თავი 2

2

ვარსკვლავიანი ცა

ადამიანის შეგრძნებებისთვის უფრო ბუნებრივად აღსაქმელია გეოცენტრული სისტემა, რადგან ჩვენ ვხედავთ, რომ ცის თაღი ბრუნავს ციურ პოლუსებზე და მოძრაობს დედამიწის გარშემო. ჩვენ ამ სფეროს მხოლოდ ნახევარს ვხედავთ, რამდენადაც ჰორიზონტით ვართ შემოსაზღვრული. წერტილი, რომელიც ზუსტად ჩვენი თავის გასწვრივაა, ზენიტი ჰქვია, რაც 18 გრადუსიან ზოლს წარმოქმნის, სადაც ჩვენ შეგვიძლია ვნახოთ მთვარე და პლანეტები. ცის თაღი დაყოფილია 88 თანავარსკვლავედად, ან სექტორად.

ანტიკური ასტრონომია

ძველ საბერძნეთში, ფილოსოფოსები, როგორიც არის არისტოტელე, აღიარებდნენ, რომ დედამიწა და მთვარე სფეროს ფორმისანი არიან, ესმოდათ მთვარის ფაზების არსი, თუმცა, რადგან ვერ შეისწავლეს ვარსვკლავთ პარალაქსი, არ მიიღეს აზრი, რომ დედამიწა მოძრაობს თავის ორბიტაზე (მოძრავი დედამიწის იდეა განაგდეს). ერასტოსთენესმა შეაფასა დედამიწის ზომა, რაც ძალიან ახლოს არის მის რეალურ ზომასთან. ჰიპარქოსი რეგულარულად აკვირდებოდა ცას და შეადგინა ვარსკვლავთ კატალოგი და განსაზღვრა ვარსკვლავური სიდიდეები და აღმოაჩინა პრეცესია – the apparent shift in the position of the north celestial pole. პტოლემეოსმა (ალექსანდრიიდან) შეაჯამა კლასიკური პერიოდის ასტრონომიის ცოდნა თავის ტრაქტატში ალმაგესტი და გეოცენტრული სისტემის გამოყენებით, განსაკუთრებული სიზუსტით ახსნა პლანეტების როგორც დირექტული, ასევე რეტროგრადული მოძრაობა. გეოცენტრული მოდელი, ერთგვაროვან წრიულ მოძრაობებზე დაყრდნობითა და ეპიციკლების გამოყენებით, დომინანტური მოდელი იყო მომდევნო ათასწლეულის განმავლობაში.

ასტროლოგია და ასტრონომია

ასტროლოგია, როგორც რელიგიის უძველესი ფორმა, რომელმაც მნიშვნელოვანი წვლილი შეიტანა ცივილიზაციაში, რადგან ადამიანები დაინტერესდნენ ცის თაღით და ცაზე მიმდინარე პროცესებით, ბაბილონში ჩამოყალიბდა. ასტროლოგიამ, როგორც რელიგიურმა წარმოდგენამ, განვითარების მწვერვალს ბერძნულ–რომაულ სამყაროში მიაღწია, რაც დასტურდება პტოლემეოსის ტრაქტატების კრებულით ტეტრაბიბლოს. ნატალური ასტროლოგია ეფუძნება წარმოდგენას, რომ ადამიანის დაბადების დროს პლანეტების მდებარეობა, როგორც ჰოროსკოპია აღვიწერს, განსაზღვრავს ადამიანის ბედს. თუმცა, თანამედროვე მიდგომები გვიჩვენებს, რომ ამისი დასაბუთებული მტკიცება არ შეგვიძლია – იმ შემთხვევაშიც კი, თუ დიდ და მრავალფეროვან მონაცემებს გამოვიყენებთ განსახილველად – არ არსებობს მყარი თეორია, რომელიც დაამტკიცებდა ასტროლოგიის გავლენებს ადამიანზე.

თანამედროვე ასტრონომიის ჩამოყალიბება

ნიკოლას კოპერნიკმა, თავის ნაშრომში *De Revolutionibus*, რენესანსის პერიოდის ევროპას სამყაროს მოწყობის ჰელიოცენტრული მოდელი წარუდგინა. მან არისტოტელეს წრიული მოძრაობის იდეა შეინარჩუნა, თუმცა თავის მოდელში მან დედამიწა სამყაროს ცენტრიდან პლანეტების რიგში გადაიყვანა და თქვა, რომ მზე არის ცენტრი და პლანეტები მის გარშემო მოძრაობენ. გალილეომ კიდევ უფრო მეტი პროგრესი განიცადა, რადგან მან შექმნა ტელესკოპი და იყენებდა ექსპერიმენტული ფიზიკისა და დაკვირვებითი ასტრონომიის მეთოდებს. მან შეისწავლა მოძრავი სხეულის აჩქარება და 1610 წელს დაიწყო ტელესკოპით ცის ობიექტების დაკვირვება – მან აღმოაჩინა ირმის ნახტომის თავისებურებები, მთვარის დიდი კრატერები, ვენერას ფაზები და იუპიტერის ოთხი მთვარე. მიუხედავად იმისა, რომ ის დაადანაშაულეს ჰელიოცენტრული კოსმოლოგიის მხარდაჭერაში, გალილეოს დაკვირვებები და მეცნიერული ნამუშევრები უზადო იყო, რამაც მისი თანამედროვე მეცნიერები დაარწმუნა კოპერნიკის თეორიის ნამდვილობაში.

თავი 3

პლანეტების მოძრაობის კანონები

ტიჰო ბრაჰეს დაკვირვებებზე დაყრდნობით კეპლერმა გამოიყვანა პლანეტების მოძრაობის სამი ფუნდამენტური კანონი: (1) ყოველი პლანეტა მოძრაობს მზის ირგვლივ ელიფსურ ორბიტაზე, რომლის ერთ–ერთ ფოკუსში არის მზე; (2) მზისა და პლანეტის შემაერთებელი მონაკვეთი დროის ტოლ შუალედში ტოლ ფართობს შემოწერს; (3) პლანეტების ორბიტების გარშემოვლის პერიოდების კვადრატების შეფარდება მზემდე საშუალო მანძილების კუბებთან მუდმივი სიდიდეა - p2=a3 (a არის ნახევარღერძი და p -ორბიტალური პერიოდი. a და p ასტრონომიულ ერთეულებშია გაზომილი).

ნიუტონის დიდი სინთეზის თეორია

ნიუტონმა ტრაქტატში Principia ჩამოაყალიბა სხეულის მოძრაობის სამი ძირითადი კანონი: (1) ათვლის ინერციულ სისტემაში, სხეული ან უძრავია, ან მოძრაობს წრფივად და თანაბრად, ვიდრე მასზე რაიმე ძალა არ იმოქმედებს; (2) ათვლის ინერციულ სისტემაში სხეულის აჩქარებას იწვევს მასზე მოქმედი ძალა; (3) ყველა ქმედებას ახლავს თანაბარი და მიმართულებით საპირისპირო უკუქმედება. [ნებისმიერი ორი სხეული ურთიერთქმედებენ ერთნაირი ბუნების ძალით, რომლებიც მიმართულია ერთი წრფის გასწვრივ, ტოლია მოდულებით და აქვთ ურთიერთსაპირისპირო მიმართულება.]

მომენტი არის სხეულის მოძრაობის საზომი და დამოკიდებულია სხეულის მასასა და სიჩქარეზე. კუთხური მომენტი არის მბრუნავი სხეულის ბრუნვის საზომი

თავი 4

ცა და დედამიწა

დედამიწის გრძედებისა და განედების სისტემა ქმნის მერიდიანების სისტემას. ნულოვანი გრძედი, პირობითად, აღებულია გრინვიჩის სამეფო ობსერვატორიაზე, ინგლისში. ანალოგიურ ციურ კოორდინატთა სისტემას პირდაპირი აღვლენა და დახრილობა ეწოდება. დახრილობის ნულოვანი გრადუსი იწყება გაზაფხულის ბუნიობიდან. კოორდინატთა ეს სისტემა გვეხმარება, რომ ნებისმიერი ციური სხეულის მდებარეობა განვსაზღვროთ.

ფუკოს ქანქარა კიდევ ერთხელ აჩვენებს, რომ დედამიწა მოძრაობს.

სეზონები

დედამიწაზე სეზონების ცვლილება დაკავშირებულია დედამიწის ბრუნვის ღერძის 23.5° გრადუსით გადახრასთან. ზაფხულის ნაბუნიობას, მზე ცის თაღის ყველაზე მაღალ წერტილზეა და დედამიწას თითქმის პირდაპირ აფენს თავის სხივებს. ამ დროს, მზე ნახევარ დღეზე მეტხანს ჩანს ცაზე და უფრო დიდხანს ათბობს დედამიწას. ზამთრის ნაბუნიობის დროს, მზე ცაზე ყველაზე დაბალ წერტილამდე ადის და სხივები დახრილი კუთხით ხვდება დედამიწას. ამასთან, ის ცაზე 12 საათზე ნაკლები ხანი ჩანს და ნაკლებად გვათბობს. გაზაფხულისა და შემოდგომის ბუნიობის დროს, მზე ცის ეკვატორზეა, რის გამოც, დღეს და ღამე თანაბარი ხანგრძლივობისაა (12 საათი). დედამიწის სხვადასხვა განედზე სეზონების ცვლილება სხვადასხვანაირია.

დრო

ასტრონომიული დროის ძირითადი ერთეულია დღე – ან სოლარული დღე ( მზეზე დაყრდნობით ათვლილი) ან სიდერული დღე ( ვარსკვლავებზე დაყრდნობით ათვლილი). სოლარული დრო განისაზღვრება მზის კონკრეტული მდებარეობით ცაზე –აქედან გამომდინარე, სოლარული დრო ემყარება წლის განმავლობაში მზის დღის საშუალო მნიშვნელობას. საერთაშორისო შეთანხმების მიხედვით, მსოფლიო 24 სასაათო სარტყელად არის დაყოფილი, რომელთაგან ყველას თავისი სტანდარტული დრო აქვს. თარიღის ცვლილების ხაზის კონვენცია აუცილებელია იმისთვის, რომ დედამიწის სხვადასხვა კუთხეში შესაძლებელი იყოს დროის შეთანხმება.

კალენდარი

კალენდრის მთავარი პრობლემა დღის, თვისა და წლის არათანაბარი ხანგრძლივობის შეთავსებაა. რომაული ანუ იულიუსის კალენდრიდან დაწყებული (ძვ.წ. პირველი საუკუნე), თანამედროვე კალენდრების უმეტესობა ყურადღებას არ აქცევს თვეებში დღეთა თანაბარ გადანაწილებას და კონცენტრირებულია იმაზე, რომ წელიწადში დღეების თანაბარი რაოდენობა იყოს. ამის მისაღწევად, ვიყენებთ ნაკიანი წელიწადის სისტემას. დღეს, მსოფლიოს უმეტესი ქვეყნები იყენებენ გრეგორიანულ კალენდარს, რომელიც 1582 წელს დაარსდა, ხოლო თვეების განსასაზღვრად უფრო ძველ, მთვარის კალენდარს იყენებენ.

მთვარის მოძრაობა და ფაზები

მთვარის ფაზების ცვლილება დამოკიდებულია იმაზე, რომ თვის განმავლობაში მზე მას სხვადასხვა კუთხით ანათებს. სავსე მთვარის დანახვა მხოლოდ ღამეა შესაძლებელი, მთვარის სხვა ფაზების დანახვა დღის სხვა მონაკვეთებშიც შეიძლება. მთვარეს ჩვენ მხოლოდ ერთი მხრიდან ვხედავთ, რადგან მისი ორბიტაზე გარშემოვლის პერიოდი ემთხვევა დედამიწის ღერძის გარშემო ბრუნვის პერიოდს.

ოკეანეების მიქცევა–მოქცევა და მთვარე

დღეში ორჯერ ოკეანეებსა და ზღვებში ხდება მიქცევა–მოქცევა, რაც გამოწვეულია დედამიწის ქერქსა და წყლებზე მთვარის დიფერენციალური ძალის მოქმედებაზე. ეს მოქცევითი ძალები იწვევს ოკეანეების წლის გადადინებებს მოქცევის ტალღების სიგრძის ფარგლებში დედამიწის საპირისპორო მიმართულებაში. მიქცევა–მოქცევა რთული სისტემებია, რომლებიც გარდა მთვარისა, დამოკიდებულია მზის ეფექტებზე და დედამიწის გრუნტისა და სანაპიროს ფორმებზე.

მზისა და მთვარის დაბნელება

მზესა და მთვარეს თითქმის ერთნაირი კუთხური ზომა აქვთ (დაახლოებით ½ გრადუსი). მზის დაბნელება მაშინ ხდება, როდესაც მთვარე დგება მზესა და დედამიწას შორის და თავის ჩრდილს მოჰფენს დედამიწას. მზის სრული დაბნელებისას, მთვარე ზუსტად მზე–დედამიწის წრფეზე დგას და მზიდან მომავალ სინათლეს ჩრდილავს. ამ დროს, ადვილად დასანახია მზის ატმოსფერო (მზის კორონა). მზის სრული დაბნელება იშვიათად ხდება და ის ერთ–ერთი ყველაზე შთამბეჭდავი სანახაობაა. მთვარის დაბნელება მაშინ ხდება, როდესაც მთვარე დედამიწის ჩრდილქვეშ ექცევა.

თავი 5

სინათლის ბუნება

ჯეიმს კლარკ მაქსველმა აჩვენა, რომ როდესაც დამუხტული ნაწილაკი მოძრაობას იწყებს, რაც ყველა ატომსა და მოლეკულაში ხდება, ის ავლენს ტალღის ბუნებას. სინათლე არის ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ერთ–ერთი ფორმა. სინათლის ტალღის სიგრძე განსაზღვრავს ხილული გამოსხივების ფერს. ტალღის სიგრძე (λ) დამოკიდებულია სიხშირეზე (f) და სინათლის სიჩქარეზე(c) შემდეგნაირად – c=λf. ელექტრომაგნიტური გამოსხივება ზოგჯერ იქცევა როგორც ტალღა, მაგრამ ზოგ შემთხვევაში – როგორც ნაწილაკი, რასაც ფოტონს ვუწოდებთ. ელექტრომაგნიტური ენერგიის წყაროს ხილული სიკაშკაშე მცირდება იმ მანძილის კვადრატის პროპორციულად, რაც იქმნება ენერგიის წყაროსა და ენერგიის დეტექტორს შორის – ამ დამოკიდებულებას ინვერსიული კვადრატის კანონი ეწოდება.

ელექტრომაგნიტური სპექტრი

ელექრომაგნიტური სპექტრი შედგება გამა სხივებისგან, რენტგენის სხივებისგან, ულტრაიისფერი გამოსხივებისგან, ხილული სინათლისგან, ინფრაწითელი და რადიო გამოსხივებისგან. ამ გამოსხივებების უმეტესობა ვერ აღწევს დედამიწის ატმოსფეროში და მათ კოსმოსიდან უნდა დავაკვირდეთ. თუმცა, ზოგიერთი ტალღის სიგრძე გამოივლის დედამიწის ატმოსფეროს – ხილული სინათლე და რადიო ტალღები (FM რადიო და TV). ელექტრომაგნიტური გამოსხივება თითქმის პირდაპირ აჩვენებს გამომსხივებელი წყაროს ტემპერატურას. რაც უფრო მაღალია გამომსხივებელი ობიექტის ტემპერატურა, მით უფრო მოკლეა ელექტროაგნიტური ტალღის სიგრძე. ამ მოვლენის მათემატიკურ გამოსახულებას ვინის კანონი ეწოდება – λ=(3x10^6)/T. კვადრატულ მეტრზე გამოყოფილი გამოსხივებული ენერგია იზრდება ტემპერატურის ზრდასთან ერთად. გამოსხივებული ენერგიის ნაკადისა და ტემპერატურის დამოკიდებულება სტეფან–ბოლცმანის კანონით არის ცნობილი – F=σT^4.

სპექტროსკოპია ასტრონომიაში

სპექტრომეტრი არის ხელსაწყო, რომელიც წარმოქმნის სპექტრს – ხშირად ამისთვის გამოიყენება დისპერსიის მეთოდი. ასტრონომიული ობიექტიდან მომდინარე სინათლე წარმოადგენს უწყვეტ სპექტრს, გამოსხივების სპექტრს(ნათელი ხაზები) ან ჩთანთქმის სპექტრს(ბნელი ხაზები). რადგან ყველა ელემენტს აქვს კონკრეტულად მისთვის დამახასიათებელი სპექტრული ხაზები, სპექტრულ ანალიზს შეუძლია გამოავლინოს მზის და ვარსკვლავების შემადგენლობა და სხვა მახასიათებლები.

ატომის სტრუქტურა

ატომი შედგება ბირთვისგან, რომლიც შედგება ერთი ან რამდენიმე დადებითად დამუხტული პროტონისგან. წყალბადის გარდა, ყველა სხვა ატომს შეუძლია ბირთვში ნეიტრონებიც ჰქონდეს. უარყოფითად დამუხტული ელექტრონები მოძრაობენ ბირთვის გარშემო. პროტონების რაოდენობა განსაზღვრავს ნივთიერებას (წყალბადს აქვს ერთი პროტონი, ჰელიუმს ორი და ა.შ.). ბირთვები, რომელთაც აქვთ პროტონის ერთნაირი რაოდენობა, მაგრამ ნეიტრონების განსვავებული რაოდენობა, ერთი და იმავე ნივთიერების იზოტოპები ეწოდება. ატომის ბორის მოდელში, ელექტრონები ენერგიის საწყის დონეებზე არ ასხივებენ. თუმცა, როდესაც ისინი გადადიან ერთი ენერგეტიკული მდგომარეობიდან მეორეზე – მათ სჭიდებათ სწორედ ის ენერგია, რაც ენერგიის დონეების ცვლილებისთვის არის საჭირო, ამისთვის ისინი ან შანთქავენ ფოტონს(ქვედა დონიდან ზედა დონეზე გადახვლისას), ან გამოასხივებენ(ზედა დონიდან ქვედა დონეზე გადასვლისას). ფოტონის ენერგია დამოკიდებულია ელექტრომაგნიტური ტალღის სიხშირეზე, რომელიც გამოსახულია პლანკის ფორმულის მიხედვით – E=hf.

გამოსხივებისა და შთანთქმის ხაზების ფორმირება

როდესაც ელექტრონი მდებარეობას იცვლის და გადადის მაღალი ენერგიიდან დაბალ ენერგიაზე, ფოტონები გამოსხივდება და გამოსხივების ხაზი ფიქსირდება სპექტრში. შთანთქმის ხაზები ფორმირდება მაშინ, როდესაც ელექტრონები შთანთქავენ ფოტონს და მოძრაობენ ენერგიის დაბალი დონეებიდან უფრო მაღალ დონეზე. როგორც ვთქვით, ყველა ატომს აქვს კონკრეტული უნიკალური ენერგეტიკული დონე, ამიტომ თითოეული გამოსხივება და შთანთქმა უნიკალურ თვისებას ატარებს. ეს პრინციპი ასტრონომებს საშუალებას აძლევს, განსაზღვრონ ვარსკვლავებში ნივთიერების რაობა და, ასევე, დაადგინონ, თუ არსებობდა რაიმე ნისლეული ან მტვრის ღრუბელი ვარსკვლავსა და დამკვირვებელს შორის. როდესაც ატომი ყველაზე დაბალ ენერგეტიკულ დონეზეა, ამას ძირითადი მდგომარეობა ეწოდება. თუ ელექტრონი ძირითადი მდგომარეობისგან განსხვავებულ მდებარეობაშია, ეს ატომს აღგზნებული მდგომარეობაა. თუ ატომმა დაკარგა ერთი ან რამდენიმე ელექტრონი, მას იონი ან იონიზებული ეწოდება. სხვადასხვა იონის სპექტრი განსხვავებულად გამოიყურება, რაც ასტრონომებს ობიექტის ტემპერატურის განსაზღვირს საშუალებას აძლევს.

დოპლერის ეფექტი

თუ ატომი მოძრაობს ჩვენი მიმართულებით, როდესაც ელექტრონი ენერგეტიკულ დონეებს იცვლის, ანუ წარმოქმნის სპექტრულ ხაზებს, ჩვენ ვხედავთ, რომ სპექტრული ხაზი მცირედით იცვლის მდებარეობას თავის უნიკალურ მდებარეობასთან შედარებით და წანაცვლებულია ლურჯი ხაზისკენ. თუ ატომი გვშორდება, ჩვენ სპექტრულ ხაზს წითელი ხაზისკენ წანაცვლებულს დავინახავთ. ამ წანაცვლებას დოპრერის ეფექტი ეწოდება და საშუალებას გვაძლევს გავზომოთ ობიექტის სხივური სიჩქარე.

თავი 6

ტელესკოპი

ტელესკოპი კრებს სინათლეს ასტრონომიული წყაროსგან და აგროვებს ფოკუსში, სადაც ინსტრუმენტი ტალღის სიგრძის მიხედვით ანაწილებს მიღებულ სინათლის კონას. შემდგომ, წინათლის კონა მიმართულია დეტექტორზე, სადაც მიმდინარეობს ჩაწერა. ტელესკოპის სიმძლავრე დამოკიდებულია მისი აპერტურის დიამეტრზე. ტელესკოპის ძირითადი ოპტიკური ელემენტებია ლინზა (რეფრაქტორი – რომელიც სინათლეს გარდატეხს) ან სარკე (რეფლექტორი – რომელის სინათლეს აირეკლავს). ყველაზე დიდი ტელესკოპები რეფლექტორებია, რადგან დიდი სარკეების შექმნა და მოვლა უფრო ადვილია, ვიდრე ლინზის.

**თანამედროვე ტელესკოპები**

სარკიანი ტელესკოპების განვითარებამ ხელი შეუწყო არა ერთი დიდი ტელესკოპის შექმნას 1990 წლიდნ მოყოლებული. ასტრონომიული დაკვირვებებისთვის ბუნებრივი პირობების შერჩევა განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია – დაკვირვებები უნდა მოხდეს იქ, სადაც ამინდის უმნიშვნელო ცვლილებებია, ჰაერის მინიმალური ტენიანობა ფიქსირდება და ცას გარე ფაქტორები, მაგალითად ქალაქის განათება, არ უშლის ხელს. ხილულ ან ინფრაწითელ უბანში დაკვირვებული მონაცემები ფუჭდება იმის მიხედვით, თუ როგორი ატმოსფერული ტურბულენცია გვაქვს ამა თუ იმ ადგილას. თუმცა, თანამედროვე ტექნოლოგიებიდან გამომდინარე, რეალურ დროში არის შესაძლებელი ტურბულენციის კორექტირება.

**ხილული სინათლის დეტექტორები და ინსტრუმენტები**

ხილული სინათლის დეტექტორია ადამიანის თვალი, ფოტო ფირი და CCD. დეტექტორები, რომლებიც მგრძნობიარენი არიან ინფრაწითელი გამოსხივების მიმართ, აუცილებელია გაგრილდნენ, რადგან ყველა ობიექტი ასხივებს ინფრაწითელ ტალღაზე. სპექტრომეტრი შლის სინათლეს სპექტრად იმისთვის, რომ ობიექტების დაწვრილებითი შესწავლა შევძლოთ.

**რადიო ტელესკოპი**

1930 წელს, რადიო ასტრონომია ჩამოყალიბდა რებერისა და ჯანსკის მიერ. რადიო ტელესკოპი, ძირითადად, არის რადიო ანტენა, რომელიც მიმღებთან არის დაკავშირებული. ინტერფერომეტრით მნიშვნელოვნად გაზრდილი გარჩევით შეიძლება მივიღოთ გამოსახულებები, ისეთებით, როგორიცაა 27 –ელემენტიანი VLA და 66–ელემენტიანი ALMA. საბაზისო მდებარეობის გაზრდით, ინტერფერომეტრებს შეუძლიათ დიდი სიზუსტით დააფიქსიროს ობიექტი (0.0001 არკსეკუნდით). რადარული ასტრონომია გულისხმობს როგორც ინფორმაციის გაცემას, ასევე მიღებას. ყველაზე დიდი რადარული ტელესკოპი არის 305 მეტრიანი არეკიბოს ტელესკოპი.

**კოსმოსური დაკვირვებები**

ინფრაწითელი დაკვირვებები ტარდება როგორც კოსმოსური ობსერვატორიებიდან, ასევე დედამიწაზე მდებარე ტელესკოპებიდან. თუმცა, ულტრაიისფერი, რენტგენული და გამა დაკვირვებები აუცილებლად კოსმოსური ტელესკოპებიდან უნდა ჩატარდეს. უკვე ათასობით კოსმოსური მისია არის გაგზავნილი კოსმოსში, რათა დააკვირდნენ სხვადასხვა მოვლენასა თუ ობიექტს. ყველაზე დიდი აპერტურის მქონე ტელესკოპი არის ჰაბლის ტელესკოპი. ინფრაწითელი ტელესკოპებიდან გამოირჩევა შპიტცერი. ჩანდრა და ფერმი რენტგენულ და გამა გამოსხივებას აფიქსირებენ.

**დიდი ტელესკოპების მომავალი**

ახალი და უფრო მძლავრი ტელესკოპები შეიქმნება მომავალში. ჯეიმს ვების ტელესკოპი, 6 მეტრიანი ტელესკოპი, რომელიც ჰაბლის მომდევნო თაობაა, 2018 წელს გარშვა. გამა გამოსხივებისთვისაც მზადდება ტელესკოპი, რომელიც ყველანაირ გამა გამოსხივებას დააფიქსირებს კოსმოსში. მომავალში, კოსმოსური ობსერვატორიები კიდევ უფრო მეტად მოიმატებს.

**თავი 7**

**პლანეტარული სისტემა**

მზის პლანეტარული სისტემა შედგება მზისგან, 8 პლანეტისგან, 5 ჯუჯა პლანეტისგან, 200–მდე ბუნებრივი თანამგზავრისგან და სხვა მცირე ობიექტებისგან. პლანეტების დაყოფა ორ ჯგუფად შეიძლება – შიდა ანუ კლდოვანი, დედამიწის მსგავსი პლანეტები და გარე, ანუ გიგანტი პლანეტები. პლუტონი, ჰაუმეა და მაკემაკე არც ერთ კატეგორიაში არ ჯდება, რადგან ისინი ყინულის ჯუჯა ობიექტები არიან, რომლებიც მზის სისტემის უკიდურეს ცივ ნაწილში მდებარეობენ. გიგანტური პლანეტები შედგება ძირითადად სითხისა და აირებისგან. მზის სისტემის მცირე ობიექტები არის ასტეროიდები (მათ შორის არის ჯუჯა პლანეტა კერესი), რომლებიც ქვისა და მეტალის ობიექტებია. ისინი, ძირითადად, მარსსა და იუპიტერს შორის მდებარეობენ. კომეტები აირის ყინულებია და არაორდინალურ ორბიტებზე მოძრაობენ მზის გარშემო. პლანეტებს შორის არის დიდი რაოდენობით კოსმოსური მტვერიც. როდესაც მეტეორი შემოიჭრება დედამიწის ატმოსფეროში და ეცემა ზედაპირზე, მას მეტეორიტს ვუწოდებთ.

**პლანეტების სტრუქტურა და შემადგენლობა**

გიგანტურ პლანეტებს აქვთ მკვრივი ბირთვი, რომლებიც დედამიწაზე დაახლოებით 10–ჯერ დიდია, რომელიც გარშემორტყმულია ჰელიუმისა და წყალბადის ფენებით. დედამიწის მსგავსი პლანეტები შედგება კლდეებისა და მეტალებისგან. ამ პლანეტების ნივთიერებები გამდნარ მდგომარეობაში უნდა ყოფილიყო, რის შედეგადაც ჩამოყალიბდა ჩვენთვის ცნობილი სტრუქტურები (უფრო მკვრივმა ნივთიერებებმა პლანეტების ცენტრისკენ მოიყარა თავი). მთვარე ჰგავს დედამიწის მსგავს პლანეტებს, თუმცა, სხვა ბუნებრივი თანამგზავრები – რომლებიც გიგანტურ პლანეტების გარშემო მოძრაობენ – ძირითადად ყინულისგან შედგებიან. იმ პლანეტების ზედაპირზე, რომლებიც მზესთან უფრო ახლოს არის, ტემპერატურა მაღალია. დედამიწის მსგავსი პლანეტების ზედაპირი ფორმირებულია კოსმოსური მცირე ობიექტების დაცემით და გეოლოგიური აქტივობით.

**პლანეტების ზედაპირების ფორმირების ასაკი**

მზის სისტემაში სხეულების ზედაპირების ასაკის შეფასება შესაძლებელია მასზე არსებული კრატერების მიხედვით – კრატერებით მდიდარი რეგიონი უფრო ძველია, ვიდრე შედარებით მცირე რაოდენობის კრატერების მქონე. ასაკის შესაფასებლად, ასევე იყენებენ ქვებში რადიაქტიურ ელემენტებს – ამის მიხედვით შესაძლებელია იმის განსაზღვრა, თუ რა პერიოდში არის ნივთიერება გამყარებული – ამ შემთხვევაში იზომება, თუ რა რაოდენობის რადიაქტიულობა აქვს ნივთიერებას შენარჩუნებული, რადგან დროის გასვლასთან ერთად, ნივთიერების აქტიური მდგომარეობა იკლებს. ამ მეთოდების მიხედვით, დედამიწისა და მთვარის ასაკი ფასდება 4.5 მილიარდი წლით.

**მზის სისტემის წარმოშობა**

პლანეტებისა და მზის მოძრაობების მოწესრიგებულობა და ერთმანეთთან შესაბამისობამ ასტრონომებს აფიქრებინა, რომ ისინი ერთი დიდი მბრუნავიმტვრისა და აირის ღრუბლისგან ჩამოყალიბდნენ, რომელსაც მზის ნებულას ვუწოდებთ და მათი ჩამოყელიბებაც დაახლოებით ერთსა და იმავე დროს მოხდა. ამასთან, დაკვირვებები აჩვენებს, რომ სხვა ვარსკვლავებსაც აქვთ მსგავსი დისკი, რომელიც ვარსკვლავის გარშემო მოძრაობს. მზის ნებულაში, უმეტესმა ნივთიერებამ თავდაპირველად პლანეტოიდებში მოიყარა თავი – ამის შედეგად შეიქმნა პლანეტები და მთვარეები. ამ მოვლენის დამადასტურებლად შეგვიძლია მოვიყვანოთ ასტეროიდები და კომეტები. სავარაუდოდ, ყველა პლანეტარული სისტემა ამ პრინციპით ჩამოყალიბდა, თუმცა, ბევრმა ეგზოპლანეტურმა სისტემამ ევოლუციის ჩვენი სისტემისგან აბსოლუტურად განსხვავებული გზა გაიარა.

**თავი 8**

**გლობალური პერსპექტივა**

დედამიწა ტერესტრიალური (კლდოვანი) პლანეტების პროტოტიპია. მისი შიდა სტრუქტურა და შემადგენლობა განისაზღვრება სეისმური ტალღების მეშვეობით. კვლევების მიხედვით, დედამიწის გულში უნდა იყოს მეტალური სტრუქტურა და სილიკატის (მარილოვანი) მანტია. ზედაპირი, ძირითადად შედგება გრანიტისგან და ოკეანის ბაზალტისგან. გლობალური მაგნიტური ველი, რომელიც დედამიწის ცენტრში წარმოიქმნება, წარმოქმნის დედამიწის მაგნიტოსფეროს, რასაც შეუძლია კოსმოსიდან შემოსული ნაწილაკების ჩაჭერა.

**დედამიწის ქერქი**

დედამიწის კლდოვანი სტრუქტურის შემადგენლობაში რამოდენიმე სტრუქტურა შეგვიძლია გამოვყოთ – ვულკანური წარმოშობის ქანები, დანალექი ქანები და მეტამორფული ქანები. მეოთხე ტიპი, პირველადი კლდეები, დედამიწაზე არ ფიქსირდება. ჩვენი პლანეტა გეოლოგიურად ტექტონიკური ფილებისგან შედგება, რომლებიც ნელა, მაგრამ მოძრაობენ. ზედაპირზე, ამ მოძრაობას ვხედავთ კონტინენტური წანაცვლების სახით, ასევე ოკეანეების ფსკერის ფორმირებით, რიფებისა და მთებისა სახით, მიწისძვრებით, ვულკანებისა და გეიზერების ამოფრქვევით.

**დედამიწის ატმოსფერო**

ატმოსფერო დედამიწის ზედაპირს აწვება 1 **ბარი** წნევით და ძირითადად შედგება ჟანგბადისა და აზოტისგან, ასევე წყლის ნაწილაკებისგან, ნახშირორჟანგისგან და ოზონისგან. სტრუქტურულად, ატმოსფერო შედგება ტროპოსფეროს, სტრატოსფეროს, მეზოსფეროსა და იონოსფეროსგან. ატმოსფეროში ნაწილაკების შემადგენლობის ცვლილება ტემპერატურის ცვლილებას იწვევს. ატმოსფერული დინებები (ამინდი) იცვლება სეზონურად მზის გავლენების მიხედვით. უფრო დიდხნიანი კლიმატური ცვლილებები, როგორიც არის დიდი გამყინვარება, დაკავშირებულია დედამიწის ორბიტისა და ღერძის ცვლილებებთან.

**სიცოცხლე, ქიმიური ევოლუცია და კლიმატის ცვლილება**

დედამიწაზე სიცოცხლე მაშინ ჩამოყალიბდა, როდესაც ატმოსფეროში იყო ნაკლები ჟანგბადი და მას ნახშირორჟანგი სჭარბობდა. შემდგომ, ფოტოსინთეზის ეფექტმა წარმოქმნა ჟანგბადი და ოზონი. თანამედროვე გენეტიკურმა სწავლებებმა გვაჩვენა, თუ როგორი მრავალფეროვანია ცოცხალი ორგანიზმების სახეობები დედამიწაზე და ამასთან, თუ რამდენად მჭიდროდ არიან ისინი დაკავშირებული გენეტიკურად ერთმანეთთან. ნახშირორჟანგმა და მეთანმა ატმოსფეროს ტემპერატურა გაზარდა, რამაც სათბურის ეფექტი შექმნა ცოცხალი ორგანიზმებისთვის. დღეს, ნახშირორჟანგის ზრდა იწვევს გლობალური დათბობის ეფექტს.

**კოსმოსური სხივების გავლენა ევოლუციაზე**

დედამიწა, მთვარე და პლენეტები კოსმოსური სხივებისა და კოსმოსური ნარჩენების გავლენებსაც განიცდიან – ამის მაგალითია მეტეორების ცვენა ციური სხეულების ზედაპირებზე. ეს გავლენები, ზოგჯერ დამღუპველია – მაგალითად მეტეორიტის ჩამოვარდნა დედამიწაზე, 65 მილიონი წლის წინ, რამაც გადააშენა დინოზავრები. დღეს, ასტრონომები აკვირდებიან მზის სისტემის მცირე ობიექტებს – მეტეორებს, ასტეროიდებსა და კომეტებს – რათა იწინასწარმეტყველონ და თავიდან აიცილონ შემდეგი შესაძლო შეჯახება. მეორე მხრივ, მსგავსი შეჯახებები ერთ–ერთი წინაპირობაა იმისთვის, რომ დედამიწაზე სიცოცხლე განვითარდა და არის მრავალფეროვანი.

**თავი 9**

**მთვარის ზოგადი მახასიათებლები**

ყველაფერი, რაც მთვარის შესახებ ვიცით, აპოლოს პროგრამების დამსახურებაა – მათ შორის 400 კილოგრამი მთვარის ქანები, რაც დღემდე შესწავლის ობიექტია. მთვარე დედამიწაზე 8–ჯერ მსუბუქია და ძირითადად შედგება როგორც მძიმე მეტალებისგან, ასევე არამდგრადი ნივთიერებებისგან. ის, ძირითადად, სილიკატებისგან შედგება, როგორც დედამიწის მანტია და ზედაპირი. თუმცა, თანამედროვე დაკვირვებებმა მცირე რაოდენობის წყალიც აღმოაჩინეს პოლუსებთან, რაც, სავარაუდოდ, კომეტებისა და ასტეროიდების ცვენის შედეგად გაჩნდა.

**მთვარის ზედაპირი**

მთვარე, დედამიწის მსგავსად, 4.5 მილიარდი წლის წინ ჩამოყალიბდა. მისი კრატერებით დაფარული ზედაპირი 4 მილიარდი წლის წინ უნდა ჩამოყალიბებულიყო. ვულკანური წარმოშობის კრატერები 3.3 – 3.8 მილიარდი წლის წინ უნდა გაჩენილიყო. ზოგადად, მისი ზედაპირი ფორმირებულია გარე ზემოქმედების შედეგად, რაც დღემდე გრძელდება და წარმოქმნის კრატერულ სისტემებს.

**კრატერების გავლენა**

საუკუნის წინ, გილპერტმა წარმოადგინა მოსაზრება, რომ მთვარის კრატერები გარეგანი ზემოქმედების შედეგია, თუმცა კრატერული პროცესები არ იყო კარგად გააზრებული მანამ, სანამ როდესაც მთვარეს დაეჯახა მცირე ობიექტი. დაჯახებამ წარმოქმნა აფეთქება და კრატერი, რომელიც დაჯახებულ ობიექტზე 10–15–ჯერ დიდი აღმოჩნდა. წარმოიქმნა ასევე გვერდითი მოვლენებიც – ანასხლეტებიდან დამატებითი კრატერები. სავარაუდოდ, 3 მილიარდი წლის წინაც მსგავსი პროცესები მიმდინარეობდა მთვარეზე. კრატერების წარმოქმნით შეგვიძლია შევისწავლოთ მთვარის სავარაუდო გეოლოგიური მოქმედებები.

**მთვარის წარმოშობა**

მთვარის წარმოშობის სამი ძირითადი ჰიპოტეზა არსებობდა – გამოყოფის თეორია, “დის” ჰიპოთეზა და ჩაჭერის ჰიპოთეზა. ყველა ამ ჰიპოტეზას აქვს ვერიფიკაციის პრობლემა და ისინი ჩაანაცვლა “დიდი გავლენის ჰიპოტეზამ”, რომლის მიხედვითაც, მთვარე წარმოიშვა დედამიწაზე მარსის ზომის ობიექტის დაჯახებით ან გავლენით 4.5 მილიარდი წლის წინ. დაჯახების შედეგად წარმოქმნილმა ნარჩენებმა დაიწყეს დედამიწის გარშემო ბრუნვა და საბოლოოდ, ჩამოყალიბდნენ ერთ დიდ ობიექტად, რომელსაც დღეს მთვარეს ვუწოდებთ.

**მერკური**

მერკური მზესთან ყველაზე ახლოს მდებარე და ყველაზე სწრაფად მოძრავი პლანეტაა. მერკური, თავისი გარეგნული მახასიათებლებით, მთვარეს ჰგავს, რადგან მისი ზედაპირიც კრატერებით არის დაფარული და არ აქვს ატმოსფერო. მთვარისგან განსხვავებით, მას აქვს დიდი მეტალური ბირთვი. ევოლუციის პერიდოში, მან აშკარად დაკარგა სილიკატის მანტია, რაც, სავარაუდოდ, გარე გავლენების გამო მოხდა. გრძელი ნაწიბურები მის ზედაპირზე აჩვენებს, რომ 4 მილიარდი წლის განმავლობაში მისი ქერქი მნიშვნელოვნად იკუმშებოდა.

**თავი 10**

**უახლოესი პლანეტები – შესავალი**

ვენერა, დედამიწის მეზობელი პლანეტა, ტელესკოპში არ არის ეფექტურად დასანახი, რადგან მისი მკვრივი ატმოსფერო ზედაპირის დანახვის საშუალებას არ იძლევა. მარსი მეტად სანახაობრივია ზედაპირის სხვადასხვაობითა და პოლარული თავისებურებით. მეოცე საუკუნის დასაწყისში ეგონათ, რომ არხები მარსის ზედაპირზე ჭკვიანი არსებების გაკეთებული უნდა ყოფილიყო. მარსი დედამიწის მასის 11%–ია მხოლოდ. ვენერა კი დედამიწის ტყუპისცალ პლანეტად ითვლება. მარსის თავისი ღერძის გარშემო მოძრაობის პერიოდი 24 საათია და მისი სეზონებიც დედამიწისას ჰგავს. ვენერას აქვს რეტროგრატული როტაციის პერიოდი 243 დღე. ორივე პლანეტა კოსმოსური მისიებისთვის დიდ ინტერესს წარმოადგენს.

**ვენერას გეოლოგია**

ვენერას ზედაპირის რუკა შედგენილია რადარების მიერ, განსაკუთრებით კოსმოსური მისია მაგელანის მიერ. მისი ზედაპირის 75% შედგება გავარვარებული ლავასგან, მასზე გვაქვს არა ერთი აქტიური ვულკანი და ცხელი აირის ამოფრქვეული ნაკადები, რაც ვულკანების არსებობას აჩვენებს. პლანეტის ზედაპირი იცვლება ფართე ტექტონიკური აქტივობით, რაც კომპლექსურ წარმონაქმნებს ქმნის მის ზედაპირზე – ასეთი კონტინენტური წარმონაქმნია იშთარი. მისი ზედაპირი წარმოუდგენლად ცხელი და მკვრივია – 90 ბარი წნევითა და 730 კელვინი ტემპერატურით.

**ვენერას ატმოსფერო**

ვენერას ატმოსფეროს 95% ნახშირორჟანგისგან შედგება. ღრუბლები ზედაპირიდან 30–60 კილომეტრის დაშორებით, გოგირდის მჟავისგან შედგება. ნახშირორჟანგის სათბურის ეფექტი ზედაპირზე მაღალ ტემპერატურას ინარჩუნებს. ვენერა დედამიწის მსგავსი მდგომარეობიდან დღეს არსებულ მდგომარეობამდე მივიდა სწორედ ამ სათბურის ეფექტის არსებობით – ამ დროს მან დიდი რაოდენობით დაკარგა წყალიც.

**მარსის გეოლოგია**

მარსის შესახებ ცოდნა, ძირითადად, კოსმოსური მისიების შედეგად გვაქვს. ასევე, შესწავლილი გვაქვს რამოდენიმე ქვა მარსიდან, რომელმაც მეტეორიტის სახით შემოაღწია დედამიწაზე. მარსის სამხრეთ ნახევარსფერო დაფარულია კრატერული სისტემებით, ჩრდილო ნახევარსფერო კი უფრო ახალგაზრდა, მცირე ვულკანებისგან შედგება. **თარსისის** შემაღლება, რომელიც სამხრეთ ამერიკის სიდიდის არის, რამოდენიმე დიდ ვულკანს შეიცავს. ოლიმპოს მთა 20 კმ სიმაღლის და 500 კმ დიამეტრისაა. ხეობები და კანიონები კი წარმოქმნილია ტექტონური ეროზიების შედეგად. ადრეულმა მისიებმა მხოლოდ უდაბური და ქარიანი ადგილები აღმოაჩინეს, თუმცა შემდგომმა მისიებმა გეოლოგიურად მრავალფეროვანი ადგილებიც ნახეს.

**წყალი და სიცოცხლე მარსზე**

მარსის ზედაპირზე ატმოსფერული წნევა 0.01 ბარზე მცირეა და 95% ნახშირორჟანგისგან შედგება. მასზე არის მტვრის ღრუბლები, წყლის ღრუბლები და კარბონის დიოქსიდის მშრალი ყინულის ღრუბლები. თხევადი წყალი მის ზედაპირზე დღემდე არ არის დაფიქსირებული, თუმცა, ამის ნიშნები პოლარულ რეგიონებში არსებობს. პოლარული რეგიონები ყინულისგან შედგება, რომლის სიდიდეც სეზონების განმავლობაში იცვლება. ჩრდილოეთის პოლუსი წყლის ყინულისგან შედგება, სამხრეთის პოლუსზე კი წყლის ყინულს კარბონის დიოქსიდის ყინული აკრავს გარედან. წყლის დაფიქსირებამ ასტრონომებს აფიქრებინა, რომ მარსზე სულ სხვანაირი ბუნება უნდა ყოფილიყო – ამას ადასტურებს არხები და კანიონები, რაც წყლის დინებებს უნდა გამოეწვია. მარსისს როვერებმა ზედაპირის შესწავლისას დააფიქსირეს უძველესი ტბების შედეგად წარმოქმნილი ქანები და დანალექი ქანები – ესეც ადასტურებს წყლის არსებობას მარსზე. ასევე, არსებობს მინიშნებები, რომ მარსზე არა მხოლოდ მტკნარი, არამედ მლაშე წყლებიც უნდა არსებულიყო. მარსზე სიცოცხლის არსებობა დღეს არ დასტურდება, თუმცა, სავარაუდოდ, სიცოცხლე იარსებებდა დიდი ხნის წინ.

**პლანეტების განსვავებული ევოლუცია**

დედამიწა, ვენერა და მარსი დაახლოებით ერთნაირი პლანეტები უნდა ყოფილიყო დასაწყისში, თუმცა ევოლუციის შედეგად, ისინი სხვადასხვანაირად განვითარდნენ. ამის გათვალისწინებით, ჩვენ უნდა გვახსოვდეს, რომ გავუფრთხილდეთ დედამიწას.

**თავი 11**

**გარე პლანეტების შესწავლა**

მზის სისტემის გარე პლანეტებია – იუპიტერი, სატურნი, ურანი და ნეპტუნი. აირის გიგანტების – იუპიტერისა და სატურნის – ძირითადი შემადგენლობა მზის შემადგენლობის მსგავსია. ეს პლანეტები არა ერთმა კოსმოსურმა მისიამ შეისწავლა – პიონერი, ვოიაჯერი, გალილეო, კასინი და ა.შ. ვოიაჟერ 2–მა, ერთ–ერთმა ყველაზე წარმატებულმა კოსმოსურმა მისიამ, მიუახლოვდა და შეისწავლა იუპიტერი (1979), სატურნი (1981), ურანი (1986) და ნეპტუნი (1989). გალილეომ და კასინიმ შეისწავლეს არა მხოლოდ პლანეტები, არამედ მათი თანამგზავრებიც.

**გიგანტური პლანეტები**

იუპიტერი დედამიწაზე 318–ჯერ მასიურია. სატურნი, იუპიტერის მასის 25%, ხოლო ნეპტუნი და ურანი – იუპიტერის მასის 5%. ოთხივეს აქვს ატმოსფეროს სქელი ფენა და გაუმჭვირვალე ღრუბლები. ოთხივე ბრუნავს სწრაფად – 10–17 საათის პერიოდით. იუპიტერსა და სატურნს აქვს დიდი ფენა თხევათი წყალბადის. ურანსა და ნეპტუნში კი წყალბადი და ჰელიუმი სუსტად ფიქსირდება. გიგანტური პლანეტების ბირთვში არის კლდოვანი სისტემა და ყინული – დაახლოებით 10 დედამიწის მასის. იუპიტერი, სატურნი და ნეპტუნი ბირთვში სითბოს დიდ რაოდენობას წარმოქმნის, რის გამოც ისინი შიდა პროცესებით იღებენ თითქმის იმხელა ენერგიას, რამხელასაც ასხივებს მზე. ურანის ბირთვში არ წარმოიქმნება სითბო. იუპიტერს აქვს ძლიერი მაგნიტური ველი და ყველა პლანეტაზე დიდი მაგნიტოსფერო – რაც პირველად რადიო ასტრონომებმა აღმოაჩინეს სინქროტრონული გამოსხივების სახით.

**გიგანტური პლანეტების ატმოსფერო**

ოთხივე გიგანტურ პლანეტას თითიმის მსგავსი ატმოსფერო აქვს – ძირითადად შედგება წყალბადისა და ჰელიუმისგან. მცირე რაოდენობით მეთანი და ამოიუმის აირიც ფიქსირდება – ისინი წარმოქმნიან ღრუბლებს. უფრო ღრმა ფენებში, ღრუბლები შედგება წყლისა და ამონიუმის ჰიდროსულფატებისგან და გოგირდწყალბადისგან (ნეპტუნი). ატმოსფეროს ზედა ფენებში, უმეტესად გვხვდება ნახშირწყალბადი, რაც წარმოიქმნება ფოტოქიმიის მეშვეობით. ჩვენ ზუსტად არ ვიცით, რა იწვევს იუპიტერის ღრუბლების შეფერილობას. პლანეტაზე ატმოსფერულ დინებებს იწვევს აღმოსავლეთ–დასავლეთის ბრუნვა. იუპიტერზე ყველაზე თვალსაჩინოა ატმოსფერული აქტივობა, თუმცა ასეთი მდგომარეობა ნეპტუნზეც არსებობს. სატუნრზე კონკრეტული ფორმები არ ფიქსირდება, მასზე არის საკმაოდ სწარფი ქარები, ურანზე კი საერთოდ არ არსებობს გამოკვეთილი ფორმები. შტორმული მოვლენებიც (როგორიც არის წითელი ლაქა იუპიტერზე და ბნელი ლაქა ნეპტუნზე) დაიკვირვება ამ პლანეტებზე.

**თავი 12**

**ბუნებრივი თანამგზავრების სისტემა და რგოლები**

იუპიტერის მსგავს ოთხივე პლანეტას აქვს ბუნებრივი თანამგზავრების სისტემა და რგოლები. ამ არეში დაახლოებით 200 მთვარე არის დაფიქსირებული. ოთხივე პლანეტას აქვს რგოლების სისტემა, თუმცა სატურნის სისტემა ყველაზე თვალსაჩინოა. ის, ძირითადად, შედგება წყლის ყინულის ნატეხებისგან. ურანისა და ნეპტუნის რგოლები უფრო თხელია და ნაკლებად ამრეკლავი ნივთიერებისგან უნდა შედგებოდეს. იუპიტერის რგოლი საკმაოდ თხელია და ძირითადად მტვრის ნაწილაკებისგან შედგება.

**გალილეოს მთვარეები**

იუპიტერის დიდი მთვარეები არის განიმედე და კალისტო – ისინი დაბალი სიმკვრივის ობიექტებია და ძირითადად წყლის ყინულისგან შედგება. კალისტოს კრატერული წარმოშობის ზედაპირი აქვს, განიმედეზე კი ტექტონიკური გადაადგილებები და ვულკანური აქტივობები ფიქსირდება. იო და ევროპა უფრო მკვრივი და მცირე მთვარეებია – ორივე დაახლებით მთვარის ზომისაა. იო ვულკანურად ყველაზე აქტიური ობიექტია მზის სისტემაში. ევროპაზე არსებული მრავალმხრივი დინებები ადასტურებს, რომ იქ გლობალური ოკეანე და თხევადი წყალია – ისინი სქელი ყინულის ქვეშ უნდა იყოს. მეცნიერები ფიქრობენ, რომ ევროპაზე შეასძლოა არსებობდეს სიცოცხლე.

**ტიტანი და ტრიტონი**

სატურნის მთვარე ტიტანი აქვს ატმოსფერო და ის დედამიწის ატმოსფეროზე მკვრივია. მასზე არის თხევადი ნახშირწყალბადის ტბები და მდინარეები და ფიქსირდება ნივთიერების აორთქლება, კონდენსაცია და ზედაპირზე დაბრუნება – რაც ძალიან ჰგავს დედამიწაზე მიმდინარე პროცესს. კასინი –ჰიგინსის როვერი დაჯდა ტიტანზე და დააფიქსირა, რომ იქ არსებობს კლდოვანი სისტემები, რომელიც დედამიწის სისტემებზე მკვრივია. ნეპტუნის ცივ მთვარეს ტრიტონს აქვს ძალიან თხელი ატმოსფერო აზოტის შემადგენლობით.

**პლუტონი და ქარონი**

პლუტონი და ქარონი ერთ–ერთი ყველაზე საოცარი ობიექტებია მზის სისტემაში. პლუტონი ჯუჯა პლანეტაა, თუმცა საკმაოდ აქტიურია – მასზე არის კრატერული სისტემები, აზოტის ყინულს აუზები და წყლის ყინულის მთები, რაც, შესაძლოა, აზოტის ყინულის ტბებში ცურავს. ქარონი, პლუტონის მთვარეც აჩვენებს გეოლოგიურ აქტიურობას.

**პლანეტარული რგოლები**

რგოლები შედგება მცირე ზომის ობიექტებისგან და მტვრისგან, რომლებიც პლანეტის ორბიტაზე მოძრაობენ იმ მანძილზე, რომ პლანეტის გრავიტაციულმა ძალამ შეძლო ამ ობიექტების მცირე ნაწილაკებად დაშლა, თუმცა, ისინი არ ცვივა პლანეტის ზედაპირზე. სატურნის რგოლები არის ფართე, ბრტყელი და შედარებით მჭიდროდ შევსებული დისკი. შემადგენელი ობიექტები, ძირითადად ათეულობით სანტიმეტრის წყლის ყინულის ნატეხებია. სატურნის მთვარე ენკელადუსზე არის წყლის აქტიური გეიზერები, რაც ასევე ხელს უწყობს ყინულის კრისტალების წარმოქმნას. ურანისა და ნეპტუნის რგოლების საკმაოდ თხელი ზოლებია და კიდევ უფრო მცირე ობიექტებს შეიცავს – მათ შორის დაშორებებიც დიდია. რგოლებში კომპლექსური სისტემები იქმნება მთვარეებიდან წამოსული ტალღების გამო. რგოლების წარმოშობა და ასაკი ჯერ არ არის ბოლომდე შესწავლილი.

**თავი 13**

**ასტეროიდები**

მზის სისტემა უხვად შეიცავს ისეთ ობიექტებსაც, რომლებიც გაცილებით უფრო მცირეა, ვიდრე პლანეტები და მთვარეები. კლდოვანი ზედაპირის მქონე ობიექტებს ასტეროიდები ჰქვიათ. კერესი მზის სისტემის ყველაზე დიდი ასტეროიდია – დღემდე აღრიცხულ ასტეროიდებში 15 დაახლოებით 250 კმ. სიდიდისაა, ხოლო 100 000 –ერთ კილომეტრზე მეტის. მათი უმეტესობა ასტეროიდების სარტყელში – მარსსა და იუპიტერს შორის მდებარეობს. ასტეროიდების არსებობა ადასტურებს თეორიას, რომ მზის სისტემა პლანეტებისა და სხვა მოზრდილი ობიქტების შეჯახების შედეგად ჩამოყალიბდა. ამ პროცესის შედეგად კი ანასხლეტების სახით ასტეროიდები შემოგვრჩა. ასტეროიდები როგორც მარტივი, ასევე რთული სტრუქტურის გვხვდება. ძირითადად, ისინი c-ტიპით კლასიფიცირდება – რაც გულისხმობს, რომ ისინი შედგებიან ნახშირბადისგან. ასტეროიდების სარტყელის შიდა ნაწილი არის S-ტიპის (Stony) – ქვის მსგავსი ასტეროიდები. მცირე რაოდენობით გვხვდება M-ტიპის (Metallic) - მეტალის შემადგენლობის ობიექტები. ჩვენ გვაქვს ასტეროიდების კოსმოსური დაკვირვებები და მასალაც კი გვაქვს ასტეროიდ იტოკავასგან. თანამედროვე დაკვირვებებმა აჩვენა, რომ ასტეროიდებსაც აქვთ ბუნებრივი თანამგზავრები, რაც საშუალებას გვაძლევს, რომ ასტეროიდების მასა და სიმკვრივეები შევაფასოთ. ორი დიდი ასტეროიდი, კერესი და ვესტა, აქტიურად შეისწავლება კოსმოსური სადგურის Dawn მეშვეობით.

**ასტეროიდები და პლანეტების დაცვა**

დედამიწასთან ახლოს მდებარე ასტეროიდები და დედამიწასთან ახლოს მდებარე ობიექტები დიდი ინტერესის ქვეშ არიან, რადგან პოტენციურად, შესაძლებელია დედამიწას დაეჯახონ. ისინი არასტაბილურ ორბიტაზე მოძრაობენ და რომ შევაფასოთ, თეორიულად, 100 მილიონ წელში ერთხელ შესაძლოა რომელიმე პლანეტას ან მზეს დაეჯახონ. მათი უმეტესობა ასტეროიდების სარტყელიდან არიან გამოტყორცნილები, თუმცა მათი ნაწილი მკვდარი კომეტებიან. ნასას დეტექტორებს დედამიწასთან ახლოს მდება შედარებით დიდი (1 კილომეტრი) ასტეროიდების 90% აღრიცხული აქვს და არც ერთი მათგანი არ არის დედამიწისკენ მომართულ ორბიტაზე. მეცნიერები ასევე მუშაობენ ტექნოლოგიებზე, რომელიც შესაძლო დაჯახებას აგვარიდებს თავიდან. დღეისათვის ყველაზე მნიშვნელოვანი ამოცანაა ამ ობიექტების დეტექტირება და აღრიცხვა, რადგან თავიდან ავიცილოთ შესაძლო საფრთხე.

**კომეტები**

ჰალეის კომეტის მაგალითზე დავრწმუნდით, რომ კომეტებიც დახურულ ორბიტაზე მოძრაობენ მზის გარშემო. კომეტის ძირითადი ნაწილი არის ბირთვი, რომელიც ძირითადად აქროლვადი ნივთიერებებისგან შედგება (წყლის ყინული) და მყარი ნივთიერებებისგან (სილიკატი და ნახშირბადი). ვიპლმა “ჭუჭყიანი თოვლის გუნდის”ეს მოდელი პირველად 1950 წელს შემოგვთავაზა, რომელიც დადასტურდა კოსმოსური კვლევებითა და დაკვირვებებით. როდესაც ბირთვი უახლოვდება მზეს, ის ორთქლდება და წვას იწყებს, რის გამოც ვხედავთ მას გაკაშკაშებულს ცაზე. მოძრაობისას წარმოქმნის კუდს. რომელიც მზის საწინააღმდეგოდ მიემართება. ESA როზეტას მისიამ შეისწავლა კომეტა P67 და კიდევ ერთხელ დაადასტურა ზემოთ მოყვანილი მოდელი.

**კომეტების წარმოშობა და გაქრობა**

1950 წელს ოორტმა წარმოადგინა მოსაზრება, რომლის მიხედვითაც დიდი პერიოდის მქონე კომეტები წარმოქმნილია ოორტის ღრუბლიდან, რომელიც მზეს არტყავს დაახლოებით 50 000 AU (ეს მზის გრავიტაციული სფეროს თითქმის კიდეზე მდებარეობს) და დაახლოებით 10^12–10^13 კომეტა მდებარეობს იქ. კომეტები კოიპერის სარტყელშიც მდებარეობს – ბრტყელი სარტყელი, რომელიც ნეპტუნის მიღმა მდებარეობს – 50 AU დაშორებით მზიდან. კომეტები ელემენტარული ობიექტებია, რომლებიც გარე პლანეტების ჩამოყალიბების შედეგად დარჩა მზის სისტემაში. როდესაც კომეტა წყდება თავის მდებარეობას და შიდა პლანეტების სივრცეში იჭრება, ის მალევე იწყებს კვდომას, რადგან მასში არსებული ყინული მზესთან მიახლოებისას დნება.

**თავი 14**

**მეტეორები**

როდესაც პლანეტათშორისი მტვერი იჭრება დედამიწის ატმოსფეროში, ის იწვის და წარმოქმნის მეტეორებს. მტვრის ნაწილაკების ნაკადი, რომელიც კოსმოსში მოძრაობს, წარმოქმნის მეტეორების წვიმას. მეტეორების წვიმა წელიწადში ერთხელ მაინც ჩანს კოსმოსში.

**მეტეორიტები**

მეტეორიტები ასტეროიდების ან მცირე ობიექტების ნარჩენებია, რომლებიც იჭრებიან დედამიწის ატმოსფეროში. მეტეორიტები იმ ობიექტებს ეწოდება, რომლებიც აღმოჩენილია დედამიწის ზედაპირზე. მეტეორიტების ყველაზე კარგი წყარო არის ანტარქტიდის ყინულები. მეტეორიტები კლასიფიცირებულია შემდეგნაირად – რკინის, კლდოვანი–რკინის, კლდოვანი. ყველა მათგანი პირველადი წარმოშობისაა და მათი ასაკი 4.5 მილიარდ წელს ითვლის. მათ შორის უძველესია ნახშირბადოვანი მეტეორიტები. მათში მრავლად არის ორგანული მოლეკულები.

**მზის სისტემის ფორმირება**

მზის სისტემის ფორმირების მოდეში აუცილებლად უნდა გავითვალისწინოთ მოძრაობის, ნივთიერებებისა და ასაკის ურთიერთქმედება. მეტეორიტები, კომეტები და ასტეროიდები მზის ღრუბლიდან გადარჩენილი ობიექტებია, საიდანაც ჩამოყალიბდა მზის სისტემა. მზის ღრუბელი შეიქმნა ვარსკვლავთშორისი აირისა და მტვრის ღრუბლის კოლაფსისა და ბრუნვის შედეგად. ამის შემდგომ ჩამოყალიბდა ვარსკვლავი მზე და თხელი დისკი, რომელიც მის გარშემო მოძრაობდა. დისკის სიმკვრივემ შესაძლებელი გახადა პლანეტების სისტემის ჩამოყალიბება. გიგანტურმა პლანეტებმაც შეძლეს ნივთიერების მითვისება მზის ნებულადან. ეს პროცესი რამოდენიმე მილიონი წელი მიმდინარეობდა – ნარჩენების უმეტესობა ან შეიერთეს პლანეტებმა, ან გააგდეს ორბიტიდან. მათგან მხოლოდ ასტეროიდები და კომეტებია შემორჩენილი.

**სხვა პლანეტურ სისტემებთან შედარება**

1995 წელს პირველად იყო დაფიქსირებული სხვა ვარსკვლავი პლანეტარული სისტემით. ოცი წლის შემდეგ, ათასობით ეგზოპლანეტა არის აღმოჩენილი, მათ შორის დედამიწის მსგავსი და დედამიწის ზომის პლანეტები. ეგზოპლანეტებში ვხვდებით ისეთებსაც, რომლებიც ვარსკვლავებთან ძალიან ახლოს მდებარეობს, თუმცა არიან იუპიტერის მსგავსი პლანეტები. ასევე არსებობს პლანეტები, რომლებსაც ექსცენტული ორბიტები აქვთ. ეს მნიშვნელოვანი განმასხვავებელია მზის სისტემასა და ეგზოპლანეტებს შორის – დაკვირვებები აჩვენებს, რომ იუპიტერის მსგავსმა პლანეტებმა შესაძლოა ადგილი ინაცვლოს და მზესთან ახლოს განაგრძოს ცხოვრება. თუმცა, მათი წარმოშობის ადგილი მზის სიახლოვეს ვერ იქნება, რადგან აიროვანი პლანეტების წარმოშობას სჭირდება ცივი გარემო. მონაცემების მიხედვით, დედამიწის მსგავსი პლანეტა მილიარდობით არის ჩვენს გალაქტიკაში.

**პლანეტების ევოლუცია**

პლანეტებმა, ჩამოყალიბების შემდეგ, ევოლუციის საკუთარი გზა დაიწყეს. ამის ნათელი მაგალითია დედამიწის მსგავსი ციური სხეულები – ვენერა, მარსი, მერკური და მთვარე. ყველა მათგანი კლდოვანი ობიექტია, თუმცა განსხვავებული მდგომარეობით. გეოლოგიური აქტივობა პლანეტის მასის პირდაპირპროპორციულია: შესაბამისად, დედამიწა და ვენერა გეოლოგიურად უფრო აქტიურია, ვიდრე მარსი ან მერკური. თუმცა, მიქცევა–მოქცევამ –რაც ნიშნავს პლანეტების ურთიერთქმედებას – შესაძლოა გამოიწვიოს გეოლოგიური აქტივობა და ციური სხეულის გულის გაცხელება. ამის მაგალითია იო, ევროპა და ენკელადუსი. ამ მოვლენის გამო, პლუტონის გეოლოგიურად აქტიურია, მიუხედავად იმისა, რომ ის მზის სისტემის უკიდურეს ორბიტაზე მდებარეობს. მყარ ზედაპირზე, მთების წარმოშობა შესაძლებელია ვულკანური აქტივობის შედეგად ან დედამიწის ქერქის ამოწევით. მცირე პლანეტების ზედაპირზე შედარებით დიდი მთები წარმოიქმნება, რადგან მათ მცირე გრავიტაცია აქვს. დედამიწის მსგავსი პლანეტების ატმოსფეროში გვხვდება კომეტების ნარჩენი ნივთიერებები. მთვარემ და მერკურიმ დაკარგეს ატმოსფერო – მარსს აქვს შემარჩუნებული ატმოსფერო, რადგან ის მზისგან შედარებით შორს მდებარეობს. ვენერამ შეინარჩუნა ნახშირორჟანგი, თუმცა დაკარგა წყალი თავისი ატმოსფეროდან, რამაც შექმნა სათბურის დამღუპველი ეფექტი. მხოლოდ დედამიწის ზედაპირზე არის თხევადი წყალი, რაც ხელს უწყობს სიცოცხლის შენარჩუნებას.

**თავი 15**

**მზის სტრუქტურა და შემადგენლობა**

მზე ხილული ზედაპირის გარდა, შედგება არა ერთი ფენისგან, რომელიც თვალისთვის შესამჩნევი არ არის – ბირთვი, გამოსხივების ზონა, კონვექციის ზონა. ისინი გარშემორტყმულნი არიან დამატებით ფენებისგან, რასაც მზის ატმოსფერო ეწოდება. მზის ატმოსფერო შედგება ოთხი ფენისგან და მზის ცენტრიდან შემდეგი თანმიმდევრობით არიან დაშორებულნი – ფოტოსფერო – სადაც ზედაპირის ტემპერატურა 4500–6800 K, ქრომოსფერო, რომლის ტემპერატურაც 10^4 K, ტრანზიტული რეგიონი, სადაც ტემპერატურა 10^4–10^6 K მერყეობს და კორონა, რომლის ტემპერატურაც რამოდენიმე მილიონი კელვინია. მზის ზედაპირი დაფარულია კონვექციური ზონებით, რომელიც ცხელი და კაშკაშა გრანულების სახით ჩანს ზედაპირზე. მზის ქარს მაღალენერგეტიკულ ნაწილაკებს გამოტყორცნის კორონალური ხვრელების მეშვეობით. როდესაც ისინი აღწევენ დედამიწას, ჩაიჭირებიან დედამიწის მაგნიტური ველის მიერ და წარმოიქმნება ჩრდილოეთის ციალი. წყალბადი და ჰელიუმი მზის მასის 98% შეადგენს.

**მზის ციკლები**

მზის ლაქები მზის ზედაპირის ბნელი არეებია, სადაც ტემპერატურა 2000 K - უფრო ცივია, ვიდრე მისი გარემო. მათი მოძრაობის მიხედვით, ჩვენ შეგვიძლია განვსაზღვროთ მზის ღერძის გარშემო ბრუნვის სიჩქარე. მზე ეკვატორის გარშემო უფრო სწრაფად მოძრაობს (მოძრაობის პერიოდი 25 დღეა), ვიდრე პოლუსებთან (მოძრაობის პერიოდი 36 დღეა). მზის ლაქების რაოდენობა იცვლება მზის ციკლის მიხედვით, რომლის ხანგრძლივობა, საშუალოდ, 11 წელია. ლაქები, ხშირად, წყვილებად ჩნდება. 11 წლის განმავლობაში, ჩრდილო ნახევარსფეროში არსებულ ლაქებს ერთი და იგივე პოლარობა აქვთ, ხოლო სამხრეთ ნახევარსფეროში – მათი საპირისპირო პოლარობა. მომდევნო 11 წლის განმავლობაში კი ეს პოლარობა გლობალურად იცვლება. ამის გამო, სრული ციკლი განისაზღვრება 22 წლით. ციკლის აქტივობა დამოკიდებულია მზის მაგნიტურ ველზე, თუმცა ამ მოვლენის ბუნება ბოლომდე ჯერ არ არის შესწავლილი.

**მზის ატმოსფერული აქტივობა**

მზის აქტიურობის ფაზაში აღინიშნება შემდეგი მოვლენები – მზის ლაქები, პროტუბერანცები, მზის ანთებები, კორონალური მასის გამოფრქვევები – ყველა ეს მოვლენა ჩნდება აქტიურ რეგიონებში. აქტიური რეგიონი მზის ატმოსფეროს სხვადასხვა სიმაღლეზე გამოვლენილ აქტიურობას აერთიანებს, რომელთა საფუძველი მზის ლაქებშია. აქტიური რეგიონები, როგორც მზის ლაქები, იცვლება მზის ციკლის მიხედვით.

**კოსმოსური ამინდი**

კოსმოსური ამინდი არის მზის აქტიურობის შედეგების ასახვა დედამიწაზე – მის მაგნიტოსფეროსა და დედამიწის ზედაპირზე. კორონალური ხვრელების მეშვეობით, მზიდან გამოიტყორცნება ნივთიერება პლანეტათშორის სივრცეში. მზის ანთებები და კორონალური მასის გამოტყორცნის შედეგადაც გამოიფრქვევა მზის ნივთიერება კოსმოსში, რაც დედამიწაზე იწვევს ჩრდილოეთის ციალს, საკომუნიკაციო სისტემებისა და სატელიტების დაზიანებას და დედამიწაზე ელექტროენერგიის დაზიანებასაც.

**თავი 16**

**მზის გამოსხივების წყარო – თერმული და გრავიტაციული ენერგია**

მზე წარმოუდგენლად დიდ ენერგიას გამოყოფს ყოველ წამში. რამდენადაც მზე და მზის სისტემა დაახლოებით 4.5 მილიარდი წლისაა, ეს ნიშნავს, რომ მზეს ამ პერიოდის განმავლობაში უზომოდ დიდი ენერგია აქვს გამოყოფილი. არც თერმულ და არც გრავიტაციულ ენერგიას, საერთო ჯამში, ამ ენერგიის წარმოება არ შეუძლია.

**მასა, ენერგია და რადიაციის თეორია**

მზის ენერგია ნაწილაკების, პროტონის, ნეიტრონის, ელექტრონის, პოზიტრონისა და ნეიტრინოს ურთიერთქმედების შედეგად წარმოიქმნება. კონკრეტულად, ეს პროცესი ნიშნავს წყალბადის წვას მზის გულში და წვის შედეგად ჰელიუმის წარმოშობას. რეაქციის ამ პროცესს პროტონ–პროტონული ჯაჭვი ეწოდება. ჰელიუმის ატომი 0.71% ნაკლები მასისაა, ვიდრე წყალბადის ოთხი ატომი – სწორედ ამ რაოდენობის წყალბადია საჭირო ჰელიუმის ატომის წარმოსაქმნელად – პროცესის შედეგად დაკარგული მასა გარდაიქმნება ენერგიაში.

**მზის გული: თეორია**

მიუხედავად იმისა, რომ ჩვენ მზის შიდა პროცესების პირდაპირი დაკვირვება არ შეგვიძლია, შეფასება, თუ რა ხდება იქ, შესაძლებელია. მზე აიროვანი ობიექტი. მცირე ცვლილებებს თუ არ გავითვალისწინებთ, მზე არც იკუმშება და არც ფართოვდება – ის ჰიდროსტატიკურ წონასწორობაშია. მზე ყოველ წამს ერთი და იგივე რაოდენობის ენერგიას გამოასხივებს. წყალბადის თერმობირთვული რეაქცია მზის ცენტრში ხდება, ხოლო ენერგია, რომელიც ამ არეში წარმოიქმნება, ზედაპირზე გამოსხივების ან კონვექციის სახით ამოდის. მზის მოდელი მზის შიდა ფენების სტრუქტურას აღწერს.

**მზის გული: დაკვირვება**

ჰელიოსეისმოლოგიისა და ნეიტრინოზე დაკვირვებების შედეგად, ჩვენ გვაქვს მზის შიდა ფენების დაკვირვებითი მონაცემებიც. ჰელიოსეისმოლოგიურმა დაკვირვებებმა, ამ ეტაპზე, აჩვენა, რომ მზის შიდა ფენები მისი გარე ფენების მსგავსია (გარდა მზის გულისა, სადაც მიმდინარეობს თერმობირთვული რეაქცია – წყალბადის ჰელიუმად გარდაქმნა). კონვექციური ზონა მზის ზედაპირიდან მისი ცენტრისკენ 30% ვრცელდება. ჰელიოსეისმოლოგია აქტიური რეგიონების უკეთეს და მრავალფეროვან მონაცემს გვაძლევს, რაც საშუალებას გვაძლევს, რომ უკეთ ვიწინასწარმეტყველოთ მზის შტორმი და მისი ეფექტი დედამიწაზე. მზის გულში მიმდინარე პროცესების შესწავლა შესაძლებელია ნეიტრინოების მეშვეობითაც. უახლესმა ექსპერიმენტმა აჩვენა, რომ მზის მოდელებს შეუძლია საკმაოდ კარგი სიზუსტით იწინასწარმეტყველოს მზის გულში ნეიტრინოების წარმოშობა. თუმცა, ამ ნეიტრინოების უმეტესობა სხვადასხვა ტიპის ნეიტრინოებად გარდაიქმნება მზიდან დედამიწამდე – რაც ადასტურებს, რომ ნეიტრინო არ არის უმასო ნაწილაკი.

**თავი 17**

**ვარსკვლავების სიკაშკაშე**

წამში ვარსკვლავის მიერ გამოსხივებულ სრულ ენერგიას სიკაშკაშე ეწოდება. ღამის ცაზე თვალით დანახულ ვარსკვლავების სიკაშკაშეს ხილული სიკაშკაშე ეწოდება. ვარსკვლავის ხილული სიკაშკაშე დამოკიდებულია მის რეალურ სიკაშკაშეზე და მანძილზე დედამიწიდან ვარსკვლავამდე. ამიტომ, ვარსკვლავის ხილული სიკაშკაშითა და დედამიწიდან დაშორებით შეგვიძლია განვსაზღვროთ მისი ნამდვილი სიკაშკაშე. ხილული სიკაშკაშე გამოითვლება მაგნიტუდებით, რაც ძველი სისტემაა და დამოკიდებულია იმაზე, ადამიანის თვალი როგორ აღიქვამს სინათლის ინტენსივობაში განსხვავებას.

**ფერები და ვარსკვლავები**

ვარსკვლავებს აქვს სხვადასხვა ფერი, რაც მათ ტემპერატურაზეა დამოკიდებული. ყველაზე ცხელი ვარსკვლავები ლურჯი ან მოლურჯო–თეთრები არიან, ცივი ვარკსვლავები კი წითელი. ვარსკვლავის ფერის ინდექსი არის სხვადასხვა ტალღის სიგრძეზე გამოსხივებულ ენერგიაზე დამოკიდბული, ამის გამო შესაძლებელია მათი ტემპერატურების შეფასებაც.

**ვარსკვლავის სპექტრი ( და ყავისფერი ჯუჯები)**

ვარსკვლავის სპექტრებს შორის განსხვავება პირდაპირ არის დამოკიდებული მათ ტემპერატურაზე. ვარსკვლავის სპექტრები აღიწერება სპექტრული კლასებით. ტემპერატურის კლების მიხედვით სპექტრული კლასები შემდეგნაირად იყოფა – O, B, A, F, G, K, M, L, T, Y. სპექტრული კლასები ქვეკლასებადაც იყოფა 0–დან 9–მდე. სპექტრული კლასები L, T, Y ახალი დამატებულია, რათა აღიწეროს ახლად აღმოჩენილი ვარსკვლავის მსგავსი ობიექტები – ყავისფერი ჯუჯები, რომლებიც უფრო ცივი ობიექტებია, ვიდრე M9. მზე ეკუთვნის G2 სპექტრულ კლასს.

**სპექტრების გამოყენება ვარსკვლავის რადიუსის, შემადგენლობისა და მოძრაობის შესაფასებლად**

ვარსკვლავების სპექტრები განსხვავებულია – თუ ვარსკვლავებს აქვთ ერთი და იგივე ტემპერატურა, მაგრამ სხვადასხვა ატმოსფერული მდგომარეობა, მათი სპექტრები განსხვავებული იქნება – ამის მიხედვით ჩვენ შეგვიძლია დავადგინოთ ვარსკვლავს როგორ რადიუსი და ატმოსფერული წნევა აქვს. სპექტრის მიხედვით შეგვიძლია ზუსტად გავიგოთ, თუ რა ქიმიური შემადგენლობის არის ვარსკვლავი. წყალბადი და ჰელიუმი ვარსკვლავების ძირითადი შემადგენელი ნივთიერებებია. სპექტრული ხაზების გადაადგილების მიხედვით განისაზღვრება ვარსკვლავის სხივური სიჩქარე. სპექტრული ხაზების სისქის მიხედვით კი დგინდება ვარსკვლავის ბრუნვის სიჩქარე. სპექტრის მიხედვით, ვარსკვლავის საკუთარი მოძრაობის სიჩქარის შეფასებაც კი არის შესაძლებელი.

**თავი 18**

**ვარსკვლავების აღწერა**

ვარსკვლავების თვისებების შესასწავლად ხანგრძლივი კვლევის ჩატარებაა საჭირო. მაგალითად, თუ ვარსკვლავის ხილული სიკაშკაშე დიდია და ღამის ცაზე ძალიან კაშკაშად ჩანს, ეს ცალსახად არ ნიშნავს, რომ ეს ვარსკვლავი დედამიწასთან ახლოს მდებარე ვარსკვლავია – შესაძლოა, რომ საკმაოდ დაშორებული, მაგრამ მასიური ვარსკვლავი იყოს. ძირითადად, დედამიწასთან ყველაზე ახლოს მდებარე ვარსკვლავები საკმაოდ სუსტია და მათი დანახვა მხოლოდ ტელესკოპით არის შესაძლებელი. მცირე მასისა და სიკაშკაშის ვარსკვლავები უფრო ხშირია, ვიდრე მასიური ვარსკვლავები. დედამიწის სიახლოვეს მდებარე ყავისფერი ჯუჯები ჯერ კიდევ არ არის აღმოჩენილი.

**ვარსკვლავის მასების შეფასება**

ვარსკვლავის მასების შეფასება შესაძლებელია ვარსკვლავების ორმაგი სისტემების მეშვეობით – ორი ვარსკვლავის, რომლებიც ერთი ცენტრის გარშემო მოძრაობენ. ხილული ორმაგი სისტემების შემთხვევაში, ტელესკოპში ორი ვარსკვლავი ერთმანეთისგან მოშორებული ჩანს. სპექტროსკოპული ორმაგი სისტემების შემთხვევაში კი მხოლოდ სპექტრის მეშვეობით არის შესაძლებელი ვარსკვლავთ ორმაგის სისტემების განსაზრვრა. ვარსკვლავის მასებიც საკმაოდ განსხვავებულია ერთმანეთისგან – ისინი შეიძლება იყვნენ როგორც 1/12 მზის მასის, ასევე 100 მზის მასის (იშვიათად, მაგრამ გვხვდება ვარსკვლავები, რომლებიც 250 მზის მასისაა). 1/12–დან 1/100 მზის მასის ვარსკვლავებს ყავისფერი ჯუჯები ეწოდებათ. ობიექტებში, რომლებშიც თერმობირთვული რეაქციები არ მიმდინარეობს, პლანეტები ეწოდებათ. მასიური ვარსკვლავები ყველაზე კაშკაშანიც არიან – ამ კორელაციას მასისა და სიკაშკაშის დამოკიდებულება ეწოდება.

**ვარსკვლავის დიამეტრი**

ვარსკვლავის დიამეტრის შეფასება შესაძლებელია იმ ობიექტების მიხედვით, რომლებიც მის დისკს “გადაკვეთენ” და მათ სინათლეს ამცირებენ ტრანზიტის დროს (მთვარე, პლანეტა ან სხვა ვარსკვლავი, რომელიც შესაფასებელი ობიექტთან მოძრაობს – შესაძლოა ეს იყოს ფიზიკური მოძრაობა ან პროექცია). ორმაგი ბნელებადი სისტემების (ორი ვარსკვლავი მოძრაობს ერთმანეთის გარშემო ხილულად ან პროექციისთ) დიამეტრის შეფასება შესაძლებელია მათი ორბიტალური მოძრაობების მიხედვით.

**ჰერცშპრუნგ–რასელის დიაგრამა**

ჰერცშპრუნგ–რასელის დიაგრამა (H-R დიაგრამა) არის ვარსკვლავის სიკაშკაშისა და ზედაპირის ტემპერატურის დამოკიდებულება. ვარსკვლავების უმეტესობა მდებარეობს ძირითად მიმდევრობაზე – დიაგრამაზე ეს მდებარეობა დიაგონალურად ვითარდება მაღალი ტემპერატურისა და დიდი სიკაშკაშის მქონე ვარსკვლავებიდან დაბალი ტემპერატურისა და მცირე სიკაშკაშის ვარსკვლავებამდე. ვარსკვლავის მდებარეობა ძირითად მიმდევრობაზე დამოკიდებულია მხოლოდ მათ მასებზე – დიდი მასის ობიექტი მეტ ენერგიას გამოასხივებს და უფრო ცხელია, ვიდრე მცირე მასის. ძირითადი მიმდევრობის ვარსკვლავები ენერგიას თერმობირთვული რეაქციის შედეგად გამოიმუშავებენ. ვარსკვლავის 90% ძირითად მიმდევრობის არიან. 10%–მდე არის თეთრი ჯუჯა ვარსკვლავი და 1% ნაკლები – გიგანტი ან ზეგიგანტი.

**თავი 19**

**მანძილის ძირითადი ერთეულები**

მანძილების ადრეული შეფასებები ადამიანისთვის შესაფერისი მასშტაბებით ხდებოდა. დღეს კი ეს სტანდარტი შეცვლილია საერთაშორისო ერთეულებით, როგორიც არის მეტრი. მანძილები მზის სისტემაში განისაზღვრება იმ დროის მეშვეობით, რაც სჭირდება დედამიწიდან გაშვებულ სიგნალს მივიდეს ობიექტამდე და დაბრუნდეს უკან.

**ვარსკვლავების მანძილების შეფასება**

ახლოს მდებარე ვარსკვლავების მანძილების შეფასება შეასძლებელია ტრიანგულაციის მეთოდით, სადაც საბაზისო მანძილად აღებულია დედამიწის ორბიტალური მოძრაობა მზის გარშემო. ამგვარად შეფასებულ მანძილს **პარალაქსი** ეწოდება. ვარსკვლავის მანძილების შესაფასებლად გამოყენებული ერთეულებია **სინათლის წელიწადი** – მანძილი, რომელსაც სინათლე გაივლის 1 წელში და **პარსეკი –** 1 პარალაქსი 1 არკსეკუნდში ( 1 პარსეკი – 3.26 სინათლის წელი). ყველაზე ახლოს მდებარე წითელი ჯუჯა ვარსკვლავი 1 პარსეკის დაშორებით მდებარეობს. პირველად ყველაზე წარმატებული გაზომვა ვარსკვლავების პარალაქსის 1838 წელს მოხდა. პარალაქსი მნიშვნელოვანია კოსმოსური მანძილების შეფასებისას. სატელიტმა ჰიპარქოსმა ზედმიწევნით სწორად გაზომა იმ ყველა ვარსკვლავის პარალაქსი, რომლებიც დედამიწიდან 300 სინათლის წლის დაშორებით მდებარეობენ. გაიას მისია კი 30 000 სინათლის წლის მანძილზე ყველა ვარსკვლავის მანძილის გაზომვას გეგმავს.

**ცვალებადი ვარსკვლავები**

ცეფეიდები და RR ქნარის ვარსკვლავები ორი ტიპის პულსირებადი ცვალებადი ვარსკვლავებია. მათი სიკაშკაშის მრუდები აჩვენებს, რომ მათი გამოსხივება იცვლება რეგულარული პერიოდულობით. მათი სიკაშკაშის ცვლილებები გამოიყენება სტანდარტად სხვა ვარსკვლავების სიკაშკაშეების შეფასებისთვის – მათი პერიოდების მიხედვით შესაძლებელია სიკაშკაშის გამოთვლა. სიკაშკაშის ცვლილებისა და ხილული სიკაშკაშის ურთიერთდამოკიდებულებით კი, მანძილების შეფასება. ეს მეთოდი გამოიყენება შორეული ვარსკვლავების მანძილების შეფასებისთვისაც.

**H-R დიაგრამა და კოსმოსური მანძილები**

ერთნაირი ტემპერატურისა და სხვადასხვა წნევის ( და დიამეტრის) მქონე ვარსკვლავებს სხვადასხვა სპექტრი აქვს. სპექტრული კლასიფიკაციის გამოყენება შეიძლება როგორც მათი სიკაშკაშის, ასევე ტემპერატურების შესაფასებლად. შესაბამისად, სპექტრს შეუძლია გვაჩვენოს, თუ სად მდებარეობენ დიაგრამაზე ვარსკვლავები. ხილული სიკაშკაშის გამოყენებით კი მანძილების შეფასებაცაა შესაძლებელი. მანძილების განსაზღვირს სხვადასხვა მეთოდი მათი ზუსტი შეფასების საშუალებას გვაძლევს.

**თავი 20**

**ვარსკვლავთშორისი სივრცე**

გალაქტიკის 15%–მდე აირისა და მტვრისგან შედგება. ვარსკვლავთშორისი სივრცის 99% აირისგან შედგება – ინდივიდუალური ატომებისა და მოლეკულებისგან. ვარსკვლავთშორისი სივრცის ძირითადი ნივთიერება წყალბადი და ჰელიუმია. ვარსკვლავთშორისი ნივთიერების მხოლოდ 1% არის მყარი მდგომარეობით.

**ვარსკვლავთშორისი აირი**

ვარსკვლავთშორისი აირი შესაძლოა იყოს ცივი ან ცხელი. ვარსკვლავის ახლოს მდებარე ცხელი აირები გამოასხივებენ, რაც ნიშნავს, რომ აირებში მდებარე ატომებში ელექტრონები მაღალი ენერგეტიკული დონეებიდან დაბალ ენერგეტიკულ დონეზე გადადიან იონიზაციის მეშვეობით. იონიზირებული წყალბდის გამოსხივებად ღრუბლებს (ნებულები) H II რეგიონები ეწოდებათ და მათი ტემპერატურა დაახლოებით 10 000 K. ვარსკვლავთშორისი სივრცეში არსებული წყალბადის უმეტესობა არ არის იონიზირებული და მათი შესწავლა რადიო ასტრონომიის მეშვეობით არის შესაძლებელი. ზოგიერთი ღრუბლის ტემპერატურა ვარსკვლავთშორის სივრცეში მილიონ გრადუსამდეც აღწევს, თუმცა ეს კაშკაშა ვარსკვლავების ტემპერატურაზე ბევრად ნაკლებია. აირის ეს ღრუბლები, სავარაუდოდ, გაცხელებულია ზეახალი ვარსკვლავების ენერგიის გამოტყორცნის შედეგად. ზოგ ადგილას, გრავიტაცია ვარსკვლავთშორის აირებს გიგანტური ღრუბლების სახით წარმოადგენს – ისინი დაცულები არიან ვარსკვლავების გამოსხივებისგან და კარგი სივრცე იქმნება მოლეკულების წარმოსაქმნელად. 200–მდე სხვადასხვა მოლეკულა არის აღმოჩენილი კოსმოსში, მათ შორის ცილების შექმნისთვის საჭირო მოლეკულებიც, რაც აუცილებელია სიცოცხლის წარმოქმნისთვის.

**კოსმოსური მტვერი**

კოსმოსური მტვერი შეიძლება დავაფიქსიროთ სხვადასხვა მეთდით:

• როდესაც ის ფარავს ვარსკვლავს;

• როდესაც მასში ახლომდებარე ვარსკვლავის სინათლე გაიბნევა;

• როდესაც ის ვარსკვლავის ხილულ გამოსახულებას უფრო სუსტად წარმოაჩენს.

კოსმოსური მტვერი შესაძლებელია დავაფიქსიროთ ინფრაწითელი დეტექტორების მეშვეობითაც, რადგან ის სითბოს ენერგიას გამოასხივებს. კოსმოსური მტვერი ძირითადად თავმოყრილია გალაქტიკის სიბრტყეში. კოსმოსური მტვერი ან პატარა ქვის მსგავსი ობიექტებია, ან ყინულის მსგავსი, რაც წყლის, ამონიუმისა და მეთანისგან შედგება.

**კოსმოსური სხივები**

კოსმოსური სხივები არის ელემენტარული ნაწილაკები, რომლებიც ვარსკვლავთშორის სივრცეში მოძრაობს თითქმის სინათლის სიჩქარით (90% სინათლის სიჩქარე). კოსმოსური სხივების უმეტესობა წყალბადისა და ჰელიუმის ბირთვებისგან შედგება, თუმცა თავისუფალი ელექტრონები და პოზიტრონებიც ფიქსირდება. სავარაუდოდ, კოსმოსური სხივები ზეახალი ვარსკვლავების შოკის ტალღების მეშვეობით წარმოიქმნება.

**კოსმოსური ნივთიერების განვითარების ციკლი**

ვარსკვლავთშორისი ნივთიერება მოძრაობის გალაქტიკის სივრცეში და იცვლის განვითარების ფაზებს. გალაქტიკას აირები გამუდმებით ემატება ექსტრაგალაქტიკური სივრციდან ნაწილაკების მიზიდვის გამო და ამავე დროს, მასაც აკლდება ეს ნივთერება, რადგან მათ ვარსკვლავები მიიზიდავენ. ეს ციკლი წრიულად ვითარდება, რადგან ვარსკვლავების განვითარებისა და დაღუპვის დროს, ეს ნივთიერება ისევ გალაქტიკის სივრცეში გამოიფრქვევა. ვარსკვლავთშორის სივრცეში მძიმე ელემენტები ვარსკვლავების ბირთვებშია წარმოქმნილი, ხოლო მტვრის ნაწილაკები წარმოიქმნება ვარსკვლავების გარეთ და შთანთქმულია მათ მიერ. სწორედ ეს ნივთიერებები ქმნის ვარსკვლავთშორის სივრცეს.

**ვარსკვლავთშორისი ნივთიერება მზის გარშემო**

მზე ჩვენი გალაქტიკის განაპირას მდებარეობს – მის გარშემო ვარსკვლავთშორისი ნივთიერება საკმაოდ დაბალი კონცენტრაციით მოიპოვება, თუმცა ის ნივთიერება, რაც გარს გვარტყამს, ზეახალი ვარსკვლავის აფეთქების შედეგად არის დარჩენილი.

**თავი 21**

**ვარსკვლავების წარმოქმნა**

ვარსკვლავების უმეტესად წარმოქმნილია გიგანტური მოლეკულური ღრუბლებისგან, რომელთა მასა 3\*10^6 მზის მასაა. ყველაზე კარგად შესწავლილი მოლეკულური ღრუბელი ორიონის ნისლეულია, სადაც ვარსკვლავები დღესაც წარმოიქმენბა. მოლეკულურ ღრუბლებში არის აირისა და მტვრის მკვრივი არეები, რომლებიც შესაძლოა ვარსკვლავებად გარდაიქმნას. მათი წარმოქმნა დამოკიდებულია წნევაზე და სიმკვრივეზე – როდესაც სიმკვრივე იმდენად დიდია, რომ გრავიტაციას შეუძლია გადააჭარბოს ღრუბლის შინაგან წნევას და გამოიწვიოს კოლაფსი, რის შედეგადაც დაიწყება თერმობირთვული რეაქცია. პროტოვარსკვლავში ძლიერი ვარსკვლავური ქარი წარმოიქმნება – ნივთიერება გამოიტყორცნება ვარსკვლავთშორის სივრცეში. ეს ნივთიერება ეჯახება გარემოს ნივთიერებას და წარმოქმნის ნათებას.

**H-R დიაგრამა და ვარსკვლავების ევოლუცია**

ვარსკვლავების ევოლუცია იცვლება მათი ტემპერატურისა და სიკაშკაშის მიხედვით, რისი დაკვირვებაც H-R დიაგრამაზე შეიძლება. პროტოვარსკვლავი წარმოქმნის ენერგიას გრავიტაციული შეკუმშვის მეშვეობით, რაც მილიონობით წელი გრძელდება, სანამ სრულყოფილი ვარსკვლავი ჩამოყალიბდება.

**პლანეტარული სისტემები ვარსკვლავების გარშემო**

დაკვირვებებმა აჩვენა, რომ პროტოვარსკვლავებს აკრავს დისკი, რომლის ნივთიერებაც საკმარისია იმისთივს, რომ წარმოიქმნას პლანეტარული სისტემები. რამოდენიმე მილიონი წლის შემდეგ, დისკის შიდა მხარე იწმინდება მტვრისგან და შესაძლებელი ხდება შიდა პლანეტების წარმოქმნა. ამ მოვლენის დაკვირვებაც არის შესაძლებელი რამოდენიმე ძველი ვარსკვლავის მაგალითზე. პროტოპლანეტებიდან შესაძლოა ჩამოყალიბდეს დედამიწის მსგავსი პლანეტებიც და უფრო მასიური, იუპიტერის მსგავსი პლანეტებიც.

**ეგზოპლანეტები**

ეგზოპლანეტების დასაფიქსირებლად რამოდენიმე მეთოდი არსებობს: პირდაპირი დაკვირვება და არაპირდაპირი დაკვირვება. ტრანზიტული და დოპლერის წანაცვლების მეთოდები უტყუარი მეთოდებია ეგზოპლანეტების დასაფიქსირებლად. ზოგი პლანეტა პირდაპირი დაკვირვების მეთოდითაც კი ფიქსირდება.

**ეგზოპლანეტების მდებარეობა**

კეპლერის მისიამ ათასობით ახალი ეგზოპლანეტა აღმოაჩინა. დედამიწის მსგავსი პლანეტები ყველაზე გავრცელებული პლანეტებია – 100 მილიონი დედამიწის მსგავსი პლანეტა არის აღმოჩენილი მზის მსგავსი პლანეტების გარშემო მხოლოდ ჩვენს გალაქტიკაში. 2600 პლანეტარული სისტემა არის აღმოჩენილი ვარსკვლავების გარშემო. მათი განლაგება ვარსკვლავის გარშემო სხვადასხვანაირია და არ ჰგავს მზის სისტემას.

**თავი 22**

**ვარსკვლავების ევოლუცია ძირითადი მიმდევრობიდან წითელ გიგანტებამდე**

როდესაც ვარსკვლავში წყალბადი გარდაიქმნება ჰელიუმად, ის მთავარ მიმდევრობაში ჯერ საწყის ეტაპზე მდებარეობს. მთავარ მიმდევრობაზე ვარსკვლავის მდებარეობა დამოკიდებულია მის მასაზე – მასიური ვარსკვლავები უფრო სწრაფად გადიან ევოლუციას, ვიდრე მცირე მასის ვარსკვლავები. წყალბადის ჰელიუმად გარდაქმნა ცვლის ვარსკვლავის ბირთვის შემადგენლობას – შესაბამისად იცვლება მისი ტემპერატურა, სიკაშკაშე და რადიუსი. შესაბამისად, განვითარებასთან ერთად, ვარსკვლავები ძირითადი მიმდევრობიდან წითელი გიგანტების მიმდევრობაში გადაინაცვლებენ. წითელი გიგანტების ბირთვის უფრო მძიმე და მკვრივია, ხოლო გარე ნაწილები უფრო ფართედ არის გაშლილი სივრცეში. ვარსკვლავი უფრო მასიური, დიდი და კაშკაშკა ხდება.

**ვარსკვლავის გროვები**

ვარსკვლავის გროვები შესწავლისას ყველაზე კარგად შეგვიძლია ვნახოთ, რა ხდება ვარსკვლავის განვითარების დროს. გროვებში ისინი თითქმის ერთი და იმავე ასაკისანი არიან და ნივთიერების მდგომარეობაც თითქმის თანაბარია. მათი ძირითადი განსხვავება არის მასებში – შესაბამისად ვხედავთ, როგორ ვითარდება სხვადასხვა მასის ვარსკვლავი. ძირითადად გვაქვს სამი ტიპის კლასტერი: სფერული, ღია და ასოციაციური. სფერული კლასტერის დიამეტრი 50–450 სინათლის წელია და შეიცავს ასობით ათას ვარსკვლავს. ისინი გალაქტიკის ჰალოში მდებარეობენ. ღია კლასტერები ასობით ვარსკვლავს შეიცავს და მდებარეობს გალაქტიკის სიბრტყეში – მათი დიამეტრი 30 სინათლის წელია. ასოციაციები მტვრისა და აირის არეებში გვხვდება და ახალგაზრდა ვარსკვლავებისგან შედგება.

**თეორიის შეფასება**

ვარსკვლავის ევოლუციის დიაგრამაზე კლასტერის ვარსკვლავები ევოლუციის შედეგად მუდმივად იცვლებიან. მასიური ვარსკვლავები უფრო სწრაფად ვითარდებიან. ასოციაციებში და ახალგაზრდა კლასტერებში ყველაზე კაშკაშა ლურჯი ვარსკვლავები ძირითად მიმდევრობაზე მდებარეობენ. ნაკლები მასის მქონე ვარსკვლავები კი ჯერ არ არიან მთავარი მიმდევრობის ეტაპზე. თუმცა, განვითარებასთან ერთად, ისინი გადავლენ ძირითად მიმდევრობაზე. სფერულ გროვებში, რომლებიც 11 მილიარდი წლის არის დაახლოებით, არ გვხვდება ლურჯი ვარსკვლავი.

**ვარსკვლავის შემდგომი განვითარება**

წითელი გიგანტის შემდეგ, ვარსკვლავის ბირთვში ჰელიუმი ნახშირბადად გარდაიქმნება (ზოგ შემთხვევაში ჟანგბადადაც). ამ დროს ხშირად გამოიტყორცნება ხოლმე მასა ვარსკვლავიდან, რის გამოც ის უფრო სტაბილური ხდება და იკლებს როგორც მასაში, ასევე სიკაშკაშეში. თერმობირთვული რეაქციის შედეგად, ვარსკვლავი კვლავ იზრდება, თუმცა მასის დაკარგვა მუდმივად ხდება. ეს წარმოქმნის პლანეტარულ ღრუბლებს ვარსკვლავების გარშემო. ისინი ძირითადად ულტრაიისფერ უბანში ასხივებენ.

**მასიური ვარსკვლავების ევოლუცია**

8 მზის მასის მქონე ვარსკვლავები ბირთვში წარმოქმნიან ნახშირბადს, ჟანგბადს და ხშირად ისეთ მძიმე ელემენტებს, როგორიც არის რკინა. ბირთვში ახალი ელემენტების წარმოქმნას ბირთვული სინთეზი ეწოდება. ევოლუციის ეს ფაზა საკმაოდ სწრაფად ვითარდება. ამ დროს ვარსკვლავს მთელი ენერგია ამოწურული აქვს და კვდება. ამ ეტაპზე, ვარსკვლავები ხშირად გამოტყორცნიან ნივთიერებას, რომლებიც მძიმე მეტალებს შეიცავს და ამდიდრებს ვარსკვლავთშორის სივრცეს. ღია გროვები უფრო მეტ მძიმე ელემენტებს შეიცავენ, რადგან უფრო გვიანდელი ჩამოყალიბებულები არიან, ვიდრე სფერული გროვები.

**თავი 23**

**მცირე მასის ვარსკვლავების განვითარება**

მცირე მასის ვარსკვლავები ევოლუციის განმავლობაში მასის მნიშვნელოვან ნაწილს კარგავენ ვარსკვლავური ქარისა თუ მასის გამოტყორცნის მეშვეობით, რის გამოც, საბოლოოდ, ყალიბდებიან თეთრ ჯუჯებად, რომელთაც მასა ჩანდრასეკარის ლიმიტზე ნაკლები აქვთ (1.4 მზის მასა). გადაგვარებული ელექტრონების წნევა თეთრ ჯუჯებს უფრო მცირე ობიექტად გადაქცევის საშუალებას არ აძლევს. საბოლოოდ, თეთრი ჯუჯა ცივდება და შავ ჯუჯად გარდაიქმნება. ვარსკვლავის ნარჩენები ძირითადად ნახშირბადის, ჟანგბადისა და ნეონისგან შედგება.

**მასიური ვარსკვლავების ევოლუცია**

მასიურ ვარსკვლავებში, ბირთვში წყალბადის წვას უფრო მძიმე ელემენტების წვა მოჰყვება. უშუალოდ ენერგიის ამოწურვის ფაზაში, რკინის ბირთვს გარს არტყავს გოგირდის, ჟანგბადის, ნახშირბადის, ნეონის, წყალბადისა და ჰელიუმის ღრუბელი. თუ რკინის ბირთვის მასა ჩანდრასეკარის ლიმიტს აჭარბებს (3 მზის მასა), ბირთვი იკუმშება და წარმოიქმნება ნეიტრონული ვარსკვლავი, რომლის დიამეტრი საშუალოდ 20 კმ.–ია. ნეიტრონული ვარსკვლავის გარშემო არის ნივთიერების ღრუბელი, რომელიც მეორე ტიპის ზეახალი ვარსკვლავის აფეთქებისას წარმოიქმნება.

**ზეახალი ვარსკვლავის დაკვირვება**

ზეახალი ვარსკვლავი 20–100 წელში ერთხელ ფეთქდება ჩვენს გალაქტიკაში. თუმცა, არც ერთი ზეახალი ვარსკვლავის აფეთქება არ იყო დაკვირვებული ტელესკოპის გამოგონებამდე. 1987 წელს მაგელანის დიდ ღრუბლებში დაფიქსირდა ზეახალი ვარსკვლავის (SN 1987A) აფეთქება. SN 1987 A–ის ვარსკვლავი განვითარდა ლურჯ ზეგიგანტამდე, შემდეგ გარდაიქმნა წითელ ზეგიგანტად, ხოლო საბოლოოდ, აფეთქებამდე, დაბრუნდა კვლავ ლურჯი ზეგიგანტის ფაზაში. ზეახალ ვარსკვლავში დაფიქსირდა ნეიტრინოების ჯეტები ბირთვის კოლაფსის შედეგად. ზეახალი ვარსკვლავები ენერგიის ძირითადი წყაროა ჩვენს სამყაროში, თუმცა ისინი მომაკვდინებლად მოქმედებს მათ გარშემო სივრცეზე.

**პულსარები და ნეიტრონული ვარსკვლავები**

უმეტესი ზეახალი ვარსკვლავი ტოვებს ნარჩენებს – დიდი მაგნიტური ველის კონცენტრაციის ვარსკვლავებს, რომლებიც სწრაფად მოძრაობენ ღერძის გარშემო – მათ პულსარებს ვუწოდებთ. მათი დაფიქსირება ხდება იმ ნაწილაკების ჯეტების მეშვეობით, რომლებიც ტოვენებ მათ მაგნიტურ ველს და გამოიტყორცნებიან სივრცეში. პულსარები ენერგიას 0.001–10 წამის შუალედში გამოასხივებენ და მათი დაფიქსირება შეიძლება მაშინ, როდესაც დედამიწის არეში ხვდებიან. განვითარებასთან ერთად, პულსარები კარგავენ ენერგიას და უმცირდებათ ბრუნვის პერიოდი.

**ორმაგი ვარსკვლავების განვითარება**

როდესაც თეთრი ჯუჯა ან ნეიტრონული ვარსკვლავი მჭიდრო ორმაგი სისტემის ნაწილია, თანმხლები ვარსკვლავი ენერგიას გადასცემს მათ. ნივთიერების თანდათანობით გადაცემამ შესძლოა წარმოქმნას ახალი ვარსკვლავი. თუ ნივთიერება სწრაფად გადაეცემა თეთრ ჯუჯას, ამანდ ჩანდრასეკარის ლიმიტის გადაჭარბება შეიძლება გამოიწვიოს და ჩამოყალიბდეს Ia ტიპის ზეახალი ვარსკვლავი. ამ ტიპის ზეახალი ვარსკვლავის წარმოქმნის მეორე მექანიზმი ორი თეთრი ჯუჯის შეჯახებაა. ნეიტრონულ ვარსკვლავზე ნივთიერების დაცემამ შესაძლოა მძლავრი რენტგენული გამოსხივება გამოიწვიოს. ასევე, ნივთიერების გადაცემის შედეგად ჩქარდება მიმღები ვარსკვლავიც.

**გამა გამოსხივების ნაკადები**

გამა გამოსხივების ნაკადები რამოდენიმე წამს ან წუთს ითვლის. მათი დაფიქსირება კოსმოსში ნებისმიერი მიმართულებით ხდება და ასოცირებულია შორეული ობიექტებიდან წამოსულ სინათლესთან. სავარაუდოდ, გამოსხივება ნაკადების სახით ხდება. მძლავრი ნაკადები დაკავშირებულია მასიური ვარსვკვლავების მიერ მასის მოშორების პროცესთან, ხოლო მცირე ნაკადები – ვარსკვლავების ბირთვებთან.

**თავი 24**

**ფარდობითობის ზოგადი თეორია**

აინშტაინმა წარმოადგინა ზოგადი ფარდობითობის პრინციპი.

**დრო–სივრცე და გრავიტაცია**

აინშტაინის მიხედვით, ჩვენ ვცხოვრობთ გამრუდებულ სივრცე–დროში. ნივთიერების განაწილებაც ამ გამრუდებაზეა დამოკიდებული. ყველა ობიექტი, მათ შორის სინათლეც, დამოკიდებულია გამრუდებულ სივცეზე და დროზე – სინათლე იცვლის ტრაექტორიას მასიურ ობიექტთან ჩავლის შედეგად, არა იმიტომ რომ ის გრავიტაციით მრუდდება, არამედ დრო–სივრცის გამო.

**ზოგადი ფარდობითობის შემოწმება**

სუსტი გრავიტაციის შემთხვევაში, ზოგადი ფარდობითობის თეორია თანხმობაშია ნიუტონის გრავიტაციის კანონებთნა. თუმცა, ძლიერი გრავიტაციის დროს ნიუტონის გრავიტაციის თეორიისგან განსხვავებული შედეგები გვაქვს. მაგალითად, ფარდობითობის ზოგადი თეორიის მიხედვით, სინათლე ან რადიო ტალღები მრუდდება მზესთან ჩავლის დროს, რის შედეგადაც, მერკურის პერიჰელიუმის მდებარეობა 43 არკსეკუნდით უნდა შეიცვალოს ყოველ საუკუნეში. ეს თეორია დაკვირვებებით მტკიცდება.

**დრო ზოგადი ფარდობითობის თეორიის მიხედვით**

ზოგადი ფარდობითობის თეორიის მიხედვით, თუ გრავიტაცია დიდია, დრო უფრო ნელა გადის. დედამიწაზე და კოსმოსურ ხომალდზე ჩატარებულმა ექსპერიმენტმა ეს თოერია კარგად დაადასტურა. ასევე, როდესაც სინათლე თეთრი ჯუჯიდან ან ნეიტრონული ვარსკვლავიდან გამოიტყორცნება, ის გრავიტაციულ წანაცვლებასაც აჩვენებს, რაც დროის შენელებასთან ასოცირდება.

**შავი ხვრელები**

თეორიის მიხედვით, ვარსკვლავები, რომელთა ბირთვის მასაც სამი მზის მასა ან მეტია, შავ ხვრელად გარდაიქმნება. ზედაპირი, რომელიც შავი ხვრელის გარშემოა, სადაც სინათლის გამოტყორცნის ენერგია სინათლის სიჩქარის ტოლია, ჰორიზონტი ეწოდება, ხოლო ამ ზედაპირის რადიუსს შვარცშილდის რადიუსი ეწოდება. შვარცშილდის რადიუსის მიღმა, ინფორმაცია არ აღწევს ჩვენამდე. მიიჩნევა, რომ ყველა შავი ხვრელის შიგნით არის სინგულარობა – წერტილი, სადაც უსასრულოდ დიდი სიმკვრივე და ნული მოცულობაა. ნივთიერება, რომელიც შავ ხვრელს ეცემა, დამკვირვებლისთვის თითქმის გაყინულია ჰორიზონტზე. თუმცა, თუ ჰორიზონტზე მოვხვდებოდით და გადავკვეთავდით ჰორიზონტს, ჩვენი სხეული ნაწილებად დაიშლებოდა და ვერ მივაღწევდით სინგულარობას.

**შავი ხვრელების მაგალითები**

ყველაზე კარგი დასტური შავი ხვრელების არის ვარსკვლავის ორმაგი სისტემები, სადაც (1) სადაც წყვილის ერთი ნაწილი უხილავია, (2) რენტგენული გამოსხივებები ფიქსირდება კომპაქტური ობიექტის აჩქარების სიბრტყეში, (3) ხილული ვარსკვლავის ორბიტისა და მახასიათებლების მიხედვით შეგვიძლია დავადასტუროთ, რომ მეორე ობიექტის მასა სამი მზის მასაზე მეტია. მსგავსი სისტემები აღმოჩენილია. შავი ხვრელები, რომელთა მასა მილიარდობით მზის მასაა, აღმოჩენილია გალაქტიკის ცენტრში.

**გრავიტაციული ტალღების ასტრონომია**

ფარდობითობის ზოგადი თეორია წინასწარმეტყველებს, რომ სივრცეში მატერიის განაწილება უნდა წარმოქმნიდეს გრავიტაციულ ტალღებს. გრავიტაციული ტალღები პირველად აღმოაჩინეს პულსარისა და ნეიტრონული ვარსკვლავის ორმაგ სისტემაში. 2015 წელს, LIGO პირველად დააფიქსირა გრავიტაციული ტალღა შავი ხვრელიდან.

**თავი 25**

**გალაქტიკის აგებულება**

გალაქტიკა ირმის ნახტომი შედგება თხელი დისკისგან, რომელიც შედგება მტვრის, აირის, ახალგაზრდა და ძველი ვარსკვლავებისგან. სფერული ჰალო შედგება უძველესი ვარსკვლავებისგან – სფერული გროვები და RR ქნარის ვარსკვლავებისგან. შედარებით სქელი დისკი განაწილებულია თხელ დისკსა და ჰალოს შორის. გალაქტიკის ბირთვი ძირითადად ძველი ვარსკვლავებისგან შედგება. ზემასიური შავი ხვრელი მდებარეობს გალაქტიკის ცენტრში. მზე მდებარეობს გალაქტიკის პარიფერიულ ნაწილში, 26 000 სინათლის წლით მოშორებული ცენტრიდან.

**სპირალური სტრუქტურა**

სპირალური გალაქტიკა შედგება ბირთვიდან გამოტყორცნილი ორი ან მეტი სპირალისგან. მზე ერთ–ერთ ასეთ სპირალში მდებარეობს. შეფასებების მიხედვით, გალაქტიკა არ მოძრაობს მყარი სხეულის მოძრაობით, არამდეც ვარსკვლავები და აირი დიფენერციალურად მოძრაობს – გალაქტიკის ცენტრთან მდებარე ნივთიერება უფრო სწრაფაც მოძრაობს, ვიდრე მის პერიფერიაში. ირმის ნახტომის მსგავს გალაქტიკას სჭირდება მილიარდობით წელი იმისთვის, რომ ჩამოუყალიბდეს სპირალები.

**გალაქტიკის მასა**

მზე გალაქტიკის ცენტრის გარშემო სრულ ბრუნვას 225 მილიარდ წელში შეასრულებს (გალაქტიკური წელი). გალაქტიკის მასის შეფასება შეიძლება მისი შემადგენელი ვარსკვლავების ორბიტალური სიჩქარეებითა და ვარსკვლავთშორისი ნივთიერებით. გალაქტიკის მასა დაახლოებით 2\*10^12 მზის მასაა. ამ მასის 95% ბნელი მატერიისგან შედგება, რომელიც არ გამოასხივებს ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებას. მისი დაფიქსირება შესაძლებელია მხოლოდ გრავიტაციული ძალის მეშვეობით, რომელიც აისახება ვარსკვლავებზე და ინტერსტელარ ნივთიერებაზე. ბნელი მატერია ძირითადად გალაქტიკის ჰალოში მდებარეობს.

**გალაქტიკის ცენტრი**

გალაქტიკის ცენტრში ზემასიური შავი ხვრელი მდებარეობს. მის გარშემო მდებარე ვარსკვლავების სიჩქარეებმა აჩვენა, რომ ცენტრის მასა 4.6 მილიონი მზის მასა უნდა იყოს. რადიო დაკვირვებებმა აჩენა, რომ ეს მასა დაახლოებით მერკურის ორბიტის დიამეტრის ობიექტში უნდა იყოს მოთავსებული. ასეთი მკვრივი ობიექტი მხოლოდ შავი ხვრელი უნდა იყოს.

**ვარსკვლავები გალაქტიკაში**

გალაქტიკაში ვარსკვლავები ორ ნაწილად შეიძლება დაიყოს: ძველი ვარსკვლავები, რომელშიც შედარებით მცირე მძიმე მეტალებია, მეორე ტიპის პოპულაციის ვარსკვლავებს მიეკუთვნება და მდებარეობს გალაქტიკის ჰალოში და სფერულ გროვებში. პირველი პოპულაციის ვარსკვლავები უფრო მძიმე ელემენტებს შეიცავს, უფრო ახალგაზრდა ვარსკვლავებია და მდებარეობს გალაქტიკის დისკში და სპირალებში. მზე ამ პოპულაციის ვარსკვლავია. პირველი პოპულაციის ვარსკვლავები შეიქმნა მას შემდეგ, რაც მეორე, ძველი პოპულაციის ვარსკვლავებმა წარმოქმნეს მძიმე ელემენტები და გამოტყორცნეს სივრცეში. გალაქტიკის ბალჯის ვარსკვლავები, რომლებიც 10 მილიარდ წელზე ძველია, ძირითადად დიდი რაოდენობის მძიმე ელემენტებს შეიცავს.

**გალაქტიკის ფორმირება**

გალაქტიკამ დაალოებით 13 მილიარდი წლის წინ დაიწყო ჩამოყალიბება. მოდელის მიხედვით, პირველად ჰალოში და სფერულ გროვებში არსებული ვარსკვლავები ჩამოყალიბდა – ამ დროს გალაქტიკა სფერული იყო. ვარსკვლავთშორისი აირები მძიმე ელემენტებით გამდიდრდა პირველად წარმოშობილი ვარსკვლავების მეშვეობით, წნევისა და მასის გამო კოლაფსი განიცადა და სფერული განაწილებიდან სიბრტყულ განაწილებაზე გადავიდა. 3–4 მილიარდ წელიწადში, ჩვენი გალაქტიკა დაეჯახება ანდრომედას გალაქტიკას და 7 მილიარდი წლის შემდეგ ისინი წარმოქმნიან გიგანტურ ელიფსურ გალაქტიკას.

**თავი 26**

**გალაქტიკების აღმოჩენა**

მეოცე საუკუნის დასაწყისში, ვარსკვლავების გროვები, გამოსხივებადი აირების ღრულები და გალაქტიკები თითქმის ერთნაირ წინათლის გაწელილ ღრუბლებად ჩანდა ტელესკოპიდან. მხოლოდ 1924 წელს, როდესაც ჰაბლმა პირველად გაზომა მანძილი ანდრომედას გალაქტიკამდე 2.5 მეტრიანი სარკიანი ტელესკოპით, აღმოაჩინეს, რომ ირმის ნახტომის გარდა, სხვა გალაქტიკებიც არსებობს სამყაროში.

**გალაქტიკების ტიპები**

გალაქტიკების უმეტესობას სპირალური ან ელიფსური სტრუქტურა აქვს. სპირალური გალაქტიკა შეიცავს როგორც ახალგაზრდა, ისე ძველ ვარსკვლავთ პოპულაციებს და ვარსკვლავთშორის ნივთიერებას. მათი საშუალო მასა 10^9–10^12 მზის მასსაა. ჩვენი გალაქტიკაც სპირალური სტრუქტურისაა. ელიფსური გალაქტიკები სფერული ან გაწელილი სფერული სტრუქტურისანი არიან და ძირითადად ძველი პოპულაციის ვარსკვლავებისგან და მცირე ვარსკვლავთშორისი ნივთიერებისგან შედგებიან. ელიფსური გალაქტიკები არის როგორც მასიური, ისე ჯუჯა ტიპის (10^6 მზის მასა). ჩვენს ახლომდებარე სივრცეში, ჯუჯა ელიფსური გალაქტიკები ყველაზე გავრცელებული ტიპის გალაქტიკებია. არსებობს მცირე რაოდენობა არარეგულარული ფორმის გალაქტიკები. გალაქტიკებმა შეიძლება დროთა განმავლობაში შეიცვალონ ფორმა სხვა გალაქტიკებთან შეჯახების ან ევოლუციის სხვა გამოვლინების შედეგად.

**გალაქტიკების მახასიათებლები**

სპირალური გალაქტიკების მასები განისაზრვრება მათი ბრუნვის მიხედვით. ელიფსური გალაქტიკების მასები შეფასებულია მათში მდებარე ვარსკვლავების ბრუნვის მიხედვით. გალაქტიკების დახასიათება შესაძლებელია მათი მასისა და სიკაშკაშის შეფარდების მიხედვით. კაშკაშა გალაქტიკებს, რომელთაც აქტიური ბირთვები და ვარსკვლავების ჩამოყალიბების ადგილები აქვთ, მასისა და სიკაშკაშის შეფარდება, ძირითადად, 1–10 ფარგლებში აქვთ. ელიფსური გალაქტიკების კაშკაშა არეებს კი, რომლებიც ძირითადად ძველი თაობის ვარსკვლავებისგან შედგებიან, მასისა და სიკაშკაშის შეფარდება 10–20 ფარგლებში აქვთ. მთელი გალაქტიკის მასისა და სიკაშკაშის შეფარდება 100 ერთეულამდეც აღწევს.

**ექსტრაგალაქტიკური მანძილების ფარდობა**

ასტრონომები გალაქტიკებამდე მანძილების შესაფასებლად სხვადასხვა მეთოდს იყენებენ:

• ცეფეიდების ცვალებადი ვარსკვლავების პერიოდისა და სიკაშკაშის დამოკიდებულებას;

• Ia ტიპის ზეახალ ვარსკვლავს – რომელიც მანძილის შეფასების სტანდარტად არის გამოყენებული;

• ტული–ფიშერის მეთოდს – სპირალური გალაქტიკის 21 სმ. გამოსხივების ხაზის გაგანიერება.

თითოეული ეს მეთოდი კარგია, მაგრამ აქვს სუსტი მხარეებიც – მათი გამოყენება ყველა ტიპის გალაქტიკასთან არ შეიძლება. ასევე, შეზღუდულია მანძილები, რის ფარგლებშიც შეიძლება მათი გამოყენება.

**გაფართოვებადი სამყარო**

სამყარო ფართოვდება. დაკვირვებებმა აჩვენა, რომ შორეული გალაქტიკების სპექტრული ხაზები ელექტრომაგნიტური ტალღის წითელი უბნისკენ არის წანაცვლებული და მათი სიჩქარე მათი მანძილების პროპორციულია – მანძილისა და ტალღის სიგრძის წანაცვლების ამ დამოკიდებულებას ჰაბლის კანონი ეწოდება, ხოლო ამ შეფარდების მუდმივას – ჰაბლის მუდივა. ჩვენ არ ვართ ამ გაფართოების ცენტრში. მეტიც, გაფართოებას არ აქვს ცენტრი. სამყაროს ნებისმიერ წერტილში ნებისმიერი დამკვირვებელი გაფართოების ზუსტად იმავე სურათს ნახავდა, რასაც ჩვენ ვხედავთ. ჰაბლის კანონით აღწერილი გაფართოება უფრო სივრცის გაწელვას ჰგავს, ვიდრე გაფართოებას.

**თავი 27**

**კვაზარები**

პირველად აღმოჩენილი კვაზარები ჰგავდნენ ჩვეულებრივ ვარსკვლავებს, თუმცა ჰქონდათ ძლიერი რადიო გამოსხივება. მათი ხილული სპექტრიც განსხვავდებოდა ჩვეულებრივი ვარსკვლავის სპექტრისგან და უცნაურად გამოიყურებოდა. ასტრონომებმა ისიც დააფიქსირეს, რომ მათი გაცილებით დიდი წითელი წანაცვლება ჰქონდათ, ვიდრე ვარსკვლავებს. დღეს აღმოჩენილი კვაზარების სპექტრები სინათლის სიჩქარის 15%–90% წითელ წანაცვლებას განიცდიან. ტელესკოპ ჰაბლის დაკვირვებები აჩვენებს, რომ კვაზარები როგორც სპირალური, ასევე ელიფსური გალაქტიკების ცენტრში მდებარეობს. კვაზარების გალაქტიკებიც იმავე წითელ წანაცვლებას განიცდიან, რასაც კვაზარი – ამის შედეგად ვასკვნით, რომ ისინი საკმაოდ დაშორებული ობიექტები არიან ჩვენი გალაქტიკიდან. იმისთვის, რომ ასეთი შორეული მანძილებიდან შესაძლებელი იყოს მათი დანახვა, კვაზარები ჩვეულებრივ გალაქტიკებთან შედარებით 10–100–ჯერ კაშკაშა ობიექტები უნდა იყვნენ. მათგან გამოსხივებული ენერგია კი მიუთითებს იმაზე, რომ ისინი სივრცეში განფენილი ობიექტები არ არიან და სავარაუდოდ, ჩვენი მზის სისტემის ტოლ ფართობზე მოთავსდებოდნენ. ჩვენთან ახლოს მდებარე გალაქტიკებსაც აქვთ აქტიური ბირთვები – მათი აქტიურობა კვაზარების აქტიურობის მსგავსი მექანიზმით აიხსნება.

**ზემასიური შავი ხვრელი: რა არის რეალურად კვაზარი**

აქტიური გალაქტიკების ბირთვებიც და კვაზარებიც ენერგიას ნივთიერების მითვისების ხარჯზე იღებენ და ქმნიან ცხელ აკრეციულ დისკს მასიური შავი ხვრელის გარშემო. ეს მოდელი ხსნის იმ ფაქტს, თუ რამდენად დიდ ენერგიას გამოასხივებენ ისინი და ასევე იმასაც, რომ კვაზარები შედარებით მცირე მოცულობისანი არიან.

**კვაზარები, როგორც სამყაროს ევოლუციის მაჩვენებელი**

კვაზარები და გალაქტიკები ურთიერთქმედებენ: გალაქტიკა შავ ხვრელს უზრუნველჰყოფს ნივთიერებით, რაც კვაზარს აცხელებს და ქმნის აირის ღრუბელს (აკრეციულ დისკს) შავი ხვრელის გარშემო. ეს პროცესი ხსნის იმ ფაქტს, რომ გალაქტიკის ცენტრი და უშუალოდ შავი ხვრელის გარემო მთელი გალაქტიკის მასის უმეტესობას მოიცავს.

კვაზარები უფრო ხშირად გვხვდება მილიარდობით წლის წინ მყოფ გალაქტიკებში, ვიდრე ახლა. ამის გამო, ასტრონომები მიიჩნევენ, რომ ისინი სამყაროს განვითარების კონკრეტულ ეტაპზე არსებობდნენ. კვაზარები უფრო აქტიურები იყვნენ, როდესაც სამყაროც ახალგაზრდა იყო და მეტი ნივთიერება არსებობდა გალაქტიკებში.

კვაზარები შეიძლება კვლავ გააქტიურდეს გალაქტიკების შეჯახებით, რაც შავი ხვრელებისთვის ახალ ნივთიერებას წარმოქმნის.

**თავი 28**

**შორეული გალაქტიკების დაკვირვება**

როდესაც შორეულ გალაქტიკებს ვაკვირდებით, წარსულ დროში ვიყურებით. დღეს ჩვენ დაფიქსირებული გვაქვს გალაქტიკების ადრეული განვითარების ეტაპები – მაშინ, როდესაც სამყარო მხოლოდ 500 მილიონი წლის იყო (რაც ამჟამინდელი ასაკის 4% შეადგენს). სამყარო დღეს 13.8 მილიარდი წლისაა. გალაქტიკის ფერი მის ასაკსა და ვარსკვლავების პოპულაციას აჩვენებს: ლურჯი გალაქტიკები უფრო ახალგაზრდა, ცხელი და მასიური ვარსკვლავებისგან შედგება. გალაქტიკები, რომლებიც ძველი ვარსკვლავებისგან შედგებიან, მოყვითალო–მოწითალო ფერისაა. ვარსკვლავების პირველი თაობა ჩამოყალიბდა მაშინ, როდესაც სამყარო რამოდენიმე ასეული მილიონი წლის იყო. გალაქტიკები კი – რამოდენიმე მილიარდი წლის – ამ დროს გალაქტიკები უფრო მცირე ზომის და არარეგულარული ფორმისანი იყვნენ. ამ დროს ვარსკვლავთწარმოშობა უფრო აქტიურად მიმდინარეობდა.

**გალაქტიკების შეჯახება და აქტიური გალაქტიკების ბირთვები**

როდესაც ზომით თანაბარი გალაქტიკები ეჯახება ერთმანეთს, შვენ ამ პროცესს გალაქტიკების სინთეზს ვუწოდებთ. მაგრამ როდესაც უფრო დიდი გალაქტიკა შთანთქავს მცირეს – გალაქტიკურ კანიბალიზმს. შეჯახება მნიშვნელოვან როლს ასრულებს გალაქტიკების ევოლუციის პროცესში. თუ შეჯახების დროს ერთი გალაქტიკა მდიდარია ვარსკვლავთშორისი ნივთიერებით, ეს ვარსკვლავთწარმოშობის პროცესისითვის საუკეთესო მდგომარეობაა. გალაქტიკების შეერთება უფრო ხშირი მოვლენა იყო ადრეულ სამყაროში. ზემასიურ შავ ხვრელებს, რომლებიც გალაქტიკების ბირთვებში მდებარეობს, შეჯახების დროს მნიშვნელოვანი როლი აქვთ.

**გალაქტიკების განაწილება სივრცეში**

გალაქტიკებზე დაკვირვებებმა აჩვენა, რომ დიდ მასშტაბებში სამყარო ერთგვაროვანი და იზოტოპურია ( ერთი და იგივე ყველგან და ყველა მიმართულებით). სამყაროს ერთგვაროვნება კოსმოლოგიური პრინციპია. გალაქტიკები გროვებში ერთიანედებიან. ირმის ნახტომიც ადგილობრივი გალაქტიკების გროვის ნაწილია (54–მდე გალაქტიკა). გალაქტიკების მდიდარი გროვები ათი ათასობით გალაქტიკას მოიცავს. გალაქტიკების გროვები ხშირად ქმნიან უფრო დიდ სტრუქტურებს – ზეგროვებს – ისინი რამოდენიმე ასეულ მილიონ სინათლის წელზე შეიძლება გაიშალოს. გროვები და ზეგროვები თავის მხრივ დიდი სტრუქტურებია, თუმცა სამყაროს მასშტაბებში ისინი ერთი მცირე შემადგენელი ნაწილებია. სამყაროს უმეტესი ნაწილი შედგება სიცარიელისგან – გალაქტიკების სრული რაოდენობა რომ შევკრიბოთ, ისინი მხოლოდ სამყაროს 10% შეადგენენ.

**ბნელი მატერია**

ასტრონომებმა დაადგინეს, რომ ვარსკვლავები, გალაქტიკები და გალაქტიკების გროვები უფრო სწრაფად ბრუნავენ თავის ორბიტებზე, ვიდრე ხილული, გამოსხივებადი მატერიის გრავიტაციის ზემოქმედების შედეგად იქნებოდა. ამის მიხედვით დგინდება, რომ გალაქტიკები და გალაქტიკების გროვები დომინირებულია ბნელი მატერიით, ვიდრე ხილული მატერიით. გრავიტაციული ლინზირება და რენტგენული გამოსხივება მასიური გალაქტიკების გროვებიდანაც ადასტურებს ბნელი მატერიის არსებობას. ისინი 10–ჯერ მეტ ბნელ მატერიას შეიცავენ, ვიდრე ხილულ მატერიას. ბნელი მატერიის ნაწილი, სავარაუდოდ ჩვეულებრივი ნივთიერებისგან შედგება (პროტონები, ნეიტრონები და ელექტრონები) შავი ხვრელებისა და ჩამქრალი ვარსკვლავების სახით. თუმცა, უმეტესობა, სავარაუდოდ, სრულიად განსხვავებული ტიპის მატერიისგან შედგება.

**გალაქტიკების ფორმირება და ევოლუცია. სამყაროს სტრუქტურა**

თავდაპირველად, ხილული და ბნელი მატერია თითქმის თანაბრად იყო განაწილებული სამყაროში. მთავარი საკითხია, თუ როგორ განვითარდა ამ თითქმის თანაბრად განაწილებული მატერიიდან გალაქტიკები და გალაქტიკების გროვები. სავარაუდოა, რო გალაქტიკებისა და სიცარიელის განაწილება ადრეულ სამყაროში უნდა ჩამოყალიბებულიყო. პირველ სტრუქტურებს ვარსკვლავების გროვები ან მცირე ზომის გალაქტიკები უნდა ჩამოეყალიბებინათ, რაც, შემდგომ, დიდ სტრუქტურებად განვითარდა. დღესაც ვაკვირდებით გალაქტიკების ზეგროვების ჩამოყალიბებას.

**თავი 29**

კოსმოლოგია სამყაროს წარმოშობისა და ევოლუციის სწავლებაა. სამყარო ფართოვდება და ეს ძირითადი პრინციპია სამყაროს შესწავლის თეორიებში. თანამედროვე დაკვირვებების მიხედვით, გაფართოების მუდმივა ერთნაირი არ იყო სამყაროს სხვადასხვა ეტაპზე. დასაწყისში, როდესაც გალაქტიკები ახლოს იყო ერთმანეთთან, გრავიტაციის ეფექტი უფრო დიდი იყო, ვიდრე ბნელი ენერგიის ეფექტი და გაფართოება თანდათან შემცირდა. გალაქტიკები ერთმანეთს დაშორდნენ და გრავიტაციის ეფექტიც შემცირდა. ზეახალი ვარსკვლავების მანძილების შეფასებებმა აჩვენა, რომ როდესაც სამყარო დღევანდელი ასაკის ნახევრის იყო, ბნელმა ენერგიამ დაიწყო მოქმედება და გაფართოება ააჩქარა. იმისთვის, რომ სამყაროს ასაკი დავადგინოთ, უნდა შევაფასოთ მისი გაფართოება. ამის შედეგად, ასტრონომებმა შეაფასეს, რომ სამყარო საკმაოდ მცირე ფართობში, 13.8 მილიარდ წლის წინ ჩამოყალიბდა, როდესაც დიდი აფეთქება მოხდა.

**თანამედროვე სამყარო**