465	9469	9474	9479	9484	9489
89	9494	9499	9504	9509	9513	9518	9523	9528	9533	9538
90	9542	9547	9552	9557	9562	9566	9571	9576	9581	9586
91	9590	9595	9600	9605	9609	9614	9619	9624	9628	9633
92	9638	9643	9647	9652	9657	9661	9666	9671	9675	9680
93	9685	9689	9694	9699	9703	9708	9713	9717	9722	9727
94	9731	9736	9741	9745	9750	9754	9759	9763	9768	9773
95	9777	9782	9786	9791	9795	9800	9805	9809	9814	9818
96	9823	9827	9832	9836	9841	9845	9850	9854	9859	9863
97	9868	9872	9877	9881	9886	9890	9894	9899	9903	9908
98	9912	9917	9921	9926	9930	9934	9939	9943	9948	9952
99	9956	9961	9965	9969	9974	9978	9983	9987	9991	9996

## 5. მაჩვენებლიანი ფუნქციები

x	ა	ა-х	x	ა	ა-х
0,00	1,0000	1,0000	2,00	7,3891	0,1353
0,05	1,0513	0,9512	2,05	7,7679	0,1267
0,10	1,1052	0,9048	2,10	8,1662	0,1225
0,15	1,1618	0,8607	2,15	8,5849	0,1165
0,20	1,2214	0,8187	2,20	9,0250	0,1108
0,25	1,2840	0,7788	2,25	9,4877	0,1054
0,30	1,3499	0,7408	2,30	9,9742	0,1003
0,35	1,4191	0,7047	2,35	10,486	0,09537
0,40	1,4918	0,6703	2,40	11,023	0,09072
0,45	1,5683	0,6376	2,45	11,588	0,08629
0,50	1,6487	0,6065	2,50	12,182	0,08208
0,55	1,7333	0,5770	2,55	12,807	0,07808
0,60	1,8221	0,5488	2,60	13,464	0,07427
0,65	1,9155	0,5221	2,65	14,154	0,07065
0,70	2,0138	0,4966	2,70	14,880	0,06721
0,75	2,1170	0,4724	2,75	15,643	0,06393
0,80	2,2255	0,4493	2,80	16,445	0,06081
0,85	2,3396	0,4274	2,85	17,288	0,05784
0,90	2,4596	0,4066	2,90	18,174	0,05502
0,95	2,5857	0,3867	2,95	19,106	0,05234
1,00	2,7183	0,3679	3,00	20,086	0,04979
1,05	2,8577	0,3499	3,05	21,115	0,04736
1,10	3,0042	0,3329	3,10	22,198	0,04505
1,15	3,1582	0,3166	3,15	23,336	0,04285
1,20	3,3201	0,3012	3,20	24,533	0,04076
1,25	3,4903	0,2865	3,25	25,790	0,03877
1,30	3,6693	0,2725	3,30	27,113	0,03688
1,35	3,8574	0,2592	3,35	28,503	0,03508
1,40	4,0552	0,2466	3,40	29,964	0,03337
1,45	4,2631	0,2346	3,45	31,500	0,03175
1,50	4,4817	0,2231	3,50	33,115	0,03020
1,55	4,7115	0,2123	3,55	34,813	0,02872
1,60	4,9580	0,2019	3,60	36,598	0,02732
1,65	5,2070	0,1921	3,65	38,475	0,02599
1,70	5,4739	0,1827	3,70	40,447	0,02472
1,75	5,7546	0,1738	3,75	42,521	0,02352
1,80	6,0496	0,1653	3,80	44,701	0,02237
1,85	6,3598	0,1572	3,85	46,993	0,02128
1,90	6,6859	0,1496	3,90	49,402	0,02024
1,95	7,0287	0,1423	3,95	51,935	0,01925



მე-5 ცხრილის გაგრძელება

$x$	$e^x$	$e^{-x}$	$x$	$e^x$	$e^{-x}$
4,00	54,598	0,01832	6,0	403,43	0,00248
4,05	57,397	0,01742	6,1	445,86	0,00224
4,10	60,340	0,01657	6,2	492,75	0,00203
4,15	63,434	0,01576	6,3	544,57	0,00184
4,20	66,686	0,01500	6,4	601,85	0,00166
4,25	70,105	0,01426	6,5	665,14	0,001503
4,30	73,700	0,01357	6,6	735,10	0,001360
4,35	77,478	0,01291	6,7	812,41	0,001231
4,40	81,451	0,01228	6,8	897,85	0,001114
4,45	85,627	0,01168	6,9	992,27	0,001008
4,50	90,017	0,01111	7,0	1096,6	0,000912
4,55	94,632	0,01057	7,1	1212,2	0,000825
4,60	99,484	0,01005	7,2	1339,4	0,000747
4,65	104,58	0,00956	7,3	1480,5	0,000676
4,70	109,95	0,00910	7,4	1636,0	0,000611
4,75	115,58	0,00865	7,5	1808,0	0,000553
4,80	121,51	0,00823	7,6	1998,2	0,000500
4,85	127,74	0,00783	7,7	2208,3	0,000453
4,90	134,29	0,00745	7,8	2440,6	0,000410
4,95	141,17	0,00708	7,9	2697,3	0,000371
5,00	148,41	0,00674	8,0	2981,0	0,000335
5,05	156,02	0,00641	8,1	3294,5	0,000304
5,10	164,02	0,00610	8,2	3641,0	0,000275
5,15	172,43	0,00580	8,3	4023,9	0,000249
5,20	181,27	0,00552	8,4	4447,1	0,000225
5,25	190,57	0,00525	8,5	4914,8	0,000203
5,30	200,34	0,00499	8,6	5431,7	0,000184
5,35	210,61	0,00475	8,7	6002,9	0,000167
5,40	221,41	0,00452	8,8	6634,2	0,000151
5,45	232,76	0,00430	8,9	7332,0	0,000136
5,50	244,69	0,00409	9,0	8103,1	0,000123
5,55	257,24	0,00389	9,1	8955,3	0,000112
5,60	270,43	0,00370	9,2	9897,1	0,000101
5,65	284,29	0,00352	9,3	10938	0,000091
5,70	298,87	0,00335	9,4	12088	0,000083
5,75	314,19	0,00318	9,5	13360	0,000075
5,80	330,30	0,00303	9,6	14765	0,000068
5,85	347,23	0,00288	9,7	16318	0,000061
5,90	365,04	0,00274	9,8	18034	0,000055
5,95	383,75	0,00261	9,9	19930	0,000050
			10,0	22026	0,000045

9. ბერძნული ანბანი

A, α — ალფა	I, i — იოტა	P, ρ — რო
B, β — ბეტა	K, κ — კაპა	Σ, σ — სიგმა
G, γ — გამა	Δ, λ — ლამბდა	T, τ — ტაუ
Δ, δ — დელტა	M, μ — მიუ	Υ, υ — იფსილონი
E, ε — ეფსილონი	N, ν — ნიუ	Φ, φ — ფი (რუსული)
Z, ζ — ჯეტა	Ξ, ξ — ქსი	X, χ — ხი
H, η — ეტა	O, ο — ომიკრონი	U, υ — ფსი
Θ, θ, ϑ — თეტა	Π, π — პი	Ω, ω — ომეგა

7. ზოგიერთი მუდმივი რიცხვი და მიახლოებითი ფორმულა

მუდმივი რიცხვები	მიახლოებითი ფორმულები (როცა $\alpha \ll 1$ )
$\pi = 3,1416$	$(1 \pm \alpha)^n \approx 1 \pm n\alpha$
$\pi^2 = 9,8696$	$e^\alpha \approx 1 + \alpha$
$\sqrt{\pi} = 1,7725$	$\ln(1 + \alpha) \approx \alpha$
$e = 2,7183$	$\sin \alpha \approx \alpha$
$\lg e = 0,4343$	$\cos \alpha \approx 1 - \alpha^2/2$
$\ln 10 = 2,3026$	$\operatorname{tg} \alpha \approx \alpha$

8. ზოგიერთი ცნობა ვექტორებზე

$a(b+c) = ab+ac$	$[a, b+c] = [ab] + [ac]$
$ab = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z$	$[a, [bc]] = b(ac) - c(ab)$
$[ab] = \begin{vmatrix} i & j & k \\ a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \end{vmatrix} = (a_y b_z - a_z b_y) i + (a_z b_x - a_x b_z) j + (a_x b_y - a_y b_x) k$	
$\frac{d}{dt}(a+b) = \frac{da}{dt} + \frac{db}{dt}$	$\frac{d}{dt}(ab) = \frac{da}{dt} b + a \frac{db}{dt}$
$\frac{d}{dt}(a\alpha) = \frac{d\alpha}{dt} a + \alpha \frac{da}{dt}$	$\frac{d}{dt}[ab] = \left[ \frac{da}{dt} b \right] + \left[ a \frac{db}{dt} \right]$

9. წარმოებულებისა და ინტეგრალების ცხრილი

ფუნქცია	წარმოებული	ფუნქცია	წარმოებული	ფუნქცია	წარმოებული
$x^n$	$nx^{n-1}$	$\sin x$	$\cos x$	$\arcsin x$	$\frac{1}{\sqrt{1-x^2}}$
$\frac{1}{x}$	$-\frac{1}{x^2}$	$\cos x$	$-\sin x$	$\arccos x$	$-\frac{1}{\sqrt{1-x^2}}$
$\frac{1}{x^n}$	$-\frac{n}{x^{n+1}}$	$\operatorname{tg} x$	$\frac{1}{\cos^2 x}$	$\operatorname{arctg} x$	$\frac{1}{1+x^2}$
$\sqrt{x}$	$\frac{1}{2\sqrt{x}}$	$\operatorname{ctg} x$	$-\frac{1}{\sin^2 x}$	$\operatorname{arcc} \operatorname{tg} x$	$\frac{1}{1+x^2}$
$e^x$	$e^x$	$\sqrt{u}$	$\frac{u'}{2\sqrt{u}}$	$\operatorname{sh} x$	$\operatorname{ch} x$
$e^{ax}$	$ae^{ax}$	$\ln u$	$\frac{u'}{u}$	$\operatorname{ch} x$	$\operatorname{sh} x$
$a^x$	$a^x \ln a$		$\frac{u}{vu' - v'u}$	$\operatorname{th} x$	$\frac{t}{\operatorname{ch}^2 x}$
$\ln x$	$\frac{1}{x}$	$\frac{u}{v}$	$\frac{vu' - v'u}{v^2}$	$\operatorname{cthx}$	$\frac{1}{\operatorname{sh}^2 x}$

$$\int x^n dx = \frac{x^{n+1}}{n+1} \quad u \neq -1$$

$$\int \frac{dx}{\cos^2 x} = \operatorname{tg} x$$

$$\int \frac{dx}{x} = \ln x$$

$$\int \frac{dx}{\sin^2 x} = -\operatorname{ctg} x$$

$$\int \sin x dx = -\cos x$$

$$\int e^x dx = e^x$$

$$\int \cos x dx = \sin x$$

$$\int \frac{dx}{1+x^2} = \operatorname{arctg} x$$

$$\int \operatorname{tg} x dx = -\ln \cos x$$

$$\int \frac{dx}{\sqrt{1-x^2}} = \arcsin x$$

$$\int \operatorname{ctg} x dx = \ln \sin x$$

$$\int \frac{dx}{\sqrt{x^2-1}} = \ln(x + \sqrt{x^2-1})$$

$$\text{ნაწილობითი ინტეგრება: } \int u \cdot dv = uv - \int v du$$

ზოგიერთი განსაზღვრული ინტეგრალის მნიშვნელობა

$\int_0^\infty x^n e^{-x} dx =$	$1, \quad n=0$	$\int_0^\infty x^n e^{-x^2} dx =$	$\frac{1}{2} \sqrt{\pi}, \quad n=0$
	$\frac{1}{2} \sqrt{\pi}, \quad n=1/2$		$\frac{1}{2}, \quad n=1$
	$1, \quad n=1$		$\frac{1}{4} \sqrt{\pi}, \quad n=2$
	$2, \quad n=2$		$\frac{1}{2}, \quad n=3$
$\int_0^\infty \frac{x^n dx}{e^x - 1} =$	$2,31, \quad n=1/2$	$\int_0^a x^\alpha dx =$	$0,225, \quad \alpha=1$
	$\pi^2/6, \quad n=1$		$1,18, \quad \alpha=2$
	$2,405, \quad n=2$		$2,56, \quad \alpha=3$
	$\pi^4/15, \quad n=3$		$4,91, \quad \alpha=5$
	$24,9, \quad n=4$		$6,43, \quad \alpha=10$

10. ასტრონომიული სიდიდეები

კოსმოსური სხეული	საშუალო რადიუსი, მ	მასა, კგ	საშუალო სიმკვრივე, გ/სმ	მიმოქცევის პერიოდი, დღე-ღამე
მზე	$6,95 \cdot 10^8$	$1,97 \cdot 10^{30}$	1,41	25,4
დედამიწა	$6,37 \cdot 10^6$	$5,96 \cdot 10^{24}$	5,52	1,00
მთვარე	$1,74 \cdot 10^6$	$7,30 \cdot 10^{22}$	3,30	27,3

მზის სისტემის პლანეტები	საშუალო მანძილი მზიდან, $10^6$ კმ	მიმოქცევის პერიოდი მზის გარშემო, წელი
მერკური	57,87	0,241
ვენერა	108,14	0,615
დედამიწა	149,50	1,000
მარსი	227,79	1,881
იუპიტერი	777,8	11,862
სატურნი	1426,1	29,458
ურანი	2867,7	84,013
ნეპტუნი	4494	164,79
პლუტონი	9508	248,43

11. ნივთიერებათა სიმკვრივები

მყარი ნივთიერებები	$\rho$ , გ/სმ <sup>3</sup>	სითხეები	$\rho$ , გ/სმ <sup>3</sup>
ალმასი	3,5	ბენზოლი	0,88
ალუმინი	2,7	წყალი	1,00
ვოლფრამი	19,1	გლიცერინი	1,26
გრაფიტი	1,6	კასტორის ზეთი	0,90
ოკინა (ფოლადი)	7,8	ნავთი	0,80
ოქრო	19,3	ვერცხლისწყალი	13,6
კადმიუმი	8,65	სპირტი	0,79
კობალტი	8,9	მძიმე წყალი	1,1
ყინული	0,916	ეთერი	0,72
სპილენძი	8,9		
მოლიბდენი	10,2	გაზები (ნორმალური პირობებში)	$\rho$ , კგ/მ <sup>3</sup>
ნატრიუმი	0,97		
ნიკელი	8,9		
კალა	7,4	აზოტი	1,25
პლატინა	21,5	ამიაკი	0,77
კორპი	0,20	წყალბადი	0,09
ტყვია	11,3	ჰაერი	1,293
ვერცხლი	10,5	ჟანგბადი	1,43
ტიტანი	4,5	მეთანი	0,72
ურანი	19,0	ნახშირორჟანგი	1,98
ფაიფური	2,3	ქლორი	3,21
თუთია	7,0		

12. სითბური გაფართოების კოეფიციენტი  
(ოთახის ტემპერატურაზე)

მყარი სხეული	ხაზითი გაფართოების კოეფიციენტი $\alpha$ , $10^{-6} K^{-1}$	სითხე	მოცულობითი გაფართოების კოეფიციენტი $\beta$ , $10^{-6} K^{-1}$
ალუმინი	22,9	წყალი	2,1
თითბერი	18,9	გლიცერინი	5,0
სპილენძი	16,7	ნავთი	10,0
ფოლადი (რკინა)	11	ვერცხლისწყალი	1,8
ჩვეულებრივი მინა	8,5	ეთილის სპირტი	11,0

შენიშვნა.  $\alpha = \frac{1}{l} \frac{\partial l}{\partial T}$ ,  $\beta = \frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial T}$

13. დრეკადობის მუდმივები. სიმტკიცის ზღვარი

მასალა	იუნგის მოდული $E$ , გპა	ძვრის მოდული $G$ , გპა	პუასონის კოეფიციენტი $\mu$	სიმტკიცის ზღვარი გაჭიმვაზე $\sigma_m$ , გპა	კუმშვადობის კოეფიციენტი $\beta$ გპა $^{-1}$
ალუმინი	70	26	0,34	0,10	0,014
სპილენძი	130	40	0,34	0,30	0,007
ტყვია	16	5,6	0,44	0,015	0,022
ფოლადი (რკინა)	200	81	0,29	0,60	0,006
მინა	60	30	0,25	0,05	0,025
წყალი	—	—	—	—	0,49

შენიშვნა. კუმშვადობის კოეფიციენტი  $\beta = -\frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial p}$

14. წყლის ნაჯერი ორთქლის წნევა

°C	წნევა, კპა	°C	წნევა, კპა	°C	წნევა, კპა
6	0,61	25	3,15	60	19,9
5	0,87	30	4,23	70	31,0
10	1,22	35	5,60	80	47,3
15	1,70	40	7,35	90	70,0
20	2,33	50	12,3	100	101,3

15. მუდმივები გაზებისათვის  
(ნორმალურ პირობებში)

გაზი	ფარდობითი მოლეკულური მასა	$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$	სითბოგამტარობა $\lambda$ , მ.კ	სიბლანტე $\eta$ , მკპა. წმ	მოლეკულური დიამეტრი $d$ , მ	დან-დერ-ვალსის მუდმივები
						$a$ , $\frac{\text{ატმ. ლ}^2}{\text{მოლი}^2}$ $b$ , $\frac{\text{ლ}}{\text{მოლი}}$
He	4	1,67	141,5	18,9	0,20	—
Ar	40	1,67	16,2	22,1	0,35	1,30
H <sub>2</sub>	2	1,41	168,4	8,4	0,27	0,024
N <sub>2</sub>	28	1,40	24,3	16,7	0,37	1,35
O <sub>2</sub>	32	1,40	24,4	19,2	0,35	1,35
CO <sub>2</sub>	44	1,30	23,2	14,0	0,40	3,62
H <sub>2</sub> O	18	1,32	15,8	9,0	0,30	5,47
ჰაერი	29	1,40	24,1	17,2	0,35	—

შენიშვნა. ამ ცხრილში მოყვანილია მოლეკულების დიამეტრის სიშუალო მნიშვნელობა. ზუსტი გათვლების დროს გაითვალისწინეთ, რომ  $d$ -ს მნიშვნელობები, რომელიც მიიღება სიბლანტის, სითბოგამტარობის, დიფუზიის კოეფიციენტებისა დან-დერ-ვალსის  $b$  მუდმივას დახმარებით, შესამჩნევად განსხვავდება ერთმანეთისაგან.

16. მუდმივები სითხეებისა და მყარი სხეულებისათვის

ნივთიერება	კუთრი სითბოტევადობა* $c$ , $\frac{\text{ჯ}}{\text{გ K}}$	ორთქლად-ქცევის კუთრი სითბო $q$ , ჯ/გ	დნობის კუთრი სითბო** $q$ , ჯ/გ	ზედაპირული დაჭიმულობა* $\alpha$ , მნ/მ
წყალი	4,18	2250	—	73
გლიცერინი	2,42	—	—	66
ვერცხლისწყალი	0,14	284	—	490
სპირტი	2,42	853	—	22
ალუმინი	0,90	—	321	—
რკინა	0,46	—	270	—
ყინული	2,09	—	333	—
სპილენძი	0,39	—	175	—
ვერცხლი	0,23	—	88	—
ტყვია	0,13	—	25	—

\* ნორმალურ პირობებში.

\*\* ნორმალური ატმოსფერული წნევისას.

### 17. ნივთიერებათა დიელექტრიკული შეღწევადობა

დიელექტრიკი	$\epsilon$	დიელექტრიკი	$\epsilon$
წყალი	81	ქარსი	7,5
ჰაერი	1,00058	სპირტი	26
ცვილი	7,8	მინა	6,0
ნავთი	2,0	ფაიფური	6,0
პარაფინი	2,0	ებონიტი	2,7
პლექსიგლასი	3,5		
პოლიეთილენი	2,3		

### 18. გამტარების კუთრი წინააღობა

გამტარი	კუთრი წინააღობა (20°C-ზე) $\rho$ , ნომი. მ	ტემპერატურული კოეფიციენტი $\alpha$ , კK <sup>-1</sup>
ალუმინი	25	4,5
ვოლფრამი	50	4,3
რკინა	90	6,5
ოქრო	20	4,0
სპილენძი	16	4,3
ტყვია	190	4,2
ვერცხლი	15	4,1

### 19. პარა- და დიამაგნეტიკების მაგნიტური ამთვისებლობა

პარამაგნეტიკი	$\mu-1$ , 10 <sup>-6</sup>	დიამაგნეტიკი	$\mu-1$ , 10 <sup>-6</sup>
აზოტი	0,013	წყალბადი	-0,063
ჰაერი	0,38	ბენზოლი	-7,5
ჟანგბადი	1,9	წყალი	-9,0
ებონიტი	14	სპილენძი	-10,3
ალუმინი	23	მინა	-12,6
ვოლფრამი	176	ქვამარილი	-12,6
პლატინა	360	კვარცი	-15,1
თხევადი ჟანგბადი	34 00	ბისმუთი	-176

### 20. გარდატეხის მაჩვენებლები

ნივთიერება	$n$	ნივთიერება	$n$
ჰაერი	1,00029	მინა (ჩვეულებრივი)	1,50
წყალი	1,33	ალმასი	2,42

შ ე ნ ი შ ე ნ ა. ცნობილია, რომ გარდატეხის მაჩვენებელი დამოკიდებულია ნივთიერების ბუნებაზე და სინათლის ტალღის სიგრძეზე, ამიტომ ცხრილში მოყვანილი  $n$ -ის მნიშვნელობები პირობითია.

ტალღის სიგრძე $\lambda$ , ნმ	ფერი	ისლანდიური შპატი		კვარცი	
		$n_e$	$n_o$	$n_e$	$n_o$
687	წითელი	1,484	1,653	1,550	1,541
656	ნარინჯისფერი	1,485	1,655	1,551	1,542
589	ყვითელი	1,486	1,658	1,553	1,544
527	მწვანე	1,489	1,664	1,556	1,547
486	ცისფერი	1,491	1,668	1,559	1,550
431	ლურჯი	1,495	1,676	1,564	1,554
400	იისფერი	1,498	1,683	1,568	1,558

### 21. პოლარიზაციის სიბრტყის ბრუნვა

ბუნებრივი ბრუნვა კვარცში (ფიოფიტის სისქე 1 მმ-ია)

$\lambda$ , ნმ	$\varphi$ , გრად	$\lambda$ , ნმ	$\varphi$ , გრად	$\lambda$ , ნმ	$\varphi$ , გრად
199,0	295,65	344,1	70,59	589,5	21,72
217,4	226,91	372,6	58,89	656,3	17,32
219,4	220,7	404,7	48,93	670,8	16,54
257,1	143,3	435,9	41,54	1040	6,69
274,7	121,1	491,6	31,98	1450	3,41
328,6	78,58	508,6	29,72	1770	2,28

მაგნიტური ბრუნვა ( $\lambda=589$  ნმ). ვერდეს მუდმივა  $V$ :

სითხე	$V$ , კუთხ. წთ/ა	სითხე	$V$ , კუთხ. წთ/ა
ბენზოლი	2,59	გოგირდნახშირბადი	0,053
წყალი	0,016	ეთილის სპირტი	1,072

22. ლითონებიდან ელექტრონის გამოსვლის მუშაობა

ლითონი	A, ევ	ლითონი	A, ევ	ლითონი	A, ევ
ალუმინი	3,74	კალიუმი	2,15	ნიკელი	4,84
ბარიუმი	2,29	კობალტი	4,25	პლატინა	5,29
ბისმუტი	4,62	ლითიუმი	2,39	ვერცხლი	4,28
ვოლფრამი	4,50	სპილენძი	4,47	ტიტანი	3,92
რკინა	4,36	მოლიბდენი	4,27	ცეზიუმი	1,89
ოქრო	4,58	ნატრიუმი	2,27	თუთია	3,74

23. შთანთქმის K-ზოლის კოდე

Z	ელემენტი	$\lambda_K$ , პმ	Z	ელემენტი	$\lambda_K$ , პმ
23	V	226,8	47	Ag	48,60
26	Fe	174,1	50	Sn	42,39
27	Co	160,4	74	W	17,85
28	Ni	148,6	78	Pt	15,85
29	Cu	138,0	79	Au	15,35
30	Zn	128,4	82	Pb	14,05
42	Mo	61,9	92	U	10,75

24. შესუსტების მასური კოეფიციენტი

(რენტგენული გამოსხივება, ვი წრო კონა)

$\lambda$ , პმ	შესუსტების მასობრივი კოეფიციენტი $\mu/\rho$ , სმ <sup>2</sup> /გ				
	პაერი	წყალი	ალუმინი	სპილენძი	ტყვია
10		0,16	0,16	0,36	3,8
20		0,18	0,28	1,5	4,9
30		0,29	0,47	4,3	14
40		0,44	1,1	9,8	31
50	0,48	0,66	2,0	19	54
60	0,75	1,0	3,4	32	90
70	1,3	1,5	5,1	48	139
80	1,6	2,1	7,4	70	
90	2,1	2,8	11	98	
100	2,6	3,8	15	131	
150	8,7	12	46	49	
200	21	28	102	108	
250	39	51	194	198	

25. ატომის იონიზაციის პოტენციალები

Z	ატომი	იონიზაციის პოტენციალი $\Phi$ , ვ	Z	ატომი	იონიზაციის პოტენციალი $\Phi$ , ვ
1	H	13,59	7	N	14,54
2	He	24,58	8	O	13,62
3	Li	5,39	9	F	17,42
4	Be	9,32	10	Ne	21,56
5	B	8,30	11	Na	5,14
6	C	11,27	80	Hg	10,44

29. მსუბუქი ატომების მასა

Z	იზოტოპი	ატომის მასის სიჭარბე $A_r - A$ , მე	Z	იზოტოპი	ატომის მასის სიჭარბე $A_r - A$ , მე
0	n	0,00867	6	C <sup>11</sup>	0,01143
1	H <sup>1</sup>	0,00783		C <sup>12</sup>	0
	H <sup>2</sup>	0,01410		C <sup>13</sup>	0,00335
	H <sup>3</sup>	0,01605	7	N <sup>13</sup>	0,00574
2	He <sup>3</sup>	0,01603		N <sup>14</sup>	0,00307
	He <sup>4</sup>	0,00260		N <sup>15</sup>	0,00011
3	Li <sup>6</sup>	0,01513	8	O <sup>15</sup>	0,00307
	Li <sup>7</sup>	0,01601		O <sup>16</sup>	—0,00509
4	Be <sup>7</sup>	0,01693		O <sup>17</sup>	—0,00087
	Be <sup>8</sup>	0,00531	9	F <sup>19</sup>	—0,00160
	Be <sup>9</sup>	0,01219	10	Ne <sup>20</sup>	—0,00756
	Be <sup>10</sup>	0,01354	11	Na <sup>23</sup>	—0,01023
5	B <sup>10</sup>	0,01294		Na <sup>24</sup>	—0,00903
	B <sup>11</sup>	0,00930	12	Mg <sup>24</sup>	—0,01496

შ ე ნ ი შ ე ნ ა. აქ  $A_r$ —ფარდობითი ატომური მასა (მე-ში),  
A—მასური რიცხვი.

27. რადიოიზოტოპების ნახევრად დაშლის პერიოდი

Z	იზოტოპი	დაშლის სახე	ნახევრად დაშლის პერიოდი
27	კობალტი Co <sup>60</sup>	$\beta$	5,2 წელი
83	სტრონციუმი Sr <sup>90</sup>	$\beta$	28 წელი
84	პოლონიუმი Po <sup>210</sup>	$\alpha$	138 დღე
86	რადონი Rn <sup>222</sup>	$\alpha$	3,8 დღე
88	რადიუმი Ra <sup>226</sup>	$\alpha$	1620 წელი
92	ურანი U <sup>238</sup>	$\alpha$	4,5 · 10 <sup>9</sup> წელი



## 28. ფიზიკურ სიდიდეთა ერთეულები

ზოგიერთი ერთეულის აღნიშვნა და დასახელება

ა—ამპერი	კლ—კანდელი	პა—პასკალი
ბ—ბელი	კ—კელვინი	რად—რადიანი
ბარ—ბარნი	კ—კულონი	სთ—სათი
გს—გაუსი	ლ—ლიტრი	სიმ—სიმენსი
გ—გრამი	ლმ—ლუმენი	სტრ—სტერადიანი
დპტრ—დიოპტრია	ლქ—ლუქსი	ტლ—ტესლა
დნ—დინი	მ—მეტრი	ფ—ფარადა
ე—ერსტელი	მაე—მასის ატომური	ჯ—ჯოული
ეგ—ელექტრონვოლტი	ეთ—ერთეული	წმ—წამი
ე—ეოლტი	მქს—მაქსველი	წთ—წუთი
ვტ—ვატი	ნ—ნიუტონი	ჰნ—ჰენრი
ვბ—ვებერი	პ—პაუზი	ჰტ—ჰერცი

ათჯერადი თავსართები

გ—გიგა (10 <sup>9</sup> )	დ—დეცი (10 <sup>-1</sup> )	მკ—მიკრო (10 <sup>-6</sup> )
მგ—მეგა (10 <sup>6</sup> )	ს—სანტი (10 <sup>-2</sup> )	ნ—ნანო (10 <sup>-9</sup> )
კ—კილო (10 <sup>3</sup> )	მ—მილი (10 <sup>-3</sup> )	პკ—პიკო (10 <sup>-12</sup> )

სიდიდეთა ერთეულები SI და CGS-ში

სიდიდე	სიდიდის ერთეული		SI ერთ. CGS ერთ. შეფარდება
	SI	CGS	
სიგრძე	მ	სმ	10 <sup>2</sup>
ღრმ	მ/წმ	წმ/წმ	1
სიჩქარე	მ/წმ	სმ/წმ	10 <sup>2</sup>
ჩქარება	მ/წმ <sup>2</sup>	სმ/წმ <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>
რხევის სიხშირე	ჰც	ჰც	1
წრიული სიხშირე	წმ <sup>-1</sup>	წმ <sup>-1</sup>	1
კუთხური სიჩქარე	რად/წმ	რად/წმ	1
კუთხური აჩქარება	რად/წმ <sup>2</sup>	რად/წმ <sup>2</sup>	1
მასა	კგ	გ	10 <sup>3</sup>
სიმკვრივე	კგ/მ <sup>3</sup>	გ/სმ <sup>3</sup>	10 <sup>-3</sup>
ძალა	ნ	დინი	10 <sup>5</sup>
წნევა, ჰაბეა	პა	დნ/სმ <sup>2</sup>	10
იმპულსი	კგ·მ/წმ	გ·სმ/წმ	10 <sup>5</sup>
ძალის მომენტი	ნ·მ	დნ·სმ	10 <sup>7</sup>
ენერგია, მუშაობა	ჯ	ერგი	10 <sup>7</sup>
სიმძლავრე	ვტ	ერგი/წმ	10 <sup>7</sup>
ენერგიის ნაკადის სიმკვრივე	ვტ/მ <sup>2</sup>	ერგი/წმ·სმ <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>
იმპულსის მომენტი	კგ·მ <sup>2</sup> /წმ	გ·სმ <sup>2</sup> /წმ	10 <sup>7</sup>
ინერციის მომენტი	კგ·მ <sup>2</sup>	გ·სმ <sup>2</sup>	10 <sup>7</sup>
სიბლანტე	პა·წმ	პ	10
ტემპერატურა	კ	კ	1
სითბოტევადობა, ენტროპია	ჯ/კ	ერგი/კ	10 <sup>7</sup>
ელექტრობის რაოდენობა	კ	CGSE ერთ.	3 · 10 <sup>9</sup>
პოტენციალი	ვ	CGSE ერთ.	1/300
ელექტრული ველის დაძაბულობა	ვ/მ	CGSE ერთ.	1/(3 · 10 <sup>4</sup> )

28-ე ცხრილის გაგრძელება

სიდიდე	სიდიდის ერთეული		SI ერთ. CGS ერთ. შეფარდება
	SI	CGS	
ელექტრული წანაცვლება	კ/მ <sup>2</sup>	CGSE ერთ.	12π · 10 <sup>5</sup>
დიპოლის ელექტრული მომენტი	კ/მ	CGSE ერთ.	3 · 10 <sup>11</sup>
პოლარიზებულობა	კ/მ <sup>2</sup>	CGSE ერთ.	3 · 10 <sup>5</sup>
ტევადობა	ფ	სმ	9 · 10 <sup>11</sup>
დენის ძალა	ა	CGSE ერთ.	3 · 10 <sup>9</sup>
დენის სიმკვრივე	ა/მ <sup>2</sup>	CGSE ერთ.	3 · 10 <sup>5</sup>
წინაღობა	ომი	CGSE ერთ.	1/(9 · 10 <sup>11</sup> )
კუთრი წინაღობა	ომი · მ	CGSE ერთ.	1/(9 · 10 <sup>9</sup> )
გამტარობა	სიმ	CGSE ერთ.	9 · 10 <sup>11</sup>
მაგნიტური ინდუქცია	ტლ	გს	10 <sup>4</sup>
მაგნიტური ნაკადი	ვბ	მქს	10 <sup>8</sup>
მაგნიტური ველის დაძაბულობა	ა/მ	ე	4π · 10 <sup>-3</sup>
მაგნიტური მომენტი	ა/მ <sup>2</sup>	CGSM ერთ.	10 <sup>3</sup>
დამაგნიტებულობა	ა/მ	CGSM ერთ.	10 <sup>-3</sup>
ინდუქციურობა	ჰნ	სმ	10 <sup>9</sup>
სინათლის ძალა	კლ	კლ	1
სინათლის ნაკადი	ლმ	ლმ	1
განათებულობა	ლქ		
ნათება	ლმ/მ <sup>2</sup>		
სიკაშკაშე	კლ/მ <sup>2</sup>		

შ ე ნ ი შ ე ნ ა. ელექტრული და მაგნიტური ერთეულები CGS-ში აქ მოცემულია გაუსის სისტემაში.

ზოგიერთი სისტემის გარეშე ერთეულები

1 წელი=3,11 · 10 <sup>7</sup> წმ	1 კალ=4,18 ჯ
1 ატმ=101,3 კპა	1 Å=10 <sup>-8</sup> სმ
1 ბარი=10 <sup>5</sup> პა (ზუსტად)	1 ევ=1,6 · 10 <sup>-19</sup> ჯ
1 ვერცხ. წყ. სვ. მმ=133, 3 პა	1 ევ=1,6 · 10 <sup>-12</sup> ერგი
1 ლ.ატმ=101, 3 ჯ	1 მავ=1,66 · 10 <sup>-24</sup> გ
	1 ბარი=10 <sup>-24</sup> სმ <sup>2</sup>
	1 კიური=3,70 · 10 <sup>10</sup> , დაშლა/წმ

29. ელექტროდინამიკის ძირითადი ფორმულები SI და გაუსის სისტემაში

სახელწოდება	SI	გაუსის სისტემა
წერტილოვანი მუხტის ველის დაძაბულობა	$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}$	$E = \frac{q}{r^2}$
ბრტყელი კონდენსატორის ველის დაძაბულობა	$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$	$E = \frac{4\pi\sigma}{\epsilon}$
წერტილოვანი მუხტის ველის პოტენციალი	$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}$	$\varphi = \frac{q}{r}$
კავშირი E-ს და დ-ს შორის	$E = -\nabla\varphi, \quad \varphi_1 - \varphi_2 = -\int_1^2 E_l dl$	
ელექტრული p დიპოლი E ველში.	$N = [PE], \quad W = -PE$	
კავშირი P და E შორის	$P = \chi\epsilon_0 E$	$P = \chi E$
კავშირი σ', P და E შორის	$\sigma' = P_n = \chi\epsilon_0 E_n$	$\sigma' = P_n = \chi E_n$
D ვექტორის განსაზღვრა	$D = \epsilon_0 E + P$	$D = E + 4\pi P$
კავშირი ε და χ შორის	$\epsilon = 1 + \chi$	$\epsilon = 1 + 4\pi\chi$
კავშირი D და E შორის	$D = \epsilon E$	$D = \epsilon E$
გაუსის თეორემა D ვექტორისათვის	$\oint D_n dS = q$	$\oint D_n dS = 4\pi q$
კონდენსატორის ტევადობა	$C = q/U$	
ბრტყელი კონდენსატორის ტევადობა	$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$	$C = \frac{\epsilon S}{4\pi d}$
მუხტთა სისტემის ენერგია კონდენსატორის ენერგია	$W = \frac{1}{2} \sum q_i \varphi_i$ $W = CU^2/2$	
ელექტრული ველის ენერგიის სიმკვრივე	$w = \frac{ED}{2}$	$w = \frac{ED}{8\pi}$
ომის კანონი	$j = \sigma E$ $w = \sigma E^2$	
ჯოულ-ლენცის კანონი	$p_m = IS$	$p_m = \frac{1}{c} IS$
დენიანი კონტურის მაგნიტური მომენტი	$N = [p_m B], \quad W = -p_m B$	
მაგნიტური Pm დიპოლი B ველში	$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I[dl, r]}{r^3}$	$dB = \frac{1}{c} \frac{I[dl, r]}{r^3}$
ბიო-სავარას კანონი	$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2I}{r}$	$B = \frac{1}{c} \frac{2I}{r}$
ველის ინდუქცია:		
ა) წრფივი დენისათვის	$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2I}{r}$	$B = \frac{1}{c} \frac{2\pi I}{r}$
ბ) ხვიის ცენტრში	$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2\pi I}{r}$	$B = \frac{1}{c} \frac{2\pi I}{r}$

სახელწოდება	SJ	გაუსის სისტემა
გ) სოლენოიდი	$B = \mu_0 n I$	$B = \frac{4\pi}{c} n I$
H ვექტორის განსაზღვრა	$H = B/\mu_0 - J$	$H = B - 4\pi J$
H ვექტორის ცირკულაციო მუდმივ ველში	$\oint H_l dl = I$	$\oint H_l dl = \frac{4\pi}{c} J$
კავშირი J და H შორის	$J = \chi H$	$J = \chi H$
კავშირი μ და χ შორის	$\mu = 1 + \chi$	$\mu = 1 + 4\pi\chi$
კავშირი B და H შორის	$B = \mu_0 \mu H$	$B = \mu H$
ლორენცის ძალა	$F = q[vB]$	$F = \frac{q}{c} [v B]$
ამპერის კანონი	$dF = I[dl, B]$	$dF = \frac{I}{c} [dl, B]$
პარალელური დენების ურთიერთქმედების ძალა	$F = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2I_1 I_2}{d}$	$F = \frac{1}{c^2} \frac{2I_1 I_2}{d}$
ინდუქციის ე. მ. დ.	$\mathcal{E}_i = -\frac{d\Phi}{dt}$	$\mathcal{E}_i = -\frac{1}{c} \frac{d\Phi}{dt}$
ინდუქციურობა	$L = \Phi/I$	$L = c\Phi/I$
სოლენოიდის ინდუქციურობა	$L = \mu_0 \mu n^2 V$	$L = 4\pi \mu n^2 V$
დენის მაგნიტური ველის ენერგია	$W = \frac{LJ^2}{2}$	$W = \frac{1}{c^2} \frac{LI^2}{2}$
მაგნიტური ველის ენერგიის სიმკვრივე	$w = \frac{BH}{2}$	$w = \frac{BH}{8\pi}$
მაქსველის განტოლებები ინტეგრალური სახით	$\oint D_n dS = \int \rho dv$ $\oint E_l dl = -\int \dot{B}_n dS$ $\oint B_n dS = 0$	$\oint D_n dS = 4\pi \int \rho dv$ $\oint E_l dl = -\frac{1}{c} \int \dot{B}_n dS$ $\oint B_n dS = 0$
მაქსველის განტოლებები დიფერენციალური სახით	$\oint H_l dl = \int (j_n + \dot{D}_n) dS$ $\nabla \cdot D = \rho$ $\nabla \times E = -\dot{B}$ $\nabla \cdot B = 0$ $\Delta \times H = J + \dot{D}$ $v = 1/\sqrt{\epsilon_0 \mu_0 \epsilon \mu}$	$\oint H_l dl = \frac{4\pi}{c} \int (j_n + \frac{\dot{D}_n}{4\pi}) dS$ $\nabla \cdot D = 4\pi \rho$ $\Delta \times E = -\frac{1}{c} \dot{B}$ $\nabla \cdot B = 0$ $\nabla \times H = \frac{4\pi}{c} (J + \frac{\dot{D}}{4\pi})$ $v = c/\sqrt{\epsilon \mu}$ $E\sqrt{\epsilon_0 \epsilon} = H\sqrt{\mu_0 \mu}$
ელექტრომაგნიტური ტალღის სიჩქარე ვაკუუმში	$S = [EH]$	$S = \frac{c}{4\pi} [EH]$
კავშირი E და H შორის		
ელექტრომაგნიტურ ტალღაში		
პოინტინგის ვექტორი		

30. ძირითადი ფიზიკური მუდმივები

სინათლის სიჩქარე ვაკუუმში	$c=2,998 \cdot 10^8$ მ/წმ
გრაფიტაციული მუდმივა	$\gamma=6,67 \cdot 10^{-11}$ მ <sup>3</sup> /(კგ. წმ <sup>2</sup> )
თავისუფალი ვარდნის სტანდარტული აჩქარება	$g=9,807$ მ/წმ <sup>2</sup>
ავოგადროს რიცხვი	$N_A=6,023 \cdot 10^{23}$ მოლი <sup>-1</sup>
გაზის სტანდარტული მოცულობა	$V_0=22,4$ ლ/მოლი
ლოშმიდტის რიცხვი	$n_0=2,69 \cdot 10^{-5}$ მ <sup>-3</sup>
უნივერსალური გაზური მუდმივა	$R=8,314$ ჯ/(K. მოლი)
ბოლცმანის მუდმივა	$k=1,38 \cdot 10^{-23}$ ჯ/K
ფარადეის რიცხვი	$F=0,965 \cdot 10^5$ კ/მოლი
ელემენტარული მუხტი	$e=\begin{cases} 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ კ} \\ 4,803 \cdot 10^{-10} \text{ CGSE} \end{cases}$
ელექტრონის მასა	$m_e=\begin{cases} 0,911 \cdot 10^{-30} \text{ კგ} \\ 0,511 \cdot \text{მგევ} \end{cases}$
ელექტრონის კუთრი მუხტი	$\frac{e}{m_e}=\begin{cases} 1,76 \cdot 10^{11} \text{ კ/კგ} \\ 5,27 \cdot 10^{17} \text{ CGSE/გ.} \end{cases}$
პროტონის მასა	$m_p=1,672 \cdot 10^{-27}$ კგ
პროტონის კუთრი მუხტი	$\frac{e}{m_p}=\begin{cases} 0,959 \cdot 10^8 \cdot \text{კ/კგ} \\ 2,87 \cdot 10^{14} \text{ CGSE/გ.} \end{cases}$
სტეფან-ბოლცმანის მუდმივა	$\sigma=5,67 \cdot 10^{-8}$ ვტ/(მ <sup>2</sup> . K <sup>4</sup> )
ვინის წანაცვლების კანონის მუდმივა	$b=0,29$ სმ. K
პლანკის მუდმივა	$h=\begin{cases} 1,054 \cdot 10^{-34} \text{ ჯ წმ} \\ 0,659 \cdot 10^{-15} \text{ ევ წმ} \end{cases}$
რიდბერგის მუდმივა	$R=\frac{me^4}{2h^3}=2,07 \cdot 10^{16}$ წმ <sup>-1</sup>
ბორის პირველი რადიუსი	$R'=R/2\pi c=1,097 \cdot 10^5$ სმ <sup>-1</sup>
ელექტრონის ბმის ენერგია წყალბადის ატომში	$r_1=h^2/me^2=0,529 \cdot 10^{-8}$ სმ
კომპტონის ტალღის სიგრძე ელექტრონისათვის	$E=me^4/2h^2=13,55$ ევ
ელექტრონის კლასიკური რადიუსი	$\lambda_c=2\pi h/mc=2,426 \cdot 10^{-10}$ სმ.
ბორის მაგნეტონი	$\lambda_c=\lambda_c/2\pi=3,86 \cdot 10^{-11}$ სმ.
ბირთვული მაგნეტონი	$r_e=e^2/mc^2=2,82 \cdot 10^{-13}$ სმ
პროტონის მაგნეტური მომენტი	$\mu_B=\frac{eh}{2mec}=0,927 \cdot 10^{-20}$ ერგი/გს
ნეიტრონის " "	$\mu_N=\frac{eh}{2m_p c}=5,05 \cdot 10^{-24}$ ერგი/გს
მასის ატომური ერთეული	$\mu_p=2,7928 \mu_N$
ელექტრული მუდმივა	$\mu_n=-1,913 \mu_N$
მაგნიტური მუდმივა	$1 \text{ მაე}=\begin{cases} 1,660 \cdot 10^{-24} \text{ გ} \\ 931,4 \text{ მგევ} \end{cases}$
	$\epsilon_0=0,885 \cdot 10^{-11}$ ფ/მ
	$1/4\pi\epsilon_0=9 \cdot 10^9$ მ/ფ
	$\mu_0=1,257 \cdot 10^{-6}$ ჰნ/მ
	$\mu_0/4\pi=10^{-7}$ ჰნ/მ

გამომცემლობის რედაქტორი ა. სტურუა

სამხატვრო რედაქტორი ი. ჩიქვინიძე

ტექნიკური რედაქტორი თ. ფირცხელანი

კორექტორი ე. გონჯილაშვილი

სბ 1090

ვალეცა წარმოებას 4.04.86. ხელმოწერილია დასაბეჭდად 7.05.87.

საბეჭდი ქაღალდი 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. პირობითი ნაბეჭდი

თაბახი 28. სააღრ.-საგამომც. თაბახი 26,32.

ტირაჟი 4000. შეკვეთის № 886.

ფასი 1 მან. 40 კაპ.

თბილისის უნივერსიტეტის გამომცემლობა,  
თბილისი, 380028, ი. ჯავახიშვილის პროსპექტი, 14.  
Издательство Тбилисского университета,  
Тбилиси, 380028, пр. И. Чавчавадзе, 14.

თბილისის უნივერსიტეტის სტამბა,  
თბილისი, 380028, ი. ჯავახიშვილის პროსპექტი, 1.  
Типография Тбилисского университета,  
Тбилиси, 380028, пр. И. Чавчавадзе, 1.