

# ივანე ჯავახიშვილის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი



მზეზე არსებული სტრუქტურების და მათი გავლენის მიმოხილვა  
მზის სისტემაში

მაგისტრატურის სტუდენტი: გიორგი მეშველიანი

ლექტორი: ასოც. პროფ. მერაბ გოგბერაშვილი

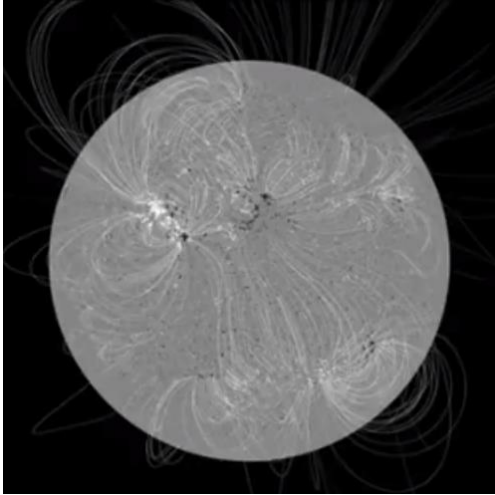
30.03.2020

## შესავალი

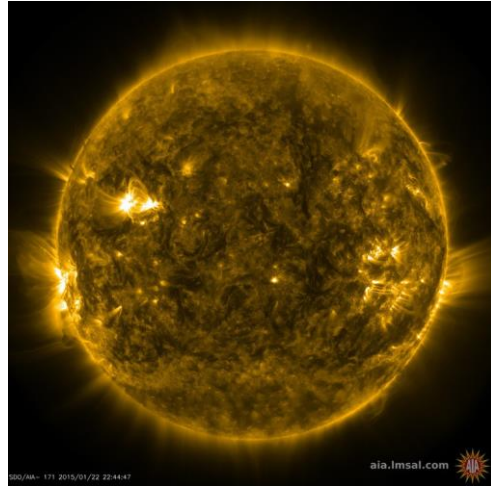
მზის დაკვირვებებმა გვიჩვენა რომ მზის ატმოსფერო დინამიურია და მას გააჩნია ნატიფი სტრუქტურა. მზის ატმოსფეროში ვხვდებით უამრავ საინტერესო, განსხვავებული მასშტაბის სტრუქტურის მქონე წონასწორულ, კვაზიწონასწორულ ობიექტს, რომლებიც გამოწვეულნი არიან მზეზე მიმდინარე პროცესების გამო. დადგენილია, რომ სუსტად იონიზირებულ აირის დინებებს, რომლებიც დამზერილია მზის ზედაპირზე, შეუძლიათ შექმნან მზის ატმოსფეროში არსებული სტრუქტურები. არსებული თეორიების უმრავლესობის მიხედვით ამ სტრუქტურების გაცხელებასა და ფორმირებაში მთავარ როლს იღებს ჰოლის ეფექტი და დისიპაციური წევრები, სადაც, ნაკლებად ენიჭებოდა მნიშვნელობა ნაწილობრივ იონიზირებული აირში არსებულ ამბიპოლარული დიფუზიის ეფექტს. თუმცა უახლოესი ექსპერიმენტული დაკვირვებები და კვლევების შედეგები საფუძველს გვაძლევს დავასკვნათ, რომ ამბიპოლარული დიფუზიის ეფექტი მნიშვნელოვანია ამ ამოცანის განხილვისას. წინასწარმა კვლევებმა აჩვენა, რომ ამბიპოლარული დიფუზიის გათვალისწინებით იზრდება წონასწორული სტრუქტურების მასშტაბთა მრავალფეროვნება და მიღებული თეორიული შედეგები უფრო რეალისტურს ხდის მაგნიტო-სითხური ბმების მოდელს. წონასწორული სტრუქტურების დარღვევა იწვევს ე. წ მზის ქარებს და ახდენს ეფექტურ გავლენას დედამიწაზე. დედამიწა თავის მხრივ თავს იცავს ძლიერი მაგნიტური ველისგან, მისი ქერქის შიგნით არსებული პლაზმისგან გამოწვეული მაგნიტური ველით. მზიდან პლაზმის ამოფრქვევები და წონასწორობიდან გამოსული ჩაკეტილი სტრუქტურები მზის სისტემაში ქმნის ე. წ ჰელიოსფეროს.

### 1. Interface (ინტერფეის) არე

IRIS(Interface Region Imaging Spectograph) – ის ძირითადი კვლევის არეალია, „ინტერფეის არე“ ანუ რეგიონი რომელიც მოიცავს ფოტოსფეროს, ქრომოსფეროსა და მზის ატმოსფეროს, სადაც ვხვდებით სხვადასხვა ტიპის სტრუქტურებს. აღნიშნული ექსპედიციის დაკვირვებები გვიჩვენებს რომ მზეზე არსებული მარყუქები და სპიკულები საკმაოდ დინამიური ობიექტებია. ასევე გამოვლინდა, რომ კორონა გაცილებით კომპლექსური სისტემაა, გაცილებით ცხელი და რთულად სტრუქტურირებულია, ვიდრე მზის ზედაპირი. მზის ზედაპირზე გაზომილი მაგნიტური ველის საშუალებით შესაძლებელია განვსაზღვროთ რა გავლენას მოახდენს ის მზის ატმოსფეროში არსებულ სუსტად იონიზირებულ აირზე.(სურ.1.)(სურ.2.)



(სურ.1)

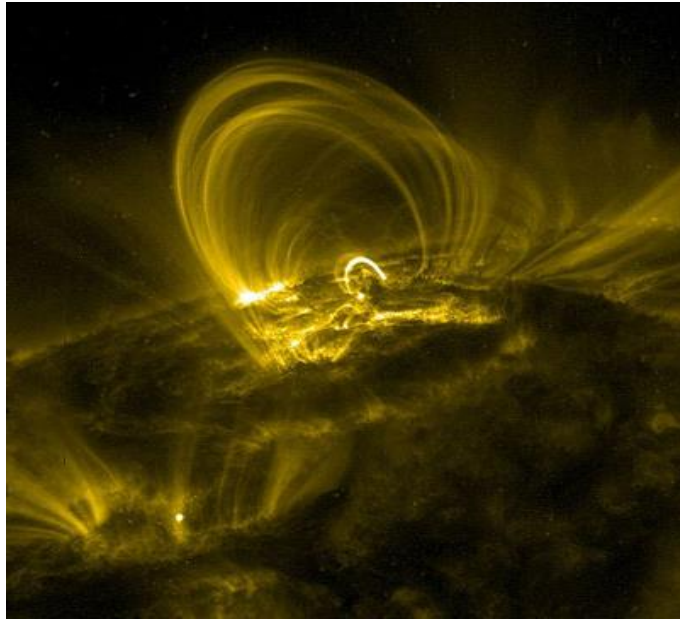


(სურ.2)

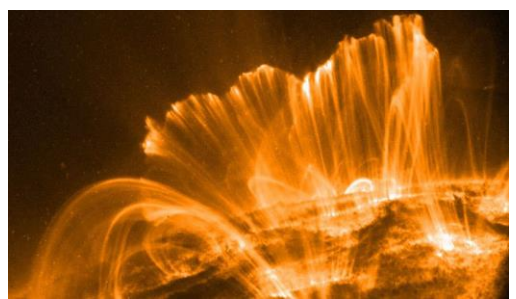
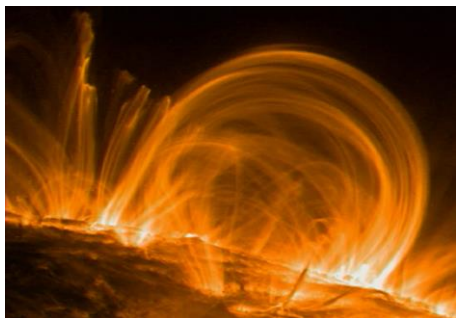
როგორც ვხედავთ კორონა გაცილებით რთულად სტრუქტურირებულია, რადგან მის ფორმირებაზე გავლენას ახდენს მაგნიტური ველი. თუ კარგად დავაკვირდებით ორივე სურათს, შევამჩნევთ რომ კორონაში არის ე. წ კორონალური მარყუქები, რომლებიც მიჰყვებიან მაგნიტური ველის ხაზებს. ამ ორ არეს შორის მანძილი ძალიან მცირეა მაგრამ ტემპერატურათა სხვაობა ძალიან დიდია. კორონა გაცილებით ცხელია.

## 2. მარყუქები

კორონალური მარყუქი არის მაგნიტური ველის მიერ ამორტყორცნილი ნაწილობრივ იონიზირებული აირი, რომელიც ჩაიჭირება მაგნიტური ველის ძაღწირებში. მცირე ზომის მარყუქებს ვხვდებით ქრომოსფეროში და დაახლოებით აღწევენ 1500 მილის სიმაღლეს, ხოლო დიდი ზომის მარყუქები 100 000 მილსაც აღწევს და კორონის საკმაოდ მაღალ წერტილებამდე ადის. ორივე ბოლო ფოტოსფეროში აქვს მაგნიტური ველის საწყისი პოლუსების გამო. მარყუში დინამიური ობიექტია, როდესაც მზე არის ძალიან აქტიური, მაშინ წარმოიქმნება დიდი რაოდენობით მარყუქი ხოლო როცა დაბალი აქტივობის მქონეა, მაშინ ვხვდებით ნაკლები რაოდენობით მარყუქებს.(იხ. სურათი)



მარყუქები ჩვენგან დაუმზერავდაც შეიძლება არსებობდნენ, რადგან მაგნიტური ველის გამო ყოველთვის ფორმირდებიან მარყუქები, თუმცა მათი შედარებით დაბალი ტემპერატურის გამო ისინი ნაკლებად კაშკაშა არიან და ამიტომაც ვერ ვხედავთ ხოლმე. კორონალურ მარყუქების ტემპერატურასა და ენერგიას აქვთ ცვლილების ფართო არეალი. 1 მილიონ კელვინზე (MK) ნაკლებ მარყუქებს განიხილავენ როგორც ცივ მარყუქებს. დაახლოებით 1MK ტემპერატურის მქონე მარყუქები აღიწერება როგორც ცხელი მარყუქები ხოლო, 1MK-ზე მეტი ტემპერატურის შემთხვევაში მათ ვუწოდებთ ცხელ მარყუქებს. აღნიშნული კატეგორიზაციის მიხედვით განარჩევენ გამოსხივების ტალღების განსხვავებულობას.

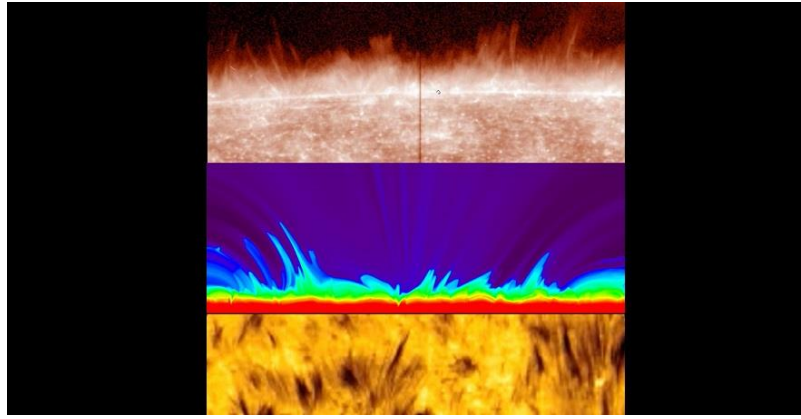


ბოლო მაშტაბური კვლევების შედეგები გვაჩვენებს, რომ მარყუქები როგორც სხვა, მაგნიტური ველის გამო შექმნილი წონასწორული/კვაზი-წონასწორული სტრუქტურები ირხევიან მაგნიტურ ველთან ერთად, რაც გამოწვეულია დარტყმითი ტალღების გამო.[1] ასევე საინტერესოა, რომ პოლუსები არ რჩებიან ერთმანეთთან ახლოს, არამედ გარკვეული პერიოდის შემდეგ მარყუქი აღარ არის ჩაკეტილი და სწრაფად ამოიტყორცნება გარე სივრცეში, რაც წარმოქმნის ე. წ. მზის ქარს. მზის ქარს გამოყოფენ 2 ძირითად ტიპად, „ნელი“ და „ჩქარი“ ტიპის ქარებად. ნელი მოძრაობს დაახლოებით 450 კმ/წმ-ფარგლებში, ხოლო ჩქარი 750 კმ/წმ-მდე. ნელი ქარების ძირითადი საწყისია მზის ეკვატორული არე, ხოლო ჩქარის „კორონალური ხვრელები“ (კორონასთან შედარებით ცივი არეებია, რომელიც ჩანს როგორც ბნელი გარშემო არსებული სიკაშკაშის გამო). მეორე ტიპის ამოტყორცნა ძაბრისებრია და მიჰყვება ღია მაგნიტური ველის ძალწირს.

### 3. სპიკულები

მზეზე ძალიან საინტერესო ობიექტებია ე. წ. სპიკულები, რომლებიც წარმოადგენენ შედარებით დაბალ სიმაღლეებზე და ძლიერი მაგნიტური ველის პირობებში სხვადასხვა ტიპის ტრანზიენტულ ჯეტებს. მათი ამოტყორცნა ხდება მზის ზედაპირიდან ქრომოსფეროში, ამიტომაც ვუწოდეთ მათ შედარებით დაბალ სიმაღლეებზე გამოვლენილ ჯეტებს, განსხვავებით მარყუქებისგან, ისინი ვერ აღწევენ კორონას, თუმცა მსგავსად მარყუქებისა ისინიც ირხევიან აქეთ - იქით, ალფენის ტალღების გამო, რამაც ასევე შეიძლება გამოიწვიოს აირის დიდი აჩქარებით ამოტყორცნა და გარე სივრცეში გაშვება. განსხვავება კიდევ ის არის რომ, სპიკულები მათ მასაზე გრავიტაციის მოქმედებისა და პოლარულად ჩაუკეტილობის გამო მალევე ეშვებიან ზედაპირზე, როგორც გეიზერების მოვლენა ხდება დედამიწაზე, თუმცა სპიკულები გაცილებით დიდი მაშტაბებსაც მოიცავს. დამზერისას აღმოჩნდა რომ გარკვეული ტიპის სპიკულები, რომლებიც კიდევ უფრო დაბალ სიმაღლეებზე გამოვლინდნენ ვიდრე სტანდარტული ტიპის სპიკულები.





თითქოს და არ ბრუნდებოდნენ უკან ზედაპირზე და ამოდიოდნენ განუწყვეტლივ, თუმცა შემდეგ აღმოჩნდა რომ მოვლენა მართლაც მისტიურია თუმცა სინამდვილეში უფრო გაცხელებული აირი ჩამოდის უკან და შესაბამისად უფრო დიდი კაშკაშა აირისა გვიქმნის ამ შთაბეჭდილებას.[2] მზეზე გვხვდება, 60 000 0 დან 70 000 - მდე აქტიური სპიკული, რომელთა საშუალო სიმაღლეც 30 000 მილია, ფოტოსფეროს დონიდან, რაც სრულიად საკმარისია ქრომოსფეროში შეღწევისთვის.

#### 4. ძირითადი განტოლებები

თუ დავწერთ ნეიტრალებისთვის მოძრაობის განტოლებას და გავითვალისწინებთ ელექტრონების და იონების ფარდობით სიჩქარეს მივიღებ საინტერესო თეორიული შედეგს:

$$\rho_n [\partial_t V_n + (V_n \cdot \nabla) V_n] = -\nabla p_{i,n,e} + \frac{J \times B}{c} + \mu \nabla^2 V_n$$

მნიშვნელოვანია მივაქციოთ ამ განტოლებას ყურადღება, რადგან ნეიტრალები არ მონაწილეობენ ლორენცის ძალის წარმოქმნაში, თუმცა მისი მოძრაობის განტოლებაში ჩნდება დენიანი წევრი, ანუ ნეიტრალები თავიანთ როლს ასრულებენ იონებთან დაჯახების თვალსაზრისით. მაგნიტური ველის ცვლილება დროში იქნება:

$$\partial_t B = \left( \left[ V_n - \frac{J}{en_e} + \frac{J \times B}{cv} \frac{1}{\rho_i} - \frac{\nabla(p_i + p_e)}{v} \frac{1}{\rho_i} \right] \times B \right) + \eta \nabla^2 B$$

ხოლო წონასწორობის პირობაა:  $\nabla \times [\nabla \psi] = 0$ , სადაც  $\psi$  არის სისტემის ენერგიის სიმკვრივის შესაბამისი პოტენციალი და ტრადიციულად მთავარი აღმწერი ფუნქცია დინებების ფორმირების ამოცანაში წონასწორობის ანალიზისას. ამ განტოლებების საშუალებით ჩვენ შეგვიძლია აღვწეროთ მზეზე არსებული სტრუქტურები, სხვადასხვა პირობების გათვალისწინებით.

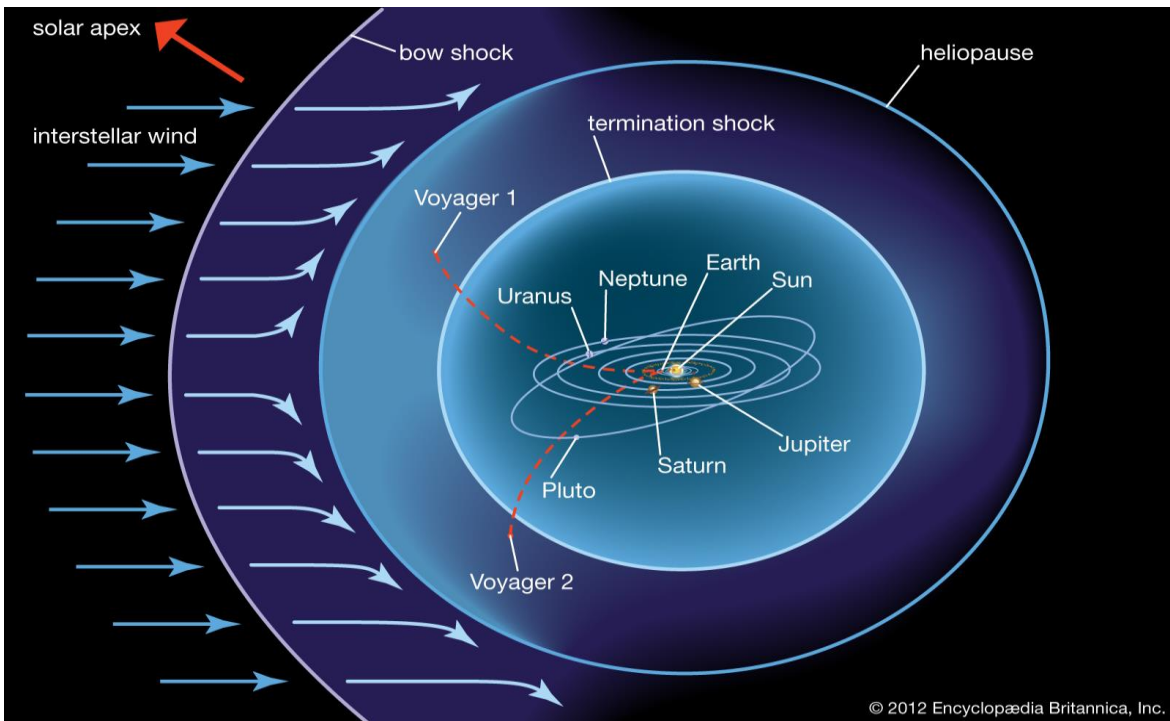
## 5. მზის ქარი



მზის ქარი მზის ზედა ატმოსფეროდან წამოსული პლაზმის ნაკადი. ის უმეტესად იონებსა და ელექტრონებს მოიცავს, რომელთა ენერგია ჩვეულებრივ 1,5-10 კილოელექტროვოლტი. ნაწილაკების ნაკადის სიმკვრივე, ტემპერატურა და სიჩქარე იცვლება დროთა განმავლობაში და მზის გრძედის მიხედვით. ეს ნაწილაკები თავიანთი მაღალი ენერგიის წყალობით მზის გრავიტაციას თავს აღწევს გვირგვინის მაღალი ტემპერატურიდან და მაგნიტური, ელექტრული და ელექტრომაგნიტური ფენომენებიდან, რომელიც მასში ხდება.

მზიური ქარი ზეგერითი სიჩქარით ვრცელდება უდიდეს მანძილებზე და ავსებს რეგიონს, რომელსაც ეწოდება ჰელიოსფერო ბურთულის მსგავსი უზარმაზარი სივრცე, რომელსაც გარს აკრავს ვარსკვლავთშორისი სივრცე. მზიურ ქართან დაკავშირებული სხვა ფენომენებია: ციალი (ჩრდილოეთისა და სამხრეთის ნათება), კომეტის პლაზმური კუდი, რომელიც ყოველთვის მზის საპირისპიროდაა მიმართული, და გეომაგნიტური შტორმები, რომელთაც ძალუმს შეცვალოს მაგნიტური ველის ძალწირების მიმართულება.

## 6. ჰელიოსფერო



ჰელიოსფერო - მზის გარშემო არსებული სივრცის უზარმაზარი რეგიონი, რომელიც ბურთულის მსგავსია და შევსებულია პლანეტათაშორისი სივრცით და პლუტონის ორბიტის გაღმა ვრცელდება. მზიდან წამოსული პლაზმის „მონაბერი“, რომელსაც მზის ქარი ეწოდება, ამ წარმოქმნის ამ ბურთულას და იცავს მას ვარსკვლავთშორისი სივრცის წნევისაგან წყალბადისა და ჰელიუმის გაზები, რომლებიც ჩვენს გალაქტიკაში აღწევს. ის მიედინება იქამდე, სანამ დასრულებულ დარტყმას არ შეეჯახება, სადაც მოძრაობა უცებ ნელდება. „ვოიაჯერის“ ზონდმა აქტიურად გამოიკვლია ჰელიოსფეროს გარე ნაწილები, გაიარა დარტყმით ტალღაში და შევიდა ჰელიოგარსში გარდამავალი რეგიონი, რომელიც შემოსაზღვრულია ჰელიოსფეროს ყველაზე გარეთ მდებარე კიდით. მას ჰელიოპაუზე ეწოდება. ჰელიოსფეროს საბოლოო ფორმას ის ვარსკვლავთშორისი სივრცე, რომელშიც ის მოძრაობს, ისევე, როგორც მზე. როგორც აღმოჩნდა, ის იდეალურად სფერული არ არის, რადგან ვარსკვლავთშორისი სივრცე გაცილებით ძლიერი მაგნიტური ველით მოქმედებს მზის მაგნიტურ ველზე. ამ სტრუქტურების შეზღუდული ხელმისაწვდომი მონაცემებით და გამოუკვლეველი ბუნებით მრავალი ახალი თეორია წარმოიშვა.

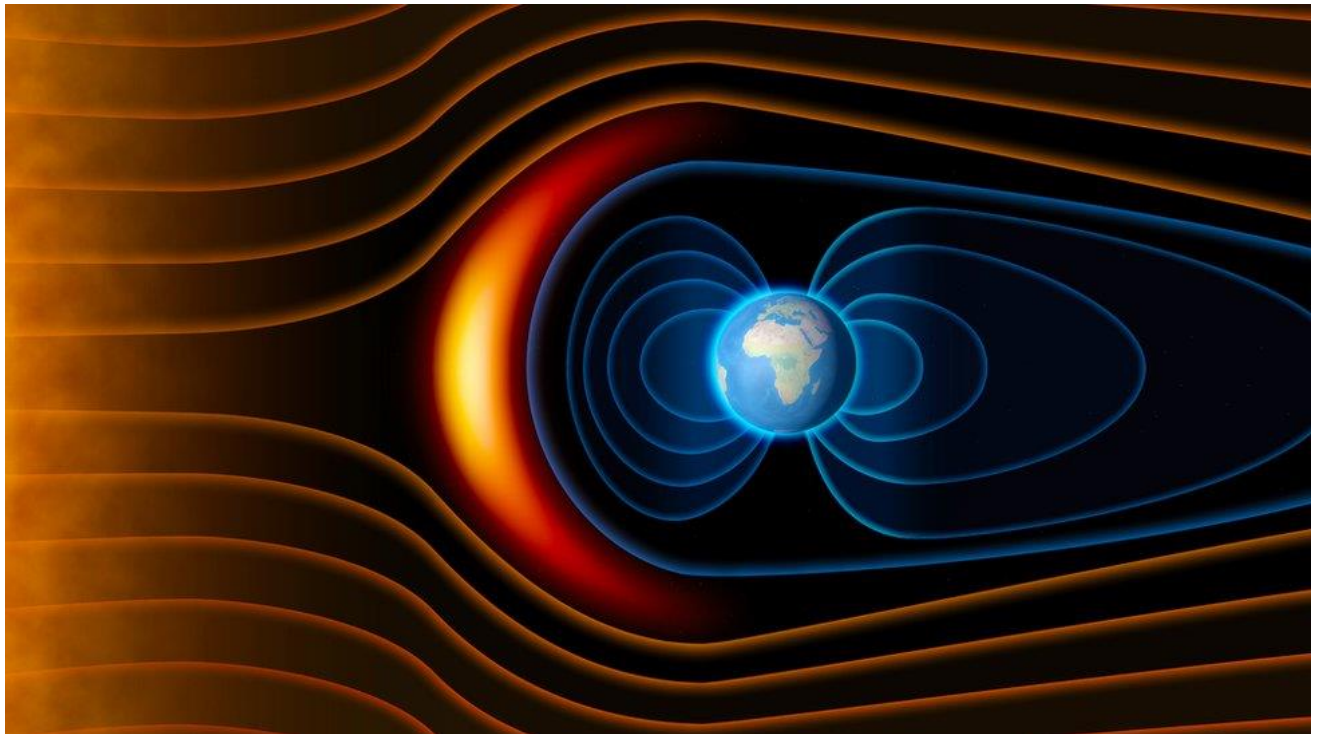


## 7. დედამიწა და მზე

დედამიწას თავის გარშემო არტყია მაგნიტური ველი, რომელიც რეალურად გამოწვეულია დედამიწის ქერქის ქვეშ არსებულ პლაზმისგან(ლავა, მაგმა).



თუმცა ამ მაგნიტურ ველზე ძალიან დიდი მასშტაბებით მოქმედებს მზის მაგნიტური ველი, რომელიც ფორმას უცვლის დედამიწის მაგნიტურ ველს და თითქოს და საპირისპირო მხარეს მაგნიტური ველის ძაღწირებს ხსნის, სინამდვილეში კი ძაღწირები ჩაკეტვა ხდება ძალიან შორ მანძილზე.



## 8. გამოყენებული ლიტერატურა

[1] J.Martínez-Sykora, B. De Pontieu, Viggo Hansteen Mats Carlsson, “The Role of Partial Ionization Effects in the Chromosphere“, *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, **373**, 20140268 (2015).

[2] J. Martínez-Sykora, B. De Pontieu, I. De Moortel, V.H. Hansteen, M. Carlsson, Mats. “Impact of Type II Spicules in the Corona: Simulations and Synthetic Observables”. *Astrophys. J.* **860**, 116 (2018).

V. Krishan, Z. Yoshida,” Equilibrium structures in partially ionized rotating plasmas within Hall Magnetohydrodynamics”, *Phys. Plasmas* **13**, 092303 (2006).

V. Krishan, “Hall Effect and Ambipolar Diffusion in Lower Solar Atmosphere”

S. M. Mahajan, Z. Yoshida, “Double Curl Beltrami Flow—Diamagnetic Structures”. *Journal of Mathematics and Physics*, 1998