

I. В. Галуза, У. А. Голубеў, А. А. Шымбалёў

АСТРАНОМІЯ



11

I. В. Галузя, У. А. Голубеў, А. А. Шымбалёў

АСТРАНОМІЯ

Падручнік
для 11 класа ўстаноў агульной сярэдняй адукацыі
з беларускай мовай навучання

*Зацверджана Міністэрствам адукацыі
Рэспублікі Беларусь*

Мінск
«Адукацыя і выхаванне»
2015

Правообладатель Адукацыя і выхаванне

УДК 52(075.3=161.3)

ББК 22.6я721

Г16

Пераклад з рускай мовы *T. K. Слауты*

Рэцэнзент: настаўнік фізікі і астрономіі вышэйшай катэгорыі дзяржаўной установы аддукацыі «Гімназія № 39 г. Мінска» *У. I. Каваленка*

Галуза, І. В.

Г16 Астрономія : падруч. для 11-га кл. устаноў агул. сярэд. аддукацыі з беларус. мовай навучання / І. В. Галуза, У. А. Голубеў, А. А. Шымбалёў; пер. з рус. мовы Т. К. Слауты. — Мінск : Адукацыя і выхаванне, 2015. — 224 с. : іл.

ISBN 978-985-471-765-4.

Гэтае выданне (папярэдніе выйшла ў 2009 г.) цалкам перагляджана і ўдакладнена ў адпаведнасці з новымі адкрыццямі і дасягненнямі астрономіі. У яго дабаўлены задачы для праверкі ведаў навучэнцаў (у канцы кожнага параграфа), прыведзены табліцы з даведачнымі звесткамі, якія датычацца асноўных раздзелаў падручніка.

УДК 52(075.3=161.3)

ББК 22.6я721

ISBN 978-985-471-765-4

- © Галуза І. В., Голубеў У. А.,
Шымбалёў А. А., 2003
- © Галуза І. В., Голубеў У. А.,
Шымбалёў А. А., 2015, са змяненнямі
- © Слаута Т. К., пераклад
на беларускую мову, 2015
- © Афармленне. РУП «Выдавецтва
“Адукацыя і выхаванне”», 2015

Правообладатель Адукацыя і выхаванне

ПРАДМОВА

Астрономія — гэта найстарэйшая навука, якая вывучае аб'екты і з'явы, што назіраюцца ў Сусвеце. Таямніцы неба заклікаюць разум чалавека да раздуму і даследавання фізічнага свету. Гэты бязмежны і пераменлівы свет мы называем Сусветам. Паняцце «Сусвет» уключае ў сябе і Зямлю з планетамі Сонечнай сістэмы, і Сонца, і іншыя зоркі, галактыкі, і асяроддзе, у якім яны знаходзяцца. Наша планета Зямля, а значыць, і мы разам з ёю з'яўляемся часткай гэтага Сусвету.

Людзі заўсёды імкнуліся зразумець прыроду назіраемых цел і з'яў, і таму будавалі карціну навакольнага свету ў адпаведнасці з тымі ведамі, якія мелі. Паступова з'яўляліся новыя факты і тэорыі, паяўлялася магчымасць праверыць іх шляхам назіранняў і вымярэнняў, выкарыстання дасягненняў навук, сумежных з астрономіяй (асабліва фізікі), дзякуючы чаму карціна поглядаў на свет удакладнялася і змянялася.

У наш час астрономія выкарыстоўвае ўсё больш дасканалую назіральную тэхніку. Сучасныя прыёмнікі выпраменьвання перадаюць інфармацыю непасрэдна ў камп'ютары.

Назіранні вядуцца ў розных дыяпазонах электрамагнітнага выпраменьвання: радыёдыяпазоне, інфрачырвоным, бачным, ультрафіялетавым, рэнтгенаўскім і гама-прамяннях. Адкрыты новыя аб'екты (пульсары, карычневыя карлікі), выяўлены нечаканыя ўласцівасці ў многіх ужо вядомых цел, створаны ўмовы для прамога даследавання шэрага аб'ектаў Сонечнай сістэмы і г. д. І чым больш астрономы сутыкаюцца з невядомым і адкрываюць новае, тым больш з'яўляецца пытанняў, якія патрабуюць вырашэння. Сучасная астрономія вывучае надзвычай далёкія касмічныя аб'екты, і разам з тым яна не адварваная ад Зямлі. Для чалавецтва важна даследаваць актыўнасць Сонца і яго ўплыв на зямныя працэсы, адказаць на шэраг пытанняў: ці існуе жыццё на іншых планетах, як касмічныя фактары ўпłyваюць на існаванне жыцця на Зямлі і г. д.

Прафесійных астрономаў у свеце значна менш, чым фізікаў, хімікаў, біёлагаў, матэматыкаў і прадстаўнікоў іншых навук, але затое ва ўсе часы было шмат аматараў, якія актыўна назіралі за зоркамі і планетамі. Першаснае знаёмства з астрономіяй у школе дапамагае атрымаць неабходныя звесткі і ўяўленні аб гэтай старэйшай і вечна маладой навуцы.

Раздел I

УВОДЗІНЫ

§ 1. Прадмет астрономіі

1. Што вывучае астрономія. Людзі здаўна спрабавалі разгадаць таямніцу навакольнага свету, вызначыць сваё месца ў Сусвеце. Чалавек уважліва назіраў за ўсходамі і заходамі Сонца, за парадкам змены фаз Месяца, за рухам планет сярод зорак. Людзі імкнуліся зразумець заканамернасць нябесных з'яў і асэнсаваць іх сэнс. З гэтых разважанняў праз міфалогію і філасофію паступова нараджалаіся прыродазнаўча-навуковыя веды.

Астрономія (грэч. *ástron* — зорка, свяціла, *pótos* — закон) — фундаментальная навука, якая вывучае будову, рух, паходжанне і развіццё нябесных цел, іх сістэм і ўсяго Сусвету ўвогуле.

Астрономія як навука — важны від чалавечай дзейнасці, які дае сістэму ведаў аб заканамернасцях у развіцці прыроды. Мэта астрономіі — вывучыць паходжанне, будову і эвалюцыю Сусвету.

Важнымі задачамі астрономіі з'яўляюцца тлумачэнне і прагназаванне астронамічных з'яў, такіх, як сонечныя і месячныя зацьменні, з'яўленне перыядычных камет, праходжанне паблізу ад Зямлі астэроідаў, буйных метэорных цел ці ядраў камет. Астрономія вывучае фізічныя працэсы, што адбываюцца ў нетрах планет, на іх паверхні і ў іх атмасферах, каб лепш зразумець будову і эвалюцыю нашай планеты. Восем вялікіх планет (у тым ліку і Зямля), карлікавыя планеты, іх спадарожнікі, астэроіды, метэорныя целы, каметы, міжпланетны пыл і палявыя формы матэрыі разам з Сонцам складаюць гравітацыйна звязаную Сонечную сістэму. Даследаванне руху нябесных цел дазваляе высветліць пытанні ўстойлівасці Сонечнай сістэмы, імавернасці сутыкнення Зямлі з астэроідамі і ядрамі камет. Не страчвае актуальнасці

адкрыццё новых аб'ектаў Сонечнай сістэмы і вывучэнне іх руху. Важна ведаць працэсы, што адбываюцца на Сонцы, і прагназаваць іх далейшае развіццё, таму што ад гэтага залежыць існаванне ўсяго жывога на Зямлі. Вывучэнне эвалюцыі іншых зорак і парыўнанне іх з Сонцам дапамагаюць атрымаць веды аб этапах развіцця нашага Свяціла.

Даследаванне нашай зорнай Галактыкі і іншых галактык дазваляе вызначыць яе тып, эвалюцыю, месца, якое займае ў ёй Сонечная сістэма, магчымасць блізкага праходжання ад Сонца іншых зорак або праходжання Сонца праз міжзорныя газавыя і пылавыя воблакі.

Такім чынам, астрономія вывучае будову і эвалюцыю Сусвету. Пад тэрмінам «Сусвет» разумеецца ўся назіраемая зона прасторы, якая ўключочае ў сябе ўсе даступныя для вывучэння нябесныя цэлы і іх сістэмы.

2. Узнікненне астрономіі. Астрономія ўзнікла ў глыбокай старажытнасці. Вядома, што яшчэ першы бытныя людзі назіралі за зорным небам і пасля на сценах пячор малявалі тое, што бачылі. Назіранне за зорным небам фарміравала чалавека як мыслячу ѹстоту. З развіццём чалавечага грамадства, з узінкненнем земляробства з'явілася патрэба ў лічэнні часу, стварэнні календара. Заўважаныя заканамернасці ў руху нябесных свяцілаў, у змяненні выгляду Месяца дазволілі старажытнаму чалавеку знайсці і вызначыць адзінкі вымярэння часу (суткі, месяц, год) і стварыць каляндар, згодна з якім праходзіла культурнае і гаспадарчае жыццё грамадства. Так, у Старожытным Егіпце па з'яўленні на перадранішнім небе самай яркай зоркі Сірыус жрацы прадказвалі перыяды веснавых разліваў Ніла, якія вызначалі тэрміны земляробчых работ (рыс. 1). У Аравії, дзе з-за дзённай спякоты многія работы пераносіліся на начны час, істотную ролю адыгрывала назіранне за фазамі Месяца.

У краінах з развітым мараходствам, у асаблівасці да вынаходства компаса, найбольшая ўвага надавалася спосабам арыентавання па зорках.

У самых ранніх пісьмовых дакументах (3—2-е тыс. да н. э.) найстараражытнейшых цывілізацый Егіпта, Вавілона, Кітая, Індыі і Амерыкі ёсць сляды астронамічнай дзейнасці. У розных месцах



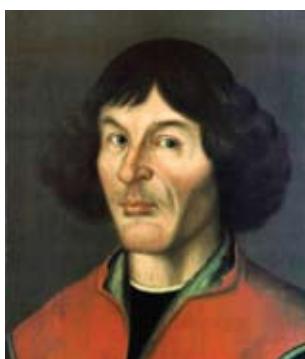
Рысунак 1 — Назіранне за перадранішнім усходам Сірыуса ў Старожытным гіпце



Рысунак 2 — Стоўнхендж — старажытная астронамічная назіральная пляцоўка

3. Раздзелы астраноміі. Як і любая іншая навука, астрономія ўключае шэраг раздзелаў, цесна звязаных паміж сабой. Яны адразніваюцца адзін ад аднаго прадметам даследавання, а таксама метадамі і сродкамі пазнання.

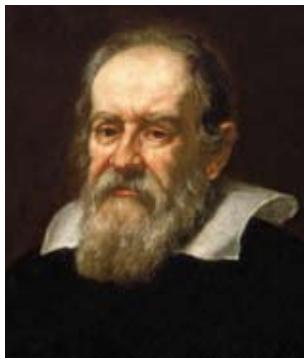
Разгледзім уznікненне і развіццё раздзелаў астрономіі ў гістарычным аспекте. Правільнае навуковае ўяўленне аб Зямлі як нябесным целе з'явілася ў Старажытнай Грэцыі. Александрыйскі астроном Эратасфен у 240 г. да н. э. даволі дакладна вызначыў памеры зямнога шара на аснове назіранняў за Сонцам. Развіццё гандлю і мараходства патрабавала распрацоўкі метадаў арыентацыі, вызначэння геаграфічнага становішча назіральніка, дакладнага вымярэння часу на аснове астронамічных назіранняў. Вырашэннем гэтых задач стала займацца **практычная астрономія**.



**Мікалай Капернік
(1473—1543)**

Зямлі знаходзяць збудаванні з каменных глыб і апрацаваных слупоў, арыентаваныя на астронамічна важныя кірункі. Гэтыя кірункі супадаюць, напрыклад, з пунктамі ўсходу Сонца ў дні раёнадзенства і сонцастаяння, што дазваляе лічыць іх старажытнымі астронамічнымі назіральными пляцоўкамі. Падобныя каменные сонечна-месячныя паказальнікі знайдзены ў Паўднёвой Англіі — Стоўнхендж (рыс. 2), у Расіі на Паўднёвым Урале — Аркаім — і іншых месцах.

Геліяцэнтрыйчнае сістэма свету Мікалая Каперніка, выкладзеная ў яго працы «Аб абарачэннях нябесных сфер» (1543), дала ключ да познання Сусвету. Аднак стагоддзямі ўсталяваны погляд аб нерухомасці Зямлі як цэнтра Сусвету доўга не саступаў месца новаму вучэнню. Канчаткова зацвердзіў тэорыю Каперніка італьянскі фізік, механік і астроном Галілео Галілей, які атрымаў бясспрэчныя доказы яе сапраўднасці. Астронамічныя адкрыцці Галілея былі зроблены з дапамогай найпрасцейшага тэлескопа. На Месяцы вучоны ўбачыў горы і кратары, адкрыў чатыры спадарожнікі Юпітэра.



Галілео Галілей
(1564—1642)



Яган Кеплер
(1571—1630)



Ісаак Ньютан
(1643—1727)

Выяўленая ім змена фаз Венеры сведчыла аб тым, што гэтая планета рухаецца вакол Сонца, а не вакол Зямлі.

Сучаснік Галілея Яган Кеплер (які быў асістэнтам вялікага астронома Ціха Браге) атрымаў доступ да высокіх па дакладнасці вынікаў назіранняў за планетамі, якія праводзіліся на працягу больш за 20 гадоў. Асаблівую ўвагу Кеплера прыцягнуў Марс, у руху якога назіраліся значныя адхіленні ад ранейшых тэорый. Пасля працяглых вылічэнняў вучонаму ўдалося вынайсці тры законы руху планет, якія адыгралі важную ролю ў развіцці ўяўленняў аб будове Сонечнай сістэмы. Раздзел астрономіі, які вывучае рух нябесных цел, атрымаў назvu **нябеснай механікі**. Нябесная механіка дазволіла растлумачыць і папярэдне вылічыць з надзвычай высокай дакладнасцю амаль усе рухі, што назіраюцца як у Сонечнай сістэме, так і ў Галактыцы.

У астронамічных назіраннях выкарыстоўваліся ўсё больш дасканалыя тэлескопы. Падзорная труба Галілея была ўдасканалена Кеплерам, а пазней Крысціянам Гюйгенсам. Ісаак Ньютан вынайшаў новы від тэлескопа — тэлескоп-рэфлектар. З дапамогай мадэрнізаваных аптычных прылад былі зроблены новыя адкрыцці, прычым у дачыненні не толькі цел Сонечнай сістэмы, але і свету слабых і далёкіх зорак. У 1655 г. Гюйгенс разгледзеў кольцы Сатурна і адкрыў яго спадарожнік Тытан. У 1761 г. М. В. Ламаносаў адкрыў атмасферу ў Венеры і правёў даследаванне камет. Примаючы за этalon Зямлю, вучоныя параўноўвалі яе з іншымі планетамі і спадарожнікамі. Так нараджалася **параўнальная планеталогія**.



**Міхail Васільевіч
Ламаносаў**
(1711—1765)

Значныя магчымасці (што ўсё больш павялічваліся) даследавання фізічнай прыроды і хімічнага саставу зорак з'явіліся пасля адкрыцця спектральнага аналізу (1859—1862). Дэталёвыя даследаванні цёмных ліній у спектры Сонца, выкананыя нямецкім вучоным Ёзефам Фраўнгоферам, сталі першым крокам у атрыманні спектральнай інфармацыі аб нябесных цэлах.

Хуткае развіццё лабаратарнай спектраскаўпі і тэорыі спектраў атамаў і іонаў на аснове

квантавай механікі прывяло да ўзнікнення фізікі зорак і ў першую чаргу фізікі зорных атмасфер.

У 60-я гг. XIX ст. спектральны аналіз стаў

асноўным метадам даследаванняў фізічнай прыроды нябесных цел. Раздзел астрономіі, які вы-

вучае фізічныя з'явы і хімічныя працэсы, што адбываюцца ў нябесных

цэлах, іх сістэмах і ў касмічнай прасторы, называецца **астрофізікай**.

Далейшае развіццё астрономіі звязана з удасканаленнем тэхнікі назіранняў. Значныя поспехі дасягнуты ў стварэнні новых тыпаў прыёмнікаў выпраменьвання. Фотаэлектронныя памнажальнікі, электронна-аптычныя пераўтваральнікі, ПЗС-матрыцы (прыборы з зараднай сувяззю) павялічылі дакладнасць і адчувальнасць фотаметрычных назіранняў і яшчэ больш пашырылі спектральны дыяпазон рэгіструемых выпраменьванняў. Стаў даступным для назіранняў свет далёкіх галактык, што знаходзяцца на адлегласці мільярдаў светлавых гадоў. Узніклі новыя напрамкі астрономіі: зорная астрономія, касмалогія і касмагонія.

Часам зараджэння зорнай астрономіі прынята лічыць 1837—1839 гг., калі незалежна ў Расіi, Германіі і Англіi былі атрыманы першыя вынікі ў вызначэнні адлегласцей да зорак. Зорная астрономія вывучае заканамернасці ў прасторавым размеркаванні і руху зорак у нашай зорнай сістэме — Галактыцы, даследуе ўласцівасці і размеркаванне іншых зорных сістэм.

Касмалогія — раздзел астрономіі, які вывучае паходжанне, будову і эвалюцыю Сусвету як адзінага цэлага. Вывады касмалогіі грунтуюцца на законах фізікі і даных назіральнай астрономіі, а таксама на ўсёй сістэме ведаў пэўнай эпохі. Інтэнсіўна гэты раздзел астрономіі стаў

развіацца ў першай палавіне XX ст. пасля распрацоўкі агульной тэорыі адноснасці Альбертам Эйнштэйнам.

Касмагонія — раздзел астрономіі, які вывучае паходжанне і развіццё нябесных цел і іх сістэм. Паколькі ўсе нябесныя целы ўзнікаюць і развіваюцца, ідэі аб іх эвалюцыі цесна звязаны з уяўленнямі аб прыродзе гэтых цел увогуле. Пры даследаванні зорак і галактык выкарыстоўваюцца вынікі назіранняў многіх падобных аб'ектаў, якія ўзнікаюць у розны час і знаходзяцца на розных стадыях развіцця. У сучаснай касмагоніі шырока выкарыстоўваюцца законы фізікі і хіміі.

Касмаганічныя гіпотэзы XVIII—XIX стст. тычыліся галоўным чынам паходжання Сонечнай сістэмы. Пазней развіццё фізікі і астрафізікі дазволіла распачаць сур'ёзнае вывучэнне паходжання і развіцця зорак. У 60-я гг. XX ст. пачалося даследаванне паходжання і развіцця галактык, прырода якіх была высветлена толькі ў 20-я гг. XX ст.

4. Астронамічныя назіранні. Асноўным спосабам даследавання нябесных аб'ектаў і з'яў служаць астронамічныя назіранні. **Астронамічныя назіранні** — гэта мэтанакіраваная і актыўная рэгістрацыя інфармацыі аб працэсах і з'явах, што адбываюцца ў Сусвеце. Такія назіранні з'яўляюцца асноўнай крыніцай ведаў на эмпірычным узроўні.

На працягу тысячагоддзяў астрономы вывучалі становішча нябесных аб'ектаў на зорным небе і іх узаемнае перамяшчэнне з цягам часу. Да-кладныя вымярэнні становішчаў зорак, планет і іншых нябесных цел даюць матэрыял для вызначэння адлегласцей да іх і іх памераў, а таксама для вывучэння законаў іх руху. Вынікамі вугламерных вымярэнняў карыстаюцца ў практичнай астрономіі, нябеснай механіцы, зорнай астрономіі.

Для правядзення астронамічных назіранняў і іх апрацоўкі ў многіх краінах створаны спецыяльныя навукова-даследчыя ўстановы — **астронамічныя абсерваторыі**.

Для выканання астронамічных назіранняў і апрацоўкі атрыманых даных у сучасных абсерваторыях выкарыстоўваюць назіральныя інструменты (тэлескопы), святлопрыёмную і аналізавальную апаратуру, дапаможныя прылады для назіранняў, электронна-вылічальную тэхніку і інш. (рыс. 3).



Рысунак 3 — Самы вялікі аптычны тэлескоп у Расіі: Вялікі Тэлескоп Альт-Азімутальны (ВТА)



Рысунак 4 — 100-метровы радыётэлескоп абсерваторыі Грын Бэнк (ЗША)

прымачь радыёвыпраменьванне Сонца і далёкіх касмічных аб'ектаў. Так узнікла **радыёастрономія** — адна з галін астрофізікі. Укараненне радыёназірання ў астрономію (рыс. 4) узбагаціла яе мноствам выдатных адкрыццяў.

Новым імпульсам у развіцці астронамічных назіранняў стаў вывад касмічных апаратуў і выхад чалавека ў космас. Навуковыя прылады і тэлескопы, установленыя на касмічных апаратах, дазволілі даследаваць ультрафіялетавае, рэнтгенаўскае і гама-выпрамяненне Сонца, іншых зорак і галактык. Гэтыя назіранні па-за межамі зямной атмасфери, якая паглынае кароткахвалевое выпраменьванне, надзвычай пашырый аб'ём інфармацыі аб фізічнай прыродзе нябесных цел і іх сістэм.

5. Значэнне астрономіі. Ва ўсе часы астрономія аказвала значны ўплыў на практычную дзейнасць чалавека, аднак галоўным яе прызначэннем было і ёсьць фарміраванне навуковага светапогляду. Гэта можна прасачыць пры разгляданні развіцця асобных раздзелаў астрономіі.

Метады арыентавання, распрацаваныя практычнай астрономіяй, выкарыстоўваюцца ў мараходстве, авіяцыі і касманаўтыцы. Патрабаванні да дакладнасці вызначэння каардынат нябесных аб'ектаў (зорак, квазараў, пульсараў) значна ўзраслі ў сувязі з тым, што па іх арыентуюцца касмічныя аўтаматычныя апараты, скорасці якіх і адлегласці, што яны праходзяць, несувимерныя з зямнымі. У сувязі з асваеннем цел Сонечнай сістэмы ўзнякае неабходнасць састаўлення падрабязных карт Месяца, Марса, Венеры.

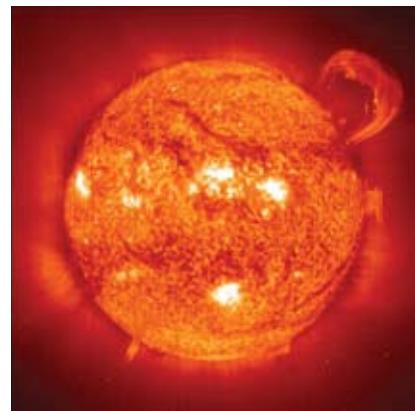
Работа службы часу таксама звязана з астрономіяй. У задачы гэтай службы ўваходзяць вызначэнне, захоўванне і передача сігналаў дакладнага часу, што не страціла актуальнасці і зараз. Атамны гадзіннік, дакладнасць ходу якога дасягае 10^{-13} с, дазваляе вывучаць гадавыя і ветравыя змены вярчэння Зямлі, а значыць, уносіць папраўкі ў адзінкі вымярэння часу.

Па меры асваення касмічнай прасторы павялічваецца колькасць задач, якія павінна вырашаць нябесная механіка. Адна з іх — вывучэнне адхіленняў арбіт штучных спадарожнікаў Зямлі (ШСЗ) ад разліковых. Змена вышыні палёту ШСЗ над зямной паверхній залежыць ад сярэдняй шчыльнасці парод, што залягаюць пад зямной паверхній, і тым самым паказвае на раёны пошуку нафты, газу ці жалезнай руды.

Даследаванне атмасферы цел Сонечнай сістэмы дапамагае пазнанию законаў дынамікі атмасферы Зямлі, больш дакладнай пабудове яе мадэлі і ў выніку — больш дакладнаму прадказанию надвор’я. Практычную цікавасць маюць для метэаролагаў, напрыклад, пытанні ўтварэння сярністых воблакаў на Венеры, якія выклікаюць «парніковы эффект», ці пытанні глабальных марсіянскіх пылавых бур, што ахалоджаюць паверхню гэтай планеты.

Развіццё астрафізікі стымулюе распрацоўку найноўшых тэхналогій. Так, даследаванне крыніц энергіі Сонца і іншых зорак падказала ідэю стварэння кіруемых тэрмаядзерных рэактараў. У працэсе вывучэння сонечных пратуберанцаў нарадзілася ідэя цеплапізалаціі звышгарачай плазмы магнітным полем, стварэння магнітагірадынамічных генератораў. Вынікі назіранняў Службы Сонца — міжнароднай каардынацыйнай сеткі па рэгістрацыі актыўнасці Сонца — выкарыстоўваюцца ў метэаралогіі, касманаўтыцы, медыцыне і іншых галінах чалавечай дзеянасці (рыс. 5).

Наша Зямля не ізаляваная ў прасторы, на яе ўздзейнічаюць часціцы і палі, якія ідуць ад Сонца і іншых зорак. Многія зоркі ў канцы сваёй эвалюцыі ўзырываюцца (так званыя звышновыя),



Рысунак 5 — Актыўнае Сонца. Фотаздымак зроблены спадарожнікам SOHO

вылучаючы надзвычай вялікую колькасць энергіі за некалькі секунд. Так, тыповая ўспышка звышновай зоркі на адлегласці 60 светлавых гадоў здольная зменшыць азонавы слой нашай планеты ў 20 разоў, што, у сваю чаргу, прывядзе да ўзрастання ў мільён разоў патоку ўльтрафіялетавага выпраменівання, якое дасягае Зямлі.

Зорная астрономія вывучае частату, прасторавае размеркаванне і тыпы зорак, якія вядуць да касмічных катастроф.

Зямля — гэта ўнікальная планета, на якой у працэсе эвалюцыі ўзнікла чалавечая цывілізацыя, і калі прырода Зямлі ўнікальная, то і велізарная адказнасць людзей за яе захаванне.



Галоўныя выводы

1. Астрономія — фундаментальная навука, якая вывучае фізічныя цэлы, з'явы і працэсы, што адбываюцца ў Сусвеце.
2. Астрономія складаецца з шэрага раздзелаў, напрыклад, нябесная механіка, параўнальная планеталогія, астраfізіка, касмалогія і інш.
3. Асноўны спосаб даследавання нябесных аб'ектаў — астронамічныя назіранні з дапамогай сучасных наземных і касмічных тэлескопаў.
4. Асноўнае прызначэнне астрономіі — фарміраванне навуковага светапогляду людзей.



Кантрольныя пытанні і заданні

1. Што вывучае астрономія? Пералічыце найважнейшыя асаблівасці астрономіі.
2. Як узнікла навука астрономія? Ахарактарызуіце асноўныя перыяды яе развіцця.
3. Якія аб'екты і іх сістэмы вывучае астрономія? Пералічыце іх у парадку павелічэння памераў.
4. З якіх раздзелаў складаецца астрономія? Коратка ахарактарызуіце кожны з іх.
5. Што такое тэлескоп і для чаго ён прызначаны? Якое значэнне астрономіі для практычнай дзейнасці чалавецтва?

Раздел II

АСНОВЫ ПРАКТИЧНАЙ АСТРАНОМІІ

§ 2. Зорнае неба

1. Сузор’і і яркія зоркі. На небе ў бязвоблачную ноч ззяюць мірыяды зорак і, здаецца, немагчыма разабрацца ў гэтай велічнай зорнай карціне. Успамінаюцца натхнёныя радкі рускага вучонага і паэта М. В. Ламаносава:

*Раскрылась бездань зорак поўна,
Не бачна дна ў бяздонні зорным.*

Старожытныя назіральнікі бачылі на зорным небе асобныя спалучэнні яркіх зорак і ў думках аб’ядноўвалі іх у розныя фігуры. Каб было лягчэй арыентавацца на зорным небе, групам зорак, ці сузор’ям, людзі давалі назвы жывёл, птушак, розных предметаў. У некаторых фігурах старожытнагрэчаскія астрономы «бачылі» міфічных герояў. У працы «Альмагест» («Вялікая матэматычная пабудова астрономіі ў XIII кнігах», II ст. н. э.) старожытнагрэческія астрономы Клаўдзій Пталамей называе 48 сузор’яў. Гэта Вялікая Мядзведзіца і Малая Мядзведзіца, Дракон, Лебедзь, Арол, Цялец, Шалі і інш.

У многіх народаў найбольш прыкметныя сузор’і маюць свае назвы. Так, старожытным славянам Вялікая Мядзведзіца ўяўлялася ў выглядзе Лася ці Аленя. Часта коўш Вялікай Мядзведзіцы парашуноўвалі з павозкай, адсюль і назвы гэтага сузор’я: Воз, Калёсы ці Калясніца.

Яшчэ ў III ст. да н. э. старожытнагрэчаскія астрономы звязлі назвы сузор’яў у адзіную сістэму, звязаную з грэчаскай міфалогіяй. Гэтыя назвы пазней запазычыла ёўрапейская навука. Таму ўсе сузор’і, у якіх

ёсць яркія зоркі і якія бачныя ў сярэдніх шыротах Паўночнага паўшар'я Зямлі, атрымалі імёны герояў старажытнагрэчаскіх міфаў і легенд (напрыклад, сузор'і Цэфея, Андрамеды, Пегаса, Персея). Іх відарысы можна знайсці на старадаўніх зорных картах: Вялікая Мядзведзіца і Малая Мядзведзіца, зорны паляўнічы Арыён, галава зорнага быка — Цяльца і інш. (рыс. 6). А, напрыклад, сузор'е Касіяпей, названае ў гонар міфічнай царыцы (рыс. 7), беларусам уяўлялася ў выглядзе двух касцю, якія косяць траву (рыс. 8). На сучасных астронамічных картах няма рысункаў міфічных вобразаў сузор'яў, аднак захаваны іх старадаўнія назвы. Менш яркія сузор'і былі названы еўрапейскімі астрономамі ў XVI—XVIII стст. Усе сузор'і Паўднёвага паўшар'я (нябачныя ў Еўропе) атрымалі назвы ў эпоху Вялікіх геаграфічных адкрыццяў, калі еўрапейцы пачалі асвойваць Новы Свет.

Аднак з цягам часу склалася няпростая сітуацыя — у розных краінах карысталіся рознымі картамі сузор'яў. Узнікла неабходнасць уніфікаўваць раздзяленне зорнага неба.

Канчатковая колькасць і межы сузор'яў былі вызначаны на I з'ездзе Міжнароднага астронамічнага саюза ў 1922 і 1928 гг. Уся сферычная паверхня зорнага неба была ўмоўна падзелена на 88 сузор'яў.

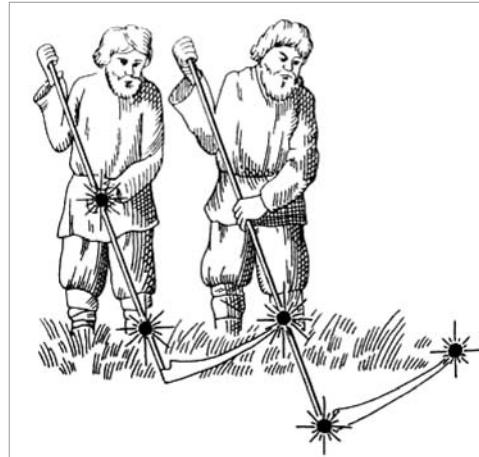


Рысунак 6 — Фрагмент атласа А. Цэларыуса з выявай сузор'яў

Правообладатель Адукацыя і выхаванне



Рысунак 7 — Сузор’е Касіяпей.
Гравюра з атласа Ген Гевелія

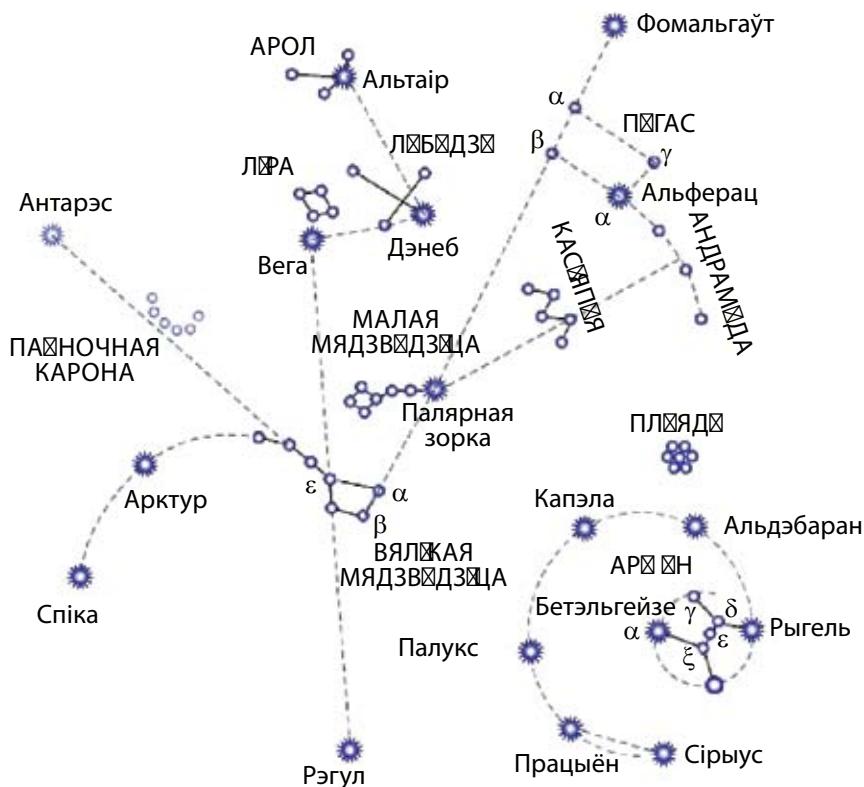


Рысунак 8 — Сузор’е Касіяпей
ва ўяўленні беларусаў

У наш час пад сузор’ем разумеюць участак зорнага неба з характернай групоўкай зорак. Гэтыя пляцоўкі-сузор’і носяць назвы або старажытнагрэческіх сузор’яў, якія знаходзіліся (ці знаходзяцца) у сучасных межах, або якія далі ім еўрапейскія астрономы. Для аблягчэння запамінання і пошуку сузор’яў у падручніках астрономіі і астронамічных атласах яркія зоркі, з якіх складаюцца сузор’і, злучаны ўмоўнымі лініямі ў фігуры, якія пазнаюцца на небе. Сузор’і, зоркі якіх утвараюць канфігурацыю, што лёгка вылучаецца на зорным небе, ці тыя, што маюць яркія зоркі, адносяцца да галоўных сузор’яў (рыс. 9).

Над гарызонтам на ясным зорным небе простым вокам можна ўбачыць каля 3000 зорак. Яны адрозніваюцца па сваім бляску: адны прыкметныя адразу, іншыя ледзь распазнавальныя. Таму яшчэ ў II ст. да н. э. Гіпарх, адзін з заснавальнікаў астрономіі, увёў умоўную **шкалу зорных величынь**. Самыя яркія зоркі аднесены да 1-й величыні, наступныя па бляску (слабейшыя па яркасці прыкладна ў 2,5 раза) лічацца зоркамі 2-й зорнай величыні, а самыя слабыя, якія можна ўбачыць толькі ў бязмесячную ноч, — зоркамі 6-й величыні.

Многім яркім зоркам старажытнагрэческія і арабскія астрономы далі назвы: Вега, Сірыс, Капэла, Алтыаір, Рыгель, Альдэбаран і інш. Пазней яркія зоркі ў сузор’ях сталі позначаць літарамі грэческага алфавіта, як правіла, у парадку змяншэння іх бляску. З 1603 г. дзеянічае пропанаваная



Рысунак 9 — Схема ўзаемнага размешчэння галоўных сузор’яў і яркіх зорак, бачных у сярэдніх географічных шыротах

нямецкім астрономам Іаганам Баерам сістэма абазначэння зорак. У сістэме Баера назва зоркі складаецца з дзвюх частак: з назвы сузор’я, якому належыць зорка, і літары грэчаскага алфавіта. Пры гэтым першая літара грэчаскага алфавіта α адпавядае самай яркай зорцы ў сузор’і, β — другой па яркасці зорцы і т. д. Напрыклад, Рэгул — α Ільва — гэта самая яркая зорка ў сузор’і Льва, Дэнебола — β Ільва — другая па бліскучасці зорка ў гэтым сузор’і.

З развіццём навукі і ўсімі звязкамі з вынаходствам тэлескопаў колькасць даследаваных зорак усё павялічвалася. Для іх абазначэння ўжо не хапала літар грэчаскага алфавіта. Тады зоркі сталі пазначаць лацінскімі літарамі. Калі скончыліся і яны, зоркі сталі абазначаць лічбамі (напрыклад, 61 Лебедзя).

2. Бачны сутачны рух зорак. Пры на-
зіранні за зорным небам на працягу адной-
дзвюх гадзін мы пераконваемся ў тым,
што яно паварочваецца як адно цэлае так,
што з аднаго боку зоркі падымаюцца, а з
другога — апускаюцца. Для нас, жыхароў
Паўночнага паўшар’я, зоркі падымаюц-
ца з усходняга боку і зрушваюцца ўправа.
Далей яны дасягаюць найвышэйшага мес-
ца знаходжання ў паўднёвой частцы неба,
пасля чаго апускаюцца ў заходнюю частцы
гарызонту. На працягу сутак зорнае неба
з усімі свяціламі, што знаходзяцца на ім,
здзяйсняе адзін абарат. Такім чынам, *бач-
нае сутачнае вярчэнне зорнага неба адбы-
ваецца з усходу на захад, калі стаяць тва-
рам на поўдзень*, г. зн. па гадзіннікамай
стрэлцы.

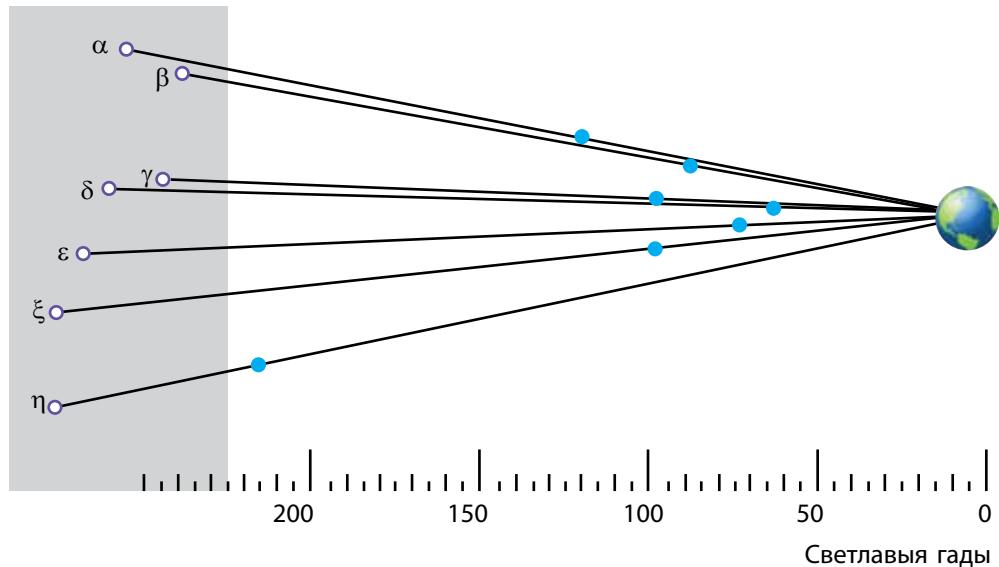
У паўночнай частцы неба можна адшукаць Палярную зорку. Здаецца, што ёсё неба паварочваецца вакол яе (рыс. 10). На самай жа спра-
ве вакол сваёй восі паварочваецца Зямля з захаду на ўсход, а ўесь небасхіл паварочваецца ў адваротным кірунку — з усходу на захад. Па-
лярная зорка для дадзенай мясцовасці застаецца амаль нерухомай і на
адной і той жа вышыні над гарызонтам. Відавочна, што **сутачны рух зорак** (свяцілаў) — бачная ўяўная з’ява вярчэння нябеснага купала —
аддюстроўвае сапраўдане вярчэнне зямнога шара вакол сваёй восі.

3. Асноўныя пункты і лініі нябеснай сферы. Нам здаецца, што ёсе зоркі размешчаны на некаторай сферычнай паверхні неба і адолькава адда-
леныя ад назіральніка. На самай справе яны знаходзяцца ад нас на роз-
ных адлегласцях. Таму ўяўную паверхню небасхіла сталі называць ня-
беснай сферай.

Нябесная сфера — гэта ўяўная сфера адвольнага радыуса, цэнтр якой у залежнасці ад задачы, што вырашаецца, сумяшчаецца з тым ці іншым пунктам прасторы. Цэнтр нябеснай сферы можа быць выбраны ў месцы назірання (вока назіральніка), у цэнтры Зямлі ці Сонца і г. д. Паняццем нябеснай сферы карыстаюцца для вуглавых вымярэнняў, для вывучэння ўзаемнага размяшчэння і руху касмічных аб'ектаў на небе.



Рысунак 10 — Сутачныя дугі
свяцілаў у палярнай
вобласці неба



Рысунак 11 — Схема праектавання зорак у сузор’і Вялікай Мядзведзіцы на нябеснай сферы

На паверхню нябеснай сферы праецьцу юцца бачныя месцазнаходжанні ўсіх свяцілаў, а для зручнасці вымярэнняў на ёй будуюць шэраг пунктаў і ліній. Напрыклад, некаторыя з зорак каўша Вялікай Мядзведзіцы знаходзяцца далёка ад адной, але для зямнога назіральніка яны праецьцу юцца на адзін і той жа ўчастак нябеснай сферы (рыс. 11).

Прамая, якая праходзіць праз цэнтр нябеснай сферы (рыс. 12) і супадае з напрамкам ніткі адвеса ў месцы назірання, называецца **адвеснай** або **вертыкальной лініяй**. Яна перасякае нябесную сферу ў пунктах **зеніту** (верхні пункт перасячэння адвеснай лініі з нябеснай сферай) і **надзіра** (пункт нябеснай сферы, процілеглы зеніту). Плоскасць, якая праходзіць праз цэнтр нябеснай сферы і перпендыкулярная да адвеснай лініі, называецца **плоскасцю сапраўднага гарызонту**.

Вялікі круг нябеснай сферы, які праходзіць праз зеніт свяціла і надзір, называецца **кругам вышыні, вертыкальным кругам** або **проста вертыкалам свяціла**.

Вось свету — прамая, якая праходзіць праз цэнтр нябеснай сферы паралельна восі вярчэння Зямлі і перасякае нябесную сферу ў двух дыяметральна процілеглых пунктах.

Пункт перасячэння восі свету з нябеснай сферай, паблізу ад якога знаходзіцца Палярная зорка, называецца **Паўночным полюсам свету**, процілеглы пункт — **Паўднёвым полюсам свету**. Палярная зорка знаходзіцца ад Паўночнага полюса свету на вуглавой адлегласці каля 1° (дакладней $44'$).

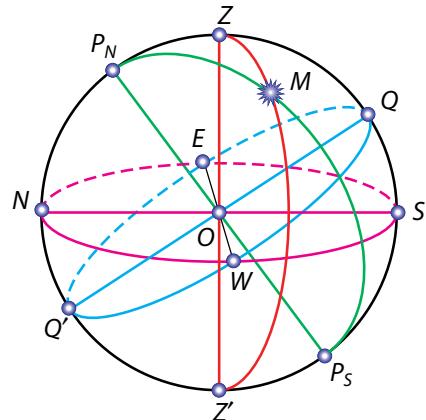
Вялікі круг, які праходзіць праз цэнтр нябеснай сферы і перпендыкулярны да восі свету, называюць **нябесным экватаром**. Ён падзяляе нябесную сферу на дзве часткі: **Паўночнае паўшар’е** з вяршынай у Паўночным полюсе свету і **Паўднёвае** — з вяршынай у Паўднёвым полюсе свету.

Круг схілення свяціла — вялікі круг нябеснай сферы, які праходзіць праз полюсы свету і свяціла.

Сутачная паралель — малы круг нябеснай сферы, плоскасць якога перпендыкулярная да восі свету.

Вялікі круг нябеснай сферы, які праходзіць праз пункты зеніту, надзіра і полюсы свету, называецца **нябесным мерыдыянам**. Нябесны мерыдыян перасякаеца з сапраўдным гарызонтом у двух дыяметральна процілеглых пунктах. Пункт перасячэння сапраўднага гарызонту і нябеснага мерыдыяна, найбліжэйшы да Паўночнага полюса свету, называецца **пунктам поўначы**. Пункт перасячэння сапраўднага гарызонту і нябеснага мерыдыяна, найбліжэйшы да Паўднёвага полюса свету, называецца **пунктам поўдня**. Лінія, што злучае пункты поўначы і поўдня, называецца **паўдзённай лініяй**. Яна ляжыць на плоскасці сапраўднага гарызонту. Уздоўж паўдзённай лініі падаюць цені ад прадметаў у поўдзень.

З нябесным экватаром сапраўдны гарызонт таксама перасякаеца ў двух дыяметральна процілеглых пунктах — **пункце ўсходу** і **пункце заходу**. Для назіральніка, які стаіць у цэнтры нябеснай сферы тварам да



Рысунак 12 — Нябесная сфера:

— цэнтр нябесной сферы

(месцазнаходжанне назіральніка);

P_N — Паўночны полюс свету;

S — Паўднёвы полюс свету;

$N P_S$ — вось свету; Z — зеніт;

Z' — надзір; E — усход;

W — заход; N — поўнач;

S — поўдзень; Q — верхні пункт нябеснага экватара; Q' — ніжні

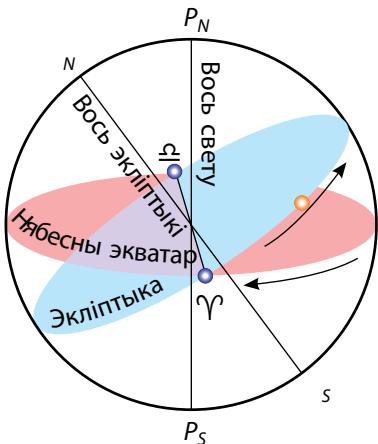
пункт нябеснага экватара;

ZZ' — вертыкальная лінія;

$P_N P_S$ — круг схілення;

NS — паўдзённая лінія;

M — свяціла на нябеснай сферы



Рысунак 13 — Экліптыка

пункта поўначы, пункт усходу будзе з пра-
вага боку, а пункт заходу — з левага боку.
Калі памятаць гэтае правіла, будзе лёгка
арыентавацца на мясцовасці.

Бачны гадавы шлях Сонца сярод зорак называецца **экліптыкай**. У плоскасці экліптыкі ляжыць шлях Зямлі вакол Сонца, г. зн. яе арбіта. Яна нахілена да нябеснага экватара пад вуглом $23^{\circ} 27'$ і перасякае яго ў пунктах вясенняга (γ , каля 21 сакавіка) і асенняга (Ω , каля 23 верасня) раўнадзенства (рыс. 13).

! Галоўныя выводы

1. Сузор'е — участак неба з характэрнай назіраемай групоўкай зорак і іншых астронамічных аб'ектаў, што пастаянна знаходзяцца ў ім, вылучаны для зручнасці арыентавання і назірання за зоркамі.
2. Шкала зорных велічынь, прапанаваная Гіпархам, дазваляе адразніваць зоркі па іх бліску.
3. Сутачны рух зорак, што назіраецца, з'яўляецца адлюстраваннем сапраўднага вярчэння Зямлі вакол сваёй восі.
4. Нябесная сфера — уяўная сфера адвольнага радыуса з цэнтрам у выбраным пункце прасторы.
5. Бачны гадавы шлях Сонца сярод зорак называецца экліптыкай.



Кантрольныя пытанні і заданні

1. Што разумеюць пад сузор'ем?
2. Як сузор'і атрымалі свае назвы? Прывядзіце прыклады назваў сузор'яў.
3. Па якім прынцыпе будуецца шкала зорных велічынь Гіпарха? Што разумеюць пад зорнай велічынёй?
4. У чым сутнасць сістэмы класіфікацыі зорак паводле Баера?
5. Апішыце бачны сутачны рух зорак. Па якой прычыне адбываецца з'ява сутачнага руху зорак, якую мы назіраем?
6. Што разумеюць пад нябеснай сферай? Дайце вызначэнні асноўным пунктам, лініям і плоскасцям нябеснай сферы.

§ 3. Нябесныя каардынаты

1. Сістэмы каардынат. Становішча свяцілаў вызначаецца адносна пунктаў і кругоў нябеснай сферы (гл. рис. 12). Для гэтага ўведзены нябесныя каардынаты, падобныя да геаграфічных каардынат на паверхні Зямлі.

У астрономіі карыстаюцца некалькімі сістэмамі каардынат. Яны адразніваюцца ад адной толькі тым, што будуюцца адносна розных кругоў нябеснай сферы. Нябесныя каардынаты адлічваюцца дугамі вялікіх кругоў або цэнтральнымі вугламі, якія ахопліваюцца гэтымі дугамі.

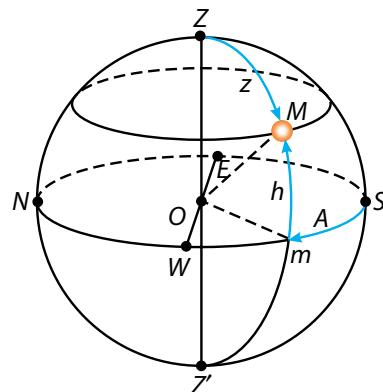
Нябесныя каардынаты — цэнтральныя вуглы або дугі вялікіх кругоў нябеснай сферы, з дапамогай якіх вызначаюць становішча свяцілаў адносна асноўных кругоў і пунктаў нябеснай сферы.

Гарызантальная сістэма каардынат. Пры астронамічных назіраннях зручна вызначаць становішча свяціла адносна гарызонту. Гарызантальная сістэма каардынат выкарыстоўвае ў якасці асноўнага круга сапраўдны гарызонт. У гэтай сістэме каардынатамі з'яўляюцца **вышыня** (h) і **азімут** (A).

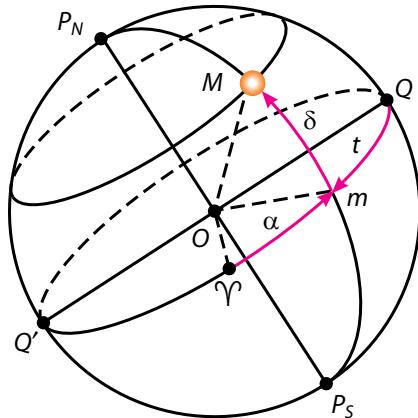
Вышыня свяціла — вуглавая адлегласць свяціла M ад сапраўднага гарызонту, вымераная ўздоўж вертыкальнага круга (рис. 14). Вышыня вызначаецца ў градусах, мінатах і секундах. Яна адлічваецца ў межах ад 0 да $+90^\circ$ да зеніту, калі свяціла знаходзіцца ў бачнай частцы нябеснай сферы, і ад 0 да -90° да надзіра, калі свяціла знаходзіцца пад гарызонтам.

Для вымярэння азімутаў за пачатак адліку прымаецца пункт поўдня. **Азімут свяціла** — вуглавая адлегласць, вымераная ўздоўж сапраўднага гарызонту, ад пункта поўдня да пункта перасячэння гарызонту з вертыкальным кругам, які праходзіць праз свяціла M (гл. рис. 14). Азімут адлічваецца ў напрамку на захад ад пункта поўдня ў межах ад 0 да 360° .

Гарызантальная сістэма каардынат выкарыстоўваецца пры тапаграфічнай здымцы, у навігацыі. З-за сутачнага вярчэння нябеснай сферы вышыня і азімут свяціла



Рысунак 14 — Гарызантальная сістэма каардынат:
 h — **вышыня свяціла**
 над гарызонтом; Z — **зенітная адлегласць**; A — **азімут**



Рысунак 15 — Экватарыяльная сістэма нябесных каардынат:
 δ — схіленне свяціла ;
 α — прамое ўзыходжанне;
 t — гадзінны вугал

ца экватарыяльной сістэмай каардынатамі з'яўляюцца схіленне (δ) і прамое ўзыходжанне (α).

Схіленне свяціла — вуглавая адлегласць свяціла M ад нябеснага экватара, вымераная ўздоўж круга схілення. Схіленне адлічваецца ў межах ад 0 да $+90^\circ$ да Паўночнага полюса свету і ад 0 да -90° да Паўднёвага полюса свету.

За пачатковы пункт адліку на нябесным экватары прымаецца пункт вясенняга раўнадзенства Υ , дзе Сонца бывае каля 21 сакавіка.

Прамое ўзыходжанне свяціла — вуглавая адлегласць, вымераная ўздоўж нябеснага экватара, ад пункта вясенняга раўнадзенства да пункта перасячэння нябеснага экватара з кругам схілення свяціла. Прамое ўзыходжанне адлічваецца ў бок, процілеглы сутачнаму вярчэнню нябеснай сферы, у межах ад 0 да 360° у градуснай меры ці ад 0 да 24 г у гадзіннай меры.

Для некаторых астронамічных задач (звязаных з вымярэннем часу) замест прамога ўзыходжання (α) уводзіцца гадзінны вугал (t) (гл. рыс. 15).

Гадзінны вугал — вуглавая адлегласць, вымераная ўздоўж нябеснага экватара, ад верхняга пункта нябеснага экватара да круга схілення свяціла. Адлічваецца гадзінны вугал па напрамку бачнага сутачнага вярчэння нябеснай сферы, г. зн. у бок заходу, у межах ад 0 да 24 г у гадзіннай меры.

з цягам часу змяняюцца. Такім чынам, гарызантальныя каардынаты маюць пэўнае значэнне толькі для зададзенага моманту часу.

Вуглавая адлегласць ад зеніту да свяціла, вымераная ўздоўж вертыкальнага круга, называецца **зенітнай адлегласцю** (z). Яна адлічваецца ў межах ад 0 да $+180^\circ$ да надзіра. Вышыня і зенітная адлегласць звязаны суадносінамі: $z + h = 90^\circ$.

Экватарыяльная сістэма каардынат. Для складання зорных карт і зорных каталогаў за асноўны круг нябеснай сферы больш зручна прыняць круг нябеснага экватара (рыс. 15). Нябесныя каардынаты, у сістэме якіх асноўным кругам з'яўляецца нябесны экватар, называюцца

экватарыяльной сістэмай каардынатамі з'яўляюцца схіленне (δ) і прамое ўзыходжанне (α).

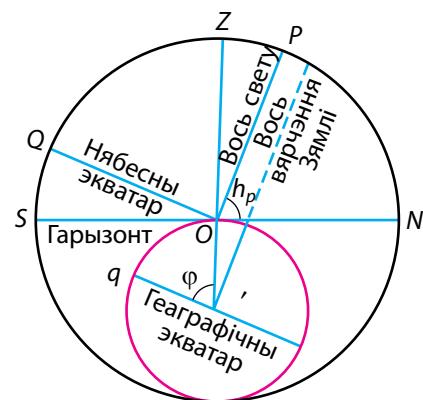
Каардынаты зорак (α, δ) у экватарыяльной сістэме каардынат не звязаныя з сутачным рухам нябеснай сферы і змяняюцца вельмі павольна. Таму яны выкарыстоўваюцца для складання зорных карт і каталогаў. **Зорныя карты** ўяўляюць сабой праекцыі нябеснай сферы на плоскасць з нанесенымі на яе аб'ектамі ў пэўнай сістэме каардынат. Набор зорных карт сумежных участкаў неба, якія пакрываюць усё неба ці толькі яго частку, называецца **зорным атласам**. У спецыяльных спісах зорак, якія называюцца **зорнымі каталогамі**, прыводзяцца каардынаты іх месца на нябеснай сферы, зорная велічыня і іншыя параметры. Напрыклад, каталог Hubble Guide Star Catalog (GSC) налічвае амаль 19 млн аб'ектаў.

2. Месячна-сонечная прэцэсія. Вось вярчэння Зямлі нахілена да плоскасці арбіты пад вуглом $66^{\circ}33'$. Пад уздзеяннем прыцяжэння Месяца і Сонца з-за неаднароднасці размеркавання плотнасці масы ўнутры Зямлі вось апісвае конус. Паколькі напрамак восі Зямлі мяняецца, перпендыкулярная ёй плоскасць экватара таксама будзе перамяшчацца, што вядзе да перамяшчэння пункта вясенняга раўнадзенства. Гэта з'ява называецца **месячна-сонечнай прэцэсіяй**. Пункт вясенняга раўнадзенства перамяшчаецца насустрach бачнаму гадавому руху Сонца на $50,3''$ у год або на 1° у 71,6 года, робячы поўны абарот па экліптыцы за 25 770 гадоў. Полюсы свету таксама перамяшчаюцца сярод зорак. У цяперашні час Паўночны полюс свету знаходзіцца каля Палярнай зоркі, а праз 10 тыс. гадоў ён перасунецца да вегі (α Ліры).

3. Вышыня полюса свету над гарызон-

там. Мы ўжо ведаем, што Палярная зорка, якая знаходзіцца каля Паўночнага полюса свету, застаецца амаль на адной вышыні над гарызонтам на дадзенай шыраце пры сутачным вярчэнні зорнага неба. Пры перамяшчэні назіральніка з поўначы на поўдзень, дзе геаграфічная шырота меншая, Палярная зорка апускаецца да гарызонту, г. зн. існуе залежнасць паміж вышынёй полюса свету і геаграфічнай шыротай месца назірання.

На рымунку 16 зямны шар і нябесная сфера паказаны ў сячэнні плоскасцю нябеснага мерыдыяна месца назірання.



Рымунак 16 — Вышыня полюса свету над гарызонтам

Назіральник з пункта O бачыць полюс свету на вышыні $\angle NOP = h_P$. Па напрамку вось свету OP паралельная зямной восі. Вугал пры цэнтры Зямлі $\angle OO'q$ адпавядае геаграфічнай шыраце месца назірання ϕ . З-за таго што радыус Зямлі ў пункце назірання перпендыкулярны плоскасці сапраўднага гарызонту, а вось свету перпендыкулярная да плоскасці геаграфічнага экватара, $\angle NOP$ і $\angle OO'q$ роўныя паміж сабой як вуглы з узаемна перпендыкулярнымі старанамі. Такім чынам, *вуглавая вышыня полюса свету над гарызонтам роўная геаграфічнай шыраце месца назірання*:

$$h_P = \phi. \quad (1)$$

З іншага боку, з рысунка 16 вынікае, што $\angle QOZ$ вызначае сабой велічыню схілення зеніту δ_Z . Таму можна запісаць, што

$$\phi = \delta_Z, \text{ або } \phi = h_P = \delta_Z. \quad (2)$$

Роўнасць (2) характарызуе залежнасць паміж геаграфічнай шыратой месца назірання і адпаведнымі гарызантальнай і экватарыяльнай каардынатамі свяціла.

Пры перамяшчэнні назіральніка ў напрамку да Паўночнага полюса Зямлі паўночны полюс свету падымаецца над гарызонтам. На полюсе Зямлі полюс свету будзе знаходзіцца ў зеніце. Зоркі тут рухаюцца па кругах, паралельных гарызонту, якія супадае з нябесным экватаром. Нябесны мерыдыян становіцца нявызначаным, страчваюць сэнс пункты поўначы, поўдня, усходу і заходу.

На сярэдніх геаграфічных шыротах вось свету і нябесны экватар нахілены да гарызонту, сутачныя шляхі зорак таксама нахілены да гарызонту. Таму назіраюцца **ўзыходзячыя і заходзячыя зоркі**.

Пад **усходам** разумеюць з'яву перасячэння свяцілам усходнай часткі гарызонту, а пад **захадам** — заходнай часткі гарызонту. У сярэдніх шыротах, напрыклад на тэрыторыі Рэспублікі Беларусь, назіраюцца зоркі паўночных каляпалалярных сузор'яў, якія ніколі не апускаюцца пад гарызонт. Яны называюцца **незаходзячымі**. Зоркі, размешчаныя каля Паўднёвага полюса свету, у нас ніколі не ӯзыходзяць. Іх называюць **неўзыходзячымі**.

На экватары Зямлі вось свету супадае з паўдзённай лініяй, а полюсы свету — з пунктамі поўначы і поўдня. Нябесны экватар праходзіць праз пункты ӯсходу, заходу і пункты зеніту і надзіра. Сутачныя шляхі

ўсіх зорак перпендыкулярныя да гарызонту, і кожная з іх палову сутак знаходзіцца над гарызонтам.



Галоўныя выводы

- Для вызначэння становішча нябесных цел на нябеснай сферы карыстаюцца сістэмамі каардынат, аналагічнымі геаграфічным. На нябеснай сферы магчымы толькі вуглавыя вымярэнні.
- Вуглавая вышыня полюса свету над гарызонтам роўная геаграфічнай шыраце месца назірання.
- Усход і заход свяціла — з'явы перасячэння свяцілам гарызонту.
- Зорныя карты — праекцыі нябеснай сферы на плоскасць з нанесенымі на яе аб'ектамі ў пэўнай сістэме каардынат. Набор такіх карт — зорны атлас.



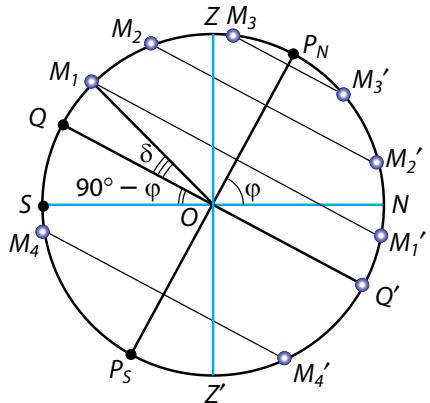
Кантрольныя пытанні і заданні

- Якія сістэмы нябесных каардынат вам вядомы? У чым прынцыповае адрозненне паміж рознымі сістэмамі нябесных каардынат?
- Дайце апісанне гарызантальнай і экватарыяльнай сістэм каардынат. Якія каардынаты выкарыстоўваюцца ў гэтых сістэмах?
- Чаму ў астрономіі карыстаюцца рознымі сістэмамі каардынат?
- Як вызначыць вышыню полюса свету над гарызонтом у вашым населеным пункце?
- Якія зоркі называюць узыходзячымі, заходзячымі, неўзыходзячымі і незаходзячымі?
- Вызначыце схіленні зорак, даступных для назірання на шыраце вашага населенага пункта.

§ 4. Вызначэнне геаграфічнай шыраты

1. Кульмінацыя свяціла. Пры сваім сутачным вярчэнні вакол восі свету свяцілы двойчы за суткі перасякаюць нябесны мерыдыян. З'ява прадходжання свяцілам нябеснага мерыдыяна называецца **кульмінацыяй**.

Адрозніваюць верхнюю і ніжнюю кульмінацыі. У верхнай кульмінацыі свяціла пры сутачным руху знаходзіцца ў найвышэйшым пункце над гарызонтам, найбліжэйшым да зеніту. **Ніжняя кульмінацыя**



Рысунак 17 — Кульмінацыя свяцілаў

кульмінацыях. Для ўзыходзячых і заходзячых зорак ніжняя кульмінацыя (M_1') адбываецца пад гарызонтам. У неўзыходзячых зорак абедзве кульмінацыі M_4 і M_4' нябачныя, г. зн. адбываюцца пад гарызонтам.

Знойдзем вышыні зорак у верхній і ніжній кульмінацыях.

Паколькі кульмінацыя свяцілаў адбываецца пры перасячэнні нябеснага мерыдыяна, плоскасць рысунка 17 супадае з плоскасцю нябеснага мерыдыяна. Сутачныя шляхі зорак паказаны адрэзкамі, паралельнымі нябеснаму экватару QQ' . Няхай узыходзячая і заходзячая зорка знаходзіцца ў верхній кульмінацыі M_1 . Вышыня полюса свету роўная геаграфічнай шыраце ϕ . Як бачна з рысунка, $\angle SOQ$ роўны $90^\circ - \phi$ і ўяўляе сабой нахіл нябеснага экватара да плоскасці гарызонту. Дуга SM_1 (ці $\angle SOM_1$) — гэта вышыня свяціла над гарызонтам. Гэтая дуга складаецца з сум дзвюх дуг: $SM_1 = SQ + QM_1$. Дуга SQ роўная $90^\circ - \phi$, а дуга QM_1 вызначаецца велічынёй схілення зоркі δ . Атрымаем формулу для вызначэння вышыні зоркі ў яе верхній кульмінацыі:

$$h_B = (90^\circ - \phi) + \delta. \quad (1)$$

Для незаходзячай зоркі ніжняя кульмінацыя M_2' вымяраецца дугой NM_2' ці адпаведным цэнтральным вуглом ($\angle NOM_2'$). Гэты вугал, як бачна з рысунка, роўны рознасці δ — схілення свяціла і велічыні $(90^\circ - \phi)$ — схілення нябеснага экватара да плоскасці гарызонту. Значыць, вышыня зоркі ў ніжнай кульмінацыі роўная:

Правообладатель Адукацыя і выхаванне

адбываецца праз палову сутак пасля верхніяй кульмінацыі.

Пункт перасячэння сутачнай паралелі свяціла з усходняй часткай сапраўднага гарызонту называецца **пунктам усходу свяціла**, а пункт перасячэння з заходняй часткай сапраўднага гарыzonту — **пунктам заходу свяціла**.

Для Сонца і Месяца, якія маюць добра бачныя памеры, усходам (або заходам) лічыцца момант паяўлення (або знікнення) на гарызонце верхняга пункта края дыска.

Незаходзячыя зоркі (рыс. 17) бачныя ў верхній (M_2, M_3) і ніжній (M_2', M_3')

$$h_H = \delta - (90^\circ - \varphi). \quad (2)$$

Калі абедзве кульмінацыі незаходзячай зоркі знаходзяцца з аднаго боку ад зеніту (напрыклад, M_3 і M'_3), то яе верхняя кульмінацыя вызначаецца з суадносін: $h_B = 180^\circ - [(90^\circ - \varphi) + \delta]$, ці пасля спрашчэння:

$$h_B = 90^\circ + \varphi - \delta. \quad (3)$$

Суадносіны (1—3) звязваюць геаграфічную шырату з вышынёй і схіленнем зорак у час іх кульмінацыі. Адзначым, што на рисунку 17 азімуты зорак у верхняй кульмінацыі M_1 і M_2 роўныя 0° , а азімуты зорак у ніжняй кульмінацыі M'_1 і M'_2 роўныя 180° . Азімуты зоркі M_3 у верхняй і ніжняй кульмінацыях роўныя 180° .

2. Вызначэнне геаграфічнай шыраты па астронамічных назіраннях. Пры састаўленні геаграфічных і тапаграфічных карт, пракладванні дарог і магістралей, разведванні радовішчаў карысных выкапняў і ў шэрагу іншых выпадкаў неабходна ведаць геаграфічныя каардынаты мясцовасці. Гэтую задачу можна вырашыць з дапамогай астронамічных назіранняў. Разгледзім прасцейшыя спосабы.

Першы спосаб. Вызначыць геаграфічную шырату можна па Палярнай зорцы. Калі лічыць, што Палярная зорка паказвае Паўночны пояс свету, то набліжана вышыня Палярнай зоркі над гарызонтам дае нам геаграфічную шырату месца назірання. Калі вымераць вышыню Палярнай зоркі ў верхняй і ніжняй кульмінацыях, то атрымаем больш дакладнае значэнне шыраты месца назірання:

$$\varphi = \frac{h_B + h_H}{2}. \quad (4)$$

Гэту роўнасць атрымліваем з роўнасцей (2) і (3). Формула (4) прыдатная для ўсіх незаходзячых зорак, у якіх верхняя і ніжняя кульмінацыі знаходзяцца з аднаго боку ад зеніту.

Другі спосаб. Вызначыць геаграфічную шырату можна з назіранняў верхняй кульмінацыі зорак. З роўнасцей (1) і (3) атрымаем, што

$$\varphi = \delta \pm (90^\circ - h_B). \quad (5)$$

Знак «+» ставіцца, калі зорка кульмініруе на поўдзень ад зеніту, а знак «-» — пры кульмінацыі зоркі на поўнач ад зеніту.



Галоўныя вывады

1. Кульмінацыя — гэта з'ява праходжання свяціла праз нябесны мерыдыян.
2. Геаграфічную шырату па астронамічных назіраннях можна вызначыць па Паллярнай зорцы і з назіранняў за верхній кульмінацый зорак.



Кантрольныя пытанні і заданні

1. Што такое кульмінацыя свяціла?
2. Якія пункты называюцца пунктамі ўсходу і заходу свяцілаў?
3. Знайдзіце інтэрвал схіленняў зорак, якія на дадзенай шыраце: а) ніколі не ўзыходзяць; б) ніколі не заходзяць; в) могуць узыходзіць і заходзіць.
4. Як змяняюцца пры суточным руху свяціла яго вышыня, прамое ўзыходжанне, схіленне?
5. Вызначыце геаграфічную шырату месца назірання, калі зорка Вега праходзіць праз пункт зеніта.
6. Як набліжана вызначыць геаграфічную шырату месца назірання за Паллярнай зоркай?

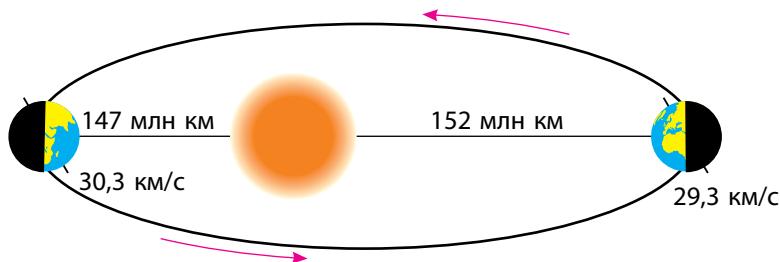
§ 5. Вымярэнне часу.

Вызначэнне геаграфічнай даўгаты

1. Вымярэнне часу. Усё наша жыццё звязана з часам і ўвогуле рэгулюеца перыядычнай зменай дня і ночы, а таксама пор года. На гэтых прыродных з'явах ґрунтуюцца асноўныя адзінкі вымярэння часу — суткі, месяц, год. Асноўная велічыня для вымярэння часу звязана з перыядам поўнага абарачэння зямнога шара вакол сваёй восі.

Момант верхній кульмінацыі цэнтра Сонца называецца **сапраўдным поўднем**, момант ніжній кульмінацыі — **сапраўднай поўначчы**. Прамежак часу паміж дзвюма паслядоўнымі аднайменнымі кульмінацыямі цэнтра Сонца называецца **сапраўднымі сонечнымі суткамі**. Час, які прайшоў ад моманту ніжній кульмінацыі цэнтра сонечнага дыска да любога іншага яго месцазнаходжання на адным і тым жа геаграфічным мерыдыяне, называецца **сапраўдным сонечным часам (T_{\odot})**.

Неабходна адзначыць, што сапраўдныя сонечныя суткі перыядычна змяняюць сваю працягласць. Гэта выклікаецца дзвюма прычынамі: папершае, нахілам плоскасці экліптыкі да плоскасці нябеснага экватара, па-другое, эліптычнай формай арбіты Зямлі. Калі Зямля знаходзіцца на ўчастку эліпса, найбліжэйшым да Сонца (на рэсунку 18 гэта месцазнаходжанне паказана злева), то яна рухаецца хутчэй. Праз паўгода Зямля акажаецца ў процілеглай частцы эліпса і будзе рухацца па арбіце павольней. Нераўнамерны рух Зямлі па сваёй арбіце выклікае нераўнамернае бачнае перамяшчэнне Сонца па нябеснай сферы, г. зн. у розны час года Сонца перамяшчаецца з рознай скорасцю. Таму працягласць сапраўдных сонечных сутак пастаянна змяняецца і карыстаецца імі ў якасці адзінкі вымярэння часу нязручна. З гэтай прычыны ў штодзённым жыцці карыстаюцца не сапраўднымі, а сярэднімі сонечнымі суткамі, працягласць якіх прынята пастаяннай. Устанаўліваюцца яны па руху **сярэдняга экватарыяльнага Сонца** — уяўнага пункта, які рухаецца раўнамерна па нябесным экватары і ў пунктах вясенняга і асенняга раўнадзенства спадае з цэнтрам. Верхнюю кульмінацыю сярэдняга экватарыяльнага Сонца называюць **сярэднім поўднем**, а прамежак часу паміж двума паслядоўнымі сярэднімі поўднямі — **сярэднімі сонечнымі суткамі**. Працягласць іх заўсёды адноўльковая. Сярэднія сонечныя суткі дзеляць на 24 гадзіны. Кожная гадзіна сярэдняга сонечнага часу, у сваю чаргу, падзляеца на 60 мінут, а кожная мінuta — на 60 секунд сярэдняга сонечнага часу. За пачатак сярэдніх сонечных сутак прымаецца **сярэднія поўнач**, г. зн. момант ніжняй кульмінацыі сярэдняга экватарыяльнага Сонца. Час, які прайшоў ад моманту ніжняй кульмінацыі сярэдняга экватарыяльнага Сонца да любога іншага яго становішча на адным і тым жа геаграфічным мерыдыяне, называецца **сярэднім сонечным часам** (T_{cp}).



Рэсунак 18 — Прычыны змянення працягласці сапраўдных сонечных сутак

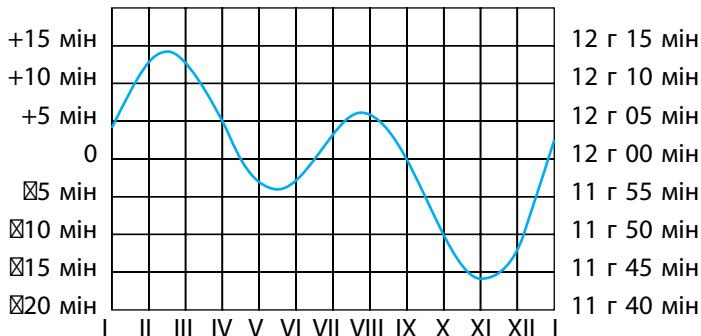
Рознасць паміж сярэднім сонечным часам і сапраўдным сонечным часам у адзін і той жа момант называецца **ўраўненнем часу**. Яно абазначаецца грэчаскай літарай η . Можна запісаць наступную роўнасць:

$$\eta = T_{\text{ср}} - T_{\odot}.$$

Значэнне ўраўнення часу η звычайна прыводзіцца ў астронамічных календарах. Набліжана яго можна вызначыць з графіка (рыс. 19), з якога вынікае, што чатыры разы ў год ўраўненне часу η роўнае нулю. Гэта бывае прыкладна 14 красавіка, 14 чэрвеня, 2 верасня і 24 снежня. Ураўненне часу η набывае найбольшыя лічбавыя значэнні каля каля 14 лютага ($\eta = +14$ мін) і 3 лістапада ($\eta = -16$ мін).

Адрозніваюць таксама **зорныя суткі** (каля 23 г 56 мін 4 с). Зорныя суткі роўныя прамежку часу паміж дзвюма паслядоўнымі аднайменнымі кульмінацыямі пункта вясенняга раўнадзенства. Момант верхнай кульмінацыі гэтага пункта, прыняты за пачатак зорных сутак, лічыцца 0 гадзін зорнага часу. Час, які прайшоў ад моманту верхнай кульмінацыі пункта вясенняга раўнадзенства да любога іншага яго становішча на гэтым жа геаграфічным мерыдыяне, называецца **зорным часам**.

2. Вызначэнне геаграфічнай даўгаты. Вымярэнне часу сонечнымі суткамі звязана з геаграфічным мерыдыяном. Час, вымераны на дадзеным мерыдыяне, называецца **мясцовым часам дадзенага мерыдыяна**, і ён аднолькавы для ўсіх пунктаў, што знаходзяцца на гэтым мерыдыяне. Кульмінацыя любога пункта нябеснай сферы адбываецца ў розны час на розных мерыдыянах зямнога шара. Пры гэтым чым больш на ўсход



Рысунак 19 — Графік ўраўнення часу

зямны мерыдыян, тым раней у пунктах, што ляжаць на ім, адбываецца кульмінацыя ці пачынаюцца суткі. Паколькі Зямля кожную гадзіну паварочваецца на 15° , рознасць часу двух пунктаў у 1 гадзіну адпавядае і рознасці даўготы у 15° (у гадзіннай меры 1 гадзіна). Адсюль можна зрабіць вывад: рознасць мясцовага часу двух пунктаў на Зямлі лікава роўная рознасці значэнняў даўгаты, выражаных у гадзіннай меры. Для пунктаў зямной паверхні, размешчаных на геаграфічных даўготах λ_1 і λ_2 , атрымаем:

$$T_{\lambda_1} - T_{\lambda_2} = \lambda_1 - \lambda_2. \quad (1)$$

За пачатковы (нулявы) мерыдыян для адліку геаграфічнай даўгаты прыняты мерыдыян, што праходзіць праз Грынвіцкую абсерваторыю каля Лондана. Мясцовы сярэдні сонечны час Грынвіцкага мерыдыяна называецца **сусветным часам**. Усе сігналы дакладнага часу супадаюць па мінутах і секундах з сусветным часам. У астронамічных календарах і штогодніках моманты большасці з'яў паказваюцца менавіта па сусветным часе. Моманты гэтых з'яў па мясцовым часе якога-небудзь пункта лёгка вызначыць, калі ведаць даўгату гэтага пункта, адліканую ад Грынвіча.

Калі ў дадзены момант на Грынвіцкім мерыдыяне сусветны час будзе T_0 , то ў мясцовасці з геаграфічнай даўгатой λ будзе T_λ . Адпаведна формула (1) пры $\lambda_0 = 0$ набывае выгляд:

$$\lambda = T_\lambda - T_0. \quad (2)$$

Гэтая формула дазваляе вылічваць геаграфічную даўгату па сусветным часе (T_0) і па мясцовым часе (T_λ), які вызначаецца з астронамічных назіранняў.

З іншага боку, па вядомых даўгаце месца назірання (λ) і сусветным часе (T_0) можна вылічыць мясцовы час (T_λ):

$$T_\lambda = T_0 + \lambda.$$

Адрозненне паміж мясцовым часам населеных пунктаў, размешчаных нават не вельмі далёка ад аднаго, стварае нязручнасці ў штодзённым жыцці. Напрыклад, мясцовы час у Брэсце і Віцебску адрозніваецца на 26 мін. Жыхары гэтых гарадоў, калі прыязджалі ў госьці адзін да аднаго, павінны былі б пастаянна пераводзіць стрэлкі гадзіннікаў. Адсюль узнікла неабходнасць увядзення **паясной сістэмы лічэння часу**. Паводле гэтай сістэмы ўесь зямны шар падзелены на 24 гадзінныя пая-

сы, кожны з якіх мае працягласць па даўгаце 15° (ці 1 г). Гадзінны пояс Грынвіцкага мерыдыяна лічыцца нулявым. Астатнім паясам (у напрамку ад нулявога на ўсход) нададзены нумары ад 1 да 23. Ва ўсіх пунктах у межах аднаго пояса ў кожны момант паясны час аднолькавы. У суседніх паясах ён адрозніваецца роўна на адну гадзіну. Межы паясоў у маланаселеных месцах, на морах і акіянах праходзяць па мерыдыянах, якія знаходзяцца на адлегласці $7,5^\circ$ на ўсход і на захад ад цэнтральнага мерыдыяна дадзенага гадзіннага пояса. У астатніх раёнах для большай зручнасці межы паясоў праходзяць па дзяржаўных і адміністрацыйных граніцах, горных хрыбтах, рэках і іншых натуральных межах.

Калі ведаць сусветны час (T_0) і нумар пояса дадзенага месца (n), можна вылічыць паясны час:

$$T_n = T_0 + n. \quad (3)$$

Калі з формул (1) і (3) выключыць T_0 , атрымаем суадносіны, якія дазволяюць вызначаць геаграфічную даўгату па паясным часе (T_n) і часе для мясцовасці з геаграфічнай даўгатой λ (T_λ):

$$T_n - T_\lambda = n - \lambda. \quad (4)$$

У мэтах эканоміі і рацыянальнага размеркавання электраэнергіі на працягу сутак на летні перыяд у некаторых краінах увесну стрэлкі гадзіннікаў пераводзяць на гадзіну ўперад — уводзяць летні час, а ўвосень — зноў на гадзіну назад.

Існуе мяжа, якая адкрывае новую дату і дзень тыдня. Міжнародная лінія змены дат праходзіць праз Берынгій праліў паміж астравамі Ціхага акіяна ад Паўночнага полюса да Паўднёвага полюса (мерыдыян 180°).

Больш надзейным і зручным лічыцца **атамны час**, уведзены Міжнародным камітэтам мер і вагаў у 1964 г. За этalon прыняты атамны (квантавы) гадзіннік. У такім гадзінніку секунда — гэта прамежак часу, за які адбываецца $9\ 192\ 631\ 770$ ваганняў электрамагнітнай хвалі, што выпраменяеца атамам цэзію. З 1 студзеня 1972 г. усе краіны зямнога шара вядуць адлік часу менавіта па атамным гадзінніку.

Атамны час вельмі зручны для даследавання Зямлі, таму што з яго дапамогай можна вывучаць нераёнамернасці ў вярчэнні нашай планеты. Хібнасць ходу атамнага гадзінніка невялікая — прыкладна 1 с за 50 тыс. гадоў.

3. Каляндар. Каляндар — гэта сістэма лічэння працяглых прамежкаў часу, у аснове якой ляжаць перыядычныя астронамічныя з'явы: абара-

чэнне Зямлі вакол восі, змяненне месячных фаз, абарачэнне Зямлі вакол Сонца. Любая каляндарная сістэма абапіраецца на тры асноўныя адзінкі вымярэння часу: сярэдняя сонечныя суткі, сінадычны (ці месячны) месяц і трапічны (ці сонечны) год.

Сінадычны месяц — гэта прамежак часу паміж дзвюма паслядоўнымі аднолькавымі фазамі Месяца. Ён роўны $29,5306$ сутак. **Трапічны год** — прамежак часу паміж двумя паслядоўнымі праходжаннямі цэнтра Сонца праз пункт вясенняга раўнадзенства. Ён роўны $365,2422$ сутак. З-за павольнага руху пункта вясенняга раўнадзенства насустрач Сонцу, выкліканага прэцэсіяй, Сонца аказваецца ў tym самым пункце неба адносна зорак праз прамежак часу на $20\text{ мін }24\text{ с}$ большы, чым трапічны год. Ён называецца **зорным годам** і змяшчае $365,2564$ сярэдніх сонечных сутак.

Сінадычны месяц і трапічны год не маюць цэлага ліку сярэдніх сонечных сутак, таму немагчыма падабраць такі цэлы лік трапічных гадоў, у якіх цэлым быў бы лік сінадычных месяцаў і цэлым лік сярэдніх сонечных сутак. Імкненне ўзгадніць паміж сабой суткі, месяц і год прывяло да таго, што ў розныя эпохі ў розных народаў было створана мноства розных календароў, якія можна ўмоўна падзяліць на тры тыпы: месячныя, месячна-сонечныя і сонечныя. На рэсунку 20 паказана механічная прылада, створаная старажытнагрэчаскім астрономамі ў II ст. да н. э. для разліку руху Месяца, Сонца і планет у каляндарных мэтах.

У **месячным календары** год падзяляецца на 12 месяцаў, якія маюць папераменна 30 ці 29 сутак. Усяго месячны каляндар мае 354 або 355 сярэдніх сонечных сутак, г. зн. ён карацейшы за сонечны год прыкладна на 10 сутак. Гэты каляндар распавянуты ў краінах Бліжняга Усходу і прыняты ў сучасным ісламскім свеце. З-за таго што месячны год мае менш сутак, чым трапічны, у мусульман пачатак года пастаянна перасоўваецца па сезонах і прыпадае то на вясну, то на зіму, то на восень, то на лета.

Месячна-сонечныя календары найбольш складаныя. У іх пэўная колькасць месячных месяцаў прыблізна адпавядае працягласці трапічнага года. У аснову гэтых календароў закладзены суадносіны:

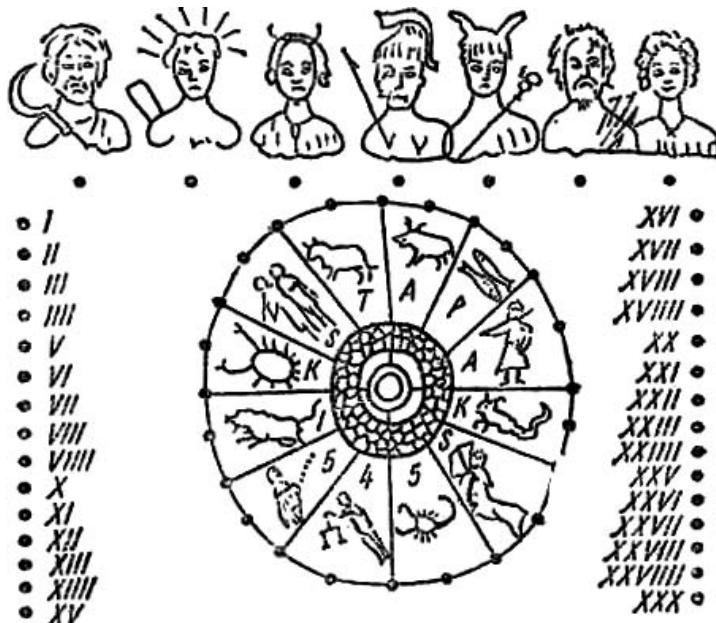


Рысунак 20 — Антыкітэрскі механизм

працягласць 19 сонечных гадоў роўная працягласці 235 месячных месяцаў (з хібнасцю каля 2 г). Год падзяляецца на 12 месяцаў, кожны з якіх пачынаецца з маладзіка. У наш час такая сістэма захавалася ў ўсходнім календары. Ён мае 12 ці 13 месяцаў у годзе. Працягласць некаторых месяцаў кожны год змяняецца, пачатак года заўсёды прыпадае на восень, але не супадае з адной і той жа датай грэгарыянскага календара.

Рымляне напачатку лічылі час месячнымі гадамі. Новы год пачынаўся 1 сакавіка. Да гэтага часу некаторыя месяцы сучаснага календара называюцца суадносна з гэтай традыцыяй: верасень — September (англ.) — сентябрь (рус.) — «сёмы», снежань — December (англ.) — дзекабрь (рус.) — «дзясяты» і г. д. Пазней першы дзень года быў перанесены рымлянамі на 1 студзеня, таму што з 153 г. да н. э. у гэты дзень зымовы пасаду консулы (рыс. 21).

Адным з першых **сонечных календароў** лічыцца егіпецкі, створаны ў 4-м тыс. да н. э. Паводле гэтага календара год меў 12 месяцаў па 30 дзён кожны, а ў канцы года дадавалася яшчэ 5 святочных дзён. Сучасны календар бярэ пачатак ад сонечнага рымскага календара, які з'явіўся ў выніку рэформы Юлія Цэзара (адсюль паходзіць яго назва —



Рысунак 21 — Старожытны рымскі календар

Правообладатель Адукацыя і выхаванне

юліянскі каляндар), праведзенай 1 студзеня 45 г. да н. э. Сярэдняя працягласць года паводле гэтага календара была роўная 365,25 сутак, што адпавядала вядомай у тыя часы працягласці трапічнага года. Для зручнасці трывадлівасці гады запар лічылі па 365 дзён, а чацвёрты, які называецца высакосны, дадаткова меў яшчэ суткі — 366 дзён. Год падзяляўся на 12 месяцаў: няцотныя месяцы мелі 31 дзень, цотныя — 30 дзён; толькі люты простага (не высакоснага) года меў 28 дзён.

З-за таго што юліянскі год даўжэйшы за трапічны на 11 мін 14 с, за 128 гадоў набягала хібнасць на цэлых суткі, а за 400 гадоў — каля трох сутак. З цягам часу каляндар спазняўся ўсё больш і больш. Таму ў канцы XVI ст. вясенняне раўнадзенства наступала не 21, а 11 сакавіка. Хібнасць была выпраўлена ў 1582 г., калі кіраунік каталіцкай царквы папа Грыгорый XIII стварыў спецыяльную камісію па рэформе календара, якая перанесла лічэнне дзён на 10 дзён уперад і вярнула вясенняне раўнадзенства на 21 сакавіка. Выпраўлены каляндар атрымаў назыву **грыгарыянскага календара ці календара новага стылю**. У гонар яго ўвядзення быў выбіты памятны медаль (рыс. 22). Сістэму адліку часу па юліянскім календары зараз называюць **старым стылем**.

Высакосны год у грыгарыянскім календары — кожны чацвёрты, за выключэннем гадоў з цэлым лікам стагоддзяў (напрыклад, 1700, 1800). Такі год лічыцца высакосным толькі тады, калі лік стагоддзяў дзеліцца на 4 без астачы.

У Расіі гэты каляндар быў уведзены з серады 31 студзеня 1918 г. Наступны дзень быў ужо 14 лютага, таму што на той час каляндарная хібнасць паміж новым і старым стылямі дасягнула 13 дзён. Такое



Рысунак 22 — Медаль, выпушчаны ў памяць увядзення грыгарыянскага календара

Правообладатель Адукацыя і выхаванне

адрозненне ў 13 дзён захаваецца да 15 лютага 2100 г. па старым стылі, ці да 28 лютага 2100 г. па новым стылі. Пасля гэтай даты яно павялічыцца на адзін дзень і будзе роўным 14 суткам.

Грыгарыянскі каляндарны год даўжэйшы за сонечны на 26 с. Лішнія суткі набягнуць толькі ў L ст. н. э., таму што розніца ў 1 дзень набягае за 3280 гадоў.

Неабходна адзначыць, што і грыгарыянскі каляндар не пазбаўлены недахопаў: неаднолькавая працягласць месяцаў, няроўнасць кварталаў, нязгодненасць лічбаў месяцаў з днямі тыдня.

Шмат пытанняў выклікаюць і звычайнія назвы месяцаў. Так, ліпень названы ў памяць пра рымскага правіцеля Юлія Цэзара (July (англ.), июль (рус.)), жнівень — у гонар рымскага імператара Актывіяна Аўгуста (August (англ.), август (рус.)). Астатнія месяцы календара атрымалі свае назвы па-рознаму: напрыклад, студзень (January (англ.), январь (рус.)) — у гонар рымскага бoga Януса, люты (February (англ.), февраль (рус.)) — у гонар штогадовых язычаскіх абрадаў ачышчэння, сакавік — па імені бoga Марса (March, март), май — багіні Майі, чэрвень (June, июнь) — багіні Юноны. Назвы месяцаў з верасня па студзень — «сентябрь», «октябрь», «ноябрь», «декабрь» — перакладаюцца з лацінскай мовы адпаведна як «сёмы», «восьмы», «дзясяты», «дзясятны» і ў цяперашні час не маюць гэтай нумарацыі.

Акрамя лічэння месяцаў у гадах, неабходна лічыць і самі гады. Для гэтага са старажытнасці выкарыстоўваліся эры, г. зн. працяглыя прамежкі лічэння гадоў. Эрай называецца зыходны пункт кожнага летазлічэння. У розных народаў эры былі розныя і звязаныя з якімі-небудзь знамянальнымі падзеямі або з гадамі кіравання цароў і імператараў.

Так, у Рыме выкарыстоўвалася эра ад заснавання Рыма (753 г. да н. э.) і лік гадоў ад прызначэння консулаў. У сярэдневяковай Еўропе была распаўсюджана эра Дыяклетыяна, якая адлічвалася ад уступлення на прастол імператара Дыяклетыяна (29 жніўня 284 г. н. э.). Яна існавала да XV ст.

У старажытнай Грэцыі прымнялася эра Алімпіяд (пачатак 776 г. да н. э.). Алімпіяды праводзіліся раз у чатыры гады.

Іудзей адлічваюць пачатак эры ад стварэння свету — ад 3761 г. да н. э.

Хрысціяне выкарыстоўвалі эру ад стварэння свету, прымаючы пачатак у 5508 г. да н. э. Эру ад Нараджэння Хрыстова разлічывалі папскі архіварыус Дыянісій Малы у 525 г. Ён прыбраўняў 248 г. эры Дыяклетыяна да 532 г. ад нараджэння Хрыста. Эра ад нараджэння Хрыстова,

ці новая эра (наша эра), часткова пачала выкарыстоўвацца з X ст., а паўсюдна ў каталіцкіх краінах — толькі з XV ст. У Расіі яна была ўведзена ў 1700 г. указам Пятра I, паводле якога пасля 31 снежня 1708 г. ад стварэння свету настала 1 студзеня 1700 г.

Мусульмане ўсяго свету выкарыстоўваюць сваю эру, якая называецца хіджра і вядзе адлік гадоў ад даты перасялення прарока Мухамеда з Меккі ў Медыну, якое адбылося ў верасні 622 г. н. э.



Галоўныя выводы

1. Прамежак часу паміж дзвіома паслядоўнымі аднайменнымі кульмінацыямі цэнтра сонечнага дыска на адным і тым жа географічным мерыдыяне называецца сапраўднымі сонечнымі суткамі.
2. З-за нераўнамернасці сапраўдных сонечных сутак у паўсядзённым жыцці карыстаюцца сярэднімі сонечнымі суткамі, якія маюць пастаянную працягласць.
3. Зорныя суткі — прамежак часу паміж дзвіома паслядоўнымі аднайменнымі кульмінацыямі пункта вясенняга раўнадзенства на адным і тым жа географічным мерыдыяне.
4. Геаграфічная даўгата пэўнай мясцовасці вызначаецца розніцю паміж мясцовым і сусветным часам.

5. Каляндар — гэта сістэма лічэння працяглых прамежкаў часу, у аснову якой закладзены перыядычныя астронамічныя з'явы. Мы живём па грыгарыянскім календары.



Кантрольныя пытанні і заданні

1. Чым адрозніваюцца сапраўдныя сонечныя суткі ад сярэдніх сонечных сутак?
2. Што называюць зорнымі суткамі?
3. Што разумеюць пад ураўненнем часу?
4. Што разумеюць пад сусветным часам?
5. У 8 г 00 мін грынвіцкага часу вызначылі з назіранняў за Сонцам 10 г 13 мін сярэдняга сонечнага часу. Якая геаграфічная даўгата месца назірання?
6. Знайдзіце розніцу ў сярэднім сонечным часе для гарадоў Гродна і Магілёў.
7. Што разумеюць пад лініяй змены дат? Дзе яна праходзіць?
8. Назавіце каляндарныя сістэмы. На якіх прынцыпах яны будуюцца?
9. Чым адрозніваеца грыгарыянскі каляндар ад юліянскага?
10. Чаму нельга стварыць абсолютна дакладны каляндар?

Раздел III

РУХ НЯБЕСНЫХ ЦЕЛ

§ 6. Геліяцэнтрычна сістэма Каперніка

1. Бачны рух планет. У старажытнасці простым вокам можна было назіраць 5 яркіх свяцілаў, якія пастаянна перамяшчаюцца адносна нерухомых зорак сузор'яў. Старажытныя грэкі назвалі такія свяцілы **планетамі** (грэч. *planetes* — блукаючая) і далі ім асабістых імёны: Меркурый, Венера, Марс, Юпітэр і Сатурн.

Планеты заўсёды размяшчаюцца на небе паблізу ад экліптыкі, аднак у адрозненне ад Сонца і Месяца час ад часу змяняюць напрамак свайго руху. Яны перамяшчаюцца паміж зоркамі ў асноўным з заходу на ўсход (як Сонца і Месяца), здзяйсняючы **прамы рух**. Аднак у пэўны час рух планеты запавольваецца і яна пачынае рухацца з усходу на захад, здзяйсняючы **адваротны рух**. Пасля гэтага ўзнаўляеца прамы



Рысунак 23 — Бачны петлепадобны рух Марса.
Састаўная фатографія, атрыманая на працягу некалькіх месяцаў

Правообладатель Адукацыя і выхаванне

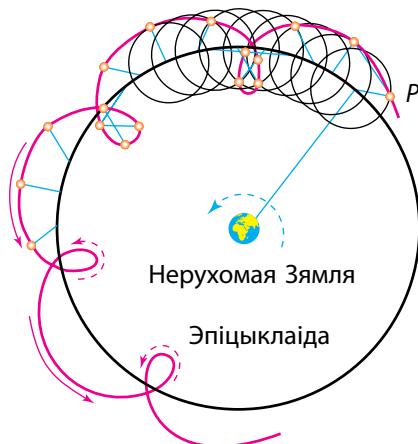
рух. Зыходзячы з гэтага, бачны шлях кожнай планеты на небасхіле — складаная лінія з петлямі. Гэта траекторыя да таго ж мяняеца ад цыкла да цыкла, на працяту якога планета вяртается прыкладна на адно і тое ж месца сярод зорак (рыс. 23).

2. Сістэма свету Пталамея. Найбольш раннія з вядомых спроб пабудавання сістэмы свету належаць старажытным грэкам — Анаксімандру, Эмпедоклу, Еўдоксу і інш.

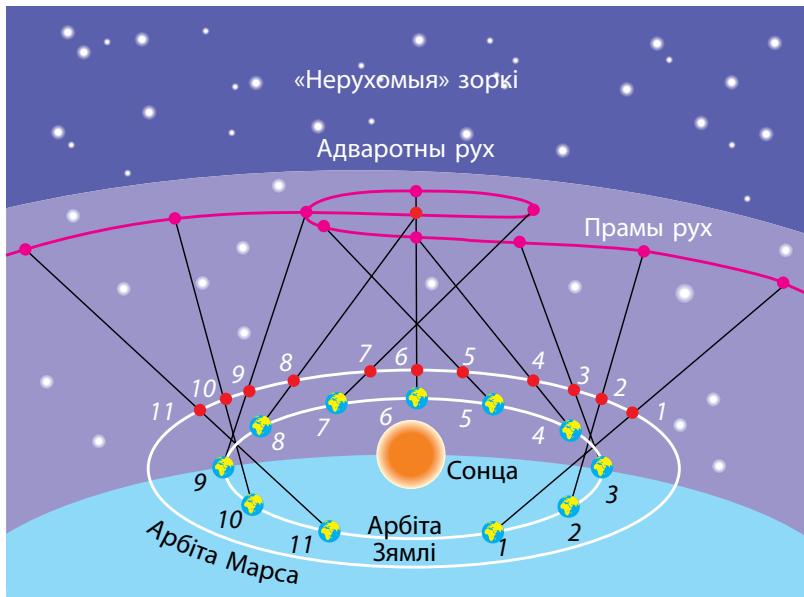
У II ст. н. э. Клаўдзій Пталамей, выкарыстоўваючы назіранні і ідэі сваіх папярэднікаў, распрацаваў **геацэнтрыйчную сістэму свету**, якая давала вылічваць становішча планет адносна зорак на шмат гадоў наперад і прадказваць надыход сонечных і месячных зацьменняў. Пталамей стварыў мадэль, выкарыстоўваючы агульнапрынятую ў антычнасці ідэю, што ўсе свяцілы рухаюцца вакол нерухомай Зямлі, якая з'яўляецца цэнтрам сусвету і мае шарападобную форму. Для тлумачэння складанага петлепадобнага руху планет Пталамей увёў камбінацыю двух раўнамерных кругавых рухаў: рух самой планеты па малой акружнасці (эпіцыкл) і абарачэнне цэнтра гэтай акружнасці вакол Зямлі (дэферэнт). Пры камбінацыі двух кругавых рухаў атрымлівалася эпіцыклойда, па якой рухалася планета (Р), (рыс. 24).

Па меры назапашвання назіранняў за рухам планет тэорыя Пталамея ўсё больш ускладнялася (уводзіліся дадатковыя кругі з рознымі радыусамі, нахіламі, скарасцямі і інш.), што ў хуткім часе зрабіла яе занадта грувасткай і нязручнай.

3. Сістэма свету Каперніка. У XVI ст. польскі вучоны Мікалай Капернік, адкінуўшы дагматычнае ўяўленне аб нерухомасці Зямлі, паставіў яе ў шэраг радавых планет. Капернік паказаў, што Зямля займае трэцяе месца ад Сонца, таксама, як і іншыя планеты, рухаеца ў просторы вакол Сонца і адначасова паварочваеца вакол сваёй восі. **Геліяцэнтрыйчна сістэма Каперніка** вельмі праста тлумачыла петлепадобны рух планет. На рысунку 25 паказаны рух Марса на нябеснай сферы, які назіраецца



Рысунак 24 — Траекторыя планеты паводле мадэлі Пталамея



Рысунак 25 — Тлумачэнне петлепадобнага руху планет
паводле вучэння Каперніка

з Зямлі. Аднолькавымі лічбамі пазначана становішча Марса, Зямлі і пунктаў траекторыі Марса на небасхіле ў адны і тыя ж моманты часу.

Геацэнтрычна сістэма Пталамея не дазваляла вымераць адлегласць да планет. Геліяцэнтрычна сістэма Каперніка ўпершыню дазволіла разлічыць прапорцы Сонечнай сістэмы, выкарыстоўваючы радыус зямной арбіты як астранамічную адзінку даўжыні.

Галоўная навуковая праца Каперніка «Аб абарачэннях нябесных сфер», на напісанне шасці кніг якой было затрачана больш за 20 гадоў, была апублікавана ў маі 1543 г., незадоўга да смерці вучонага. Рэвалюцыйнасць працы Каперніка ў тым, што ў ёй новы погляд на будову Сонечнай сістэмы непарыўна звязаны з пытаннем аб становішчы Зямлі ў Сусвеце. Прастата і стройнасць сістэмы будовы свету, выкладзенай Капернікам, хутка набыла прыхільнікаў. Вучэнне Каперніка вызваліла навуку ад састарэлых і складастычных традыцый, якія тармазілі яе развіццё. Аднак сам вялікі астроном заставаўся ў палоне некаторых прадузятых поглядаў. Напрыклад, Капернік так і не змог адмовіцца ад уяўлення, што планеты рухаюцца раўнамерна па кругавых арбітах.

Таму яго мадэль Сусвету таксама ўтрымлівала мноства сфер — эпіцыклаў і дэфэрэнтаў.

Вялікі італьянскі вучоны Галілео Галілей пацвердзіў вучэнне Каперніка сваімі адкрыццямі, зробленымі з дапамогай тэлескопа.

Іаган Кеплер развіў вучэнне Каперніка, адкрыўшы законы руху планет, і даказаў на аснове фактаў, што планеты рухаюцца па эліпсах і нераўнамерна.

Ісаак Ньютан апублікаваў у 1687 г. адкрыты ім закон сусветнага прыцягнення, які дазволіў выразіць тэорыю руху планет у выглядзе формул і назаўсёды адмовіцца ад грувасткіх геаметрычных пабудоў.

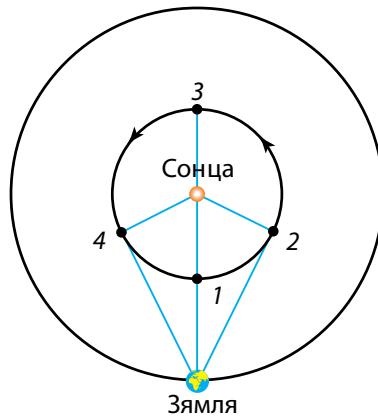
4. Канфігурацыі і ўмовы бачнасці планет.

Пад **канфігурацыямі** планет разумеюць характеристычныя ўзаёмныя размяшчэнні планет, Зямлі і Сонца. Канфігурацыі разлічаны для **ніжніх** планет (арбіты якіх знаходзяцца да Сонца бліжэй, чым арбіта Зямлі) і **верхніх** планет (арбіты якіх знаходзяцца за арбітой Зямлі).

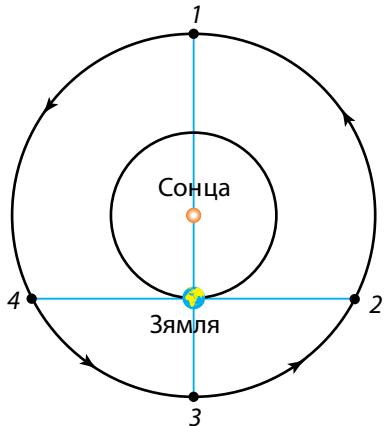
Для ніжніх планет вылучаюць злучэнні і элангацыі (бачная вуглавая адлегласць планеты ад Сонца) (рыс. 26).

У ніжнім злучэнні планета знаходзіцца найбліжэй да Зямлі, а ў верхнім — надалей ад яе. Пры элангацыях вугал паміж напрамкамі з Зямлі на Сонца і на ніжнюю планету не перавышае пэўнай величыні і застаецца вострым. З-за эліптычнасці планетных арбіт найбольшыя элангацыі не маюць пастаяннага значэння. У Венеры яны знаходзяцца ў межах ад 45 да 48° , а ў Меркурыя — ад 18 да 28° . Абедзве планеты не адыходзяць далёка ад Сонца і таму ноччу нябачныя. Працягласць іх ранішніх ці вячэрніх бачнасці не перавышае чатырох гадзін для Венеры і паўтары гадзіны для Меркурыя. Меркурый часам зусім нябачны, таму што ўзыходзіць і заходзіць у светлую пару сутак.

Адрозніваюць усходнюю і заходнюю элангацыі. Ва ўсходній элангацыі планета назіраецца ўвечары пасля заходу Сонца, а ў заходній — раніцай перад усходам Сонца.



Рысунак 26 — Схема канфігурацый ніжніх планет:
1 — ніжнє злучэнне;
2 — найбольшая заходняя элангацыя; 3 — верхнє злучэнне; 4 — найбольшая ўсходняя элангацыя



Рысунак 27 — Схема канфігурацый верхніх планет:
1 — злучэнне;
2 — заходняя квадратура;
3 — процістаянне;
4 — усходняя квадратура

ўсходнюю квадратуры. У канфігурацыі заходняй квадратуры планета ўзыходзіць каля поўначы, а ва ўсходняй — заходзіць каля поўначы. Моманты канфігурацый планет і ўмовы іх бачнасці штогод друкуюцца ў астронамічных даведніках і календарах.

5. Сідэрычныя і сінадычныя перыяды абарачэння планет. Прамежак часу, на працягу якога планета здзяйсняе поўны абарот вакол Сонца па арбіце адносна зорак, называецца **зорным** ці **сідэрычным перыядам абарачэння планеты**.

Аднайменныя канфігурацыі планет адбываюцца ў розных пунктах іх арбіт. Прамежак часу паміж дзвюма паслядоўнымі аднолькавымі канфігурацыямі планет называецца **сінадычным перыядам** (грэч. *sýnodos* — збіранне, злучэнне) **абарачэння планеты**. Ён адразніваецца ад зорнага перыяду.

Установім узаемасувязь сінадычнага і сідэрычнага перыяду абарачэння планет.

Няхай T — сідэрычны (зорны) перыяд абарачэння планеты, а T_0 — сідэрычны перыяд абарачэння Зямлі; S — сінадычны перыяд абарачэння

Для верхніх планет (рыс. 27) характэрныя іншыя канфігурацыі.

Калі Зямля знаходзіцца паміж планетай і Сонцам, то такая канфігурацыя называецца **процістаяннем**. Гэта канфігурацыя найбольш спрыяльная для назірання за планетай, таму што ў гэты час планета знаходзіцца найбліжэй да Зямлі, павернута да яе сваім асветленым паўшар’ем і, знаходзячыся на небе ў процілеглым Сонцу месцы, бывае ў верхній кульмінацыі каля поўначы. У злучэнні планета найбольш аддалена ад Зямлі і не назіраецца, таму што губляеца ў промнях Сонца.

Калі вугал паміж напрамкамі з Зямлі на верхнюю планету і на Сонца роўны 90° , то гавораць, што планета знаходзіцца ў **квадратуры**. Адрозніваюць заходнюю і

чэння планеты. Сярэдніе значэнне дугі, якую праходзіць планета за адны суткі, называецца сярэднім рухам (n) і будзе

роўнае $n = \frac{360^\circ}{T}$, а сярэдні рух Зямлі — $n_0 = \frac{360^\circ}{T_0}$. Для ніжніх планет $T < T_0$ і $n > n_0$. Аднайменныя злучэнні такіх планет (напрыклад, ніжнія злучэнні на рыс. 28) адбываюцца праз сінадычны перыяд абарачэння S , за які Зямля праходзіць дугу

$$L_0 = n_0 \cdot S = \frac{360^\circ}{T_0} \cdot S, \quad (1)$$

а планета, якая забягае наперад, робіць адзін абарот вакол Сонца і даганяе Зямлю, праходзячы вуглавы шлях $L = 360^\circ + L_0$, роўны

$$L = n \cdot S = \frac{360^\circ}{T} \cdot S. \quad (2)$$

Падстаўляючы ў роўнасць $360^\circ = L - L_0$ значэнні L і L_0 , атрымаем ураўненне сінадычнага руху для ніжніх планет:

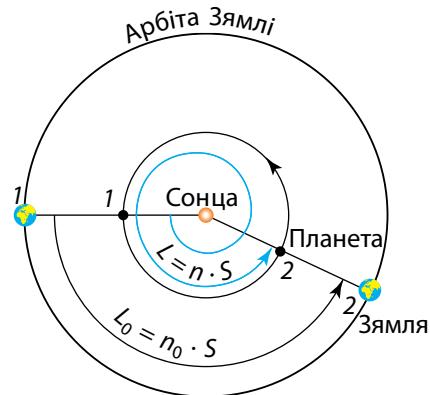
$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}. \quad (3)$$

Для верхніх планет ураўненне сінадычнага руху набывае выгляд:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}, \quad (4)$$

паколькі $T > T_0$ і $n < n_0$.

Ураўненні (3) і (4) даюць сярэдніе значэнні сінадычных перыядоў абарачэння планет. З дапамогай гэтых ураўненняў па назіраемым сінадычным перыядзе абарачэння планеты лёгка падлічыць сідэрычны перыяд яе абарачэння вакол Сонца.



Рысунак 28 — Сінадычны перыяд паслядоўных ніжніх злучэнняў (1 і 2) ніжній планеты



Галоўныя выводы

1. Геліяцэнтрычная сістэма свету — мадэль Сонечнай сістэмы, паводле якой Зямля, як і іншыя планеты, абарачаецца вакол Сонца і, акрамя таго, верціцца вакол сваёй восі.
2. Характэрная ўзаемная размяшчэнні планет адносна Сонца і Зямлі на нябесной сферы называецца канфігурацыямі планет.
3. У адносінах да Зямлі Меркурый і Венера — ніжнія планеты, астатнія — верхнія. Найбольш зручна назіраць за ніжнімі планетамі паблізу ад найбольшай элангацыі, а за верхнімі — паблізу ад процістаяння.



Кантрольныя пытанні і заданні

1. Чым адрозніваюцца прамы і адваротны рухі планет?
2. Як на аснове геліяцэнтрычнай сістэмы свету тлумачыцца петлепадобны рух планет?
3. Што разумеюць пад канфігурацыямі планет? Апішыце іх.
4. Дайце азначэнні сінадычнаму і сідэрычнаму перыядам абарачэння планеты. У чым іх адрозненне?
5. Зорны перыяд абарачэння ☽ пітэра роўны 12 гадам. Праз які прамежак часу пайтараюцца яго процістаянні?
6. Якая павінна быць працягласць сідэрычнага і сінадычнага перыяду абарачэння планеты ў выпадку іх роўнасці?

§ 7. Бачны рух Сонца і Месяца. Зацьменні

1. Бачны гадавы рух Сонца. На аснове каардынат Сонца δ і α , якія бесперапынна змяняюцца, на нябесной сферы можна адзначыць вялікі круг, які ўяўляе сабой бачны шлях цэнтра сонечнага дыска на працягу года. Гэты круг старажытныя грэкі назвалі экліптыкай. Паколькі гадавы рух Сонца адлюстроўвае реальнае абарачэнне Зямлі па арбіце, экліптыка з'яўляецца следам ад сячэння нябесной сферы плоскасцю, паралельнай плоскасці зямной арбіты. Гэтая плоскасць называецца **плоскасцю экліптыкі**.

Акрамя двух пунктаў раёнадзенства, аб якіх мы ўжо гаварылі ў § 2, на экліптыцы вылучаюцца два прамежкавыя паміж імі і процілеглыя

адзін аднаму пункты, у якіх схіленне Сонца бывае найбольшым і найменшым. У пункце летняга сонцастаяння Сонца мае найбольшае схіленне $\delta = +23^{\circ}26'$ (каля 22 чэрвяна). У пункце зімовага сонцастаяння Сонца мае найменшае схіленне $\delta = -23^{\circ}26'$ (каля 22 снежня).

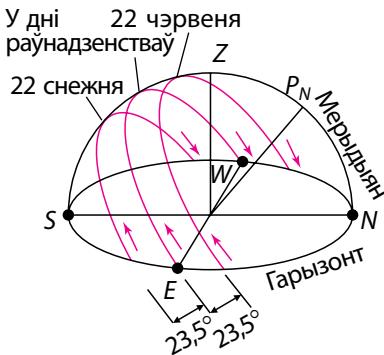
Сузор'і, праз якія праходзіць экліптыка, называюцца **экліптычнымі сузор'ямі**. У Старажытным Міжрэччы ўзнікла раздзяленне экліптыкі з прылеглымі сузор'ямі на 12 частак. Гэты пояс атрымаў назыву **Пояс Задыяка** (грэч. *zodiakos* — жывёла). Першапачаткова задыякальныя знакі і экліптычныя сузор'і супадалі, таму што дакладных меж сузор'і не мелі. Пазней, у эпоху элінізму, склалася ўяўленне аб знаках задыяка як аб 12 роўных частках экліптыкі, якія займаюць на небе па 30° дугі. Пачатак адліку знакаў устаноўлены ад пункта вясенняга раўнадзенства ♈ . У наш час задыякальныя знакі і экліптычныя сузор'і не супадаюць. Экліптычных сузор'яў 13. З іх 12 (гл. табл. 1) супадаюць па назвах з задыякальнымі знакамі. Сузор'е Змеяносца, з'яўляючыся экліптычным, не ўваходзіць у лік знакаў задыяка. Экліптыка, праходзячы праз сузор'і, мае ў кожным з іх участкі няроўнай даўжыні. Да таго ж пункт вясенняга раўнадзенства з-за прэцесіі пастаянна перамяшчаецца. Таму задыякальны знак Аўена знаходзіцца ў сузор'і Рыб.

Табліца 1 — Задыякальныя сузор'і, іх знакі і час знаходжання Сонца ў знаках задыяка

♈ — Авен (21 сакавіка — 19 красавіка)	♉ — Шалі (22 верасня — 22 кастрычніка)
♉ — Цялец (20 красавіка — 20 мая)	♊ — Скарпіён (23 кастрычніка — 21 лістапада)
♊ — Блізняты (21 мая — 20 чэрвяна)	♋ — Стралец (22 лістапада — 20 снежня)
♋ — Рак (21 чэрвяна — 22 ліпеня)	♌ — Казярог (21 снежня — 19 студзеня)
♌ — Леў (23 ліпеня — 21 жніўня)	♍ — Вадалей (20 студзеня — 18 лютага)
♍ — Дзева (20 жніўня — 21 верасня)	♎ — Рыбы (19 лютага — 19 сакавіка)

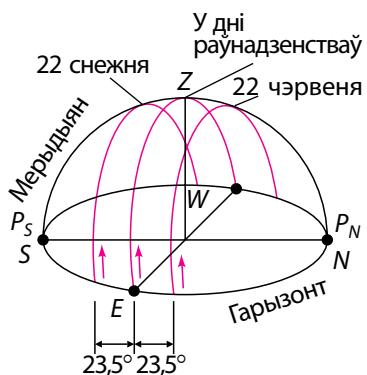
2. Сутачны рух Сонца на розных шыротах. У § 2 ужо ішла гаворка аб гадавым руху Сонца сярод зорак па ўяўнай лініі, якая называецца экліптыкай. Усю экліптыку (360°) Сонца праходзіць за год, аднак гэты рух уяўны, таму што ён адбываецца ў выніку абарачэння Зямлі вакол Сонца.

Разгледзім сутачны рух Сонца на розных шыротах.



Рысунак 29 — Сутачныя шляхі Сонца над гарызонтам у розныя поры года пры назіраннях у сярэдніх геаграфічных шыротах

$\phi > 66,5^\circ$, сутачны шлях Сонца амаль паралельны гарызонту. На са-мым полюсе Сонца на працягу паўгода не заходзіць, апісваючы кругі над гарызонтом. Гэта палярны дзень. Затым Сонца заходзіць на паўгода і настae палярная ночь. На экватары працягласць дня заўсёды роўная працягласці ночы і Сонца, як і іншыя свяцілы, узыходзіць і заходзіць перпендыкулярна плоскасці сапраўднага гарызонту.



Рысунак 30 — Сутачныя шляхі Сонца над гарызонтам у розныя поры года пры назіраннях на экватары Зямлі

У сярэдніх шыротах Сонца ўзыходзіць заўсёды ва ўсходнім баку неба, паступова падымаетца над гарызонтом, у поўдзень дасягае найвышэйшага становішча на небе, затым паступова апускаецца да гарызонту і заходзіць на заходнім баку неба. У Паўночным паўшар’і гэты рух адбываецца злева направа, а ў Паўднёвым — справа налева. Назіральнік у Паўночным паўшар’і Зямлі пры гэтым будзе бачыць Сонца на поўдні, а той, хто знаходзіцца ў Паўднёвым паўшар’і — на поўначы. Дзённы шлях Сонца на небе сіметрычны адносна напрамку поўнач — поўдзень.

За палярным кругам на Зямлі, дзе

$\phi > 66,5^\circ$, сутачны шлях Сонца амаль паралельны гарызонту. На са-мым полюсе Сонца на працягу паўгода не заходзіць, апісваючы кругі над гарызонтом. Гэта палярны дзень. Затым Сонца заходзіць на паўгода і настae палярная ночь. На экватары працягласць дня заўсёды роўная працягласці ночы і Сонца, як і іншыя свяцілы, узыходзіць і заходзіць перпендыкулярна плоскасці сапраўднага гарызонту.

3. Змяненне сутачнага шляху Сонца на працягу года. Змяненні сутачнага шляху Сонца над гарызонтом у розныя поры года для сярэдніх геаграфічных шырот Паўночнага паўшар’я паказаны на рысунку 29. Калі вызначаць вышыню Сонца ў поўдзень на працягу года, то можна заўважыць, што двойчы за год яно бывае на нябесным экватары. Гэта адбываецца ў дні вясенняга (каля 21 сакавіка) і асенняга (каля 23 верасня) раўнадзенства. Плоскасць гарызонту дзеліць нябесны экватар папалам. Таму шляхі Сонца ў дні раўнадзенства над гарызонтом і пад гарызонтом роўныя, адпаведна працягласць дня

і ночы аднолькавая. Самы кароткі дзень прыпадае на 22 снежня, а самы доўгі — на 22 чэрвеня.

Для назіральнікаў, якія знаходзяцца на зямным экватары, сутачныя шляхі Сонца над гарызонтам на працягу года паказаны на рысунку 30.

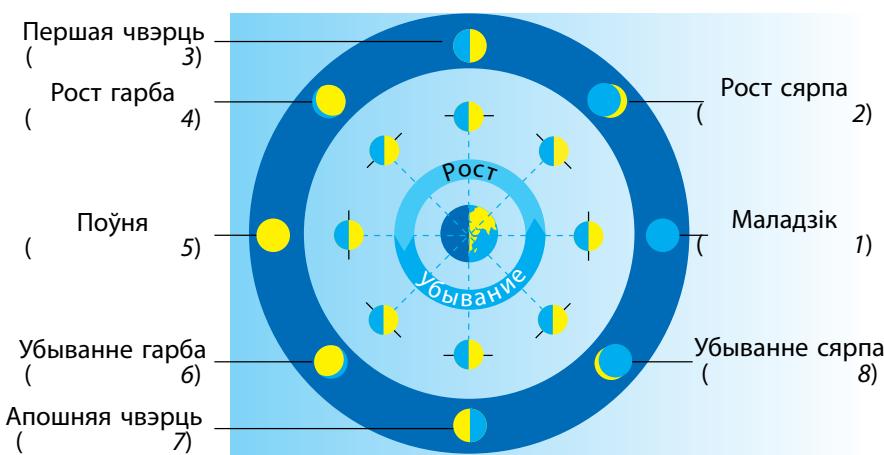
4. Бачны рух і фазы Месяца. Месяц — натуральны спадарожнік Зямлі. Гэта найбліжэйшае да Зямлі нябеснае цела, якое свеціць адбітым сонечным святлом. Месяц рухаецца вакол Зямлі па эліптычнай арбіце ў той жа бок, у які Зямля абарочваецца вакол сваёй восі. Таму мы бачым Месяц, які рухаецца сярод зорак на сустрач вярчэнню неба.

Напрамак руху Месяца заўсёды адзін і той жа — з захаду на ўсход. Для назіральніка з Зямлі за суткі Месяц перамяшчаецца на $13,2^\circ$.

Поўны абарот па арбіце вакол Зямлі Месяц здзяйсняе за 27,3 сутак (**сідэрычны месяц**). І за такі ж час ён робіць адзін абарот вакол сваёй восі, таму да Зямлі заўсёды павернута адно і тое ж паўшар'е Месяца.

Рух Месяца вакол Зямлі вельмі складаны, і яго вывучэнне — адна з найцяжэйшых задач нябеснай механікі. Бачны рух Месяца суправаджаецца бесперапыннай зменай яго выгляду — зменай фаз. Розныя формы бачнай асветленай часткі Месяца называюцца яго **фазай**. Змена фаз Месяца абумоўлена пераменамі ва ўмовах асвятлення Сонцам Месяца пры яго руху па арбіце (рыс. 31).

Разгледзім асноўныя фазы Месяца, пачынаючы з **маладзіка**. Гэта фаза наступае, калі Месяц праходзіць паміж Сонцам і Зямлёй і павернуты



Рысунак 31 — Змена месячных фаз

да нас сваім цёмным бокам (гл. рыс. 31, *становішча 1*). Месяц зусім не бачны з Зямлі.

Праз адзін-два дні ў заходній частцы неба з'яўляецца і працягвае расці вузкі яркі серп «маладога» Месяца (*становішча 2*). Часам на фоне неба становіцца бачнай (дзякуючы цьмянаму шараватаму свячэнню — так званаму **попельнаму святлу** Месяца) і астатняя частка месячнага дыска. З'ява попельнага святла тлумачыцца tym, што месячны серп асвятляецца непасрэдна Сонцам, а астатняя месячная паверхня — рассеяным сонечным святлом, адбітым ад Зямлі. Праз 7 сутак ужо будзе бачная ўся правая палавіна месячнага дыска — настae **фаза першай чвэрці** (*становішча 3*). У гэтай фазе Месяц узыходзіць днём, вечарам бачны ў паўднёвой зоне неба і заходзіць ноччу. Далей фаза павялічваецца (*становішча 4*), і праз 14—15 сутак пасля маладзіка Месяц будзе ў процістаянні з Сонцам (*становішча 5*). Яго фаза становіцца поўнай, настae **поўня**. Сонечныя прамяні асвятляюць усё месячнае паўшар'е, павернутае да Зямлі. Поўны Месяц узыходзіць перад заходам Сонца, заходзіць пры яго ўсходзе, а ў сярэдзіне ночы бачны ў паўднёвым баку неба.

Пасля поўні Месяц паступова набліжаецца да Сонца з заходу і асвятляецца ім злева (*становішча 6*). Прыкладна праз тыдзень настae фаза **трэцяй**, ці **апошняй**, **чвэрці** (*становішча 7*). Пры гэтым Месяц узыходзіць каля поўначы, перад усходам Сонца знаходзіцца ў паўднёвым баку неба і заходзіць днём. Пры далейшым збліжэнні спадарожніка Зямлі з Сонцам фазы Месяца становяцца серпападобнымі (*становішча 8*). Месяц бачны толькі перад раніцай, незадоўга да ўсходу Сонца, а заходзіць у светлы час сутак перад заходам Сонца. Вузкі серп Месяца ў гэтым выпадку павернуты выпукласцю на ўсход. Пасля гэтага зноў настae маладзік, і Месяц перастае быць бачным на небе.

Ад аднаго маладзіка да наступнага праходзіць каля 29,5 сутак. Гэты перыяд змены месячных фаз называецца **сінадычным месяцам**.

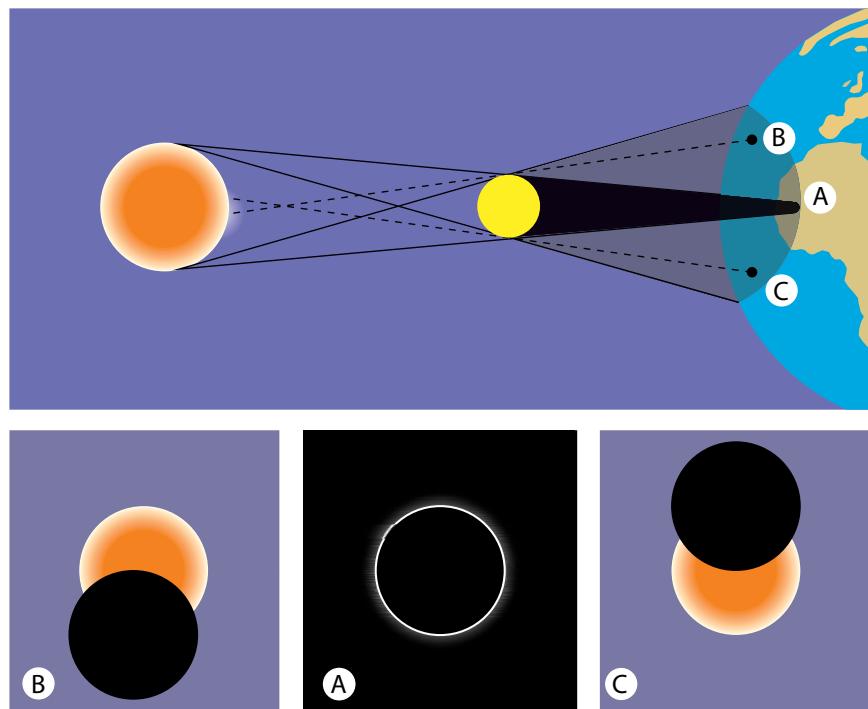
5. Сонечныя і месячныя зацьменні. У сваім руху Месяц часта засланяе (ці, як гавораць астрономы, накрывае) зоркі задыякальных сузор'яў. Значна радзей Месяц накрывае планеты і Сонца. Накрыванне Сонца Месяцам называецца **сонечным зацьменнем**.

Сонечнае зацьменне мае розны выгляд для розных пунктаў зямной паверхні. Паколькі дыяметр Месяца ў 400 разоў меншы за дыяметр Сонца і Месяц знаходзіцца прыкладна ў 400 разоў бліжэй да Зямлі, то на небе Сонца і Месяц здаюцца дыскамі аднолькавых памераў. Таму

пры поўным сонечным зацьменні Месяц можа цалкам накрыць яркую паверхню Сонца, пакінуўшы пры гэтым адкрытай сонечную атмасферу (гл. рыс. 118, с. 143).

Разгледзім схему поўнага сонечнага зацьменення (рыс. 32). Пры праходжанні паміж Сонцам і Зямлёй маленькі па памерах Месяц не можа цалкам зацягніць Зямлю. Дыск Сонца будзе цалкам закрыты толькі для назіральніка А, які знаходзіцца ўнутры конуса месячнага ценю, найбольшы дыяметр якога на паверхні Зямлі не перавышае 270 км. Толькі з гэтай парынальна вузкай зоны зямной паверхні, куды падае ценъ ад Месяца, будзе бачным **поўнае сонечнае зацьменне**. Там жа, куды падае паўценъ ад Месяца, унутры так званага конуса месячнага паўценю, будзе бачным (для назіральнікаў В і С) **частковае сонечнае зацьменне**.

Калі ў момант зацьменення Месяц, які рухаецца па сваёй эліптычнай арбіце, будзе знаходзіцца на значным аддаленні ад Зямлі, то бачны

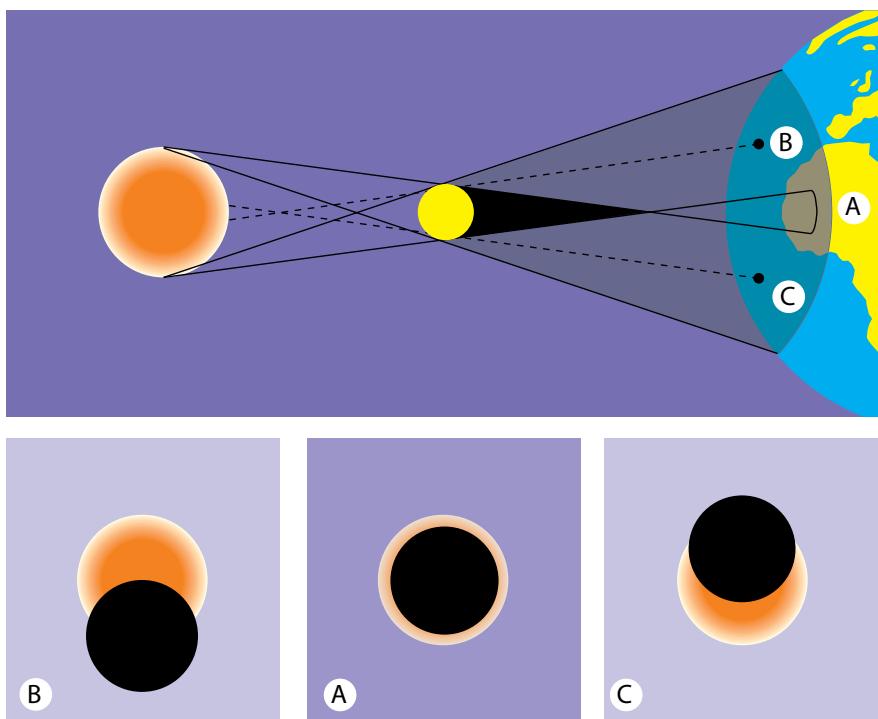


Рысунак 32 — Схема поўнага сонечнага зацьменення (для назіральнікаў А, В, С)

дыск Месяца будзе занадта малым, каб поўнасцю накрыць Сонца. Тады назіральнік А (рыс. 33) зможа ўбачыць вакол цёмнага дыска Месяца зіхатлівы абадок сонечнага дыска. Гэта **кольцападобнае зацьменне**. Для назіральнікаў В і С такое сонечнае зацьменне будзе частковым.

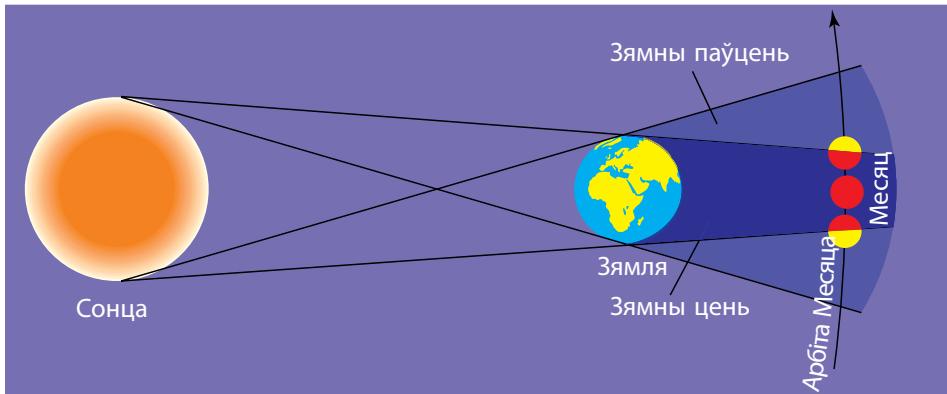
Па-за межамі месячнага паўценю зацьменні ўвогуле не назіраюцца. Сонечнае зацьменне бачнае не на ўсёй паверхні Зямлі, а толькі там, дзе пралягаюць ценъ і паўценъ Месяца. Шлях месячнага ценю па зямной паверхні называецца **паласой поўнага сонечнага зацьмення**.

Месячныя зацьменні адбываюцца тады, калі Месяц трапляе ў зямны ценъ, які таксама мае форму конуса і абкружаны паўценем (рыс. 34). Пры частковым паглыбленні Месяца ў зямны ценъ месячнае зацьменне называецца **частковым ценявым**, а пры поўным паглыбленні — **поўным ценявым зацьменнем**. Паколькі зямны ценъ накіраваны ў бок, процілеглы Сонцу, Месяц можа працягнуці праз яго толькі ў поўнью. Месяц паступова паглыбляецца ў зямны ценъ сваім левым краем. Пры поўным



Рысунак 33 — Схема кольцападобнага сонечнага зацьмення (для назіральнікаў А, В, С)

Правообладатель Адукацыя і выхаванне



Рысунак 34 — Схема месячнага зацьмення

зацьменні ён набывае буры ці цёмна-чырвоны колер (рыс. 35), таму што сонечнае святло пасля праламлення ў зямной атмасфери асвятляе Месяц пераважна чырвонымі прамяннямі, якія менш рассейваюцца і аслабляюцца зямной атмасферай.

Штогод адбываецца ад двух да пяці сонечных зацьменняў. У сярэднім у адным і тым жа месцы Зямлі поўнае сонечнае зацьменне можна назіраць надзвычай рэдка — толькі адзін раз за 200—300 гадоў, а працягласць поўнага сонечнага зацьмення не перавышае 7 мін 31 с. Таму астрономы старанна рыхтуюцца да назірання зацьмення, каб на працягу вельмі кароткага часу паспесь вывучыць зневіснія разрэджаныя абалонкі Сонца.

Як правіла, штогод адбываюцца адно-два месячныя зацьменні, але бываюць гады, калі зацьменняў не бывае зусім. Месячныя зацьменні бачныя з усяго начнога паушар’я Зямлі, дзе ў гэты час Месяц знаходзіцца над гарызонтам. Таму ў кожнай дадзенай мясцовасці яны назіраюцца часцей за сонечныя зацьменні, хаця адбываюцца прыкладна ў 1,5 раза радзей. Максімальная працягласць месячнага зацьмення дасягае 1 г 47 мін.

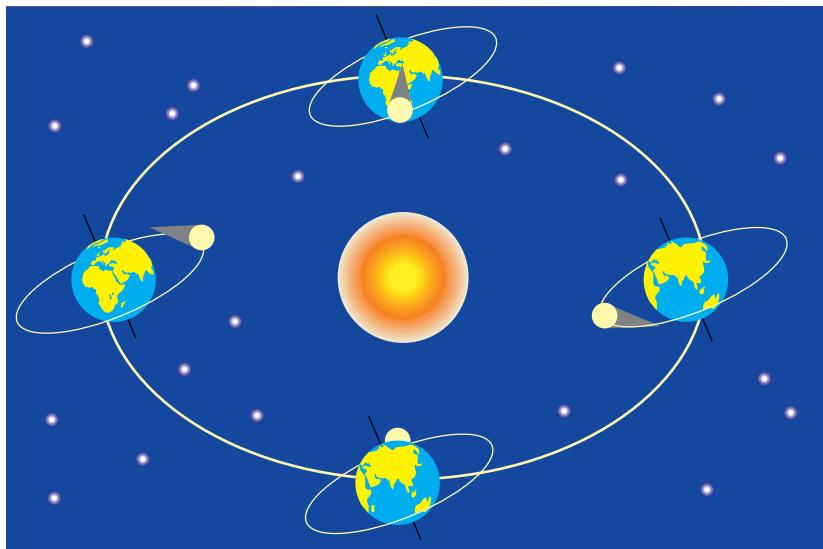


Рысунак 35 — Выгляд Месяца пры поўным месячным зацьменні

Яшчэ ў VI ст. да н. э. было ўстаноўлена, што прыкладна праз 18 гадоў і 11,3 сутак усе зацьменні будуць паўтарацца ў адной і той жа паслядоўнасці. Гэты перыяд паміж зацьменнямі назвалі **сарасам** (грэч. *saros* — перыяд, паўтарэнне).

На працягу сарасу ў сярэднім адбываецца 70—71 зацьменне, з якіх 42—43 — сонечныя (14 — поўных, 13—14 — кольцападобных і 15 — частковых) і 28 — месячных.

Чаму сонечныя і месячныя зацьменні бываюць не кожны месяц? З чым звязана з'ява сарасу? Здавалася б (гл. рыс. 32—34), што зацьменні павінны адбывацца пры кожным абароце Месяца вакол Зямлі. На самай справе такога не здараецца, таму што плоскасць месячнай арбіты не супадае з плоскасцю экліптыкі, а нахіленая пад вуглом $5^{\circ}09'$. Тому Месяц у час маладзіка ці поўні можа знаходзіцца далёка ад плоскасці экліптыкі, і тады яго дыск (дыяметрам $0,5^{\circ}$) пройдзе вышэй або ніжэй за дыск Сонца ці конуса ценю Зямлі. Зацьменні ж адбываюцца толькі тады, калі Месяц знаходзіцца паблізу ад пунктаў перасячэння месячнай арбіты з экліптыкай (рыс. 36). Бачна, што ў маладзік месячны ценъ не заўсёды трапляе на Зямлю.



Рысунак 36 — Плоскасць месячнай арбіты не супадае з плоскасцю экліптыкі

! Галоўныя выводы

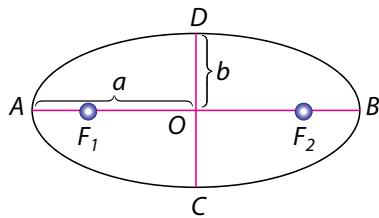
1. На экліптыцы вылучаюць чатыры асноўныя пункты: вясенняга і асенняга раўнадзенства, летняга і зімовага сонцастаяння.
2. Сутачныя шляхі Сонца на працягу года залежаць ад геаграфічнай шыраты месца назірання.
3. Асветленая частка месячнага дыска (месячная фаза) залежыць ад узаемнага размяшчэння Сонца і Месяца для назіральніка з Зямлі.
4. З'ява пакрыцця Месяцам Сонца называецца сонечным зацьменнем.
5. З'ява праходжання Месяца праз зямны цэнъ называецца месячным зацьменнем.
6. Прамежак часу (сарас), праз які ў пэўным парадку паўтараюцца сонечныя і месячныя зацьменні, роўны 18 гадам і 11,3 сутак.

? Кантрольныя пытанні і заданні

1. Якія асаблівасці сутачнага руху Сонца на розных шыротах?
2. Ці можа Сонца назірацца ў зеніце ў Беларусі? Чаму?
3. Чаму Месяц павернуты да Зямлі заўсёды адным і тым жа бокам?
4. У чым адрозненне сідэрычнага і сінадычнага месяцаў? Чым абумоўлена іх розная працягласць?
5. Што разумеюць пад месячнай фазай? Апішице фазы Месяца.
6. Серп Месяца павернуты выпукласцю ў правы бок і блізкі да гарызонту. У якім баку гарызонту ён знаходзіцца?
7. Чаму адбываюцца сонечныя і месячныя зацьменні?
8. Ахарактарызуцце поўныя, частковыя і кольцападобныя сонечныя зацьменні.
9. Як адрозніць фазу зацьмення Месяца ад адной з яго звычайных фаз?
10. Чаму сонечныя зацьменні адбываюцца не кожны маладзік, а месячныя — не кожную поўню?
11. Што такое сарас? Якая яго перыядычнасць?

§ 8. Законы Кеплера

1. Першы закон Кеплера. Да канца XVI ст. вучоным не ўдавалася дакладна разлічыць адноснае становішча планет на некалькі гадоў наперад з дапамогай тэорый, якія існавалі ў той час. Тэарэтычныя вылічэнні прыкметна адрозніваліся ад вынікаў назіранняў. Прычына



Рысунак 37 — Элементы эліпса

Кеплер установіў, што планеты рухаюцца па эліпсах, у адным з фокусаў якіх знаходзіцца Сонца. Гэтая заканамернасць атрымала назыву першага закону Кеплера.

Адрэзак AB (рыс. 37) называецца **вялікай восьмю**, а адрэзак CD — **малой восьмю** эліпса. Адрэзкі $AO = OB = a$, $CO = OD = b$ называюцца **адпаведна вялікай і малой паўвосьямі** эліпса. Суадносіны

$$e = \frac{OF_1}{a} = \frac{OF_2}{a} \quad (1)$$

называюцца **эксцэнтрысітэтам** эліпса. Чым большы экспцэнтрысітэт эліпса, тым больш зрушаны фокусы адносна цэнтра і тым большай будзе рознасць паміж вялікай і малой паўвосьямі. Гэта значыць экспцэнтрысітэт з'яўляецца мерай «сплюшчанасці» эліпса.

Для эліпса $0 < e < 1$. Адзначым, што пры $e = 0$ можна разглядзіць акружнасць як асобны від эліпса ($b = a$).

Калі Сонца знаходзіцца ў фокусе F_1 , найбліжэйшы да Сонца пункт (A) арбіты планеты называецца **перыгелем**, а найбольш аддалены (B) — **афелем**. Абзначым $AF_1 = q$ (q — **перыгелійная адлегласць**), а $BF_1 = Q$ (Q — **афелійная адлегласць**). З рысунка 37 вынікае, што $q + OF_1 = a$, $OF_1 = a \cdot e$, тады

$$q = a - a \cdot e = a(1 - e), \quad (2)$$

$$Q = a(1 + e). \quad (3)$$

У зямной арбіты экспцэнтрысітэт роўны $0,017$. Зямля знаходзіцца ў перыгеліі ў пачатку студзеня, і перыгелійная адлегласць роўная

147 млн км, а ў афеліі — на пачатку ліпеня, і афелійная адлегласць роўная 152 млн км.

2. Другі закон Кеплера. Вывучаючы рух Марса ў просторы, Кеплер заўважыў, што планета рухаецца па арбіце нераўнамерна — зімой хутчэй, чым летам. Ён пачаў шукаць заканамернасць, па якой адбываецца змяненне скорасці Марса, і прадставіў гіпотэзу, што скорасць павінна быць адваротнай працягнальной адлегласці ад Марса да Сонца. Для перыгелія і афелія меркаванне пацвердзілася. Тады Кеплер умоўна разбіў арбіту Марса на 360 частак і пачаў правяраць свою гіпотэзу для розных яе ўчасткаў. Назіранні і разлікі паказалі, што за роўныя прамежкі часу Марс праходзіць роўныя плошчы сектараў арбіты.

Сучасная фармулёўка гэтай залежнасці, пашыраная на ўсе планеты, носіць назvu **другога закону Кеплера**. Заключаецца яна ў наступным: *радыус-вектар планеты* (лінія, што злучае цэнтр Сонца і цэнтр планеты) *за роўныя прамежкі часу апісвае роўныя плошчы*.

Другі закон Кеплера, ці закон плошчаў, адлюстраваны на рисунку 38. Пры рухе планеты (P) вакол Сонца (S) яе радыус-вектар за адолькавыя прамежкі часу апісвае роўныя па плошчы фігуры — P_1SP_2 і P_3SP_4 . Такім чынам, скорасць руху планеты па арбіце змяняецца, прымаючы максімальнае значэнне ў перыгеліі і найменшае ў афеліі.

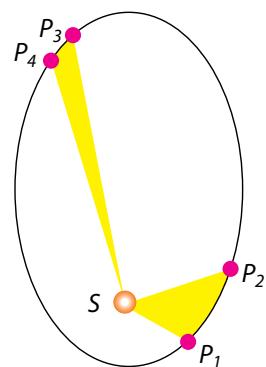
3. Трэці закон Кеплера. Пры парадунні памераў арбіт і перыядоў абарачэння планет вакол Сонца Кеплер выявіў, што квадраты перыядоў абарачэння планет працягнальныя кубам іх

сяродніх адлегласцей ад Сонца (ці суадносіны $\frac{r^3}{T^2}$ адолькавыя для ўсіх планет).

Трэці закон Кеплера фармулюеца наступным чынам: *квадраты сідэрычных перыядоў абарачэння дзвюх планет суадносяцца як кубы вялікіх паўвесей іх арбіт*:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}. \quad (4)$$

Калі ў гэтай формуле прыняць сідэрычны перыяд абарачэння Зямлі вакол Сонца роўным



Рысунак 38 —
Адлюстраванне другога
закону Кеплера

1 (адзін год) і вялікую паўвось зямной арбіты роўнай 1 (адна астронамічна адзінка, гл. § 10), то формула (4) набывае выгляд:

$$T = \sqrt{a^3}. \quad (5)$$

На аснове адкрытых законаў пасля шматгадовых вылічэнняў у 1627 г. Кеплер склаў табліцы, па якіх можна было знайсці на небе становішча кожнай планеты ў любы момант часу.

! Галоўныя выводы

- Усе планеты рухаюцца па эліптычных арбітах, у адным з фокусаў якіх знаходзіцца Сонца.
- За роўныя прамежкі часу радыусы-вектары планет апісваюць роўнавялікія плошчы.
- Квадраты сідэрычных перыядоў абарачэння дзвюх планет супадносяцца як кубы вялікіх паўвосей іх арбіт.
- Законы Кеплера ўдакладняюць вучэнне Каперніка, у якім арбіты нябесных цел лічыліся акружнасцямі.

? Кантрольныя пытанні і заданні

- Сформулюйце законы Кеплера.
- У Зямлі эксцэнтрысітэт арбіты роўны 0,017, а ў Марса — 0,093. Арбіта якой з планет больш выцягнутая?
- У колькі разоў афелійная адлегласць большая за перигелійную, калі эксцэнтрысітэт арбіты роўны 0,5?
- Ці змяненне скорасці планеты, якая рухаецца па эліптычнай арбіце? кругавой арбіце?
- Прыміце арбіты Зямлі і Марса кругавымі і разлічыце працягласць года на Марсе. Пры рашэнні задачы ўлічыце, што Марс знаходзіцца ад Сонца далей, чым Зямля, у 1,5 раза.

§ 9. Закон сусветнага прыцягнення Ньютона

1. Нябесная механіка. Пасля з'яўлення работ Каперніка, Галілея і Кеплера да сярэдзіны XVII ст. скончыўся апісальны (ці геаметрычны) перыяд вывучэння руху планет. Была выяўлена кінематыка іх руху, аднак заставалася навысветленым, чаму планеты рухаюцца. Што прыму-

шае іх абарачацца вакол Сонца, а спадарожнікі — вакол планет? Чым тлумачыцца ўстойлівасць планетнай сістэмы?

Усе матэрыяльныя целы, калі яны нічым не падтрымліваюцца, падаюць пад уздзеяннем сілы цяжару на паверхню Зямлі. Пакуль Зямля лічылася нечым выключным і адзіным у Сусвеце, сіла цяжару разглядалася толькі як зямная з'ява. Аднак адкрыці Каперніка і яго паслядоўнікаў даказалі, што Зямля — гэта радавая планета, якая рухаецца вакол Сонца, як і іншыя планеты. У сувязі з гэтым з'явілася меркаванне, што сіла цяжару ўласцівая не толькі Зямлі, але і іншым нябесным целам. На матэрыяльныя целы, якія знаходзяцца каля іншых планет Месяца ці Сонца, уздзейнічае сіла цяжару, накіраваная да іх цэнтра так сама, як на Зямлі. Такім чынам, дзякуючы распаўсюджанасці ўласцівасці цяжару на іншыя нябесныя целы, было пастаўлена пытанне аб узаемадзеянні цел.

На аснове трэцяга закону Кеплера і закону дынамікі матэрыяльнага пункта Ньютона строга матэматычна аргументаваў **закон сусветнага прыцягнення: два целы прыцягваюцца адно да аднаго з сілай, пропарцыянальной здабытку мас гэтых цел і адваротна пропарцыянальнай квадрату адлегласці паміж імі.**

Матэматычны выраз закону сусветнага прыцягнення мае выгляд:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}, \quad (1)$$

дзе m_1 і m_2 — масы двух цел, якія прыцягваюцца адно да аднаго, r — адлегласць паміж імі. Каэфіцыент пропарцыянальнасці G ($G = 6,673 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$) называюць **пастаяннай прыцягнення або гравітацыйнай пастаяннай**, ён з'яўляецца адной з асноўных фізічных канстант.

Формула (1) справядлівая для цел (матэрыяльных пунктаў), памеры якіх нязначныя ў параўнанні з адлегласцю паміж імі. Два працяглыя шарападобныя целы са сферычна-сіметрычным размеркаваннем мас прыцягваюцца адно да аднаго так сама, як матэрыяльныя пункты, г. зн. як калі б іх масы былі засяроджаны ў іх цэнтрах. Адлегласць r трэба адлічваць ад цэнтраў гэтых цел.

На аснове закона сусветнага прыцягнення і законаў механікі Ньютона матэматычна даказаў, што пад уздзеяннем сілы прыцягнення (гравітацыйнай сілы) цела масай m будзе рухацца адносна цела масай M па адной з кривых: па эліпсе, парабале ці гіпербале.

Такім чынам, Ньютан удақладніў і абагульніў першы закон Кеплера, які зараз фармулюеца так: *пад уздзеяннем прыцягнення адно нябеснае цела рухаецца ў полі прыцягнення другога нябеснага цела па адным з канічных сячэнняў — эліпсе, акружнасці, парабале ці гіпербале* (рыс. 39). *Пры руху па эліпсе цела, якое прыцягвае, заўсёды знаходзіцца ў адным з фокусаў.*

Навука, што грунтуеца на законах Кеплера і Ньютона і вывучае рух нябесных цел, называеца **нябеснай механікай**. Нябесная механіка даследуе рух нябесных цел з улікам створаных імі палёў прыцягнення. Асноўная задача гэтай навукі ў тым, каб, ведаючы пачатковое становішча цела (матэрыяльнага пункта) і яго пачатковую скорасць, вызначыць яго становішча ў любы іншы момант часу.

2. Узбурэнні ў руху нябесных цел. Рух цел, які строга падпарадкоўваеца законам Кеплера, называеца **няўзбуральным**. Такая ідэалізацыя прадугледжвае ўлік узаемадзеяння толькі двух цел і апісвае, напрыклад, рух планеты пад уздзеяннем толькі прыцяжэння Сонца. Задача двух цел была поўнасцю вырашана Ньютонам (закон сусветнага прыцягнення).

Сапраўдны ж рух цел Сонечнай сістэмы значна больш складаны. Гэта тлумачыцца тым, што планеты не толькі прыцягваюцца Сонцам, але і ўзаемадзейнічаюць паміж сабой. Адхіленні ў руху цел ад законаў Кеплера называюцца **ўзбурэннямі**, а реальны рух цел — **узбураным рухам**.

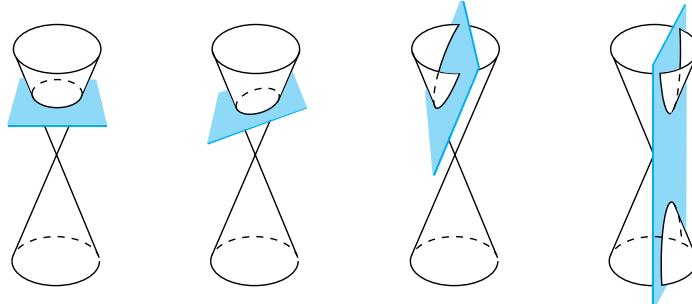
Рашэнне ўраўнення руху нават для трох цел — задача выключнай складанасці, аднак аналіз узбурэнняў дазваляе даволі дакладна вызначыць масу і становішча ўзбуравальнага цела. Найбольш яскравым

Акружнасць

Эліпс

Парабала

Гіпербала



Рысунак 39 — Атрыманне арбітальных крывых пры сячэнні конуса плоскасцю

Правообладатель Адукацыя і выхаванне

прыкладам такога аналізу стала адкрыццё планеты Нептун на аснове аналізу ўзбурэння ў руху Урана.

Яшчэ адным прыкладам праяўлення ўзбуральнай сілы з'яўляюцца прылівы і адлівы. Водная абалонка і зямная кара (у меншай ступені) злётку выцягваецца ў абодва бакі ўздоўж лініі, што злучае Зямлю з Месяцам. Прыліўныя хвалі ў акіянах і морах ідуць адна за адной з усходу на захад з інтэрвалам каля 12 г 25 мін. Прыліўнае трэнне запавольвае вярчэнне Зямлі, што вядзе да павелічэння працягласці зямных сутак на 0,0014 с за стагоддзе.

3. Вызначэнне масы Зямлі. Адной з найважнейшых характарыстык нябеснага цела з'яўляеца яго маса. Закон сусветнага прыцягнення давае вызначыць масу нябесных цел, у тым ліку і масу Зямлі.

На цела масай m , якое знаходзіцца каля паверхні Зямлі, дзейнічае сіла цяжару $F = mg$, дзе g — паскарэнне свабоднага падзення. Калі цела рухаецца толькі пад уздзеяннем сілы цяжару, то паводле закону сусветнага прыцягнення (1) паскарэнне свабоднага падзення роўнае $g = G \frac{M}{R_{\oplus}^2}$ і накіраванае да цэнтра Зямлі.

Таму, ведаючы, што паскарэнне свабоднага падзення $g = 9,81 \text{ м/с}^2$, $G = 6,673 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$ і радыус Зямлі $R_{\oplus} = 6370 \text{ км}$, можна па формуле $M = \frac{gR_{\oplus}^2}{G}$ вызначыць масу Зямлі: $M = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ кг}$.

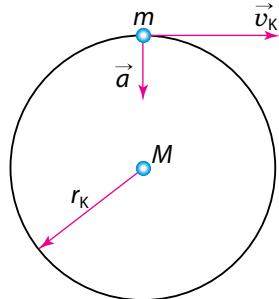
Сярэднюю шчыльнасць Зямлі можна вылічыць, калі ведаць яе масу і аб'ём. Сярэдняя шчыльнасць будзе роўная $5,5 \cdot 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$.

4. Вызначэнне мас нябесных цел. Масы нябесных цел можна вызначыць некалькімі спосабамі:

1. Шляхам вымярэння сілы цяжару на паверхні дадзенага нябеснага цела (гравіметрычны спосаб).

2. На аснове трэцяга абагульненага закону Кеплера. Першы спосаб у дачыненні да Зямлі мы разглядалі вышэй. Перш чым разглядаць другі спосаб, праверым выкананне трэцяга закона Кеплера для выпадку кругавога руху планеты са скорасцю v_K .

Няхай цела масай m рухаецца з лінейнай скорасцю v_K вакол цела M ($m \ll M$) па акружнасці радыуса r_K (рыс. 40). Гэта магчыма, калі рух



Рысунак 40 — Кругавы рух цел

адбываеца пад уздзеяннем сілы, якая стварае цэнтраімклівае паскарэнне $a = \frac{v_{\text{K}}^2}{r_{\text{K}}^2}$. Сілай, якая стварае паскарэнне, з'яўляеца сіла прыцягнення, роўная $\frac{GMm}{r_{\text{K}}^2}$. Калі прыраўняць $\frac{v_{\text{K}}^2}{r_{\text{K}}}$ да паскарэння $\frac{GM}{r_{\text{K}}^2}$, утварае-мага прыцягненнем, то атрымаецца

$$v_{\text{K}}^2 = \frac{GM}{r_{\text{K}}}. \quad (2)$$

Калі перыяд абарачэння цела m вакол цела M складае час T , то лінейная скорасць руху гэтага цела па арбіце роўная

$$v_{\text{K}} = \frac{2\pi r_{\text{K}}}{T}. \quad (3)$$

Калі падставіць (3) у (2), атрымаєм: $\left(2\pi \frac{r_{\text{K}}}{T}\right)^2 = \frac{GM}{r_{\text{K}}}$, або

$$\frac{r_{\text{K}}^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2}. \quad (4)$$

Для эліптычнага руху формула (4) таксама будзе справядлівая, калі замест радыуса акружнасці r_{K} падставіць вялікую паўось a эліптычнай арбіты. У гэтым выпадку атрымаем суадносіны:

$$\frac{a^3}{T^2 M} = \frac{G}{4\pi^2}, \quad (5)$$

якія можна сформуляваць такім чынам: *адносіны куба вялікай паўвосі арбіты цела да квадрата перыяду яго абарачэння і масы цэнтральнага цела ёсць величыня пастаянная.*

Калі масу m меншага цела нельга не ўлічваць у параўнанні з масай M цэнтральнага цела, то ў трэці закон Кеплера, як паказаў Ньютан, замест масы M увойдзе сума мас $(M + m)$ і суадносіны (5) набудуць выгляд:

$$\frac{a^3}{T^2(M+m)} = \frac{G}{4\pi^2}. \quad (6)$$

Калі абагульніць формулу (6) для двух нябесных цел масамі M_1 і M_2 , атрымаем ўдакладнены трэці закон Кеплера:

$$\frac{T_1^2(M_1 + m_1)}{T_2^2(M_2 + m_2)} = \frac{a_1^3}{a_2^3}, \quad (7)$$

г. зн. квадраты сідэрычных перыяду спадарожнікаў (T_1^2 і T_2^2), памно-жаныя на суму мас галоўнага цела і спадарожніка ($M_1 + m_1$ і $M_2 + m_2$), суадносяцца як кубы вялікіх паўвосьяў арбіт спадарожнікаў (a_1^3 і a_2^3) (7).

На аснове ўдакладненага Ньютанам (7) трэцяга закону Кеплера можна другім способам вылічыць як масы планет, якія маюць спадарожнікі, так і масу Сонца.

Масы планет, якія не маюць спадарожнікаў, можна вылічыць па ўзбурэннях, якія яны выклікаюць у руху Зямлі, Марса, астэроідаў, камет, а таксама па ўзбурэннях, якімі яны ўздзейнічаюць адна на адну.



Галоўныя выводы

1. Закон сусветнага прыцягнення і законы Кеплера — аснова нябеснай механікі.
2. Сапраўдны рух нябесных цел — узбураны рух, які абумоўлены прыцяжэннем не толькі Сонца, але і іншых цел.
3. Удакладнены Ньютанам трэці закон Кеплера дазваляе вызначаць масы планет, якія маюць спадарожнікі, а таксама масу Месяца і Сонца.



Кантрольныя пытанні і заданні

1. Якія задачы вырашае нябесная механіка?
2. Сфармулюйце закон сусветнага прыцягнення. Якія асаблівасці выкарыстання гэтага закону для правядзення разлікаў?
3. Вызначыце масу планеты Уран (у масах Зямлі), калі вядома, што спутнік Урана Тытанія абарачаецца вакол яго з перыядам 8,7 сут. на сярэдній адлегласці 438 тыс. км. Для Месяца гэтыя велічыні роўныя адпаведна 27,3 сут. і 384 тыс. км.
4. Як разумеюць у астраноміі «задачу двух цел»? «Задачу трох цел»?
5. Як Ньютон абагульніў законы Кеплера?
6. Вызначыце сярэднюю шчыльнасць Сонца, калі перыяд абарачэння Зямлі вакол Сонца прынесьці роўным 365 сут. Пры разліках прынесьці радыус зямной арбіты роўным 150 млн км, а радыус Сонца — 700 тыс. км.

§ 10. Вызначэнне памераў небесных цел і адлегласцей да іх у Сонечнай сістэме

1. Вызначэнне памераў Зямлі. Першы вядомы навуцы метад вызначэння памераў Зямлі прымяняў грэчаскі вучоны Эратасфен. Ён выбраў два гарады, якія лежалі на адным і тым жа геаграфічным мерыдыяне зямнога шара — Александрыю (O_1) і Сіену (O_2) (рыс. 41). З рисунка бачна, што калі абазначыць даўжыню дугі мерыдыяна O_1O_2 праз l , а яе вуглавое значэнне праз n (у градусах), то даўжыня дугі 1° мерыдыяна l_0 будзе роўнай:

$$l_0 = \frac{l}{n},$$

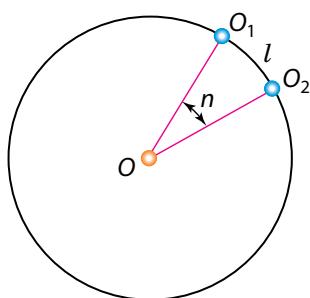
а даўжыня ўсёй акружнасці мерыдыяна:

$$L = 360^\circ \cdot l_0 = \frac{360^\circ \cdot l}{n} = 2\pi R,$$

дзе R — радыус зямнога шара. Адсюль $R = \frac{180^\circ \cdot l}{\pi n}$.

Даўжыня дугі мерыдыяна паміж выбранымі на зямной паверхні пунктамі O_1 і O_2 у градусах роўная рознасці геаграфічных шырот гэтых пунктаў, г. зн. $n = \Delta\phi = \phi_1 - \phi_2$.

Даўжыня дугі l — адлегласць паміж Александрыяй і Сіенай — была добра вядомая. Вугал n Эратасфен вымяраў, выкарыстоўваючы тыя



Рысунак 41 —
Вызначэнне радыуса
Зямлі

абставіны, што Сіена ляжыць на тропіку Рака і ў дзень летняга сонцастаяння Сонца ў поўдзень тут назіраецца ў зеніце. А ў Александрыі Сонца да зеніта не даходзіла, і шэст, укананы ў землю перпендыкулярна, даваў ценъ. Змерыўшы даўжыню гэтага ценю, Эратасфен атрымаў значэнне $n = 7,2^\circ$ і даўжыню акружнасці L прыкладна 45 тыс. км (сучаснае значэнне 40 тыс. км).

Сучасная геадэзія валодае дакладнымі метадамі для вымярэння адлегласцей на зямной паверхні. Вызначэнне адлегласці l паміж пунктамі O_1 і O_2 (гл. рис. 41) ускладнена натуральнымі

перашкодамі (горы, рэкі, лясы і інш.). Таму даўжыня дугі l вызначаецца шляхам вылічэння, якія патрабуюць вымярэння толькі параўналъна невялікай адлегласці — **базіса** і шэрага вуглоў. Гэты метод распрацаваны ў геадэзіі і называецца **трыянгуляцыяй** (лац. *triangulum* — трохвугольнік).

Сутнасць яго ў наступным. Па абодва бакі дугі O_1O_2 , даўжыню якой неабходна вызначыць, выбіраецца некалькі пунктаў A, B, C, \dots на ўзаемных адлегласцях да 50 км з такім разлікам, каб з кожнага пункта былі бачныя іншыя пункты (рыс. 42).

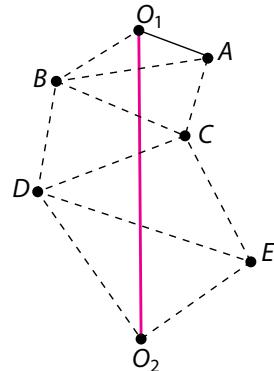
Даўжыню базіса старанна вымяраюць спецыяльнымі мернымі стужкамі. Вымераныя вуглы ў трохвугольніках і даўжыня базіса дазваляюць па трыганаметрычных формулах вылічыць стороны трохвугольнікаў, а па іх — даўжыню дугі O_1O_2 з улікам яе крывізны.

У Расіі з 1816 па 1855 г. пад кіраўніцтвам В. Я. Струве была вымерана дуга мерыдыяна даўжынёй 2800 км. У 30-я гг. XX ст. высокадакладныя градусныя вымярэнні былі праведзены ў СССР пад кіраўніцтвам Ф. М. Красоўскага.

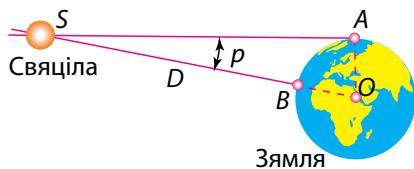
Трыянгуляцыйныя вымярэнні паказалі, што даўжыня дугі 1° меридыяна неаднолькавая на розных шыротах: каля экватара яна роўная 110,6 км, а каля полюсаў — 111,7 км, г. зн. павялічваецца да полюсаў.

Сапраўдная форма Зямлі не можа быць прадстаўлена ні адным з вядомых геаметрычных цел. Таму ў геадэзіі і гравіметрыі форму Зямлі лічаць **геідам**, г. зн. целам з паверхніяй, бліzkай да паверхні спакойнага акіяна і прадоўжанай пад мацерыкамі.

У наш час створаны трыянгуляцыйныя сеткі са складанай радыёэлектракацыйнай апаратурай, устаноўленай на наземных пунктах, і з адбівальнікамі на геадэзічных штучных спадарожніках Зямлі, што дазваляе дакладна вылічваць адлегласці паміж пунктамі. Значны ўклад у развіццё касмічнай геадэзіі зрабіў ураджэнец Беларусі — вядомы геадэзіст, гідрограф і астроном І. Д. Жангаловіч. На аснове вывучэння дынамікі руху штучных спадарожнікаў Зямлі ён удакладніў сцісканне нашай планеты і несіметрычнасць Паўночнага і Паўднёвага паўшар'яў.



Рысунак 42 — Метод трыянгуляцыі



Рысунак 43 — Гарызантальны паралакс свяціла

Некаторы сістэмы грунтуеца на вымярэнні іх гарызантальных паралаксаў. Вугал p , пад якім са свяціла бачны радыус Зямлі, перпэндыкулярны да праменя зроку, называецца **гарызантальным паралаксам** (рыс. 43). Чым большая адлегласць да свяціла, тым меншы вугал p .

Калі ведаць гарызантальны паралакс свяціла, то можна вызначыць яго адлегласць $D = SO$ ад цэнтра Зямлі. Адлегласць да свяціла $D = \frac{R_{\oplus}}{\sin p}$, дзе R_{\oplus} — радыус Зямлі. Калі прыняць R_{\oplus} Зямлі за адзінку, то можна выразіць адлегласць да свяціла ў зямных радыусах.

Напрыклад, паралакс Сонца $p_{\odot} = 8,794''$. Паралаксу Сонца адпавядает сярэдняя адлегласць ад Зямлі да Сонца, прыкладна роўная 149,6 млн км. Гэтая адлегласць прымаецца за адну **астранамічную адзінку** (1 а. а.). У астронамічных адзінках зручна вымяраць адлегласці паміж целамі Сонечнай сістэмы.

Пры малых вуглах $\sin p \approx p$, калі вугал p выражаны ў радыянах. Калі вугал p выражаны ў секундах дугі, то ўводзіцца множнік

$$\sin 1'' = \frac{1}{206\,265},$$

дзе 206 265 — колькасць секунд у адным радыяне. Тады

$$\sin p'' = p'' \sin 1'' = \frac{p''}{206\,265} \quad \text{i} \quad D = \frac{206\,265''}{p''} R_{\oplus}.$$

Гэтая формула значна спрашчае вылічэнне адлегласці D да свяціла па вядомым паралаксе p .

3. Радыёлакацыйны метод. Для вызначэння адлегласцей да цел Сонечнай сістэмы выкарыстоўваюцца найбольш дакладныя методы вымя-

рэнняў — **радыёлакацыйныя выміярэнні**. Калі вымераець час t , неабходны для таго, каб радыёлакацыйны імпульс дасягнуў нябеснага цела, адбіўся і вярнуўся на Зямлю, вылічваюць адлегласць D да гэтага цела па формуле

$$D = c \frac{t}{2},$$

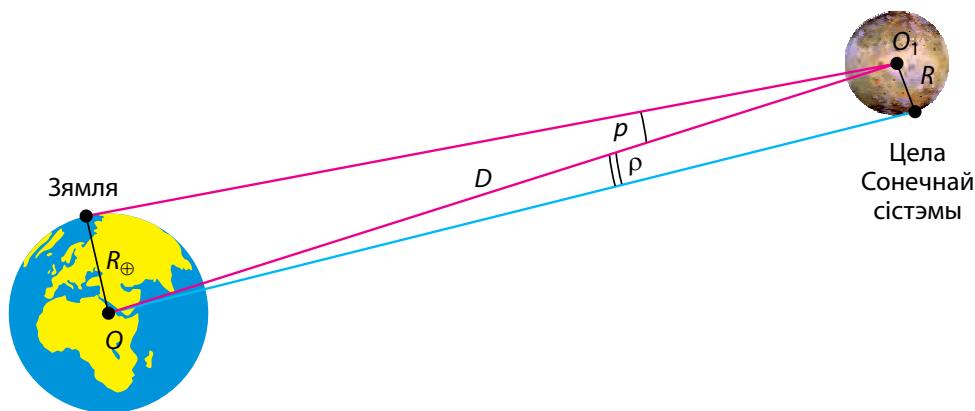
дзе c — скорасць светла, роўная прыкладна $3 \cdot 10^8$ м/с.

З дапамогай радыёлакацыі вызначаны найбольш дакладныя значэнні адлегласцей да цел Сонечнай сістэмы, удакладнены адлегласці паміж мацерыкамі Зямлі, больш дакладна вызначана астронамічная адзінка (1 а. а. = $149\,597\,870 \pm 2$ км).

Метады **лазернай лакацыі** (якія выкарыстаюць, напрыклад, спецыяльныя адбівальнікі, дастаўленыя на Месяц) дазволілі вымераць адлегласць ад Зямлі да Месяца з дакладнасцю да некалькіх сантиметраў.

4. Вызначэнне памераў цел Сонечнай сістэмы. Пры назіраннях нябесных цел Сонечнай сістэмы можна вымераць вугал, пад якім яны бачныя назіральніку з Зямлі. Калі ведаець вуглавы радиус свяціла ρ (рыс. 44) і адлегласць D да свяціла, то можна вылічыць лінейны радиус R гэтага свяціла па формуле

$$R = D \cdot \sin \rho.$$



Рысунак 44 — Вызначэнне лінейных памераў цел Сонечнай сістэмы

Паводле вызначэння гарызантальнаага паралакса радыус Зямлі R_{\oplus} бачны са свяціла пад вуглом p , з улікам гэтага атрымаем:

$$R = \frac{\sin p}{\sin p'} R_{\oplus}.$$

Паколькі значэнні вуглоў p і p' малыя, канчаткова атрымаем, што:

$$R = \frac{p''}{p'} R_{\oplus}.$$

Дадзены спосаб вызначэння памераў небесных цел прыдатны толькі тады, калі бачны іх дыскі.

! Галоўныя выводы

- У аснову метадаў вызначэння памераў Зямлі пакладзены градусныя вымярэнні (трыянгуляцыя) даўжынъ дуг на яе паверхні.
- Вызначэнне адлегласцей да цел Сонечнай сістэмы грунтуецца на вымярэнні малых вуглоў (паралаксаў). У наш час для гэтых мэт выкарыстоўваюць метады лазернай лакацыі і радыёлакацыі.
- Для вымярэння адлегласцей паміж целамі Сонечнай сістэмы выкарыстоўваецца астронамічная адзінка (1 а. а.), роўная прыкладна 149,6 млн км.
- Вымярэнне памераў цел Сонечнай сістэмы грунтуецца на вымярэннях вуглавых радыусаў і адлегласцей да іх.

? Кантрольныя пытанні і заданні

- Якім чынам грэчаскі вучоны Эратасфен вызначыў памеры Зямлі?
- Як вызначаюць даўжыню дугі мерыдыяна трываліцайным метадам?
- Што разумеюць пад гарызантальным паралаксам?
- Як вызначыць адлегласць да свяціла, ведаючы яго гарызантальны паралакс?
- Што такое астронамічная адзінка?
- На якой адлегласці ад Зямлі знаходзіцца небеснае цела, калі яго гарызантальны паралакс роўны $1''$?
- У чым сутнасць радыёлакацыйнага метаду вызначэння адлегласцей да небесных цел?
- Вызначыце лінейны радыус Месяца, калі ў час назірання стала вядома, што яго гарызантальны паралакс у гэты час роўны $57'$, а вуглавы радыус — $15,5'$. Радыус Зямлі прыняць роўным 6400 км.

§ 11. Рух касмічных апарату

1. Касмічна скорасці. Найбольш прости выпадак руху цел паблізу ад паверхні Зямлі пад уздзеяннем сілы цяжару — свабоднае падзенне з пачатковай скорасцю, роўнай нулю. У гэтым выпадку цела рухаецца прамалінейна з паскарэннем свабоднага падзення ў напрамку да цэнтра Зямлі. Калі пачатковая скорасць цела адрозная ад нуля і яе вектар накіраваны не па вертыкалі, то цела пад уздзеяннем сілы цяжару пачне рухацца з паскарэннем свабоднага падзення па крывалінейнай траекторыі.

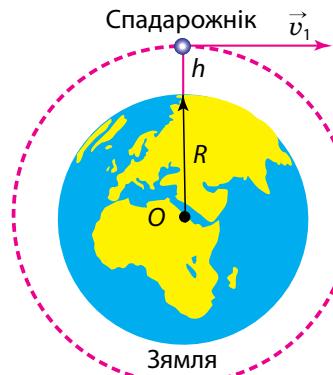
Разгледзім цела, якое знаходзіцца па-за межамі зямной атмасфэры. Дапусцім, што вектар пачатковай скорасці гэтага цела накіраваны па датычнай да паверхні Зямлі. У залежнасці ад значэння пачатковай скорасці далейшы рух цела можа быць розным:

- а) пры малых пачатковых скарасцях (v_{01}, v_{02}, v_{03}) цела ўпадзе на Зямлю;
- б) пры некаторым пэўным значэнні скорасці v_1 (**першая касмічная скорасць**) цела стане штучным спадарожнікам Зямлі і пачне абарачацца вакол яе аналагічна яе натуральному спадарожніку — Месяцу;
- в) пры яшчэ большым павелічэнні значэння скорасці і дасягненні наступнага пэўнага значэння v_2 (**другая касмічная скорасць**) цела адыйдзе ад Зямлі так далёка, што сіла зямнога прыцяжэння практычна не будзе ўпłyваць на яго рух. Цела пачне абарачацца вакол Сонца як штучная планета;
- г) калі скорасць цела дасягне пэўнага значэння v_3 (**трэцяя касмічная скорасць**), то дадзенае цела назаўсёды пакіне межы Сонечнай сістэмы і паляціць у простору Галактыкі.

Разгледзім выпадак, калі цела становіцца штучным спадарожнікам Зямлі, г. зн. вызначым першую касмічную скорасць v_1 . Знойдзем гэтую скорасць на аснове другога закону Ньютона пры ўмове, што пад уздзеяннем сілы прыцягнення цела набывае цэнтраймклівае паскарэнне:

$$G \frac{mM}{R_{\text{арб}}^2} = ma_{\text{ц}}, \quad (1)$$

дзе $R_{\text{арб}} = R + h$ — сярэдні радыус арбіты цела (рыс. 45), R — радыус Зямлі, h — вышыня цела над паверхній Зямлі, M — маса Зямлі, m — маса цела (спадарожніка).



Рысунак 45 — Рух спадарожніка па кругавой арбіце

Для цэнтраімклювання паскарэння $a_{\text{ц}} = \frac{v_1^2}{R_{\text{арб}}} = \frac{v_1^2}{R+h}$. Калі падставіць гэты выраз у формулу (1), то пасля скарачэння ў атрымаем:

$$v_1 = \sqrt{G \frac{M}{R+h}}.$$

Калі паверхні Зямлі з улікам выразу для паскарэння свабоднага падзення $g = G \frac{M}{R^2}$ можна лічыць, што $h = 0$. Тады першая касмічная скорасць (без уліку супраціўлення паветра) роўная:

$$v_1 = \sqrt{gR} = \sqrt{9,8 \cdot 6,37 \cdot 10^6} = 7,9 \cdot 10^3 \text{ м/с.} \quad (2)$$

Такім чынам, цела, скорасць якога роўная $7,9 \cdot 10^3$ м/с і накіраваная па датычнай адносна паверхні Зямлі, становіцца штучным спадарожнікам Зямлі, які рухаецца па кругавой арбіце над Зямлёй. У нябеснай механіцы першая касмічная скорасць называецца таксама **кругавой скорасцю**.

Другая касмічная скорасць вызначаецца з умовы, што цела павінна пакінуць сферу зямнога прыцягнення і стаць спадарожнікам Сонца. Разлікі даюць наступны выраз для вызначэння другой касмічнай скорасці (без уліку супраціўлення паветра):

$$v_2 = \sqrt{2gR}, \quad (3)$$

дзе R — радыус Зямлі.

Выкарыстаўшы выраз (2), знаходзім:

$$v_2 = v_1 \sqrt{2}. \quad (4)$$

Калі падставіць у (4) ужо вядомае нам значэнне першай касмічнай скорасці, атрымаем, што калі паверхні Зямлі $v_2 \approx 11,2 \cdot 10^3$ м/с. Другая касмічная скорасць называецца таксама скорасцю вызвалення (уцякання, выслізгвання), ці **парабалічнай скорасцю**.

Трэцяя касмічная скорасць, ці **гіпербалічна скорасць** — гэта найменшая пачатковая скорасць, з якой цела павінна пераадолець зямное прыцяжэнне і выйсці на калясонечную арбіту са скорасцю, неабходнай для таго, каб назаўжды пакінуць межы Сонечнай сістэмы.

Разлікі даюць наступную формулу для знаходжання велічыні гэтай скорасці:

$$v_3 = \sqrt{(\sqrt{2}-1)^2 v^2 + v_2^2}, \quad (5)$$

дзе $v \approx 29,8 \cdot 10^3$ м/с — скорасць Зямлі на кругавой арбіце руху; вакол Сонца.

Падстаўляючы значэнне другой касмічнай скорасці v_2 у (5) і правёўшы разлік, атрымаем, што цела павінна мець мінімальную скорасць $v_3 \approx 16,7 \cdot 10^3$ м/с, каб назаўжды пакінуць межы Сонечнай сістэмы.

2. Арбіты касмічных апаратуў. Разлікі траекторый палётаў касмічных апаратуў گрунтуюцца на выкарыстанні законаў нябеснай механікі. Трэба адзначыць, што рух касмічных апаратуў апісваецца па законах нябеснай механікі толькі пасля выключэння рэактыўных рухавікоў. На пасіўным участку траекторыі (г. зн. пасля рухавікоў выключэння) касмічныя апараты рухаюцца пад уздзеяннем прыцяжэння Зямлі і іншых цел Сонечнай сістэмы.

Элементы арбіты штучных спадарожнікаў Зямлі ўзаемазвязаныя паміж сабой формулай

$$v_0^2 = GM \left(\frac{2}{r_0} - \frac{1}{a} \right), \quad (6)$$

дзе v_0 — пачатковая скорасць спадарожніка, M — маса Зямлі, r_0 — адлегласць пункта выхаду спадарожніка на арбіту ад цэнтра Зямлі, a — вялікая паўось арбіты спадарожніка.

Эксцэнтрысітэт арбіты e пры гарызантальным запуску спадарожніка роўны:

$$e = 1 - \frac{q}{a}, \quad (7)$$

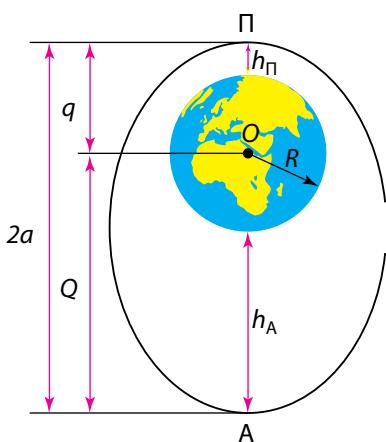
дзе q — адлегласць перыгея (найбліжэйшага пункта арбіты ад цэнтра Зямлі).

У выпадку эліптычнай арбіты (рыс. 46): $q = a(1 - e) = R + h_{\Pi}$, дзе h_{Π} — лінейная вышыня перыгеля над паверхній Зямлі. Адлегласць апагея (найбольш аддаленага пункта арбіты ад цэнтра Зямлі): $Q = a(1 + e) = R + h_A$, дзе h_A — вышыня апагея над зямной паверхній, R — радыус Зямлі.

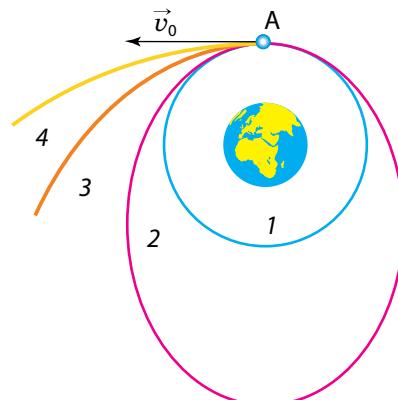
На рисунку 47 паказаны арбіты касмічных апаратуў без уліку ўзбурэння, г. зн. калі апараты застаюцца паблізу ад Зямлі. Калі ж касмічны апарат аддаліцца ад Зямлі на значную адлегласць, то на яго далейшы рух будзе ўплываць найперш прыцяжэнне Сонца. Радыус сферы дзеяння Зямлі прымаюць роўным прыкладна 930 тыс. км; на мяжы гэтай сферы ўплыў Сонца і Зямлі на касмічны апарат аднолькавы. Момант дасягнення мяжы сферы дзеяння Зямлі лічыцца момантам выхаду касмічнага апарату на арбіту адносна Сонца.

Пры запуску касмічных апаратуў да іншых планет зыходзяць з наступных асноўных меркаванняў:

- 1) геацэнтрычная скорасць касмічнага апарату пры выхадзе на арбіту адносна Зямлі павінна перавышаць другую касмічную скорасць;
- 2) геліяцэнтрычная арбіта касмічнага апарату павінна перасякацца з арбітай дадзенай планеты;



Рысунак 46 — Эліптычная арбіта штучнага спадарожніка Зямлі



Рысунак 47 — Формы арбіт касмічных апаратуў: 1 — кругавая; 2 — эліптычная; 3 — парабалічная; 4 — гіпербалічная

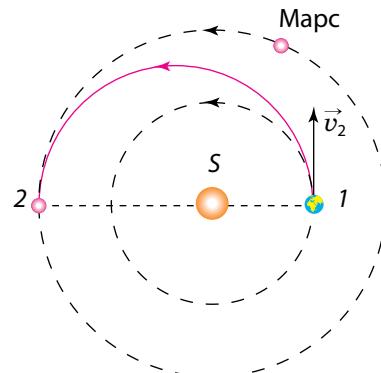
3) момент запуску неабходна вибраць так, каб арбіта была найбольш аптымальнай з пункту гледжання тэрмінаў палёту, затрат паліва і шэрага іншых патрабаванняў.

Адным з класаў міжпланетных траекторый з'яўляюцца энергетычна аптымальныя арбіты, якія адпавядаюць найменшай геацэнтрычнай скорасці касмічных апаратуў у момант дасягнення мяжы сферы дзеяння Зямлі. На рымсунку 48 паказана траекторыя пералёту на Марс, пабудаваная на меркаванні, што арбіты Зямлі і Марса кругавыя. Гэта арбіта называецца гоманаўскай у гонар нямецкага астронома Вальтэра Гомана, які займаўся тэорыяй міжпланетных палётаў.

У момент запуску касмічнага апарату Зямля знаходзіцца ў пункце 1. Геліяцэнтрычная скорасць v_2 касмічнага апарату павінна быць накіравана так сама, як і геліяцэнтрычная скорасць Зямлі, — па датычнай да арбіты Зямлі. Момент запуску трэба выбраць так, каб касмічны апарат і Марс, якія рухаюцца па сваіх арбітах, адначасова дасягнулі пункта 2. Літара S пазначана Сонцем. Разлікі паказваюць, што час палёту Зямлі да Марса па гэтай траекторыі складзе 259 сутак (без уліку параўнальна кароткага часу палёту да мяжы сферы дзеяння Зямлі).

3. Праблемы і перспектывы касмічных даследаванняў. Касманаўтыка — гэта комплексная галіна навукі і тэхнікі, якая забяспечвае даследаванне і выкарыстанне касмічнай прасторы з дапамогай аўтаматычных і пілатуемых касмічных апаратуў. Галоўнымі мэтамі касманаўтыкі (у парадку іх дасягнення) з'яўляюцца: выявіданне штучнага спадарожніка на арбіту Зямлі, палёт чалавека ў космас, палёт чалавека на Месяц, палёт чалавека на іншыя планеты, палёт да зорак. Першыя тры мэты дасягнуты.

Пачатак касмічнай эры быў закладзены ў СССР запускам першага штучнага спадарожніка Зямлі 4 кастрычніка 1957 г. Другая найважнейшая дата касмічнай эры — 12 красавіка 1961 г. У гэты дзень Ю. А. Гагарын упершыню ў гісторыі чалавецтва здзейсніў палёт у



Рымсунак 48 — Гоманаўская траекторыя пералёту з Зямлі на Марс



Ю. А. Гагарын



П. І. Клімук



У. В. Кавалёнак



А. В. Навіцкі

космас на касмічным караблі «Усход». Трэцяя гісторычна падзея касманаўтыкі — першая месячная экспедыцыя, якая ажыццяўлялася 16—24 ліпеня 1969 г. амерыканскімі астранаўтамі Н. Армстронгам, М. Колінзам і Э. Олдрынам. Значны ўклад у даследаванне касмічнай прасторы ўнеслі і касманаўты-беларусы П. І. Клімук, У. В. Кавалёнак, А. В. Навіцкі. Палёты чалавека ў космас для нас сталі ўжо амаль паўсядзённай з'явай.

Касманаўтыка садзейнічала ўзнікненню і развіццю новых тэхналогій. У перспектыве — глабальны экалагічны маніторынг Зямлі, устараненне пагроз астэроідна-каметнай небяспекі.

Сучасная тэорыя касмічных палётаў — **астрадынаміка** — заснаваная на класічнай нябеснай механіцы і тэорыі кіравання рухам ляタルных апаратуў. Касманаўтыка патрабуе дакладнай распрацоўкі аптымальных траекторый касмічных апаратуў з улікам шэрага ўмоў і абмежаванняў.

Стварэнне ракетна-касмічных комплексаў — таксама надзвычай складаная навукова-тэхнічная проблема. Касмічныя апараты павінны быць здольнымі да працяглага самастойнага функцыянавання ва ўмовах касмічнай прасторы. Акрамя таго, узікае шэраг дадатковых медыка-біялагічных проблем (ахова ад касмічнага асяроддзя, жыщезабеспечэнне экіпажа і г. д.). Усё гэта патрабуе распрацоўкі спецыяльных сістэм. Для забеспечэння палётаў касмічных апаратуў неабходна шырокая сетка наземных службаў кіравання.

Па сутнасці касманаўтыка — гэта галіна агульначалавечай дзейнасці. Нягледзячы на тое, што яна праводзіцца ў рамках нацыянальных праектаў, але закранае інтэрэсы многіх краін.



Галоўныя выводы

1. Скорасць, з якой касмічны апарат рухаецца па кругавой арбіце вакол нябеснага цела, называецца першай касмічнай скорасцю.
2. Скорасць, неабходная для таго, каб касмічны апарат выйшаў з сферы гравітацыйнага ўздзеяння Зямлі і абарачаўся вакол Сонца, называюць другой касмічнай скорасцю.
3. Скорасць, пры якой касмічны апарат, запушчаны з Зямлі, пакіне Сонечную сістэму, называецца трэцяй касмічнай скорасцю.
4. Арбіты касмічных апаратуў уяўляюць сабой элементы эліпсаў, парабал і гіпербол.



Кантрольныя пытанні і заданні

1. Апішыце першую, другую і трэцюю касмічныя скорасці.
2. Вызначыце перыяд абарачэння штучнага спадарожніка Зямлі, калі найвышэйшы пункт яго арбіты над паверхніяй Зямлі 36 000 км, а найніжэйшы — 300 км. Зямлю лічыць шарам радыусам 6370 км.
3. Па якіх арбітах могуць рухацца касмічныя апараты? Якім геаметрычным лініям адпавядаюць арбіты касмічных апаратуў для першай, другой і трэцяй касмічных скорасцей?
4. Якія арбіты касмічных апаратуў называюць гоманаўскімі?
5. Разлічыце першую і другую касмічныя скорасці для Месяца. Майце на ўвазе, што маса Месяца — $7,35 \cdot 10^{22}$ кг, а яе радыус — 1740 км.

Раздел IV

ПАРАЎНАЛЬНАЯ ПЛАНЕТАЛОГІЯ

§ 12. Агульныя характеристыкі планет. Паходжанне Сонечнай сістэмы

1. Будова і склад Сонечнай сістэмы. Пад Сонечнай сістэмай разумеюць усю касмічную прастору і ўсю матэрыю, якая знаходзіцца ў сферы прыцяжэння Сонца. Сонечная сістэма ўключае ў сябе: зорку Сонца, што знаходзіцца ў цэнтры сістэмы; планеты са спадарожнікамі; карлікавыя планеты; малыя целы (астэройды, каметы, метэарытныя і метэорныя целы), а таксама міжпланетны пыл, плазму і фізічныя палі ў паказаных межах.

Сонечная сістэма мае 8 вялікіх планет. Па меры аддаленасці ад Сонца яны размешчаны ў наступным парадку: Меркурый, Венера, Зямля, Марс, Юпітэр, Сатурн, Уран, Нептун.

Планетай называюць нябеснае цела, якое рухаецца вакол зоркі ў яе гравітацыйным полі, мае форму, блізкую да сферычнай, свеціцца адбітym ад зоркі святлом і расчысціла вобласць сваёй арбіты ад іншых дробных аб'ектаў. Вылучаюць планеты зямной группы (Меркурый, Венера, Зямля, Марс) і планеты-гіганты (Юпітэр, Сатурн, Уран, Нептун). Масы планет занадта малыя, каб унутры іх маглі праходзіць характэрныя для зорак ядзерныя рэакцыі. Вакол планет, акрамя Меркурыя і Венеры, абарачаюцца спадарожнікі, якіх зараз вядома ўжо больш за 170.

Па геліяцэнтрычных арбітах рухаюцца карлікавыя планеты, астэройды і метэарытныя целы. Акрамя таго, па моцна выцягнутых арбітах рухаюцца ледзяныя целы — каметы.

Правообладатель Адукацыя і выхаванне

Планеты і іншыя целы Сонечнай сістэмы пры руху па арбітах сутыкаюцца з метэорнымі целамі, міжпланетным пылам; узаемадзеянічаюць з электромагнітным выпраменяваннем Сонца і плазмай, што сыходзіць ад Сонца.

2. Асаблівасці будовы Сонечнай сістэмы.

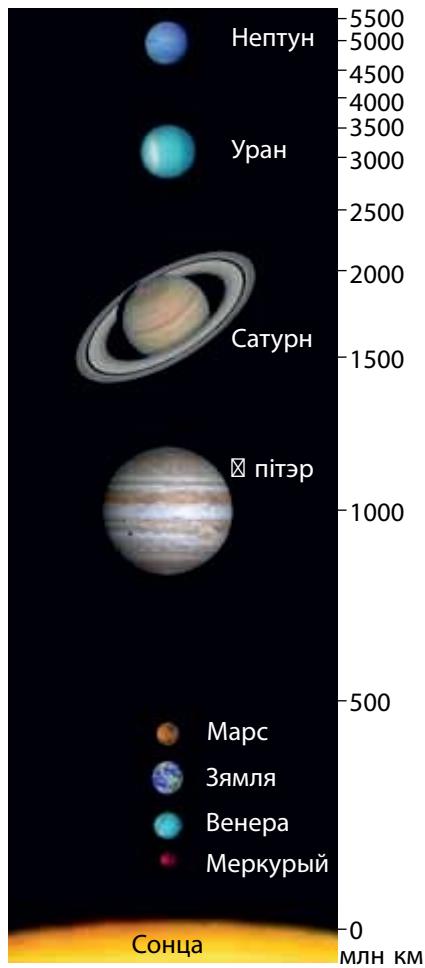
Характэрныя рысы будовы Сонечнай сістэмы вядомыя з астранамічных назіранняў і касмічных даследаванняў. Заключаюцца яны ў наступным:

1. Асноўная маса рэчыва Сонечнай сістэмы засяроджана ў Сонцы, якое ўяўляе сабой звычайную зорку. На масу ўсіх іншых складаючых сістэмы прыпадае $1/750$ частка масы Сонца (рыс. 49). Такім чынам, дамінуючым у Сонечнай сістэме з'яўляецца гравітацыйнае поле Сонца.

2. Арбіты планет і большасць астэроідаў ляжаць амаль у адной плоскасці, нязначна нахіленай да плоскасці сонечнага экватара. Нахіл экліптыкі да плоскасці сонечнага экватара складае $7^{\circ}15'$. Арбіты планет амаль кругавыя, г. зн. іх эксцэнтрысітэты мала адрозніваюцца ад нуля.

3. Усе планеты і астэроіды абарачаюцца вакол Сонца ў адным і тым жа напрамку. Вярчэнне Сонца вакол сваёй восі адбываецца ў той жа бок, што і рух планет вакол Сонца. Планеты абарачаюцца вакол сваіх восей у напрамку, які супадае з напрамкам іх абарачэння вакол Сонца. Выключэнне складаюць Венера і Уран, якія абарачаюцца ў процілеглы бок. Прычым восі вярчэння Урана ляжыць амаль у плоскасці яго арбіты. Нахіл восі вярчэння іншых планет не перавышае 60° да плоскасцей іх арбіт.

4. Планеты падзяляюцца на дзве групы, якія адрозніваюцца: планеты зямнога тыпу і планеты-гіганты. Планеты зямнога тыпу —



Рысунак 49 — Парадаўнальныя памеры Сонца і планет

цвёрдыя цэлы, параўнальна невялікія, маламасіўныя, аднак з вялікай сярэдняй шчыльнасцю, больш павольным вярчэннем і малой колькасцю спадарожнікаў (ці без іх). Яны размешчаны паблізу ад Сонца. **Планеты-гіганты** — больш масіўныя за планеты зямной групы, большыя па памерах і з меншай сярэдняй шчыльнасцю, вялікай скорасцю вярчэння і шматлікімі спадарожнікамі. Планеты-гіганты маюць магутныя атмасфery, якія складаюцца ў асноўным з вадароду і гелію.

5. Момант колькасці руху ($m \cdot v \cdot r$) паміж Сонцам і планетамі размяркоўваецца нераўнамерна. На долю Сонца, у якім засяроджана амаль уся маса Сонечнай сістэмы, прыпадае толькі 2 % яе поўнай колькасці руху.

6. Арбіты большасці спадарожнікаў планет блізкія да кругавых. Рух іх па арбітах адбываецца ў тым жа напрамку, у якім планеты рухаюцца вакол Сонца. Арбіты буйных спадарожнікаў у асноўным маюць малы нахіл да плоскасцей экватараў сваіх планет.

Пералічаныя асаблівасці неабходна ўлічваць пры пабудове мадэлі (тэорыі) фарміравання ўсяго комплексу цел Сонечнай сістэмы.

3. Паходжанне Сонечнай сістэмы. Для пабудовы тэорыі паходжання Сонечнай сістэмы неабходна ведаць узрост нябесных цел. Паводле сучасных уяўленняў, узрост найстаражытнейшых парод Зямлі дасягае 4,64 млрд гадоў. Аналіз парод, дастаўленых з Месяца, паказвае, што іх ўзрост складае прыкладна ад 2 да 4,5 млрд гадоў. Узрост жалезных і каменных метэарытаў складае прыкладна ад 0,5 да 5 млрд гадоў. Узрост Сонца і асобных зорак вызначаецца на аснове тэорыі будовы і эвалюцыі зорак. Для Сонца гэта прыблізна 5 млрд гадоў, што супадае з узростам іншых цел сістэмы. Апошніе дазваляе сцвярджаць, што Сонца і планеты сформіраваліся з адзінага воблака пылу і газу.

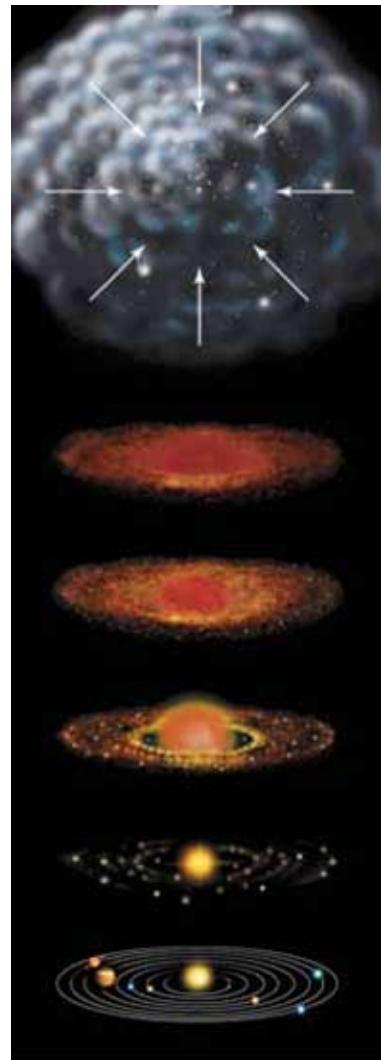
Ідэя аб утварэнні Сонца і планет з рэчыва адзінай газавай туманнасці ўпершыню была сформулявана І. Кантам у 1755 г. і дапрацавана П. Лапласам у 1796 г. Паводле гэтай гіпотэзы, Сонечная сістэма ўтварылася з вярчальнага гарачага газавага воблака, якое сціскалася пад уздзеяннем гравітацыі і распадалася на фрагменты (рыс. 50). Аднак гэта гіпотэза была непраканаўчай з-за мноства супярэчнасцей. Астрофізік Джэймс Джынс у 1919 г. пропанаваў гіпотэзу, паводле якой планетнае рэчыва было «вырванае» з Сонца пад уздзеяннем зоркі, якая блізка прыйшла ад яго. Вырванае сонечнае рэчыва распалася на асобныя часткі, з якіх утварыліся планеты.

Даныя фізіка-хімічных даследаванняў мэтэарытаў і зямных парод падказвалі, што гэтыя целы ўтварыліся не з газавых згусткаў, а з цвёрдага рэчыва. У 1944 г. сістэматычнай распрацоўкай тэорыі ўтварэння планет з цвёрдых часцінак каля сонечнага дапланетнага воблака заняўся О. Ю. Шміт. Гэтая тэорыя развіваецца і ў наш час.

Можна вылучыць наступныя асноўныя этапы паходжання і ранній эвалюцыі Сонечнай сістэмы:

1. Каля 4,6 млрд гадоў таму адбыўся выбух звышновай зоркі паблізу ад месца нараджэння Сонечнай сістэмы. Ударная хвала выбуху распаўсюдзілася ў касмічнай прасторы. Пад яе ўздзеяннем пачало згушчацца газапылавое воблака, якое складалася з вадароду, гелію і розных па саставе часцінак, што ўтрымлівалі як металы, так і рэдкія ізатопы цяжкіх хімічных элементаў. У ім ўтварыліся ўшчыльненні, узбагачаныя рэчывам звышновай зоркі. Ушчыльненне, якое спачатку павольна вярцелася пад ўздзеяннем сіл гравітацыі, пачало сціскацца і пераўтварацца ў дыскападобнае газапылавое воблака. У далейшым у цэнтры гэтага воблака ўтворыцца маладое Сонца. Утвораны вакол яго пратапланетны дыск паглынае большую частку моманту колькасці руху.

2. Паступова ў дыску газапылавога воблака маленькія пылінкі пачалі аб'ядноўвацца, захопліваючы газы з навакольнай прасторы. З дробных часцінак утвараліся больш буйныя камякі, а з іх фарміраваліся зародкі будучых планет (памерамі ў некалькі кіламетраў) — **планецеzімалі**, а пазней і самі планеты. Ва ўнутранай зоне лёгкія элементы (вадарод, гелій) пад ўздзеяннем светлавога ціску пакідалі цэнтральныя часткі дыска



Рысунак 50 — Утварэнне Сонечнай сістэмы паводле гіпотэзы О. Ю. Шміта

і пераходзілі на перыферыю. Таму паблізу ад Сонца планецезімалі фарміраваліся цалкам з камяністых мінералаў і злучэнняў металаў і ў рэшце рэшт пераўтварыліся ў планеты зямнога тыпу. Часцінкі ў сярэдній халоднай зоне пакрываліся лёдам, ядры будучых планет-гігантаў хутка раслі, захопліваючы навакольны газ. У самай халоднай зневісной частцы дыска рэчыва, якое кандэнсавалася, было амаль цалкам ледзяным. Мноства асобных ледзяных планецезімалей і глыб утварылі ядры камет і ледзяныя астэроіды.

Планеты зямнай групы дасягнулі сваіх памераў прыкладна праз 100 млн гадоў.

3. Далейшае гравітацыйнае сціканне падымала тэмпературу ў не-трах протапланет да тэмпературы плаўлення жалеза. З гэтага часу цяжкія кампаненты пачалі аддзяляцца і імкнуцца да цэнтра планет, а больш лёгкія рэчывы — падымашца да паверхні. На працягу мільярдаў гадоў ішло ўтварэнне кары — зневіснага слоя планет зямнай групы. Разаграванне Зямлі, напрыклад, супрадавождалася вылучэннем газаў і вадзянай пары. Паступова вадзянная пара кандэнсавалася і ўтварала моры і акіяны, а газы — атмасферу. Паводле саставу першасная атмасфера істотна адрознівалася ад сучаснай.

Спадарожнікі планет, якія рухаюцца ў напрамку вярчэння планет, утварыліся ў выніку тых жа працэсаў, што і самі планеты. Спадарожнікі, што рухаліся ў адваротным напрамку, былі захоплены планетай.



Галоўныя выводы

1. Сонечная сістэма — гэта матэрыя і ўся касмічная прастора, што знаходзіцца ў сферы прыцяжэння Сонца.
2. Сонечная сістэма складаецца з Сонца, вялікіх і карліковых планет і іх спадарожнікаў, малых цел, міжпланетнага пылу, плазмы, фізічных палёў.
3. Галоўныя асаблівасці Сонечнай сістэмы складаюцца з таго, што яе асноўная маса засяроджана ў Сонцы, арбіты планет і большасці астэроідаў ляжаць амаль у адной плоскасці, абарачаючыца ў тым жа напрамку, што і Сонца.
4. Сярод планет Сонечнай сістэмы адрозніваюць планеты зямнай групы і планеты-гіганты.
5. Сонечная сістэма ўтварылася з вярчальнага газапылавога воблака.



Кантрольныя пытанні і заданні

1. Што разумеюць пад Сонечнай сістэмай?
2. Што называюць планетай? Якія планеты ўваходзяць у склад Сонечнай сістэмы?
3. Адзначце асноўныя асаблівасці будовы Сонечнай сістэмы.
4. Які ўзрост найстараражытнейшых парод Зямлі; мінералаў, прывезеных з Месяца; метэарытаў, якія ўпалі на Зямлю?
5. У чым сутнасць гіпотэз І. Канта, П. Лапласа, О. Шміта аб паходжанні Сонца і планет?
6. Адзначце асноўныя этапы паходжання і ранній эвалюцыі Сонечнай сістэмы.

§ 13. Планеты зямной группы

1. Меркурый. Меркурый — самая блізкая да Сонца планета (рыс. 51). Яна пастаянна «хаваецца» ў сонечных прамянях, таму яе цяжка ўбачыць зямному назіральніку.

У Меркурыя няма атмасфери, яго паверхня не абаронена ад пякучых сонечных прамянёў днём і касмічнага холаду ноччу. Удзень на паверхні планеты тэмпература падымаецца да $+430^{\circ}\text{C}$, а ўначы апускаецца да -170°C . Перапад тэмператур адбываецца павольна, таму што сонечныя суткі (прамежак паміж двума паслядоўнымі поўднямі) на Меркурыі роўныя 176 зямным.

Уся камяністая паверхня Меркурыя пакрыта шматлікімі кратарамі. Большасць з іх утварылася ў выніку падзення метэарытаў. Кратары на картах Меркурыя названы ў гонар славутых прадстаўнікоў сусветнай культуры: Бетховен, Гамер, Дастаўскі, Пушкін, Талстой і інш.

Вугал нахілу восі вярчэння Меркурыя перпендыкулярны да яго арбіты, таму дно каляпалалярных кратараў ніколі не асвятляецца Сонцем. Гэтыя зоны з'яўляюцца сховішчамі вадзяного лёду, перамяшанага з горнай пародай.



Рысунак 51 — Меркурый



Рысунак 52 — Крутыя ўступы на паверхні Меркурыя

Горы, якія сустракаюцца на Меркурыі, дасягаюць вышыні ўсяго 2—4 км. На планете выяўлены ўступы вышынёй 2—3 км, што цягнуцца на сотні кіламетраў (рыс. 52). Магчыма, яны з'явіліся пры фарміраванні планеты з-за нераўнамернага спіскання ў працэсе ахалоджвання.

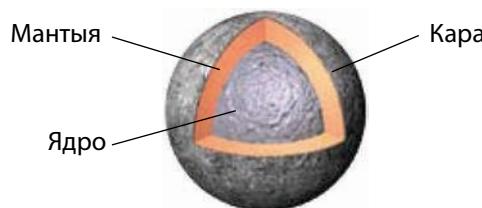
Паблізу ад паверхні Меркурыя выяўлены атамы гелію і вадароду, а таксама аргону і натрью. Крыніцай іх з'яўляюцца сонечныя вецы і рэчыва планеты, якое навараецца і абпраменяваецца Сонцем.

Магнітнае поле яго надзвычай малое, яго напружанаесць у 300 разоў меншая за зямную.

Параметры Меркурыя глядзіце ў табліцы 2.

Табліца 2 — Параметры Меркурыя

Зорная велічыня (найбольшая)	-2,2	Дыяметр па экватары	4880 км
Сярэдняя адлегласць да Сонца	57,9 млн км	Маса (Зямля = 1)	0,055
	0,387 а. а.	Сярэдняя шчыльнасць	$5,4 \cdot 10^3$ кг/м ³
Перыяд абарачэння вакол Сонца	88 зямных сутак	Сіла прыцяжэння на экватары (Зямля = 1)	0,38
Перыяд абарачэння вакол восі	58,6 зямных сутак	Тэмпература паверхні	Ад -170 да +430 °C



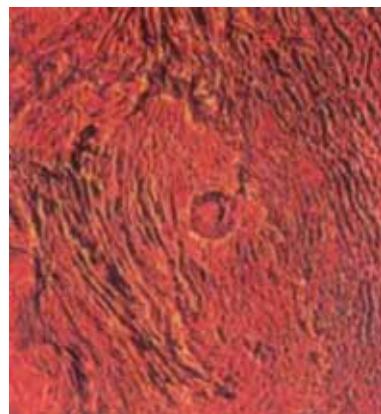
2. Венера. Венера — другая ад Сонца планета Сонечнай сістэмы (рыс. 53). Яна амаль такіх жа памераў, як і Зямля, а яе маса складае больш за 80 % ад зямной масы. На небе яе можна назіраць раніцай або вечарам у выглядзе вельмі яркага свяціла. Шчыльная атмасфера Венеры доўга захоўвала таямніцы яе паверхні. Вучоныя яшчэ ў сярэдзіне ХХ ст. думалі, што планета пакрыта трапічнымі лясамі. Аднак савецкія касмічныя аппараты «Венера», якія дасягнулі паверхні планеты, сфатаграфавалі мёртву распаленную пустыню. Тэмпература паверхні дасягае 470°C і амаль не змяняецца на працягу сутак (гл. табл. 3 на с. 83). Шчыльныя воблакі прапускаюць мала сонечнага светла і ствараюць «эмрочную» асветленасць нават тады, калі Сонца знаходзіцца высока над гарызонтам.

Большую частку паверхні Венеры займаюць раўніны. Самыя высокія горы, якія падымаюцца на 11 км над сярэднім узроўнем паверхні, — Горы Максвела. На Венеры выяўлены кратары дыяметрам да соцен кіламетраў (рыс. 54). Буйныя кратары названыя ў гонар славутых жанчын свету (Ахматава, Войніч, Дункан, Арлова) ці проста жаночымі імёнамі (Антаніна, Валянціна, Зоя, Ірына, Нана, Оля і інш.). Шырокія ўзыышы-мацерыкі маюць назвы: Зямля Афрадыты, Зямля Іштар, Зямля Лады і інш.

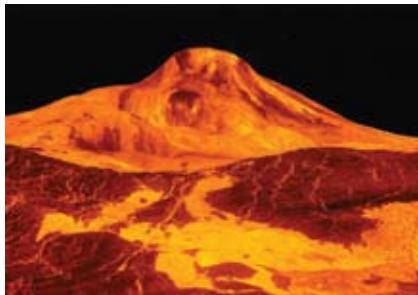
Калі 500 млн гадоў таму на Венеры адбылася глабальная геалагічная катастрофа. Сотні тысяч дзеючых вулканаў выверглі вялікую колькасць лавы, якая накрыла ўсю паверхню планеты. Самы высокі патухлы



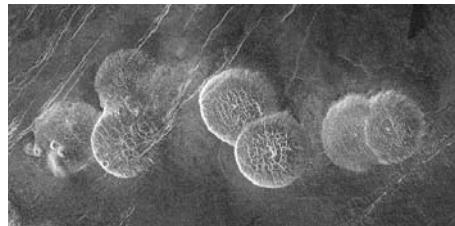
Рысунак 53 — Венера.
Фотаздымак выкананы
ва ўльтрафіялетавых прамянях



Рысунак 54 — Венера. Раён Гор
Максвела: вялізны кратар дыяметрам
каля 100 км



Рысунак 55 — Гара Маат — патухлы вулкан на Венеры



Рысунак 56 — Застылые пузыры вулканічнай лавы на Венеры.

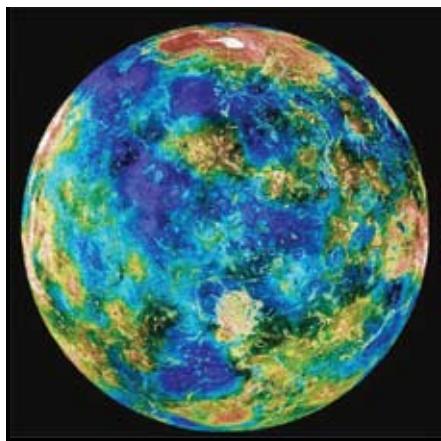
Радыёлакацыйны відарыс, перададзены касмічным караблем «Магелан» у 1991 г.

вулкан (рыс. 55) — гара Маат, названая так у гонар егіпецкай багіні ісціны і парадку, — уздымаецца над навакольнай раённай амаль на 8 км. Асобныя вулканы дасягаюць вышыні 3 км пры шырыні каля падножжа 500 км. Шматлікія застылые пузыры лавы маюць купалападобную форму (рыс. 56).

Для даследавання рэльефу планеты выкарыстоўваўся метад радыёлакацыі. Аўтаматычная міжпланетная станцыя «Магелан» з 1990 па 1994 г. правяла глабальную радыёлакацыю паверхні Венеры. На аснове атрыманых даных былі складзены рэльефныя карты і з'явілася магчымасць узнавіць дэталі паверхні ў аб'ёмным адлюстраванні (рыс. 57).

Атмасфера Венеры складаецца ў асноўным з вуглякілага газу. Ціск каля паверхні планеты ў 95 разоў вышэйшы, чым каля паверхні Зямлі. Дзякуючы такому хімічнаму саставу, а таксама вялікай шчыльнасці атмасфера Венеры ўяўляе сабой вялікі «парнік». Парніковы эфект і абумоўлівае высокую тэмпературу паверхні.

Воблакі Венеры маюць сладкую структуру. Яны размяшчаюцца на вышыні ад 48 да 70 км і ўтрымліваюць кропелькі сернай кіслаты. Скорасць ветру каля паверхні планеты дасягае 1 м/с. У атмасфери назіраюцца маланкі.



Рысунак 57 — Рэльефная карта паверхні Венеры, складзеная паводле даных радыёлакацыйных даследаванняў касмічнага аппарата «Магелан»

Магнітнае поле Венеры вельмі малое з-за павольнага вярчэння планеты вакол восі з усходу на захад. Яго напружанаасць у 104 разы меншая, чым у зямнога. Магнітасфера амаль поўнаасцю адсутнічае, таму паток зараджаных часцінок, які ідзе ад Сонца, сутыкаецца з атмасферай планеты, захоплівае яе рэчыва, фарміруючы іонны шлейф. Касмічная абсерваторыя SOHO выявіла, што гэты «хвост» расцягваецца на 45 млн км, г. зн. дасягае Зямлі.

Параметры Венеры глядзіце ў табліцы 3.

Табліца 3 — Параметры Венеры

Зорная велічыня (найбольшая)	-4,7	Дыяметр па экватары	12 104 км
Сярэдняя адлегласць да Сонца	108,2 млн км	Маса (Зямля = 1)	0,815
	0,723 а. а.	Сярэдняя шчыльнаасць	$5,2 \cdot 10^3$ кг/м ³
Перыяд абарачэння вакол Сонца	224,7 зямных сутак	Сіла прыцяжэння на экватары (Зямля = 1)	0,9
Перыяд абарачэння вакол восі (зваротнае абарачэнне)	На працягу 243 зямных сутак	Тэмпература паверхні	470 °C

3. Зямля. Зямля — трэцяя па ліку планета Сонечнай сістэмы. З космасу наша планета выглядае прыгожым блакітным шарам (рыс. 58). Праз воблачнае покрыва можна разгледзець мацерыкі і акіянны.

Дэталі паверхні Зямлі і ўмовы жыцця добра вам вядомыя, таму мы спынімся больш падрабязна на будове нетраў. Мадэлі ўнутранай будовы Зямлі і астатніх планет зямной группы прыкладна падобныя.

На запісах ваганняў зямной паверхні пры землетрасеннях — **сейсмаграмах** — было ўстаноўлены, што ўнутраная будова планеты па вертыкальні слаістая. На хімічным саставе і фізічных характеристыках



Рысунак 58 — Фатаграфія Зямлі з космасу

вылучаючы тры асноўныя сферычныя аблонкі: цвёрдая кара, мантыя і ядро. Самы тонкі знешні слой — **цвёрдая кара**. Каля Зямлі яна распасціраецца ў сярэднім на глыбіню 35 км (акіянічная кара — 10 км, кантынентальная кара — 70 км). Па хімічным саставе зямная кара складаецца з кіслароду (46,6 %), крэмню (27,7 %), алюмінію (8,1 %), жалеза (5 %), кальцыю (3,6 %) і іншых хімічных элементаў. Агульная маса зямной кары складае ўсяго 0,8 % агульной масы Зямлі. Кары аддзяляеца ад наступнай за ёй **мантыі** выразнай мяжой.

Ядро — найбольш шчыльная частка планетных нетраў. У цэнтры Зямлі шчыльнасць рэчыва дасягае $13\ 500\ \text{кг}/\text{м}^3$, а тэмпература ацэнываецца ў 6000 К. Радыус ядра складае 55 % радыуса Зямлі, а маса — каля 30 % масы планеты. Зямное ядро падзяляеца на знешняе і цвёрдае ўнутранае радыусам 1270 км. Переходная зона паміж знешнім і ўнутраным часткамі ядра вельмі тонкая — каля 5 км. У Венеры аналагічнае ядро. Найбольш магутнае ядро мае Меркурый, радыус якога складае 70 % радыуса планеты, а маса — 60 % масы ўсёй планеты. У Марса невялікае ядро масай ўсяго 7 % ад ўсёй масы планеты, а яго радыус складае 28 % радыуса Марса. Ядры планет у асноўным складаюцца з жалеза з дамешкай сярністага жалеза. Вадкі знешні слой ядра, магчыма, ёсьць у Меркурыя і Венеры.

Крыніцамі разагравання нетраў планет з'яўляюцца:

- 1) выдзяленне цеплаты пры распадзе радыактыўных элементаў;
- 2) энергія, якая выдзяляеца пры ўдараў цел розных памераў (астэроідаў і інш.) аб паверхню планеты;
- 3) награванне за кошт сціскання рэчыва планеты і гравітацыйнай дыферэнцыяцыі.

Гравітацыйная дыферэнцыяцыя ўяўляе сабой працэс паступовага пераразмеркавання рэчыва па шчыльнасці — цяжкія элементы імкнуцца да цэнтра, а лёгкія элементы падымаюцца да паверхні. Гэты працэс у Зямлі яшчэ не завяршыўся. Рух рэчыва ўнутры планеты ўплывае на кару, выклікаючы землетрасенні, гораўтварэнні, тэктанічныя і вулканічныя працэсы.

Магнітнае поле Зямлі генерыруеца ў вадкім металічным слоі ядра.

Зямная атмасфера складаецца ў асноўным з азоту і кіслароду.

Параметры Зямлі глядзіце ў табліцы 4.

Табліца 4 — Параметры Зямлі

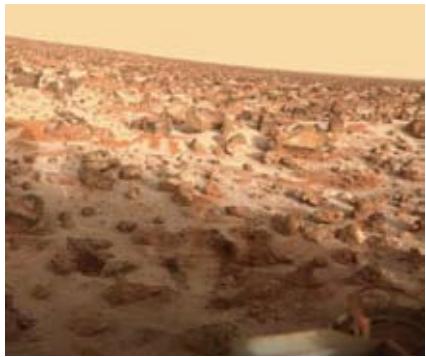
Вугал нахілу экватара да плоскасці арбіты	23,4°	Дыяметр па экватары	12 756 км
Сярэдняя адлегласць да Сонца	149,6 млн км	Маса	$5,97 \cdot 10^{24}$ кг
	1 а. а.	Сярэдняя шчыльнасць	$5,5 \cdot 10^3$ кг/м ³
Перыйяд абарачэння вакол Сонца	365,26 зямных сутак	Тэмпература паверхні	Ад -83 да +52 °C
Перыйяд абарачэння вакол восі	23,93 г		

4. Марс. Марс — чацвёртая па ліку планета Сонечнай сістэмы ў адносінах да Сонца (рыс. 59). Для назіральніка яна паўстае ў выглядзе яркага чырвонага свяціла. З дапамогай аматарскіх тэлескопаў можна ўбачыць паллярныя шапкі Марса і некаторыя буйныя дэталі яго паверхні.

Атрыманыя з дапамогай касмічных апаратуў відарысы паверхні Марса паказалі, што планета ўяўляе сабой мёртвую пустыню, значная частка якой пакрыта чырвонаватым пяском і ўсеяна камянімі. Чырвоны колер паверхні Марса тлумачыцца высокім утрыманнем у глебе аксідаў жалеза (гл. рыс. 59).



Рысунак 59 — Марс



Рысунак 60 — Снег на паверхні Марса. Фатаграфія зроблена спускальным апаратам «Вікінг-2»

На паверхні Марса атмасфера вельмі разрэджаная, таму існуюць вялікія сутачныя ваганні тэмпературы: калі ўдзень тэмпература на экватары падымаемца летам да $+15^{\circ}\text{C}$, то ноччу яна апускаецца да -65°C . Зімой на паверхні Марса назіраюцца снег і іншы (рыс. 60), аднак вада ў вадкім стане там існаваць не можа. Ціск каля паверхні планеты ў 100—170 разоў меншы, чым на Зямлі. Ва ўмовах нізкага атмасфернага ціску вада закіпае пры тэмпературы $+2^{\circ}\text{C}$ і адразу ж выпараеца.

На Марсе вельмі шмат ударных кратараў вялікага памеру. Гэта сведчыць аб

тым, што планета перажыла мноства катастроф, якія змянілі ўмовы яе паверхні. Кратары на Марсе названы ў гонар вучоных, прысвяціўших сваю дзейнасць вывучэнню Марса і планет Сонечнай сістэмы (напрыклад, кратар Ціхаў).

Паверхня Марса характарызуецца рэзка выяўленай асиметрыяй. Паўднёвае гарыстае паўшар'е ў сярэднім на 5 км вышэйшае за Паўночнае. На здымках марсіянскай паверхні добра бачныя шматлікія буйныя і дробныя канъёны. Іх шырыня дасягае 600 км, глубіня — 5 км. Самы вялікі каньён — Даліна Марынера — цягнецца амаль на 5000 км (на рыс. 59 ён бачны як цёмная структура, якая перасякае дыск планеты).

Здзіўляюць сваімі маштабамі патухлыя вулканы Марса. Самы высокі — гары Алімп (рыс. 61) — уздымаюцца над паверхніем на 27 км. Дыяметр яго падножжа дасягае 600 км. Узрост гэтых структур — каля 400 млн гадоў.

Вядомыя палярныя шапкі Марса ўтвораны тоўстымі слаямі, прыкладна 3 км, лёду, перамешанага з пылам. Верхні слой палярных шапак складаеца



Рысунак 61 — Гара Алімп на Марсе

з «сухога лёду» (замерзлага вуглякіслага газу — CO_2) з невялікай дамешкай звычайнага лёду (H_2O). Тэмпература тут апускаецца ніжэй за -110°C . Калі на адным з паўшар'я ў пачынаеца зіма, адпаведная палярная шапка пачынае расці і дасягае 57° шыраты ў Паўночным паўшар'і і 45° — у Паўднёвым. З надыходам вясны шапкі пачынаюць раставаць. Увесень, калі фарміруюцца палярныя шапкі, можна назіраць блакітна-белыя воблакі ў атмасферы планеты.

Загадкавыя марсіянскія даліны, падобныя на высахлыя рэчышчы (рыс. 62), былі створаны воднымі патокамі, што зніклі больш за мільярд гадоў таму. Аб наяўнасці вады на Марсе ў старадаўнія часы сведчаць многія факты. У 1999 г. былі апублікованы вынікі даследаванняў, якія даказвалі, што на Марсе раней існаваў акіян вады. Гэта высветлілася з дапамогай фотаздымкаў (передадзеных на Зямлю станцыяй «Марс Глобал Сурвээр») па асаблівасцях рэльефу, якія ўяўлялі сабой старадаўнюю берагавую лінію. Акіян мог існаваць, пакуль тэмпература паверхні Марса была дастаткова высокай. Планета пачала ахалоджвацца каля мільярда гадоў таму. Тонкая атмасфера Марса не перашкаджала «выпарванню» вады ў міжпланетную прастору. Пры зніжэнні тэмпературы замерзлая вада ўперамешку з пяском утварыла падпаверхневую ледзянную абalonку — **крыясферу**. Крыясфера Марса ўтримлівае колькасць вады, эквівалентную слою таўшчынёй каля 1 км па ўсёй планете.

Атмасфера Марса мае нізкую шчыльнасць і складаецца ў асноўным з вуглякіслага газу. Скорасць ветру каля паверхні планеты не перавышае 15 м/с. Марс — адзіная планета, дзе назіраюцца глабальныя пылавыя буры. Яны ствараюць антыпарніковы эфект, таму што воблакі пылу не пропускаюць сонечнае выпраменяванне да паверхні. Як вынік — паверхня моцна ахалоджваецца, а пыл і навакольная атмасфера, наадварот, разаграюцца. У атмасфери Марса назіраюцца пясчаныя віхры, якія закручваюць слупы пылу вышынёй да 8 км. Часцінкі воблакаў складаюцца з сілікатных і ледзянных пылінак. Пыл на Марсе падымаецца так высока ў атмасферу, што закрывае гару Алімп.

Марс мае слабае магнітнае поле з напружанасцю ў 500 разоў меншай, чым у зямнога поля.



Рысунак 62 — Высахлыя рэчышчы марсіянскіх рэк

Параметры Марса глядзіце ў табліцы 5.

Табліца 5 — Параметры Марса

Зорная велічыня (найбольшая)	-2,0	Дыяметр па экватары	6794 км
Сярэдняя адлегласць да Сонца	228,0 млн км	Маса (Зямля = 1)	0,107
	1,524 а. а.	Сярэдняя шчыльнасць	$3,9 \cdot 10^3$ кг/м ³
Перыяд абарачэння вакол Сонца	1,88 зямнога года	Сіла прыцяжэння на экватары (Зямля = 1)	0,38
Перыяд абарачэння вакол восі	24,62 г	Тэмпература паверхні	Ад -130 да +15 °C

Галоўныя выводы

- Планеты зямной группы параўнальна малыя (іх агульная маса перавышае 0,5 % ад масы ўсіх планет Сонечнай сістэмы) і ўяўляюць сабой цвёрдыя целы з высокай сярэдняй шчыльнасцю.
- Усе планеты зямной группы маюць бліzkую будову і складаюцца з ядра, мантыі, цвёрдай кары.
- Для паверхняў планет зямной группы характэрныя кратары, горы, вулканы.
- Планеты зямной группы (акрамя Меркурыя) маюць зневажливыя абалонкі: атмасферу (Венера, Зямля, Марс), гідросферу і біясферу (Зямля), крыясферу (Марс).

Кантрольныя пытанні і заданні

- 3 якіх абалонак складаюцца планеты?
- Пералічыце крэніцы награвання нетраў планет.
- Што называюць гравітацыйнай дыферэнцыяцыяй?

4. З якіх асноўных хімічных элементаў складаецца паверхня Зямлі, Меркурыя, Марса?
5. Апішыце паверхні планет зямной групы.
6. Якія асаблівасці маюць атмасфери планет зямной групы?

§ 14. Планеты-гіганты

1. Юпітэр. Юпітэр — самая вялікая з планет-гігантаў (рыс. 63). Яго маса значна перавышае масу ўсіх іншых планет, разам узятых. Юпітэр уяўляе сабой газападобнае цела з надзвычай магутнай атмасферай, якая складаецца ў асноўным з вадароду і гелію, што ўласціва і для іншых планет гэтай групы. Па сярэдняй шчыльнасці, перавазе вадароду і гелію Юпітэр падобны да зорак. У адрозненне ад планет зямной групы у гігантаў няма цвёрдай паверхні. Тоэ, што мы назіраем, — гэта вяршыні воблакаў, якія плаваюць у атмасферах. З-за хуткага вярчэння планет-гігантаў і моцных вятроў воблакі выцягваюцца ў палосы, паралельныя экватару. Афарбоўку воблакам надаюць дамешкі аміачных утварэнняў, метан і іншыя складаныя злучэнні.

Светлыя і цёмныя палосы атмасфэры Юпітэра тлумачацца рознымі зонамі ціску. Светлыя зоны — гэта зоны высокага ціску, а цёмныя — нізкага. Цёплыя газы падымаюцца ўгару ў вобласці зон і ахалоджаюцца, дасягнуўшы верхній мяжы воблакаў. Астыўшы, яны трапляюць у суседнія палосы з нізкім ціскам.

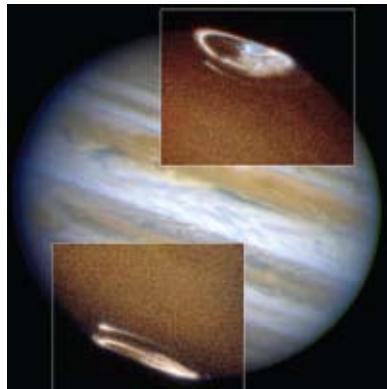
У экватарыяльнай зоне (ад $+9^{\circ}$ да -9°) газавыя цячэнні накіраваны строга з заходу на ўсход. Скорасць руху газавых мас дасягае 180 м/c (паводле даследаванняў міжпланетнай касмічнай станцыі «Галілео»). Каля шырот ад $+20^{\circ}$ да -20° рэчыва рухаецца ў адваротным напрамку, з усходу на заход, са скорасцю каля 50 м/c . Паміж асноўнымі цячэннямі існуюць віхры і струмені.



Рысунак 63 — Юпітэр.
Фатаграфія атрымана
касмічным апаратам «Касіні».
Цёмная пляма — ценъ
спадарожніка Io



Рысунак 64 — Вялікая Чырвоная Пляма на Юпітэры



Рысунак 65 — Палярныя знянні на Юпітэры. Фатаграфія зроблена касмічным тэлескопам Хабла

Для Юпітэра, як і для ўсіх планет-гігантаў, характэрныя светлыя і цёмныя авальныя плямы. Найбольш прыкметная з іх — Вялікая Чырвоная Пляма (рыс. 64), якую назіраюць на працягу трох стагоддзяў. Гэта вялікі і надзвычай устойлівы віхар, падобны на зямны ўраган.

У палярных воблаках Юпітэра назіраеца з'ява, падобная на зямное паўночнае знянне (рыс. 65).

Уяўленні аб унутранай будове планет-гігантаў атрыманы на аснове назіранняў і тэарэтычных мадэлей, якія грунтуюцца на ўласцівасцях вадароду.

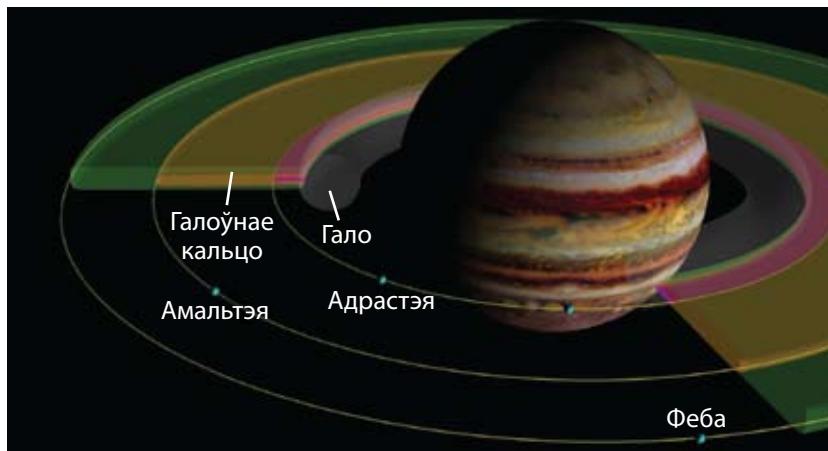
На дне атмасфery Юпітэра, якая ўшчыльніяецца ўглыб на 1500 км, знаходзіцца слой вадкага вадароду. Далей атмасфера пераходзіць у асаблівы газавадкі стан.

На ўзроўні прыкладна 0,77 радыуса планеты пачынаеца абалонка, дзе вадарод набывае ўласцівасці металу. Тут ён сціскаеца так моцна ($4 \cdot 10^{12}$ Па), што электроны пакідаюць свае атамы і свабодна перамяшчаюцца. Гэта прыводзіць да з'яўлення магнітнага поля Юпітэра, напружанасць якога на мяжы воблачнага слоя ў 12 разоў большая, чым у зямнога магнітнага поля.

У цэнтры Юпітэра знаходзіцца цвёрдае ядро, якое складаеца з аксідаў крэмнію, магнію і жалеза з дамешкамі. Дыяметр унутранага ядра — каля 25 тыс. км, тэмпература ў яго цэнтры складае 23 000 К. Такая высокая тэмпература тлумачыцца павольным гравітацыйным сцісканнем планеты.

У 1979 г. касмічныя аппараты «Вояджэр-1» і «Вояджэр-2» выявілі ў Юпітэра кольцы (рыс. 66). Яны складаюцца з вельмі дробных пылінак

Правообладатель Адукацыя і выхаванне

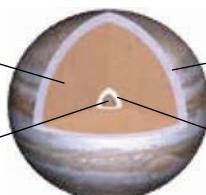


Рысунак 66 — Схема кольцаў Юпітэра

(0,2—200 мкм). Гэтыя пылінікі паступова падаюць у атмасферу Юпітэра, а іх месца займаюць іншыя, якія ўтвараюцца пры сутыкненні малых спадарожнікаў, асабліва Амальтэя, з метэарытнымі целамі.

Параметры Юпітэра глядзіце ў табліцы 6.

Табліца 6 — Параметры Юпітэра

Зорная величыня (наибольшая)	-2,7	Дыяметр па экватары	142 980 км
Сярэдняя адлегласць да Сонца	778,6 млн км	Маса (Зямля = 1)	318
	5,204 а. а.	Сярэдняя шчыльнасць	$1,3 \cdot 10^3$ кг/м ³
Перыяд абарачэння вакол Сонца	11,87 зямнога года	Сіла прыцяжэння на экватары (Зямля = 1)	2,2
Перыяд абарачэння вакол восі	9,92 г	Тэмпература верхняга слоя воблакаў	-133 °C
 A circular diagram showing a cross-section of Jupiter's interior. It features concentric layers: an innermost dark core labeled 'Цвёрдае ядро' (Solid core); a thick, light-colored layer labeled 'Вадкі вадарод' (Liquid hydrogen); an outer layer labeled 'Газападобныя вадарод і гелій' (Gas-like hydrogen and helium); and an outermost thin layer labeled 'Металічны вадарод' (Metallic hydrogen).			

2. Сатурн. Сатурн — другая па велічыні планета-гігант, абкруженая прыгожымі кольцамі (рыс. 67). Дыск планеты прыкметна сплясканы каля полюсаў. Гэта выкліканы тым, што ў Сатурна самая нізкая шчыльнасць сярод усіх планет Сонечнай сістэмы.

Кольцы Сатурна (рыс. 68) заўважыў яшчэ Галілео Галілей: у 1610 г. ён прыкметіў па абодва бакі дыска незразумелыя прыдаткі. Але толькі Крысціян Гюйгенс у 1656 г. разгледзеў тонкае плоскае кальцо, якое не датыкаеца да планеты. З Зямлі ў тэлескоп можна заўважыць некалькі кольцаў, аддзеленых адно ад аднаго цёмнымі прамежкамі.

На аснове спектральных даследаванняў у 1895 г. рускі вучоны А. А. Белапольскі ўстанавіў, што кольцы не маналітныя, а складаюцца з асобных дробных цел. Здымкі, атрыманыя касмічным апаратам «Вояджэр-2», паказалі, што сістэму кольцаў утвараюць тысячи тонкіх кольцаў. Кожнае з іх складаеца з бясконцага мноства абломкаў лёду памерам ад найдробнейшых пылінак да некалькіх метраў. Таўшчыня кольцаў не перавышае 2 км, а таўшчыня асобнага кальца — не больш за 30 м.

Плоскасць кольцаў размешчана ў плоскасці экватара Сатурна, якая мае нахіл 27° да плоскасці арбіты. Пры руху Сатурна па арбіце кольцы захоўваюць сваё становішча ў прасторы і двойчы за адзін абарот планеты вакол Сонца аказваюцца павернутымі да Зямлі сваім рабром. Паколькі таўшчыня іх малая, то ў невялікія тэлескопы яны ў гэты час не бачныя. Дыяметр зневядзяга краю кальца складае 272 тыс. км, а унутранага — 144 тыс. км. Сумарная маса кольцаў складае каля $3 \cdot 10^{-8}$ масы Сатурна.

Напружанаасць магнітнага поля Сатурна блізкая да зямной.



Рысунак 67 — Сатурн.
Фатаграфія зроблена касмічным
тэлескопам Хабла

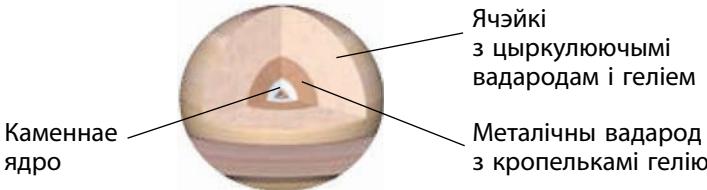


Рысунак 68 — Структура кольцаў Сатурна (колеры ненатуральныя — яны падкрэсліваюць адрозненні мінералагічнага саставу кольцаў)

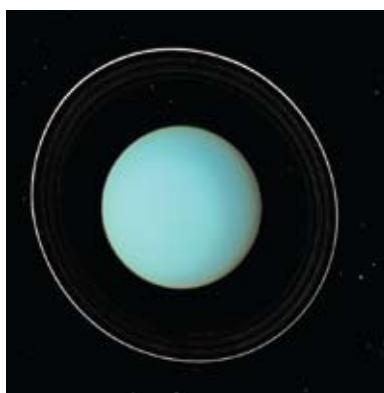
Параметры Сатурна глядзі ў табліцы 7.

Табліца 7 — Параметры Сатурна

Зорная велічыня (найбольшая)	0,7	Дыяметр па экватары	120 536 км
Сярэдняя адлегласць да Сонца	1434 млн км	Маса (Зямля = 1)	95,2
	9,56 а. а.	Сярэдняя шчыльнасць	$0,7 \cdot 10^3$ кг/м ³
Перыяд абарачэння вакол Сонца	29,67 зямнога года	Сіла прыцяжэння на экватары (Зямля = 1)	1,1
Перыяд абарачэння вакол восі	10,66 г	Тэмпература верхняга слоя воблакаў	-170 °C



3. Уран. Уран — трэцяя па велічыні планета-гіант. Планета мае вельмі прыгожы зеленавата-блакітнаваты колер (рыс. 69). Прычына гэтага — у складзе атмасфери планеты і яе тэмпературы. Пры тэмпературы -217 °C у верхніх слаях вадародна-геліевай атмасферы Урана ўтварылася метанавая смуга. Метан добра паглынае чырвоныя прамяні і адбівае блакітныя і зялёныя. Таму планета і набыла прыгожы бірузовы колер. У атмасферы Урана не назіраецца ніякіх прыкметных узбурэнняў.



**Рысунак 69 — Уран. Фатаграфія
атрымана касмічным
тэлескопам Хабла**

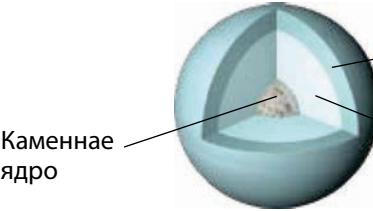
У 1977 г. былі адкрыты кольцы Урана. Здымкі, зробленыя «Вояджэрам-2» у 1986 г., пацвердзілі іх існаванне. Уран абаружаны адзінаццю вузкімі кольцамі, якія размешчаны ў плоскасці экватара на адлегласці ад 42 да 51,4 тыс. км (ці 1,65—

2,02 радыуса) ад цэнтра планеты. Тыповая шырыня кольцаў ад 1 да 8 км, толькі ў самага вялікага яна вагаецца ад 22 да 93 км. Таўшчыня кольцаў не перавышае 1 км. Кольцы Урана складаюцца з дробнага пылу і невялікіх цвёрдых цёмных часцінок.

Магнітнае поле Урана мае адну цікавую асаблівасць. Вось вярчэння планеты амаль супадае з плоскасцю арбіты, і лініі магнітнага поля скручены вярчэннем Урана ў доўгі штопар, які знаходзіцца за планетай. Напружанае магнітнага поля прыблізнае роўная зямной.

Параметры Урана глядзіце ў табліцы 8.

Табліца 8 — Параметры Урана

Зорная велічыня (найбольшая)	5,5	Дыяметр па экватары	51 120 км
Сярэдняя адлегласць да Сонца	2870 млн км	Маса (Зямля = 1)	14,5
	19,18 а. а.	Сярэдняя шчыльнасць	$1,3 \cdot 10^3$ кг/м ³
Перыяд абарачэння вакол Сонца	84,0 зямно- га года	Сіла прыцяжэння на экватары (Зямля = 1)	0,9
Перыяд абарачэння вакол восі (зворотнае абарачэнне)	17,24 г	Тэмпература верхняга слоя воблакаў	-217 °C
 <div style="text-align: right; margin-right: 10px;"> Атмасфера з вадароду, гелію і метану </div> <div style="text-align: right; margin-right: 10px;"> Мантыя з замёрзлых вады, метану і аміаку </div> <div style="text-align: right; margin-right: 10px;"> Каменнае ядро </div>			

4. Нептун. Нептун — самы маленькі гігант. Знаходзіцца амаль на краі Сонечнай сістэмы і атрымлівае вельмі мала сонечнай энержіі. Аднак, нягледзячы на гэта, планета вельмі актыўная. На фатаграфіях Нептуна добра бачныя воблакі, якія з'яўляюцца і знікаюць у атмасфэры планеты. Адметнай прыкметай Нептуна з'яўляецца Вялікая Цёмная Пляма (рыс. 70), падобная па структуре на Вялікую Чырвоную Пляму Юпітэра.

Скорасць ветру ў атмасфери Нептуна дасягае рэкорднай велічыні — 600 м/с.

Меркаванне аб існаванні кольцаў у Нептуна было выказаны ў 1984 г. на аснове назіранняў за накрыццём зорак планетай. Тры замкнутыя і адно незамкнутае кальцы бачныя на здымках, атрыманых касмічным караблём «Вояджэр-2» у 1989 г. Размяшчаюцца кольцы на адлегласці ад 1,7 да 2,5 радыуса планеты. Шырыня кольцаў — 1700, 15, 5000 і 50 км адпаведна. Яны складаюцца з дробных сілікатных пылінак, якія адбіваюць 6 % сонечнага святла.

Напружанаасць магнітнага поля Нептуна ў 3 разы меншая, чым Зямлі.

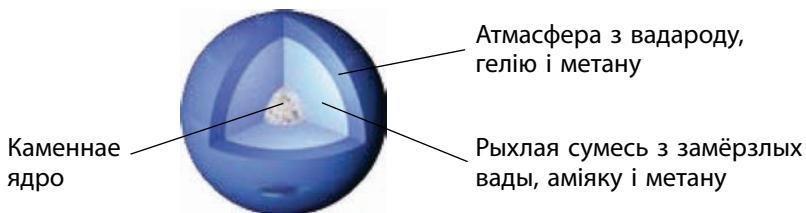
Параметры Нептуна глядзіце ў табліцы 9.



Рысунак 70 — Нептун.
Вялікая Цёмная Пляма.
Фатаграфія зроблена
касмічным апаратам
«Вояджэр-1»

Табліца 9 — Параметры Нептуна

Зорная велічыня (найбольшая)	7,8	Дыяметр па экватары	49 528 км
Сярэдняя адлегласць да Сонца	4491 млн км	Маса (Зямля = 1)	17,2
	30,0 а. а.	Сярэдняя шчыльнаасць	$1,8 \cdot 10^3$ кг/м ³
Перыйяд абарачэння вакол Сонца	164,5 зямно- га года	Сіла прыцяжэння на экватары (Зямля = 1)	1,1
Перыйяд абарачэння вакол восі	16,11 г	Тэмпература верхняга слоя воблакаў	-214 °C





Галоўныя выводы

1. У адрозненні ад планет зямной групы планеты-гіганты ўяўляюць сабой буйныя масіўныя газападобныя целы з малой шчыльнасцю, аддаленныя ад Сонца на значную адлегласць (ад 5 да 30 а. а.).
2. Планеты-гіганты вельмі хутка абарачаюцца вакол сваіх восей.
3. Усе планеты-гіганты маюць кольцы.
4. Асноўнымі кампанентамі атмасфер гэтых планет з'яўляюцца вадарод і гелій.



Кантрольныя пытанні і заданні

1. Назавіце адрозненні асноўных фізічных характеристык планет-гігантаў і планет зямной групы.
2. Якая асаблівасць вярчэння планет-гігантаў вакол восі?
3. Раскажыце аб асаблівасцях будовы планет-гігантаў.
4. Што ўяўляюць сабой кольцы планет?
5. Чаму часам нават у буйныя тэлескопы не бачныя кольцы Сатурна?

§ 15. Месяц. Спадарожнікі планет

1. Ізічныя ўмовы на Месяцы. Месяц — адзіны натуральны спадарожнік Зямлі. Гэта цела шарападобнай формы дыяметрам 3475 км. Маса Месяца ўсяго ў 81 раз меншая за масу Зямлі. Сярэдняя шчыльнасць Месяца роўная 0,6 шчыльнасці Зямлі, а паскарэнне свабоднага падзення ў 6 разоў меншшае за зямное, г. зн. целы на месячнай паверхні важаюць у 6 разоў менш, чым на Зямлі. Сонечныя суткі на Месяцы працягваюцца сінадычны месяц (29,5 зямных сутак). На Месяцы няма вады ў вадкім стане і практична няма атмасфery. За месячны дзень, які працягваецца каля 15 зямных сутак, паверхня пасплювае нагрэцца да $+130^{\circ}\text{C}$, а за ноч ахаладзіцца да -170°C . Пры высокіх тэмпературах скорасць газавых малекул перавышае другую касмічную скорасць для паверхні Месяца, роўную $2,38 \text{ км}/\text{s}$, таму газы, што выдзяляюцца з нетраў спадарожніка Зямлі ці ўтвараюцца пры падзенні метэорных цел, хутка пакідаюць Месяц. Без газавай атмасфery на Месяц уздзейнічаюць усе віды электрамагнітнага выпраменьвання Сонца, а таксама ўдары метэорных цел розных памераў.

Простым вокам на менсічнай паверхні можна адрозніць светлыя і цёмныя ўчасткі. Цёмныя, адносна роўныя вобласці паверхні, якія называюць «морамі», займаюць 16,9 % усёй паверхні Менсіца. Больш светлыя гарыстыя ўчасткі, якія называюць «мацерыкамі», займаюць астатнюю паверхню і характарызуюцца наяўнасцю горных хрыбтоў, кальцевых гор, кратараў (рыс. 71). Першую падрабязную карту Менсіца склаў у 1647 г. польскі астроном Ян Гевелій. З таго часу да нашых дзён захаваліся назвы мораў — Мора Спакою, Мора Крызісаў і інш. Назвы горных хрыбтоў, якія цягнуцца звычайна ўздоўж узбярэжжа мораў, сугучныя зямным — Апеніны, Каўказ, Карпаты і інш. Апеніны маюць найбольшую вышыню каля 6 км, Карпаты — толькі 2 км (рыс. 72).

Самымі шматлікімі ўтварэннямі на менсічнай паверхні з'яўляюцца кратары (рыс. 73). Іх памеры вагаюцца ад мікраскапічных да больш за 100 км у дыяметры. Кратар складаецца з кальцевога вала і ўнутранай раўніны. У большасці «маладых» кратараў на дне ўзвышаюцца цэнтральныя горкі. У час поўні ў «маладых» кратараў, якія маюць метэарытнае паходжанне, можна ўбачыць прамянёвую сістэму — светлыя палосы, якія радыяльна адыходзяць ад кратара і цягнуцца на сотні кіламетраў.

Удар буйнога метэарыта ці невялікага астэроіда аб паверхню Менсіца суправаджаецца выбухам. Пры гэтым адбываецца выкід менсічнага рэчыва пад рознымі вугламі. Значная яго частка трапляе ў космас, аднак некаторая доля падае назад на яго паверхню. Са струменем здробненага рэчыва і фарміруюцца прамянёвые сістэмы. Для назіральніка прамяні здаюцца больш светлымі, таму што яны адбіваюць святло лепей, чым шчыльнае рэчыва таго ж саставу.

Буйныя і сярэднія кратары названыя ў гонар славутых вучоных: Пталамей, Архімед, Платон, Капернік, Ціхаў, Шміт і інш.

Касмічныя даследаванні істотна паглыбілі насы веды аб Менсіцы. У 1959 г. савецкім апаратам «Менсіц-3» упершыню быў сфатографаваны адваротны, нябачны бок Менсіца. У 1965 г. з'явілася першая поўная карта Менсіца, складзеная пад навуковым кіраўніцтвам Ю. Н. Ліпскага.



Рысунак 71 — Відарыс Менсіца ў тэлескоп



Рысунак 72 — Карта-схема буйнейшых дэталей бачнага ў тэлескоп з Зямлі паўшар'я Месяца

Амерыканскія астранаўты Ніл Армстронг і Эдвін Олдрын сталі першымі людзьмі, якія ступілі на паверхню Месяца 20 ліпеня 1969 г. Астранаўты, знаходзячыся на Месяцы, маглі бачыць на небе нашу Зямлю (рыс. 74). Амерыканскія касмічныя караблі серыі «Апалон» на працягу наступных трох гадоў шэсць разоў дастаўлялі ў розныя месцы Месяца экспедыцыі (12 астранаўтаў займаліся даследаваннямі ў месцах пасадак, яны сабралі больш за 360 кг месачных узороў). Месачныя пароды дастаўлялі і савецкія аўтаматычныя станцыі «Месяц».

Паверхневы слой натуральнага спадарожніка Зямлі складаецца з дробнабломачнага матэрыялу — рэгаліту (рыс. 75) і мае таўшчыню каля 10 м. У склад месачнага рэгаліту ўваходзяць таксама шкляныя сферычныя мікракасцінкі. Драбненне месачных парод адбываецца ў асноўным з-за мікраметэрыйнай бамбардзіроўкі і рэзкіх перападаў тэмпературы. Рэгаліт мае малую шчыльнасць (верхні слой — $1200 \text{ кг}/\text{м}^3$) і вельмі



Рысунак 73 — Чацтка паверхні Месяца. Фатаграфія атрымана станцыяй «Зонд»



Рысунак 74 — Зямля, бачная з паверхні Месяца

малую цеплаправоднасць (у 20 разоў меншую за паветра), таму ўжо на глыбіні каля 1 м ваганні тэмпературы практычна не адчувальныя.

Па хімічным саставе месячныя пароды вельмі блізкія да базальтавых парод Зямлі. Пароды месячных мораў адрозніваюцца высокім утрыманнем аксідаў жалеза і тытану, мацерыковыя пароды — высокім утрыманнем аксідаў алюмінію.

Касмічныя станцыі ў апошні час выявілі запасы вадзянога лёду ў палярных абласцях Месяца. Паколькі вугал нахілу месячнага экватара да экліптыкі усяго $1,5^\circ$, то дно нават неглыбокіх кратараў у палярных абласцях ніколі не асвятляецца сонечнымі прамяннямі. Пры пастаяннай тэмпературе $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ дно палярных кратараў пакрывае сумесь рэгаліту з лёдам. Крыніцай узнікнення і назапашвання месячнага палярнага лёду могуць быць каметы, якія ўпалі ў гэтыя зоны і ўяўляюць сабой ледзяныя целы.

Унутраная будова Месяца вывучана на аснове запісаў страсенняў ад удараў метэараў, якія зафіксаваны сейсмографамі, дастаўленымі на Месяц. Пад слоем рэгаліту размешчана кара, таўшчыня якой на бачным (павернутым да Зямлі) баку складае 60 км, а на адваротным — 100 км. Пад карой знаходзіцца мантый таўшчынёй каля 1000 км. Зона, глыбейшая за 1600 км, нагадвае зямную мантую, мае таўшчыню 430 км і тэмпературу каля 1800 К. Апошнія



Рысунак 75 — Асноўныя тыпы часцінак месячнага рэгаліту

даследаванні пацвердзілі, што ў цэнтры Месяца знаходзіцца металічнае ядро радыусам 300 км, маса якога складае 3 % ад агульнай масы Месяца.

Існуе некалькі гіпотэз утварэння Месяца. Паводле адной з самых папулярных, Месяц утварыўся разам з Зямлёй з адной планецезімалі. Выказвалася нават меркаванне, што Зямля падзялілася на дзве часткі і што ўпадзіна Ціхага акіяна — гэта «яма», якая засталася пасля таго, як Месяц «вырваўся» з Зямлі.

Некаторыя вучоныя мяркуюць, што Месяц утварыўся шляхам аб'яднання дробных каменьчыкаў, якія абарачаліся вакол Зямлі 4,5 млрд гадоў таму. Назапашванне часцін пад уздзеяннем сіл гравітацыі, якія дзейнічаюць паблізу ад Зямлі, стала «паменшальным» варыянтам таго ж працэсу, які адбываўся ў першаснай сонечнай туманнасці і прывёў да нараджэння планет.

Разглядаеца і такі механізм утварэння Месяца. Зямля, якая прайшла асноўныя стадыі дыферэнцыяцыі рэчыва, сутыкнулася з буйным нябесным целам (памерамі з Марс). Косы ўдар разбурыў толькі верхняя слоі зямных нетраў. На каляземную арбіту было выкінута рэчыва зямной кары і мантыі, з якога шляхам зліцця сфарміраваўся спадарожнік Зямлі.

Параметры Месяца глядзіце ў табліцы 10.

Табліца 10 — Параметры Месяца

Зорная велічыня (найбольшая)	-12,7	Дыяметр па экватары	3475 км
Сярэдняя адлегласць да Сонца	384,4 млн км	Маса (Зямля = 1)	0,012
	60,3 радыуса Зямлі	Сярэдняя шчыльнасць	$3,34 \cdot 10^3$ кг/м ³
Перыяд абарачэння вакол Сонца	27,32 зямных сутак	Сіла прыцяжэння на экватары (Зямля = 1)	0,17
Перыяд абарачэння вакол восі	27,32 зямных сутак	Тэмпература паверхні	Ад -170 да +130 °C



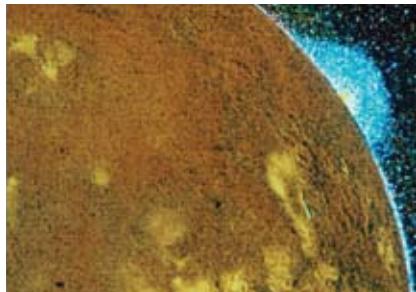
2. Спадарожнікі планет. У Сонечной сістэме на пачатак 2014 г. вядомы 173 натуральныя спадарожнікі планет. Сем спадарожнікаў, у тым ліку Месяц, маюць дыяметр больш за 2500 км, а Ганімед і Тытан (табл. 11) — нават пераўзыходзяць па памеры Меркурый.

Табліца 11 — Буйныя спадарожнікі планет

Характарыстыкі	Спутнікі						
	Ганімед	Тытан	Каліста	Io	Месяц	Еўропа	Трытон
Планета	Юпітер	Сатурн	Юпітер	Юпітер	Зямля	Юпітер	Нептун
Дыяметр, км	5268	5150	4806	3640	3475	3130	2700
Маса, $\times 10^{23}$ кг	1,49	1,35	1,08	0,892	0,735	0,485	0,215
Шчыльнасць, кг/м ³	1930	1900	1830	3550	3340	3040	2100
Тэмпература паверхні, °C	-140	-179	-140	-130	ад -170 да +130	-140	-235

Невялікія спадарожнікі памерам у дзесяткі кіламетраў уяўляюць сабой каменныя ці ледзяныя целы няправільнай формы. Іх паверхні ўсеяны кратарамі і пакрыты дробным пылам. Сярэднія спадарожнікі (у некалькі соцень кіламетраў) у асноўным шарападобныя і маюць малую шчыльнасць. Па зневінім выглядзе іх паверхня нагадвае месячную. Адрозніваюцца разнастайнасцю сем буйнейшых спадарожнікаў. Па сваёй будове яны больш падобныя на планеты зямной группы. Буйнейшая спадарожнікі Юпітэра былі адкрыты яшчэ ў 1610 г. Галілеем. Аднак асноўныя звесткі аб прыродзе буйных спадарожнікаў планет-гігантаў атрыманы ў выніку даследаванняў з дапамогай касмічных апаратаў.

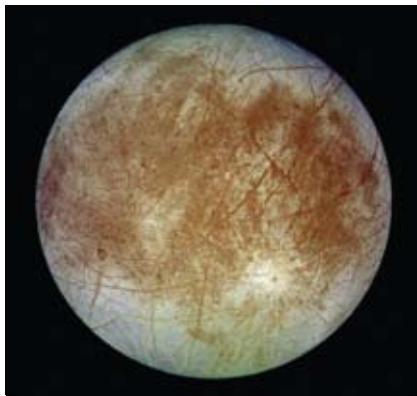
Мадэль унутранай будовы буйных спадарожнікаў прадугледжвае наяўнасць у іх трох абалонак: кары, манты і ядра. Ядром, якое ўтрымлівае злучэнні жалеза і займае ад 0,3 да 0,6 радыуса спадарожніка,



Рысунак 76 — Іо — спадарожнік Юпітэра. Вывяржэнне вулкана. Фатаграфія зроблена міжпланетным апаратам «Галілео»

мы, сцісканні, расколіны, дробныя хрыбы. Каліста адрозніваецца ад іх наяўнасцю шматлікіх кратараў ударнага паходжання.

Ледзянную абалонку Еўропы перасякае сетка светлых і цёмных вузкіх палос. Гэта расколіны ў тоўстай ледзянай кары, якія выкліканы прыліўнымі ўздзеяннямі Юпітэра. Шматгадовыя назіранні за рысункам, які ўтвараюць расколіны, паказалі, што ледзянныя масы крыху зрушваюцца адны адносна другіх. Гэта азначае, што пад ільдом ёсьць вада. У некоторых месцах ледзянога панцыра Еўропы касмічны апарат «Галілео» сфатаграфаваў дзіўныя хаатычныя нагрувашчванні старых ільдзін, умарожаных у свежы лёд. Гэтыя структуры называюцца «хаосы» (рыс. 79).



Рысунак 77 — Еўropa — спадарожнік Юпітэра



Рысунак 78 — Каліста — спадарожнік Юпітэра

маюць Іо (рыс. 76), Еўропа (рыс. 77) і Ганімед. У Трытона і Каліста (рыс. 78) камяністая ядры такія ж ці нават буйнейшыя.

Сілікатная (камяністая) кара Іо мае таўшчыню 30 км. Пад ёй на глыбіні 100 км знаходзіцца вадкая магма, тэмпература якой дасягае 2000 К. Магма жывіць шматлікія вулканы Іо. Астатнія спадарожнікі пакрытыя ледзянай абалонкай рознай таўшчыні, пад якой размешчана камяністая мантыя.

На паверхні Трытона і Ганімеда бачныя сляды тэктанічнай дзейнасці: разло-



Рысунак 79 — Хаосы
на спадарожніку Юпітэра йуропа



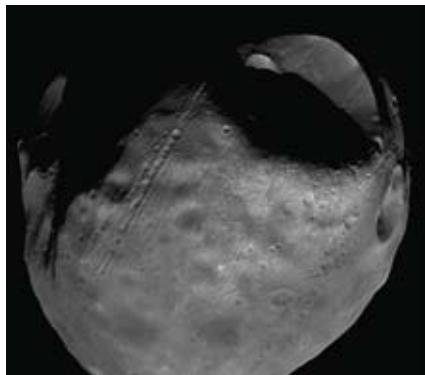
Рысунак 80 — Спадарожнік Сатурна —
Тытан — мае надзвычай шчыльную атмасферу

Яны сведчаць аб тым, што час ад часу лёд падтае, а потым зноў застывае. Ільдзіны, якія не паспелі растаць, будуць умарожаны ў новы лёд. Аб тым, што ледзянная паверхня Еўропы маладая, сведчыць і амаль поўная адсутнасць на ёй ударных кратараў.

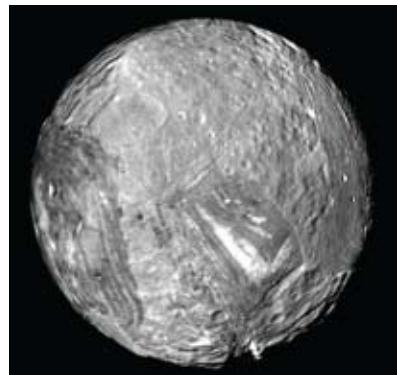
На Io няма прыкмет існавання значнай колькасці вады ні ўнутры спадарожніка, ні тым больш на яго паверхні. Затое там адкрыты шматлікія вулканічныя вывяржэнні. Злучэнні серы, якія выкінуты вулканамі і аселі на паверхні, надаюць спадарожніку афарбоўку ад белай да ярка-чырвонай і чорнай (гл. рыс. 76). Пры гэтым колер залежыць ад тэмпературы рэчыва. З жарала вулкана газы выкідаюцца на вышыню каля 200 км са скорасцю прыкладна 1 км/с. Газавыя гейзеры заўважаны над палярнай шапкай Трытона. Струмені цёмнага рэчыва вырываюцца ўверх з яго паверхні і дасягаюць вышыні 8 км.

Найбольш магутную атмасферу мае Тытан (рыс. 80). Яна на 60 % больш шчыльная, чым на Зямлі, і прыкладна на 85 % складаецца з азоту. Ціск каля паверхні ў 1,5 раза перавышае зямны. Касмічны аппарат «Гюйгенс» у 2005 г. знайшоў горныя хрыбты, руслы рэк, азёры вадкага метану і этану.

Разрэджаную атмасферу з азоту і метану мае Трытон (10^{-5} зямной). Слабую атмасферу з малекулярнага кіслароду маюць Ганімед і Еўропа (10^{-9} і 10^{-11} зямной). Утвараецца яна так: сонечнае святло, касмічныя прамяні і мікраметэрты выбіваюць з ледзянай паверхні малекулы вады, якія пад уздзеяннем ультрафіялетавага выпраменівання распадаюцца на атамы вадароду і кіслароду. Атамы вадароду адразу ж пакідаюць атмасферу, а атамы кіслароду аб'ядноўваюцца ў малекулы. Разрэджаную



Рысунак 81 — Фобас — спадарожнік
Марса. На пярэднім плане кратар Стыкні



Рысунак 82 — Міранда —
спадарожнік Урана

атмасферу з вуглякіслага газу мае Каліста, такую ж разрэджаную атмасферу з аксідаў серы і вулканічных газаў мае Io (10^{-9} зямной).

У некалькіх буйных спадарожнікаў выяўлены ўласныя магнітныя палі.

З планет зямной группы, акрамя Зямлі, толькі Марс мае два спадарожнікі, адкрытыя ў 1877 г. амерыканскім астрономам Асафам Холам. Гэта невялікія камяністые целы няправільнай формы памерам 27×19 км — Фобас (рыс. 81) і 16×11 км — Дэймас.

Відарысы некаторых іншых спадарожнікаў планет Сонечнай сістэмы прадстаўлены на рисунках 82—84.



Рысунак 83 — Мімас — спадарожнік Сатурна.
Вялікі кратар мае дыяметр звыш 100 км



Рысунак 84 — Энцэлад —
спадарожнік Сатурна



Галоўныя выводы

1. Месяц — спадарожнік Зямлі і найбліжэйшае да Зямлі нябеснае цела.
2. Месяц, як і іншыя буйныя спадарожнікі планет, блізкі да планет зямной групы.
3. Невялікія спадарожнікі планет (памерамі ў дзесяткі кіламетраў) уяўляюць сабой камяністыя або ледзяныя цэлы няправільнай формы.



Кантрольныя пытанні і заданні

1. Ахарактарызуіце фізічныя ўмовы на Месяцы. Чым яны адрозніваюцца ад звычайных для нас умоў на Зямлі?
2. Якія дэталі на Месяцы бачныя простым вокам, а якія — у тэлескоп?
3. Прыведзіце прыклады назваў некоторых месячных кратараў, мораў і горных хрыбтоў.
4. Чаму адваротны бок Месяца ўдалося сфатографаваць толькі пры яго аблёце на касмічным апараце?
5. Што ўяўляе сабой месячны грунт? Ці адрозніваецца ён ад зямнога?
6. Апішыце ўнутраную будову Месяца. Якім чынам яе даследавалі?
7. Якія гіпотэзы ўтварэння Месяца вы ведаецце?
8. Назавіце найбуйнейшыя спадарожнікі планет Сонечнай сістэмы. Раскажыце аб некоторых характэрных асаблівасцях кожнага з іх.

§ 16. Карлікавыя планеты і малыя цэлы Сонечнай сістэмы

1. Карлікавыя планеты. У жніўні 2006 г. на Асамблеі Міжнароднага астранамічнага саюза было прынята новае азначэнне планеты і ўпершыню ўведзена паняцце «карлікавая планета». Карлікавымі планетамі лічацца аб'екты, якія абарочваюцца вакол зоркі, маюць гідрастатычна раўнаважную форму (шарападобную), але якія не расчысцілі прылеглую простору і не з'яўляюцца спадарожнікамі вялікіх планет.

Да жніўня 2006 г. Плутон, адкрыты Клайдам Тамбо ў 1930 г., лічыўся дэяявтай планетай Сонечнай сістэмы. Аднак па дынамічных і фізічных характарыстыках ён істотна адрозніваецца ад іншых планет.

У 1978 г. у Плутона быў адкрыты спадарожнік — Харон. Яго дыяметр складае 1205 км, крыху больш за паўдышаметра Плутона, а суадносіны мас — 1 : 8. Адны астрономы лічылі Харон спадарожнікам, а другія — сістэму Плутон—Харон лічылі падвойнай планетай. Паводле рашэння Міжнароднага астранамічнага саюза адразненне падвойнай планеты ад сістэмы планета—спадарожнік (напрыклад, Зямля—Месяц) крываецца ў месцаахожданні барыцэнтра — агульнага цэнтра мас. У першым выпадку гэты цэнтр знаходзіцца ў адкрытым космасе, а ў другім — унутры асноўнай планеты, маючай спадарожнікі.

Стала відавочным, што Плутон — усяго толькі адзін з найбольш буйных, вядомых у нашы дні, аб'ектаў пояса Койпера, пры гэтым прынамсі, адзін з аб'ектаў пояса (Эрыда) з'яўляецца больш буйным целам, чым Плутон (рыс. 85).

Планеты і карліковыя планеты — гэта два розныя класы аб'ектаў Сонечнай сістэмы. Акрамя Плутона, карліковымі планетамі лічацца «былы» астэроід Цэрэра, які знаходзяцца паміж арбітамі Марса і Юпітэра і аб'екты пояса Койпера — Эрыда, Хуамеа і Макемаке. На думку астрономаў, у вобласці пояса Койпера знаходзяцца дзясяткі карліковых планет, падобных да Плутона; іх выяўленне — толькі пытанне часу.

2. Астэроіды. Усе іншыя аб'екты, акрамя карліковых планет, якія абарачаюцца вакол Сонца і не з'яўляюцца спадарожнікамі, называюць малымі целамі Сонечнай сістэмы. Да гэтага тыпу адносіцца большасць астэроідаў паміж Марсам і Юпітэрам, а таксама транснептунаў.



Рысунак 85 — Параўнальныя памеры Зямлі і карліковых планет

Правообладатель Адукацыя і выхаванне

аб'екты пояса Койпера, каметы і ўсе астатнія цэлы, што абарачаюцца вакол Сонца.

Паміж арбітамі Марса і Юпітэра пасля 1801 г. былі выяўлены карлікавая планета Цэрэра і мноства астэроідаў. **Астэроід** (малая планета) — малое цела Сонечнай сістэмы, якое мае няправільную форму і знаходзіцца на геліяцэнтрычнай арбіце. Да пачатку XX ст. было выяўлена каля 500 астэроідаў з дыяметрамі ад некалькіх дзесяткаў кіламетраў і больш. На сённяшні дзень каталог пранумараўваних астэроідаў утрымлівае больш за 380 тыс., а ёсць адкрыта каля 600 тыс. аб'ектаў.

Значная частка (98 %) астэроідаў рухаецца ў плоскасцях, блізкіх да экліптыкі, па арбітах з малым экспланетнымі знаходзячыся паміж арбітамі Марса і Юпітэра на адлегласці 2,2—4,5 а. а. ад Сонца. Вакол Сонца астэроіды абарачаюцца ў тым самым напрамку, што і вялікія планеты. Бобласць прасторы паміж арбітамі Марса і Юпітэра, дзе знаходзіцца пераважная большасць астэроідаў, называецца Галоўным поясам астэроідаў.

Паводле адной з гіпотэз астэроіды ўяўляюць сабой рэшткі мноства планетезімалей, якія некалі існавалі. Працэс фарміравання іх у планету быў калісьці прыпынены з прычыны ўзбурэнняў з боку гіганта Юпітэра, які хутка верціцца. У выніку гэтага аб'яднанне рэчыва змянілася на драбленне. Узбурэнні планет-гігантаў мяняюць арбіты астэроідаў, у выніку чаго адбываюцца сутыкненні іх паміж сабой, з планетамі і з іх спадарожнікамі. Паводле іншай версіі, астэроіды ўзніклі ў выніку разбурэння гіпатэтычнай планеты, якая знаходзілася паміж Марсам і Юпітэрам.

У 1951 г. французскі астроном Джэрард Койпер прадказаў існаванне пояса астэроідаў за арбітай Нептуна. Тэарэтычна гэты пояс павінен знаходзіцца на адлегласці 35—50 а. а. ад Сонца. Магчыма, гэта рэшткі першапачковай туманнасці, з якой сформіравалася Сонечная сістэма. Сумарная маса цел пояса Койпера супараўнальная з масай Зямлі.

Упершыню сфатаграфаваў паверхні астэроідаў міжпланетны касмічны



Рысунак 86 — Астэроід \oplus да
са спадарожнікам – актыль

апарат «Галілео». Пры палёце да Юпітэра ён сфатаграфаваў астэроіды Гаспра і Іда са спадарожнікам Дактыль (рыс. 86).

Першую мяккую пасадку на паверхню астэроіда здзейсніў касмічны апарат NEAR 12 лютага 2001 г. Астэроід Эрас аказаўся камяністым целам няправільнай формы з памерамі $33 \times 13 \times 13$ км і шчыльнасцю 2700 кг/м³, блізкай да шчыльнасці парод зямной кары. Паверхня астэроіда пакрыта пылам і ўсеяна кратарамі і валунамі (дыяметрам да 100 м).

Мяркуецца, што ў Сонечнай сістэме на адлегласці, не перавышающей 100 а. а., знаходзіцца каля 1 млн малых цел памерамі да 1 км. Арбіты астэроідаў павялічваюць свой экспэнтрысітэт да 0,8 з прычыны ўздзеяння гравітацыйных сіл з боку планет-гігантаў. У выніку гэтага некаторыя астэроіды пранікаюць унутр арбіт Марса, Зямлі і нават Меркурыва. Колькасць астэроідаў з дыяметрам большым за 1 км, якія перасякаюць арбіту Зямлі, ацэньваецца ў 6500 аб'ектаў. Такія нябесныя цэлы могуць сутыкацца з Зямлём не раздзей чым адзін раз у 20 млн гадоў. Існуе не менш за 200 тыс. астэроідаў з папярочнікам 100 м і болей, арбіты якіх могуць перасякаць арбіту Зямлі. Магчымасць сутыкнення з таким целам — прыблізна 1 раз у 5 тыс. гадоў, пры гэтым на Зямлі ўтвараецца кратар з папярочнікам каля 1 км.

29 студзеня 2008 г. на небяспечна блізкай адлегласці ад Зямлі (600 тыс. км) праляцеў астэроід памерам 0,2 км. У сувязі з гэтым у ЗША, Расіі і іншых краінах створаны Службы сачэння за небяспечнымі астэроідамі, каб у выпадку пагрозы для Зямлі правесці работу па змене яго арбіты ці знішчэнні.

Першапачаткова астэроідам прысвойвалі імёны міфалагічных багінь, а потым — звычайнія жаночыя імёны. Калі скончыліся і яны, астэроіды сталі называць у гонар вядомых вучоных, розных краін і гарадоў. Ёсць астэроіды, назвы якіх звязаны з Рэспублікай Беларусь: Мінск, Беларусь, Брэст, Хатынь, Шагал, Віцебск і інш.

3. Метэарыты. У міжпланетнай прасторы рухаецца вялікая колькасць каменных і жалезных цел самых разнастайных па памерах, форме і саставе. Гэтыя цэлы атрымалі назму **метэарытных** цел. Пры ўваходжанні такога цела ў атмасферу Зямлі з касмічнай скорасцю ў выніку трэння аб паветра адбываецца яго награванне, яно пачынае плавіцца і свяціцца — на небе з'яўляеца яркі вогненны шар. Гэтая з'ява атрымала назму **балід** (грэч. *bolidos* — кідалынае кап’ё). У начны час балід яркія асвятляе мясцовасць на дзясяткі і сотні кіламетраў навокал. Вельмі яркія баліды бачныя нават удзень пры поўным сонечным асвятленні. За вогнен-

ным шарам уздоўж яго траекторыі застаецца след, які ў сваім пачатку ўяўляе сабой свячэнне іанізаваных малекул паветра і заканчваецца струменямі пылу. Пылінкі — гэта прадукты разбурэння метэарытнага цела ў час яго руху ў атмасферы, таму што пры палёце з велізарнай скорасцю цела награваецца да некалькіх тысяч градусаў. Рэчыва на яго паверхні бесперапынна расплаўляецца і часткова выпараецца: адразу зрываета патокамі паветра і распырскаеца ў выглядзе найдрабнейшых кропелек. Яны і складаюць пылавы след баліда. Ушчыльненне паветра, якое нарастаем, стварае вакол метэарытнага цела ўдарную хвалю. Яна выклікае такія гукавыя з'явы, як грукат і гул.

Уцалелыя ад поўнага разбурэння рэшткі метэарытнага цела падаюць на паверхню Зямлі. Гэта і ёсьць **метэарыт**. Метэарыты ўяўляюць сабой абломкі астэроідаў, як правіла, іх называюць па найбліжэйшым да месца падзення населеным пункце ці геаграфічным аб'екце.

Метэарытнае цела з велізарнай пачатковай масай у дзясяткі і сотні тысяч тон праходзіць усю тоўшчу атмасфери з захаваннем касмічнай скорасці ў некалькі кіламетраў у секунду. У выніку ўдару адбываецца выбух, на месцы ўдару ўтвораецца метэарытны кратар, які можа мець памеры ад некалькіх метраў да 100 км. Найбольш вядомы Арызонскі кратар дыяметрам 1200 м, глыбінёй 180 м і вышынёй вала каля 50 м (рыс. 87). Магчыма, ён з'явіўся 30 тыс. гадоў таму. Кратары вялікіх памераў (напрыклад, добра захаваныя на паверхні Месяца) на Зямлі выявіць складана. Яны хутка разбураюцца пад уздзеяннем паветра, вады, ветру, расліннасці, заносяцца слоем пяску і грунту. Вучоныя пры дапамозе касмічных здымкаў навучыліся знаходзіць старожытныя метэарытныя кратары на Зямлі. На сённяшні дзень выяўлена больш за 100 астраблем — «зорных ран», як іх вобразна называюць вучоныя. На тэрыторыі Беларусі да астраблем адносяць Лагойскую ўпадзіну. Дыяметр гэтага старожытнага кратара 17 км. Ён знаходзіцца ў 6—8 км на паўночны захад ад г. Лагойска Мінскай вобласці.

Паводле саставу метэарыты падзяляюцца на тры асноўныя класы: каменныя, жалеза-каменныя і жалезнныя.

Каменныя метэарыты блізкія па складзе да зямных горных парод: утрымліваюць аксіды жалеза, крэмнію, магнію.



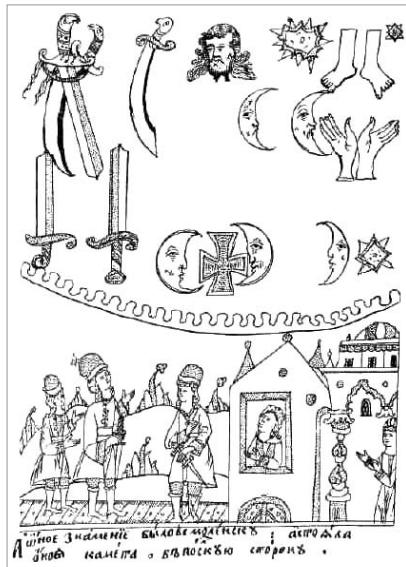
Рысунак 87 — Метэарытны кратар у Арызоне (ЗША)

Каля 85 % каменных метэарытаў утрымліваюць хондры — сферычныя часцінкі памерам ад мікраскарпічных зярняў да гарошыны. Такія каменныя метэарыты называюцца **хандрытамі**, астатнія — **ахандрытамі**.

Самы буйны метэарыт знайдзены ў 1920 г. поблізу ад населенага пункта Гоба ў Паўднёва-Захаднай Афрыцы. Гэта жалезны метэарыт масай каля 60 т. Але такія буйныя целы падаюць рэдка. На тэрыторыі Рэспублікі Беларусь знайдзена шэсць буйных метэарытаў: напрыклад, у 1954 г. жалезны метэарыт масай 300 кг знайдзены каля вёскі Грэск Слуцкага раёна Мінскай вобласці. Як правіла, масы большасці метэарытаў вагаюцца ад соцень грамаў да некалькіх кілаграмаў.

4. Каметы. Пра каметы, «хвастатыя зоркі», вядома з даёніх часоў. Першыя кітайскія запісы пра каметы адносяцца да III тысячагоддзя да нашай эры. Удалечыні ад Сонца **камета** выглядае слабым туманным аб'ектам. Пры набліжэнні да Сонца яна робіцца ярчэйшай, павялічваецца ў памерах, у яе з'яўляецца хвост, накіраваны ў супрацьлеглы ад Сонца бок. Нечаканае з'яўленне яркай каметы, якое парушала нябесную гармонію, заўсёды прыцягвала ўвагу людзей і ўнушала ім прымхлівы жах. Камета лічылася прадвесніцай войнаў, эпідэмій і іншых няшчасцяў (рыс. 88).

За гісторыю чалавецтва ўжо назіралася каля 3500 камет. Зарэгістраваны ў каталогах каля 1000 такіх аб'ектаў і вызначаны элементы іх арбіт. Амаль усе каметы рухаюцца па выцягнутых арбітах з вялікім эксцэнтрысітэтам, блізкім да адзінкі. Каметы падзяляюцца на кароткаперыядычныя (з перыядам абарачэння меншым за 200 гадоў) і доўгаперыядычныя. Першую перыядычную камету выявіў англійскі астроном Эдмунд Галей. Ён вылічыў арбіты 24 яркіх камет. Пры аналізе свайго каметнага каталога Галей заўважыў падабенства элементаў арбіт камет 1531, 1607 і 1682 гг. і выказаў меркаванне, што гэта паслядоўнае вяртанне адной і той жа каметы, якая рухаецца па вельмі выцягну-



Рысунак 88 — Старажытная гравюра, якая расказвае аб з'яўленні каметы ў Смаленску

тай эліптычнай арбіце з перыядам амаль 76 гадоў. У поўнай адпаведнасці з прадка-заннем Галея яе ўбачыл ў 1758 г. За гэтай каметай замацавалася назва «камета Галея» (рыс. 89). Яна рухаецца па арбіце з вялікай паўвосцю $a = 17,94$ а. а. у напрамку, процілеглым руху Зямлі.

У будове каметы вылучаюцца наступныя састаўныя элементы: ядро, галава і хвост.

Ядро каметы — гэта невялікае цвёрдае ледзяное цела, якое ўключае тугаплаўкія часцінкі і арганічныя злучэнні. Да 80 % ядра каметы складаецца з вадзянога лёду, а таксама замерзлага вуглякіслага газу, чаднага газу, метану, аміяку і ўкрапаных у лёд металічных часцінак. Ёсьць у каметных ільдах і больш складаныя рэчывы, аж да амінакілот. Па выніках даследаванняў, выкананых касмічнымі апаратамі, ядро каметы Галея (рыс. 90) уяўляе сабой маналітнае цела няправільнай формы памерамі 16×8 км, масай каля $3 \cdot 10^{14}$ кг і малой шчыльнасцю парадка 600 кг/м³.

Пры набліжэнні да Сонца, на адлегласць некалькіх астронамічных адзінак, у каметы ўтвараецца галава. Яна ўтвараецца ў выніку нагрэву ядра, выпарэння і выдзялення з яго паверхні газаў і пылу. Бачныя папяроначнікі галоў камет з набліжэннем да Сонца дасягаюць памераў 10^4 — 10^6 км. Пад дзеяннем ціску сонечнага выпраменявання на газы, якія акружаюць галаву каметы, утвараецца хвост. Хвасты яркіх камет цягнуцца на сотні мільёнаў кіламетраў. Напрыклад, хвост каметы Хіякутакі назіраўся расцягнутым на 300 млн км. Канцэнтрацыя часцінак у хвастах камет вельмі нізкая, яе можна параўнаны з міжпланетным асяроддзем.

У залежнасці ад сваёй формы каметныя хвасты падзяляюцца на некалькі *тыпаў*:

1. Хвост утвараецца пры паскарэнні сонечным ветрам каметных іонаў і накіраваны ў бок, процілеглы Сонцу.



Рысунак 89 — Камета Галея.
1985 г.



Рысунак 90 — Фатаграфія
ядра каметы Галея,
атрыманая касмічным
апаратам «– жота»

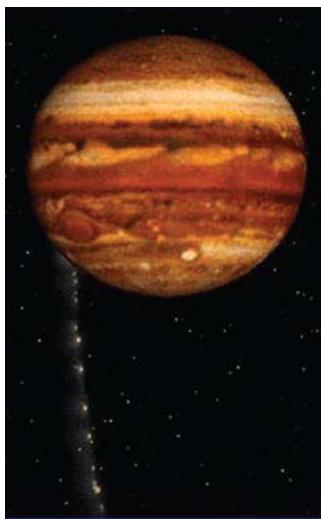
2. Хвост крыху выгнуты, складаецца з пылінак, якія маюць памеры ад долеў да дзясяткаў мікраметраў.

3. Хвост складаецца з яшчэ больш буйнога пылу, моцна выгнуты пад уздзеяннем магнітнага поля.

4. «Антыхвост» — выкід з галавы каметы накіраваны прама да Сонца.

Кожнае вяртанне каметы да Сонца не праходзіць бяспследна. Ядро

каметы губляе каля $\frac{1}{1000}$ сваёй масы. Таму, напрыклад, працягласць існавання каметы Галея ацэнываецца ў 20 тыс. гадоў. Але каметы могуць існаваць і меншы час, таму што яны разбураюцца з-за ўнутраных напружанняў, якія ўзнікаюць з-за нагрэву іх Сонцам ці прыліўнага ўздзеяння Сонца і планет-гігантаў. Гінуць каметы таксама пры падзенні на Сонца, сутыкненні з планетамі і метэарытнымі целамі. Документальна зарэгістравана больш за 30 камет, якія распаліся на асобныя кампаненты на вачах назіральнікаў. Так, у 1992 г. камета Шумейкераў — Леві зблізілася з Юпітэрам і развалілася на 22 фрагменты. Праз два гады асколкі абагнулі па арбіце Юпітэр і ўпалі ў атмасферу планеты са скорасцю 60 км/с (рыс. 91). У выніку ўзніклі гіганцкая віхравыя цёмныя ўтварэнні, параўнальныя па памерах з памерамі Зямлі. Існуе імавернасць сутыкнення ядраў камет з Зямлёнай.



Рысунак 91 — Падзенне асколкаў каметы Шумейкераў — Леві на Юпітэр

Правообладатель Адукацыя і выхаванне

5. Метэоры і метэорныя патокі. Пры руху вакол Сонца каметы распадаюцца. Уздоўж іх арбіт выцягваюцца шлейфы пылу, якія могуць перасякаць зямную арбіту. Часцінка пры ўваходжанні з касмічнай скорасцю ў атмасферу Зямлі згарае і ўтварае след, які свеціцца. Гэтая з'ява называецца **метэорам** (рыс. 92). Сама часцінка ў гэтым выпадку называецца **метэорным целам**.

Памеры метэорных цел, якія выклікаюць з'яву метэора, знаходзяцца ў межах ад некалькіх мікрон для пылінак (тады іх можна назіраць толькі ў тэлескоп) да некалькіх сантиметраў (даюць вельмі яркае свячэнне). Паводле некаторых ацэнак, прыток метэорнага рэчыва на Зямлю складае каля 50 тыс. т у год.

Каля 1 % метэорных цел, якія сустракаюцца з Зямлём, прылятае з міжзорнай прасторы. Метэорныя целы ўрываютца ў зямную атмасферу са скорасцю ад 11 да 72 км/с і сустракаюць на сваім шляху моцнае супраціўленне паветра, якое хутка нарастает. Паверхня метэорнага цела разаграваецца да некалькіх тысяч градусаў і ператвараецца ў распавлены газ, які іанізуе навакольныя малекулы паветра. У выніку гэтага назіральнік на Зямлі бачыць агнявы след, які свеціцца.

Свячэнне метэора пачынаецца на вышыні 120 км і знікае на вышыні 60—80 км ад паверхні Зямлі, калі цэла поўнасцю выпарыцца ў зямной атмасфери. Увесь палёт метэорнага цела доўжыцца ад дзясятых долей да некалькіх секунд. Працягласць назірання за з'явай метэора залежыць ад скорасці метэорнага цела.

Уласцівасці і прыроду метэорнага рэчыва дапамагаюць вывучыць візуальныя, фатаграфічныя, спектральныя і радыёлакацыйныя назіранні. Даследаванні паказалі, што ўвесь комплекс метэорнага рэчыва падзяляецца на выпадковыя (спарадычныя) метэорныя целы і метэорныя часцінкі, якія належаць да метэорных раёў.

Метэоры, якія з'яўляюцца ў пэўны час года і падаюць дзясяткамі ў гадзіну, належаць да **метэорных патокаў** ці «зорных дажджоў». Метэорныя патокі назіраюцца, калі Зямля перасякае арбіту метэорнага раю.



Рысунак 92 — Эркі метэор



Рысунак 93 — Радыянт метэорнага патоку

Бачныя шляхі метэораў аднаго патоку, спраектаваныя на нябесную сферу і прадоўжаныя ў адваротным напрамку, перасякаюцца ў адной вобласці на небе, якая называецца **радыянт** (рыс. 93).

Метэорны паток носіць імя таго сузор'я, у якім знаходзіцца радыянт, напрыклад Драканіды, Арыяніды і інш. Сярод метэорных патокаў сустракаюцца такія, інтэнсіўнасць якіх з году ў год не мяняецца. Гэта азначае, што метэорныя часцінкі размеркаваныя ўздоўж арбіты рою амаль раўнамерна.

Найбольш вядомым такім патокам з'яўляецца «паток Персеіды», які назіраецца штогод у жніўні. Арбіта гэтага рою супадае з арбітай каметы 1862 III. Адзін раз у 33 гады назіраюцца метэорныя дажджы з радыянтам у сузор'і Льва, калі Зямля сустракаецца з самай шчыльнай часткай рою. Гэты рой выклікае метэорны паток Леаніды (рыс. 94), які назіраецца ў сярэдзіне лістапада. Арбіта гэтага метэорнага рою практычна супадае з арбітай каметы 1866 I. Такім чынам, дакладна ўстаноўлена роднасць метэорных раёў з каметамі. Пры разбурэнні каметы ўзнікае метэорны рой.



Рысунак 94 — Зорны даждж
Леаніды. Гравюра. 1833 г.



Галоўныя выводы

1. Карлікавая планета — аб'ект шарападобнай формы, які рухаецца па геліяцэнтрычнай арбіце, але які не расчысціў прылеглую простору.
2. Цела Сонечнай сістэмы, якое абарачаецца вакол Сонца і не з'яўляецца планетай, карлікавай планетай ці іх спадарожнікам, называюць малым целам.
3. Да малых цел Сонечнай сістэмы адносяцца: астэроіды (малыя планеты), метэорныя і метэарытныя целы, каметы.
4. Астэроідна-каметная небяспека — імавернасць сутыкнення Зямлі з каметным ядром або астэроідам, якое вядзе да катастрафічных наступстваў.



Кантрольныя пытанні і заданні

1. Што разумеюць пад карлікавай планетай? Якія карлікавыя планеты вы ведаеце?
2. Раскажыце, якія нябесныя аб'екты называюць малымі целамі.
3. Чаму ў астэроідаў няма атмасферы?
4. Якая сувязь камет з метэорамі і астэроідамі?
5. Ці існуе магчымасць сутыкнення Зямлі з астэроідам?
6. Ахарактарызуйце сэнс паняцця «метэор», «метэарыт», «балід».
7. Якая прырода «зорных дажджоў»?
8. Што такое радыянт метэорнага патоку?

МЕТАДЫ ДАСЛЕДАВАННЯ НЯБЕСНЫХ ЦЕЛ

§ 17. Даследаванне электрамагнітнага выпраменяньвання нябесных цел

1. Электрамагнітнае выпраменяньванне. У даследаванні прыроды нябесных цел вялікая ўвага надаецца вывучэнню іх электрамагнітнага выпраменяньвання. Нябесныя целы ў залежнасці ад свайго фізічнага стану выпраменяваюць электрамагнітныя хвалі рознай даўжыні.

Электрамагнітныя хвалі ў вакууме заўсёды распаўсяджаюцца з адольгавай для ўсіх відаў выпраменяньвання скорасцю $c = 3 \cdot 10^8$ м/с. Важнай уласцівасцю электрамагнітнага выпраменяньвання з'яўляеца тое, што скорасць яго распаўсяджвання не залежыць ні ад даўжыні хвалі, ні ад скорасці руху крыніцы. Хвалі характарызујуцца частатой (v) і даўжынёй (λ), паміж якімі існуе залежнасць:

$$c = v \cdot \lambda.$$

Электрамагнітныя хвалі, якія маюць розную даўжыню хвалі, узаемадзеянічаюць з рэчывам па-разнаму. Адпаведна і метады даследавання электрамагнітнага выпраменяньвання адрозніваюцца. У сувязі з гэтым электрамагнітнае выпраменяньванне ўмоўна падзяляеца на некалькі дыяпазонаў (табл. 12).

Табліца 12 — Дыяпазоны электрамагнітнага выпраменявання

Дыяпазоны	Даўжыня хвалі, λ
Радыёхвалі	Больш за 1 мм
Інфрачырвоныя прамяні	Ад 760 нм да 1 мм
Бачныя прамяні	Ад 390 да 760 нм
Ультрафіялетавыя прамяні	Ад 10 да 390 нм
Рэнтгенаўскія прамяні	Ад 0,01 да 10 нм
Гама-прамяні	Менш за 0,01 нм

Выпраменяванне з даўжынёй хвалі ад 390 да 760 нм вока чалавека ўспрымае як святло, прычым розным даўжыням хваль адпавядаюць розныя колеры (ад фіялетавага да чырвонага). Для выяўлення выпраменявання ў іншых дыяпазонах патрэбны спецыяльныя прылады.

Адны нябесныя целы ў залежнасці ад свайго фізічнага стану выпраменяваюць энергію ў вузкіх інтэрвалах частот спектра электрамагнітных хваль (напрыклад, светлыя газавыя туманнасці), іншыя — ва ўсім яго дыяпазоне: ад гама-прамянёў да радыёхваль уключна (напрыклад, зоркі). Вывучэнне фізічнай прыроды нябесных цел у широкім дыяпазоне электрамагнітнага выпраменявання прывяло да з'яўлення ў науцы такіх раздзелаў, як гама-астрономія, рэнтгенаўская астрономія, інфрачырвоная астрономія, радыёастрономія і інш.

Вывучэнне электрамагнітных хваль, якія вылучаюцца нябеснымі цёламі, ускладняецца з-за таго, што атмасфера Зямлі прапускае выпраменяванне толькі ў пэўных дыяпазонах даўжынь хваль: ад 300 да 1000 нм, ад 1 см да 20 м і ў некалькіх «вокнах» інфрачырвонага дыяпазону (рыс. 95). Выпраменяванне, якое даходзіць да паверхні Зямлі, даследуюць пры дапамозе аптычных тэлескопаў (бачнае святло) і радыётэлескопаў.

Зямная атмасфера мацней за ўсё паглынае караткахвалевую зону дыяпазону электрамагнітнага выпраменявання: ультрафіялетавыя, рэнтгенаўскія і гама-прамяні. Назіранні ў гэтых дыяпазонах магчымыя толькі пры дапамозе прылад, паднятых на вялікую вышыню (на самалётах ці зондах) або ўстаноўленых на міжпланетных касмічных станцыях, комплексах (рыс. 96), штучных спадарожніках Зямлі і ракетах.

2. Тэлескопы і іх характеристыстыкі. Вывучаць далёкія недасягальныя нябесныя аб'екты можна адным спосабам — сабраўшы і прааналізаваўшы



Рысунак 95 — Распаўсядженне выпраменявання нябесных цел у атмасфери

іх выпраменяванне. Для гэтай мэты і служаць тэлескопы. Пры ўсёй сваёй разнастайнасці тэлескопы, якія прымаюць электрамагнітнае выпраменяванне, вырашаюць дзве асноўныя задачы:

1) сабраць ад аб'екта, які даследуецца, як мага больш энергіі выпраменявання пэўнага дыяпазону электрамагнітных хваль;

2) стварыць па магчымасці найбольш выразны відарыс аб'екта, каб можна было вылучыць выпраменяванне ад асобных яго пунктаў, а таксама вымераць вуглавыя адлегласці паміж імі.



Рысунак 96 — Міжнародная касмічная станцыя

У залежнасці ад канструктыўных асаблівасцей аптычных схем тэлескопы падзяляюць на лінзавыя сістэмы — рэфрактары, люстранныя сістэмы — рэфлектары; змешаныя люстрана-лінзавыя сістэмы, да якіх адносяцца тэлескопы канструкцыі Б. Шміта, Д. Д. Максутава і інш.

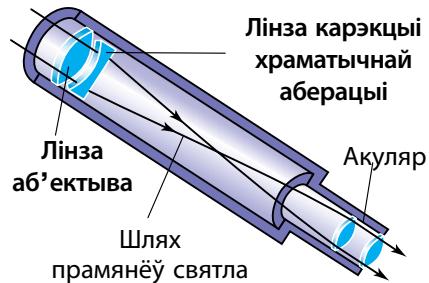
Тэлескоп-рэфрактар у асноўным выкарыстоўваецца для візуальных назіранняў (рыс. 97). Ён мае аб'ектывы і акуляр. Дыяметр аб'ектываў рэфрактараў абмежаваны з-за цяжкасцей адліўкі буйных аднародных блокаў аптычнага шкла, іх прагінаў і святлопаглынання. Найбольшы дыяметр аб'ектыва тэлескопа-рэфрактара, які выкарыстоўваецца ў цяперашні час, — 102 см (Йеркская абсерваторыя, ЗША). Недахопамі тэлескопаў такога тыпу лічацца іх значная даўжыня і скажэнне відарыса. Для ліквідавання гэтых недахопаў выкарыстоўваюць шматлінзы або аберасці. Тэлескоп, сумешчаны з фотакамерай, называецца астрографам. Астрограф, па сутнасці, уяўляе сабой вялікі фотапаратаў: у яго фальцавай плоскасці ўстанаўліваецца касета з фотапласцінкай.

Тэлескоп-рэфлектар мае люстрыны або аберасці. У самым простым рэфлектары або аберасці — гэта адзіночнае, звычайна парабалічнае люстра; відарыс атрымліваецца ў яго галоўным фокусе.

Сучасныя тэлескопы-рэфлектары ў падобні з рэфрактарамі маюць значна большыя або аберасці. У рэфлектарах з дыяметрам люстра больш за 2,5 м у галоўным фокусе часам устанаўліваюць кабіну для назіральніка. З павелічэннем памераў люстра ў такіх тэлескопах даводзіцца выкарыстоўваць спецыяльныя сістэмы разгрузкі люстраў, якія выключаюць іх дэфармацыі з-за ўласнай масы, а таксама прымаць меры для прадухілення іх тэмпературных дэфармацый. Пабудова буйных рэфлектараў (з дыяметрам супэльнага люстра 4—6 м) звязана з вялікімі тэхнічнымі цяжкасцямі. Тому распрацоўваюцца канструкцыі з састаўнымі мазаічнымі люстрамі, асобныя элементы якіх патрабуюць дакладнай настройкі з дапамогай спецыяльнай апаратуры сачэння.

У невялікіх і сярэдніх па памерах рэфлектарах для зручнасці назірання свято адбіваецца дадатковым плоскім (другасным) люстрам да сценкі трубы, дзе знаходзіцца акуляр (рыс. 98). Рэфлектары выкарыстоўваюць пераважна для фатаграфавання неба, фотаэлектрычных і спектральных даследаванняў.

У люстрово-лінзовых тэлескопах відарыс атрымліваецца з дапамогай складанага або аберасці, які ўтрымлівае як люстры, так і лінзы. Гэта



Рысунак 97 — Ход прамянёў светла у тэлескопе-рэфрактары

дазваляе значна паменшыць аптычныя скажэнні тэлескопа ў параўнанні з люстраннымі ці лінзавымі сістэмамі. У тэлескопах сістэмы Б. Шміта аптычныя скажэнні галоўнага сферычнага люстра ліквідуюцца пры дапамозе спецыяльнай карэкцыйнай пласцінкі складанага профілю, устаноўленага перад ім. У тэлескопах сістэмы Д. Д. Максутава скажэнні галоўнага сферычнага ці эліптычнага люстра выпраўляюцца меніскам, устаноўленым перад люстрам (рыс. 99). Меніск — гэта лінза, у якой радыусы кривізвны паверхняў мала адразніваюцца; такая лінза амаль не ўплывае на агульны ход прамянёў, але значна выпраўляе скажэнні аптычнага відарыса.

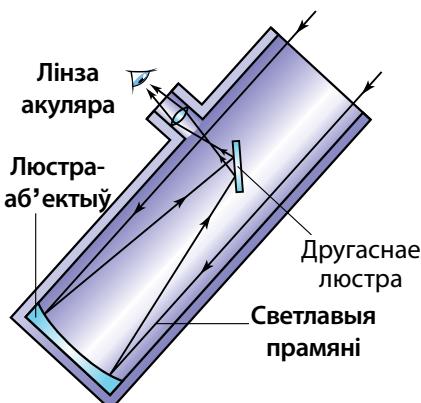
Асноўнымі аптычнымі параметрамі тэлескопа з'яўляюцца: бачнае павелічэнне, распазнавальная здольнасць і пранікальная сіла.

Бачнае павелічэнне (G) аптычнай сістэмы — гэта адносіны вугла, пад якім назіраецца відарыс, атрыманы аптычнай сістэмай прыбора, да вуглавога памеру аб'екта пры назіранні яго непасрэдна вокам. Бачнае павелічэнне тэлескопа можна разлічыць па формуле:

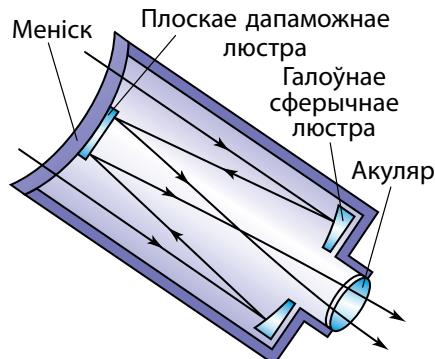
$$G = \frac{F_{ab}}{F_{ak}},$$

дзе F_{ab} і F_{ak} — фокусныя адлегласці аб'ектыва і акуляра.

Для атрымання значнага павелічэння аб'ектывы ў тэлескопах павінны быць даўгafокуснымі (фокусная адлегласць у некалькі метраў), а акуляры — кароткафокуснымі (ад некалькіх сантиметраў да 6 мм). Неспакойная атмасфера Зямлі выклікае дрэжанне і скажэнне відары-



Рысунак 98 — Ход прамянёў у тэлескопе-рэфлектары



Рысунак 99 — Ход прамянёў у люстра-лінзавым меніскавым тэлескопе

са, размывае яго дэталі. Таму нават на буйных тэлескопах рэдка выкарыстоўваюць павелічэнне больш чым у 500 разоў.

Пад **распазнавальнай здольнасцю** (ψ) аптычнага тэлескопа разумеюць найменшую вуглавую адлегласць паміж дзвюма зоркамі, якія могуць быць бачныя ў тэлескоп асобна. Тэарэтычна распазнавальная здольнасць (у секундах дугі) візуальнага тэлескопа для жоўта-зялёных прамянёў, да якіх найбольш адчуvalьнае вока чалавека, можа быць аценена пры дапамозе формулы:

$$\psi = \frac{140''}{D},$$

дзе D — дыяметр аб'ектыва тэлескопа ў міліметрах.

На практыцы з-за пастаянных перамяшчэнняў паветраных мас распазнавальная здольнасць тэлескопаў зніжаецца. У выніку наземныя тэлескопы, як правіла, забяспечваюць распазнавальную здольнасць каля $1''$, і толькі ў рэдкіх выпадках пры вельмі спрыяльных атмасферных умовах можна дасягнуць распазнавальной здольнасці ў некалькі дзясятых долей секунды.

Таксама важнай характарыстыкай тэлескопа з'яўляецца **пранікальная сіла** (m). Яна выражаетца гранічнай зорнай велічынёй свяціла, даступнага для назірання пры дапамозе дадзенага тэлескопа пры ідэальных атмасферных умовах.

Для тэлескопаў з дыяметрам аб'ектыва D (мм) пранікальная сіла m , выражаная ў зорных велічынях пры візуальных назіраннях, ацэніваецца формулай:

$$m = 2,0 + 5 \lg D.$$

З 1995 г. у абсерваторыі Маўна-Кеа (ЗША) працуюць два адноўковыя 10-метровыя тэлескопы «Кек-1» і «Кек-2». Кожнае люстра тэлескопа складаецца з 36 сегментаў. За якасць відарыса тэлескопаў адказвае камп'ютар, які кіруе кожным сегментам люстра. Па распазнавальнай здольнасці такі тэлескоп набліжаецца да касмічнага. Абсерваторыя знаходзіцца на вышыні 4250 м над Ціхім акіянам на Гавайскіх астравах. Оптыка касмічнага тэлескопа імя Хабла (рыс. 100) набліжаецца да ідэальнай аптычнай сістэмы. Па-за



Рысунак 100 — Касмічны тэлескоп Хабла (ЗША)

атмасферай люстра гэтага тэлескопа дыяметрам 2,4 м дае магчымасць да-
сягнуць распазнавання 0,06''.

Значнымі магчымасцямі валодае тэлескоп VLT (англ. *Very Large Telescope* — вельмі вялікі тэлескоп), які належыць ёўрапейскім краінам і ўстаноўлены на гары Параналь (вышыня 2635 м) на поўначы Чылі. Тэлескоп VLT складаецца з чатырох тэлескопаў, кожны з якіх мае дыяметр 8,2 м. Крайнія тэлескопы разнесены адзін ад аднага на адлегласць 200 м, што дае магчымасць усяму комплексу працаўаць у рэжыме **аптычнага інтэрферометра**. Гэта азначае, што калі тэлескопы накіраваны на адну і туую ж зорку, то сабранае імі выпраменяньне падсумоўваецца, а распазнавальная здольнасць тэлескопаў, якія працуяць сумесна, эквівалентная выкарыстанню люстра дыяметрам 200 м.

Колькасць пабудаваных ва ўсім свеце тэлескопаў з дыяметрами люстрами больш за 6 м набліжаецца да дваццаці.

Выпраменяньне, сабранае аб'ектывам тэлескопа, рэгіструеца і аналізуецца прыёмнікам выпраменяньня. На працягу першых двух з паловай стагоддзяў з пачатку тэлескопічнай эры адзіным прыёмнікам выпраменяньня служыла вока чалавека. Але гэта не толькі не вельмі адчувальны, але і дастаткова суб'ектыўны прыёмнік выпраменяньня. З сярэдзіны XIX ст. у астраноміі пачалі шырока выкарыстоўвацца фатаграфічныя методы. Фатаграфічныя матэрыялы (фотапласцінкі, фотаплёнкі) валодаюць шэрагам каштоўных пераваг у параўнанні з чалавечым вокам. Фотаэмультсія здольная падсумоўваць энергію, што падае на яе, г. зн. пры павелічэнні вытрымкі на негатыве можна сабраць больш святла. Фатаграфія дае магчымасць дакументаваць падзеі, таму што негатывы могуць захоўвацца на працягу доўгага часу. Фотапласцінкі маюць панарамнасць, г. зн. могуць адначасова і дакладна фіксаваць мноства аб'ектаў.

Самая буйныя сучасныя тэлескопы кіруюцца камп'ютарамі, а атрыманыя відарысы касмічных аб'ектаў фіксуюцца ў форме, якая апрацоўваецца камп'ютарнымі праграмамі. Фатаграфія амаль выйшла з ужытку. У апошнія дзесяцігоддзі атрымалі шырокое распаўсюджанне **фотаэлектрычныя прыёмнікі выпраменяньня**, звесткі ад якіх перадаюцца непасрэдна на камп'ютар. Да такіх прыбораў адносяцца ПЗС-матрыцы (прыборы з зарадавай сувяззю). ПЗС-матрыца — гэта інтэгральная схема, размешчаная на паўправадніковым матэрыяле, якая пераўтварае светлавую энергию выпраменяньня ў энергию электрычнага току. Сіла току пропарцыянальная інтэнсіўнасці светлавога патоку. Такія прыборы маюць высокую эфектыўнасць у рэгістрацыі светлавых квантаў (квантавы выхад): выкарыстоўваецца да 80 % ад агульнай іх

колькасці. Камп'ютарная апрацоўка відарыса дапамагае пазбавіцца ад фону і перашкод, утвораемых за кошт рассейвання святла ў атмасфери Зямлі і турбулентнасці атмасфери.

3. Радыётэлескопы. Вывучэннем касмічных радыёкрыніц займаецца *радыёастрономія*. Яна ўзнікла ў 1931 г., калі выпадкова было выяўлена радыёвыпрамяненне Млечнага Шляху. Праз 15 гадоў у сузор’і Лебедзя знайшлі першую кропкавую крыніцу радыёхваль — слабую галактыку, якую потым удалось разгледзеь у аптычным дыяпазоне.

Радыёвыпрамяненне, якое даходзіць да Зямлі ад большасці нябесных аб’ектаў, вельмі слабае. Для выяўлення і прыёму касмічнага радыёвыпрамянення выкарыстоўваюцца прыборы, якія атрымалі назну **радыётэлескопаў**. Радыётэлескопы складаюцца з антэннага устройства і адчуvalьnай прыёмнай сістэмы. Прыймная сістэма, ці радыёметр, узмацняе прынятае антэнай радыёвыпрамяненне і пераўтварае яго ў зручную для далейшай апрацоўкі форму.

Асноўнае прызначэнне антэннага ўстройства — сабраць максімальнью колькасць энергіі, што прыносіцца радыёхвальмі ад аб’екта. У якасці антэны выкарыстоўваецца суцэльнае металічнае ці сеткаватае люстра ў форме парабалоіда. Антэна радыётэлескопа адразніваецца ад звычайных антэн радыёсувязі высокай накіраванасцю, г. зн. здольнасцю вылучаць радыёвыпрамяненне невялікага ўчастка неба. У фокусе парабалоіда змяшчаецца апрамяняльнік — устройства, што збірае радыёвыпрамяненне, накіраванае на яго люстрам. Апрамяняльнік перадае прынятую энергию на прыёмнае ўстройства, дзе сігнал узмацняецца, дэтэктуецца і рэгіструецца.

Радыётэлескопы вельмі вялікага памеру могуць быць пабудаваныя з асобных люстраў, кожнае з якіх факусіруе прымаемае выпраменяванне на адзін апрамяняльнік. Прыйкладам з’яўляеца расійскі радыётэлескоп РАТАН-600 (рыс. 101). Антэна гэтага тэлескопа ўяўляе сабой замкнёнае кальцо дыяметрам 576 м, складзеное з 895 плоскіх люстраў памерам $2,1 \times 7,4$ м, што ўтвараюць сегменты парабалоіда.

Магутнасць радыёсігналу, які трапляе на ўваход прыёмніка, прама прапарцыянальная плошчы антэны. Таму антэна большага памеру з адным і тым

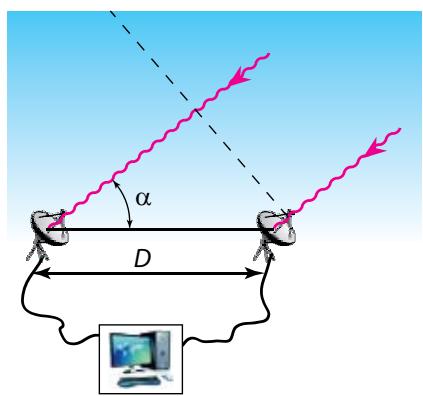


Рысунак 101 — Радыётэлескоп РАТАН-600



Рысунак 102 — Гіганцкі радыёэтэлескоп у чашы кратара (Пуэрта-Рыка)

Калі радыёвыпрамяненне мае і болей антэнамі, размешчанымі на некаторай адлегласці адна ад адной, а потым гэтыя сігналы падсумоўваюцца, то ў выніку інтэрферэнцыі радыёсігналаў распазнавальная здольнасць тэлескопаў значна ўзрастае. Такі інструмент называецца **радыёінтэрферометрам**. На рысунку 103 паказана схема работы радыёінтэрферометра, які складаецца з двух радыёэтэлескопаў. Адлегласць D , што іх раздзяляе, можа складаць сотні і нават тысячы кіламетраў. Напрыклад, шматэлементны радыёінтэрферометр VLA (штат Нью-Мексіка, ЗША) складаецца з 27 індывідуальных 25-метровых парабалоідаў, якія разнесены на 25 км адзін ад аднаго. Радыёінтэрферометры са звышшоўгай базай аб'ядноўваюць разнесенныя на тысячы кіламетраў радыётэлескопы. З іх дапамогай змаглі атрымаць вуглавое распазнаванне каля $0,0001''$.



Рэгіструючая апаратура

Рысунак 103 — Схема работы радыёінтэрферометра

жа прыёмнікам забяспечвае лепшую адчувальнасць, г. зн. дазваляе выявіць слабыя кропкі з малой магутнасцю выпраменяньня. Антэны самых буйных радыёэтэлескопаў дасягаюць сцену метраў. Буйны радыёэтэлескоп з вярчальным металічным рэфлектарам дыяметрам 100 м знаходзіцца недалёка ад горада Бона ў Германіі. Нерухомая антэна ў Арэсіба (Пуэрта-Рыка), якая размешчана ў кратары патухлага вулкана, мае дыяметр 305 м (рыс. 102). Для таго каб змяніць напрамак прыёму выпраменяньня, у гэтым радыёэтэлескопе перастаўляюць апрамяняльнік.

Кропкі адначасова ўспрымаецца дзвумя і болей антэнамі, размешчанымі на некаторай адлегласці адна ад адной, а потым гэтыя сігналы падсумоўваюцца, то ў выніку інтэрферэнцыі радыёсігналаў распазнавальная здольнасць тэлескопаў значна ўзрастае. Такі інструмент называецца **радыёінтэрферометрам**. На рысунку 103 паказана схема работы радыёінтэрферометра, які складаецца з двух радыёэтэлескопаў. Адлегласць D , што іх раздзяляе, можа складаць сотні і нават тысячы кіламетраў. Напрыклад, шматэлементны радыёінтэрферометр VLA (штат Нью-Мексіка, ЗША) складаецца з 27 індывідуальных 25-метровых парабалоідаў, якія разнесены на 25 км адзін ад аднаго. Радыёінтэрферометры са звышшоўгай базай аб'ядноўваюць разнесенныя на тысячы кіламетраў радыётэлескопы. З іх дапамогай змаглі атрымаць вуглавое распазнаванне каля $0,0001''$.

Радыёхвалі свабодна праходзяць скрозь вялізныя міжзорныя газапылавыя воблакі і атмасферу Зямлі. Таму методы радыёастрономіі вельмі важныя для вывучэння, напрыклад, цэнтральных раёнаў Млечнага Шляху і іншых галактык, паколькі аптычныя хвалі, што ідуць з гэтых зон, поўнасцю паглынаюцца.

У большай ці меншай ступені радыёвы-прамяніальную здольнасць маюць усе галактыкі. Але некаторыя з іх адрозніваюцца павышанай актыўнасцю. На рэсунку 104 паказана сумяшчэнне аптычнай фатаграфіі і ліній інтэнсіўнасці радыёвы-прамянення радыёгалактыкі Цэнтаур А.

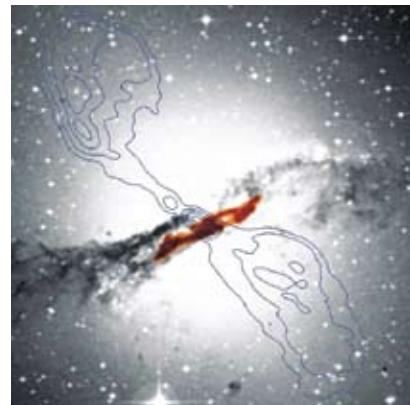
Усе вядомыя касмічныя радыёкрыніцы ў 80-х гг. XX ст. былі зведзены ў каталог, які налічвае звыш 100 тыс. аб'ектаў. У 1958 г. астрономы ЗША атрымалі першае радарнае рэча ад іншай планеты — Венеры. Адбіткі радарных сігналаў ад іншых планет даюць самыя дакладныя вымярэнні адлегласцей. Гэтыя ж метады дазволілі пранікнуць праз шчыльную атмасферу Венеры і даследаваць рэльеф яе паверхні. З дапамогай радара былі дакладна вызначаны перыяды абарачэння Венеры і Меркурыя.

4. Пазаатмасферная астрономія. Асаблівы раздзел астрономіі — **пазаатмасферная астрономія** — вывучае нябесныя аб'екты пры дапамозе апаратуры, вынесенай за межы зямной атмасфери. Розныя прыборы, размешчаныя на штучных спадарожніках Зямлі (ШСЗ) і аўтаматычных міжпланетных станцыях (АМС), даюць магчымасць вывучаць касмічныя аб'екты ва ўсім дыяпазоне даўжыні хваль, пачынаючы ад жорсткага гама-выпрамянення да кіламетровых радыёхваль. Таму сучасная астрономія стала ўсяхвалевай.

Вывучэнне інфрачырвонага выпраменявання ў астрономіі пачалося з того, што з яго дапамогай правялі дакладныя вымярэнні тэмпературы паверхні і атмасфери планет Сонечнай сістэмы. Так, у атмасферах Марса, Венеры і Юпітэра быў выяўлены вуглякіслы газ. Інфрачырвоная назіранні планет-гігантаў дазволілі даведацца аб структуры іх атмасфер і выявіць лёд на спадарожніках.

Сенсацыйным адкрыццём інфрачырвонай астрономіі стала вада, знайдзеная ў космасе ў вялікай колькасці. Яна прысутнічае ў газапылавых туманнасцях, каметах і на малых планетах.

Паколькі зямная атмасфера моцна экраніруе ўльтрафіялетавае выпраменяванне, яго прыёмнікі даводзіцца размяшчаць на штучных спадарожніках Зямлі. Праведзены ў 1999 г. назіранні далі вельмі цікавыя



Рысунак 104 — Аптычнае і радыёвыпрамяненне галактыкі Цэнтаур А



Рысунак 105 — Крабападобная туманнасць у рэнтгенаўскіх прамянях

навуковыя вынікі. Высветлілася, што ў нашай Галактыцы шырокая распаўсюджаны масы моцна нагрэтага (да паўмільёна градусаў) міжзорнага газу, які знаходзіцца на адлегласці ад 5 да 10 тыс. светлавых гадоў ад цэнтральнай плоскасці Млечнага Шляху. Гэты газ награваецца хутчэй за ёсё ў выніку ўспышак звышновых зорак.

Крыніцамі гама-выпрамянення з'яўляюцца ўспышкі на Сонцы, ядры актыўных галактык, квазары. З дапамогай рэнтгенавскіх касмічных абсерваторый даследуюцца звышновыя зоркі, туманнасці (рыс. 105), нейtronныя зоркі, сонечная карона і ўспышкі на Сонцы.

Штучныя спутнікі Зямлі выводзяць на каляземныя арбіты ўнікальныя ўльтрафіялетавыя, інфрачырвоныя і аптычныя тэлескопы. Паступова павялічваюцца дыяметры іх галоўных люстраў, удасканальваецца святлопрыёмная апаратура, павышаецца адчувальнасць прыбораў, распрацоўваюцца новыя методы стабілізацыі тэлескопаў на арбіце.



Галоўныя выводы

1. Атмасфера Зямлі прапускае электромагнітнае выпраменяванне толькі ў пэўных дыяпазонах хваль, таму выпраменяванне ад касмічных аб'ектаў на паверхні Зямлі даследуюць з дапамогай аптычных тэлескопаў і радыётэлескопаў.
2. Пазаатмасферная астраномія дазваляе даследаваць нябесныя аб'екты ва ўсім дыяпазоне электромагнітнага выпраменявання.
3. У залежнасці ад канструкцыі адразніваюць аптычныя тэлескопы наступных тыпаў: лінзы (рэфрактары), люстры (рэфлектары) і люстрына-лінзы.
4. Асноўныя аптычныя параметры тэлескопаў — бачнае павелічэнне, распазнавальная здольнасць, пранікальная сіла.
5. Павелічэнне распазнавальнай здольнасці аптычных і радыётэлескопаў дасягаецца за кошт аўяднання іх комплексаў у інтэрферометры.



Кантрольныя пытанні і заданні

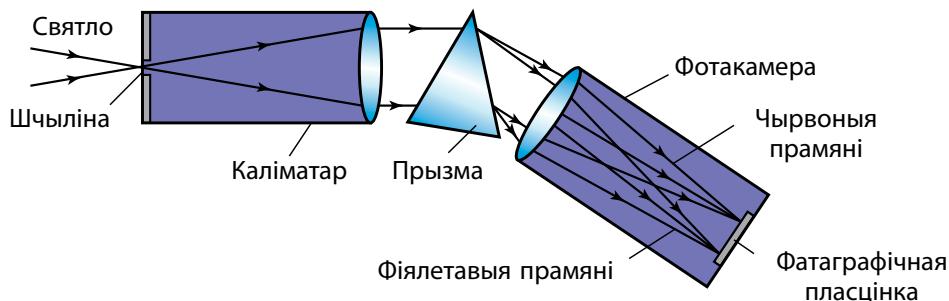
1. На якія дыяпазоны падзяляеца ўвесь спектр электрамагнітнага выпраменявання?
2. Чаму з паверхні Зямлі нельга вывучаць нябесныя аб'екты ва ўсіх дыяпазонах электрамагнітнага выпраменявання?
3. Якія асноўныя задачы вырашаюць у астрономіі з дапамогай тэлескопаў?
4. Як можна вызначыць бачнае павелічэнне аптычнай сістэмы тэлескопа?
5. Павелічэнне тэлескопа роўнае 75. Фокусная адлегласць аб'ектыва 5 м. Вызначыце фокусную адлегласць акуляра.
6. Што разумеюць пад распазнавальнай здольнасцю тэлескопа? Пранікальная здольнасцю?
7. Вызначыце распазнавальную здольнасць глядзельнай трубы з дыяметрам аб'ектыва 5 см.
8. Што разумеюць пад пазаатмасфернай астрономіяй?

§ 18. Спектральны аналіз у астрономії

1. Віды спектраў. У 1666 г. Ісаак Ньютона пры прапусканні пучка сонечнага святла праз трохгранную шклянную прызму заўважыў, што той не толькі пераламляеца да асновы прызмы, але і распадаеца на каліяровыя складальныя. Атрыманую на экране каліяровую палоску з сямі асноўных колераў, якія паступова пераходзяць адзін у другі, назвалі **спектрам**.

Для назірання і даследавання спектраў выкарыстоўваюць прыбор — спектраскоп. Для атрымання і рэгістрацыі спектраў нябесных цел выкарыстоўваюць спецыяльны аптычны прыбор — **спектрограф**.

Спектры адносна яркіх свяцілаў фатаграфуюць з дапамогай шчылінных спектрографаў, якія складаюцца з каліматара, прызмы і фотакамеры (рыс. 106). Фатаграфічны здымак спектра нябеснага цела



Рысунак 106 — Схема шчыліннага спектрографа

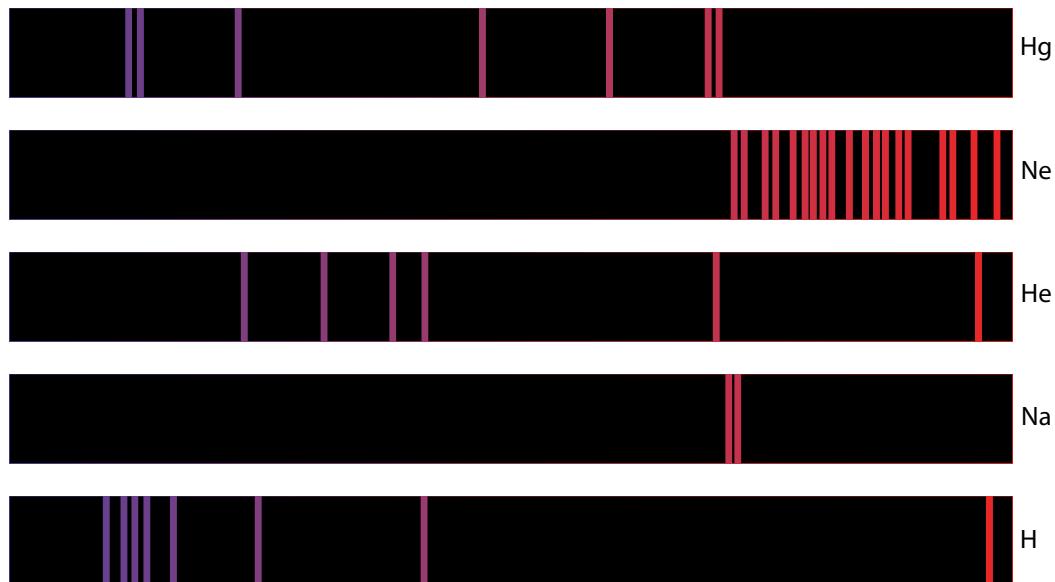
Правообладатель Адукацыя і выхаванне

называецца **спектраграмай**. Таксама спектраграмай называюць график залежнасці інтэнсіўнасці (магутнасці) выпраменявання нябеснага цела ад даўжыні хвалі ці частаты.

Любое святлівае цела стварае **спектр выпраменявання**. Спектры бываюць сущэльныя (неперарыўныя), лінейчастыя і паласатыя.

Сущэльны спектр мае выгляд неперарыўнай паласы, колеры якой паступова пераходзяць адзін у другі. Усе цвёрдыя целы, расплаўленыя металы, святлівыя газы і пара, што знаходзяцца пад вельмі высокім ціскам, даюць сущэльны спектр. Такі спектр можна, напрыклад, атрымаць ад дугавога ліхтара і свечкі, якая гарыць.

Іншы выгляд мае спектр, калі ў якасці крэйніцы святла выкарыстоўваецца распаленыя газы ці пару пры ўмове, што іх ціск мала адрозніваеца ад нармальнага і газы знаходзяцца ў атамарным стане. У гэтым выпадку гавораць аб **лінейчастым спектры** (атамным). Ён складаецца з асобных рэзкіх каляровых ліній, раздзеленых цёмнымі прамежкамі (рыс. 107). Устаноўлена, што кожны хімічны элемент у стане распаленага газу, які складаецца з атамаў, выпраменявае ўласцівы толькі яму аднаму лінейчасты спектр з характэрнымі каляровымі лініямі, заўсёды размешчанымі на пэўным месцы.



Рысунак 107 — Лінейчастыя спектры некаторых рэчываў (Hg, Ne, He, Na, H)

Паласаты спектр (малекулярны) складаецца з асобных ліній, якія зліваюцца ў палосы (выразныя з аднаго боку і размытыя з другога), раздзеленыя цёмнымі прамежкамі. Такі спектр выпраменяваюць малекулы газаў і пары.

Разам са спектрамі выпраменявання існуюць спектры паглынання.

Суцэльны спектр, перасечаны цёмнымі лініямі ці палосамі ў выніку праходжання белага святла праз распаленыя газы ці пару, называецца **спектрам паглынання**. Даследаванне з'явы ўзнікнення спектраў паглынання паказала, што *рэчыва паглынае прамяні тых даужынь хвал, якія яно можа выпраменяваць у дадзеных умовах* (**закон Кірхгофа**).

Такім чынам, для кожнага хімічнага элемента яго лінейчасты спектр выпраменявання і спектр паглынання валодаюць абаражальнасцю. Гэта азначае, што месцазнаходжанне цёмных ліній паглынання дакладна адпавядае размяшчэнню каліяровых ліній выпраменявання.

Спектр утрымлівае найважнейшую інфармацыю пра выпраменяванне. Агульны выгляд спектра і дэталёвае размеркаванне энергіі ў ім заўлежаць ад тэмпературы, хімічнага саставу і фізічных уласцівасцей крыніцы, а таксама ад скорасці яе руху. Метад даследавання хімічнага саставу цел і іх фізічнага стану з дапамогай спектраў выпраменявання і паглынання называецца **спектральным аналізам**.

2. Хімічны састаў нябесных цел. У 1814 г. нямецкі фізік Ёзеф Фраўнгофер пры назіранні за спектрам Сонца з дапамогай зробленага ім спектраскопа з дыфракцыйнай рапоткай звярнуў увагу на тое, што суцэльны спектр Сонца ўтрымлівае значную колькасць цёмных ліній. Вучоны ўстановіў, што гэтыя лініі (позней названыя яго імем) не выпадковыя і заўсёды прысутнічаюць у спектры Сонца на строга вызначаных месцах. **Фраўнгоферавы лініі** — гэта лініі паглынання пары розных рэчываў, размешчаных паблізу ад крыніцы суцэльнага спектра — яркай паверхні Сонца (паміж фотасферай і спектральным прыборам). Сонца абкружана газавайabalонкай, якая мае больш ніzkую тэмпературу і меншую шчыльнасць, чым фотасфера. Такім чынам, спектр Сонца з'яўляецца, па сутнасці, спектрам паглынання гэтай пары.

Пры дэталёвой класіфікацыі фраўнгоферавых ліній адзін за адным на Сонцы выявілі ўсе зямныя элементы. Пасля правядзення велізарнай па аб'ёме работы па ўстанаўленні адпаведнасці фраўнгоферавых ліній пэўным элементам высветлілася, што некалькі спектральных ліній не

належаць ніводнаму зямному элементу. Так быў адкрыты новы элемент — гелій (сонечны). І толькі праз 26 гадоў гелій выявілі на Зямлі.

Пры параўнанні даўжынъ хваль ліній паглынання, якія назіраюцца ў спектрах нябесных цел, з атрыманымі ў лабараторыі або тэарэтычна разлічанымі спектрамі розных рэчываў можна вызначыць хімічны састаў касмічнага аб'екта, які выпраменявае і знаходзіцца на вельмі вялікай адлегласці. Спектральны аналіз дазваляе вызначыць састаў не толькі Сонца, але і іншых аб'ектаў — зорак, туманнасцей. Аналіз спектраў — асноўны метод вывучэння фізічнай прыроды касмічных аб'ектаў, які выкарыстоўваецца ў астрафізіцы.

3. Тэмпература. Законы Віна і Стэфана – Больцмана. Кожнае, нават слаба нагрэтае, цела выпраменявае электромагнітныя хвалі (цеплавое выпраменяванне). Пры тэмпературах, не большых за 10^3 К, выпраменяюцца галоўным чынам інфрачырвоныя прамяні і радыёхвалі. Пры далейшым награванні спектр цеплавога выпраменявання мяніеца: па-першае, павялічваецца агульная колькасць энергіі, якая выпраменяюцца, па-другое, з'яўляюцца прамяні ўсё больш і больш кароткіх даўжынъ хваль — бачныя (ад чырвоных да фіялетавых), ультрафіялетавыя, рэнтгенаўскія і г. д.

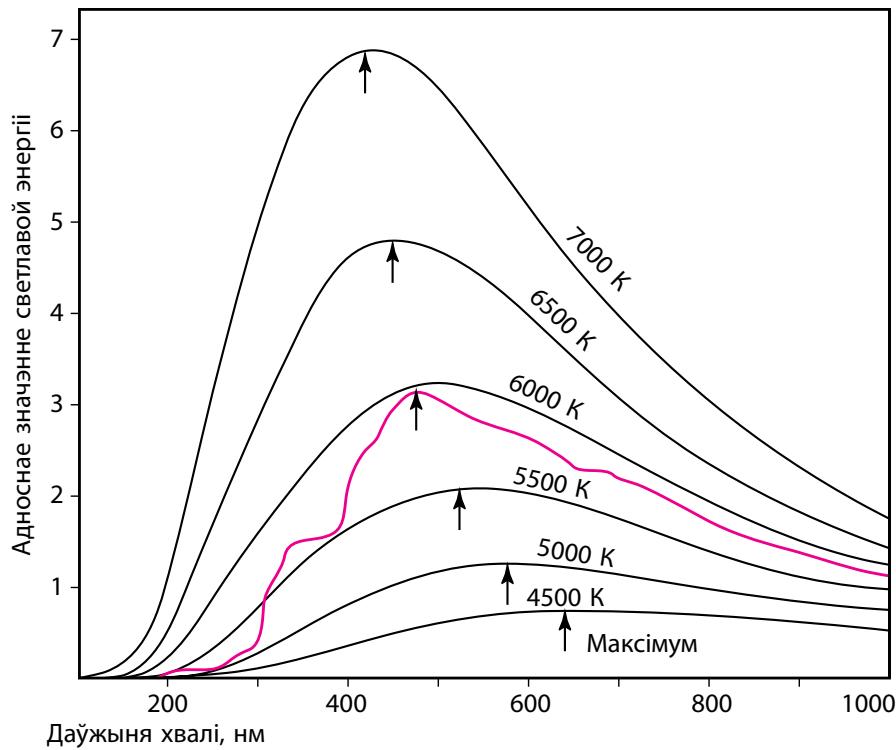
Пры цеплавым выпраменяванні ўнутраная энергія цеплавога руху атамаў і малекул цела пераходзіць у энергію электромагнітных хваль, што выпраменяюцца. Пры паглынанні святла адбываецца адваротны процэс пераходу электромагнітнай энергіі ва ўнутраную энергію цела.

Размеркаванне энергіі ў неперарывным спектры цел рознай тэмпературы можна падаць у выглядзе графіка (рыс. 108). З павелічэннем тэмпературы максімум выпраменявання абсолютна чорнага цела зрушваецца ў кароткаххвалевую частку спектра. Даўжыня хвалі λ_{\max} , якой адпавядае максімум у размеркаванні энергіі, звязана з абсолютнай тэмпературай T судносінамі, якія называюцца законам зрушэння Віна:

$$\lambda_{\max} \cdot T = b,$$

дзе b — пастаянная Віна ($b \approx 2,9 \cdot 10^{-3}$ м · К). Дадзены закон выконваецца не толькі для аптычнага, але і для любога іншага дыяпазону электромагнітнага выпраменявання.

У спектраграме Сонца найбольшая інтэнсіўнасць выпраменявання прыпадае на даўжыню хвалі $\lambda = 480$ нм, таму тэмпература сонечнай фотасфери блізкая да 6000 К.



Рысунак 108 — Размеркаванне энергіі ў неперарыўных спектрах цел, нагрэтых да розных тэмператур. Чырвоная крытавая лінія — спектр Сонца

З павелічэннем тэмпературы мяняецца не толькі колер выпраменявання, але і яго магутнасць. У выніку экспериментаў і тэарэтычных разлікаў было доказана, што магутнасць выпраменявання абсолютна чорнага цела пропарціянальная чацвёртай ступені тэмпературы (закон Стэфана — Больцмана). Кожны квадратны метр паверхні абсолютно чорнага цела выпраменявае за 1 с па ўсіх напрамках ва ўсім дыяпазоне даўжынь хваль энергію:

$$\varepsilon = \sigma \cdot T^4,$$

дзе ε — магутнасць выпраменявання адзінкі паверхні нагрэтага цела, T — абсолютная тэмпература, σ — пастаянная Стэфана — Больцмана, роўная $5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м² · К⁴).

Калі вядомая колькасць энергіі, што прыходзіць ад зоркі да зямной паверхні, то можна па законе Стэфана — Больцмана вызначыць яе

тэмпературу. Законы Віна і Стэфана — Больцмана справядлівыя для выпраменівання абсалютна чорнага цела. У першым набліжэнні можна лічыць, што зоркі, у прыватнасці Сонца, выпраменіваюць як абсалютна чорнае цело.

4. Эфект Доплера. У астрафізіцы шырока выкарыстоўваецца **эфект Доплера**, які ўзнікае пры рухе крыніцы выпраменівання адносна назіральніка. Сутнасць эфекту Доплера заключаецца ў наступным: калі крыніца выпраменівання рухаецца па прямяні зроку назіральніка са скорасцю v_r , якая называецца прамянёвай скорасцю, то замест даўжыні хвалі λ_0 , якую выпраменівае крыніца, назіральнік фіксуе хвалю даўжынёй λ , так што

$$\lambda = \lambda_0 \left(1 + \frac{v_r}{c} \right),$$

дзе c — скорасць святла.

Скорасць v_r дадатная пры аддаленні крыніцы святла ад назіральніка ($\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 > 0$) і адмоўная пры набліжэнні да яго ($\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 < 0$).

З эфектам Доплера мы часта сутыкаемся ў акустыцы. Напрыклад, калі вы стаіце на платформе, міма якой праходзіць цягнік, то можаце заўважыць: пакуль ён набліжаўся, гукавы сігнал быў больш высокі, а калі стаў аддаляцца, вышыня гуку адразу знізілася. Аналагічная з'ява назіраецца і ў оптыцы: святло ад крыніцы, якая набліжаецца, робіцца больш сінім (частата павялічваецца), а ад крыніцы, якая аддаляецца, — больш чырвоным (частата памяншаецца). Гэта змена адбіваецца на месцазнаходжанні спектральных ліній у спектры: яны зрушваюцца ў сінюю або чырвоную частку спектра.

Каб вымераць зрушэнне спектральных ліній, побач са спектрам даследуемай зоркі на тую ж фотапласцінку фатаграфуюць спектр лабараторнай крыніцы, у якім ёсьць вядомыя спектральныя лініі. Потым з дапамогай мікраскопаў з дакладнымі мікрометрамі вымяраюць зрушэнне ліній аб'екта ў адносінах да лабараторнай сістэмы даўжынъ хваль і такім чынам знаходзяць велічыню $\Delta\lambda$. Затым па формуле

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{v_r}{c},$$

якая вынікае з прыведзенай вышэй, вылічваюць прамянёвую скорасць v_r .

Дадзеная вышэй формула Доплера прыдатная толькі для скарасцей v_r у межах да 0,1 скорасці светла. Пры руху крыніц выпраменяньвання са скарасцямі, блізкімі да скорасці светла, неабходна ўлічваць законы тэоры адноснасці.

Зрух спектральных ліній тэарэтычна прадказаў у 1842 г. аўстрыйскі фізік Х. Доплер. Правільнасць яго вывадаў пацвердзіў у 1899 г. лабараторнымі доследамі і назіраннямі за спектрамі зорак рускі астрофізік А. А. Белапольскі.



Галоўныя вывады

1. Усе светлівыя целы ўтвараюць спектры выпраменяньвання, якія могуць быць суцэльнымі (неперарывнымі), лінейчастымі і паласатымі.
2. Кожны хімічны элемент мае свой, толькі яму ўласцівы, лінейчасты спектр. Лінейчасты спектр строга пастаянны і не залежыць ад того, уваходзіць гэты элемент у састаў складанага рэчыва ці ўзяты ў чыстым выглядзе.
3. Пры адносным перамяшчэнні крыніцы выпраменяньвання і назіральніка адбываецца зрушэнне спектральных ліній у яго спектры.



Кантрольныя пытанні і заданні

1. Што такое спектр? Якія з'явы даказваюць складаны састаў светла?
2. Назавіце і дайце вызначэнні трох асноўнымі відам спектраў.
3. Што такое спектральны аналіз?
4. Вымярэнне спектраграмы зоркі паказала, што лінія жалеза ($\lambda = 530,2$ нм) у яе спектры зрушана ў парыўнанні з лініямі лабараторнай крыніцы ў бок найбольш кароткіх хваль на 0,02 нм. Якая скорасць зоркі па прамяні зроку?
5. Сфармулюйце і запішыце закон зрушэння Віна і закон Стэфана — Больцмана. Якое значэнне гэтых законов маюць у астрономіі?
6. Вызначыце тэмпературу зоркі, калі ў яе спектры максімум інтэнсіўнасці выпраменяньвання прыпадае на даўжыню хвалі роўнай 340 нм.
7. У якім выпадку зрушэнне ліній спектраграмы можа не адбывацца, нягледзячы на рух аб'екта?

Раздел VI

СОНЦА — ДЗЁННАЯ ЗОРКА

§ 19. Сонца як зорка

1. Агульныя звесткі. Сонца займае выключнае становішча ў жыцці чалавека. Яно забяспечвае нас святлом, цяплом, з'яўляеца крыніцай усіх відаў энергіі, што выкарыстоўваюцца людзьмі. Сонца ўпłyвае на магнітнае поле і верхняя слоі атмасфery Зямлі, выклікае магнітныя буры, іанізацыю і цыркуляцыю атмасфery. Сонечнае «надвор’е» ўпłyвае на клімат, біясферу і зямное жыццё ўвогуле. Значэнне Сонца чалавек усвядоміў яшчэ ў старажытнасці.

Сонца — цэнтральнае цела Сонечнай сістэмы, тыповая зорка, якая ўяўляе сабой распалены плазменны шар. Сонца — адна са 100 млрд зорак нашай Галактыкі. Пры дэталёвым вывучэнні фізичнай прыроды Сонца мы атрымліваем найважнейшыя звесткі аб прыродзе астартніх зорак. Дыск Сонца, бачны з Зямлі, — асяляпляльна жоўты круг з сярэднім вуглавым дыяметрам $32'$. Святло ад яго даходзіць да Зямлі за $8\frac{1}{3}$ мін.

Дыяметр Сонца роўны 1 млн 392 тыс. км (109 дыяметраў Зямлі). Аб’ём Сонца, такім чынам, больш чым у мільён разоў перавышае аб’ём Зямлі, а яго маса складае $M_{\odot} = 1,99 \cdot 10^{30}$ кг, што прыкладна роўна 330 000 зямных мас.

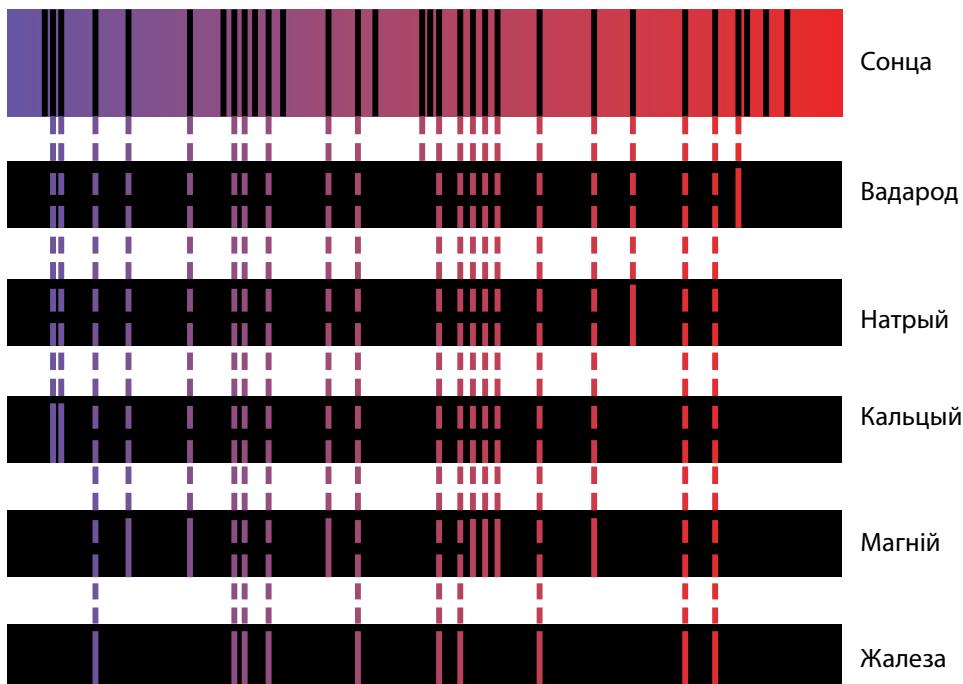
Вымярэнні па-за межамі зямной атмасфery паказалі, што на пляцоўку 1 m^2 , размешчаную перпендыкулярна сонечным прамянем, кожную секунду паступае энергія, якая практычна не змяняеца працяглы перыяд часу. Яна атрымала назvu **сонечнай пастаяннай**. Сонечная пастаянная роўная $1,37 \text{ kVt/m}^2$.

Свяцільнасць Сонца, ці поўную колькасць энергіі, якую выпраменявае Сонца па ўсіх напрамках у адзінку часу, вызначым наступным чынам: велічыню сонечнай пастаяннай памножым на плошчу сферы з радыусам r у адну астронамічную адзінку ($1 \text{ а. а.} = 149,6 \cdot 10^9 \text{ м}$). Яна атрымаеца роўнай:

$$L_{\odot} = 4\pi r^2 \cdot 1370 \text{ Вт/м}^2 = 3,85 \cdot 10^{26} \text{ Вт.}$$

На Зямлю трапляе мізэрная частка сонечнай энергіі, якая складае каля паловы мільярднай долі адзначанага вышэй значэння.

2. Спектр і хімічны састаў. Амаль усе нашы веды пра Сонца заснаваны на вывучэнні яго спектра. Хімічныя элементы, якія прысутнічаюць у атмасфери Сонца, паглынаюць з неперарыўнага спектра, што выпраменяваецца фотасферай, святло пэўнай частаты. У выніку ў неперарыўным спектры з'яўляюцца цёмныя лініі. Як мы ўжо адзначалі, I. Фраўнгофер упершыню вывучыў і зарысаў 576 цёмных ліній сонечнага спектра. Вучоны правільна паказаў, што крыніца цёмных спектральных ліній — сонечная атмасфера. Па становішчах у спектры (г. зн. даўжынях хваль) і інтэнсіўнасцях гэтых фраўнгоферавых ліній можна вызначыць, якія хімічныя элементы прысутнічаюць у сонечнай атмасфере (рыс. 109).



Рысунак 109 — Адпаведнасць паміж становішчамі фраўнгоферавых ліній сонечнага спектра і лініямі хімічных элементаў

Ужо атаясамлена ў бачнай частцы спектра звыш 30 тыс. ліній для 70 хімічных элементаў, якія прысутнічаюць у атмасфери Сонца. Фраўнгоферавы лініі па інтэнсіўнасці і шырыні вельмі разнастайныя. Аналіз спектральных ліній паказаў, што пераважным элементам на Сонцы з'яўляецца вадарод — на яго долю прыпадае прыкладна 74 % масы Сонца, каля 24 % прыпадае на гелій і каля 2 % — на іншыя элементы.

3. Унутраная будова. На аснове звестак аб радыусе, масе, свяцільнасці Сонца, фізічных законаў (якія з прычыны сваёй універсальнасці прыдатныя і для іншых нябесных цел) можна атрымаць даныя аб ціску, шчыльнасці, тэмпературы і хімічным саставе на розных адлегласцях ад цэнтра Сонца. Пры набліжэнні да цэнтра Сонца ўзрастаюць, дасягаючы максімальных значэнняў, тэмпература, ціск і шчыльнасць. Хімічны састаў Сонца таксама адрозніваецца: працэктная колькасць вадароду самая малая ў цэнтры.

Высокі ціск унутры Сонца абумоўлены дзеяннем слаёў, якія ляжаць вышэй. Сілы прыцягнення імкнуща сціснуць Сонца. Ім процідзейнічаюць пругкасць гарачага газу і ціск выпраменявання, якія ідуць з нетраў. Гэтыя сілы імкнуща расшырыць Сонца. Прыцягненне, з аднаго боку, а пругкасць газаў і ціск выпраменявання, з другога, ураўнаважваюць адно аднаго. Раўнавага мае месца ва ўсіх слаях ад паверхні да цэнтра Сонца. Такі стан Сонца і зорак называецца гідростатычнай раўнавагай. Гэтая простая ідэя была прапанавана ў 1924 г. англійскім астрофізікам Артурам Эднгтанам. Яна дала магчымасць скласці ўраўненні, па якіх разлічваюць мадэлі ўнутранай будовы Сонца, а таксама іншых зорак. Такія мадэлі ўяўляюць сабой сукупнасць параметраў зоркавага рэчыва (тэмпература, ціск, шчыльнасць і г. д.) на розных глыбінях. У табліцы 13 прыведзена так званая мадэль унутранай будовы Сонца, г. зн. залежнасць яго фізічных уласцівасцей ад глыбіні.

Табліца 13 — Мадэль унутранай будовы Сонца

Адлегласць ад цэнтра	Тэмпература	Ціск	Шчыльнасць
R/R_{\odot}	$T, \text{ К}$	$p, \text{ Па}$	$\rho, \times 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$
0	$1,5 \cdot 10^7$	$2,2 \cdot 10^{16}$	150
0,2	$1,0 \cdot 10^7$	$4,6 \cdot 10^{15}$	36
0,5	$3,4 \cdot 10^6$	$6,1 \cdot 10^{13}$	1,3
0,8	$1,3 \cdot 10^6$	$6,2 \cdot 10^{11}$	0,035
0,98	$1,0 \cdot 10^6$	$1,0 \cdot 10^9$	0,001

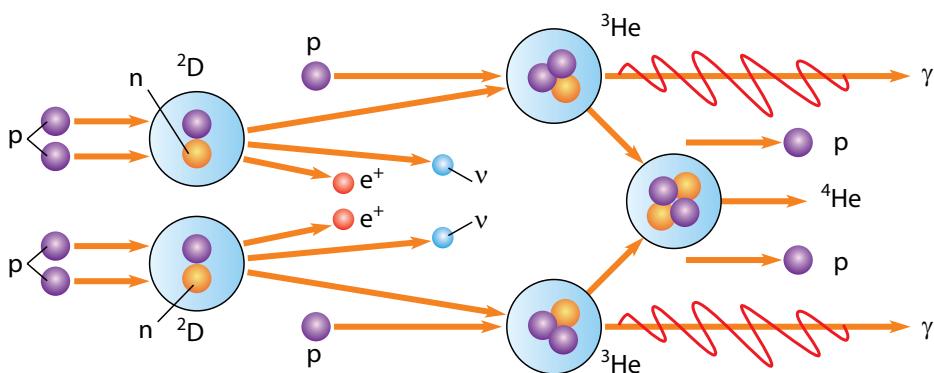
Як бачна з табліцы, тэмпература ў цэнтры Сонца ($R/R_{\odot} = 0$) дасягае 15 млн градусаў. Менавіта ў гэтай зоне, **зонае ядзерных рэакцый**, генерыруеца энергія Сонца.

Мы ўжо ведаем, што сонечнае рэчыва ў асноўным складаецца з вадароду. Пры вялізных цісках і тэмпературах пратоны (ядры вадароду) рухаюцца са скарасцямі ў сотні кілометраў у секунду. Унутры Сонца (на адлегласцях да 0,3 радыуса ад цэнтра) ствараюцца ўмовы, спрыяльныя для працякання тэрмайдзерных рэакцый пераўтварэння атамаў лёгкіх хімічных элементаў у больш цяжкія (рыс. 110).

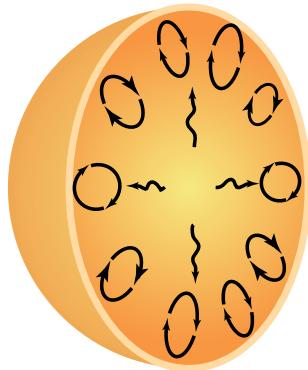
З ядраў вадароду ўтвараеца гелій. Для ўтварэння аднаго ядра гелію патрабуеца 4 ядры вадароду. На прамежкавых стадыях утвараюцца ядры цяжкага вадароду (дэйтэрыю) і ядры ізатопа ^3He . Гэта рэакцыя называеца **пратон-пратоннай** (рыс. 111). Пры рэакцыі невялікая частка масы ядраў вадароду тубляеца, пераўтвараючыся ў вялізную колькасць энергіі. Энергія, якая выдзяляеца, падтрымлівае выпарменьванне Сонца. Праз слай, якія абкружаюць цэнтральную частку



Рысунак 110 — Унутраная будова Сонца



Рысунак 111 — Схема пратон-пратонной рэакцыі: p — пратон; n — нейтрон; ^2D — ядро дэйтэрыю; ^3He , ^4He — ядры ізатопаў гелію; e^+ — пазіtron; ν — нейтрына; γ — гама-квант



Рысунак 112 — Энергія перадаецца выпраменяньнем ад ядра Сонца. Галоўным пераносчыкам энергіі становіцца канвекцыя ля паверхні

ныя: узікаюць рэнтгенаўскія, ультрафіялетавыя і, нарэшце, бачныя і інфрачырвоныя прамяні.

У зоне апошняй трэці радыуса Сонца знаходзіцца **канвектыўная зона**. У ёй энергія перадаецца не выпраменяньнем, а за кошт канвекцыі (перамешвання) (рыс. 112). Прычына ўзнікнення канвекцыі ў вонкавых слаях Сонца такая ж, як і ў сасудзе з кіпенем: колькасць энергіі, якая паступае ад награвальніка, значна большая за ту, што адводзіцца цеплаправоднасцю. Таму рэчыва прыходзіць у рух і сама пачынае пераносіць цяпло. Канвектыўная зона распасціраецца практычна да самай бачнай паверхні Сонца (фотасфери).

4. Крыніцы энергіі. Аналіз хімічнага саставу зямных, месячных парод і метэарытаў паказвае на тое, што Сонечная сістэма ўтварылася каля 4,7 млрд гадоў таму. Сонца, па сучасных даных, існуе каля 5 млрд гадоў. За апошнія 3 млрд гадоў яго свяцільнасць амаль не змянілася. Поўная энергія Сонца, выдзеленая за гэты час, роўная $E_{\odot} \approx L_{\odot} t = 3,5 \cdot 10^{43}$ Дж. Паздзелім гэтую величыню на поўную масу Сонца і атрымаем, што кожны кілаграм сонечнага рэчыва выдзеліў каля $1,8 \cdot 10^{13}$ Дж энергіі. Рэальна гэтая величыня яшчэ большая, паколькі мы не ўлічылі першыя 2 млрд гадоў. Ніводнае хімічнае паліва не можа забяспечыць такую величыню ўнутранай энергіі, якую можа выдзеліць 1 кг сонечнага рэчыва.

зоркі, гэта энергія перадаецца вонкі. У прамежку ад 0,3 да 0,7 радыуса ад цэнтра Сонца знаходзіцца **зона праменай раўнавагі энергіі**, дзе энергія распаўсюджваецца праз паглынанне і выпраменяньне γ -квантав.

Гама-квантавы, што нараджаюцца ў цэнтры Сонца, маюць энергію ў мільёны разоў большую, чым энергія квантавай бачнага святла. Даўжыня хвалі гама-квантавай вельмі малая. У працэсе паглынання квантавай атамамі і далейшага іх перавыпраменяньня адбываецца паступовае памяншэнне іх энергіі і павелічэнне даўжыні хвалі. Колькасць квантавай пры гэтым узрастает. Магутныя гама-квантавы паступова драбняюцца на менш энергетычныя: узікаюць рэнтгенаўскія, ультрафіялетавыя і, нарэшце, бачныя і інфрачырвоныя прамяні.

У зоне апошняй трэці радыуса Сонца знаходзіцца **канвектыўная зона**. У ёй энергія перадаецца не выпраменяньнем, а за кошт канвекцыі (перамешвання) (рыс. 112). Прычына ўзнікнення канвекцыі ў вонкавых слаях Сонца такая ж, як і ў сасудзе з кіпенем: колькасць энергіі, якая паступае ад награвальніка, значна большая за ту, што адводзіцца цеплаправоднасцю. Таму рэчыва прыходзіць у рух і сама пачынае пераносіць цяпло. Канвектыўная зона распасціраецца практычна да самай бачнай паверхні Сонца (фотасфери).

Сонца ў сярэднім губляе прыкладна 4 млн тон вадароду ў секунду. На першы погляд гэта велічыня здаецца велізарнай. Але яна мізэрная ў параўнанні з поўнай масай Сонца. Разлікі паказваюць, што вадароду ў нетрах дастаткова для падтрымання свячэння Сонца на сучасным узроўні яшчэ на працягу 5 млрд гадоў.



Галоўныя вывады

1. Сонца — адзіная зорка ў Сонечнай сістэме, якая ўяўляе сабой гарачы плазменны шар, дыяметр якога ў 109 разоў большы за дыяметр Зямлі, а маса ў 330 тыс. разоў большая за масу Зямлі.
2. Колькасць праменай энергіі, што кожную секунду паступае ад Сонца на адзінку плошчы зямной паверхні, — сонечная паставянная, якая практычна не мяняецца на працягу мільярдаў гадоў.
3. Пераважнымі хімічнымі элементамі на Сонцы з'яўляюцца вадарод і гелій.
4. Крыніцай энергii Сонца з'яўляюцца рэакцыі тэрмаядзернага сінтэзу, што працякаюць у яго нетрах.

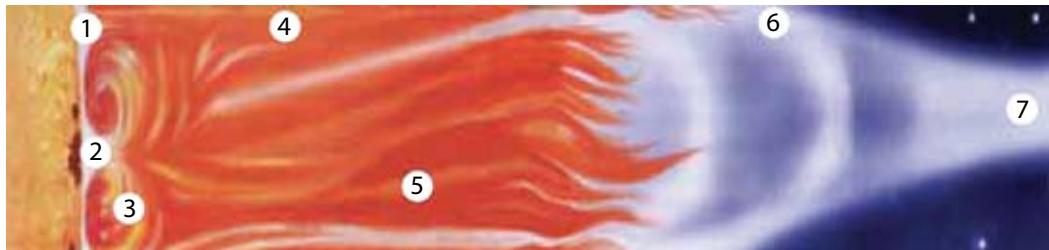


Кантрольныя пытанні і заданні

1. Што такое сонечная паставянная? Як яе вызначылі?
2. Што разумеюць пад свяцільнасцю Сонца? Чаму яна роўная?
3. Якія хімічныя элементы з'яўляюцца пераважнымі для Сонца?
4. Апішыце ўнутраную будову Сонца.
5. На якія зоны ўмоўна падзяляюцца нетры Сонца? Якія працэсы адбываюцца ў кожнай з гэтых зон?
6. Што з'яўляецца крыніцай сонечнай энергii?

§ 20. Будова сонечнай атмасфери

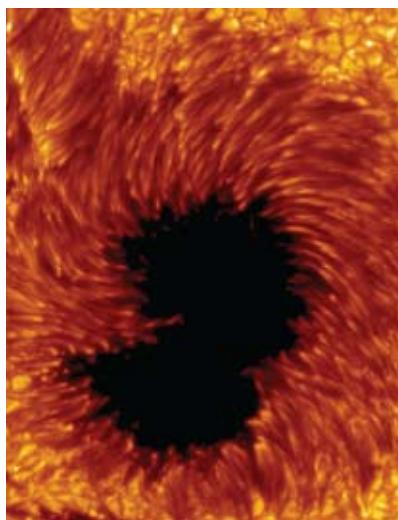
1. Фотасфера. Дыск Сонца выразна абрываваны. Гэта адбываецца таму, што практычна ўсё бачнае выпраменяньне Сонца сыходзіць з вельмі тонкага слоя — **фотасфери**. Слабае выпраменяньне больш высокіх слаёў Сонца можна назіраць у час поўнага сонечнага зацьмення, калі дыск Месяца цалкам закрывае фотасферу і становяцца бачнымі



Рысунак 113 — Будова сонечнай атмасфери: 1 — фотасфера; 2 — плямы; 3 — пратуберанец; 4 — успышка; 5 — храмасфера; 6 — сонечная карона; 7 — каранальнія прамяні

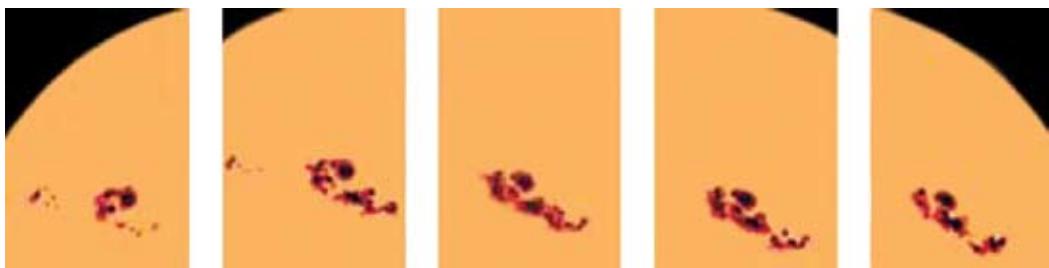
храмасфера і карона. Фотасфера, храмасфера і карона ўтвараюць атмасферу Сонца (рыс. 113).

Таўшчыня фотасфери не перавышае 300 км. У тэлескоп бачна, што ўся паверхня Сонца пакрыта грануламі, кожная дыяметрам каля 700 км. Гэта велізарныя пузыры плазмы. Рысунак, які ўтвараюць гранулы, пастаянна мяняецца (літаральна за 5–10 мін яны пасплюваюць з'явіцца і знікнуць). Плазма ў гранулах падымаемецца ўверх і, астываючы, у міжгранульных прамежках апускаецыа ўніз. Таму розніца тэмпературы гранул і цёмных прамежкаў дасягае 600 К. Працэс пастаяннага ўзнікнення гранул у фотасфере называецца **грануляцыяй**. Самыя прыкметныя аб'екты на Сонцы — гэта цёмныя плямы (рыс. 114, 115). Дыяметры плям бывае дасягаюць 200 тыс. км. Зусім маленькія плямы называюць порамі.



Рысунак 114 — Сонечная пляма і фотасферная грануляция

Карціна сонечных плям, хоць і крыху павольней, таксама пастаянна мяняецца: плямы з'яўляюцца, растуць і распадаюцца (рыс. 115). Працягласць жыцця груп плям складае два ці тры абароты Сонца вакол сваёй восі. Плямы халаднейшыя за навакольную фотасферу на 2–2,5 тыс. градусаў, і таму на агульным фоне сонечнага дыска яны выглядаюць больш цёмными. Сонечныя плямы звычайна з'яўляюцца группамі ў межах невялікага ўчастка, выцягнутага паралельна экватару. Па па-



Рысунак 115 — — ынаміка змянення памераў і формы группы сонечных пятен.
З-за вярчэння Сонца здаецца, што группы пятен перамяшчаюцца па дыску

мерах у групе вылучаюцца дзве пятнышкі: галоўная (заходняя) пятна, якая ідзе ўперадзе па вярчэнні Сонца, і хваставая.

Сістэматычныя назіранні за сонечнымі пятнамі паказваюць, што Сонца верціцца ў напрамку руху планет і плоскасць сонечнага экватара нахілена да плоскасці экліптыкі пад вуглом $7^{\circ}15'$. Таксама выяўлена, што вуглавая скорасць вярчэння Сонца памяншаецца ад экватара да полюсаў. Перыйяд вярчэння Сонца змяняецца ад 25 сутак на экватары да 30 сутак каля полюсаў.

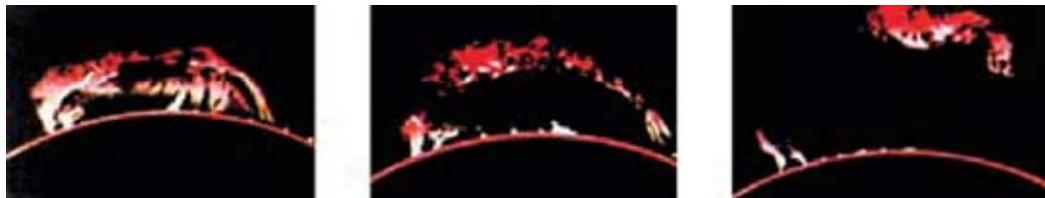
Шматгадовыя назіранні за ўтварэннем пятен на Сонцы паказалі, што маюць месца цыклічныя ваганні колькасці пятен. Часам іх не бывае зусім, а іншы раз адначасова ўзнікаюць дзясяткі буйных пятен. Сярэдняя працягласць такога цыкла складае прыкладна 11 гадоў.

Акрамя пятен, у фотасферы назіраюцца **факелы** — яркія ўчасткі, у зоне якіх часта і развіваюцца цёмныя пятнышкі. Факелы маюць складаную валакністую структуру, іх тэмпература на некалькі соцень градусаў перавышае тэмпературу фотасфери.

Утварэнне пятен і факелаў звязана з магнітным полем Сонца. Індукцыя магнітнага поля Сонца ў сярэднім у два разы большая, чым на паверхні Зямлі, аднак у месцах з'яўлення сонечных пятен яна павялічваецца ў тысячы разоў і дасягае 0,5 Тл. Гэта прыводзіць першапачаткову да аслаблення канвекцыі і з'яўлення факела, а затым — да аслаблення і з'яўлення цёмнай пятнышкі.

2. Тэмпература фотасфери. У неперарывным спектры Сонца максімальная энергія выпраменяньня прыпадае на даўжыню хвалі $\lambda_{\max} = 470$ нм. Тады па законе Віна атрымліваем тэмпературу:

$$T = \frac{0,0029}{\lambda_{\max}}, \text{ адкуль } T = 6200 \text{ К.}$$



Рысунак 116 — Змяненні пратуберанца, за якім назіралі на працягу некалькіх гадзін

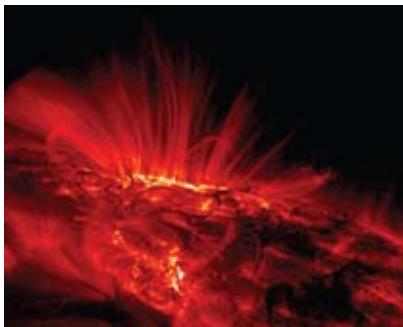
3. Знешнія слаі атмасфэры: храмасфера і карона. Над фотасферай знаходзіцца храмасфера Сонца. Агульная яе працягласць — 10—15 тыс. км. Тэмпература ў храмасфэры з вышынёй не памяншаецца, а павялічваецца ад 4500 К да некалькіх дзесяткаў тысяч. Выпраменяванне храмасфэры ў сотні разоў меншае за фотасфернае, таму для яе назірання карыстаюцца спецыяльнымі метадамі, якія дазваляюць вылучаць слабае выпраменяванне. Храмасфера вельмі неаднародная і ўяўляецца назіральніку ў выглядзе прадаўгаватых выцягнутых язычкоў — спікул — даўжынёй каля 10 тыс. км, якія паставанна круцяцца. Спікулы выкідваюцца з ніжняй храмасфэры са скорасцю да 30 км/с; час іх жыцця складае некалькі мінут.

На краі сонечнага дыска добра бачныя пратуберанцы (гл. рыс. 110, 113) — шчыльныя кандэнсацыі рэчыва, узнятые над паверхніяй лініямі магнітнага поля ў выглядзе арак або выступаў (рыс. 116). Пратуберанцы бываюць спакойныя, актыўныя або эруптыўныя, вылучаюцца на фоне кароны, паколькі маюць большую шчыльнасць. Скорасць руху рэчыва актыўных пратуберанцаў дасягае 200 км/с, а вышыня пад'ёму — да 40 радыусаў Зямлі.

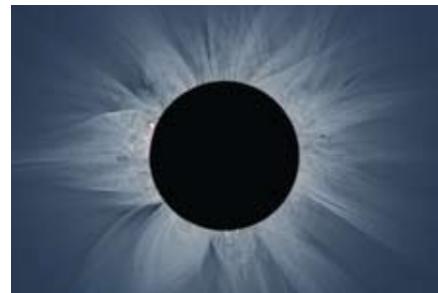
На Сонцы назіраюцца выбуховыя выкіды энергіі і рэчыва (са скорасцю да 100 км/с), якія ахопліваюць значныя ўчасткі паверхневага слоя — успышкі (рыс. 117). Гэтыя яркія ўтварэнні існуюць ад некалькіх мінут да 3 гадзін. Звычайна сонечныя успышкі праходзяць паблізу груп сонечных плям, якія хутка развіваюцца.

Сонечная карона — самая разрэджаная і гарачая абалонка Сонца, якая распасціраецца ад яго на некалькі сонечных радыусаў і мае тэмпературу плазмы ад 1 да 2 млн градусаў (рыс. 118).

Яркасць сонечнай кароны ў мільён разоў меншая, чым фотасфэры. Таму назіраць за сонечнай каронай можна ў час поўных сонечных зацьменняў або з дапамогай спецыяльных тэлескопаў-каранографаў. Высокая тэмпература і разрэджанасць кароны пацверджаныя спек-



Рысунак 117 — Успышка на Сонцы



Рысунак 118 — Сонечная карона ў час зацьменення Сонца

тральным аналізам, а таксама па яе радыё- і рэнтгенаўскім выпраменяньні.

Награванне кароны да высокіх тэмператур ажыццяўляецца за кошт перадачы энергіі вагальных (канвекцыйных) рухаў рэчыва з фотасфери. Хвалі (з частатой гукавых ваганняў) у кароне, дзе шчыльнасць рэчыва хутка памяншаецца, робяцца ўдарнымі. Яны хутка затухаюць, адбываюцца пераўтварэнне механічнай энергіі хваль у цяпло. З-за высокай тэмпературы шчыльнасць кароны памяншаецца павольна, таму самыя знешнія слоі атмасфери Сонца цягнуцца аж да арбіты Зямлі.

4. Магнітныя палі і актыўныя ўтварэнні. Маса, радыус, колькасць энергіі, што выпраменяеца Сонцам, застаюцца практычна пастаяннымі, але на ўсіх узроўнях сонечнай атмасфери назіраюцца структурныя ўтварэнні, якія мяняюць свае фізічныя параметры ў часе. Сукупнасць нестациянарных працэсаў, якія перыядычна ўзнікаюць у сонечнай атмасфере, называюцца **сонечнай актыўнасцю**. Праяўленнем сонечнай актыўнасці з'яўляюцца плямы, факелы ў фотасфери, пратуберанцы, успышкі і выкіды рэчыва ў атмасферы і кароне. Месцы, дзе яны ўзнікаюць, называюцца **актыўнымі зонамі** (рыс. 119). Усе актыўныя ўтварэнні ўзаемазвязаны паміж сабой з дапамогай змяняльных магнітных палёў, якія заўсёды прысутнічаюць у актыўных зонах Сон-



Рысунак 119 — Сонца ў рэнтгенаўскіх прамянях.
Найбольш яркія месцы — зоны праяўлення сонечнай актыўнасці

ца. Цэнтры актыўнасці ўзнікаюць на некаторай глыбіні пад фотасферай і распасціраюцца ў выглядзе ярусаў далёка ў сонечную карону.

Не толькі з'яўленне плям, але і сонечная актыўнасць цалкам маюць 11-гадовую цыклічнасць (ваганне цыклаў фактычна праходзіць у межах ад 7,5 да 16 гадоў).



Галоўныя выводы

1. Знешняя газавая абалонка Сонца — атмасфера — складаецца з фотасфери, храмасфери і кароны.
2. Лакальныя змяненні магнітных палёў, што ўзнікаюць перыядычна, параджаюць актыўныя працэсы ў атмасфери Сонца.
3. Актыўныя працэсы на Сонцы з'яўляюцца прычынай узникнення ў слаях атмасфери плям, факелаў, пратуберанцаў, успышак і інш.
4. Сонечныя ўспышкі — найбольш магутныя выбуховыя працэсы ў атмасфери Сонца.
5. Сонечная актыўнасць мае 11-гадовую цыклічнасць.



Кантрольныя пытанні і заданні

1. З якіх абалонак складаецца атмасфера Сонца?
2. Што такое фотасфера Сонца?
3. Якія аўтаматычныя характеристики для фотасфери Сонца?
4. Чаму сонечныя плямы цяжнейшыя за фотасферу?
5. Што разумеюць пад грануляцыяй?
6. Што разумеюць пад храмасферай і каронай Сонца?
7. Якія з'явіліся назіраюцца ў храмасфери і кароне Сонца?
8. Што такое сонечная актыўнасць і якая яе цыклічнасць?

§ 21. Уплыў Сонца на жыццё Зямлі

I. Інтэнсіўнасць сонечнага выпраменьвання па-за аптычным дыяпазонам. Электрамагнітнае выпраменьванне Сонца, максімум якога прыпадае на бачную частку спектра, праходзіць строгі адбор у зямной атмасфере.

Ва ўльтрафіялетавым і рэктгенаўскім дыяпазонах магутнасць сонечнага выпраменьвання рэзка памяншаецца — у сотні тысяч разоў

у параўнанні з магутнасцю выпраменівання ў аптычным дыяпазоне. Але калі ў аптычным дыяпазоне Сонца з'яўляецца пастаянны зоркай, то выпраменіванне ў караткахвалевай частцы спектра залежыць ад сонечнай актыўнасці — павялічваецца або памяншаецца ў некалькі разоў на працягу 11-гадовага сонечнага цыкла. Значна павялічваецца паток караткахвалевага выпраменівання ў час сонечных успышак. З ніжніх слоў храмасфери выходзіць ультрафіялетавае выпраменіванне, максімальная інтэнсіўнасць якога можа ў два разы перавышаць мінімальнае значэнне ў 11-гадовым цыклі. Асноўнае рэнтгенаўскае выпраменіванне зыходзіць ад кароны Сонца.

Рэнтгенаўскае і ўльтрафіялетавае выпраменіванне Сонца паглынаецца ў верхніх слаях атмасфери Зямлі. Яно іанізуе газы зямной атмасфери. Іанізаваны слой верхній атмасфери Зямлі называецца **іанасферай**. Адбіванне кароткіх радыёхваль ад іанасфери Зямлі выкарыстоўваецца ў радыёсувязі. Пры магутных усплёсках сонечнага рэнтгенаўскага выпраменівання з-за сонечных успышак парушаецца сувязь на кароткіх хвалях.

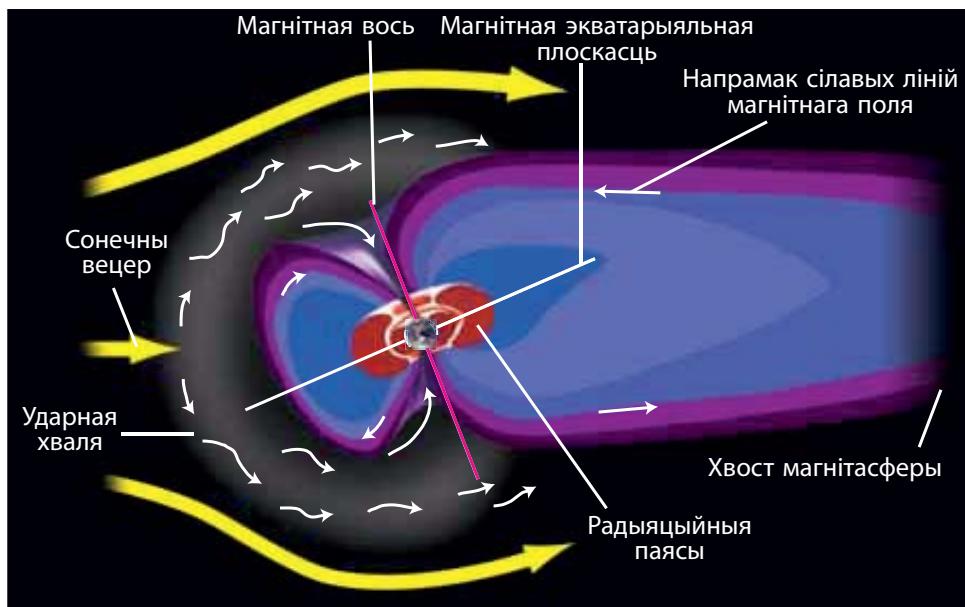
Даўгахвалевае (мяккае) ультрафіялетавае выпраменіванне Сонца можа пранікаць у атмасферу Зямлі да вышыні 30—35 км. Там яно раздзяляе малекулы кіслароду O_2 на два складальныя атамы. Свабодныя атамы злучаюцца з малекуламі кіслароду і ўтвараюць новае рэчыва — аzon, кожная малекула якога складаецца з трох атамаў кіслароду.

Аzonавы слой паглынае практычна ўсё ўльтрафіялетавае выпраменіванне Сонца, пакідаючы толькі малую долю, якая дасягае паверхні Зямлі і выклікае ў людзей апёкі скуры, што называюцца загарам. Калі таўшчыня аzonавага слоя памяншаецца, сонечнае ўльтрафіялетавае выпраменіванне можа вырасці ў 1,5—2 разы. Тады гэта выпраменіванне робіцца вельмі актыўным і можа выклікаць захворванні на рак скуры.

2. Сонечны ветэр. Бесперапынны паток разрэджанай плазмы, які пашыраецца, радыяльна сыходзіць ад Сонца ўздоўж ліній напружанаасці магнітнага поля і запаўняе сабой міжпланетную прастору, называецца **сонечным ветрам**. У яго састаў уваходзяць пратоны, электроны, а таксама α -частцы і ў нязначнай колькасці шэраг высокаіанізаваных атамаў (кісларод, крэмній, сера, жалеза). Скорасць часціц сонечнага ветру павялічваецца па меры аддалення іх ад Сонца. Паблізу ад Зямлі сярэдняя скорасць сонечнага ветру дасягае 450 км/с, а шчыльнасць складае некалькі часціц у кубічным сантиметры.

Паток сонечнай плазмы не можа пераадолець процідзеянне магнітнага поля Зямлі і абцякае яго. Пры гэтым утвораецца поласць кроплепадобнай формы — **магнітасфера** (рыс. 120). З боку Сонца яна сціснута ціскам сонечнага ветру. Мяжа магнітасфери, павернутая да Сонца, знаходзіцца на адлегласці, роўнай у сярэднім 10—12 радыусам Зямлі. З процілеглага (начнога) боку магнітасфера выцягнута, як хвост каметы, і расцягваецца на 6000 радыусаў Зямлі. Са змяненнем скорасці і шчыльнасці часціц сонечнага ветру мяньяецца і форма магнітасфери.

3. Сонечна-земная сувязі. Сонечная актыўнасць аказвае моцны ўплыў у першую чаргу на зневнія абалонкі Зямлі — магнітасферу і іанасферу. У час магутных сонечных успышак часціцы могуць разганяцца да 100 000 км/с, г. зн. узняюць касмічныя прамяні сонечнага паходжання. Пад уздзеяннем сонечных касмічных прамянёў утвораецца вонкі азоту NO, які ўзаемадзейнічае з азонам і актыўна яго разбурае ў выніку рэакцыі $\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$. Пасля магутных успышак на Сонцы назіраецца паніжэнне колькасці азону ў стратасфера над палярнымі шапкамі Зямлі.



Рысунак 120 — Схема ўтварэння магнітасфery Зямлі

Правообладатель Адукацыя і выхаванне

З дапамогай каранографаў, устаноўленых на касмічных апаратах, рэгіструюць грандыёзныя выкіды рэчыва з узбуранай кароны Сонца. Згустак каранальнай плазмы, які адараўваўся ад Сонца і нясе ўнутры сябе замкнённую пятлю магнітнага поля, называецца **каранальным выкідам масы**.

Сутыкненне плазменнага воблака з магнітасферай Зямлі з'яўляецца прычынай моцнага ўзбурэння. Уздзеянне каранальнага выкіду прыводзіць да ўзнікнення моцных магнітных бур, разагрэву і паскарэння плазмы ўнутры магнітасфери. Пры гэтым хуткія пратоны і электроны ў выніку сутыкнення з малекуламі паветра на вышыні 100—200 км іанізуюць іх і прымушаюць свяціцца. У выніку гэтага на Зямлі, пераважна ў каляполярных шыротах, назіраюцца **палярныя зязні** (рыс. 121). Пры высокай геамагнітнай актыўнасці палярныя зязні з'яўляюцца на вышыні 300—400 км, і іх можна назіраць нават на шыротах Беларусі.

У час магнітнай буры змяняюцца электрычныя палі над паверхній Зямлі. Гэта прыводзіць, па-першае, да ўзнікнення перагрузак у лініях электраперадач (да некалькіх соцень ампер) і іх адключэння; па-другое, да навядзення моцных токаў у трубах газа- і нафтаправодаў і да выхаду са строю іх сістэм кіравання. Вынікі магнітнай буры адбіваюцца на бартавых электронных сістэмах касмічных апаратаў.

Магнітныя буры прыводзяць да змены ціску ў трапасфери (ніжнім слоем атмасфери Зямлі), у выніку чаго развіваюцца цыклоны.

На той факт, што Сонца ўплывае на біялагічныя аб'екты, у тым ліку і на здароўе чалавека, упершыню яшчэ ў 1915 г. звярнуў увагу Аляксандр Леанідавіч Чыжэўскі. Прааналізавши гістарычныя дакументы, вучоны прыйшоў да высновы, што ў мінулым масавыя стыхійныя бедствы і ўспышкі эпідэмій прыпадалі пераважна на гады максімума сонечнай актыўнасці. На падставе выведзенай сувязі А. Л. Чыжэўскі паспрабаваў прадказаць некаторыя эпідэміі на 35 гадоў наперад. Яго праңозы збыліся ў сямі выпадках з васьмі.

А. Л. Чыжэўскі з'яўляецца адным з заснавальнікаў геліябіялогіі. Гэта навука, якая ўзнікла на стыку фізікі Сонца і біялогіі, вывучае ўплыў цыклічнай актыўнасці Сонца на біялагічныя аб'екты і здароўе чалавека.



Рысунак 121 — Палярнае зязнне

Да ваганняў сонечнай актыўнасці асабліва адчувальная нервовая сістэма чалавека. Дакладна ўстаноўлена, што колькасць хворых, якія паступаюць у клінікі, рэзка павялічваецца ў дні пад'ёму сонечнай актыўнасці. Мяркуеца, што сонечная актыўнасць упłyвае на чалавека праз узбурэнні магнітнага поля Зямлі.

Каб усебакова даследаваць з'явы, што адбываюцца на Сонцы, вучоныя праводзяць бесперапынныя назіранні за Сонцам, якія называюць **Службай Сонца**.



Галоўныя выводы

1. Магутнасць радыё-, караткахвалевага і карпускулярнага выпраменівання Сонца значна ўзрастает пры актыўных працэсах у сонечнай атмасфере.
2. Аzonавы слой атмасферы Зямлі з'яўляецца ахоўнай абалонкай ад шкоднага для чалавека і жывых арганізмаў ультрафіялетавага выпраменівання Сонца.
3. Сонечны вецер — бесперапынны паток разрэджанай плазмы, які распаўсюджваецца радыяльна ад Сонца.
4. Неаднароднасць сонечнага ветру выклікае на Зямлі магнітныя буры, палярныя зязнні, радыёўспышкі.
5. Геліябіялогія — наука, якая вывучае ўплыў актыўнасці Сонца на біялагічныя аб'екты і чалавецтва.



Кантрольныя пытанні і заданні

1. Як зямная атмасфера ўпłyвае на праходжанне розных відаў сонечнага выпраменівання да паверхні Зямлі?
2. Чаму на Зямлі часта назіраецца парушэнне сувязі на кароткіх радыёхвалях?
3. Якая роля азонавага слоя ў атмасферы Зямлі? Якім чынам актыўнасць Сонца можа ўпłyваць на таўшчыню азонавага слоя Зямлі?
4. Што такое сонечны вецер? Як ён узікае?
5. Што называюць магнітасферай Зямлі? Як на яе ўпłyвае сонечны вецер?
6. Якія прычыны і наступствы магнітных бур на Зямлі?
7. Якія прычыны ўзнікнення палярных зязнняў?

Раздел VII

ЗОРКІ

§ 22. Асноўныя характеристыкі зорак. Свяцільнасць

1. Бачная зорная велічыня. Пры першапачатковым знаёмстве з зорным небам (§ 2) мы разгледзелі паняцце «зорная велічыня» (m). Вы ўжо ведаецце, што зоркі 1-й зорнай велічыні ствараюць у 2,512 раза большую асветленасць (адносіны светлавога патока да плошчы, якая ім асвятляеца), чым зоркі 2-й зорнай велічыні, якія, у сваю чаргу, даюць светлавыя патокі ў 2,512 раза большыя, чым зоркі 3-й зорнай велічыні, і г. д. Такім чынам, за інтэрвал у адну **бачную зорную велічыню** (абазначаеца 1^m) прыняты адносіны асветленасцей (E) у 2,512 раза. У выглядзе формулы гэтыя адносіны выразіў Н. Погсан:

$$\frac{E_1}{E_2} = 2,512^{m_2 - m_1}. \quad (1)$$

Калі вымераць пры дапамозе фатометра адносіны бліску зорак, то можна вызначыць рознасць зорных велічынь па формулі Погсанага. Нуль-пункт жа выбіраюць умоўна, па дамоўленасці: каб стандартная зорка 1-й зорнай велічыні (сярэдняя з 20 самых яркіх зорак) давала б у 100 разоў больш святла, чым зорка 6-й зорнай велічыні, якая знаходзіцца на мяжы зроку.

Бачная зорная велічыня Месяца ў поўню роўная $-12,7^m$, а ў фазе першай чвэрці складае $-9,0^m$. Па формулі (1) можна знайсці, што асветленасць Месяца ў поўню ($E_{\text{п}}$) большая за асветленасць Месяца ў фазе першай чвэрці (E_1) у 30 разоў:

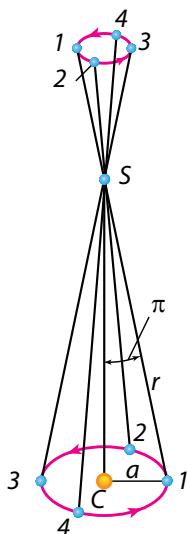
$$\frac{E_{\text{п}}}{E_1} = 2,512^{m_1 - m_2} = 2,512^{-9+12,7} = 2,512^{3,7} \approx 30.$$

Бачную зорную велічыню Сонца вызначыў Вітольд Карлавіч Цэраскі. Яна аказалася роўнай $-26,8''$. Шкала зорных велічынь дазваляе выражаць у зорных велічынях бляск слабых свяцілаў, нябачных простым вокам. У цяперашні час буйнейшыя тэлескопы з дыяметрам люстраў 8—10 м і сучаснай прыёмнай апаратурай даюць магчымасць рэгістраваць аб'екты да 28-й зорнай велічыні.

2. Вызначэнне адлегласцей да зорак. Вучоныя даўно выказвалі меркаванне, што зоркі маюць такую ж фізічную прыроду, як і Сонца. З-за каласальных адлегласцей дыскі зорак не бачныя нават у магутныя тэлескопы. Каб параўноўваць зоркі паміж сабой і з Сонцам, неабходна знайсці метады вызначэння адлегласцей да іх. Асноўным метадам з'яўляецца метад паралактычнага зрушэння зорак, разгледжаны намі раней. Паколькі радыус Зямлі вельмі малы ў параўнанні з адлегласцю да зорак, неабходна выбраць большы базіс для вымярэння паралактычнага зрушэння зорак. Яшчэ М. Капернік разумеў, што, паводле яго

геліяцэнтрыйчай сістэмы, блізкія зоркі на фоне далёкіх зорак павінны апісваць эліпсы ў выніку гадавога руху Зямлі вакол Сонца.

Уяўнае перамяшчэнне больш блізкай зоркі на фоне вельмі далёкіх зорак адбываецца па эліпсе з перыядам у адзін год і адлюстроўвае рух назіральніка разам з Зямлёй вакол Сонца (рыс. 122). Становішча Зямлі на арбіце і бачныя з Зямлі становішчы зорак на небе на дадзеным рэсунку абазначаны аднолькавымі лічбамі. Маленькі эліпс, які апісвае зорка, называецца **паралактычным эліпсам**. У вуглавым вымярэнні вялікая паўвось гэтага эліпса роўная велічыні вугла, пад якім з зоркі бачна вялікая паўвось зямной арбіты, перпендыкулярная да напрамку на зорку. Гэты вугал называецца **гадавым паралаксам** (π). Паралактычны зрушэнні зорак з'яўляюцца неабвержным доказам абарачэння Зямлі вакол Сонца.



Рысунак 122 —
Паралактычнае зрушэнне
зоркі на працягу года:
С — Сонца; S — зорка;
 a — паўвось зямной арбіты;
 π — гадавы паралакс

Адлегласці да зорак вызначаюцца па іх гадавым паралактычным зрушэнні.

З рэсунка 123 бачна, што калі $CT = a$ ёсць сярэдні радыус зямной арбіты, $SC = r$ — адлегласць да зоркі S ад Сонца C , а вугал π — гадавы паралакс зоркі, то

$$r = \frac{a}{\sin \pi}.$$

Паколькі гадавыя паралаксы зорак ацэньваюцца дзясятковымі долямі секунды, а 1 радыян роўны $206\ 265''$, то адлегласць да зоркі можна вызначыць з судносін

$$r = \frac{206\ 265''}{\pi''} \text{ а. а.} \quad (2)$$

Для вымярэння адлегласцей да зорак астронамічная адзінка (а. а.) вельмі малая. Таму для зручнасці вызначэння адлегласцей да зорак у астрономіі карыстаюцца спецыяльнай адзінкай даўжыні — парсек (пк), назва якой паходзіць ад слоў «паралакс» і «секунда». Парсек — гэта адлегласць, з якой радыус зямной арбіты быў бы бачны пад вуглом у $1''$.

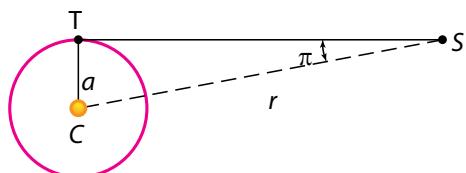
Паводле формулы (2), $1 \text{ пк} = 206\ 265 \text{ а. е.} = 3,086 \cdot 10^{13} \text{ км}$. Такім чынам, адлегласць да зорак у парсеках будзе вызначацца формулай

$$r = \frac{1}{\pi''} \text{ пк.} \quad (3)$$

У астронамічных адзінках звычайна выражаютца адлегласці да цел Сонечнай сістэмы. Адлегласці да нябесных цел, якія знаходзяцца па-за межамі Сонечнай сістэмы, звычайна выражаютца ў парсеках, кілапарсеках ($1 \text{ кпк} = 10^3 \text{ пк}$) і ме-

гапарсеках ($1 \text{ Мпк} = 10^6 \text{ пк}$), а таксама ў светлавых гадах ($1 \text{ св. г.} = 9,46 \cdot 10^{12} \text{ км} = 63\ 240 \text{ а. а.} = 0,3067 \text{ пк або } 1 \text{ пк} = 3,26 \text{ св. г.}$).

Светлавы год — адлегласць, якую электрамагнітнае выпраменяньне (у вакууме) праходзіць за 1 год.



Рэсунак 123 — Гадавы паралакс зоркі: C — Сонца; S — зорка; T — Зямля

Ніжня мяжа вымірэння паралаксаў не перавышае $0,005''$, што дазваляе вызначыць адлегласці, не большыя за 200 пк. Адлегласці да больш далёкіх аб'ектаў вызначаюцца менш дакладна і іншымі метадамі.

3. Абсалютная зорная велічыня. Бачны бліск зорак не харктарызуе іх рэальнае выпраменяванне. Ён вызначаецца двумя фактарамі: сапраўдным выпраменяваннем зоркі і адлегласцю да яе. Сонца, напрыклад, значна бліжэй да Зямлі, чым любая іншая зорка, таму яно — самое яркае свяціла на небе. Такім чынам, для параўнання сапраўднага бліску зорак неабходна вылічыць іх зорную велічыню на пэўнай аднолькавай адлегласці. За такую аднолькавую (ці стандартную) адлегласць прынята 10 пк. Бачная зорная велічыня, якую б мела зорка, калі б знаходзілася ад нас на адлегласці ў 10 пк, называецца **абсалютнай зорнай велічынёй**.

Няхай бачная зорная велічыня зоркі на адлегласці r роўная m , а асветленасць, якую стварае гэта зорка, — E . Паводле вызначэння, бачная зорная велічыня з адлегласці $r_0 = 10$ пк будзе роўная абсолютнай зорнай велічыні M , а E_0 — асветленасць (ці выпраменяванне) зоркі з адлегласці 10 пк. Тады на падставе формулы (1) можна запісаць:

$$\frac{E}{E_0} = 2,512^{M-m}. \quad (4)$$

З фізікі вядома, што асветленасці, ствараемыя той жа крыніцай выпраменявання, адваротна пропарцыянальныя квадратам адлегласцей да яе, г. зн.

$$\frac{E}{E_0} = \frac{r_0^2}{r^2}. \quad (5)$$

Падставім (5) у (4) і атрымаем, што $2,512^{M-m} = \frac{100}{r^2}$. Пралагарыфмуем дадзеную роўнасць, спросцім яе і атрымаем:

$$M = m + 5 - 5 \lg r. \quad (6)$$

Улічыўшы, што $r = \frac{1}{\pi''}$, формулу (6) можна запісаць у выглядзе:

$$M = m + 5 + 5 \lg \pi''. \quad (7)$$

Па формуле (6) вылічым абсалютную зорную велічыню Сонца. Адлегласць да Сонца $r = 1$ а. а. $= \frac{1}{206\,265}$ пк; бачная зорная велічыня Сонца роўна $-26,8^m$. Пасля падстаноўкі гэтых значэнняў у формулу атрымаем, што $M_{\odot} = -26,8^m + 5^m + 26,6^m = 4,8^m$. Гэта азначае, што са стандартнай адлегласці ў 10 пк Сонца выглядае слабай зорачкай амаль 5-й зорнай велічыні.

Абсалютныя зорныя велічыні зорак вагаюцца ад -9^m да 19^m , г. зн. адрозніваюцца на 28^m , ці па асветленасці ў 160 мільярдаў разоў, адна ад адной.

4. Свяцільнасць зорак. Калі вядома абсалютная зорная велічыня зоркі, можна вылічыць сапраўднае агульнае выпраменяванне зоркі ці яе свяцільнасць. **Свяцільнасцю** называецца поўная энергія, якая выпраменяваецца зоркай за 1 с. Свяцільнасць зоркі можна выразіць у ватах, але часцей яе выражаютъ у свяцільнасцях Сонца. Нагадаем, што свяцільнасць Сонца роўная $3,85 \cdot 10^{26}$ Вт (гл. § 19).

Выкарыстаўшы формулу (1), можна запісаць суадносіны паміж свяцільнасцямі і абсалютнымі зорнымі велічынямі якой-небудзь зоркі і Сонца:

$$\frac{L}{L_{\odot}} = 2,512^{M_{\odot}-M}, \quad (8)$$

дзе L і L_{\odot} — свяцільнасці зоркі і Сонца; M і M_{\odot} — адпаведна іх абсалютныя зорныя велічыні. Калі прыніць $L_{\odot} = 1$ і ўлічыць, што $M = 4,8^m$, то формула (8) набудзе выгляд:

$$L = 2,512^{M_{\odot}-M} \quad \text{або} \quad L = 2,512^{4,8-M}.$$

Зоркі-звышгіанты, якія маюць $M = -9^m$, характеристыкуюцца магутнасцю выпраменявання ў 330 тыс. разоў большай, чым Сонца, а самыя няяркія зоркі з абсолютнай зорнай велічынёй $M = 19^m$ выпраменяваюць светло ў 480 тыс. разоў слабейшае, чым Сонца.



Галоўныя выводы

1. Зоркі рухаюцца ў прасторы і знаходзяцца ад нас на розных адлегласцях.
2. Бачная зорная велічыня — мера назіраемага бліску (асветленасці, ствараемай свяцілам на прыёмніку праменнай энергіі) нябеснага аб'екта, бачнага з Зямлі. Інтэрвал у адну зорную велічыню адпавядае рознасці асветленасцей у 2,512 раза.
3. Адлегласць да недалёкіх зорак вызначаецца метадам гадавога паралакса, заснаваным на вымярэнні вугла, пад якім бачны радыус зямной арбіты з даследуемай зоркі.
4. Адзінкамі вымярэння адлегласцей да зорак з'яўляюцца парсек і светлавы год.
5. Абсалютная зорная велічыня — бачная зорная велічыня, якую б зорка мела, калі б знаходзілася на стандартнай адлегласці 10 пк.
6. Поўная энергія, якую выпраменявае зорка па ўсіх напрамках за адзінку часу, называецца яе свяцільнасцю. Звычайна свяцільнасць зоркі выражаяецца ў адзінках свяцільнасці Сонца.



Кантрольныя пытанні і заданні

1. Што разумеюць пад гадавым паралаксам зоркі?
2. Што такое парсек і светлавы год?
3. Чым адрозніваецца абсолютная зорная велічыня ад бачнай зорнай велічыні?
4. Адлегласць да зоркі Бетэльгейзе 652 св. г. Чаму роўны яе паралакс?
5. Што разумеюць пад свяцільнасцю зоркі? Якая свяцільнасць Сонца?
6. Якая залежнасць існуе паміж свяцільнацю зоркі і яе абсолютнай зорнай велічынёй?
7. Вылічыце адлегласць да зоркі Вегі ў парсеках і светлавых гадах, калі вядома, што яе бачная і абсолютная зорная велічыні адпаведна роўныя $0,0^m$ і $0,5^m$.

§ 23. Тэмпература і памеры зорак

1. Тэмпература зорак. У першым прыбліжэнні можна лічыць, што зоркі выпраменяюць як абсолютна чорныя целы. Тэмпературу T паверхні (фотасфери) зорак можна вызначыць, скарыстаўшыся законам Стэфана — Больцмана, як мы гэта ўжо рабілі пры вызначэнні тэмпературы Сонца (гл. § 18):

Правообладатель Адукацыя і выхаванне

$$T = \sqrt[4]{\frac{L}{4\pi R^2 \sigma}}. \quad (1)$$

Падлічаную такім метадам тэмпературу называюць **эфектыўнай тэмпературай**. Аднак гэты метад выкарыстоўваецца абмежавана, таму што дастаткова дакладнае значэнне радыусаў вымерана толькі ў некалькіх дзясяткаў яркіх гіганцкіх зорак.

Тэмпературы зорак значна адрозніваюцца. Халодныя чырвоныя зоркі маюць тэмпературу каля 3000 К. Сонца з тэмпературай фотасфery 6000 К адносіцца да жоўтых карлікаў. Тэмпература самых гарачых зорак дасягае 100 000 К. Асноўная частка выпраменявання гарачых зорак прыпадае на ўльтрафіялетавую частку спектра, і мы іх успрымаем як зоркі блакітнага колеру.

2. Спектральная класіфікацыя зорак. Зоркі адрозніваюцца вялікай разнастайнасцю, але сярод іх можна вылучыць асобныя групы, якія маюць агульныя ўласцівасці. Пры першым знаёмстве з зорным небам звязтае на сябе ўвагу той факт, што зоркі адрозніваюцца па колеры. Значна прыкметней гэта пры разглядзе спектраў. Найважнейшыя адрозненні спектраў зорак заключаюцца ў колькасці і інтэнсіўнасці назіраемых спектральных ліній, а таксама ў размеркаванні энергіі ў непарарыўным спектры. З улікам выгляду спектральных ліній і іх інтэнсіўнасці будуецца **спектральная класіфікацыя зорак**.

У Гарвардскай абсерваторыі (ЗША) у 20-я гг. XX ст. была распрацавана класіфікацыя спектраў зорак, у якой послядоўнасць спектральных класаў абазначаецца вялікімі літарамі лацінскага алфавіта. Асноўныя характеристыстыкі спектральных класаў змешчаны на форзацы 4. Тонкія адрозненні ўнутры кожнага класа дадаткова падзяляюць на 10 падкласаў — ад 0 да 9. Напрыклад, Сонца належыць да спектральнага класа G2.

Дадзеная паслядоўнасць спектральных класаў адлюстроўвае памяншэнне тэмпературы атмасфер (фотасфер) зорак ад класа O да класа L. Спектральная паслядоўнасць адначасова з'яўляецца і колеравай: зоркі класа O маюць блакітнаваты колер, класа B — блакітнавата-белы, A — белы і г. д. Для запамінання гэтай паслядоўнасці карыстаюцца наступнай фразай (мнеманічнае правіла):

O	B	A	F	G	K	M	L
Один	Бритый	Англичанин	Финики	Жевал	Как	Мелкий	Лук

Хімічны састаў атмасфер большасці зорак амаль аднолькавы. Вонкавыя слай зорак складаюцца з вадародна-геліевай сумесі з вельмі малой колькасцю больш цяжкіх элементаў. Напрыклад, аналагічна Сонцу іншыя зоркі ўтрымліваюць у сваіх атмасферах 73 % вадароду, 25 % гелію і 2 % усіх астатніх элементаў.

Адрозненні ў спектрах зорак вызначаюцца галоўным чынам адрозненнямі тэмператур. У фотасферах халодных зорак могуць існаваць самыя простыя малекулы. Таму характэрнымі дэталямі спектраў зорак класаў M і L з'яўляюцца шырокія палосы паглынання малекул, напрыклад СгН. Пры больш высокіх тэмпературах малекулярныя злучэнні распадаюцца. У такіх спектрах знікаюць спектральныя палосы малекулярных злучэнняў, затое з'яўляюцца лініі, адпаведныя нейтральным металам. Такім чынам, спектральная класіфікацыя зорак — гэта тэмпературная класіфікацыя зорных спектраў, заснаваная на ацэнках адноснай інтэнсіўнасці і выглядзе спектральных ліній.

На дадзены момант спектральная класіфікацыя ахоплена больш за 500 тыс. зорак.

3. Памеры зорак. Лінейны радыус R зоркі можна вызначыць, калі вядомыя яе вуглавы радыус ρ'' і адлегласць да зоркі r ці гадавы паралакс π'' па формуле $R = r \cdot \sin \rho''$.

Паколькі $r = \frac{206\,265''}{\pi''}$ а. а., для вуглавога радыуса $\sin \rho'' = \frac{\rho''}{206\,265''}$, то маем $R = \frac{\rho''}{\pi''}$ а. а.

Лінейныя радыусы зорак прынята выражаны у радыусах Сонца. У радыусах Сонца 1 а. а. роўная $149,6 \cdot 10^6$ км : $0,696 \cdot 10^6$ км = 215. Выкарыстаўшы гэтыя суадносіны, атрымаем формулу для вызначэння лінейных радыусаў зорак у радыусах Сонца ў наступным выглядзе:

$$R = 215 \frac{\rho''}{\pi''}.$$

Зоркі знаходзяцца ад нас так далёка, што іх вуглавыя памеры меншыя за мяжу распазнавання самых буйных тэлескопаў. Для яркіх блізкіх зорак вуглавы радыус знаходзяць па інтэрферэнцыйнай карціне, якая атрымліваецца ў выніку перакрыцця відарысаў зоркі, з дапамогай двух шырокіх расстаўленых тэлескопаў. Напрыклад, з дапамогай аптычнага інтэрферометра, які складаецца з двух аптычных люстрап дыяметрам 6,6 м кожнае, разнесеных на максімальную адлегласць 180 м, удалося выме-

раць вуглавы дыяметр ε Арыёна. Ён аказаўся роўны $0,00072''$, а паколькі гадавы паралакс зоркі складае $\pi'' = 0,0024''$, то $R = 215 \times \frac{0,00036''}{0,0024''} = 32 R_\odot$.

Радыусы зорак могуць быць вылічаны па іх магутнасці выпраменяньвания (свяцільнасці) і тэмпературы. Запішам значэнне поўнай магутнасці выпраменяньвания для выбранай зоркі і для Сонца:

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4 \quad L_\odot = 4\pi R_\odot^2 \sigma T_\odot^4,$$

дзе L і L_\odot , R і R_\odot , T і T_\odot — адпаведна свяцільнасці, лінейныя радыусы і абсалютныя тэмпературы зоркі і Сонца.

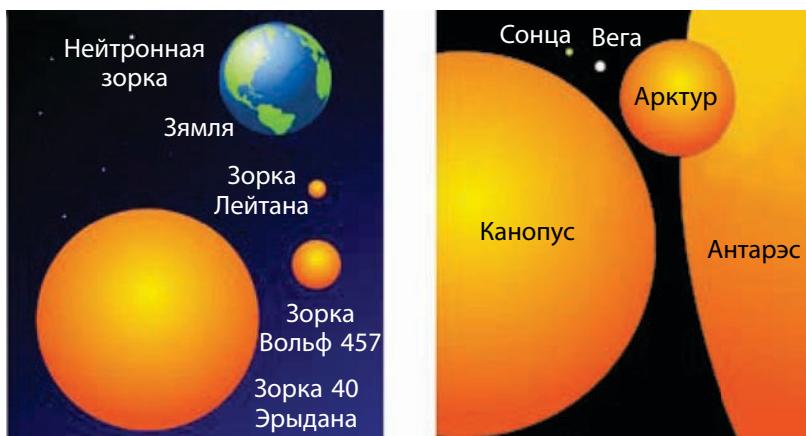
Калі прыняць $L_\odot = 1$ і $R_\odot = 1$, атрымаем:

$$L = R^2 \frac{T^4}{T_\odot^4},$$

ці канчаткова ў лінейных радыусах Сонца:

$$R = \sqrt{L} \left(\frac{T_\odot}{T} \right)^2. \quad (2)$$

Дыяметры зорак значна адразніваюцца: ад памераў, параўнальных з вялікай паўвоссю арбіты Юпітэра (чырвоныя звышгіганты), да памераў Зямлі (белыя карлікі) ці нават да некалькіх кіламетраў у нейтронных зорак (рыс. 124).



Рысунак 124 — Памеры некаторых зорак у параўнанні з памерамі Зямлі (на рысунку злева) і Сонца (на рысунку справа)



Галоўныя вывады

- Спектральная класіфікацыя зорак заснавана на ацэнках адноснай інтэнсіўнасці і выгляду спектральных ліній.
- Памеры зорак працягненіем адлегласцям да іх і бачным вуглавым памерам.
- Ведаючы магутнасць выпраменявання зоркі (свяцільнасць), тэмпературу зоркі і тэмпературу Сонца, можна вызначыць яе памер (у радыусах Сонца).



Кантрольныя пытанні і заданні

- Якім чынам, выкарыстоўваючы законы Стэфана — Больцмана і Віна, можна вызначыць тэмпературу зоркі?
- Па якіх прынцыпах праводзіцца спектральная класіфікацыя зорак?
- Вызначыце памеры зоркі Спікі (⊗ Дзвёлы), калі тэмпература яе фотасфери роўная 17 600 К, а свяцільнасць у 1950 разоў большая за свяцільнасць Сонца.
- З якіх хімічных элементаў у асноўным складаюцца зоркі?
- У колькі разоў адрозніваюцца свяцільнасці дзвюх зорак аднолькавага колеру, калі радыус адной з іх большы ў 25 разоў?

§ 24. Падвойныя зоркі. Маса зорак

1. Тыпы падвойных зорак. Назіранні паказваюць, што многія зоркі ў Сусвеце ўтвараюць пары ці з'яўляюцца членамі складаных сістэм. **Падвойнымі зоркамі** называюць блізка размешчаныя пары зорак. Адрозніваюць аптычныя і фізічныя падвойныя зоркі. **Аптычныя падвойныя зоркі** (пары) складаюцца з вельмі далёкіх адна ад адной у просторы зорак, якія выпадковым чынам праектуюцца на нябесную сферу па прамяні зроку. **Фізічныя падвойныя зоркі** ўяўляюць сабой сістэмы блізка размешчаных у просторы зорак, якія звязаны сіламі прыцягнення і абарачаюцца вакол агульнага цэнтра мас.

Зоркі фізічных падвойных пар часта маюць розны колер. Так, у Антарэса — вельмі яркай чырвонай зоркі ў сузор'і Скарпіёна — ёсьць слабы блакітнаваты спадарожнік.

Першая вядомая яшчэ са старажытнасці зоркавая пара — гэта Міцар (Конь) і Алькор (Коннік). Міцар — сярэдняя зорка ручкі «каўша» сузор'я Вялікай Мядзведзіцы, якая мае бачную зорную велічыню $2,2''$. На вуглавой адлегласці $12'$ ад яе знаходзіцца слабая зорка Алькор з зорнай велічынёй $4,0''$. Зоркавая пара Міцар і Алькор — прыклад аптычнай падвойнай зоркі. У сваю чаргу, нават у школьнны тэлескоп добра бачна: Міцар складаецца з дзвюх вельмі блізкіх зорак, нераспазнавальных простым вокам. Кампаненты зоркавай пары Міцар А і Міцар В знаходзяцца адзін ад аднаго на адлегласці $14''$ і маюць зорныя велічыні адпаведна $2,4''$ і $4,0''$. Зоркавая пара Міцар — прыклад фізічнай падвойнай зоркі.

Фізічныя падвойныя зоркі ў залежнасці ад спосабу іх назірання падзяляюцца на **візуальна-падвойныя зоркі** (іх кампаненты можна бачыць пры дапамозе тэлескопа ці сфатаграфаваць), **зацьменна-падвойныя зоркі** (іх кампаненты перыядычна загароджваюць адзін аднаго ад назіральніка і таму зорка мяняе бляск), **спектральна-падвойныя зоркі** (дваістасць прайўляеца ў перыядычных зрушэннях ці раздваеннях ліній іх спектраў), **астраметрычна-падвойныя зоркі** (адна зорка не бачная і ўзбурае правільны рух суседняй).

Падвойныя зоркі з'яўляюцца асобным выпадкам **кратных зорак**, якія складаюцца часам з некалькіх кампанентаў. Існуюць зоркі патройныя, чацвярныя і нават большай кратнасці. Да кратных зорак звычайна адносяць зоркі, якія маюць менш за 10 кампанентаў. Сістэмы з большай колькасцю зорак называюцца **зоркавымі скопішчамі**.

Першы спіс падвойных зорак склаў у 1803 г. англійскі астроном Уільям Гершэль. У ім было некалькі соцень аб'ектаў. На сучасны момант вядома, што прыкладна палова зорак нашай Галактыкі — падвойныя. Падвойнасць і кратнасць у зорным свеце — шырока распаўсюджаная з'ява.

2. Зацьменна-падвойныя зоркі. Зацьменна-падвойныя, ці зацьменна-переменные, зоркі ўяўляюць сабой цесныя пары, што абарачаюцца з перыядам ад некалькіх гадзін да некалькіх гадоў па арбітах, вялікая паўвось якіх параўнальная з самімі зоркамі. З гэтай прычыны мы не можам бачыць паасобку іх кампаненты, таму што вуглавая адлегласць паміж зоркамі вельмі малая. Меркаваць пра дваістасць сістэмы можна толькі па перыядычных ваганнях бляску, калі па прамяні зроку плоскасці іх арбіт практычна супадаюць. У гэтым выпадку назіраюцца зацьменні, калі адзін з кампанентаў праходзіць спераду ці ззаду



Рысунак 125 — Змены бляску зацьменна-падвойнай зоркі

другога. Разгледжаную сітуацыю растлумачвае рысунак 125, на якім прыводзіцца кривая змянення бляску t зацьменна-падвойнай зоркі, звязанага з перыядычнымі зацьменнямі аднаго кампанента другім. На графіку паказаны розныя становішчы кампанентаў зоркі на арбіце. Рознасць зорных велічынь у мінімуме і максімуме бляску называеца амплітудай, а прамежак часу паміж двума паслядоўнымі найменшымі мінімумамі — перыядам пераменнасці.

Тыповы прыклад зацьменна-пераменнай зоркі — зорка β Персея (Альголь), якая рэгулярна зацямняеца на 9,6 г з перыядам 2,867 сутак. Падзенне бляску ў мінімуме ў гэтай зоркі складае $2,3^m$.

Усяго вядома каля 4000 зацьменна-падвойных зорак.

3. Спектральна-падвойныя зоркі. Зоркі, падвойнасць якіх устанаўліваецца толькі на падставе спектральных назіранняў, называюцца спектральна-падвойными.

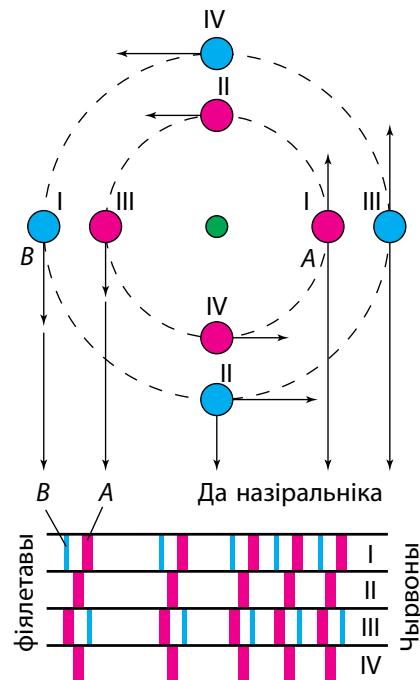
Дапусцім, што назіральнік знаходзіцца ў плоскасці арбіты падвойнай сістэмы, якая складаецца з больш масіўнай і яркай зоркі А і менш яркай і масіўнай зоркі В (рыс. 126). Кожны з кампанентаў — А і В пры абарачэнні вакол цэнтра мас сістэмы то набліжаецца да назіральніка, то аддаляеца ад яго. З-за эффекту Доплера ў першым выпадку лініі ў спектры зоркі зрушваюцца да фіялетавай часткі спектра, у другім — да чырвонай, прычым перыяд гэтых зрушэнняў роўны перыяду абарачэння. На рысунку рымскія лічбы абазначаюць адпаведнасць спектраў становішчам зорак на арбітах.

Пастаяннае ўдасканаленне методыкі вызначэння зруху спектральных ліній дало магчымасць у 1995 г. выявіць у зоркі 51 Пегаса спадарожнік масай у палову масы Юпітэра. Да цяперашняга часу метадам прамянёвых скарасцей больш чым у 600 зорак выяўлены планетныя сістэмы. Яны атрымалі агульную назуву — экзапланеты.

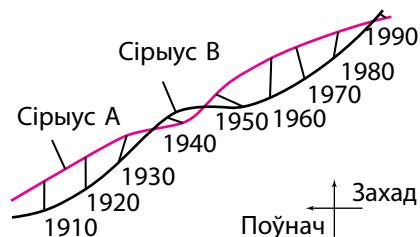
4. Астраметрычна-падвойныя зоркі. Сустрокаюцца такія цесныя зоркаўыя пары, калі адна з зорак ці вельмі малая па памерах, ці мае ніzkую свяцільнасць. У гэтym выпадку разгледзець такую зорку няма магчымасці, але выявіць дваістасць усё ж можна. Яркі кампанент будзе перыядычна адхіляцца ад прамалінейнай траекторыі то ў адзін, то ў другі бок (рыс. 127), быццам бы па прамой рухаецца цэнтр мас сістэмы. Такія ўзбурэнні працягваюцца на падвойных зораках. Да славанні адной з найбліжэйшых да нас зорак, вядомай пад назівай Рос 614 (яе бліск $11,4^m$ і паралакс $0,25''$), паказалі, што амплітуда адхілення ў зоркі ад напрамку, які дапускаўся, дасягае $0,36''$. Перыяд абарачэння зоркі адносна цэнтра мас роўны 16,5 года.

Сярод блізкіх да Сонца зорак выяўлена каля 20 астраметрычна-падвойных зорак.

5. Маса зорак. Працяглыя назіранні візуальна-падвойных зорак пераканалі астраномаў у тым, што адносны бачны рух кампанентаў адбываецца па эліпсе і адпавядае закону плошчай. З гэтага вынікае, што ў падвойных сістэмах абарачэнні зорак адбываюцца ў адпаведнасці з законамі Кеплера і падпарадкоўваюцца закону сунечнага прыцягнення Ньютона.



Рысунак 126 — Зрушэнне ліній у спектры падвойнай зоркі



Рысунак 127 — Адхіленні ў руху Сірыуса, выкліканае гравітацыйным узбурэннем спадарожніка

У выніку назіранняў за падвойнымі зоркамі атрыманы ацэнкі мас для зорак розных тыпаў. Аналіз гэтых звестак прывёў да наступных выводаў:

1. Масы зорак знаходзяцца ў межах ад 0,03 да 60 мас Сонца. Найбольшая колькасць зорак мае ад 0,4 да 3 мас Сонца.
2. Залежнасць, якая існуе паміж масамі зорак і іх свяцільнасцю, дазваляе ацэньваць масы адзіночных зорак па іх свяцільнасцях. У інтэрвале мас $0,5M_{\odot} \leq M \leq 10M_{\odot}$ свяцільнасць зоркі працягнальная чацвёртай ступені яе масы $L \approx M^4$. Пры $M > 10M_{\odot}$ паказчык ступені роўны 2, гэта значыць $L \approx M^2$.
3. Маса зоркі ў момант яе фарміравання з'яўляецца найважнейшым параметрам, які вызначае далейшую эвалюцыю зоркі.
4. Радыусы зорак маюць вельмі шырокія межы, таму сярэдняя шчыльнасць зорак вагаецца ад $5 \cdot 10^{-2}$ да $3 \cdot 10^8$ кг/м³ (параўнайце з Сонцам — $1,4 \cdot 10^3$ кг/м³).



Галоўныя выводы

1. Дзве зоркі, якія адразніваюцца ад іншых блізкасцю сваіх бачных становішчаў, называюцца падвойнай зоркай. Падвойныя зоркі з'яўляюцца прыватным выпадкам кратных зорак.
2. Фізічныя падвойныя зоркі — сістэма дзвюх зорак, якія звязаны сіламі прыцягнення і абарачаюцца вакол агульнага цэнтра мас.
3. У залежнасці ад метада назірання падвойныя зоркі падзяляюцца на візуальна-падвойныя, зацьменна-падвойныя, спектральна-падвойныя, астраметрычна-падвойныя.
4. Кампаненты фізічных падвойных зорак здзяйсняюць бачны адносны рух па эліпсе ў адпаведнасці з законамі Кеплера і падпраядкоўваюцца закону сусветнага прыцягнення.



Кантрольныя пытанні і заданні

1. Якія зоркі называюцца падвойнымі? Прывядзіце іх класіфікацыю.
2. Што такое амплітуда і перыяд пераменнасці зацьменна-переменных зорак?
3. Дайце тлумачэнне, чаму адбываецца зрушэнне ліній у спектрах спектральна-переменных зорак.

§ 25. Эвалюцыя зорак

1. Дыяграма «спектр — свяцільнасць». Існуе залежнасць паміж асноўнымі фізічнымі характарыстыкамі зорак. На аснове назіранняў вызначаюцца спектральныя класы зорак, а па вядомай адлегласці — абсалютныя зорныя велічыні, ці свяцільнасці зорак.

У пачатку XX ст. незалежна ад аднаго дацкі астроном Эйнар Герцшпрунг і амерыканскі астрафізік Генры Рэсел установілі сувязь паміж гэтымі характарыстыкамі. Такую залежнасць можна падаць у выглядзе дыяграмм: па гарызантальнай восі адкладваецца спектральны клас (ці тэмпература) зорак, а па вертыкальнай — іх свяцільнасць (у абсалютных велічынях). Кожнай зорцы адпавядае пункт на гэтай дыяграме. Такая дыяграма называецца **дыяграммай Герцшпрунга — Рэселя** ці **дыяграммай «спектр — свяцільнасць»** (гл. форзац 4).

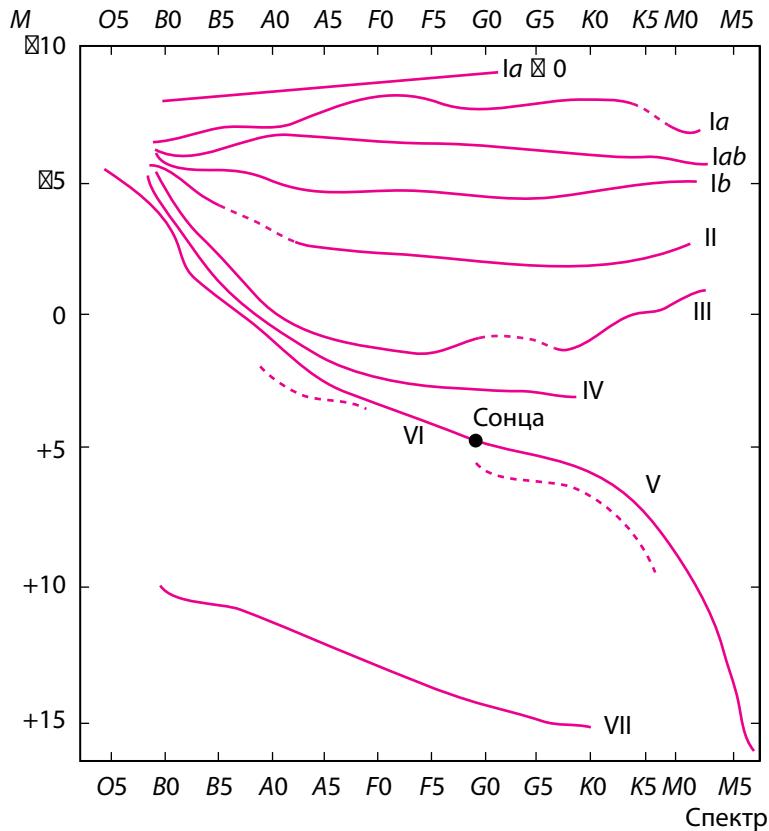
Зоркі на дыяграме не разміркоўваюцца выпадковым чынам па ўсёй яе плошчы, а ўтвараюць некалькі групп, названых **паслядоўнасцямі**.

Большасць зорак на дыяграме знаходзіцца ў межах паласы, выразна выяўленай і выцягнутай ад левага верхняга да правага ніжняга вугла, якая называецца **галоўнай паслядоўнасцю**.

У левай верхнай частцы галоўнай паслядоўнасці знаходзяцца масіўныя гарачыя зоркі спектральнага класа O, свяцільнасць якіх у дзясяткі тысяч разоў перавышае свяцільнасць Сонца. Такія зоркі называюць гарачымі звышгігантамі. З памяншэннем тэмпературы свяцільнасць зорак падае. Потым паласа галоўнай паслядоўнасці праходзіць праз вобласць, дзе знаходзяцца падобныя да Сонца зоркі класа G. І нарешце, галоўная паслядоўнасць апускаецца да ніжнай правай часткі дыяграмы. Тут знаходзяцца зоркі класа M і L з малой масай і адносна нізкай тэмпературай. Гэтыя зоркі называюць чырвонымі і карычневымі карлікамі.

Да зорак галоўнай паслядоўнасці адносяцца добра вядомыя зоркі — Сірыус (α Вялікага Пса), Вега (α Ліры), Сонца. Зоркі з адносна нізкай тэмпературай фотасфери ($3—5 \cdot 10^3$ К) і свяцільнасцю ў 100—1000 разоў большай за свяцільнасць Сонца ўтвараюць **паслядоўнасць чырвоных гігантаў**. Да гэтай паслядоўнасці адносяцца, напрыклад, Арктур (α Валапаса), Альдэбаран (α Цяльца).

У верхнай частцы дыяграмм «спектр — свяцільнасць» знаходзіцца **паслядоўнасць звышгігантаў** (рыс. 128). Гэта зоркі з вельмі высокай



Рисунак 128 — — ыяграма «спектр — свяцільнасць» з указаннем класаў свяцільнасці

свяцільнасцю, нізкай шчыльнасцю і з дыяметрамі, у дзесяткі і сотні разоў большымі за сонечны. Да звышгігантаў адносіцца зорка Бетэльгейзе (α Арыёна).

У левай ніжняй частцы дыяграмы размешчаны гарачыя зоркі слабай свяцільнасці — **паслядоўнасць белых карлікаў**. Іх памеры параўналельныя з памерамі Зямлі, а масы блізкія да масы Сонца. Таму сярэдняя шчыльнасць белых карлікаў перавышае шчыльнасць зямных парод у сто тысяч разоў. З іншага боку, сярэдняя шчыльнасць зорак-звышгігантаў вельмі нізкая — у тысячу разоў меншая за шчыльнасць зямной атмасфери. Шчыльнасць рэчыва ў атмасферы зоркі ўплывае на шырыню спектральных ліній. Таму, напрыклад, у чырвоных карлікаў спектральныя лініі шырэйшыя, чым у гігантаў і звышгігантаў. Такім чынам, па

выглядзе спектральных ліній вызначаецца, да якой паслядоўнасці належыць зорка (галоўная, карлікі, гіганты).

Па паслядоўнасці ацэньваецца абсолютная зорная велічыня, а потым і адлегласць (гл. формулу 6, § 22). Гэты метад вызначэння адлегласцей называецца **метадам спектральных паралаксаў**.

Найбольшая частка зорак адносіцца да чырвоных карлікаў: на 10 млн чырвоных карлікаў прыпадае каля 1 млн белых карлікаў, прыблізна 1000 гігантаў і толькі 1 звышгіант.

У Йеркской абсерваторыі распрацавана двухмерная спектральная класіфікацыя, у якой кожны спектр зоркі ўлічвае асаблівасці спектральных ліній і свяцільнасць зорак (гл. рис. 128). Гэта класіфікацыя падзяляе ўсе зоркі на некалькі **класаў свяцільнасці** (ад I да VII).

Ia-0 — самыя яркія звышгіанты;

Ia — яркія звышгіанты;

Iab — сярэднія звышгіанты;

Ib — слабыя звышгіанты;

II — яркія гіганты;

III — слабыя гіганты;

IV — субгіанты;

V — галоўная паслядоўнасць;

VI — субкарлікі;

VII — белыя карлікі.

2. Нараджэнне зорак. Працэс зоркаўтварэння адбываецца ў Галактыцы бесперапынна — з моманту яе ўзнікнення. Пацверджаннем нараджэння зорак у наш час з'яўляецца існаванне масіўных гарачых зорак класаў O і B, працягласць жыцця якіх не перавышае 10 млн гадоў.

Працягласць жыцця зорак складае ад мільёнаў да дзясяткаў мільярдаў гадоў. Гэты час занадта вялікі, каб прасачыць жыццёвы шлях зорак, ці іх **эвалюцыю**. Таму асноўным метадам даследавання эвалюцыі зорак з'яўляецца пабудова **мадэлей унутранай будовы зорак**.

Пры пабудове мадэлі задаюць пачатковыя ўмовы фізічнага стану газу: хімічны састаў, ціск (шчыльнасць), тэмпературу, масу. Потым на аснове фізічных законаў (газавых законаў, закону прыцягнення) разлічваюць змены гэтых параметраў з цягам часу.

Паводле сучасных уяўленняў зоркі ўтвараюцца ў выніку сціскання (гравітацыйнай кандэнсацыі) рэчыва міжзорнага асяроддзя (рис. 129, 1).



Рысунак 129 — Утворэнне зорак з газапылавога воблака

Зоркі нараджаюцца групамі з гіганцкіх газапылавых комплексаў памерамі да 100 пк і масай у дзясяткі, а часам і сотні тысяч сонечных мас. Газ у гэтых комплексах знаходзіцца ў малекулярным стане з тэмпературай каля 10 К.

Пад уздзеяннем гравітацыйных сіл комплекс спіскаецца, шчыльнасць яго расце, і ён распадаецца на асобныя згусткі, ці газапылавыя воблакі (рыс. 129, 2).

У газапылавым воблаку выпадкова ці пад дзеяннем знешніх прычын узнікаюць гравітацыйна-няўстойлівые фрагменты, якія працягваюць спіскацца. Знешнімі прычынамі, што стымулююць зоркаўтарэнне, могуць быць сутыкненні малекулярных воблакаў; зорны вецер ад маладых гарачых зорак; ударныя хвалі, выкліканыя ўспышкамі звышновых зорак. Пры дастатковая вялікай масе фрагмента адбываецца далейшы распад на асобныя фрагменты-згусткі (рыс. 129, 3).

Фрагменты зорнай масы, якія спіскаюцца пад дзеяннем уласнага прыцягнення, называюцца **пратазоркамі**. Пры гравітацыйным спісканні газ у пратазорцы разаграваецца, і яна пачынае выпраменьваць у інфрачырвоным дыяпазоне спектра. Рэчыва, якое акружвае ядро пратазоркі, падае на яго, што павялічвае масу і тэмпературу ядра. Калі ціск, што ствараецца выпраменьваннем зоркі, робіцца дастатковая вялікім, падзенне рэчыва спыняецца. Ціск выпраменьвання абмяжоўвае масу будучых зорак величынёй у некалькі дзясяткаў мас Сонца. Працягласць стадыі спіскання залежыць ад масы пратазоркі: пры масе меншай за сонечную — сотні мільёнаў гадоў, пры большай — сотні тысяч гадоў.

Вярчэнне пратазорак адыгрывае важную ролю ў іх далейшай эвалюцыі. Часта ў пратазорцы, што верціцца, вакол цэнтральнага згустка ўтвараецца працяглы газапылавы дыск, з якога потым развіваецца планетная сістэма. Зорка, што фарміруецца, у канцы стадыі сціскання мае значныя памеры пры яшчэ адносна нізкай тэмпературы паверхні. Сцісканне пратазоркі спыняеца, калі тэмпература ў цэнтры ядра дасягае некалькіх мільёнаў градусаў, тады ўключаюцца тэрмаядзерныя крыніцы энергіі, рэакцыі пратон-пратоннага цыкла. Момант пачатку тэрмаядзерных рэакцый ёсць момант нараджэння зоркі. Цяпер тэмпература і шчыльнасць унутраных слоёў робяцца такімі, што сіла іх пругкасці можа процідзейнічаць вазе вонкавых слоёў. Пасля пачатку вадародных рэакцый і ўстанаўлення раўнаважнага стану зорка трапляе на галоўную паслядоўнасць дыяграмы «спектр — свяцільнасць». Ноўванароджаныя зоркі з'яўляюцца на галоўной паслядоўнасці па ўсёй яе даўжыні (у залежнасці ад іх масы).

3. Эвалюцыйныя перамяшчэнні. Ад масы ў першую чаргу залежыць, якую тэмпературу будзе мець ядро зоркі ў момант устанаўлення ўстойлівай раўнавагі. Чым большая маса газапылагога комплексу, які сціскаеца, а потым пратазоркі і нарэшце зоркі, тым большую вагу слоёў, што ляжаць вышэй, даводзіцца вытрымліваць яе ядру. Таму патрэбна больш высокая тэмпература, каб газавы ціск мог процістаяць гэтай вазе.

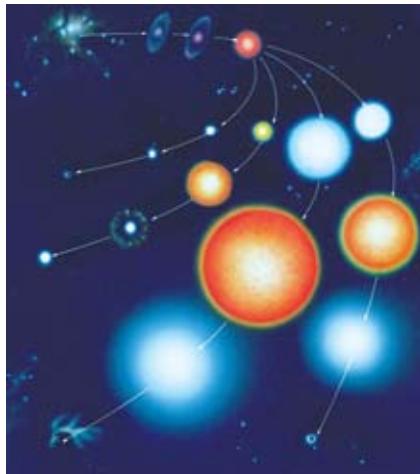
Самыя масіўныя зоркі (памерам у 30—50 мас Сонца) параджаюць найбольш гарачыя зоркі класа О. Тэмпература цэнтральных зон такіх зорак складае 30—50 млн градусаў.

Большую частку часу зорка знаходзіцца на галоўной паслядоўнасці. Але паколькі запасы вадароду працягнальнія масе, а расход энергіі (свяцільнасць) працягнальні чацвёртай ступені масы, то вадарод у масіўных зорак выгарае хутчэй. Час знаходжання зоркі на галоўной паслядоўнасці вызначаецца простай залежнасцю

$$t = 10^{10} \frac{1}{M^3} \text{ (гадоў)},$$

дзе M — маса зоркі ў масах Сонца.

Па формуле, прыведзенай вышэй, можна падлічыць, што Сонца вычарпае свой запас вадароднага паліва прыблізна за 10 млрд гадоў (такім



Рысунак 130 — Эвалюцыя зорак рознай масы

масы гэтага ядра. Калі яна меншая за 1,4 масы Сонца, то пад дзеяннем гравітацыйнага сціскання геліевае ядро зноў разаграваецца (тэмпература падымаетца да 100 млн градусаў). Вонкавыя слі зоркі пры гэтым расшыраюцца і ахалоджваюцца. Зорка быццам бы разбухае. Яе свяцільнасць узрастаема, а тэмпература падае. Зорка сыходзіць з галоўнай паслядоўнасці і ў залежнасці ад масы становіцца чырвоным гігантом (рыс. 130) ці звышгігантам.

Атмасфера зоркі разрастается і паступова аддаляецца ад ядра, утвараючы **планетарную туманнасць**. Канечнай стадыяй эвалюцыі гэтых зорак з'яўляюцца белыя карлікі. **Белы карлік** — кампактная зорка з масай, прыблізна роўнай масе Сонца, і радыусам, прыблізна ў 100 разоў меншым за Сонца. Шчыльнасць такіх зорак больш чым у 100 тыс. разоў перавышае шчыльнасць вады.

Стадыі эвалюцыі, як і ўсе зоркі, праходзіць і Сонца. Праз 5—8 млрд гадоў яно ператворыцца спачатку ў чырвоны гігант, а потым, скінуўшы абалонку, стане белым карлікам. Зоркі, нашмат больш масіўныя за Сонца, у працэсе эвалюцыі ператвараюцца ў нейтронныя зоркі (пры масе ад 1,4 да 2,5 масы Сонца) ці чорныя дзіры (пры масе большай за 2,5 масы Сонца), праходзячы стадыю звышновай.

Чынам, Сонца, узрост якога ацэньваецца прыблізна ў 5 млрд гадоў, «пражыло» на галоўнай паслядоўнасці толькі палову свайго жыцця). Зоркі з масамі, роўнімы 10 масам Сонца, вычарпаюць яго ўсяго за 10 млн гадоў; чырвоныя карлікі масай каля 0,5 масы Сонца, якія слаба выпарменьваюць, — за 80 млрд гадоў. Гарачых маладых зорак-гігантаў назіраецца меней з-за малога часу іх існавання. Таму найбольш запоўнена ніжняя правая частка галоўнай паслядоўнасці дыяграмы «спектр — свяцільнасць».

Пасля выгарання водароду ў нетрах зоркі ўтвараюцца гарачае геліевае ядро. Далейшая эвалюцыя зоркі залежыць ад



Галоўныя выводы

1. Паміж рознымі фізічнымі харкторыстыкамі зорак існуе сувязь. Дыяграма залежнасці спектральных класаў зорак (ці тэмпературы) ад іх свяцільнасці называецца дыяграммай «спектр — свяцільнасць».
2. Эвалюцыя зорак — паступовае змяненне з цягам часу фізічных харкторыстык, унутранай будовы і хімічнага саставу зорак.
3. Зоркі ўтвараюцца ў выніку гравітацыйнага сцікання рэчыва з газапылавых комплексаў.
4. Зоркі ў працэсе эвалюцыі праходзяць стадыі ад пратазорак да канечных стадый — белых карлікаў, нейтронных зорак ці чорных дзір, у залежнасці ад масы.
5. Переход зорак з рознай масай на дыяграме «спектр — свяцільнасць» з адной паслядоўнасці на другую пры змяненні іх параметраў з часам называецца эвалюцыйным перамяшчэннем.
6. Класы свяцільнасці — зоркавыя групы, якія ўлічваюць асаблівасці спектральных ліній і свяцільнасць зорак.



Кантрольныя пытанні і заданні

1. Па якім прынцыпе будуецца дыяграма «спектр — свяцільнасць» (дыяграма Герцшпрунга — Рэсела)?
2. Як на дыяграме «спектр — свяцільнасць» размяшчаюцца зоркі розных памераў?
3. Дайце кароткую харкторыстыку зоркам: звышгіантам, чырвонымі гіантамі, белымі карлікамі, чырвонымі карлікамі.
4. Што разумеюць пад эвалюцыяй зорак?
5. Апішыце ў агульных рысах працэс утварэння зорак.
6. Што разумеюць пад класамі свяцільнасці?

§ 26. Нестацыянарныя зоркі

1. Агульная характеристыка пераменных зорак. Многія зоркі змяняюць свае фізічныя характеристыкі на працягу адносна кароткага перыяду часу. Такія зоркі называюцца нестацыянарнымі. У адрозненне ад зацьменна-пераменных зорак (гл. § 24) яны змяняюць сваю свяцільнасць у выніку фізічных працэсаў, што адбываюцца ў саміх зорках. З гэтай прычыны іх называюць **фізічнымі пераменнымі зоркамі**.

У залежнасці ад характеристу працэсаў, якія праходзяць унутры зоркі, фізічныя пераменные зоркі падзяляюць на пульсуючыя і эруптыўныя.

Пульсуючыя пераменные зоркі — фізічныя пераменные зоркі, у якіх адбываюцца перыядычныя ваганні бліску (напрыклад, цэфеіды, зоркі тыпу RR Ліры, мірыды).

Эруптыўныя зоркі — фізічныя пераменные зоркі, якія праяўляюць сваю пераменнасць у выглядзе ўспышак, што тлумачаюцца выкідамі рэчыва (напрыклад, новыя і звышновыя зоркі).

Усе пераменные зоркі маюць спецыяльныя абазначэнні, калі ім раней не былі прысвоены літары грэчаскага алфавіта. У кожным сузор’і першыя 334 пераменные зоркі абазначаюцца паслядоўнасцю літар лацінскага алфавіта R, S, T, ..., Z, RR, RS, ..., RZ, SS, ST, ..., ZZ, AA, ..., AZ, QQ... з дабаўленнем назвы адпаведнага сузор’я. Наступныя пераменные зоркі, якім не хапіла камбінацый гэтых літар у сваім сузор’і, абазначаюцца V 335, V 336 і г. д.

2. Пульсуючыя пераменные зоркі. Першая пульсуюча зорка была адкрыта нямецкім астрономам Давідам Фабрыцыусам у 1596 г. у сузор’і Кіта і названа Мірай. Перыяд змены бліску гэтай зоркі складае 331,6 сутак.

Доўгaperыядычныя пераменные зоркі (з перыядам ад некалькіх тыдняў да году і болей; зоркі тыпу Міры Кіта) называюцца **мірыдамі**. Практычна ўсе зоркі гэтага тыпу — чырвоныя гіганты велізарных памераў і вялікай свяцільнасці. Амплітуды змянення бліску такіх зорак могуць дасягаць дзесяці зорных велічынь.

Пры эвалюцыйным ператварэнні зоркі ў зорку-гіганта адбываецца павелічэнне яе аб’ёму і памяншэнне сярэдняй шчыльнасці рэчыва. У гэты час унутраная будова зоркі змяніецца карэнным чынам, што можа суправаджацца парушэннем раўнавагі паміж сіламі гравітацыінага прыцяжэння і прамянёвага ціску. Гэта прыводзіць да перыядычных

ваганняў аб'ёму зоркі: яе абалонка то расшыраецца, то сціскаецца. Такія перыядычныя ваганні пераменных зорак называюцца пульсацыйнымі. Пульсацыя зоркі адбываецца дзякуючы клапаннаму механізму, калі непразрыстасць вонкавых слаёў зоркі затрымлівае частку выпраменівання ўнутраных слаёў. Пры награванні вонкавы слой становіцца празрыстым, паток выпраменівання, якое выходзіць, павялічваецца. Але гэта вядзе да ахалоджвання і сцікання, з-за чаго слой зноў становіцца непразрыстым, і ўвесе працэс паўтараецца зноў.

Вялізны клас вельмі яркіх пераменных зорак-гігантаў і звышгігантаў класаў F і G называецца **цэфеідамі**. Гэта пульсуючыя пераменныя зоркі, бляск якіх плаўна і перыядычна змяняецца ад 0,5 да 2 зорных велічынь. Перыяд змены бляску складае ад 1,5 да 70 сутак. Назва паходзіць ад зоркі Цэфея — адной з найбольш тыповых для гэтага класа пераменных зорак.

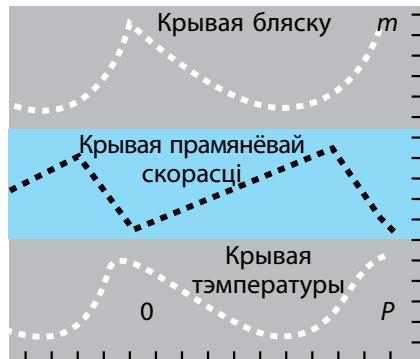
Адначасова з бачнай зорнай велічынёй у цэфеід мяняецца іх спектр і тэмпература (у сярэднім на 1500 градусаў) (рыс. 131).

Перыяд пульсацыі зоркі залежыць ад сярэдняй шчыльнасці яе рэчыва і падпараметроў вароўніка наступнай заканамернасці:

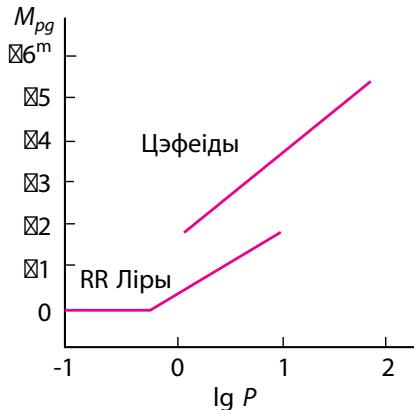
$$P = \frac{\text{const}}{\sqrt{\rho}} = \frac{0,12}{\sqrt{\rho}},$$

дзе P — перыяд пульсацыі у сутках, ρ — сярэдняя шчыльнасць (у адзінках сярэдняй шчыльнасці Сонца). Сярэдняя шчыльнасць рэчыва цэфеіда складае каля 10^{-2} кг/м³.

Цэфеіды з большай масай маюць большую свяцільнасць, большы радиус, але меншую шчыльнасць і, адпаведна, большы перыяд пульсацыі, г. зн. цэфеіды маюць важную залежнасць «перыяд — свяцільнасць» (рыс. 132). Гэта залежнасць апісваецца выразам: $M = -1,01 - 2,791g P$, дзе P — перыяд змены бляску ў сутках, а M — сярэдняя абсолютная зорная велічыня. Такім чынам, па вядомым з назіранняў перыядзе можна вызначыць абсолютную зорную велічыню ці свяцільнасць



Рысунак 131 — Графікі змянення бляску, прамянёвой скорасці і тэмпературы цэфеіда



Рысунак 132 — Графік залежнасці абсалютнай зорнай велічыні ад перыяду змянення бляску зорак у цэфеід і зорак тыпу RR Ліры

змяняюць бляск. Амплітуда змены бляску дасягае 1-й зорнай велічыні. У гэтых зорак, як і ў цэфеід, існуе залежнасць паміж перыядам і свяцільнасцю (гл. рыс. 132).

3. Новыя зоркі. Зоркі, бляск якіх раптоўна павялічваецца ў тысячи і мільёны разоў за некалькі сутак, пасля чаго памяншаецца да першапачатковага ўзору на працягу года і болей, называюцца **новымі зоркамі**.

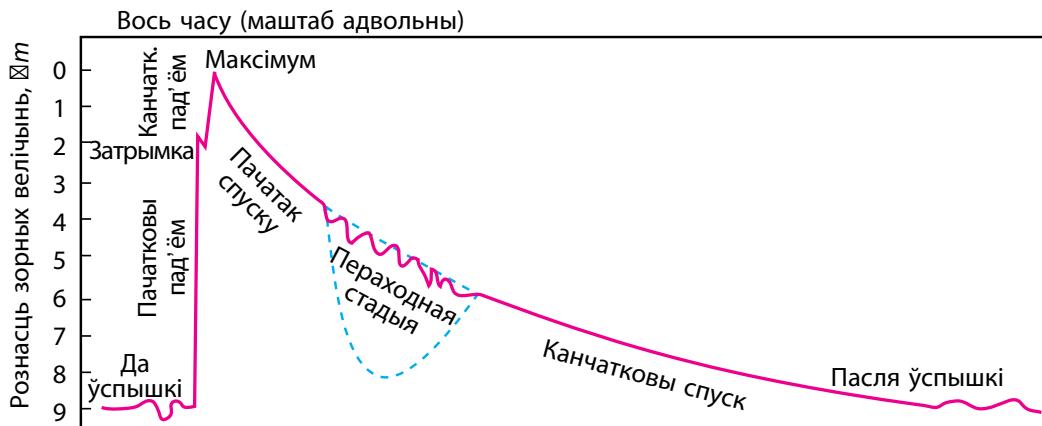
Пад тэрмінам «новая зорка» не разумеецца, што зорка нарадзілася. Так называюць зоркі, якія раней былі цъмянымі, а потым раптам іх бляск павялічыўся. Напрыклад, адна з новых зорак, якая ўспыхнула ў чэрвені 1918 г., павялічыла свой бляск за чатыры дні з 11-й да $-0,5$ -й зорнай велічыні (г. зн. у 40 тыс. разоў), а потым прыняла папярэдніе значэнне бляску за перыяд крыху большы чым 1,5 года.

Назіранні паказваюць, што новымі зоркамі, якія ўспыхваюць, з'яўляюцца гарачыя белыя карлікі спектральных класаў O — B, абсолютная зорная велічыня якіх парадку 4^m — 5^m . У час успышкі гэтыя зоркі павялічваюць свой бляск на 7^m — 16^m зорных велічынь (рыс. 133). Пры гэтым новая зорка выпраменяе энергію каля 10^{38} Дж (такая энергія выпраменяе Сонцем прыблізна за 100 тыс. гадоў!).

зоркі. Пры пароўненні яе з бачнай зорнай велічынёй, атрыманай з назіранняў, можна вызначыць адлегласць да цэфеідаў. Высокая свяцільнасць і пераменнасць блеску даюць магчымасць выявіць цэфеіды на адлегласці да 20 Мпк. Іх назіраюць у найбліжэйшых галактыках і такім чынам вызначаюць адлегласці да гэтых зорных сістэм.

Цэфеіды вобразна называюць маякамі Сусвету. Цяпер у нашай Галактыцы вядома звыш 800 цэфеідаў.

Другой разнавіднасцю пульсуючых пераменных зорак з'яўляюцца зоркі тыпу RR Ліры, якія маюць больш кароткія перыяды — ад 0,2 да 1,2 сутак. Практична ўсе зоркі гэтага тыпу — гіганты спектральнага класа A. Яны вельмі хутка змяняюць бляск. Амплітуда змены бляску дасягае 1-й зорнай велічыні. Практычна ўсе зоркі гэтага тыпу — гіганты спектральнага класа A. Яны вельмі хутка



Рысунак 133 — Графік змянення бляску новай зоркі

Прычынай выбуху новых зорак з'яўляецца абмен рэчывам паміж кампанентамі цесных падвойных пар, да якіх належала ўсе дэталёва даследаваныя былыя новых зоркі. Многія новых зоркі ўспыхваюць неаднаразова. Калі ўспышка паўтараецца, такую зорку называюць паўторнай новай.

4. Звышновыя зоркі. Звышновыя зоркі — адна з самых грандыёзных і захапляльных касмічных з'яў. Звышновымі называюцца зоркі, якія ўспыхваюць падобна новым і дасягаюць у максімуме абсолютнай зорнай величыні ад -18^m да -19^m . Асобныя звышновыя ў максімуме бляску перавышаюць свяцільнасць Сонца ў дзясяткі мільярдаў разоў і дасягаюць абсолютнай зорнай величыні $M = -20^m$ — -21^m .

У кітайскіх летапісах згадваецца раптоўнае з'яўленне ў 1054 г. у сузор'і Цяльца «зоркі-госці», якая назіралася кітайскімі і японскімі астрономамі, здавалася ярчайшай за Венеру і была бачная нават удзень. Праз два месяцы гэта зорка пачала гаснуць, а яшчэ праз некалькі месяцаў зусім знікла з поля зроку. У наш час пры дапамозе дастаткова магутных тэлескопаў у гэтым сузор'і можна бачыць туманнасць мудрагелістай формы, якая



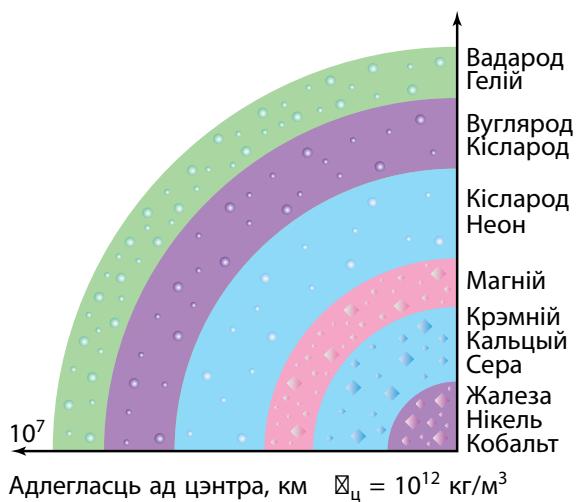
Рысунак 134 — Крабападобная туманнасць — рэшткі ад выбуху звышновай зоркі



Рысунак 135 — Звышновая SN 1987A у Вялікім Магеланавым Воблаку (паказана стрэлкай)

Зорка, якая назіралася з дапамогай сучаснай тэхнікі, з'явілася ў 1987 г. у адной з найбліжэйшых галактык — Вялікім Магеланавым Воблаку (рыс. 135).

Зорка ўспыхвае з прычыны калапсу (хуткага сціскання) свайго масіўнага ядра. Адбываецца гэта наступным чынам. На розных этапах жыцця масіўнай зоркі ў яе ядры працякаюць тэрмаядзерныя рэакцыі, пры якіх спачатку вадарод ператвараецца ў гелій, а потым гелій — у вуглярод і гэтак далей да ўтварэння ядраў элементаў групы жалеза (Fe, Ni, Co). Паступова зорка ўсё больш і больш «расслойваецца» (рыс. 136).



Рысунак 136 — Расслаенне масіўных зорак

нагадвае краба, што плыве ў вадзе. Туманнасць так і назвалі — Крабападобная (рыс. 134). Назіранні паказалі, што яна расшыраецца. З улікам скорасці расшырэння можна зрабіць выснову, што Крабападобная туманнасць — гэта рэшткі выбуху звышновай 1054 г.

У нашай Галактыцы за апошніяе тысячагоддзе зарэгістравана некалькі выпадкаў успышак звышновых зорак. Найбольш яркая звышновая зорка, якая назіралася з дапамогай сучаснай тэхнікі, з'явілася ў 1987 г. у адной з найбліжэйшых галактык — Вялікім Магеланавым Воблаку

Ядзерныя рэакцыі з утварэннем яшчэ больш цяжкіх хімічных элементаў ідуць з паглынаннем энергіі, таму зорка пачынае ахалоджацца і сціскацца. Унутраныя слоі нібыта абвальваюцца да цэнтра зоркі, адбываецца тэрмаядзерны выбух, узнікае ўдарная хваля, якая адваротна рухаецца ад цэнтра. У выніку знешнія слоі зоркі выкідаюцца з велізарнай скорасцю і адбываецца ўспышка звышновай.

Пры выбуху выдзяляеца энергія парадку 10^{46} Дж. Такую колькасць энергіі наша Сонца здольна выпраменіць толькі за мільярды гадоў. Ад велізарнай зоркі застаюцца толькі газавая абалонка, якая расшыраеца з вялікай скорасцю, і нейтронная зорка (чорная дзірка).

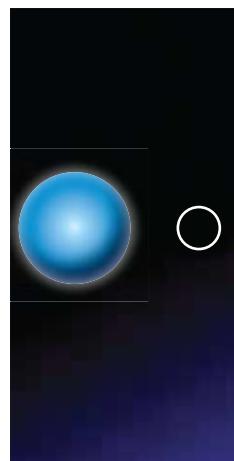
Калі маса зоркі невялікая, то сілы гравітацыі параўнальна слабыя, і сцісканне зоркі (гравітацыйны калапс) спыняеца. Пры вельмі высокай шчыльнасці рэчыва электроны злучаюцца з пратонамі і ўтвараюць нейтральныя часціцы — нейтроны. У хуткім часе амаль уся зорка будзе складацца з адных нейтронаў, цесна прыціснутых адзін да аднаго, і велізарная зорная маса будзе сканцэнтравана ў вельмі невялікім шары, памерам парадку дзесяці кіламетраў (рыс. 137). Шчыльнасць утворанага шара — **нейтронная зорка** — можа складаць 10^{17} — 10^{18} кг/ м^3 . Калі такая зорка валодае магутным магнітным полем і знаходзіцца ў падвойнай сістэме, рэчыва суседкі можа захоплівацца і падаць уздоўж лініі магнітнага поля, утвараючы ў раёне магнітнага полюса гарачую пляму, якая выпраменяе ў радыёіяпазоне. У такім выпадку будзе назірацца **пульсар** — нейтронная зорка, якая хутка верціцца і выпраменяе ў радыёімпульсы з перыядам ад 0,0014 да 11,8 с.

Калі ў нетрах зоркі адсутнічаюць сілы, якія процідзейнічаюць яе сцісканию пад дзеяннем сіл гравітацыі, зорка і далей будзе сціскацца. Шчыльнасць рэчыва будзе працягваць павялічвацца.

У выніку масіўная зорка на заключным этапе сваёй эвалюцыі ператвараеца ў аб'ект, які нястрымна сціскаецца, — **чорную дзіру** (рыс. 138). Поль прыцягнення на мяжы чорнай дзіры настолькі вялікае, што сігналы ад гэтага аб'екта не выходзяць за яго межы (адсюль паходзіць яго назва). Іншымі словамі: гравітацыянае поле чорнай дзіры настолькі магутнае, што нават святло не ўстане яго пераадолець.



Рысунак 137 —
Адносныя памеры
белага карліка
і нейтронной зоркі



Рысунак 138 —
Адносныя памеры
нейтронной зоркі
і чорнай дзіры

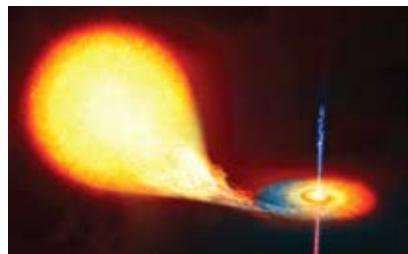
Крытычны радыус, да якога павінна сціснуцца зорка, каб ператварыцца ў чорную дзіру, называецца **гравітацыйным радыусам** (r_g), ці радыусам *Шварцшыльда*. Для масіўнай зоркі r_g складае некалькі дзесяткаў кіламетраў і разлічваецца па формуле:

$$r_g = \frac{2GM}{c^2},$$

дзе G — гравітацыйная пастаянная, M — маса зоркі, c — скорасць святла.

З тэорыі адноснасці вынікае, што рэчыва павінна быць сціснута ў мікракапічна малым аб'ёме прасторы ў цэнтры чорнай дзіры. Гэты стан называецца **сінгулярнасцю**. Мяжу чорнай дзіры называюць **гарызонтом падзея**.

Паколькі чорныя дзіры непасрэдна назіраць нельга, пошуку іх звязаны з вялікімі цяжкасцямі. Часцей за ўсё іх выяўляюць двумя спосабамі. Па-першае: калі чорная дзіра ўтварылася ў падвойнай сістэме зорак, то яе становішча можна вызначыць па абараченні другога кампанента вакол «масіўнага пустога месца» (рыс. 139). Па-другое: пры падзенні рэчыва на чорную дзіру павінна ўзнікаць магутнае рэнтгенаўскае выпраменяньне. Крыніцы таго, кога выпраменяньне (Лебедзь X-1, Скарпіён X-1 і інш.) зарэгістраваны як «кандыдаты» ў чорныя дзіры. Чорныя дзіры таксама могуць існаваць і назірацца як аб'екты, што пастаянна ўзаемадзеянічаюць з рэчывам у ядрах галактык.



Рысунак 139 — Схема чорнай дзіры ў падвойнай сістэме

на вызначыць па абараченні другога кампанента вакол «масіўнага пустога месца» (рыс. 139). Па-другое: пры падзенні рэчыва на чорную дзіру павінна ўзнікаць магутнае рэнтгенаўскае выпраменяньне. Крыніцы таго, кога выпраменяньне (Лебедзь X-1, Скарпіён X-1 і інш.) зарэгістраваны як «кандыдаты» ў чорныя дзіры. Чорныя дзіры таксама могуць існаваць і назірацца як аб'екты, што пастаянна ўзаемадзеянічаюць з рэчывам у ядрах галактык.



Галоўныя выводы

1. Зоркі, якія змяняюць свае фізічныя характеристыкі на працягу адносна кароткага перыяду часу, называюцца нестациянарнымі. Яны бываюць пульсуючыя і эруптыўныя.
2. Фізічныя пераменныя зоркі — гэта пульсуючыя зоркі, якія мяняюць сваю свяцільнасць за кароткія прамежкі часу ў выніку фізічных працэсаў, што адбываюцца ў самой зорцы.

3. Эруптыўныя зоркі — фізічныя пераменныя зоркі, якія праяўляюць сваю пераменнасць у выглядзе ўспышак. Да іх адносяцца новыя і звышновыя зоркі.

4. Нейтронныя зоркі ўтвараюцца пры выбухах звышновых зорак. Некаторыя з іх назіраюцца як пульсары, для якіх характэрна магутнае вузканакіраванае пульсуючае радыёвыпрамяненне.

5. Чорная дзіра — частка замкнёной просторы, якая ўтворана гравітацыйным полем масіўнага цела і якую не могуць пакінуць ні часціцы, ні выпраменяванне.

6. У працэсе эвалюцыі зорак (у выніку тэрмаядзерных рэакцый і выбухай) адбываецца ўтварэнне хімічных элементаў.



Кантрольныя пытанні і заданні

1. Чым адрозніваюцца фізічныя пераменныя зоркі ад зацьменна-пераменных зорак?
2. Якая прычына пульсацый цэфеід?
3. Чым адрозніваецца новая зорка ад звышновай?
4. Вызначыце сярэднюю шчыльнасць цэфеіды, калі яе перыяд пульсацый складае 1,0 сут.
5. Як утварылася Крабападобная туманнасць?
6. Якія прычыны выбуху новых і звышновых зорак?
7. Растлумачце механізм радыёвыпрамянення пульсара.
8. Які аб'ект называюць чорнай дзірою? Якія ўласцівасці характэрныя для чорнай дзіры?
9. Вызначыце радыус Шварцшыльда для Сонца.

Раздел VIII

БУДОВА І ЭВАЛЮЦЫЯ СУСВЕТУ

§ 27. Наша Галактыка

1. Структура Галактыкі. На асеннім начным небе ў ясную бязмесячную ноч з захаду на ўсход праз зеніт (шыроты Беларусі) цягнецца добра прыкметная святлівая паласа — **Млечны Шлях**. Старажытныя грэкі Млечны Шлях назвалі **Галактыкай** (грэч. *gala* — малако). Яшчэ Галілео Галілей у 1609 г. у тэлескоп выявіў, што Млечны Шлях складаецца з велізарнай колькасці слабых зорак.

Млечны Шлях праходзіць праз абодва паўшар'і па вялікім крузе нябеснай сферы (рыс. 140). Лінія, якая ідзе ўздоўж сярэдзіны Млечнага Шляху, называецца **галактычным экватарам**, а плоскасць, якая яго ўтварае, — **галактычной плоскасцю**. Галактычная плоскасць нахілена да плоскасці нябеснага экватара пад вуглом 63° .

Такім чынам, Галактыка — гэта гравітацыйна-звязаная сістэма, якая складаецца з соцень мільярдаў зорак і міжзорнага асяроддзя, а Млечны Шлях — яе святлівая праекцыя на нябесную сферу.

Колькасныя падлікі зорак у розных напрамках ад галактычнага экватара распачаў яшчэ У. Гершель у 70-х гг. XVIII ст. Выбарачныя падлікі паказалі, што колькасць зо-



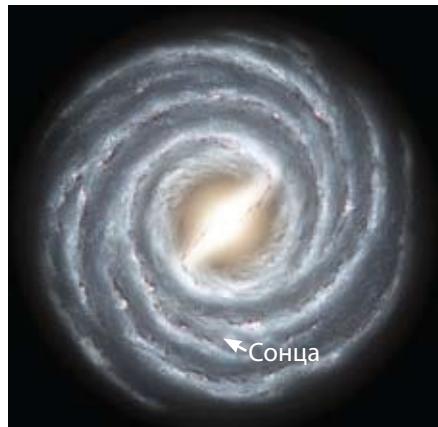
Рысунак 140 — Млечны Шлях

рак рэзка памяншаецца па абодва бакі ад галактычнай плоскасці. Далейшымі даследаваннямі было ўстаноўлена, што ўсе зоркі неба ўтвараюць адзіную зорную сістэму. У Млечным Шляху за-сяроджана пераважная колькасць зорак Галактыкі — велізарнай зорной сістэмы, якая мае форму плоска-га лінзападобнага дыска (рыс. 141) папярочнікам каля 30 і таўшчынёй каля 4 кпк (ці адпаведна каля 100 і 12 тыс. светлавых гадоў). Зорны дыск Галактыкі мае структуру ў выглядзе спіральных галін (рукавоў). Шарападобнае патаўшчэнне ў сярэдзіне дыска атрымала назыву **балдж** (англ. *budge* — уздуцце). Найбольш шчыльная і кампактная цэнтральная частка Галактыкі, размешчаная ў сузор’і Стральца, называецца **ядром**.

Ядро Галактыкі скрыта ад нас газапылавымі воблакамі і зоркамі. Яно валодае вельмі вялікай актыўнасцю і выпраменявае ў радыё-, інфрачырвоным і рэнтгенаўскім дыяпазонах даўжынъ хваль. Маса ядра ацэньваецца ў некалькі дзясяткаў мільёнаў мас Сонца. Даследаванне працэсаў, што адбываюцца ў цэнтральнай частцы Галактыкі, дазваляе меркаваць, што ў ядры знаходзіцца звышмасіўная чорная дзіра. Частка зорак нашай Галактыкі не ўваходзіць у склад дыска, а ўтварае сферычную састаўляющую — **зорнае гало**, радыус якога не менш за 20 кпк. Гало абкружанае вельмі разрэджанай і вялікай па памерах (50—60 кпк) знешній часткай Галактыкі — **каронай**. Сонечная сістэма ў Галактыцы знаходзіцца далёка ад цэнтра — на адлегласці каля 8 кпк — і ляжыць амаль у галактычнай плоскасці.

2. Зоркавыя скопішчы. Структурнымі састаўляющимі Галактыкі з'яўляюцца зоркавыя скопішчы. **Зоркавыя скопішчы** — гэта гравітацыйна звязаныя групы зорак, якія маюць агульнае паходжанне. Зоркавыя скопішчы рухаюцца ў полі прыцягнення Галактыкі як адзінае цэлае.

Па знешнім выглядзе яны падзяляюцца на рассеянныя і шаравыя.



Рысунак 141 — Будова нашай Галактыкі. Стрэлка паказвае становішча Сонечнай сістэмы



Рысунак 142 — Рассеянае зорнае скопішча Плеяды ў сузор'і Цяльца

Рассеянае зоркае скопішча — гэта адносна няшчыльная група зорак, якая мае няправільную форму і ўтрымлівае ад некалькіх дзясяткаў да некалькіх тысяч зорак. Памеры такіх скопішчаў — 6—14 пк. Найбліжэйшыя да нас рассеянныя зоркавыя скопішчы — Плеяды і Гіады — — знаходзяцца ў сузор'і Цяльца. Простым вокам можна распазнаць у Плеядах 5—7 слабых зорачак, размешчаных у выглядзе маленькага коўшыка (рыс. 142). У цяперашні

час вядома каля 1200 рассеянных зорканых скопішчаў. Агульная іх колькасць у Галактыцы — 20 тыс. аб'ектаў. Усе яны канцэнтруюцца ў галактычнай плоскасці і складаюцца з маладых бела-блакітных зорак галоўной паслядоўнасці.

Шаравыя зоркавыя скопішчы маюць сферычную ці эліпсаіdalную форму (рыс. 143), яны налічваюць ад дзясяткаў тысяч да мільёнаў зорак. Дыяметры такіх зорканых скопішчаў знаходзяцца ў межах ад 20 да 100 пк. Прасторавая канцэнтрацыя зорак рэзка ўзрастает да цэнтра скопішча і дасягае дзясяткаў тысяч у кубічным парсеку (у на-ваколлі Сонца — $0,13 \text{ пк}^{-3}$). Шаравыя скопішчы ўтвараюць працяглые гало вакол цэнтра Галактыкі і моцна канцэнтруюцца да яго. Усяго ў Галактыцы адкрыта каля 150 шаравых скопішчаў, а іх агульная колькасць дасягае прыблізна 500.

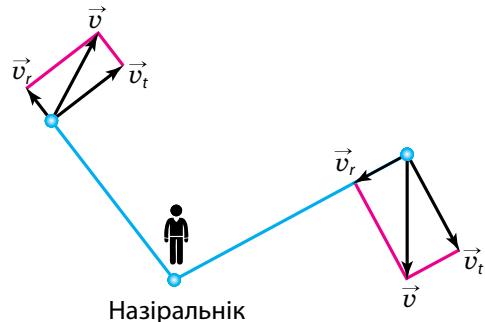


Рысунак 143 — Шаравое зорнае скопішча M5 (NGC 5904) у сузор'і Змяі

Зоркае насељніцтва шаравых скопішчаў складаецца з зорак, эвалюцыя якіх даўно скончылася, — чырвоных гігантаў і звышгігантаў. Шаравыя ско-

пішчы нашай Галактыкі — адны з найстарэйшых. Іх узрост складае 10—15 млрд гадоў.

3. Рух зорак. У 1718 г. англійскі астроном Эдмунд Галей парабаў становішчы зорак, якія назіраліся ў яго час, з тымі, што былі прыведзены ў каталогах Гіпарха (II ст. да н. э.). Вучоны заўважыў зрушэнне яркіх зорак Сірыуса і Працыёна на $0,7^\circ$, Арктура больш чым на 1° . На аснове гэтага факта быў зроблены вывод аб просторавым руху зорак адносна Сонца. Так упершыню было выяўлена, што зоркі рухаюцца. Скорасць руху зоркі ў просторы адносна Сонца называецца **просторавай скорасцю**. У агульным выпадку просторавая скорасць v (рыс. 144) накіравана пад некаторым вуглом да праменя зроку назіральніка. Вектар просторавай скорасці раскладзём на дзве складальныя: па напрамку праменя зроку (**прамянёвая скорасць** v_r) і перпендыкулярную праменю зроку (**тангенцыяльная скорасць** v_t). Модулі просторавай, тангенцыяльнай і прамянёвой скрасцей звязаны паміж сабой судносінамі:



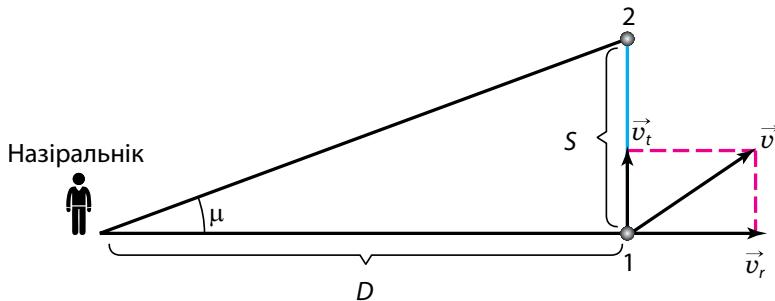
Рысунак 144 — Просторавая (v),
прамянёвая (v_r) і тангенцыяльная (v_t)
скорасці

Прамянёвая скорасць зоркі вызначаецца па доплераўскім зрушэнні ($\Delta\lambda$) ліній у яе спектры:

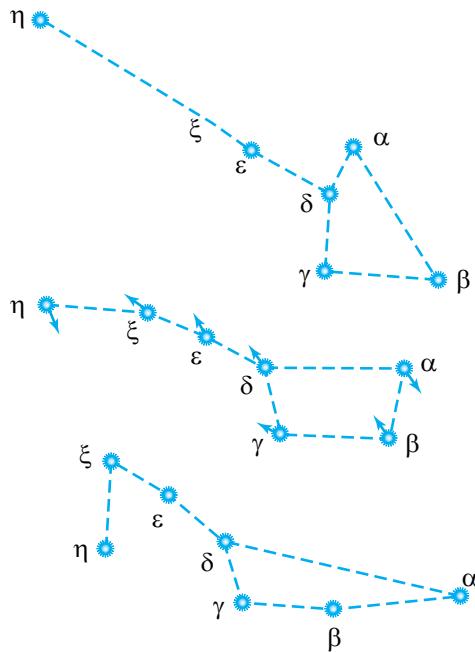
$$v_r = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \cdot c.$$

Тангенцыяльную скрасць вызначаюць па зрушэнні зоркі на нябеснай сферы. Такое зрушэнне ў парабаўнальна блізкіх (да назіральніка) зорак складае некалькі секунд за дзесяткі гадоў:

$$v_t = 4,74 \frac{\mu''}{\pi''} \text{ км/с},$$



Рысунак 145 — Вызначэнне тангенцыяльнай скорасці зоркі



Рысунак 146 — Змены адноснага размешчэння зорак у «каўшы» Вялікай Мядзведзіцы за 100 тыс. гадоў:

а — 50 тыс. гадоў таму;

б — наш час (стрэлкамі паказаны напрамкі тангенцыяльных скорасцей зорак);

в — праз 50 тыс. гадоў

дзе μ — **уласны рух** (бачнае вуглавое зрушэнне зоркі на нябеснай сферы за адзін год). Ён вымяраецца секундамі дугі ў год (рыс. 145).

Аналіз уласных рухаў зорак прывёў таксама да выяўлення руху Сонца сярод зорак. Той пункт на нябеснай сферы ($\alpha = 270^\circ$, $\delta = +30^\circ$, сузор'е Геркулеса), у напрамку да якога рухаецца Сонца (са скорасцю 19,4 км/с адносна суседніх зорак), называецца **апексам Сонца** (ад лац. *apex* — вяршины), а дыяметральна процілеглы пункт неба называецца **сонечным антыапексам**. З прычыны ўласных рухаў зорак праз дзесяткі тысяч гадоў выгляд сузор'я мяняецца (рыс. 146).

4. Вярчэнне Галактыкі. Спосаб для доказу вярчэння Галактыкі быў распрацаваны ў 1859 г. прафесарам Казанскага ўніверсітэта М. А. Кавальскім.

Вывучэнне прамянёвых скрасцей зорак у розных напрамках ад Сонца дазволіла сфармуляваць законы вярчэння Галактыкі.

1. *Усе зоркі дыска Галактыкі абарачаюца вакол яе ядра па арбітах, блізкіх да кругавых.* Гэта вярчэнне адбываецца па гадзіннікавай стрэлцы, калі глядзець на Галактыку з боку яе паўночнага полюса, што знаходзіцца ў сузор'і Валасы Веранікі.

2. *Вуглавая скрасць вярчэння памянаеца па меры аддалення ад цэнтра.* Але гэта памяншэнне адбываецца крыху павольней, чым патрабуюць законы Кеплера.

3. *Лінейная скрасць вярчэння спачатку ўзрастаем з аддаленнем ад цэнтра Галактыкі, дасягаючы максімуму (каля 220 км/с) на адлегласці Сонца, пасля чаго вельмі павольна памянаеца.*

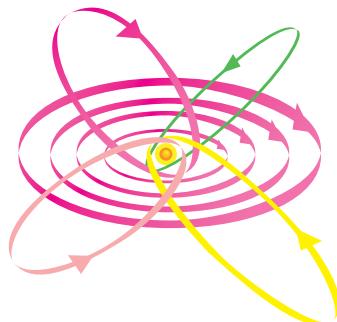
4. *Поўны перыяд абарачэння Сонца вакол ядра Галактыкі складае прыблізна 220 млн гадоў (галактычны год).*

5. *Зоркі і скопішчы зорак сферычнай складальнай Галактыкі рухаюца па вельмі выцягнутых і нахіленых да плоскасці дыска пад рознымі вугламі арбітах (рыс. 147).* Такія зоркі маюць адносна Сонца вельмі вялікія скрасцы (да 200—300 км/с).

Як бачым, рух зорак у Галактыцы нагадвае рух цел Сонечнай сістэмы. Ведаючы скрасць абарачэння і радыус кругавой арбіты, можна вылічыць масу ўнутранай часткі Галактыкі. З формулы для кругавой скрасцы (гл. § 9) вынікае:

$$M = \frac{v^2 r}{G}.$$

Падставім значэнні $v = 2,2 \cdot 10^5$ м/с, $r = 2,5 \cdot 10^{20}$ м і $G = 6,7 \cdot 10^{-11}$ Н · м²/кг², атрымаём, што $M = 1,8 \cdot 10^{41}$ кг, або каля 100 млрд мас Сонца. Маса Галактыкі ў межах аб'ёму радыусам 15 кпк ацэньваецца прыблізна ў 200 млрд мас Сонца. З улікам астатній часткі Галактыкі яе маса ацэньваецца прыкладна ў 10^{12} мас Сонца.



Рысунак 147 — Траекторыі зорак у Галактыцы (дыск Галактыкі — тонкія лініі, сферычная складальная — патоўшчаныя лініі)



Галоўныя выводы

1. Наша Галактыка — гравітацыйна-звязаная сістэма, якая складаецца з соцень мільярдаў зорак і міжзорнага асяроддзя.
2. Млечны Шлях — гэта слаба святлівая паласа, што працягнулася праз усё зорнае неба, якая з'яўляецца праекцыяй велізарнай колькасці зорак Галактыкі.
3. Структурнымі складальными Галактыкі з'яўляюцца гравітацыйна-звязаныя групы зорак (шаравыя скопішчы, рассеянныя скопішчы), якія маюць агульнае паходжанне і рухаюцца ў полі прыцягнення Галактыкі як адзінае цэлае.
4. Сонечная сістэма адносна найбліжэйшых зорак Галактыкі рухаецца са скорасцю каля 20 км/с у напрамку сузор'я Геркулеса.
5. Наша зорная сістэма мае дыферэнцыяльнае вярчэнне, г. зн. вуглавая скорасць вярчэння памяншаецца па меры аддалення ад цэнтра.



Кантрольныя пытанні і заданні

1. Знайдзіце на зорнай карце сузор'і, праз якія праходзіць Млечны Шлях.
2. Чаму назіральніку, які знаходзіцца на Зямлі, Млечны Шлях уяўляецца перарывістым і касмыкаватым?
3. Як пабудавана наша Галактыка?
4. Якое становішча Сонечной сістэмы ў Галактыцы?
5. Чым адрозніваюцца зоркі дыска Галактыкі ад зорак гало?
6. Як размеркаваны шаравыя скопішчы ў Галактыцы? Чым яны адрозніваюцца ад рассеянных скопішчаў?
7. Зорка 83 Геркулеса знаходзіцца ад нас на адлегласці $D = 100 \text{ пк}$, яе асабісты рух складае $\Phi = 0,12''$. Якая тангенцыяльная скорасць гэтай зоркі?
8. Што разумеюць пад просторавай, прамянёвой і тангенцыяльнай скарасцямі зоркі?
9. Якія асаблівасці вярчэння нашай Галактыкі?
10. Колькі разоў за сваё жыццё Сонца паспела абарачіцца вакол цэнтра Галактыкі?

§ 28. Міжзоркавае асяроддзе

1. Міжзоркавы газ. Зорнае неба ўтрымлівае шмат туманных аб'ектаў. Яны бываюць святлівыя і цёмныя, што паглынаюць светло.

Шырокае выкарыстанне фатаграфіі ў астраноміі дало магчымасць больш аб'ектыўна даследаваць, апісаць і скласці каталогі цёмных туманнасцей.

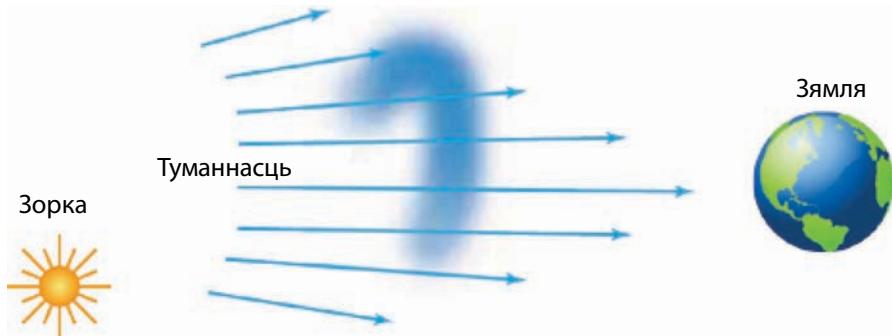
На фоне светлых зон Млечнага Шляху выразна вылучаюцца цёмныя плямы няправільнай формы і розных вуглавых памераў. Гэтыя цёмныя плямы і зоны даказваюць існаванне паблізу галактычнай плоскасці халоднай разрэджанай матэрыі.

Міжзоркавае асяроддзе — гэта рэчыва і палі, якія запаўняюць міжзоркавую прастору ўнутры Галактыкі. Большая частка масы міжзоркавага рэчыва прыпадае на разрэджаны газ і пыл. Усё міжзоркавае асяроддзе пранізаецца магнітнымі палямі, касмічнымі прамяніямі, электрамагнітным выпраменяньнем. Асноўны кампанент міжзоркавага асяроддзя — **міжзоркавы газ**, які складаецца з вадароду (70 % масы) і гелію (28 %). Астатнія частка масы міжзоркавага рэчыва прыпадае на больш цяжкія хімічныя элементы (O, C, N, Ne, S, Ag, Fe і інш.).

Агульная маса міжзоркавага рэчыва нашай Галактыкі (акрамя кароны) ацэньваецца ў 2 % ад агульнай масы ўсёй Галактыкі. У залежнасці ад тэмпературных умоў і шчыльнасці міжзоркавы газ можа знаходзіцца ў трох розных станах: *іанізаваным, атамарным і малекулярным*.

Асноўныя даныя пра міжзоркавы газ атрыманы радыёастронамічнымі метадамі, пасля таго як у 1951 г. было выяўлена радыёвыпрамяненне нейтральнага атамарнага вадароду на хвалі 21 см. Аказалася, што атамарны вадарод, які мае тэмпературу 100 К, утворае ў дыску Галактыкі тонкі слой таўшчынёй 200—300 пк, які павялічваецца да некалькіх кілапарсекаў на адлегласці 15—20 кпк ад яе цэнтра.

Асноўная частка міжзоркавага газу сканцэнтравана ў спіральных галінах Галактыкі, дзе ён размеркаваны таксама нераўнамерна: сабраны ў касмыкаватыя ўтварэнні памерамі ў дзясяткі і сотні парсекаў з сярэдніяй канцэнтрацыяй часціц у некалькі атамаў у 1 см^3 . Каля паловы масы міжзоркавага газу ўтрымліваецца ў гіганцкіх **малекулярных воблаках** з сярэднім масай 10^5 мас Сонца і дыяметрам каля 40 пк. З-за нізкой тэмпературы (каля 10 K) і павышанай шчыльнасці (да 10^3 часціц у 1 см^3)



Рысунак 148 — Туманнасць выпраменявае свято, калі яе асвятляе блізка размешчаная зорка

вадарод і іншыя элементы ў гэтых воблаках аб'яднаны ў малекулы. Такіх малекулярных воблакаў у Галактыцы налічваецца каля 4000.

Вобласці іанізаванага вадароду з тэмпературай $8000-10\ 000\text{ K}$ выяўляюць сябе ў аптычным дыяпазоне як **светлыя дыфузныя туманнасці**. Іх свячэнне ўзбуджаецца ўльтрафіялетавым выпраменіваннем блізкаразмешчаных гарачых зорак (спектральных класаў В і О).

Светлая туманнасць выпраменявае свято, калі яе асвятляе блізкая зорка (рыс. 148). Зоркі класаў W, O, B могуць выклікаць іанізацыю атамаў вадароду на адлегласці прыблізна 500 светлавых гадоў.

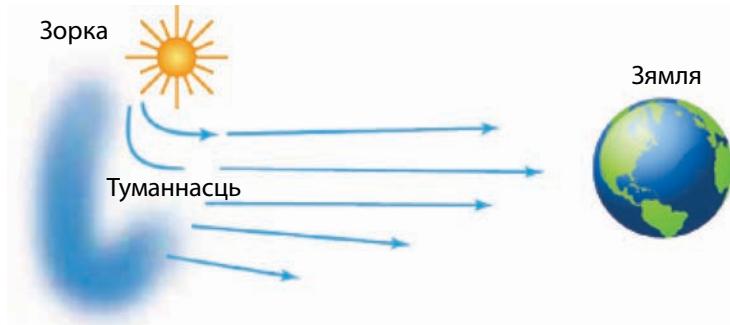
Светлыя дыфузныя туманнасці няправільнай, касмыкаватай формы дасягаюць памераў да 10 pk , а іх шчыльнасць вагаецца ад 10^{-17} да 10^{-20} kg/m^3 . Размяркоўваюцца вобласці такога іанізаванага вадароду ў плоскай падсістэме Галактыкі,

з'яўляючыся паказальнікамі месцаў, дзе ў цяперашні час ідуць працэсы зоркаўтварэння. Так, у Вялікай туманнасці Арыёна (рыс. 149) з дапамогай касмічнага тэлескопа Хабла выяўлены пратазоркі, абкружаныя протапланетнымі дыскамі.

Вялікая туманнасць Арыёна — самая яркая газавая туманнасць на начнім небе. Адлегласць да гэтай туманнасці каля 1000 светлавых гадоў.



Рысунак 149 — Вялікая туманнасць Арыёна

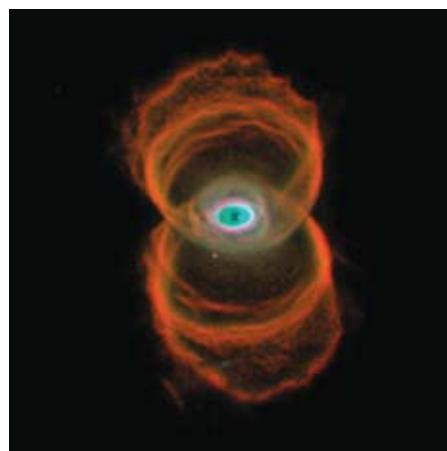


Рысунак 150 — Туманнасць свециць адбітым светлом блізкай зоркі

Пры назіранні праз фільтр можна ўбачыць, што некаторыя з туманнасцей складаюцца з асобных валокнаў. Напрыклад, вядомая Крабападобная туманнасць у сузор’і Цяльца (гл. рыс. 134), якая з’яўляецца рэшткамі звышновай зоркі ў выніку выбуху.

Калі блізкія зоркі не такія гарачыя і не могуць іанізаваць вадарод, то туманнасць свецицца за кошт адбіцця зорнага светла (рыс. 150). Такія туманнасці ўтрымліваюць шмат пылу. Прыкладам такой светлай туманнасці з’яўляецца туманнасць у скопішчы Плеяды ў сузор’і Цяльца (гл. рыс. 142).

Асаблівым тыпам туманнасцей з’яўляюцца **планетарныя туманнасці**, якія выглядаюць як слаба святлівыя дыскі ці кольцы, што нагадваюць дыскі планет. Іх налічваецца больш за 1200. Планетарныя туманнасці ўяўляюць сабой святлівую абалонку скінутага чырвоным гігантом на апошній стадыі сваёй эвалюцыі іанізаванага газу, якая расшыраецца. У цэнтры планетарнай туманнасці знаходзяцца рэшткі загінуўшага чырвонага гіганта — гарачы белы карлік ці нейтронная зорка. Пад дзеяннем унутранага ціску газу планетарная туманнасць расшыраецца прыкладна са скорасцю 20—40 км/с, пры гэтым шчыльнасць газу падае. Гэтыя



Рысунак 151 — Планетарная туманнасць Пясочны Гадзіннік

аб'екты абагачаюць міжзоркавае асяроддзе рэчывам. Планетарная туманнасць Пясочны Гадзіннік (рыс. 151) паказвае, якія складаныя працэсы могуць адбывацца на апошняй стадыі эвалюцыі зорак.

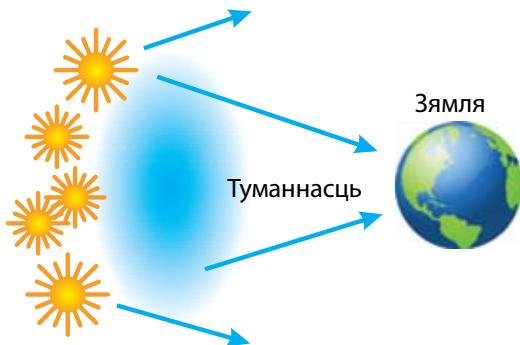
2. Міжзоркавы пыл. У міжзоркавай просторы рассеяны дробныя цвёрдыя часцінкі (металічныя, сілікатныя ці графітавыя) памерамі ад 0,01 да 1 мкм. Тугаплаўкія часцінкі ўтвараюцца і пастаўляюцца ў міжзоркавае асяроддзе за кошт расшырэння абалонак новых і звышновых зорак, планетарных туманнасцей, халодных чырвоных гігантаў і звышгігантаў. У міжзоркавай просторы разам з газам усюды ёсьць пыл. На яго долю прыпадае каля 1 % ад масы газу.

Міжзоркавы пыл, як і міжзоркавы газ, канцэнтруеца ў галактычнай плоскасці, утвараючы газапылавыя воблакі касмыкаватай структуры. У міжзоркавых воблаках дробныя пылінкі хутка абрастаюць абалонкамі з найбольш распаўсюджаных элементаў (Н, С, N, O). За мільёны гадоў нават пры нізкай тэмпературы ў абалонках адбываюцца складаныя хімічныя працэсы з утворэннем малекул вады, этылену, сінільнай кіслаты, этылавага спірту і інш. Зарэгістравана каля 90 тыпau малекул, некаторыя з іх утрымліваюць да 13 атамаў.

З-за пылу самая шчыльныя газавыя ўтварэнні — малекулярныя воблакі — практычна непразрыстыя і выглядаюць на небе як ўёмныя вобласці, амаль без зорак (рыс. 152). Такія газапылавыя ўтварэнні называюцца **ўёмнымі дыфузнымі туманнасцямі** (рыс. 153).



Рысунак 152 — Воблакі міжзоркавага пылу ў напрамку на цэнтр Галактыкі



Рысунак 153 — Цёмная туманнасць засланяе светло зорак, якія знаходзяцца на вялікай адлегласці ад Зямлі



**Рысунак 154 — Туманнась Конская Галава ў сузор'і Арыёна.
Справа — выява ў аптычных прамяннях, злева — у інфрачырвоных.
Фатаграфіі касмічнага тэлескопа Хабла**

Дзякуючы развіццю пазаатмасфернай астрономіі з'явілася магчы-
масць назіраць за міжзорным пылам у інфрачырвоным дыяпазоне, што
даўзале разгледзець новыя дэталі (рыс. 154).

3. Касмічныя прамяні і міжзоркавае магнітнае поле. Акрамя разрэд-
жанага газу і пылу ў міжзоркавай просторы з вялізнымі скарасцямі,
блізкімі да светлавой, рухаецца вялікая колькасць элементарных часціц
і ядраў розных атамаў. Патокі гэтых часціц называюць **касмічнымі
прамяннямі**. Яны пранізываюць усю міжпланетную і міжзоркавую просто-
ру. На пляцоўку ў 1 m^2 штосекундна трапляе ў сярэднім каля 10 тыс.
розных часціц. У складзе касмічных прамянёў прысутнічаюць электро-
ны, ядры гелію і больш цяжкіх элементаў, але ў асноўным пераважаюць
пратоны (больш за 90 %), якія маюць сярэднюю энергию $1,6 \cdot 10^{-10}$ Дж.

Асноўнымі крыніцамі касмічных прамянёў у Галактыцы з'яўляюцца
рэшткі звышновых зорак і пульсары (гл. § 26).

Першае сведчанне існавання міжзоркавага магнітнага поля было
атрымана італьянскім фізікам Энрыка Фермі і амерыканскім вучоным
Эдвардам Тэлерам пры вывучэнні касмічных прамянёў.

Электроны, якія ўваходзяць у склад касмічных прамянёў, паступо-
ва тармозяцца ў магнітным полі, губляючы энергию на выпраменіван-
не радыёхваль. Такое выпраменіванне называецца **сінхратронным**. Яно
рэгіструецца радыётэлескопамі. Магутнымі крыніцамі сінхратроннага
выпраменівання з'яўляюцца рэшткі звышновых зорак.



Галоўныя вывады

1. Міжзоркае асяроддзе — гэта рэчыва і палі, што запаўняюць міжзоркавую прастору ўнутры Галактыкі.
2. Большая частка масы міжзоркавага асяроддзя прыпадае на разрэджаны газ і пыл, агульная маса якіх ацэнваецца ў 2 % ад агульнай масы Галактыкі.



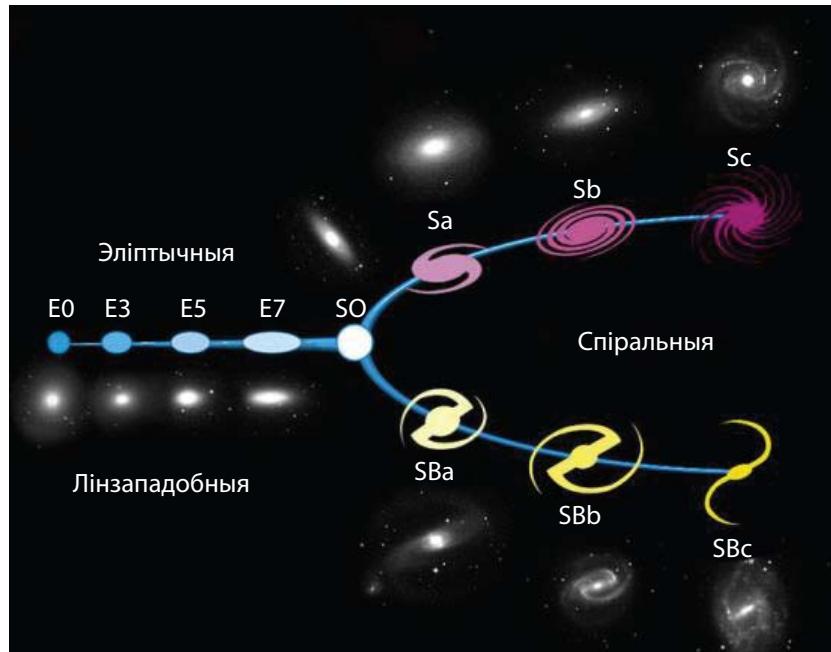
Кантрольныя пытанні і заданні

1. Што разумеюць пад міжзоркавым асяроддзем? Чым яно запоўнена?
2. Якая маса міжзоркавага рэчыва нашай Галактыкі?
3. Што разумеюць пад туманнасцямі? Назавіце асноўныя віды туманнасцей. Чаму адны туманнасці светлыя, а іншыя — цёмныя?
4. Што ўяўляе сабой міжзоркавы пыл?
5. З якіх назіранняў можна зрабіць вывод аб існаванні міжзоркавага пылу?
6. Якое паходжанне газапылавых туманнасцей і малекулярных воблакаў?
7. Што ўяўляюць сабой касмічныя прамяні? Якія яны маюць уласцівасці?

§ 29. Зоркавыя сістэмы ⊕ галактыкі

1. Тыпы галактык. У 1924 г. з дапамогай буйнейшага на той час тэлескопа (абсерваторыя Маўнт-Вілсан, ЗША) Эдвін Хабл устанавіў, што туманнасць Андрамеды ўтворана вялікай колькасцю зорак, якія зліваюцца ў суцэльнную туманную пляму пры назіранні ў менш магутны тэлескоп. Большасць іншых вядомых туманнасцей аказаліся такімі ж аддаленымі гіганцкімі сістэмамі, якія складаюцца з мільёнаў і мільярдаў зорак. Гіганцкая гравітацыйна-звязаная сістэма зорак і міжзоркавага рэчыва, размешчаная па-за нашай Галактыкай, сталі называць **галактыкамі**. Сучасныя магутныя тэлескопы зрабілі доступнай рэгістрацыю соцень мільярдаў галактык.

Фотаздымкі паказалі, што галактыкі адразніваюцца па знешнім выглядзе і структуры. Хабл пропанаваў класіфікацію галактыкі па іх форме. Згодна з сучаснай класіфікацыяй, адразніваюць галактыкі наступных асноўных тыпаў: эліптычныя (E), спіральныя (S), няправільныя (Ir) і лінзападобныя (SO) — рысунак 155.



Рысунак 155 — Класіфікацыя галактык Э. Хабла

Эліптычныя галактыкі ў праекцыі на нябесную сферу выглядаюць як кругі ці эліпсы (рыс. 156). Колькасць зорак у іх плаўна памяншаецца ад цэнтра да краю. Зоркі верцяцца ў такой сістэме ў розных плоскасцях. Самі эліптычныя галактыкі верцяцца вельмі павольна. Яны ўтрымліваюць толькі жоўтыя і чырвоныя зоркі, практычна не маюць газу, пылу і маладых зорак высокай свяцільнасці. Фізічным характерыстыкам гэтых галактык уласцівы дастаткова шырокі дыяпазон: дыяметры галактык — ад 5 да 50 кпк, масы — ад 10^6 да 10^{13} мас Сонца, свяцільнасці — ад 10^6 да 10^{12} свяцільнасцей Сонца. Каля 25 % вывучаных галактык належаць да эліптычнага тыпу.

Каля паловы вывучаных галактык адносяцца да спіральнага тыпу. **Спіральныя**



Рысунак 156 — Эліптычная галактыка М 87 у сузор'і – зевы



Рысунак 157 — Спіральныя галактыкі: а — М 81; б — М 51; в — М 101

галактыкі — гэта моцна сплясканыя сістэмы з цэнтральным ушчыльненнем (у якім знаходзіцца ядро галактыкі) і прыкметнай спіральнай структурай. Памеры гэтых галактык дасягаюць 40 кпк, а свяцільнасці — 10^{11} свяцільнасцей Сонца. У дыску, які абкружае ўшчыльненне, ёсць дзве ці болей касмыкаватых спіральных галін (рыс. 157). Так, да хаблаўскіх тыпаў спіральных галактык адносіцца галактыка М 81 тыпу Sa — сістэма з туга закрученымі спіральнымі галінамі, шарападобная частка якой яркая і працяглая (рыс. 157, а). Галактыка М 51 адносіцца да тыпу Sb, мае больш магутныя і выразныя спіралі, яе цэнтральная частка менш выразная (рыс. 157, б). Галактыка М 101 належыць тыпу Sc, сістэма з развітой касмыкаватай спіральнай структурай, шарападобная частка якой слаба праглядаецца на агульным фоне (рыс. 157, в).



Рысунак 158 — Спіральная галактыка з перамычкай (барам) NGC 1365

Прыкладна ў паловы спіральных галактык у цэнтральнай частцы ёсць амаль прамая зорная перамычка — **бар**, ад якой пачынаюць закручвацца спіральныя рукавы (рыс. 158). Такія галактыкі называюцца **спіральнымі з перамычкай**.

У спіральных галінах галактык засяроджаны самыя яркія і маладыя зоркі, яркія газапылавыя туманнасці, маладыя зоркавыя скопішчы і зоркавыя комплексы. Таму спіральны ўзор выразна бачны нават у далёкіх галактыкі, хоць на долю спіральных рукавоў прыпадае ўсяго некалькі працэнтаў ма-

сы ўсёй галактыкі. Наша Галактыка з'яўляецца спіральнай. Найбліжэйшая зорная сістэма, падобная па структуры і тыпу да нашай Галактыкі, — гэта туманнасць Андрамеды (рыс. 159). Свято ад гэтай галактыкі даходзіць да нас прыкладна за 2 млн гадоў.

Да няправільных галактык адносяць маламасіўныя галактыкі няправільнай структуры. У іх не назираюцца выразнае ядро і вярчальная сіметрыя. Бачная яркасць такіх галактык ствараецца маладымі зоркамі высокай свяцільнасці і зонамі інізаванага вадароду. Масы няправільных галактык складаюць ад 10^8 да 10^{10} мас Сонца, памеры гэтых галактык дасягаюць 10 кпк, а свяцільнасці іх не перавышаюць 10^{10} свяцільнасцей Сонца. У такіх галактыках утрымліваецца шмат газу — да 50 % іх агульнай масы. Найбліжэйшымі да нас яркімі няправільнымі галактыкамі з'яўляюцца Магеланавы Воблакі (Вялікае і Малое). Яны маюць выгляд двух туманных воблачкаў, якія серабрыста свецяцца ў добрае надвор'е на начнім небе. Яны размешчаны ў Паўднёвым паўшар'і і таму нябачныя з тэрыторыі Беларусі. Вялікае Магеланава Воблака (рыс. 160), якое мае дыяметр 7 кпк, знаходзіцца ад нас на адлегласці 52 кпк. На думку некоторых астрономаў, у Магеланавых Воблаках можна распазнаць зародкі спіральнай структуры.

Лінзападобныя галактыкі зневажаемыя (калі бачныя глазам) вельмі падобныя на эліптычныя, але маюць сплясканы зорны дыск. Па структуры падобныя на спіральныя галактыкі, але не маюць плоскай складальнай і спіральных галін. Ад спіральных галактык, якія назираюцца з рабра, лінзападобныя галактыкі адрозніваюцца адсутнасцю паласы цёмнай матэрыі. Нямецкі



Рысунак 159 — Туманнасць
Андрамеды



Рысунак 160 — Вялікае Магеланава
Воблака — адна з найбліжэйшых
да нас галактык

астроном Карл Шварцшильд прапанаваў тэорыю, згодна з якой лінзападобныя галактыкі могуць утварацца са спіральных у працэсе «вымятання» газапылавой матэрыі.

2. Адлегласці да галактык. Закон Хабла. Адлегласці да найбліжэйшых галактык вызначаюцца па ацэнках бачных зорных велічынь цэфеід (гл. § 26). Для доўгаперыядычных цэфеід устаноўлена залежнасць «перыяд ваганняў — свяцільнасць». З дапамогай гэтай залежнасці вызначаюць абсалютную зорную велічыню па працягласці ваганняў бляску: чым карацейшы перыяд ваганняў бляску, тым цэфеіда слабейшая па абсалютнай зорнай велічыні. Адлегласць r вылічваецца па формуле:

$$\lg r = 0,2(m - M) + 1, \quad (1)$$

дзе m і M — бачная і абсалютная зорныя велічыні.

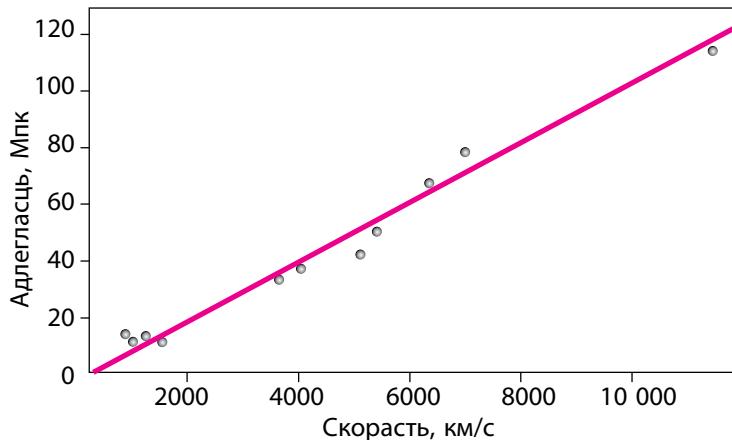
Для галактык, дзе не выяўлены цэфеіды ці іх немагчыма ўбачыць, у якасці індыкатараў адлегласцей выкарыстоўваюць самыя яркія зоркі — звышгіанты, новыя і звышновыя зоркі, шаравыя зоркавыя скопішчы.

Адлегласці таксама вызначаюць па формуле (1). Бачную зорную велічыню ацэнываюць з назіранняў, а абсалютную — лічаць вядомай (сярэдняй) для дадзенага класа аб'ектаў. Напрыклад, шаравыя скопішчы, як гэта вынікае з назіранняў, маюць прыкладна адноўковую абсалютную велічыню.

Адлегласці да далёкіх галактык вызначаюць таксама па іх вугловых памерах або па бачнай зорнай велічыні, а да вельмі далёкіх галактык — выключна па велічыні чырвонага зрушэння ў іх спектры. **Чырвонае зрушэнне (z)** звычайна вымяраецца адноснай зменай даўжыні хвалі спектральных ліній:

$$z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}.$$

Яшчэ ў 1912—1914 гг. амерыканскі астроном Веста Слайфер выявіў, што лініі ў спектрах далёкіх галактык зрушаны адносна іх нармальнага становішча ў бок чырвонага канца спектра. Гэта азначала, што галактыкі аддаляюцца ад нас са скарасцямі ў сотні кіламетраў у секунду. Пазней Э. Хабл вызначыў адлегласці да некаторых галактык і іх скорасці. З назіранняў вынікала, што чым далей ад нас знаходзіцца галактыка, тым з большай скорасцю яна аддаляецца (графічна гэта за-



Рысунак 161 — Залежнасць скорасці аддалення галактык ад адлегласцей да іх

лежнасць паказана на рис. 161). Закон, па якім скорасць аддалення галактыкі пропарцыянальная адлегласці да яе, атрымаў назыву закону Хабла. Закон Хабла можна сформуляваць такім чынам: *адноснае павелічэнне даўжыні хвалі ліній у спектрах галактык пропарцыянальнае адлегласці r да i , г. зн.*

$$r \sim \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}.$$

Калі дапусціць, што з'ява чырвонага зрушэння абумоўлена рухам галактыкі са скорасцю v_r па прамені зроку ў напрамку ад назіральніка, то можна знайсці прамянёвую скорасць галактыкі па вымераным адносным зрушэнні даўжыні хвалі спектральных ліній:

$$v_r = \frac{c(\lambda - \lambda_0)}{\lambda_0}. \quad (2)$$

З улікам закона Хабла залежнасць (2) можна запісаць у выглядзе:

$$v_r = Hr, \quad (3)$$

дзе H — каэфіцыент пропарцыянальнасці, які называецца **пастаянная Хабла**. Каэфіцыент Хабла паказвае, на сколько кіламетраў у секунду ўзрастает скорасць галактыкі з павелічэннем адлегласці да іх на 1 Мпк. Значэнне H пастаянна ўдакладняецца, па розных ацэнках яно

знаходзіцца ў межах ад 50 до 80 км/(с · Мпк). Пры разліках часцей за ўсё прымаюць $H = 75$ км/(с · Мпк).

Неабходна адзначыць, што закон Хабла выконваецца толькі для далёкіх галактык, адлегласць да якіх перавышае 5—10 Мпк.

3. Масы галактык. Масы галактык можна ацаніць на аснове лінейных скарасцей вярчэння іх зневніх частак. Скорасці вярчэння v вызначаюць шляхам параўнання зрушэнняў спектральных ліній у розных частках галактыкі.

Дапусцім, што ўся маса M галактыкі сканцэнтравана ў яе цэнтры і вярчэнне адбываецца па законах Кеплера. Тады з другога закону Нью-

тона $F = ma$ ($a = \frac{v^2}{R}$ — цэнтраімклівае паскарэнне) з улікам руху цела ў полі сіл прыцягненія $F = G \frac{mM}{R^2}$ атрымаем:

$$\frac{GM}{R^2} = \frac{v^2}{R},$$

дзе R — радыус галактыкі. Пасля пераўтварэнняў атрымаем выраз для знаходжаная масы галактыкі:

$$M = \frac{Rv^2}{G}. \quad (4)$$

Для галактык, як і для зорак, маецца пэўная залежнасць паміж масай і свяцільнасцю. Гэта залежнасць выкарыстоўваецца для вылічэння мас галактык. Аднак ацэнкі мас галактык па іх свяцільнасцях атрымліваліся значна меншымі, чым па вярчэнні галактык. Гэта з'ява была названа «парадоксам скрытай масы». Каб растлумачыць яе, трэба дапусціць, што дзесьці ў галактыцы знаходзіцца несвятлівая, цёмная матэрый.

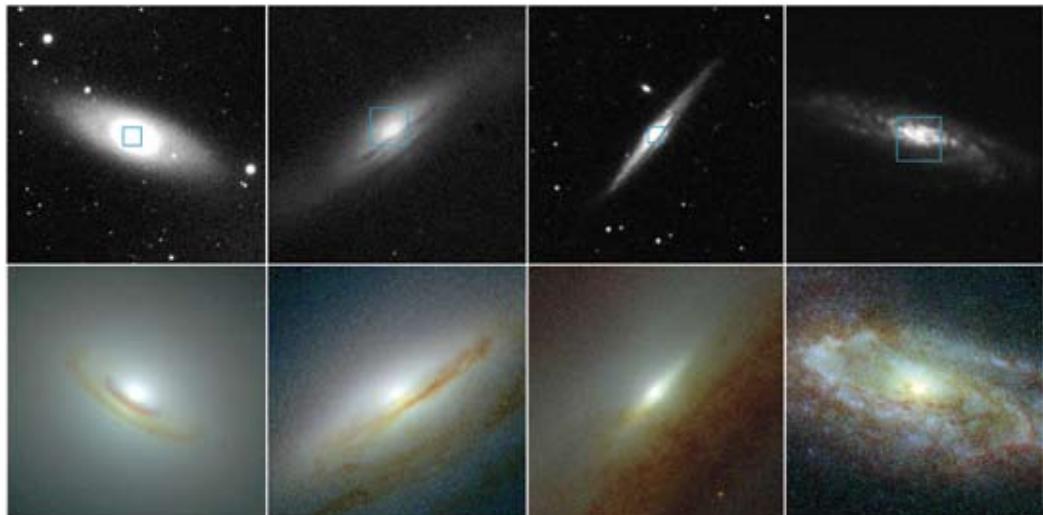
У 70-х гг. XX ст. з дапамогай метадаў рэнтгенаўскай астрономіі быў адкрыты гарачы міжгалактычны газ. Па тэмпературы газу можна ацаніць масу яго скопішчаў. Першыя вынікі рэнтгенаўскіх назіранняў гарачага газу ў групах галактык пацвердзілі прысутнасць у іх скрытай масы, якая не ўваходзіць у склад асобных галактык. Сёння астрономы дастаткова ўпэўнена робяць вывод: Сусвет у асноўным запоўнены

нябачным рэчывам. Яно ўтварае працяглыя гало галактык і запаўняе міжгалактычную прастору, канцэнтруючыся ў скопішчах галактык.

Спектральныя назіранні, праведзеныя з выкарыстаннем касмічнага тэлескопа Хабла і буйных сучасных наземных тэлескопаў, пацвердзілі наяўнасць вялікіх мас (каля 50 млн мас Сонца) несвятлівага рэчыва ў ядрах шэрага галактык.

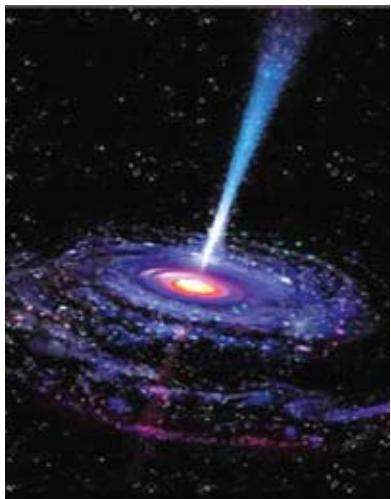
4. Галактыкі з актыўнымі ядрамі. У большасці галактык можна вылучыць яркую цэнтральную частку — ядро (рыс. 162). Гэта вобласць адрозніваецца вялікай зоркавай шчыльнасцю, якая дасягае 10^6 — 10^8 пк^{-3} . Але, нягледзячы на гэта, сутыкнення ў ядраў і зорак у гэтай вобласці не адбываецца.

Даследаванні апошніх гадоў паказалі, што ядро — не проста больш шчыльнае месца галактыкі: у самым цэнтры яго можна выявіць яшчэ адно ўшчыльненне — ядзерка. Так, пры назіранні ядра туманнасці Андромеды (яго памеры 100 пк) удалося вылучыць яркае ядзерка папярочнікам 1—14 пк . Яно верціцца як цвёрдае цела (з перыядам вярчэння 500 тыс. гадоў). Маса ядзерка складае прыблізна 13 млн сонечных мас. Шчыльнасць — каля 1500 сонечных мас на 1 пк^3 , г. зн.



Рысунак 162 — Ядры галактык змяшчаюць масіўныя чорныя дзіры.
Ніжні шэраг фатаграфій атрыманы з дапамогай касмічнага тэлескопа Хабла

Правообладатель Адукацыя і выхаванне



Рысунак 163 — Ядро галактыкі выкідае газавыя струмені — джэты

Параўнальна невялікі час (за некалькі гадоў, месяцаў і нават дзён). У некаторых выпадках назіраецца хуткі рух газу ў ядры (са скарасцяй ≈ 1000 км/с). Часам газ утварае доўгія прамалінейныя газавыя струмені — джэты (рыс. 163).

Найбольш праўдападобная гіпотэза для тлумачэння актыўнасці ядраў дапускае наяўнасць масіўнай чорнай дзіры ў цэнтры галактыкі.

5. Узаемадзейныя галактыкі. Блізка размешчаныя галактыкі часам бываюць звязаныя паміж сабой паласой святлівай матэрыі. Часта гэтыя блакітнаватыя палосы з'яўляюцца працягам спіральных галін. Палосы складаюцца з газу і гарачых маладых зорак. Нярэдка галактыкі агорнуты агульным «зорным туманам», тады іх называюць **узаемадзейнымі**.

У большасці выпадкаў асаблівасці форм узаемадзейных галактык тлумачацца ўзбуранымі прыліўнымі сіламі, якія ўздзейнічаюць на зоркі адной галактыкі з боку другой. Многія даследчыкі лічаць, што ўзаемадзейныя галактыкі збліжаюцца, а назіранні ў сучасныя буйныя тэлескопы паказваюць, што сярод такіх галактык вельмі шматых, якія сутыкаюцца. Нават наша Галактыка з'яўляецца ўзаемадзейнай. У цяперашні час яна паглынае адну карлікавую галактыку, якая знаходзіцца на процілеглым ад нас баку галактычнага дыска.

у 20 тыс. разоў больш, чым каля Сонца. Ядзерка паводзіць сябе такім чынам, быццам гэта самастойнае ўтварэнне, «укладзене» ў галактыку.

Радыёдаследаванні нашай Галактыкі паказалі, што ў яе цэнтры таксама ёсьць ядзерка памерам прыкладна ў 6 пк.

У ядрах некаторых галактык адбываецца каласальнае выдзяленне энергіі, якое нельга растлумачыць выпраменяньнем ці выбухамі звычайных зорак. Такія галактыкі атрымалі назуву галактыкі з **актыўнымі ядрамі**.

Формы праяўлення актыўнасці ядраў галактык розныя. Гэта можа быць вялікая магутнасць выпраменяньня ў інфрачырвонай, аптычнай ці рэнтгенавскай частцы спектра, прычым яна мяньяецца за па-

Праз некалькі мільярдаў гадоў наша Галактыка «праглыне» Магеланавы Воблакі, а праз 5 млрд гадоў сутыкненцца з туманнасцю Андрамеды (M 31) (рыс. 164). Але пры гэтым імавернасць таго, што будуць сутыкацца асобныя зоркі, вельмі малая, таму што яны аддалены ад адной на адлегласці ў сотні мільёнаў разоў большыя за іх дыяметр.

Найбліжэй да нас знаходзіцца пара сутыкаючыхся буйных галактык NGC 4038 і NGC 4039 у сузор’і Крумкача (рыс. 165). Гэта ўзаемадзейная сістэма аддалена на 63 млн светлавых гадоў. Пад уздзеяннем сіл прыцягнення ў галактык з’явіліся доўгія «антэнны», якія складаюцца з газу і зорак, таму іх часта называюць «антэннымі» галактыкамі. Гэтыя ўтварэнні ўзніклі ў выніку сутыкнення зоркавых сістэм. Астрономы адкрылі ў «антэнных» галактыках больш за тысяччу зоркавых скопішчаў, якія ўтварыліся нядайна. У кожным з іх утрымліваецца да мільёна зорак. Узрост скопішчаў не перавышае 100 млн гадоў. Яны ўтварыліся пад уздзеяннем прыліўных сіл, узбуджаных збліжэннем дзвюх сістэм.

6. Квазары. У пачатку 60-х гг. XX ст. па радыёвыпрамяненнем былі выяўлены аб'екты, подобныя на актыўныя ядры галактык, — **квазары**. Слова «квазар» утворана ад слова «вазлучэння» «квазізорныя радыёкрыніцы», г. зн. подобныя на радыёвыпрамянляльныя зоркі. Спектры квазараў утрымліваюць яркія эмісійныя лініі, моцна зрушаныя ў чырвоны бок, як у далёкіх галактык. Адлегласці, вызначаныя па чырвоным зрушэнні, аказаліся



Рысунак 164 — Так, магчыма, будзе выглядаць на небасхіле туманнасць Андрамеды праз некалькі мільярдаў гадоў



Рысунак 165 — Галактыкі NGC 4038 і NGC 4039, якія сутыкаюцца. Чырвоным колерам свецяцца газапылавыя воблакі, якія падаюць на чорныя дзіры ў ядрах галактык, блакітным — маладыя гарачыя зоркі, якія нараджаюцца з-за ўзбурэння газапылавых мас

роўнымі больш за 5 млрд светлавых гадоў. На фатаграфіях квазары выглядаюць вельмі яркімі ў параднанні з аддаленымі галактыкамі і ў радыёпазоне выпраменяваюць гэтак жа магутна, як блізкія радыёкрыніцы.

Прырода актыўнасці радыёвыпрамянення квазараў дакладна не ўстаноўлена, аднак з пэўнай перакананасцю можна сказаць наступнае:

- 1) квазары — самыя далёкія аб'екты, якія назіраюцца ў Сусвеце;
- 2) значная частка квазараў — гэта ядры далёкіх галактык, якія знаходзяцца ў стане вельмі высокай актыўнасці;
- 3) квазары — самыя магутныя з вядомых у прыродзе крыніц бачнага і інфрачырвонага выпраменяванняў, г. зн. гэта касмічныя аб'екты з каласальнай паверхневай яркасцю выпраменявання.

Вывучэнне вялікай колькасці квазараў з дапамогай касмічнага тэлескопа Хабла ў 1995 г. прывяло вучоных да высновы, што недалёкія квазары (з чырвоным зрушэннем $z = 0,5$) звязаны з узаемадзейнымі эліптычнымі галактыкамі. Многія квазары знаходзяцца ў цэнтрах падобных зоркаўых сістэм. Гэта пацвярджае меркаванне, што квазары з'яўляюцца масіўнымі чорнымі дзірамі ў цэнтрах галактык, на якія адбываецца падзенне рэчыва.



Галоўныя выводы

1. Галактыкі — гіганцкія гравітацыйна-звязаныя сістэмы зорак і міжзоркаўага рэчыва, якія знаходзяцца па-за нашай Галактыкай.
2. Свет галактык надзвычай разнастайны. Паводле зневяднага выгляду і структуры галактыкі класіфікуюцца на асноўныя тыпы: эліптычныя, спіральныя, няправільныя і лінзападобныя.
3. Спектральныя лініі ў спектрах далёкіх галактык прыкметна зрушаны ў бок чырвонага канца спектра.
4. Адноснае павелічэнне даўжынні хваль ліній у спектрах галактык пропарцыянальнае адлегласці да іх (закон Хабла).
5. Пастаянная Хабла — каэфіцыент пропарцыянальнасці паміж скорасцю аддалення пазагалактычных аб'ектаў і адлегласцю да іх, які ў разліках прымаецца роўным $75 \text{ км}/(\text{с Мпк})$.
6. Квазары — квазізорныя аб'екты — самыя магутныя па электромагнітным выпраменяванні аб'екты ў Сусвеце, якія лічацца актыўнымі ядрамі далёкіх галактык.



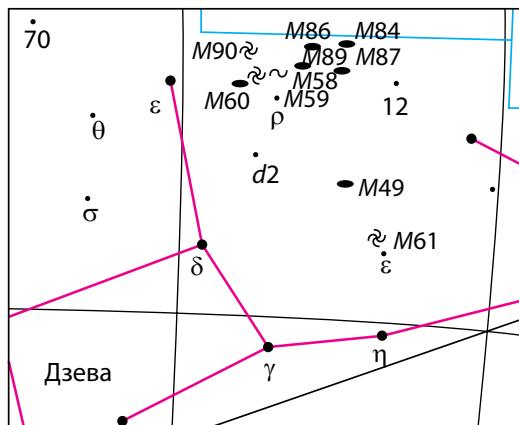
Кантрольныя пытанні і заданні

1. Ахарактарызуйце тыпы галактык па класіфікацыі Э. Хабла. Чым эліптычныя і няправільныя галактыкі адрозніваюцца ад спіральных? Да якога тыпу адносіцца наша Галактыка?
2. На якой адлегласці знаходзіцца галактыка, калі скорасць яе аддаленасці роўная 20 тыс. км/с?
3. Сфармулюйце і растлумачце закон Хабла.
4. Як ацэньваюць масы галактыкі?
5. Колькі часу давядзецца чакаць адказу на радыёэтэлеграму, адпрайленую да галактыкі Андрамеды, адлегласць да якой 0,69 Мпк?
6. Якая адлегласць да галактыкі, калі ў ёй знайдзена новая зорка, бачная зоркавая велічыня якой 18^m , а абсолютная зоркавая велічыня -7^m ?

§ 30. Расширальны Сусвет

1. Прасторавае размеркаванне галактык. Галактыкі, як і зоркі, утвараюць группы і скопішчы. Вядома каля 7000 скопішчаў галактык. Каля 40 бліжэйшых галактык, з якіх найбольш масіўныя — наша Галактыка і туманнасць Андрамеды — утвараюць сістэму галактык памерамі ў некалькі соцень кілапарсек, якая атрымала назыву **Мясцовай групы галактык**.

Больш буйныя аб'яднанні галактык группуюцца ў **сістэмы галактык**. Яны ўтрымліваюць да тысячы галактык, і іх памер складае некалькі мегапарсек. Бліжэйшае буйное аб'яднанне галактык памерам прыкладна 5 Мпк знаходзіцца ў напрамку сузор'я Дзевы на адлегласці каля 20 Мпк (рыс. 166). У яго склад уваходзяць гіганцкія эліптычныя і спіральныя галактыкі, напрыклад, радыёгалактыка Дзева А, спіральная галактыка «Самбрэра» (рыс. 167) і інш.



Рысунак 166 — Скопішча галактык у сузор'і – зевы



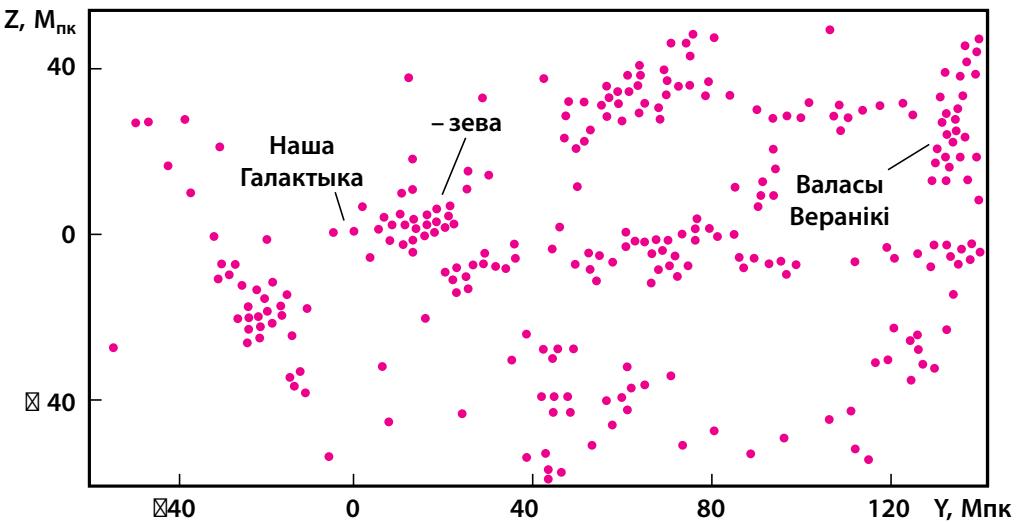
**Рысунак 167 — Галактыка
«Самбрэра»**

Самае аддаленая скопішча галактык, да якога вызначана адлегласць (5200 Мпк), знаходзіцца ў сузор'і Валасы Веранікі. Толькі з дапамогай самых буйных тэлескопаў можна адрозніць яго найярчайшыя галактыкі. Комплексы скопішчаў галактык памерамі 30—60 Мпк, якія ўтрымліваюць дзясяткі скопішчаў, называюцца **звышскопішчамі галактыкі**. Скопішча галактык у сузор'і Дзевы з'яўляецца цэнтральным згусткам у звышскопішчы галактык, у якое ўваходзіць і наша Мясцовая група галактык. Агульная колькасць галактык нашага звышскопішча, за выключэннем карліковых, — каля 2000, а памер — каля 60 Мпк. Пакуль выяўлена каля 50 звышскопішчаў. Скопішчаў больш высокага рангу не знайдзена.

Звышскопішчы і скопішчы галактык утвараюць у прасторы ваконападобныя структуры, якія нагадваюць сабой ячэйкі ці пчаліныя соты (рыс. 168). У «валокнах» знаходзяцца скопішчы галактык, на перасячэнні «сот» — звышскопішчы галактык. Памеры пустот «ячэек» складаюць каля 100—150 Мпк, таўшчыня «валокнаў» — каля 10 Мпк. Сярэдняя шчыльнасць рэчыва ў «валокнах» — парадку 10^{-24} кг/м³. Буйнамаштабная структура Сусвету мае ячэйста-сотовы выгляд. Сярэдняя шчыльнасць святлівага рэчыва ў маштабах больш за 300 Мпк роўная $3 \cdot 10^{-28}$ кг/м³. Гэта і ёсць сярэднє значэнне шчыльнасці святлівага рэчыва ў назіраемай частцы Сусвету, г. зн. у вялікіх маштабах Сусвет у сярэднім аднародны.

2. Расшырэнне Сусвету. Сукупнасць назіраемых галактык усіх тыпau і іх скопішчаў, міжгалактычнага асяроддзя ўтварае Сусвет.

Адна з найважнейшых уласцівасцей Сусвету — яго пастаяннае расшырэнне, «разлёт» скопішчаў галактык, пра што сведчыць чырвонае зрушэнне ў спектрах галактык. Сусвет знаходзіцца ў стане прыблізна аднароднага і ізатрапнага расшырэння. Аднароднасць азначае аднолькавасць усіх уласцівасцей матэрыі ўсюды ў прасторы, а ізатрапія —



Рысунак 168 — izzareйкавае размеркаванне галактык у прасторы (у сячэнні, якое праходзіць праз скопішча ў сузор'і Валасы Веранікі)

аднолькавасць гэтых уласцівасцей у любым напрамку. Аднароднасць сведчыць пра адсутнасць вылучаных абласцей прасторы, а ізатрапія — пра адсутнасць вылучанага напрамку. Дапушчэнне пра аднароднасць і ізатрапію Сусвету называюць **касмалагічным прынцыпам**.

Гіпотэзу пра расшырэнне Сусвету на падставе агульной тэорыі прыцягнення А. Эйнштэйна і строгіх разлікаў пра панаваў у 1922 г. расейскі вучоны Аляксандр Аляксандравіч Фрыдман. Разлікі паказалі, што Сусвет не можа быць стацыянарным; у залежнасці ад сярэдняй шчыльнасці рэчыва ў Сусвеце ён павінен або расшырацца, або спіскацца. Нестацыянарная мадэль Сусвету ўсталявалася ў навуцы толькі пасля таго, як Э. Хабл выявіў разбяганне галактык (гл. закон Хабла ў § 29).

З разлікаў Фрыдмана вынікалі трывалыя выклады: Сусвет і яго прастора расшыраюцца з цягам часу; Сусвет праз пэўны час пачне спіскацца; у Сусвеце чаргуюцца праз вялікія прамежкі часу цыклы спіскання і расшырэння. Узнікае пытанне: які з трох варыянтаў рэалізуецца ў нашым Сусвеце? Адказаць на яго трэба будзе назіральны астрономіі, якая павінна ацаніць сучасную сярэднюю шчыльнасць рэчыва ў Сусвеце і ўдакладніць значэнне пастаяннай Хабла. Чаму важна ўдакладненне гэтых дзвюх пастаянных величынь?

Пры стварэнні мадэлі расшыральнага Сусвету было паказана, што існуе некаторае значэнне крытычнай шчыльнасці $\rho_{\text{кр}}$ Сусвету, якое вызначаецца па формуле:

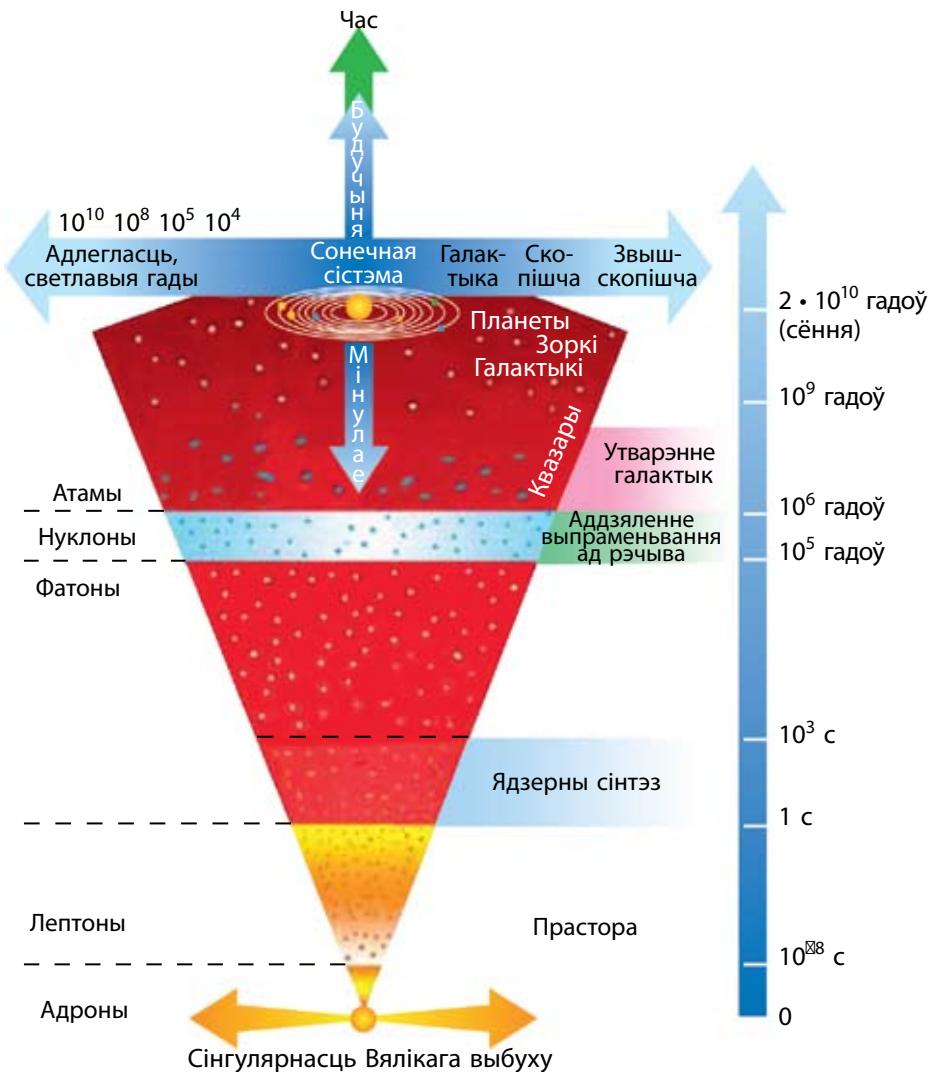
$$\rho_{\text{кр}} = \frac{3H^2}{8\pi G},$$

дзе G — гравітацыйная пастаянная, H — пастаянная Хабла. Разлікі па гэтай формуле даюць, што $\rho_{\text{кр}} = 10^{-26}$ кг/м³. Па сучасных ацэнках, шчыльнасць рэчыва Сусвету блізкая да крытычнага значэння: яна альбо крыху большая, альбо крыху меншая (не вырашана канчаткова пытанне пра ўлік міжгалактычнага газу і «скрытай масы»). Калі фактычная сярэдняя шчыльнасць рэчыва ў Сусвеце большая за крытычную, то ў будучым расшырэнне Сусвету павінна змяніцца на яго сцісканне. Калі сярэдняя шчыльнасць рэчыва ў Сусвеце меншая за крытычную, то расшырэнне будзе працягвацца.

Пастаянная Хабла дае магчымасць ацаніць прамежак часу, на працягу якога доўжынца працэс расшырэння Сусвету. Вызначана, што ён не меншы за 10 млрд і не большы за 19 млрд гадоў. Найбольш імавернае значэнне сярэдняга узросту Сусвета — каля 15 млрд гадоў. Гэтая велічыня не супярэчыць ацэнкам узросту найбольш старых зорак.

3. Мадэль гарачага Сусвету. У аснове сучаснай астронамічнай карціны эвалюцыі Сусвету ляжыць мадэль гарачага Сусвету. У адпаведнасці з ёй на ранніх стадыях расшырэння Сусвет хараектарызуецца не толькі высокай шчыльнасцю рэчыва, але і яго высокай тэмпературай. Гіпотэзу «гарачага Сусвету» прапанавалі Ж. Леметр і Г. А. Гамаў. Яна атрымала назыву тэорыі Вялікага выбуху.

Паводле гэтай тэорыі, дапускаеца, што Сусвет узнік у выніку выбуху са стану з вельмі высокай шчыльнасцю матэрыі, якая мела велізарную энергию. Гэты пачатковы стан матэрыі называецца **сінгулярнасцю** — кропкавы аб'ём з бясконца вялікай шчыльнасцю. Расшырэнне Сусвету нельга разглядаць як расшырэнне звышшчыльнай напачатку матэрыі ў навакольную пустату, таму што навакольнай пустаты не было. Сусвет — гэта ўсё, што існуе. Рэчыва Сусвету з самага пачатку аднародна запаўняла ўсю бязмерную прастору. І хоць ціск быў вялізны, ён не ствараў расшыральнай сілы, таму што быў усюды аднолькавы. Прычыны пачатку расшырэння Сусвету да канца не вядомы.



Рысунак 169 — Схема развіцця Сусвету
ад Вялікага выбуху да нашага часу

мы. Па меры яго расшырэння тэмпература падала ад вельмі высокай да вельмі нізкой, што і забяспечыла спрыяльныя ўмовы для ўтворэння зорак і галактык.

На падставе мадэлі Фрыдмана была распрацавана паятапная фізічная карціна эвалюцыі рэчыва, пачынаючы з моманту выбуху (рыс. 169).

Крыху больш за тры мінuty пасля выбуху фарміраванне ранняга Сусвету скончылася і пачаўся працэс злучэння пратонаў і нейтронаў у састаўныя ядры. Потым амаль 500 тыс. гадоў доўжылася павольнае астыванне. Калі тэмпература Сусвету паменшылася прыблізна да 3 тыс. градусаў, ядры вадароду і гелію ўжо маглі захопліваць свабодныя электроны і ператварацца ў нейтральныя атамы. Праз мільён гадоў пасля пачатку расшырэння надышла эра рэчыва, калі з гарачай вадароднагелевай плазмы з малой прымесью іншых ядраў пачала развівацца разнастайнасць сучаснага свету.

Неаднароднасці ў Сусвеце, з якіх у далейшым узніклі ўсе структурныя ўтварэнні, зарадзіліся ў выглядзе мізэрных выпадковых адхіленняў (флуктуацый), а потым узмацніліся ў эпоху, калі іанізаваны газ у Сусвеце пачаў ператварацца ў нейтральны, г. зн. калі выпраменяньне «адарвалася» ад рэчыва.

Пасля таго як рэчыва зрабілася празрыстым для электрамагнітнага выпраменяньня, у дзеянне ўступілі гравітацыйныя сілы. Яны пачалі пераважаць над усімі іншымі ўзаемадзеяннямі паміж масамі практична нейтральнага рэчыва, якое складала асноўную частку матэрыі Сусвету. Гравітацыйныя сілы стварылі галактыкі, зоркі і планеты.

Які лёс Сусвету? Існуюць дзве тэарэтычныя мадэлі будучыні Сусвету — закрытая і адкрытая.

Закрытая мадэль дапускае, што Сусвет можа быць прадстаўлены як грандыёзная закрытая сістэма, якая зазнае мноства эвалюцыйных цыклаў. Цыкл расшырэння змяняеца цыклам наступнага сціскання да вяртання ў сінгулярны стан, потым новы выбух і г. д. Поўны цыкл расшырэння і сціскання Сусвету складае прыблізна 100 млрд гадоў. Кожны раз, вяртаючыся да сінгулярнасці, Сусвет страчвае «памяць» пра мінулы стан і можа зноў «нарадзіцца» з зусім новым наборам фізічных канстант.

У **адкрытых** мадэлях Сусвету разглядаюцца розныя варыянты яго «цеплавой смерці». Мяркуеца, што ўжо цераз 10^{14} гадоў многія зоркі астынуць і гэта ў далейшым прывядзе да адрыву планет ад сваіх зорак, а тыя, у сваю чаргу, пачнуць пакідаць галактыкі. Потым адбудзеца калапс цэнтральных частак галактык з утварэннем чорных дзір, і тым самым галактыкі спыняюць сваё існаванне.



Галоўныя выводы

1. У ахопленай астронамічнымі назіраннямі частцы Сусвету існуюць мільярды галактык. У прасторы галактыкі размеркаваны неаднародна, утвараючы групы, скопішчы і звышскопішчы галактык.
2. Асноўная ўласцівасць Сусвету — яго расшырэнне.
3. На сучасным этапе развіцця навукі разглядаецца мадэль эвалюцыйнага Сусвету, які з часам змяняе сваю структуру і ўласцівасці.



Кантрольныя пытанні і заданні

1. Апішыце прасторавае размеркаванне галактык у Сусвеце.
2. Як тлумачыцца чырвонае зрушэнне і пра што яно сведчыць?
3. У чым сутнасць тэорыі расшыральнага Сусвету?
4. Да якіх высноў пра стацыянарнасць Сусвету прыйшоў А. А. Фрыдман?
5. Што такое крэтычнае шчыльнасць Сусвету? Як крэтычнае шчыльнасць узаема-звязана з расшырэннем і сцісканнем Сусвету?
6. Апішыце мадэль гарачага Сусвету.
7. Што разумеюць пад закрытай і адкрытай мадэлямі Сусвету?

§ 31. Жыццё і розум у Сусвеце

1. Антропны прынцып і праблемы існавання разумных цывілізацый.

Сутнасць антропнага прынцыпу заключаецца ў тым, што з'яўленне жыцця, розуму ёсць неад'емная частка Сусвету, натуральны вынік яго эвалюцыі. Наш Сусвет надзвычай прыстасаваны да ўзнікнення і развіцця ў ім жыцця. Так, з бясконцай разнастайнасці пачатковых умоў і значэнняў фізічных пастаянных, якія, магчыма, узнякалі ў раннім Сусвеце, рэалізаваліся толькі прыдатныя для існавання разумнага жыцця.

Прывядзём некалькі прыкладаў.

1. Мы жывём у прасторы трох вымірэнняў. Але толькі ў такой прасторы магчымы ўстойлівия планетныя рухі (гравітацыйнае ўзаемадзеянне).

2. Калі б гравітацыйная пастаянная была ў некалькі разоў большая, то працягласць жыцця Сонца як устойлівага гарачага плазменнага шара вымяралася б некалькімі дзясяткамі мільёнаў гадоў.

3. Калі б маса электрона была ў трох разы большая за сучасную, то час жыцця пратона быў бы малым. Пры ўзаемадзеянні пратона з электронам пратон распадаўся б на нейtron і нейтрона. Тады зоркі і галактыкі складаліся б з нейтронаў, а больш складаных форм не існавала б.

4. Калі б сярэдняя шчыльнасць рэчыва ў Сусвеце была значна меншая, то сілы інерцыі (разлёту) пераважалі б над сіламі прыцягнення. Таму не паспелі б утварыцца зоркі і галактыкі.

І гэты ілюстрацыйны рад можна прадоўжыць. Такім чынам, выснова адна: наш Сусвет уяўляе сабой адзінае звязанае цэлае, узгодненую сістэму, надзвычай прыстасаваную да існавання жыцця. Іншыя сусветы з іншымі фізічнымі параметрамі развіваліся б, як адзначыў савецкі касмолаг А. Л. Зяльманаў, без сведак.

2. Пошуки жыцця ў Сонечнай сістэме. Цікаласць да іншых форм жыцця ў Сонечнай сістэме не давала спакою чалавецтву з даўніх часоў. Калісьці людзі думалі, што населены ўсе планеты, нават Месяц. Але чым больш даследчыкі даведваліся пра планеты, тым менш аптымістычнымі рабіліся іх прагнозы. У выніку галоўнымі «прэтэндэнтамі» засталіся толькі Венера і Марс. Аднак вывучэнне паверхні Венеры паказала, што нішто жывое не можа выжыць на гэтай планете. Тады ўсе надзеі пачалі звязваць з самай загадковай планетай — Марсам.

Галоўная мэта палётаў аўтаматычных арбіタルна-пасадачных станций «Вікінг» да Марса заключалася ў пошуку жыцця на гэтай планете. Было выканана некалькі складаных біялагічных эксперыментau. У ходзе аналізу марсіянскага грунту не было выяўлена ніякіх слядоў арганічных злучэнняў — прадуктаў жыццядзеянніасці мікраарганізмаў. Для парыўнання: такі ж прыбор пры пробах антарктычнага грунту знайшоў значную колькасць выкапнёвых арганічных злучэнняў.

У 1976 г. станцыя «Вікінг» перадала на Зямлю фатаграфію загадковага аб'екта (з вобласці Сідонія) памерам каля паўтара кіламетра,

які назвалі «галавой сфінкса» (рыс. 170). Была прапанавана гіпотэза, што гэта архітэктурнае збудаванне старажытнай цывілізацыі. Але даследчыкі Марса заяўлі: гэта прыродны аб'ект. Спрэчкі не сціхалі да 2001 г., пакуль касмічны аппарат «Марс Глобал Сервеер» не перадаў на Зямлю больш падрабязны здымак гэтага аб'екта (рыс. 171). На новым відарысе добра бачна, што «галава сфінкса» — прыродная структура.

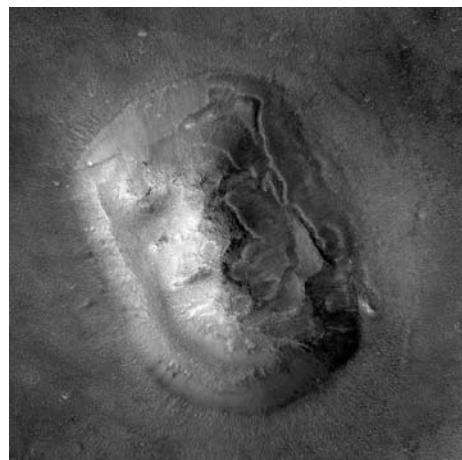
Аптымізм вучоных значна паменшыўся, і ў наступныя гады пасачныя аппараты, якія пасылаліся да Марса, не аснашчаліся прыборамі, здольнымі зафіксаваць прыкметы жыцця.

У той час як пошуки жыцця на Марсе зайшлі ў тупік, касмічны аппарат «Галілео», які вывучаў сістэму Юпітэра, перадаў паведамленне пра тое, што на адным з вялікіх спадарожнікаў — Еўропе — знайдзены акіян цёплай вады, што знаходзіцца пад ледзянымі панцырами.

Паверхня Еўропы пакрыта маладым вадзяным ільдом, які ўшпілены расколінамі і «хаосамі» (гл. рыс. 79). Аналіз атрыманых у розны час відарысаў паказаў, што лёд крыху зрушваецца (падобную карціну можна назіраць на зямных палярных морах у час веснавога раставання лёду). Зыходзячы з памераў і геаметрыі ледзяных расколін, вучоныя выказалі меркаванне, што на спадарожніку Еўропа тонкі ледзяны слой



Рысунак 170 — Фатаграфія «галавы сфінкса» на Марсе, атрыманая ў 1976 г.



Рысунак 171 — Фатаграфія «галавы сфінкса», атрыманая з лепшым распазнаваннем у 2001 г.

закрывае ваду ці расталы лёд. Праўдападобнай прычынай з'яўлення такіх структур можа быць дзеянне гідратэрмальных крыніц (гейзераў). Такім чынам, калі на Еўропе ёсьць ўплывава вада, то могуць існаваць і якія-небудзь формы жыцця. Аднак выявіць іх можна толькі, калі «прыязмліцца» на паверхню.

3. Пошукі жыцця ў Галактыцы. Сучасная навука вызначае пазазямныя цывілізацыі як гіпатэтычныя грамадствы разумных істот, якія могуць узнікнуць і існаваць па-за Зямлём.

Для ацэнкі колькасці пазазямных цывілізацый у Галактыцы амерыканскі радыёастроном Фрэнсіс Дрэйк прапанаваў наступную формулу:

$$N = R \cdot f \cdot n \cdot k \cdot d \cdot q \cdot L,$$

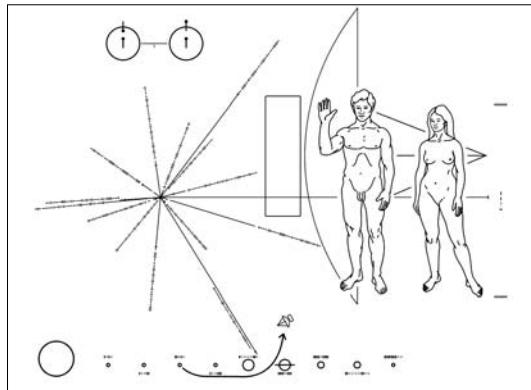
дзе N — колькасць пазазямных цывілізацый у Галактыцы; R — скорасць утварэння зорак у Галактыцы, усярэдненая па ўсім часе яе існавання (каля 10 зорак у год); f — доля зорак, якія маюць планетныя сістэмы; n — сярэдняя колькасць планет, якія ўваходзяць у планетныя сістэмы і экалагічна прыдатныя для жыцця; k — доля планет, на якіх сапраўды ўзнікла жыццё; d — доля планет, на якіх пасля ўзнікнення жыцця развіліся яго разумныя формы; q — доля планет, на якіх разумнае жыццё дасягнула фазы, што забяспечвае магчымасць сувязі з іншымі светамі, цывілізацыямі; L — сярэдняя працягласць існавання такіх пазазямных (касмічных, тэхнічных) цывілізацый.

У формуле Дрэйка ўсе велічыні, акрамя першай, маюць вельмі неканкрэтныя характеристики і вызначаюцца на аснове экспертыных ацэнак вучоных. Таму ствараецца значная нявызначанасць у ацэнцы агульнай велічыні N . Адны падлікі паказваюць, што цяпер усяго толькі некалькі геападобных цывілізацый Галактыкі (у якой 10^{11} зорак) готовыя да контакту з намі. Паводле іншых, больш аптымістычных, — такіх цывілізацый можа быць значна больш. Як адзін з аргументаў на карысць таго, што пазазямныя цывілізацыі — з'ява вельмі рэдкая, вылучаецца адсутнасць бачных праяў іх дзеяніасці.

Першыя работы па пошуку сігналаў пазазямных цывілізацый правёў у 1960 г. Ф. Дрэйк (ЗША). Ён даследаваў радыёвыпрамяненне найбліжэйшых зорак (τ Кіта і ε Эрыдана) на хвалі 21 см. Штучныя сігналы выявіць не ўдалося, але эра пошукаў сігналаў пазазямных цывілізацый была адкрыта. У цяперашні час касмічная прастора праслушоўваецца адначасова на шматлікіх частотах. Прынятыя радыётэлескопам сігналы апрацоўваюцца камп'ютарамі.

Паралельна вядзецца работа па паведамленні пазазямным цывілізацыям інфармацыі пра нашу зямную цывілізацыю. У 1974 г. з радыёастронамічнай абсерваторыі ў Арэсіба ў бок шаравога скопішча M31 (сузор'е Геркулеса), размешчанага на адлегласці 24 тыс. светлавых гадоў ад Зямлі, было накіравана пасланне, якое змяшчала закадзіраваны тэкст пра жыццё і цывілізацыю на Зямлі. Інфармацыйныя паведамленні (пласцінкі з нанесенымі рысункамі, відэадыскі з запісамі відараўсаў, гукаў і чалавечага маўлення на розных мовах) не раз змяшчаліся на касмічныя апараты, траекторыі якіх выходзілі за межы Сонечнай сістэмы (рыс. 172).

У апошні час сярод вучоных і філосафаў усё больш усталёўваецца думка, што чалавецтва адзінокае калі не ва ўсім Сусвеце, то ва ўсякім выпадку ў нашай Галактыцы. З гэтага вынікае найважнейшая высьнова аб значэнні, каштоўнасці і ўнікальнасці нашай цывілізацыі. Чалавецтва, такім чынам, у велізарнай ступені адказнае не толькі за нашу планету, але і за Сусвет у цэлым.



Рысунак 172 — Таблічка з пасланнем, адрасаваная прадстаўнікам пазазямных цывілізацый, змешчаная на борце «Піянера-10»



Галоўныя выводы

1. Разумнае жыццё ў Сусвеце з'яўляецца вынікам яго фундаментальных уласцівасцей — у гэтым заключаецца сутнасць антропнага прынцыпу. Дадзены прынцып паставіў на навуковую аснову пытанне: чаму наш свет устроены такім, якім мы яго назіраем?
2. У Сонечнай сістэме на нябесных целях, акрамя Зямлі, пакуль не выяўлена жыццё.
3. Пошук пазазямных цывілізацый пакуль не прывёў да станоўчых вынікаў.
4. На чалавецтве ляжыць велізарная адказнасць за захаванне жыцця і розуму на Зямлі і ў Сусвеце ў цэлым.



Кантрольныя пытанні і заданні

1. Чым сутнасць антропнага прынцыпу?
2. На якіх планетах Сонечнай сістэмы вучоныя дапускаюць існаванне жыцця?
3. Якім чынам можна ацаніць колькасць пазазямных цывілізацый у нашай Галактыцы?
4. Чаму формула Ф. Дрэйка дае значную нявызначанасць у ацэнцы колькасці цывілізацый у Галактыцы, гатовых да контакту з намі?
5. Якім чынам чалавецтва спрабуе наладзіць контакты з пазазямнымі цывілізацыямі?

ДАДАТКІ

Асноўныя астранамічныя сімвалы

Знакі задыяка	Планеты
♈ Авен, а таксама кропка вясенняга раўнадзенства	☉ Сонца
♉ Цялец	☽ Месяц
♊ Блізняты	☿ Меркурый
♋ Рак	♀ Венера
♌ Леў	⊕ Зямля
♍ Дзева	♂ Марс
♎ Шалі, а таксама кропка асенняга раўнадзенства	♃ Юпітэр
♏ Скарпіён	♄ Сатурн
♐ Стралец	♅ Уран
♑ Казярог	♆ Нептун
♒ Вадалей	♇ Плутон
♓ Рыбы	

Іншыя абазначэнні

Ω Узыходзячы вузел месячнай арбіты	℧ Сыходны вузел месячнай арбіты
------------------------------------	---------------------------------

Грэчаскі алфавіт

Абрыс літары	Назва літары	Абрыс літары	Назва літары	Абрыс літары	Назва літары	Абрыс літары	Назва літары
α	áльфа	η	éта	ν	ні	τ	táу
β	бéта	θ	тéта	ξ	ксі	υ	ipcílón
γ	гáма	ι	йóта	ο	амíкрон	φ	фi
δ	дéльта	κ	кáппа	π	пi	χ	xí
ε	эпсілón	λ	лáмбда	ρ	ро	ψ	псí
ζ	дзéта	μ	мi	σ	сíгма	ω	амéга

Геаграфічныя каардынаты гарадоў Рэспублікі Беларусь

Горад	Шырата (с. ш.)	Даўгата (с. д.)	Гадзінны пояс
Мінск	53° 54'	27° 33'	1 ^г 50,3 ^м 2
Баранавічы	53° 09'	26° 02'	1 ^г 44,1 ^м 2
Бабруйск	53° 08'	29° 15'	1 ^г 57,0 ^м 2
Барысаў	54° 14'	28° 31'	1 ^г 54,1 ^м 2
Брэст	52° 06'	23° 42'	1 ^г 34,8 ^м 2
Віцебск	55° 12'	30° 11'	2 ^г 00,8 ^м 2
Гомель	52° 25'	31° 00'	2 ^г 04,1 ^м 2
Гродна	53° 41'	23° 50'	1 ^г 35,3 ^м 2
Ліда	53° 53'	25° 17'	1 ^г 41,1 ^м 2
Магілёў	53° 54'	30° 19'	2 ^г 01,3 ^м 2
Мазыр	52° 08'	29° 16'	1 ^г 57,1 ^м 2
Маладзечна	54° 18'	26° 50'	1 ^г 47,3 ^м 2
Наваполацк	55° 32'	28° 37'	1 ^г 54,5 ^м 2
Орша	54° 30'	30° 26'	2 ^г 01,7 ^м 2
Пінск	52° 07'	26° 07'	1 ^г 44,5 ^м 2
Полацк	55° 29'	28° 47'	1 ^г 55,1 ^м 2
Рэчыца	52° 21'	30° 24'	2 ^г 0,16 ^м 2
Светлагорск	52° 39'	29° 43'	1 ^г 58,9 ^м 2
Слуцк	53° 01'	27° 33'	1 ^г 50,2 ^м 2
Салігорск	52° 47'	27° 33'	1 ^г 50,2 ^м 2

Дынамічныя характеристыкі планет

Параметры	Планеты							
	Меркурий	Венера	Земля	Марс	Юпітер	Сатурн	Уран	Нептун
Сярэдняя адлегласць да Сонца, а. а.	0,387	0,723	1,000	1,524	5,203	9,54	19,18	30,1
Сіздэрычны перыяд абарачэння	88,0 сут	224,7 сут	365,26 сут	687,0 сут	11,86 гадоў	29,46 гадоў	84,0 гадоў	164,8 гадоў
Сінадычны перыяд абарачэння, сут	1115,9	5833,9	—	779,9	398,9	378,1	369,7	367,5
Эксцэнтрысітэт арбіты	0,207	0,0067	0,0167	0,0934	0,0484	0,0557	0,0471	0,0087
Накіл арбіты да экліптыкі	7° 01'	3° 24'	—	1° 51'	1° 18'	2° 29'	0° 46'	1° 46'

 **ізічныя харектарыстыкі планет**

Параметры	Планеты							
	Меркурий	Венера	Земля	Марс	Юпитер	Сатурн	Уран	Нептун
Маса (у параўнанні з масай Зямлі)	0,055	0,816	1,000	0,107	318	95,1	14,6	17,2
Радыус, км	2439	6051	6378	3393	71 400	60 400	24 300	25 050
Сярэдняя шчыльнасць, $\times 10^3$ кг/м ³	5,4	5,2	5,5	3,9	1,3	0,7	1,6	1,7
Перыяд абарачэння	58,8 сут	243 сут	23 г 56 мін	24 г 37 мін	9 г 50 мін	10 г 14 мін	17 г 14 мін	16 г 7 мін
Нахіл экватора да плоскасті	7°	3° 24'	23° 26'	25° 12'	3° 07'	26° 45'	82°	29°
Колькасць вядомых спадарожнікаў	—	—	1	2	67	62	27	14

Даведачныя звесткі аб Зямлі

Параметр	Велічыня
Экватарыяльны радыус, км	6378,140
Палярны радыус, км	6356,755
Сярэдні радыус, км	6371,004
Паверхня Зямлі, km^2	$5,0949 \cdot 10^8$
Паверхня сушы, %	29,2
Водная паверхня, %	70,8
Маса Зямлі, кг	$5,973 \cdot 10^{24}$
Маса вады ва ўсіх яе формах, кг	$1,43 \cdot 10^{21}$
Маса атмасфери Зямлі, кг	$5,158 \cdot 10^{18}$
Лінейная скорасць пункта экватара, м/с	465,12
Сярэдняя скорасць руху Зямлі па арбіце, км/с	29,765
Паскаранне сілы цяжару на Землі (на шыраце 45°), м/с 2	9,806

Даведачныя звесткі аб Месяцы

Параметр	Велічыня
Мінімальная адлегласць ад Зямлі, км	356 410
Максімальная адлегласць ад Зямлі, км	406 740
Сярэдняя адлегласць ад Зямлі, км	384 400
Сярэдні эксцэнтрысітэт арбіты	0,0549
Сярэдні нахіл плоскасці арбіты да экліптыкі	5°08'43''
Перыяд абарачэння па арбіце, сут	27,32
Сярэдняя перыядычнасць змены фаз Месяца, сут	29,53
Сярэдні вуглавы радыуса Месяца	15'33''
Маса, кг	$7,35 \cdot 10^{23}$
Сярэдняя шчыльнасць, кг/м ³	3340
Паскарэнне сілы цяжару, м/с ²	1,62
Другая касмічная скорасць, км/с	2,38
Максімальная тэмпература днём, °C	+130
Мінімальная тэмпература ноччу, °C	-170
Асветленасць ад поўнага Месяца на зямной паверхні, лк	0,25
Асветленасць ад поўнай Зямлі на месячнай паверхні, лк	16
Сярэдняя адбівальная здольнасць ад усёй месячнай паверхні, %	12,44
Адбівальная здольнасць мацерыковых абласцей, %	13,44
Адбівальная здольнасць марскіх абласцей, %	7,30
Агульная плошча паверхні Месяца, км ²	$3,8 \cdot 10^7$
Плошча мораў на ўсёй паверхні, %	16,9
Плошча мораў на бачным баку, %	31,2
Плошча паверхні, якую можна назіраць дзяякуючы лібрацыі, %	59

Даведачныя звесткі аб Сонцы

Параметр	Велічыня
Паралакс Сонца пры сярэдняй адлегласці Зямлі ад Сонца, "	8,794
Сярэдняя адлегласць да Сонца, км	149 600 000
Дыяметр Сонца, км	1 392 000
Бачны вуглавы дыяметр (сярэдні)	31'59''
Маса, кг	$1,989 \cdot 10^{30}$
Сярэдняя шчыльнасць, кг/м ³	1408
Паскарэнне сілы цяжару на паверхні, м/с ²	273,8
Другая касмічная скорасць, км/с	617,7
Сідэрычны перыяд абарачэння пункта экватара, сут	25,380
Сінадычны перыяд абарачэння пункта экватара, сут	27,275
Нахіл экватара да экліптыкі	7°15'
Свяцільнасць Сонца, Дж/с	$3,88 \cdot 10^{26}$
Эфектыўная тэмпература фотасферы Сонца, К	5780
Абсалютная фотавізуальная зорная велічыня	+4,96 ^m
Скорасць руху Сонца адносна навакольных зорак, км/с	19,5
Апекс руху Сонца	$\alpha = 270^\circ =$ $= 18^\circ 00^m \delta = +30^\circ$
Адлегласць Сонца ад цэнтра Галактыкі, кпк	8
Скорасць руху Сонца вакол цэнтра Галактыкі, км/с	220
Перыяд абарачэння Сонца вакол цэнтра Галактыкі, млн гадоў	каля 220
Сярэдняя працягласць поўнага цыкла сонечнай актыўнасці, гадоў	22,11

☒ ізічныя характеристыкі некоторых ярких зорак

Абазнаңнене үз сузорі	Назға зоркі	Экваториальны каардынаты	Бляск, <i>m</i>	Спектр	Тэмпература, К	Паралакс	Асабсты рух	Прамянёвая скорасць, км/с
α	δ	α	δ					
α Аандрамеды	Альферац ^{**}	00 ^h 08 ^m +29° 05'	2,02	B 8	13 600	0,025''	0,209''	-11,7
α Эрдыдана	Ахернар	01 ^h 36 ^m -57° 28'	0,47	B 5	15 000	0,034''	0,083''	+19
α Авенса	Гамаль	02 ^h 07 ^m +23° 28'	2,00	K 2	4000	0,043''	0,241''	-14,4
α Малой	Паллярная*	02 ^h 32 ^m +89° 16'	1,94	F 7	5800	0,003''	0,046''	-16,4
α Персея	Мірфак	03 ^h 24 ^m +49° 52'	1,79	F 5	6700	0,028''	0,035''	-2,8
α Цельца	Альдебаран*	04 ^h 36 ^m +16° 31'	0,75	K 5	3300	0,049''	0,202''	+54,1
β Арыёна	Рытель**	05 ^h 15 ^m -8° 12'	1,12	B 8	11 800	0,009''	0,001''	+20,7
β Возника	Капэла	05 ^h 17 ^m +46° 00'	0,08	G 5	5000	0,074''	0,435''	+29,1
γ Арыёна	Белатрыкс	05 ^h 25 ^m +6° 21'	1,64	B 2	17 100	0,023''	0,015''	+18,2
ε Арыёна	Бетальгейзе*	05 ^h 55 ^m +7° 24'	0,4-1,3	M 1	2900	0,005''	0,028''	+21,8
ο Кіля	Канопус	06 ^h 23 ^m -52° 41'	-0,73	F 0	9100	0,018''	0,022''	+20
ε Вялікага Пса	Сірыйс***	06 ^h 45 ^m -16° 43'	-1,46	A 1	11 200	0,376''	1,324''	-7,6
α Блізнят	Кастор**	07 ^h 35 ^m +31° 53'	1,58	A 2	10 600	0,070''	0,198''	+4,0
α Малога Пса	Прапыён	07 ^h 39 ^m +5° 14'	0,38	F 5	6800	0,087''	1,250''	-3,6
β Блізнят	Палукс**	07 ^h 45 ^m +28° 02'	1,14	K 0	4400	0,093''	0,625''	+3,5
α Гідры	Альфард	09 ^h 28 ^m -8° 40'	1,98	K 3	3500	0,020''	0,034''	-4,6
α Лъва	Рэтул***	10 ^h 08 ^m +11° 58'	1,35	B 7	13 600	0,040''	0,248''	+5,0

* Адукация зыхаданье

Заканченнне табліцы

Абзацнне ў сюзор'і	Назва зоркі	Экваторыяльныя каардынаты		Бляск, <i>m</i>	Спектр	Тэмпература, К	Паралякс	Асабыстъ рух	Прамянёвая скорасць, км/с
		α	δ						
α Вялкай Мядзведзіцы	Дубогэ ^{**}	11 ^г 04 ^м +61° 45'	1,79	K 0	4200	0,031"	0,138"	-9,0	
β Ільва	Дэнебола	11 ^г 49 ^м +14° 34'	2,14	A 3	9900	0,076"	0,511"	-0,6	
ξ Есплікай Мядзведзіцы	Міцар ^{**}	13 ^г 22 ^м +55° 18'	2,4	A 2	10 000	0,037"	0,127"	-5,6	
α Дзвезы	Спіка	13 ^г 25 ^м -11° 10'	0,98	B 1	17 600	0,019"	0,054"	+3,0	
α Ралапаса	Арктур	14 ^г 16 ^м +19° 11'	-0,04	K 1	3900	0,091"	2,284"	-5,3	
α Пэнтаура	Таліман	14 ^г 38 ^м -60° 44'	0,33	G 2	5400	0,746"	3,674"	+22,2	
α Наўночнай Кароны	Гема [*]	15 ^г 35 ^м +26° 43'	2,23	A 0	11 600	0,044"	0,154"	+1,6	
α Скарпіёна	Антарэс ^{**}	16 ^г 29 ^м -26° 26'	0,9-1,8	M 1	2900	0,019"	0,029"	-3,2	
α Змеяносца	Рас Альхаг	17 ^г 35 ^м +21° 34'	2,08	A 5	9100	0,056"	0,260"	+12,7	
α Ліры	Вега	18 ^г 37 ^м +38° 47'	0,03	A 0	11 300	0,123"	0,345"	-13,9	
α Дрла	Альтаір ^{**}	19 ^г 51 ^м +8° 52'	0,77	A 7	8400	0,198"	0,658"	-26,3	
α Лебедзя	Дэнеб	20 ^г 41 ^м +45° 17'	1,25	A 2	9900	0,004"	0,003"	-4,6	
α Паўнёвай Рыбы	Фомальгаўт	22 ^г 58 ^м -29° 37'	1,16	A 3	9800	0,147"	0,367"	+4,0	

* — пераменная зорка.
** — падвойная зорка.

ЗМЕСТ

Прадмова	3
Раздзел I. Уводзіны	4
§ 1. Прадмет астрономіі	4
Раздзел II. Асновы практычнай астрономіі	13
§ 2. Зорнае неба	13
§ 3. Нябесныя коардынаты.....	21
§ 4. Вызначэнне геаграфічнай шыраты.....	25
§ 5. Вымярэнне часу. Вызначэнне геаграфічнай даўгаты	28
Раздзел III. Рух нябесных цел	38
§ 6. Геліяцэнтрычная сістэма Каперніка.....	38
§ 7. Бачны рух Сонца і Месяца. Зацьменні	44
§ 8. Законы Кеплера.....	53
§ 9. Закон сусветнага прыцягнення Ньютона	56
§ 10. Вызначэнне памераў нябесных цел і адлегласцей да іх у Сонечнай сістэме.....	62
§ 11. Рух касмічных апаратуў	67
Раздзел IV. Параўнальная планеталогія.....	74
§ 12. Агульныя характеристыкі планет. Паходжанне Сонечнай сістэмы	74
§ 13. Планеты зямной группы	79
§ 14. Планеты-гіганты	89
§ 15. Месяц. Спадарожнікі планет	96
§ 16. Карліковыя планеты і малыя целы Сонечнай сістэмы	105

Раздел V. Метады даследавання нябесных цел	116
§ 17. Даследаванне электрамагнітнага выпраменявання нябесных цел	116
§ 18. Спектральны анализ у астраноміі	127
Раздел VI. Сонца ☀ дзённая зорка.....	134
§ 19. Сонца як зорка	134
§ 20. Будова сонечнай атмасфери	139
§ 21. Уплыў Сонца на жыццё Зямлі	144
Раздел VII. Зоркі	149
§ 22. Асноўныя характеристыкі зорак. Свяцільнасць	149
§ 23. Тэмпература і памеры зорак	154
§ 24. Падвойныя зоркі. Маса зорак	158
§ 25. Эвалюцыя зорак.....	163
§ 26. Нестацыянарныя зоркі	170
Раздел VIII. Будова і эвалюцыя Сусвету	178
§ 27. Наша Галактыка	178
§ 28. Міжзоркаве асяроддзе	185
§ 29. Зоркавыя сістэмы — галактыкі	190
§ 30. Расшыральны Сусвет	201
§ 31. Жыццё і розум у Сусвеце	207
Дадаткі	213

(Назва ўстановы адукацыі)

Навучальны год	Імя і прозвішча вучня	Стан вучэбнага дапаможніка пры атрыманні	Адзнака вучню за карыстанне вучэбным дапаможнікам
20 /			
20 /			
20 /			
20 /			
20 /			
20 /			

Вучэбнае выданне

Галуза Іларыён Віктаравіч
Голубеў Уладзімір Аляксандравіч
Шымбалеў Аляксандр Альбертавіч

Астрономія

Падручнік для 11 класа ўстаноў агульной сярэдняй адукацыі
з беларускай мовай навучання

Рэдактар	<i>Т. К. Слаута</i>
Мастак вокладкі	<i>К. У. Максімава</i>
Мастак	<i>К. У. Максімава</i>
Мастацкія рэдактары	<i>Н. С. Маслакова, С. А. Шастоўская</i>
Камп'ютарны набор	<i>Н. С. Маслакова</i>
Камп'ютарная вёрстка	<i>Н. С. Маслакова</i>
Карэктар	<i>В. А. Кіліч</i>

Падпісана да друку 00.00.2015. Фармат $70 \times 90^1 / 16$.

Палера афсетная № 1. Друк афсетны.

Ум. друк. арк. 16,38 + 0,29 форз. Ул.-выд. арк. 11,7 + 0,3 форз.

Тыраж 12 700 экз. Заказ .

РУП «Выдавецства “Адукацыя і выхаванне”».

Пасведчанне аб дзяржаўнай рэгістрацыі
выдаўца, вытворцы, распаўсюджвалініка друкаваных выданняў
№ 1/19 ад 14.11.2014. Вул. Будзённага, 21, 220070, г. Мінск.

РУП «Выдавецства “Беларускі Дом друку”».

Пасведчанне аб дзяржаўнай рэгістрацыі выдаўца, вытворцы,
распаўсюджвалініка друкаваных выданняў

№ 2/102 ад 01.04.2014. Пр-т Незалежнасці, 79, 220013, г. Мінск.

Правообладатель Адукацыя і выхаванне