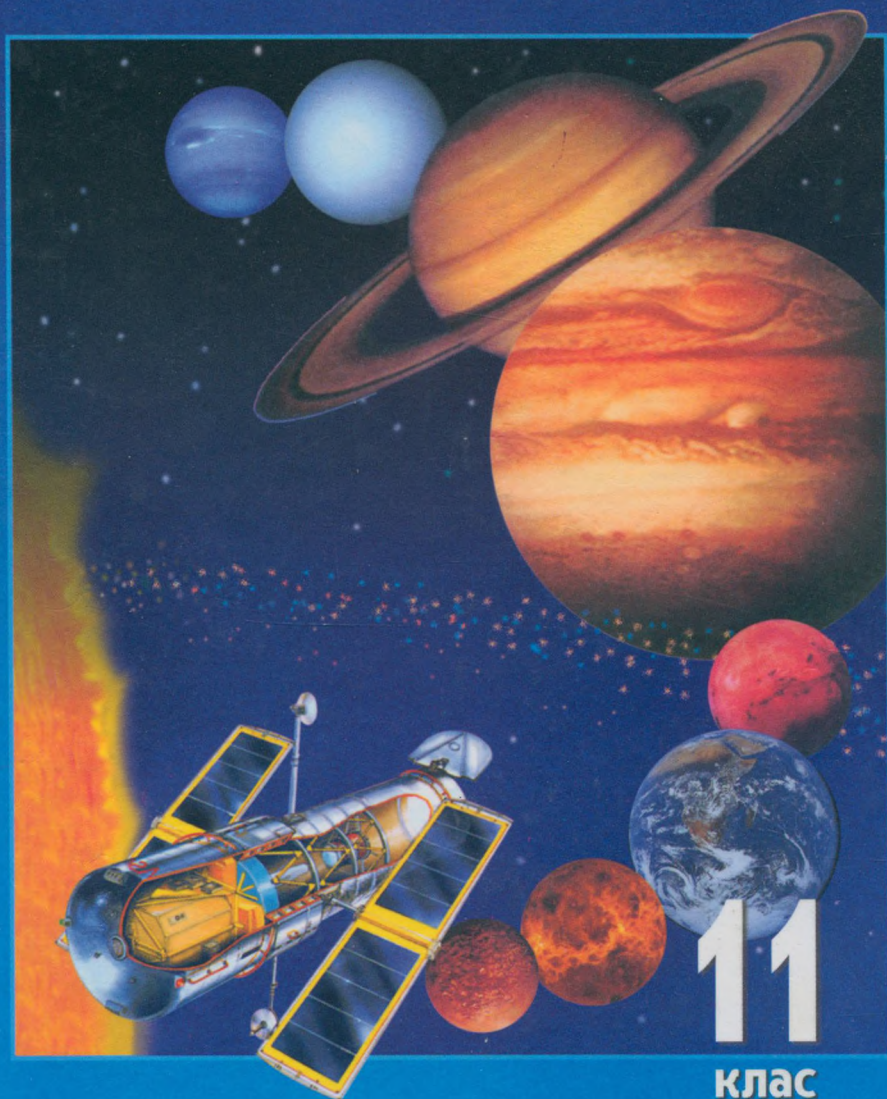


І. В. Галуза, У. А. Голубеў, А. А. Шымбалёў

АСТРАНОМІЯ



11

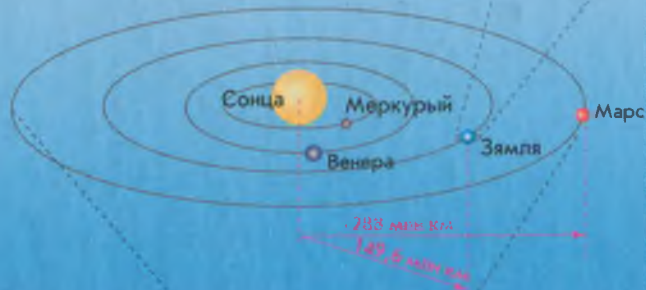
клас

БУДОВА СУСВЕТУ

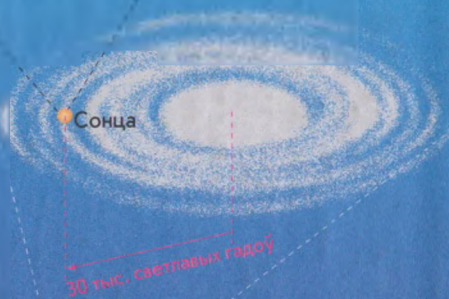
Зямля і Месяц



Унутраныя планеты Сонечнай сістэмы



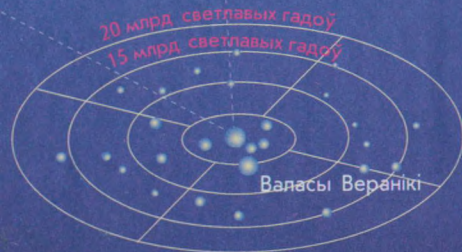
Млечны Шлях (Галактыка)



Месцазнаходжанне Галактыкі

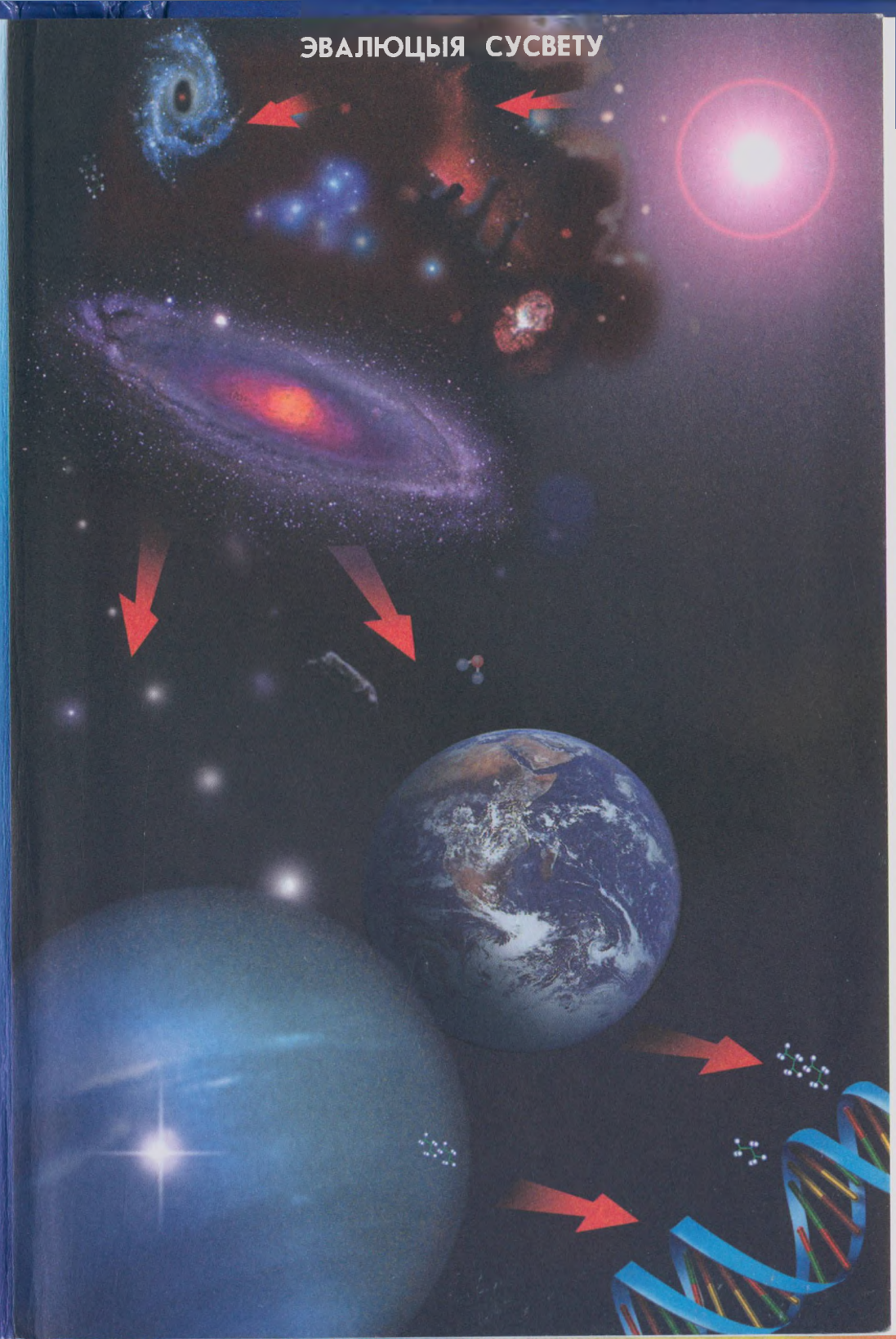


Сусвет, які назіраецца



1 светлавы год = каля 9460 млрд км

ЭВАЛЮЦЫЯ СУСВЕТУ



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

АСТРАНОМІЯ

**Вучэбны дапаможнік для вучняў 11 класа ўстаноў,
якія забяспечваюць атрыманне агульнай сярэдняй адукацыі,
з беларускай мовай навучання з 11-гадовым тэрмінам навучання**

*Допушчана Міністэрствам адукацыі
Рэспублікі Беларусь*

Мінск
Выдавецкі цэнтр БДУ
2003

УДК 52(075.3)
ББК 22.6я721
Г16

Рэцэнзенты:
доктар фізіка-матэматычных навук,
прафесар *А. П. Клішчанка*;
настаўнік сярэдняй школы № 193 г. Мінска *У. І. Каваленка*

Пераклад з рускай мовы *П. С. Габца, Л. М. Шахлевіч*

Галуза І. В.

Г16 Астраномія: Вучэб. дапам. для вучняў 11-га кл. устаноў, якія забяспечваюць атрыманне агул. сярэд. адукацыі, з бел. мовай навучання з 11-гадовым тэрмінам навучання / І. В. Галуза, У. А. Голубеў, А. А. Шымбалёў; Пер. з рус. П. С. Габца, Л. М. Шахлевіч. — Мн.: Выд. цэнтр БДУ, 2003. — 224 с.: іл.

ISBN 985-476-128-2.

УДК 52(075.3)
ББК 22.6я721

ISBN 985-476-128-2

© Галуза І. В., Голубеў У. А., Шымбалёў А. А., 2003
© Афармленне. Выдавецкі цэнтр БДУ, 2003
© Кубараў Ю. Я., ілюстрацыі, 2003

Прадмова

Астраномія — гэта найстаражытнейшая навука, якая вывучае аб'екты і з'явы, што назіраюцца на небе. Таямніцы неба заклікаюць розум чалавека да роздуму і даследавання фізічнага свету. Гэты бязмежны і пастаянна пераменлівы свет мы называем Сусветам. Паняцце «Сусвет» уключае ў сябе і Зямлю, і Сонца, і ўсе астатнія планеты Сонечнай сістэмы, і зоркі, і галактыкі, і разрэджанае асяроддзе, у якім яны знаходзяцца. Наша родная Зямля, а разам з ёю і мы з'яўляемся ў гэтым свеце толькі маленькай пясчынкай.

Людзі заўсёды імкнуліся зразумець прыроду цел і з'яў, якія яны назіралі ў Сусвеце, і таму будавалі карціну навакольнага свету ў адпаведнасці з тымі ведамі, якія мелі. Паступова са з'яўленнем новых фактаў і тэорый, а таксама з магчымасцю праверкі гэтых ідэй праз назіранні і вымярэнні, з выкарыстаннем дасягненняў навук, супольных з астраноміяй (асабліва фізікі), карціна поглядаў на свет удакладнялася і змянялася. Часам гэта была рэвалюцыйная ломка састарэлых уяўленняў — напрыклад, усталяванне геліяцэнтрычнай сістэмы Каперніка.

Сучасная астраномія выкарыстоўвае ўсё больш дасканалую назіральную тэхніку. Сучасныя прыёмнікі выпрамянення перадаюць інфармацыю непасрэдна ў камп'ютэры.

Назіранні вядуцца ў розных дыяпазонах электрамагнітнага выпрамянення: бачным, інфрачырвоным, ультрафіялетавым, рэнтгенаўскім, радыёдыяпазоне, а таксама ў гама-прамянях. Адкрыты новыя аб'екты (чорныя дзіры, нейтронныя зоркі), выяўлены нечаканыя ўласцівасці ў многіх ужо вядомых цел, створаны ўмовы для прамога даследавання шэрага аб'ектаў Сонечнай сістэмы і г. д. І чым больш астраномы сутыкаюцца з невядомым і адкрываюць новае, тым больш з'яўляецца пытанняў, якія патрабуюць вырашэння.

Сучасная астраномія вывучае надзвычай далёкія касмічныя аб'екты, і разам з тым яна не адарваная ад Зямлі. Для чалавецтва важна даследаваць актыўнасць Сонца і яго ўплыў на зямныя працэсы. Не знята праблема астэроіднай небяспекі. Неабходна адказаць на шэраг пытанняў аб магчымасці зараджэння жыцця на іншых планетах: як часта гэта адбываецца, як космас уплывае на развіццё ўсяго жывога і г. д. Зорнае неба заўсёды даступнае для ўсіх, аднак раскрывае свае таямніцы толькі найбольш дапытлівым і настойлівым даследчыкам.

§ 1.

ПРАДМЕТ АСТРАНОМІІ

1. Што вывучае астраномія. Людзі здаўна спрабавалі разгадаць таямніцу навакольнага свету, вызначыць сваё месца ў Сусвеце, які старажытнагрэчаскія філосафы называлі Космасам. Так, чалавек уважліва назіраў за ўсходамі і захадамі Сонца, за парадкам змены фаз Месяца, таму што ад гэтага залежала яго жыццё і працоўная дзейнасць. Чалавека цікавіў нязменны сутачны ход зорак, але палохалі непрадказальныя з’явы — зацьменні Месяца і Сонца, з’яўленне яркіх камет. Людзі імкнуліся зразумець заканамернасць нябесных з’яў і асэнсаваць сваё месца ў гэтым бязмежным свеце. Нябесныя аб’екты, з’явы і працэсы, што адбываюцца ў Сусвеце, даследуе навука астраномія.

Астраномія (ад грэчаскага *ástron* — зорка, свяціла, *nómos* — закон) — фундаментальная навука, якая вывучае будову, рух, паходжанне і развіццё нябесных цел, іх сістэм і ўсяго Сусвету ўвогуле.

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

Важнымі задачамі астраноміі з’яўляюцца тлумачэнне і прагназаванне астранамічных з’яў, такіх як сонечныя і месяцавыя зацьменні, з’яўленне перыядычных камет, праходжанне паблізу ад Зямлі астэроідаў, буйных метэорных цел ці ядраў камет. Астраномія вывучае фізічныя працэсы, якія адбываюцца ў нетрах планет, на іх паверхні і ў іх атмасферах, каб лепш зразумець будову і эвалюцыю нашай планеты.

Дзевяць вялікіх планет, у тым ліку і Зямля, 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 аб устойлівасці Сонечнай сістэмы, аб магчымасці сутыкнення Зямлі з астэроідамі і ядрамі камет. Не страчваюць актуальнасці адкрыццё новых аб’ектаў Сонечнай сістэмы і выву-

чэнне іх руху. Вельмі 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 параўнанне іх з Сонцам дапамагаюць выявіць этапы развіцця нашага свяціла.

Даследаванне нашай зорнай Галактыкі і іншых галактык дазваляе вызначыць тып нашага зорнага «горада», эвалюцыю Галактыкі, месца, якое займае ў ёй Сонечная сістэма, магчымасць блізкага праходжання ад Сонца іншых зорак, а таксама праходжання яго самога праз міжзорныя газавыя і пылавыя воблакі.

Такім чынам, астраномія вывучае будову і эвалюцыю Сусвету. Пад тэрмінам «Сусвет» разумеецца найбольшая зона прасторы, якая ўключае ў сябе ўсе даступныя для вывучэння нябесныя целы і іх сістэмы.

2. Узнікненне астраноміі. Астраномія ўзнікла ў глыбокай старажытнасці. Вядома, што яшчэ першабытныя людзі назіралі зорнае неба і пасля на сценах сваіх пачор малявалі тое, што бачылі. З развіццём чалавечага грамадства, з узнікненнем земляробства з'явілася патрэбнасць у лічэнні часу, стварэнні календара. Заўважаныя заканамернасці руху нябесных свяціл, змены выгляду Месяца дазволілі старажытнаму чалавеку знайсці і вызначыць адзінкі вымярэння часу (суткі, месяц, год) і вылічыць надыход пэўных сезонаў года, каб своєчасова правесці пасеў і сабраць ўраджай.

Назіранне зорнага неба з найстаражытнейшых часоў фарміравала чалавека як мыслячую істоту. І калі арыентацыя ў прасторы і часе па зорках, Сонцы і Месяцы даступна жывёлам і раслінам на ўзроўні рэфлексаў, то толькі чалавеку ўласціва прадказваць зямныя з'явы на аснове нябесных. Так, у Старажытным Егіпце па з'яўленні на перадранішнім небасхіле самай яркай зоркі Сірыус жрацы прадказвалі перыяды веснавых разліваў Ніла, якія вызначалі тэрміны земляробчых работ (рыс 1.1). У Аравіі, дзе з-за дзённай спякоты многія работы пераносілі на начны час, істотным было назіранне фаз Месяца. У краінах з развітым махахадствам, у асабліва-сці да вынаходства компаса, найбольшая ўвага надавалася спосабам арыентавання па зорках.



Рыс. 1.1. Назіранне перадранішняга ўсходу Сірыуса ў Старажытным Егіпце



Рыс. 1.2. Стоўнхендж — старажытная астранамічная назіральная пляцоўка

важныя напрамкі. Гэтыя напрамкі супадаюць, напрыклад, з пунктамі ўсходу Сонца ў дні раўнадзенстваў і сонцастаенняў. Аналагічныя каменныя сонечна-месяцавыя паказальнікі знойдзены ў Паўднёвай Англіі (Стоўнхендж; рыс. 1.2), у Расіі на Паўднёвым Урале (Аркаім) і іншых месцах. Узрост такіх старажытных абсерваторый — каля 5—6 тыс. гадоў.

Такія ж назіральныя пляцоўкі, што выкарыстоўваліся для астранамічных назіранняў і выканання культавых абрадаў, выяўлены і ў нашай краіне. Напрыклад, культыва-астранамічнае каменнае збудаванне знаходзіцца на беразе возера Янова каля г. Полацка.

3. Раздзелы астраноміі. Як і любая іншая навука, астраномія ўключае шэраг раздзелаў, цесна звязаных паміж сабой. Яны адрозніваюцца адзін ад аднаго прадметам даследавання, а таксама метадамі і сродкамі пазнання. Разгледзім узнікненне і развіццё раздзелаў астраноміі ў гістарычным аспекце. Дакладнае навуковае ўяўленне аб Зямлі як нябесным целе з'явілася ў Старажытнай Грэцыі. Александрыйскі астраном *Эратасфен* у 240 г. да н. э. даволі дакладна вызначыў памеры зямнога шара на аснове назіранняў Сонца. Развіццё гандлю і мараходства патрабавала распрацоўкі



Мікалай Капернік
(1473—1543)



Галілеа Галілей
(1564—1642)



Іаган Кеплер
(1571—1630)

метадаў арыентацыі, вызначэння геаграфічнага месцазнаходжання назіральніка, дакладнага вымярэння часу на аснове астранамічных назіранняў. Рашэннем гэтых задач стала займацца **практычная астраномія**.

Геліяцэнтрычная сістэма свету *Мікалая Каперніка*, выкладзеная ў яго працы «Аб абарачэннях нябесных сфер» (1543), дала ключ да пазнання Сусвету. Аднак стагоддзямі ўсталяваны погляд аб нерухо-масці Зямлі як цэнтра Сусвету доўга не саступаў месца новаму вучэнню. Канчаткова зацвердзіў тэорыю Каперніка італьянскі фізік, механік і астраном *Галілеа Галілей* пасля атрымання бяспрэчных доказаў яе сапраўднасці. Астранамічныя адкрыцці Галілея былі зроблены з дапамогай найпрасцейшага тэлескопа. На Месяцы вучоны ўбачыў горы, адкрыў 4 спадарожнікі Юпітэра. Выяўленая ім змена фаз Венеры сведчыла аб тым, што гэтая планета рухаецца вакол Сонца, а не вакол Зямлі.

Сучаснік Галілея *Іаган Кеплер* у час, калі быў асістэнтам вялікага астранома Ціха Браге, атрымаў доступ да высокіх па дакладнасці вынікаў назіранняў планет, якія праводзіліся на працягу больш за 20 гадоў. Асаблівую ўвагу Кеплера прыцягнуў Марс, у руху якога назіраліся значныя адхіленні ад усіх ранейшых тэорый. Пасля працяглых вылічэнняў вучонаму ўдалося знайсці тры законы руху планет, якія адыгралі значную ролю ў развіцці ўяўленняў аб будове Сонечнай сістэмы.

Раздзел астраноміі, які вывучае рух нябесных цел, атрымаў назву **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 астранамічных 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 выявіў кольцы Сатур-



Ісаак Ньютан
(1643—1727)



Міхаіл Васілевіч
Ламаносаў
(1711—1765)

на і шэраг яго спадарожнікаў. У 1761 г. *М. В. Ламаносаў* адкрыў атмасферу ў Венеры і правёў даследаванне камет. Прымаючы за эталон Зямлю, вучоныя параўноўвалі яе з іншымі планетамі і спадарожнікамі. Так нараджалася **параўнальная планеталогія**.

Значныя магчымасці даследавання фізічнай прыроды і хімічнага саставу зорак з'явіліся пасля адкрыцця спектральнага аналізу (1859). Падрабязныя даследаванні цёмных ліній у спектры Сонца, выкананыя нямецкім вучоным *Іозефам Фраўнгоферам*, былі першым крокам у атрыманні масавай спектральнай інфармацыі аб нябесных целах. У 60-я гг. XIX ст. спектральны аналіз усталяваўся як асноўны метад даследаванняў фізічнай прыроды нябесных цел. Хуткае развіццё лабараторнай спектраскапіі і тэорыі спектраў атамаў і іонаў на аснове квантавай механікі прывяло да ўзнікнення фізікі зорак, і ў першую чаргу фізікі зорных атмасфер. Раздзел астраноміі, які вывучае фізічныя з'явы і хімічныя працэсы, што адбываюцца ў нябесных целах, іх сістэмах і ў касмічнай прасторы, называецца **астрафізікай**.

Далейшае развіццё астраноміі звязана з удасканаленнем тэхнікі назіранняў. Істотныя поспехі дасягнуты ў стварэнні новых тыпаў прыёмнікаў выпрамянення. Фотаэлектронныя памнажальнікі, электронна-аптычныя пераўтваральнікі, метады электроннай фатаграфіі і тэлебачання павялічылі дакладнасць і адчувальнасць фотаметрычных назіранняў і яшчэ больш пашырылі спектральны дыяпазон рэгістрацыі выпрамяненняў. Стаў даступным для назіранняў свет далёкіх галактык, што знаходзяцца на адлегласці мільярдаў светлавых гадоў. Узніклі новыя кірункі астраноміі: зорная астраномія, касмалогія і касмагонія.

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

Касмалогія — раздзел астраноміі, які вывучае паходжанне, будову і эвалюцыю Сусвету як адзінага цэлага. Вывады касмалогіі грунтуюцца на законах фізікі і даных назіральнай астраноміі, а таксама на ўсёй сістэме ведаў пэўнай эпохі. Інтэнсіўна гэты раздзел астраноміі стаў развівацца ў першай палавіне XX ст. пасля распрацоўкі агульнай тэорыі адноснасці А. Эйнштэйнам.

Касмагонія — раздзел астраноміі, які вывучае паходжанне і развіццё нябесных цел і іх сістэм. З-за таго што ўсе нябесныя целы ўзнікаюць і развіваюцца, ідэі аб іх эвалюцыі цесна звязаны з уяў-

леннямі 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 (рыс. 1.3). У 60-х гг. XX ст. пачалося даследаванне паходжання і развіцця галактык, прырода якіх была высветлена толькі ў 1920-х гг. (Асноўныя астранамічныя адкрыцці прыведзены ў Дадатку 2.)

4. Астранамічныя назіранні. Асноўным спосабам даследавання нябесных аб'ектаў і з'яў служачь астранамічныя назіранні. **Астранамічныя 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 астраномы вывучалі месцазнаходжанне нябесных аб'ектаў на зорным небе і іх узаемнае перамяшчэнне з цягам часу. Дакладныя вымярэнні месцазнаходжанняў зорак, планет і іншых нябесных цел даюць матэрыял для вызначэння адлегласцей да іх і іх памераў, а таксама для даследавання законаў іх руху.



Рыс. 1.3. Станаўленне і развіццё астранамічнай навукі:

а — аб'екты вывучэння раздзелаў астраноміі;

б — паслядоўнасць узнікнення раздзелаў астраноміі

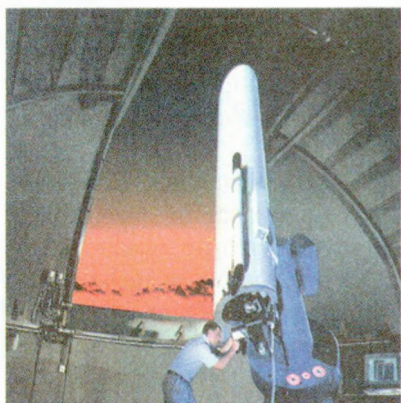


Рис. 1.4. Назіранні ў тэлескоп у сучаснай абсерваторыі

апаратуру, дапаможныя прылады для назіранняў, электронна-вылічальную тэхніку і інш. (рис. 1.4).

Аптычныя тэлескопы служаць для збірання святла нябесных цел, якія даследуюцца, і атрымання іх відарыса. Тэлескоп павялічвае вугал зроку, пад якім бачныя нябесныя целы, і збірае ў шмат разоў больш святла, што прыйшло ад святцiла, чым простае вока назіральніка. Дзякуючы гэтаму ў тэлескоп можна разглядаць нябачныя з Зямлі дэталі паверхні найбліжэйшых нябесных цел, а таксама мноства слабых зорак.

Пасля другой сусветнай вайны пачала бурна развівацца радыёфізіка (фізіка радыёхваль). Удасканаленыя прыёмнікі, антэны і радыёлакатары, якія засталіся пасля вайны, маглі прымаць радыёвыпрамяненне Сонца і далёкіх касмічных аб'ектаў.



Рис. 1.5. Радыётэлескоп абсерваторыі Грын Бэнк

Вынікамі вугламерных вымярэнняў карыстаюцца ў практычнай астраноміі, нябеснай механіцы, зорнай астраноміі.

Для правядзення астранамічных назіранняў у многіх краінах створаны спецыяльныя навукова-даследчыя ўстановы — **астранамічныя абсерваторыі**.

Для выканання астранамічных назіранняў і апрацоўкі атрыманых даных у сучасных абсерваторыях выкарыстоўваюць назіральныя інструменты (тэлескопы), святлопрыёмную і аналізавальную

Так узнікла **радыёастраномія** — адна з галін астрафізікі. Укараненне радыёназіранняў у астраномію (рис. 1.5) узбагаціла яе мноствам выдатных адкрыццяў.

Новым імпульсам у развіцці астранамічных назіранняў стаў выхад касмічных апаратаў і чалавека ў космас. Навуковыя прылады і тэлескопы, размешчаныя на касмічных караблях, дазволілі даследаваць ультрафіялетавае, рэнтгенаўскае і гамавыпрамяненне ад Сонца, зорак, галактык. Гэтыя назіранні па-за межамі

зямной атмасферы, якая паглынае караткахвалевае выпрамяненне, надзвычай пашырылі аб'ём інфармацыі аб фізічнай прыродзе нябесных цел і іх сістэм.

5. Значэнне астраноміі. Ва ўсе часы астраномія значна ўплывала на практычную дзейнасць чалавека, аднак самым галоўным яе прызначэннем было і ёсць фарміраванне навуковага светапогляду. Гэта можна прасачыць пры разгляданні развіцця асобных раздзелаў астраноміі.

Метады арыентавання, распрацаваныя практычнай астраноміяй, выкарыстоўваюцца ў маракходстве, 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, несувымерныя з зямнымі. У сувязі з асваеннем цел Сонечнай сістэмы ўзнікае неабходнасць састаўлення падрабязных карт Месяца, Марса, Венеры.

Робота службы часу таксама звязана з астраноміяй. У задачы гэтай службы ўваходзяць вызначэнне, захоўванне і перадача сігналаў дакладнага часу, што не страціла актуальнасці і зараз. Атамны гадзіннік, дакладнасць ходу якога дасягае 10^{-8} с, дазваляе вывучаць гадавыя і векавыя 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 рэальных арбіт штучных спадарожнікаў Зямлі (ШСЗ) ад разліковых. Змена вышыні палёту ШСЗ над зямной паверхняй залежыць ад сярэдняй шчыльнасці парод, што залягаюць пад зямной паверхняй, і тым самым паказваюць на раёны пошуку нафты, газу ці жалезнай руды.

Даследаванне атмасфер цел Сонечнай сістэмы дапамагае пазнанню законаў дынамікі атмасферы Зямлі, больш дакладнай пабудове яе мадэлі і, у выніку, больш дакладнаму прадказанню 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 ахалоджваюць паверхню гэтай планеты.

Развіццё астрафізікі стымулюе распрацоўку найноўшых тэхналогій. Так, даследаванне крыніц энергіі Сонца і зорак падказала ідэю стварэння кіруемых тэрмаядзерных рэактараў. У працэсе вывучэння сонечных пратуберанцаў нарадзілася ідэя цеплаізляццёй звышгарачай плазмы магнітным полем, стварэння магнітагідрадынамічных генератараў. Вынікі назіранняў Службы Сонца — міжнарод-

най каардынацыйнай сеткі па рэгістрацыі актыўнасці Сонца — выкарыстоўваюцца ў метэаралогіі, касманаўтыцы, медыцыне і іншых галінах чалавечай дзейнасці (рыс. 1.6).

Наша Зямля не ізаляваная ў прасторы, на яе ўздзейнічаюць часціцы і палі, якія ідуць ад Сонца і зорак. Многія зоркі ў канцы сваёй эвалюцыі ўзрываюцца (так званыя Звышновыя) з надзвычай вялікім выдзяленнем энергіі за некалькі секунд. Так, тыповая ўспышка звышновай зоркі на адлегласці 60 светлавых гадоў здольная зменшыць азоны слой нашай планеты ў 20 разоў, што ў сваю чаргу прывядзе да ўзрастання ў мільён разоў патоку ультрафіялетавага выпрамянення, якое дасягае Зямлі.

Зорная астраномія вывучае частату, прасторавае размеркаванне і тып зорак, якія вядуць да касмічных катастроф.

Такім чынам, яшчэ раз падкрэслім, што асноўным прызначэннем астраноміі з'яўляецца фарміраванне светапогляду людзей. Зямля — гэта унікальная планета, дзе ў працэсе эвалюцыі ўзнікла чалавечая цывілізацыя, і калі прырода Зямлі унікальная, то і велізарная адказнасць людзей за яе захаванне.

Пытанні і практыкаванні

1. Што вывучае астраномія? Рас тлумачце паходжанне слова «астраномія». 2. Якія мэты і задачы вывучэння астраноміі? 3. Як узнікла навука астраномія? Якія прычыны прывялі да ўзнікнення астраноміі? 4. Якія аб'екты і іх сістэмы вывучае астраномія? Пералічыце іх у парадку павелічэння памераў. 5. З якіх раздзелаў складаецца астраномія? Кратка ахарактарызуйце кожны з іх. 6. Што такое тэлескоп і для чаго ён прызначаны? 7. Якое значэнне астраноміі для практычнай дзейнасці чалавецтва?



Рыс. 1.6. Актыўнае Сонца. Фатаграфія, зробленая спадарожнікам SOHO

§ 2. ЗОРНАЕ НЕБА

1. Зоркі і сузор’і. На адкрытым месцы неба над намі распасціраецца ў выглядзе купала. На ім у бязвоблачную ноч ззяюць мірыяды зорак, і здаецца немагчымым 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.*

Старажытныя 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 прадметаў. У некаторых фігурах старажытнагрэчаскія астраномы «бачылі» міфічных герояў. У працы «Альмагест» («Вялікая матэматычная пабудова астраноміі ў XIII кнігах», II ст. н. э.) старажытнагрэчаскі астраном *Клаўдзій Пталемей* 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, старажытным славянам Вялікая Мядзведзіца ўяўлялася ў выглядзе Лася ці Аленья. Часта коўш Вялікай Мядзведзіцы параўноўвалі з павозкай, адсюль і назвы гэтага сузор’я: Воз, Калёсы ці Калясніца. Паміж Вялікай Мядзведзіцай і Малой Мядзведзіцай знаходзіцца сузор’е Дракона. Руская назва гэтага сузор’я — Змей, які выкрадае прыгажуню. А славуцая Палярная зорка і ёсць тая самая запалоненая прыгажуня.

Яшчэ ў III ст. да н. э. старажытнагрэчаскія астраномы звялі назвы сузор’яў у адзіную сістэму, звязаную з міфалогіяй. Гэтыя назвы пазней запазычыла еўрапейская навука. Таму ўсе сузор’і, у якіх ёсць яркія зоркі, бачныя ў сярэдніх шыратах Паўночнага паўшар’я Зямлі, атрымалі імёны герояў старажытнагрэчаскіх міфаў і легенд (напры-

II



Рыс. 2.1. Фрагмент атласа А. Цэларыуса з відарысам сузор'яў

клад, сузор'і Цэфея, Андромеды, 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. 2.1). Аднак у сузор'і Касіяпеі, названым

у гонар міфічнай царыцы (рыс. 2.2), беларусы «бачылі» двух касцоў, якія косяць траву (рыс. 2.3). На сучасных астранамічных картах няма рысункаў легендарных вобразаў сузор'яў, аднак захаваны іх старадаўнія назвы.



Рыс. 2.2. Сузор'е Касіяпеі. Гравюра з атласа Яна Гевелія



Рыс. 2.3. Сузор'е Касіяпеі ва ўяўленнях беларусаў

Менш яркія сузор'і былі названы еўрапейскімі астраномамі ў XVI—XVIII стст. Усе нябачныя ў Еўропе сузор'і Паўднёвага паўшар'я атрымалі назву ў эпоху Вялікіх геаграфічных адкрыццяў, калі еўрапейцы пачалі плаваць у Новы Свет (Амерыку).

Аднак з цягам часу склалася няпростая сітуацыя — у розных краінах карысталіся рознымі картамі сузор'яў. Узнікла неабходнасць уніфікаваць раздзяленне зорнага неба на асобныя сузор'і. Канчаткова колькасць і межы сузор'яў былі вызначаны на I з'ездзе Міжнароднага астранамічнага саюза ў 1922 г. Уся сферычная паверхня зорнага неба была ўмоўна падзелена на 88 сузор'яў.

У наш час пад **сузор'ем** разумеюць участак зорнага неба з характэрнай групоўкай зорак, вылучаны для зручнасці

арыентавання і абазначэння зорак. Гэтыя пляцоўкі-сузор'і захавалі назвы старажытнагрэчаскіх сузор'яў, якія знаходзіліся (ці знаходзяцца) у межах сучасных, або атрымалі пазнейшыя назвы, якія далі ім еўрапейскія астраномы. Для аблягчэння запамінання і пошуку сузор'яў у падручніках астраноміі і астранамічных атласах яркія зоркі, з якіх складаюцца сузор'і, злучаны ўмоўнымі лініямі ў фігуры, якія пазнаюцца на небе. Сузор'і, зоркі якіх утвараюць канфігурацыю, якая лёгка вылучаецца на зорным небе, ці тыя, што маюць яркія зоркі, адносяцца да галоўных сузор'яў (рыс. 2.4).

Над гарызонтам на ясным зорным небе простым вокам можна бачыць 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 астраноміі) увёў умоўную **шкалу зорных велічынь**. Самыя яркія зоркі анесены да 1-й велічыні, наступныя па бляску (слабейшыя па яркасці прыкладна ў 2,5 раза) лічацца зоркамі 2-й зорнай велічыні, а самыя слабыя, якія можна ўбачыць толькі ў бязмесячную ноч, — зоркі 6-й велічыні.



Рыс. 2.4. Схема ўзаемнага размяшчэння асноўных сузор'яў і яркіх зорак, бачных у сярэдніх геаграфічных шыротях



Гіпарх (каля 180—124 гг. да н. э.)

На ўсім зорным небе яркіх зорак 1-й зорнай велічыні 24. На тэрыторыі Рэспублікі Беларусь можна назіраць толькі 15 з іх.

Многім яркім зоркам старажытнагрэчаскія і арабскія астраномы далі назвы: Вега, Сірыус, Капэла, Альтаір, Рыгель, Альдэбаран і інш. Пазней яркія зоркі ў сузор'ях сталі пазначаць літарамі грэчаскага алфавіта, як правіла, у парадку змяншэння іх бляску. З 1603 г. дзейнічае прапанаваная нямецкім астраномам *Іаганам Баерам* сістэма абазначэнняў зорак. У сістэме Ба-

ера 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 г. д. Напрыклад, Сірыус — α Вялікага Пса — гэта самая яркая зорка ў сузор'і Вялікага Пса, Рыгель — β Арыёна — зорка другой велічыні ў сузор'і Арыёна.

З развіццём навукі і ў сувязі 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 проста нумараваць па парадку павелічэння каардынаты α (напрыклад, 61 Лебедзя).

Набор зорных карт сумежных участкаў неба, якія пакрываюць усё неба ці некаторую яго частку, называецца **зорным атласам**.

2. Бачны сутачны рух зорак. Пры назіранні зорнага неба 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 падымаюцца з усходняга боку і зрушваюцца ўправа. Далей яны дасягаюць найвышэйшага месцазнаходжання ў паўднёвай частцы неба, пасля чаго апускаюцца ў заходняй частцы гарызонта. На працягу сутак зорнае неба з усімі свяціламі, што знаходзяцца на ім, здзяйсняе адзін абарот. Такім чынам, *бачнае сутачнае вярчэнне зорнага неба адбываецца з усходу на захад, калі стаяць тварам на поўдзень*, г. зн. па гадзіннікавай стрэлцы.

У паўночнай частцы неба можна адшукаць Палярную зорку. Здаецца, што неба паварочваецца вакол яе (рыс. 2.5). На самай жа

справе вакол сваёй восі паварочваецца наш зямны шар. Відавочна, што **сутачны рух зорак** (святціл) — бачная ўяўная з'ява вярчэння нябеснага купала — адлюстроўвае сапраўднае вярчэнне зямнога шара вакол сваёй восі.

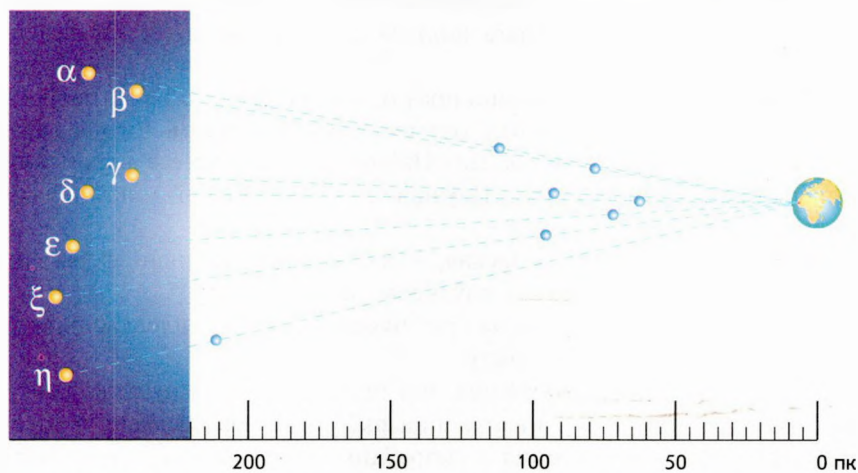
3. Асноўныя пункты і лініі нябеснай сферы. Нам здаецца, што ўсе зоркі размешчаны на некаторай шаравой паверхні небасхілу і аднолькава аддалены ад назіральніка. На самай справе яны знаходзяцца ад нас на розных адлегласцях, такіх вялікіх, што вока не можа заўважыць гэтыя адрозненні. Таму ўяўную шаравую паверхню сталі называць нябеснай 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, вывучэння ўзаемнага размяшчэння і руху касмічных аб'ектаў на небе.

На паверхню нябеснай сферы праецыруюцца бачныя месцазнаходжанні ўсіх святціл, а для зручнасці вымярэнняў на ёй будуецца шэраг пунктаў і ліній (рыс. 2.6). Напрыклад, некаторыя з зорак «каўша» Вялікай Мядзведзіцы знаходзяцца далёка адна ад адной, але



Рыс. 2.5. Сутачныя дугі святціл у палярнай частцы неба



Рыс. 2.6. Схема праецыравання зорак у сузор'і на нябеснай сферы

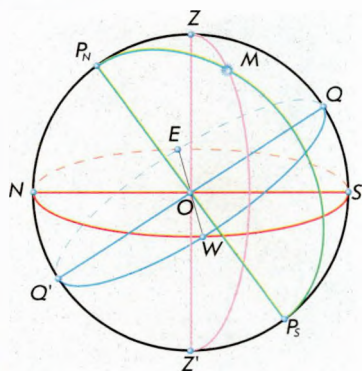


Рис. 2.7. Нябесная сфера: O — цэнтр нябеснай сферы (месцазнаходжанне назіральніка); P_N — паўночны полюс свету; P_S — паўднёвы полюс свету; $P_N P_S$ — вось свету (палярная вось); Z — зеніт; Z' — надзір; E — ўсход; W — захад; N — поўнач; S — поўдзень; Q — верхні пункт нябеснага экватара; Q' — ніжні пункт нябеснага экватара; ZZ' — вертыкальная лінія; $P_N MP_S$ — круг схілення; NS — паўдзённая лінія; M — сваяціла на нябеснай сферы

і перасякає нябесную сферу ў двух дыяметральна процілеглых пунктах.

Пункт пересячення 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° .

Плоскасць, якая праходзіць праз цэнтр нябеснай сферы, перпендыкулярную восі свету, называюць **нябесным экватарам**. Ён падзяляе нябесную сферу на дзве часткі: Паўночнае паўшар’е з вяршыняй у паўночным полюсе свету і Паўднёвае — з вяршыняй у паўднёвым полюсе свету.

Гадзінны круг, ці круг схілення, — вялікі круг нябеснай сферы, які праходзіць праз паўночны і паўднёвы полюсы свету.

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

Вялікі круг нябеснай сферы, які праходзіць праз пункты зеніту, надзіра і полюсы свету, называецца **нябесным мерыдыянам**. Нябесны мерыдыян перасякаецца з сапраўдным гарызонтам у двух дыяметральна процілеглых пунктах. Пункт перасячэння сапраўднага га-

для зямнога назіральніка яны пра-
цыруюцца на адзін і той жа ўчастак
нябеснай сферы.

Прамая, якая праходзіць праз цэнтр нябеснай сферы (рыс. 2.7) і супадае з напрамкам ніткі адвеса ў месцы назірання, называецца **вертыкальнай 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, перпендыкулярная да адвеснай лініі, называецца **плоскасцю сапраўднага ці матэматычнага гарызонта**.

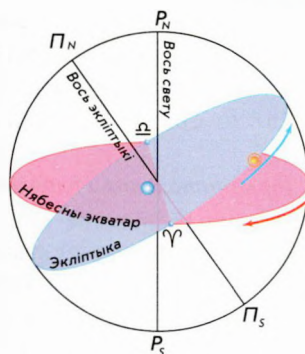
Вертикальний круг — гэта вялікі круг нябеснай паўсферы, які праходзіць праз зеніт і надзір.

Вось свету — прамая, якая праходзіць праз цэнтр нябеснай сферы паралельна восі вярчэння Зямлі

ризонта і нябеснага мерыдыяна, найбліжэйшы да паўночнага полюса свету, называецца **пунктам поўначы**. Пункт перасячэння сапраўднага гарызонта і нябеснага мерыдыяна, найбліжэйшы да паўднёвага полюса свету, называецца **пунктам поўдня**. Лінія, што злучае пункты поўначы і поўдня, называецца **паўдзённая лінія**. Яна ляжыць на плоскасці сапраўднага гарызонта. Уздоўж паўдзённой лініі падаюць цені ад прадметаў у поўдзень.

З нябесным экватарам сапраўдны гарызонт таксама перасякаецца ў двух дыяметральна процілеглых пунктах — **пункце ўсходу** і **пункце захаду**. Для назіральніка, які стаіць у цэнтры нябеснай сферы тварам да пункта поўначы, пункт усходу будзе з правага боку, а пункт захаду — з левага боку. Калі памятаць гэтае правіла, будзе лёгка арыентавацца на мясцовасці.

Гадавы шлях Сонца сярод зорак называецца **экліптыкай**. Яна нахілена да нябеснага экватара пад вуглом $23^{\circ}27'$ і перасякае яго ў пунктах вясенняга (Υ) і асенняга (ϖ) раўнадзенства (рыс. 2.8).



Рыс. 2.8. Экліптыка — шлях Сонца на нябеснай сферы

Пытанні і практыкаванні

1. Што разумеюць пад сузор'ем? Сузор'е — гэта група зорак, якія ствараюць пэўную канфігурацыю, або ўчастак нябеснай сферы, унутры якога знаходзяцца характэрныя зоркі? 2. Як сузор'і атрымалі свае назвы? Прыкладзіце прыклады назваў сузор'яў. 3. Па якім прынцыпе будуюцца шкалы 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 бачная з'ява сутачнага руху зорак? 6. Што разумеюць пад нябеснай сферай? Дайце вызначэнні асноўным пунктам, лініям і плоскасцям нябеснай сферы.

§ 3. НЯБЕСНЫЯ КААРДЫНАТЫ

1. **Сістэмы каардынат.** Месцазнаходжанне зорак (сваціл, нябесных аб'ектаў) вызначаецца адносна пунктаў і кругоў нябеснай сферы (гл. рыс. 2.7). Для гэтага ўведзены нябесныя каардынаты, падобныя на геаграфічныя каардынаты на паверхні Зямлі.

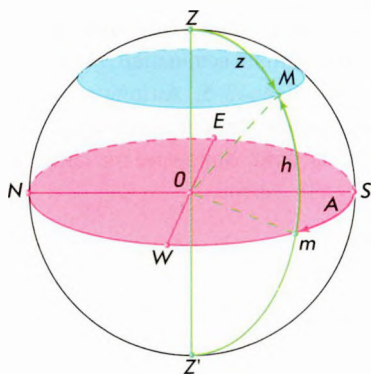
У астраноміі карыстаюцца некалькімі сістэмамі каардынат. **Нябесныя каардынаты** — цэнтральныя вуглы або дугі вялікіх кругоў нябеснай сферы, з дапамогай якіх вызначаюць месцазнаходжанне свяціл адносна асноўных кругоў і пунктаў нябеснай сферы.

Гарызантальная сістэма каардынат. Пры астранамічных назіраннях зручна вызначаць месцазнаходжанне свяціла адносна гарызонта. 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 гарызонта, вымераная ўздоўж вертыкальнага круга (рыс. 3.1). Вышыня вызначаецца ў градусах, мінутах 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 ў нябачнай частцы нябеснай сферы.

Для вымярэння азімутаў за пачатак адліку прымаецца пункт поўдня. **Азімут свяціла** — вуглавая адлегласць, вымераная ўздоўж сапраўднага гарызонта, ад пункта поўдня да пункта перасячэння гарызонта з вертыкальным кругам, які праходзіць праз свяціла M (гл. рыс. 3.1). 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 з цягам часу змяняюцца. Такім чынам, гарызантальныя каардынаты маюць пэўнае значэнне толькі для зададзенага моманту часу.



Рыс. 3.1. Гарызантальная сістэма каардынат: h — вышыня свяціла M над гарызонтам; z — зенітная адлегласць; A — азімут

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 больш зручна прыняць за асноўны круг нябеснай сферы круг нябеснага экватара (рыс. 3.2). Нябесныя каардынаты, у сістэме якіх асноўным кругам з'яўляецца нябесны экватар, называюцца экватарыяльнай сістэмай

каардынат. У гэтай сістэме 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 —

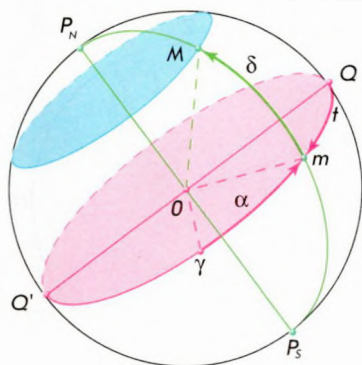
вуглавая адлегласць, вымераная ўздоўж нябеснага экватара, ад пункта вясенняга раўнадзенства да пункта перасячэння нябеснага экватара з кругам схілення свяціла. Прамое ўзыходжанне адлічваецца ў бок, процілеглы сутачнаму вярчэнню нябеснай сферы, у межах ад 0 да 360° у градуснай меры ці ад 0 да $24^{\text{гадз}}$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

Для некаторых астранамічных задач (звязаных з вымярэннем часу) замест прамого ўзыходжання (α) уводзіцца **гадзінны вугал** (t) (гл. рыс. 3.2). Гадзінны вугал адлічваецца ад верхняга пункта нябеснага экватара, г. зн. ад пункта, дзе нябесны экватар перасякаецца з нябесным мерыдыянам у паўднёвым баку. Такім чынам, 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 захаду (як і азімут).

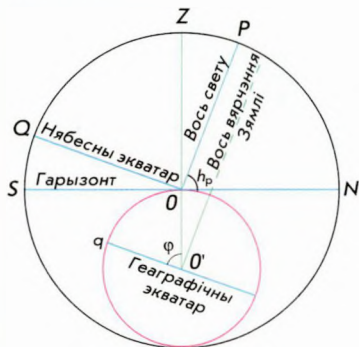
З-за сутачнага вярчэння нябеснай сферы гадзінны вугал, як і вышыня і азімут свяціла, увесь час змяняецца.

Каардынаты зорак (α , δ) у экватарыяльнай 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. Для адлюстравання карціны зорнага неба, бачнага ў зададзеным месцы ў пэўны дзень і гадзіну, служыць *рухомая карта зорнага неба* (гл. Дадатак 3).

У выніку ўзбуральнага ўздзеяння Месяца і Сонца на вярчэнне Зямлі напрамак восі вярчэння Зямлі здзяйсняе ў прас-



Рыс. 3.2. Экватарыяльная сістэма каардынат: δ — схіленне свяціла M ; α — прамое ўзыходжанне; t — гадзінны вугал



Рыс. 3.3. Вышыня полюса свету над гарызонтам

хаючыся насустрач бачнаму гадавому руху Сонца. На працягу 2000 гадоў да н. э. Палярнай зоркай была зорка α Дракона, праз 12 000 гадоў Палярнай стане α Ліры.

Прэцэсійны рух полюса свету выклікае змены каардынат зорак з цягам часу. Таму даводзіцца перыядычна абнаўляць зорныя карты. Сучасныя карты зорнага неба адносяцца да пачатку 2000 г.

2. Вышыня полюса свету над гарызонтам. 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 перамяшчэнні назіральніка з поўначы на поўдзень, дзе геаграфічная шырата меншая, Палярная зорка апускаецца да гарызонта, г. зн. існуе залежнасць паміж вышыняй полюса свету і геаграфічнай шыратой месца назірання.

На рыс. 3.3 зямны шар і нябесная сфера паказаны ў сячэнні плоскасцю нябеснага мерыдыяна месца назірання. Назіральнік з пункта O бачыць полюс свету на вышыні $\angle PON = h_p$. 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 гарызонта, а вось свету перпендыкулярная плоскасці геаграфічнага экватара, вуглы $\angle PON$ 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:*

$$h_p = \phi. \quad (3.1)$$

З другога боку, з рыс. 3.3 вынікае, што вугал $\angle QOZ$ вызначае сабой велічыню схілення зеніту δ_z . Таму можна запісаць, што

торы вельмі складаны рух. Вось павольна апісвае конус і застаецца ўвесь час нахіленай да плоскасці руху Зямлі пад вуглом каля $66,5^\circ$. Гэты рух называецца прэцэсійным, яго перыяд складае прыблізна 26 000 гадоў.

З-за прэцэсіі ўзаемнае размяшчэнне полюсаў свету бесперапынна змяняецца. За адзін год перамяшчэнне сярэдняга полюса свету на нябеснай сферы складае каля $50,3''$. На такую ж велічыню перамяшчаюцца на захад і пункты раўнадзенства, ру-

$$\varphi = \delta_Z \text{ або } \varphi = h_P = \delta_Z . \quad (3.2)$$

Роўнасць (3.2) 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 акружнасцях, паралельных гарызонту, які супадае з нябесным экватарам. Нябесны мерыдыян становіцца нявызначаным, страчваюць сэнс пункты поўначы, поўдня, усходу і захаду.

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

Пад **усходам** разумеюць з'яву перасячэння свяцілам усходняй часткі гарызонта, а пад **захадам** — заходняй часткі гарызонта. У сярэдніх шыратах, напрыклад на тэрыторыі Рэспублікі Беларусь, назіраюцца зоркі паўночных каляпалярных сузор'яў, якія ніколі не апускаюцца пад гарызонт. Яны называюцца **незаходзячымі**. Зоркі, размешчаныя каля паўднёвага полюса свету, у нас ніколі не ўзыходзяць. 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 ўсходу, захаду і пункт зеніту. Сутачныя шляхі ўсіх зорак перпендыкулярныя да гарызонта, і кожная з іх палову сутак знаходзіцца над гарызонтам.

Пытанні і практыкаванні

1. Якія сістэмы нябесных каардынат вам вядомы? У чым прыніповае адрозненне паміж рознымі сістэмамі нябесных каардынат?
2. Дайце апісанне гарызантальнай сістэмы каардынат. Якія каардынаты выкарыстоўваюцца ў гэтай сістэме?
3. Дайце апісанне экватарыяльнай сістэмы каардынат. Якімі каардынатамі ў гэтай сістэме вызначаецца месцазнаходжанне свяціла на нябеснай сферы?
4. Для чаго прызначаны карты зорнага неба?
5. Як вызначыць вышыню полюса свету над гарызонтам?
6. Якая залежнасць існуе паміж геаграфічнай шыратой месца назірання і адпаведнымі гарызантальнай і экватарыяльнай каардынатамі свяціла?
7. Якія зоркі называюць узыходзячымі, заходзячымі, неўзыходзячымі і незаходзячымі?
8. Вызначце схіленні зорак, даступных для назірання на шыраце вашага населенага пункта.

§ 4.

ВЫЗНАЧЭННЕ ГЕАГРАФІЧНАЙ ШЫРАТЫ

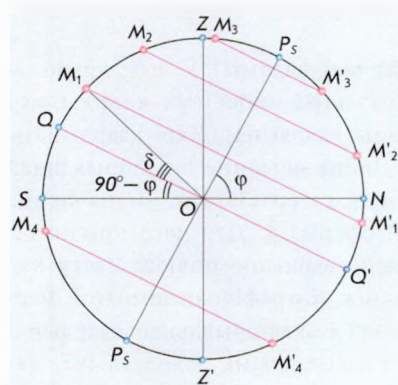
1. Кульмінацыя свяціл. Пры сваім сутачным вярчэнні вакол восі свету свяцілы двойчы за суткі перасякаюць нябесны мерыдыян. З'ява праходжання свяцілам нябеснага мерыдыяна называецца **кульмінацыяй**. Адрозніваюць верхнюю і ніжнюю кульмінацыі. У **верхняй кульмінацыі** свяціла пры сутачным руху знаходзіцца ў найвышэйшым пункце над гарызонтам, найбліжэйшым да зеніту. **Ніжняй кульмінацыя** свяціла больш аддаленая ад пункта зеніту, чым верхняя кульмінацыя, і адбываецца праз палову сутак пасля верхняй кульмінацыі.

Пункт перасячэння сутачнай паралелі свяціла з усходняй часткай сапраўднага гарызонта называецца **пунктам усходу свяціла**, з заходняй часткай сапраўднага гарызонта — **пунктам захаду свяціла**.

Незаходзячыя зоркі (рыс. 4.1) бачныя ў верхняй (M_2, M_3) і ніжняй (M'_2, M'_3) кульмінацыях. Для ўзыходзячых і заходзячых зорак ніжняя кульмінацыя M'_1 адбываецца пад гарызонтам. У неўзыходзячых зорак абедзве кульмінацыі M_4, M'_4 нябачныя, г. зн. адбываюцца пад гарызонтам.

Знойдзем залежнасць паміж геаграфічнымі і нябеснымі каардынатамі.

З-за таго што кульмінацыя свяціл адбываецца пры перасячэнні нябеснага мерыдыяна, плоскасць рысунка 4.1 супадае з плоскасцю нябеснага мерыдыяна. Сутачныя шляхі зорак паказаны адрэзкамі, паралельнымі нябеснаму экватару QQ' . Няхай узыходзячая і заходзячая зорка знаходзіцца ў верхняй кульмінацыі M_1 . Вышыня полюса свету роўная геаграфічнай шыраце φ . З рысунка вынікае, што $\angle QOS$ роўны $90^\circ - \varphi$ і ўяўляе сабой нахіл нябеснага экватара да плоскасці гарызонта. Дуга M_1S (ці $\angle M_1OS$) — гэта вышыня свяціла над гарызонтам. Гэтая дуга складаецца з сумы дзвюх дуг: $M_1S = SQ + QM_1$. Калі ўлічыць, што дуга SQ , якая абапіраецца на $\angle QOS$, вызначаецца велічынёй $90^\circ - \varphi$, а дуга QM_1 з'яўляецца вуглавой адлегласцю зоркі ад нябеснага экватара і вызначаецца велічынёй схілення δ , атрымаем формулу для вызначэння вышыні зоркі ў яе верхняй кульмінацыі:



Рыс. 4.1. Кульмінацыя свяціл

$$h_B = (90^\circ - \varphi) + \delta. \quad (4.1)$$

Для незаходзячай зоркі ніжняя кульмінацыя M'_2 вымяраецца дугой M'_2N ці адпаведным цэнтральным вуглом ($\angle M'_2ON$). Гэты вугал роўны рознасці $\angle M'_2OQ'$ і $\angle NOQ'$, дзе $\angle M'_2OQ' = \delta$ — вуглавая адлегласць свяціла ад нябеснага экватара, а $\angle NOQ' = 90^\circ - \varphi$ — нахіл нябеснага экватара да плоскасці гарызонта. Адсюль вынікае, што вышыня зоркі ў ніжняй кульмінацыі роўная:

$$h_H = \delta - (90^\circ - \varphi). \quad (4.2)$$

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:

$$h_B = 90^\circ + \varphi - \delta. \quad (4.3)$$

Суадносіны (4.1—4.3) звязваюць геаграфічную шырату з вышыняй і схіленнем зорак у час іх кульмінацыі. Адзначым, што на рыс. 4.1 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° .

2. Вызначэнне геаграфічнай шыраты па астранамічных назіраннях.

Пры састаўленні геаграфічных і тапаграфічных карт, пракладванні дарог і магістраляў, разведванні радовішчаў карысных выкапняў і ў шэрагу іншых выпадкаў неабходна ведаць геаграфічныя каардынаты мясцовасці. (У Дадатку 4 прыведзены геаграфічныя каардынаты гарадоў Рэспублікі Беларусь.) Гэту задачу можна вырашыць з дапамогай астранамічных назіранняў. Разгледзім тры спосабы.

Першы спосаб. Вызначыць геаграфічную шырату можна па Палярнай зорцы. Калі лічыць, што Палярная зорка паказвае паўночны полюс 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:

$$\varphi = \frac{h_B + h_H}{2}. \quad (4.4)$$

Гэту роўнасць атрымліваем з дзвюх вышэйадзначаных роўнасцей (4.2) і (4.3). Формула (4.4) 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 (4.1) і (4.3) атрымаем, што

$$\varphi = \delta \pm (90^\circ - h_B). \quad (4.5)$$

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

Трэці спосаб. Вызначыць геаграфічную шырату можна з назірання зорак, якія праходзяць паблізу ад зеніту:

$$\varphi = \delta_Z.$$

На астранамічных абсерваторыях устанаўліваюць спецыяльныя тэлескопы (зеніт-тэлескоп, фатаграфічная зенітная труба), з дапамогай якіх фіксуюць зоркі, што пападаюць у поле зроку інструмента, паблізу ад зеніту. Схіленне (δ) зоркі, што знаходзіцца ў зеніце, будзе роўнае φ .

Шэраг абсерваторый, якія маюць зеніт-тэлескопы, складаюць Сусветную службу шыраты. У яе задачы ўваходзіць сачэнне за ваганнямі шыраты, г. зн. за зменамі (перамяшчэннямі) восі вярчэння ўнутры Зямлі.

Пытанні і практыкаванні

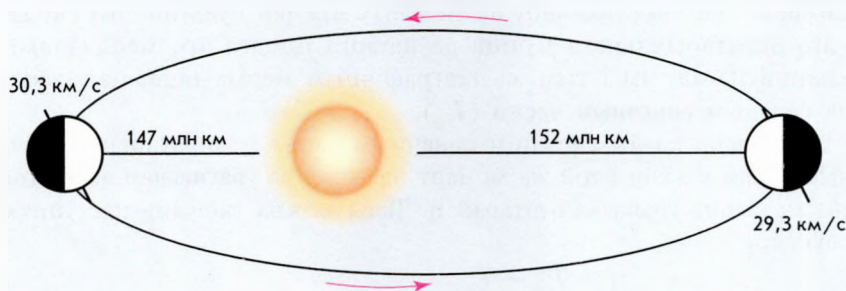
1. Якія пункты называюць пунктамі кульмінацыі святл? 2. Што называецца пунктамі ўсходу і захаду святл? 3. Знайдзіце інтэрвал схіленняў зорак, якія на дадзенай шыраце: а) ніколі не ўзыходзяць; б) ніколі не заходзяць; в) могуць узыходзіць і заходзіць. 4. Як змяняюцца пры сутачным руху святла яго вышыня, прамое ўзыходжанне, схіленне? 5. Як набліжана вызначыць геаграфічную шырату месца з назірання Палярнай зоркі?

§ 5.

ВЫМЯРЭННЕ ЧАСУ. ВЫЗНАЧЭННЕ ГЕАГРАФІЧНАЙ ДАЎГАТЫ

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

Момант верхняй кульмінацыі цэнтра Сонца называецца **сапраўдным поўднем**, а ніжняй — **сапраўднай поўначчу**. Прамежак часу паміж дзвюма паслядоўнымі аднайменнымі кульмінацыямі цэнтра Сонца называецца **сапраўднымі сонечнымі суткамі**. Час, які прайшоў ад моманту ніжняй кульмінацыі цэнтра сапраўднага сонечнага дыска да любога іншага яго месцазнаходжання на адным



Рыс. 5.1. Тлумачэнне прычын змены працягласці сапраўдных сонечных сутак

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: па-першае, нахілам плоскасці экліптыкі да плоскасці нябеснага экватара, па-другое, эліптычнай формай арбіты Зямлі. Калі Зямля знаходзіцца на ўчастку эліпса, найбліжэйшым да Сонца (на рыс 5.1 гэтае месцазнаходжанне паказана злева), то яна рухаецца хутчэй. Праз паўгода Зямля будзе 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 непарывуа змяняецца.

З-за нераўнамернасці сапраўдных сонечных сутак карыстацца імі ў якасці адзінкі для вымярэння часу нязручна. З гэтай прычыны ў штодзённым жыцці карыстаюцца не сапраўднымі, а **сярэднімі сонечнымі суткамі**, працягласць якіх прынята пастаяннай.

Што такое сярэднія сонечныя суткі? Уявім сабе пункт, які на працягу года здзяйсняе адзін поўны абарот вакол Зямлі за такі ж час, як і Сонца, аднак пры гэтым перамяшчаецца раўнамерна і па нябесным экватары, а не па экліптыцы. Назавем гэты ўяўны пункт **сярэднім Сонцам**. Верхнюю кульмінацыю сярэдняга Сонца называюць **сярэднім поўднем**, а прамежак часу паміж двума паслядоўнымі сярэднімі поўднямі — **сярэднімі сонечнымі суткамі**. Працягласць іх заўсёды аднолькавая. Сярэднія сонечныя суткі дзеляць на 24 гадзіны. Кожная гадзіна сярэдняга сонечнага часу ў сваю чаргу падзяляецца на 60 мінут, а кожная хвіліна — на 60 секунд сярэдняга сонечнага часу. За пачатак сярэдніх сонечных сутак прымаецца **сярэдня паўнач**, г. зн. момант ніжняй кульмі-

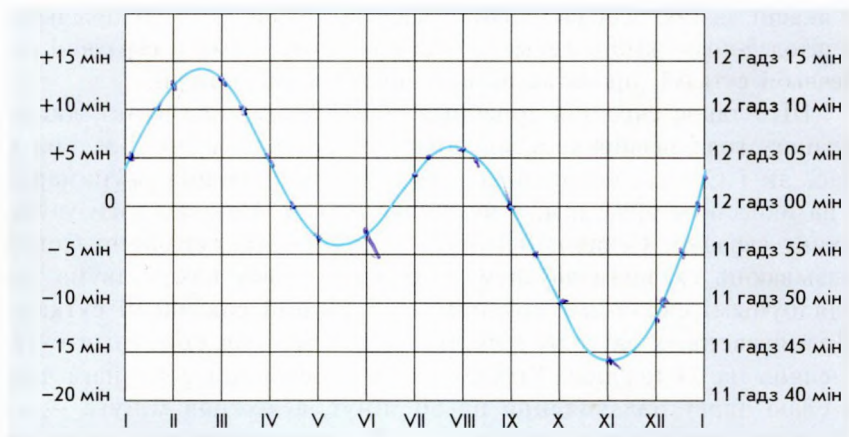
нацыі ўяўнага пункта нябеснай сферы, які называецца сярэднім Сонцам. Час, які прайшоў ад моманту ніжняй кульмінацыі сярэдняга экватарыяльнага Сонца да любога іншага яго месцазнаходжання на адным і тым жа геаграфічным мерыдыяне, называецца **сярэдным сонечным часам** ($T_{\text{ср}}$).

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

$$\eta = T_{\text{ср}} - T_{\odot}.$$

Значэнне ўраўнення часу η звычайна прыводзіцца ў астранамічных календарых і штогодніках. Набліжана яго можна вызначыць з графіка (рыс. 5.2), з якога таксама вынікае, што чатыры разы ў год значэнне гэтага ўраўнення роўнае нулю. Гэта бывае прыкладна 14 красавіка, 14 чэрвеня, 1 верасня і 24 снежня. Найбольшае значэнне ўраўнення часу набывае каля 12 лютага ($\eta = +14$ мін) і 3 лістапада ($\eta = -16$ мін).

2. Вызначэнне геаграфічнай даўгаты. Вымярэнне часу сонечнымі суткамі звязана з геаграфічным мерыдыянам. 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 усходней зямны мерыдыян, тым раней у пунктах, што ляжаць на ім, адбываецца кульмінацыя ці пачынаюцца суткі. З-за таго, што Зямля кожную гадзіну паварочваецца на 15° , рознасць часу двух месцаў у 1 гадзіну адпавядае рознасці даўгот у 15° (у гадзіннай меры



Рыс. 5.2. Графік ураўнення часу

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:

$$T_{\lambda_1} - T_{\lambda_2} = \lambda_1 - \lambda_2. \quad (5.1)$$

За пачатковы (нулявы) мерыдыян для адліку геаграфічнай даўгаты прыняты мерыдыян, што праходзіць праз былую 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 астранамічных календарых 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, адлічаную ад Грынвіча.

Калі ў дадзены момант на Грынвіцкім мерыдыяне сусветны час будзе T_0 , то ў мясцовасці з даўготай λ — T_λ . У гэтым выпадку формула (5.1) набывае выгляд ($\lambda_0 = 0$):

$$\lambda = T_\lambda - T_0. \quad (5.2)$$

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

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

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

Рознасць паміж мясцовым часам населеных пунктаў, размешчаных нават не вельмі далёка адзін ад аднаго, стварае нязручнасці ў штодзённым жыцці. Напрыклад, мясцовы час у Брэсце і Віцебску адрозніваецца на 26 мін. Жыхары гэтых гарадоў пры прыездзе ў госці адзін да аднаго павінны былі б пастаянна пераводзіць стрэлкі гадзіннікаў. Адсюль узнікла неабходнасць уводнення **паяснай сістэмы** лічэння сярэдняга сонечнага часу. Паводле гэтай сістэмы ўвесь зямны шар падзелены на 24 часавыя паясы, кожны з якіх мае працягласць па даўгаце 15° (ці 1 гадз). Часавы 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 паяса 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 часовага паяса. У астатніх раёнах для большай зручнасці межы пая-

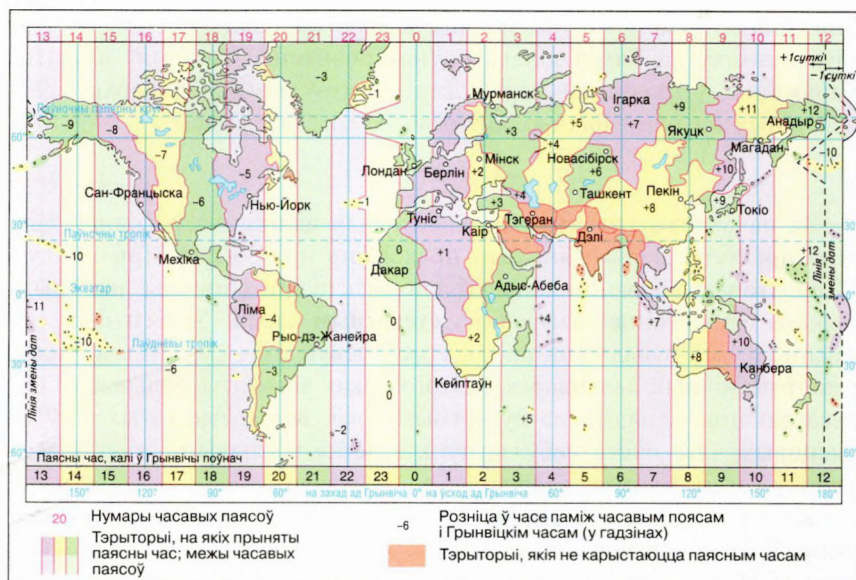


Рис. 5.3. Межы часавых паясоў

соў праходзяць па дзяржаўных і адміністрацыйных граніцах, горных хрыбтах, рэках і іншых натуральных межах (рыс. 5.3).

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

$$T_n = T_0 + n. \quad (5.3)$$

Калі з формул (5.1) і (5.3) выключыць T_0 , атрымаем суадносіны, якія дазваляць вызначаць геаграфічную даўгату па паясным часе (T_n) і часе для мясцовасці з геаграфічнай даўгатай λ (T_λ):

$$T_n - T_\lambda = n - \lambda. \quad (5.4)$$

Сістэма паяснага лічэння часу ліквідуе ўсе нязручнасці, звязаныя з выкарыстаннем мясцовага, а таксама сусветнага часу. Гадзіннікі, пастаўленыя па паясным часе, паказваюць аднолькавую колькасць мінут і секунд ва ўсіх часавых паясах, аднак іх паказанні адрозніваюцца на цэлы лік гадзін.

У мэтах эканоміі і рацыянальнага размеркавання электраэнергіі на працягу сутак на летні перыяд у некаторых краінах (у тым ліку і ў нашай рэспубліцы) стрэлкі гадзіннікаў пераводзяць на гадзіну ўперад — уводзяць **летні час**. Зразумела, што ўвосень гадзіннікі зноў ставяць па паясным часе.

Існуе мяжа, якая адкрывае новую дату і дзень тыдня. Міжнародная лінія змены дат праходзіць праз Берынгаў праліў паміж

астравамі Ціхага акіяна ад Паўночнага полюса да Паўднёвага полюса (мерыдыян 180°). Лінія змены дат, як і межы часавых паясоў, улічвае дзяржаўную прыналежнасць пэўных тэрыторый. Напрыклад, у Берынгавым праліве паміж востравам Ратманава (Расія) і востравам Крузенштэрна (ЗША), якія аддалены адзін ад аднаго на 12 км, праходзіць дзяржаўная граніца і лінія змены дат. На абодвух астравах гадзіннікі паказваюць аднолькавы час (яны знаходзяцца ў адным часавым поясе), аднак календарныя даты адрозніваюцца на адны суткі (на востраве Ратманава дата на суткі ўперадзе).

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

Атамны час вельмі зручны для даследавання самой Зямлі, таму што з яго дапамогай можна вывучаць нераўнамернасці ў вярчэнні нашай планеты. Хібнасць ходу атамнага гадзінніка невялікая — прыкладна 1 секунда за 50 000 гадоў.

3. Календар. Календар — гэта сістэма лічэння працяглых прамежкаў часу, у аснове якой ляжаць перыядычныя астранамічныя з'явы: змены дня і ночы, месяцавых фаз, пор года. Любая календарная сістэма абапіраецца на тры асноўныя адзінкі вымярэння часу: сонечныя суткі, сінадычны (ці месяцавы) месяц і трапічны (ці сонечны) год.

Сінадычны месяц — гэта прамежак часу паміж дзвюма паслядоўнымі аднолькавымі фазамі Месяца. **Трапічны год** — прамежак часу паміж двума паслядоўнымі праходжаннямі цэнтра Сонца праз пункт вясненняга раўнадзенства.

Сінадычны месяц і трапічны год не маюць цэлага ліку сярэдніх сонечных сутак. Так, сярэдняя працягласць сінадычнага месяца роўная 29,530 588 сутак, а працягласць трапічнага года — у сярэднім 365,242 199 сутак. Як бачым, усе тры меры часу несувымерныя. Немагчыма падабраць такія цэлы лік трапічных гадоў, у якім цэлымі былі б лік сінадычных месяцаў і 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 3 тыпы: месяцавыя, месяцава-сонечныя і сонечныя.

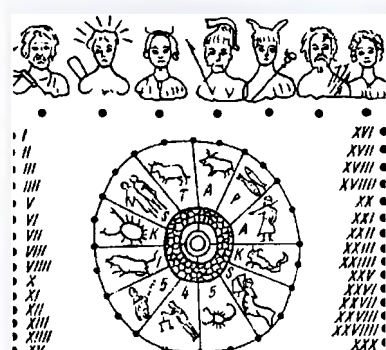
У **месяцавым календары** год падзяляецца на 12 месяцаў, якія маюць папераменна 30 ці 29 сутак. Усяго месяцавы календар мае

354 або 355 сярэдніх сонечных суток, г. зн. ён карацейшы за сонечны год прыкладна на 10 сутак. Гэты каляндар пашыраны ў мусульманскіх краінах. З-за таго што месяцавы год мае менш сутак, чым трапічны, у мусульман увогуле няма фіксаванага пачатку года, ён пастаянна зрушваецца і прыпадае то на вясну, то на лета, то на восень, то на зіму.

Месяцава-сонечныя календары найбольш складаныя. У іх поўная колькасць месяцавых месяцаў прыблізна адпавядае працягласці трапічнага года. У аснову гэтых календароў закладзены суадносіны: працягласць 19 сонечных гадоў роўная працягласці 235 месяцавых месяцаў (з хібнасцю, меншай чым за 1,5 гадз). Год падзяляецца на 12 месяцаў, кожны з якіх пачынаецца з маладзіка. У наш час такая сістэма захавалася ў яўрэйскім 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 грыгарыянскага календара, якім мы карыстаемся.

Рымляне напачатку лічылі час месяцавымі гадамі. Новы год пачынаўся 1 сакавіка. Да гэтай пары некаторыя месяцы сучаснага календара ў многіх еўрапейскіх мовах называюцца суадносна з гэтай традыцыяй: верасень — «сёмы», снежань — «дзесяты» і г. д. Пазней першы дзень года быў перанесены на 1 студзеня, таму што з 153 г. да н. э. ў гэты дзень займалі пасаду консулы (рыс. 5.4).

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 каляндар бярэ пачатак ад сонечнага рымскага календара, які з'явіўся ў выніку рэформы Юлія Цэзара (адсюль паходзіць яго назва — **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 тры гады запар лічылі па 365 дзён, а чацвёрты, які называецца высакосны, дадаткова меў яшчэ суткі — 366 дзён. Год падзяляўся на 12 месяцаў: някотныя месяцы мелі 31 дзень, цотныя — 30 дзён; толькі люты простага (не высакоснага) года меў 28 дзён.



Рыс. 5.4. Старажытны рымскі каляндар

3-за таго што юліянскі год даўжэйшы за трапічны на 11 мін 14 с, за 128 гадоў набягала хібнасць на цэлыя суткі, а за 400 гадоў — каля 3 сутак. З цягам часу каляндар спазняўся ўсё больш і больш. Таму ў канцы XVI ст. вясенняе раўнадзенства адбылося не 21, а 11 сакавіка. Хібнасць была выпраўлена ў 1582 г., калі кіраўнік каталіцкай царквы папа Грыгорый XIII стварыў спецыяльную камісію па рэформе календара, якая перанесла лічэнне дзён на 10 дзён уперад і вярнула вясенняе раўнадзенства на 21 сакавіка. Выпраўлены каляндар атрымаў назву **грыгарыянскага календара ці новага стылю**. У гонар яго ўвядзення быў выбіты памятны медаль (рыс. 5.5).

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 каталіцкіх краінах пераход на грыгарыянскі каляндар адбыўся ў XVI ст., у Скандынавіі і Вялікабрытаніі — у XVIII ст. Праваслаўныя краіны Грэцыя, Балгарыя, Румынія, Сербія прынялі новы стыль у пачатку XX ст. У Расіі гэты каляндар быў уведзены з сарады 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.

Юліянскі каляндарны год больш працяглы, чым сонечны, на $11\frac{1}{4}$ мін, а грыгарыянскі — ўсяго толькі на 26 с. Лішнія суткі набягуць толькі ў L ст. (пяцідзiesiąтым стагоддзі) н. э., таму што розніца ў 1 дзень набягае за 3300 гадоў, а для практычных патрэб большай дакладнасці не патрабуецца.

Неабходна адзначыць, што грыгарыянскі каляндар таксама не пазбаўлены недахопаў: неаднолькавая працягласць месяцаў, няроўнасць кварталаў, няўзгодненасць лічбаў месяцаў з днямі тыдня. Таму з'явіліся праекты новых (сусветных) календароў, у якіх год больш раўнамерна падзяляецца на паўгоддзі, кварталы і г. д. Аднак існуючыя палітычныя і эканамічныя суадносіны паміж краінамі не дазваляюць правесці адзіную рэформу і ўвесці сусветны каляндар.

Шмат пытанняў выклікаюць і звычайныя назвы месяцаў. Так, у многіх еўрапейскіх мовах ліпень названы ў памяць пра рымскага правіцеля Юлія Цэзара, жнівень — у го-



Рыс. 5.5. Медаль, выпушчаны ў памяць аб увядзенні грыгарыянскага календара

нар рымскага імператара Актывіяна Аўгуста. Астатнія месяцы календара атрымалі свае назвы па-рознаму: напрыклад, студзень — у гонар рымскага бога Януса, люты — у гонар язычаскіх абрадаў ачышчэння, якія адбываліся кожны год, сакавік — па прозвішчы бога Марса, май — багіні Майі, чэрвень — багіні Юноны. Назвы «верасень», «кастрычнік», «лістапад», «снежань» пераводзяцца з лацінскай мовы суадносна як «сёмы», «восьмы», «дзевяты», «дзесяты» і ў цяперашні час не маюць гэтай нумарацыі.

Акрамя лічэння месяцаў у гадах, неабходна лічыць і самыя гады. Для гэтага са старажытнасці выкарыстоўваліся эры, г. зн. працяглыя прамежкі лічэння гадоў. **Эрай** называецца зыходны пункт кожнага леталічэння. У розных народаў эры былі розныя і звязаныя з якімі-небудзь знамянальнымі падзеямі.

Так, у Рыме выкарыстоўвалася эра ад заснавання Рыма (753 г. да н. э.), у сярэднявковай Еўропе — эра Дыяклетыяна, якая адлічвалася ад уступлення на прастол імператара Дыяклетыяна (29 жніўня 284 г. н. э.). Яна існавала да XV ст. Іудзеі адлічваюць эры ад стварэння свету — ад 3761 г. да н. э. Хрысціяне лічаць, што стварэнне свету адбылося ў 5508 г. да н. э.

Эру ад Нараджэння Хрыстова ўвёў ў 525 г. папскі архіварыус Дыянісій Малы. Ён прыраўняў 248 г. эры Дыяклетыяна да 532 г. ад нараджэння Хрыста. Хрысціянская, 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 7208 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 Мухамеда з Меккі ў Медыну, якое адбылося ў верасні 622 г. н. э.

Пытанні і практыкаванні

1. Чым адрозніваюцца сапраўдныя сонечныя суткі ад сярэдніх сонечных сутак? 2. Што разумеюць пад сярэднім Сонцам? 3. Што разумеюць пад ураўненнем часу? Запішыце і растлумачце ўраўненне часу. 4. Які час называецца мясцовым? Як яго вызначаюць? 5. Што разумеюць пад сусветным часам? 6. Як звязаны паміж сабой геаграфічныя даўготы месца назірання з мясцовым часам? 7. Як можна вызначыць паясны час? Як вызначаецца геаграфічная даўгата па паясным часе? 8. Што разумеюць пад лініяй змены дат? Дзе яна праходзіць? 9. Назавіце календарныя сістэмы. На якіх прынцыпах яны будуцца? 10. Чым адрозніваецца грыгарыянскі календар ад юліянскага? 11. Чаму нельга стварыць абсалютна дакладны календар?

§ 6. ГЕЛІЦЭНТРЫЧНАЯ СІСТЭМА КАПЕРНІКА

1. Бачны рух планет. У старажытнасці былі вядомы 5 падобных на зоркі, але больш яркіх святл, якія хаця і ўдзельнічаюць у сутачным вярчэнні небасхілу, аднак здзяйсняюць самастойны бачны рух. Старажытныя грэкі назвалі такія святлы **планетамі** (па-грэчаску «планета» азначае «блукаючая»). Простым вокам можна ўбачыць 5 блукаючых святл (планет) — Меркурый, Венеру, Марс, Юпітэр і Сатурн.

Планеты заўсёды размяшчаюцца на небе паблізу ад экліптыкі, аднак у адрозненне ад Сонца і Месяца праз пэўныя інтэрвалы часу змяняюць напрамак свайго руху. Яны перамяшчаюцца паміж зоркамі ў асноўным з захаду на ўсход (як Сонца і Месяца) — **прамы рух**. Аднак кожная планета ў пэўны час запавольвае свой рух, спыняецца і пачынае рухацца з усходу на захад — **адваротны рух**. Пасля гэтага

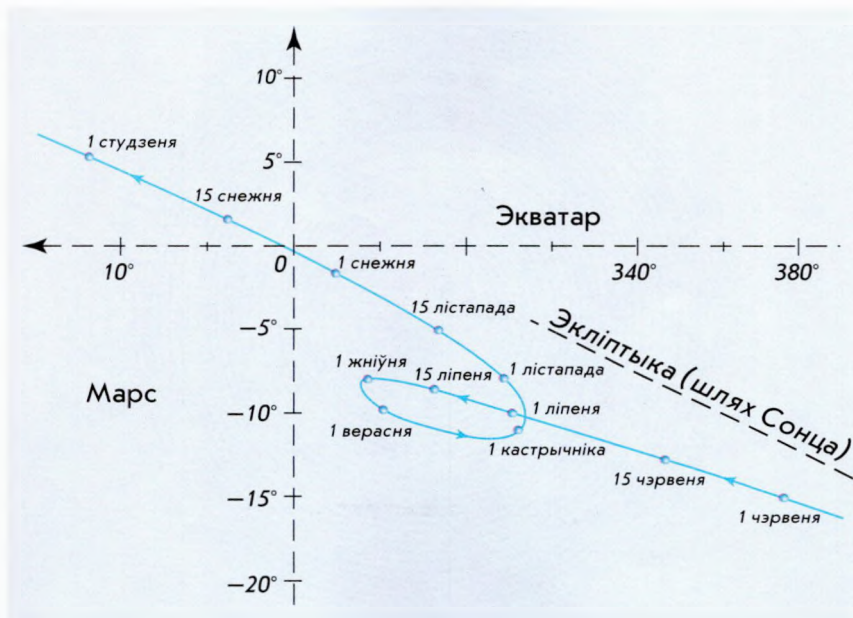


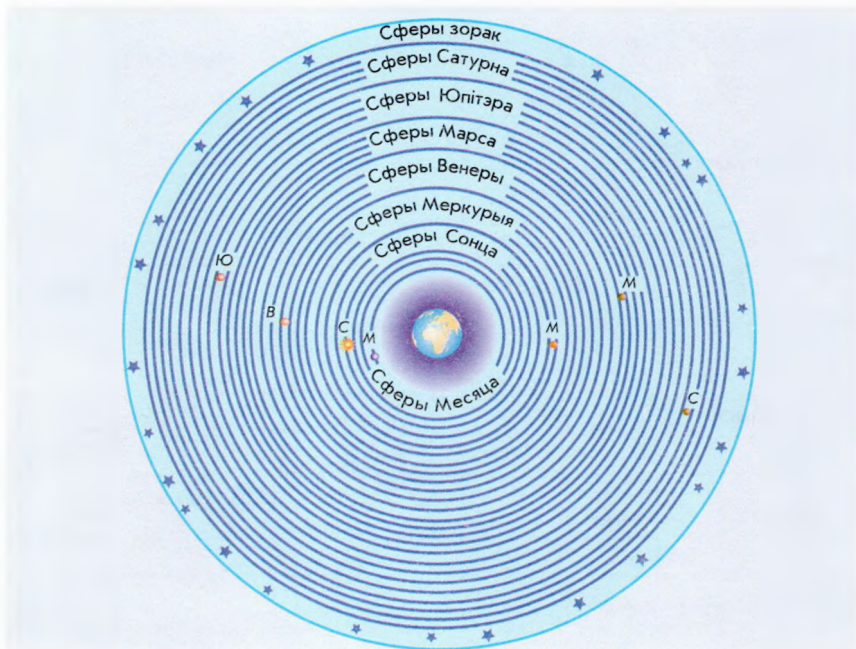
Рис. 6.1. Бачны петлепадобны рух Марса

свяціла зноў спыняецца і ўзнаўляе прамы рух. Таму бачны шлях кожнай планеты на небасхіле — складаная лінія з зігзагамі і петлямі. Гэтая траекторыя да таго ж змяняецца ад цыкла да цыкла, на працягу якога планета вяртаецца прыкладна на тое ж месца сярод зорак (рыс. 6.1).

Петлепадобны рух планет доўгі час быў для астраномаў невытлумачальным, загадкавым і знайшоў правільнае і простае тлумачэнне ў вучэнні Каперніка.

2. Сістэма свету Пталемея. Правільнае разуменне нябесных з'яў, якія назіралі людзі, складалася стагоддзямі. Першыя мадэлі сусвету прапаноўваліся старажытнымі грэкамі (Фалес, Піфагор, Філарай, Эўдокс). Першапачатковыя ўяўленні грэкаў аб хрустальных сферах былі надзвычай спрошчаным тлумачэннем нябесных з'яў. Каля 370 г. да н. э. *Эўдокс Кнідскі* спрабаваў стварыць такую мадэль, якая б апісвала сапраўдны рух планет. Ён разглядаў сферы (рыс. 6.2) як геаметрычныя канструкцыі, а не як рэальныя нябесныя целы. Ён лічыў, што існуе 27 канцэнтрычных сфер, якія плаўна паварочваюцца адна ў адной. Сонца, Месяц і планеты мелі па некалькі сфер, якія паварочваюцца з пастаяннай скорасцю вакол розных восей. Аднак з цягам часу Эўдокс пераканаўся ў недасканаласці сваёй сістэмы, што было пацверджана больш

III



Рыс. 6.2. Сферы Эўдокса

дакладнымі назіраннямі планет. Відавочнае выйсце з такога становішча — павелічэнне ліку сфер — было выкарыстана яго пацяждоўнікамі.

У II ст. н. э. *Клаўдзій Пталемей* распрацаваў **геацэнтрычную сістэму свету**, якая дазваляла вылічваць месцазнаходжанні планет адносна зорак на шмат гадоў наперад і прадказваць надыход сонечных і месяцавых зацьменняў. На аснове назіранняў сваіх папярэднікаў, а таксама сваіх уласных, Пталемей пабудоваў тэорыю руху Сонца, Месяца, планет і выказаў меркаванне, што ўсе свяцілы рухаюцца вакол Зямлі, якая з'яўляецца цэнтрам сусвету і мае шарападобную форму.

Для тлумачэння складанага петлепадобнага руху планет Пталемей 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 эпіцыклоіда, па якой рухалася планета (*P*) (рыс. 6.3).

З назапашваннем назіранняў руху планет тэорыя Пталемея ўсё больш ускладнялася (уводзіліся дадатковыя кругі з рознымі радыусамі, нахіламі, скарасцямі і інш.), што ў хуткім часе зрабіла яе значна грудастай і непраўдападобнай.

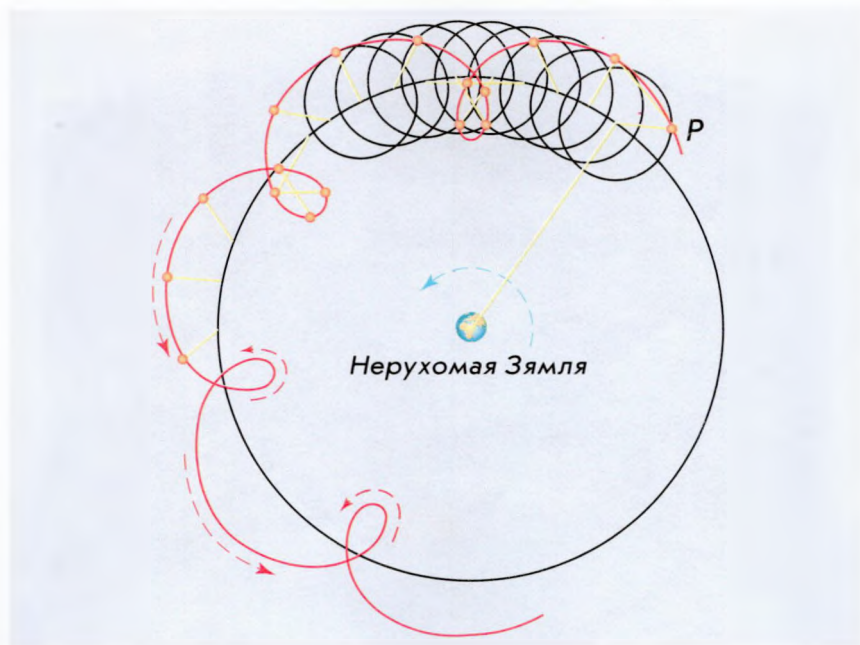
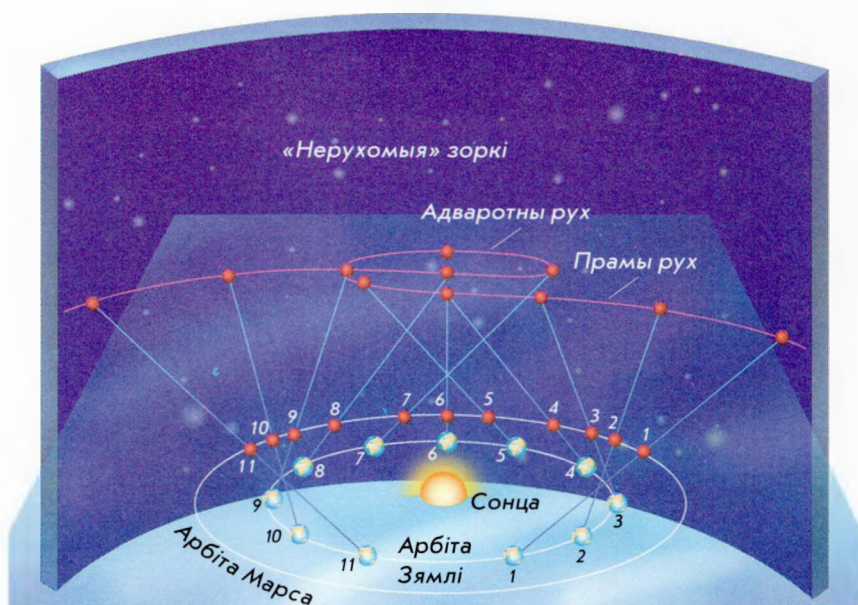


Рис. 6.3. Траектория планеты по теории Птолемея

3. Сістэма свету Каперніка. У XVI ст. польскі вучоны Мікалай Капернік адкінуў дагматычнае ўяўленне аб нерухомасці Зямлі і паставіў яе ў шэраг радавых планет. Капернік паказаў, што Зямля займае трэцяе месца ад Сонца і гэтак жа, як і іншыя планеты, рухаецца ў прастору вакол Сонца і адначасова паварочваецца вакол сваёй восі. **Геліяцэнтрычная сістэма** Каперніка вельмі проста тлумачыла петлепадобны рух планет. На рыс. 6.4 паказаны рух Марса на нябеснай сферы, які назіраецца з Зямлі. Аднолькавымі лічбамі пазначаны месцазнаходжанні Марса, Зямлі і пунктаў траекторыі Марса на небасхіле ў адны і тыя ж моманты часу.

Геацэнтрычныя сістэмы Эўдокса і Пталамея не дазвалялі вымераць адлегласць да планет. Геліяцэнтрычная сістэма Каперніка ўпершыню дазволіла вылічыць прапорцыі Сонечнай сістэмы пры выкарыстанні радыуса зямной арбіты як астранамічнай адзінкі даўжыні.

Галоўны навуковы твор Каперніка «Аб абарачэннях нябесных сфер», на напісанне якога ён затраціў больш за 20 гадоў упартай працы, быў апублікаваны ў маі 1543 г., незадоўга да смерці вучонага. Рэвалюцыйнасць працы Каперніка ў тым, што ў ёй з новым поглядам на будову Сонечнай сістэмы непарыўна звязана пытанне аб месцазнаходжанні Зямлі, а з ёй і чалавека ў Сусве-



Рыс. 6.4. Тлумачэнне петлепадобнага руху планет на аснове вучэння Каперніка

це. Вучэнне Каперніка з цягам часу прымусіла вызваліць навуку ад састарэлых і схаластычных традыцый, якія тармазілі яе развіццё. Аднак сам вялікі астраном заставаўся ў палоне некаторых прадурзых поглядаў. Напрыклад, Капернік не змог адмовіцца ад думкі, што планеты рухаюцца раўнамерна па кругавых арбітах. Таму яго мадэль Сусвету таксама мела мноства сфер — эпіцыклаў і дэферэнтаў.

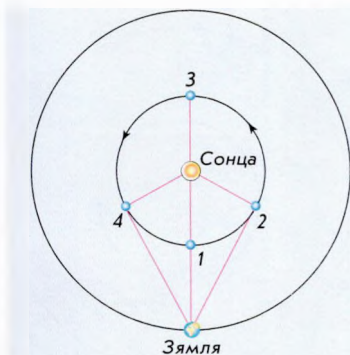
Вялікі італьянскі вучоны Галілео Галілей пацвердзіў вучэнне Каперніка сваімі адкрыццямі, зробленымі з дапамогай тэлескопа.

Ён выявіў, што на Месяцы знаходзяцца горы і кратэры, Венера мае фазы, у Юпітэра ёсць чатыры спадарожнікі і што Млечны Шлях не проста з'яўне на небе, а распадаецца на асобныя слабыя зоркі, недасягальныя для простага вока.

Іаган Кеплер развіў вучэнне Каперніка — адкрыў 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 грувацкіх геаметрычных пабудов.

4. Канфігурацыі і ўмовы бачнасці планет. Пад канфігурацыямі планет разумеюць характэрныя ўзаемныя размяшчэнні планет, Зямлі і Сонца. Канфігурацыі розныя для **ніжніх** планет (арбіты якіх знаходзяцца бліжэй да Сонца, чым арбіта Зямлі) і **верхніх** планет (арбіты якіх знаходзяцца за арбітай Зямлі).

Для ніжніх планет адрозніваюць **злучэнні** і **элангацыі** (рыс. 6.5). У ніжнім злучэнні планета знаходзіцца найбліжэй да Зямлі, а ў верхнім злучэнні — надалей ад яе. Пры элангацыях вугал паміж напрамкамі з Зямлі на Сонца і на ніжнюю планету не перавышае пэўнай велічыні 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 не бачныя. Працягласць іх ранішняй ці вячэрняй бачнасці не перавышае чатырох гадзін для Венеры і паўтары гадзіны для Меркурыя. Меркурый часам зусім не бачны, таму што ўзыходзіць і заходзіць у светлую пару сутак.



Рыс. 6.5. Схема канфігурацый унутраных планет: 1 — ніжняе злучэнне; 2 — найбольшая заходняя элангацыя; 3 — верхняе злучэнне; 4 — найбольшая ўсходняя элангацыя



Рыс. 6.6. Схема канфігурацый знешніх планет: 1 — злучэнне; 2 — заходняя квадратура; 3 — процістаянне; 4 — ўсходняя квадратура

III

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

5. Сінадычныя і сідэрычныя 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 абарачэння планеты**. Ён адрозніваецца ад зорнага перыяду. Слова «сінадычны» паходзіць ад грэчаскага слова «сінадас» — злучэнне, г. зн., сінадычны перыяд — гэта перыяд паміж двума паслядоўнымі злучэннямі (процістаяннямі).

Скорасць руху планет тым большая, чым яны бліжэй да Сонца. Таму сінадычны перыяд верхняй планеты — гэта прамежак часу, па заканчэнні якога Зямля абганяе планету на 360° пры іх супольным руху вакол Сонца. Для ніжніх планет, якія абарачаюцца хутчэй, Зямля будзе адставаць на 360° .

Тэорыя Каперніка дазваляе ўстанавіць узаемасувязь сінадычнага і сідэрычнага перыядаў абарачэння планет.

Для верхніх планет (рыс. 6.6) характэрныя іншыя канфігурацыі.

Калі Зямля знаходзіцца паміж планетай і Сонцам, то такая канфігурацыя называецца **процістаяннем**. Гэта канфігурацыя найбольш зручная для назіранняў планеты, таму што ў гэты час планета знаходзіцца найбліжэй да Зямлі, павернута да яе сваім асветленым паўшар'ем, знаходзіцца на небе ў процілеглым Сонцу месцы, і бывае ў верхняй кульмінацыі каля поўначы. Трэба адзначыць, што ў верхніх планет ніжняга злучэння не бывае, і таму не мае сэнсу адзінае злучэнне называць верхнім.

Няхай T — сідэрычны (зорны) перыяд абарачэння планеты, а T_0 — сідэрычны перыяд абарачэння Зямлі (зорны год); S — сінадычны перыяд абарачэння планеты. Сярэдняе 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 — рыс. 6.7) адбываюцца праз сінадычны перыяд абарачэння S , за які Зямля праходзіць дугу

$$L_0 = n_0 S = \frac{360^\circ}{T_0} S, \quad (6.1)$$

а планета, якая забягае наперад, здзяйсняе адзін абарот вакол Сонца і даганяе Зямлю, пры гэтым праходзіць вуглавую шляху $L = 360^\circ + L_0$, роўны

$$L = nS = \frac{360^\circ}{T} S. \quad (6.2)$$

Пры адыманні роўнасці (6.1) ад (6.2) атрымаем ураўненне сінадычнага руху для ніжніх планет:

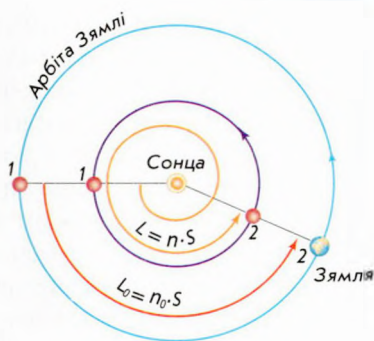
$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}. \quad (6.3)$$

У верхніх планет ураўненне сінадычнага руху набывае выгляд:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}, \quad (6.4)$$

з-за таго, што $T > T_0$ і $n < n_0$.

Ураўненні (6.3) і (6.4) даюць сярэднія значэнні сінадычных перыядаў абарачэння планет. З дапамогай гэтых ураўненняў па назіраемым сінадычным перыядзе абарачэння планеты лёгка вылічыць сідэрычны перыяд яе абарачэння вакол Сонца.



Рыс. 6.7. Сінадычны перыяд паслядоўных ніжніх злучэнняў (1 і 2) ніжняй планеты

Пытанні і практыкаванні

1. Чым адрозніваюцца прамы і адваротны рухі планет? 2. Ці назіраецца ў Месяца адваротны рух? 3. Чаму сістэмы свету старажытных грэкаў

і Пталамея былі беспадстаўнымі, хаця часткова давалі тлумачэнне нябесным з'явам? 4. У чым заключаецца рэвалюцыйнасць навуковых поглядаў Каперніка? 5. Як на аснове геліяцэнтрычнай сістэмы свету тлумачыцца петлепадобны рух планет? 6. Якім чынам Галілей пацвердзіў вучэнне Каперніка? 7. Што разумеюць пад канфігурацыямі планет? Якія канфігурацыі адрозніваюць? Апішыце іх. 8. Дайце вызначэнні сінадычнаму і сідэрычнаму перыядам абарачэння планеты. У чым іх адрозненне? 9. Зорны перыяд абарачэння Юпітэра роўны 12 гадам. Праз які прамежак часу паўтараюцца яго процістаянні? 10. Якой павінна быць працягласць зорнага і сінадычнага перыядаў абарачэння планеты ў выпадку іх роўнасці?

III

§ 7. БАЧНЫ РУХ СОНЦА І МЕСЯЦА

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

Акрамя двух пунктаў раўнадзенства, аб якіх мы ўжо гаварылі ў § 2, на экліптыцы вылучаюць два прамежкавыя паміж імі і процілеглыя адзін аднаму пункты, у якіх схіленне Сонца бывае найбольшым па абсалютным значэнні. У **пункце летняга сонцастаяння**, які пазначаецца знакам ☊, Сонца мае найбольшае схіленне $\delta = +23^\circ 27'$ (каля 22 чэрвеня). У **пункце зімовага сонцастаяння**, які пазначаецца знакам ☋, Сонца мае найменшае схіленне $\delta = -23^\circ 27'$ (каля 22 снежня).

Сузор'і, праз якія праходзіць экліптыка, называюцца **экліптычнымі сузор'ямі**. Такіх сузор'яў 13. З іх 12 (табл. 7.1) супадаюць па назвах з задзякальнымі знакамі (ад грэчаскага слова «зоан» — жывёла). Сузор'е Змеяносца з'яўляецца экліптычным, аднак не ўваходзіць у лік знакаў задзяка. Гэта адбылося з-за таго, што ўяўленне аб знаках задзяка склалася некалькі тысячагоддзяў таму, калі экліптыка яшчэ не праходзіла па гэтым сузор'і.

У Старажытным Міжрэччы ўзнікла раздзяленне пояса задзяка на 12 частак, якое перанялі грэкі. Жыхары Міжрэчча падзялялі год на дванаццаць сонечных месяцаў аднолькавай працягласці, а задзякальны круг — на чатыры часткі, якія адпавядалі чатыром сезонам

Табліца 7.1

ЗАДЫЯКАЛЬНЫЯ СУЗОР'І, ІХ АБАЗНАЧЭННІ І ЧАС ЗНАХОДЖАННЯ СОНЦА Ў ЗНАКАХ ЗАДЫЯКА

♈ — Авен (21 сакавіка — 19 красавіка)	♎ — Шалі (23 верасня — 23 кастрычніка)
♉ — Цяпец (20 красавіка — 20 мая)	♏ — Скарпіён (24 кастрычніка — 21 лістапада)
♊ — Блізняты (21 мая — 21 чэрвеня)	♐ — Стралец (22 лістапада — 21 снежня)
♋ — Рак (22 чэрвеня — 22 ліпеня)	♑ — Казярог (22 снежня — 19 студзеня)
♌ — Леў (23 ліпеня — 22 жніўня)	♒ — Вадаліў (20 студзеня — 18 лютага)
♍ — Дзева (23 жніўня — 22 верасня)	♓ — Рыбы (19 лютага — 20 сакавіка)

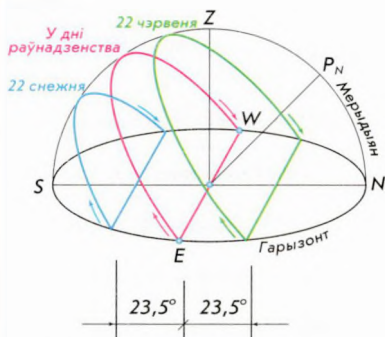
(па тры месяцы ў кожным). Аднак трэба адзначыць, што сімволіка знакаў задзяка па сённяшні дзень не расшыфравана.

Першапачаткова кожны канкрэтны знак задзяка звязваўся з пэўнымі нерухомымі зоркамі. Гэта тлумачылася тым, што знакі задзяка былі названы ў гонар рэальных сузор'яў, якія размяшчаліся ў іх межах. Пазней склалася ўяўленне аб знаках задзяка як аб дванаццаці роўных частках экліптыкі. Пачатак адліку знакаў устаноўлены ад пункта вясенняга раўнадзенства ♈. У старажытнасці дакладных межаў сузор'яў не было, і знакі задзяка адпавядалі сузор'ям сімвалічна. У наш час задзякальныя знакі і сузор'і не супадаюць. Напрыклад, пункт вясенняга раўнадзенства і задзякальны знак Авена знаходзяцца ў сузор'і Рыб.

2. Сутачны рух Сонца ў Паўночным паўшар'і. 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. Такім жа ўяўным з'яўляецца сутачны рух Сонца і іншых нябесных свяціл з усходу на захад, які таксама адбываецца ў выніку ўласнага абарачэння Зямлі з захаду на ўсход. Нагадаем, што бачны рух свяціл (у тым ліку і Сонца), які адбываецца з-за ўласнага вярчэння Зямлі вакол восі, называецца **сутачным рухам**, а перыяд абарачэння Зямлі вакол сваёй восі — **суткамі**.

Разгледзім сутачны рух Сонца на розных шыроты.

У сярэдніх шыроты Сонца ўзыходзіць заўсёды ва ўсходнім баку неба, паступова падымаецца над гарызонтам, у поўдзень дасягае найвышэйшага месцазнаходжання на небе, пасля чаго паступова апускаецца да гарызонта і заходзіць на заходнім баку неба. У Паўночным паўшар'і гэты рух адбываецца злева направа, а ў Паўднё-

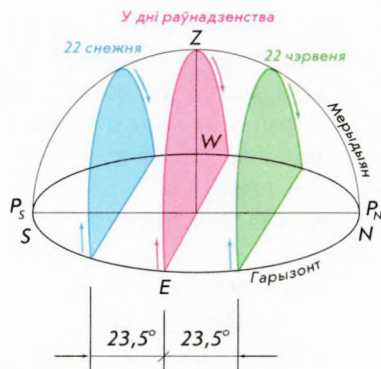


Рыс. 7.1. Сутачныя шляхі Сонца над гарызонтам у розныя поры года пры назіраннях у сярэдніх шыратах

III

На экватары Сонца, як і іншыя свяцілы, узыходзіць і заходзіць перпендыкулярна плоскасці сапраўднага гарызонта і бачнае на працягу паўсутак.

3. Змена сутачнага шляху Сонца на працягу года. Змены сутачнага шляху Сонца над гарызонтам на працягу года для сярэдніх геаграфічных шырот Паўночнага паўшар'я паказаны на рыс. 7.1. Калі вызначаць вышыню Сонца ў поўдзень на працягу года, то можна заўважыць, што двойчы ў годзе яно бывае на нябесным экватары. Гэта адбываецца ў дні вясенняга (каля 21 сакавіка) і асенняга (каля 23 верасня) раўнадзенстваў. Плоскасць гарызонта падзяляе нябесны экватар папалам. Таму шляхі Сонца ў дні раўнадзенстваў над і пад гарызонтам роўныя, г. зн. працягласць дня і ночы аднолькавыя. Самы кароткі дзень прыпадае на 22 снежня, а самы доўгі — на 22 чэрвеня.



Рыс. 7.2. Сутачныя шляхі Сонца над гарызонтам у розныя поры года пры назіраннях на экватары Зямлі

вым наадварот — справа налева. Назіральнік ў Паўночным паўшар'і Зямлі бачыць Сонца на поўдні, а ў Паўднёвым паўшар'і — на поўначы. Дзённы шлях Сонца на небе сіметрычны адносна напрамку поўнач — поўдзень.

За палярным кругам, дзе $|\varphi| > 66,5^\circ$, сутачны шлях Сонца практычна паралельны гарызонту. На полюсе Сонца на працягу паўгода не заходзіць і апісвае кругі над гарызонтам. Гэта палярны дзень. Пасля гэтага Сонца заходзіць на паўгода, і настае палярная ноч.

Вялікі круг экліптыкі перасякае вялікі круг нябеснага экватара пад вуглом $23,5^\circ$ (дакладней, $23^\circ 26'$). На столькі ж Сонца бывае ніжэй экватара ў дзень зімовага сонцастаяння — 22 снежня. У гэты дзень вышыня Сонца ў верхняй кульмінацыі змяншаецца ў параўнанні з 22 чэрвеня амаль на 47° .

Для назіральнікаў, што знаходзяцца на зямным экватары, сутачныя шляхі Сонца над гарызонтам на працягу года паказаны на рыс. 7.2.

Вышыню h Сонца, якая штодзённа змяняецца, можна вылічыць па формуле: $h = 90^\circ - \varphi + \delta_\odot$, дзе φ — геаграфічная шырата мясцовасці, $\delta_\odot$ — схіленне Сонца. Са зменай $\delta_\odot$ змяняюцца таксама пункты ўсходу і захаду Сонца.

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 прыблізна па эліптычнай арбіце ў той жа бок, у які Зямля абарачаецца вакол сваёй восі. Таму мы бачым Месяц, які рухаецца сярод зорак насустрач вярчэнню неба. Для зямнога назіральніка 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 здзяйсняе 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. Адбываецца гэта з-за таго, што Месяц займае розныя месцазнаходжанні адносна Зямлі і Сонца (рыс. 7.3). **Месяцавай фазай** называецца бачная ў сонечным асвятленні частка месяцавага дыска.

Пачнём разглядаць фазы Месяца з **маладзіка**. Гэтая фаза бывае, калі Месяц праходзіць паміж Сонцам і Зямлёй і павернуты да нас сваім цёмным боскам (гл. рыс. 7.3, месцазнаходжанне 1). Месяц зусім не бачны з Зямлі.

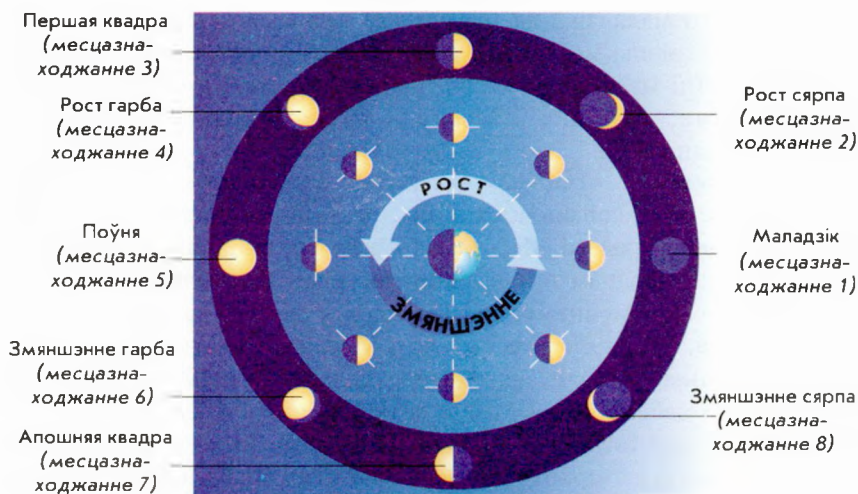


Рис. 7.3. Змена месяцавых фаз

Праз адзін-два дні ў заходняй частцы неба з'яўляецца і працягвае расці вузкі яркі серп «маладога» Месяца (месцазнаходжанне 2). Часам на фоне неба бывае прыкметнай з-за цмянага шараватага свячэння (так званага **попельнага святла Месяца**) і астатняя частка месяцавага дыска. З'ява попельнага святла тлумачыцца тым, што месяцавы серп асвятляецца непасрэдна Сонцам, а астатняя месяцавая паверхня — рассеяным сонечным святлом, адбітым ад Зямлі. Праз 7 сутак ужо будзе бачная ўся правая палавіна месяцавага дыска — настане **фаза першай квадры** (месцазнаходжанне 3). У гэтай фазе Месяц узыходзіць днём, вечарам бачны ў паўднёвай зоне неба і заходзіць ноччу. Далей фаза павялічваецца (месцазнаходжанне 4), і праз 14—15 сутак пасля маладзіка Месяц будзе ў процістаянні з Сонцам (месцазнаходжанне 5). Яго фаза становіцца поўнай, настане **поўня**. Сонечныя прамяні асвятляюць усё месяцавае 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 захаду і асвятляецца ім злева (месцазнаходжанне 6). Прыкладна праз тыдзень настане фаза трэцяй, ці **апошняй, квадры** (месцазнаходжанне 7). Месяц узыходзіць каля поўначы, перад усходам Сонца знаходзіцца ў паўднёвым баку неба і заходзіць днём. Пры далейшым збліжэнні спадарожніка Зямлі з Сонцам фазы Месяца, якія змяншаюцца, становяцца серпападобнымі (месцазнаходжанне 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 выпукласцю павернуты на ўсход. Пасля гэтага зноў настане маладзік, і Месяц перастае быць бачным на небе.

Ад аднаго маладзіка да наступнага праходзіць каля 29,5 сутак. Гэты перыяд змены месяцавых фаз называецца **сінадычным месяцам**. Сінадычны (ці месяцавы) месяц больш працяглы за сідэрычны (ці зорны) месяц, таму што і Месяц, і Зямля рухаюцца ў прасторы ў прамым напрамку.

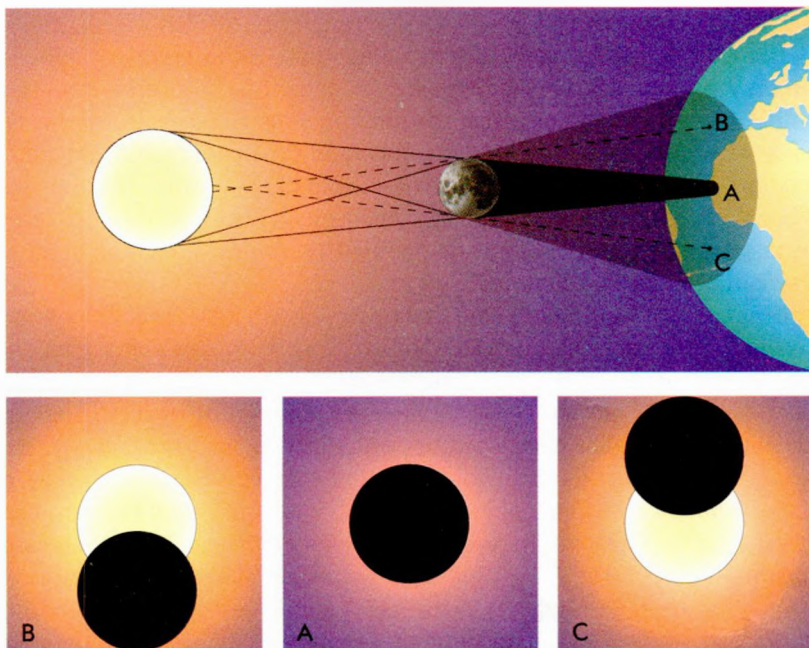
5. Сонечныя і месяцавыя зацьменні. У сваім руху Месяц часта засланяе (ці, як гавораць астраномы, накрывае) зоркі задзякальных сузор'яў. Значна радзей Месяц накрывае Сонца і планеты. Накрыванне Сонца Месяцам называецца **сонечным зацьменнем**.

Сонечнае зацьменне мае розны выгляд для розных пунктаў зямной паверхні. З-за таго што дыяметр Месяца ў 400 разоў меншы за дыяметр Сонца і Месяц знаходзіцца прыкладна ў 400 разоў бліжэй да Зямлі, на небе Сонца і Месяц здаюцца дыскамі аднолькавых памераў. Таму пры поўным сонечным зацьменні Месяц можа цалкам накрывць яркую паверхню Сонца і пакінуць пры гэтым адкрытай сонечную атмасферу (гл. рыс. 20.3 і 20.7).

Разгледзім схему поўнага сонечнага зацьмення (рыс. 7.4). Пры праходжанні паміж Сонцам і Зямлёй маленькі Месяц не можа поўнасю зацяніць Зямлю. Дыск Сонца будзе поўнасю закрыты толькі для назіральніка А, які знаходзіцца ўнутры месяцавага ценю, найбольшы дыяметр якога не перавышае 270 км. Толькі з гэтай параўнальна вузкай зоны зямной паверхні, куды падае цень ад Месяца, будзе бачным поўнае сонечнае зацьменне. Там жа, куды падае паўцень ад Месяца, унутры так званага конуса месяцавага паўценю, будзе бачным (для назіральнікаў В і С) **частковае сонечнае зацьменне**.

Калі ў момант зацьмення Месяц, які рухаецца па сваёй эліптычнай арбіце, будзе знаходзіцца на значным аддаленні ад Зямлі, то бачны дыск Месяца будзе занадта малым, каб поўнасю накрыць Сонца. Тады назіральнік А (рыс. 7.5) зможа ўбачыць вакол цёмнага дыска Месяца зіхатлівы абодок сонечнага дыска. Гэта — **кольцападобнае зацьменне**. Для назіральнікаў В і С такое сонечнае зацьменне будзе частковым.

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



Рыс. 7.4. Схема поўнага сонечнага зацьмення (для назіральнікаў А, В, С)

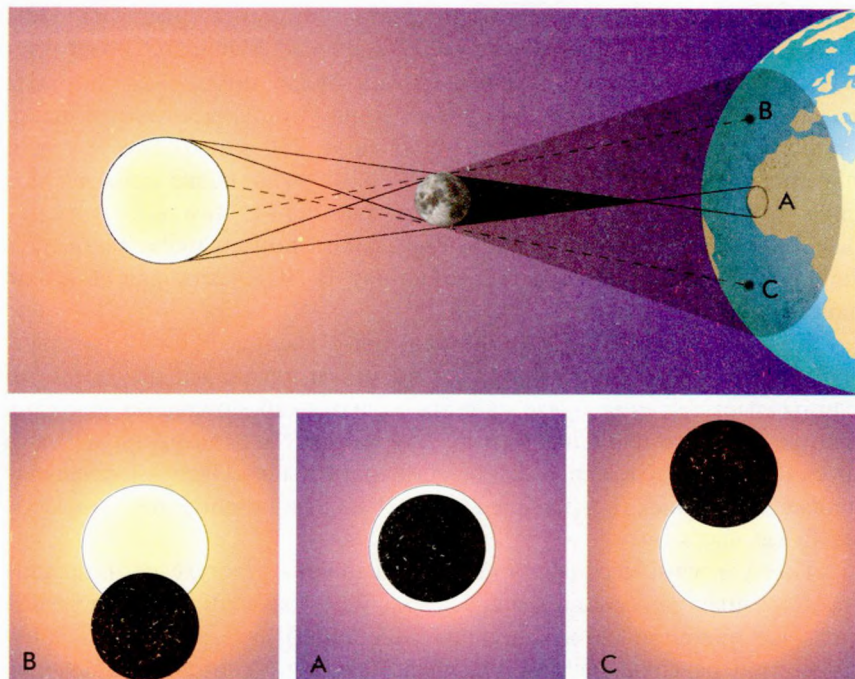
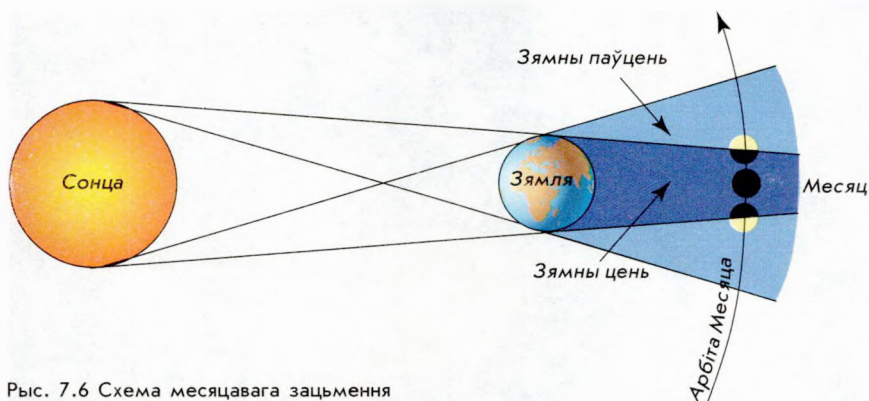


Рис. 7.5. Схема кільцеподобного сонячного затемнення (для назіральника у А, В, С)

Штогод буває ад двух да пяці сонячних затемнень, у апошнім выпадку — абавязкова частковых. У сярэднім у адным і тым жа месцы Зямлі поўнае сонечнае затемненне можна назіраць надзвычай рэдка — толькі адзін раз за 200—300 гадоў, а працягласць поўнай ці кільцеподобнай фазы складае ўсяго толькі 2—3 мін. Працягласць поўнага сонячнага затемнення не перавышае 7 мін 40 с. Таму астраномы старанна рыхтуюцца да назірання затемнення, каб паспець вывучыць знешнія абалонкі Сонца.

Месяцавыя затемненні адбываюцца тады, калі Месяц трапляе ў зямны цень, які таксама мае форму конуса і абкружаны паўцеменем (рис. 7.6). Пры частковым паглыбленні Месяца ў зямны цень месяцавае затемненне называецца **частковым ценявым**, а пры поўным паглыбленні — **поўным ценявым затемненнем**. З-за таго што зямны цень накіраваны ў бок, процілеглы Сонцу, Месяц можа прайсці праз яго толькі ў поўню. Месяц паступова паглыбляецца ў зямны цень сваім левым краем. Пры поўным затемненні ён набывае буры ці цёмна-чырвоны колер (рис. 7.7), таму што сонечнае святло пасля пераламлення ў зямной атмасферы асвятляе Месяц пераважна чырвонымі прамянямі, якія менш рассеиваюцца і аслабляюцца зямной атмасферай.



Рыс. 7.6 Схema месяцавага зацьмення

Як правіла, штогод адбываецца адно-два месяцавых зацьменні, але бываюць гады, калі зацьменняў не бывае зусім. Месяцавыя зацьменні бачныя з усяго начнога паўшар'я Зямлі, дзе ў гэты час Месяц знаходзіцца над гарызонтам. Таму ў кожнай мясцовасці яны назіраюцца часцей за сонечныя зацьменні, хаця адбываюцца прыкладна ў 1,5 раза радзей. Найбольшая працягласць месяцавага зацьмення дасягае 1 гадз 40 мін.

Яшчэ ў VI ст. да н. э. было ўстаноўлена, што прыкладна праз 18 гадоў і 11,3 сутак усе зацьменні паўтараюцца ў адной і той жа паслядоўнасці. Гэты перыяд называецца **сарасам** (у перакладзе з егіпецкага — перыяд, паўтарэнне). На працягу сарасу ў сярэднім адбываецца 70—71 зацьменне, з якіх 42—43 сонечных і 28 месяцавых.

Ведаючы працягласць сарасу, можна прыблізна прадказваць час надыходу зацьменняў. У наш час сонечныя і месяцавыя зацьменні з вялікай дакладнасцю вылічаны на тысячы гадоў назад і на сотні гадоў наперад (гл. Дада-так 5). Астраномы неаднойчы ўдакладнялі даты гістарычных падзей, якія, паводле летапісаў, супадалі з такімі неардынарнымі прыроднымі з'явамі.

Чаму сонечныя і месяцавыя зацьменні бываюць не кожны месяц? З чым звязана з'ява сарасу? Здавалася б (гл. рыс. 7.4—7.6), што зацьменні павінны адбывацца пры кожным абароце Месяца вакол Зямлі. На самай справе такога не здараецца, таму што плоскасць месяцавай арбіты не супадае з плос-



Рыс. 7.7. Выгляд Месяца пры поўным месяцавым зацьменні

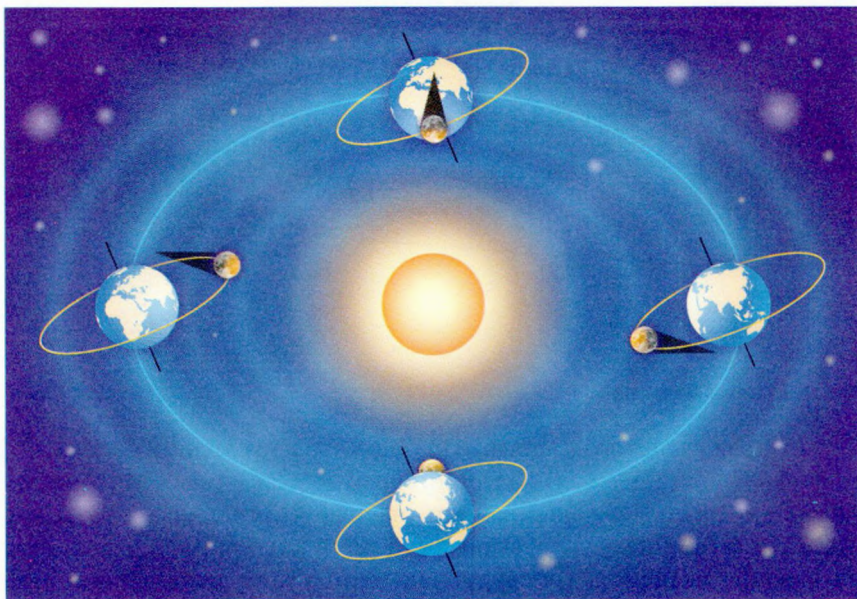


Рис. 7.8. Плоскасць месяцавай арбіты не супадае з плоскасцю экліптыкі

касцю экліптыкі. Бачны шлях руху Месяца на небе перасякаецца пад вуглом $5^{\circ}09'$ з экліптыкай — бачным шляхам руху Сонца на фоне зорак. Таму Месяц у час маладзіка ці поўні можа знаходзіцца далёка ад плоскасці экліптыкі, і тады яго дыск праходзіць вышэй або ніжэй за дыск Сонца ці конуса ценю Зямлі. Зацьменні адбываюцца тады, калі Месяц знаходзіцца паблізу ад пунктаў перасячэння месяцавай арбіты з экліптыкай (рыс. 7.8).

Пытанні і практыкаванні

1. Якія асаблівасці сутачнага руху Сонца на розных шыротах? 2. Ці можа ў нашай краіне Сонца назірацца ў зеніце? Чаму? 3. Чаму Месяц павернуты да Зямлі заўсёды адным і тым жа сваім бокам? 4. У чым адрозненне сідэрычнага і сінадычнага месяцаў? Чым абумоўлена іх розная працягласць? 5. Што разумеюць пад месяцавай фазай? Апішыце фазы Месяца. 6. Сіпа Месяца павернуты выпукласцю ў правы бок і блізкі да гарызонта. У якім баку гарызонта ён знаходзіцца? 7. Чаму адбываюцца сонечныя і месяцавыя зацьменні? 8. Ахарактарызуйце 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 месяцавыя — не кожную поўню? 11. Што такое сарас? Якая яго перыядычнасць?

§ 8. ЗАКОНЫ КЕПЛЕРА

1. Першы закон Кеплера. Да канца XVI ст. вучоным з дапамогай тэорый, якія існавалі ў той час, не ўдавалася дакладна вылічыць адноснае месцазнаходжанне планет на некалькі гадоў наперад. Тэарэтычныя вылічэнні прыкметна адрозніваліся ад вынікаў назіранняў. Прычына была ў памылковым меркаванні, што планеты раўнамерна рухаюцца па строга кругавых арбітах вакол Сонца. Кінематычныя законы руху планет былі адкрыты толькі ў пачатку XVII ст. аўстрыйскім астраномам і матэматыкам Іаганам Кеплерам. Ён першым разбурыў усталяваныя погляды аб «дасканаласці» арбіт планет, калі паказаў іх эліптычнасць.

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

Адрэзак AB (рыс. 8.1) называецца **вялікай воссю**, а адрэзак CD — **малой воссю** эліпса. Адрэзкі $AO = OB = a$, $CO = OD = b$ называюцца адпаведна **вялікай** і **малой паўвосьямі** эліпса. Суадносіны

$$e = \frac{OF_1}{a} = \frac{OF_2}{a} \quad (8.1)$$

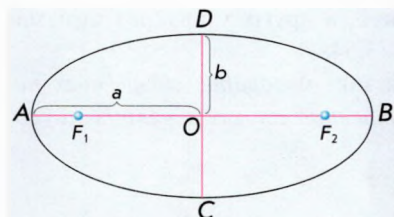
называюцца **эксцэнтрысітэтам** эліпса. Чым большы эксцэнтрысітэт эліпса, тым больш зрушаны фокусы адносна цэнтра і тым большай будзе рознасць паміж вялікай і малой паўвосьямі. Г. зн. эксцэнтрысітэт з'яўляецца мерай «сплясканасці» эліпса.

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

Калі Сонца знаходзіцца ў фокусе F_1 , тады найбліжэйшы да Сонца пункт (A) арбіты планеты называецца **перыгеліем**, а найбольш аддалены (B) — **афеліем**. Абазначым $AF_1 = q$ — **перыгелійную адлегласць**, а $OF_1B = Q$ — **афелійную адлегласць**. З рыс. 8.1 вынікае, што $q + OF_1 = a$; $OF_1 = a \cdot e$, тады

$$q = a - a \cdot e = a(1 - e), \quad (8.2)$$

$$Q = a(1 + e). \quad (8.3)$$



Рыс. 8.1. Элементы эліпса

У зямной арбіты $e = 0,017$. Зямля бывае ў перыгеліі 2 студзеня, тады перыгелійная адлегласць роўная 147 млн км, а ў афеліі — 3 чэрвеня, калі афелійная адлегласць роўная 152 млн км.



Рыс. 8.2. Ілюстрацыя другога закону Кеплера

2. Другі закон Кеплера. Пры вывучэнні руху Марса ў прасторы Кеплер заўважыў, што планета рухаецца па арбіце нераўнамерна — зімой хутчэй, чым летам. Ён пачаў шукаць заканамернасць, паводле якой адбываецца змена скорасці Марса, і прапанаваў гіпотэзу, што скорасць павінна быць адваротна прапарцыянальнай адлегласці ад Марса да Сонца. Для пунктаў перыгелія і афелія гіпотэза пацвердзілася. Тады Кеплер умоўна падзяліў арбіту Марса на 360 частак і пачаў правяраць сваю гіпотэзу для кожнай з гэтых частак. Назіранні і разлікі паказалі, што за роўныя прамежкі часу Марс праходзіць роўныя плошчы сектараў арбіты.

Сучасная фармулёўка гэтай залежнасці, пашыраная на ўсе планеты, носіць назву **другога закону Кеплера** і мае выгляд: *радыус-вектар планет* (лінія, што злучае цэнтр Сонца і цэнтр планеты) *апісвае за роўныя прамежкі часу роўныя плошчы*.

Другі закон Кеплера, ці закон плошчаў, адлюстраваны на рыс. 8.2. Пры руху планеты (P) вакол Сонца (S) яе радыус-вектар за аднолькавыя прамежкі часу апісвае роўныя па плошчы фігуры — P_1SP_2 і P_3SP_4 . Такім чынам, скорасць руху планеты па арбіце змяняецца і мае найбольшае значэнне ў перыгеліі і найменшае ў афеліі.

3. Трэці закон Кеплера. Пры параўнанні памераў арбіт і перыядаў абарачэння планет вакол Сонца Кеплер выявіў, што квадраты перыядаў абарачэння планет прапарцыянальныя кубам іх сярэдніх адлегласцей ад Сонца (ці суадносіны r^3/T^2 аднолькавыя для ўсіх планет).

Напрыклад, сярэдняя адлегласць ад Зямлі да Сонца суадносіцца з сярэдняй адлегласцю ад Марса да Сонца як 1:1,52 (паводле даных Кеплера), а іх перыяды абарачэння вакол Сонца — як 1 : 1,88. Пры ўзвядзенні першых суадносін у куб, а другіх у квадрат атрымаем амаль роўныя велічыні: 1/3,53 і 1/3,54.

Трэці закон Кеплера фармулюецца так: *квадраты сідэрычных перыядаў абарачэння дзвюх планет суадносяцца як кубы вялікіх паўвосьей іх арбіт*:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}. \quad (8.4)$$

Калі ў гэтай формуле прыняць сідэрычны перыяд абарачэння Зямлі вакол Сонца роўным 1 (адзін год) і вялікую паўвось зямной арбіты роўнай 1 (адна астранамічная адзінка), то формула (8.4) набывае выгляд:

$$T = \sqrt{a^3}. \quad (8.5)$$

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

Пытанні і практыкаванні

1. Сфармулюйце законы, якія ляжаць у аснове нябеснай механікі.
2. У Зямлі эксцэнтрысітэт арбіты роўны 0,017, а ў Плутона — 0,25. Арбіта якой з планет больш выцягнутая?
3. Ці змяняецца скорасць планеты, якая рухаецца па кругавой арбіце?
4. Прыміце арбіты Зямлі і Марса кругавымі і разлічыце працягласць года на Марсе. Пры рашэнні задачы ўлічыце, што Марс знаходзіцца ў 1,5 раза далей ад Сонца, чым Зямля.
5. Вызначце перыяд абарачэння штучнага спадарожніка Зямлі, калі найвышэйшы пункт яго арбіты над Зямлёй 5000 км, а найніжэйшы — 300 км. Зямлю лічыце шарам радыусам 6370 км.

§ 9.

ЗАКОН СУСВЕТНАГА ПРЫЦЯГНЕННЯ НЬЮТАНА

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 нявысветленым, чаму планеты рухаюцца? Што прымушае 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, якая не мае ніякага дачынення да Сусвету. Аднак адкрыцці 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 зна-

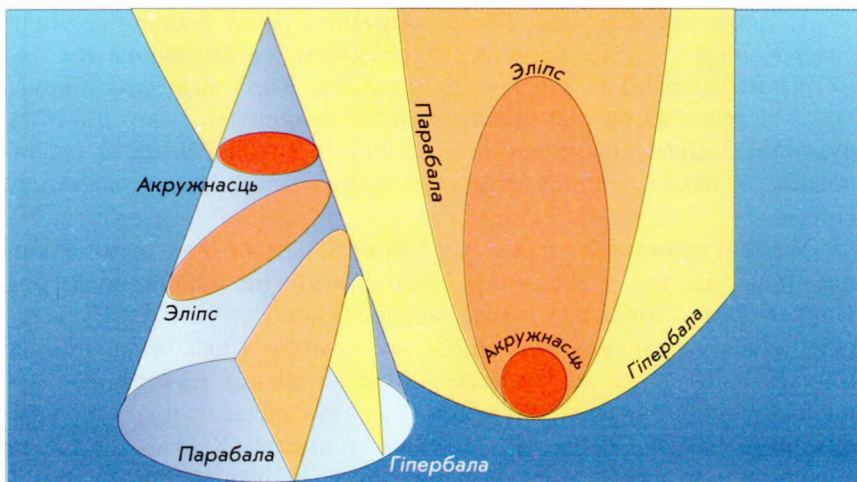
ходзяцца над паверхняй планет (напрыклад, Месяца ці Марса), уздзеінічае сіла цяжару, накіраваная да цэнтра планеты таксама, як на Зямлі. Такім чынам было пастаўлена пытанне аб узаемадзеянні гэтых цел. На аснове доследных даных Ньютан адкрыў тры асноўныя законы руху цел (закон інерцыі, закон дынамікі матэрыяльнага пункта, закон дзеяння і процідзеяння). На аснове трэцяга закону Кеплера і закону дынамікі Ньютан строга матэматычна абгрунтаваў **закон сусветнага прыцягнення**: *два целы прыцягваюцца адно да аднаго з сілай, прапарцыянальнай здабытку мас гэтых цел і адваротна прапарцыянальнай квадрату адлегласці паміж імі.*

Матэматычны выраз закону сусветнага прыцягнення мае выгляд:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}, \quad (9.1)$$

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

Формула (9.1) справядлівая ў тым выпадку, калі памеры цел нязначныя ў параўнанні з адлегласцю паміж імі. Два працяглыя шарападобныя целы са сферычна-сіметрычным размеркаваннем мас прыцягваюцца адно да аднаго таксама, як матэрыяльныя пункты, г. зн. так, калі б іх масы былі засяроджаны ў іх цэнтрах. Адлегласць r трэба адлічваць ад цэнтраў гэтых цел.



Рыс. 9.1. Атрыманне арбітальных крывых пры сячэнні конуса плоскасцю

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

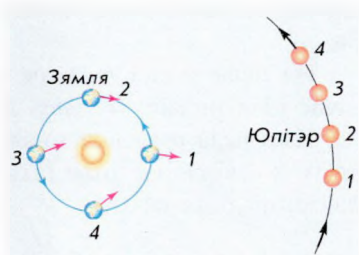
Такім чынам, Ньютан удакладніў і абагульніў першы закон Кеплера, які зараз фармулюецца так: *пад уздзеяннем прыцягнення адно нябеснае цела рухаецца ў полі прыцягнення другога нябеснага цела па адным з канічных сячэнняў — эліпсе, акружнасці, параболе ці гіпербале* (рыс. 9.1). *Пры руху па эліпсе цела, якое прыцягвае, заўсёды знаходзіцца ў адным з яго фокусаў.*

Навука, якая грунтуецца на законах Кеплера і Ньютана і вывучае рух нябесных цел, называецца **нябеснай механікай**. Нябесная механіка даследуе рух нябесных цел з улікам створаных імі палёў прыцягнення. Асноўная задача гэтай навукі ў тым, каб па вядомых пачатковым месцазнаходжанні цела (матэрыяльнага пункта) і яго пачатковай скорасці вызначыць яго месцазнаходжанне ў любы момант часу.

2. Узбурэнні ў руху нябесных цел. Рух цел, які строга падпарадкоўваецца законам Кеплера, называецца **няўзбураным**. Такая ідэалізацыя прадугледжвае ўлік узаемадзеяння толькі двух цел і апісвае, напрыклад, рух планеты пад уздзеяннем толькі прыцягнення Сонца. Задача двух цел была поўнасю вырашана Ньютанам (закон сусветнага прыцягнення).

Сапраўдны 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 рэальны рух цел — **узбураным рухам**.

Узбурэнні руху цел Сонечнай сістэмы маюць вельмі складаны характар. Яны невялікія, таму што масы асобных планет вельмі малыя ў параўнанні з масай Сонца. У якасці прыкладу разгледзім, як змяняюцца ўзбуральныя сілы, якія дзейнічаюць на Зямлю, у полі прыцягнення Юпітэра на працягу аднаго года. За гэты час Зямля здзяйсняе адзін абарот, а Юпітэр — толькі $1/12$ абарота вакол Сонца (рыс. 9.2). Стрэлкамі адзначаны напрамкі ўзбуральных сіл праз кожную чвэрць года. У выніку ў месцазнаходжанні 2 скорасць Зямлі будзе запавольвацца



Рыс. 9.2. Тлумачэнне ўзбурэнняў Зямлі, выкліканых Юпітэрам, з перыядам у 1 год

з-за прыцягнення Юпітэра і з-за гэтага ж у месцазнаходжанні 4 павялічвацца.

Рашэнне ўраўнення руху нават для трох цел — задача выключнай складанасці, аднак аналіз узбурэнняў дазваляе даволі дакладна вызначыць масу і месцазнаходжанне ўзбуральнага цела. Найбольш яскравым прыкладам такога аналізу стала адкрыццё планеты Нептун на аснове аналізу ўзбурэнняў, якія ёсць у руху Урана.

Паміж тэарэтычнымі разлікамі руху Урана і вынікамі назіранняў выявіліся сістэматычныя разыходжанні. Тэарэтычна не растлумачаныя ўзбурэнні руху Урана прывялі нямецкага вучонага Ф. Беселя да высновы, што па-за арбітай Урана ёсць невядомая планета, якая і абумоўлівае бачныя адхіленні яго руху. Пятрабавалася вылічыць масу і месцазнаходжанне невядомай планеты па выкліканых ёю ўзбурэннях.

На аснове разлікаў, якія практычна адначасова і незалежна адзін ад аднаго выканалі англійскі астраном Дж. Адамс і французскі астраном У. Левер'е, у 1846 г. нямецкі астраном І. Гале выявіў новую планету ўсяго толькі ў 1° ад папярэдне вылічанага месца. Яе назвалі Нептунам. Адкрыццё Нептуна «на кончыку пярэ» стала пераканаўчым пацвярджэннем справядлівасці вучэння Каперніка і законаў нябеснай механікі.

Узбуральнае ўздзеянне планет зазнаюць астэроіды і каметы. Устаноўлена, што Юпітэр вызначае эвалюцыю астэроіднага кальца, таму нельга не ўлічваць узбуральны, хаця і невялікі, уплыў гэтага гіганта.

Ніводнае нябеснае цела ў Сонечнай сістэме не можа рухацца дакладна па акружнасці, эліпсе, параболе ці гіпербале. Усе адхіленні (узбурэнні) ад «класічных» арбіт маюць складаны характар, а іх улік надзвычай цяжкі.

3. Вызначэнне масы Зямлі. Адною з найважнейшых характарыстык нябеснага цела з'яўляецца яго маса. Закон сусветнага прыцягнення дазваляе 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, па закону сусветнага прыцягнення (9.1), паскарэнне свабоднага падзення роўнае:

$$g = G \frac{M}{R_{\text{З}}^2}$$

і накіраванае да цэнтра Зямлі.

Таму, калі ведаць, 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 $M = \frac{gR^2}{G}$ вызначыць масу Зямлі: $M = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ кг}$.

Сярэдняю шчыльнасць Зямлі можна вылічыць, калі ведаць яе масу і аб'ём. Сярэдняя шчыльнасць будзе роўная $5,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Аднак шчыльнасць Зямлі не з'яўляецца пастаяннай велічынёй. З павелічэннем глыбіні яна ўзрастае.

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

1. Вымярэннем сілы цяжару на паверхні дадзенага цела.

2. Паводле трэцяга абагульненага закону Кеплера.

3. На аснове аналізу бачных узбурэнняў, выкліканых нябесным целам у руху іншых нябесных цел.

Першы спосаб мы разглядалі вышэй у дачыненні да Зямлі.

Перш чым разглядаць другі спосаб, давайце праверым выкананне трэцяга закону Кеплера для выпадку кругавога руху планеты са скорасцю v_k .

Няхай цела масай m рухаецца з лінейнай скорасцю v_k вакол цела масай M ($m \ll M$) па акружнасці радыуса r_k (рыс. 9.3). Гэта магчыма, калі рух адбываецца пад уздзеяннем сілы, якая стварае цэнтраімклівае паскарэнне $a = \frac{v_k^2}{r_k}$. Сілай, якая стварае цэнтраімклівае паскарэнне, з'яўляецца сіла прыцягнення, роўная $\frac{GMm}{r^2}$.

Калі прыраўняць $\frac{v_k^2}{r_k}$ да паскарэння $\frac{GM}{r^2}$, створанага прыцягненнем, то атрымаем, што

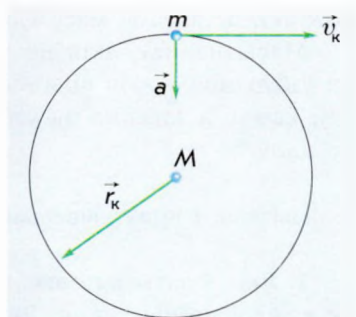
$$v_k^2 = \frac{GM}{r_k}. \quad (9.2)$$

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

$$v_k = \frac{2\pi r_k}{T}. \quad (9.3)$$

Калі падставіць (9.3) у (9.2), атрымаем

$$\left(2\pi \frac{r_k^2}{E}\right) = \frac{GM}{r_k}, \text{ або}$$



Рыс. 9.3. Кругавы рух цел

$$\frac{r_k^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2}. \quad (9.4)$$

Для еліптычнага руху формула (9.4) таксама будзе справядлівая, калі замест радыуса акружнасці r_k падставіць вялікую паўвось a еліптычнай арбіты. У гэтым выпадку атрымаем суадносіны

$$\frac{a^3}{T^2 M} = \frac{G}{4\pi^2}, \quad (9.5)$$

якія можна сфармуляваць такім чынам: *суадносіны куба вялікай паўвосі арбіты цела да квадрата перыяду яго абарачэння і масы цэнтральнага цела ёсць велічыня пастаянная.*

Калі масу m меншага цела нельга адкінуць у параўнанні з масай M цэнтральнага цела, то ў трэці закон Кеплера, як паказаў Ньютан, замест масы ўвойдзе сума мас $(m + M)$ і суадносіны (9.5) набудуць выгляд:

$$\frac{a^3}{T^2 (M + m)} = \frac{G}{4\pi^2}. \quad (9.6)$$

Калі абагульніць (9.6) для двух нябесных цел масамі M_1 і M_2 , атрымаем формулу:

$$\frac{T_1^2 (M_1 + m_1)}{T_2^2 (M_2 + m_2)} = \frac{a_1^3}{a_2^3}, \quad (9.7)$$

г. зн. квадраты сідэрычных перыядаў спадарожнікаў (T_1^2 і T_2^2), памножаныя на суму мас галоўнага цела і спадарожніка ($M_1 + m_1$ і $M_2 + m_2$), суадносяцца як кубы вялікіх паўвось арбіт спадарожнікаў (a_1^3 і a_2^3).

На аснове ўдакладненага Ньютанам трэцяга закону Кеплера (9.7) можна другім спосабам вылічыць масы планет, якія маюць спадарожнікі, а таксама масу Сонца.

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

Пытанні і практыкаванні

1. Якія задачы вырашае нябесная механіка? 2. Сфармулюйце закон сусветнага прыцягнення. Якія асаблівасці выкарыстання гэтага закону для правядзення разлікаў? 3. Ньютану было вядома, што перыяд

абарачэння Месяца вакол Зямлі складае $T = 27,3$ сутак, а адлегласць r ад цэнтра Зямлі да Месяца ў 60 разоў большая за радыус Зямлі. Вызначце цэнтраімклівае паскарэнне Месяца, абумоўленае сілай прыцягнення. 4. Ахарактарызуйце няўзбураны і ўзбураны рух нябесных цел. 5. Як разумеюць у астраноміі «задачу двух цел»? «Задачу трох цел»? 6. Што азначае выраз: планета Нептун была адкрыта «на кончыку пярэ»? 7. Як Ньютан абагульніў законы Кеплера? 8. Як можна вылічыць масу Зямлі, Сонца?

§ 10.

ВЫЗНАЧЭННЕ ПАМЕРАЎ НЯБЕСНЫХ ЦЕЛ І АДЛЕГЛАСЦЕЙ ДА ІХ У СОНЕЧНАЙ СІСТЭМЕ

1. Вызначэнне памераў Зямлі. Шарападобнасць Зямлі дазваляе вызначыць яе памеры спосабам, які прапанаваў ў III ст. да н. э. грэчаскі вучоны *Эратасфен Кірэнскі*. Ідэя Эратасфена заключаецца ў наступным. На адным і тым жа геаграфічным мерыдыяне зямнога шара выберам два пункты O_1 і O_2 (рыс. 10.1). Абазначым даўжыню дугі мерыдыяна O_1O_2 праз ℓ , а яе вуглавое значэнне праз n (у градусах). Тады даўжыня дугі 1° мерыдыяна ℓ_0 будзе роўнай:

$$\ell_0 = \frac{\ell}{n},$$

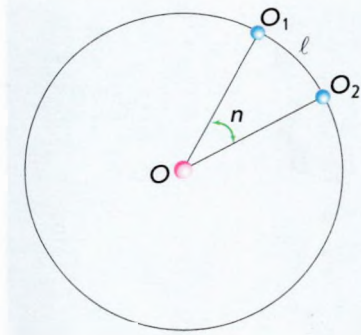
а даўжыня ўсёй акружнасці мерыдыяна:

$$L = 360^\circ \cdot \ell_0 = \frac{360^\circ \cdot \ell}{n} = 2\pi R,$$

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

Даўжыня дугі мерыдыяна паміж выбранымі на зямной паверхні пунктамі O_1 і O_2 у градусах роўная рознасці геаграфічных шырот гэтых пунктаў, г. зн. $n = \Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$.

Для вызначэння велічыні n Эратасфен выкарыстаў тую акалічнасць, што гарады Сіена і Александрыя знаходзяцца на адным мерыдыяне і адлегласць паміж імі вядома. З дапамогай простага прылады, якую вучоны назваў «скафіс», было выяўлена, што калі ў Сіене ў



Рыс. 10.1. Вылічэнне радыуса Зямлі

поўдзень дня летняга сонцастаяння Сонца асвятляе дно глыбокіх калодзежаў (г. зн. знаходзіцца ў зеніце), то ў гэты ж час у Александрыі Сонца адхіляецца ад вертыкалі на $1/50$ долю акружнасці ($7^{\circ}15'$). Такім чынам, на аснове вядомых даўжыні дугі ℓ і велічыні вугла n Эратасфен падлічыў, што даўжыня зямной акружнасці складае 39 690 км. Калі ўлічыць недакладнасць вымяральных прылад таго часу і ненадзейнасць зыходных даных, вынік вымярэнняў быў даволі задавальняючым (сапраўдная сярэдняя даўжыня акружнасці Зямлі роўная 40 010 км).

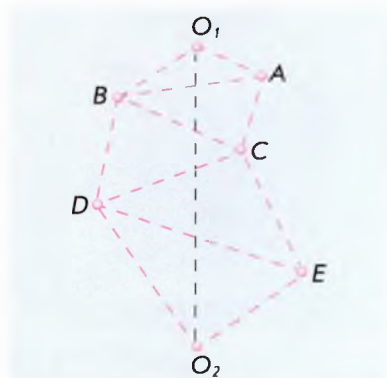
Непасрэднае дакладнае вымярэнне адлегласці ℓ паміж пунктамі O_1 і O_2 (гл. рыс. 10.1) ускладнена з-за натуральных перашкод (гор, рэк, лясоў і да т. п.). Таму даўжыня дугі ℓ вызначаецца шляхам вылічэнняў, якія патрабуюць вымярэння толькі адносна невялікай адлегласці — **базіса** і шэрага вуглоў. Гэты метад распрацаваны ў геадэзіі і называецца **трыягуляцый** (ад лацінскага *triangulum* — трохвугольнік).

Сутнасць яго ў наступным. З абодвух бакоў 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 з іх былі бачныя не менш за два іншыя пункты (рыс. 10.2).

Ва ўсіх пунктах устанаўліваюць геадэзічныя сігналы ў выглядзе вышак пірамідальнай формы вышыняў ад 6 да 55 м у залежнасці ад умоў мясцовасці. На версе кожнай вышкі ёсць пляцоўка для размяшчэння назіральніка і ўстаноўкі вугламернага інструмента — тэадаліта. Адлегласць паміж якімі-небудзь двума суседнімі пунктамі, напрыклад O_1 і A , выбіраецца на абсалютна роўнай паверхні і прымаецца за базіс трыягуляцыйнай сеткі. Даўжыню базіса старанна вымяраюць спецыяльнымі мернымі сружжамі.

Вымераныя вуглы ў трохвугольніках і даўжыня базіса дазваляюць па трыганаметрычных формулах вылічыць стораны трохвугольнікаў, а па іх — даўжыню дугі O_1O_2 з улікам яе крывізны.

Трыягуляцыйныя вымярэнні паказалі, што даўжыня дугі 1° мерыдыяна не аднолькавая на розных шыратах: каля экватара яна роўная 110,6 км, а каля полюсаў — 111,7 км, г. зн. павялічваецца да полюсаў. Гэта паказвае, што крывізна паверхні Зямлі ў палярных абласцях



Рыс. 10.2. Метад трыягуляцый

меншая, чым у экватарыяльных. Адсюль вынікае, што Зямля не мае формы ідэальнага шара, а блізкая да формы эліпсоіда вярчэння са

сцісканнем $\varepsilon = \frac{a-b}{a} = \frac{1}{298,3}$, дзе a — вялікая паўвось, якая ляжыць у плоскасці экватара; b — малая паўвось, якая супадае з воссю вярчэння Зямлі. Рознасць паміж сярэднімі экватарыяльным і палярным радыусамі Зямлі складае 21,4 км.

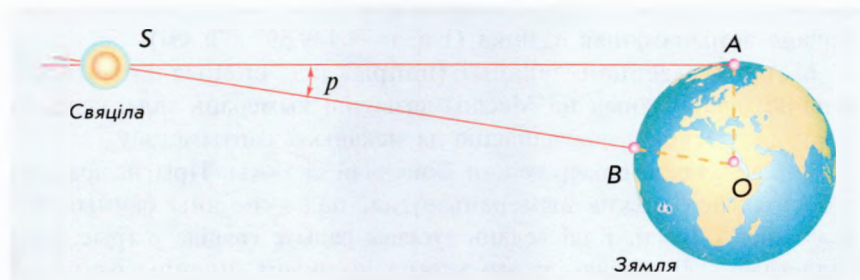
Сапраўдная форма Зямлі не можа быць прадстаўлена ніякім з вядомых геаметрычных цел. Напрыклад, рознасць паміж найбольшым і найменшым экватарыяльнымі радыусамі складае 213 м. Таму ў геадэзіі і гравіметрыі форму Зямлі лічаць **геоідам**, г. зн. целам з паверхняй, блізкай да паверхні спакойнага акіяна і прадоўжанай пад мацэрыкамі.

У наш час створаны трыягуляцыйныя сеткі са складанай радыёлакацыйнай 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 астраном І. Д. Жангаловіч (гл. Дадатак 16). На аснове вывучэння дынамікі руху штучных спадарожнікаў Зямлі ён удакладніў сцісканне нашай планеты і несіметрычнасць Паўночнага і Паўднёвага паўшар'яў.

2. Вызначэнне адлегласцей метадам гарызантальнага паралакса.

Уяўнае зрушэнне свяціла, абумоўленае перамяшчэннем назіральніка, называецца **паралактычным зрушэннем** ці **паралаксам** свяціла. Паралактычныя зрушэнні свяціла тым большыя, чым яно бліжэй да назіральніка і чым большае перамяшчэнне назіральніка.

Вызначэнне адлегласцей да цел Сонечнай сістэмы грунтуецца на вымярэнні іх гарызантальных паралаксаў. Вугал p , пад якім са свяціла бачны радыус Зямлі, перпендыкулярны да промня зроку, называецца **гарызантальным паралаксам** (рыс. 10.3). Чым большая адлегласць да свяціла, тым меншы вугал p .



Рыс. 10.3. Гарызантальны паралакс свяціла

Калі ведаць гарызантальны паралакс свяціла, то можна вызначыць яго адлегласць $D = SO$ да цэнтра Зямлі. Адлегласць да свяціла

$D = \frac{R_{\oplus}}{\sin p}$, дзе $R_{\oplus}$ — радыус Зямлі. Калі прыняць радыус Зямлі за адзінку, то адлегласць да свяціла будзе выражана ў зямных радыусах.

Напрыклад, паралакс Сонца $p_{\odot} = 8,8''$. Паралаксу Сонца адпавядае сярэдняя адлегласць ад Зямлі да Сонца, прыкладна роўная 150 млн км. Гэтая адлегласць прымаецца за адну **астранамічную адзінку** (1 а. а.). У астранамічных адзінках зручна вымяраць адлегласці паміж цэламі 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 лік 206 265 — колькасць секунд у адным радыяне. Тады

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

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

3. Радые́лакацыйны мета́д. Для вызначэння адлегласцей да цел Сонечнай сістэмы выкарыстоўваюцца найбольш дакладныя метады вымярэнняў — **радыёлакацыйныя вымярэнні**. Калі вымераць час t , неабходны для таго, каб радыёлакацыйны імпульс дасягнуў нябеснага цела, адбіўся і вярнуўся на Зямлю, адлегласць D да гэтага цела вылічваюць па формуле:

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

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

З дапамогай радые́лакацыі вызначаны найбольш дакладныя значэнні адлегласцей да цел Сонечнай сістэмы (гл. Дадатак 7), укладнены адлегласці паміж мацерыкамі Зямлі, больш дакладна вызначана астранамічная адзінка (1 а. а. = 149 597 870 км).

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

4. Вызначэнне памераў цел Сонечнай сістэмы. Пры назіраннях нябесных цел можна вымераць вугал, пад якім яны бачныя назіральніку з Зямлі. Калі ведаць **вуглавы радыус свяціла** p (рыс. 10.4) і адлегласць D да свяціла, то можна вылічыць лінейны радыус R гэтага свяціла па формуле:

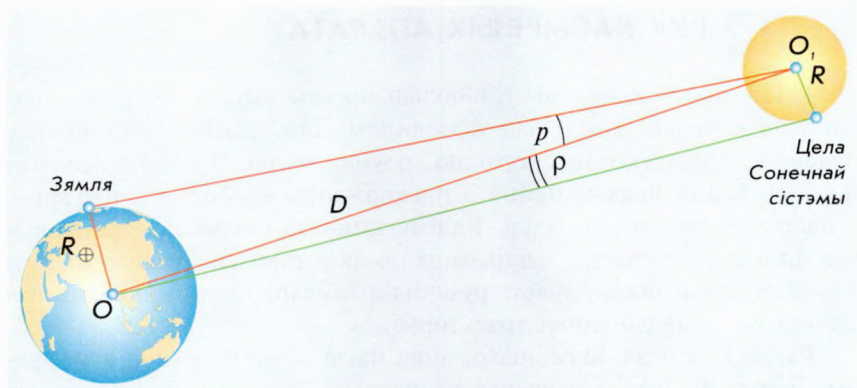


Рис. 10.4. Вызначэнне лінейных памераў цел Сонечнай сістэмы

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

Паводле вызначэння гарызантальнага паралакса, радыус Зямлі $R_{\oplus}$ бачны са свяціла пад вуглом ρ ; з улікам гэтага атрымаем:

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

З-за таго што значэнні вуглоў ρ і p малыя, канчаткова атрымаем, што

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

Такі спосаб вызначэння памераў нябесных цел прыдатны толькі тады, калі бачны іх дыск.

Пытанні і практыкаванні

1. Якім чынам грэчаскі вучоны Эратасфен вызначыў памеры Зямлі?
2. Як вызначаюць даўжыню дугі мерыдыяна трыягуляцыйным метадам?
3. Апішыце форму Зямлі па выніках апошніх вымярэнняў.
4. Што разумеюць пад гарызантальным паралаксам?
5. Як вызначыць адлегласць да свяціла, калі ведаць яго гарызантальны паралакс?
6. Што такое астранамічная адзінка?
7. На якой адлегласці ад Зямлі знаходзіцца Сатурн, калі яго гарызантальны паралакс роўны $0,9''$?
8. У чым сутнасць радыёлакацыйнага метаду вызначэння адлегласцей да нябесных цел?
9. Што неабходна ведаць, каб вылічыць памеры якога-небудзь цела Сонечнай сістэмы?
10. Найбольшы гарызантальны паралакс Марса роўны $23''$. Вылічыце адлегласць ад Зямлі да Марса.

§ 11. РУХ КАСМІЧНЫХ АПАРАТАЎ

1. Касмічныя скорасці. Найбольш просты выпадак руху цела 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 атмасферы. Дапусцім, што вектар яго пачатковай скорасці накіраваны па датычнай да паверхні Зямлі. У залежнасці ад значэння пачатковай скорасці далейшы рух цела можа быць розным:

а) пры малых пачатковых скорасцях ($v_{01}, v_{02}, v_{03}, \dots$) цела можа ўпасці на Зямлю;

б) пры некаторым пэўным значэнні скорасці v_1 (**першая касмічная скорасць**) цела можа стаць штучным спадарожнікам Зямлі і пачне абарацацца вакол яе аналагічна яе натуральнаму спадарожніку — Месяцу;

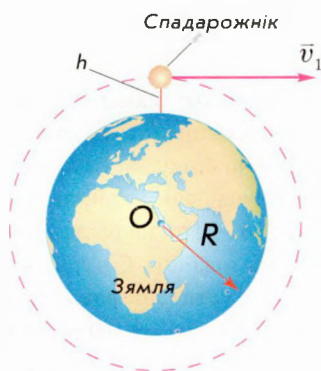
в) пры яшчэ большым павелічэнні значэння скорасці і дасягненні наступнага пэўнага значэння v_2 (**другая касмічная скорасць**) цела можа адысці ад Зямлі так далёка, што сіла зямнога прыцягнення практычна не будзе ўплываць на яго рух. Цела пачне абарацацца вакол Сонца, як штучная планета;

г) нарэшце, калі скорасць цела дасягне пэўнага крытычнага значэння v_3 (**трэцяя касмічная скорасць**), то дадзенае цела назаўсёды пакіне межы Сонечнай сістэмы і паляціць у сусветную прастору.

Разгледзім выпадак, калі цела ператвараецца ў штучны спадарожнік Зямлі, г. зн. вызначым першую касмічную скорасць v_1 . Знайдзем гэтую скорасць на аснове другога закону Ньютана пры ўмове, што пад уздзеяннем сілы прыцягнення цела набывае цэнтраімклівае паскарэнне:

$$G \frac{mM}{R_{\text{арб}}^2} = ma_{\text{ц}}. \quad (11.1)$$

дзе $R_{\text{арб}} = R + h$ — сярэдні радыус арбіты цела (рыс. 11.1), R — радыус Зямлі, h — вышыня над паверхняй Зямлі, M — маса Зямлі, m — маса цела (спадарожніка).



Рыс. 11.1. Рух спадарожніка па кругавой арбіце

Для цэнтраімклівага паскарэння $a_{ц} = \frac{v_1^2}{R_{арб}} = \frac{v_1^2}{R+h}$. Калі падставіць гэты выраз у (11.1), то пасля скарачэнняў атрымаем:

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

З улікам выразу для паскарэння свабоднага падзення $g = G \frac{M}{R^2}$ для першай касмічнай скорасці атрымаем:

$$v_1 = \sqrt{\frac{gR^2}{R+h}} = R \sqrt{\frac{g}{R+h}}.$$

Каля паверхні Зямлі можна лічыць, што $R \gg h$, тады першая касмічная скорасць (без уліку супраціўлення паветра) роўная

$$v_1 = \sqrt{gR} = \sqrt{9,8 \cdot 6,37 \cdot 10^6} = 7,9 \cdot 10^3 \text{ м/с}. \quad (11.2)$$

Такім чынам, цела, скорасць якога роўная 7,9 км/с, накіравана па датычнай адносна паверхні Зямлі, становіцца штучным спадарожнікам, 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):

$$v_2 = \sqrt{2gR}, \quad (11.3)$$

дзе R — радыус Зямлі.

Пры выкарыстанні выразу (11.2) знаходзім:

$$v_2 = v_1 \sqrt{2}. \quad (11.4)$$

Калі падставіць у (11.4) ужо вядомае нам значэнне першай касмічнай скорасці, атрымаем, што каля паверхні Зямлі $v_2 = 11,2 \cdot 10^3$ м/с. Другая касмічная скорасць называецца таксама скорасцю вызвалення (уцякання, выслізгвання) ці **парабалічнай скорасцю**.

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

Разлікі показваюць, што велічыня гэтай скорасці вылічваецца па формуле:

$$v_3 = \sqrt{(\sqrt{2}-1)^2 v^2 + v_2^2}, \quad (11.5)$$

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

Калі падставіць значэнне другой касмічнай скорасці v_2 у (11.5), пасля разлікаў атрымаем, што цела павінна мець скорасць не меншую за $v_3 \approx 16,7 \cdot 10^3$ м/с, каб назаўсёды пакінуць межы Сонечнай сістэмы.

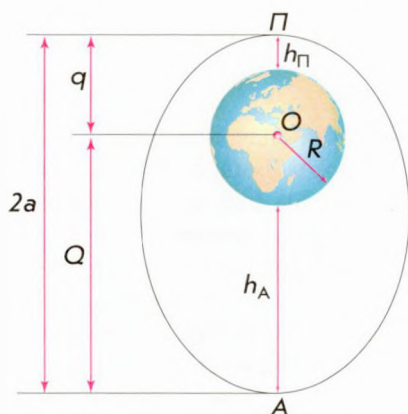
Паказальна, што касмічныя скорасці не залежаць ад масы цела, якому яны перадаюцца. Гэта відаць з формул (11.2), (11.3) і (11.5).

Касмічныя скорасці могуць быць вылічаны і для паверхняў іншых нябесных цел. Напрыклад, для Месяца першая касмічная скорасць складае $1,7 \cdot 10^3$ м/с, другая — $2,4 \cdot 10^3$ м/с. Другая касмічная скорасць для Венеры і Марса роўная, адпаведна, $10,4 \cdot 10^3$ і $5 \cdot 10^3$ м/с. Для таго каб выйсці па-за межы сферы прыцягнення Фобаса (аднаго са спадарожнікаў Марса), неабходна скорасць усяго толькі 14 м/с.

2. Арбіты касмічных апаратаў. Разлікі траекторый палётаў касмічных апаратаў грунтуюцца на законах нябеснай механікі. Адзначым, што рух касмічных апаратаў апісваецца па законах нябеснай механікі толькі пасля выключэння рэактыўных рухавікоў. На пасіўным участку траекторыі (г. зн., што рухавікі выключаны) касмічныя апараты рухаюцца пад уздзеяннем прыцягнення Зямлі і іншых цел Сонечнай сістэмы.

Элементы арбіты штучных спадарожнікаў Зямлі ўзаемазвязаны паміж сабой формулай:

$$v_0^2 = GM \left(\frac{2}{r_0} - \frac{1}{a} \right), \quad (11.6)$$



Рыс. 11.2. Эліптычная арбіта штучнага спадарожніка Зямлі

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

Эксцэнтрысітэт арбіты e пры гарызантальным запуску спадарожніка роўны:

$$e = 1 - \frac{q}{a}, \quad (11.7)$$

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

У випадку еліптичної орбіти (рис. 11.2): $q = a(1-e) = R + h_{\Pi}$, де h_{Π} — лінійна висота перигея над поверхнею Землі. Апогея (найбільш віддаленого пункту орбіти від центра Землі): $Q = a(1+e) = R + h_A$, де h_A — висота апогея над зямною поверхнею, R — радіус Землі.

Перед пачатком польоту космічного апарата на ту чи іншу планету його орбіта повинна бути точно розрахована. Зробити це досить складно, тому що треба врахувати багато різних факторів. Аднак як би точно ні були виконані розрахунки, невідомі невідомі відхилення космічного апарата від розрахованої орбіти. На рис. 11.3 показані орбіти космічних апаратів без уліку збурень, г. зн. калі апарати знаходяться поблизу від Землі. Калі ж апарат віддалиться від Землі на значну відстань, то на його подальший рух будуть впливати найперш тяжіння Сонця. Радіус сфери дії тяжіння Землі становить приблизно 930 тис. км; на межі цієї сфери вплив Сонця на космічний апарат дорівнює з впливом Землі. Момент досягнення межі сфери дії тяжіння Землі лічить момент виходу космічного апарата на орбіту відносно Сонця.

При запуску космічних апаратів до інших планет виходять з наступного:

1) геоцентрична швидкість космічного апарата при виході на орбіту відносно Землі повинна перевищувати другу космічну швидкість;

2) геліоцентрична орбіта космічного апарата повинна перетинати з орбітою заданої планети;

3) момент запуску необхідно вибрати так, щоб орбіта була найбільш вигідною (економічною) з точки зору термінів польоту, витрат палива і швидкості інших витрат.

Наближені розрахунки траєкторій космічних апаратів здійснюються з уліком того, що всередині сфери дії тяжіння Землі космічний апарат рухається по геоцентричній орбіті під впливом сили тяжіння тільки Землі, а після виходу з цієї сфери — по геліоцентричній орбіті під впливом сили тяжіння Сонця.

Одним з класів міжпланетних траєкторій є так звані **енергетично вигідні орбіти**, які відповідають найменшій геоцентричній швидкості космічного апарата у момент досягнення межі сфери Землі. На рис. 11.4

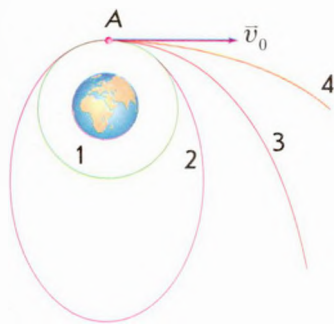


Рис. 11.3. Форми орбіт космічних апаратів

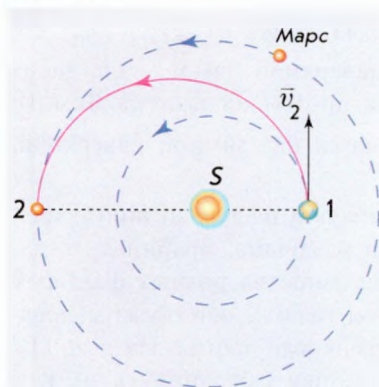


Рис. 11.4. Гоманаўская траекторыя пералёту з Зямлі на Марс

III

Момант запуску трэба выбраць так, каб касмічны апарат і Марс, якія рухаюцца па сваіх арбітах, адначасова дасягнулі пункта 2. Літарай S пазначана Сонца. Разлікі паказваюць, што час палёту ад Зямлі да Марса па гэтай траекторыі будзе роўны 259 суткам (без уліку параўнальна кароткага часу палёту да мяжы сферы дзеяння Зямлі).

Аналагічна можна разглядаць гоманаўскую траекторыю палёту да Венеры (рыс. 11.5). Касмічны апарат стартуе з Зямлі (пункт 1) і дасягае пункта 2, дзе ў гэты момант будзе знаходзіцца Венера, праз 146 сутак.

Траекторыі касмічных апаратаў могуць быць надзвычай складанымі з-за карэкцыі арбіт палётаў. Для прыкладу разгледзім схематычную траекторыю аўтаматычнай міжпланетнай станцыі «Піянер-11» (рыс. 11.6). У момант запуску станцыі 6 красавіка 1973 г. Зямля зна-

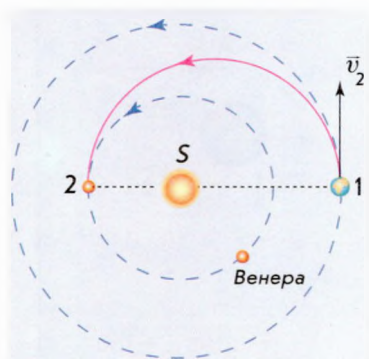


Рис. 11.5. Гоманаўская траекторыя пералёту з Зямлі на Венеру

паказана траекторыя пералёту на Марс, пабудаваная на меркаванні, што арбіты Зямлі і Марса кругавыя. Гэтая арбіта называецца гоманаўскай у гонар нямецкага астранома *Вальтэра Гомана*, які займаўся тэорыяй касмічных палётаў.

У момант запуску касмічнага апарата Зямля знаходзіцца ў пункце 1. Геліяцэнтрычная скорасць v_2 касмічнага апарата павінна быць накіравана гэтак жа, як і геліяцэнтрычная скорасць Зямлі, — па датычнай да арбіты Зямлі.

У канцы 1974 г. станцыя наблізілася да Юпітэра (пункт 2) і перадала на Зямлю інфармацыю аб гэтай планеце і яе спадарожніках, пасля чаго накіравалася далей. Аднак пры гэтым прыцягненне Юпітэра як бы павярнула касмічную станцыю на 3/4 абарота (г. зн. прымусіла зрабіць пятлю вакол планеты) і перавяло яе на траекторыю, накіраваную ў бок Сатурна. Амаль праз 5 гадоў пасля сустрэчы з Юпітэрам станцыя дасягнула Сатурна (пункт 3), прай-

шла на невялікай адлегласці ад яго, выканала праграму даследаванняў гэтай планеты, пасля чаго накіравалася далей у міжпланетную прастору.

3. Праблемы і перспектывы касмічных даследаванняў. Касманаўтыка — гэта комплексная галіна навукі і тэхнікі, якая забяспечвае даследаванні і выкарыстанне касмічнай прасторы з дапамогай аўтаматычных і пілтуемых касмічных апаратаў. Галоўнымі мэтамі касманаўтыкі (у парадку іх дасягнення) з'яўляюцца: вывядзенне 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 чалавечства здзейсніў палёт у космас на касмічным караблі «Усход». Трэцяя гістарычная падзея касманаўтыкі — першая месяцавая экспедыцыя, якая ажыццявілася 16—24 ліпеня 1969 г. амерыканскімі астранаўтамі Н. Армстрангам, М. Колінзам і Э. Олдрынам. Значны ўклад у даследаванне касмічнай прасторы ўнеслі і беларускія касманаўты П. І. Клімук і У. В. Кавалёнак, якія неаднаразова праводзілі касмічныя даследаванні ў 1973—1978 гг. у складзе розных экіпажаў. Палёты чалавека ў космас для нас сталі ўжо амаль паўсядзёнай з'явай.

Сучасная тэорыя касмічных палётаў — **астрадынаміка** — заснавана на класічнай нябеснай механіцы і тэорыі кіравання рухам лятальных апаратаў. Касманаўтыка патрабуе

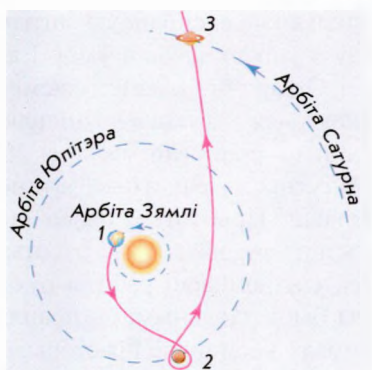


Рис. 11.6. Траектория палёту аўтаматычнай міжпланетнай станцыі «Піонер-11» да Юпітэра і Сатурна



Першы ў свеце касманаўт
Ю. А. Гагарын



Экіпаж касмічнага карабля «Саюз-30» — беларускі касманаўт П. І. Клімук і М. Гермашэўскі (Польшча)

дакладнай распрацоўкі аптымальных траекторый касмічных апаратаў з улікам шэрага ўмоў і абмежаванняў.

Стварэнне ракетна-касімічных комплексаў — таксама надзвычай складаная навукова-тэхнічная праблема. Вялікія ракеты-носьбіты дасягаюць стартавай масы да 3000 т і маюць даўжыню больш за 100 м. Магутнасць ракетных устаноўак вымяраецца дзесяткамі мільёнаў кілават. Пры гэтым даводзіцца вырашаць складаныя задачы ахаладжэння рухавіка ў час работы, дабівацца ўстойлівасці працэсу гарэння, сінхроннасці работы рухавікоў і г. д. Касмічныя апараты павінны быць здольнымі да працяглага самастойнага функцыянавання ва ўмовах касмічнай прасторы, акрамя таго, узнікае шэраг дадатковых медыка-біялагічных праблем (ахова ад касмічнага асяроддзя, жыццезабеспячэнне экіпажа і г. д.). Усё гэта патрабуе распрацоўкі спецыяльных сістэм. Забеспячэнне палёту касмічных апаратаў ажыццяўляецца шырокай сеткай наземных службаў кіравання.

III

Пытанні і практыкаванні

1. Апішыце першую, другую і трэцюю касмічныя скорасці. 2. Як можна вызначыць першую і другую касмічныя скорасці для іншых планет, акрамя Зямлі? 3. Па якіх арбітах могуць рухацца касмічныя апараты? Якім геаметрычным лініям адпавядаюць арбіты касмічных апаратаў для першай, другой і трэцяй касмічных скорасцей? 4. Якія арбіты касмічных апаратаў называюць гоманаўскімі? Начарціце гоманаўскія арбіты для палёту на Марс і на Венеру. 5. Раскажыце аб агульных праблемах касманаўтыкі. 6. Разлічыце час палёту ад Зямлі да Марса па гоманаўскай арбіце.

§ 12.

АГУЛЬНЫЯ ХАРАКТАРЫСТЫКІ ПЛАНЕТ.
ПАХОДЖАННЕ СОНЕЧНАЙ СІСТЭМЫ

1. Будова і склад Сонечнай сістэмы. Пад Сонечнай сістэмай разумеюць усю касмічную прастору і ўсю матэрыю, якая знаходзіцца ў сферы прыцягнення Сонца. Сонечная сістэма ўключае ў сябе: зорку Сонца, што знаходзіцца ў цэнтры сістэмы; планеты са спадарожнікамі; малыя целы (астэроіды, каметы, метэорныя целы), а таксама міжпланетны пыл, плазму і фізічныя палі ў паказаных межах (рыс. 12.1).

У Сонечнай сістэме ёсць 9 вялікіх планет. З аддаленнем ад Сонца яны размешчаны ў наступным парадку: Меркурый, Венера, Зямля, Марс, Юпітэр, Сатурн, Уран, Нептун і Плутон.

Планетай называюць вялікае нябеснае цела, якое рухаецца вакол Сонца ў яго гравітацыйным полі і свеціцца адбітым сонечным святлом. Вылучаюць планеты зямной групы (Меркурый, Венера, Зямля, Марс) і планеты-гігanty (Юпітэр, Сатурн, Уран, Нептун). Асобна стаіць Плутон, які з'яўляецца самым буйным аб'ектам астэроіднага пояса Койпера. Масы планет занадта малыя, каб унут-

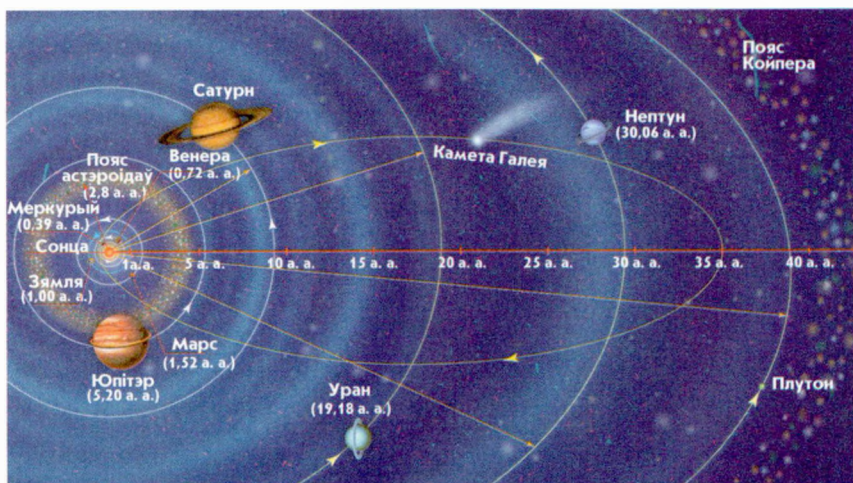


Рис. 12.1. Схема Сонечнай сістэмы

ры іх маглі працякаць характэрныя для зорак ядзерныя рэакцыі. Вакол планет, акрамя Меркурыя і Венеры, абарачаюцца спада-рожнікі, якіх зараз вядома ўжо больш за сто.

Па геліяцэнтрычных арбітах, пераважна паміж Марсам і Юпітэрам, рухаюцца малыя планеты, ці **астэроіды**. Іх памеры складаюць ад дзесяткаў метраў да тысячы кіламетраў. Цвёрдыя целы невялікіх памераў, якія рухаюцца ў міжпланетнай прасторы, называюцца **метэарытнымі цэламі**. Акрамя таго, па моцна выцягнутых арбітах рухаюцца ледзяныя целы — **каметы**, якія рэзка змяняюць сваё аблічча пры набліжэнні да Сонца.

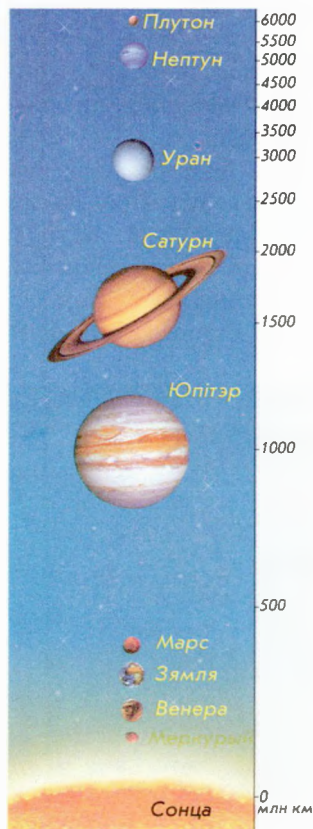
Асноўныя характарыстыкі планет Сонечнай сістэмы прыведзены ў Дадатках 7—10.

2. Асаблівасці будовы Сонечнай сістэмы. Сонечная сістэма мае наступныя характэрныя рысы, вядомыя з астранамічных назіранняў і касмічных даследаванняў.

1. Асноўная маса рэчыва Сонечнай сістэмы засяроджана ў Сонцы, якое ўяўляе сабой звычайную зорку. На масу ўсіх іншых састаўляючых сістэмы прыпадае 1/700 частка масы Сонца (рыс. 12.2). Такім чынам, дамінуючым у Сонечнай сістэме з'яўляецца гравітацыйнае поле Сонца.

2. Арбіты планет і большасці 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. Найбольшы нахіл і эксцэнтрысітэт мае Плутон.

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, за выключэннем Венеры, Урана і Плутона, якія абарачаюцца ў процілеглы бок. Пры гэтым вось вярчэння Урана амаль ляжыць у плоскасці



Рыс. 12.2. Параўнальныя памеры Сонца і планет

яго арбіты. Нахіл восі вярчэння іншых планет не перавышае 60° да плоскасці іх арбіт.

4. Велічыні вялікіх паўвосей планетных арбіт павялічваюцца паводле **правіла планетных адлегласцей Тычыуса — Бодэ**: $a = 0,4 + 0,3 \cdot 2^n$, дзе a — вялікая паўвось планетнай арбіты ў астранамічных адзінках. Паказчык n прымае значэнні: для Меркурыя $n = -\infty$, для Венеры $n = 0$, для Зямлі $n = 1$, і далей 2, 3, ..., 6 для іншых планет. Паводле гэтага правіла, паміж Марсам і Юпітэрам павінна быць планета, аднак яе месца занята поясам астэроідаў. Планета Нептун не падпадае пад гэтае правіла.

5. Планеты падзяляюцца на дзве групы, якія рэзка адрозніваюцца: зямнога тыпу і планеты-гігanty. **Планеты зямнога тыпу** — цвёрдыя целы, параўнальна невялікія, маламасіўныя, аднак з вялікай шчыльнасцю, больш павольным вярчэннем і малой колькасцю спадарожнікаў (ці без іх). Яны размешчаны паблізу ад Сонца. Да планет зямнога тыпу адносяцца, у парадку аддаленасці іх арбіт ад Сонца, — Меркурый, Венера, Зямля, Марс. **Планеты-гігanty** — Юпітэр, Сатурн, Уран, Нептун — больш масіўныя за планеты зямной групы, большыя па памерах і з меншай сярэдняй шчыльнасцю, вялікай скорасцю вярчэння і шматлікімі спадарожнікамі. Планеты-гігanty маюць магутныя атмасферы, якія складаюцца ў асноўным з вадароду і гелію.

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

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

Пералічаныя асаблівасці неабходна ўлічваць пры пабудове мадэлі (тэорыі) фарміравання ўсяго комплексу цел Сонечнай сістэмы, якое адбывалася мільярды гадоў таму.

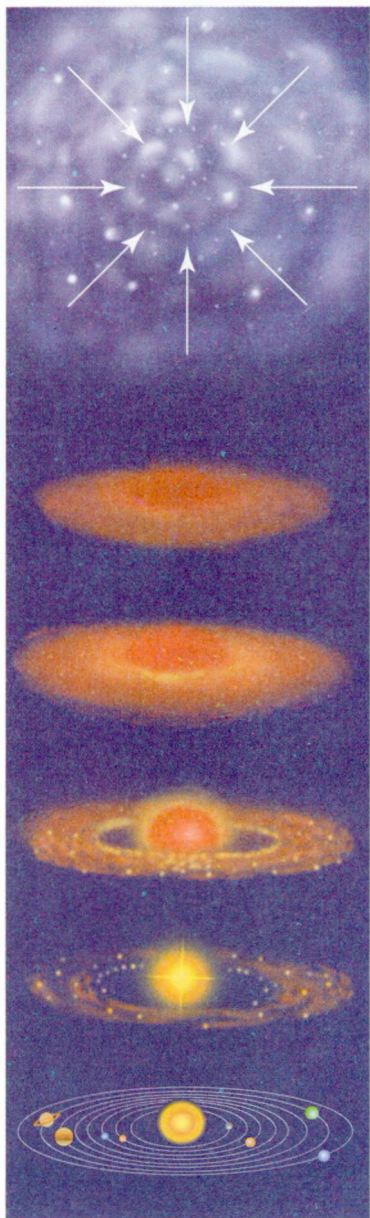
3. Паходжанне Сонечнай сістэмы. Для пабудовы тэорыі паходжання Сонечнай сістэмы неабходна ведаць узрост нябесных цел. Узрост цвёрдых цел вызначаецца па суадносінах утрымання ізатопаў свінцу (Pb^{206} і Pb^{207}), якія ўтварыліся ў пародах пры радыеактыўным распадзе ізатопаў урану (U^{238} і U^{235}), і прыроднага ізатопа свінцу (Pb^{204}). Паводле гэтага метаду, узрост найстаражытнейшых парод Зямлі дасягае 4,64 млрд гадоў. Аналіз парод, якія дастаўлены з Месяца, адпавядае ўзросту ад 2 да 4,5 млрд гадоў. Узрост жалезных і каменных метэарытаў ацэньваецца ад 0,5 да 5 млрд гадоў. Узрост асоб-

ных зорак і Сонца вызначаецца на аснове тэорыі будовы і эвалюцыі зорак. Для Сонца гэта прыблізна 5 млрд гадоў, што супадае з узростам іншых цел сістэмы. Адсюль вынікае, што Сонца і планеты сфарміраваліся з аднаго воблака пылу і газу.

Упершыню ідэя аб утварэнні Сонца і планет з рэчыва адзінай газавай туманнасці была сфармулявана І. Кантам у 1755 г. і дапрацавана П. Лапласам у 1796 г. Паводле гэтай гіпотэзы Сонечная сістэма ўтварылася з вярчальнага газавога воблака, якое сціскалася пад уздзеяннем гравітацыі і распадалася на фрагменты (рыс. 12.3). Аднак гэтая гіпотэза была беспадстаўнай з-за мноства супярэчнасцей. Вынікі фізіка-хімічных даследаванняў метэарытаў 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 калясонечнага дапланетнага воблака заняўся О. Ю. Шміт. Гэтая тэорыя развіваецца і ў наш час.

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

1. Каля 4,6 млрд гадоў таму адбыўся выбух звышновай зоркі паблізу ад месца нараджэння Сонечнай сістэмы. Ударная хваля ад выбуху распаўсюдзілася ў касмічнай прасторы. Пад яе ўздзеяннем пачало згушчацца газапылавое воблака, якое складалася з вадароду, гелію і розных па саставе часцінак, што ўтрымлівалі металы, а таксама рэдкія ізатопы цяжкіх хімічных элементаў. У ім утварыліся ўшчыльненні, узбагачаныя рэчывам звышно-



Рыс. 12.3. Гіпотэза ўтварэння Сонечнай сістэмы П. Лапласа

вай зоркі. Ушчыльненне, якое спачатку павольна вярцелася пад ўздзеяннем сіл гравітацыі, пачало сціскацца і пераўтварацца ў дыскападобнае газапылавае воблака. (Пазней у цэнтры гэтага дыскападобнага воблака ўтварыцца маладое Сонца.)

2. Паступова ў дыску газапылавага воблака маленькія пылінкі пачалі аб'ядноўвацца і захопліваць газы з навакольнай прасторы. З дробных часцінак утвараліся больш буйныя камякі, менавіта з якіх і фарміраваліся зародкі будучых планет (памерамі ў некалькі кіламетраў) — **планецезіمالі**, а пазней і самі планеты. Ва ўнутранай зоне лёгкія элементы (вадарод, гелій) пад уздзеяннем светлагага ціску пакідалі цэнтральныя часткі дыска і пераходзілі на перыферыю. Таму паблізу ад Сонца планецезіمالі фарміраваліся цалкам з камяністых мінералаў і злучэнняў металаў і ў рэшце рэшт пераўтварыліся ў планеты зямнога тыпу. Часцінкі ў сярэдняй халоднай зоне пакрываліся лёдам, ядры будучых планет-гігантаў хутка раслі, захопліваючы навакольны газ. У самай халоднай знешняй частцы дыска рэчыва, якое кандэнсавалася, было амаль цалкам ледзяным. Мноства асобных ледзяных планецезімалей і глыб утварылі ядры камет і аб'екты пояса Койпера.

Планеты зямной групы амаль дасягнулі сваіх памераў прыкладна праз 100 млн гадоў.

3. Далейшае гравітацыйнае сцісканне падымала тэмпературу ў нетрах протапланет да тэмпературы плаўлення жалеза. З гэтага часу цяжкія кампаненты пачалі аддзяляцца і імкнуцца да цэнтра планет, а больш лёгкія рэчывы — падымацца да паверхні. На працягу мільярдаў гадоў прадаўжалася ўтварэнне кары — знешняга слоя планет зямной групы. Разаграванне Зямлі, напрыклад, суправаджалася выдзяленнем газаў і вадзяной пары. Паступова вадзяная пара кандэнсавалася і ўтварала моры і акіяны, а газы — атмасферу. Паводле саставу першасная атмасфера істотна адрознівалася ад сучаснай.

У планет-гігантаў утвараліся напачатку масіўныя цвёрдыя ядры. Гэты працэс запатрабаваў найменей часу ў Юпітэра — ён працягваўся 30 млн гадоў. У Сатурна працэс утварэння працягваўся 200 млн гадоў, у Урана і Нептуна — каля 1 млрд гадоў. Юпітэр і Сатурн хутка набіралі масу, паглыналі адначасова і пылінкі, і газы. Планеты-гіганты складаюцца пераважна з вадароду і гелію. Уран і Нептун сфарміраваліся за кошт ледзяных планецезімалей.

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

Пытанні і практыкаванні

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. Якія планеты адносяць да планет зямнога тыпу? Дайце іх абагульненую характарыстыку. 5. Якія планеты адносяць да планет-гігантаў? Дайце іх абагульненую характарыстыку. 6. Як з дапамогай радыеактыўнага распаду вызначаюць узрост парод Зямлі? Які ўзрост найстаражытнейшых парод Зямлі? Мінералаў, якія прывезены з Месяца? Метэарытаў, якія ўпалі на Зямлю? 7. У чым сутнасьць гіпотэз І. Канта, П. Лапласа, О. Ю. Шміта аб паходжанні Сонца і планет? 8. Адзначце асноўныя этапы паходжання і ранняй эвалюцыі Сонечнай сістэмы.

IV

§ 13. ПЛАНЕТЫ ЗЯМНОЙ ГРУПЫ

1. Меркурый. Меркурый — самая блізкая да Сонца планета (рыс. 13.1). Яна пастаянна «хаваецца» ў сонечных прамянях, таму яе цяжка назіраць.

Па памерах і масе Меркурый больш блізкі да Месяца, чым да Зямлі. У Меркурыя няма атмасферы, яго паверхня не абаронена ад пякучых прамянёў Сонца 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 на Меркурыі роўныя 176 зямным.

Уся камяністая паверхня Меркурыя пакрыта шматлікімі кратэрамі (рыс. 13.2). Большасць з іх утварыліся ў выніку падзення метэарытаў.



Рыс. 13.1. Меркурый

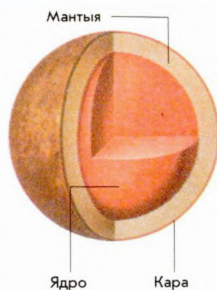


Рыс. 13.2. Басейн Калорыс на Меркурыі

ПАРАМЕТРЫ МЕРКУРЫЯ

Зорная велічыня	0,0
Сярэдняя адлегласць да Сонца	57,9 млн км
Перыяд абарачэння вакол Сонца	0,387 а. а.
Перыяд вярчэння вакол восі	58,8 зямных сутак

Дыяметр па экватары	4875 км
Маса (Зямля = 1)	0,055
Сярэдняя шчыльнасць	$5,4 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$
Сіла прыцягнення на экватары (Зямля = 1)	0,38
Тэмпература паверхні	ад -170 да $+430$ °C



Кратэры на картах Меркурыя названы ў гонар славутых прадстаўнікоў сусветнай культуры: Бетховен, Гамер, Дастаеўскі, Пушкін, Талстой і інш.

Вугал нахілу восі вярчэння Меркурыя перпендыкулярны яго арбіце, таму дно каляпалярных кратэраў ніколі не асвятляецца Сонцам. Гэтыя зоны з'яўляюцца сховішчамі вадзянога лёду, перамяшанага з горнай пародай.

Горы, якія сустракаюцца на Меркурыі, дасягаюць вышыні ўсяго 2—4 км. На планеце выяўлены ўступы вышынёй 2—3 км, што цягнуцца на сотні кіламетраў (рыс. 13.3). Магчыма, яны з'явіліся пры ўтварэнні планеты з-за нераўнамернага сціскання ў працэсе ахаладжэння.

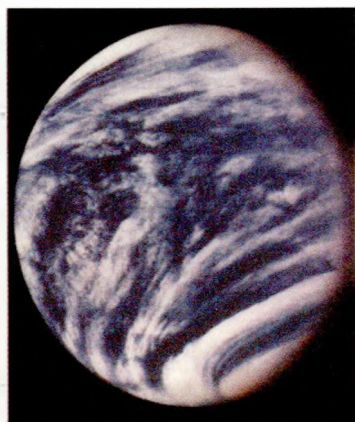
Паблізу ад паверхні Меркурыя выяўлены атамы гелію і вадароду, а таксама аргону і натрыю. Крыніцай іх з'яўляюцца сонечны вецер і рэчыва планеты, якое награвецца і абпрамняецца Сонцам.

Магнітнае поле планеты надзвычай малое, яго напружанасць у 100 раз меншая за зямную.

2. Венера. Венера — другая ад Сонца планета Сонечнай сістэмы (рыс. 13.4). Яна амаль такіх жа памераў, як і Зямля, а яе маса складае больш за 80 % ад зямной масы. На небе яна назіраецца раніцай ці вечарам



Рыс. 13.3. Крутыя ўступы на паверхні Меркурыя

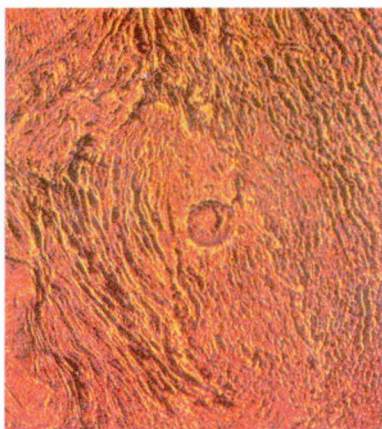
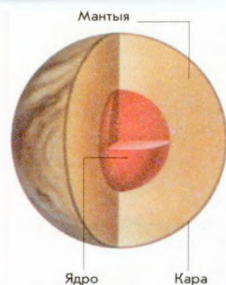


Рыс. 13.4. Венера. Фотаздымак зроблены ва ультрафіялетавых прамянях

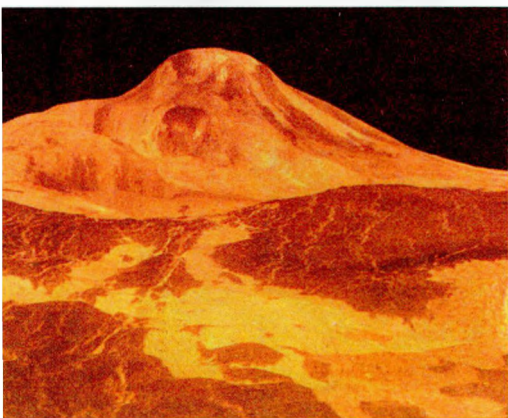
ПАРАМЕТРЫ ВЕНЕРЫ

Зорная велічыня	-4,4
Сярэдняя адлегласць да Сонца	108,2 млн км
Перыяд абарачэння вакол Сонца	0,723 а. а.
Перыяд абарачэння вакол восі	224,7 зямных сутак
Перыяд вярчэння вакол восі	243 зямных сутак

Дыяметр па экватары	12 104 км
Маса (Зямля = 1)	0,816
Сярэдняя шчыльнасць	$5,2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$
Сіла прыцягнення на экватары (Зямля = 1)	0,9
Тэмпература паверхні	470 °C



Рыс. 13.5. Венера. Раён Гор Максвела: вялікі кратэр дыяметрам каля 100 км

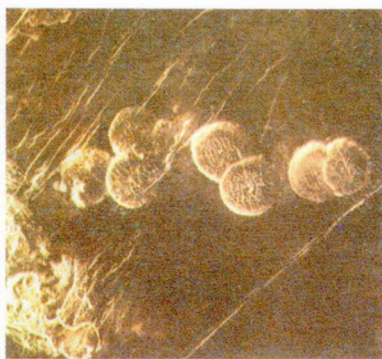


Рыс. 13.6. Гара Маат — патухлы вулкан на Венеры

у выглядзе вельмі яркага свяціла. Шчыльная атмасфера Венеры доўга захоўвала таямніцы яе паверхні. Вучоныя яшчэ ў сярэдзіне XX ст. думалі, што ўся планета пакрыта трапічнымі лясамі. Аднак савецкія касмічныя апараты «Венера», якія дасягнулі паверхні планеты, сфатаграфавалі мёртвую распаленую пустыню. Тэмпература паверхні дасягае 470 °C і амаль не змяняецца на працягу сутак. Шчыльныя воблакі прапускаюць мала сонечнага святла і ствараюць «змрочную» асветленасць нават тады, калі Сонца знаходзіцца высока над гарызонтам.

Большую частку паверхні займаюць раўніны. Самыя высокія горы, якія падымаюцца на 11 км над сярэднім узроўнем паверхні, — Горы Максвела. На Венеры выяўлены кратэры дыяметрам да соцень кіламетраў (рыс. 13.5). Буйныя кратэры названы ў гонар славутых жанчын свету (Ахматава, Войніч, Дункан, Арлова) ці проста жаночымі імёнамі (Антаніна, Вальянціна, Зоя, Ірына, Нана, Воля і інш.). Шырокія ўзвышшы-мацерыкі маюць назвы: Зямля Афродыты, Зямля Іштар, Зямля Лады і інш.

Каля 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 вулкан (рыс. 13.6) — гара Маат, названая так у гонар егіпецкай багіні ісціны і парадку, — уздымаецца над навакольнай раўнінай амаль на 8 км. Асобныя вулканы дасягаюць вышыні 3 км пры шырыні каля падножжа 500 км. Шматлікія застылыя пазуры лавы маюць купалападобную форму (рыс. 13.7).



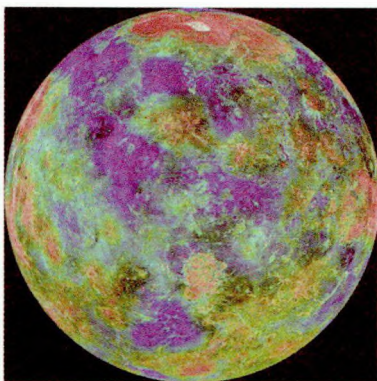
Рыс. 13.7. Застылыя пазуры вулканічнай лавы на Венеры. Радыеалакацыйны відарыс, перададзены касмічным караблём «Магелан» у 1991 г.

Для даследавання рэльефу планеты выкарыстоўваўся метад радыеалакацыі. Аўтаматычная міжпланетная станцыя «Магелан» з 1990 да 1994 г. правяла глабальную радыеалакацыйную паверхню Венеры. На аснове атрыманых даных былі складзены рэльефныя карты, і з'явілася магчымасць узнавіць дэталі паверхні ў аб'ёмным адлюстраванні (рыс. 13.8).

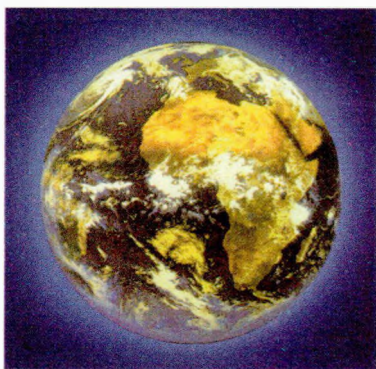
Атмасфера Венеры складаецца ў асноўным з вуглякіслага газу (гл. Дадатак 8). Ціск каля паверхні планеты ў 95 разоў большы, чым каля паверхні Зямлі. З-за такога хімічнага саставу, а таксама вялікай шчыльнасці атмосфера Венеры ўяўляе сабой вялікі парнік. Парніковы эфект і абумоўлівае высокую тэмпературу паверхні.

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

Магнітнае поле Венеры вельмі малое з-за павольнага вярчэння планеты вакол восі. Яго напружанасць у 105 разоў меншая, чым у зямнога. Магнітасфера амаль поўнасцю адсутнічае, таму паток зараджаных часцічак, якія ідуць ад Сонца і сутыкаюцца з атмасферай планеты, захоплівае яе рэчыва і



Рыс. 13.8. Рэльефная карта паверхні Венеры, складзеная па выніках радыеалакацыйных даследаванняў касмічнага апарата «Магелан»



Рыс. 13.9. Фатаграфія Зямлі з космасу

мы спынімся больш падрабязна на будове яе нетраў. Мадэлі ўнутранай будовы Зямлі і астатніх планет зямной групы прыкладна падобныя.

Па запісах ваганняў зямной паверхні пры землетрасеннях — **сейсмаграмах** — было ўстаноўлена, што ўнутраная будова планеты па вертыкалі слаістая. Па хімічным саставе і фізічных характарыстыках вылучаюцца 3 асноўныя сферычныя абалонкі: цвёрдая кара, мантыя (абалонка) і ядро. Самы тонкі знешні слой — **цвёрдая кара**. У Зямлі яна распасціраецца ў сярэднім на глыбіню 35 км (акіянічная кара — 10 км, кантынентальная кара — 70 км). Па хімічным саставе зямная кара складаецца пераважна з аксідаў крэмнію (55 %), алюмінію (15 %), кальцыю (8 %), жалеза (6 %), магнію (5 %). Агульная маса зямной кары складае ўсяго 0,8 % ад агульнай масы Зямлі. Кара аддзяляецца ад наступнай за ёй **мантыі** выразнай мяжой.

Ядро — найбольш шчыльная частка планетных нетраў. У цэнтры Зямлі шчыльнасць рэчыва дасягае $13\,500\text{ кг/м}^3$, а тэмперату-

фарміруе іонны шлейф. Касмічная абсерваторыя SOHO выявіла, што гэты «хвост» расцягваецца на 45 млн км, г. зн. дасягае Зямлі.

3. Зямля. Зямля — трэцяя ад Сонца планета Сонечнай сістэмы. З космасу наша планета выглядае прыгожым блакітным шарам (рыс. 13.9). Праз воблачнае покрыва можна разгледзець мацерыкі і акіяны.

Дэталі паверхні Зямлі і ўмовы жыцця добра вам вядомыя, і таму

IV



ПАРАМЕТРЫ ЗЯМЛІ

Вугал нахілу экватара да плоскасці арбіты

23,5°

Сярэдняя адлегласць да Сонца

149,6 млн км

1 а. а.

Працягласць года

365,24 зямных сутак

Перыяд вярчэння вакол восі

23,93 г

Дыяметр па экватары

12 742 км

Маса

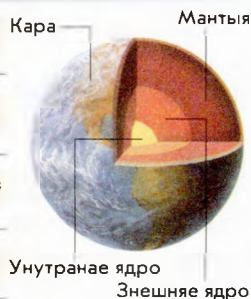
$5,97 \cdot 10^{24}\text{ кг}$

Сярэдняя шчыльнасць

$5,5 \cdot 10^3\text{ кг/м}^3$

Тэмпература паверхні

ад -90 да +60 °C



ра ацэньваецца ў 6000 К. Радыус ядра складае 55 % ад радыуса Зямлі, а маса — каля 30 % ад масы планеты. Зямное ядро падзяляецца на знешняе і цвёрдае ўнутранае радыусам 1270 км. Пераходная зона паміж знешняй і ўнутранай часткамі вельмі тонкая — каля 5 км. У Венеры аналагічнае ядро. Найбольш магутнае ядро мае Меркурый, радыус якога складае 70 % ад радыуса планеты, а маса — 60 % ад масы ўсёй планеты. У Марса невялікае ядро масай усяго 7 % ад усёй масы планеты, а яго радыус складае 28 % ад радыуса Марса. Ядры планет у асноўным складаюцца з жалеза з дамешкай сярністага жалеза. Вадкі знешні слой ядра, магчыма, ёсць у Меркурыя і Венеры.

Крыніцамі разагравання нетраў з'яўляюцца:

- выдзяленне цеплаты пры распадзе радыеактыўных элементаў;
- энергія, якая выдзяляецца пры ўдарах цел розных памераў (ад астэроідных і інш.) аб паверхню планеты;
- 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 ўспываюць. Гэты працэс у Зямлі яшчэ не завяршыўся. Рух рэчыва ўнутры планеты ўплывае на кару, выклікае землетрасенні, гораўтварэнні, тэктанічныя і вулканічныя працэсы.

Магнітнае поле Зямлі генерыруецца ў вадкім металічным слоі ядра.

Зямная атмасфера складаецца ў асноўным з азоту і кіслароду (гл. Дадатак 8).

4. Марс. Марс — чацвёртая ад Сонца планета Сонечнай сістэмы (рыс. 13.10). Для назіральніка яна паўстае ў выглядзе яркага чырвонага святла. З дапамогай аматарскіх тэлескопаў можна ўбачыць палярныя шапкі Марса і некаторыя буйныя дэталі яго паверхні.

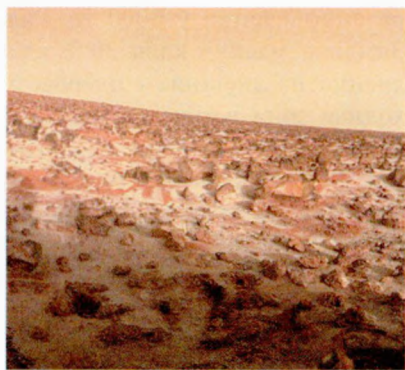
Атрыманыя касмічнымі апаратамі тэлевідарысы паверхні Марса паказалі, што яна ўяўляе сабой мёртвую пустыню, значная частка якой пакрыта чырванаватым пяском і ўсеяна камянямі. Чырвоны колер паверхні Марса тлумачыцца высокім утрыманнем у глебе вокіслаў жалеза (рыс. 13.11).



Рыс. 13.10. Марс



Рыс. 13.11. Паверхня Марса. Фатаграфія зроблена спускальным апаратам «Вікінг-1»



Рыс. 13.12. Снег на паверхні Марса. Фатаграфія зроблена спускальным апаратам «Вікінг-2»

IV

На паверхні Марса вялікія сутачныя ваганні тэмпературы з-за разрэджанасці атмасферы: калі ўдзень тэмпература на экватары падыходзіць да $+15^{\circ}\text{C}$, то ноччу апускаецца да -65°C . Зімой на паверхні Марса назіраецца снег і іней (гл. рыс. 13.12), 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 выпараецца.

На Марсе вельмі шмат ударных кратэраў вялікіх памераў. Гэта сведчыць аб тым, што планета перажыла мноства катастроф, якія змянялі ўмовы на яе паверхні. Кратэры на Марсе названы ў гонар вучоных, якія прысвяцілі сваю дзейнасць вывучэнню Марса і планет Сонечнай сістэмы.

Паверхня Марса характарызуецца рэзка выяўленай асіметрыяй. Паўднёвае гарыстае паўшар'е ў сярэднім на 5 км вышэйшае за Паўночнае. На здымках марсіянскай паверхні добра



ПАРАМЕТРЫ МАРСА

Зорная
велічыня

−2,0

Сярэдняя
адлегласць
да Сонца

227,9 млн км

1,524 а. а.

Перыяд
абарачэння
вакол Сонца

1,88 зямнога года

Перыяд
вярчэння
вакол восі

24,62 гадз

Дыяметр
па экватары

6780 км

Маса
(Зямля = 1)

0,107

Сярэдняя
шчыльнасць

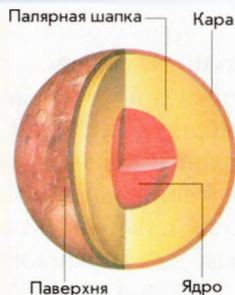
$3,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$

Сіла прыцягнення
на экватары
(Зямля = 1)

0,38

Тэмпература
паверхні

ад -130
да $+30^{\circ}\text{C}$



бачныя шматлікія буйныя і дробныя каньёны. Іх шырыня дасягае 600 км, глыбіня — 5 км. Самы вялікі з іх — Даліна Марынера — мае даўжыню амаль 5000 км (на рыс. 13.10 ён бачны як цёмная структура, якая перасякае дыск планеты).

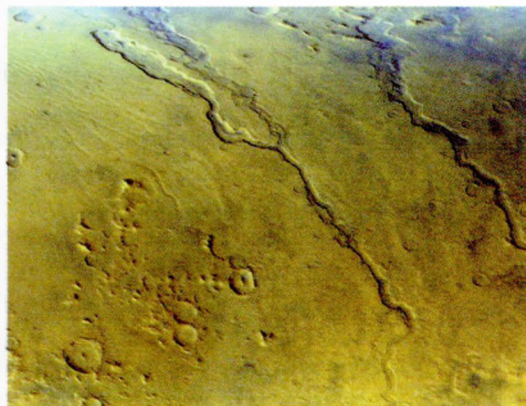
Здзіўляюць сваімі маштабамі патухлыя вулканы Марса. Самы высокі — гара Алімп (рыс. 13.13) — уздымаецца над паверхняй на 27 км. Дыяметр яго падножжа дасягае 600 км. Узрост гэтых структур — каля 400 млн гадоў.

Вядомыя палярныя шапкі Марса ўтвораны тоўстымі сляямі лёду (да 3 км), перамешанага з пылам. Верхні слой палярных шапак складаецца 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'яў пачынаецца зіма, адпаведная палярная шапка пачынае расці і дасягае 57° шыраты ў Паўночным паўшар'і і 45° у Паўднёвым. З надыходам вясны шапка пачынае раставаць. Увосень, калі фарміруюцца палярныя шапкі, можна назіраць блакітна-белыя воблакі ў атмасферы планеты.

Загадкавыя марсіянскія даліны, падобныя на рэчышчы высахлых рэк (рыс. 13.14), былі створаны воднымі патокамі, якія зніклі больш мільярда гадоў таму. Аб наяўнасці вады на Марсе ў старадаўнія часы сведчаць многія факты. У 1999 г. былі апублікаваны вынікі даследаванняў, якія даказвалі, што на Марсе раней існаваў акіян вады. Гэта высветлілася пры вывучэнні фотаздымкаў, перададзеных на Зямлю станцыяй «Марс Глобал Сурвэер», па асаблівасцях рэльефу, які ўяўляе сабой старадаўнюю берагавую лінію. Акіян мог існаваць, пакуль тэмпература паверхні Марса была дастаткова высокай. Планета пачала ахалоджвацца каля мільярда гадоў таму. Тонкая



Рыс. 13.13. Гара Алімп на Марсе



Рыс. 13.14. Так выглядаюць перасохлыя рэчышчы марсіянскіх рэк

атмасфера Марса не перашкаджала «выпарванню» вады ў міжпланетную прастору. Пры зніжэнні тэмпературы замерзлая вада ўперамешку з пяском утварыла падпаверхневую ледзяную абалонку — **крыясферу**. Крыясфера Марса ўтрымлівае колькасць вады, эквівалентную слою таўшчынёй каля 1 км па ўсёй планеце.

Атмасфера Марса мае нізкую шчыльнасць і складаецца ў асноўным з вуглякіслага газу (гл. Дадатак 8). Скорасць ветру каля паверхні планеты не перавышае 15 м/с. Марс — адзіная планета, дзе назіраюцца глабальныя пылавыя буры. Яны ствараюць антыпарніковы эффект, таму што воблакі пылу не прапускаюць сонечнае выпрамяненне да паверхні. Таму паверхня моцна ахалоджваецца, а пыл і навакольная атмасфера, наадварот, разаграюцца. У атмасферы Марса назіраюцца пясчаныя віхры, якія закручваюць слупы пылу да 8 км вышынёй. Часцінкі воблакаў складаюцца з сілікатных і ледзяных пылінак. Пасадачны модуль «Патфайндэр», які даследаваў Марс у 1997 г., паказаў, што пыл на Марсе падымаецца так высока ў атмасферу, што закрывае гару Алімп.

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

Пытанні і практыкаванні

1. З якіх абалонак складаюцца планеты? 2. Пералічыце крыніцы награвання нетраў планет. 3. 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 атмасферы планет зямной групы?

§ 14. ПЛАНЕТЫ-ГІАНТЫ. ПЛУТОН

1. Юпітэр. Юпітэр — самая вялікая з планет-гігантаў (рыс. 14.1). 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. Па сярэдняй шчыльнасці і перавазе вадароду і гелію Юпітэр падобны на зоркі. У адрозненне ад планет зямной групы, у планет-гігантаў няма цвёрдай паверхні. Тое, што мы назіраем, — гэта вяршыні воблакаў, якія плаваюць у атмасферы. З-за хуткага вярчэння планет-гігантаў і моцных вятроў воблакі выцягваюцца ў палосы, паралельныя экватару. Афарбоўку воблакам надаюць дамешкі аміячных утварэнняў, метан і іншыя складаныя злучэнні.



ПАРАМЕТРЫ ЮПІТЭРА

Зорная велічыня	-2,7
Сярэдняя адлегласць да Сонца	778,3 млн км
Перыяд абарачэння вакол Сонца	5,203 а. а.
Перыяд абарачэння вакол восі	11,86 зямнога года
Перыяд вярчэння вакол восі	9,93 гадз

Дыяметр па экватары	142 800 км
Маса (Зямля = 1)	318
Сярэдняя шчыльнасць	$1,3 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$
Сіла прыцягнення на экватары (Зямля = 1)	2,6
Тэмпература верхняга слоя воблакаў	-133 °C



Самую загадкавую структуру воблакаў мае Юпітэр. У экватарыяльнай зоне (ад $+9^\circ$ да -9°) газавыя цячэнні накіраваны строга з захаду на ўсход. Скорасць руху газавых мас дасягае 100 м/с. Паблізу ад шырот ад $+20^\circ$ да -20° рэчыва рухаецца ў адваротным напрамку, з усходу на захад, са скорасцю каля 50 м/с. Паміж асноўнымі цячэннямі існуюць віхры і струмені.

Светлыя і цёмныя палосы ў атмасферы Юпітэра тлумачацца рознымі зонамі ціску: светлыя — гэта зоны высокага ціску, а цёмныя — нізкага. Цёплыя газы падымаюцца ўгару, дасягаюць верхняй мяжы воблакаў, дзе астываюць і трапляюць у суседнія палосы з нізкім ціскам.

Даследаванні міжпланетнай касмічнай станцыі «Галілео» паказалі, што ветры ў атмасферы Юпітэра могуць рухацца са скорасцю да 180 м/с і выклікаюцца ўнутранай крыніцай цяпла. Гэтыя ветры падобныя на рэактыўныя струмені.

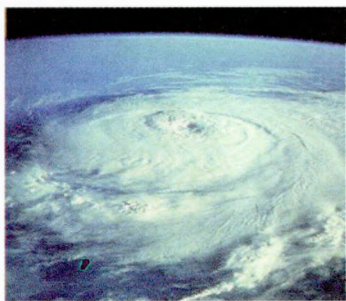
Для Юпітэра, як і для ўсіх планет-гігантаў, характэрныя светлыя і цёмныя авальныя плямы. Найбольш прыкметная з іх — Вялікая Чырвоная пляма (рыс. 14.2), якую назіраюць на працягу ўжо трох стагоддзяў. Гэта вялікі і надзвычай устойлівы віхор, падобны на зямны ўраган.



Рыс. 14.1. Юпітэр. Фатаграфія атрымана касмічным апаратам «Касіні». На фоне планеты добра бачны спадарожнік Іо



Рыс. 14.2. Вялікая Чырвоная пляма на Юпітэры

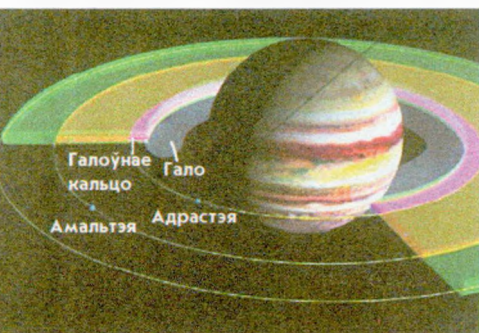


Рыс. 14.3. Трапічны цыклон над Паўднёвай Амерыкай

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



Рыс. 14.4. Паўночнае ззяненне на Юпітэры. Фотаздымак Касмічнага тэлескопа Хабла



Рыс. 14.5. Сістэма кольцаў Юпітэра

Для параўнання мы прывялі зробленую з космаса фатаграфію (рыс. 14.3) трапічнага ўрагану над Паўднёвай Амерыкай. На абодвух здымках добра бачныя турбулентныя патокі.

У палярных воблаках Юпітэра назіраецца з'ява, падобная на зямное паўночнае ззяненне (рыс. 14.4).

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

На ўзроўні 0,77 радыуса планеты пачынаецца абалонка, дзе вадарод набывае ўласцівасці металу. Тут ён сціскаецца так моцна (да $4 \cdot 10^{12}$ Па), што электроны пакідаюць свае атомы 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 складаецца з аксідаў крэмнію, магнезію 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 апараты «Вояджэр-1» і «Вояджэр-2» выявілі ў Юпітэра кольцы (рыс. 14.5). Яны складаюцца з вельмі дробных пылінак (0,2—200 мкм), якія паступова падаюць у атмасферу Юпітэра, а іх месца займаюць іншыя, якія ўтвараюцца пры сутыкненні малых спадарожнікаў,

асабліва Амальтэі, з метэарытнымі цэламі.

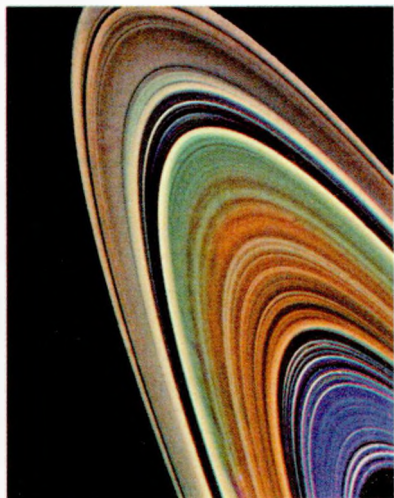
2. Сатурн. Сатурн — другая па велічыні планета-гігант, абкружаная прыгожымі кольцамі (рыс. 14.6). Дыск планеты прыкметна сплясканы каля полюсаў. Гэта выклікана тым, што ў Сатурна самая нізкая шчыльнасць сярод усіх планет Сонечнай сістэмы.

Кольцы Сатурна заўважыў яшчэ Галілеа Галілей: у 1610 г. ён прыкмеціў паабапал дыска незразумелыя прыдаткі. Але толькі ў 1655 г. Крысціян Гюйгенс выявіў тонкае плоскае кальцо, якое не датыкаецца 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 тысячы вузкіх колцаў, кожнае з якіх складаецца з бясконцага мноства абломкаў лёду памераў ад найдрабнейшых пылінак да некалькіх метраў. Таўшчыня кольцаў, бачная з рабра, не перавышае 2 км, а таўшчыня асобнага колца — не больш за 30 м.



Рыс. 14.6. Сатурн. Фатаграфія атрымана Касмічным тэлескопам Хабла



Рыс. 14.7. Тонкая структура кольцаў Сатурна (колеры не натуральныя — яны падкрэсліваюць адрозненні мінералагічнага саставу кольцаў)



ПАРАМЕТРЫ САТУРНА

Зорная велічыня	0,7
Сярэдняя адлегласць да Сонца	1427 млн км
Перыяд абарачэння вакол Сонца	9,54 а. а.
Перыяд вярчэння вакол восі	29,46 зямнога года
	10,65 гадз

Дыяметр па экватары	120 536 км
Маса (Зямля = 1)	95,1
Сярэдняя шчыльнасць	$0,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$
Сіла прыцягнення на экватары (Зямля = 1)	1,1
Тэмпература верхняга слоя воблакаў	-170 °C

Ячэйкі з цыркулюючымі вадародам і геліем

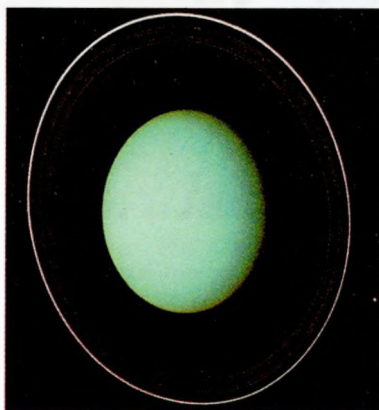


Плоскасць кольцаў размешчана ў плоскасці экватара Сатурна, якая мае нахіл 27° да плоскасці арбіты. Пры руху Сатурна па арбіце кольца захоўваюць сваё месцазнаходжанне ў прасторы і двойчы за адзін абарот планеты вакол Сонца паварочваюцца да Зямлі сваім рабром. З-за сваёй малой таўшчыні ў невялікія тэлескопы яны ў гэты час не бачныя. Дыяметр знешняга краю кольца складае 272 тыс. км, унутранага — 144 тыс. км. Сумарная маса кольцаў складае каля $3 \cdot 10^{-8}$ масы Сатурна.

Напружанасць магнітнага поля Сатурна блізкая да зямной.

3. Уран. Уран — трэцяя па велічыні планета-гігант. Планета мае вельмі прыгожы зеленавата-блакітнаваты колер (рыс. 14.8). Гэта тлумачыцца асаблівасцямі складу атмасферы планеты і яе тэмпературай. Пры тэмпературы -217°C (гл. табл. 14.1) у верхніх сляях вадародна-геліевай атмасферы ўтварылася метанавая смуга. Метан добра паглынае чырвоныя прамяні і адбівае блакітныя і зялёныя. Таму планета набыла прыгожы бірузовы колер. У атмасферы Урана не назіраецца ніякіх прыкметных узбурэнняў.

У 1977 г. былі адкрыты кольца Урана. Здымкі, зробленыя «Вояджэрам-2» у 1986 г., пацвердзілі іх існаванне. Уран абкружаны адзінаццацю 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 часцінак.



Рыс. 14.8. Уран. Фатаграфія атрымана Касмічным тэлескопам Хабла



ПАРАМЕТРЫ УРАНА

Зорная велічыня	5,5
Сярэдняя адлегласць да Сонца	2871 млн км
	19,18 а. а.
Перыяд абарачэння вакол Сонца	84,0 зямнога года
Перыяд вярчэння вакол восі	17,24 гада

Дыяметр па экватары	51 177 км
Маса (Зямля = 1)	14,6
Сярэдняя шчыльнасць	$1,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$
Сіла прыцягнення на экватары (Зямля = 1)	0,9
Тэмпература верхняга слоя воблакаў	-217°C

Атмасфера з вадароду, гелію і метану



Каменнае ядро

Мантыя з замёрзлых вадзі, метану і аміяку

Магнітнае поле Урана мае адну цікавую асаблівасць. Вось вярчэння планеты амаль ляжыць у плоскасці арбіты, і лініі магнітнага поля скручаны вярчэннем Урана ў доўгі штопар ззаду планеты. Напружанасць магнітнага поля амаль роўная зямной.

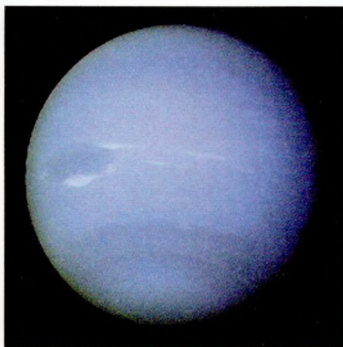
4. Нептун. Нептун — самы маленькі гігант. Знаходзіцца амаль на самым краі Сонечнай сістэмы і атрымлівае вельмі мала сонечнай энергіі. Аднак, нягледзячы на гэта, планета вельмі актыўная. На фатаграфіях Нептуна добра бачныя воблакі, якія з'яўляюцца і знікаюць у атмасферы планеты (гл. рыс. 14.9). Адметнай прыкметай Нептуна з'яўляецца Вялікая Цёмная пляма, падобная па структуры на Вялікую Чырвоную пляму Юпітэра.

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

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

Напружанасць магнітнага поля Нептуна ўтрая меншая, чым у Зямлі.

5. Плутон. Плутон — самая далёкая планета Сонечнай сістэмы. Ён быў адкрыты толькі ў 1930 г. Арбіта Плутона мае самы вялікі нахіл да экліптыкі (17°) сярод планет Сонечнай сістэмы і выцягнутая так, што перасякае арбіту Нептуна.



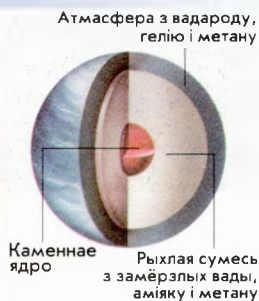
Рыс. 14.9. Нептун з Вялікай Цёмнай плямай. Фатаграфія атрымана касмічным апаратам «Вояджэр-1»

IV



ПАРАМЕТРЫ НЕПТУНА

Зорная велічыня	7,8	Дыяметр па экватары	49 528 км
Сярэдняя адлегласць да Сонца	4498 млн км	Маса (Зямля = 1)	17,2
	30,1 а. а.	Сярэдняя шчыльнасць	$1,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$
Перыяд абарачэння вакол Сонца	164,8 зямнога года	Сіла прыцягнення на экватары (Зямля = 1)	1,1
Перыяд вярчэння вакол восі	16,04 гадз	Тэмпература верхняга слоя воблакаў	-214°C



ПАРАМЕТРЫ ПЛУТОНА

Зорная велічыня	14	Дыяметр па экватары	2304 км
Сярэдняя адлегласць да Сонца	5915 млн км	Маса (Зямля = 1)	0,002
	39,4 а. а.	Сярэдняя шчыльнасць	$2,0 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$
Перыяд абарачэння вакол Сонца	247,7 зямнога года	Сіла прыцягнення на экватары (Зямля = 1)	0,07
Перыяд вярчэння вакол восі	6,4 зямных сутак	Тэмпература паверхні	-230 °C



Амерыканскі астраном Джэймс Крысці 22 чэрвеня 1978 г. адкрыў у Плутона спадарожнік, які назвалі Харонам. З-за гэтага з'явілася магчымасць удакладніць масу Плутона, якая ў 460 разоў меншая за масу Зямлі. Харон мае масу ў 7,2 раза меншую за масу Плутона (рыс. 14.10) і амаль удвая меншы па памерах.

Плутон і Харон па шчыльнасці стаяць паміж планетамі-гігантамі і планетамі зямной групы. Яны складаюцца з каменных парод і лёду.

Перыяд абарачэння Харона вакол Плутона аднолькавы з перыядам абарачэння самой планеты і роўны 6,4 сутак. Таму калі б назіральнік знаходзіўся ў адным паўшар'і Плутона, то ён назіраў бы Харон заўсёды, і днём і ноччу, на адным і тым жа месцы, а ў другім паўшар'і Харон увогуле быў бы не бачны.

Паверхня Плутона пакрыта метанавым лёдам і таму мае шараватае адценне ў адрозненне ад чырванаватага Харона, дзе пераважаюць звычайныя скальныя пароды і вадзяны лёд. З-за таго што Плутон знаходзіцца вельмі далёка, да цяперашняга часу не ўдалося атрымаць выразных здымкаў яго паверхні (рыс. 14.11). Пры праходжанні перыгелія (гэты перыяд можна лічыць «летам» для Плу-



Рыс. 14.10. Плутон і Харон. Фатаграфія атрымана Касмічным тэлескопам Хабла



Рыс. 14.11. Карта паверхні Плутона, зробленая на аснове даследаванняў з дапамогай Касмічнага тэлескопа Хабла

тона) у планеты з'яўляецца вельмі разрэджаная метана-азотная атмасфера, ціск якой у 7 тыс. разоў меншы, чым каля паверхні Зямлі. Тэмпература на Плуtone ў гэты перыяд вагаецца (па розных ацэнках) ад -228 да -206 °C.

Плутон з'яўляецца самай маленькай сярод вялікіх планет. Акрамя таго, ён мае самы масіўны спадарожнік (па суадносінах мас спадарожнік — планета). Ледзяны Плутон больш падобны на астэроід ці спадарожнік планеты-гіганта, чым на паўнацэнную планету. Таму Плутон у сакавіку 1999 г. Міжнародным астранамічным саюзам быў пераведзены ў разрад планет-астэроідаў, з прысваеннем парадкавага нумара астэроіда і з захаваннем статусу планеты Сонечнай сістэмы.

Табліца 14.1

АТМАСФЕРЫ ПЛАНЕТ-ГІГАНТАЎ

Характарыстыкі	Планеты			
	Юпітэр	Сатурн	Уран	Нептун
Хімічны састаў, %	H — 89; He — 11 (па аб'ёме); NH ₃ — 0,2; CH ₄ — 0,1; серавадарод — 0,002	H — 94; He — 6; NH ₃ , CH ₄ — долі працэнта	H — 83; He — 15; CH ₄ — 2	H — 84; He — 15; CH ₄ — 1
Тэмпература (на ўзроўні воблакаў), °C	-133	-170	-217	-214
Скорасць ветру (на ўзроўні воблакаў), м/с	180	480	200	600

Пытанні і практыкаванні

1. Назавіце адрозненні асноўных фізічных характарыстык планет-гігантаў і планет зямной групы. 2. Па вядомых вуглах нахілу восей планет-гігантаў да плоскасці іх арбіт і перыядах іх абарачэння вакол Сонца прааналізуйце, як адбываецца змена пор года на Сатурне, Уране і Нептуне. 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. Фізічныя ўмовы на Месяцы. Месяц — адзіны натуральны спадарожнік Зямлі (гл. Дадатак 10). Гэта цела шарападобнай формы радыусам 1738 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 меншае за зямное, г. зн. целы на месяцавай паверхні важаць 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 практычна няма атмасферы. За месяцавы дзень, які працягваецца каля 15 зямных сутак, паверхня паспявае нагрэцца да $+130\text{ }^{\circ}\text{C}$, а за ноч ахаладзіцца да $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$. Пры высокіх тэмпературах скорасць газавых малекул перавышае другую касмічную скорасць для паверхні Месяца, роўную 2,38 км/с, таму газы, што выдзяляюцца з нетраў спадарожніка Зямлі ці ўтвараюцца пры падзенні метэорных цел, хутка пакідаюць Месяц. Без газавай атмасферы на Месяц уздзеянніаюць усе віды электрамагнітнага выпрамянення Сонца, а таксама ўдары метэорных цел розных памераў.

Простым вокам на месяцавай паверхні можна адрозніць светлыя і цёмныя ўчасткі. Цёмныя, адносна роўныя вобласці паверхні, якія называюць «морамі», займаюць 17 % усёй паверхні Месяца. Больш светлыя гарыстыя ўчасткі, якія называюць «мацерыкамі», займаюць астатнюю паверхню і характарызуюцца наяўнасцю горных хрыбтоў, кальцавых гор, кратэраў (рыс. 15.1). Першую падрабязную карту Месяца склаў польскі астраном Ян Гевелій. З тых часоў да нашых дзён захаваліся назвы мораў — Мора Спакою, Мора Крызісаў і інш. Назвы горных хрыб-



Рыс. 15.1. Выгляд Месяца ў тэлескоп



ПАРАМЕТРЫ ЛУНЫ

Зорная велічыня	-12,7
Сярэдняя адлегласць да Сонца	384,4 млн км
	60,3 радыуса Зямлі
Перыяд абарачэння вакол Сонца	27,32 зямных сутак
Перыяд вярчэння вакол восі	27,32 зямных сутак

Дыяметр па экватары	3476 км
Маса (Зямля = 1)	0,012
Сярэдняя шчыльнасць	$3,34 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$
Сіла прыцягнення на экватары (Зямля = 1)	0,17
Тэмпература паверхні	ад -170 да $+130\text{ }^{\circ}\text{C}$



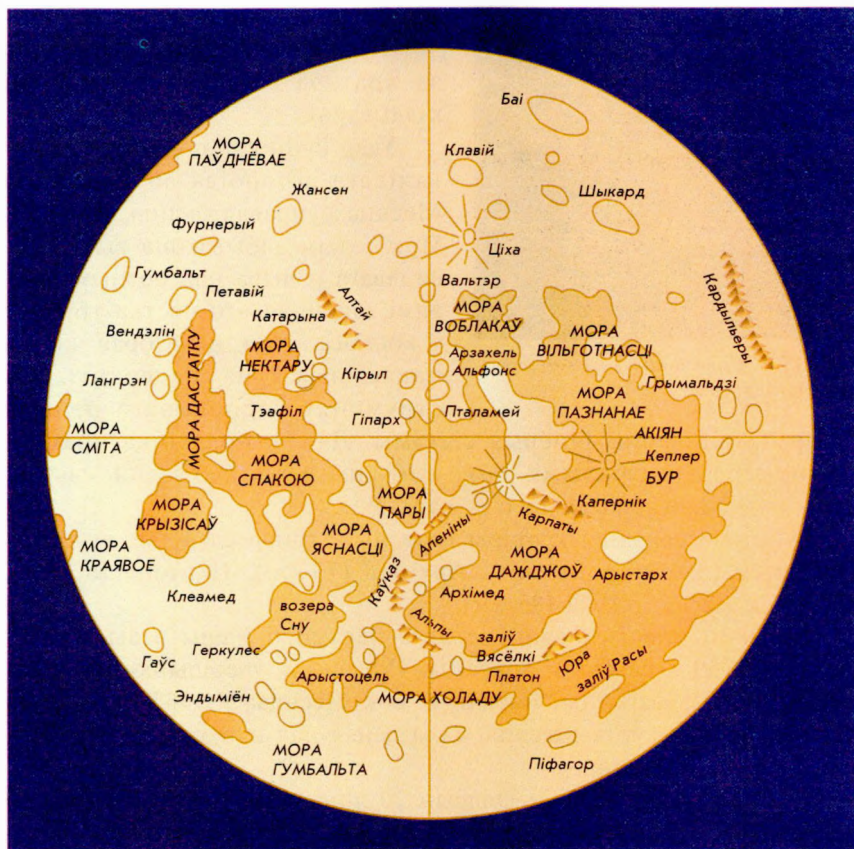


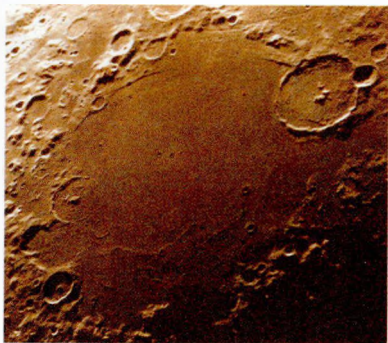
Рис. 15.2. Карта-схема буйнейшых дэталей паўшар'я Месяца, бачнага ў тэлескоп з Зямлі

тоў, якія цягнуцца звычайна ўздоўж узбярэжжаў мораў, сугучныя зямным — Апеніны, Каўказ, Карпаты і інш. Апеніны маюць найбольшую вышыню каля 6 км, а Карпаты — толькі 2 км (рис. 15.2).

Самымі шматлікімі ўтварэннямі на месяцавай паверхні з'яўляюцца кратэры (рис. 15.3). Іх памеры вагаюцца ад мікра-скапічных да больш за 100 км у дыяметры. Кратэр складаецца з кальцавага вала і ўнутранай раўніны. У большасці «малых» кратэраў на дне ўзвышаюцца цэнтральныя горкі (рис. 15.4). У час поўні ў «малых» кратэраў, якія маюць метэарытнае паходжанне, можна ўбачыць пра-



Рис. 15.3. Частка паверхні Месяца. Фатаграфія атрымана касмічнай станцыяй «Зонд»



Рыс. 15.4. Буйныя кратэры метэарытнага паходжання

мянёвыя сістэмы — светлыя палосы, якія радыяльна адыходзяць ад кратэра і цягнуцца на сотні кіламетраў.

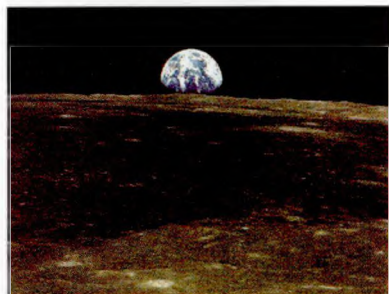
Удар буйнога метэарыта ці невялікага астэроіда аб паверхню Месяца суправаджаецца выбухам. Пры гэтым адбываецца выкід месяцавага рэчыва пад рознымі вугламі. Значная яго частка трапляе ў космас, аднак некаторая частка падае назад на паверхню. Са струменяў здробненага рэчыва

і фарміруюцца прамянёвыя сістэмы. Для назіральніка прамяні здаюцца больш светлымі, таму што яны лепш адбіваюць святло, чым шчыльнае рэчыва таго ж саставу.

Буйныя і сярэднія кратэры названы ў гонар славутых вучоных: Пталемей (дыяметр 146 км), Архімед (73 км), Платон (100 км), Капернік (93 км), Ціха (85 км).

Касмічныя даследаванні істотна паглыбілі нашы веды аб Месяцы. У 1959 г. савецкім апаратам «Месяц-3» упершыню быў сфатаграфаваны адваротны, нябачны бок Месяца. У 1965 г. з'явілася першая поўная карта Месяца, складзеная пад навуковым кіраўніцтвам Ю. Н. Ліпскага.

Ніл Армстранг і Эдвін Олдын 20 ліпеня 1969 г. сталі першымі людзьмі, якія ступілі на паверхню Месяца. Астранаўты, якія знаходзіліся на Месяцы, маглі бачыць на яго небе нашу Зямлю (рыс. 15.5). 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 360 кг месяцавых узораў). Месяцавыя пароды дастаўлялі і савецкія аўтаматычныя станцыі «Месяц».



Рыс. 15.5. Зямля на небе Месяца

Паверхневы слой натуральнага спадарожніка Зямлі складаецца з дробнаабломачнага матэрыялу — рэгаліту (рыс. 15.6) і мае таўшчыню каля 10 м. У склад месяцавага рэгаліту ўваходзяць таксама шклянныя сферычныя мікрачасцінкі (рыс. 15.7). Драбненне месяцавых парод адбываецца ў асноўным з-за мікраметэарытнай бамбардзіроўкі і рэзкіх перападаў тэмпературы. Рэгаліт мае

малую шчыльнасць (верхні слой — 1200 кг/м³) і вельмі малую цеплаправоднасць (у 20 разоў меншую за паветра), таму ўжо на глыбіні каля 1 м ваганні тэмпературы практычна не адчувальныя.

Па хімічным саставе месяцавыя пароды вельмі блізкія да зямных — тыпу базальтаў. Пароды месяцавых мораў адрозніваюцца высокім утрыманнем вокіслаў жалеза і тытану, мацерыковыя пароды — высокім утрыманнем вокіслаў алюмінію.

У апошні час касмічныя станцыі выявілі запасы вадзянога лёду ў палярных абласцях Месяца. З-за малага вугла нахілу месяцавага экватара да экліптыкі (усяго 1,5°) дно нават неглыбокіх кратэраў у палярных зонах ніколі не асвятляецца сонечнымі прамянямі. Пры пастаяннай тэмпературы -200°C дно палярных кратэраў пакрывае сумесь рэгаліту з лёдам. Крыніцай узнікнення і назапашвання месяцавага 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 метэарытаў, якія зафіксаваны сейсмографамі, дастаўленымі на Месяц. Пад слоём рэгаліту размешчана кара, таўшчыня якой на бачным (павернутым да Зямлі) баку складае 60 км, а на адваротным — 100 км. Пад карой знаходзіцца мантыя таўшчынёй каля 1000 км. Зона, глыбейшая за 1600 км, нагадвае зямную мантыю, мае таўшчыню 430 км і тэмпературу каля 1800 К. Апошнія даследаванні пацвердзілі, што ў цэнтры Месяца існуе металічнае ядро радыусам 300 км, маса якога складае 3 % ад агульнай масы Месяца.

Узрост месяцавых парод, дастаўленых астранаўтамі і аўтаматычнымі станцыямі, каля 4,5 млрд гадоў. Такім чынам, Месяц крыху маладзейшы за Зямлю — усяго на 60—100 млн гадоў.

Існуе некалькі гіпотэз утварэння Месяца. Паводле адной з самых папулярных, Месяц утварыўся разам з Зямлёй з адной планецэзімалі. Паводле другой, Месяц мог быць захоплены ў свой час Зямлёй. 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.



Рыс. 15.6. Асноўныя тыпы часцінак месяцавага рэгаліту

IV



Рыс. 15.7. Шкляныя сферычныя мікрасцінкі месяцавага рэгаліту

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

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

2. Спадарожнікі планет. У Сонечнай сістэме на пачатак 2003 г. вядома 102 натуральныя спадарожнікі планет. Сем спадарожнікаў, у тым ліку Месяц, маюць дыяметр большы за дыяметр планеты Плутон, а Ганімед і Тытан (табл. 15.1) — большы за дыяметр Меркурыя. Яшчэ дзевяць спадарожнікаў «пераадолелі» 1000-кіламетровую мяжу, памеры астатніх меншыя за 500 км.

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

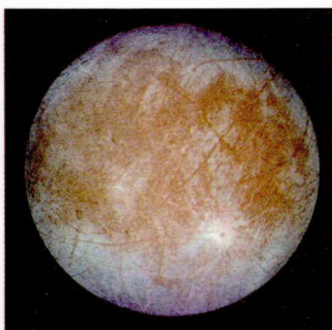
Табліца 15.1

БУЙНЫЯ СПАДАРОЖНІКІ ПЛАНЕТ

ХАРАКТАРЫСТЫКІ	СПАДАРОЖНІКІ						
	Ганімед	Тытан	Каліста	Іо	Месяц	Еўропа	Трытон
Планета	Юпітэр	Сатурн	Юпітэр	Юпітэр	Зямля	Юпітэр	Нептун
Дыяметр, км	5270	5150	4820	3640	3480	3120	2710
Маса, $\times 10^{23}$ кг	1,48	1,40	1,08	0,893	0,735	0,480	0,214
Шчыльнасць, кг/м ³	1940	1900	1840	3530	3340	3010	2070
Тэмпература паверхні, К	-140	94	-140	130	Ад -100 да 400	-140	38



Рыс. 15.8. Іо — спадарожнік Юпітэра. На фатаграфіі, зробленай касмічным апаратам «Галілео», бачнае вывяржэнне вулкана



Рыс. 15.9. Еўропа — спадарожнік Юпітэра

Мадэль унутранай будовы буйных спадарожнікаў прадугледжвае наяўнасць у іх трох абалонак: кары, мантыі і ядра. Ядро, якое ўтрымлівае злучэнні жалеза і займае ад 0,3 да 0,6 радыуса спадарожніка, маюць Іо (рыс. 15.8), Еўропа (рыс. 15.9) і Ганімед. У Трытона і Каліста (рыс. 15.10) камяністыя 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 ледзяной абалонкай рознай таўшчыні, пад якой размешчана камяністая мантыя.

На паверхні Трытона і Ганімеда бачныя сляды тэктанічнай дзейнасці: разломы, сцісканні, расколіны, дробныя хрыбты. Каліста адрозніваецца ад іх наяўнасцю шматлікіх кратэраў ударнага паходжання.

Ледзяную абалонку Еўропы перасякае сетка светлых і цёмных вузкіх палос. Гэта расколіны ў тоўстай ледзяной кары, якія выкліканы прыліўнымі ўздзеяннямі Юпітэра. Шматгадовыя назіранні за рысункам, які ўтвараюць расколіны, паказалі, што ледзяныя масы крыху зрушваюцца адны адносна другіх. Гэта азначае, што пад лёдам ёсць вада. У некаторых месцах ледзянога панцыра Еўропы касмічны апарат «Галілео» сфатаграфавалі дзіўныя хаатычныя награвашч-



Рыс. 15.10. Каліста — спадарожнік Юпітэра



Рыс. 15.11. Хаосы на Еўропе

ванні старых ільдзін, умарожаных у свежы лёд. Гэтыя структуры называюцца «хаосы» (рыс. 15.11). 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 ледзяная паверхня Еўропы маладая, сведчыць і амаль поўная адсутнасць на ёй ударных кратэраў.

На Іо 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 белага да ярка-чырвонага і чорнага (гл. рыс. 15.8). Пры гэтым колер залежыць ад тэмпературы рэчыва. З жарала вулкана газы выкідваюцца на вышыню каля 200 км са скорасцю выцякання прыкладна 1 км/с. Газавыя гейзеры заўважаны над палярнай шапкай Трытона. Струмені цёмнага рэчыва вырываюцца ўверх з яго паверхні і дасягаюць вышыні 8 км.

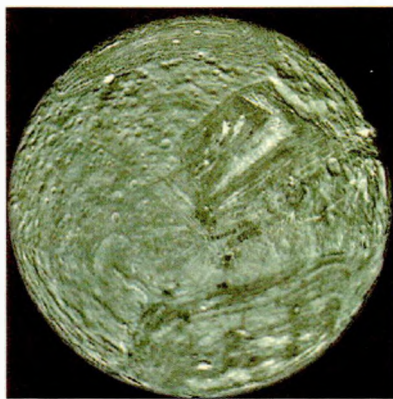


Рыс. 15.12. Спадарожнік Сатурна Тытан мае вельмі шчыльную атмасферу

Найбольш магутную атмасферу мае Тытан (рыс. 15.12). Яна на 60 % больш шчыльная, чым на Зямлі, і прыкладна на 85 % складаецца з азоту. Ціск каля паверхні ў 1,5 раза перавышае зямны. Метанавыя воблакі і смуга не дазваляюць разгледзець паверхню Тытана. Вучоныя мяркуюць, што паверхневае асяроддзе спадарожніка можа быць падобным на зямное асяроддзе таго перыяду, калі жыццё не распачало папаўняць атмасферу нашай планеты кіслародам. Хутчэй за ўсё, на паверхні Ты-



Рыс. 15.13. Фобас — спадарожнік Марса. На пярэднім плане кратэр Стыкні (10 км)



Рыс. 15.14. Міранда — спадарожнік Урана

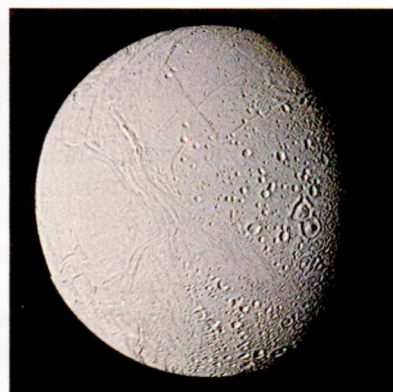
тана існуюць моры і азёры з ацэтылену, этану, этылену, якія могуць быць пакрыты замарожанымі метанам і аміякам. Таксама выказваецца меркаванне аб наяўнасці вадзянога лёду.

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 мікрамэтэарыты выбіваюць з ледзяной паверхні малекулы вады, якія пад уздзеяннем ультрафіялетавага выпрамянення распадаюцца на атамы вадароду і кіслароду. Атамы вадароду адразу ж пакідаюць атмасферу, а атамы кіслароду аб'ядноўваюцца ў малекулы. Разрэджаную атмасферу з вуглякіслага газу мае Каліста, такую ж разрэджаную атмасферу з вокіслаў серы і вулканічных газаў мае Іо (10^{-9} зямной).

У буйных спадарожнікаў выяўлены ўласныя магнітныя палі.



Рыс. 15.15. Мімас — спадарожнік Сатурна. Вялікі кратэр мае дыяметр звыш 100 км



Рыс. 15.16. Энцэлад — спадарожнік Сатурна

3 планет зямной групы, акрамя Зямлі, толькі Марс мае два спадарожнікі, адкрытыя ў 1877 г. амерыканскім астраномам Асафам Холлам. Гэта невялікія камяністыя целы няправільнай формы памерамі 27×19 км — Фобас (рыс. 15.13) і 16×11 км — Дэймас.

Відарысы некаторых прыкметных спадарожнікаў планет Сонечнай сістэмы прадстаўлены на рыс. 15.14—15.16.

Пытанні і практыкаванні

1. Ахарактарызуйце фізічныя ўмовы на Месяцы. Чым яны адрозніваюцца ад звыклых для нас умоў на Зямлі? 2. Якія дэталі на Месяцы бачныя простым вокам і ў тэлескоп? 3. Прывядзіце прыклады назваў некаторых месяцавых кратэраў, мораў і хрыбтоў. 4. Чаму адваротны бок Месяца ўдалося сфатаграфаваш толькі пры яго аблёце на касмічным апарате? 5. Вось вярчэння Месяца амаль перпендыкулярная да плоскасці яе арбіты. Ці будзе на небе Месяца α Малой Мядзведзіцы адыгрываць ролю Палярнай зоркі? 6. Што ўяўляе сабой месяцавая глеба? Ці моцна яна адрозніваецца ад зямной? 7. Апішыце ўнутраную будову Месяца. Якім чынам яе вывучылі? 8. Якія гіпотэзы ўтварэння Месяца вы ведаеце? 9. Назавіце буйнейшыя спадарожнікі планет Сонечнай сістэмы. Раскажыце аб некаторых характэрных асаблівасцях кожнага з іх.

IV

§ 16.

МАЛЫЯ ЦЕЛЫ СОНЕЧНАЙ СІСТЭМЫ

1. Астэроіды. Яшчэ Іаган Кеплер прыйшоў да высновы, што даस्कналасці Сонечнай сістэмы перашкаджае вялікі пусты прамежак паміж арбітамі Марса і Юпітэра, і выказаў меркаванне, што там павінна знаходзіцца планета. Гэту гіпотэзу Кеплера пацвердзіла правіла планетных адлегласцей, адкрытае Іаганам Тыцыусам у 1766 г. Паводле гэтага правіла на адлегласці 2,8 а. а. ад Сонца павінна знаходзіцца планета. Астраномы на працягу многіх гадоў спрабавалі яе адшукаць. Нарэшце італьянскі астраном Джузепе Піяцы 1 студзеня 1801 г. адкрыў новы нябесны аб'ект на разлічанай адлегласці. Але памеры аб'екта былі вельмі малыя. Так была адкрыта першая малая планета — астэроід Цэрэра, дыяметр якой каля 1000 км. Да 1807 г. удалося адкрыць яшчэ 3 малыя планеты: Паладу, Юнону і Весту, якія абарачаюцца вакол Сонца на адлегласці 2,4—2,8 а. а. З выкарыстаннем фатаграфіі ў астраноміі (рыс. 16.1) тэмпы адкрыцця астэроідаў рэзка ўзраслі. Толькі ў 1999 г. было адкрыта 340 астэроідаў. Да кастрычніка 2000 г. у каталозе малых планет было больш за 18 200 астэроідаў, з якіх амаль 9 тыс. мелі назвы.

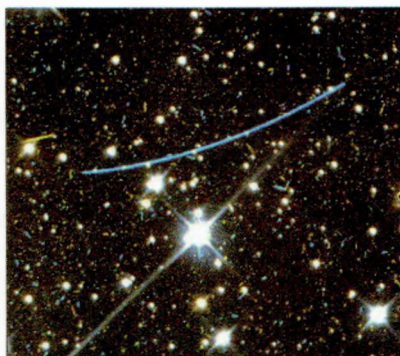
Значная частка (98 %) астэроідаў рухаецца ў плоскасцях, блізкіх да экліптыкі, па арбітах з малым эксцэнтрысітэтам, размешчаных паміж арбітамі Марса і Юпітэра на адлегласці 2,2—4,5 а. а. ад Сонца. Вакол Сонца астэроіды абарачаюцца ў тым самым напрамку, што і вялікія планеты. Частка прасторы паміж арбітамі Марса і Юпітэра, дзе знаходзіцца пераважная большасць астэроідаў, называецца Галоўным поясам астэроідаў. Агульная маса ўсіх астэроідаў складае прыкладна 10^{-3} масы Зямлі.

У Галоўным поясе астэроідаў 30 малых планет маюць памеры большыя за 200 км. Форма большасці з іх выцягнутая, перыяд вярчэння вакол восі — некалькі гадзін. Тэмпература паверхні на такім вялікім аддаленні ад Сонца складае ад -100 да -150 °C. Астэроіды не маюць атмасфер.

Астэроіды ўяўляюць сабой рэшткі мноства планецезімалей, 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.

У 1951 г. амерыканскі астраном *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 першапачатковай туманнасці, з якой сфарміравалася Сонечная сістэма. Сумарная маса цэлага пояса Койпера супарунальная з масай Зямлі. У выніку сістэматычных пошукаў гэтых аб'ектаў да чэрвеня 1999 г. былі адкрыты 113 вялікіх астэроідаў. Памеры астэроідаў пояса Койпера вагаюцца ад 100 да 1000 км.

Упершыню фатаграфіі астэроідаў былі атрыманы пры дапамозе міжпланетнага касмічнага апарата «Галілео». Пры палёце да Юпітэра ён сфатаграфавалі астэроіды Гаспра, Іда (рыс. 16.2) і Дактыль.



Рыс. 16.1. След, які пакінуў рухомы астэроід на фотапласцінцы



Рыс. 16.2. Астэроіды Іда і Дактыль

Першая мяккая пасадка касмічнага апарата на паверхню астэроіда адбылася 12 лютага 2001 г. Астэроід Эрас аказаўся камяністым целам няправільнай формы з памерамі 33×13 км і раўнамернай шчыльнасцю 2700 кг/м^3 , блізкай да шчыльнасці парод зямной кары. Паверхня астэроіда пакрыта пылам і ўсеяна кратэрамі і валунамі (дыяметрам да 100 м).

На сучасны момант у Сонечнай сістэме на адлегласці да 100 а. а. знаходзіцца каля 1 млн малых цел памерамі да 1 км. З прычыны ўздзеяння гравітацыйных сіл з боку планет-гігантаў амаль кругавыя арбіты астэроідаў павялічваюць свой эксцэнтрысітэт да 0,8. У выніку гэтага некаторыя з іх пранікаюць унутр арбіт Марса, Зямлі і нават Меркурыя. Колькасць астэроідаў з дыяметрам большым за 1 км, якія перасякаюць арбіту Зямлі, ацэньваецца ў 6500 аб'ектаў. Такія нябесныя целы могуць сутыкацца з Зямлёй не радзей чым адзін раз у 20 млн гадоў. Існуе не менш 200 тыс. астэроідаў з папярочнікам 100 м і болей, арбіты якіх могуць перасякаць арбіту Зямлі. Магчымасць сутыкнення з такім целам — прыблізна 1 раз у 5 тыс. гадоў, пры гэтым на Зямлі ўтвараецца кратэр з папярочнікам каля 1 км.

19 студзеня 1996 г. на небяспечна блізкай адлегласці ад Зямлі (450 тыс. км) праляцеў астэроід памерам 1,5 км. У сувязі з гэтым у ЗША, Расіі і іншых краінах створаны Службы сачэння за небяспечнымі астэроідамі, каб у выпадку пагрозы Зямлі з боку якога-небудзь з іх правесці работу па змене яго арбіты ці знішчэнні.

Першапачаткова астэроідам прысвойвалі імёны міфалагічных багінь, а потым — звычайныя жаночыя імёны. Калі скончыліся і яны, астэроіды сталі называць у гонар вядомых вучоных, розных краін і гарадоў. Цяпер новаму астэроіду прысвойваецца нумар. Кожны вучоны ці аматар, які адкрыў новы астэроід, пасля ўдакладнення арбіты мае права выбраць для яго назву. Ёсць астэроіды, назвы якіх звязаны з Рэспублікай Беларусь. У астэроідным поясе абарачаюцца малыя планеты Мінск, Беларусь, Брэст, Хатынь, Шагал і інш. (гл. Дадатак 11).

2. Метэарыты. У міжпланетнай прасторы рухаецца вялікая колькасць каменных і жалезных абломкаў самых разнастайных памераў — ад пылінак да глыбаў у некалькі метраў. Гэта **метэарытныя целы**. Пры ўваходжанні такога цела ў атмасферу Зямлі з касмічнай скорасцю яно ў выніку трэння аб паветра награвецца, пачынае плавіцца і свяціцца — на небе з'яўляецца вогненны шар, які рухаецца да Зямлі з яркім свячэннем і шумам. Гэтая з'ява атрымала назву **балід** (ад грэч. слова «балідас» — кідальнае кап'ё). У начны час балід ярка асвятляе мясцовасць на дзесяткі і сотні кіламетраў навокал. Вельмі яркія баліды бачныя нават удзень пры поўным со-

нечным асвятленні. За вогненным 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 награвецца да некалькіх тысяч градусаў. Рэчыва на яго паверхні бесперапынна расплаўляецца і часткова выпараецца — адразу зрываецца патокамі паветра і распырскваецца ў выглядзе найдрабнейшых кропелек. Яны і складаюць пылавы след баліда. Ушчыльненне паветра, якое нарастае, стварае вакол метэарытнага цела ўдарную хвалю. Яна выклікае такія гукавыя з’явы, як грукат і гул.

Узалежыя ад поўнага разбурэння рэшткі метэарытнага цела падаюць на паверхню Зямлі. Гэта і ёсць **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 дзесяткі і сотні тысяч тон праходзіць усю тоўшчу атмасферы з захаваннем касмічнай скорасці ў некалькі кіламетраў у секунду. У выніку ўдару адбываецца выбух, на месцы ўдару ўтвараецца метэарытны кратэр. Ён можа мець памеры ад некалькіх метраў да 100 км. Найбольш вядомы Арызонскі кратэр дыяметрам 1200 м, глыбінёй 180 м і вышынёй вала каля 50 м (рыс. 16.3). Магчыма, ён з’явіўся 30 тыс. гадоў таму. Кратэры вялікіх памераў (напрыклад, добра захаваныя на паверхні Месяца) на Зямлі выявіць складана. Яны хутка разбураюцца з-за ўздзеяння паветра, вады, ветру, расліннасці, заносзяцца слоём пяску і грунту. Вучоныя пры дапамозе касмічных здымкаў навучыліся знаходзіць старажытныя метэарытныя кратэры 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 старажытнага кратэра 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 жалезныя.

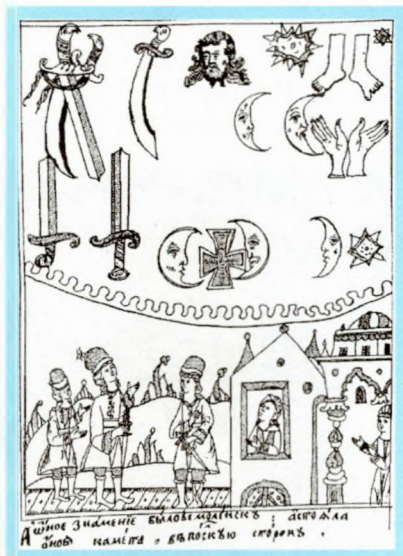


Рыс. 16.3. Метэарытны кратэр у Арызонзе (ЗША)

Каменныя метэарыты блізкія па складзе да зямных горных парод: утрымліваюць аксіды жалеза, крэмнію, магнію. Каля 85 % каменных метэарытаў утрымліваюць **хондры** — сфэрычныя часцінкі памерам ад мікраскапічных зярнят да гарошыны. Такія каменныя метэарыты называюцца **хандрытамі**, астатнія — **ахандрытамі**.

Самы буйны па масе метэарыт знойдзены ў 1920 г. паблізу ад населенага пункта Гоба ў Паўднёва-Заходняй Афрыцы. Гэта жалезны метэарыт масай каля 60 т. Але такія буйныя метэарыты падаюць рэдка. На тэрыторыі Беларусі знойдзена шэсць буйных метэарытаў: напрыклад, у 1954 г. — жалезны метэарыт масай 300 кг каля вёскі Грэск Слуцкага раёна Мінскай вобласці. Як правіла, масы большасці метэарытаў вагаюцца ад сотні грамаў да некалькіх кілаграмаў.

3. Каметы. Пра каметы, «хвастатыя зоркі», вядома з даўніх часоў. Першыя кітайскія запісы пра каметы адносяцца да 3-га тысячагоддзя да н. э. Удалечыні ад Сонца камета выглядае слабым туманым аб'ектам. Пры набліжэнні да Сонца яна робіцца ярчэй, 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 выклікала ў іх прымхлівы жах. Камета лічылася прадвесніцай войнаў, эпідэміяў і іншых няшчасцяў (рыс. 16.4).



Рыс. 16.4. Старажытная гравюра, якая расказвае аб з'яўленні каметы ў Смаленску

За гісторыю чалавецтва ўжо назіралася каля 2000 камет. Зарэгістраваны ў каталогах каля 1000 з іх і вызначаны элементы іх арбіт. Амаль усе каметы рухаюцца па выцягнутых арбітах з вялікім эксцэнтрысітэтам, блізкім да адзінкі. Паводле перыяду абарачэння каметы падзяляюць на **кароткаперыядычныя** (з перыядам абарачэння меншым за 200 гадоў) і **доўгаперыядычныя**. Першую перыядычную камету выявіў англійскі астраном 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 выцягнутай эліптычнай арбіце з перыядам амаль 76 гадоў. У поўнай адпаведнасці з прадказаннем Галяя яе ўбачылі ў 1758 г. За гэтай каметай замацавалася назва «камета Галяя» (рыс. 16.5). Яна рухаецца па арбіце з вялікай паўвоссю $a = 17,94$ а. а. у напрамку, процілеглым руху Зямлі.



Рыс. 16.5. Камета Галяя. 9 снежня 1985 г.

У будове каметы вылучаюць наступныя састаўныя элементы: ядро, галаву 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 (CO_2), чаднага газу (CO), метану (CH_4), аміяку (NH_3) і ўкрапаных у іх металічных часцінак. Ёсць у каметных ільдах і больш складаныя рэчывы, аж да амінакіслот. Па выніках даследаванняў, выкананых касмічнымі апаратамі, ядро каметы Галяя ўяўляе сабой маналітнае цела няправільнай формы памерамі 16×8 км, масай каля $3 \cdot 10^{14}$ кг і малой шчыльнасцю парадку 600 кг/м^3 (рыс. 16.6).

Пры набліжэнні да Сонца на адлегласць $1,5\text{--}2,0$ а. а. у каметы ўтвараецца галава. Гэта абумоўлена нагрэвам ядра, выпарэннем і выдзяленнем з яго паверхні газаў і пылу. Бачныя папярочнікі галоў комет з набліжэннем да Сонца дасягаюць памераў $10^4\text{--}10^6$ км. Пад дзеяннем ціску сонечнага выпрамянення на газы, якія акружаюць галаву каметы, утвараецца хвост. Хвасты яркіх комет цягнуцца на сотні мільёнаў кіламетраў, напрыклад, хвост каметы Х'якутакі (рыс. 16.7) — прыкладна на 300 млн км. Шчыльнасць часцінак у хвастах комет вельмі нізкая і параўнальная са шчыльнасцю міжпланетнага асяроддзя.



Рыс. 16.6. Фатаграфія галавы каметы Галяя, атрыманая касмічным апаратам «Джота»



Рыс. 16.7. Камета Х'якутакі.
Сакавік 1996 г.

Каметныя хвасты паводле формы падзяляюць на некалькі тыпаў:

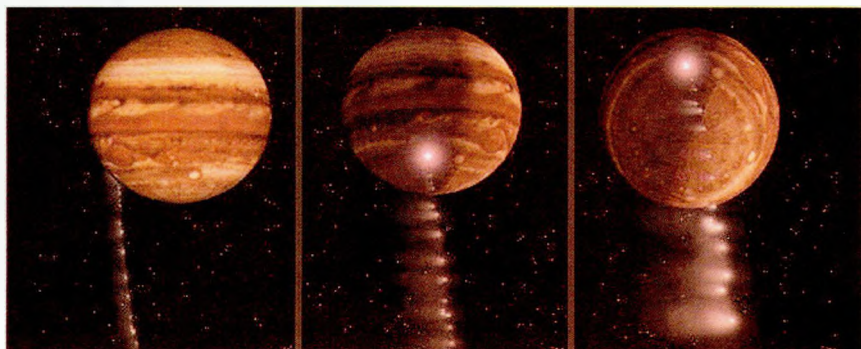
1) хвост утвараецца пры па-скарэнні сонечным ветрам ка-метных іонаў і накіраваны ў бок, процілеглы Сонцу;

2) хвост крыху выгнуты, складаецца з пылінак, якія ма-юць памеры ад доляў да дзесят-каў мікраметраў;

3) хвост складаецца з яшчэ больш буйнога пылу, вельмі выгну-ты пад уздзеяннем магнітнага поля;

4) выкід з галавы каметы накіраваны прамі да Сонца; яго час-та называюць «антыхвост».

Кожнае вяртанне каметы да Сонца не праходзіць бяследна. Ядро каметы губляе каля 1/1000 сваёй масы. Таму, напрыклад, працягласць жыцця каметы Галей ацэньваецца ў 20 тыс. гадоў. Але каметы могуць існаваць і менш, таму што яны разбураюцца з-за ўнутраных напружанняў, якія ўзнікаюць з-за нагрэву Сонцам ці прыліўнага ўздзеяння Сонца і Юпітэра. Гінуць каметы такса-ма пры сутыкненні з планетамі, метэарытнымі цэламі. Дакумен-тальна зарэгістравана больш за 20 камет, якія распаліся на асоб-ныя кампаненты на вачах назіральнікаў. Так, у 1992 г. камета Шумейкераў — Леві зблізілася з Юпітэрам. У выніку магутнага гравітацыйнага ўздзеяння яна развалілася на 22 фрагменты. Праз два гады асколкі абагнулі па арбіце Юпітэр і ўвайшлі ў атма-сферу планеты са скорасцю 60 км/с (рыс. 16.8). У выніку ўзніклі гіганцкія віхравыя цёмныя ўтварэнні, параўнальныя па памерах з Зямлёй.



Рыс. 16.8. Падзенне каметы Шумейкераў — Леві на Юпітэр

4. Метэоры і метэорныя патокі. Пры руху дробныя целы Сонечнай сістэмы перасякаюць зямную арбіту. Часцінка пры ўваходжанні ў атмасферу Зямлі з касмічнай скорасцю ўтварае святлівы след і выклікае з'яву **метэора**, ці «знічкі» (рыс. 16.9). Сама часцінка ў гэтым выпадку называецца **метэорным целам** ці **метэароідам**.

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 сантыметраў (даюць вельмі яркае свячэнне). Паводле некаторых ацэнак, прыток метэорнага рэчыва на Зямлю складае каля 50 тыс. тон у год.

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

Свячэнне метэора пачынаецца на вышыні 120 км і знікае на ўзроўні 60—80 км ад паверхні Зямлі, калі цела поўнасьцю выпарыцца ў атмасферы Зямлі. Увесь палёт метэорнага цела доўжыцца ад дзесятых доляў секунды да некалькіх секундаў. Працягласць назірання з'явы 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 дзесяткамі ў гадзіну, належаць да **метэорных патокаў**, ці «зорных дажджоў». Метэорныя патокі назіраюцца, калі Зямля перасякае арбіту метэорнага рою. Бачныя шляхі метэораў аднаго патоку, спраектаваныя на нябесную сферу і прадоўжаныя ў адваротным напрамку, перасякаюцца ў адным пункце на небе, які называецца **радыянтам** (рыс. 16.10).



Рыс. 16.9. Яркі метэор



Рыс. 16.10. Радыянт метэорнага патоку

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. 16.11), які назіраецца ў сярэдзіне лістапада. Арбіта гэтага метэорнага рою практычна супадае з арбітай каметы 1866 I. Такім чынам, устаноўлена роднасць метэорных раёў з каметамі. Пры разбурэнні каметы ўзнікае метэорны рой.



Рыс. 16.11. Метэорны дождж Леаніды. Старажытная гравюра. 1833 г.

Назва метэорнага патоку паходзіць ад назвы сузор'я ці зоркі, паблізу якіх знаходзіцца яго радыянт, напрыклад, Драканіды, Арыяніды і інш.

Сярод метэорных патокаў ёсць такія, інтэнсіўнасць якіх з года ў год не мяняецца. Гэта азначае, што метэорныя часцінкі размеркаваныя ўздоўж арбіты рою амаль раўнамерна.

Падобным метэорным патокам з'яўляецца паток Персеіды, які на-

Пытанні і практыкаванні

1. Што называецца астэроідам? Назавіце вядомыя вам буйнейшыя астэроіды.
2. Чаму на астэроідах няма атмасферы?
3. Якая сувязь камет з метэорамі і астэроідамі?
4. Ахакарызуйце сэнс паняццяў «метэор», «метэарыт», «балід».
5. Якая прырода «зорных дажджоў»?
6. Ці можна назіраць метэоры на Месяцы?
7. Што такое радыянт метэорнага патоку?
8. Вызначце шырыню метэорнага рою Драканіды, калі ён дзейнічае з 6 па 10 кастрычніка.
9. Ацаніце масу ядра каметы Хейла — Бопы, лічачы, што яна мае шарападобнае ядро радыусам 20 км і шчыльнасць касмічнага рэчыва 1000 кг/м^3 .

§ 17. ДАСЛЕДАВАННЕ ЭЛЕКТРАМАГНІТНАГА ВЫПРАМЯНЕННЯ НЯБЕСНЫХ ЦЕЛ

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

У вакууме электрамагнітныя хвалі заўсёды распаўсюджваюцца з аднолькавай скорасцю $c \approx 3 \cdot 10^8$ м/с. Вельмі важнай уласцівасцю электрамагнітнага выпрамянення з'яўляецца тое, што скорасць яго распаўсюджвання не залежыць ні ад даўжыні хвалі, ні ад скорасці руху крыніцы. Хваля характарызуецца частотой ν і даўжынёй λ , паміж якімі існуе залежнасць:

$$c = \nu \lambda.$$

Электрамагнітныя хвалі, якія маюць розную даўжыню хвалі, узаемадзейнічаюць з рэчывам па-рознаму. Аднак метады даследавання электрамагнітнага выпрамянення адрозніваюцца. У сувязі з гэтым электрамагнітнае выпрамяненне ўмоўна падзяляецца на некалькі дыяпазонаў (табл. 17.1).

Выпрамяненне 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 выпрамянення ў іншых дыяпазонах патрэбны спецыяльныя прылады.

Табліца 17.1

ДЫАПАЗОНЫ ЭЛЕКТРАМАГНІТНАГА ВЫПРАМЯНЕННЯ

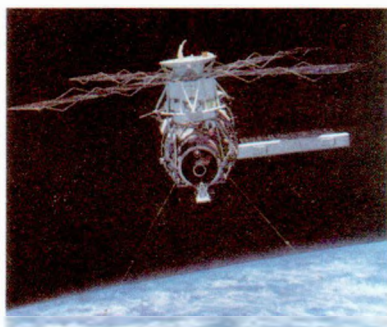
Дыяпазоны	Даўжыня хвалі, λ
Радыехвалі	Больш за 1 мм
Інфрахырвоныя прамяні	Ад 760 нм да 1 мм
Бачныя прамяні	Ад 390 да 760 нм
Ультрафіялетавыя прамяні	Ад 10 да 390 нм
Рэнтгенаўскія прамяні	Ад 0,01 да 10 нм
Гама-прамяні	Менш за 0,01 нм



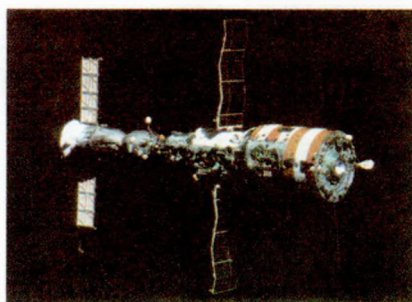
Рыс. 17.1. Распаўсюджванне выпрамянення нябесных цел у атмасферы Зямлі

У залежнасці ад свайго фізічнага стану адны нябесныя целы выпрамяняюць энергію ў вузкіх інтэрвалах частот спектра электрамагнітных хваль (напрыклад, светлыя газавыя туманнасці), іншыя — ва ўсім яго дыяпазоне: ад гамма-прамянёў да радыехваль уключна (напрыклад, зоркі). Вывучэнне фізічнай прыроды нябесных цел у шырокім дыяпазоне электрамагнітнага выпрамянення прывяло да з'яўлення ў навуцы наступных раздзелаў: гамма-астраномія, рэнтгенаўская астраномія, інфрачырвоная астраномія, радыеастраномія і інш.

Вывучэнне электрамагнітных хваль, якія вылучаюцца нябеснымі цэламі, ускладняецца з-за таго, што атмасфера Зямлі прапускае выпрамяненне толькі ў дыяпазонах даўжыннь хваль: ад 300 да 1000 нм, ад 1 см да 20 м і ў некалькіх «вокнах» інфрачырвонага дыяпазону (рыс. 17.1). Выпрамяненне, якое даходзіць да паверхні Зямлі, даследуюць пры дапамозе аптычных тэлескопаў (бачнае святло) і радыеа тэлескопаў.



Рыс. 17.2. Арбітальная станцыя «Скай-лэб» на каляземнай арбіце вакол Зямлі



Рыс. 17.3. Пілатуемы комплекс «Салют-7» — «Саюз Т-5» на каляземнай арбіце

Больш за ўсё зямная атмасфера паглынае караткахвалевую зону дыяпазону электрамагнітнага выпрамянення: 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 (рыс. 17.2), комплексах (рыс. 17.3), штучных спадарожніках Зямлі і ракетах.

2. Тэлескопы і іх характарыстыкі. Вывучаць далёкія недасягальныя нябесныя аб'екты можна адным спосабам — зборам і аналізам іх выпрамянення. Для гэтай мэты і служаць тэлескопы. Пры ўсёй сваёй разнастайнасці тэлескопы, якія прымаюць электрамагнітнае выпрамяненне, вырашаюць дзве асноўныя задачы:

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

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

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

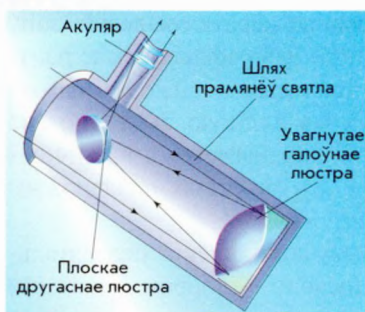
Тэлескоп-рэфрактар (рыс. 17.4) у асноўным выкарыстоўваецца для візуальных назіранняў. Ён мае аб'ектыў і акуляр. Тэлескоп-рэфрактар, сумешчаны з фотакамерай, называецца **астрографам** ці астранамічнай камерай. Астрограф па сутнасці ўяўляе сабой вялікі фотаапарат: у яго факальнай плоскасці ўстанаўліваецца касета з фотапласцінкай. 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 шматлінзавыя аб'ектывы з прасветленай оптыкай (рыс. 17.5).



Рыс. 17.4. Ход прамяню ў тэлескопе-рэфрактары



Рыс. 17.5. 300-міліметровы тэлескоп-рэфрактар абсерваторыі Маскоўскага планетарыя

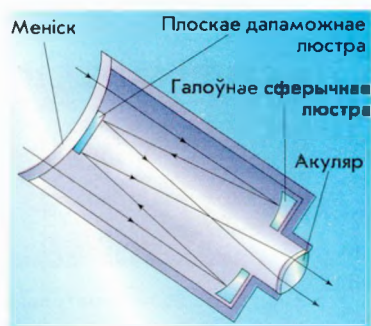


Рыс. 17.6. Ход прамянёў у тэлескопе-рэфлектары

памераў люстра ў такіх тэлескопах даводзіцца выкарыстоўваць спецыяльныя сістэмы разгрузкі люстраў, якія выключаюць іх дэфармацыі з-за ўласнай масы, а таксама прымаць меры для прадукінення іх тэмпературных дэфармацый. Пабудова буйных рэфлектараў (з дыяметрам люстра 4—6 м) звязана з вялікімі тэхнічнымі цяжкасцямі. Таму распрацоўваюцца канструкцыі з састаўнымі мазайчымі люстрамі, асобныя элементы якіх патрабуюць дакладнай настройкі з дапамогай спецыяльнай апаратуры сачэння, альбо канструкцыі з некалькіх паралельных тэлескопаў, якія зводзяць відарыс у адзін пункт.

У невялікіх і сярэдніх па памерах рэфлектарах для зручнасці назірання святло адбіваецца дадатковым плоскім (другасным) люстрам да сценкі трубы, дзе знаходзіцца акуляр (рыс. 17.6). Рэфлектары выкарыстоўваюцца пераважна для фатаграфавання неба, фотаэлектрычных і спектральных даследаванняў.

У **люстрана-лінзавых тэлескопах** відарыс атрымліваецца з дапамогай складанага аб'ектыва, які ўтрымлівае як люстры, так і лінзы. Гэта дазваляе значна паменшыць аптычныя скажэнні тэлескопа ў параўнанні з люстранымі ці лінзавымі сістэмамі. У тэлескопах сістэмы Б. Шміта аптычныя скажэнні галоўнага сферычнага люстра ліквідуюцца пры дапамозе спецыяльнай карэкцыйнай пласцінкі складанага профілю, якая ўстанаўліваецца ў аб'ектыў. У тэлескопах сістэмы Дз. Дз. Максутова скажэнні галоўнага сферычнага ці эліптычнага люстра выпраўляюцца меніскам, які ўстанаўліваецца перад люстрам (рыс. 17.7). Меніск — гэта лінза, у



Рыс. 17.7. Ход прамянёў у люстрана-лінзавым меніскавым тэлескопе

якой радыусы крывізны паверхняў мала адрозніваюцца. Такая лінза амаль не ўплывае на агульны ход прамянёў, але значна выпраўляе скажэнні аптычнага відарыса.

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

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

$$G = \frac{F_{\text{аб}}}{F_{\text{ак}}},$$

дзе $F_{\text{аб}}$ і $F_{\text{ак}}$ — фокусныя адлегласці аб'ектыва і акуляр.

Для атрымання значнага павелічэння аб'ектывы ў тэлескопах павінны быць даўгафокуснымі (фокусная адлегласць у некалькі метраў), а акуляр — караткафокуснымі (некалькі міліметраў). Неспакойная атмасфера Зямлі выклікае дрыжанне і скажэнне відарыса, размывае яго дэталі. Таму нават на буйных тэлескопах рэдка выкарыстоўваюць павелічэнне большае, чым у 500 разоў.

Пад **распазнавальнай здольнасцю** 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 адчувальнае вока чалавека, можа быць ацэнена 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 распазнавальнай здольнасці ў некалькі дзесятых доляў секунды.

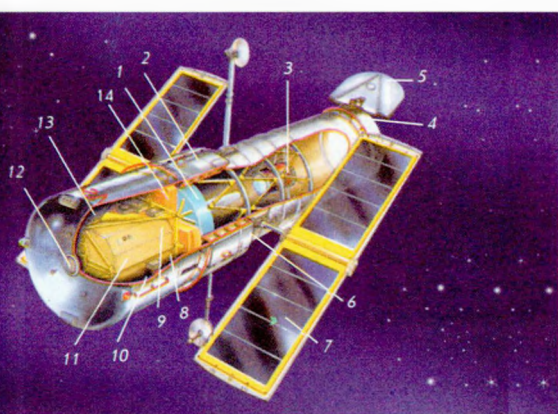
З 1995 г. працуюць два аднолькавыя 10-метровыя тэлескопы «Кек-1» і «Кек-2» у абсерваторыі Маўна-Кеа (ЗША). Кожнае люстра ў іх складаецца з 36 сегментаў. Якасць відарыса забяспечвае адаптыўная оптыка, якая кіруе кожным сегментам люстра. Па распазнавальнай здольнасці такі тэлескоп набліжаецца да касмічнага. Абсерваторыя знаходзіцца на вышыні 4250 м над Ціхім акіянам на Гавайскіх астравах.

Опытка Касмічнага тэлескопа Хабла (рыс. 17.8) набліжаецца да ідэальнай аптычнай сістэмы. Па-за атмасферай люстра гэтага тэлескопа дыяметрам 2,4 м дае магчымасць дасягнуць распазнавання 0,06".

Значныя магчымасці ёсць у тэлескопа VLT (ад англ. *Very Large Telescope* — вельмі вялікі тэлескоп), які належыць еўрапейскім краінам і ўстаноўлены на гары Параналь (вышыня 2635 м) на поўначы Чылі. Тэлескоп VLT складаецца з чатырох тэлескопаў дыяметрам па 8,2 м кожны. Крайнія тэлескопы разнесены адзін ад аднаго на адлегласць 200 м, што дае магчымасць усяму комплексу прылад працаваць у рэжыме **аптычнага інтэрферометра**. Гэта азначае, што калі тэлескоп накіраваны на адну і тую ж зорку, то сабранае імі выпрамяненне падсумоўваецца, а распазнавальная здольнасць тэлескопаў, якія сумесна працуюць, эквівалентная выкарыстанню люстра дыяметрам 200 м.

Колькасць пабудаваных ва ўсім свеце тэлескопаў з дыяметрам люстра больш за шэсць метраў набліжаецца да дваццаці (гл. Дада-так 13).

Сабранае аб'ектывам тэлескопа выпрамяненне рэгіструецца і аналізуецца прыёмнікам выпрамянення. На працягу першых двух з паловай стагоддзяў з пачатку тэлескапічнай эры адзіным прыёмнікам выпрамянення служыла вока чалавека. Але гэта не толькі не вельмі адчувальны, але і дастаткова суб'ектыўны прыёмнік выпрамянення. З сярэдзіны XIX ст. у астраноміі пачалі шырока выкарыстоўвацца фатаграфічныя метады. Фатаграфічныя матэрыялы (фотопласцінкі, фотоплёнкі) маюць шэраг каштоўных пераваг у параўнанні з чалавечым вокам. Фотаэмульсія здольная падсумоўваць энергію, што падае на яе, г. зн. пры павелічэнні вытрымкі на негатыве можна сабраць больш святла. Фатаграфія дазваляе дакументаваць падзеі, таму што негатывы могуць захоўвацца на працягу доўгага часу.



Рыс. 17.8. Касмічны тэлескоп Хабла (ЗША): 1 — галоўнае люстра; 2 — модуль абслуговых сістэм; 3 — другаснае люстра; 4 — прыстасаванне для аховы ад бакавых прамянёў; 5 — накрывка; 6 — адсек абсталявання; 7 — сонечныя батарэі; 8 — камера слабых аб'ектаў; 9 — высакаскорасны спектрограф; 10 — шырокавугольная і планетная камеры; 11 — інструментальны адсек; 12 — спектрограф слабых аб'ектаў; 13 — спектрограф высокага распазнавання; 14 — датчыкі дакладнага гідзіравання

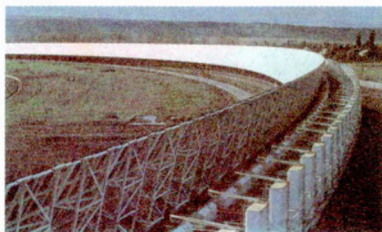
Фотапласцінкі маюць панарамнасць, г. зн. могуць адначасова і дакладна фіксаваць мноства аб'ектаў.

Самыя буйныя сучасныя тэлескопы кіруюцца камп'ютэрамі, а атрыманыя відарысы касмічных аб'ектаў фіксуюцца ў форме, якая апрацоўваецца камп'ютэрнымі праграмамі. Фатаграфія амаль выйшла з ужытку. У апошнія дзесяцігоддзі атрымалі шырокае распаўсюджванне **фотаэлектрычныя прыёмнікі выпрамянення**, звесткі ад якіх перадаюцца непасрэдна на камп'ютэр. Да такіх прылад адносяцца ПЗС-матрыцы (прылады з зарадавай сувяззю). ПЗС-матрыца — гэта інтэгральная схема, размешчаная на паўправадніковым матэрыяле, якая пераўтварае светлавую энергію выпрамянення ў энергію электрычнага току. Сіла току прапарцыянальная інтэнсіўнасці светлага патоку. Такія прылады маюць высокую эфектыўнасць у рэгістрацыі светлавых квантаў (квантавы выхад): выкарыстоўваецца да 80 % ад агульнай іх колькасці. Для параўнання: квантавы выхад нашага вока — 3 %, а фотаэмульсіі — усяго 1 %. Гэта азначае, што тэлескоп, абсталяваны ПЗС-матрыцай, можа рэгістраваць святло ад аб'ектаў амаль у 20 разоў слабейшых, чым пры візуальным назіранні. Акрамя таго, атрыманая інфармацыя запісваецца на магнітныя носыбіты ў лічбавым фармаце і захоўваецца з часам (у адрозненне ад фатаграфічнай эмульсіі); можа шматразова капіравацца і рассылацца розным даследчыкам. Камп'ютэрная апрацоўка відарыса дае магчымасць пазбавіцца ад перашкод і фону, што ствараюцца за кошт рассейвання святла ў атмасферы Зямлі і турбулентнасці атмасферы.

3. Радые́тэлескопы. Вывучэннем касмічных радыёкрыніц займаецца радыёастраномія. Яна ўзнікла ў 1931 г., калі выпадкова было выяўлена радыёвыпрамяненне Млечнага Шляху. Праз 15 гадоў у сузор'і Лебедзя знайшлі першую кропкавую крыніцу радыёхваляў — слабую галактыку, якую потым удалося разгледзець у аптычным дыяпазоне.

Радыёвыпрамяненне, якое даходзіць да Зямлі ад большасці нябесных аб'ектаў, вельмі слабае. Для выяўлення і прыёму касмічнага радыёвыпрамянення выкарыстоўваюцца прылады, якія атрымалі назву радыётэлескопаў. Радыётэлескопы складаюцца з антэннага ўстройства і адчувальнай прыёмнай сістэмы. Прыёмная сістэма, ці радыёметр, узмацняе прынятае антэнай радыёвыпрамяненне і пераўтварае яго ў зручную для далейшай апрацоўкі форму.

Асноўнае прызначэнне антэннага ўстройства — сабраць максімальную колькасць энергіі, што прыносіцца радыёхвалямі ад аб'екта. У якасці антэны выкарыстоўваецца суцэльнае металічнае ці сеткаватае люстра ў форме парабалоіда. Антэна радыётэлескопа адрозніваецца ад звычайных антэн радыёсувязі высокай накіраванас-



Рыс. 17.9. Паўночны сектар радыётэ-
лескопа РАТАН-600

Радыётэлескопы вельмі вялікага памеру могуць будавацца з асобных люстраў, кожнае з якіх факсіруе выпрамяненне, якое прымае, на адзін апрамяняльнік. Прыкладам з'яўляецца расійскі радыётэлескоп РАТАН-600 (рыс. 17.9). Антэна гэтага тэлескопа ўяўляе сабой замкнёнае кальцо дыяметрам каля 600 м, складзенае з 895 плоскіх люстраў памерамі $2,1 \times 7,4$ м, якія ўтвараюць сегменты параболаіда. Кожнае люстра можа перамяшчацца крышку назад-уперад і, галоўнае, паварочвацца ўгару ў межах 70° . Кіраванне панелямі ажыццяўляецца з дапамогай камп'ютэра, таму ў час назіранняў антэна можа заставацца наведзенай на адзін і той жа пункт вярчальнага купала неба.

Магутнасць радыёсігнала, які трапляе на ўваход прыёмніка, прама прапарцыянальная плошчы антэны. Таму антэна большага памеру з адным і тым жа прыёмнікам забяспечвае лепшую адчувальнасць, г. зн. дае магчымасць выявіць слабыя крыніцы з малой магутнасцю выпрамянення. Антэны самых буйных радыётэлескопаў дасягаюць соцень метраў. Буйны радыётэлескоп з вярчальным металічным рэфлектарам дыяметрам 100 м знаходзіцца недалёка ад го-

рада Бона ў Германіі. Нерухомая антэна ў Арэсіба (Пуэрта-Рыка), якая размешчана ў кратэры патухлага вулкана, мае дыяметр 305 м (рыс. 17.10). Для таго каб змяніць напрамак прыёму выпрамянення, у гэтым радыётэлескопе перастаўляюць апрамяняльнік.

Калі радыёвыпрамяненне крыніцы адначасова ўспрымаецца дзвюма і болей антэнамі, якія размешчаны на некаторай адлегласці адна ад адной, а потым гэтыя сігналы падсумоўваюцца, то ў выніку інтэрферэнцыі радыёсігналаў



Рыс. 17.10. Гігантскі радыётэлескоп
у чашы кратэра (Пуэрта-Рыка)

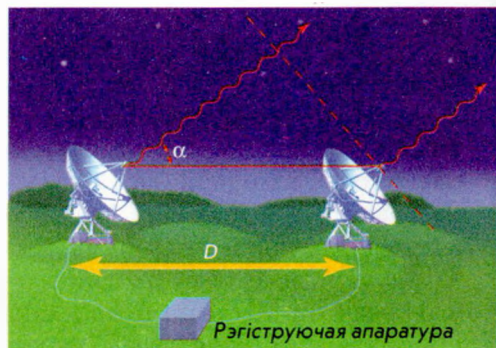
распазнавальная здольнасць тэлескопаў значна ўзрастае. Такі інструмент называецца **радыёінтэрферометрам**. На рыс. 17.11 паказана схема работы радыёінтэрферометра, які складаецца з двух радыётэлескопаў. Адлегласць D , што іх раздзяляе, можа складаць сотні і нават тысячы кіламетраў. Напрыклад, шматэлементны радыёінтэрферометр VLA (штат Нью-Мексіка, ЗША) складаецца з 27 індывідуальных 25-метровых параболаідаў, якія разнесены на 25 км. Радыёінтэрферометры са звышдоўгай базай аб'ядноўваюць разнесеныя на тысячы кіламетраў радыётэлескопы. З іх дапамогай змаглі атрымаць вуглавое распазнаванне каля $0,0001''$.

Радыёхвалі свабодна праходзяць скрозь вялізныя міжзорныя газыпылавыя воблакі і атмасферу Зямлі. Таму метады радыёастраноміі вельмі важныя для вывучэння, напрыклад, цэнтральных раёнаў Млечнага Шляху і іншых галактык, паколькі аптычныя хвалі, што ідуць з гэтых зон, поўнасю паглынаюцца. Так, даследаванне выпрамянення міжзорнага вадароду на хвалі 21 см дало магчымасць лепш зразумець структуру нашай Галактыкі і выявіць яе спіральныя рукавы. Дзякуючы радыёастраноміі былі адкрыты квазары і пульсары.

У большай ці меншай ступені радыёвыпрамяняльную здольнасць маюць усе галактыкі. Але некаторыя з іх адрозніваюцца павышанай актыўнасцю. (На рыс. 17.12 паказана сумяшчэнне аптычнай фатаграфіі і ліній інтэнсіўнасці радыёвыпрамянення радыёгалактыкі Цэнтаўр А.)

Усе вядомыя касмічныя радыёкрыніцы ў 1980-х гг. былі зведзены ў каталог, які налічвае звыш 100 тыс. аб'ектаў.

У 1958 г. астраномы ЗША атрымалі першае радарнае рэха ад іншай планеты — Венеры. Адбіткі радарных сігналаў ад іншых планет даюць самыя дакладныя вымярэнні адлегласцей. Гэтыя ж метады далі магчымасць пранікнуць праз шчыльную атмасферу Венеры



Рыс. 17.11. Схема работы радыёінтэрферометра



Рыс. 17.12. Аптычнае і радыёвыпрамяненне галактыкі Цэнтаўр А

і даследаваць рэльеф яе паверхні. У 1994 г. амерыканскі касмічны апарат «Магелан» правёў радарныя даследаванні з арбіты вакол Венеры і атрымаў дакладныя звесткі аб дэталях паверхні гэтай планеты. З дапамогай радара былі дакладна вызначаны перыяды абарачэння Венеры і Меркурыя.

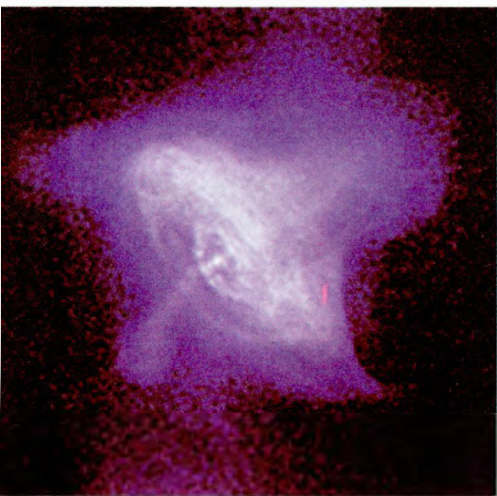
4. Пазаатмасферная астраномія. Малады раздзел астраноміі — **пазаатмасферная астраномія** — вывучае нябесныя аб'екты пры дапамозе апаратуры, вынесенай за межы зямной атмасферы. Розныя прылады, размешчаныя на штучных спадарожніках Зямлі (ШСЗ) і аўтаматычных міжпланетных станцыях (АМС), даюць магчымасць вывучаць касмічныя аб'екты ва ўсім дыяпазоне даўжынь хваль, пачынаючы ад жорсткага гама-выпрамянення да кіламетровых радыёхваль. Таму сучасная астраномія стала ўсяхвалявай.

Выкарыстанне **інфрачырвонага выпрамянення** ў астраноміі пачалося з таго, што з яго дапамогай вучоныя правялі дакладныя вымярэнні тэмпературы паверхні і атмасферы планет Сонечнай сістэмы. Так у атмасферах Марса, Венеры і Юпітэра быў выяўлены вуглякіслы газ. Інфрачырвоныя назіранні планет-гігантаў далі магчымасць вызначыць структуру іх атмасфер і адшукаць лёд на спадарожніках. Сенсацыйным адкрыццём інфрачырвонай астраноміі стала вада, выяўленая ў вялікай колькасці ў космасе. Яна прысутнічае ў газапылавых туманнасцях, каметах і на малых планетах.

Паколькі зямная атмасфера моцна экраніруе **ультрафіялетавае выпрамяненне**, яго прыёмнікі прыходзіцца размяшчаць на

штучных спадарожніках Зямлі. Актыўныя даследаванні касмічных ультрафіялетовых прамянёў праводзіць амерыканскі спадарожнік FUSE (спектраскапічны зонд далёкага ультрафіялетавага дыяпазону), які быў запушчаны ў 1998 г.

Назіранні, праведзеныя ў 1999 г., далі вельмі цікавыя навуковыя вынікі. Высветлілася, што ў нашай Галактыцы шырока распаўсюджаны масы моцна нагрэтага (да паўмільёна градусаў) міжзорнага газу, які размешчаны на адлегласці ад 5 да 10 тыс. светлавых гадоў ад цэнтральнай плоскасці Млечнага Шляху. Гэты газ награвасца, хутчэй за ўсё, у выніку ўспышак звышновых зорак.



Рыс. 17.13. Рэнтгенаўскі відарыс Крабападобнай туманнасці

Крыніцамі **гама-выпрамянення** з'яўляюцца ўспышкі на Сонцы, ядры актыўных галактык, квазары. Даследаванні гама-выпрамянення праводзіла касмічная гама-абсерваторыя імя Комптана (ЗША), запушчаная ў 1991 г.

Самы адчувальны прыёмнік рэнтгенаўскага выпрамянення (рэнтгенаўскі тэлескоп) размешчаны на спадарожніку «Чандра», запушчаным у 1999 г. З дапамогай гэтай абсерваторыі даследуюцца звышновыя зоркі, туманнасці (рыс. 17.13), нейтронныя зоркі, сонечная карона і ўспышкі на Сонцы.

На каляземныя арбіты ШСЗ выводзяць унікальныя ультрафіялетавыя, інфрачырвоныя і аптычныя тэлескопы. Паступова павялічваюцца дыяметры іх галоўных люстраў, удасканальваецца святлопрыёмная апаратура, павышаецца адчувальнасць прыбораў, распрацоўваюцца новыя метады стабілізацыі тэлескопаў на арбіце.

Пытанні і практыкаванні

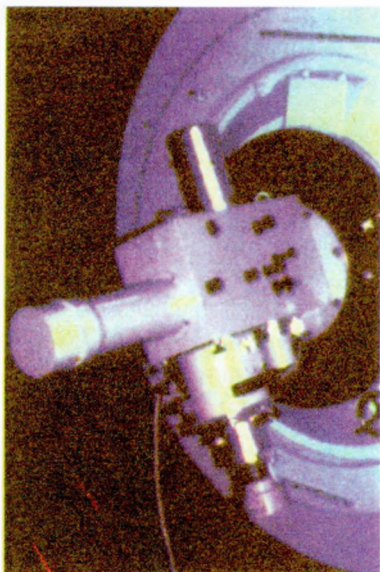
1. На якія дыяпазоны падзяляецца ўвесь спектр электрамагнітнага выпрамянення? 2. Чаму з паверхні Зямлі нельга вывучаць нябесныя аб'екты ва ўсіх дыяпазонах электрамагнітнага выпрамянення? 3. Якія асноўныя задачы вырашаюць у астраноміі з дапамогай тэлескопаў? 4. Як можна вызначыць бачнае павелічэнне аптычнай сістэмы тэлескопа? 5. Дакажыце, што павелічэнне тэлескопа пры візуальных назіраннях роўнае суадносінам фокусных адлегласцей аб'ектыва і акулярна. 6. Што разумеюць пад распазнавальнай здольнасцю тэлескопа? 7. Чым адрозніваюцца аптычныя тэлескопы ад радыётэлескопаў? 8. Чым адрозніваецца радыёінтэрферометр ад радыётэлескопа? 9. Што разумеюць пад пазаатмасфернай астраноміяй?

§ 18. СПЕКТРАЛЬНЫ АНАЛІЗ У АСТРАНОМІІ

1. Віды спектраў. У 1666 г. Ісаак Ньютан пры прапусканні пучка сонечнага святла праз трохгранную шкляную прызму заўважыў, што той не толькі пераламляецца да асновы прызмы, але і распадаецца на каляровыя састаўляючыя (рыс. 18.1). Атрыманую на экране каляровую палоску з сямі асноўных колераў, якія паступова пераходзяць адзін у другі, назвалі **спектрам**.



Рыс. 18.1. Утварэнне бесперапыннага спектра



Рыс. 18.2. Спектрограф, устаноўлены на тэлескопе

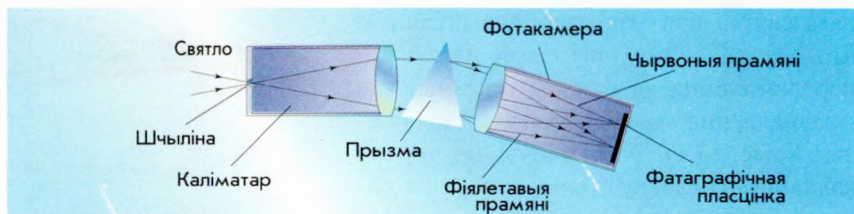
Для назірання і даследавання спектраў выкарыстоўваюць прыладу — **спектраскоп**. Для атрымання і рэгістрацыі спектраў нябесных цел ужываюць спецыяльную аптычную прыладу — **спектрограф** (рыс. 18.2).

Спектры адносна яркіх святл фатаграфуюць шчыліннымі спект-рографамі, якія складаюцца з калі-матара, прызмы і фотакамеры (рыс. 18.3). Фатаграфічны здымак спектра нябеснага цела называецца **спектраграмай**. Спектраграмай на-зваюць таксама графік залежнасці інтэнсіўнасці (магутнасці) выпра-мянення нябеснага цела ад даў-жыні хвалі ці частаты.

Кожнае святлівае цела стварае **спектр выпрамянення**. Спектры бы-ваюць суцэльныя (бесперапынныя), лінейчастыя і паласатыя.

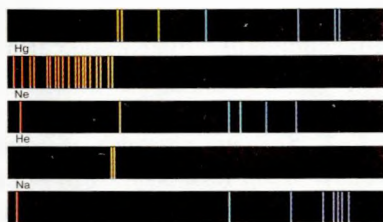
Суцэльны спектр мае выгляд бесперапыннай паласы, колеры якой паступова пераходзяць адзін у другі (гл. рыс. 18.1). Усе цвёрдыя целы, расплаўленыя металы, святлівыя газы і пара, якія знаходзяцца пад вельмі высокім ціскам, даюць суцэльны спектр. Такі спектр можна, напрыклад, атрымаць ад дугаваго ліхтара і свечкі, якая гарыць.

Іншы выгляд мае спектр, калі ў якасці крыніцы святла выкары-стоўваць распаленыя газы ці пару пры ўмове, што іх ціск мала ад-розніваецца 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. 18.4). Многія газы і пара складаюцца з асобных атамаў, напрыклад інертныя газы (гелій, неон, аргон і інш.), пара металаў. Газы і пара, якія складаюцца з малекул (напрыклад, вада-



Рыс. 18.3. Схема шчыліннага спектроскопа

род, кісларод, пара ёду), могуць пры пэўных умовах распадацца на атамы (дысацыіраваць). Такія атамарныя газы і пара таксама даюць лінейчастыя спектры. Устаноўлена, што кожны хімічны элемент у стане распаленага газу, які складаецца з атамаў, выпрамяняе толькі яму аднаму ўласцівы лінейчасты спектр з характэрнымі каляровымі лініямі, заўсёды размешчанымі на адным і тым жа месцы.



Рыс. 18.4. 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 выпрамяняюць малекулы газаў і пары.

Разам са спектрамі выпрамянення адрозніваюць спектры паглынання.

Як нам ужо вядома, пры назіранні святла ад дугаваго ліхтара праз спектраскоп мы атрымліваем суцэльны спектр. Калі ўстанавіць перад шчылінай спектраскопа звычайнае зялёнае шкло, то суцэльны спектр будзе ўяўляць сабой вузкую зялёную палоску, а ўсе астатнія колеры будуць адсутнічаць — на іх месцы будзе цёмная паласа. Як і каляровае шкло, газы і пара рэчываў таксама здольныя паглынаць пэўныя прамяні спектра. Напрыклад, калі прамяні ад дугаваго ліхтара праходзяць праз пару натрыю, тэмпература якой ніжэй за тэмпературу распаленых вуглёў ліхтара, то ў суцэльным спектры ўзнікаюць блізка размешчаныя цёмныя лініі на тым самым месцы, дзе ў спектры выпрамянення натрыю назіраюцца жоўтыя лініі. Пры праходжанні святла ад дугаваго ліхтара праз газы і пару іншых рэчываў у суцэльным спектры, які назіраецца ў спектраскоп, мы ўбачым таксама шэраг цёмных ліній, характэрных для гэтых рэчываў.

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

Такім чынам, для кожнага хімічнага элемента яго лінейчасты спектр выпрамянення і спектр паглынання з'яўляюцца абарачальнымі. Гэта азначае, што месцазнаходжанне цёмных ліній паглынання дакладна адпавядае месцазнаходжанню каляровых ліній выпрамянення.

Спектр утрымлівае найважнейшую інфармацыю пра выпрамяненне. Агульны выгляд спектра і дэталёвае размеркаванне энергіі

ў ім залежаць ад тэмпературы, хімічнага саставу і фізічных уласцівасцей крыніцы, а таксама ад скорасці яе руху. Метад даследавання хімічнага саставу цел і іх фізічнага стану пры дапамозе спектраў выпрамянення і паглынання называецца **спектральным аналізам**.

2. Хімічны састаў нябесных цел. У 1814 г. нямецкі фізік *Іозеф Фраўнгофер* пры назіранні спектра Сонца з дапамогай зробленага ім спектраскопа з дыфракцыйнай рашоткай звярнуў увагу на тое, што суцэльны спектр Сонца мае значную колькасць цёмных ліній. Вучоны ўстанавіў, што гэтыя лініі (пазней 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 спектральнай прыладай). Сонца абкружана газавай абалонкай, якая мае больш нізкую тэмпературу і меншую шчыльнасць, чым фотасфера. Такім чынам, спектр Сонца з'яўляецца, па сутнасці, спектрам паглынання гэтай пары.

Пры дэталёвай класіфікацыі фраўнгоферавых ліній адзін за адным на Сонцы выявілі ўсе зямныя элементы. Пасля правядзення велізарнай па аб'ёме працы па ўстанаўленні адпаведнасці фраўнгоферавых ліній пэўным элементам высветлілася, што некалькі спектральных ліній не належаць ніводнаму зямному элементу. Так быў адкрыты сонечны элемент — гелій (сонечны). І толькі праз 26 гадоў гелій выявілі на Зямлі.

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

3. Тэмпература. Законы Віна і Стэфана — Больцмана. Кожнае, нават слаба нагрэтае цела выпрамяняе электрамагнітныя хвалі (цеплавае выпрамяненне). Пры тэмпературах, не большых за 10^3 К, выпрамяняюцца галоўным чынам інфрачырвоныя прамяні і радыёхвалі. Пры далейшым награванні спектр цеплагага выпрамянення мяняецца: па-першае, павялічваецца агульная колькасць энергіі, якая выпрамяняецца, па-другое, з'яўляюцца прамяні ўсё больш і больш кароткіх даўжынь хваль — бачныя (ад чырвоных да фіялетавых), ультрафіялетавыя, рэнтгенаўскія і г. д.

Пры цеплавым выпрамяненні ўнутраная энергія цеплагага руху атамаў і малекул цела пераходзіць у энергію выпраменьваемых

электрамагнітных хваль. Пры паглыннанні святла адбываецца адваротны працэс пераходу электрамагнітнай энергіі ва ўнутраную энергію цела.

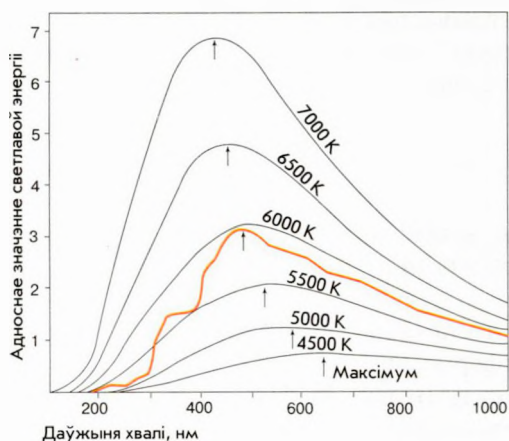
Цела, якое абсалютна не паглынала б выпрамяненне і поўнаасцю адбівала б усе прамяні, што падаюць на яго, называюць у фізіцы **абсалютна белым целам**. Колер такога цела вызначаецца спектральным саставам выпрамянення, якое яго асвятляе. Цела, якое поўнаасцю паглынае выпрамяненне, што падае на яго, называецца **абсалютна чорным целам**. Пры асвятленні такога цела пабочнай крыніцай святла яно нічога не адбівае і здаецца нам чорным.

Адзначым, што ў прыродзе абсалютна белых і абсалютна чорных цел не існуе. Рэальныя целы, якія мы называем чорнымі (аксаміт, сажа), добра паглынаюць толькі выпрамяненне бачнай часткі спектра, ды і то не поўнаасцю.

Пры кожным пэўным значэнні тэмпературы нагрэтае цела выпрамяняе больш за ўсё ў некаторай частцы спектра. Тэмпературу нябесных цел, якія маюць бесперапынны спектр, можна вымераць па размеркаванні энергіі ў спектры. Ад размеркавання энергіі ў спектры залежыць колер крыніцы, таму колер цела звязаны з яго тэмпературай.

Размеркаванне энергіі ў бесперапынным спектры цел рознай тэмпературы можна падаць у выглядзе графіка (рыс. 18.5). З павелічэннем тэмпературы максімум выпрамянення абсалютна чорнага цела зрушваецца ў караткахвалевую частку спектра. Даўжыня хвалі $\lambda_{\max}$, якой адпавядае максімум у размеркаванні энергіі, звязана з абсалютнай тэмпературай T суадносінамі, якія называюцца **законам зрушэння Віна**:

$$\lambda_{\max} T = b.$$



Рыс. 18.5. Размеркаванне энергіі ў бесперапынных спектрах цел, нагрэтых да розных тэмператур. Чырвоная крывая — спектр Сонца

Калі T выразіць у градусах Кельвіна, а $\lambda_{\max}$ — у мікраметрах, то пастаянная $b = 2900 \text{ K} \cdot \text{мкм}$. Гэты закон справядлівы не толькі для аптычнага, але і для любога іншага дыяпазону электрамагнітнага выпрамянення.

У спектраграме Сонца найбольшая інтэнсіўнасць выпрамянення прыпадае на даўжыню хвалі $\lambda = 480 \text{ нм}$, таму тэмпература сонечнай фотасферы блізкая да 6000 K .

З павелічэннем тэмпературы мяняецца не толькі колер выпрамянення, але і яго магутнасць. У выніку эксперыментаў і тэарэтычнага абгрунтавання было даказана, што *магутнасць выпрамянення абсалютна чорнага цела прапарцыянальная чацвёртай ступені тэмпературы (закон Стэфана — Больцмана)*. Кожны квадратны метр паверхні абсалютна чорнага цела выпрамяняе за 1 с па ўсіх напрамках ва ўсім дыяпазоне даўжынь хваль энергію:

$$\epsilon = \sigma T^4,$$

дзе ϵ — магутнасць выпрамянення адзінкі паверхні нагрэтага цела, T — абсалютная тэмпература, σ — пастаянная Стэфана — Больцмана, роўная $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K}^4)$.

Калі вядома колькасць энергіі, што прыходзіць ад зоркі да зямной паверхні, то можна вызначыць яе тэмпературу па законе Стэфана — Больцмана. Законы Віна і Стэфана — Больцмана справядлівыя для выпрамянення абсалютна чорнага цела. У першым набліжэнні можна лічыць, што зоркі, у прыватнасці Сонца, выпрамяняюць як абсалютна чорнае цела.

4. Эфект Доплера. У астрафізіцы шырока выкарыстоўваецца **эфект Доплера**, які ўзнікае пры руху крыніцы выпрамянення адносна назіральніка. Сутнасць эфекту Доплера заключаецца ў наступным: калі крыніца выпрамянення рухаецца па прамяні зроку назіральніка са скорасцю v_r , якая называецца прамянёвай скорасцю, то замест даўжыні хвалі λ_0 , якую выпрамяняе 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, што пакуль ён набліжаўся, гукавы сігнал быў больш высокі, а калі стаў аддаляцца, вышыня гуку адразу знізіла-

ся. Аналагічная з'ява назіраецца і ў опыцы: святло ад крыніцы, якая набліжаецца, робіцца больш сінім (частата павялічваецца), а ад крыніцы, якая аддаляецца, — больш чырвоным (частата памяншаецца). Гэта змена адбываецца на месцазнаходжанні спектральных ліній у спектры: яны зрушваюцца ў сінюю або чырвоную зону спектра.

Для вымярэння зрушэння спектральных ліній побач са спектрам зоркі, якую даследуюць, на тую ж фотапласцінку фатаграфуюць спектр лабараторнай крыніцы, у якім ёсць вядомыя спектральныя лініі. Потым пры дапамозе мікраскопаў з дакладнымі мікрометрамі вымяраюць зрушэнне ліній аб'екта ў адносінах да лабараторнай сістэмы даўжынь хваль і такім чынам знаходзяць велічыню $\Delta\lambda$. Затым на аснове формулы

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

якая вынікае з прыведзенай вышэй, вылічваюць прамянёвую скорасць v_r .

Прыведзеная вышэй формула Доплера прыдатная толькі для скарасцей v_r у межах да 0,1 скорасці святла. Пры руху крыніц выпрамянення са скарасцямі, блізкімі да скорасці святла, неабходна ўлічваць законы тэорыі адноснасці.

Зрух спектральных ліній тэарэтычна прадказаў у 1842 г. аўстрыйскі фізік Х. Доплер. Правільнасць формулы Доплера пацвердзіў у 1899 г. лабараторнымі доследамі і назіраннямі спектраў зорак рускі астрафізік А. А. Белапольскі.

Пытанні і практыкаванні

1. Што такое спектр? Якія з'явы даказваюць складаны састаў святла?
2. Што можна ведаць аб касмічным аб'екце, калі вывучыць яго спектр?
3. Назавіце і дайце вызначэнні тром асноўным відам спектраў.
4. Што такое спектральны аналіз? Якое выкарыстанне ён знаходзіць у астраноміі?
5. Для чаго прызначаны і як пабудаваны спектрограф? Што такое спектраграма?
6. Сфармулюйце і запішыце закон зрушэння Віна і закон Стэфана — Больцмана.
7. Разлічыце, на якую частку спектра прыпадае максімум выпрамянення цела, нагрэтага да пакаёвай (20°C) тэмпературы.
8. Якую тэмпературу павінна мець зорка, каб максімум у яе спектры прыпадаў на ўчастак ультрафіялетавага выпрамянення?
9. У чым заключаецца эфект Доплера? Якое выкарыстанне ён знаходзіць у астраноміі?
10. Вымярэнні спектраграмы зоркі паказалі, што лінія жалеза ($\lambda = 530,2\text{ нм}$) у яе спектры зрушана ў параўнанні з лініямі лабараторнай крыніцы ў бок больш кароткіх хваль на $0,02\text{ нм}$. Чаму роўная скорасць зоркі па прамяні зроку?

§ 19. СОНЦА ЯК ЗОРКА

1. Агульныя звесткі. Сонца займае выключнае становішча ў жыцці чалавештва. Яно забяспечвае нас святлом, цяплом і з'яўляецца крыніцай усіх відаў энергіі, якія выкарыстоўваюцца людзьмі. Сонца ўплывае на магнітнае поле і верхнія слаі атмасферы Зямлі, выклікае магнітныя буры, іанізацыю і цыркуляцыю атмасферы. Сонечнае «надвор'е» ўплывае на клімат, біясферу і зямное жыццё ўвогуле. Гэта асноўная роля Сонца ўсвядомлена чалавекам 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 фізічнай прыроды Сонца мы атрымліваем найважнейшыя звесткі аб прыродзе астатніх зорак. Бачны з Зямлі сонечны дыск — асляпляльна жоўты круг з сярэднім вуглавым дыяметрам 32'. Святло ад яго даходзіць да нас за $8\frac{1}{3}$ мін.

Дыяметр Сонца роўны 1 млн 392 тыс. км, ці 109 дыяметрам Зямлі. Гэта азначае, што аб'ём Сонца больш чым у мільён разоў перавышае аб'ём Зямлі, але яго маса складае $M=1,99 \cdot 10^{33}$ кг, што прыкладна роўна 330 000 зямных мас. Ведаючы масу Сонца і яго памеры, можна вызначыць сярэднюю шчыльнасць сонечнага рэчыва $\rho = 1,409 \cdot 10^3$ кг/м³, што амаль у 4 разы менш за сярэднюю шчыльнасць Зямлі. Але Сонца неаднароднае, яго шчыльнасць хутка ўзрастае з глыбінёй.

Вымярэнні па-за межамі зямной атмасферы паказалі, што на плошчу 1 м², размешчаную перпендыкулярна сонечным прамяням, кожную секунду паступае 1,37 кВт энергіі. Гэта велічыня практычна не змяняецца працягла перыяд часу, таму яна атрымала назву **сонечнай пастаяннай**. Максімум сонечнага выпрамянення прыпадае на аптычны дыяпазон.

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

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

На Зямлю трапляе мізэрная частка сонечнай энергіі, якая складае каля паловы мільярднай долі адзначанага вышэй значэння. (Іншыя асноўныя звесткі аб Сонцы прыведзены ў Далатку 14.)

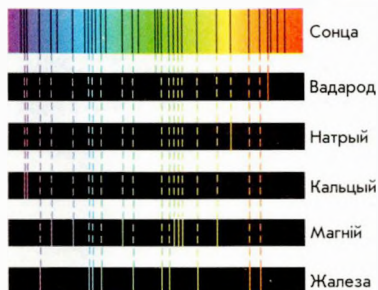
2. Спектр і хімічны састаў.

Амаль усе нашы веды пра Сонца заснаваны на вывучэнні яго спектра. Хімічныя элементы, якія прысутнічаюць у атмасферы Сонца, паглынаюць з бесперапыннага спектра, што выпрамяняецца фотасферай, святло пэўнай частаты. У выніку гэтага ў бесперапынным спектры з'яўляюцца цёмныя лініі. Як мы ўжо казалі, І. Фраўнгофер упершыню вывучыў і зарысаваў 576 цёмных ліній сонечнага спектра. Вучоны правільна паказаў, што крыніца цёмных спектральных ліній — сонечная атмасфера. Па месцазнаходжаннем у спектры (г. зн. даўжынях хваль) і інтэнсіўнасцях гэтых фраўнгоферавых ліній можна вызначыць, якія хімічныя элементы прысутнічаюць у сонечнай атмасферы (рыс. 19.1).

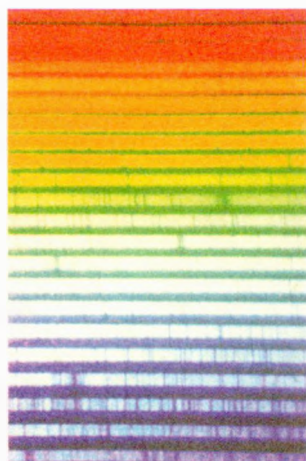
Ужо атаясамлена звыш 30 тыс. ліній для 70 хімічных элементаў, якія прысутнічаюць у атмасферы Сонца. Для лепшага распазнавання фраўнгоферавых ліній спектр Сонца максімальна «расцягваюць» з дапамогай аптычных прылад (рыс. 19.2). Для зручнасці ўвесь спектр разрэзаны на часткі і кожная палоска паслядоўна размешчана адна пад другой. Як бачым, нават на такім моцна «расцягнутым» рысунку спектра многія лініі зліваюцца. Фраўнгоферавы лініі па інтэнсіўнасці і шырыні вельмі разнастайныя.

Аналіз інтэнсіўнасцей спектральных ліній паказаў, што пераважным элементам на Сонцы з'яўляецца вадарод.

3. Унутраная будова. На аснове звестак аб радыусе, масе, свяцільнасці Сонца і фізічных законаў (якія з прычыны сваёй універсальнасці прыдатныя і для іншых нябесных цел) можна атрымаць інфармацыю аб ціску, шчыльнасці, тэмпературы і хімічным саставе на розных адлегласцях ад цэнтра Сонца. Пры набліжэнні да цэнтра Сонца ўзрастаюць,



Рыс. 19.1. Адпаведнасць паміж месцазнаходжаннем фраўнгоферавых ліній сонечнага спектра і лініямі хімічных элементаў



Рыс. 19.2. Агульны выгляд спектра Сонца

МАДЭЛЬ УНУТРАНАЙ БУДОВЫ СОНЦА

Адлегласць ад цэнтра R/R	Тэмпература T, K	Ціск P, Pa	Шчыльнасць $\rho, \times 10^3 \text{ кг/м}^3$
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

дасягаючы максімальных значэнняў, тэмпература, ціск і шчыльнасць. Хімічны састаў Сонца на розных глыбінях таксама адрозніваецца: працэнтная колькасць вадароду самая малая ў цэнтры.

Высокі ціск унутры Сонца абумоўлены дзеяннем слаёў, якія ляжаць вышэй. Сілы прыцягнення імкнуцца сціснуць Сонца. Ім процідейнічаюць пругкасць гарачага газу і ціск выпрамянення, якія ідуць з нетраў. Гэтыя сілы імкнуцца расшырыць Сонца. Прыцягненне, з аднаго боку, а пругкасць газу і ціск выпрамянення, з другога — ураўнаважваюць адно аднаго. Раўнавага мас месца ва ўсіх слаях ад паверхні да цэнтра Сонца. Такі стан Сонца і зорак называецца **гідрастатычнай раўнавагай**. Гэта простая ідэя была прапанавана ў 1924 г. англійскім астрафізікам *Артурам Эдынгтанам*. Яна дала магчымасць класіфікацыі ўраўненняў, на якіх разлічваюць мадэлі ўнутранай будовы Сонца, а таксама іншых зорак. Такія мадэлі ўяўляюць сабой сукупнасць параметраў зорнага рэчыва (тэмпература, ціск, шчыльнасць і г. д.) на розных глыбінях. У табл. 19.1 прыведзена так званая мадэль унутранай будовы Сонца, г. зн. залежнасць яго фізічных уласцівасцей ад глыбіні.



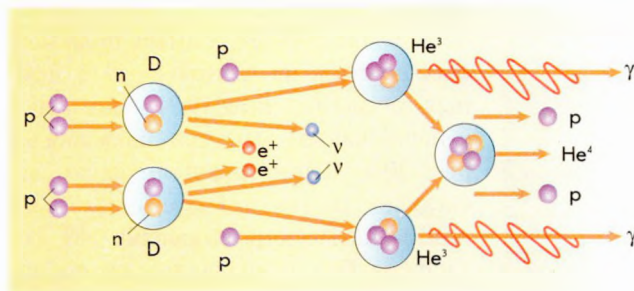
Рыс. 19.3. Унутраная будова Сонца

Як відаць з табліцы, тэмпература ў нетрах Сонца дасягае 15 млн градусаў. Менавіта ў гэтай зоне генерыруецца энергія Сонца. Сонечнае рэчыва ў асноўным складаецца з вадароду. Пры вялізных цісках і тэмпературах пратоны (ядры вадароду) рухаюцца са скарасцямі ў сотні кіламетраў у секунду. Унутры Сонца (на адлегласцях да 0,3 радыуса ад цэнтра; рыс. 19.3) ствараюцца ўмовы, спрыяльныя для працякання тэрмаядзерных рэакцый злучэння атамаў лёгкіх хімічных

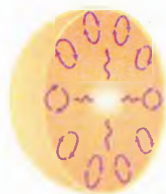
элементаў у больш цяжкія атамы. З ядзер вадароду ўтвараецца другі з самых лёгкіх элементаў — гелій. Для ўтварэння аднаго ядра гелію патрабуецца 4 ядры вадароду. На прамежках стадыях утвараюцца ядры цяжкага вадароду (дэйтэрыю) і ядры ізатопа He^3 . Гэта рэакцыя называецца **протон-протоннай** (рыс. 19.4). Пры рэакцыі невялікая частка масы ядзер вадароду губляецца і пераўтвараецца ў вялізную колькасць энергіі. Энергія, якая выдзяляецца, падтрымлівае выпрамяненне Сонца. Праз слаі, якія абкружаюць цэнтральную частку зоркі, гэта энергія перадаецца ў вонкавую частку. У прамежку ад 0,3 да 0,7 радыуса ад цэнтра Сонца знаходзіцца зона праменнай раўнавагі энергіі, дзе энергія распаўсюджваецца праз паглыннанне і выпрамяненне гама-квантаў. Тыя гама-кванты, што нараджаюцца ў цэнтры Сонца, маюць энергію ў мільёны разоў большую, чым энергія квантаў бачнага святла. Даўжыня хвалі гама-квантаў вельмі малая. У працэсе паглынання квантаў атамамі і далейшага іх перавыпрамянення адбываецца паступовае памяншэнне іх энергіі і павелічэнне даўжыні хвалі. Магутныя гама-кванты паступова драбняцца на менш энергетычныя: узнікаюць рэнтгенаўскія, ультрафіялетавыя і, нарэшце, бачныя і інфрачырвоныя прамяні.

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

4. Крыніцы энергіі. Аналіз хімічнага саставу зямных, месяцавых парод і метэарытаў паказвае на тое, што Сонечная сістэма ўтварылася



Рыс. 19.4. Схема протон-протоннай рэакцыі: p — пратон (H); n — нейтрон; D — ядро дэйтэрыю; He^3 , He^4 — ядры ізатопаў гелію; e^+ — пазітрон; ν — нейтрына; γ — квант выпрамянення



Рыс. 19.5. Энергія ад ядра Сонца перадаецца выпрамяненнем. Для паверхні галоўным пераносчыкам становіцца канвекцыя

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. Тады поўная энергія Сонца, выдзеленая за гэты час, роўная $E_{\odot} \approx L_{\odot} t = 3,5 \cdot 10^{43}$ Дж. Раздзелім гэтую велічыню на поўную масу Сонца і атрымаем, што кожны кілаграм сонечнага рэчыва выдзеліў каля $1,8 \cdot 10^{13}$ Дж энергіі. Рэальна гэтая велічыня яшчэ большая, паколькі мы не ўлічылі яшчэ першыя 2 млрд гадоў. Ніводнае хімічнае паліва не можа забяспечыць такое ж выдзяленне ўнутранай энергіі, як 1 кг сонечнага рэчыва.

У сярэднім Сонца 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.

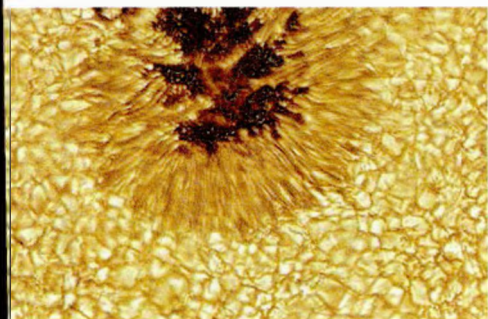
Пытанні і практыкаванні

1. Як можна вылічыць масу Сонца? 2. Што такое сонечная пастаянная? Як яе вызначылі? 3. Што разумеюць пад свяцільнасцю Сонца? Чаму яна роўная? 4. Якія хімічныя элементы пераважаюць у саставе Сонца? 5. Апішыце ўнутраную будову Сонца. 6. На якія зоны ўмоўна падзяляюцца нетры Сонца? Якія працэсы адбываюцца ў кожнай з гэтых зон? 7. Што з'яўляецца крыніцай сонечнай энергіі?

§ 20. БУДОВА СОНЕЧНАЙ АТМАСФЕРЫ

1. Фотасфера. Дыск Сонца мае выразны абрыс. Гэта адбываецца таму, што практычна ўсё бачнае выпрамяненне Сонца выдзяляецца з вельмі тонкага слоя — **фотасферы**.

Таўшчыня фотасферы не перавышае 300 км. Самыя прыкметныя аб'екты на Сонцы — гэта цёмныя плямы (гл. рыс. 19.3), адна з якіх у павялічаным выглядзе паказана на рыс. 20.1. Дыяметры плям часам дасягаюць 200 тыс. км. Зусім маленькія плямы называюць **сітавінамі**. Уся фотасфера Сонца выглядае як сукупнасць яркіх плям — **гранул**, падзеленых паміж сабой вузкімі і менш яркімі прамежкамі. Памер кожнай з гра-



Рыс. 20.1. Адна з сонечных плям і фотасферная грануляцыя

нул — каля 700 км. Рысунак, які ўтвараюць гранулы, пастаянна мяняецца (літаральна за 5—10 мін яны паспяваюць з'явіцца і знікнуць). Плазма ў гранулах падываецца ўгару, а ў міжгранульных прамежках апускаецца ўніз. Таму розніца тэмператур гранул і цёмных прамежкаў дасягае 600 К. Працэс пастаяннага ўзнікнення і знікнення гранул у фотасферы называецца **грануляцыяй**.

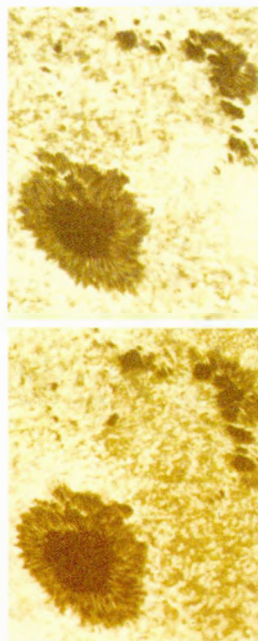
Карціна сонечных плям, хоць і крыху павольней, таксама пастаянна мяняецца: плямы з'яўляюцца, растуць і распадаюцца (рыс. 20.2). Час жыцця груп плям складае два ці тры абароты Сонца вакол сваёй восі. Плямы больш халодныя, чым навакольнае рэчыва, і таму на агульным фоне сонечнага дыска выглядаюць больш цёмнымі. Сонечныя плямы звычайна з'яўляюцца групамі ў межах невялікага ўчастка, выцягнутага паралельна экватару. У групе па памерах вылучаюцца дзве плямы: галоўная (заходняя) пляма, якая ідзе ўперадзе па вярчэнні Сонца, і хваставая.

Сістэматычныя назіранні сонечных плям 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. Перыяд вярчэння Сонца змяняецца ад 25 сутак на экватары да 30 сутак каля полюсаў.

Шматгадовыя назіранні ўтварэння плям на Сонцы паказалі, што маюць месца цыклічныя ваганні колькасці плям. Часам іх не бывае зусім, аднак іншы раз адначасова ўзнікаюць дзесяткі буйных плям. Сярэдняя працягласць такога цыкла складае прыблізна 11 гадоў.

Акрамя плям, у фотасферы назіраюцца **факелы** — яркія ўтварэнні, бачныя ў белым святле пераважна паблізу ад краю дыска Сонца. Факелы маюць складаную валакністую структуру, іх тэмпература на некалькі соцень градусаў перавышае тэмпературу фотасферы.

Звычайна факелы з'яўляюцца раней плям і існуюць некаторы час пасля іх знікнення. Плошча факельных пляцовак у некалькі разоў перавышае плошчу адпаведнай групы плям. У цэнтры дыска Сонца факелы практычна не бачныя, таму што іх кантрастнасць вельмі малая. Сярэдняя працягласць іх існа-



Рыс. 20.2. Дынаміка змены групы сонечных плям (фатаграфіі зроблены з інтэрвалам 2 гадз 40 мін)



Рис. 20.3. Храмасфера Сонца, якая назіраецца ў час поўнага сонечнага зацьмення

вання — 15 сутак, але можа дасягаць амаль 3 месяцаў.

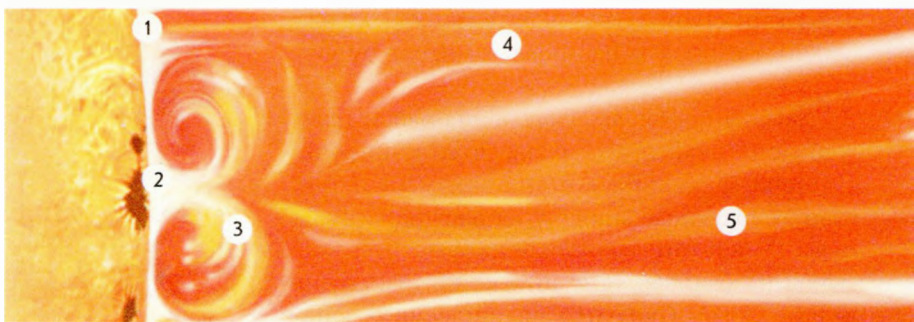
Утварэнне плям і факелаў звязана з магнітным полем Сонца. Як паказваюць даследаванні, індукцыя магнітнага поля Сонца ў сярэднім у два разы большая, чым на паверхні Зямлі, але ў месцах з'яўлення сонечных плям яна павялічваецца ў тысячы разоў.

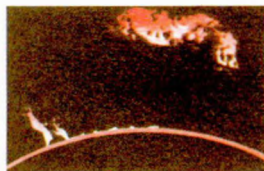
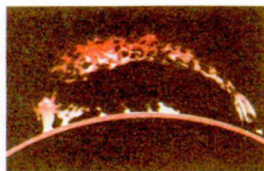
2. Знешнія слаі атмасферы: храмасфера і карона. Над фотасферай распасціраецца **храмасфера** Сонца (рис. 20.3). Агульная яе працягласць дасягае 10—15 тыс. км.

Тэмпература ў храмасферы з вышынёй не памяншаецца, а павялічваецца ад 4500 К да некалькіх дзесяткаў тысяч. Выпрамяненне храмасферы ў сотні разоў меншае за фотасфернае, таму для яе назірання карыстаюцца спецыяльнымі метадамі, якія даюць магчымасць вылучыць слабае выпрамяненне. Храмасфера вельмі неаднародная і ўяўляецца назіральніку ў выглядзе прадаўгаватых выцягнутых язычкоў ці зубчыкаў — **спікул** — даўжынёй каля 10 тыс. км, якія надаюць ёй выгляд травы, што гарыць (рис. 20.4). Спікулы выкідваюцца з ніжняй храмасферы са скорасцю да 30 км/с; час іх жыцця складае некалькі мінут. Адначасова на Сонцы існуе да 250 тыс. спікул.

На краі сонечнага дыска добра бачныя **пратуберанцы** (гл. рис. 19.3) — гіганцкія аркі або выступы, якія быццам бы абাপіраюцца на храмасферу. Форма пратуберанцаў (рис. 20.5) і іх трансфармацыі цесна звязаны з магнітным полем Сонца.

Рис. 20.4. Будова сонечнай атмасферы: 1 — фотасфера; 2 — плямы; 3 — пратуберанец; 4 — успышка; 5 — храмасфера; 6 — сонечная карона; 7 — каранальныя прамяні





Рыс. 20.5. Змены пратуберанца, за якім назіралі на працягу некалькіх гадзін

У храмасферы назіраюцца магутныя, вельмі дынамічныя працэсы, якія называюцца **ўспышкамі** (рыс. 20.6). Гэтыя яркія ўтварэнні існуюць ад некалькіх мінут да некалькіх гадзін. Звычайна сонечныя ўспышкі адбываюцца паблізу ад груп сонечных плям, якія хутка развіваюцца. Яны суправаджаюцца выкідамі рэчыва. Па характары з'явы (хуткасць развіцця і велізарнае энергавыдзяленне) успышкі ўяўляюць сабой выбуховыя працэсы.



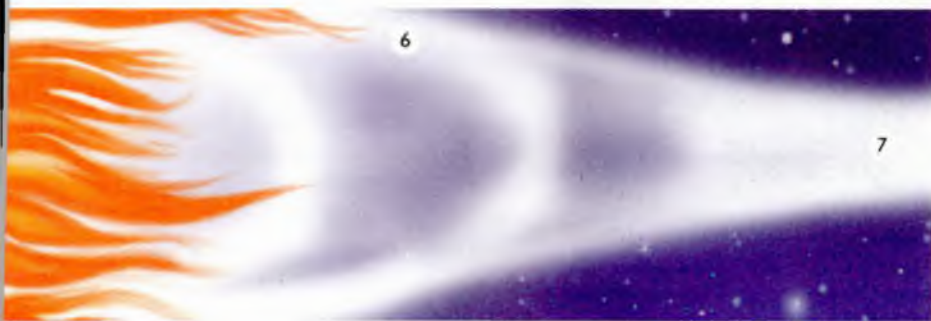
Рыс. 20.6. Храмасферная ўспышка на Сонцы

Знешнія слаі атмасферы Сонца — храмасфера і яшчэ вышэй размешчаная **сонечная карона** — добра бачныя ў час поўных сонечных зацьменняў (рыс. 20.7).

Карона — самая вонкавая разрэджаная і гарачая абалонка Сонца, якая распасціраецца ад яго на некалькі сонечных радыусаў і мае тэмпературу плазмы да 1 млн градусаў. Яркасць сонечнай кароны ў мільён разоў меншая, чым фотасферы, таму

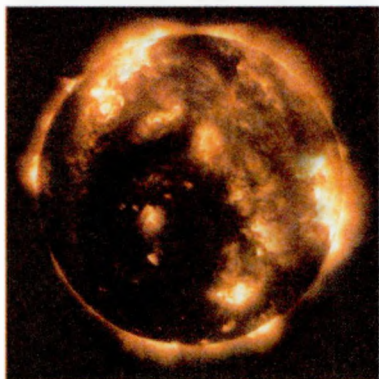


Рыс. 20.7. Сонечная карона ў час зацьмення Сонца



назіраць сонечную карону можна ў час поўных сонечных зацьменняў або пры дапамозе спецыяльных тэлескопаў-каранографав. Высокая тэмпература і разрэджанасць кароны пацвярджаюцца спектральным аналізам. У яе спектры назіраліся невядомыя ў зямных умовах спектральныя лініі, якія прыпісваліся гіпатэтычнаму хімічнаму элементу «каронію». І толькі ў 1940-х гг. устанавілі, што лініі «каронію» належаць шматразова іанізаванаму жалезу і іншым добра вядомым хімічным элементам, якія знаходзяцца ў незвычайна высокіх станах іанізацыі і ўзбуджэння. Пазней высокая тэмпература кароны была вымерана па яе радыёвыпрамяненні, а потым і па рэнтгенаўскім выпрамяненні. Награванне кароны да высокіх тэмператур ажыццяўляецца за кошт перадачы энергіі вагальных (канвекцыйных) рухаў рэчыва з фотасферы. Хвалі (з частатой гукавых ваганняў) у кароне, дзе шчыльнасць рэчыва хутка памяншаецца, робяцца ўдарнымі. Яны хутка затухаюць, адбываецца пераўтварэнне механічнай энергіі хваль у цяпло. З-за высокай тэмпературы шчыльнасць кароны ўбывае павольна, таму самыя знешнія слаі атмасферы Сонца цягнуцца аж да арбіты Зямлі.

3. Магнітныя палі і актыўныя ўтварэнні. Маса, радыус, колькасць энергіі, што выдзяляецца Сонцам, застаюцца практычна нязменнымі, але на ўсіх узроўнях сонечнай атмасферы назіраюцца структурныя ўтварэнні, якія мяняюць свае фізічныя параметры ў часе. Сукупнасць нестацыянарных працэсаў, якія перыядычна ўзнікаюць у сонечнай атмасферы, называецца **сонечнай актыўнасцю**. Праяўленнем сонечнай актыўнасці з'яўляюцца плямы, факелы ў фотасферы, пратуберанцы, успышкі і выкіды рэчыва ў атмасферы і кароне. Месцы, дзе яны ўзнікаюць, называюцца **актыўнымі зонамі** (рыс. 20.8). Усе актыўныя ўтварэнні ўзаемазвязаны пры дапамозе



Рыс. 20.8. Сонца ў рэнтгенаўскіх прамянях. Найбольш яркія месцы — зоны праяўлення сонечнай актыўнасці

змяняльных магнітных палёў, якія заўсёды ёсць у актыўных зонах Сонца. Цэнтры актыўнасці ўзнікаюць на некаторай глыбіні пад фотасферай, 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).

Адрозніваюць магнітныя палі сонечных плям, актыўных зон па-за плямамі і агульнае магнітнае поле

Сонца. Агульнае магнітнае поле невялікае і мае напружанасць каля 80 А/м. У актыўных зонах магнітнае поле павялічваецца ў сотні і тысячы разоў. Структура магнітных палёў у актыўных зонах вельмі складаная: адбываецца чаргаванне магнітных полюсаў рознай палярнасці. Сустракаюцца таксама лакальныя магнітныя зоны з вялікай напружанасцю па-за сонечнымі плямамі.

Пытанні і практыкаванні

1. Што такое фотасфера Сонца? 2. Якія аб'екты характэрныя для фотасферы Сонца? 3. Вылічыце лінейны памер плямы, калі яе вуглавы дыяметр роўны 17,6". 4. Чаму сонечныя плямы цямнейшыя за фотасферу? 5. Што разумеюць пад грануляцыяй? 6. Што разумеюць пад храмасферай і каронай Сонца? 7. Якія з'явы назіраюцца ў храмасферы і кароне Сонца? 8. Што такое сонечная актыўнасць, і якая яе цыклічнасць?

§ 21. УПЛЫЎ СОНЦА НА ЖЫЦЦЁ ЗЯМЛІ

1. Інтэнсіўнасць сонечнага выпрамянення па-за аптычным дыяпазонам. Электрамагнітнае выпрамяненне Сонца, максімум якога прыпадае на бачную частку спектра, праходзіць строгі адбор у зямной атмасферы. Яна «празрыстая» толькі для бачнага святла і часткова ультрафіялетавага і інфрачырвонага выпрамяненняў, а таксама для радыёхваль у параўнальна вузкім дыяпазоне.

Ва ультрафіялетавым і рэнтгенаўскім дыяпазонах магутнасць сонечнага выпрамянення рэзка памяншаецца — у сотні тысяч разоў у параўнанні з магутнасцю выпрамянення ў аптычным дыяпазоне. Але калі ў аптычным дыяпазоне Сонца з'яўляецца пастаяннай зоркай, то выпрамяненне ў караткахвалевай частцы спектра залежыць ад сонечнай актыўнасці — павялічваецца або памяншаецца ў некалькі разоў на працягу 11-гадовага сонечнага цыкла. Вельмі павялічваецца паток караткахвалевага выпрамянення ў час храмасферных успышак. З ніжніх слаёў храмасферы выходзіць ультрафіялетавае выпрамяненне, максімальная інтэнсіўнасць якога можа ў 2 разы перавышаць мінімальнае значэнне ў 11-гадовым цыкле. Асноўнае рэнтгенаўскае выпрамяненне выходзіць з кароны Сонца.

Рэнтгенаўскае і ультрафіялетавае выпрамяненне Сонца паглынаецца ў верхніх слаях атмасферы Зямлі. Яно іанізуе газы зямной атмасферы. Іанізаваны слой верхняй атмасферы Зямлі называецца **іанасферай**. Слабая іанізацыя рэгіструецца ўжо на вышыні 60 км, а максімум канцэнтрацыі электронаў і іонаў назіраецца на вышыні

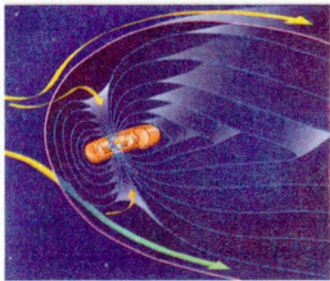
250—400 км ад паверхні Зямлі. Іанасфера Зямлі цалкам вызначае распаўсюджванне кароткіх радыёхваль паміж аддаленымі пунктамі зямной паверхні. Пры магутных усплесках сонечнага рэнтгенаўскага выпрамянення ад храмасферных успышак адбываецца парушэнне сувязі на кароткіх хвалях.

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

Азоны слой паглынае практычна ўсё ультрафіялетавае выпрамяненне Сонца, пакідае толькі малую долю, якая дасягае паверхні Зямлі і выклікае ў людзей загар. Калі таўшчыня азоновага слоя памяншаецца, сонечнае ультрафіялетавае выпрамяненне можа ўзрасці ў 1,5—2 разы. Яно біялагічна актыўнае і выклікае павелічэнне колькасці захворванняў ракам скуры.

2. Сонечны вецер. Бесперапынны паток плазмы, які распаўсюджваецца прыблізна радыяльна ад Сонца ўздоўж ліній напружанасці магнітнага поля і запаўняе сабой міжпланетную прастору, называецца **сонечным ветрам**. У яго склад уваходзяць пратоны, электроны, а таксама α -часціцы і ў нязначнай колькасці шэраг высокаіанізаваных атамаў (кісларод, крэмній, сера, жалеза). Скорасць часціц сонечнага ветру павялічваецца з аддаленнем іх ад Сонца. Паблізу ад Зямлі скорасць сонечнага ветру дасягае 450 км/с, а шчыльнасць складае некалькі часціц у кубічным сантыметры.

Паток энергіі, які выносіцца сонечным ветрам, дасягае прыблізна 10^{-8} святільнасці Сонца. Паток сонечнай плазмы не можа пераадолець процідзеянне магнітнага поля Зямлі і абцякае яго. Пры гэтым утвараецца поласць — **магнітасфера** (рыс. 21.1). Магнітасфера мае кроплепадобную форму. З боку Сонца яна сціснута ціскам сонечнага ветру. Мяжа магнітасферы, павернутая да Сонца, знаходзіцца на адлегласці ў сярэднім 10—12 радыусаў Зямлі. З процілеглага (начнога) боку магнітасфера выцягнута, як хвост каметы, і яе працягласць дасягае адлегласці, роўнай 6000 радыусаў Зямлі. Са зменай скорасці і шчыльнасці часціц сонечнага ветру мяняецца і форма магнітасферы.



Рыс. 21.1. Схема ўтварэння магнітасферы Зямлі

3. Сонечна-зямныя сувязі. Сонечная актыўнасць моцна ўплывае ў першую

чаргу на знешнія абалонкі Зямлі — магнітасферу і іанасферу. У час магутных сонечных успышак часціцы могуць разганяцца да 100 000 км/с, г. зн. узнікаюць касмічныя прамяні сонечнага паходжання. Пад уздзеяннем сонечных касмічных прамянёў у атмасферы ўтвараецца вокіс азоту NO , які ўзаемадзейнічае з аэамам і актыўна яго разбурае за кошт рэакцыі $\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$. Пасля магутных успышак на Сонцы назіраецца паніжэнне колькасці аэону ў стратасферы над палярнымі шапкамі Зямлі.

Пры дапамозе спецыяльных прыбораў — каранографав, устаноўленых на касмічных апаратах, рэгіструюць магутныя выкіды рэчыва з узбуранай кароны Сонца. Згустак каранальнай плазмы, які адарваўся ад Сонца і нясе ўнутры сябе замкнёную пятлю магнітнага поля, называецца **каранальным выкідам масы**. Скорасць выкідку часам даходзіць да 1000 км/с. На адлегласці некалькіх радыусаў Сонца каранальны выкід мае памер, параўнальны з радыусам Сонца. Пры руху да Зямлі гэта плазменнае воблака расшыраецца ў дзесяткі разоў і расцягваецца да 30 млн км. У гады максімуму сонечнай актыўнасці частата каранальных выкідав мас павялічваецца ў 5 разоў. Плазменнае воблака з «умарожаным» магнітным полем дасягае Зямлі за 1,5—2 дні.

Сутыкненне плазменнага воблака з магнітасферай Зямлі прыводзіць да моцных яе ўзбурэнняў. Пад уздзеяннем каранальнага выкідку адбываюцца моцныя магнітныя буры, разагрэў і паскарэнне плазмы ўнутры магнітасферы. Пры гэтым хуткія пратоны і электроны ў выніку сутыкнення з малекуламі паветра на вышыні 100—200 км іанізуюць іх і выклікаюць іх свячэнне. У выніку іанізацыі на Зямлі, пераважна ў каляпалярных шыротав, назіраюцца палярныя ззянні (рыс. 21.2). Пры высокай геамагнітнай актыўнасці ззянні з'яўляюцца на вышыні 300—400 км, і іх можна назіраць нават на шыротав Рэспублікі Беларусь.

Па форме палярныя ззянні незвычайна разнастайныя: дугі, спіралі, палосы, стужкі, заслоны і г. д. Палярныя ззянні бываюць часцейшыя і ярчэйшыя ў гады максімуму сонечнай актыўнасці. Ззянні могуць адбывацца і ў атмасферах іншых планет, напрыклад у атмасферы Венеры.

У час магнітнай буры мяняюцца электрычныя палі над паверхняй Зямлі. Гэта, па-першае, прыводзіць да ўзнікнен-



Рыс. 21.2. Палярнае ззяненне

ня перагрузак у лініях электраперадач (да некалькіх соцень ампер) і іх адключэння. Па-другое — да навадзення моцных токаў у трубах газа- і нафтаправодаў і да выхаду са строю іх сістэм кіравання. Вынікі магнітнай буры таксама адбываюцца на бартавых электронных сістэмах касмічных апаратаў.

Магнітныя буры прыводзяць да змены ціску ў трапасферы (ніжнім слоі атмасферы Зямлі), у выніку развіваюцца цыклёны.

На той факт, што Сонца ўплывае на біялагічныя аб'екты, у тым ліку і на здароўе чалавека, упершыню яшчэ ў 1915 г. звярнуў увагу *А. Л. Чыжэўскі*. У выніку аналізу гістарычных дакументаў вучоны прыйшоў да высновы, што ў мінулым успышкі эпідэміі прыпадалі пераважна на гады максімумаў сонечнай актыўнасці. На падставе выведзенай сувязі вучоны паспрабаваў прадказаць некаторыя эпідэміі на 35 гадоў наперад. Яго прагнозы збыліся ў сямі выпадках з васьмі.

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

Каб усебакова даследаваць з'явы, што адбываюцца на Сонцы, вучоныя праводзяць бесперапынныя назіранні Сонца, якія называюць **Службай Сонца**. У гэтых назіраннях удзельнічаюць буйныя астрафізічныя абсерваторыі, а таксама мноства спецыяльных станцый.

Для больш эфектыўнага вырашэння праблем сонечна-зямных сувязей арганізуюцца спецыяльныя міжнародныя комплексныя праграмы даследаванняў, якія выконваюцца ў пэўныя перыяды часу («Міжнародны геафізічны год», «Міжнародны год спакойнага Сонца» і г. д.).

Пытанні і практыкаванні

1. Як зямная атмасфера ўплывае на праходжанне розных відаў сонечнага выпрамянення да Зямлі?
2. Чаму на Зямлі часта назіраецца парушэнне сувязі на кароткіх радыёхвалях?
3. Якая роля аэонавага слоя ў атмасферы Зямлі? Якім чынам актыўнасць Сонца можа ўплываць на таўшчыню аэонавага слоя Зямлі?
4. Што такое сонечны вецер? Як ён узнікае?
5. Што называюць магнітасферай Зямлі? Як на яе ўплывае сонечны вецер?
6. Якім чынам уплывае міжпланетнае магнітнае поле на магнітасферу Зямлі?
7. Якія прычыны і наступствы магнітных бур на Зямлі?
8. Якія прычыны ўзнікнення палярных ззянняў?

§ 22. АСНОЎНЫЯ ХАРАКТАРЫСТЫКІ ЗОРАК. СВЯЦІЛЬНАСЦЬ

1. Бачная зорная велічыня. Пры першапачатковым знаёстве з зорным небам (§ 2) мы разгледзелі паняцце «зорная велічыня» (m). Вы ўжо ведаеце, што зоркі 1-й зорнай велічыні ствараюць у 2,512 раза большую асветленасць, чым зоркі 2-й зорнай велічыні, якія ў сваю чаргу даюць светлавая патока ў 2,512 раза большыя, чым зоркі 3-й зорнай велічыні, і г. д. Такім чынам, за інтэрвал у 1 бачную зорную велічыню (абазначаецца 1^m) прыняты адносіны асветленасцей (E) у 2,512 раза. Дадзены лік выбраны для зручнасці так, каб яго дзесятковы лагарыфм быў дакладна роўны 0,4, а інтэрвал у 5^m адпавядаў бы адносінам у 100 разоў. У выглядзе формулы гэтыя суадносіны выразіў *Н. Погсан*:

$$\frac{E_1}{E_2} = 2,512^{m_2 - m_1}. \quad (22.1)$$

Бачная зорная велічыня Месяца ў поўню роўная $-12,7^m$, а ў фазе першай квадры складае $-9,0^m$. Па формуле (22.1) можна вызначыць, што асветленасць Месяца ў поўню (E_n) большая за асветленасць Месяца ў фазе першай квадры (E_q) у 30 разоў:

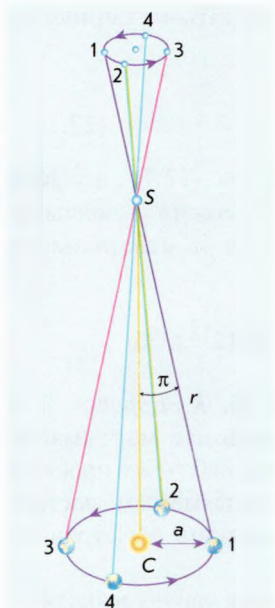
$$\frac{E_n}{E_q} = 2,512^{m_1 - m_2} = 2,512^{-9+12,7} = 2,512^{3,7} \approx 30.$$

Бачную зорную велічыню Сонца вызначыў *В. К. Цэраскі*. Яна аказалася роўнай $-26,8^m$. Шкала зорных велічынь дае магчымасць выражаць у зорных велічынях бляск слабых свяціл, нябачных простым вокам. У цяперашні час буйнейшыя тэлескопы з дыяметрам люстраў 8—10 м і сучаснай прыёмнай апаратурай дазваляюць 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 наша Сонца. З прычыны велізарных 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 такім метадам з'яўляецца метад паралактычнага зрушэн-

ня зорак, разгледжаны намі раней. З-за таго што 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 геліяцэнтрычнай 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 1 год і адлюстроўвае рух назіральніка разам з Зямлёй вакол Сонца (рыс. 22.1). Месцазнаходжанне Зямлі на арбіце і бачныя з Зямлі месцазнаходжанні зорак на небе на дадзеным рысунку 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 напрамку на зорку. Гэты вугал называецца **гадавым паралаксам** (π). Паралактычныя зрушэнні зорак з'яўляюцца неабвержным доказам абарачэння Зямлі вакол Сонца.



Рыс. 22.1. Паралактычнае зрушэнне зоркі на працягу года: С — Сонца; S — зорка; а — паўвось зямной арбіты; π — гадавы паралакс

Адлегласці да зорак вызначаюцца на аснове іх гадавога паралактычнага зрушэння, якое абумоўлена перамяшчэннем назіральніка (разам з Зямлёй) па зямной арбіце.

З рыс. 22.2 бачна, што калі $CT = a$ ёсць сярэдні радыус зямной арбіты, $MC = r$ — адлегласць да зоркі М ад Сонца С, а вугал π — гадавы паралакс зоркі, то

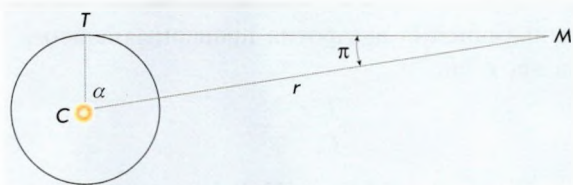
$$r = \frac{a}{\sin \pi}.$$

Гадавыя паралаксы зорак ацэньваюцца дзесятковымі долямі секунды, а 1 радыян роўны 206 265'', таму адлегласць да зоркі можна вызначыць з суадносін:

$$r = \frac{206\,265''}{\pi''} \text{ а. а.} \quad (22.2)$$

Для вымярэння адлегласцей да зорак астранамічная адзінка (а. а.) — сярэдняя адлегласць ад Зямлі да Сонца — вельмі малая. Таму для зручнасці вызначэння адлегласцей да зорак у астраноміі карыстаюцца спецыяльнай адзінкай даўжыні — парсек (пк), назва якой паходзіць ад слоў «паралакс»

Рыс. 22.2. Гадавы паралакс зоркі: С — Сонца; М — зорка; Т — Зямля



і «секунда». Парсек — гэта адлегласць, з якой радыус зямной арбіты быў бы бачны пад вуглом у $1''$.

Паводле формулы (22.2), $1 \text{ пк} = 206\,265 \text{ а. а.} = 3,086 \cdot 10^{13} \text{ км}$. Такім чынам, адлегласць да зорак у парсеках вызначаецца формулай:

$$r = \frac{1}{\pi''} \text{ пк.} \quad (22.3)$$

У астранамічных адзінках звычайна выражаюцца адлегласці да нябесных цел Сонечнай сістэмы. Адлегласці да нябесных цел, якія знаходзяцца па-за межамі Сонечнай сістэмы, звычайна выражаюцца ў парсеках, кілапарсеках ($1 \text{ кпк} = 10^3 \text{ пк}$) і мегапарсеках ($1 \text{ Мпк} = 10^6 \text{ пк}$), а таксама ў светлавых гадах ($1 \text{ св. г.} = 9,46 \cdot 10^{12} \text{ км} = 63\,240 \text{ а. а.} = 0,3067 \text{ пк}$ ці $1 \text{ пк} = 3,26 \text{ св. г.}$). **Светлавы год** — адлегласць, якую электрамагнітнае выпрамяненне праходзіць (у вакууме) за 1 год.

Ніжняя мяжа вымярэнняў трыганаметрычных паралаксаў не перавышае $0,005''$, што дае магчымасць вызначыць адлегласці, не большыя за 200 пк. Адлегласці да больш далёкіх аб'ектаў вызначаюцца менш дакладна іншымі метадамі.

3. Абсалютная зорная велічыня. Бачны бляск зорак не характарызуе іх рэальнае выпрамяненне. Ён вызначаецца двума фактарамі: сапраўдным выпрамяненнем зоркі і адлегласцю да яе. Сонца, напрыклад, значна бліжэйшае да Зямлі, чым любая іншая зорка, таму яно — самае яркае свяціла на небе. Такім чынам, для параўнання сапраўднага бляску 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**.

На адлегласці r бачная зорная велічыня зоркі няхай будзе роўная m , а асветленасць, якую стварае гэта зорка, — E . Паводле вызначэння, бачная зорная велічыня з адлегласці $r_0 = 10 \text{ пк}$ будзе роўная абсалютнай зорнай велічыні M , а E_0 — асветленасць (ці выпрамяненне) зоркі з адлегласці 10 пк. Тады, на падставе формулы (22.1), можна запісаць:

$$\frac{E}{E_0} = 2,512^{M-m}. \quad (22.4)$$

З фізікі вядома, што асветленасці ад адной і той жа крыніцы выпрамянення адваротна прапарцыянальныя квадратам адлегласцей да яе, г. зн.

$$\frac{E}{E_0} = \frac{r_0^2}{r^2}. \quad (22.5)$$

Падставім (22.5) у (22.4) і атрымаем, што $2,512^{M-m} = 100r$. Прапарцыяналізуем дадзеную роўнасць, спрасцім яе і атрымаем

$$M = m + 5 - 5 \lg r. \quad (22.6)$$

З улікам таго, што $r = \frac{1}{\pi}$, формулу (22.4) можна запісаць у выглядзе:

$$M = m + 5 + 5 \lg \pi. \quad (22.7)$$

Па формуле (22.6) вылічым абсалютную зорную велічыню Сонца. Адлегласць да Сонца $r = 1 \text{ а. а.} = \frac{1}{206265} \text{ пк}$; бачная зорная велічыня Сонца $-26,8^m$. Пасля падстаноўкі гэтых значэнняў атрымаем, што $M_{\odot} = -26,8^m + 5^m + 26,6^m$. Гэта азначае, што са стандартнай адлегласці ў 10 пк Сонца выглядае слабай зоркай 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, то можна вылічыць сапраўднае агульнае выпрамяненне зоркі ці яе свяцільнасць. **Свяцільнасцю** называецца поўная энергія, якая выпрамяняецца зоркай за 1 с. Свяцільнасць зоркі можна выразіць у ватах, але часцей яе выражаюць у свяцільнасцях Сонца. Нагадаем, што свяцільнасць Сонца роўная $3,85 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$ (гл. § 19).

Выкарыстаем формулу (22.1) і атрымаем суадносіны паміж свяцільнасцямі і абсалютнымі зорнымі велічынямі якой-небудзь зоркі і Сонца:

$$\frac{L}{L_{\odot}} = 2,512^{M_{\odot} - M}, \quad (22.8)$$

дзе L і $L_{\odot}$ — свяцільнасці зоркі і Сонца; M і $M_{\odot}$ — адпаведна іх абсалютныя зорныя велічыні. Калі прыняць $L_{\odot} = 1$ і ўлічыць, што $M_{\odot} = 4,8^m$, формула (22.8) набывае выгляд:

$$L = 2,512^{4,8 - M}.$$

Зоркі-звышгіганты, якія маюць $M = -9^m$, характарызуюцца магутнасцю выпрамянення ў 330 тыс. разоў большай, чым нашага Сонца, а самыя няяркія зоркі з абсалютнай зорнай велічынёй $M = 19^m$ выпрамяняюць святло ў 480 тыс. разоў слабеяе, чым наша Сонца.

Пытанні і практыкаванні

1. Чым адрозніваецца абсалютная зорная велічыня ад бачнай зорнай велічыні? 2. Зорныя велічыні кампанентаў падвойнай зоркі адпаведна роўныя $2,4^m$ і $4,0^m$. Простым вокам яны ўспрымаюцца як адзіночная зорка. Якая сумарная зорная велічыня гэтай падвойнай сістэмы? 3. Што называюць гадавым паралаксам зоркі? 4. Што такое свяцільнасць зоркі? Якая свяцільнасць Сонца? 5. Вызначце адлегласць (у парсеках і светлавых гадах) да зоркі з гадавым паралаксам $0,762''$. 6. Новая зорка ў момант успышкі мела бачную зорную велічыню $3,2^m$. Большасць новых зорак гэтага тыпу маюць абсалютную зорную велічыню -8^m . Вызначце адлегласць да зоркі. 7. Вызначце свяцільнасць Палярнай зоркі, калі яе абсалютная зорная велічыня $M = -4,6^m$.

§ 23. ТЭМПЕРАТУРА І ПАМЕРЫ ЗОРАК

1. Тэмпература зорак. Можна лічыць, што ў першым прыбліжэнні зоркі выпрамяняюць як абсалютна чорныя целы. Тады тэмпературу T паверхні (фотасферы) зорак можна вызначыць пры дапамозе закону выпрамянення Стэфана — Больцмана і закону зрушэння Віна, як мы гэта ўжо рабілі пры вызначэнні тэмпературы Сонца (гл. § 19):

$$T = 4 \sqrt{\frac{L}{4\pi R^2 \sigma}}. \quad (23.1)$$

Нагадаем, што падлічаную такім метадам тэмпературу называюць **эфектыўнай тэмпературай**. Гэты метал выкарыстоўваецца абмежавана, таму што дастаткова дакладнае значэнне радыусаў вымерана прыкладна ў некалькіх дзесятках яркіх гіганцкіх зорак.

Што ж тычыцца астатніх зорак, то іх тэмпературу можна вызначыць па размеркаванні энергіі ў іх бесперапынным спектры. Для гэтага вымяраюць інтэнсіўнасць выпрамянення ў розных дыяпазонах даўжынь хваль бесперапыннага спектра зоркі. Па атрыманай спектраграме зоркі вызначаюць, на якой даўжыні хвалі інтэнсіўнасць выпрамянення максімальная, потым на аснове закону зрушэння Віна (гл. § 18) вылічаюць тэмпературу зоркі. Тэмпература, вылічаная па законе Віна, называецца **колеравай тэмпературай зоркі**. Колеравая тэмпература крыху адрозніваецца ад эфектыўнай тэмпературы, таму што вызначаецца па вузкім участку спектра.

Тэмпературы зорак вельмі адрозніваюцца. Халодныя чырвоныя зоркі маюць тэмпературу каля 3000 К. Наша Сонца з тэмпературай фотасферы 6000 К адносіцца да жоўтых карлікаў. Тэмпература гарачых зорак дасягае 50 000 К. Асноўная частка выпрамянення гарачых зорак прыпадае на ультрафіялетавую частку спектра, і мы іх успрымаем як зоркі блакітнага колеру. Найбольш гарачымі з'яўляюцца нешматлікія маладыя зоркі тыпу Вольфа — Рае. Тэмпература фотасфер у іх вельмі высокая: ад 60 000 да 100 000 К.

2. Спектральная класіфікацыя зорак. Зоркі адрозніваюцца вялікай разнастайнасцю, але сярод іх можна вылучыць асобныя групы, якія маюць агульныя ўласцівасці. Пры першым знаёстве з зорным небам звяртае на сябе ўвагу той факт, што ў зорак розны колер. Значна прыметней гэта пры разглядзе спектраў. Найважнейшыя адрозненні спектраў зорак заключаюцца ў колькасці і інтэнсіўнасці бачных спектральных ліній, а таксама ў размеркаванні энергіі ў бесперапынным спектры. З улікам выгляду спектральных ліній і іх інтэнсіўнасці будуюцца **спектральная класіфікацыя зорак**, якая ўсталявалася ў 20-я гг. XX ст.

Паслядоўнасць спектральных класаў (у так званай гарвардскай сістэме) абазначаецца вялікімі літарамі лацінскага алфавіта: O, B, A, F, G, K, M, L. Паводле тонкіх адрозненняў кожны клас дадаткова падзяляецца на 10 падкласаў — ад 0 да 9. Напрыклад, наша 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 (гл. табл. 23.1). Для яе запамінання карыстаюцца фразай (мнеманічным правілам), якое ў рускамоўным варыянце гучыць наступным чынам:

O	B	A	F	G	K	M	L
Один	Бритый	Англичанин	Финики	Жевал	Как	Мелкий	Лук

Хімічны састаў атмасфер большасці зорак амаль аднолькавы. Вонкавыя слаі зорак складаюцца з вадародна-геліевай сумесі з вельмі малой колькасцю больш цяжкіх элементаў. Напрыклад, аналагічныя нашаму Сонцу 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 C₂H. Пры больш высокіх тэмпературах малеку-

Табліца 23.1

КЛАСІФІКАЦЫЯ ЗОРНЫХ СПЕКТРАЎ

Клас	Колер	Тэмпература $t, \times 10^3 \text{ K}$	Характэрныя прыкметы спектра	Тыповыя зоркі
O	Блакiтны	55—30	Характэрныя лініі іанізаванага гелію; бачныя лініі шматразова іанізаванага вугляроду, кіслароду, крэмнію і азоту	λ Арыёна, λ Цэфея
B	Блакiтна- вата-белы	30—10	Максімальная колькасць ліній нейтральнага гелію з паступовым аслабленнем да класа B9; добра бачныя лініі іанізаваных крэмнію, азоту і вугляроду	α Дзевы (Спіка), γ Арыёна (Белатрыкс)
A	Белы	10—7,5	У спектры пераважаюць вадародныя лініі; лініі гелію аслабляюцца; у класе A2 з'яўляецца лінія нейтральнага кальцыю, а ў класе A5 — лінія нейтральнага жалеза	α Вялікага Пса (Сірыус), α Ліры (Вега)
F	Жаўтаваты	7,5—6	Вадародныя лініі ўсё яшчэ інтэнсіўныя, але прыкметныя шматлікія лініі металаў (іанізаваных і нейтральных); вельмі інтэнсіўныя лініі кальцыю	α Малога Пса (Працыён), α Кіля (Канопус)
G	Жоўты	6—5	Вадародныя лініі не галоўныя сярод магутных спектральных ліній металаў	Сонца, α Возніка (Капэла)
K	Чырванаваты	5—3,5	Вельмі моцныя лініі нейтральных металаў; у класе K5 з'яўляюцца сляды палос паглынання малекул вокісу тытану	α Валапаса (Арктур), α Цяльца (Альдэбаран)
M	Чырвоны	3,5—2,5	Асабліва выдзяляюцца палосы вокісу тытану; сустракаюцца спектры з адной ці некалькімі вадароднымі лініямі	α Арыёна (Бэтэльгейзе), α Скарпіёна (Антарэс)
L	Карычневы	Каля 2	Моцная паласа паглынання CrH; лініі рэдкіх шчолачных металаў, цэзію, рубідыю	GL229B

лярныя 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 выгляду спектральных ліній.

Каля 99 % усіх зорак належаць да спектральных класаў В — М. Спектры невялікай колькасці зорак, якія не ўкладваюцца ў разгледжаную паслядоўнасць ці маюць асаблівасці, адзначаюцца дадатковымі літарамі (напрыклад, A0n, A3s, B0k, B2e). Сустрэкаюцца складаныя спектры, у якіх змешваюцца характарыстыкі двух і нават трох спектральных класаў. Іх абазначаюць, напрыклад, так: G0A2 ці G0+A2.

На дадзены момант спектральнай класіфікацыяй ахоплена больш за 500 тыс. зорак.

3. Памеры зорак. Лінейны радыус 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 $r = 206\,265''/\pi''$ а. а., для вуглавога радыуса $\sin \rho'' = \rho''/206\,265''$, то маем $R = \rho''/\pi''$ а. а.

Лінейныя радыусы зорак прынята выражаць у радыусах Сонца. У радыусах Сонца 1 а. а. = $149,6 \cdot 10^6$ км : $0,696 \cdot 10^6$ км = 215. З выкарыстаннем гэтых суадносін атрымаем формулу для вызначэння лінейных радыусаў зорак у радыусах Сонца ў наступным выглядзе:

$$R = 215 \rho'' / \pi''.$$

Зоркі знаходзяцца ад нас так далёка, што іх вуглавая памеры меншыя за мяжу распазнавання самых буйных тэлескопаў. Для яркіх блізкіх зорак вуглавая радыус знаходзяць па інтэрферэнцыйнай карціне, якую атрымліваюць у выніку перакрыцця відарысаў зоркі, пабудаваных двума шырока расстаўленымі тэлескопамі. Напрыклад, з дапамогай аптычнага інтэрферометра, які складаецца з двух аптычных люстраў дыяметрам 6,6 м кожнае, разнесеныя на максімальную адлегласць 180 м, удалося вымераць вуглавая дыяметр ϵ Арыёна. Ён аказаўся роўны $0,000\,72''$, а паколькі гадавы паралакс зоркі складае $\pi'' = 0,0024''$, то $R = 0,000\,36''/0,0024'' = 32 R_\odot$.

Радыусы зорак могуць быць вылічаны па іх магутнасці выпрамянення (святільнасці) і тэмпературы. Запішам значэнне поўнай магутнасці выпрамянення 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:

$$L = R^2 \frac{T^4}{T_{\odot}^4},$$

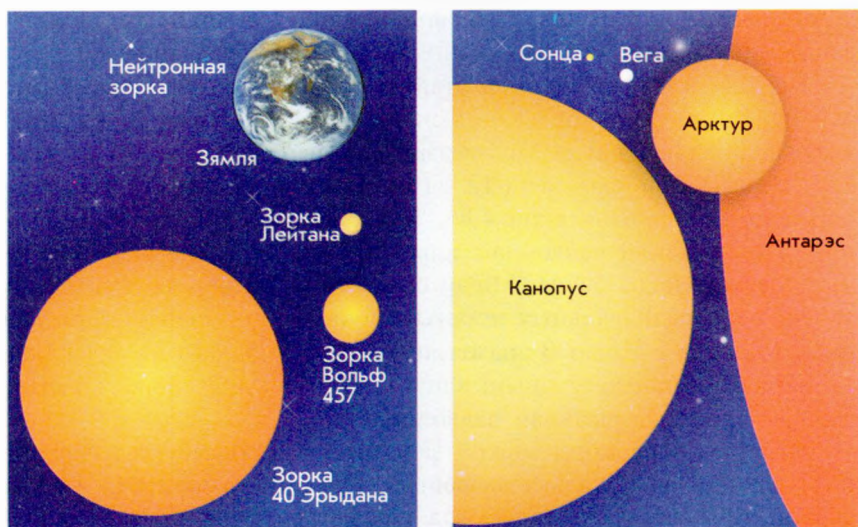
ці канчаткова ў лінейных радыусах Сонца:

$$R = \sqrt{L} \left(\frac{T_{\odot}}{T} \right)^2. \quad (23.2)$$

Памеры зорак можна адрозніваюцца: ад дыяметраў, параўнальных з дыяметрам арбіты Юпітэра (чырвоныя звышгігanty), да памераў планет Сонечнай сістэмы (белыя карлікі) ці нават да некалькіх кіламетраў у нейтронных зорак (рыс. 23.1).

Пытанні і практыкаванні

1. Якім чынам, выкарыстоўваючы законы Стэфана — Больцмана і Віна, можна вызначыць тэмпературу зоркі? 2. Чым адрозніваюцца эфектыўная і колеравая тэмпература зоркі? 3. Па якіх прыкметах праводзіцца спектральная класіфікацыя зорак? 4. Назавіце класы і падкласы спектральнай класіфікацыі зорак. 5. Да якіх класаў адносіцца пераважная колькасць зорак? Да якога класа і падкласа спектральнай класіфікацыі зорак адносіцца наша Сонца? 6. Кратка ахарактарызуйце агульныя прыкметы спектраў кожнага



Рыс. 23.1. Памеры некаторых зорак у параўнанні з памерамі Зямлі (злева) і Сонца (справа)

класа спектральнай класіфікацыі зорак. 7. З якіх хімічных элементаў у асноўным складаюцца зоркі? 8. Апішыце спосабы вызначэння лінейных радыусаў зорак. 9. Вылічыце лінейны радыус зоркі α Малога Пса (Працыён), калі яе свяцільнасць у 7 разоў большая за свяцільнасць Сонца, а тэмпература 6800 К. 10. Вылічыце памеры зоркі α Малога Пса (Працыён), калі яе вуглавая дыяметр, вымераны зорным інтэрферометрам, роўны $0,00571''$, а гадавы паралакс $\pi'' = 0,288''$. Параўнайце атрыманы вынік з адказам папярэдняй задачы.

§ 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 прасторы зорак, якія выпадкова праектуюцца на нябесную сферу на адным прамяні зроку. **Фізічныя падвойныя зоркі** ўяўляюць сабой сістэмы блізка размешчаных у прасторы 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 — ёсць слабыя зялёны (пры назіранні ў тэлескоп) спадарожнік.

Першая вядомая яшчэ са старажытнасці зоркавая пара — гэта Міцар (Конь) і Алькор (Коннік). Міцар — сярэдняя зорка ручкі «каўша» сузор'я Вялікай Мядзведзіцы, бачная зорная велічыня якой $2,2^m$. На вуглавой адлегласці $12'$ ад яе знаходзіцца слабая зорка Алькор, зорная велічыня якой $4,0^m$. Зоркавая пара Міцар і Алькор — прыклад аптычнай падвойнай зоркі. У сваю чаргу, нават у школьны 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 $2,4^m$ і $4,0^m$. 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 сфатаграфаван), **зацьменна-падвойныя зоркі** (іх кампаненты перыядычна загароджваюць адзін аднаго ад назіральніка), **спектральна-падвойныя зоркі** (дваістасць

вияўляецца ў перыядычных зрушэннях ці раздваеннях ліній іх спектраў), **астрометрычна-падвойныя зоркі** (адна зорка не бачная і ўзбурае правільны рух суседняй).

Першы спіс падвойных зорак склаў у 1803 г. англійскі астраном *Уільям Гершэль*. У ім было некалькі соцень аб'ектаў. Сістэматычныя назіранні падвойных зорак праводзіў заснавальнік Пулкаўскай абсерваторыі *В. Я. Струве*. У яго каталозе, апублікаваным у 1827 г., было 3110 зоркавых пар. На сучасны момант вядома каля 100 тыс. візуальна-падвойных зорак.

Перыяды абарачэння кампанентаў у візуальна-падвойных сістэмах знаходзяцца ў межах ад некалькіх гадоў да некалькіх тысяч гадоў.

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**.

Падвойнасць і кратнасць у зорным свеце — шырока распаўсюджаная з'ява.

2. Зацьменна-падвойныя зоркі. Зацьменна-падвойныя, ці зацьменна-пераменныя, 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 імі вельмі малая. Меркаваць пра дваістасць сістэмы можна толькі па перыядычных ваганнях бляску. Паколькі прамень зроку пры назіранні такіх зорак і плоскасці іх арбіт практычна супадаюць, то ў такіх зорак выяўляецца з'ява зацьменняў, калі адзін з кампанентаў праходзіць паперадзе ці ззаду другога адносна назіральніка. Разгледжаную сітуацыю растлумачвае рыс. 24.1, на якім прыведзена крывая змен бляску m зацьменна-падвойнай зоркі, звязаных з перыядычнымі зацьменнямі аднаго кампанента другім.



Рис. 24.1. Змены бляску зацьменна-падвойнай зоркі

Лічбы на графіку адносяцца да адпаведных месцазнаходжанняў аднаго з кампанентаў зоркі на арбіце. Рознасць зорных велічынь у мінімуме і максімуме бляску называюць **амплітудай**, а прамежак часу паміж двума паслядоўнымі найменшымі мінімумамі — **перыядам пераменнасці**.

Тыповы прыклад зацьменна-пераменнай зоркі — зорка β Персея (Алголь), якая рэгулярна зацяняецца на 9,6 г з перыядам 2,867 сутак. Падзенне бляску ў мінімуме складае 2,3 зорнай велічыні.

Змена выгляду крывой бляску зацьменна-пераменнай зоркі дае магчымасць вызначыць характарыстыкі яе кампанентаў: нахіл плоскасці арбіты, эксцэнтрысітэт, перыяд абарачэння. Калі ў зацьменна-пераменнай зоркі вядомы гадавы паралакс, да таго ж яна назіраецца як спектральна-падвойная зорка, то можна вызначыць свяцільнасць кампанентаў, ацаніць іх масы, памеры і адхіленні іх форм ад шарападобнай.

Усяго вядома каля 4000 зацьменна-падвойных зорак.

3. Спектральна-падвойныя зоркі. Спектральна-падвойныя зоркі, як і зацьменна-падвойныя, уяўляюць сабой вельмі цесныя пары. Кампаненты (зоркі) пары абарачаюцца ў плоскасці, слаба нахіленай да напрамку прамяня зроку назіральніка. Спектральна-падвойныя зоркі не бачныя паасобку нават у магутныя тэлескопы, але лёгка выяўляюцца пры спектраскапічных назіраннях прамянёвых скарасцей.

Зоркі, падвойнасць якіх устанаўліваецца толькі на падставе спектральных назіранняў, называюцца **спектральна-падвойнымі**.

Дапусцім, што назіральнік знаходзіцца ў плоскасці арбіты падвойнай сістэмы, якая складаецца з больш масіўнай і яркай зоркі A і менш яркай і масіўнай зоркі B (рыс. 24.2). Кожны з кампанентаў — A і B пры абарачэнні вакол цэнтра мас сістэмы то набліжаецца да назіральніка, то аддаляецца ад яго. З-за эфекту 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 месцазнаходжаннем зорак на арбітах.

Пастаяннае ўдасканаленне метадыкі вызначэння зруху спектральных ліній дало магчымасць у 1995 г. выявіць у зоркі 51 Пегаса спадарожнік масай у палову масы Юпітэра. Да 2000 г. метадам прамянёвых скарасцей у 32 зорак выяўлены ад аднаго да некалькіх спадарожнікаў. Яны атрымалі агульную назву — **экзапланеты**.

4. Астрометрычна-падвойныя зоркі. Сустрэкаюцца такія цесныя зоркавыя пары, калі адна з зорак ці вельмі малая па памерах, ці мае

нізкую свяцільнасць. У гэтым выпадку разгледзець такую зорку няма магчымасці, але выявіць дваістасць усё ж можна. Яркі кампанент перыядычна адхіляецца ад прамалінейнай траекторыі то ў адзін, то ў другі бок (рыс. 24.3), быццам бы па прамой рухаецца цэнтр мас сістэмы. Такія ўзбурэнні прапарцыянальныя масе спадарожніка.

Даследаванні адной з найбліжэйшых да нас зорак, вядомай пад назвай Рос 614 (яе блыск $11,4^m$ і паралакс $0,25''$), паказалі, што амплітуда адхіленняў зоркі ад напрамку, які дапускаўся, дасягае $0,36''$. Перыяд абарачэння зоркі адносна цэнтра мас роўны 16,5 года.

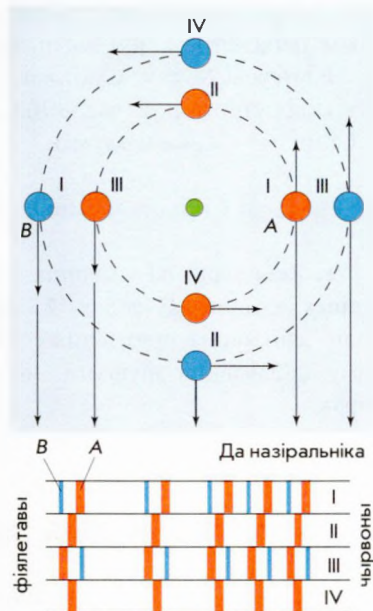
Сярод блізкіх да Сонца зорак выяўлена каля 20 астраметрычна-падвойных зорак.

5. Маса зорак. Працяглыя назіранні візуальна-падвойных зорак пераканалі астраномаў у тым, што бачны адносны рух кампанентаў зоркавай пары адбываецца па эліпсе і адпавядае закону плошчаў. З гэтага вынікае, што ў падвойных сістэмах абарачэнні зорак адбываюцца ў адпаведнасці з законам Кеплера і падпарадкоўваюцца закону сусветнага прыцягнення Ньютана.

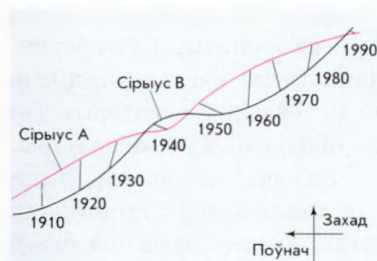
Атрыманы ацэнкі мас прыблізна для ста зорак розных тыпаў. Аналіз гэтых звестак прывёў да наступных вынікаў:

1. Масы зорак знаходзяцца ў межах ад $0,03$ да 60 мас Сонца. Найбольшая колькасць зорак маюць ад $0,4$ да 3 мас Сонца.

2. Залежнасць паміж масамі зорак і іх свяцільнасцю дае магчымасць ацэньваць масы адзіночных зорак па іх свяцільнасцях. У інтэрвале мас $0,5M_{\odot} \leq M \leq 10M_{\odot}$ свяцільнасць зоркі прапарцыянальная чацвёртай ступені яе масы $L \approx M^4$. Пры $M > 10M_{\odot}$ паказчык ступені роўны 2, для свяцільнасці $L \approx M^2$.



Рыс. 24.2. Зрушэнне ліній у спектры падвойнай зоркі



Рыс. 24.3. Адхіленні ў руху Сірыуса, выкліканыя гравітацыйным узбурэннем спадарожніка

3. Маса зоркі ў момант яе фарміравання з'яўляецца найважнейшым параметрам, які вызначае далейшую эвалюцыю зоркі.

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).

Пытанні і практыкаванні

1. Якія зоркі называюцца падвойнымі? Прывядзіце іх класіфікацыю і прыклады назваў зорак. 2. Што такое амплітуда і перыяд пераменнасці зацёмнена-пераменных зорак? 3. Дайце падрабязнае тлумачэнне, чаму адбываецца зрушэнне ліній у спектрах спектральна-пераменных 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 адзін ад аднаго дацкі астраном *Эйнар Герцшпрунг*, а крыху пазней амерыканскі астрафізік *Генры Рэсел* устанавілі сувязь паміж гэтымі характарыстыкамі. Гэту залежнасць можна падаць у выглядзе дыяграмы: па гарызантальнай восі адкладваецца спектральны клас (ці тэмпература) зорак, а па вертыкальнай — іх свяцільнасць (у абсалютных велічынях ці ў адзінках свяцільнасці Сонца). Кожнай зорцы адпавядае пункт на гэтай дыяграме. Такая дыяграма называецца **дыяграмай Герцшпрунга — Рэсела** ці **дыяграмай «спектр — свяцільнасць»** (гл. рыс. на форзацы).

Зоркі на дыяграме не размяркоўваюцца выпадковым чынам па ўсёй яе плошчы, а ўтвараюць некалькі груп, названых паслядоўнасцямі. Гэтыя паслядоўнасці, названыя **класамі свяцільнасці**, гавораць аб наяўнасці ў некаторых зоркавых груп індывідуальнай залежнасці свяцільнасці ад тэмпературы.

Большасць зорак на дыяграме знаходзіцца ў межах паласы, выразна выяўленай і выцягнутае ад левага верхняга да правага ніжняга вугла, якая называецца **галоўнай паслядоўнасцю**.

У левай ніжняй частцы галоўнай паслядоўнасці знаходзяцца самыя гарачыя зоркі класа O, свяцільнасць якіх у дзесяткі тысяч разоў большая за сонечную. Такія зоркі называюць **блакітнымі**

звышгігантамі. З памяншэннем тэмпературы свяцільнасць зорак падае. Затым паласа галоўнай паслядоўнасці праходзіць праз зону, дзе знаходзяцца падобныя на Сонца зоркі класа G. І нарэшце, галоўная паслядоўнасць апускаецца да ніжняй правай часткі дыяграмы. Тут знаходзяцца зоркі класа M з малой масай і адносна нізкай тэмпературай. Гэтыя зоркі называюцца **чырвонымі карлікамі.**

Да зорак галоўнай паслядоўнасці адносяцца добра вядомыя зоркі — Сірыус (α Вялікага Пса), Вега (α Ліры), наша Сонца. Зоркі з адносна нізкай тэмпературай фотасферы ($3\div 5\cdot 10^3$ K) 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 верхнім правым вуглу дыяграмы групуюцца **чырвоныя звышгіганты.** Гэта зоркі з вельмі высокай свяцільнасцю, нізкай шчыльнасцю і з дыяметрамі ў сотні разоў большымі за сонечны. Да чырвоных звышгігантаў адносіцца зорка Бетэльгейзе (α Арыёна).

У левай ніжняй частцы дыяграмы гарачыя зоркі слабай свяцільнасці — **белыя карлікі.** Іх памеры параўнальныя 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 тысячы разоў меншая за шчыльнасць зямной атмасферы. Шчыльнасць рэчыва ў атмасферы зоркі ўплывае на шырыню спектральных ліній. Таму, напрыклад, у чырвоных карлікаў спектральныя лініі шырэйшыя, чым у чырвоных гігантаў і звышгігантаў. Такім чынам, па выглядзе спектральных ліній вызначаецца, да якой паслядоўнасці належыць зорка (галоўная, карлікі, гіганты).

Па паслядоўнасці ацэньваецца абсалютная зорная велічыня, а потым і адлегласць (гл. § 23). Гэты метада 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 звышгігант.

2. Нараджэнне зорак. Працэс зоркаўтварэння адбываецца ў Галактыцы бесперапынна — з моманту яе ўзнікнення. Пацвярджэннем 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 дзесяткаў мільярдаў гадоў. Гэты час занадта вялікі, каб прасачыць жыццёвы шлях зорак, ці іх **эвалюцыю.** Таму асноўным метадам даследаван-

ня эвалюцыі зорак з'яўляецца пабудова **мадэлей унутранай будовы зорак**.

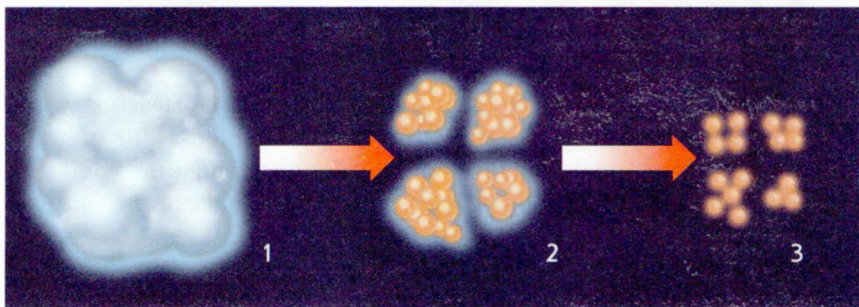
Пры пабудове мадэлі задаюць пачатковыя ўмовы фізічнага стану газу: хімічны састаў, ціск (шчыльнасць), тэмпературу, масу. Потым на аснове фізічных законаў (газавых законаў, закону прыцягнення) разлічваюць змены гэтых параметраў з цягам часу. Правільнасць той ці іншай мадэлі пацвярджаецца параўнаннем з дыяграмай Герцшпрунга — Рэсела, якая падсумоўвае назіранні вялікай колькасці зорак, што знаходзяцца на розных стадыях эвалюцыі. Гэтыя даследаванні далі магчымасць устанавіць шлях развіцця зорак.

Паводле сучасных уяўленняў, зоркі ўтвараюцца ў выніку сціскання (гравітацыйнай кандэнсацыі) рэчыва міжзорнага асяроддзя (рыс. 25.1, 1). Зоркі нараджаюцца групамі з гіганцкіх газапылавых комплексаў памерамі да 100 пк і масай у дзесяткі і сотні тысяч сонечных мас. Газ у гэтых комплексах знаходзіцца ў малекулярным стане з тэмпературай каля 10 К.

Пад уздзеяннем гравітацыйных сіл комплекс сціскаецца, шчыльнасць яго расце, і ён распадаецца на асобныя згусткі, ці газапылавыя воблакі (рыс. 25.1, 2).

У газапылавым воблаку выпадкова ці пад дзеяннем знешніх прычын узнікаюць гравітацыйна-няўстойлівыя фрагменты, якія прадаўжаюць сціскацца. Знешнімі прычынамі, якія стымулююць зоркаўтварэнне, могуць быць сутыкненні малекулярных воблакаў; зорны вецер ад маладых гарачых зорак; ударныя хвалі, выкліканыя ўспышкамі звышновых зорак. Пры дастаткова вялікай масе фрагмента адбываецца далейшы распад на асобныя фрагменты-згусткі (рыс. 25.1, 3).

Фрагменты зорнай масы, якія сціскаюцца пад дзеяннем уласнага прыцягнення, называюцца **пратазоркамі**. Пры гравітацыйным сцісканні газ у пратазорцы разагравецца, і яна пачынае выпрамя-



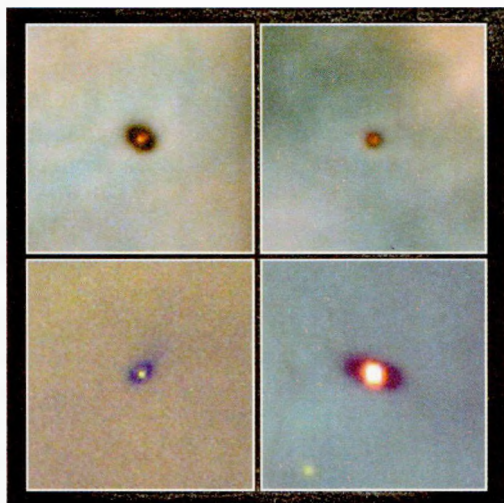
Рыс. 25.1. Утварэнне зорак з газапылавага воблака

няць у інфрачырвоным дыяпазоне спектра. Рэчыва, якое акружае ядро пратазоркі, падае на яго, што павялічвае яго масу і тэмпературу. Калі ціск, што ствараецца выпрамяненнем зоркі, робіцца дастаткова вялікім, падзенне рэчыва спыняецца. Ціск выпрамянення абмяжоўвае масу будучых зорак велічынёй у некалькі дзесяткаў мас Сонца. Працягласць стадыі сціскання залежыць ад масы пратазоркі: пры масе меншай за сонечную — сотні мільёнаў гадоў, пры большай — сотні тысяч гадоў.

Часта ў пратазорцы, што верціцца вакол цэнтральнага згустка, утвараецца працяглы газапылавы дыск, з якога потым развіваецца планетная сістэма (рыс. 25.2). Зорка, якая фарміруецца, у канцы стадыі сціскання мае значныя памеры пры яшчэ адносна нізкай тэмпературы паверхні. Сцісканне пратазоркі спыняецца, калі тэмпература ў цэнтры ядра дасягае некалькіх мільёнаў градусаў, тады ўключаюцца тэрмаядзерныя крыніцы энергіі, рэакцыі пратон-пратоннага цыкла. Момент пачатку тэрмаядзерных рэакцый ёсць момант нараджэння зоркі. Цяпер тэмпература і шчыльнасць унутраных слаёў робяцца такімі, што сіла іх пругкасці можа процідзейнічаць вазе вонкавых слаёў. Пасля пачатку вадародных рэакцый і ўстанаўлення раўнаважнага стану зорка трапляе на галоўную паслядоўнасць дыяграмы «спектр — свяцільнасць». Нованароджаныя зоркі з'яўляюцца на галоўнай 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 ўстойливой раўнавагі. Чым большая маса газапылавога комплексу, які сціскаецца, потым пратазоркі і нарэшце зоркі, тым большую масу слаёў, што ляжаць вышэй, даводзіцца вытрымліваць яе ядру. Таму патрэбна больш высокая тэмпература, каб газавы ціск мог процістаяць гэтай вазе. Назіранні паказваюць, што свяцільнасць зорак прапарцыянальна масе ў чацвёртай ступені.

З іншага боку, паводле закону Стэфана — Больцмана, цеплавое



Рыс. 25.2. Пратазоркі з пратапланетнымі дыскамі ў туманнасці Арыёна. Фатаграфія Касмічнага тэлескопа Хабла

выпраямненне зоркі (свяцільнасць) прапарцыянальна чацвёртай ступені тэмпературы (гл. § 18). Гэта і пацвярджае тое, што пры большай масе зоркі тэмпература яе нетраў і фотасферы будзе вышэйшая. Самыя масіўныя зоркі, 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 галоўнай паслядоўнасці. Але паколькі запасы вадароду прапарцыянальны масе, а расход энергіі (свяцільнасць) прапарцыянальны чацвёртай ступені масы, то вадарод у масіўных зорак выгарае хутчэй. Час знаходжання зоркі на галоўнай паслядоўнасці вызначаецца прастай залежнасцю:

$$t = 10^{10} \frac{1}{M^3} \text{ (гадоў)},$$

дзе M — маса зоркі ў масах Сонца.

Па прыведзенай вышэй формуле можна падлічыць, што Сонца вычарпае свой запас вадароднага паліва прыблізна за 10 млрд гадоў (такім чынам, Сонца, узрост якога ацэньваецца прыблізна ў 5 млрд гадоў, «пражыло» на галоўнай паслядоўнасці толькі палову свайго жыцця). Зоркі, роўныя 10 масам Сонца, — вычарпаюць усяго за 10 млн гадоў. Чырвоныя карлікі, якія слаба выпраменьваюць, масай каля 0,5 масы Сонца — за 80 млрд гадоў. Гарачых маладых зорак-гігантаў назіраецца меней з-за малога часу іх жыцця. Таму найбольш запойнена ніжняя правая частка галоўнай паслядоўнасці дыяграмы «спектр — свяцільнасць».



Рыс. 25.3. Адносныя памеры чырвонага гіганта і Сонца

Пасля выгарання вадароду ў нетрах зоркі ўтвараецца гарачае геліевае ядро. Далейшая эвалюцыя зоркі залежыць ад масы гэтага ядра. Калі яна меншая за 1,2 масы Сонца, то пад дзеяннем гравітацыйнага сціскання геліевае ядро зноў разагравецца (тэмпература падываецца да 100 млн градусаў). Вонкавыя слаі зоркі пры гэтым расшыраюцца і ахалоджваюцца. Зорка быццам бы разбухае. Яе свяцільнасць узрастае, а тэмпература падае. Зорка сыходзіць з галоўнай паслядоўнасці і, у залежнасці ад масы, становіцца чырвоным гігантам (рыс. 25.3) ці звышгігантам.

Атмасфера зоркі разрастаецца і паступова аддаляецца ад ядра, утвараючы **планетарную туманнасць**. У рэшце рэшт запасы ядзернай

энергіі ў зорцы вычэрпваюцца. Пры масе 1,4 масы Сонца пад дзеяннем гравітацыйных сіл зорка сціскаецца і становіцца маленькім шчыльным белым карлікам. Каласальны ўнутраны ціск прыводзіць да разбурэння атамаў і іх поўнага сціскання. Шчыльнасць такой зоркі больш чым у 100 тыс. разоў перавышае шчыльнасць вады.

Стадыі эвалюцыі, як і ўсе зоркі, праходзіць і наша Сонца. Праз 5—8 млрд гадоў яно ператворыцца спачатку ў чырвоны гігант, а затым, скінуўшы абалонку, стане белым карлікам. Зоркі, нашмат больш масіўныя за Сонца, у працэсе эвалюцыі ператвараюцца ў нейтронныя зоркі ці чорныя дзіры (рыс. 25.4).



Рыс. 25.4. Эвалюцыя зорак рознай масы

Пытанні і практыкаванні

1. Па якім прынцыпе будзеца дыяграма Гершпрунга — Рэсела? 2. Як на дыяграме Гершпрунга — Рэсела размяшчаюцца зоркі розных памераў? 3. У якой частцы дыяграмы Гершпрунга — Рэсела размяшчаюцца зоркі, якія маюць: а) большыя, чым у Сонца, свяцільнасць і тэмпературу; б) меншую, чым у Сонца, свяцільнасць, але большую тэмпературу; в) большую, чым у Сонца, свяцільнасць, але меншую тэмпературу; г) меншыя, чым у Сонца, свяцільнасць і тэмпературу? 4. Дайце кароткую характарыстыку зоркам: блакітным звышгігантам, чырвоным гігантам, белым карлікам, чырвоным карлікам. 5. Што разумеюць пад эвалюцыяй зорак? 6. Апішыце ў агульных рысах працэс утварэння зорак.

§ 26. НЕСТАЦЫЯНАРНЫЯ ЗОРКІ

1. Агульная характарыстыка пераменных зорак. Многія зоркі змяняюць свой бляск з прычыны нестацыянарных працэсаў, што ідуць у іх. Такія зоркі называюцца пераменнымі. **Фізічныя пераменныя зоркі** — гэта зоркі, якія мяняюць сваю свяцільнасць за кароткія прамежкі часу ў выніку фізічных працэсаў, што адбываюцца ў самой зорцы.

У залежнасці ад характару працэсаў, якія праходзяць унутры зоркі, фізічныя пераменныя зоркі падзяляюць на пульсуючыя і эруптыўныя.

Усе пераменныя зоркі маюць спецыяльныя абазначэнні, калі ім раней не былі прысвоены літары грэчаскага алфавіта. У кожным сузор'і першыя 334 пераменныя 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 пераменныя зоркі, якім не хапіла камбінацый гэтых літар у сваім сузор'і, абазначаюцца V 335, V 336 і г. д.

2. Пульсуючыя пераменныя зоркі. Пры эвалюцыйным ператварэнні зоркі ў зорку-гігант мае месца павелічэнне яе аб'ёму і памяншэнне сярэдняй шчыльнасці рэчыва. У гэты час адбываюцца карэнныя змены ўнутранай будовы зоркі, якія могуць суправаджацца парушэннем раўнавагі паміж сіламі гравітацыйнага прыцягнення і прамянёвага ціску. Гэта прыводзіць да перыядычных ваганняў аб'ёму зоркі: яе абалонка то расшыраецца, то сціскаецца (вяртаецца да свайго ранейшага аб'ёму). Такія перыядычныя ваганні пераменных зорак называюцца пульсавальнымі.

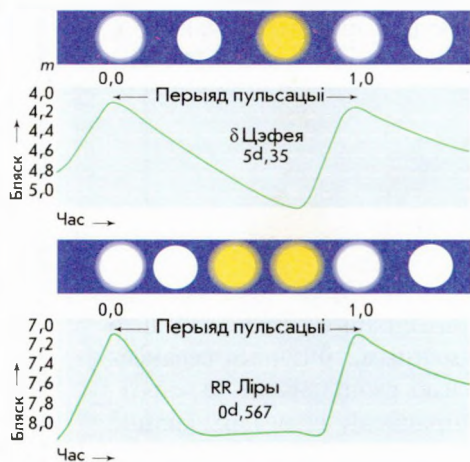
Пры павелічэнні радыуса зоркі павялічваецца і плошча фотасферы, а таксама тэмпература і святлівасць. Вонкавыя слаі рухаюцца то ад назіральніка, то да яго, што прыводзіць да зрушэння спектральных ліній.

Першая пульсуючая зорка была адкрыта нямецкім астраномам *Давідам Фабрыцыусам* у 1596 г. у сузор'і Кита і названа Мірай. Перыяд змены бляску гэтай зоркі складае 331,6 сутак.

Вялізны клас вельмі яркіх пераменных зорак-гігантаў і звышгігантаў класаў F і G называецца **цэфеідамі** (па тыповым іх прадстаўніку δ Цэфея). Амплітуда бляску (зорная велічыня) вагаецца ад 0,5 да 2

зорных велічынь, а перыяд ваганняў — ад некалькіх да 70 сутак. Адначасова са зменай бачнай зорнай велічыні ў цэфеід мяняецца іх спектр. Па зрушэнні яго інтэнсіўнасці выяўлена, што ў цэфеід перыядычна (з перыядам змены бляску) змяняецца тэмпература ў сярэднім на 1500 градусаў (рыс. 26.1).

Змена фізічных параметраў зоркі адбываецца такім чынам, што ў максімуме бляску цэфеіда мае максімальную тэмпературу, пры гэтым яе радыус памяншаецца і фотасфера зоркі аддаляецца ад нас з найбольшай скорасцю. Гэтыя з'явы тлумачацца пульсавальнай вонкавай слаёў цэфеід, што прыводзіць да перыядычных змен



Рыс. 26.1. Графікі змены бляску зорак δ Цэфея і RR Ліры

їх світлості, температури і радіуса ў межах $\approx 5\%$ ад іх сярэдніх значэнняў.

Тэарэтычныя разлікі і практычныя назіранні паказваюць, што толькі зоркі-гіганты і звышгіганты праходзяць праз стадыю цэфеід. Перыяд пульсаций зоркі залежыць ад сярэдняй шчыльнасці яе рэчыва і падпарадкоўваецца наступнай заканамернасці:

$$P = \frac{\text{const}}{\sqrt{\rho}} = \frac{0,12}{\sqrt{\rho}},$$

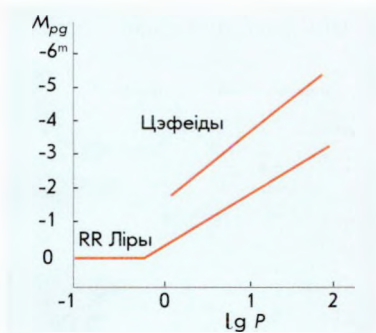
дзе P — перыяд пульсаций (у сутках), ρ — сярэдняя шчыльнасць (у адзінках сярэдняй шчыльнасці Сонца). Сярэдняя шчыльнасць рэчыва цэфеід складае каля 10^{-2} кг/м³.

Цэфеіды з большай масай маюць большую святлост, большы радыус, але меншую шчыльнасць і, адпаведна, большы перыяд пульсаций, г. зн. цэфеіды маюць важную залежнасць «перыяд — святлост» (рыс. 26.2). Гэта залежнасць апісваецца выразам: $M = -1,25 - 3,00 \lg P$, дзе P — перыяд змены бляску ў сутках, а M — сярэдняя абсалютная зорная велічыня. Такім чынам, па вядомым з назіранняў перыядзе можна вызначыць святлост зоркі ці абсалютную зорную велічыню. Пры параўнанні яе з бачнай зорнай велічынёй, атрыманай з назіранняў, можна вызначыць адлегласць да цэфеіды. Высокая святлост і пераменнасць бляску даюць магчымасць выявіць цэфеіды на адлегласці аж да 20 Мпк. Іх назіраюць у найбліжэйшых галактыках, такім чынам вызначаючы адлегласці да гэтых зорных сістэм.

Цэфеіды вобразна называюць маякамі Сусвету. Цяпер у нашай Галактыцы вядома звыш 700 цэфеід.

Другой разнавіднасцю пульсуючых пераменных зорак з'яўляюцца **зоркі тыпу RR Ліры**, якія маюць больш кароткія перыяды — ад 0,2 да 1,2 сутак. Практычна ўсе зоркі гэтага тыпу — гіганты спектральнага класа А. Яны вельмі хутка мяняюць бляск (гл. графік на рыс. 26.1). Амплітуда змены бляску дасягае 1 зорнай велічыні. У гэтых зорак, як і ў цэфеід, існуе залежнасць паміж перыядам і святлостю (гл. рыс. 26.2).

Існуюць зоркі, якія пульсуюць са значна большымі перыядамі — ад некалькіх тыдняў да года і болей. Гэтыя доўгаперыядычныя перамен-



Рыс. 26.2. Графік залежнасці абсалютнай зорнай велічыні ад перыяду змены бляску ў цэфеід і зорак тыпу RR Ліры

ныя зоркі называюцца зоркамі тыпу Міры — **мірыдамі** (па назве зоркі ў сузор’і Кіта — о Кіта). У перакладзе з лацінскай мовы Міра абазначае «дзіўная». Практычна ўсе зоркі гэтага тыпу — старыя чырвоныя гіганты велізарных памераў і вялікай свяцільнасці. Амплітуды змены бляску такіх зорак могуць дасягаць 10 зорных велічынь.

3. Новыя зоркі. Зоркі, бляск якіх раптоўна павялічваецца ў тысячы і мільёны разоў за некалькі сутак, пасля чаго памяншаецца да першапачатковага ўзроўню на працягу года і болей, называюцца **новымі зоркамі**. Пад тэрмінам «новая зорка» не разумеюцца, што зорка нарадзілася. Так называюць зоркі, якія раней былі цьмянымі, 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 панярэдняе значэнне бляску за перыяд крыху большы чым 1,5 года.

Назіранні паказваюць, што новымі зоркамі, якія ўспыхваюць, у асноўным з’яўляюцца гарачыя белыя карлікі спектральных класаў O — B, абсалютная зорная велічыня якіх парадку $4^m \div 5^m$. У час успышкі гэтыя зоркі павялічваюць свой бляск на $7^m \div 16^m$ зорных велічынь (рыс. 26.3). Пры гэтым новая зорка выпрамяняе энергію каля 10^{38} Дж (такая энергія выпрамяняецца Сонцам прыблізна за 100 тыс. гадоў!). У максімуме ўспышкі спектр новых зорак падобны на спектр звышгігантаў спектральных класаў A і F, а лініі спектра зрушаны ў фіялетавы бок. Гэтыя факты ўказваюць на тое, што ўспышка новай зоркі ўяўляе сабой выбух, які адбываецца на паверхні зоркі. За кошт энергіі выбуху і энергіі знешняй абалонкі, якая расшыраецца, забяспечваецца магутнае выпрамяненне новай зоркі ў перыяд максімуму бляску.

Прычынай выбуху новых зорак з’яўляецца абмен рэчыва паміж кампанентамі цесных падвойных пар, да якіх належашь усе



Рис. 26.3. Графік змены бляску новай зоркі

дэталёва даследаваныя былыя новыя зоркі. Успышкі новых зорак — дастаткова частая з’ява: штогод астраномы робяць 2—3 адкрыцці. Дзякуючы высокай свяцільнасці ў максімуме бляску новыя зоркі выяўляюць у найбліжэйшых галактыках: каля 250 зарэгістравана ў туманнасці Андромеды і каля 20 — у Магеланавых Воблаках.

Многія новыя 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** называюць зоркі, якія ўспыхваюць падобна Новым і дасягаюць у максімуме абсалютнай зорнай велічыні ад -18^m да -19^m . Асобныя Звышновыя ў максімуме бляску перавышаюць свяцільнасць Сонца ў дзесяткі мільярдаў разоў і дасягаюць абсалютнай зорнай велічыні $M = -20^m \div 21^m$.

У кітайскіх летапісах згадваецца раптоўнае з’яўленне ў 1054 г. у сузор’і Цяльца «зоркі-госці», якая здавалася ярчэйшай 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 нагадвае краба, што плыве ў вадзе. Туманнасць так і назвалі — Крабападобная (рыс. 26.4). Назіранні паказалі, што яна расшыраецца. З улікам скорасці расшырэння можна зрабіць выснову, што Крабападобная туманнасць — гэта рэшткі выбуху Звышновай 1054 г.

Упершыню тэрмін «новая зорка» выкарыстаў Ц. Браге пры апісанні яркай зоркі, якая з’явілася ў 1572 г. Нягледзячы на тое што паводле сучасных уяўленняў гэта назва аказалася не зусім трапнай (успышка абазначае не нараджэнне зоркі, а яе пагібель), яна да гэтага часу выкарыстоўваецца ў астраноміі. Найбольш магутныя выбухі зорак, якія гінуць, па аналогіі называюць звышновымі зоркамі.

У нашай Галактыцы за апошняе тысячагоддзе зарэгістравана некалькі выпадкаў успышак звышновых зорак.

Фатаграфічным метадам адзначана больш за 300 успышак Звышновых у іншых галактыках, прычым



Рыс. 26.4. Крабападобная туманнасць — рэштка ад выбуху звышновай зоркі

нярэдка іх свяцільнасць была параўнальная з агульнай свяцільнасцю ўсёй галактыкі, у якой адбылася ўспышка. Найбольш яркая звышновая зорка, якая назіралася пры дапамозе сучаснай тэхнікі, з'явілася ў 1987 г. у адной з найбліжэйшых галактык — Вялікім Магеланавым Воблаку (рыс. 26.5).

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). Шчыльнасць цэнтра жалезнага ядра дасягае значэння 10^{12} кг/м³ пры тэмпературы $10^9 + 10^{10}$ К. Паступова зорка ўсё больш і больш «расслойваецца» (рыс. 26.6).

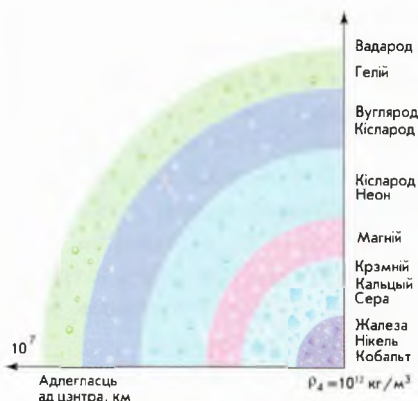
Ядзерныя рэакцыі з утварэннем яшчэ больш цяжкіх хімічных элементаў ідуць з паглынанням энергіі, таму зорка пачынае ахалоджвацца і сціскацца. Унутраныя слаі нібыта абвальваюцца да цэнтра зоркі; узнікае ўдарная хваля, якая адваротна рухаецца ад цэнтра. У выніку рэчыва знешніх слаёў зоркі выкідваецца з велізарнай скорасцю. З-за катастрофічнай змены структуры зоркі адбываецца ўспышка Звышнявай.

Пры выбуху выдзяляецца энергія парадку 10^{46} Дж. Такую колькасць энергіі наша Сонца здольна выпраменіць толькі за мільярды гадоў. Ад велізарнай зоркі застаюцца толькі газавая абалонка, якая расшыраецца з вялікай скорасцю, і нейтронная зорка (ці пульсар). **Пульсар** уяўляе сабой нейтронную зорку, якая хутка верціцца і для якой характэрна радыёвыпрамяненне, што пульсуе з перыядам, роўным перыяду вярчэння зоркі.

VII



Рыс. 26.5. Звышновая SN 1987A ў Вялікім Магеланавым Воблаку (паказана стрэлкай)



Рыс. 26.6. Расслаенне масіўных зорак

Калі зорная маса невялікая, то сілы гравітацыі параўнальна слабыя, і сцісканне зоркі (гравітацыйны калапс) спыняецца. Пры вельмі высокай шчыльнасці рэчыва электроны злучаюцца з пратоінамі і ўтвараюць нейтральныя часціцы — нейтроны. У хуткім часе амаль уся зорка будзе складацца з адных нейтронаў, так цесна прыціснутых адзін да аднаго, што велізарная зорная маса сканцэнтравана ў вельмі невялікім шары, памерам парадку дзесяці кіламетраў (рыс. 26.7). Шчыльнасць утворанага шара — **нейтроннай зоркі** — надзвычай вялікая: яна можа складаць $10^{17} \div 10^{18}$ кг/м³.

Нейтронныя зоркі былі выяўлены ў 1967 г. як крыніцы перыядычнага радыёвыпрамянення. Спачатку назіральнікі лічылі, што гэтыя сігналы пасылае іншая цывілізацыя. Але з адкрыццём іншых такіх жа крыніц радыёсігналаў стала зразумелым, што яны маюць прыроднае паходжанне. У дадатак ад гэтых крыніц было зарэгістравана рэнтгенаўскае і гама-выпрамяненне.

Калі ў нетрах зоркі адсутнічаюць сілы, якія процідейнічаюць яе сцісканню пад дзеяннем сіл гравітацыі, то зорка і далей будзе сціскацца. Шчыльнасць рэчыва будзе прадаўжаць павялічвацца.

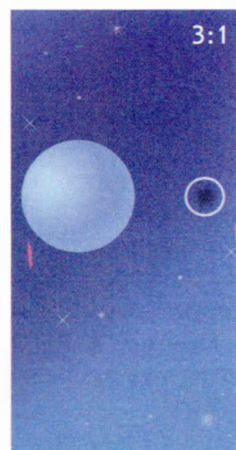
У выніку масіўная зорка на заключным этапе сваёй эвалюцыі ператвараецца ў аб'ект, які нястрымна сціскаецца, — **чорную дзіру** (рыс. 26.8). Поле прыцягнення на мяжы чорнай дзіры настолькі вялікае, што сігналы ад гэтага аб'екта не выходзяць за яго межы (адсюль паходзіць яго назва). Іншымі словамі: гравітацыйнае поле чорнай дзіры настолькі магутнае, што нават святло не можа яго пераадолець.

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:

$$r_g = \frac{2GM}{c^2}$$



Рыс. 26.7. Адносныя памеры белага карліка і нейтроннай зоркі



Рыс. 26.8. Адносныя памеры нейтроннай зоркі і чорнай дзіры



Рыс. 26.9. Схема чорнай дзіры ў падвойнай сістэме

дзе G — гравітацыйная пастаянная, M — маса зоркі, c — скорасць святла.

З тэорыі адноснасці вынікае, што рэчыва павінна быць сціснута ў мікраскапічна малым аб'ёме ў цэнтры чорнай дзіры. Гэты стан называецца сінгулярнасцю. Мяжу чорнай дзіры называюць гарызонтам падзей.

Паколькі чорныя дзіры непасрэдна назіраць нельга, пошукі іх звязаны з вялікімі цяжкасцямі. Часцей за ўсё іх выяўляюць двума спосабамі. Па-першае, калі чорная дзіра ўтварылася ў падвойнай сістэме зорак, то яе месцазнаходжанне можна вызначыць па абарачэнні другога кампанента вакол «пустога месца» (рыс. 26.9). Па-другое, пры падзенні рэчыва на чорную дзіру павінна ўзнікаць магутнае рэнтгенаўскае выпрамяненне. Крыніцы такога выпрамянення (Лебедзь X-1, Скарпіён X-1 і інш.) зарэгістраваны як «кандыдаты» ў чорныя дзіры. Схематычна чорную дзіру можна ўявіць наступным чынам: гравітацыйнае поле нябачнай чорнай дзіры захоплівае паток газу ад знешніх слаёў блакітнага звышгіганта; паблізу ад чорнай дзіры газ моцна разаграецца і становіцца крыніцай электрамагнітнага выпрамянення ў рэнтгенаўскім і гама-дыяпазоне.

Чорныя дзіры таксама могуць існаваць і назірацца як аб'екты, што пастаянна ўзаемадзейнічаюць з рэчывам у ядрах галактык і квазарах.

Пытанні і практыкаванні

1. Чым адрозніваюцца фізічныя пераменныя зоркі ад зацьменна-пераменных зорак?
2. Якая прычына пульсаций цэфеід?
3. Чым адрозніваецца новая зорка ад Звышновой?
4. Як часта назіраюцца новыя і звышновыя зоркі?
5. Як утварылася Крабападобная туманнасць?
6. Якія прычыны выбуху новых і звышновых зорак?
7. Чаму нейтронныя зоркі называюць пульсарамі?
8. Растлумачце механізм радыёвыпрамянення пульсара.
9. Які аб'ект называюць чорнай дзірой? Якія ўласцівасці характэрныя для чорнай дзіры?

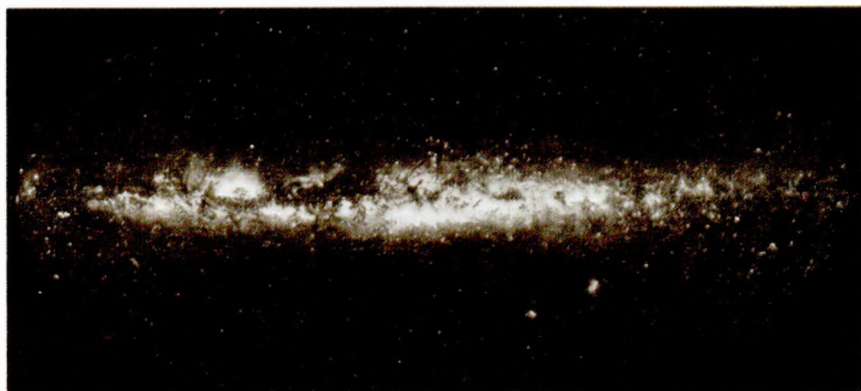
§ 27. НАША ГАЛАКТЫКА

1. Структура Галактыкі. На асеннім начным небе ў ясную бяз-мясечную ноч з захаду на ўсход праз зеніт (шыроты Беларусі) цяг-нецца добра прыметная святлівая паласа — **Млечны Шлях**. Ста-ражытныя грэкі Млечны Шлях назвалі **Галактыкай** (ад грэчаскага слова «гала» — малако). Яшчэ Галілеа Галілей у 1609 г. у тэлескоп выявіў, што Млечны Шлях складаецца з велізарнай колькасці сла-бых зорак.

Млечны Шлях праходзіць праз абодва паўшар'і па вялікім кру-зе нябеснай сферы (рыс. 27.1). Лінія, якая ідзе ўздоўж сярэдзіны Млечнага Шляху, называецца **галактычным экватарам**, а плоскасць, якая яго ўтварае, — **галактычнай плоскасцю**. Галактычная плоскасць нахілена да плоскасці нябеснага экватара пад вуглом 63° .

Трэба разумець, што тэрмін «Галактыка» адносіцца да зорнай сістэ-мы, а тэрмін «Млечны Шлях» — да яе святлівай праекцыі на неба.

Колькасныя падлікі зорак у розных напрамках ад галактычнага экватара распачаў *У. Гершэль* у 70-х гг. XVIII ст. Выбарачныя падлікі паказалі, што колькасць зорак рэзка памяншаецца па абодва бакі ад галактычнай плоскасці. Далейшымі даследаваннямі было ўстаноўле-на, што ўсе зоркі неба ўтвараюць адзіную зорную сістэму. У Млеч-



Рыс. 27.1. Млечны Шлях



Рыс. 27.2. Будова нашай Галактыкі

мала назву **балдж** (ад англійскага *bulge* — уздушце). Найбольш шчыльная і кампактная цэнтральная частка нашай Галактыкі, размешчаная ў сузор’і Стральца, называецца ядром. Зорны дыск Галактыкі мае структуру ў выглядзе спіральных галін (рукавоў).

Частка зорак нашай Галактыкі не ўваходзіць у склад дыска, а ўтварае сферычную састаўляющую — **зорнае гало**, радыус якога не менш за 20 кпк. Гало абкружае вельмі разрэджаная і вялікая па памерах (50—60 кпк) знешняя частка Галактыкі — **карона**.

Сонечная сістэма ў Галактыцы знаходзіцца далёка ад цэнтра, на адлегласці 10 кпк, і ляжыць амаль у галактычнай плоскасці. Зорны склад Галактыкі вельмі разнастайны. Па хімічным саставе, узросце і характары арбіт зоркі ўмоўна падзялілі на два «насельніцтвы». Да **насельніцтва I** адносяцца большая частка зорак класаў O, B, A, F, L, якія знаходзяцца на галоўнай паслядоўнасці; большая частка зорак-гігантаў; белыя карлікі і планетарныя туманнасці. Узрост гэтых аб’ектаў — парадку некалькіх мільярдаў гадоў. Насельніцтва I запаўняе дыск Галактыкі (больш маладыя аб’екты звязаны са спіральнымі галінамі). Гэта маладыя гарачыя зоркі, іх скопішчы, доўгаперыядычныя цэфеіды, новыя і звышновыя зоркі, газ, пыл. У гало пераважаюць аб’екты **насельніцтва II**: шаравыя зорныя скопішчы, чырвоныя звышгігanty, субкарлікі, зоркі з дэфіцытам цяжкіх элементаў. Гэта «старое насельніцтва» Галактыкі, яго ўзрост — парадку 15 млрд гадоў. У цэнтральных зонах Галактыкі засяроджаны чырвоныя гігanty, звышгігanty і зоркі-карлікі класаў M і K. Бліжэй да цэнтра Галактыкі выяўлены патокі шчыльнага гарачага газу, які расшыраецца са скорасцю 100—200 км/с. У самым цэнтры Галактыкі ў межах 1 пк знаходзяцца кропкавыя крыніцы радыё-, інфрачырвонага і рэнтгенаўскага выпрамяненняў.

2. Зорныя скопішчы. Структурнымі састаўляючымі Галактыкі з’яўляюцца зорныя скопішчы. **Зорныя скопішчы** — гэта гравітацыйна звязаныя групы зорак, якія маюць агульнае паходжанне. Зорныя скопішчы рухаюцца ў полі прыцягнення Галактыкі як адзінае цэлае.

ным Шляху засяроджана пераважная колькасць зорак Галактыкі — велізарнай зорнай сістэмы, якая мае форму плоскага лінзападобнага дыска (рыс. 27.2) папярочнікам каля 30 і таўшчынёй каля 4 кпк (ці адпаведна каля 100 і 12 тыс. светлавых гадоў). Шарападобнае патаўшчэнне ў сярэдзіне дыска атры-

Па знешнім выглядзе яны падзяляюцца на рассеяныя і шаравыя.

Рассеянае зорнае скопішча — гэта адносна няшчыльная група зорак няправільнай формы, якая ўтрымлівае ад некалькіх соцень да некалькіх тысяч зорак. Найбліжэйшыя да нас рассеяныя зорныя скопішчы — Плеяды і Гіяды — знаходзяцца ў сузор’і Цяльца. Простым вокам можна распазнаць у Плеядах 5—7 слабых зорчак, размешчаных у выглядзе маленькага коўшыка (рыс. 27.3). Скопішча Гіяды не такое кампактнае, але ўтрымлівае больш яркія зоркі. Цяпер вядома каля 1200 рассеяных зорных скопішчаў. Усе яны канцэнтруюцца ў галактычнай плоскасці і, як і іншыя аб’екты плоскай састаўляючай Галактыкі, удзельнічаюць у абарачэнні вакол яе цэнтра. Агульная ж колькасць рассеяных скопішчаў у Галактыцы ацэньваецца ў $2 \cdot 10^4$.

Шаравыя зорныя скопішчы маюць сферычную ці эліпсаідальную форму, у іх налічваюць ад дзесяткаў тысяч да мільёнаў зорак. Дыяметры такіх зорных скопішчаў знаходзяцца ў межах ад 20 да 100 пк. Прасторавая канцэнтрацыя зорак рэзка ўзрастае да цэнтра скопішча і дасягае дзесяткаў тысяч у кубічным парсеку (у наваколлі Сонца — $0,13 \text{ пк}^{-3}$). Шаравыя скопішчы ўтвараюць працяглае гало вакол цэнтра Галактыкі. Усяго ў Галактыцы адкрыта каля 130 шаравых скопішчаў, а іх агульная колькасць дасягае прыблізна 500. Зорнае насельніцтва шаравых скопішчаў складаецца з зорак, эвалюцыя якіх даўно скончылася, — чырвоных гігантаў і звышгігантаў. Шаравыя скопішчы нашай Галактыкі — адны з найстарэйшых. Іх узрост складае $10 \div 15$ млрд гадоў. У шаравых скопішчах сустракаюцца пераменныя пульсуючыя зоркі, што дае магчымасць вызначыць адлегласць да іх. Часта здаецца, што ў цэнтры скопішча зоркі зліваюцца ў адзінае цэлае (рыс. 27.4), але на самай справе гэта ўсяго толькі аптычны эффект. Паміж зоркамі дастаткова свабоднай прасторы, і яны ніякім чынам не могуць сутыкацца адна з адной.



Рыс. 27.3. Рассеянае зорнае скопішча Плеяды ў сузор’і Цяльца; яго галоўныя зоркі асвятляюць навакольную туманнасць



Рыс. 27.4. Шаравое зорнае скопішча NGC 6205 у сузор’і Геркулеса

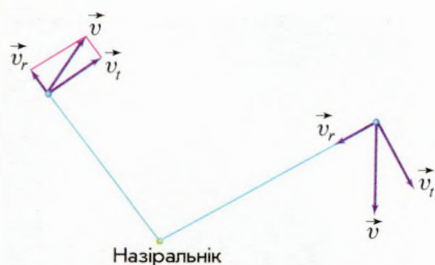


Рис. 27.5. Просторова (v), прями́нєва (v_r) і тангенціальна (v_t) скорасці

тиках зорних асацяцый падобныя на вялікія вельмі маладыя расеяныя скопішчы, але з меншай канцэнтрацыяй зорак да цэнтра. Памеры асацяцый ад 30 да 200 пк, а колькасць зорак дасягае некалькіх соцень. Узрост асацяцый ацэньваецца ў некалькі мільёнаў гадоў, і яны назіраюцца ўнутры магутных газапылавых комплексаў. Прыкладам можа служыць туманнасьць Арыёна.

3. Рух зорак. У 1718 г. англійскі астраном *Эдмунд Галей* параўнаў месцазнаходжанні зорак, якія назіраліся ў яго час, з тымі, што былі прыведзены ў каталогах Гіпарха (II ст. да н. э.). Вучоны заўважыў зрушэнне яркіх зорак Сірыус і Працыён на $0,7^\circ$, зоркі Арктура больш чым на 1° . На аснове гэтага факта быў зроблены вывад аб прасторавым руху зорак адносна Сонца. Так упершыню было выяўлена, што зоркі рухаюцца.

Скорасць руху нябеснага аб'екта (зоркі) у прастору адносна Сонца называецца **прасторавай скорасцю** дадзенага аб'екта. У агульным выпадку прасторавая скорасць v (рыс. 27.5) накіравана пад некаторым вуглом да прамяня зроку назіральніка. Вектар прасторавай скорасці раскладзем на дзве састаўляючыя: паралельную прамяню зроку (**прямінэвая скорасць** v_r) і перпендыкулярную прамяню зроку (**тангенціальная скорасць** v_t). Модулі прасторавай, тангенцяльнай і прамінэвай скарасцей звязаны паміж сабой суадносінамі

$$v = \sqrt{v_r^2 + v_t^2}.$$

Прамінэвая скорасць зоркі вызначаецца па доплераўскім зрушэнні ($\Delta\lambda$) ліній у яе спектры:

$$v_r = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \cdot c.$$

Тангенцяльную скорасць вызначаюць па зрушэнні зоркі на нябеснай сферы. Такое зрушэнне ў параўнальна блізкіх (да назіральніка) зорак складае некалькі секунд за дзесяткі гадоў:

Акрамя зорных скопішчаў, адрозніваюць яшчэ адзін тып групавак маладых зорак — **зорныя асацяцый**. Гэты тэрмін у 1947 г. увёў савецкі акадэмік *В. А. Амбарцумян* для разрэджаных груп гарачых зорак высокай сваяцільнасці спектральных класаў O і B. Некаторыя зоркі ў асацяццях настолькі маладыя, што яшчэ канчаткова не сфарміраваліся. Па сваіх характарыс-

$$v_t = 4,74 \frac{\mu}{\pi},$$

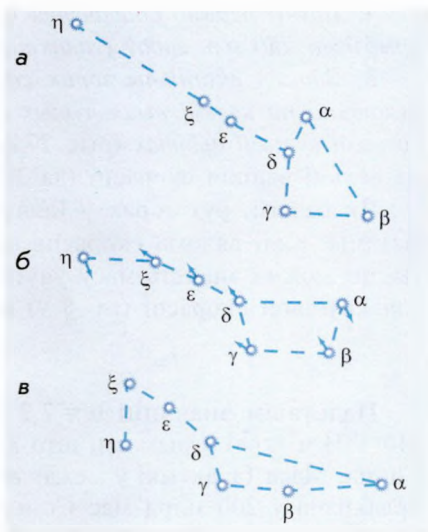
дзе μ — **уласны рух** (бачнае вуглавое зрушэнне зоркі на нябеснай сферы за адзін год). Яно вымяраецца секундамі дугі ў год (рыс. 27.6). Вымярэнні і разлікі паказалі, што большасць зорак, параўнальна блізкіх да Сонца, рухаюцца адносна яго са скарасцямі, якія не перавышаюць 30 км/с. Самы вялікі ўласны рух мае карлікавая зорка Барнарда: $\mu = 10,27''$. Прамянёвая скорасць гэтай зоркі $v_r = -108$ км/с (знак «мінус» паказвае, што зорка набліжаецца да Сонца). Тангенцыяльная і прасторавая скорасці для гэтай зоркі роўныя адпаведна 88,4 і 140 км/с. Пераважная ж большасць вымераных уласных рухаў у зорак складае сотыя і тысячныя долі секунды дугі ў год. Не выпадкова таму зорку Барнарда называюць «тая, што ляціць».

Аналіз уласных рухаў зорак прывёў таксама да выяўлення руху Сонца сярод зорак. Высветлілася, што зоркі з найменшымі па велічыні ўласнымі рухамі знаходзяцца на небе ў асноўным паблізу ад Вегі і Сірыуса, прычым тыя, што размешчаны каля Вегі, рухаюцца ў напрамку да Зямлі, а каля Сірыуса — ад яе. З гэтага факта У. Гершэль зрабіў вывад пра рух Сонечнай сістэмы ў прасторы адносна зорак у напрамку Вегі. 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* — вяршыня), а дыяметральна процілеглы пункт неба называецца сонечным **анты-апексам**. З прычыны ўласных рухаў зорак праз дзесяткі тысяч гадоў выгляд сузор'яў мяняецца (рыс. 27.7).

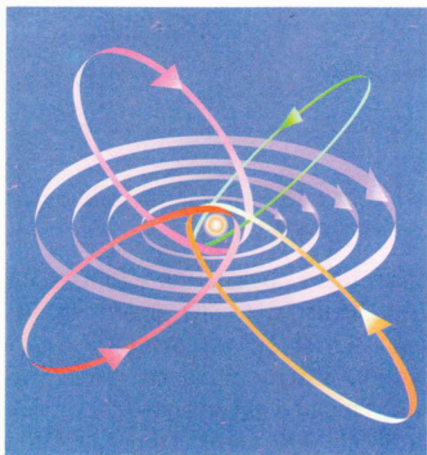
4. Вярчэнне Галактыкі. Вывучэнне прамянёвых скарасцей



Рыс. 27.6. Вызначэнне тангенцыяльнай скорасці зоркі



Рыс. 27.7. Змены адноснага размяшчэння зорак у «каўшы» Вялікай Мядзведзіцы за 100 тыс. гадоў: а — 50 тыс. гадоў таму; б — у наш час (стрэлкі паказаны напрамкі тангенцыяльных скарасцей зорак); в — праз 50 тыс. гадоў



Рыс. 27.8. Траекторыі зорак у Галактыцы (дыск Галактыкі — тонкія лініі, сферычная састаўляючая — патоўшчаныя лініі)

зорак у розных напрамках ад Сонца дало магчымасць сфармуляваць законы вярчэння Галактыкі.

1. Усе зоркі дыска Галактыкі абарачаюцца вакол яе ядра па арбітах, блізкіх да кругавых. Гэта вярчэнне адбываецца па гадзіннікавай стрэлцы, калі глядзець на Галактыку з боку яе паўночнага полюса, які знаходзіцца ў сузор'і Валасы Веранікі.

2. Вуглавая скорасць вярчэння памяншаецца па меры аддалення ад цэнтра. Але гэта памяншэнне адбываецца крыху павольней, чым патрабуюць законы Кеплера.

3. Лінейная скорасць вярчэння спачатку ўзрастае з аддаленнем ад цэнтра Галактыкі, дасягае максімуму (каля 250 км/с) на адлегласці Сонца, пасля чаго вельмі павольна памяншаецца.

4. Поўны перыяд абарачэння Сонца вакол ядра Галактыкі складае прыблізна 250 млн гадоў (галактычны год).

5. Зоркі і скопішчы зорак сферычнай састаўляючай Галактыкі рухаюцца па вельмі выцягнутых і нахіленых да плоскасці дыска пад рознымі вугламі арбітах (рыс. 27.8). Такія зоркі маюць адносна Сонца вельмі вялікія скорасці (да 200—300 км/с).

Як бачым, рух зорак у Галактыцы нагадвае рух цел Сонечнай сістэмы. Калі вядома скорасць абарачэння і радыус кругавой арбіты, то можна ацаніць масу ўнутранай часткі Галактыкі. З формулы для кругавой скорасці (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 $G = 6,7 \times 10^{-11}$ Н·м²/кг² і атрымаем, што $M = 1,8 \cdot 10^{41}$ кг, ці каля 150 млрд мас Сонца. Маса Галактыкі ў межах аб'ёму радыусам 15 кпк ацэньваецца прыблізна ў 200 млрд мас Сонца. З улікам астатняй часткі Галактыкі яе маса ацэньваецца прыкладна ў 10^{12} мас Сонца.

Пытанні і практыкаванні

1. Знайдзіце на зорнай карце сузор'і, праз якія праходзіць Млечны Шлях. 2. Чаму назіральніку, які знаходзіцца на Зямлі, Млечны Шлях уяў-

ляеца перарывістым і касмыкаватым? 3. Як пабудавана наша Галактыка? 4. Якое месцазнаходжанне Сонечнай сістэмы ў Галактыцы? 5. Чым адрозніваюцца зоркі дыска Галактыкі ад зорак гало? 6. Як размеркаваны шаравыя скопішчы ў Галактыцы? Чым яны адрозніваюцца ад рассеяных скопішчаў? 7. Як было даказана, што зоркі рухаюцца? 8. Што разумеюць пад прасторавай, прамянёвай і тангенцыяльнай скарасцямі зоркі? 9. Зорка, знаходзячыся на адлегласці 10 пк, мае тангенцыяльную скорасць 20 км/с. За колькі гадоў яна перамясціцца па небе на вуглавы памер Месяца ($0,5^\circ$)? 10. Якія асаблівасці вярчэння нашай Галактыкі?

§ 28. МІЖЗОРНЫЯ ГАЗ І ПЫЛ

1. Міжзорны газ. Зорнае неба ўтрымлівае шмат туманных аб'ектаў. Яны бываюць святлівыя і цёмныя, паглынаючыя святло. Шырокае выкарыстанне фатаграфіі ў астраноміі дало магчымасць выявіць, апісаць і скласці каталогі цёмных туманнасцей.

На фоне светлых зон Млечнага Шляху выразна вылучаюцца цёмныя плямы няправільнай, касмыкаватай формы і розных вуглавых памераў. Гэтыя цёмныя плямы і зоны даказваюць існаванне паблізу ад галактычнай плоскасці халоднай разрэджанай матэрыі.

У пачатку XX ст. астраномы зарэгістравалі ў спектрах далёкіх зорак вузкія лініі паглынання некаторых хімічных элементаў і найпрасцейшых малекул (Na, Ca, K, Ti, CN, CH), якія не ўдзельнічаюць у зруху астатніх спектральных ліній, абумоўленым рухам зорак. Гэтыя лініі выклікаюцца паглынанням святла зорак міжзорнымі элементамі і малекуламі, калі святло зорак праходзіць праз паўпразрыстыя воблакі міжзорнага асяроддзя.

Міжзорнае асяроддзе — гэта рэчыва і палі, якія запаўняюць міжзорную прастору ўнутры Галактыкі. Большая частка масы міжзорнага рэчыва прыпадае на разрэджаны газ і пыл. Асноўны кампанент міжзорнага асяроддзя — **міжзорны газ**, які складаецца з вадароду (70 % масы) і гелію (28 %). Астатняя частка масы міжзорнага рэчыва прыпадае на цяжкія хімічныя элементы (O, C, N, Ne, S, Ar, Fe і інш.).

Агульная маса міжзорнага рэчыва нашай Галактыкі (акрамя кароны) ацэньваецца ў 2 % ад агульнай масы ўсёй Галактыкі. У залежнасці ад тэмпературных умоў і шчыльнасці міжзорны газ можа знаходзіцца ў трох розных станах: малекулярным, іанізаваным і атамарным.

Асноўныя звесткі пра міжзорны газ атрыманы радыёастранамічнымі метадамі пасля таго, як у 1951 г. было выяўлена

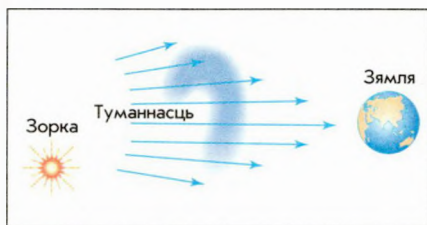


Рис. 28.1. Туманнасць випрямляє світло, калі яе асвятляе блізка размешчаная яркая зорка

радыёвыпрамяненне нейтральнага атамарнага вадароду на хвалі 21 см. Аказалася, што атамарны вадарод, які мае тэмпературу 100 К, утварае ў дыску Галактыкі тонкі слой таўшчынёй 200—300 пк, што павялічваецца да некалькіх кілапарсекаў на адлегласці 15—20 кпк ад яе цэнтра.

Асноўная частка міжзорнага газу сканцэнтравана ў спіральных галінах Галактыкі, дзе ён размеркаваны таксама нераўнамерна: сабраны ў касмыкаватыя ўтварэнні памерамі ў дзесяткі і сотні парсекаў з сярэдняй канцэнтрацыяй часціц у некалькі атамаў у 1 см^3 . Каля паловы масы міжзорнага газу ўтрымліваецца ў гіганцкіх **малекулярных воблаках** з сярэдняй масай 10^5 мас Сонца і дыяметрам каля 40 пк. З-за нізкай тэмпературы (каля 10 К) і павышанай шчыльнасці (да 10^3 часціц у 1 см^3) вадарод і іншыя элементы ў гэтых воблаках аб'яднаны ў малекулы. Такіх малекулярных воблакаў у Галактыцы налічваецца каля 4000.

Зоны іанізаванага вадароду з тэмпературай 8000—10 000 К выяўляюць сябе ў аптычным дыяпазоне як **светлыя дыфузныя туманнасці**. Іх свячэнне ўзбуджаецца ультрафіялетавым выпрамяненнем блізка размешчаных гарачых зорак (спектральных класаў В і О).

Светлая туманнасць выпрамяняе святло, калі яе асвятляе блізкая зорка. Зоркі класаў W, O, B могуць выклікаць іанізацыю атамаў вадароду на адлегласці прыблізна 500 светлавых гадоў.

Дыфузныя туманнасці няправільнай, касмыкаватай формы дасягаюць памераў 10 пк, а іх шчыльнасць вагаецца ад 10^{-17} да 10^{-20} кг/м^3 . Размяркоўваюцца зоны такога іанізаванага вадароду ў плоскай падсістэме Галактыкі (насельніцтва I) і з'яўляюцца паказальнікамі месцаў, дзе ў цяперашні час ідуць працэсы зоркаўтварэння.

Так, у Вялікай туманнасці Арыёна (рыс. 28.1) пры дапамозе Касмічнага тэлескопа Хабла выяўлены пратазоркі, абкружаныя протопланетнымі дыскамі.

Калі блізкія зоркі не такія гарачыя і не могуць іанізаваць вадарод, то туманнасць свеціцца за кошт адлюстравання зорнага святла (рыс. 28.3). Такія туман-



Рис. 28.2. Вялікая туманнасць Арыёна

насці ўтрымліваюць шмат пылу. Прыкладам такой светлай туманнасці з'яўляецца туманнасць у скопішчы Плеяды ў сузор'і Цяльца (гл. рыс. 27.3).

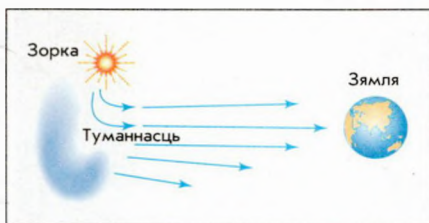
Некаторыя туманнасці пры назіранні праз фільтр бачацца быццам складзенымі з асобных валокнаў. Такой, напрыклад, з'яўляецца вядомая Крабападобная туманнасць у сузор'і Цяльца (гл. рыс. 26.4), якая лічыцца рэшткамі звышновай зоркі, што ўзарвалася.

Асаблівым тыпам туманнасцей з'яўляюцца **планетарныя туманнасці**, якія выглядаюць як слаба святлівыя дыскі ці кольцы, што нагадваюць дыскі планет.

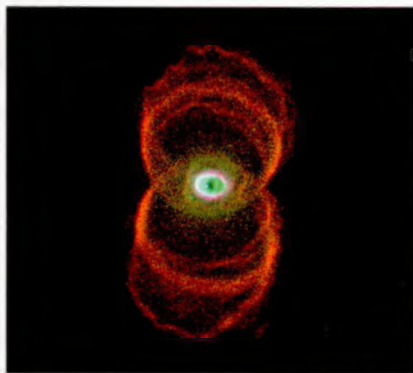
Гэтыя туманнасці ўяўляюць сабой святлівую абалонку скінутага чырвоным гігантам на апошняй стадыі сваёй эвалюцыі іанізаванага газу, якая расшыраецца. У цэнтры планетарнай туманнасці знаходзяцца рэшткі загінуўшага чырвонага гіганта — гарачы белы карлік ці нейтронная зорка. Пад дзеяннем унутранага ціску газу планетарная туманнасць расшыраецца прыкладна са скорасцю 20—40 км/с, пры гэтым шчыльнасць газу падае. Гэтыя аб'екты абгачаюць міжзорнае асяроддзе рэчывам, іх вядома больш за 1200. Планетарная туманнасць Пясочны Гадзіннік (рыс. 28.4) паказвае, якія складаныя працэсы могуць адбывацца на апошняй стадыі эвалюцыі зорак.

2. Міжзорны пыл. У міжзорнай прасторы рассеяны дробныя цвёрдыя часцінкі (металічныя, сілікатныя ці графітавыя) памерамі ад 0,01 да 1 мкм. Тугаплаўкія часцінкі ўтвараюцца і пастаўляюцца ў міжзорнае асяроддзе за кошт расшырэння абалонак новых і звышновых зорак, планетарных туманнасцей, халодных чырвоных гігантаў і звышгігантаў. У міжзорнай прасторы разам з газам усюды ёсць пыл. На яго долю прыпадае каля 1% ад масы газу.

Міжзорны пыл, як і міжзорны газ, канцэнтруецца ў галактычнай плоскасці, утвараючы газ-запылавыя воблакі касмыкаватай структуры. У міжзорных воблаках



Рыс. 28.3. Туманнасць свеціць адбітым святлом блізкай зоркі



Рыс. 28.4. Планетарная туманнасць Пясочны Гадзіннік



Рыс. 28.5. Воблакі міжзорнага пылу ў напрамку на цэнтр нашай Галактыкі

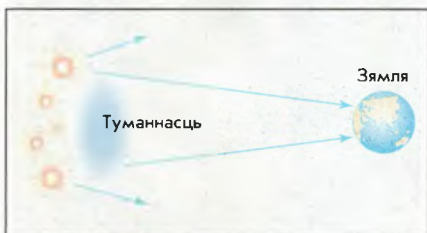
З-за пылу самыя шчыльныя газавыя ўтварэнні — малекулярныя воблакі — практычна непразрыстыя і выглядаюць на небе як цёмныя зоны, амаль без зорак (рыс. 28.5). Такія газапылавыя ўтварэнні называюцца **цёмнымі туманнасцямі** (рыс. 28.6).

Дзякуючы развіццю пазаатмасфернай астраноміі, з'явілася магчымасць назіраць пыл не толькі ў нашай (рыс. 28.7), але і ў суседніх галактыках. У выніку вучоныя прыйшлі да высновы, што ўласціваасці пылу ў Сусвеце мала адрозніваюцца ад уласцівасцей пылінак Млечнага Шляху.

Такім чынам, **міжзорны пыл** — гэта дробныя цвёрдыя часцінкі няправільнай формы памерам ад 0,01 да 1 мкм. Яны складаюцца з тугаплаўкага ядра і абалонкі з лятучых злучэнняў. Пыл адыгрывае актыўную ролю і ўдзельнічае як істотны кампанент у працэсах, што працякаюць у Сусвеце.

3. Касмічныя прамяні і міжзорнае магнітнае поле. Акрамя разрэджанага газу і пылу, у міжзорнай прасторы з вялізнымі скарасцямі, блізкімі да светлавой, рухаецца вялікая колькасць элементарных часціц і ядзер розных атамаў. Патокі гэтых часціц называюць **касмічнымі прамянямі**. Яны пранізваюць усю міжпланетную і міжзорную прастору. На пляцоўку ў 1 м^2 штосекундна трапляе ў сярэднім каля 10 тыс. розных часціц.

У складзе касмічных прамяней прысутнічаюць электроны, ядры гелію і больш цяжкіх элементаў, але ў асноўным пераважаюць пратоны (больш за 90 %), якія маюць сярэднюю энергію $1,6 \cdot 10^{-10}$ Дж. Не ўсе



Рыс. 28.6. Цёмная туманнасць заспаўняе святло зорак, якія знаходзяцца на вялікай адлегласці ад Зямлі

часціцы, якія ўтвараюць касмічныя прамяні, прыходзяць да нас з глыбінь Сусвету. Шмат з іх нараджаюцца пры ўспысках на Сонцы (гл. § 21).

Асноўнымі крыніцамі касмічных прамянёў у Галактыцы з'яўляюцца рэшткі звышновых зорак і пульсары (гл. § 26).

Першае сведчанне існавання міжзорнага магнітнага поля было атрымана італьянскім фізікам *Энрыка Фермі* і амерыканскім вучоным *Эдвардам Тэлерам* пры вывучэнні касмічных прамянёў.

Электронны, якія ўваходзяць у склад касмічных прамянёў, паступова тармозяцца ў магнітным полі, губляючы энергію на выпрамяненне радыёхваляў. Такое выпрамяненне называецца **сінхратронным**. Яно рэгіструецца радыётэлескопамі. Магутнымі крыніцамі сінхратроннага выпрамянення з'яўляюцца рэшткі звышновых зорак. Назіранні паказваюць, што сінхратроннае выпрамяненне прыходзіць да нас і з зон міжзорнай прасторы. Гэта азначае, што магнітнае поле існуе і там.

Магнітная індукцыя міжзорнага магнітнага поля невялікая — каля 10^{-10} Тл. Гэта ў сярэднім у 100 тыс. разоў менш, чым каля паверхні Зямлі. Лініі індукцыі міжзорнага магнітнага поля ў асноўным паралельныя галактычнай плоскасці і, выгінаючыся, ідуць уздоўж спіральных галін Галактыкі. Буйнамаштабныя магнітныя палі выяўлены і ў іншых галактыках.



Рыс. 28.7. Адзін з комплексаў туманнасцей у сузор'і Арыёна. У цэнтры вылучаецца туманнасць Конская Галава

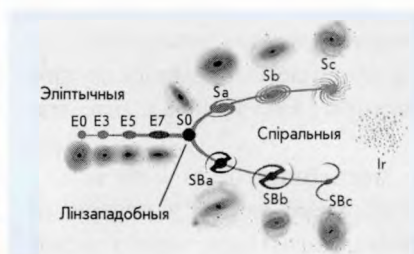
Пытанні і практыкаванні

1. Што разумеюць пад міжзорным асяроддзем? Чым яно запоўнена?
2. Якая маса міжзорнага рэчыва нашай Галактыкі?
3. Што разумеюць пад туманнасцямі? Назавіце асноўныя віды туманнасцей. Чаму адны туманнасці — светлыя, іншыя — цёмныя?
4. Што ўяўляе сабой міжзорны пыл?
5. З якіх назіранняў можна зрабіць вывад пра існаванне міжзорнага пылу?
6. Якое паходжанне газапылавых туманнасцей і малекулярных воблакаў?
7. Што ўяўляюць сабой касмічныя прамяні? Якія яны маюць уласцівасці?
8. Ахарактарызуйце міжзорнае магнітнае поле. Чаму яно называецца сінхратронным?

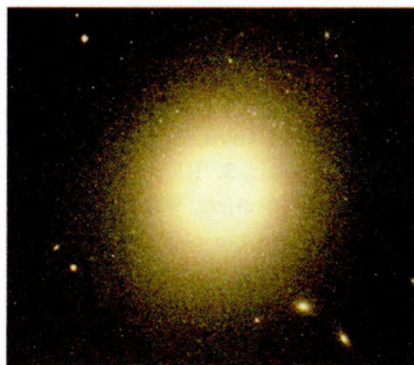
§ 29. ЗОРНЫЯ СІСТЭМЫ — ГАЛАКТЫКІ

1. Тыпы галактык. У 1924 г. пры дапамозе буйнейшага на той час тэлескопа (абсерваторыя Маўнт-Вілсан, ЗША) *Эдвін Хабл* устанавіў, што туманнасць Андромеды ўтворана мноствам зорак, якія зліваюцца ў суцэльную туманную пляму з прычыны велізарнай аддаленасці. Большасць іншых вядомых туманнасцей аказаліся такімі ж аддаленымі гіганцкімі сістэмамі, якія складаюцца з мільёнаў і мільярдаў зорак. Гіганцкія гравітацыйна звязаныя сістэмы зорак і міжзорнага рэчыва, размешчаныя па-за нашай Галактыкай, сталі называць **галактыкамі**. Сучасныя магутныя тэлескопы зрабілі даступнай рэгістрацыю соцень мільярдаў галактык.

Фотаздымкі паказалі, што галактыкі адрозніваюцца па знешнім выглядзе і структуры. Хабл прапанаваў класіфікацыю галактык па форме. Пазней яго класіфікацыя стала асновай сучаснай класіфікацыйнай схемы. Згодна з сучаснай класіфікацыяй, адрозніваюць галактыкі наступных асноўных тыпаў: эліптычныя (E), спіральныя (S), няправільныя (Ir) і лінзападобныя (S0) (рыс. 29.1).



Рыс. 29.1. Класіфікацыя галактык Э. Хабла



Рыс. 29.2. Эліптычная галактыка M87 у сузор'і Дзевы

Эліптычныя галактыкі ў праекцыі на нябесную сферу выглядаюць як кругі ці эліпсы (рыс. 29.2). 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 сваяцільнасці. Фізічным характарыстам гэтых галактык уласцівы дастаткова шырокі дыяпазон: дыяметры галактык — ад 5 да 50 кпк, масы — ад 10^6 да 10^{13} мас Сонца, сваяцільнасці ад 10^6 да 10^{12} сваяцільнасцей Сонца. Каля 25 % вывучаных галактык належаць да эліптычнага тыпу.

Каля паловы вывучаных галактык адносяцца да спіральнага тыпу. **Спіральныя галактыкі** —

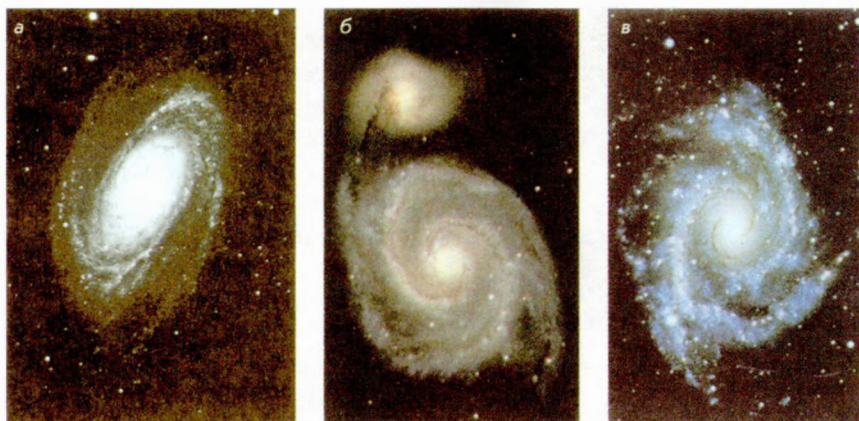


Рис. 29.3. Спіральні галактики: а — М 81; б — М 51; в — NGC 2997

гэта моцна сплясканая сістэма з цэнтральным ушчыльненнем (у якім знаходзіцца ядро галактыкі) і з заўважанай спіральнай структурай. Памеры гэтых галактык дасягаюць 40 кпк, а святлівасці — 10^{11} святлівасцей Сонца. У дыску, які абкружае ўшчыльненне, ёсць дзве ці больш касмыкаватыя спіральныя галіны (рыс. 29.3). Так, да хаблаўскіх тыпаў спіральных галактык адносіцца галактыка М 81 тыпу Sa — сістэма з туга закручанымі спіральнымі галінамі, шарападобная частка якой яркая і працяглая (рыс. 29.3, а). Галактыка М 51 адносіцца да тыпу Sb, мае больш магутныя і выразныя спіралі, яе цэнтральная частка менш вылучаецца (рыс. 29.3, б). Галактыка NGC 2997 тыпу Sc — сістэма з развітой касмыкаватай спіральнай структурай, шарападобная частка якой слаба праглядаецца на агульным фоне (рыс. 29.3, в). Прыкладна ў паловы спіральных галактык у цэнтральнай частцы ёсць амаль прамая зорная перамычка — **бар**, ад якой пачынаюць закручвацца спіральныя рукавы (рыс. 29.4). Такія галактыкі называюцца **спіральнымі з перамычкай**.

У спіральных галінах галактык засяроджаны самыя яркія і маладыя зоркі, яркія газапылавыя туманнасці, маладыя зорныя скопішчы і комплексы. Таму спіральны ўзор выразна бачны нават у далёкіх галактык, хоць на



Рис. 29.4. Спіральная галактыка з перамычкай (барам) NGC 1365



Рыс. 29.5. Галактыка туманнасць Андромеды

няправільнай структуры. У іх не назіраюцца выразнае ядро і вярчальная сіметрыя. Бачная яркасць такіх галактык ствараецца маладымі зоркамі высокай свяцільнасці і зонамі іанізаванага 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 туманых воблачкаў, якія серабрыста свецяцца ў добрае надвор'е на начным небе. Яны размешчаны ў Паўднёвым паўшар'і і таму нябачныя з тэрыторыі Беларусі. Вялікае Магеланава Воблака (рыс. 29.6), якое мае дыяметр 7 кпк, знаходзіцца ад нас на адлегласці 52 кпк. Некаторыя астраномы выказваюць меркаванне, што ў гэтай няправільнай галактыцы можна распазнаць зародкі спіральнай структуры.

Лінзападобныя галактыкі знешне (калі бачныя плазам) вельмі падобныя на эліптычныя, але маюць сплясканы зорны дыск. Па структуры яны падобныя на спіральныя галактыкі, але не маюць



Рыс. 29.6. Вялікае Магеланава Воблака — адна з блізкіх да нас галактык

долю спіральных рукавоў прыпадае ўсяго некалькі працэнтаў масы ўсёй галактыкі. Наша Галактыка з'яўляецца спіральнай. Найбліжэйшая зорная сістэма, падобная па структуры і тыпу на нашу Галактыку, — гэта туманнасць Андромеды (рыс. 29.5). Святло ад гэтай галактыкі даходзіць да нас прыблізна за 2 млн гадоў.

Да **няправільных галактык** адносяць маламасіўныя галактыкі

плоскай састаўляючай і спіральных галін. Ад спіральных галактык, якія назіраюцца з рабра, лінзападобныя галактыкі адрозніваюцца адсутнасцю паласы цёмнай матэрыі. Нямецкі астраном *Карл Шварцшыльд* прапанаваў тэорыю, згодна з якой лінзападобныя галактыкі могуць утварацца са спіральных у працэсе «вымятання» газапылавой матэрыі.

Галактыкі характарызуюцца паказчыкам сціскання e :

$$e = \frac{10(a-b)}{a},$$

дзе a — вялікая і b — малая паўвосі галактыкі.

Паказчык сціскання дапісваецца за літарай, якая абазначае тып галактыкі, напрыклад E3, E5. Сферычная галактыка мае паказчык сціскання 0. У спіральных галактык паказчык заўсёды большы за сем, а ў эліптычных заўсёды меншы за сем.

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 — святільнасць». Пры дапамозе гэтай залежнасці вызначаюць абсалютную зорную велічыню па працягласці ваганняў бляску: чым карацейшы перыяд ваганняў бляску, тым слабейшая цэфеіда па абсалютнай зорнай велічыні. Адлегласць r вылічваецца па формуле:

$$\lg r = 0,2(m - M) + 1, \quad (29.1)$$

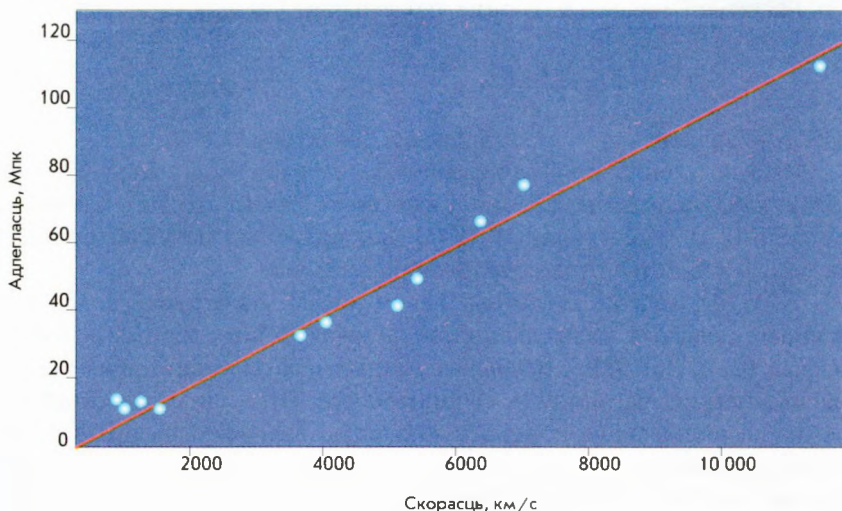
дзе m і M — бачная і абсалютная зорная велічыні.

Для галактык, дзе не выяўлены цэфеіды ці іх немагчыма ўбачыць, у якасці індыхатараў адлегласцей выкарыстоўваюць самыя яркія зоркі — звышгігanty, новыя і звышновыя зоркі, шаравыя зорныя скопішчы. Адлегласці таксама вызначаюць па формуле (29.1). Бачную зорную велічыню ацэньваюць з назіранняў, а абсалютную лічаць вядомай (сярэдняй) для дадзенага класа аб'ектаў. Напрыклад, звышновыя зоркі, як гэта вынікае з назіранняў, маюць прыкладна аднолькавую абсалютную велічыню ў максімуме бляску.

Адлегласць да далёкіх галактык вызначаюць па іх вуглавых памерах ці па бачнай зорнай велічыні, а да вельмі далёкіх галактык — выключна па велічыні чырвонага зрушэння ў іх спектры. Чырвонае зрушэнне звычайна вымяраецца адноснай зменай даўжыні хвалі спектральных ліній

$$\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}.$$

Яшчэ ў 1912—1914 гг. амерыканскі астраном *Веста Слайфер* выявіў, што лініі ў спектрах далёкіх галактык зрушаны адносна іх нармальнага месцазнаходжання 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



Рыс. 29.7. Залежнасць скорасці аддалення галактык ад адлегласці да іх

аддаляецца (графічна гэтая залежнасць паказана на рыс. 29.7). Закон, па якім скорасць аддалення галактыкі прапарцыянальна адлегласці да яе, атрымаў назву **закону Хабла**. Закон Хабла можна сфармуляваць і такім чынам: *адноснае павелічэнне даўжынь хваль ліній у спектрах галактык прапарцыянальна адлегласці r да іх, г. зн.*

$$r \sim \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}.$$

Калі дапусціць, што з'ява чырвонага зрушэння абумоўлена рухам галактык са скорасцю v_r па прамені зроку ў напрамку ад назіральніка, можам знайсці прамянёвую скорасць галактыкі па вымераным адносным зрушэнні даўжыні хвалі спектральных ліній:

$$v_r = \frac{c(\lambda - \lambda_0)}{\lambda}. \quad (29.2)$$

З улікам закону Хабла залежнасць (29.2) можна запісаць у выглядзе:

$$v_r = Hr, \quad (29.3)$$

дзе H — каэфіцыент прапарцыянальнасці, які называецца пастаянай Хабла. Каэфіцыент Хабла паказвае, на колькі кіламетраў у секунду ўзрастае скорасць галактык з павелічэннем адлегласці да іх на 1 Мпк. Значэнне H пастаянна ўдакладняецца, па розных ацэнках яно знаходзіцца ў межах ад 50 да 90 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 знешніх 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 Ньютана $F = ma$ ($a = \frac{v^2}{R}$ — цэнтраімклівае паскарэнне), з улі-

кам руху цела ў полі сіл прыцягнення $F = G \frac{mM}{R^2}$, атрымаем:

$$\frac{GM}{R^2} = \frac{v^2}{R},$$

дзе R — радыус галактыкі. Пасля пераўтварэнняў атрымаем выраз для ацэнкі масы галактыкі:

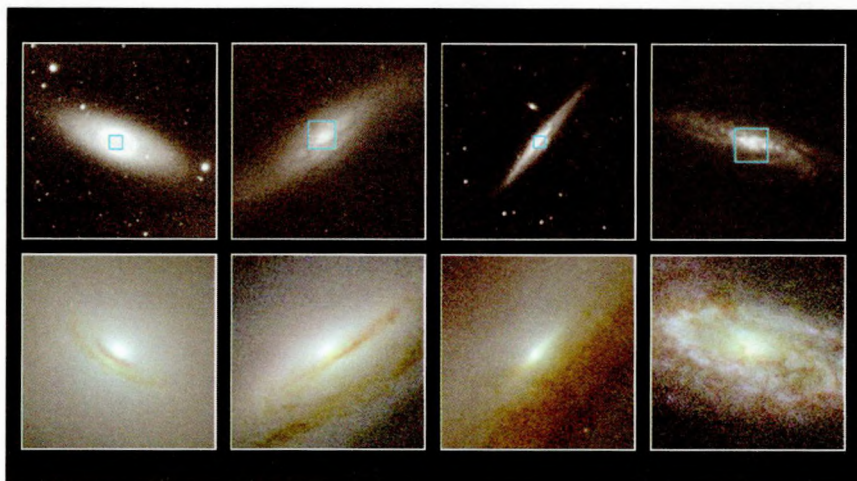
$$M = \frac{Rv^2}{G}. \quad (29.4)$$

Для галактык, як і для зорак, ёсць вызначаная залежнасць паміж масай і святільнасцю. Гэта залежнасць была выкарыстана для вылічэння мас галактык. Але ацэнкі мас галактык па іх святільнасцях атрымаліся 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 матэрыя.

У 70-х гг. XX ст. пры дапамозе метадаў рэнтгенаўскай астраноміі 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 астраномы ўпэўнены: 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 (рыс. 29.8).

Разам з тым прырода нябачнага рэчыва да канца не высветлена. Магчыма, што «скрытая маса» ўтвараецца не толькі міжгалак-



Рыс. 29.8. Ядры галактык утрымліваюць масіўныя чорныя дзіры. Ніжні шэраг фатаграфій атрыманы пры дапамозе Касмічнага тэлескопа Хабла

тычным газам, але і нейкімі яшчэ не адкрытымі новымі элементарнымі часціцамі. Неабходна адзначыць наступны факт: усе астранамічныя аб'екты, якія вывучаліся чалавецтвам да гэтага часу, складаюць толькі нязначную долю касмічнага рэчыва. (Па разліках нябачная маса ў шмат разоў перавышае бачную!)

4. Галактыкі з актыўнымі ядрамі. У большасці галактык можна вылучыць яркую цэнтральную частку — ядро. Гэта зона адрозніваецца вялікай зорнай шчыльнасцю, якая дасягае 10^6 — 10^8 пк⁻³. Але, нягледзячы на гэта, сутыкненні ядзер і зорак у гэтай зоне не адбываюцца.

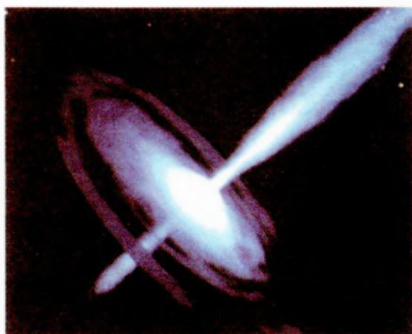
Даследаванні апошніх гадоў паказалі, што ядро — не проста больш шчыльнае месца галактыкі: у самым цэнтры яго можна выявіць яшчэ адно ўшчыльненне — ядзерка. Так, пры назіранні ядра туманнасці Андромеды (яго памеры 100 пк) удалося вылучыць яркае ядзерка папярочнікам 1—14 пк. Яно верціцца як цвёрдае цела (з перыядам вярчэння 500 тыс. гадоў). Маса ядзерка складае прыблізна 13 млн сонечных мас, шчыльнасць — каля 1500 сонечных мас на 1 пк³, г. зн. у 20 тыс. разоў больш, чым каля Сонца. Ядзерка паводзіць сябе такім чынам, быццам гэта самастойнае ўтварэнне, «укладзенае» ў галактыку.

Радзёдаследаванні нашай галактыкі паказалі, што ў яе цэнтры таксама ёсць ядзерка памерам прыкладна ў 6 пк.

У ядрах некаторых галактык мае месца каласальнае выдзяленне энергіі, якое нельга растлумачыць выпрамяненнем ці выбухамі звычайных зорак. Такія галактыкі атрымалі назвы галактык з **актыўнымі ядрамі** ці **сейфертавых галактык** (ад імя амерыканскага астранома

Карла Сейферта, які ўпершыню апісаў іх у 1943 г.).

Галактыкі з высокай актыўнасцю ядзер складаюць некалькі працэнтаў ад усіх галактык, якія мы назіраем. Формы праяўлення актыўнасці ядзер сейфертавых галактык, ці проста **сейфертаў**, розныя. Гэта можа быць вялікая магутнасць выпрамянення ў інфрачырвонай, аптычнай ці рэнтгенаўскай частцы спектра, прычым яна мяняецца за параўнальна невялікі час (некалькі гадоў, месяцаў і нават дзён). У некаторых выпадках назіраецца хуткі рух газу ў ядрах (са скарасцямі ~ 1000 км/с). Часам газ утварае доўгія прамалінейныя газавыя струмені — джэты (рыс. 29.9).



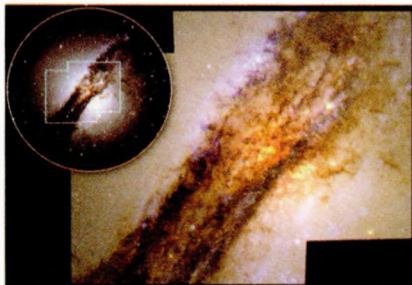
Рыс. 29.9. Ядро галактыкі выкідвае газавыя струмені — джэты

Найбольш праўдападобная гіпотэза для тлумачэння актыўнасці ядзер дапускае наяўнасць чорнай дзіры (масай у дзесяткі ці сотні мільёнаў мас Сонца) у цэнтры галактыкі.

У 1998 г. Касмічны тэлескоп Хабла перадаў здымкі цэнтральнай вобласці галактыкі Цэнтаўр А (NGC 5128), размешчанай на адлегласці 10 млн светлавых гадоў. Масіўная чорная дзіра, якая знаходзіцца там, «захоплівае» маленькую суседнюю галактыку. На здымках вакол галактыкі NGC 5128 бачны цёмны пояс, які складаецца з пылу з мноствам нядаўна народжаных зорак, што свецяцца блакітным колерам, і пылавых згусткаў, агорнутых газавымі воблакамі (рыс. 29.10). Здымкі, зробленыя ў інфрачырвоных прамянях, дапамаглі астраномам зазірнуць за пылавую заслонку. Яны адкрылі дыск гарачага газу, які закручваецца і ўсмоктваецца ў чорную дзіру. Памеры гэтага дыска па касмічных мерках невялікія, але параўнальныя з памерамі нашай Сонечнай сістэмы, а маса роўная многім мільёнам сонечных мас.

5. Узаемадзеянні галактыкі.

Размешчаныя блізка адна да адной галактыкі часам бываюць звязаны паміж сабой паласой святлівай матэрыі. Часта гэтыя святлівыя палосы блакітнаватага колеру з'яўляюцца працягам спіральных галін. Палосы складаюцца з гарачых маладых зорак. Нярэдка галактыкі агорнуты



Рыс. 29.10. Актыўнае ядро галактыкі Цэнтаўр А



Рис. 29.11. Такі вигляд, магчыма, будзе мець на нашым небе туманнасць Андромеды праз некалькі мільярдаў гадоў

Галактык вельмі шмат такіх, 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. Праз некалькі мільярдаў гадоў наша Галактыка «праглыне» Магеланавы Воблакі, а праз 5 млрд гадоў сутыкнецца з туманнасцю Андромеды (M 31) (рис. 29.11). Але пры гэтым магчымасць таго, што будуць сутыкацца асобныя зоркі, вельмі малая, таму што яны аддалены адна ад адной на адлегласці ў сотні мільёнаў разоў большыя за іх дыяметр.

Сутыкненні галактык, наадварот, магчымы, таму што прамежкі паміж імі большыя за іх памеры толькі ў дзесяткі і сотні разоў. Часта карлікавая галактыка ўразаецца ў вялікую зорную спіраль і, праходзячы праз яе, прыцягвае да сябе асобныя зоркі. Сёння вывучана ўзаемадзеянне галактык розных тыпаў: спіральных, эліптычных і няправільных, якія або пралятаюць міма адна адной на блізкай адлегласці, або дакранаюцца адна да адной, або проста сутыкаюцца. Гравітацыйная сіла ўзаемадзеяння, як правіла, істотна мяняе знешні выгляд такіх узаемадзейных галактык.



Рис. 29.12. Сутыкальныя галактыкі NGC 4038 і NGC 4039. Чырвоным колерам свеццяцца газапылавыя воблакі, якія падаюць на чорныя дзіры ў ядрах галактык; блакітным — маладыя гарачыя зоркі, якія нараджаюцца з-за ўзбурэнняў газапылавых мас

агульным «зорным туманам». Такія галактыкі называюцца ўзаемадзейнымі.

У большасці выпадкаў асаблівайсці форм узаемадзейных галактык тлумачацца ўзбуральнымі 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 га-

лактык вельмі шмат такіх, 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. Праз некалькі мільярдаў гадоў наша Галактыка «праглыне» Магеланавы Воблакі, а праз 5 млрд гадоў сутыкнецца з туманнасцю Андромеды (M 31) (рис. 29.11). Але пры гэтым магчымасць таго, што будуць сутыкацца асобныя зоркі, вельмі малая, таму што яны аддалены адна ад адной на адлегласці ў сотні мільёнаў разоў большыя за іх дыяметр.

З усіх буйных узаемадзейных галактык, якія сутыкаюцца, найбліжэй да нас знаходзіцца пара галактык NGC 4038 і NGC 4039 у сузор'і Крумкача (рис. 29.12). Гэта ўзаемадзейная сістэма аддалена на 63 млн светлавых гадоў. Пад уздзеяннем сіл прыцягнення ў галактык з'явіліся доўгія «антэны», якія складаюцца з газу і зорак,

таму іх часта называюць «антэннымі» галактыкамі. Гэтыя ўтварэнні ўзніклі ў выніку сутыкнення зорных сістэм. Астраномы адкрылі ў «антэнных» галактыках больш за тысячу зорных скопішчаў, якія ўтварыліся нядаўна. 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.

Сіла прыцягнення галактыкі істотна ўплывае не на ўсю суседнюю галактыку ў цэлым, а толькі на яе бліжэйшыя вобласці. Такім чынам узнікаюць прыліўныя сілы, якія ўзбураюць і скажаюць першапачатковую форму галактыкі. Вынік сутыкнення галактык залежыць ад геаметрыі ўдару і скорасці. Пры скорасці збліжэння каля 200 км/с зорныя сістэмы часцей за ўсё зліваюцца; 600 км/с — праходзяць адна праз адну. Калі ж збліжэнне ідзе са скорасцю да 1000 км/с, галактыкі разлятаюцца на кавалкі.

6. Квazarы. У пачатку 60-х гадоў XX ст. па радыёвыпрамяненні былі выяўлены аб'екты, падобныя на актыўныя ядры галактык, — **квazarы**. Слова «квazar» утворана ад словазлучэння «квazізорныя радыёкрыніцы», г. зн. падобныя на радыёвыпрамяняльныя зоркі. Спектры квazараў утрымліваюць яркія эмісійныя лініі, моцна зрушаныя ў чырвоны бок, як у далёкіх галактык. Як высветлілася, адлегласці, вызначаныя па чырвоным зрушэнні, роўныя больш за 5 млрд светлавых гадоў. На фатаграфіях квazары выглядаюць вельмі яркімі ў параўнанні з аддаленымі галактыкамі і ў радыёдыяпазоне выпрамяняюць так жа магутна, як блізкія радыёкрыніцы. Некаторыя з квazараў назіраюцца з такіх адлегласцей, на якіх звычайныя галактыкі пры дапамозе сучаснага абсталявання выявіць ужо немагчыма. Вакол дзесяткаў блізкіх квazараў знаходзяцца слабыя працяглыя аптычныя туманнасці. Іх сярэдні памер каля 90 000 пк, а свяцільнасць у некалькі разоў меншая за свяцільнасць самых яркіх галактык. Пакуль што невядома, ці ёсць у гэтых туманнасцях зоркі.

Да адкрыцця квazараў лічылася, што самыя грандыёзныя праяўленні выбуховых працэсаў — гэта ўспышкі Звышновых, але актыўнасць квazараў не падобная на актыўнасць звычайных зорак. Прырода актыўнасці радыёвыпрамянення квazараў пакуль што дакладна не ўстаноўлена, але з пэўнай перакананасцю можна сказаць наступнае:

- 1) квazары — самыя далёкія аб'екты, якія назіраюцца ў Сусвеце;
- 2) значная іх частка — гэта ядры далёкіх галактык, якія знаходзяцца ў стане вельмі высокай актыўнасці;
- 3) квazары — самыя магутныя з вядомых у прыродзе крыніц бачнага і інфрачырвонага выпрамяненняў, г. зн. гэта касмічныя аб'екты з каласальнай яркасцю выпрамянення.

Вывучэнне вялікай колькасці квazараў пры дапамозе Касмічнага тэлескопа Хабла ў 1995 г. прывяло вучоных да вываду, што недалё-

кія квазары (з чырвоным зрушэннем $z = 0,5$) звязаны з узаемадзея-
нымі эліптычнымі галактыкамі. Шмат якія квазары знаходзяцца
ў цэнтрах падобных зорных сістэм. Гэта пацвярджае меркаванне пра
тое, што квазары з'яўляюцца масіўнымі чорнымі дзірамі, на якія ад-
бываецца падзенне рэчыва. Яны выпрамяняюць у аптычным, рэнт-
генаўскім і радыёдыяпазонах.

Разам з тым да гэтага часу няма адзінай думкі пра тое, якое мес-
ца займаюць квазары сярод іншых касмічных аб'ектаў — гэта уні-
кальныя ўтварэнні ці якія-небудзь прамежкавыя звёны эвалюцый-
нага развіцця касмічных сістэм.

Пытанні і практыкаванні

1. Ахарактарызуйце тыпы галактык па класіфікацыі Э. Хабла. Чым ад-
рознваюцца эліптычныя і няправільныя галактыкі ад спіральных? Да
якога тыпу адносіцца наша Галактыка? 2. Якія са згаданых у тэксце да-
дзенага параграфу галактык даступныя і якія недаступныя назіранню ў на-
шых геаграфічных шыротх? 3. Якім чынам вызначаюць адлегласці да га-
лактык? Растлумачце сутнасць метаду чырвонага зрушэння, які для гэтага
выкарыстоўваецца. 4. Сфармулюйце і растлумачце закон Хабла. 5. Як
ацэньваюць масы галактык? 6. У чым заключаецца «парадокс скрытай
масы»? 7. Якія асаблівасці галактык з актыўным ядром? 8. Як на аснове
назіранняў можна адрозніць зоркі ад квазараў? 9. Якія асаблівасці маюць
квазары?

VIII

§ 30. РАСШЫРАЛЬНЫ СУСВЕТ

1. Прастаравае размеркаванне галактык. Галактыкі, як і зоркі,
утвараюць групы і скопішчы. Вядома каля 7000 скопішчаў галак-
тык. Каля 40 бліжэйшых галактык, з якіх найбольш масіўныя —
наша Галактыка і туманнасць Андромеды, утвараюць сістэму галак-
тык памерамі ў некалькі соцень кілапарсек, якая атрымала назву
Мясцовай групы галактык.

Больш буйныя аб'яднанні галактык групуюцца ў **сістэмы га-
лактык**. Яны ўтрымліваюць да тысячы галактык, а іх памеры да-
сягаюць некалькіх мегапарсек. Бліжэйшае буйное аб'яднанне га-
лактык памерам прыблізна 5 Мпк знаходзіцца ў напрамку
сузор'я Дзева на адлегласці каля 20 Мпк (рыс. 30.1). У яго склад
уваходзяць гіганцкія эліптычныя і спіральныя галактыкі, напры-
клад, радыёгалактыка Дзева А, спіральная галактыка «Самбрэра»
(рыс. 30.2) і інш.

Самае аддаленае скопішча галактык, да якога вызначана адлегласць (5200 Мпк), знаходзіцца ў сузор'і Валасы Веранікі. Толькі пры дапамозе самых буйных тэлескопаў можна адрозніць яго самыя яркія галактыкі. Комплексы скопішчаў галактык памерамі 30—60 Мпк, якія ўтрымліваюць дзесяткі скопішчаў, называюцца **звышскопішчамі галактык**. 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 карлікавых, каля 2000, а памер — каля 60 Мпк. Пакуль што выяўлена каля 50 звышскопішчаў. Скопішчаў больш высокага рангу не выяўлена.

Звышскопішчы і скопішчы галактык утвараюць у прасторы валакнопадобныя структуры, якія нагадваюць сабой ячэйкі ці пчаліныя соты (рыс. 30.3). У «валокнах» знаходзяцца скопішчы, а 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 ячэіста-составы выгляд. Сярэдняя шчыльнасць святлівага рэчыва ў маштабах больш за 300 Мпк роўная $3 \cdot 10^{-28}$ кг/м³. Гэта і ёсць сярэдняе значэнне шчыльнасці святлівага рэчыва ў даступнай назіранню частцы Сусвету, г. зн. у вялікіх маштабах Сусвет у сярэднім аднародны.

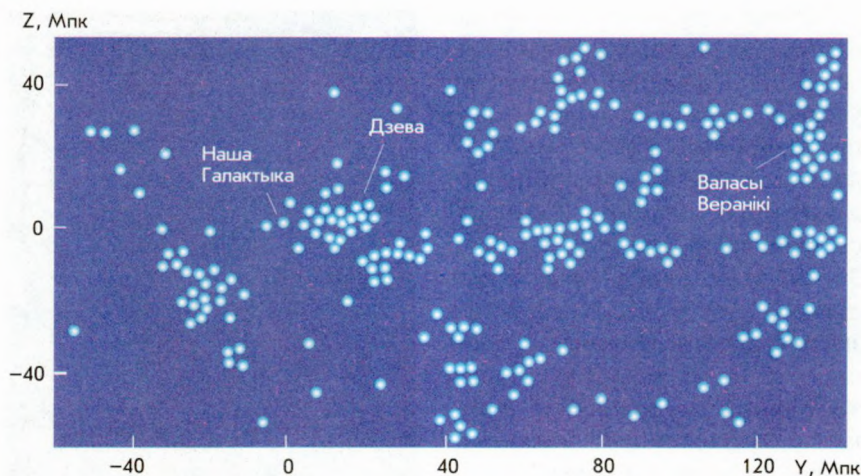
2. Расшырэнне Сусвету. Сукупнасць даступных назіранню галактык усіх тыпаў і іх скопішчаў, квазараў, міжгалактычнага асяроддзя ўтварае **Метагалактыку**. Пад Метагалактыкай разумеецца ўвесь бачны Сусвет.



Рис. 30.1. Скопішча галактык у сузор'і Дзевы



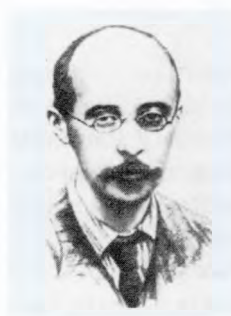
Рис. 30.2. Галактыка «Самбрэра»



Рыс. 30.3. Ячэйстае размеркаванне галактык у прасторы (у сячэнні, якое праходзіць праз скопішча ў сузор’і Валасы Веранікі)

Адна з найважнейшых уласцівасцей Метагалактыкі — яе пастаяннае расшырэнне, «разлёт» скопішчаў галактык, пра што сведчыць чырвонае зрушэнне ў спектрах галактык. Метагалактыка знаходзіцца ў стане прыблізна аднароднага і ізатропнага расшырэння. Аднароднасць азначае аднолькавасць усіх уласцівасцей матэрыі ўсюды ў прасторы, а ізатрапія — аднолькавасць гэтых уласцівасцей у любым напрамку. Аднароднасць сведчыць пра адсутнасць вылучаных абласцей прасторы, а ізатрапія — пра адсутнасць вылучанага напрамку. Дапушчэнні пра аднароднасць і ізатрапію Сусвету называюць **касমাлагічнымі прынцыпамі**.

Гіпотэзу пра расшырэнне Сусвету на падставе агульнай тэорыі прыцягнення А.Эйнштэйна і строгіх разлікаў прапанаваў у 1922 г. расійскі вучоны *Аляксандр Аляксандравіч Фрыдман* (рыс. 30.4). Разлікі паказалі, што Сусвет не можа быць стацыянарным; у залежнасці ад сярэдняй шчыльнасці рэчыва ў Сусвеце ён павінен або расшырацца, або сціскацца. Нестацыянарная мадэль Сусвету ўсталявалася ў навуцы толькі пасля таго, як Э. Хабл выявіў разбеганне галактык (гл. закон Хабла ў § 29).



А. А. Фрыдман
(1888—1925)

З разлікаў Фрыдмана вынікалі 3 магчымыя высновы: Сусвет і яго прастора расшыраюцца з цягам часу; Сусвет сціскаецца; у Сусвеце чаргуюцца праз вялікія прамежкі часу цыклы сціскання і расшырэння. Узнікае пытанне: які

з трох варыянтаў рэалізуецца ў нашым Сусвеце? Адказаць на яго павінна назіральная астраномія, якая павінна ацаніць сучасную сярэднюю шчыльнасць рэчыва ў Сусвеце і ўдакладніць значэнне пастаяннай Хабла. Чаму важна ўдакладненне гэтых дзвюх пастаянных велічынь?

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. Паводле гэтай формулы $\rho_{\text{кр}} = 10^{-26}$ кг/м³. Па сучасных ацэнках шчыльнасць рэчыва Сусвету блізкая да крытычнага значэння: яна альбо крыху болей, альбо крыху меней (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 ж сярэдняя шчыльнасць рэчыва ў Сусвеце меншая за крытычную — расшырэнне будзе працягвацца.

Пастаянная Хабла дае магчымасць ацаніць прамежак часу, на працягу якога доўжыцца працэс расшырэння Сусвету. Вызначана, што ён не меншы за 10 млрд і не большы за 19 млрд гадоў. Калі гэтыя даныя, разлічаныя для Метагалактыкі, перанесці на Сусвет, то атрымаецца, што яго сярэдні ўзрост складае каля 15 млрд гадоў. Гэтая велічыня не супярэчыць ацэнкам узросту найбольш старых зорак.

У апошнія гады вучоныя ўсё больш схіляюцца да думкі, што даступнае назіранню «святлівае» рэчыва Сусвету ўяўляе сабой толькі невялікую частку ўсёй масы, што існуе. Калі гэта так, то лёс Сусвету давядзецца карэнным чынам перагледзець у будучыні.

Пры дапамозе касмічнага рэнтгенаўскага тэлескопа «Чандра» ў 2002 г. былі атрыманы новыя доказы існавання ў Сусвеце цёмнай матэрыі. На зробленых пры яго дапамозе рэнтгенаўскіх здымках далёкай галактыкі NGC 720 выразна відаць воблака гарачага газу, якое яе абкружае (рыс. 30.4). Аднак арыентацыя



Рыс. 30.4. Рэнтгенаўскі здымак галактыкі NGC 720, зроблены тэлескопам «Чандра»

гэтага воблака ў прасторы не супадае з арыентацыяй самой галактыкі, заўважанай на здымку, зробленым у дыяпазоне бачнага святла. Галактыка NGG 720 знаходзіцца ў 80 млн светлавых гадоў ад Зямлі. Незвычайная канфігурацыя воблака тлумачыцца тым, што яно абкружана абалонкай з цёмнай матэрыі. У процілеглым выпадку газавая воблака павінна было б расшырацца.

У адпаведнасці з фізічнай тэорыяй гравітацыі, без цёмнай матэрыі галактыкі развальваліся б на часткі, а зоркі абарачаліся б па зусім іншых арбітах. Цёмная матэрыя складаецца з часцінак, якія павольна рухаюцца і ўзаемадзейнічаюць як адна з адной, так і з «нармальнай» матэрыяй пры дапамозе гравітацыйных уздзеянняў.

3. Мадэль гарачага Сусвету. У аснове сучаснай астранамічнай карціны эвалюцыі Сусвету ляжыць **мадэль гарачага Сусвету**. У адпаведнасці з ёй, на ранніх стадыях расшырэння Сусвет характарызаваўся не толькі высокай шчыльнасцю рэчыва, але і яго высокай тэмпературай. Гіпотэзу пра «гарачы Сусвет» прапанаваў *Ж. Леметр* і *Г. А. Гамаў*. Яна атрымала назву тэорыі Вялікага выбуху.

Паводле гэтай тэорыі дапускаецца, што Сусвет узнік спонтанна ў выніку выбуху са стану з вельмі высокай шчыльнасцю матэрыі, якая мае велізарную энергію. 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 вялізным, ён не ствараў расшыральнай сілы, таму што быў усюды аднолькавы. Прычыны пачатку расшырэння Сусвету да канца не вядомы. Па меры яго расшырэння тэмпература падала ад вельмі высокай да вельмі нізкай, што і забяспечыла спрыяльныя ўмовы для ўтварэння зорак і галактык.

Мадэль гарачага Сусвету атрымала эксперыментальнае пацвярджэнне пасля адкрыцця ў 1965 г. мікрахвалевага фонавага выпрамянення. Было выяўлена, што з касмічнай прасторы бесперапынна прыходзіць радыёвыпрамяненне вельмі кароткіх даўжынь хваль. Яно зыходзіць не з асобных крыніц, а адсюль, з кожнага пункта неба. Гэта выпрамяненне запаўняе прастору паміж зоркамі і галактыкамі і названа **рэліктавым**, г. зн. старажытным, рэшткавым. Паводле сучасных уяўленняў, рэліктавае выпрамяненне ўзнікла на раннім этапе расшырэння Сусвету, калі яшчэ не існавалі зоркі і галактыкі. Найважнейшай уласцівасцю гэтага выпрамянення з'яўляецца тое, што размеркаванне энергіі ў яго спектры падоб-

нае на размеркаванне энергіі ў спектры абсалютна чорнага цела з тэмпературай 2,7 К. Максімум выпрамянення прыпадае на даўжыню хвалі 1,1 мм.

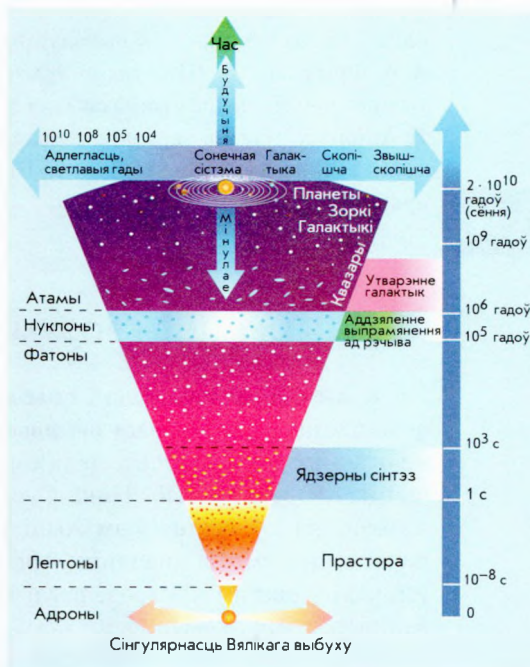
На падставе мадэлей Фрыдмана распрацавана паэтапная фізічная карціна эвалюцыі рэчыва пачынаючы з моманту выбуху (рыс. 30.5). Крыху больш чым праз тры мінуты фарміраванне ранняга Сусвету скончылася і пачаўся працэс злучэння пратонаў і нейтронаў у састаўныя ядры. Потым амаль 500 тыс. гадоў доўжылася павольнае 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 вадародна-геліевай плазмы з малой прымессю іншых ядзер 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 выпрамяненне адарвалася ад рэчыва і стала рэліктавым.

Пасля таго як рэчыва зрабілася празрыстым для электрамагнітнага выпрамянення, у дзеянне ўступілі гравітацыйныя сілы. Яны пачалі пераважаць над усімі іншымі ўзаемадзеяннямі паміж масамі практычна нейтральнага рэчыва, якое складала асноўную частку матэрыі Сусвету. Гравітацыйныя сілы стварылі галактыкі, скопішчы, зоркі і планеты.

Які лёс Сусвету? Існуе дзве тэарэтычныя мадэлі яго будучага — «закрытая» і «адкрытая».

«Закрытая» мадэль дапускае, што Сусвет можа быць прадстаўлены як грандыёзная закрытая сістэма, якая зазнае мноства эвалюцыйных цыклаў. Цыкл расшырэння змяняецца цыклам наступнага сціскання да вяртання ў сінгулярны стан,



Рыс. 30.5. Схема развіцця Сусвету ад Вялікага выбуху да нашага часу

потым новы выбух і г. д. Поўны цыкл расшырэння і сціскання Сусвету складае прыблізна 100 млрд гадоў. Кожны раз, вяртаючыся да сінгулярнасці, Сусвет губляе «памяць» пра мінулы стан і можа зноў «нарадзіцца» з зусім новым наборам канстант.

У «адкрытых» мадэлях Сусвету разглядаюцца розныя варыянты яго «цеплавой смерці». Дапускаецца, што ўжо цераз 10^{14} гадоў шмат якіх зоркі астынуць, і гэта ў далейшым прывядзе да адрыву планет ад сваіх зорак, а тыя, у сваю чаргу, пачнуць пакідаць галактыкі.

Інфляцыйная мадэль, распрацаваная А. Ліндэ і інш., сцвярджае, што Сусвет складаецца з мноства ізаляваных светаў — даменаў. Гэтыя вобласці ўзніклі як вінаградная гронка з Вялікага выбуху. Кожны міні-сусвет можа мець свае непаўторныя ўмовы, якія будуць невядомыя і неспаспегальныя для суседняга. Уся бачная намі Метагалактыка ўяўляе сабой толькі адзін дамен.

Пытанні і практыкаванні

1. У чым адрозненне Метагалактыкі ад Сусвету? 2. Апішыце прасторавае размеркаванне галактык у Сусвеце. 3. Як тлумачыцца чырвонае зрушэнне, і пра што яно сведчыць? 4. У чым сутнасць тэорыі расшыральнага Сусвету? 5. Да якіх вывадаў пра стацыянарнасць Сусвету прыйшоў А. А. Фрыдман? 6. Што такое крытычная шчыльнасць Сусвету? Як крытычная шчыльнасць узаемазвязана з расшырэннем і сцісканнем Сусвету? 7. Апішыце мадэль гарачага Сусвету. 8. Што такое рэліктавае выпраменьне? Якое яго паходжанне? 9. Што разумеюць пад «закрытымі» і «адкрытымі» мадэлямі Сусвету?

VIII

§ 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, узніклі ў раннім Сусвеце, рэалізаваліся толькі прыдатныя для існавання разумнага жыцця.

Прывядзем некалькі прыкладаў.

1. Мы жывем у прастору трох вымярэнняў. Але толькі ў такой прастору магчымы ўстойлівыя планетныя рухі (гравітацый-

нае ўзаемадзеянне) і існаванне атамаў (электрамагнітнае ўзаемадзеянне).

2. Калі б гравітацыйная пастаянная была ў некалькі разоў большая, то час жыцця Сонца як устойлівага гарачага плазменнага шара вымяраўся б некалькімі дзесяткамі мільёнаў гадоў.

3. Калі б маса электрона была ў 3 разы большая за сучасную, то час жыцця пратона быў бы малым. Пры ўзаемадзеянні пратона з электронам пратон распадаўся б на нейтрон і нейтрына. Тады зоркі і галактыкі складаліся б з нейтронаў, а больш складаных форм рэчыва 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 звязанае адзінае цэлае, узгодненую сістэму, надзвычай прыстасаваную да ўзнікнення жыцця. Іншыя сусветы з іншымі фізічнымі параметрамі развіваліся б, як адзначыў савецкі касмолаг А. Л. Зяльманаў, без сведак.

2. Пошукі жыцця ў Сонечнай сістэме. Цікавасць 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 планеце. Тады ўсе надзеі пачалі звязваць з самай загадкавай планетай — Марсам.

Галоўная мэта палётаў аўтаматычных арбітальна-пасадачных станцый «Вікінг» да Марса заключалася ў пошуку жыцця на гэтай планеце. Было выканана некалькі складаных біялагічных эксперыментаў, і ўсе яны далі станоўчы вынік. Аднак вучоныя засумняваліся: у працэсе аналізу марсіянскага грунту не было выяўлена ніякіх слядоў арганічных злучэнняў — прадуктаў жыццядзейнасці мікраарганізмаў. Для параўнання: пры такіх жа пробах антарктычнага грунту ўдалося знайсці значную колькасць выкапнёвых арганічных злучэнняў.

У 1976 г. станцыя «Вікінг» перадала на Зямлю фатаграфію загадкавага аб'екта (з зоны Сідонія), памерам каля паўтара кіламетра, які назвалі «галавой сфінкса» (рыс. 31.1). Была прапанавана гіпотэза, што гэта архітэктурнае збудаванне старажытнай цывілізацыі. Але даследчыкі Марса заявілі: гэта прыродны аб'ект. Спрэчкі не сціхалі да 2001 г., пакуль касмічны апарат «Марс Глобал Сервер» не



Рис. 31.1. Фатаграфія «галавы сфінкса» на Марсе, атрыманая ў 1976 г.



Рис. 31.2. Фатаграфія «галавы сфінкса», атрыманая з лепшым распазнаваннем у 2001 г.



Рис. 31.3. Метэарыт ALH 84001

перадаў на Зямлю больш падрабязны здымак (рыс. 31.2). На новым відарысе добра бачна, што «галава сфінкса» — прыродная структура.

У наступныя гады пасадачныя апараты, якія пасылаліся да Марса, не аснашчаліся прыладамі, здольнымі зафіксаваць прыкметы жыцця.

І тады па іроніі лёсу Марс быццам бы сам «нагадаў пра сябе» і «заслаў» на Зямлю метэарыт, які змяшчаў нешта падобнае на сляды прымітыўнага жыцця. У 1996 г. увесь свет абляцела паведамленне пра тое, што група вучоных Нацыянальнага ўпраўлення па аэранаўтыцы і даследаванні касмічнай прасторы (НАСА; ЗША) знайшла магчымае сведчанне таго, што на Марсе магло існаваць прымітыўнае жыццё прыблізна 3,6 млрд гадоў таму.

У старажытным марсіянскім камені, які ўпаў на Зямлю, былі выяўлены арганічныя малекулы, некаторыя мінеральныя асаблівасці біялагічнай актыўнасці і нешта падобнае на мікраскапічныя бактэрыі. Аднак амерыканскія вучоныя асцярожна дапускалі, што знойдзеныя доказы могуць сведчыць пра мінулае жыццё на Марсе, і заклікалі вучоных усяго свету далучыцца да даследаванняў.

Узрост гэтага невялікага метэарыта бульбападобнай формы прыблізна 4,5 млрд гадоў — у той час Марс толькі сфарміраваўся (рыс. 31.3). Даследчыкі лічаць, што планета 3,6—4 млрд гадоў таму была больш цёплая і «вадзяная». Прыблізна 16 млн гадоў таму нейкае

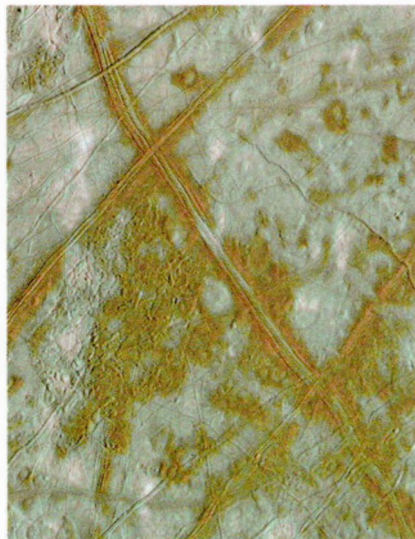
касмічнае цела (вялізная камета ці астероід) урэзалася ў Марс і выкінула камяні з паверхневага слоя ў космас. Мільёны гадоў яны ляталі ў міжпланетнай прасторы, пакуль некаторыя з іх не ўпалі на Зямлю.

Метэарыт, абазначаны ALH 84001, быў знойдзены ў 1984 г. у Антарктыдзе штогадовай экспедыцыяй, якая займаецца пошукамі метэарытаў. Зрабіць гэта адкрыццё дазволіла выкарыстанне найноўшых тэхналагічных дасягненняў. Экспедыцыйная група карысталася электронным мікраскопам з высокім распазнаваннем і лазерным мас-спектрометрам. Два гады сотні вучоных усімі даступнымі метадамі і сродкамі даследавалі часткі марсіянскага каменя. Але абсалютна неабвержных доказаў таго, што ён утрымлівае сведчанні якіх-небудзь формаў жыцця, знойдзена не было.

У той час як пошукі жыцця на Марсе зайшлі ў тупік, касмічны апарат «Галілео», які вывучаў Юпітэр, перадаў паведамленне пра тое, што на адным з вялікіх спадарожнікаў планеты — Еўропе — выяўлены акіян цёплай вады, які знаходзіцца пад ледзяным панцырам.

Паверхня Еўропы пакрыта маладым вадзяным лёдам, ушпіляным расколінамі (рыс. 31.4). Аналіз атрыманых у розны час відарысаў паказаў, што лёд крыху зрушваецца (падобную карціну можна назіраць на зямных палярных морах у час веснавага раставання лёду). Выходзячы з памераў і геаметрыі ледзяных расколін, вучоныя выказалі меркаванне, што на спадарожніку Еўропа тонкі ледзяны слой закрывае ваду ці расталы лёд. Пры гэтым асобныя ледзяныя ўчасткі здаюцца рухомымі і могуць быць супастаўлены з зямнымі айсбергамі. Праўда, загадкай застаюцца прычыны, што прыводзяць у рух ледзяныя блокі.

Незвычайная паверхневая геалогія Еўропы паказвае на тое, што лёд надзвычай юны і на ім амаль адсутнічаюць ударныя метэарытныя кратэры. Акрамя таго, сустракаюцца асаблівыя зоны — хаосы. Яны ўяўляюць сабой бязладнае награвашчанне ледзяных глыб, умарожаных у больш роўную паверхню. Ствараецца ўра-



Рыс. 31.4. Расколіны на лёдзе Еўропы. Фатаграфія «Галілео»

жанне, быццам бы лёд быў часткова растоплены, потым зноў замёрз, і глыбы, якія не паспелі растаць, аказаліся абкружанымі больш роўным маладым лёдам. Прычынай утварэння такіх структур можа служыць прарыў гейзера.

Такім чынам, калі на Еўропе ёсць цёплая вада і гідратэрмальныя крыніцы, то могуць існаваць і якія-небудзь формы жыцця. Аднак выявіць іх можна толькі, калі прызямліцца на паверхню планеты. Таму ў НАСА з'явіўся праект адпраўкі да Еўропы станцыі, якая б прабурыла лёд і пры дапамозе спецыяльнага апарата для хімічнага і біялагічнага аналізу вады ўзяла пробы.

Пошукі жыцця ў Сонечнай сістэме і ў Сусвеце працягваюцца. НАСА аб'явіла аб «Праграме астранамічнага пошуку планетных сістэм і паходжання жыцця». Гэты праект прадугледжвае запуск на геацэнтрычную арбіту вялізнага аптычнага інтэрферометра з распазнаваннем у 100 разоў вышэйшым, чым у Касмічнага тэлескопа Хабла. У 2003—2004 гг. запланаваны запуск першага элемента інтэрферометра, які складаецца з 4—5 касмічных тэлескопаў. Праграму плануецца закончыць да 2010 г. Вучоныя лічаць, што інтэрферометр будзе здольны не толькі выяўляць планеты на адлегласцях да 100 светлавых гадоў, але і вызначаць іх кіслародныя атмасферы.

Час ад часу навуковая грамадскасць вяртаецца да абмеркавання праблемы жыцця на Месяцы. У ЗША супрацоўнікі НАСА, спецыялісты буйных аэракасічных кампаній, геалагі і фотаэксперты правялі ў 1998 г. канферэнцыю, на якой абнародавалі даныя пра сляды разумнага жыцця на Месяцы. У пацвярджэнне былі прыведзены шматлікія здымкі месяцавай паверхні, зробленыя НАСА і савецкімі зондамі за апошнія 30 гадоў. На гэтых фатаграфіях бачны трохвугольныя, прамавугольныя, пяцівугольныя і іншыя руінападобныя структуры, правільна размешчаныя святлівыя аб'екты і іншыя анамаліі на адваротным баку Месяца.

Вучоныя сёння не могуць даць тлумачэння гэтым феноменам, але і не спяшаюцца прызнаваць, што іх стварылі прадстаўнікі разумнага жыцця. Магчыма, некаторыя анамаліі выкліканы дэфектамі плёнкаў ці яе апрацоўкі, а руінападобныя структуры — гэта сетка валоў і разрываў, якія ўзнікаюць ад гарызантальных напружанняў у месяцавай кары.

3. Пошукі жыцця ў Галактыцы. Сучасная навука вызначае **пазазямныя цывілізацыі** як гіпатэтычныя грамадствы разумных істот, якія могуць узнікаць і існаваць па-за Зямлёй.

Для ацэнкі колькасці пазазямных цывілізацый у Галактыцы амерыканскі радыёастраном *Фрэнсіс Дрэйк* прапанаваў наступную формулу:

$$N = R \cdot f \cdot n \cdot k \cdot d \cdot q \cdot L,$$

дзе N — колькасць паазямных 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, якая забяспечвае магчымасць сувязі з іншымі светамі, цывілізацыямі; L — сярэдняя працягласць існавання такіх паазямных (касмічных, тэхнічных) цывілізацый.

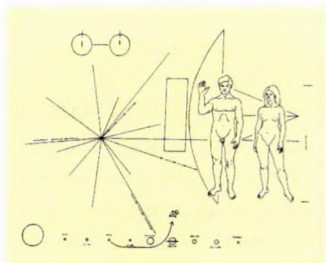
У формуле Дрэйка ўсе велічыні, акрамя першай, маюць вельмі неканкрэтны характар і вызначаюцца на аснове экспертных ацэнак вучоных. Таму ствараецца значная няпэўнасць у ацэнцы агульнай велічыні N . Адны падлікі паказваюць, што цяпер усяго толькі некалькі геападобных цывілізацый Галактыкі (у якой 10^{11} зорак) гатовы да кантакту з намі. Паводле іншых, больш аптымістычных, — такіх цывілізацый можа быць значна больш. Як адзін з аргументаў на карысць таго, што паазямныя цывілізацыі — з'ява вельмі рэдкая, вылучаецца адсутнасць бачных праяў іх дзейнасці.

Кантакты з паазямнымі цывілізацыямі могуць быць некалькіх тыпаў: непасрэдных кантакты з узаемным ці аднабаковым наведваннем; кантакты па каналах сувязі ці абмен інфармацыяй праз пасылкі сігналаў у якім-небудзь дыяпазоне электрамагнітных хваль; кантакты змешанага тыпу — адпраўка да паазямной цывілізацыі аўтаматычных зондаў, якія перадаюць інфармацыю па каналах сувязі.

Асноўная цяжкасць непасрэдных кантактаў звязана з працягласцю палёту да іншых цывілізацый. Час палёту можа быць параўнальны з часам жыцця самой цывілізацыі. Напрыклад, каб дасягнуць далёкіх зорак, патрабуюцца тысячагоддзі, і каштоўнасць дастаўленай інфармацыі губляе сэнс.

Кантактам з паазямнымі цывілізацыямі павінна папярэднічаць устанаўленне той ці іншай формы сувязі з імі. Сюды адносіцца пошук сігналаў гэтых цывілізацый, шлядоў знаходжання на Зямлі і шлядоў астраінжынернай дзейнасці, г. зн. накіраванай на пераўтварэнне навакольнай касмічнай прасторы (стварэнне штучных спадарожнікаў, перахопліванне энергіі зорак і інш.).

Першыя работы па пошуку сігналаў паазямных цывілізацый правёў у 1960 г. Ф. Дрэйк (ЗША). Ён даследаваў радыёвыпрамянен-



Рыс. 31.5. Таблічка з пасланнем, адрасаваным прадстаўнікам пазазямных цывілізацый. Таблічка змешчана на борце «Піянера-10»

не 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 наш час касмічная прастора праслухоўваецца адначасова на шматлікіх частотах. Прынятыя радыётэлескопам сігналы апрацоўваюць камп'ютэры. Напрыклад, на антэне ў Арэсіба працуе прыёмнік радыёсігналаў на 4 млн каналаў і будзеца прыёмнік на 167 млн каналаў. Ужо заўважаны сотні незвычайных сігналаў, якія яшчэ трэба вывучыць больш дэтальна.

Паралельна вядзецца работа па паведамленні пазазямным цывілізацыям інфармацыі пра нашу, зямную цывілізацыю. У 1974 г. з радыёастранамічнай абсерваторыі ў Арэсіба ў бок шаравога скопішча М 31 (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 відарысаў, гукаў і чалавечага маўлення на розных мовах) не раз змяшчаліся на касмічныя апараты, траскторыі якіх выходзілі за межы Сонечнай сістэмы (рыс. 31.5).

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 выснова аб значэнні, каштоўнасці і унікальнасці нашай цывілізацыі. Чалавецтва, такім чынам, у велізарнай ступені адказнае не толькі за нашу планету, але і за Сусвет увогуле.

Пытанні і практыкаванні

1. У чым сутнасць антропнага прынцыпу?
2. На якіх планетах Сонечнай сістэмы вучоныя дапускаюць існаванне жыцця?
3. Як можна ацаніць колькасць пазазямных цывілізацый у нашай Галактыцы?
4. Чаму формула Ф. Дрэйка дае значную няпэўнасць у ацэнцы колькасці цывілізацый у Галактыцы, гатовых да кантакту з намі?
5. Ахарактарызуеце тыпы кантактаў з пазазямнымі цывілізацыямі. Якія цяжкасці неабходна пераадолець пры рэалізацыі кожнага тыпу?
6. Якім чынам чалавецтва спрабуе наладзіць кантакты з пазазямнымі цывілізацыямі?

Дадаткі

ДАДАТАК 1

АСНОЎНЫЯ АСТРАНАМІЧНЫЯ СІМВАЛЫ

ЗНАКІ ЗАДЫЯКА		ПЛАНЕТЫ	
♈	Авен, а таксама пункт вясенняга раўнадзенства	☉	Сонца
♉	Цялец	♃	Месяц
♊	Блізняты	♿	Меркурый
♋	Рак	♀	Венера
♌	Леў	♁	Зямля
♍	Дзева	♂	Марс
♎	Шалі, а таксама пункт асенняга раўнадзенства	♃	Юпітэр
♏	Скарпіён	♄	Сатурн
♐	Страпец	♅	Уран
♑	Казярог	♆	Нептун
♒	Вадапіў	♇	Плутон
♓	Рыбы		

ІНШЫЯ АБАЗНАЧЭННІ

♊	Узыходны вузел Месяцавай арбіты	♋	Сыходны вузел Месяцавай арбіты
---	---------------------------------	---	--------------------------------

ГРЭЧАСКІ АЛФАВІТ

АБРЫС ЛІТАРЫ	НАЗВА ЛІТАРЫ	АБРЫС ЛІТАРЫ	НАЗВА ЛІТАРЫ	АБРЫС ЛІТАРЫ	НАЗВА ЛІТАРЫ	АБРЫС ЛІТАРЫ	НАЗВА ЛІТАРЫ
α	альфа	η	эта	ν	ні	τ	таў
β	бэта	θ	тэта	ξ	ксі	υ	і псілόν
γ	гама	ι	іота	ο	ο мікрόν	φ	фі
δ	дэльта	κ	капа	π	пі	χ	хі
ε	э псілόν	λ	лямбда	ρ	ро	ψ	псі
ζ	дзэта	μ	мі	σ	сігма	ω	ο мега

ХРАНАЛОГІЯ НАЙВАЖНЕЙШЫХ АСТРАНАМІЧНЫХ АДКРЫЦЦЯЎ І ПАДЗЕЙ

ДАТА	АДКРЫЦЦІ (КІМ І ДЗЕ ЗРОБЛЕНЫ) І ПАДЗЕЙ
4000 г. да н. э.	Пачатак астранамічнай дзейнасці шумераў (Месопатамія), егіпцянаў, майя
1100 г. да н. э.	Вымярэнне нахілу экліптыкі да экватара (Кітай)
240 г. да н. э.	Вымярэнне памераў зямнога шара (<i>Эратасфен</i> ; Александрыя)
150—125 гг. да н. э.	Першая тэорыя руху Сонца і Месяца, састаўленне зорнага каталога з падзяленнем зорак на 6 класаў па бляску (<i>Гіпарх</i> ; Грэцыя)
46 г. да н. э.	Увядзенне ў Рымскай імперыі юліянскага сонечнага календара з высакоснымі гадамі (<i>Сазіген</i> ; Александрыя)
140 г. н. э.	Стварэнне геацэнтрчнай сістэмы свету (<i>Пталемей</i> ; Александрыя)
1543 г.	Апублікавана праца М. Каперніка «Аб абарачэннях нябесных сфер» з выкладам геліяцэнтрчнай сістэмы свету
1609—1610 гг.	Пачатак тэлескапічнай астраноміі (<i>Г. Галілей</i> ; Італія)
1609—1619 гг.	Адкрыты законы руху планет (<i>І. Кеплер</i> ; Германія)
1668 г.	Выраблены першы лустраны тэлескоп (<i>І. Ньютан</i> ; Англія)
1675 г.	Упершыню вымерана скорасць святла на аснове назіранняў спадарожнікаў Юпітэра (<i>О. Ромер</i> ; Францыя)
1687 г.	Апублікавана кніга «Матэматычныя асновы натуральнай філасофіі» з абгрунтаваннем законаў руху і закону сусветнага прыцягнення (<i>І. Ньютан</i> ; Англія)
1705 г.	Адкрыта перыядычнасць вяртання камет (<i>Э. Галей</i> ; Англія)
1761 г.	Адкрыта атмасфера на Венеры (<i>М. В. Ламаносаў</i> ; Расія)
1781 г.	Адкрыта планета Уран (<i>У. Гершэль</i> ; Англія)
1794 г.	Устаноўлена касмічнае паходжанне метэарытаў (<i>Э. Хладні</i> ; Германія)
1801 г.	Адкрыта першая малая планета-астэроід Цэрэра (<i>Дж. Піяцы</i> ; Італія)
1814—1817 гг.	Апісаны лініі паглынання ў атмасферы Сонца і шэрага яркіх зорак (<i>І. Фраўнгофер</i> ; Германія)
1837—1839 гг.	Упершыню вымерана адлегласць да зорак (<i>В. Я. Струвэ</i> , Расія; <i>Ф. Бесель</i> , Германія; <i>Т. Гендэрсан</i> , Англія)
1842 г.	Адкрыццё эфекту Доплера (<i>К. Доплер</i> ; Аўстрыя)

Заканчэнне дадат. 2

ДАТА	АДКРЫЦЦІ (КІМ І ДЗЕ ЗРОБЛЕНЫ) І ПАДЗЕЙ
1846 г.	Адкрыта планета Нептун (<i>У. Левер'е</i> , Францыя; <i>І. Гале</i> , Германія)
1859—1862 гг.	Адкрыты спектральны аналіз (<i>Р. Бунзен</i> , <i>Г. Р. Кірхгоф</i> ; Германія)
1877 г.	Створана тэорыя каменных форм (<i>Ф. А. Брадзіхін</i> ; Расія)
1895 г.	Упершыню эксперыментальна вызначана тэмпература Сонца (<i>В. К. Цэраскі</i> ; Расія)
1905—1913 гг.	Адкрыта заканамернасць у свеце зорак: дыяграма «спектр — свяцільнасць» (<i>Э. Герцшпрунг</i> , Данія; <i>Г. Рэсел</i> , ЗША)
1916 г.	Створана агульная тэорыя адноснасці (<i>А. Эйнштэйн</i> ; Германія)
1916—1918 гг.	Створана тэорыя ўнутранай будовы зорак (<i>А. Эдынгтан</i> ; Англія)
1922—1924 гг.	Тэарэтычна абгрунтавана нестацыянарнасць Сусвету (<i>А. А. Фрыдман</i> ; Расія)
1929 г.	Адкрыта «чырвоное зрушэнне» ў спектрах галактык (<i>Э. Хабл</i> ; ЗША)
1930 г.	Адкрыта планета Плутон (<i>К. Томба</i> ; ЗША)
1931 г.	Адкрыта касмічнае радыёвыпрамяненне (<i>К. Янскі</i> ; ЗША)
1937 г.	Распрацавана тэорыя тэрмаядзерных рэакцый як крыніцы ўнутрызорнай энергіі (<i>Г. Бетэ</i> ; ЗША)
1944 г.	Апублікавана касмаганічная тэорыя паходжання Зямлі і планет (<i>О. Ю. Шміт</i> ; Расія)
1951 г.	Выяўлена радыёвыпрамяненне нейтральнага вадароду ў міжзорнай прасторы на хвалі 21 см (ЗША, Нідэрланды)
1960—1963 гг.	Адкрыты квазары (<i>М. Шміт</i> ; ЗША)
1965 г.	Адкрыта рэліктавае радыёвыпрамяненне з тэмпературай 2,7 К (<i>А. Пензіяс</i> , <i>Р. Вільсан</i> ; ЗША)
1967 г.	Адкрыты пульсары — нейтронныя вярчальныя зоркі (<i>Д. Бел</i> , <i>Э. Хьюіш</i> ; Англія), гіпотэзу аб існаванні якіх прапанаваў <i>Л. Д. Ландау</i> (СССР)
1974 г.	Адкрыты рэнтгенаўскія пульсары (ЗША)
1987 г.	Упершыню выяўлена нейтрына ад звышновай зоркі
1997 г.	Выяўлены карычневыя карлікі — зоркі, якія маюць малую масу (каля 7 % сонечнай масы) і тэмпературу атмасферы, якая не перавышае 2000 К

1. РУХОМАЯ КАРТА ЗОРНАГА НЕБА

Апісанне карты

1. Рухомая карта зорнага неба (гл. укладыш да падручніка) дазваляе вызначыць выгляд зорнага неба ў любы момант сутак адвольнага дня года, а таксама вырашыць шэраг практычных задач на ўмовы бачнасці нябесных святл. Рухомая карта складаецца з дзвюх дэталей: уласна карты і накладнага круга.

2. На карту нанесены самыя галоўныя сузор'і і Млечны Шлях. У цэнтры карты знаходзіцца паўночны полюс свету, побач з ім — Палярная зорка. Ад паўночнага полюса свету разыходзяцца лініі, якія абазначаюць кругі схілення. Каля асновы кожнага круга схілення стаіць лік, які абазначае прамое ўзыходжанне (α), выражанае ў гадзінах.

3. Канцэнтрычныя акружнасці на карце паказваюць нябесныя паралелі, а лікі каля пунктаў іх перасячэння з нулявым ($0^{\text{гадз}}$) і 12-гадзіннымі кругамі схілення паказваюць вуглавую адлегласць паміж нябеснымі паралелямі і нябесным экватарам, г. зн. іх схіленне (δ), выражанае ў градусах.

4. Трэцяя па адліку ад полюса свету акружнасць (з абазначэннем 0°) уяўляе сабой нябесны экватар, унутры якога размешчана паўночная нябесная паўсфера, а па-за ім — пояс паўднёвай нябеснай паўсферы да схілення -45° .

5. Экліптыка на карце паказана эксцэнтрычным авалам, які перасякаецца з нябесным экватарам у пунктах вясенняга (Υ) і асенняга (ϖ) раўнадзенства.

6. Уздоўж краю карты нанесены назвы месяцаў года і лімб дат.

7. Уздоўж краю накладнага круга нанесены гадзіны сутак па сярэднім сонечным часе. Авалы, нарысаваныя ўнутры круга, адносяцца да геаграфічнай шыраты мясцовасці.

Падрыхтоўка карты да работы

1. Наклейце карту і накладны круг на тонкі кардон ці шчыльную паперу.

2. Акуратна абрэжце аркушы з наклеенымі картай і накладным кругам уздоўж іх знешніх контураў. Атрымаюцца 2 дыскі.

3. У накладным крузе выражце адтуліну ўздоўж адной з замкнутых ліній з вызначанай шыратой месца, дзе мяркуецца карыстацца картай ($\varphi = 40, 45, 50, \dots, 65^\circ$). Напрыклад, з невялікай хібнасцю для Віцебска гэта будзе шырата 55° , а для Брэста і Гомеля — 50° .

4. Паміж пунктамі Пд і Пн накладнага круга нацягніце тонкую каляровую нітку, якая будзе сімвалізаваць мерыдыян.

5. Накладны круг з прарэзанай адтулінай канцэнтрычна накладзіце на карту. Рухомая карта зорнага неба гатовая да работы.

Робота з картай

1. Паварочвайце накладны круг на карце так, каб патрэбная вам гадзіна (гадзіны адзначаны ўздоўж краю накладнога круга) апынулася насупраць адпаведнай даты (месяцы і дні адзначаны ўздоўж краю зорнай карты).

2. У адтуліне накладнога круга будуць бачныя тыя сузор'і і зоркі, якія ў дадзены момант часу апынуцца над гарызонтам, прычым менавіта ў адзначаных на карце напрамках і месцазнаходжаннях адносна гарызонта.

3. На самым контуры адтуліны паміж яго пунктамі Пд, У і Пн размесцяцца зоркі, якія ўзыходзяць, а паміж пунктамі Пд, З і Пн — зоркі, якія заходзяць. Зоркі, закрытыя накладным кругам, у гэты момант не бачныя, таму што знаходзяцца пад гарызонтам.

4. Адпаведнасць паказанняў карты з карцінай зорнага неба, якая назіраецца, будзе больш поўнай, калі карту размясціць над сабой гарызантальна і накіраваць яе край з надпісам «поўнач» у бок паўночнага пункта гарызонта. Калі ж карта ляжыць на сталё, то трэба памятаць, што яна адлюстроўвае размяшчэнне зорак, якія знаходзяцца ўверсе, і ў думках пераносіць іх відарысы на неба ў адпаведнасці з напрамкамі бакоў гарызонта.

5. Трэба памятаць, што сузор'і на карце выяўлены ў некалькі скажоным і расцягнутым выглядзе, з-за таго што нябесную сферу, як і зямны шар, нельга перанесці на паперу без скажэнняў.

2. КАРТА ЭКВАТОРЫЯЛЬНАГА ПОЯСА ЗОРНАГА НЕБА

Гэтая карта больш дэталёва адлюстроўвае тыя часткі зорнага неба, якія знаходзяцца паблізу ад нябеснага экватара (яго месцазнаходжанне адзначана па краях 0°) і праз якія пралягае бачныя гадавы шлях Сонца па небе. На карце ён паказаны сінусаідальнай лініяй, якая перасякае нябесны экватар у пунктах вясенняга і асенняга раўнадзенства. Умоўныя абазначэнні даюцца асобна пад картай.

ГЕАГРАФІЧНЫЯ КААРДЫНАТЫ ГАРАДОЎ РЭСПУБЛІКІ БЕЛАРУСЬ

ГОРАД	ШЫРАТА (пн. ш.)	ДАўГАТА (ў. д.)	ЧАСАВЫ ПОЯС
Мінск	53° 54'	27° 33'	1 гадз 50,3 ^м 2
Баранавічы	53° 09'	26° 02'	1 гадз 44,1 ^м 2
Бабруйск	53° 08'	29° 15'	1 гадз 57,0 ^м 2
Барысаў	54° 14'	28° 31'	1 гадз 54,1 ^м 2
Брэст	52° 06'	23° 42'	1 гадз 34,8 ^м 2
Віцебск	55° 12'	30° 11'	2 гадз 00,8 ^м 2
Гомель	52° 25'	31° 00'	2 гадз 04,1 ^м 2
Гродна	53° 41'	23° 50'	1 гадз 35,3 ^м 2
Ліда	53° 53'	25° 17'	1 гадз 41,1 ^м 2
Магілёў	53° 54'	30° 19'	2 гадз 01,3 ^м 2
Мазыр	52° 08'	29° 16'	1 гадз 57,1 ^м 2
Маладзечна	54° 18'	26° 50'	1 гадз 47,3 ^м 2
Наваполацк	55° 32'	28° 37'	1 гадз 54,5 ^м 2
Орша	54° 30'	30° 26'	2 гадз 01,7 ^м 2
Пінск	52° 07'	26° 07'	1 гадз 44,5 ^м 2
Полацк	55° 29'	28° 47'	1 гадз 55,1 ^м 2
Рэчыца	52° 21'	30° 24'	2 гадз 01,6 ^м 2
Салігорск	52° 47'	27° 33'	1 гадз 50,2 ^м 2
Светлагорск	52° 39'	29° 43'	1 гадз 58,9 ^м 2
Слуцк	53° 01'	27° 33'	1 гадз 50,2 ^м 2

ДАДАТАК 5

НАЙБЛІЖЭЙШЫЯ ПОЎНЫЯ СОНЕЧНЫЯ І МЕСЯЦАВЫЯ ЗАЦЬМЕННІ

1. СОНЕЧНЫЯ ЗАЦЬМЕННІ

ДАТА	ПРАЦЯГЛАСЦЬ	ДЗЕ БУДУЦЬ НАЗІРАЦЦА
4 снеж. 2002 г.	4 мін 15 с	Паўднёвая Афрыка, Індыйскі акіян, Аўстралія
23 ліст. 2003 г.	1 мін 57 с	Антарктыда
8 крас. 2005 г.	0 мін 46 с	Ціхі акіян, Паўднёвая Амерыка
29 сак. 2006 г.	4 мін 11 с	Атлантычны акіян, Афрыка, Паўночны Каўказ, Казахстан, Паўднёва-Заходняя Сібір
1 жн. 2008 г.	2 мін 30 с	Паўночны Ледавіты акіян, Заходняя Сібір, Кітай
22 ліп. 2009 г.	6 мін 44 с	Індыя, Кітай, Ціхі акіян
11 ліп. 2010 г.	5 мін 25 с	Ціхі акіян, поўдзень Паўднёвай Амерыкі
13 ліст. 2012 г.	4 мін 06 с	Поўнач Аўстраліі, Ціхі акіян
3 ліст. 2013 г.	1 мін 44 с	Атлантычны акіян, Цэнтральная Афрыка
20 сак. 2015 г.	2 мін 50 с	Атлантычны акіян, Шпіцберген, Паўночны Ледавіты акіян
9 сак. 2016 г.	4 мін 14 с	Інданезія, Ціхі акіян
21 жн. 2017 г.	2 мін 24 с	Ціхі акіян, Паўночная Амерыка, Атлантычны акіян
2 ліп. 2019 г.	4 мін 37 с	Ціхі акіян, Паўднёвая Амерыка
14 снеж. 2020 г.	2 мін 14 с	Ціхі акіян, Паўднёвая Амерыка, Атлантычны акіян
4 снеж. 2021 г.	1 мін 54 с	Антарктыда
20 крас. 2023 г.	1 мін 20 с	Індыйскі акіян, Інданезія, Ціхі акіян
8 крас. 2024 г.	4 мін 32 с	Ціхі акіян, Паўночная Амерыка, Атлантычны акіян
12 жн. 2026 г.	2 мін 21 с	Грэнландыя, Атлантычны акіян, Іспанія
2 жн. 2027 г.	6 мін 27 с	Атлантычны акіян, Гібралтар, поўнач Афрыкі, Аравія, Індыйскі акіян
22 ліп. 2028 г.	5 мін 14 с	Індыйскі акіян, Аўстралія, Новая Зеландыя
25 ліст. 2030 г.	3 мін 47 с	Поўдзень Афрыкі, Індыйскі акіян, Аўстралія

2. МЕСЯЦАВЫЯ ЗАЦЬМЕННІ

ДАТА	СУСВЕТНЫ ЧАС		ДЗЕ БУДУЦЬ НАЗІРАЦЦА
	УСТУПЛЕННЯ МЕСЯЦА У ПАЎЦЕНЬ	ВЫХАДУ МЕСЯЦА З ПАЎЦЕННУ	
16 мая 2003 г.	01 гадз 05 мін 21 с	06 гадз 14 мін 50 с	У заходніх раёнах Расіі і Беларусі бачны толькі самыя пачатковыя фазы зацямнення
8—9 ліст. 2003 г.	22 гадз 15 мін 08 с	04 гадз 21 мін 53 с	Пачатковыя фазы бачныя на ўсёй тэрыторыі Расіі, акрамя Усходняй Сібіры. Заклучныя фазы можна назіраць у заходніх і цэнтральных раёнах Расіі і Беларусі
4 мая 2004 г.	17 гадз 50 мін 47 с	23 гадз 09 мін 27 с	Пачатковыя фазы бачныя на ўсёй тэрыторыі Расіі і Беларусі, акрамя Крайняй Поўначы і Паўночна-Усходняй Сібіры. Заклучныя фазы можна назіраць у еўрапейскай частцы Расіі і ў Беларусі
28 кастр. 2004 г.	00 гадз 05 мін 32 с	06 гадз 02 мін 38 с	Пачатковыя фазы бачныя ў еўрапейскай частцы Расіі, у Беларусі і ў Заходняй Сібіры. Заклучныя фазы можна назіраць на Чукоцкім паўвостраве
3—4 сак. 2007 г.	20 гадз 16 мін 21 с	02 гадз 25 мін 17 с	Пачатковыя фазы бачныя на ўсёй тэрыторыі Расіі і Беларусі, акрамя паўночнага ўсходу. Заклучныя фазы можна назіраць толькі ў еўрапейскай частцы Расіі і Беларусі
28 жн. 2007 г.	07 гадз 52 мін 05 с	13 гадз 22 мін 20 с	Пачатковыя фазы бачныя толькі на Чукотцы. Заклучныя фазы можна назіраць ва Усходняй Сібіры
21 лют. 2008 г.	00 гадз 34 мін 51 с	06 гадз 17 мін 06 с	Пачатковыя фазы бачныя ў еўрапейскай частцы Расіі, у Беларусі і Заходняй Сібіры. Заклучныя фазы можна назіраць на Чукоцкім паўвостраве
21 снеж. 2010 г.	05 гадз 27 мін 37 с	11 гадз 05 мін 56 с	Пачатковыя фазы бачныя на поўначы Расіі. Заклучныя фазы можна назіраць па ўсёй Сібіры і на поўначы еўрапейскай часткі Расіі
15 чэрв. 2011 г.	17 гадз 22 мін 57 с	23 гадз 02 мін 05 с	Пачатковыя фазы бачныя на ўсёй тэрыторыі Расіі, акрамя захаду, поўначы і паўночнага ўсходу. Заклучныя фазы можна назіраць у еўрапейскай частцы Расіі (акрамя поўначы і паўночнага ўсходу) і Беларусі
10 снеж. 2011 г.	11 гадз 31 мін 42 с	17 гадз 31 мін 34 с	Пачатковыя фазы бачныя на поўначы і ўсходзе еўрапейскай часткі Расіі і з усёй Сібіры. Заклучныя фазы можна назіраць з усёй тэрыторыі Расіі і Беларусі

ДАДАТАК 6

НАЙВАЖНЕЙШЫЯ ЭТАПЫ Ё АСВАЕННІ КАСМІЧНАЙ ПРАСТОРЫ

ДАТА	ПАДЗЕЯ
4 кастр. 1957 г.	Запуск першага штучнага спадарожніка Зямлі (СССР)
13 верас. 1959 г.	Упершыню КА ¹ «Месяц-2» дасягнуў паверхні Месяца (СССР)
7 кастр. 1959 г.	Упершыню перададзены на Зямлю здымкі адваротнага боку Месяца КА «Месяц-3»
1960 г.	Створаны першая карта адваротнага боку Месяца і першы ў свеце глобус Месяца пад кіраўніцтвам Ю. Н. Ліпскага (СССР)
12 крас. 1961 г.	Першы палёт чалавека ў касмічную прастору (Ю. А. Гагарын, КК ² «Усход»; СССР)
18 сак. 1965 г.	Першы выхад чалавека ў адкрыты космас (А. А. Леонаў, КК «Узыход-2»; СССР)
15 ліп. 1965 г.	Атрыманы першыя фатаграфіі Марса з блізкай адлегласці (АМС ³ «Марынер-4»; ЗША)
3 лют. 1966 г.	Першая мяккая пасадка на паверхню Месяца («Месяц-9»; СССР)
18 кастр. 1967 г.	Першае даследаванне атмасферы Венеры са спускальнага апарата «Венера-4» (СССР)
21—24 снеж. 1968 г.	Першы аблёт Месяца чалавекам (Ф. Борман, Дж. Ловел, А. Андэрс, КК «Апалон-8»; ЗША)
21 ліп. 1969 г.	Першая пасадка чалавека на Месяц з выходам на месяцавую паверхню (Н. Армстранг, Э. Олдын, КК «Апалон-11»; ЗША)
15 снеж. 1970 г.	Першая мяккая пасадка на паверхню Венеры (АМС «Венера-7»; СССР)
2 снеж. 1971 г.	Першая мяккая пасадка на паверхню Марса (АМС «Марс-3»; СССР)
11 снеж. 1973 г.	Атрыманы першыя фатаграфіі Юпітэра і яго спадарожнікаў з блізкай адлегласці (АМС «Піянер-10»; ЗША)
16—18 снеж. 1973 г.	Першы беларускі касманаўт П. І. Клімук здзейсніў палёт на КК «Саюз-13» (усяго выканаў 3 палёты агульнай працягласцю 78 сут 18 гадз 18 мін 42 с; СССР)
29—30 сак. 1974 г.	Першыя даследаванні Меркурыя з пралётнай траекторыі (КА «Марынер-10»; ЗША)

ДАТА	ПАДЗЕЯ
20 ліп. і 4 верас. 1976 г.	Першыя эксперыменты па пошуку жыцця на Марсе (АМС «Вікінг-1» і «Вікінг-2»; ЗША)
9—11 кастр. 1977 г.	Беларускі касманаўт У. В. Кавалёнак здзейсніў папёт на КК «Саюз-25» (усяго выканаў 3 палёты агульнай працягласцю 216 сут 9 гадз 9 мін 40 с; СССР)
1 верас. 1979 г.	Атрыманы першыя фатаграфіі Сатурна і яго спадарожнікаў з блізкай адлегласці (АМС «Піянер-11»; ЗША)
6—9 сак. 1986 г.	Атрыманы першыя фатаграфіі ядра каметы Галей («Vega-1» і «Vega-2»; СССР)
Студз. 1986 г.	Атрыманы першыя фатаграфіі Урана і яго спадарожнікаў з пралётнай траекторыі (АМС «Вояджэр-2»; ЗША)
Жн. 1989 г.	Атрыманы першыя фатаграфіі Нептуна і спадарожнікаў з блізкай адлегласці (АМС «Вояджэр-2»; ЗША)
24 крас. 1990 г.	Выведзены на арбіту штучны спадарожнік Зямлі з аптычным Касмічным тэлескопам Хабла (КТХ; ЗША) дыяметрам 2,4 м
29 кастр. 1991 г.	Атрыманы першыя фатаграфіі астероіда Гаспра з блізкай адлегласці (АМС «Галілео»; ЗША)
12 лют. 2000 г.	Першая пасадка КА «NEAR» на астероід Эрас (ЗША)

Заўвагі: ¹КА — касмічны апарат.

²КК — касмічны карабель.

³АМС — аўтаматычная міжпланетная станцыя.

ДАДАТАК 7

ДЫНАМІЧНЫЯ ХАРАКТАРЫСТЫКІ ПЛАНЕТ

ПАРАМЕТРЫ	ПЛАНЕТЫ								
	МЕРКУРЫЙ	ВЕНЕРА	ЗЯМЛЯ	МАРС	ЮПІТЕР	САТУРН	УРАН	НЕПТУН	ПЛУТОН
Сярэдняя адлегласць да Сонца, а. а.	0,387	0,723	1,000	1,524	5,203	9,54	19,18	30,1	39,4
Сідэрычны перыяд абарачэння	88,0 сут	224,7 сут	365,26 сут	687,0 сут	11,86 года	29,46 года	84,0 года	164,8 года	247,7 года
Сінадычны перыяд абарачэння, сут	115,9	583,9	—	779,9	398,9	378,1	369,7	367,5	366,7
Эксцэнтрысітэт арбіты	0,207	0,0067	0,0167	0,0934	0,0484	0,0557	0,0471	0,0087	0,247
Нахіл арбіты да экліптыкі	7°01′	3°24′	—	1°51′	1°18′	2°29′	0°46′	1°46′	17°08′

ФІЗІЧНЫЯ ХАРАКТАРЫСТЫКІ ПЛАНЕТ

ПАРАМЕТРЫ	ПЛАНЕТЫ								
	МЕРКУРЫЙ	ВЕНЕРА	ЗЯМЛЯ	МАРС	ЮПІТЕР	САТУРН	УРАН	НЕПТУН	ПЛУТОН
Маса (у параўнанні з масай Зямлі)	0,055	0,816	1,000	0,107	318	95,1	14,6	17,2	0,0024
Радыус, км	2439	6051	6378	3393	71 400	60 400	24 300	25 050	1151
Сярэдняя шчыльнасць, $\times 10^3$ кг/м ³	5,4	5,2	5,5	3,9	1,3	0,7	1,6	1,7	2,0
Перыяд вярчэння	58,8 сут	243 сут	23 гадз 56 мін	24 гадз 37 мін	9 гадз 50 мін	10 гадз 14 мін	17 гадз 14 мін	16 гадз 7 мін	6,4 сут
Нахіл экватара да плоскасці	7°	3°24′	23°26′	25°12′	3°07′	26°45′	82°	29°	118°
Колькасць вядомых спадарожнікаў	—	—	1	2	28	30	31	8	1

ХІМІЧНЫ САСТАЎ АТМАСФЕР ПЛАНЕТ ЗЯМНОЙ ГРУПЫ, %

НАЗВА ГАЗУ	ПЛАНЕТА		
	ВЕНЕРА	ЗЯМЛЯ	МАРС
CO ₂	96,5	0,03	95
N ₂	3,5	78	2,5
O ₂	10 ⁻³	25	0,1
Ar	1,5·10 ⁻²	0,9	1,5
Сярэдняя малекулярная маса, г/моль	43,5	28,8	43,5

ДАДАТАК 9

ДАВЕДАЧНЫЯ ДАНЫЯ АБ ЗЯМЛІ

ПАРАМЕТРЫ	ВЕЛІЧЫНЯ
Экватарыяльны радыус, км	6378,140
Палярны радыус, км	6356,755
Сярэдні радыус, км	6371,004
Паверхня Зямлі, км 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 атмасферы 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
Паскарэнне сілы цяжару на Зямлі (на шыраце 45°), м/с ²	9,806

ДАВЕДАЧНЫЯ ДАНЫЯ АБ МЕСЯЦЫ

ПАРАМЕТРЫ	ВЕЛІЧЫНЯ
Мінімальная адлегласць ад Зямлі, км	356 410
Максімальная адлегласць ад Зямлі, км	406 740
Сярэдняя адлегласць ад Зямлі, км	384 400
Эксцэнтрысітэт арбіты	0,0549
Нахіл плоскасці арбіты да экліптыкі	5°08'43"
Перыяд абарачэння па арбіце, сут	27,32
Перыядычнасць змен фаз Месяца, сут	29,53
Сярэдні вуглавы радыус Месяца	15'33"
Маса, кг	$7,35 \cdot 10^{22}$
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 месяцавай паверхні, лк	16
Сярэдняя адбівальная здольнасць ад усёй месяцавай паверхні, %	12,44
Адбівальная здольнасць мацерыковых зон, %	13,44
Адбівальная здольнасць марскіх зон, %	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 у выніку лібрацыі, %	59

ДАДАТАК 11

АРБИТАЛЬНЫЯ ХАРАКТАРЫСТЫКІ АСТЭРОІДАЎ, НАЗВЫ ЯКІХ ЗВЯЗАНЫ З РЭСПУБЛІКАЙ БЕЛАРУСЬ

НУМАР АСТЭРОІДА	НАЗВА	ЗОРНАЯ ВЕЛІЧЫНА [*] , m	ВЯЛІКАЯ ПАЎВОСЬ АРЫТЫ, а. а.	ЭКСЦЭНТРЫСІТЭТ АРЫТЫ	НАХІЛ АРЫТЫ, градусы	ДЫЯМЕТР, км	ПАХОДЖАННЕ НАЗВЫ
807	Цэраскія	10,6	3,019	0,060	11,3	27	Названы ў гонар астранома В. К. Цэраскага, які нарадзіўся ў г. Слуцку Мінскай вобл.
1167	Дубяга	9,9	3,404	0,077	6,3	17	Названы ў гонар астраномаў Дз. І. Дубягі і А. Дз. Дубягі (бацька і сын). Дзмітрый Іванавіч нарадзіўся ў с. Соіна Мсціслаўскага павета (цяпер Магілёўская вобл.)
1734	Жангаловіч	11,4	2,780	0,231	8,34	17	Названы ў гонар астранома І. Д. Жангаловіча, які нарадзіўся ў г. Гродне
1861	Каменскі	11,8	3,017	0,070	10,5		Названы ў гонар прафесара астраноміі Варшаўскага ўніверсітэта М. Каменскага, які нарадзіўся ў Магілёўскай губерні
1959	Карбышаў	12,7	2,315	0,134	6,2		Названы ў гонар генерал-лейтэнанта інжынерных войскаў Дз. М. Карбышава. Пад яго кіраўніцтвам была рэканструявана Брэсцкая крэпасць. Пачатак вайны сустрэў у г. Гродне. Загінуў у фашысцкім палоне ў 1945 г.
2108	Ота Шміт	11,5	2,436	0,006	10,8	16	Названы ў гонар вядомага вучонага О. Ю. Шміта, які нарадзіўся ў г. Магілёве
2132	Жукаў	11,2	2,780	0,082	2,1		Названы ў гонар папкаводца Г. К. Жукава, які каардынаваў узаемадзеянне франтоў пры вызваленні Беларусі ад фашысцкіх захопнікаў у 1944 г.
2170	Беларусь	13,5	2,405	0,181	2,08		Названы ў гонар Беларускай ССР. Адкрыты на Крымскай астрафізічнай абсерваторыі ў 1971 г.
2251	Ціхаў	11,6	2,710	0,149	7,44	16	Названы ў гонар астранома Г. А. Ціхава, які нарадзіўся ў мястэчку Смалявічы пад Мінскам
2296	Хатынь	11,4	3,183	0,166	1,25		Увекавечвае памяць жыхароў в. Хатынь Мінскай вобл. і іншых беларускіх сёл, знішчаных фашыстамі разам з насельніцтвам у 1941—1944 гг.

НУМАР АСТЭРОІДА	НАЗВА	ЗОРНАЯ ВЕЛІЧЫНА*, m	ВЕЛІКАЯ ПАЎВОСЬ АРЫТЫ, в. а.	ЭКСЦЭНТРЫСІТЭТ АРЫТЫ	НАХІЛ АРЫТЫ, градусы	ДЫЯМЕТР, км	ПАХОДЖАННЕ НАЗВЫ
2426	Сіманаў	11,6	2,910	0,116	8,49	18	Названы ў гонар пісьменніка і паэта К. М. Сіманава. Прах паэта, паводле завяшчання, развезены над Буінавіцкім полем пад Магілёвам
2445	Блажко	12,9	2,268	0,148	6,07	9	Названы ў гонар астранома С. М. Блажко, які нарадзіўся ў г.п. Хоцімску Магілёўскай вобл.
2540	Гастэла	13,2	2,197	0,052	1,27		Названы ў гонар беларуса, лётчыка М. Ф. Гастэлы, які загінуў у першыя дні Вялікай Айчыннай вайны пад мястэчкам Радашковічы Мінскай вобл.
2981	Шагал	11,8	3,145	0,170	0,84		Названы ў гонар вядомага жывапісца і графіка М. Шагала, які нарадзіўся ў г. Віцебску
3012	Мінск	11,1	3,226	0,060	18,3		Названы ў гонар сталіцы Рэспублікі Беларусь
3113	Чыжэўскі	13,2	2,428	0,075	5,0		Названы ў гонар заснавальніка касмічнага прыродазнаўства А. Л. Чыжэўскага, які нарадзіўся ў мястэчку Цехановец Гродзенскай вобл.
3232	Брэст	11,8	3,022	0,081	9,8		Названы ў гонар абласнога цэнтра Рэспублікі Беларусь
3283	Скарына	12,9	2,396	0,101	6,9		Названы ў гонар беларускага першадрукара, асветніка і філосафа Францыска Скарыны
3482	Лясная	12,3	2,782	0,169	4,7	14	Названы ў гонар в. Лясная Магілёўскай вобл., паблізу якой руская армія пад камандаваннем Пятра Першага перамагла шведаў
3501	Алегія	11,7	2,921	0,090	5,0	17	Названы ў гонар папулярызатара астраноміі А. М. Коратцава, які нарадзіўся ў г. Слаўгарадзе Магілёўскай вобл.

* Пры ўмове знаходжання астэроіда на аднолькавай адлегласці ад Сонца і Зямлі, роўнай 1 а. а.

МЕТЭАРЫТЫ, ЗНОЙДЗЕНЫЯ НА ТЭРЫТОРЫІ РЭСПУБЛІКІ БЕЛАРУСЬ

НАЗВА МЕТЭАРЫТА	МЕСЦА ЗНАХОДКІ	ЧАС ЗНАХОДКІ ЦІ ПАДЗЕННЯ	САСТАЎ І КЛАС	МАСА, кг
Брагін	Брагінскі р-н Гомельскай вобл. (знаходка)	1807—1968 гг.	Жалеза- каменны, паласіт	800
Грэск	Слуцкі р-н Мінскай вобл. (знаходка)	1954 г.	Гексаэдрыт	300
Жмень (Цмень)	Столінскі р-н Брэсцкай вобл. (падзенне)	Жн. 1858 г.	Каменны, гавардыт	0,246
Заброддзе	Вілейскі р-н Мінскай вобл. (падзенне)	22 верас. 1893 г.	Каменны, хандрыт	3,155
Ружаны	Пружанскі р-н Брэсцкай вобл. (падзенне)	7 снеж. 1894 г.	—	—
Чорны Бор	Быхаўскі р-н Магілёўскай вобл. (знаходка)	1965 г.	Каменны, хандрыт	8

- Заўвагі:**
1. Калі метэарыт знойдзены адразу пасля пралёту баліда, гавораць аб падзенні метэарыта; калі знойдзены метэарыт з невядомай датай падзення, гавораць аб знаходцы.
 2. Аб саставе, форме і масе метэарыта Ружаны нічога не вядома.
 3. Часткі метэарыта Брагін знаходзілі з 1807 да 1968 г.

НАЙБУЙНЕЙШЫЯ АПТЫЧНЫЯ ТЭЛЕСКОПЫ СВЕТУ

НАЗВА ТЭЛЕСКОПА	МЕСЦА- ЗНАХОДЖАННЕ	ДЗЯРЖАВА- УЛАДАЛЬНІК	ДЫЯМЕТР ГАЛОУНАГА ЛЮСТЭРКА, м	ВЫШЫНЯ НАД УЗРОУНЕМ МОРА, м	ГОД УВАДЗЕННЯ У СТРОЙ
ТЭЛЕСКОПЫ-РЭФЛЕКТАРЫ					
VLT	Сера-Параналь, Чылі	Краіны Зах. Еўропы	8,2×4	2635	1998– 2001
Тэлескопы «Кек-1» і «Кек-2»	г. Маўна-Кеа, Гавайскія а-вы	ЗША	9,8×2	4150	1991, 1996
Вялікі Бінаку- лярны Тэлескоп — LBT	Маўнт-Грэхем, Арызона, ЗША	ЗША	8,4×2	3170	2004
Тэлескоп імя В. Хобі і Р. Эберлі — HET	Маўнт-Фойлкес, Тэхас, ЗША	ЗША	9,1	2002	1997
Вялікі Паўднёва- афрыканскі Тэлескоп — SALT	Сатэрленд, ПАР	ЗША	9,1	1798	2003
«Субару»	г. Маўна-Кеа, Гавайскія а-вы	Японія	8,2	4139	1999
«Джэміні» (паўночны)	г. Маўна-Кеа, Гавайскія а-вы	ЗША	8,1	4214	1999
«Джэміні» (паўднёвы)	Сера-Пачон, Чылі	ЗША	8,1	2715	2001
«Магелан-1» і «Магелан-2»	Лас-Кампанас, Чылі	ЗША	6,5×2	2300	1999, 2002
Вялікі Тэлескоп Азімутальны — BTA	г. Пастухова, Паўн. Каўказ	Расія	6,0	2070	1975
Вялікі Зенітны Тэлескоп — LZT	Мэпл-Рыдж, Брытанская Капунбія	Канада	6,0	395	2000
Тэлескоп імя Джор- джа Хейла	Маўнт-Паламар, Каліфорнія, ЗША	ЗША	5,1	1706	1948
Тэлескоп імя Уільяма Гершэля — WHT	Ла-Пальма, Канарскія а-вы	Англія	4,2	2332	1987

Заканчэнне дадат. 13

НАЗВА ТЭЛЕСКОПА	МЕСЦА- ЗНАХОДЖАННЕ	ДЗЯРЖАВА- УЛАДАЛЬНІК	ДЫЯМЕТР ГАЛЮНАГА ЛЮСТЭРКА, м	ВЫШЫНЯ НАД УЗРОУНЕМ МОРА, м	ГОД увадзення у строй
ТЭЛЕСКОПЫ-РЭФРАКТАРЫ					
40-цалёвы Йерскі рэфрактар	Вільямс-Бэй, Велінгтан, ЗША	ЗША	1,02	334	1897
36-цалёвы Лікскі рэфрактар	Маўнт-Гамільтан, Каліфорнія, ЗША	ЗША	0,90	1290	1888
33-цалёвы Ме- донскі рэфрактар	Медон, Францыя	Францыя	0,83	162	1889
Патсдамскі рэфрактар	Патсдам, Германія	Германія	0,80	107	1899
30-цалёвы рэфрактар імя Вільяма Таў	Пітсбург, Пенсільванія, ЗША	ЗША	0,76	380	1985
ТЭЛЕСКОПЫ СІСТЭМЫ ШМІТА					
Таўтэнбургскі 2-метровы тэлескоп	Таўтэнбург, Германія	Германія	1,34 (2,00)	331	1960
48-цалёвы «Вялікі Шміт»	Маўнт-Паламар, Каліфорнія, ЗША	ЗША	1,24 (1,83)	1706	1948
Брытанскі тэлескоп Шміта	Сайдзінг-Спрынг, Аўстралія	Англія	1,24 (1,83)	1145	1973
Тэлескоп Шміта Кісаў- скай абсерваторыі	Кіса, Японія	Японія	1,05 (1,50)	1130	1975
Тэлескоп Шміта Бюраканскай абсерваторыі	г. Арагац, Арменія	Арменія	1,00 (1,50)	1450	1961
КАСМІЧНЫЯ ТЭЛЕСКОПЫ					
Касмічны тэлескоп Хабла — КТХ	Арбіта штучнага спадарожніка Зямлі	ЗША	2,4	—	1990

ДАВЕДАЧНЫЯ ДАНЫЯ АБ СОНЦЫ

ПАРАМЕТРЫ	ВЕЛІЧЫНЯ
Паралакс Сонца пры сярэдняй адлегласці Зямлі ад Сонца, "	8,794
Сярэдняя адлегласць ад Зямлі да Сонца, км	149 600 000
Дыяметр Сонца, км	1 392 000
Бачны вуглавый 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 вярчэння пункта экватара, сут	25,380
Сінадычны перыяд вярчэння пункта экватара, сут	27,275
Нахіл экватара да экліптыкі	7°15'
Свяцільнасць Сонца, Дж/с	$3,88 \cdot 10^{26}$
Эфектыўная тэмпература паверхні Сонца, К	5807
Абсалютная фотавізуальная зорная велічыня	+4,96 ^m
Скорасць руху Сонца адносна навакольных зорак, км/с	19,5
Апекс руху Сонца	$\alpha = 270^\circ = 18^{\text{гадз}}00^{\text{м}} \delta = +30^\circ$
Адлегласць Сонца ад цэнтра Галактыкі, клк	10
Скорасць руху Сонца вакол цэнтра Галактыкі, км/с	250
Перыяд абарачэння Сонца вакол цэнтра Галактыкі, млн гадоў	200–250
Сярэдняя працягласць поўнага цыкла сонечнай актыўнасці, гадоў	22,11

ДАДАТАК 15

ФІЗІЧНЫЯ ХАРАКТАРЫСТЫКІ НЕКАТОРЫХ ЯРКІХ ЗОРАК

АБАЗНАЧЭННЕ У СУЗОРІ	НАЗВА ЗОРКІ	ЭКВАТАРЫЯЛЬНЫЯ КААРДЫНАТЫ		БЛІСК, m	СПЕКТР	ТЭМПЕРАТУРА, K	ПАРАЛАКС	УЛАСНЫ РУХ	ПРЯМЯНОВАЯ СКОРАСЦЬ, км/с
		α	δ						
α Андромеды	Альферац**	00 ^{гадз} 08 ^м	+29° 05'	2,02	B 8	13 600	0,025"	0,209"	-11,7
α Эрыдана	Ахернар	01 ^{гадз} 36 ^м	-57° 28'	0,47	B 5	15 000	0,034"	0,083"	+19
α Аўна	Гамаль	02 ^{гадз} 07 ^м	+23° 28'	2,00	K 2	4000	0,043"	0,241"	-14,4
α Малой Мядзведзіцы	Палярная*	02 ^{гадз} 32 ^м	+89° 16'	1,94	F 7	5800	0,003"	0,046"	-16,4
α Персея	Мірфак	03 ^{гадз} 24 ^м	+49° 52'	1,79	F 5	6700	0,028"	0,035"	-2,8
α Цяльца	Альдэбаран*	04 ^{гадз} 36 ^м	+16° 31'	0,75	K 5	3300	0,049"	0,202"	+54,1
β Арыёна	Рыгель**	05 ^{гадз} 15 ^м	-8° 12'	1,12	B 8	11 800	0,009"	0,001"	+20,7
α Возніка	Калэла	05 ^{гадз} 17 ^м	+46° 00'	0,08	G 5	5000	0,074"	0,435"	+29,1
γ Арыёна	Белатрыкс	05 ^{гадз} 25 ^м	+6° 21'	1,64	B 2	17 100	0,023"	0,015"	+18,2
α Арыёна	Бетэльгейзе*	05 ^{гадз} 55 ^м	+7° 24'	0,4-1,3	M 1	2900	0,005"	0,028"	+21,8
α Кіля	Канопус	06 ^{гадз} 23 ^м	-52° 41'	-0,73	F 0	9100	0,018"	0,022"	+20
α Вялікага Пса	Сірыус**	06 ^{гадз} 45 ^м	-16° 43'	-1,46	A 1	11 200	0,376"	1,324"	-7,6
α Блізнят	Кастар**	07 ^{гадз} 35 ^м	+31° 53'	1,58	A 2	10 600	0,070"	0,198"	+4,0
α Малога Пса	Працыён	07 ^{гадз} 39 ^м	+5° 14'	0,38	F 5	6800	0,087"	1,250"	-3,6
β Блізнят	Полукс**	07 ^{гадз} 45 ^м	+28° 02'	1,14	K 0	4400	0,093"	0,625"	+3,5
α Гідры	Альфард	09 ^{гадз} 28 ^м	-8° 40'	1,98	K 3	3500	0,020"	0,034"	-4,6
α Льва	Рэгул**	10 ^{гадз} 08 ^м	+11° 58'	1,35	B 7	13 600	0,040"	0,248"	+5,0

АБАЗНАЧЭННЕ У СУЗОРІ	НАЗВА ЗОРКІ	ЭКВАТАРЫЯЛЬНЫЯ КААРДЫНАТЫ		ВЯСК, m	СПЕКТР	ТЭМПЕРАТУРА, К	ПАРАЛАКС	УЛАСНЫ РУХ	ПРАМЯЧОВАЯ СКОРАСЦЬ, км/с
		α	δ						
α Вялікай Мядзведзіцы	Дубхе**	11 ^{гадз} 04 ^м	+61° 45'	1,79	K 0	4200	0,031"	0,138"	-9,0
β Льва	Дзенебола	11 ^{гадз} 49 ^м	+14° 34'	2,14	A 3	9900	0,076"	0,511"	-0,6
ζ Вялікай Мядзведзіцы	Міцар**	13 ^{гадз} 22 ^м	+55° 18'	2,4	A 2	10 000	0,037"	0,127"	-5,6
α Дзевы	Спіка	13 ^{гадз} 25 ^м	-11° 10'	0,98	B 1	17 600	0,019"	0,054"	+3,0
α Валапаса	Арктур	14 ^{гадз} 16 ^м	+19° 11'	-0,04	K 1	3900	0,091"	2,284"	-5,3
α Цэнтаўра	Таліман	14 ^{гадз} 38 ^м	-60° 44'	0,33	G 2	5400	0,746"	3,674"	+22,2
α Паўночнай Кароны	Гема*	15 ^{гадз} 35 ^м	+26° 43'	2,23	A 0	11 600	0,044"	0,154"	+1,6
α Скарпіёна	Антарэс**	16 ^{гадз} 29 ^м	-26° 26'	0,9-1,8	M 1	2900	0,019"	0,029"	-3,2
α Змеяноса	Рас Альхаг	17 ^{гадз} 35 ^м	+21° 34'	2,08	A 5	9100	0,056"	0,260"	+12,7
α Ліры	Вега	18 ^{гадз} 37 ^м	+38° 47'	0,03	A 0	11 300	0,123"	0,345"	-13,9
α Арла	Альтаір**	19 ^{гадз} 51 ^м	+8° 52'	0,77	A 7	8400	0,198"	0,658"	-26,3
α Лебедзя	Дзенеб	20 ^{гадз} 41 ^м	+45° 17'	1,25	A 2	9900	0,004"	0,003"	-4,6
α Паўднёвай Рыбы	Фомальгаўт	22 ^{гадз} 58 ^м	-29° 37'	1,16	A 3	9800	0,147"	0,367"	+6,3

* — пераменная зорка.

** — падвойная зорка.

АСТРАНОМЫ, ЯКІЯ ПАХОДЗЯЦЬ З БЕЛАРУСІ

Блажко Сяргей Мікалаевіч (17.11.1879—11.02.1956). Нарадзіўся ў г. п. Хоцімску Магілёўскай вобласці. Пасля заканчэння Маскоўскага ўніверсітэта працаваў ва ўніверсітэцкай абсерваторыі і выкладаў курсы агульнай і практычнай астраноміі. Прафесар, заслужаны дзеяч навукі РСФСР, член-карэспандэнт АН СССР. Узначалваў Камісію па вывучэнні пераменных зорак пры Астранамічным савеце АН СССР. Асноўныя навуковыя працы прысвечаны даследаванню перыядаў і формы крывой бляску шэрага кароткаперыядчных пераменных зорак тыпу RR Ліры. Гэтыя з’явы названы «эфектам Блажко». Адным з першых падрабязна даследаваў U Цэфея ў фазе нармальнай яркасці і ў мінімуме бляску. Прапанаваў новы метада выяўлення малых планет. Адзін з кратэраў на Месяцы названы яго імем.

Гаўрылаў Ігар Уладзіміравіч (17.05.1928—19.10.1982). Нарадзіўся ў мястэчку Рубяжэвічы Мінскай вобласці. Скончыў фізіка-матэматычны факультэт Вільнюскага ўніверсітэта. Працаваў у Галоўнай астранамічнай абсерваторыі АН УССР. Асноўныя навуковыя працы прысвечаны селенадзіі і фатаграфічнай астраметрыі. Пад яго кіраўніцтвам складзены першыя ў СССР селенадзічныя каталогі месцазнаходжанняў пунктаў бачнага боку Месяца, якія мелі вялікае значэнне для праграм вывучэння Месяца з дапамогай касмічных апаратаў і картаграфаванняў месяцавай паверхні. Выканаў цыкл даследаванняў па вызначэнні параметраў геаметрычнай фігуры Месяца. Яго імем названы адзін з кратэраў на Месяцы.

Дубяга Дзмітрый Іванавіч (03.10.1849—22.10.1918). Нарадзіўся ў сяле Соіна Мсціслаўскага павета (зараз Смаленская вобласць, Расія). Скончыў Пецярбургскі ўніверсітэт. Працаваў дырэктарам заснаванай ім абсерваторыі імя В. П. Энгельгарта каля г. Казані, рэктарам Казанскага ўніверсітэта. Асноўныя навуковыя працы прысвечаны тэарэтычнай астраноміі і гравіметрыі. Даследаваў арбіту спадарожніка Нептуна — Трытона. Стварыў тэорыю руху астразоіда Дыяна. Яго імем названы кратэр на Месяцы.

Жангалоўіч Іван Данілавіч (20.02.1892—29.07.1981). Нарадзіўся ў г. Гродне. Скончыў Петраградскі ўніверсітэт. Заслужаны дзеяч навукі РСФСР. Выкладаў у Ваенна-марскай акадэміі імя К. Я. Варашылава, працаваў дырэктарам Інстытута тэарэтычнай астраноміі АН СССР. Удзельнічаў у экспедыцыях па вывучэнні Курскай магнітнай анамаліі, па даследаванні Паўночнага Ледавітага акіяна, у высокашыротных экспедыцыях у раёны Арктыкі і інш. Асноўныя навуковыя працы прысвечаны тэарэтычнай, практычнай і эфемерычнай астраноміі, вывучэнню фігуры і гравітацыйнага поля Зямлі, спадарожнікавай геадзіі, геофізіцы. Распрацаваў спосаб вызначэння масы Зямлі па назіраннях штучных спадарожнікаў Зямлі. Яго імем названа малая планета.

Зяльдовіч Якаў Барысавіч (08.03.1914—02.12.1987). Нарадзіўся ў г. Мінску. Акадэмік АН СССР. Працаваў у Дзяржаўным астранамічным інстытуце імя П. К. Штэрнберга. Адзін са стваральнікаў рэлятывісцкай астрафізікі — новай галіны навукі, у якой агульная тэорыя адноснасці дастасавана да астранамічных аб’ектаў. Распрацаваў тэорыю звышмасіўных зорак. Дэталёва вывучыў уласцівасці чорных дзір і працэсы, якія працякаюць у іх наваколі.

Каменскі Міхаіл (24.11.1879—18.04.1973). Нарадзіўся ў Магілёўскай вобласці. Член-карэспандэнт Польскай АН; стваральнік польскай каметнай школы. Скончыў Пецярбургскі ўніверсітэт. Працаваў у Пулкаўскай абсерваторыі, астраномам ваеннага порта ва Уладзівастоку. У 1922 г. пераехаў у Польшчу. Быў прафесарам астраноміі і дырэктарам абсерваторыі Варшаўскага ўніверсітэта. Асноўныя навуковыя працы прысвечаны каметнай астраноміі (каметы Вольфа 1 і Галей). Распрацаваў новы метада ацэньвання планетных узбурэнняў каметнай арбіты і выкарыстаў яго для вывучэння каметы Галей на працягу вялікага інтэрвалу часу. Выканаў шэраг даследаванняў па праблемах зямнога магнетызму, астраметрыі, метэаралогіі.

Ліпскі Юрый Навумавіч (22.11.1909—24.01.1978). Нарадзіўся ў г. Дуброўне Віцебскай вобласці. Скончыў Маскоўскі ўніверсітэт. Працаваў у Дзяржаўным астранамічным інстытуце імя П. К. Штэрнберга і выкладаў у Маскоўскім ўніверсітэце. Асноўныя навуковыя працы прысвечаны даследаванню Месяца і планет. Распрацаваў новыя метады спектрафотаметрычных даследаванняў. Прымаў актыўны ўдзел у даследаванні Месяца з дапамогай касмічных лятальных апаратаў. Кіраваў стварэннем першай карты адваротнага боку Месяца і першага ў свеце глобуса Месяца. Пад яго кіраўніцтвам падрыхтаваны «Каталог кратэраў Меркурыя і Месяца», «Каталог кратэраў Марса, Меркурыя і Месяца». Яго імем названы кратэры на Марсе і Месяцы.

Прыіпкі Мікалай Хрыстафоравіч (27.10.1896—23.02.1946). Нарадзіўся ў Рэжыцы (зараз Віцебскай вобласці). Скончыў Саратаўскі ўніверсітэт. Быў кіраўніком лабараторыі Галоўнай палаты мер і вагаў (пазней ВНДІ метралогіі імя Дз. І. Мендзялева). Прафесар. Навуковыя працы прысвечаны пераважна астранамічнаму вызначэнню часу. Распрацаваў метадыку ўсіх асноўных аперацый па вызначэнні дакладнага часу, прыёме рытмічных радыёсігналаў, захаванні часу.

Хайкін Сямён Эмануілавіч (21.08.1901—30.07.1986). Нарадзіўся ў г. Мінску. Скончыў Маскоўскі ўніверсітэт. Прафесар. Працаваў у Маскоўскім ўніверсітэце, быў загадчыкам сектара радыёастраноміі лабараторыі ваганняў Галоўнай астранамічнай абсерваторыі АН СССР. Заснавальнік савецкай эксперыментальнай радыёастраноміі. Распрацаваў шэраг прылад радыёастранамічнай апаратуры і метадаў назіранняў, з дапамогай якіх была выяўлена і вывучана моцная кругавая палярызцыя выпрамянення актыўных зон Сонца, дэтэлева даследаваны «радыёплямы». Кіраваў распрацоўкай праекта радыётэлескопа РАТАН-600.

Ціхаў Гаўрыла Адрыянавіч (01.05.1875—25.01.1960). Нарадзіўся ў г. п. Смалявічы Мінскай вобласці. Скончыў Маскоўскі ўніверсітэт. Акадэмік АН КазССР. Узначальваў астрафізічнае аддзяленне ў Дзяржаўным прыродазнаўчанавуковым інстытуце імя П. Ф. Лесгафта ў Ленінградзе, загадваў сектарам астрабатанікі АН КазССР. Асноўныя навуковыя працы прысвечаны фотаметрыі і каларыметрыі зорак і планет, атмасфернай оптыцы. Прапанаваў 2 метады выяўлення дысперсіі святла ў сусветнай прасторы — па рознасці фаз крывых бляску пераменных зорак. У час вялікага процістаяння Марса (1909 г.) атрымаў яго першыя фатаграфіі ў розных участках спектра. Займаўся вывучэннем фізічнай прыроды Марса, аптычных уласцівасцей зямной атмасферы. Яго імем названы кратэры на Марсе і Месяцы.

Цэраскі Вітольд Карлавіч (09.05.1849—29.05.1925). Нарадзіўся ў г. Спудку Мінскай вобласці. Скончыў Маскоўскі ўніверсітэт. Член-карэспандэнт Пецярбургскай АН. Адзін з піянераў выкарыстання фатаграфіі ў астраноміі. Склаў фотаметрычныя каталогі шэрага зорак. Правёў важныя эксперыменты па вызначэнні тэмпературы Сонца. Арганізаваў у Маскоўскай абсерваторыі сістэматычныя пошукі і вывучэнне пераменных зорак фатаграфічным шляхам. Прапанаваў аналітычны спосаб вызначэння каардынат метэорнага радыянта і метадаў вызначэння вуглавой скорасці метэораў. Яго імем названы кратэры на Марсе і Месяцы.

Шміт Ота Юльевіч (30.08.1891—07.09.1956). Нарадзіўся ў г. Маріп'еве. Скончыў Кіеўскі ўніверсітэт. Акадэмік АН СССР і АН УССР. Узначальваў многія экспедыцыі па даследаванні Арктыкі. Па яго ініцыятыве быў заснаваны Інстытут тэарэтычнай геофізікі АН СССР, які О. Ю. Шміт узначальваў з 1937 да 1949 г. Навуковыя працы ў галіне матэматыкі, геофізікі, астраноміі. Асноўныя астранамічныя даследаванні прысвечаны касмагоніі Сонечнай сістэмы. Заклаў асновы шматлікіх даследаванняў па развіцці тэорыі ўтварэння Зямлі і планет з цвёрдых часцінак вярчальнага газапылавага воблака, захоплення Сонцам. Яго імем названы кратэры на Марсе і Месяцы.

Прадмова	3
РАЗДЗЕЛ I. Уважэнні	4
§ 1. Прадмет астраноміі	4
РАЗДЗЕЛ II. Асновы практычнай астраноміі	13
§ 2. Зорнае неба	13
§ 3. Нябесныя каардынаты	19
§ 4. Вызначэнне геаграфічнай шыраты	24
§ 5. Вымярэнне часу. Вызначэнне геаграфічнай даўгаты	26
РАЗДЗЕЛ III. Рух нябесных цел	35
§ 6. Гэліяцэнтрычная сістэма Канепніка	35
§ 7. Бачны рух Сонца і Месяца	42
§ 8. Законы Кеплера	51
§ 9. Закон сусветнага прыцягнення Ньютана	53
§ 10. Вызначэнне памеру нябесных цел і атлетласцей да іх	59
§ 11. Рух касмічных апаратаў	64
РАЗДЗЕЛ IV. Парунальная планеталогія	71
§ 12. Агульныя характарыстыкі планет. Паходжанне Сонечнай сістэмы	71
§ 13. Планеты зямной групы	76
§ 14. Планеты-гігanty. Плутон	84
§ 15. Месяц. Стадарожнікі планет	92
§ 16. Малыя целы Сонечнай сістэмы	100
РАЗДЗЕЛ V. Методы даследавання нябесных цел	109
§ 17. Даследаванні электрамагнітнага выпрамянення нябесных цел	109
§ 18. Спектральны аналіз у астраноміі	119
РАЗДЗЕЛ VI. Сонца — дзеёная зорка	126
§ 19. Сонца як зорка	126
§ 20. Будова сонечнай атмасферы	130
§ 21. Уплыў Сонца на жыццё Зямлі	135
РАЗДЗЕЛ VII. Зоркі	139
§ 22. Асновы характарыстыкі зорак. Сваяльнасць	139
§ 23. Тэмпература і памеры зорак	143
§ 24. Падвойныя зоркі. Маса зорак	148
§ 25. Эвалюцыя зорак	152
§ 26. Нестэцыйнасныя зоркі	157
РАЗДЗЕЛ VIII. Будова і эвалюцыя Сусвету	165
§ 27. Наша Галактыка	165
§ 28. Міжзорны газ і пыл	171
§ 29. Зорныя сістэмы — галактыкі	176
§ 30. Расшыраваны Сусвет	186
§ 31. Жыццё і розум у Сусвеце	192
Далаткі	199

(Назва і нумар школы)

Навучальны год	Імя і прозвішча вучня	Стан вучэбнага дапаможніка пры атрыманні	Ацэнка вучню за карыстанне вучэбным дапаможнікам
20			
20 /			
20 /			
20 /			
20 /			
Вучэбны дапаможнік выпушчаны за кошт сродкаў дзяржаўнага бюджэту для фондаў бібліятэк па заказе Міністэрства адукацыі Рэспублікі Беларусь, свабоднаму продажу не падлягае			

Вучэбнае выданне

Гадуза Іларыён Віктаравіч
Голубеў Уладзімір Аляксандравіч
Шымбалёў Аляксандр Альбертавіч

АСТРАНОМІЯ

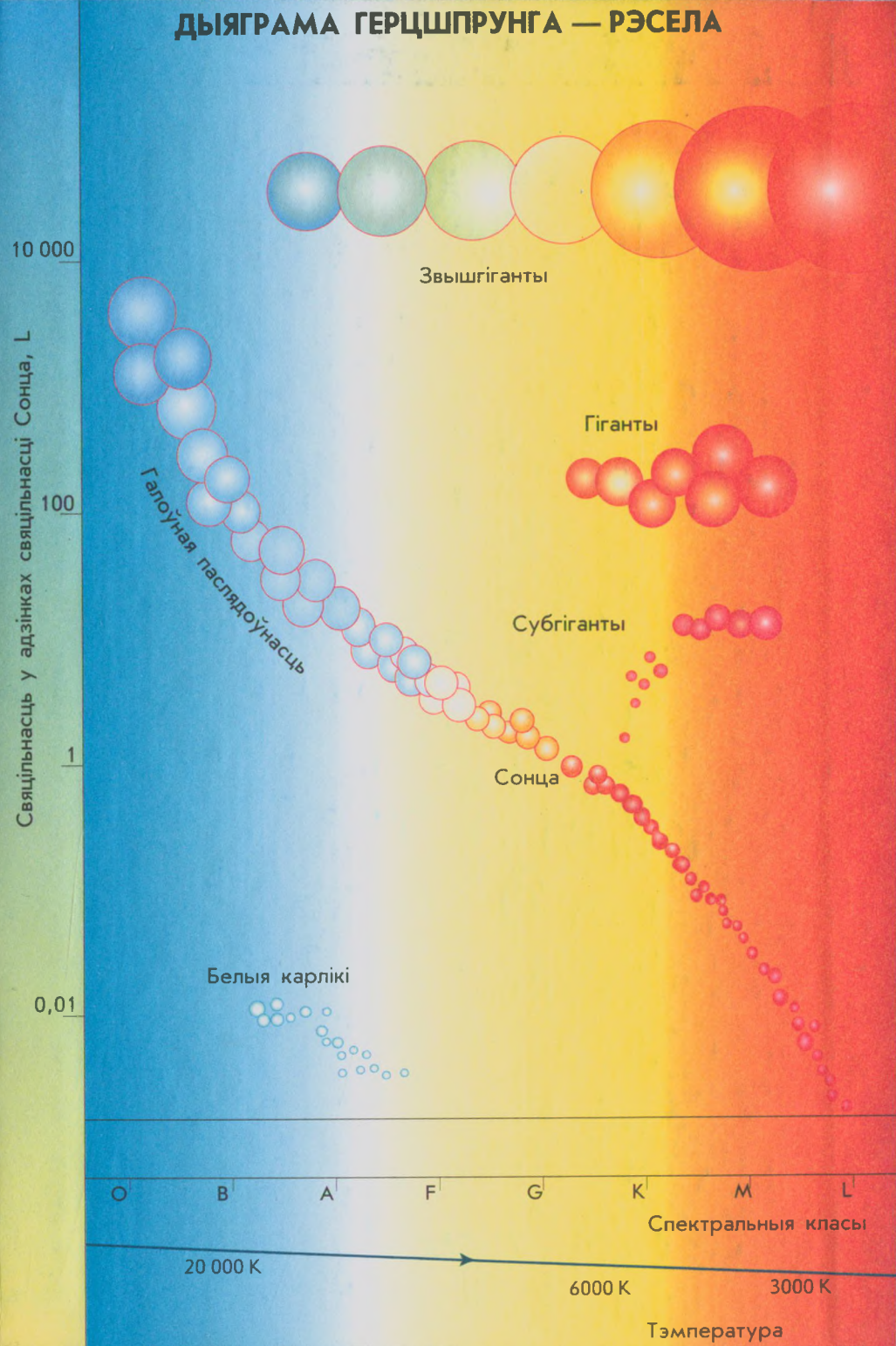
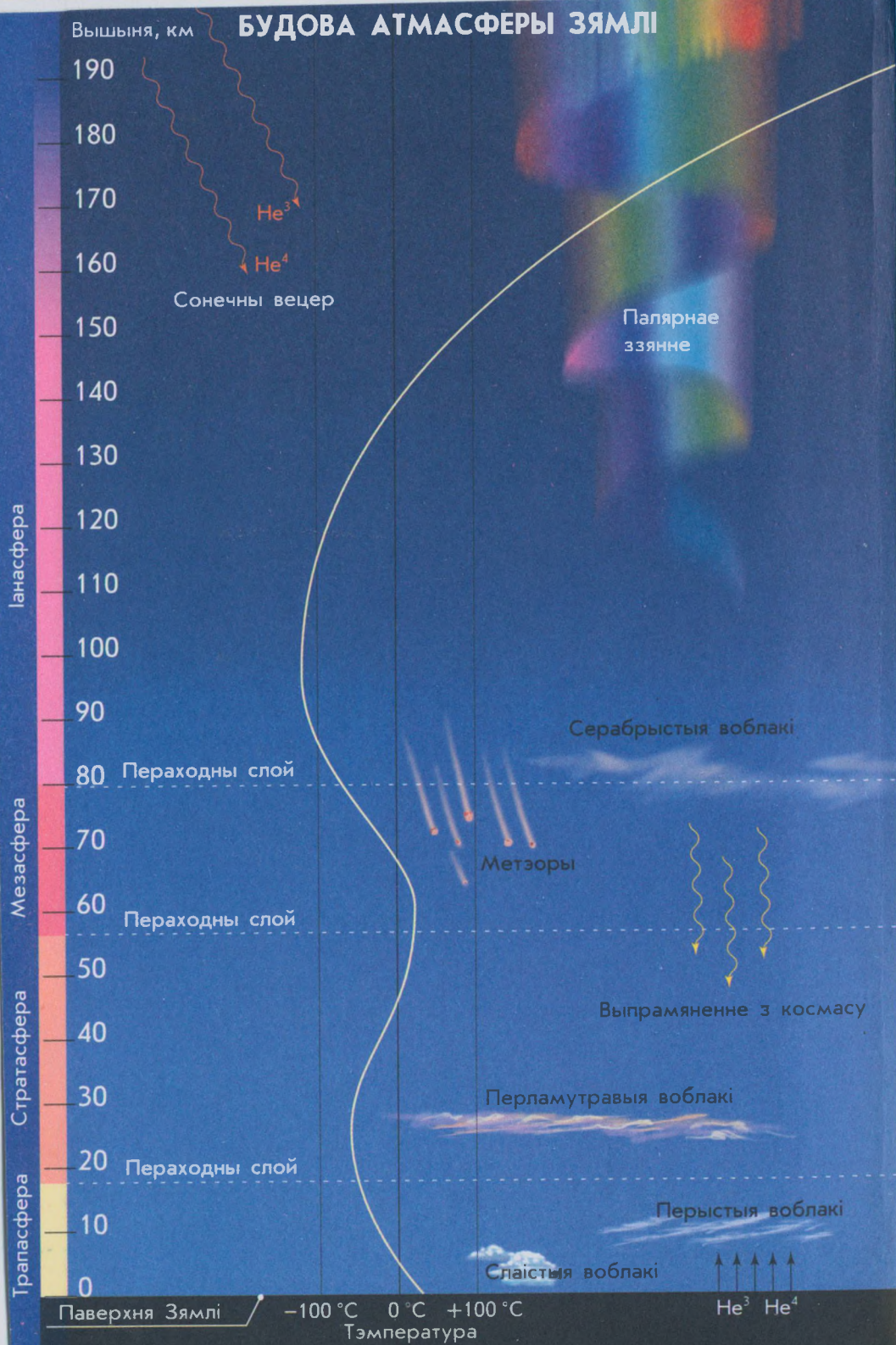
Вучэбны дапаможнік для вучняў 11 класа ўстаноў,
якія забяспечваюць атрыманне агульнай сярэдняй адукацыі,
з беларускай мовай навучання з 11-гадовым тэрмінам навучання

Рэдактары *Т. Я. Янчук, Н. Г. Кісялёва*
Мастакі *Ю. Я. Кубарэў, А. Дз. Кубарава, Л. У. Ледзенева*
Тэхнічны рэдактар *Дз. П. Сіняўскі*
Карэктары *Н. Г. Куцаева, Н. Б. Кучмель, А. В. Семенчукова, Дз. В. Шыкаў*
Камп'ютэрная вёрстка *Н. Я. Бацюковай, А. У. Крывадубскай*
Падрыхтоўка карт: *Т. У. Баярынава, М. У. Леановіч, Г. А. Рабашлыкава,*
Г. А. Русіновіч, У. М. Храмаў

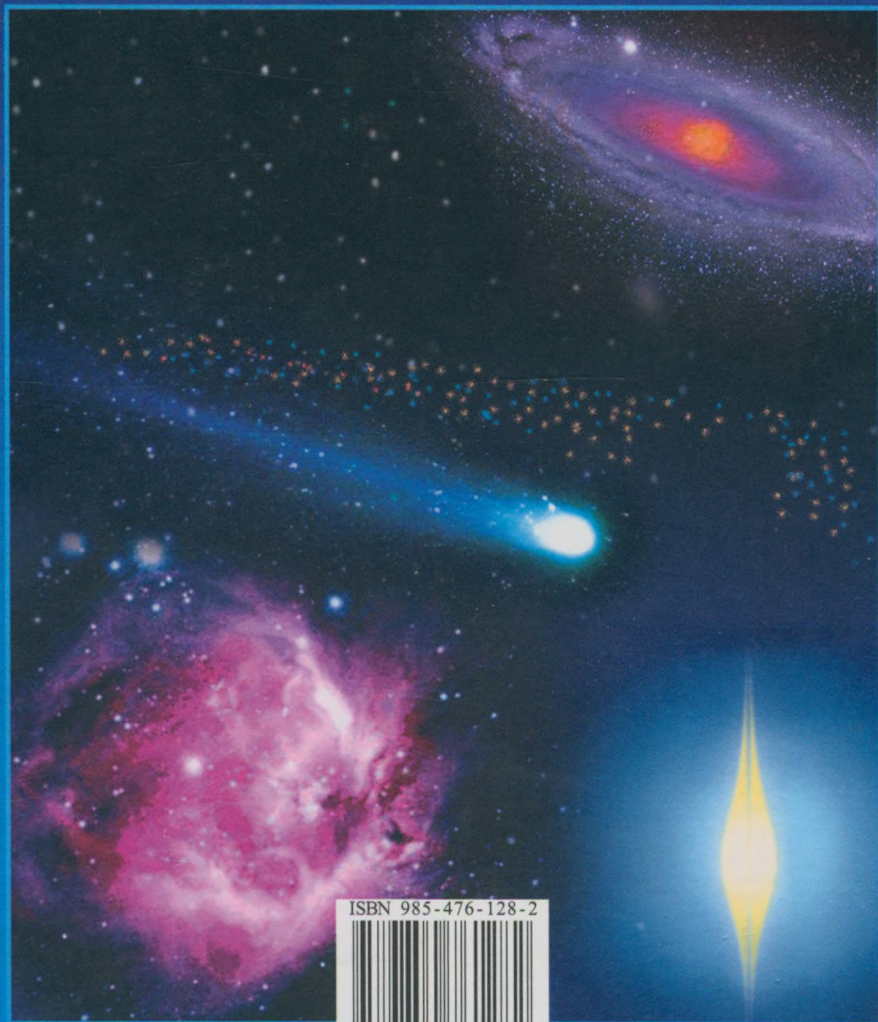
Падпісана ў друк 21.08.2003. Фармат 60×90/16. Папера афсетная № 1. Друк афсетны.
Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 13,0+0,27 укл. л. Ул.-выд. арк. 11,7+0,3 укл. л.
Тыраж 37 200 экз. Зак. № 1772.

Рэспубліканскае ўнітарнае прадпрыемства
«Выдавецкі цэнтр Беларускага дзяржаўнага ўніверсітэта».
Ліцэнзія ЛВ № 527 ад 22.01.2002.
220030. Мінск, вул. Чырвонаармейская, 6.

Надрукавана з гатовых дыяпазітываў
у Рэспубліканскім ўнітарным прадпрыемстве «Мінская фабрыка каляровага друку».
220024. Мінск, вул. Каржанеўскага, 20.



Выдавецкі цэнтр БДУ



ISBN 985-476-128-2



2003

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS

ACQUISITION

11