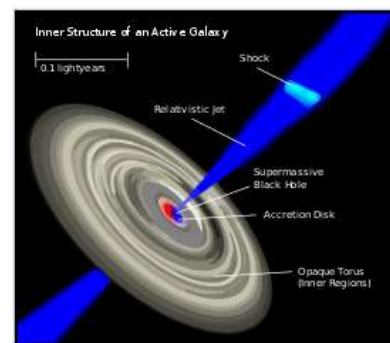


## ასტროფიზიკური ჯეტები

ასტროფიზიკური ჯეტი არის ასტრონომიული ფენომენი, რომელშიც იონიზირებული მატერიის ნაკადი გამოიტყორცნება ბრუნვის ღერძის გასწვრივ, წაგრძელებული სხივის სახით. როდესაც ამ სხივში ძლიერ აჩქარებული მატერიის სიჩქარე უახლოვდება სინათლის სიჩქარეს, ასტროფიზიკური ჯეტი ხდება რელატივისტური და წარმოაჩენს ფარდობითობის სპეციალური თეორიის ეფექტებს.



Relativistic jet. The environment around the AGN where the relativistic plasma is collimated into jets which escape along the pole(s) of the supermassive black hole.

ასტროფიზიკური ჯეტების ფორმირება და ამოქმედება წარმოადგენს საკმაოდ რთულ მოვლენას, რაც დაკავშირებულია მრავალი ტიპის მაღალი ენერგიის მქონე ასტრონომიულ წყაროსთან. სავარაუდოდ ისინი ჩნდებიან აკრეციული დისკების შიგნით მიმდინარე დინამიური ურთიერთქმედებების შედეგად. მათი აქტიური პროცესები დაკავშირებულია კომპაქტურ ცენტრალურ ობიექტებთან, როგორებიცაა შავი ხვრელები, **ნეიტრონის ვარსკვლავები** ან **პულსარები**.

### ნეიტრონული ვარსკვლავი -

კოლაფსირებული ბირთვი გიგანტური ვარსკვლავისა, რომელიც კოლაფსამდე იყო 10-29-ჯერ მეტი მასის, ვიდრე მზე.



Simulated view of a neutron star bending light



PSR B1509-58 – X-rays from Chandra are gold; Infrared from WISE in red, green and blue/max.

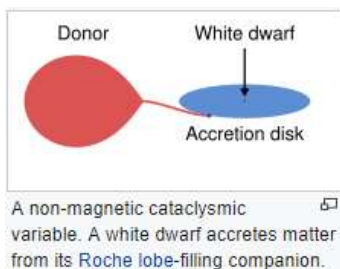
**პულსარი** - ძლიერ დამაგნიტებული მბრუნავი ნეიტრონული ვარსკვლავი, რომელიც ასხივებს ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებას.

ამის ერთ-ერთი ახსნა არის ის, რომ გადახლართული მაგნიტური ველები ორგანიზებულია ისე, რომ წარმოქმნას (გამოიწივოს)<sup>2</sup> დიამეტრალურად საპირისპირო სხივი ცენტრალური წყაროდან, რამდენიმე გრადუსიანი კუთხის გადახრით. ჯეტებზე ასევე შეიძლება გავლენა იქონიოს ფარდობითობის ზოგადმა ეფექტმა, რომელიც ცნობილია, როგორც **frame-dragging**.

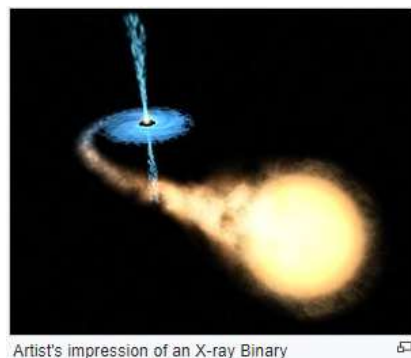
**Frame-dragging**- სივრცე-დროსთან დაკავშირებული ეფექტი. ვარაუდობდნენ, რომ მასიური ობიექტის ბრუნვა გამოიწვევდა სივრცე-დროის მეტრიკის დეფორმაციას. ეფექტი: სინათლე, რომელიც მოძრაობს ბრუნვის მიმართულებით, უფრო სწრაფად ჩაუვლის მასიურ ობიექტს, ვიდრე ბრუნვის საპირისპიროდ მოძრაობს.

ყველაზე დიდი და ყველაზე მეტად აქტიური ჯეტები იქმნება სუპერმასიური შავი ხვრელებისგან (SMBH), რომლებიც მდებარეობს ისეთი აქტიური გალაქტიკების ცენტრში, როგორებიცაა კვაზარები და რადიო გალაქტიკები ან გალაქტიკურ კლასტერებში. ასეთმა ჯეტებმა შეიძლება სივრცეში გადააჭარბონ მილიონ პარსეკს. სხვა ასტრონომიული ერთეულები, რომლებიც შეიცავენ ჯეტებს, წარმოადგენს შეიცავენ კატაკლიზმურად ცვლად ვარსკვლავებს (cataclysmic), X-ray binaries and gamma-ray bursts (GRB)-ს.

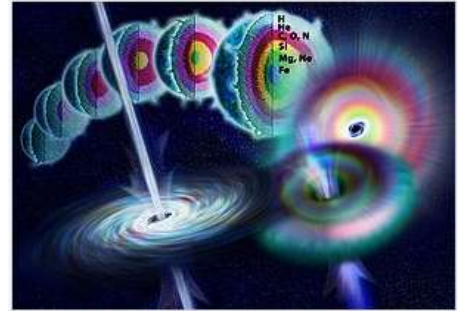
**Cataclysmic variable stars( CV) -** - ვარსკვლავები, რომელთაც არარეგულარულად დიდად ეზრდებათ სიკაშკაშე და შემდეგ უბრუნდებიან მშვიდ მდგომარეობას. კატაკლიზმურად ცვლადი ვარსკვლავები არის ბინარული ვარსკვლავები, რომლებიც შედგება ძირითადი თეთრი ჯუჯისგან და მასის გადამტანისგან.



**X-ray binaries** - არის ბინარული ვარსკვლავების კლასი, რომლებიც ანათებენ რენტგენულ სხივებად.



**Gamma-ray bursts-** )-ძალიან დიდი ენერგეტიკული აფეთქებები, რომლებიც დიკვირვა მოშორებით მდებარე გალაქტიკებში. ეს არის ყველაზე კაშკაშა ელექტრომაგნიტური მოვლენა, რაც ცნობილია სამყაროში.



Artist's illustration showing the life of a massive star as nuclear fusion converts lighter elements into heavier ones. When fusion no longer generates enough pressure to counteract gravity, the star rapidly collapses to form a black hole. Theoretically, energy may be released during the collapse along the axis of rotation to form a gamma-ray burst.

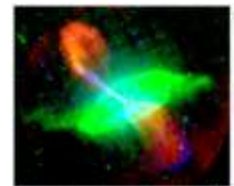
**აქტიური გალაქტიკა** - გალაქტიკა-აქტიური გალაქტიკის ბირთვი (**AGN**) არის კომპაქტური ობიექტი გალაქტიკის ცენტრში, რომელსაც აქვს ნორმალურზე გაცილებით მეტი ნათება ელექტრომაგნიტური სპექტრის რომელიმე ნაწილში მაინც. გალაქტიკას, რომელიც შეიცავს ასეთ ბირთვს, აქტიური გალაქტიკა ეწოდება.

**კვაზარი** - ექსტრემალურად ძლიერად მანათობელი აქტიური გალაქტიკის ბირთვი.

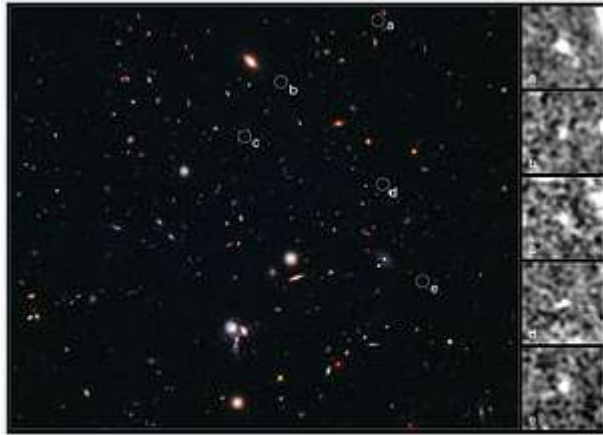


Artist's rendering of the accretion disk in ULAS J1120+0641, a very distant quasar powered by a black hole with a mass two billion times that of the Sun.<sup>[1]</sup>

**რადიოგალაქტიკა** - აქტიური გალაქტიკის ტიპი, რომელშიც აქტიური გალაქტიკის ბირთვი ძლიერად ასხივებს რადიოტალღებს.



False-colour image of the nearby radio galaxy Centaurus A, showing radio (red), 24-micrometre infrared (green) and 0.5-5 keV X-ray emission (blue). The jet can be seen to emit synchrotron radiation in all three wavebands. The lobes only emit in the radio frequency range, and so appear red. Gas and dust in the galaxy emits thermal radiation in the infrared. Thermal X-ray radiation from hot gas and non-thermal emission from relativistic electrons can be seen in the blue 'shells' around the lobes, particularly to the south (bottom).



Composite image of five galaxies clustered together just 600 million years after the Universe's birth<sup>[1]</sup>

**გალაქტიკური კლასტერები** - სტრუქტურა, რომელიც შედგება სადაც 100-1000 გალაქტიკისგან, რომლებიც დაკავშირებული არიან გრავიტაციით და მათი ტიპური მასები მზის მასას აღემატება 10<sup>14</sup>-10<sup>15</sup>-ჯერ.

ვარსკვლავების ფორმირების რეგიონები გამოწვეულია ჯეტების ურთიერთქმედებით ვარსკვლავთშორის გარემოსთან. ჯეტები კარგი საშუალებაა ვარსკვლავ-დისკის სისტემისთვის რომ შეიმციროს კუთხური მომენტი დიდი მასის დაკარგვის გარეშე.

## აკრეციის დისკი

აკრეციის დისკი არის სტრუქტურა, რომელიც ფორმირდება დიფუზიური მატერიისგან ორბიტალური ბრუნვისას რაიმე მასიური ცენტრალური სხეულის გარშემო. მასიური სხეული, როგორც წესი, არის ვარსკვლავი. ხახუნი ორბიტაზე მოძრავ მატერიას აიძულებს სპირალურად იმოძრაოს ცენტრალური ობიექტისკენ. გრავიტაციული და ხახუნის ძალები იკუმშება და იწვევს ტემპერატურის მატებას, რაც თავის მხრივ იწვევს ელექტრომაგნიტური ტალღის გამოსხივებას. ამ გამოსხივების სიხშირული დიაპაზონი დამოკიდებულია ცენტრალური სხეულის მასაზე. ახალგაზრდა და პროტოვარსკვლავების აკრეციული დისკები ასხივებენ ინფრაწითელ დიაპაზონში, ნეიტრონის ვარსკვლავების და შავი ხვრელების გარშემო მდებარეები კი - რენტგენულ არეში.



Image taken by the Hubble Space Telescope of what may be gas accreting onto a black hole in the elliptical galaxy NGC 4261

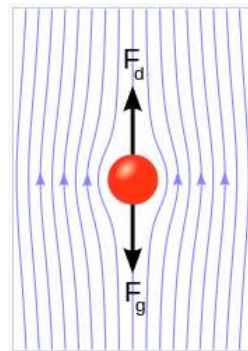
**პროტოვარსკვლავი** - ძალიან ახალგაზრდა ვარსკვლავი, რომელიც ჯერ კიდევ იგროვებს მასას მშობელი მოლეკულური ღრუბლისგან.



1940 წელს მოდელში თავდაპირველად გამოყვანილი იყო ძირითად ფიზიკურ პრინციპებზე დაყრდნობით. დაკვირვებებზე თანხვედრის მიზნით ეს მოდელები უნდა დაყრდნობოდა კუთხური მომენტის გადანაწილების ჯერ კიდევ უცნობ მექანიზმს. თუ ნივთიერება ეცემა (შეიტყორცნება) შიგნით, მაშინ მას უნდა შეუმცირდეს არა მხოლოდ გრავიტაციული ენერგია, არამედ კუთხური მომენტიც. რადგანაც დისკის სრული კუთხური მომენტი ინახება, ცენტრისკენ გატყორცნილი მასის კუთხური მომენტის შემცირება უნდა დააკომპენსიროს ცენტრიდან მოშორებით მყოფი მასის კუთხური მომენტის გაზრდამ. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, კუთხური მომენტი უნდა ტრანსპორტირდეს (გამოიტანოს) გარეთ რომ მოხდეს მატერიის შეზრდა (დაგროვება). რელეის მდგრადობის პირობიდან გამომდინარე

$$\frac{\partial(R^2\Omega)}{\partial R} > 0$$

სადაც  $\Omega$  არის სითხის ელემენტის კუთხური სიჩქარე და  $R$  კი დაშორება ბრუნვის ცენტრიდან. მოსალოდნელია, რომ აკრეციის დისკი იყოს ლამინარული დინება (ნაკადი). ეს თავიდან იცილებს კუთხური მომენტის გადატანაში ჰიდროდინამიკური მექანიზმის არსებობას. ერთი მხრივ, ცხადი იყო, რომ სიბლანტის დამაბულობები გამოიწვევდა ცენტრისკენ გატყორცნილი მატერიის გაცხელებას და მისი გრავიტაციული ენერგიის ნაწილის გამოსხივებას; მეორე მხრივ, სიბლანტე თავისთავად არ იყო საკმარისი აეხსნა კუთხური მომენტის გადატანა დისკის გარე ნაწილებში. ივარაუდეს, რომ ამაზე პასუხისმგებელი იყო ტურბულენტობა- გაზრდილი სიბლანტე, მიუხედავად იმისა, რომ ჯერ ტურბულენტობის წარმომავლობა არ იყო კარაგდ გამოკვლეული. 1991 წელს მაგნიტო-მბრუნავი არამდგრადობის ხელახლა აღმოჩენის საფუძველზე დადგინდა, რომ სუსტად დამაგნიტებული აკრეციული დისკი, რომელიც წარმოქმნილია მძიმე კომპაქტური ცენტრალური ობიექტის გარშემო უნდა ყოფილიყო ძალიან არამდგრადი, რაც უზრუნველყოფდა კუთხური მომენტის გადანაწილების მექანიზმს.



**ლამინარული დინება** - ჰიდროდინამიკაში ლამინარულ დინებას ადგილი აქვს, როცა სითხე მიედინება პარალელურ შრეებად და შრეები არ ერევა ერთმანეთს.

**სიბლანტის დამაბულობის ტენზორი** - ტენზორი, რომელიც გამოიყენება უწყვეტ მექანიკაში დამაბულობის ნაწილის მოდელირებისთვის ნივთიერების რომელიმე წერტილში, რომელიც დაკავშირებულია დეფორმაციის სიჩქარესთან, სიჩქარესთან, რომლითაც დეფორმირდება ის ამ წერტილის გარშემო.

**ტურბულენტობა** - ჰიდროდინამიკაში ტურბულენტობა, ან ტურბულენტური დინება არის სითხის მოძრაობა, რომელიც ხასიათდება ქაოსური ცვლილებებით წნევასა და დინების სიჩქარეში.

## რელატივისტური ჯეტი

რელატივისტური ჯეტები არის იონიზირებული მატერიისგან შედგენილი სხივები, რომლებიც აჩქარებულია დაახლოებით სინათლის სიჩქარემდე. უმრავლესობის შემჩნევა თან ახლდა ზოგიერთი აქტიური გალაქტიკის, რადიო გალაქტიკის ან კვაზარების შავ ხვრელებზე, ასევე გალაქტიკის ვარსკვლავურ შავ ხვრელებზე, ნეიტრონულ ვარსკვლავებსა და პუსლარებზე დაკვირვებებს. სხივის სიგრძემ შეიძლება გადააჭარბოს რამდენიმე 1000, 10000 და მილიონ პარსეკსაც კი. ჯეტების სიჩქარეები სინათლის სიჩქარის მიახლოებისას ავლენენ სპეციალური ფარდობითობის თეორიის ეფექტებს, მაგალითად რელატივისტურ გამოსხივებას, რაც ცვლის სხივის სიკაშკაშეს.



Elliptical galaxy M87 emitting a relativistic jet, as seen by the Hubble Space Telescope

მასიურ ცენტრალურ შავ ხვრელებს გალაქტიკაში აქვთ ყველაზე მძლავრი ჯეტები, მაგრამ მათი სტრუქტურა და ყოფაქცევა იგივენაირია, როგორც უფრო მცირე გალაქტიკაში მყოფი ნეიტრონის ვარსკვლავებისა და შავი ხვრელების ჯეტების. სუპერმასიური შავი ხვრელების სისტემებს (SMBH სისტემებს) ხშირად ეძახიან მიკროკვაზარებს. მათ აქვთ სიჩქარეების დიდი დიაპაზონი. მაგალითად SS433 ჯეტს აქვს 0.23c სიჩქარე. რელატივისტური ჯეტის ფორმირებამ ასევე შეიძლება ახსნას გამა-სხივების ენერგეტიკული აფეთქება (gamma-ray bursts). აღსანიშნავია, რომ შედარებით სუსტი და ნაკლებად რელატივისტური ჯეტები შეიძლება დაკავშირებული იყოს ბინარულ სისტემებთან.

**ბინარული ვარსკვლავი** - ვარსკვლავთა სისტემა, რომელიც შედგება 2 ვარსკვლავისგან, როლებიც ბრუნავენ საერთო ინერციის ცენტრის გარშემო.

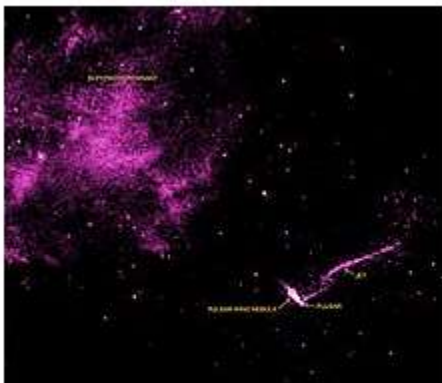
ჯეტების შედგენის მექანიზმი ჯერ კიდევ არ არის განსაზღვრული, თუმცა ზოგიერთი გამოკვლევა გვთავაზობს მოდელს, რომლის მიხედვითაც ჯეტი შედგენილია ელექტრულად ნეიტრალური ნარევისგან, ბირთვებისგან, ელექტრონებისგან, პოზიტრონებისგან, ხოლო სხვების აზრით ჯეტი შედგება პოზიტრონ-ელექტრონული პლაზმისგან.

ვინაიდან რელატივისტური ჯეტის ფორმირებისთვის საჭიროა ძალიან დიდი ენერგია ზოგიერთი ჯეტი შესაძლებელია ქმედებაში მოდიოდეს შავი ხვრელების ბრუნვით (spinning). 2 თეორია არსებობდა იმის ასახსნელად, თუ როგორ შეიძლებოდა ენერგია გადაცემოდა შავი ხვრელიდან ასტროფიზიკურ ჯეტს:

1. ბლენდფორდ-ზაიეკის (Blandford–Znajek) პროცესი: ეს თეორია ხსნის ენერგიის მოპოვებას აკრეციის ცენტრების გარშემო მაგნიტური ველებისგან, რომლებიც იჭიმება და იხვევა შავი ხვრელის ბრუნვის შედეგად. რელატივისტური მატერია შეიძლება ამოძრავდეს (გამოიტყორცნოს) ველის ძალწირების დაჭიმვით.
2. პენროუზის (Penrose) მექანიზმი. ამ შემთხვევაში ენერგია გადმოიცემა მზრუნავი შავი ხვრელისგან frame dragging-ით, რასაც შემდგომში თეორიულად დამტკიცდა რომ შეუძლია მოიპოვოს რელატივისტური ნაწილაკის ენერგია და იმპულსი, და შემდეგ ნაჩვენები იქნა, რომ ამ მექანიზმით შეიძლება ჯეტის ფორმირება.

### ნეიტრონული ვარსკვლავების რელატივისტური ჯეტები

ჯეტები ასევე შესაძლებელია დაიკვირვოს მზრუნავი ნეიტრონული ვარსკვლავებიდან. მაგალითად შეიძლება მოვიყვანოთ პულსარი [IGR J11014-6103](#) რომელსაც აქვს დღემდე დაკვირვებული ყველაზე დიდი ჯეტი ჩვენს გაქაქტიკაში. მისი სიჩქარეა 0.8c. რენტგენული დაკვირვებები იქნა ჩატარებული, მაგრამ ვერ აღმოაჩინეს ვერც რადიო სიგნალი და ვერც აკრეციის დისკი. თავიდან ვარაუდობდნენ, რომ ეს პულსარი ბრუნავდა საკმაოდ ჩქარა, მაგრამ შემდეგ გაზომვებმა აჩვენა, რომ ბრუნვის სიხშირე შეადგენდა მხოლოდ 15.9 ჰერცს. ასეთი დაბალი სპინის მაჩვენებელი და აკრეციის მატერიის არ არსებობა გვეუბნება, რომ ჯეტი არ არის არც ბრუნვით და არც აკრეციის დისკით წარმოქმნილი (მექანიზმებული, გაძლიერებული). ამის მიუხედავად ის მიმართულია პულსარის ბრუნვის ღერძის გასწვრივ და პულსარის ჭეშმარიტი მოძრაობის მართობულად.



The pulsar IGR J11014-6103 with  
supernova remnant origin, nebula and  
jet

გამოყენებული ლიტერატურა:

[https://en.m.wikipedia.org/wiki/Astrophysical\\_jet?fbclid=IwAR2A69U3puvpO6i-ulFAwY8k3YT-9loC-zNdqmE1-sYeydmno9AvIwd2IjQ](https://en.m.wikipedia.org/wiki/Astrophysical_jet?fbclid=IwAR2A69U3puvpO6i-ulFAwY8k3YT-9loC-zNdqmE1-sYeydmno9AvIwd2IjQ)

[https://en.m.wikipedia.org/wiki/Accretion\\_disk?fbclid=IwAR32tFMWNtNPSY8cyZL7KUc5WYJk1JZO0DJk7KnzV\\_A\\_swJYUbrk1XRmNu4](https://en.m.wikipedia.org/wiki/Accretion_disk?fbclid=IwAR32tFMWNtNPSY8cyZL7KUc5WYJk1JZO0DJk7KnzV_A_swJYUbrk1XRmNu4)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Gamma-ray\\_burst](https://en.wikipedia.org/wiki/Gamma-ray_burst)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Active\\_galactic\\_nucleus](https://en.wikipedia.org/wiki/Active_galactic_nucleus)