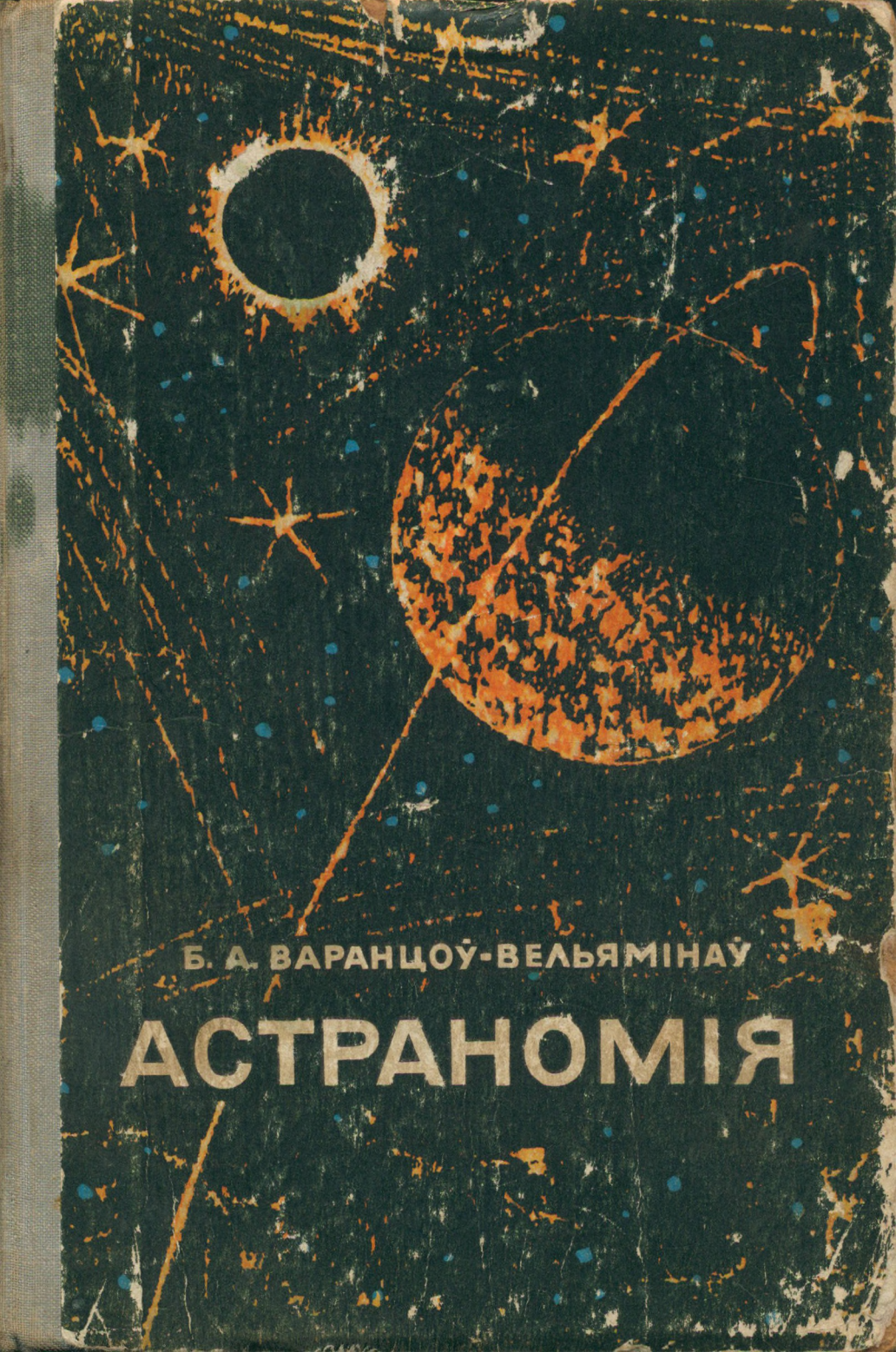




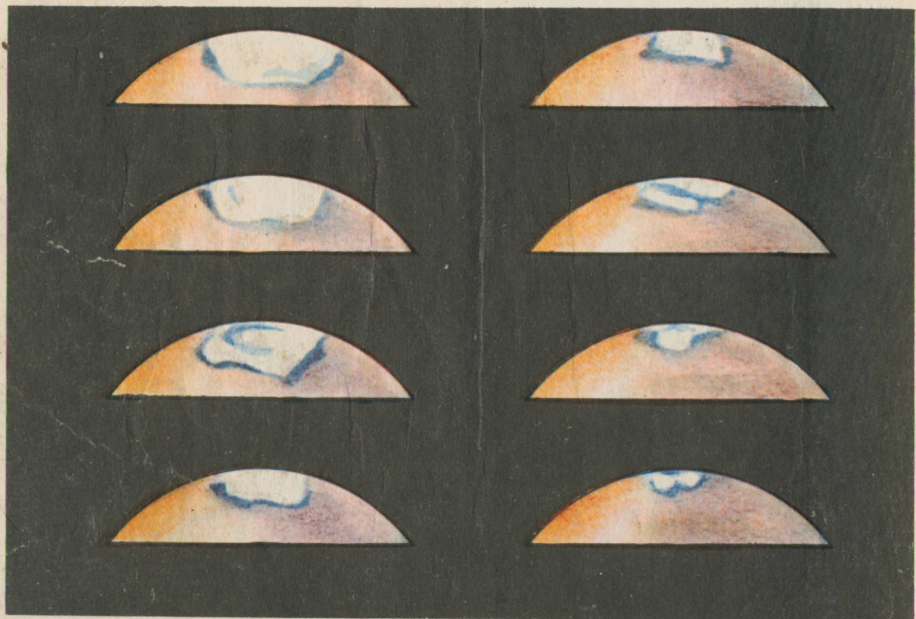
Б. А. ВАРАНЦОЇ-ВЕЛЬЯМІНАУ

АСТРАНОМІЯ



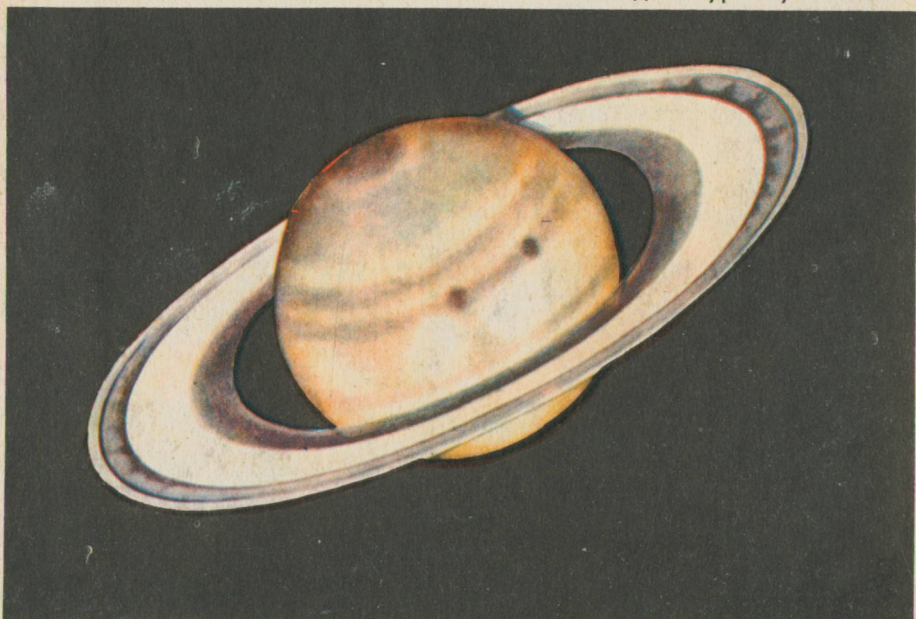
Выгляд Марса ў тэлескоп.

Раставанне палярных шапак Марса.



Выгляд Юпітэра ў тэлескоп і змяненні ў воблаках, якія яго ахутваюць.

Выгляд Сатурна ў тэлескоп.





Б. А. ВАРАНЦОЎ-ВЕЛЬЯМІНАЎ

АСТРАНОМІЯ

ПАДРУЧНІК

для 10 КЛАСА

**ВЫДАННЕ ВОСЬМАЕ
З ДЗЕВЯТАГА РУСКАГА**

Зацверджан
Міністэрствам асветы СССР

МІНСК «НАРОДНАЯ АСВЕТА» 1977

Матэрыял § 22 «Сонца — найбліжэйшая зорка» напісаны
пры ўдзеле Э. В. К а н а н о в і ч а

Перакладчыкі А. І. Болсун і В. І. Сакалоўская

В 60601-079
М 303(05) 77 91-77

астрономіі маю-
дзень № 4 1978г
Фізика в школе

1. ПРАДМЕТ АСТРАНОМІІ

Астраномія¹ — навука, якая вывучае рух, будову і развіццё нябесных цел і іх сістэм. Набытыя ёю веды прымяняюцца для практычных патрэб чалавецтва.

Астраномія ўзнікла на аснове практычных патрэбнасцей чалавека і развівалася разам з ім. Элементарныя астранамічныя звесткі былі вядомы ўжо тысячы гадоў назад у Вавілоне, Егіпце, Кітаі і прымяняліся народамі гэтых краін для вымярэння часу і арыенціроўкі па старанах гарызонта.

І ў наш час астраномія скарыстоўваецца для вызначэння дакладнага часу і геаграфічных каардынат (у авіяцыі, касманаўтыцы, геадэзіі, картаграфіі). Але гэтым далёка не вычэрпваюцца яе задачы.

Наша Зямля не ізалявана ад уплыву іншых цел Сусвету. Напрыклад, Месяц і Сонца выклікаюць на ёй прылівы і адлівы. Сонечнае спрамяненне робіць уплыў на працэсы ў зямной атмасферы і на жыццядзейнасць арганізмаў. Механізмы ўплыву іншых цел на Зямлю таксама вывучае астраномія.

Сучасная астраномія цесна звязана з матэматыкай і фізікай, з біялогіяй і хіміяй, з геаграфіяй і геалогіяй. Скарыстоўваючы дасягненні гэтых навук, яна, у сваю чаргу, узбагачае іх, стымулюе іх развіццё, ставячы перад імі ўсё новыя задачы. Астраномія вывучае ў космасе рэчыва ў такіх станах і маштабах, якія нельга ажыццявіць у лабараторыях, і гэтым расшырае фізічную карціну свету, нашы ўяўленні аб матэрыі. Усё гэта важна для развіцця дыялектыка-матэрыялістычнага ўяўлення аб прыродзе. Навучыўшыся прадвылічаць надыход зацьменняў Сонца і Месяца і з'яўленні камет, астраномія паклала пачатак барацьбе з рэлігійнымі забабонамі і лжэнавуковым прароцтвам. Паказваючы магчымасць прыроданавуковага тлумачэння ўзнікнення і змянення

¹ Паходзіць ад грэчаскіх слоў *а́стран* — свяціла і *номас* — закон.

Зямлі і іншых нябесных цел, астраномія садзейнічае развіццю марксісцкай філасофіі.

Курс астраноміі завяршае фізіка-матэматычную і прыроданавую адукацыю, якую вы атрымліваеце ў школе.

Вывучаючы астраномію, неабходна звяртаць увагу на тое, якія звесткі з'яўляюцца верагоднымі фактамі, а якія — навуковымі дапушчэннямі, што з часам могуць змяніцца. Важным з'яўляецца тое, што мяжы чалавечаму пазнанню няма. Вось адзін з прыкладаў таго, як гэта даказвае жыццё.

У мінулым адзін філосаф-ідэаліст адважыўся сцвярджаць, што магчымасці чалавечага пазнання абмежаваны. Ён сцвярджаў, што, хаця людзі і вымералі адлегласці да некаторых святл, хімічны састаў зорак яны ніколі не змогуць вызначыць. Аднак у хуткім часе быў адкрыт спектральны аналіз, і астраномы не толькі ўстанавілі хімічны састаў атмасфер зорак, але і вызначылі іх тэмпературу. Беспадстаўнымі аказаліся і многія іншыя спробы ўказаць межы чалавечага пазнання. Так, вучоныя спачатку тэарэтычна ацанілі тэмпературу на Месяцы, затым вымералі яе з Зямлі пры дапамозе тэрмаэлемента і радыёметадаў, пасля гэтых даных атрымалі пацверджанне ад прылад аўтаматычных станцый, пабудаваных і пасланных людзьмі на Месяц.

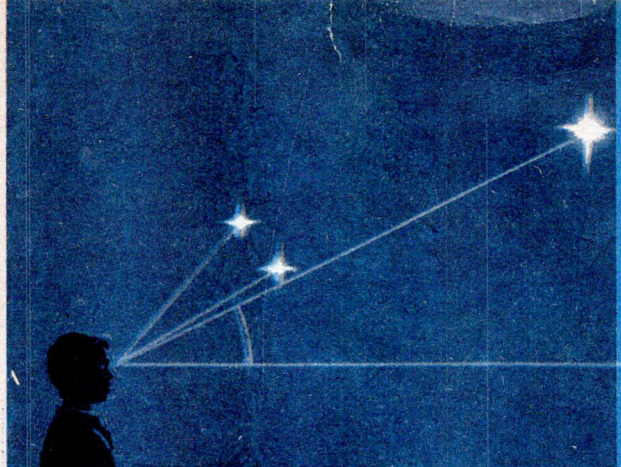
2. АСТРАНАМІЧНЫЯ НАЗІРАННІ І ТЭЛЕСКОПЫ

1. Назіранні і асаблівасці астранамічных назіранняў. У аснове астраноміі ляжаць назіранні, якія праводзяцца з Зямлі і толькі з 60-х гадоў нашага стагоддзя выконваюцца з космасу — з аўтаматычных і іншых касмічных станцый і нават з Месяца. Апараты зрабілі магчымым атрыманне проб грунту Месяца, дастаўку розных прылад і нават высадку людзей на Месяц. Але так пакуль можна даследаваць толькі бліжэйшыя да Зямлі нябесныя святлы. Адыгрываючы такую ж ролю, як доследы ў фізіцы і хіміі, назіранні ў астраноміі маюць рад асаблівасцей.

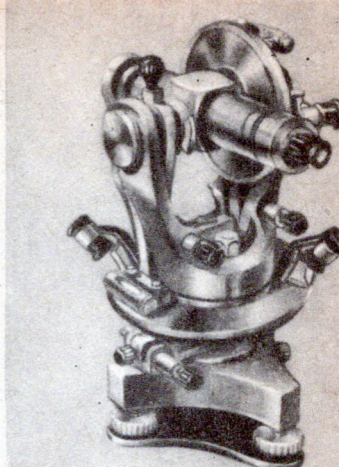
Першая асаблівасць заключаецца ў тым, што астранамічныя назіранні пасіўныя. Мы не можам рабіць актыўнага ўплыву на нябесныя целы, ставіць доследы (за выключэннем рэдкіх выпадкаў), як гэта робяць у фізіцы, у біялогіі. Толькі касманаўтыка дала ў гэтых адносінах некаторыя магчымасці.

Апрача таго, многія нябесныя з'явы адбываюцца настолькі павольна, што назіранні за імі патрабуюць вялікіх тэрмінаў: так, напрыклад, змяненне нахілу зямной восі да плоскасці яе арбіты становіцца прыкметным толькі пасля соцень гадоў. Таму для нас не страцілі свайго значэння некаторыя назіранні, якія праводзіліся ў Вавілоне і ў Кітаі тысячы гадоў таму назад, хаця яны і былі, згодна з сучаснымі паняццямі, вельмі недакладныя.

Другая асаблівасць астранамічных назіранняў заключаецца ў наступным. Мы назіраем становішчы нябесных цел і іх



1. Вуглавя вымярэнні на небе і вышыня свяціла над гарызонтам.



2. Тэадаліт — прылада для вымярэння вуглавой вышыні і азімута.

рухі з Зямлі, якая сама знаходзіцца ў складаным руху. Таму выгляд неба для зямнога назіральніка залежыць і ад таго, у якім месцы Зямлі ён знаходзіцца, і ад таго, калі ён назірае. Напрыклад, калі ў нас зімні дзень, у Паўднёвай Амерыцы летняя ноч, і наадварот. Ёсць зоркі, бачныя толькі летам або зімой.

Трэцяя асаблівасць астранамічных назіранняў заключаецца ў тым, што ў час назіранняў у многіх выпадках мы выконваем вуглавя вымярэнні і ўжо з іх робім вывады аб лінейных адлегласцях і размерах цел. Усе свяцілы такія далёкія ад нас, што ні на вока, ні ў тэлескоп нельга вырашыць, якое з іх бліжэй, якое далей. Усе яны здаюцца нам аднолькава далёкімі.

Кажуць, што на небе дзве зоркі блізкія адна да другой, калі блізкія адзін да другога напрамкі, па якіх мы іх бачым (гл. рыс. 1, зоркі А і В). Магчыма, што трэцяя зорка С, на небе больш далёкая ад А, у прастору да А бліжэй, чым зорка В. Дыяметры Сонца і Месяца ў вуглавой меры для нас прыкладна аднолькавыя — каля $1/2^\circ$, а ў лінейных мерах Сонца большае за Месяц па дыяметру прыкладна ў 400 разоў, але яно ў столькі ж разоў далей ад Зямлі. Таму вуглавя дыяметры для нас амаль роўныя.

Вышыню свяціла на небе над гарызонтам h (рыс. 1) можна выражаць толькі ў вуглавых адзінках, але ніяк не ў лінейных.

Вымярэнні вышыні, вуглавой адлегласці прадмета аб свяціла ад гарызонта, выконваюць тэадалітам. Тэадаліт — гэта інструмент, асноўнай часткай якога з'яўляецца зрокавая труба, якая верціцца каля вертыкальнай і гарызантальнай восей (рыс. 2). З восямі змацаваны кругі, падзеленыя на градусы і мінуцы. Па гэтых кругах адлічваюць напрамак зрокавай трубы. На караблях і на самалётах вуглавя вымярэнні выконваюць прыладай, якая называецца секстантам (секстанам).

У курсе фізічнай геаграфіі вы прыбліжана вымяралі вуглавя вышыні, карыстаючыся экліметрам. Там жа вы пазнаёміліся



3. Пры сутачным вярчэнні неба зоркі ва ўсходнім баку неба перамяшчаюцца ўправа і ўверх.

з паняццем каардынаты «азімут», якую можна прымяняць і для вызначэння становішча нябесных святл на небе.

2. Вашы назіранні. Для лепшага засваення астраноміі вы павінны як мага раней пачаць назіранні нябесных з'яў і святл пад кіраўніцтвам настаўніка і самастойна. Указанні да назіранняў няўзброеным вокам дадзены ў дадатку VI. Есць практычныя заданні і ў тэксце падручніка. Знаходжанне сузор'яў і арыенціроўка на мясцовасці па Палярнай зорцы, знаёмай вам ужо з курса фізічнай геаграфіі, назіранне сутачнага вярчэння неба (рыс. 3 і 4) прасцей выконваць з дапамогай рухомай карты зорнага неба, прыкладзенай да падручніка. Там жа сказана, як яе манціраваць, і растлумачана, чаму назіранні трэба рабіць адразу ж.

Перш за ўсё трэба азнаёміцца з выглядам зорнага неба, знайсці на небе планеты і пераканацца ў іх перамяшчэнні адносна зорак або Сонца на працягу 1—2 месяцаў. (Аб умовах бачнасці планет і некаторых нябесных з'явах сказана ў школьным астранамічным календары на дадзены год.) Паралельна трэба азнаёміцца ў тэлескоп з кальцавымі гарамі на Месяцы, з сонечнымі плямамі, а затым ужо і з іншымі святламі і з'явамі (гл. дадатак VI). Для гэтага ніжэй даецца ўяўленне аб тэлескопе. Вялікую дапамогу ў вывучэнні неба дае апарат планетарый, але ён не можа замяніць вашы асабістыя назіранні прыроды.

3. Тэлескопы. Асноўнай астранамічнай прыладай з'яўляецца тэлескоп. Тэлескоп з аб'ектывам з увагнутага люстра называецца рэфлектарам (рыс. 5), а тэлескоп з аб'ектывам з лінз — рэфрактарам (рыс. 6).

Прызначэнне тэлескопа — збіраць больш святла, каб выяўляць слабыя крыніцы спрамянення, і павялічваць вугал зроку, пад якім бачны нябесны аб'ект.



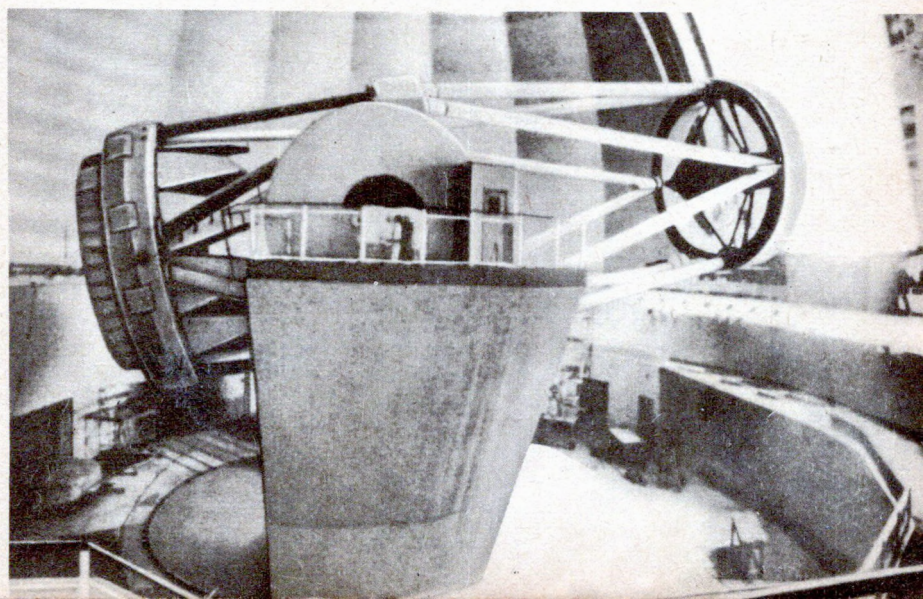
4. Змяненне становішча сузор'яў Вялікай і Малой Мядзведзіцы адносна гарызонта пры сутачным вярчэнні неба.

Колькасць збіраемага святла прапарцыянальна плошчы аб'ектыва. Чым больш светавой энергіі збірае тэлескоп, тым больш слабыя зоркі ў яго відаць і тым больш зорак у яго можна ўбачыць.

Маштаб ізабражэння, які даецца аб'ектывам тэлескопа, прапарцыянальны фокуснай адлегласці аб'ектыва, г. зн. адлегласці ад аб'ектыва, які збірае святло, да той плоскасці, дзе атрымліваецца ізабражэнне святла. Ізабражэнне нябеснага аб'екта можна фатаграфавать або разглядаць праз акуляр (рыс. 7).

Тэлескоп дае павялічанае ізабражэнне Сонца, Месяца і планет, павялічвае бачныя ў яго (г. зн. вуглавая) адлегласці паміж зор-

5. Найбольшы ў свеце рэфлектар з люстрам дыяметрам 6 м.



камі, але зоркі нават у вельмі моцны тэлескоп з прычыны велізарнай аддаленасці бачны толькі як кропкі, што свецяцца.

У рэфрактары праменні святла, прайшоўшы праз аб'ектыў, пралямаюцца, збіраючыся ў факальнай плоскасці (рыс. 7, а). У рэфлектары праменні ад увагнутага люстра адбіваюцца і пасля тагасама збіраюцца ў факальнай плоскасці (рыс. 7, б). Простая лінза скажае і афарбоўвае ізабражэнне. Для памяншэння гэтых недахопаў аб'ектыў робяць з некалькіх лінз з рознай крывізной паверхняў і з розных сартоў шкла. Паверхні ўвагнутага шклянога люстра, якая серабрыцца або алюмініруецца, каб паменшыць скажэнне, надаюць не сферычную форму, а крыху іншую (парабалічную).

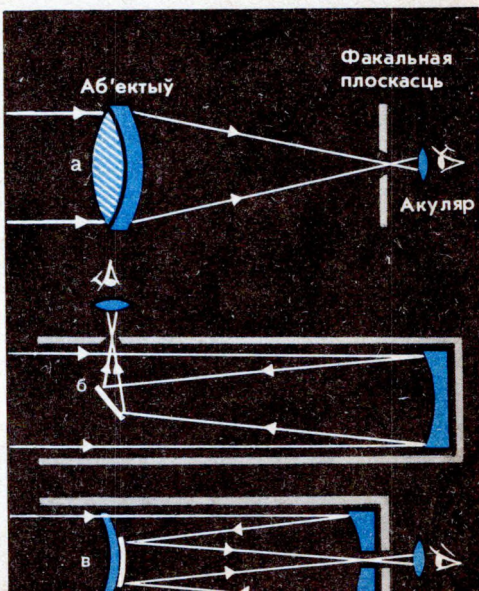
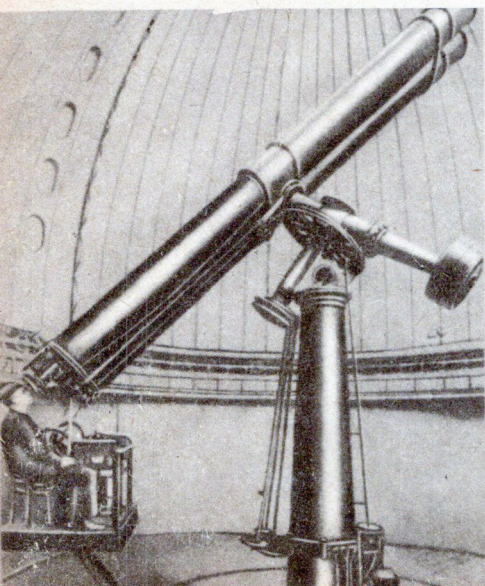
Савецкі опык Д. Д. Максутаў распрацаваў сістэму тэлескопа, якая называецца меніскавай. Яна злучае ў сабе якасці рэфрактара і рэфлектара. Па гэтай сістэме пабудавана адна з мадэляў школьнага тэлескопа. Тонкае выпукла-ўвагнутае шкло — меніск — выпраўляе скажэнні, якія дае вялікае сферычнае люстра. Праменні, што адбіліся ад люстра, адбіваюцца затым ад пасярэбранай пляцоўкі на ўнутранай паверхні меніска і ідуць у акуляр (рыс. 7, в), які з'яўляецца ўдасканаленай лупай. Існуюць і іншыя тэлескапічныя сістэмы.

У тэлескопе атрымліваецца перавернутае ізабражэнне. Але гэта не мае значэння, паколькі ў космасе, па-за Зямлёй, няма ні верху,

6. Падвойны рэфрактар-астрограф Маскоўскага ўніверсітэта для разглядавання і фатаграфавання нябесных святл. Два адпавядаючыя гэтаму тэлескопы змешчаны ў агульным кажуху. Гадзіннікавы механізм (унізе калоны) паварочвае яго ўслед за сутачным вярчэннем неба.

7. Схемы тэлескопа (стрэлкі паказваюць ход прамяняў, якія сыходзяцца да фокуса і ствараюць ізабражэнне зоркі):

а — рэфрактар; б — рэфлектар Ньютана з плоскім люстэркам; в — меніскавы тэлескоп з адбіваючай пляцоўкай на паверхні меніска.



ні нізу. Выпрамленне ізабражэння патрабуе ўвядзення дадатковых лінз або люстраў, а яны выклікаюць лішнія страты святла і таму яно не прымяняецца.

Пры назіраннях у тэлескоп рэдка скарыстоўваюцца павелічэнні звыш 500 разоў. Прычына гэтага — паветраныя цячэнні, што выклікаюць скажэнне ізабражэння, якое тым больш прыкметнае, чым большае павелічэнне тэлескопа.

Самы вялікі рэфрактар быў пабудаваны ў канцы мінулага стагоддзя. Дыяметр яго аб'ектыва 1 м. На Паўночным Каўказе ўстаноўлен найбольшы ў свеце рэфлектар з дыяметрам люстра 6 м. Ён зроблены ў СССР.

3. СУЗОР'І НЕБА. ЯГО БАЧНАЕ ВЯРЧЭННЕ

1. Сузор'і. Знаёміцца з зорным небам трэба ў бязмесячную ноч, калі святло Месяца гэтаму не перашкаджае. Цудоўная карціна начнога неба з рассыпанымі па ім мігатлівымі зоркамі. Здаецца, што іх безліч. Але так толькі здаецца, пакуль вы не прыгледзіцеся і не навучыцеся знаходзіць на небе знаёмыя групы зорак, нязменныя па свайму ўзаемнаму размяшчэнню. Гэтыя групы — сузор'і — людзі вылучылі тысячы гадоў назад. Усё неба падзелена на 88 сузор'яў, якія можна знаходзіць па характэрнаму для іх размяшчэнню зорак. ***Цяпер пад сузор'ем разумеюць усю вобласць неба ў межах некаторых устаноўленых граніц.***

Вобласць сузор'я ўяўляе сабой прастору ўнутры некаторага конуса, які ідзе ў бесканечнасць і вяршыня якога супадае з вокам назіральніка, а ўтвараючыя ідуць да ўсіх пунктаў граніц сузор'я.

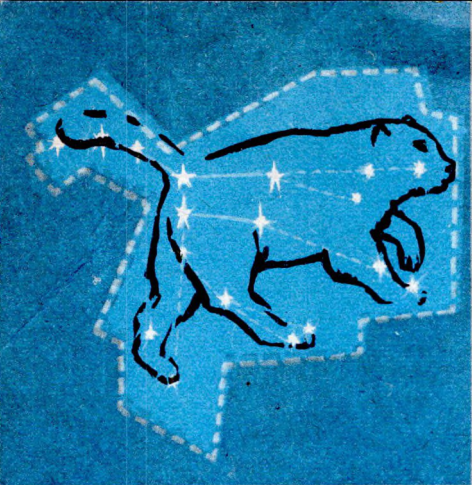
Многія сузор'і захоўваюць сваю назву з глыбокай старажытнасці і часам гучаць для нас дзіўна: Дзева, Вознік, Цялец і да т. п. Некаторыя назвы звязаны з грэчаскай міфалогіяй, напрыклад: Андромеда, Персей, Пегас.

Сузор'і на небе знаходзяць, мысленна злучаючы іх галоўныя зоркі прамымі лініямі ў некаторую фігуру, як паказана на зорных картах (гл. рыс. 8, 10, а таксама зорную карту ў дадатку).

Наўзброеным вокам у бязмесячную ноч можна бачыць над гарызонтам каля 3000 зорак. У цяперашні час астраномы не толькі вызначылі дакладнае размяшчэнне некалькіх мільёнаў зорак, але і ацанілі іх бляск і занеслі ў спісы — каталогі.

2. Бляск і колер зорак. Днём неба здаецца блакітным таму, што флуктуацыі шчыльнасці паветра (з прычыны руху малекул) больш за ўсё расейваюць блакітныя праменні сонечнага святла. Па-за межамі зямной атмасферы неба заўсёды чорнае, і на ім з кабіны касмічнага карабля можна бачыць зоркі і Сонца адначасова.

Зоркі маюць розны бляск і колер: белы, жоўты, чырвоны. Чым больш чырвоная зорка, тым яна халаднейшая. Наша Сонца



8. Фігура сузор'я Вялікай Мядзведзіцы (са старадаўняй зорнай карты), яго сучасныя межы дадзены пункцірам.

належыць да жоўтых зорак. Яркім зоркам старажытныя арабы далі ўласныя імёны. Белыя зоркі: *Вега* ў сузор'і Ліра, *Альтаір* у сузор'і Арла (бачны летам і ўвосень), *Сірыус* — найярчэйшая зорка неба (бачны зімой); чырвоныя зоркі: *Бетэльгейзе* ў сузор'і Арыёна і *Альдэбаран* у сузор'і Цяльца (бачны зімой), *Антарэс* у сузор'і Скарпіёна (бачны летам); жоўтая *Капела* ў сузор'і Возніка (бачна зімой).

Самыя яркія зоркі яшчэ ў старажытнасці назвалі зоркамі 1-ай велічыні, а самыя слабыя, бачныя ў межах зроку для няўзброенага вока, — зоркамі 6-ай велічыні. Гэта старадаўняя тэрміналогія захавалася і ў цяперашні час. Да сапраўдных

размераў зорак тэрмін «зорная велічыня» адносіць не мае, а характарызуе светавы паток, які прыходзіць на Зямлю ад зоркі. Прынята, што зоркі 1-ай велічыні ярчэйшыя, чым зоркі 2-ой велічыні, у 2,512 раза, так што лагарыфм адносіны іх бляску складае 0,400. Зоркі 2-ой велічыні ў 2,512 раза ярчэйшыя, чым зоркі 3-й велічыні і г. д. Калі I_1 і I_2 — бляск зорак, якія маюць зорныя велічыні m_1 і m_2 , то

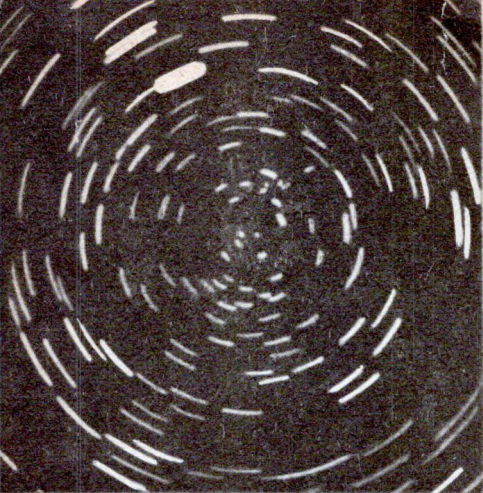
$$I_1 : I_2 = 2,512^{m_2 - m_1} \text{ або } \lg(I_1 : I_2) = 0,4(m_2 - m_1).$$

Зоркі 1-ай велічыні ярчэйшыя, чым зоркі 6-ай велічыні, роўна ў 100 разоў. Сучасныя метады назіранняў даюць магчымасць выявіць зоркі да 23-й велічыні. Пасля дакладных вымярэнняў бляску зорак прыйшлося ўвесці дробавыя і адмоўныя зорныя велічыні, напрыклад: для Альдэбарана $m = 1,06$, *Вега* $m = 0,14$, *Сірыуса* $m = -1,58$, Сонца $m = -26,80$. У кожным сузор'і яркія зоркі з даўніх часоў абазначаны грэчаскімі літарамі. Часцей за ўсё самая яркая зорка сузор'я — α , затым β , γ і г. д. у парадку алфавіта па меры змяншэння яркасці: напрыклад, Палярная зорка ёсць α сузор'я Малой Мядзведзіцы.

На рысунках 4 і 8 дадзены размяшчэнне галоўных зорак Вялікай Мядзведзіцы і фігура гэтага сузор'я, як яго паказвалі на старадаўніх зорных картах (спосаб знаходжання Палярнай зоркі знаёмы вам з курса геаграфіі).

1. У колькі ж разоў *Сірыус* ярчэйшы, чым *Альдэбаран*? Сонца ярчэйшае, чым *Сірыус*? Адна зорка ярчэйшая, чым другая, у 16 разоў. Чаму роўна рознасць іх зорных велічынь?

¹ Задачы ў падручніку дадзены без адказаў. За праверкай правільнасці адказу трэба звярнуцца да настаўніка.



9. Фатаграфія каляпалярнай вобласці неба, зробленая нерухомай камерай на працягу гадзіны (пазітыў).



10. Сузор'і ў наваколлі Палярнай зоркі.

3. Сутачнае ярчэнне неба. Пры ўважлівым назіранні можна заўважыць, што Палярная зорка амаль не мяняе свайго становішча адносна гарызонта. Усе ж іншыя зоркі апісваюць на працягу сутак поўны круг з цэнтрам паблізу Палярнай. У гэтым можна лёгка пераканацца, прарабіўшы наступны дослед. Фотаапарат, які ўстаноўлен на «бесканечнасць», накіруем на Палярную зорку і надзейна ўмацуем у гэтым становішчы. Адкрыем затвор пры цалкам адкрытым аб'ектыве на паўгадзіны або гадзіну. Праявіўшы сфатаграфаваны такім чынам здымак, убачым на ім канцэнтрычныя дугі — сляды шляхоў зорак (рыс. 9). Агульны цэнтр гэтых дуг з даўніх часоў умоўна называецца паўночным полюсам свету. Палярная зорка да яго вельмі блізкая. Дыяметральна процілеглы яму пункт называецца паўднёвым полюсам свету. Паблізу яго яркай зоркі няма.

З'явы сутачнага ярчэння неба зручна вывучаць, скарыстаўшы матэматычнае пабудаванне — нябесную сферу, г. зн. уяўную сферу адвольнага радыуса з цэнтрам у пункце назірання, на па-

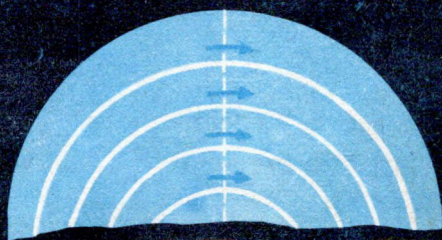
11. Бачныя сутачныя шляхі святл адносна гарызонта ў паўночным і паўднёвым баках неба.



Захад

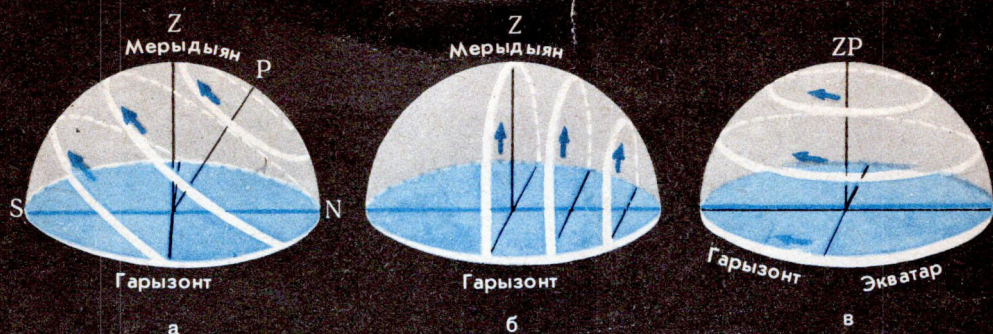
Поўнач

Усход



Поўдзень

Захад



12. Сутачныя шляхі свяціл адносна гарызонта для назіральніка, які знаходзіцца:

а — у сярэдніх геаграфічных шыротах; б — на экватары; в — на полюсе Зямлі.

верхню якой праецыруюць бачныя становішчы ўсіх свяціл. **Вось бачнага вярчэння нябеснай сферы, якая злучае абодва полюсы свету і праходзіць праз вока назіральніка, умовіліся называць воссю свету.** Лёгка зразумець, што вось свету паралельна восі вярчэння Зямлі.

Каляпалярныя сузор'і ў СССР ніколі не заходзяць, і, чым больш на поўнач знаходзіцца назіральнік на Зямлі, тым больш незаходзячых зорак ён бачыць (рыс. 10). Многія сузор'і, апісваючы кругі рознага размеру, усходзяць і заходзяць. Тыя, якія размешчаны далей ад паўночнага полюса свету, паказваюцца не надоўга над гарызонтам толькі на поўдні (рыс. 11). А яшчэ больш паўднёвыя сузор'і з'яўляюцца неўзыходзячымі. Але, чым далей перамяшчаецца назіральнік на поўдзень, тым больш паўднёвых сузор'яў ён можа бачыць. На зямным экватары за суткі можна было б убачыць сузор'і ўсяго зорнага неба, калі б гэтаму не перашкаджала Сонца ўдзень (рыс. 12, б). На гарызонце пад паўночным полюсам свету ляжыць пункт поўначы. Для назіральніка на экватары Зямлі паўночны полюс свету супадае з пунктам поўначы, а паўднёвы полюс свету — з пунктам поўдня (рыс. 12, в).

Для назіральніка, які знаходзіцца ў пункце С (рыс. 13), плоскасць гарызонта з'яўляецца плоскасцю, датычнай да зямнога шара ў гэтым пункце, а *вось свету паралельна восі вярчэння Зямлі*. З чарцяжа зразумела, што пры перамяшчэнні назіральніка з пункта С на ямыны экватар вось свету для гэтага назіральніка перамясціцца на плоскасць гарызонта SWNE.

Лінія NS называецца паўдзённай лініяй (рыс. 14), паколькі па ёй на гарызантальнай плоскасці ў поўдзень падае цень ад вертыкальна пастаўленага стрыжня¹. Пункты ўсходу E і захаду W ляжаць на лініі гарызонта. Яны аддалены ад пунк-

¹ Як на мясцовасці правесці паўдзённую лінію і як па ёй і па Палярнай зорцы арыентавацца па старанах гарызонта, вы вывучалі ў V класе ў курсе фізічнай геаграфіі.

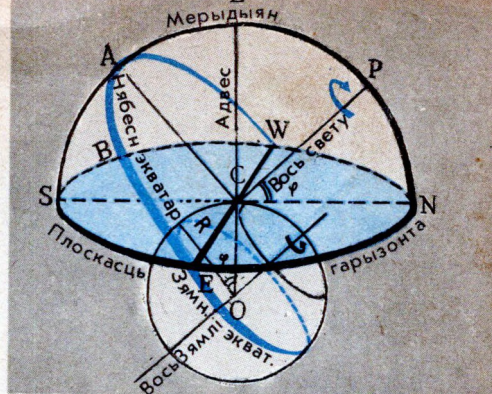
таў поўначы N і поўдня S на 90° . Вертыкальная лінія, што праходзіць праз наша вока, перасякае неба над нашай галавой у пункце зеніту Z . Праз пункт N , полюс свету P , зеніт Z і пункт S праходзіць плоскасць нябеснага мерыдыяна, супадаючая для назіральніка з плоскасцю яго геаграфічнага мерыдыяна. Нарэшце, плоскасць, якая праходзіць праз наша вока (пункт C) і перпендыкулярная да восі свету, утварае плоскасць нябеснага экватара, паралельную плоскасці зямнога экватара. На рысунках 12—15, 17—20 для больш нагляднага ўяўлення пералічаных пунктаў, ліній і плоскасцей паказана і ўяўная нябесная сфера.

4. Вызначэнне геаграфічнай шыраты. Лёгка пераканацца, што вугал PCN (вышыня полюса свету над гарызонтам) роўны вуглу $ROC = \varphi$ (геаграфічная шырата месца), як вуглы з узаемна перпендыкулярнымі старанамі: $OC \perp CN$, $OR \perp CP$ (рыс. 13). Гэта найважнейшая залежнасць, якая дазваляе зразумець, як мяняецца выгляд зорнага неба ад геаграфічнай шыраты назіральніка, дае найпрасцейшы спосаб вызначэння геаграфічнай шыраты мясцовасці φ : **вуглавая адлегласць полюса свету ад гарызонта роўна геаграфічнай шыраце мясцовасці.**

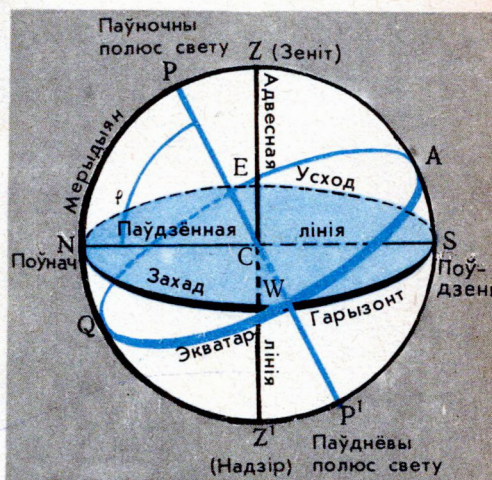
Каб вызначыць геаграфічную шырату мясцовасці, дастаткова вымераць вугламернай прыладай вышыню полюса свету над гарызонтам.

5. Кульмінацыі. Полюс свету пры ўяўным вярчэнні неба, якое адлюстроўвае вярчэнне Зямлі вакол восі, займае нязменнае становішча над гарызонтам на дадзенай шыраце (рыс. 15).

Зоркі за суткі апісваюць над гарызонтам вакол восі свету кругі, паралельныя экватару. Пры гэтым кожнае свяціла за суткі двойчы перасякае нябесны мерыдыян.

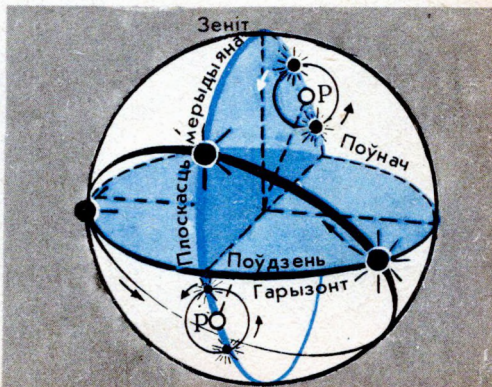


13. Суадносіны паміж лініямі і плоскасцямі на нябеснай сферы і на зямным шары.



14. Асноўныя пункты і лініі нябеснай сферы.

15. Верхнія і ніжнія кульмінацыі свяціл.



- **Кульмінацыямі называюцца з'явы праходжання свяціл праз нябесныя мерыдыян.** У верхняй кульмінацыі вышыня свяціла максімальная, у ніжняй кульмінацыі — мінімальная. Прамежак часу паміж кульмінацыямі — паўсутак.

У незаходзячых свяціл бачны (над гарызонтам) абедзве кульмінацыі, ва ўзыходзячых і заходзячых свяціл ніжняй кульмінацыя адбываецца пад гарызонтам, ніжэй пункта поўначы. У свяціл, што знаходзяцца далёка на поўдзень ад нябеснага экватара, абедзве кульмінацыі ў СССР нябачныя.

- **Момант верхняй кульмінацыі цэнтра Сонца называецца сапраўдным поўднем, а момант ніжняй кульмінацыі — сапраўднай поўначы.** У сапраўдны поўдзень цень ад вертыкальнага стрыжня падае ўздоўж паўдзённай лініі.

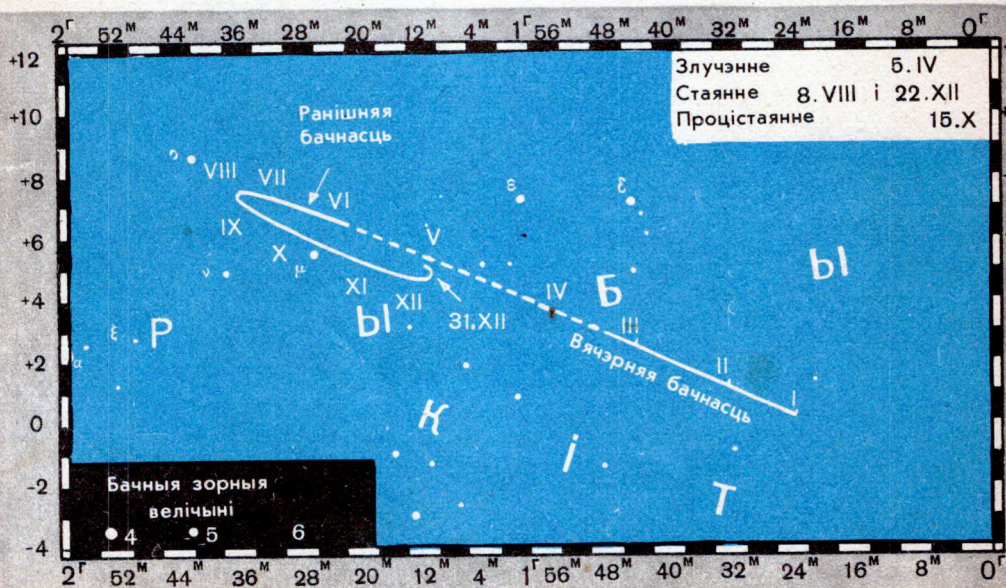
1. Як па выглядзе зорнага неба і яго вярчэнню ўстанавіць, што вы прыбылі на Паўночны полюс Зямлі?
2. Як сутачныя шляхі зорак размешчаны адносна гарызонта для назіральніка, які знаходзіцца на экватары Зямлі? Чым яны адрозніваюцца ад сутачных шляхоў зорак, бачных у СССР, г. зн. у сярэдніх геаграфічных шыратах?
3. Вымерайце геаграфічную шырату вашай мясцовасці па вышыні Палярнай зоркі пры дапамозе экліметра і параўнайце яе з адлікам шыраты па геаграфічнай карце.

4. ЭКЛІПТЫКА І «БЛУКАЮЧЫЯ» СВАЦІЛЫ

У дадзенай мясцовасці кожная зорка кульмінуе заўсёды на адной і той жа вышыні над гарызонтам, таму што яе вуглавая адлегласць ад полюса свету і ад нябеснага экватара не мяняецца. Сонца ж і Месяц мяняюць вышыню, на якой яны кульмінуюць.

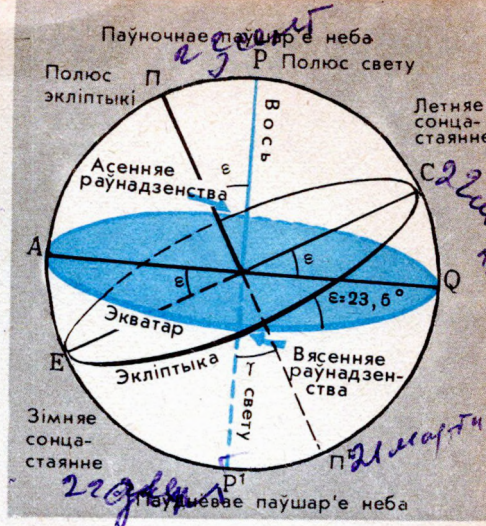
Калі па дакладнаму гадзінніку заўважаць прамежкі часу паміж верхнімі кульмінацыямі зорак і Сонца, то можна ўбачыць, што

16. Прыклад бачнага шляху Сатурна па небе за год.



прамежкі паміж кульмінацыямі зорак на чатыры мінуцы карацейшыя, чым праежкі паміж кульмінацыямі Сонца. Значыць, за суткі, за час аднаго абароту нябеснай сферы, Сонца паспявае зрушыцца адносна зорак на ўсход — у бок, процілеглы сутачнаму вярчэнню неба. Гэты зрух складае каля 1° , паколькі нябесная сфера робіць поўны абарот — 360° за 24 г. За 60 мін яна паварочваецца на 15° , а за 4 мін — на 1° . За год Сонца робіць вялікі круг на фоне зорнага неба. Кульмінацыі Месяца спазняюцца кожныя суткі ўжо не на 4 мін, а на 50 мін, паколькі Месяц робіць адзін абарот насустрач вярчэнню неба за месяц. Планеты перамяшчаюцца больш павольна і больш складаным чынам. Яны перамяшчаюцца на фоне зорнага неба то ў адзін, то ў другі бок, выпісваючы петлі (рыс. 16). Гэта абумоўлена спалучэннем іх сапраўднага руху з рухам Зямлі. На зорным небе планеты (па-старажытнагрэчаску гэта азначае «блуканцыя») не займаюць пастаяннага месца, таксама як Месяц і Сонца. Таму, калі скласці карту зорнага неба, то паказаць на ёй становішча Сонца, Месяца і планет можна толькі для пэўнага моманту. Гадавы шлях Сонца па нябеснай сферы называецца экліптыкай. Перамяшчаючыся па экліптыцы, Сонца ў так званых раўнадзенственных пунктах двойчы перасякае нябесны экватар (рыс. 17). Гэта бывае каля 21 сакавіка і каля 23 верасня, у дні раўнадзенстваў. У гэтыя дні Сонца знаходзіцца на нябесным экватары, а ён заўсёды дзеліцца гарызонтам папалам. Шляхі Сонца над гарызонтам і пад ім таму роўныя, і працягласці дня і ночы роўныя.

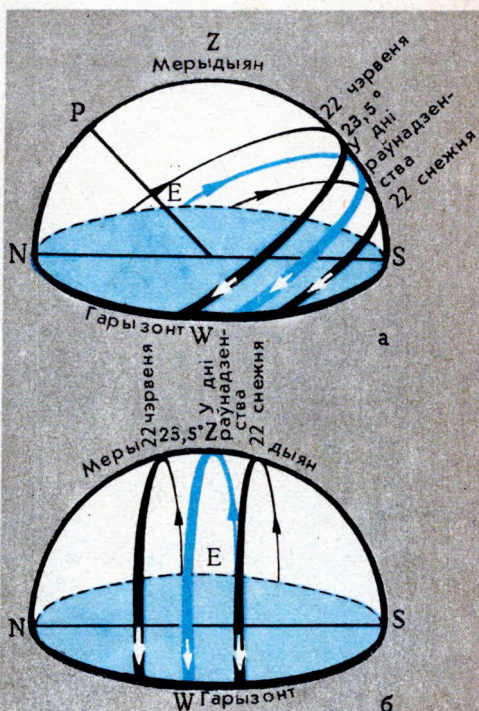
22 чэрвеня Сонца далей за ўсё ад экватара на поўнач, у бок паўночнага полюса свету. У поўдзень для паўночнага паўшар'я Зям-



17. Экліптыка і нябесны экватар.

18. Сутачныя шляхі Сонца над гарызонтам у розныя поры года:

а — у сярэдніх геаграфічных шыротых;
б — на экватары Ямлі.



лі яно вышэй за ўсё над гарызонтам, дзень самы доўгі — гэта *дзень летняга сонцастаяння*. 22 снежня, у дзень зімняга сонцастаяння, Сонца адыходзіць далей за ўсё на поўдзень ад экватара, у поўдзень яно стаіць нізка, і дзень самы кароткі. З курса геаграфіі вы ведаеце, як усе гэтыя з'явы звязаны з кліматычнымі паясамі і зменаў пораў года на Зямлі.

Абагаўленне Сонца ў старажытнасці парадзіла міфы, якія ў іншасказальнай форме апісваюць падзеі, што перыядычна паўтараюцца, «нараджэння», «уваскрэсення» «бога-Сонца» на працягу года, — паміранне прыроды зімой, яе адраджэнне вясной і да т. п. Хрысціянскія святы захоўваюць у сабе сляды культу Сонца.

Рух Сонца па экліптыцы з'яўляецца адлюстраваннем абарачэння Зямлі вакол Сонца. Экліптыка пралягае праз 12 сузор'яў, якія называюцца за дыякальнымі, а іх сукупнасць называецца паясам за дыяка. У кожным задыякальным сузор'і Сонца знаходзіцца каля месяца. Пункт вясенняга раўнадзенства (адно з двух перасячэнняў экліптыкі з нябесным экватарам) знаходзіцца ў сузор'і Рыб. Задыякальныя сузор'і, дзе многа яркіх зорак, — гэта сузор'і Дзевы, Льва, Блізнятаў, Цяльца, Скарпіёна, Стральца.

Вялікі круг экліптыкі перасякае вялікі круг нябеснага экватара пад вуглом $23^{\circ}27'$. На гэту велічыню ў дзень летняга сонцастаяння, 22 чэрвеня, Сонца падымаецца ў поўдзень над гарызонтам вышэй, чым той пункт, у якім нябесны экватар перасякае мерыдыян. На столькі ж Сонца бывае ніжэй экватара ў дзень зімняга сонцастаяння, 22 снежня.

Зразумела, што ў поўнач у верхняй кульмінацыі бывае задыякальнае сузор'е, процілеглае таму, у якім знаходзіцца Сонца. Напрыклад, у сакавіку ў поўнач кульмінаруе сузор'е Дзевы. На рысунку 18 паказаны сутачныя шляхі Сонца над гарызонтам у дні раўнадзенстваў і сонцастаянняў для сярэдніх шырот (уверсе) і экватара Зямлі (унізе).

-
1. Знайдзіце 12 задыякальных сузор'яў на зорнай карце і па магчымасці адшукайце некаторыя з іх на небе.
 2. З дапамогай экліметра або гномана (вядомага вам з практыкі па фізічнай геаграфіі), хаця 6 раз у месяц, вымерайце вышыню Сонца над гарызонтам каля паўдня на працягу некалькіх месяцаў. Пабудоваўшы графік яе змянення з часам, вы атрымаеце цікавую крывую, па якой можна нават нанесці частку экліптыкі на зорную карту, улічваючы, што Сонца за месяц зрушваецца на зорным небе на ўсход прыкладна на 30° .
-

5. ЗОРНЫЯ КАРТЫ, НЯБЕСНЫЯ КААРДЫНАТЫ І ЧАС

1. Карты і каардынаты. Каб стварыць зорную карту, якая паказвае сузор'і на плоскасці, трэба ведаць каардынаты зорак. Каардынаты зорак адносна гарызонта, напрыклад вышыня, хоць і наглядныя, але для карт нязручныя, паколькі ўвесь час мяняюцца. Трэба ўзяць сістэму каардынат, якая верціцца разам з зорным

небам. Яна называецца экватарыяльнай сістэмай. У ёй адной каардынатай з'яўляецца вуглавая адлегласць свяціла ад нябеснага экватара (рыс. 19). Яна называецца схіленнем δ , на поўнач лічыцца дадатнай, на поўдзень адмоўнай і мяняецца ў межах $\pm 90^\circ$. Схіленне аналагічна геаграфічнай шыраце.

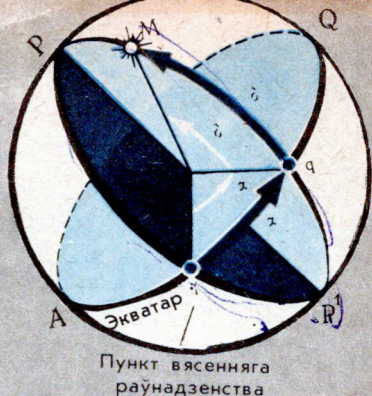
Другая каардыната аналагічна геаграфічнай даўгаце і называецца прамым узыходжаннем α .

α вымяраецца вуглом паміж плоскасцямі вялікага круга, праведзенага праз полюсы свету і праз дадзены пункт, і вялікага круга, што праходзіць праз полюсы свету і пункт вясенняга раўнадзенства.

Гэты вугал адлічваюць ад пункта вясенняга раўнадзенства супраць гадзіннікавай стрэлкі, калі глядзець з паўночнага полюса. Ён змяняецца ад 0 да 360° і называецца прамым узыходжаннем таму, што зоркі, размешчаныя на нябесным экватары, усходзяць у парадку ўзрастання іх прамого ўзыходжання. У гэтым жа парадку яны кульмінаруюць адна за другой. Таму α выражаюць звычайна не ў дугавых мерах, а ў мерах часу. Зыходзяць з таго, што неба за 1 г паварочваецца на 15° , а за 4 *мін* — на 1° . Таму прамое ўзыходжанне 90° інакш будзе 6 г, а 7 г 18 *мін* — $109^\circ 30'$.

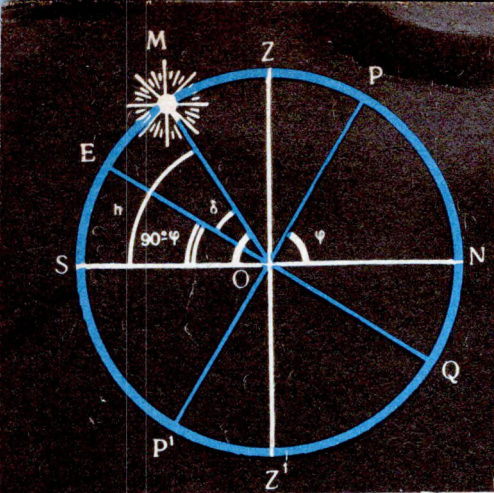
У адзінках часу па краях зорнай карты надпісваюць прамыя ўзыходжання. Існуюць таксама і зорныя глобусы. Зоркі паказаны на сферычнай паверхні глобуса, а назіральнік павінен ўяўляць сябе ў яго цэнтры.

На адной карце можна паказаць без скажэнняў толькі частку зорнага неба. Тым, хто пачынае карыстацца такой картай, цяжка, таму што яны не ведаюць, якія сузор'і бачны ў дадзены час і як яны размешчаны адносна гарызонта. Больш зручнай з'яўляецца рухомая карта зорнага неба. Ідэя яе будовы простая. На карту накладзены круг з выразам, які абазначае лінію гарызонта. Выраз гарызонта эксцэнтрычны, і пры вярчэнні накладнога круга ў выразе будуць бачны сузор'і, што знаходзяцца над гарызонтам у розны час. Як карыстацца такой картай, сказана ў дадатку VII.



19. Экватарыяльныя каардынаты.

4. 1. Выразіце 9 г 15 *мін* 11 сек у дугавой меры.
2. Па табліцы каардынат яркіх зорак, дадзенай у дадатку IV, знайдзіце на зорнай карце некаторыя з гэтых зорак.
3. Па карце адлічыце каардынаты некалькіх яркіх зорак і правярце правільнасць свайго вызначэння па спісу яркіх зорак з іх каардынатамі.
4. Па школьнаму астранамічнаму календару знайдзіце каардынаты планет у дадзены час і вызначце па карце, у якім сузор'і яны знаходзяцца. Знайдзіце іх увечары на небе.



20. Вышыня свяціла ў верхняй кульмінацыі.

2. Вышыня свяціл у кульмінацыі.

Вельмі важная простая формула сувязі вышыні h свяціла ў верхняй кульмінацыі з яго схіленнем δ і шыратой мясцовасці φ . На рысунку 20 паказана вертыкальная лінія ZZ' , вось свету PP' і праекцыя нябеснага экватара EQ і лінія гарызонта NS (паўдзённая лінія) на плоскасць нябеснага мерыдыяна $PZSP'N$. Вугал паміж паўдзённай лініяй NS і воссю свету PP' роўны, як мы ведаем, шыраце мясцовасці φ . Відавочна, нахіл плоскасці нябеснага экватара да гарызонта, які вымяраецца вуглом EOS , роўны $90^\circ - \varphi$. Зорка M са схіленнем δ , што кульмінуе на поўдзень ад зеніту, мае ў верхняй куль-

мінацыі вышыню $h = 90^\circ - \varphi + \delta$, што непасрэдна відаць з рысунка 20.

Калі зорка знаходзіцца на поўдзень ад экватара, то яе схіленне адмоўнае. З гэтай формулы відаць, што геаграфічную шырату можна вызначыць і па зорцы, якая кульмінуе на поўдзень ад зеніту. Ведаючы яе схіленне δ па даведніку, вымяраюць h у момант яе верхняй кульмінацыі.

Пры вызначэнні шыраты па вышыні полюса свету над гарызонтам практычна вымяраюць вышыню Палярнай або іншай блізкай да полюса зоркі ў час кульмінацыі і ўносяць папраўку на адлегласць гэтай зоркі ад полюса свету. Вызначэннямі вышыні свяціл у кульмінацыі часта карыстаюцца штурманы флоту для вызначэння геаграфічнай шыраты.

Для дадзеных ніжэй практыкаванняў геаграфічныя каардынаты гарадоў можна адлічыць па геаграфічнай карце.

1. Сірыус (α В. Пса, гл. дадатак IV) быў у верхняй кульмінацыі на вышыні 10° . Чаму роўна шырата месца назірання?
2. На якой вышыні ў Ленінградзе бывае верхняя кульмінацыя Антарэса (α Скарпіёна, гл. дадатак IV)?
3. Якое схіленне зорак, што ў вашым горадзе кульмінуюць у зеніце? У пункце поўдня?
4. Вызначце паўдзённую вышыню Сонца ў Архангельску і ў Ашхабадзе ў дні летняга і зімняга сонцастаяння.

- 3. **Дакладны час.** Для вымярэння кароткіх прамежкаў часу асноўнай адзінкай з'яўляецца сярэдняе працягласць сонечных сутак, г. зн. сярэдні прамежак часу паміж дзвюма верхнімі (або ніжнімі) кульмінацыямі цэнтра Сонца. На працягу года працягласць гэтага прамежку крыху вагаецца. Адбываецца гэта таму, што Зямля абарачаецца вакол Сонца не па кругу, а па эліпсу, і скорасць яе руху пры гэтым крыху мяняецца. Гэта і выклікае

невялікія нераўнамернасці ў бачным руху Сонца па экліптыцы на працягу года.

Момант верхняй кульмінацыі цэнтра Сонца, як мы ўжо гаварылі, называецца сапраўдным поўднем. Але для праверкі гадзінніка, для вызначэння дакладнага часу няма патрэбы адзначаць па ім іменна момант кульмінацыі Сонца. Больш зручна і больш дакладна адзначаць моманты кульмінацыі зорак, а рознасць момантаў кульмінацыі любой зоркі і Сонца вядома дакладна для любога часу. Сапраўды, рух Зямлі, а значыць, змяненне бачнага становішча Сонца адносна зорак вядома дакладна. Так, па назіраннях зорак у абсерваторыі сістэматычна правяраюць галоўны гадзіннік, што практычна зводзіцца да вызначэння яго папраўкі, г. зн. велічыні (са знакам + або —), якую трэба дадаць да паказання гадзінніка, каб атрымаць дакладны час. У прамежках паміж вызначэннем паправак гадзінніка дакладны час «захоўвае» кварцавы або іншы гадзіннік, у якім падтрымліваецца вельмі дакладна частата якіх-небудзь вагальных працэсаў. У цяперашні час створан атамны гадзіннік, які «ідзе» з вельмі вялікай дакладнасцю. Ён скарыстоўваецца для захоўвання дакладнага часу.

Вызначэнне дакладнага часу астранамічнымі назіраннямі, яго захоўванне і перадача па радыё ўсяму насельніцтву з'яўляюцца задачай так званай службы дакладнага часу, якая існуе ў многіх краінах. У выніку работы службаў часу нядаўна высветліліся вельмі нязначныя ваганні ў скорасці вярчэння Зямлі вакол восі, якая раней лічылася строга пастаяннай.

Сігналы дакладнага часу па радыё прымаюць штурманы марскога і паветранага флоту, многія навуковыя і вытворчыя арганізацыі, якім неабходна ведаць дакладны час. Ведаць дакладны час трэба, у прыватнасці, і для вызначэння геаграфічных даўгот розных пунктаў зямной паверхні.

4. Лічэнне часу. Вызначэнне геаграфічнай даўгаты. Калян-дар. З курса фізічнай геаграфіі СССР вам вядомы паняцці мясцовага, паяснога і дэкрэтнага лічэння часу, а таксама, што рознасць геаграфічных даўгот двух пунктаў вызначаюць па рознасці мясцовага часу гэтых пунктаў. Гэта задача рашаецца астранамічнымі метадамі, якія скарыстоўваюць назіранні зорак. На аснове вызначэння дакладных каардынат асобных пунктаў робіцца картаграфаванне зямной паверхні.

Для лічэння вялікіх прамежкаў часу людзі са старажытных часоў скарыстоўвалі працягласць або месячнага месяца, або сонечнага года, г. зн. працягласць абароту Сонца па экліптыцы. Год вызначае перыядычнасць сезонных змяненняў, вельмі важную для земляроба і жывёлавода. Сонечны год крыху большы за 365 сонечных сутак 5 гадзін 48 мінут 46 секунд. Ён практычна несувымерны з суткамі і з даўжынёй месячнага месяца — перыядам змены месячных фаз (каля 29,5 сут). Гэта і складае цяжкасць стварэння простага і зручнага календара. Паўднёвыя жывёлагдоўчыя народы карысталіся звычайна месячнымі месяцамі. Для

ўзгаднення лічэння па Месяцу з Сонцам прыходзілася ўстанаўліваць у годзе то 12, то 13 месяцаў і ўстаўляць яшчэ часам дадатковыя дні. Больш простым і зручным быў сонечны каляндар, які ўжываўся яшчэ ў старажытным Егіпце.

У Рыме яшчэ да нашай эры Юлій Цэзар увёў каляндар з высакоснымі гадамі, які пасля атрымаў, як вядома вам з курса фізічнай геаграфіі, назву юліянскага або старога стылю. У гэтым календары для прастаты год у сярэднім прыняты за 365 сут 6 г. г. зн. крыху даўжэй сапраўднага. З гэтай прычыны стары стыль адставаў ад сапраўднага часу прыкладна на 3 сут за кожныя 400 гадоў.

У грыгарыянскім календары (новым стылі), уведзеным у СССР у 1918 г. і яшчэ раней прынятым у большасці краін, гады, якія заканчваюцца на два нулі, за выключэннем 1600, 2000, 2400 і г. д. (г. зн. тых, у якіх лік соцень дзеліцца на 4 без астатку), не лічацца высакоснымі. Гэтым і выпраўляюць памылку ў 3 сут, якая набягае за 400 гадоў. Такім чынам, сярэдняя працягласць года ў новым стылі аказваецца вельмі блізкай да перыяду абарачэння Сонца па экліптыцы. Месяцы ў нашым календары ўжо не звязаны з Месяцам, і толькі слова «месяц» нагадвае аб месяцах, якія калісьці прымяняліся.

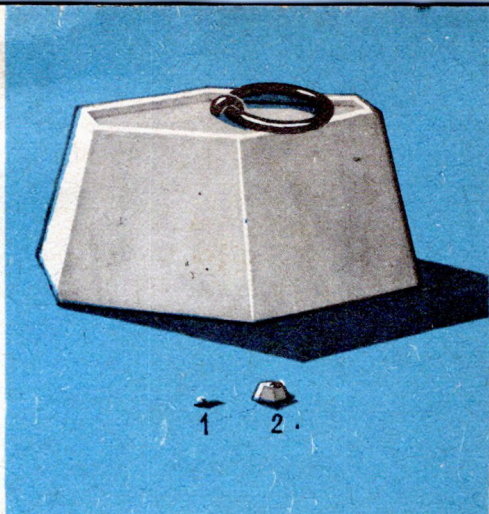
6. САСТАЎ СОНЕЧНОЙ СИСТЭМЫ

З курса прыродазнаўства вы ведаеце, што сонечную сістэму складаюць Сонца і планеты з іх спадарожнікамі, што зоркі размешчаны непараўнальна далей ад нас, чым планеты. Нават бліжэйшая зорка знаходзіцца на адлегласці ад Сонца ў 7000 разоў далей, чым самая далёкая з вядомых планет — Плутон. Плутон жа знаходзіцца ў 40 разоў далей ад Сонца, чым Зямля. Усё гэта трэба сабе ўявіць выразна з самага пачатку.

Вядома 9 планет, якія называюцца вялікімі. Яны абарачаюцца вакол Сонца па эліпсах (якія мала адрозніваюцца ад акружнасцей) амаль у адной плоскасці, у парадку аддалення ад Сонца — гэта Меркурый, Венера, Зямля (з Месяцам), Марс, Юпітэр, Сатурн, Уран, Нептун і Плутон (рыс. 21). Паміж Марсам і Юпітэрам абарачаецца мноства астэроідаў (малых планет, названых так за іх зоркападобны выгляд у тэлескоп). Колькасць ужо вядомых астэроідаў набліжаецца да 2000. Вакол Сонца абарачаюцца яшчэ каметы¹ — вялікія ўтварэнні з разрэджанага газу з вельмі малым цвёрдым ядром. Большасць з іх мае эліптычныя арбіты, якія выходзяць за арбіту Плутона, так што дыяметр апошняй толькі ўмоўна прымаецца за дыяметр сонечнай сістэмы. Апрача гэтага, вакол Сонца абарачаюцца па эліпсах незлічоныя метэорныя целы, размерам ад пячынкі да дробнага астэроіда. Разам з астэроідамі і каметамі яны ўтвараюць малыя целы сонечнай сістэмы. Сонца прыкладна ў 333 000 разоў больш масіўнае, чым Зямля (рыс. 22), а маса ўсіх планет складае ўсяго толькі 0,1% ад масы Сонца, таму яно сілай свайго прыцяжэння кіруе рухам усіх членаў сонечнай сістэмы. Яно ў 109 разоў большае за Зямлю па дыяметру. З планет самая вялікая — Юпітэр (рыс. 23).

Сістэмы спадарожнікаў, калі іх у планеты некалькі, нагадваюць сонечную сістэму ў мініяцюры.

¹ Па-старажытнагрэчаску камета азначае калматае свяціла.

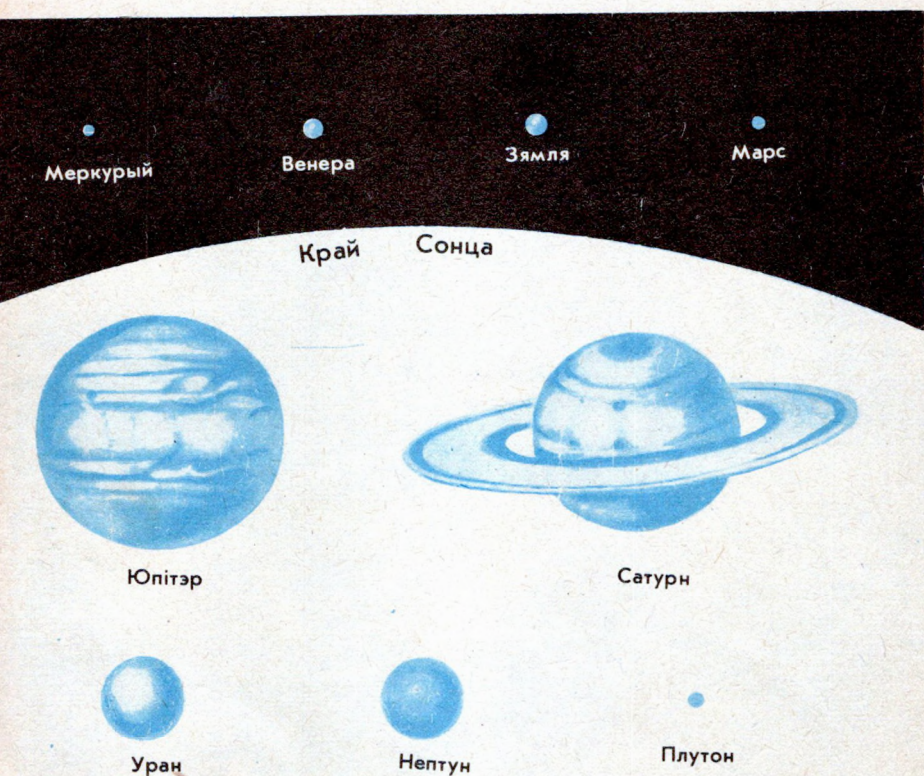


21. План сонечнай сістэмы (арбіты планет, больш блізкіх да Сонца, чым Зямля, не паказаны).

22. Параўнанне мас Сонца і некаторых планет:

Меркурый, Венера, З — Зямля; 2 — Юпітэр.

23. Параўнанне размераў планет і Сонца.



Дакладныя значэнні адлегласцей планет ад Сонца, перыядаў іх абарачэння, вярчэння вакол восі і іншыя характарыстыкі планет дадзены ў табліцы V дадатку, а ў тэксце і ў задачах часта прыводзяцца акругленыя значэнні, з якіх дастаткова запомніць толькі тыя, якія дадзены ў дадатку I.

Прастора паміж планетамі запоўнена вельмі разрэджаным газам з касмічным пылам. Яе пранізваюць электрамагнітныя спрамяненні; яна носыбіт магнітных і гравітацыйных палёў.

ЗАКОНЫ РУХУ ПЛАНЕТ І ШТУЧНЫХ НЯБЕСНЫХ ЦЕЛ

7.1. Форма арбіты і скорасць руху. Чым бліжэй планеты да Сонца, тым большыя лінейная і вуглавая скорасці іх абарачэння вакол Сонца. **Перыяд абарачэння планет вакол Сонца ў адносінах да зорак называецца зорным або сідэрычным перыядам.** Такі перыяд абарачэння Зямлі адносна зорак называецца зорным годам. Найменшы зорны перыяд абарачэння ў планеты Меркурый — 88 сут. У Марса ён складае амаль 2 гады, а ў Юпітэра — 12 гадоў і, ўсё ўзрастаючы з аддаленнем ад Сонца, у Плутона даходзіць амаль да 250 гадоў.

Заслуга адкрыцця законаў руху планет належыць выдатнаму нямецкаму вучонаму Іагану Кеплеру. У пачатку XVII ст. ён устанавіў тры законы руху планет. Яны названы законамі Кеплера.

Першы закон Кеплера: кожная планета абарачаецца вакол Сонца па эліпсу, у адным з фокусаў якога знаходзіцца Сонца (рыс. 24).

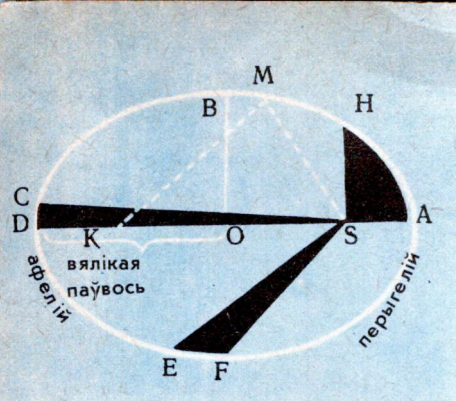
Эліпсам называецца плоская замкнёная крывая, якая мае такую ўласцівасць, што сума адлегласцей кожнага яе пункта ад двух пунктаў, што называюцца фокусамі, застаецца пастаянай. Гэта сума адлегласцей роўна даўжыні вялікай восі эліпса (рыс. 24). Пункт O — цэнтр эліпса, DA — яго вялікая вось, $DO = a$ — вялікая паўвось, K і S — фокусы. Сонца знаходзіцца ў фокусе S .

Ступень выцягнутасці эліпса характарызуецца велічынёй яго эксцэнтрысітэту. Эксцэнтрысітэт $e = OS : OA$ роўны адносіне адлегласці фокуса ад цэнтра да даўжыні вялікай паўвосі. У прэздзеле пры супадзенні фокусаў і цэнтра ($e = 0$) эліпс ператвараецца ў акружнасць. Вялікая паўвось a з'яўляецца сярэдняй адлегласцю планеты ад Сонца:

$$OD = \frac{DS + AS}{2}.$$

Бліжэйшы да Сонца пункт арбіты называецца перыгеліем, а самы далёкі ад яго пункт — афеліем. Арбіты планет — эліпсы, якія мала адрозніваюцца ад акружнасцей, іх эксцэнтрысітэты малыя. Напрыклад, эксцэнтрысітэт арбіты Зямлі $e = 0,017$.

Эксцэнтрысітэты арбіт у большасці камет набліжаюцца да адзінкі. Пры $e = 1$ другі фокус эліпса аддаляецца (у прэздзеле) у



24. Закон плошчаў (другі закон Кеплера).

25. Формы арбіт, якія апісваюцца пад дзеяннем цягання, на прыкладзе арбіт касмічных ракет (пасланыя па стрэлцы, яны не вернуцца, калі пойдучы па парабале або гіпербале, і па перарывістых частках крывых руху не будзе).



бесканечнасць, так што эліпс становіцца разамкнёнай крывой (рыс. 25), якая называецца парабай. Пры $e > 1$ арбіта з'яўляецца гіпербай (рыс. 25). Рухаючыся па парабале або гіпербале, цела толькі аднойчы агінае Сонца і назаўсёды аддаляецца ад яго.

Кеплер адкрыў свае законы, вывучаючы перыядычнае абарачэнне Марса вакол Сонца. Ньютан, зыходзячы з назіранняў руху Месяца і законаў Кеплера, адкрыў закон сусветнага цягання. Пры гэтым ён знайшоў, што пад дзеяннем узаемнага цягання целы могуць рухацца адно адносна другога па эліпсу, у прыватнасці па кругу, па парабале і па гіпербале.

Ньютан усталяваў, што выгляд арбіты, якую апісвае цела, залежыць ад яго скорасці ў дадзеным месцы арбіты. Пры некаторай скорасці цела апісвае акружнасць каля прыцягваючага цэнтра. Такую скорасць называюць першай касмічнай скорасцю, яе надаюць целам, якія запускаюцца ў якасці штучных спадарожнікаў Зямлі. Вывад формулы для вылічэння першай касмічнай скорасці вядомы з курса фізікі.

Першая касмічная скорасць паблізу паверхні Зямлі складае каля 8 км/сек . Калі целу надаць скорасць у $\sqrt{2}$ раз большую, г. зн. каля 11 км/сек , якая называецца другой касмічнай скорасцю, то цела назаўсёды аддаліцца ад Зямлі і можа стаць спадарожнікам Сонца. У гэтым выпадку цела будзе рухацца па парабале адносна Зямлі. Пры яшчэ большай скорасці адносна Зямлі цела паляціць па гіпербале.

Сярэдняя скорасць руху Зямлі па арбіце 30 км/сек . Арбіта Зямлі блізкая да акружнасці, а скорасць руху Зямлі па арбіце блізкая да кругавой на адлегласці Зямлі ад Сонца. Парабалічная скорасць на

адлегласці Зямлі ад Сонца роўна $30\sqrt{2} \text{ км/сек} = 42 \text{ км/сек}$. Пры такой скорасці адносна Сонца цела з арбіты Зямлі пакіне сонечную сістэму.

2. Другі і трэці законы Кеплера.

Другі закон Кеплера (закон плошчаў): *радыус-вектар планеты за аднолькавыя прамежкі часу апісвае роўныя плошчы*, г. зн. плошчы SAH і SCD роўны (рыс. 24), калі дугі AH і CD апісаны планетай за аднолькавыя прамежкі часу. Але даўжыні гэтых дуг, абмяжоўваючых роўныя плошчы, розныя: $AH > CD$. Значыць, лінейная скорасць руху планеты неаднолькавая ў розных пунктах яе арбіты. Скорасць планеты ў час руху яе па арбіце тым большая, чым бліжэй яна да Сонца. У перыгеліі скорасць планеты найбольшая. Такім чынам, другі закон Кеплера колькасна вызначае змяненне скорасці руху планеты па эліпсу.

Трэці закон Кеплера: *квадраты зорных перыядаў абарачэння планет адносяцца як кубы вялікіх паўвосей іх арбіт*. Калі вялікую паўвось арбіты і зорны перыяд абарачэння адной планеты абазначыць a_1 , T_1 , а другой планеты — праз a_2 , T_2 , то формула трэцяга закону будзе такая:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}.$$

Трэці закон Кеплера звязвае сярэднія адлегласці планет ад Сонца з перыядамі іх зорных абарачэнняў і дае магчымасць вялікія паўвосі ўсіх планетных арбіт выразіць у адзінках вялікай паўвосі зямной арбіты. Вялікая паўвось зямной арбіты прынята за астранамічную адзінку адлегласцей. У астранамічных адзінках сярэднія адлегласці планет ад Сонца былі вызначаны раней, чым даведаліся аб даўжыні астранамічнай адзінкі ў кіламетрах.

6. 1. Марс далей ад Сонца, чым Зямля, у $1\frac{1}{2}$ раза. Якая працягласць года на Марсе?

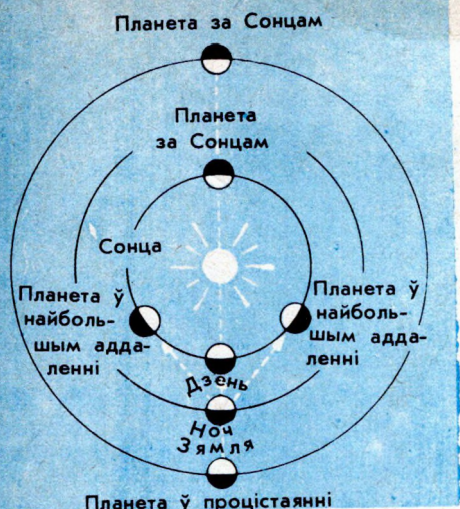
2. Вызначце перыяд абарачэння штучнага спадарожніка Зямлі, калі найвышэйшы пункт яго арбіты над Зямлёй 5000 км, а найніжэйшы 300 км. Зямлю лічыць шарам з радыусам 6370 км. Параўнайце рух спадарожніка з абарачэннем Месяца.

3. Вызначце перыяды абарачэння штучных спадарожнікаў па трох эліпсах, дадзеных на рысунку 25, вымераўшы іх вялікія восі лінейкай і прыняўшы радыус Зямлі роўным 6370 км.

4. У якой адносіне колькасна мяняецца бачны з Зямлі і з Марса вуглавы дыяметр Сонца ад перыгелія да афелія, калі эксцэнтрысітэты іх арбіт адпаведна 0,017 і 0,093?



Іаган Кеплер (1571—1630).



26. Канфігурацыя планет.

8. КАНФІГУРАЦЫІ І СІНАДЫЧНЫЯ ПЕРЫЯДЫ ПЛАНЕТ

1. Канфігурацыі планет. *Канфігурацыямі планет называюць некаторыя характэрныя ўзаемныя размяшчэнні планет Зямлі і Сонца.*

Перш за ўсё заўважым, што ўмовы бачнасці планет з Зямлі рэзка адрозніваюцца для планет унутраных, арбіты якіх ляжаць унутры зямной арбіты, і для планет знешніх (Венера і Меркурый — планеты ўнутраныя, астатнія — знешнія). Унутраная планета можа аказвацца паміж Зямлёй і Сонцам або за Сонцам. У такіх становішчах планета нябачная, паколькі губляецца ў праменнях Сонца. Гэтыя становішчы на-

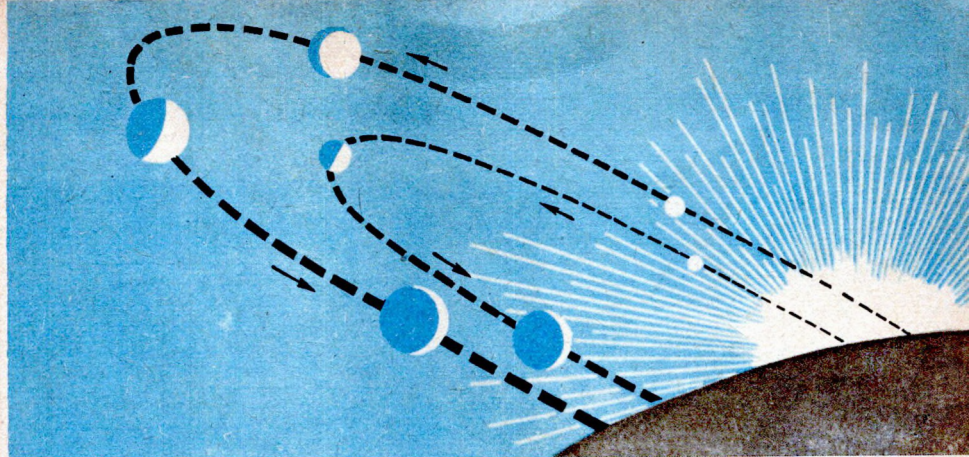
зваваюцца злучэннямі планеты з Сонцам. У ніжнім злучэнні планета бліжэй за ўсё да нас, а ў верхнім злучэнні яна ад нас далей за ўсё (рыс. 26).

Лёгка бачыць, што вугал паміж напрамкамі з Зямлі на Сонца і на ўнутраную планету ніколі не перавышае пэўнай велічыні, застаючыся вострым. Гэты гранічны вугал называецца найбольшым аддаленнем планеты ад Сонца. Найбольшае аддаленне Меркурыя даходзіць да 28° , Венеры да 48° . Таму *ўнутраныя планеты заўсёды бачны паблізу Сонца* або раніцай ва ўсходнім баку неба, або ў заходнім баку неба ўвечары. Паколькі Меркурый блізка знаходзіцца да Сонца, убачыць яго няўзброеным вокам удаецца рэдка (рыс. 26 і 27).

Венера адыходзіць ад Сонца на небе на большы вугал, і яна бывае ярчэйшай за ўсе зоркі і планеты. Пасля захаду Сонца яна даўжэй застаецца на небе ў праменнях зары і нават на яе фоне відаць выразна. Гэтак жа добра яна бывае бачна і ў праменнях ранішняй зары. Лёгка зразумець, што ў паўднёвым баку неба, і наогул сярод ночы, ні Меркурыя, ні Венеры ўбачыць нельга.

Калі, праходзячы паміж Зямлёй і Сонцам, Меркурый або Венера праецыруюцца на сонечны дыск, то яны тады бачны на ім як маленькія чорныя кружочки. Падобныя праходжанні па дыску Сонца ў час ніжняга злучэння Меркурыя і асабліва Венеры бываюць рэдка, не часцей чым праз 7—8 гадоў.

Асветленае Сонцам паўшар'е ўнутранай планеты пры розных становішчах яе адносна Зямлі нам відаць па-рознаму. Таму для зямных назіральнікаў *ўнутраныя планеты мяняюць свае фазы*, як Месяц. У ніжнім злучэнні з Сонцам планеты павернуты да нас сваім неасветленым бокам і нябачны. Крыху ўбаку ад гэтага становішча яны маюць выгляд сярпа. З павелічэннем вуглавой адлегласці планеты ад Сонца вуглавая дыяметр планеты памян-



27. Размяшчэнне арбіт Меркурыя і Венеры адносна гарызонта для назіральніка, калі Сонца заходзіць (указаны фазы і бачны дыяметр планет у розных іх становішчах на іх арбітах адносна Сонца пры адным і тым жа становішчы назіральніка).

шаецца, а шырыня сярпа робіцца ўсё большай. Калі вугал пры планеце паміж напрамкамі на Сонца і на Зямлю складае 90° , мы бачым роўна палавіну асветленага паўшар'я планеты. Цалкам такая планета звернута да нас сваім дзённым паўшар'ем у эпоху верхняга злучэння. Але тады яна губляецца ў сонечных праменнях і нябачная.

Знешнія планеты могуць знаходзіцца ў адносінах да Зямлі за Сонцам (у злучэнні з ім), як Меркурый і Венера, і тады яны таксама губляюцца ў сонечных праменнях. Яны могуць знаходзіцца на прадаўжэнні прамой лініі Сонца — Зямля, так што Зямля пры гэтым аказваецца паміж планетай і Сонцам. Такая канфігурацыя называецца супрацьстаяннем. Яно найбольш зручнае для назіранняў, паколькі ў гэты час планета, па-першае, бліжэй за ўсё да Зямлі, па-другое, павернута да яе сваім асветленым паўшар'ем і, па-трэцяе, знаходзячыся на небе ў месцы, процілеглым Сонцу, планета бывае ў верхняй кульмінацыі каля паўночы і, значыць, доўга відаць перад паўноччу і пасля яе.

Моманты канфігурацыі планет, умовы іх бачнасці ў дадзеным годзе і іх будучы петлепадобны шлях на фоне зорнага неба прыводзяцца ў «Школьным астранамічным календары».

2. Сінадычныя перыяды. *Сінадычным перыядам планеты называецца прамежак часу, які цягнецца паміж паўтарэннямі яе аднолькавых канфігурацый*, напрыклад паміж двума супрацьстаяннямі.

Скорасць руху планет тым большая, чым яны бліжэй да Сонца. Таму пасля супрацьстаяння Марса Зямля пачне яго абганяць. З кожным днём яна будзе адыходзіць ад яго ўсё далей. Калі яна абгоніць яго на поўны абарот, то зноў адбудзецца супрацьстаянне. Сінадычны перыяд знешняй планеты — гэта прамежак часу, пасля якога Зямля абганяе планету на 360° у іх руху ва-

кол Сонца. Вуглавая скорасць Зямлі (вугал, які яна апісвае за суткі) складае $360^\circ: T_\oplus$, вуглавая скорасць Марса — $360^\circ: T$, дзе $T_\oplus$ — лік сутак у годзе, T — зорны перыяд абарачэння планеты, выражаны ў сутках. Калі S — сінадычны перыяд планеты ў сутках, то праз S сутак Зямля абгоніць планету на 360° , г. зн.

$$\left(\frac{360^\circ}{T_\oplus} - \frac{360^\circ}{T}\right) S = 360^\circ, \text{ або } \frac{1}{S} = \frac{1}{T_\oplus} - \frac{1}{T}.$$

Калі ў гэту формулу падставіць адпаведныя лікі (гл. табліцу V у дадатку), то можна знайсці, напрыклад, што сінадычны перыяд Марса 780 сут — і г. д. Для ўнутраных планет, якія абарачаюцца хутчэй, чым Зямля ($T_\oplus > T$), трэба пісаць:

$$\left(\frac{360^\circ}{T} - \frac{360^\circ}{T_\oplus}\right) S = 360^\circ, \text{ або } \frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{T_\oplus}.$$

Для Венеры сінадычны перыяд складае 584 сут.

Астраномам спачатку не былі вядомы зорныя перыяды планет, у той час як сінадычныя перыяды планет S вызначалі з прамых назіранняў. Напрыклад, адзначалі, колькі часу праходзіць паміж паслядоўнымі супрацьстаяннямі планеты, г. зн. паміж днямі, калі яна кульмінуе дакладна ў поўнач. Вызначыўшы з назіранняў сінадычныя перыяды S , знаходзілі вылічэннем зорныя перыяды абарачэння планет T . Калі пазней Кеплер адкрыў законы руху планет, то пры дапамозе трэцяга закону ён змог устанавіць больш дакладна іх адносныя адлегласці ад Сонца, паколькі зорныя перыяды планет былі вылічаны зыходзячы з сінадычных перыядаў, вызначаных з назіранняў.

7. 1. Зорны перыяд абарачэння Юпітэра роўны 12 гадам. Праз колькі часу паўтараюцца яго супрацьстаянні?
2. Заўважана, што супрацьстаянні некаторай планеты паўтараюцца праз 2 гады. Чаму роўна вялікая паўвось яе арбіты?
3. Сінадычны перыяд планеты 500 сут. Вызначце вялікую паўвось яе арбіты. (Перачытайце ўважліва гэта заданне.)

9. ПАРУШЭННІ Ў РУХУ ПЛАНЕТ. ПАНЯЦЦЕ АБ ПРЫЛІВАХ. ВЫЗНАЧЭННЕ МАС

1. Парушэнні ў руху планет. Ньютан, аналізуючы законы руху планет, адкрытыя Кеплерам, устанавіў закон сусветнага цягання. Па гэтаму закону, як вы ўжо ведаеце з курса фізікі, *усе целы ў Сусвеце прыцягваюцца адно да другога з сілай, прама прапарцыянальнай здабытку іх мас і адваротна прапарцыянальнай квадрату адлегласцей паміж імі:*

$$F = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}.$$

Тут m_1 і m_2 — маси двух цел, r — адлегласць паміж імі, а γ — каэфіцыент прапарцыянальнасці, які называецца гравітацыйнай пастаяннай. Яго лікавая велічыня залежыць ад адзінак, у якіх выражаны сіла, маса і адлегласць. Закон сусветнага цягання тлумачыць рух планет і камет вакол Сонца, рух спадарожнікаў вакол планет, падвойных і кратных зорак вакол іх агульнага цэнтра мас.

Законы Кеплера дакладна выконваюцца толькі тады, калі разглядаюць рух двух ізаляваных цел пад уплывам іх узаемнага прыцяжэння. У сонечнай сістэме планет многа, усе яны не толькі прыцягваюцца Сонцам, але і прыцягваюць адна другую, таму іх рух не ў дакладнасці падпарадкоўваюцца законам Кеплера.

Адхіленні ад руху, які адбываўся б строга па законах Кеплера, называюцца парушэннямі. У сонечнай сістэме парушэнні невялікія, таму што прыцяжэнне кожнай планеты Сонцам значна мацнейшае, чым прыцяжэнне іншых планет.

Найбольшыя парушэнні ў сонечнай сістэме выклікае планета Юпітэр, якая прыкладна ў 300 разоў больш масіўная, чым Зямля. Юпітэр аказвае асабліва моцны ўплыў на рух астэроідаў і камет, калі яны блізка да яго падыходзяць. У прыватнасці, калі напрамкі паскарэнняў каметы, выкліканыя прыцяжэннем Юпітэра і Сонца, супадаюць, то камета можа развіць такую вялікую скорасць, што, рухаючыся па гіпербале, назаўсёды пакіне сонечную сістэму. Былі выпадкі, калі прыцяжэнне Юпітэра стрымлівала камету, эксцэнтрысітэт яе арбіты рабіўся меншы і рэзка памяншаўся перыяд абарачэння.

Пры вылічэннях бачнага становішча планет прыходзіцца ўлічваць парушэнні. Цяпер рабіць такія разлікі дапамагаюць хуткадзейнічаючыя электронна-вылічальныя машыны. Пры запуску штучных нябесных цел і пры разліку іх траекторый карыстаюцца тэорыяй руху нябесных цел, у прыватнасці тэорыяй парушэнняў.

Магчымасць адпраўляць аўтаматычныя міжпланетныя станцыі па жадаемых, загадзя разлічаных траекторыях, даводзіць іх да цэлі з улікам парушэнняў у руху — усё гэта яркія прыклады пазнавальнасці законаў прыроды. Неба, якое па ўяўленню веруючых з'яўляецца прыстанкам багоў, стала арэнай чалавечай дзейнасці гэтак жа, як і Зямля. Рэлігія заўсёды проціпастаўляла Зямлю і неба і аб'яўляла неба недасягальным. Але чалавек не толькі ўзняўся вышэй птушак, але і пераадолеў зямное цягаченне. Цяпер сярод планет перамяшчаюцца штучныя нябесныя целы, створаныя чалавекам, якімі ён можа кіраваць непасрэдна або па радыё з вялікіх адлегласцей.

2. Адкрыццё Нептуна. Адным з яркіх прыкладаў дасягненняў навукі, адным са сведчанняў неабмежаванай пазнавальнасці прыроды было адкрыццё існавання планеты Нептун шляхам вылічэнняў — «на кончыку пярца».

Уран — планета, якая знаходзіцца за Сатурнам і многа вякоў лічылася самай далёкай з планет, была адкрыта В. Гершэлем у канцы XVIII ст. Уран з цяжкасцю бачны няўзброеным вокам.

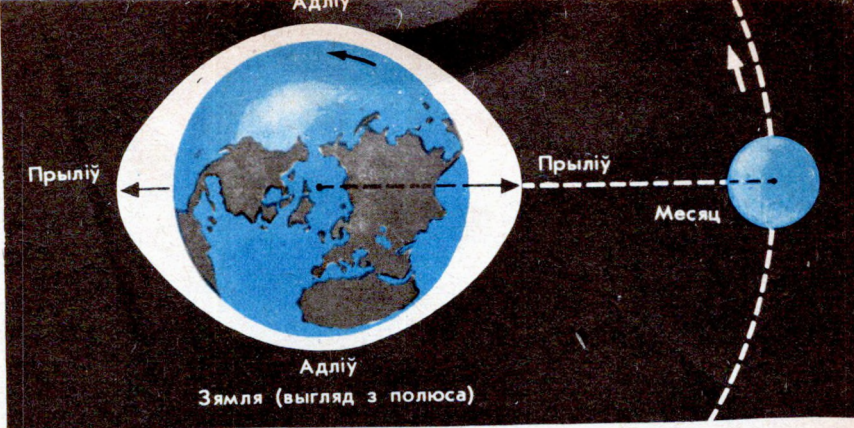
К 40-ым гадам XIX ст. дакладныя назіранні паказалі, што Уран ледзь прыкметна адхіляецца ад таго шляху, па якім ён павінен быў рухацца з улікам парушэнняў з боку ўсіх вядомых планет. Тэорыя руху нябесных цел, такая строгая і дакладная, падверглася выпрабаванню.

Левер'е (у Францыі) і Адамс (у Англіі) выказалі меркаванне, што калі парушэнні з боку вядомых планет не тлумачаць адхіленне ў руху Урана, значыць, на яго дзейнічае прыцяжэнне яшчэ невядомага цела. Яны амаль адначасова разлічылі, дзе за Уранам павінна быць невядомае цела, якое сваім прыцяжэннем утварае гэтыя адхіленні. Яны вылічылі арбіту невядомай планеты, яе масу і вызначылі месца на небе, дзе ў дадзены час павінна была знаходзіцца невядомая планета. Гэта планета і была знойдзена ў тэлескоп на вызначаным імі месцы ў 1846 г. Яе назвалі Нептунам. Нептун не бачны няўзброеным вокам. Такім чынам, існуючае рознагалоссе паміж тэорыяй і практыкай, здавалася, падрываўшае аўтарытэт матэрыялістычнай навукі, прывяло да яе трыумфу.

3. Паняцце аб тэорыі прыліваў. Пад дзеяннем узаемнага прыцяжэння частчак цела імкнецца набыць форму шара. Форма Сонца, планет, іх спадарожнікаў і зорак таму і блізкая да шарападобнай. Вярчэнне цел (як вы ведаеце з фізічных доследаў) выклікае іх сплюсчванне, сцісканне ўздоўж восі вярчэння. Таму крыху сціснуты ля полюсаў зямны шар, а больш за ўсё сціснуты Юпітэр і Сатурн, якія хутка верцяцца.

Але форма планет можа змяняцца і ад дзеяння сіл узаемнага прыцяжэння. Шарападобнае цела (планета) рухаецца ў цэлым пад дзеяннем гравітацыйнага прыцяжэння іншага цела так, як калі б уся сіла прыцяжэння была прыкладзена да яе цэнтра. Аднак асобныя часткі планеты знаходзяцца на рознай адлегласці ад прыцягваючага цела, таму гравітацыйнае паскарэнне ў іх таксама рознае, што і прыводзіць да ўзнікнення сіл, якія імкнуча дэфармаваць планету. **Рознасць паскарэнняў, выклікаемых прыцяжэннем іншага цела, у дадзеным пункце і ў цэнтры планеты называецца прыліўным паскарэннем.**

Разгледзім для прыкладу сістэму Зямля — Месяц. Адзін і той жа элемент масы ў цэнтры Зямлі будзе прыцягвацца Месяцам слабей, чым на баку, звернутым да Месяца, і мацней, чым на процілеглым баку. У выніку Зямля, і ў першую чаргу водная абалонка Зямлі, расцягваецца ўздоўж лініі, якая злучае яе з Месяцам. На рысунку 28 акіян для нагляднасці паказан так, што ён пакрывае ўсю Зямлю. У пунктах *A* і *B* узровень вады вышэй за ўсё — там прылівы. Уздоўж круга, які перпендыкулярны да напрамку на Месяц і праходзіць праз цэнтр Зямлі, узровень вады ніжэй за ўсё — там адліў. Пры сутачным вярчэнні Зямлі ў паласу прыліваў і адліваў пачаргова ўступаюць розныя месцы Зямлі. Лёгка зразумець, што за суткі могуць быць два прылівы і два адлівы. Можна паказаць, што прыліўнае паскарэнне мянецца адваротна прапарцыянальна кубу адлегласці. Калі б Ме-



28. Схема месячных прыліваў.

сяц стаў да нас у два разы бліжэй, то сіла прыцяжэння яго да Зямлі ўзрасла б у 4 разы, а прыліўнае паскарэнне — у 8 разоў.

Сонца таксама выклікае на Зямлі прылівы і адлівы, але з прычыны вялікай аддаленасці Сонца яны меншыя, чым месячныя, і менш прыкметныя.

З прылівамі перамяшчаецца вялікая маса вады. У цяперашні час пачынаюць скарыстоўваць велізарную энергію вады, якая ўдзельнічае ў прылівах, на берагах акіянаў і адкрытых мораў.

Вось прыліўных выступаў павінна быць заўсёды накіравана да Месяца. Пры вярчэнні Зямля імкнецца павярнуць вадзяны прыліўны выступ. Паколькі Зямля верціцца вакол восі значна хутчэй, чым Месяц абарачаецца вакол Зямлі, то Месяц адцягвае яго да сябе. У выніку ўзнікае так званае *прыліўнае трэнне*. Яно тармозіць вярчэнне Зямлі, і суткі з цягам часу становяцца даўжэйшымі (калісьці яны складалі толькі 5—6 г). Моцныя прылівы, якія выклікаюцца на Меркуры і Венеры Сонцам, як відаць, і з'явіліся прычынай іх вельмі павольнага вярчэння вакол восі. Моцныя прылівы, што выклікаліся Зямлёй, настолькі затармазілі вярчэнне Месяца, што ён заўсёды звернуты да Зямлі адным бокам. Па законах механікі (закон захавання моманту імпульсу) запаволенне вярчэння Зямлі выклікае аддаленне Месяца ад Зямлі. Праз многа мільёнаў гадоў Зямля таксама будзе звернута да Месяца адным бокам. Зямныя суткі стануць тады роўныя месяцу, які будзе значна даўжэйшы, чым працягласць сучаснага абароту Месяца вакол Зямлі. Такім чынам, прылівы з'яўляюцца важным фактарам эвалюцыі нябесных цел.

4. Вызначэнне мас нябесных цел. Маса — адна з найважнейшых характарыстык нябесных цел. Але як можна вызначыць масу нябеснага цела?

Ньютан даказаў, што больш дакладная формула трэцяга закона Кеплера такая:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} \cdot \frac{M_1 + m_1}{M_2 + m_2} = \frac{a_1^3}{a_2^3},$$

дзе M_1 і M_2 — масы якіх-небудзь нябесных цел, а m_1 і m_2 — адпаведна масы іх спадарожнікаў. У прыватнасці, планеты з'яўляюцца спадарожнікамі Сонца. Мы бачым, што удакладненая формула гэтага закону адрозніваецца ад набліжанай наяўнасцю множніка, што змяшчае масы. Калі пад $M_1 = M_2 = M$ разумець масу Сонца, а пад m_1 і m_2 — масы дзвюх розных планет, то адносіна $\frac{M + m_1}{M + m_2}$

будзе мала адрознівацца ад адзінкі, таму што m_1 і m_2 вельмі малыя ў параўнанні з масай Сонца. Пры гэтым дакладная формула не будзе прыкметна адрознівацца ад прыбліжанай.

Удакладнены трэці закон Кеплера дазваляе вызначаць масы планет, якія маюць спадарожнікаў, і масу Сонца. Каб вызначыць масу Сонца, перапішам формулу гэтага закону ў наступным выглядзе, параўноўваючы рух Месяца вакол Зямлі з рухам Зямлі вакол Сонца:

$$\frac{T_3^2}{T_M^2} \cdot \frac{M_C + M_3}{M_3 + m_M} = \frac{a_3^3}{a_M^3},$$

дзе T_3 і a_3 — перыяд абарачэння Зямлі (год у сутках) і вялікая паўвось яе арбіты; T_M і a_M — перыяд абарачэння Месяца вакол Зямлі і вялікая паўвось яго арбіты. M_C — маса Сонца, M_3 — маса Зямлі, m_M — маса Месяца. Маса Зямлі вельмі нязначная параўнальна з масай Сонца, а маса Месяца малая (1:81) параўнальна з масай Зямлі. Таму другія складаемыя ў сумах можна адкінуць, не робячы вялікай памылкі. Рашыўшы ўраўненне ад-

носна $\frac{M_C}{M_3}$, маем:

$$\frac{M_C}{M_3} = \left(\frac{a_3}{a_M} \right)^3 : \left(\frac{T_3}{T_M} \right)^2.$$

Па гэтай формуле вызначаюць масу Сонца, выражаную ў масах Зямлі. Яна складае каля 333 000 мас Зямлі.

Для параўнання мас Зямлі і іншай планеты, напрыклад Юпітэра, трэба ў зыходнай формуле індэкс 1 аднесці да руху Месяца вакол Зямлі, а 2 — да руху любога спадарожніка вакол Юпітэра.

Масы планет, што не маюць спадарожнікаў, вызначаюць па тых парушэннях, якія яны сваім прыцяжэннем утвараюць у руху суседніх з імі планет або ў руху камет і астероідаў.

8. 1. Вызначце масу Юпітэра параўнаннем сістэмы Юпітэра са спадарожнікам з сістэмай Зямля — Месяц, калі першы спадарожнік Юпітэра знаходзіцца ад яго на адлегласці $422 \cdot 10^3$ км і мае перыяд абарачэння 1,77 сут. Даныя для Месяца павінны быць вам вядомы.

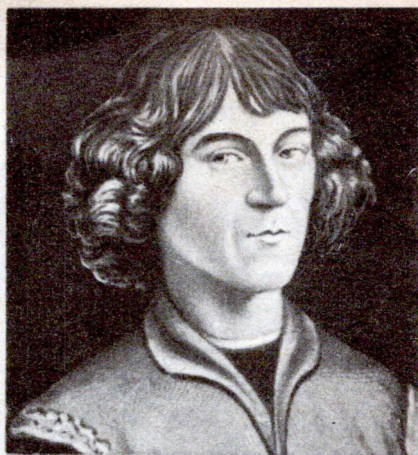
2. Вылічыце, на якой адлегласці ад Зямлі знаходзіцца тыя пункты, у якіх прыцяжэнні Зямлэй і Месяца аднолькавыя, ведаючы, што адлегласць паміж Месяцам і Зямлём роўна 60 радыусам Зямлі, а масы Зямлі і Месяца адносяцца як 81 : 1.

10. БАРАЦЬБА ЗА НАВУКОВЫ СВЕТАПОГЛЯД

Правільнае разуменне назіраемых нябесных з'яў складалася стагоддзямі. Вы ведаеце аб зараджэнні астраноміі ў Старажытным Егіпце і Кітаі, аб больш пазнейшых дасягненнях старажытнагрэчаскіх вучоных, аб назіраннях жрацоў і аб іх ілжывых уяўленнях аб прыродзе, аб скарыстанні імі сваіх ведаў для ўласнай выгады. Жрацы ж стварылі і астралогію — ілжывае вучэнне аб уплыве планет на характар і лёс людзей і народаў і аб выдуманай магчымасці прадказваць лёс па размяшчэнню свяціл.

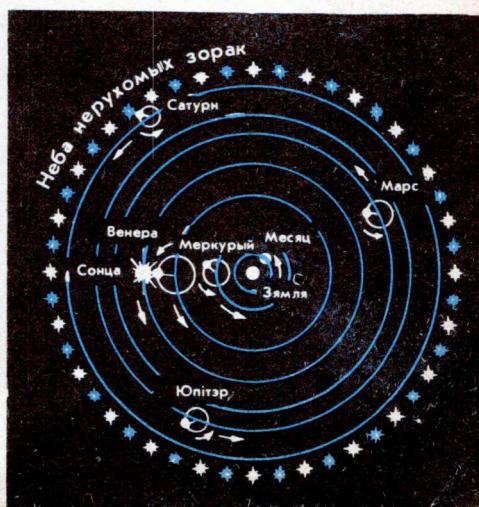
Вядома вам і геацэнтрычная сістэма свету, распрацаваная ў II ст. н. э. старажытнагрэчаскім вучоным Клаўдзіем Пталемеем. Ён у цэнтр свету «паставіў», хаця і шарападобную, але нерухомаму Зямлю, вакол якой абарачаліся ўсе астатнія свяцілы (рыс. 29). Бачны петлепадобны рух планет Пталемей растлумачыў спалучэннем двух раўнамерных кругавых рухаў: рухам самой планеты па малой акружнасці, цэнтр якой, у сваю чаргу, абарачаўся па вялікай акружнасці вакол Зямлі. Аднак па меры назапашвання даных назіранняў аб становішчах планет, тэорыя Пталемея патрабавала ўсё большых ускладненняў, якія рабілі яе грувасткай і непраўдападобнай. Відавочная штучнасць сістэмы, якая ўсё больш ускладнялася, і адсутнасць дастатковай узгодненасці паміж тэорыяй і назіраннямі патрабавалі яе замены. Гэта і было зроблена ў XVI ст. вялікім польскім вучоным Мікалаем Капернікам.

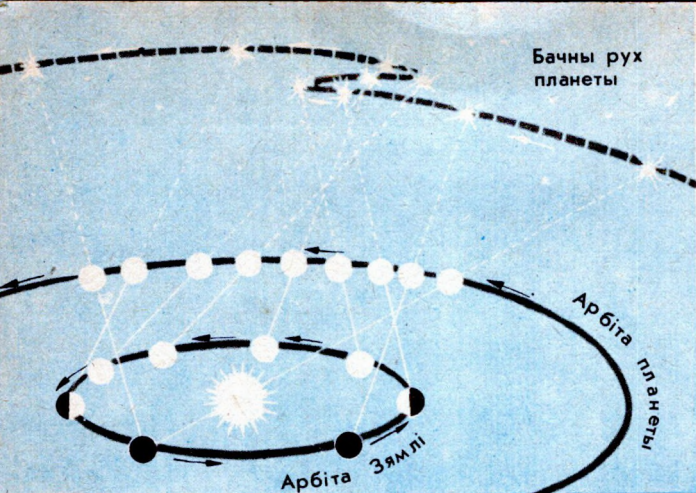
Капернік адкінуў дагматычнае палажэнне аб нерухомасці Зямлі, якое стагоддзямі валодала розумам людзей. Ён упершыню правільна склаў план будовы сонечнай сістэмы. Паставіўшы Зямлю ў лік радавых планет, ён указаў, што Зямля, займаючы трэцяе месца ад Сонца, прыстори вакол Сонца і, апрача таго, верціцца вакол сваёй восі. Капернік смела даказваў, што іменна вярчэннем Зямлі і яе абарачэннем вакол Сонца можна правільна растлумачыць вядомыя ў той час ня-



Мікалай Капернік (1473—1543).

29. Сістэма свету па Пталемею.





30. Пры назіранні з Зямлі праекцыя планеты на небе выпісвае пятлю (чарцёж зроблены ў праекцыі «збоку»).

бесныя з'явы і рух планет, які здаецца петлепадобным (рыс. 30). Гэта рэвалюцыя ў астраноміі і ў светапоглядзе, зробленая геліяцэнтрычнай тэорыяй Каперніка, як адзначыў Ф. Энгельс, вызвала даследаванне прыроды ад рэлігіі.

Галілей, які ўпершыню накіраваў тэлескоп на неба, правільна растлумачыў свае адкрыцці як пацверджанні тэорыі Каперніка. Так, Галілей адкрыў фазы ў Венеры. Ён знайшоў, што такая іх змена магчыма толькі ў тым выпадку, калі Венера абарачаецца вакол Сонца, а не вакол Зямлі. На Месяцы Галілей выявіў горы і вымераў іх вышыню. Аказалася, што паміж Зямлёй і нябеснымі цэламі няма прынцыповага адрознення, напрыклад горы, падобныя да гор на Зямлі, існавалі і на нябесным свяціле. І становілася лягчэй паверыць, што Зямля — гэта толькі адно з такіх свяціл.

У планеты Юпітэр Галілей адкрыў чатырох спадарожнікаў. Іх абарачэнне вакол Юпітэра абвергла ўяўленне аб тым, што толькі Зямля знаходзіцца ў цэнтры вярчэння. На Сонцы Галілей выявіў плямы і па іх перамяшчэнню зрабіў вывад, што Сонца верціцца вакол сваёй восі. Плямы на Сонцы, якое лічылася эмблемай «нябеснай чысціні», таксама абвяргалі ідэю аб быццам бы прынцыповым адрозненні паміж зямным і нябесным.

Млечны Шлях у полі зроку тэлескопа распаўся на мноства слабых зорак. Сусвет з'явіўся перад чалавекам як нешта непараўнальна больш грандыёзнае, чым маленькі свет, які, па ўяўленнях Арыстоцеля, Пталамея і сярэднявечных царкоўнікаў, кружыцца нібы вакол Зямлі. Царква, як вы ўжо ведаеце з курса гісторыі і фізікі, расправілася з Джардана Бруна, які рабіў смелыя філасофскія вывады з адкрыцця Каперніка. Смелую барацьбу супраць царкоўнікаў за права распаўсюджваць сапраўдныя веды аб будове Сусвету веў М. В. Ламаносаў (1711—1765). Ён у трапнай і прывабнай, вершавана-сатырычнай форме высмейваў цем-

рашалаў. З вучэння Каперніка Ламаносаў зрабіў вывад аб непазбежнасці існавання разумнага жыцця і на іншых планетах.

Разняволенне чалавечай думкі, адмаўленне ад сляпога прытрымлівання абмежаваных догмаў царквы, заклік да смелага матэрыялістычнага вивучэння прыроды — вось галоўны, агульначалавечы вынік барацьбы Каперніка, Бруна і Галілея за навуковы светапогляд.

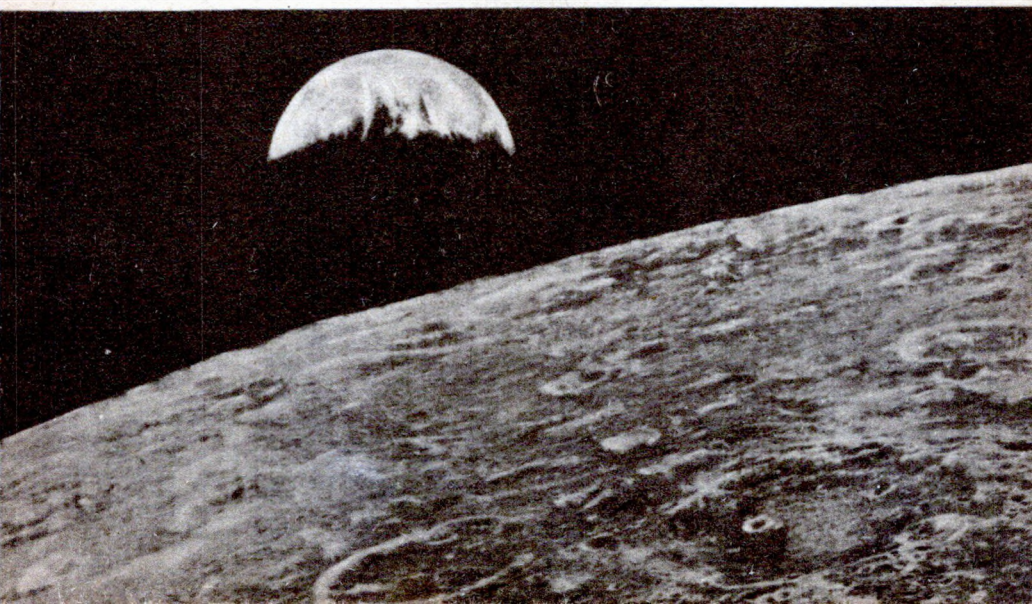
11. ЗЯМЛЯ, ЯЕ РАЗМЕР І ФОРМА, МАСА, РУХ

1. Размер і форма Зямлі. На фотаздымках, зробленых з космасу, Зямля выглядае як шар, асветлены Сонцам, і паказвае такія ж фазы, як Месяц (рыс. 31 і 32), што з'яўляецца сучасным доказам шарападобнасці Зямлі.

Дакладны адказ аб форме і размеры Зямлі даюць градусныя вымярэнні, г. зн. вымярэнні ў кіламетрах даўжыні дугі ў 1° у розных месцах на паверхні Зямлі. Гэты спосаб яшчэ ў III ст. да н. э. прымяняў грэчаскі вучоны Эратасфен, які жыў у Егіпце. Цяпер гэты спосаб прымяняюць з вялікай дакладнасцю ў *геадэзіі* — навуцы аб форме Зямлі і аб вымярэннях на Зямлі з улікам яе крывізны.

На роўнай мясцовасці выбіраюць два пункты *A* і *B*, якія ляжаць на адным мерыдыяне. Іх геаграфічныя шыроты вызначаюць астранамічна. Зразумела, што даўжыня дугі мерыдыяна паміж пунктамі *A* і *B* у градусах роўна рознасці геаграфічных шырот гэтых пунктаў $\varphi_A - \varphi_B$. Адлегласць ад *A* да *B* вымяраюць па паверхні Зямлі, яна звычайна складае некалькі сот кіламетраў, а пасля вылічваюць даўжыню дугі ў 1° у кіламетрах.

31. Зямля над гарызонтам Месяца па фатаграфіі, зробленай з космасу.



З прычыны няроўнасцей зямной паверхні на вялікай адлегласці і адсутнасці прамой бачнасці пункта A з пункта B і наадварот прымяняюць метада трыянгуляцыі (ад лацінскага слова *трыянгулум* — трохвугольнік; рыс. 33).

Метад трыянгуляцыі заключаецца ў тым, што прастора паміж пунктамі A і B пакрываецца сеткай «паветраных» трохвугольнікаў, вяршынямі якіх з'яўляюцца геадэзічныя сігналы (рыс. 34). Вы, мабыць, сустракалі такія сігналы ў выглядзе драўляных ажурных пірамід у полі і на гарах. З вяршыні такой піраміды абавязкова відаць яшчэ не менш двух іншых далёкіх геадэзічных сігналаў. Вымяраюць вуглы трохвугольнікаў, а даўжыню старон вылічваюць, папярэдне вызначыўшы з найбольшай дакладнасцю даўжыню адной апорнай стараны, прылеглай да пункта A . Апорная старана сеткі геадэзічных трохвугольнікаў называецца базісам. (Гэты метада вылічэння адлегласцей (даўжынь) шляхам вымярэння вуглоў у трохвугольніку, прылеглых да базісу, прымяняюць і для вызначэння адлегласцей да нябесных цел.)

Даўжыню дугі мерыдыяна AB вызначаюць як суму праекцый на гэты напрамак адпаведных старон пабудаваных трохвугольнікаў. Вуглы, што ўтвараюцца старанамі трохвугольнікаў з плоскасцю мерыдыяна, павінны быць пры гэтым вядомы.

Калі даўжыня вымяраемай дугі ў кіламетрах будзе l , а ў градусах $\Delta\varphi$, то пры шарападобнасці Зямлі 1° дугі будзе адпавядаць даўжыня ў кіламетрах $n = l : \Delta\varphi$.



32. Фатаграфія Зямлі ў прасторы, зробленая з космасу.

Даўжыня акружнасці зямнога мерыдыяна $L = 360^\circ \cdot n$. Падзяліўшы яе на 2 π , атрымаем радыус Зямлі.

Адна з найбольшых дуг мерыдыяна ад Ледавітага акіяна да Чорнага мора была вымерана ў Расіі і ў Скандынавіі ў сярэдзіне XIX ст. пад кіраўніцтвам В. Я. Струве, дырэктара Пулкаўскай абсерваторыі. Вялікія геадэзічныя вымярэнні ў нашай краіне выкананы пасля Вялікай Кастрычніцкай сацыялістычнай рэвалюцыі.

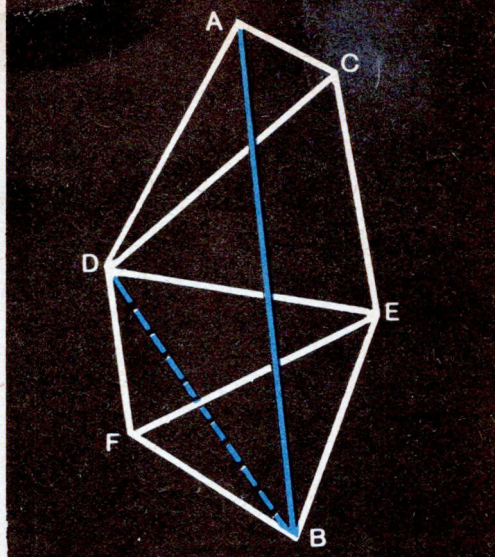
Градусныя вымярэнні паказалі, што даўжыня 1° дугі мерыдыяна ў кіламетрах у палярнай вобласці найбольшая (111,7 км), а на экватары найменшая (110,6 км). Значыць, на экватары крывізна паверхні Зямлі большая, чым ля полюсаў.

Хуткае вярчэнне выклікае сцісканне планет. Велічынёй сціскання называецца адносіна рознасці паміж экватарыяльным і палярным радыусамі $a-b$ да экватарыяльнага радыуса a :

$$\epsilon = \frac{a-b}{a}.$$

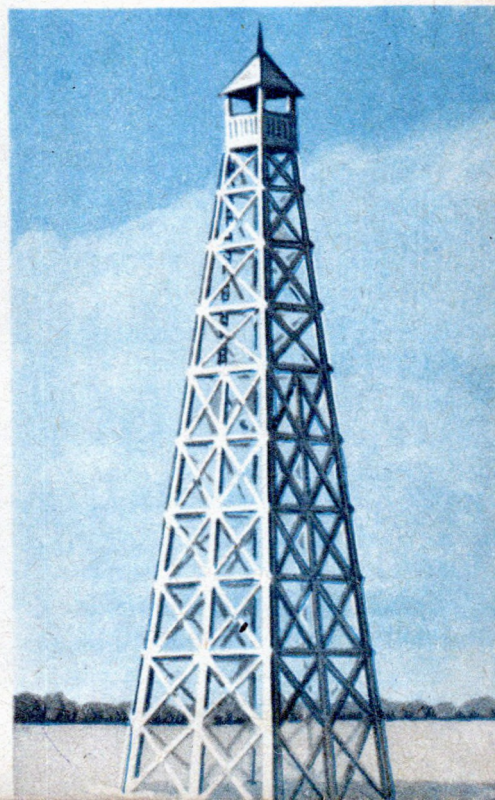
У Зямлі сцісканне $\epsilon = 1 : 298$ (у Юпітэра і Сатурна, якія хутка верцяцца, яно большае, у Сатурна $\epsilon = 0,1$). Такім чынам, мерыдыянальнае сячэнне Зямлі з'яўляецца не акружнасцю, а эліпсам. Зямлю можна лічыць эліпсоідам вярчэння, г. зн. фігурай, атрыманай ад вярчэння эліпса вакол яго малой восі. Экватарыяльны радыус Зямлі большы за палярны на 21,4 км. Вывучэнне руху штучных спадарожнікаў Зямлі дазволіла вызначыць яе сцісканне па парушэннях, якія ўносяць у іх рух несфэрычнасць Зямлі.

Калі Зямлю для прастаты прыняць за шар, роўнавялікі Зямлі, то яе радыус можна ўзяць за 6370 км. Экватарыяльны радыус Зямлі, па даных савецкіх вучоных, роўны 6378,2 км.



33. Схема трыягуляцый.

34. Геадэзічны сігнал.





В. Я. Струве (1793—1864).

Паскарэнне свабоднага падзення пад дзеяннем прыцяжэння да цэнтра Зямлі складае $980,6 \text{ см/сек}^2$ на ўзроўні мора і на шыраце 45° . Гэта паскарэнне

$$g = \gamma \frac{M}{R^2},$$

дзе M — маса Зямлі, а R — яе радыус. Радыус Зямлі роўны 6370 км . Падставіўшы ў формулу вядомыя нам значэнні g , γ і R , знаходзім, што маса Зямлі $M = 6 \cdot 10^{27} \text{ г}$.

Ведаючы масу і аб'ём Зямлі, можна вылічыць яе сярэднюю шчыльнасць. Яна роўна $5,5 \text{ г/см}^3$. Але шчыльнасць Зямлі з глыбінёй узрастае, і, па разліках, паблізу цэнтра, у ядры Зямлі, яна роўна 11 г/см^3 . Рост шчыльнасці з глыбінёй адбываецца за кошт павелічэння змяшчальнасці цяжкіх элементаў, а таксама за кошт павелічэння ціску.

Ведаючы масу Зямлі ў грамах, мы можам вызначыць у грамах і масы іншых нябесных цел.

(З унутранай будовай Зямлі, вывучаемай астранамічнымі і геафізічнымі метадамі, вы знаёміліся ў курсе фізічнай геаграфіі.)

10.1. Як даказаць, што Месяц не з чыгуну, калі вядома, што яго маса ў 81 раз меншая, чым зямная, а радыус у чатыры разы меншы, чым зямны?

2. Чаму роўна маса Зямлі, калі вуглавая скорасць Месяца $13,2^\circ$ у суткі, а сярэдняя адлегласць да яго $384 \cdot 10^3 \text{ км}$?

9.1. Калі астраномы могуць вызначаць геаграфічную шырату з дакладнасцю да $0,1''$, то якой магчымай памылцы ў кіламетрах ўздоўж мерыдыяна гэта адпавядае?

2. Вылічыце ў кіламетрах даўжыню марской мілі, якая роўна даўжыні $1'$ дугі экватара.

2. Маса і шчыльнасць Зямлі. Масу Зямлі можна вызначыць многімі спосабамі.

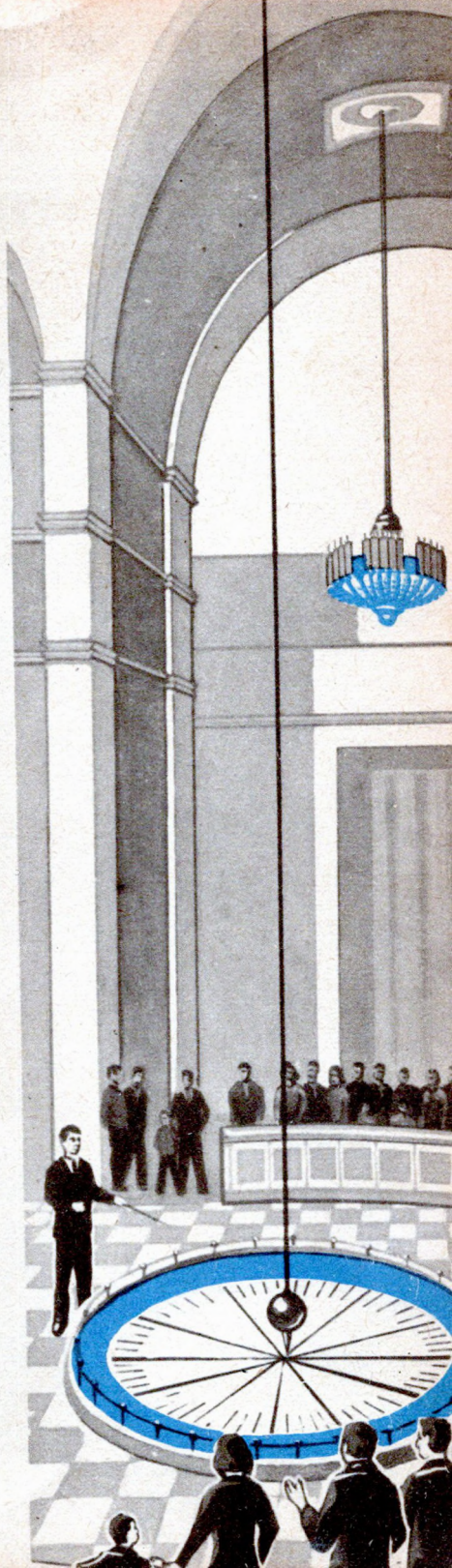
Скарыстаем тое, што з фізікі вам вядомы дослед Кавендыша з круцільнымі вагамі, пры дапамозе якіх ён вызначыў сілу прыцяжэння паміж свінцовымі шарамі. Гэта дало велічыню каэфіцыента $\gamma = 6,67 \times 10^{-8} \text{ см}^3/(\text{г} \cdot \text{сек}^2)$ у формуле закону сусветнага цягання.

3. Доказ сутачнага вярчэння Зямлі доследам Фуко. Класічным доказам вярчэння Зямлі вакол восі з'яўляецца дослед з маятнікама па метадзе французскага фізіка Фуко. Такі маятнік даўжынёй 97 м ёсць, напрыклад, у будынку Ісаакіеўскага сабора ў Ленінградзе (рыс. 35). Дослед заснаваны на ўласцівасці маятніка захоўваць без змяненняў плоскасць сваіх ваганняў, калі пункт

падвесу паварочваецца. Гэту ўласцівасць можна прадэманстраваць, падвесіўшы на нітцы шарык над цэнтрам школьнай дацэнтрабежнай машыны. Калі яна верціць падвес, маятнік працягвае вагацца ў той жа плоскасці. Значыць, калі б мы падвесілі маятнік над полюсам Зямлі, Зямля паварочвалася б пад ім на 15° у гадзіну. Тэорыя і дослед паказваюць, што на шыраце φ нам здаецца, што плоскасць вагання маятніка паварочваецца за гадзіну на велічыню $15^\circ \sin \varphi$. На экватары Зямлі адхілення плоскасці ваганняў маятніка няма.

Вынікам вярчэння Зямлі вакол вёсі з'яўляецца падмыванне ракой берага (скажыце, якога ж?), адхіленні дальнабойных снарадаў, балістычных ракет, паветраных віхроў і вятроў у паўночным паўшар'і Зямлі ўправа, у паўднёвым паўшар'і ўлева.

4. Доказ абарачэння Зямлі вакол Сонца. Многія дасягненні сучаснай астраноміі абапіраюцца на веданне законаў абарачэння Зямлі вакол Сонца. Спектральны аналіз святла зорак (аб ім будзе гаворка ў § 13) паказвае, што ў любы момант мы набліжаемся да адных зорак і аддаляемся ад процілеглых ім на небе зорак са скорасцю 30 км/сек , калі і адны і другія бачны паблізу плоскасці экліптыкі. Гэта скорасць з'яўляецца скорасцю руху Зямлі па яе арбіце. Значыць, напрамак руху Зямлі бесперапынна мяняецца з перыядам у 1 год. Гэта ёсць прамы доказ гадавога абарачэння Зямлі вакол Сонца. (З другім, менш наглядным доказам гадавога абарачэння Зямлі вы пазнаёміцеся пазней, у § 23. 2.) Змена пораў года з'яўляецца вынікам абарачэння Зямлі вакол



35. Маятнік Фуко, які дэманструецца ў Ісаакіёўскім саборы ў Ленінградзе.

Сонца і нахілу восі вярчэння Зямлі да плоскасці экліптыкі (да плоскасці зямной арбіты) на $66\frac{1}{2}^\circ$. Пры абарачэнні Зямлі вакол Сонца вось яе застаецца паралельная самой сабе.

У выніку эліптычнасці арбіты Зямля ў студзені крыху бліжэй да Сонца, чым ў ліпені. Розніца ў адлегласцях Зямлі ад Сонца ў афеліі і ў перыгеліі малая і таму робіць малапрыкметны ўплыў на цяпло, якое атрымліваецца ад Сонца.

11.1. Ведаючы вуглавую адлегласць Сонца ад нябеснага экватара ў дні летняга і зімнага сонцастаяння, вызначце, пад якім вуглом сонечныя праменні падаюць на Зямлю ў гэтыя дні ў поўдзень у мясцовасцях з шыротамі $53\frac{1}{2}^\circ$ і $23\frac{1}{2}^\circ$.

2. У фізіцы даказваецца, што калі α ёсць вугал падзення прамяняў на плоскасць, то асветленасць паверхні $E = E_0 \cos \alpha$, дзе E_0 — асветленасць паверхні пры адвесным падзенні прамяняў ($\alpha = 0$). З папярэдніх умоў знайдзіце адносіны асветленасцей мясцовасці летам і зімой у абодвух пунктах і параўнайце іх.

3. Як якасна змянілася б змена пораў года, калі б зямная вось была перпендыкулярна да плоскасці яе арбіты, як у Юпітэра?

12. ВYZНАЧЭННЕ АДЛЕГЛАСЦЕЙ ДА ЦЕЛ СОНЕЧНАЙ СІСТЭМЫ І ІХ РАЗМЕРАЎ

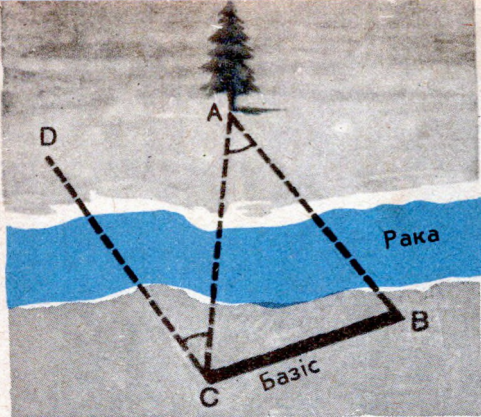
1. Вызначэнне адлегласцей. Пры дапамозе трэцяга закону Кеплера сярэдняю адлегласць усіх планет ад Сонца можна выразіць праз сярэдняю адлегласць Зямлі ад Сонца. Вызначыўшы яе ў кіламетрах, можна выразіць у гэтых адзінках усе адлегласці ў сонечнай сістэме.

З 40-х гадоў нашага стагоддзя радыётэхніка дазволіла вызначыць адлегласці да нябесных цел пры дапамозе радыёлакацыі, аб якой вы ведаеце з курса фізікі.

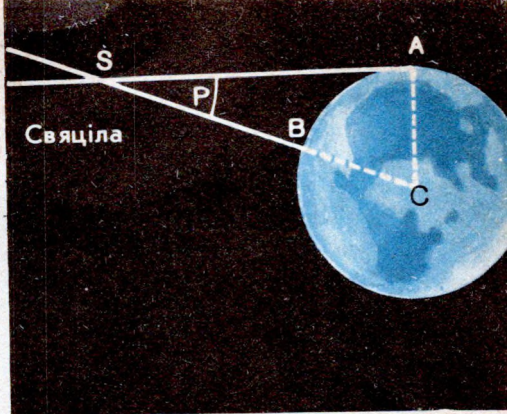
Савецкія і амерыканскія вучоныя ўдакладнілі радыёлакацыйны адлегласці да Меркурыя, Венеры, Марса і Юпітэра.

Класічным спосабам вызначэння адлегласцей быў і застаецца вугламеры, геаметрычны спосаб. Ім вызначаюць адлегласці і да далёкіх зорак, да якіх метады радыёлакацыі непрэмыяны.

Геаметрычны спосаб заснаваны на з'яве паралактычнага зрушэння. **Паралактычным зрушэннем называецца змяненне напрамку на прадмет пры перамяшчэнні назіральніка** (рыс. 36). Паглядзіце на вертыкальна пастаўлены карандаш спачатку адным вокам, затым другім. Вы ўбачыце, як ён пры гэтым перамяніў становішча на фоне далёкіх прадметаў, напрамак на яго змяніўся. Чым далей вы адсунеце карандаш, тым меншае будзе паралактычнае зрушэнне. Чым далей знаходзяцца адзін ад другога пункты назірання, г. зн. чым большы базіс, тым большае паралактычнае зрушэнне. У нашым прыкладзе базісам была адлегласць паміж вачамі. Гэты прыцып шырока скарыстоўваецца ў ваеннай справе пры вызначэнні адлегласці да цэлі пры дапамозе дальномера. У дальнамеры базісам з'яўляецца адлегласць паміж двума аб'ектамі.



36. Вимярэнне адлегласці да недаступнага прадмета па паралактычнаму зрушэнню.



37. Гарызонтальны паралакс свяціла.

Для вымярэння адлегласцей да цел сонечнай сістэмы за базіс бяруць радыус Зямлі. Назіраюць становішча свяціла, напрыклад Месяца, на фоне далёкіх зорак адначасова з дзвюх абсерваторый. Адлегласць паміж імі па прамой (базіс) павінна быць прыкладна роўна радыусу Зямлі і перпендыкулярна да напрамку на свяціла. Калі б за базіс узялі радыус Зямлі CA , а назіральнікі знаходзіліся ў пунктах A і B , то са свяціла S радыус Зямлі быў бы бачны пад вуглом p (рыс. 37). **Вугал, пад якім са свяціла бачны радыус Зямлі, перпендыкулярны да праменя зроку, называецца гарызонтальным паралаксам.** Ён роўны паралактычнаму зрушэнню, як гэта відаць з рысунка 36, дзе яно паказана вуглом пры вяршыні C , а паралакс адзначан вуглом пры вяршыні A . Яны роўныя, як вуглы пры паралельных прамых ($CD \parallel BA$ па пабудаванню).

Адлегласць $SC = D = \frac{R}{\sin p}$, дзе R — радыус Зямлі. Прыняўшы R за адзінку, можна выразіць адлегласць да свяціла ў зямных радыусах. Паралакс Месяца складзе $57'$. Усе планеты і Сонца значна далей, і іх паралаксы складаюць секунды. Паралакс Сонца $p_{\odot} = 8,8''$. Ён вызначае дакладную даўжыню *астранамічнай адзінкі адлегласцей* (а. адз.) Акруглена яе можна прыняць за $150\,000\,000$ км. Пры малых вуглах $\sin p \approx p$, калі p выражан у радыянах. Калі p выражан у секундах дугі, то ўводзіцца множнік $\sin 1'' = \frac{1}{206\,265}$,

$$\text{тады } \sin p = p'' \sin 1'' = \frac{p''}{206\,265}. \Rightarrow D = \frac{R}{\frac{p''}{206\,265}} = \frac{206\,265 \cdot R}{p''}$$

Веданне гэтых суадносін спрашчае вылічэнне адлегласці па вядомай велічыні паралакса.

121. Чаму роўны гарызонтальны паралакс Юпітэра, які назіраецца з Зямлі ў супрацьстаянне, калі Юпітэр у 5 разоў далей ад Сонца, чым Зямля?
2. Адлегласць Месяца ад Зямлі ў найбліжэйшым да яе пункце сваёй арбіты (перыгеі) $363 \cdot 10^3$ км, а ў найбольш аддаленым пункце (апагеі) $405 \cdot 10^3$ км. Вызначце велічыню гарызонтальнага паралакса Месяца ў гэтых становішчах.



3. ПРЫМЯНЕННЕ СПЕКТРАЛЬНАГА АНАЛІЗУ

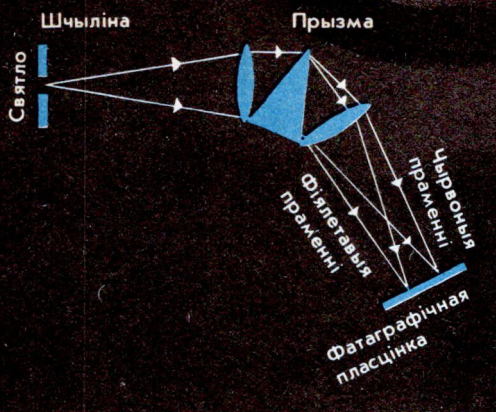
Метадам, які дае каштоўныя і найбольш разнастайныя звесткі аб нябесных свяцілах, з'яўляецца спектральны аналіз. Ён дае магчымасць устанавіць з аналізу святла якасны і колькасны хімічны састаў свяціла, яго тэмпературу, наяўнасць і напружанасць магнітнага поля, скорасць руху па праменю зроку і многае іншае.

Спектральны аналіз заснаваны на раскладанні белага святла на састаўныя часткі. Калі пучок святла пусціць на бакавую грань трохграннай прызмы, то, праламляючыся ў шкле па-рознаму, складаючыя белае святло праменні дадуць на экране радужную палоску, якая называецца спектрам. У спектры ўсе колеры размешчаны заўсёды ў пэўным парадку.

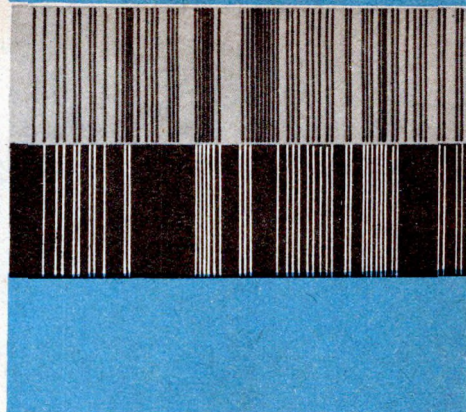
Як вядома, святло распаўсюджваецца ў выглядзе электрамагнітных хваль. Кожнаму колеру адпавядае пэўная даўжыня электрамагнітнай хвалі. Даўжыня хвалі ў спектры памяншаецца ад чырвоных праменняў да фіялетавых прыкладна ад 0,7 да 0,4 мкм. За фіялетавымі праменьнямі спектра ляжаць ультрафіялетавыя праменні, якія нябачны вокам, але дзейнічаюць на фотопласцінку. Яшчэ больш кароткую даўжыню хвалі маюць рэнтгенаўскія праменні. Рэнтгенаўскае спрамяенне нябесных свяціл, важнае для разумення іх прыроды, атмасфера Зямлі затрымлівае.

За чырвонымі праменьнямі спектра знаходзіцца вобласць інфрачырвоных праменняў. Яны нябачныя, але і яны дзейнічаюць на спецыяльныя фотопласцінкі. Пад спектральнымі назіраннямі разумеюць звычайна назіранні ў інтэрвале ад інфрачырвоных да ультрафіялетавых праменняў.

Для вывучэння спектраў прымяняюць прылады, якія называюцца спектраскопамі і спектрографамі. У спектраскопе спектр разглядаюць, у спектрографе яго фатаграфуюць. Фатаграфія спектра называецца спектраграмай.



39. Схема будовы прызеннага спектрографа.



40. Параўнанне спектра Сонца (уверсе) з лабараторным спектрам пары жалеза.

На рысунку 39 паказана будова спектрографа. Святло пападае праз тонкую шчыліну на аб'ектыў, які пасылае святло паралельным пучком на адну або некалькі прызмаў. Шчыліна паралельна канту прызмы, прапалляючаму святло. У прызме святло раскладаецца на састаўныя часткі і дае спектр. Яго ізабражэнне накіроўваець на фотапласцінку і атрымліваець спектраграму. У спектраскопе гэта ізабражэнне разглядаець праз акуляр.

Існуюць наступныя віды спектраў.

Суцэльны, або неперарыўны, спектр у выглядзе радужнай палоскі даюць цвёрдыя і вадкія распаленыя целы (вугаль, ніць электралямпі) і дастаткова шчыльныя масы газу.

Лінейчасты спектр спрамянення даюць разрэджаныя газы і пара пры моцным награванні або пад дзеяннем электрычнага разраду. Кожны газ спрамяняе строга пэўны набор даўжынь хваль і дае характэрны для дадзенага хімічнага элемента лінейчасты спектр. Моцныя змяненні стану газу або ўмоў яго свячэння, напрыклад нагрэў або іанізацыя, выклікаюць пэўныя змяненні ў спектры дадзенага газу.

Складзены табліцы з пералікам ліній кожнага газу і з укажаннем яркасці кожнай лініі. Напрыклад, у спектры натрыю асабліва яркія дзве жоўтыя лініі.

Устаноўлена, што спектр атама або малекулы звязан з іх будовай і адлюстроўвае пэўныя змяненні, якія адбываюцца ў іх у працэсе свячэння.

Лінейчасты спектр паглынання даюць газы і пара, калі за імі знаходзіцца яркая і больш гарачая крыніца, якая дае неперарыўны спектр. Спектр паглынання ўяўляе сабой неперарыўны спектр, перарэзаны цёмнымі лініямі, якія знаходзяцца ў тых самых месцах, дзе павінны быць размешчаны яркія лініі, уласцівыя дадзенаму газу (рыс. 40). Напрыклад, дзве цёмныя лініі паглынання натрыю размешчаны ў жоўтай частцы спектра.

41. Зрушэнне лініі ў спектры зоркі Працыён у час яе руху па праменю зроку. Зверху і знізу — лабараторныя спектры параўнання ванадыю і лінія вадароду $H\gamma$. Над імі напісаны даўжыні хваль у ангстрэмах ($1 \text{ \AA} = 0,0001 \text{ мкм}$).

Вы можаце параўнаннем лёгка атаясаміць лініі вадароду ў спектрах Сонца і Сірыуса, скарыстаўшы рысунак задняга форзаца.

Вывучэнне спектраў дае магчымасць рабіць аналіз хімічнага саставу газаў, што спрамяняюць святло або паглынаюць яго, незалежна ад таго, знаходзяцца яны ў лабараторыі ці на нябесным святліце. Колькасць атамаў або малекул, якія ляжаць на нашым прамені зроку, спрамяняючых або паглынаючых, вызначаецца па інтэнсіўнасці ліній. Чым больш атамаў, тым ярчэйшая лінія або тым яна цямнейшая ў спектры паглынання. Сонца і зоркі акружаны газавымі атмасферамі. Неперарыўны спектр іх бачнай паверхні перарэзаны цёмнымі лініямі паглынання, якія ўзнікаюць у час праходжання святла праз атмасферу зорак. Таму спектры Сонца і зорак — гэта спектры паглынання. (Разгледзьце ізабражэнні розных спектраў на форзацы.)

Трэба памятаць, што спектральны аналіз дазваляе вызначаць хімічны састаў толькі тых газаў, якія самасвецяцца або паглынаюць спрамяненне. Хімічны састаў цвёрдага цела пры дапамозе спектральнага аналізу вызначыць нельга.

Скорасці руху нябесных святл адносна Зямлі па праменю зроку (праменевыя скорасці) вызначаюцца пры дапамозе спектральнага аналізу на падставе прынцыпу Доплера — Фізо: **калі крыніца святла і назіральнік збліжаюцца, то даўжыні хваль, якія вызначаюць становішчы спектральных ліній, пакарочваюцца, а пры іх узajemным аддаленні даўжыні хваль павялічваюцца.** Гэта з'ява выражаецца формулай:

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

дзе v — скорасць адноснага руху з яе знакам (мінус пры збліжэнні), λ_0 — нармальнае даўжыня хвалі святла пры нерухомай крыніцы, а λ — даўжыня хвалі ў час руху крыніцы і c — ско-

расць святла. Інакш кажучы, пры збліжэнні назіральніка і крыніцы святла лініі спектра зрушваюцца да яго фіялетавага, а пры аддаленні — да чырвонага канца (рыс. 41).

Скорасці руху цел на Зямлі маглі б выклікаць толькі вельмі нязначныя зрушэнні ліній у спектрах цел, але і скорасці нябесных цел (звычайна дзесяткі і сотні км/сек) выклікаюць зрушэнні такія малыя, што іх можна вымераць на спектраграме толькі пад мікраскопам.

Сфатаграфавашы спектр свяціла і атрымаўшы яго здымак, вышэй і ніжэй яго друкуюць спектры параўнання ад зямной крыніцы спрамянення, напрыклад ад электрычнай іскры, узнікаючай паміж жалезнымі электродамі. Спектр параўнання для нас нерухома, і адносна яго можна вызначаць зрух ліній спектра зоркі. Ён складае сотыя або дзесятыя долі міліметра на фатаграфіі. Для пераводу гэтага зруху ў змяненне даўжыні хвалі трэба ведаць маштаб спектра — на колькі мікраметраў мяняецца даўжыня хвалі, калі мы перамяшчаемся ўздоўж спектра на 1 мм. Падстаноўка ў формулу велічынь λ_0 — λ і $c = 300\,000$ км/сек дазваляе вызначыць v — скорасць руху свяціла.

14. 1. Даўжыня хвалі, адпавядаючая лініі вадароду, у спектры зоркі большая, чым у спектры, атрыманым у лабараторыі. Да нас ці ад нас рухаецца зорка? Ці будзе назірацца зрух ліній спектра, калі зорка рухаецца ўпоперак праменя зроку?

2. На фатаграфіі спектра зоркі яе лінія зрушана адносна свайго нармальнага становішча на 0,02 мм. На колькі змянілася даўжыня хвалі, калі ў спектры адлегласць у 1 мм адпавядае змяненню даўжыні хвалі на 0,004 мкм (гэта велічыня называецца дысперсіяй спектраграмы)? З якой скорасцю рухаецца зорка? Нармальная даўжыня хвалі 5000 Å

3. Па рысунку 41 вызначце з дапамогай маштабнай лінейкі дысперсію ў ангстрэмах на 1 мм даўжыні спектра ў інтэрвале даўжынь хваль 4261—4277 Å (ангстрэм). Вымерайце, выкарыстоўваючы лупу (з дакладнасцю да 0,1 мм на вока), зрух ліній у спектры зоркі адносна тых жа ліній спектра параўнання. Вылічыце па гэтаму зруху ліній праменевую скорасць зоркі Працыён.

Калі цела распалена дачырвана, у яго суцэльным спектры ярчайшая за ўсё чырвоная частка. Пры далейшым награванні найбольшая яркасць у спектры пераходзіць у жоўтую, пасля ў зялёную частку і г. д. Тэорыя спрамянення святла, правяраная на доследзе, паказвае, што размеркаванне яркасці ўздоўж суцэльнага спектра залежыць ад тэмпературы цела. Ведаючы гэту залежнасць, можна ўстанавіць тэмпературу Сонца і зорак. Тэмпературу планет і тэмпературу зорак вызначаюць яшчэ пры дапамозе тэрмаэлемента, змешчанага ў фокусе тэлескопа. Пры награванні тэрмаэлемента ў ім узнікае электрычны ток, які характарызуе колькасць цеплыні, што прыходзіць ад свяціла.

Такім чынам, мы бачым, што многія астранамічныя даныя, напрыклад тэмпература свяціл, вызначаюцца спосабамі, якія правяраюць адзін аднаго. Даныя, якія атрымліваюцца, цалкам дакладныя. Яны правяраны многімі вучонымі ў розных краінах.

4. МЕТАДЫ ВИВУЧЭННЯ ФІЗІЧНАЙ ПРЫРОДЫ НЯБЕСНЫХ ЦЕЛ

1. Аптычныя і радыёназіранні. Мы высветлілі, што разнастайныя і каштоўныя звесткі аб святцiлах дае астраномам спектральны аналіз. Аднак для вивучэння нябесных аб'ектаў прымяняюць і іншыя метады, напрыклад фатаграфаванне святцiл пры дапамозе астрографаў. Астрограф — гэта тэлескоп, прызначаны спецыяльна для фатаграфавання ўчасткаў начнога неба. Становішча зорак на знятых негатывах вымяраюць пры дапамозе спецыяльных прылад у лабараторыі. Негатывы захоўваюць у шафах, дзе іх рады ўтвараюць «шкляную фотатэку».

Шляхам параўнання фатаграфій, зробленых пэўным чынам, можна ўстанавіць рухі і адлегласці да не вельмі далёкіх зорак, іх колер і адпавядаючую яму тэмпературу.

Бляск зорак і яго змяненні ў пераменных зорак вымяраюць пры дапамозе фотаэлектрычных фатометраў. У іх святло зоркі, сабранае тэлескопам, падае на фотапамнажальнік, выклікаючы ў ім вельмі слабы электраток, сіла якога прапарцыянальна інтэнсіўнасці асвятлення. Такі фатометр прымацоўваюць да тэлескопа замест акулярна. Ім можна больш дакладна вызначыць і колер зоркі, назіраючы яе праз каляровае шкло (светофільтры).

Нашы ўяўленні аб нябесных целах і іх сістэмах надзвычай узбагаціліся пасля таго, як стала магчымым вивучаць іх радыёспрамяненне. Для гэтага створаны радыётэлескопы розных сістэм. Антэны некаторых радыётэлескопаў падобны да звычайных рэфлектораў. Яны збіраюць радыёхвалі ў фокусе металічнага ўвагнутага люстра. Гэта люстра можна зрабіць крацістым (рыс. 42) і велізарных размераў — дыяметрам у дзесяткі і сотні метраў.

У адным з нерухомых радыётэлескопаў люстрам з'яўляецца пакрытая стальной сеткай апрацаваная належным чынам увагнутая паверхня кратэра патухшага вулкана, дыяметр якой 300 м!

Іншыя радыётэлескопы ўяўляюць сабой велізарныя рухомыя рамы, на якіх паралельна адзін другому ўмацаваны металічныя стрыжні або спіралі (рыс. 43). Падыходзячыя радыёхвалі ўзбуджаюць у стрыжнях электрамагнітныя ваганні, якія пасля ўзмацнення паступаюць у вельмі адчувальную самапішучую прыёмную радыёапаратуру. Ёсць радыётэлескопы, якія складаюцца з бата-

42. Вялікі радыётэлескоп з крацістым люстрам.



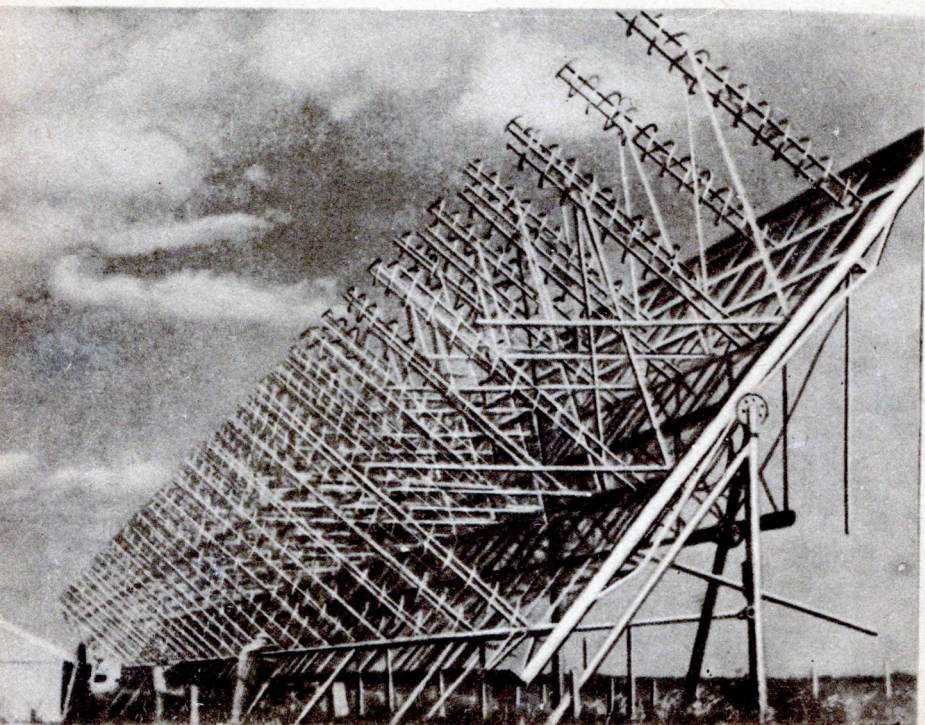
рэй рам або люстраў, аддаленых адно ад другога (іншы раз больш чым на 1 км) і накіроўваючых адбітыя радыёхвалі ў агульны прыёмнік радыёспрамянення.

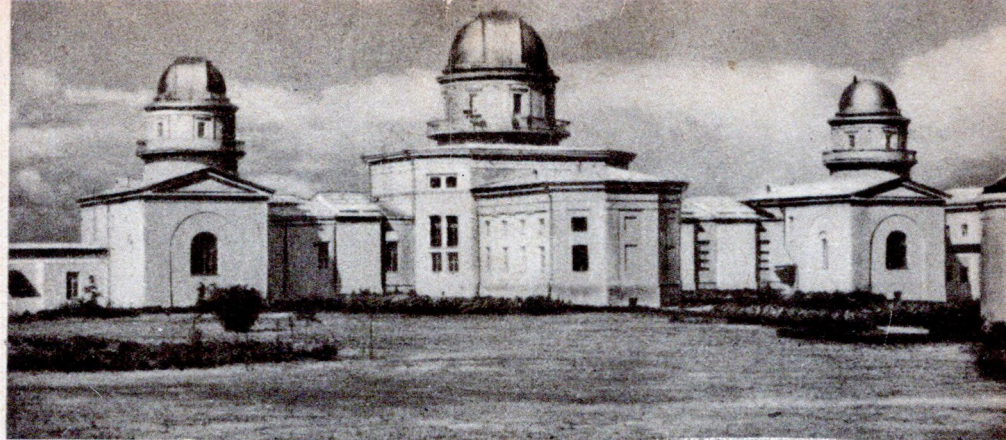
Побач са збіраннем радыёспрамянення нябесных цел праводзіцца радыёлакацыя бліжэйшых з іх. Радыёлакатар пасылае імпульсы радыёспрамянення ў напрамку да святціла. Радыёхвалі адбіваюцца ад яго да Зямлі. Па часу праходжання радыёсігнала туды і назад вызначаюць адлегласць да святціла.

2. Абсерваторыі. Астранамічныя даследаванні праводзяцца ў навуковых інстытутах, універсітэтах і абсерваторыях. Пулкаўская абсерваторыя пад Ленінградам (рыс. 44) існуе з 1839 г. і славетная складаннем найдакладнейшых зорных каталогаў. Яе ў мінулым стагоддзі называлі астранамічнай сталіцай свету. У ходзе бурнага развіцця навукі ў нашай краіне было пабудавана многа іншых абсерваторый, у тым ліку ў саюзных рэспубліках. Да буйнейшых трэба залічыць абсерваторыі Крымскую (паблізу Сімферопалю), Бюраканскую (паблізу Ерэвана), Абстуманскую (паблізу Баржомі), Галасееўскую (у Кіеве), Шэмахінскую (паблізу Баку). З інстытутаў найбуйнейшыя — Дзяржаўны астранамічны інстытут імя П. К. Штэрнберга пры Маскоўскім універсітэце і Інстытут тэарэтычнай астраноміі Акадэміі навук СССР у Ленінградзе.

Не кожная абсерваторыя праводзіць усе віды астранамічных работ, але на многіх ёсць спецыяльныя інструменты, напрыклад для вызначэння дакладнага становішча зорак на небе, дакладнага часу, а таксама хуткадзеючыя лічылныя машыны.

43. Радыётэлескоп у форме спіралі ў на раме.





44. Пулкаўская абсерваторыя (галоўны будынак).

3. Даследаванні з дапамогай касманаўтыкі. Яны займаюць асобае месца ў метадах вывучэння нябесных цел і касмічнага асяроддзя. Пачатак гэтаму быў пакладзен запускам у СССР у 1957 г. першага ў свеце штучнага спадарожніка Зямлі. Хутка развіваючыся, касманаўтыка зрабіла магчымым: 1) стварэнне пазаатмасферных штучных спадарожнікаў Зямлі; 2) стварэнне штучных спадарожнікаў Месяца і планет; 3) пералёт і спуск прылад, якія кіруюцца з Зямлі, на Месяц і планеты; 4) стварэнне кіруемых з Зямлі аўтаматаў, якія перамяшчаюцца па Месяцы і дастаўляюць з Месяца пробы грунту і запісы розных вымярэнняў; 5) палёты ў космас лабараторый з людзьмі і высадку іх на Месяц. Пазаатмасферныя назіранні даюць магчымасць прымаць у космасе спрамяненні, якія паглынаюцца або моцна змяняюцца зямной атмасферай: далёкія ультрафіялетавае, рэнтгенаўскія і інфрачырвоныя праменні, радыёспрамяненні некаторых даўжынь хваль, што не даходзяць да Зямлі, а таксама карпускулярныя спрамяненні Сонца і іншых цел. Больш за ўсё гэты метады даследавання даў для вывучэння Месяца і планет, але і назіранні зорак і туманнасцей, міжпланетнага і міжзорнага асяроддзя вельмі ўзбагацілі нашы веды¹.

4. Задачы і метады вывучэння фізічнай прыроды планет. Спачатку былі знойдзены размеры і масы планет, перыяд іх вярчэння вакол восі і нахіл гэтай восі да плоскасці арбіты для кожнай планеты. Першыя дзве характарыстыкі вызначаюць важнае паняцце — велічыню сілы цяжару на паверхні, якая перш за ўсё гаворыць аб тым, ці можа дадзеная планета ўтрымліваць вакол сябе атмасферу. З кінетычнай тэорыі газаў вам вядома, што скорасць руху малекул газу залежыць ад яго тэмпературы, а таксама яшчэ і ад іх малекулярнай масы, г. зн. ад іх хіміч-

¹ У цяперашні час новыя адкрыцці адбываюцца так часта, што кнігі, у прыватнасці падручнік, не могуць за імі паспяваць, таму навіны астраноміі трэба чэрпаць з часопісаў, лекцый і газет.

нага саставу. Тэмпература на планеце залежыць ад яе адлегласці да Сонца. Малекулы, якія маюць скорасць большую, чым парабалічная на паверхні гэтай планеты, адразу пакідаюць яе. У выніку малыя планеты і большасць спадарожнікаў не маюць ніякай атмасферы. У не вельмі масіўнай планеты атмасфера малашчыльная: напрыклад, у Марса, з меншай сілай цяжару на яго паверхні, чым у Зямлі, атмасфера больш разрэджаная. У планет-гігантаў, прыкладам якіх з'яўляецца Юпітэр, з вялікай сілай цяжару ля паверхні, атмасферы шчыльныя і змяшчаюць вадарод, які практычна адсутнічае ў атмасферах чатырох планет, бліжэйшых да Сонца. Шчыльнасць атмасферы і яе хімічны састаў вызначаюць ступень паглынання ў ёй светавага, цеплавага і карпускулярнага спрамянення, якое ідзе ад Сонца, а хуткае вярчэнне планеты садзейнічае выражоўванню тэмператур на начным і дзённым паўшар'і. Хімічны састаў атмасфер планет можа з часам мяняцца. Прызнана, напрыклад, што кісларод на Зямлі назапасіўся ў выніку дзейнасці раслін.

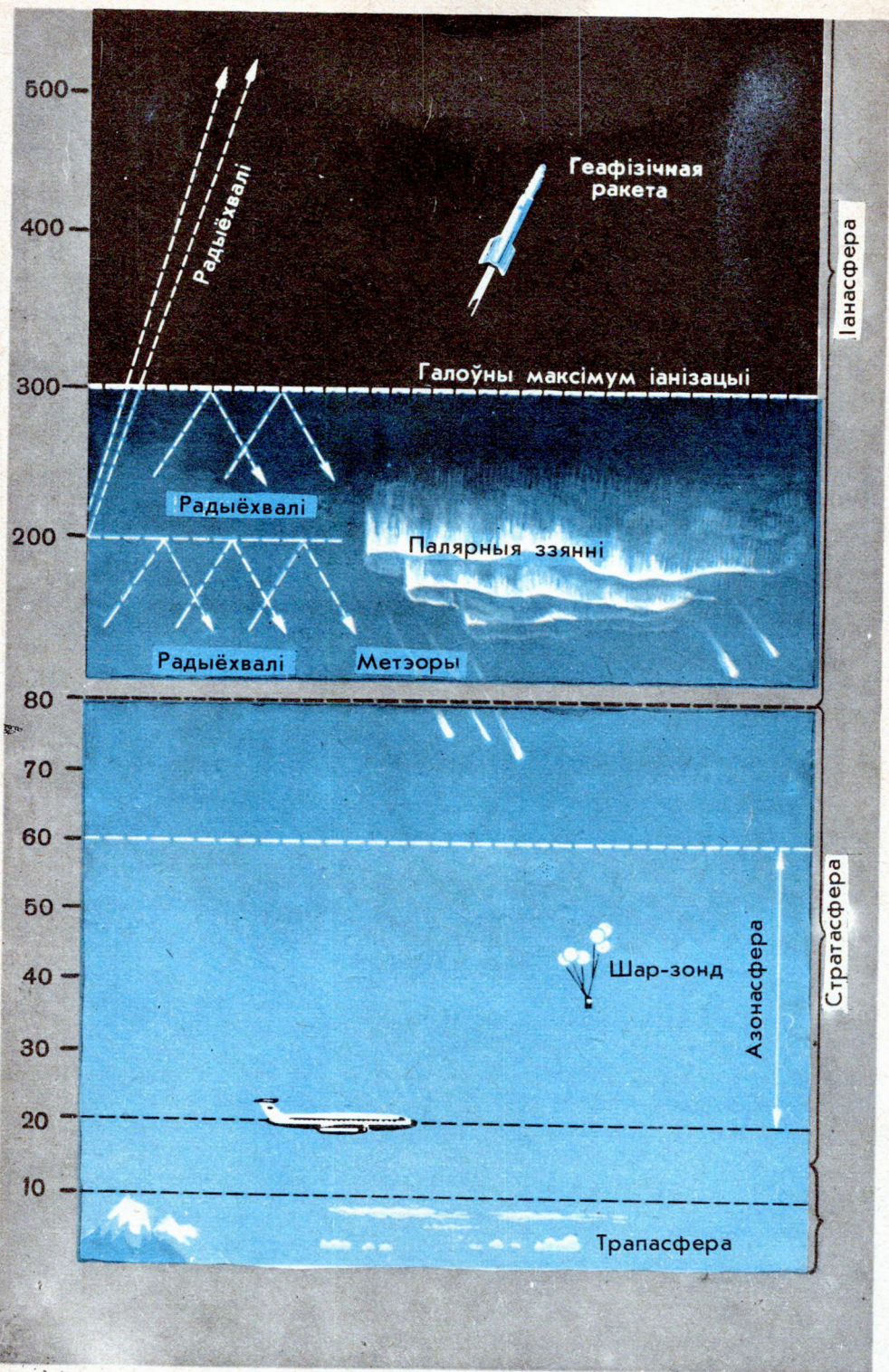
Высветліць рэльеф паверхні планет, назіраючы з Зямлі, цяжка (апрача Месяца). У апошні час пры дапамозе радыёлакацыі стала магчымым дакладна вымяраць адлегласці да розных пунктаў паверхні бліжэйшых ад Зямлі планет і па рознасцях гэтых адлегласцей вызначыць на іх найбольшыя перапады вышынь. Лепш за ўсё, безумоўна, для гэтай мэты скарыстаць фатаграфіі, зробленыя з блізкай адлегласці — з касмічных аўтаматычных станцый. Высветленне фізічных умоў на планетах вырашае пытанне аб магчымасці жыцця на іх. З зямнога вопыту мы ведаем, якія ўмовы неабходны для жыцця: так, для існавання бялкоў патрабуюцца пэўныя граніцы тэмператур, наяўнасць вады ў вадкім стане, свабоднага кіслароду і вуглякіслага газу дастатковай шчыльнасці. Фантазіі аб магчымасці жыцця па-за гэтымі асновамі, якія па нашаму вопыту неабходны, ляжаць па-за навукай. Ва ўсякім разе, непасрэднае вывучэнне грунту з Месяца, узятага з розных месц, пацвердзіла вывад, зроблены даўно, яшчэ да ўзнікнення касманаўтыкі, што на Месяцы жыцця быць не можа.

Атмасферы планет у значнай меры можна вывучыць і з Зямлі з дапамогай спектральнага аналізу.

15. ПЛАНЕТЫ ЗЯМНОЙ ГРУПЫ І ЗЯМЛЯ

1. Характарыстыка планет зямной групы. Чатыры найбліжэйшыя да Сонца планеты называюцца планетамі тыпу Зямлі, у адрозненне ад планет-гігантаў — Юпітэра, Сатурна, Урана і Нептуна. Планеты ў гэтых групах падобны паміж сабой па фізічных умовах. Гэтая з'ява невыпадковая. Яна звязана з гісторыяй утварэння і развіцця планет. Плутон, яшчэ мала вывучаны, належыць па размеру і масе да планет зямной групы.

45. Будова зямной атмасферы. →



Меркурый, Венера, Зямля і Марс адрозніваюцца ад планет-гігантаў меншымі размерамі, меншай масай, большай шчыльнасцю, больш павольным вярчэннем, значна больш разрэджанымі атмасферамі, малой колькасцю спадарожнікаў або адсутнасцю іх. Вывучэнню гэтых планет садзейнічае больш глыбокае веданне фізічнай прыроды Зямлі.

2. Зямля. Атмасфера. Атмасфера адыгрывае найважнейшую ролю ў цеплавым балансе Зямлі. Бачныя вокам сонечныя праменні праходзяць праз яе амаль без аслаблення. Яны паглынаюцца зямной паверхняй, якая пры гэтым награвяецца і спрамяняе інфрачырвоныя, цеплавыя праменні, што затрымліваюцца вадзяной парай, якую пастаўляе гідрасфера. Гэта павышае тэмпературу Зямлі. Атмасфера і гідрасфера змякчаюць клімат Зямлі, запасаючы ўдзень і летам цяпло, пераносячы цячэннямі цяпло з гарачых краін у больш халодныя. Зямная атмасфера змяшчае па аб'ёму 78% азоту, 21% кіслароду і мізэрную колькасць іншых газаў. З іх, аднак, апрача вадзяной пары, важным з'яўляецца азон O_3 . На вышыні каля 20 км колькасць азону ў атмасферы максімальная. Азон засцерагае жыццё на Зямлі ад празмернага патоку ультрафіялетавых праменняў, паглынаючы іх. Атмасфера засцерагае нас і ад бесперапыннай бамбардзіроўкі мікраметэарытамі і ад разбуральнага дзеяння касмічных праменняў. Касмічныя праменні прыходзяць да нас з космасу ў выглядзе частчак з каласальнай кінетычнай энергіяй.

Першасныя касмічныя праменні — гэта пратоны, электроны і ядры цяжкіх элементаў, што пранізваюць космас са скорасцямі, блізкімі да скорасці святла. Іх кінетычная энергія дасягае мільярдаў электрон-вольт. Першасныя касмічныя праменні да Зямлі не даходзяць, таму што, сутыкаючыся з атамамі газаў атмасферы, разбураюць іх і ўтвараюць пры гэтым другасныя касмічныя праменні, якія дасягаюць паверхні Зямлі. Каля 1% першасных касмічных праменняў, што вывучаюцца са штучных спадарожнікаў, прыходзяць з атмасферы Сонца. Там яны нараджаюцца ў час ядзерных рэакцый ад паскарэння частчак у сонечнай атмасферы. Астатнія пападаюць у сонечную сістэму звонку, і паходжанне іх яшчэ высвятляецца.

Ніжні слой атмасферы называецца т р а п а с ф е р а й, якая распаціраецца да вышынь 10—12 км (у сярэдніх шыратах) (рыс. 45). У ёй тэмпература паніжаецца з вышынёй; затым пачынаецца стратасфера — слой пастаяннай тэмпературы парадку $-40^{\circ}C$. З вышыні каля 25 км тэмпература зямной атмасферы павольна павышаецца ў выніку паглынання ёю ультрафіялетавага спрамянення Сонца.

Шчыльнасць атмасферы памяншаецца з вышынёй. На вышыні 100 км ціск у мільён разоў меншы, чым на ўзроўні мора. Патармажэнню штучных спадарожнікаў Зямлі сляды атмасферы выяўлены да 1800 км. Вышэй, да некалькіх радыусаў Зямлі, ёсць толькі разрэджаны вадарод, які ўтварае геакарону. Яе шчыльнасць парадку соцень атамаў у кубічным сантыметры. Зямлі стра-



46. Разрѣз радыяцыйнага пояса (магнітасферы) Зямлі (схема).

та атмасферы не пагражае, паколькі яе прыцяжэнне дастаткова моцнае. Месяц і іншыя невялікія целы сонечнай сістэмы павінны былі страціць атмасферы яшчэ ў першы перыяд свайго існавання. Вадарод у вялікай меры страціла і Зямля.

У верхніх слаях зямной атмасферы сонечнае спрамяненне ўтварае моцную іанізацыю. Іанізаваныя слаі атмасферы называюцца іонасферай.

3. Зямля. Магнітнае поле. Магнітнае поле Зямлі мае напружанасць каля 0,5 э і дазваляе карыстацца кампасам, што магчыма не на ўсякай планеце. З аддаленнем ад Зямлі напружанасць яе магнітнага поля слабее. Поле адыгрывае вялікую ролю ў руху каля Зямлі частчак, якія нясуць электрычны зарад. У магнітным полі такія частчкі рухаюцца па спіралях, восямі якіх з'яўляюцца сілавыя лініі поля.

Пасля 1958 г. высветлілася, што магнітнае поле Зямлі ўтрымлівае электроны і пратоны (ядры вадароду), якія сканцэнтраваны вакол Зямлі, утвараючы радыяцыйны пояс. Яго называюць яшчэ поясам частчак высокіх энергій. На рысунку 46 паказаны схематычны разрѣз гэтага пояса (гушчыня колеру паказвае ступень канцэнтрацыі частчак). Унутраная частка пояса распасціраецца прыкладна на 500—5000 км ад паверхні Зямлі. У асноўным яна складаецца з пратонаў, што ўзнікаюць пры распадзе нейтронаў, утвораных у атмасферы пры бамбардзіроўцы яе касмічнымі праменьнямі. Радыяцыйны пояс — вялікая небяспека для касманаўтаў, таму што частчкі, сутыкаючыся з караблём, ствараюць рэнтгенаўскае спрамяненне, якое пранікае праз абалонку карабля. Гэта трэба ўлічваць пры запуску касмічных караблёў з чалавекам на борце.

Знешняя частка радыяцыйнага пояса знаходзіцца паміж вышынямі ў 1—5 радыусаў Зямлі і складаецца ў асноўным з электронаў з энергіяй у дзесяткі тысяч электрон-вольт — у 10 разоў

меншай, чым энергія частачак унутранага пояса. Частачкі, якія ўтвараюць радыяцыйны пояс, напэўна, захопліваюцца зямным магнітным полем з ліку частачак, якія бесперапынна выкідаюцца Сонцам і ўтвараюць «сонечны вецер» — карпускулярны паток (ад слова карпускула — частачка).

Успышкі на Сонцы выклікаюць больш магутныя патакі. Паток рухаецца са скорасцю 400—1000 км/сек і дасягае Зямлі прыкладна праз 1—2 дні пасля таго, як на Сонцы адбылася ўспышка гарачых газаў, што выклікала гэты паток. Такі ўзмоцнены карпускулярны паток парушае магнітнае поле Зямлі. Хутка і моцна мяняюцца характарыстыкі магнітнага поля, што называецца магнітнай бурай. Стрэлка компаса вагаецца. Узнікае парушэнне іонасферы, якое парушае радыёсвязь, адбываюцца палярныя ззянні (рыс. 47). Палярныя ззянні рознай формы і афарбоўкі ўзнікаюць на вышынях ад 80 да 1000 км. Зрэдку яны бываюць бачныя нават і ў нізкіх шыратах, напрыклад у Паўночнай Афрыцы. Плазма, г. зн. іанізаваны газ, які нясецца ў карпускулярным патоку ад Сонца, захопліваецца магнітным полем і нападзіе радыяцыйны пояс. У палярных абласцях ужо захопленыя частачкі, рухаючыся ўздоўж сілавых ліній магнітнага поля, пранікаюць у атмасферу. Яны бамбардзіруюць малекулы паветра, іанізуюць іх і ўзбуджаюць ударнае свячэнне, як паток электронаў у вакуумнай трубцы. М. В. Ламаносаў выказваў геніяльную здагадку аб тым, што палярныя ззянні маюць электрычную прыроду.

47. Палярнае ззяненне.



Колеры палярнага ззяння абумоўлены свячэннем газаў атмасферы, і ў спектры палярных ззянняў ёсць розныя яркія лініі. Часцей за ўсё ў спектрах пераважаюць лініі атамарнага кіслароду. Гэтыя лініі, чырвоная і зялёная, мяняюць сваю інтэнсіўнасць, мяняючы колер палярнага ззяння. Яны назіраюцца і ў свячэнні начнога неба, паколькі заўсёды, хаця б і слаба, частачкі з космасу іанізуюць атмасферу. Гэта стварае і агульнае слабае свячэнне неба ўначы. Неба нідзе і ніколі не бывае зусім чорным.

Выгляд Зямлі з космасу паказан на рысунках 31 і 32. Каля палавіны паверхні зямнога шара заўсёды ахутана воблакамі. Калі б Зямля, як Венера і планеты-гігanty, цалкам і пастаянна была ахутана воблакамі, то людзі ніколі б не ўбачылі зорнага неба і, магчыма, вельмі доўга не даведаліся б аб існаванні бязмежнага Сусвету з мноствам светаў.

Такім чынам, мы высветлілі, што на Зямлі і ў яе атмасферы адбываюцца разнастайныя працэсы, многія з якіх звязаны з Сонцам, якое знаходзіцца ад нас на адлегласці 150 мільёнаў кіламетраў, а касмічныя праменні прыходзяць да нас з яшчэ больш далёкіх абласцей космасу, г. зн. Зямля не ізалявана ад космасу, і цэлы рад практычных задач цесна звязаны з працэсамі, якія адбываюцца па-за Зямлёй.

6. ПЛАНЕТЫ МЕРКУРЫЙ, ВЕНЕРА І МАРС

1. Калясонечныя планеты. Блізкасць Венеры і асабліва Меркурыя да асяляльнага Сонца, а таксама адсутнасць магчымасці назіраць іх дыскі на небе цалкам, калі яны ад Сонца далей, а да Зямлі бліжэй, робяць вельмі цяжкім вывучэнне паверхні і атмасферы гэтых планет. Толькі ў апошнія гады радыёлакацыйныя назіранні Венеры і Меркурыя, фатаграфаванне іх з блізкай адлегласці аўтаматычнымі станцыямі і іншыя метады ўпершыню далі надзейныя звесткі аб вярчэнні гэтых планет вакол восі і аб будове іх паверхні.

Меркурый, найбліжэйшая да Сонца планета, крыху большая за Месяц, але сярэдняя шчыльнасць яе амаль такая ж, як і ў Зямлі. Радыёназіранні выявілі вельмі павольнае вярчэнне Меркурыя. Зорныя суткі яго, г. зн. перыяд вярчэння вакол восі адносна зорак, роўны 58,6 нашых сутак. Сонечныя суткі на гэтай планеце складаюць каля 176 зямных сутак, у той час як адзін абарот Меркурыя вакол Сонца, яго год — 88 нашых сутак, амаль удвая карацейшы. (Дакладныя лікавыя даныя аб планетах гл. у дадатку V.)

Рад прыкмет гавораць аб магчымасці існавання ў Меркурыя атмасферы, але ў тысячы разоў больш разрэджанай, чым зямная. Таму дзённае паўшар'е яго вельмі напалёцца. У падсонечным пункце на Меркурыі была вымерана тэмпература больш $+300^{\circ}\text{C}$. Пры такой тэмпературы плавіцца свінец. Паверхня Меркурыя ўсеяна кальцавымі гарамі і кратэрамі так густа, што на фатаграфіях яе амаль немагчыма адрозніць ад паверхні Месяца (рыс. 48).

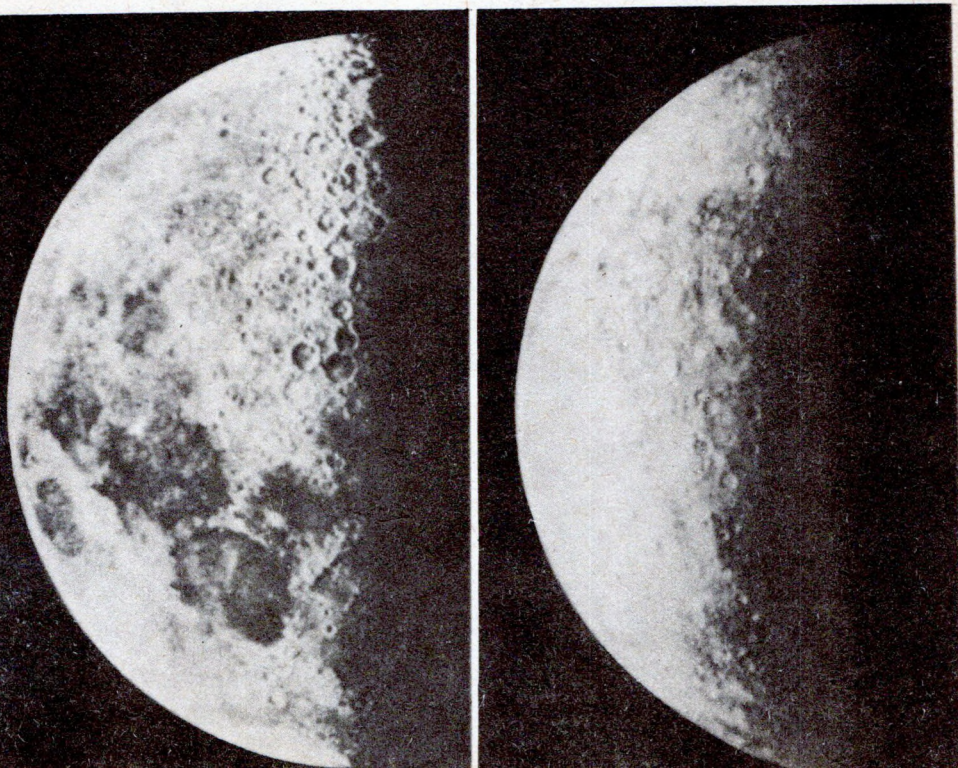
Венера здаўна прыцягвала да сябе асаблівую ўвагу ўжытым, што яна толькі крыху меншая за Зямлю па аб'ёму і па масе. Яшчэ Ламаносаў і яго сучаснікі выявілі наяўнасць у Венеры атмасферы. Ламаносаў правільна лічыў, што яна больш шчыльная, чым зямная. Пазней спектральныя назіранні выявілі ў саставе атмасферы Венеры вялікую колькасць вуглякіслага газу. Венера ахутана суцэльным покрывам белых воблакаў. Вымярэнні тэмпературы надвоблачнага слою планеты з Зямлі давалі каля -40°C і на дзённым і на начным паўшар'і.

Радыеназіранні выявілі, што Венера верціцца вакол восі ў бок, процілеглы таму, у які верціцца ўсе планеты (акрамя Урана) і ў які яна сама абарачаецца вакол Сонца. Сонечныя суткі на ёй складаюць 117 зямных сутак. (Зорныя перыяды вярчэння ўсіх планет дадзены ў табліцы V дадатку.) Нахіл восі Венеры да плоскасці яе арбіты блізкі да прамога вугла, таму на ёй няма змены пораў года. На Венеры заўсёды і ўсюды вельмі гарача.

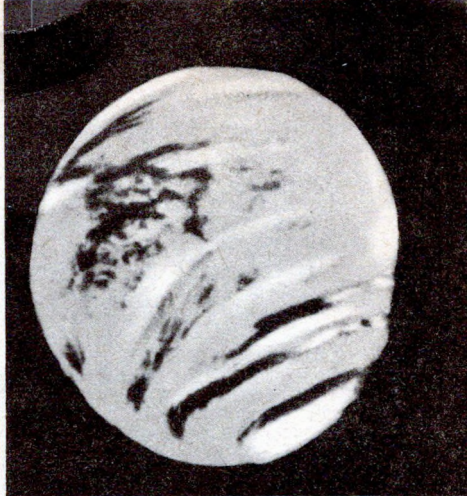
З 1961 г. пачаліся запускі да Венеры савецкіх аўтаматычных станцый. Некаторыя станцыі мелі апараты, што спускаліся на Венеру на парашуце, аўтаматычныя прылады якіх вымяралі характарыстыкі яе атмасферы на рознай вышыні і перадавалі гэтыя звесткі па радыё на Зямлю. Магнітнага поля Венеры гэтыя прылады не выявілі. Для паверхні яе тэмпература блізкая да $+450^{\circ}\text{C}$,

48. Параўнанне Месяца і Меркурыя ў аднолькавай фазе:

Месяц — злева, Меркурый — справа (маштаб гэтых фатаграфій неаднолькавы).

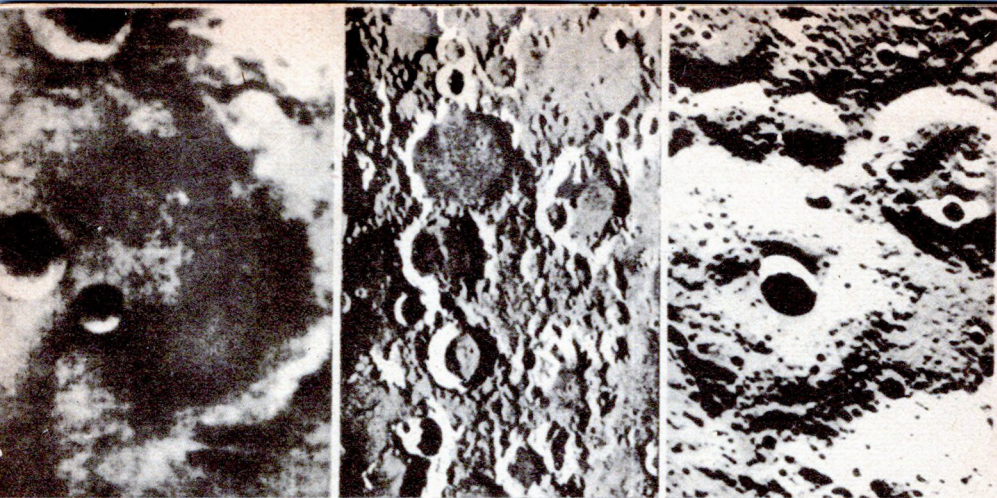


а ціск складае каля 100 атмасфер. Надзвычай высокая тэмпература ў ніжніх сляях атмасферы Венеры і на яе паверхні ў вялікай меры абумоўлена так званым «парніковым эфектам». Сонечныя светавыя праменні паглынаюцца ў ніжніх сляях і, сірамяняючыся назад у выглядзе цеплавых прамянёў, затрымліваюцца яе воблачным слоём, як цяпло ў парніках. На 97% па масе атмасфера Венеры складаецца з вуглякіслага газу. Азот і інертныя газы складаюць толькі некалькі працэнтаў, кісларод — каля 0,1%, а вадзяная пара яшчэ менш. З вышынёй над паверхняй тэмпература паніжаецца, і ў стратасферы Венеры пануе мароз. Скорасць вятроў, якая складае ўсяго некалькі метраў у секунду ў ніжніх сляях атмасферы, на вышынях каля 50 км дасягае 60 м/сек. Праз воблакі Венеры (састаў іх яшчэ пакуль не зразумелы) паверхня планеты нябачная. Радыелакацыйныя даныя гавораць аб наяўнасці на Венеры рада вялікіх кратэраў, а малых там можна чакаць яшчэ больш. У бачных праменьнях воблакі Венеры зусім аднародныя і белыя, але ва ультрафіялетавых (рыс. 49) выразна відаць іх структура, якая сведчыць аб моцных цячэннях газу ў атмасферы. У 1975 г. АМС «Венера-9» і «Венера-10» перадалі на Зямлю панарамы ландшафтаў, якія ўбачылі іх тэлевізійныя камеры, апушчаныя на паверхню планеты.



49. Фатаграфія Венеры, ахутаная воблакамі, атрыманая касмічнай станцыяй у 1974 г.

2. Марс. Па размеру планета займае прамежкавае становішча паміж Зямлёй і Месяцам. Марс у два разы меншы за Зямлю па дыяметру. Яго арбіта мае значны эксцэнтрысітэт, таму, калі супрацьстаянне Марса адбываецца паблізу афелія, яго вуглавы дыяметр не больш 14" і па яркасці планета не вылучаецца сярод зорак. Калі ж Марс знаходзіцца ў супрацьстаянні паблізу перыгелія, яго бачны дыяметр дасягае 25" і ён з'яе на небе, уступаючы па яркасці толькі Венеры. Такія супрацьстаянні называюцца вялікімі і паўтараюцца праз 15 або 17 гадоў. У гэты час назіранні Марса з Зямлі асабліва спрыяльныя. У апошнія гады аб'ём нашых звестак аб Марсе рэзка павялічыўся дзякуючы скарыстанню аўтаматычных станцый-лабараторый, выведзеных на арбіту вакол Марса ў якасці яго штучных спадарожнікаў. Па камандзе з Зямлі яны фатаграфавалі паверхню планеты, выконваючы цэлую серыю навуковых вымярэнняў, і па радыё і тэлебачанню перадавалі інфармацыю на Зямлю. Атрыманы ўжо тысячы фатаграфій планеты з рознай адлегласці. Па іх складзены карты Марса, на якіх адзначаны дэталі размерам да 1 км, як на картах Месяца, атрыманых па назіраннях з Зямлі. Радыелакацыя паверхні Марса



50. Параўнанне кратэраў на Марсе, Месяцы і Меркурыі.

паказала, што на ёй ёсць вялікія перапады вышынь да 15 км, як і на Зямлі, калі параўноўваць вышыню горных вяршынь і глыбіню акіянічнага дна.

Год Марса амаль у два разы даўжэйшы за зямны, ёсць там і змена пораў года, паколькі вось сутачнага вярчэння Марса нахілена да плоскасці яго арбіты амаль як зямная. На паверхні Марса прыкметны цёмныя плямы даволі пастаянных абрысаў на агульным аранжавым фоне (гл. каляровыя рысункі на форзацы). Да эпохі касманаўтыкі цёмныя плямы на Марсе называлі «морамі», а аранжавыя прасторы — «пустынямі». Па бачнаму перамяшчэнню плям на дыску ўстаноўлена працягласць сонечных сутак на Марсе — 24 г 37,4 мін, амаль як на Зямлі.

У невялікі тэлескоп лепш за ўсё заўважыць белыя палярныя шапкі на полюсах планеты, якія складаюцца з ільду і замёрзлай вуглекіслаты. Цёмныя ж плямы бачны дрэнна і часам знікаюць зусім, нават на здымках, зробленых паблізу са штучных спадарожнікаў. Прычынай гэтага з'яўляюцца магутныя пылавыя буры, якія часам працягваюцца месяцамі і падымаюць у паветра каласальнейшыя колькасці найдрабнейшых пылінак. Такім чынам, пацвярджаецца існаванне там пясчаных пустынь, якія вызначылі сабой аранжавы колер Марса ў цэлым. Марс, таксама як Месяц і Меркурый, усеяны кальцавымі горамаі (рыс. 50). Як і на Месяцы, кальцавыя горы Марса вулканічнага паходжання, а больш дробныя ў асноўным утвараюцца ад удараў метэарытаў. Марсіянскія горы вызначаюцца большай згладжанасцю рэльефу ў параўнанні з месячнымі, што сведчыць аб з'явах выветрывання і выраўноўвання яго паверхні. Існаванне на Марсе атмасферы было ўстаноўлена ўжо даўно. Аднак гэта атмасфера вельмі разрэджана, і яе ціск прыкладна ў 100 разоў меншы за зямны. У асноўным яна складаецца з вуглекіслаты. Кіслароду і вадзяной пары ў ёй вельмі мала, але часам можна назіраць рэдкія белыя воблакі

і туман, часцей над палярнымі шапкамі. Вада на Марсе з прычыны нізкага атмасфернага ціску ў асноўным можа існаваць толькі ў выглядзе пары або лёду. Мяркуючы па пылавых бурах, на Марсе павінны быць моцныя вятры, якія дзьмуць са скорасцямі ў дзесяткі метраў у секунду.

З даўняга часу на Марсе назіралі сезонныя змяненні ў афарбоўцы ў выглядзе цёмных плям. Напэўна, яны адбываюцца ад пераносу пылу ў час сезонных змяненняў сістэм вятроў (успомніце зямныя мусоны), а магчыма, яшчэ і ад лёгкага ўвільгатнення глебы вясной. Сутачныя тэмпературныя змяненні на Марсе дасягаюць 80—100°. Удзень на экватары тэмпература рэдка падымаецца нават да +10°C, а ўначы яна памяншаецца да лютага марозу (—70, —100°C), асабліва холадна на полюсах (да —130°C). Сутачныя ваганні тэмпературы спалучаюцца з сезоннымі.

Суровыя ўмовы на Марсе з'яўляюцца вынікам таго, што Марс у 1,5 раза далей ад Сонца, чым Зямля, і цяпла атрымлівае ў два з лішнім разы менш, а ўначы грунт з прычыны разрэджанасці атмасферы астывае вельмі хутка.

Рэчаіснасць развянчала папулярныя раней меркаванні аб існаванні на Марсе штучных каналаў як выніку разумнай дзейнасці марсіян. Аднак, нягледзячы на вельмі суровыя фізічныя ўмовы, Марс з'яўляецца адзінай планетай нашай сонечнай сістэмы, на якой можна чакаць існавання прымітыўных форм расліннага жыцця. Параўнальна недалёка ад сонечнай сістэмы ў некаторых зорак выяўлены адзнакі існавання планетных сістэм. А ў Сусвеце іх павінна быць бесканечна многа і, несумненна, ёсць мноства такіх, дзе жыццё магчыма і ў сваім развіцці, можа быць, апырэдзіла нас. Марксісцкая філасофія, дыялектычны матэрыялізм вучыць, што жыццё з непазбежнасцю ўзнікае там і тады, дзе і калі ствараюцца неабходныя для гэтага ўмовы.

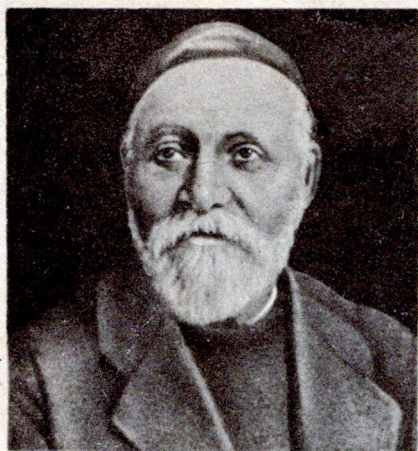
15.1. Што было б больш даступна — назіраць паверхню Зямлі з Марса або паверхню Марса з Зямлі?

2. Калі з Зямлі на Месяцы ў тэлескоп бачны прадметы размерам у 1 км, то які найменшы размер дэталей, бачных з Зямлі на Марсе ў такі ж тэлескоп у час супрацьстаяння (на адлегласці 55 млн. км)?

3. Вызначце па каляровых рысунках Марса на форзацы, карыстаючыся табліцай V у дадатку, размер палярнай шапкі Марса (у км).

7. ПЛАНЕТЫ-ГІГАНТЫ

З чатырох гіганцкіх планет лепш за ўсё вывучаны Юпітэр — самая вялікая планета з гэтай групы і бліжэйшая з іх да нас і Сонца. Юпітэр большы за Зямлю па дыяметру ў 11 разоў і ў 300 з лішнім разоў — па масе. Перыяд яго абарачэння вакол Сонца каля 12 гадоў, а адлегласць ад яго — 5,2 а.адз. Вось вярчэння Юпітэра амаль перпендыкулярная да плоскасці яго арбіты, таму змены пораў года на ім няма. Ва ўсіх гіганцкіх планет вярчэнне вакол восі даволі хуткае, а шчыльнасць малая. З прычыны гэтага яны значна сціснутыя. У Юпітэра сцісканне роўна



А. А. Белапольскі (1854—1934).

$1/16$, і яго адразу можна заўважыць у тэлескоп. У Сатурна сцісканне яшчэ большае: $1/10$, але прыкметна яно толькі тады, калі Зямля знаходзіцца ў плоскасці экватара планеты.

Усе планеты-гіганты акружаны магутнымі працяглымі атмасферамі, і мы бачым у іх плаваючыя воблакі, выцягнутыя палосамі, паралельнымі экватару, а паверхні гэтых планет не бачым. Палосы воблакаў бачны на Юпітэры нават у слабы тэлескоп (гл. каляровыя рысункі на форзацы). Ніякіх пастаянных дэталей на Юпітэры няма, акрамя загадкавай чырвонай плямы. Юпітэр верціцца зонамі — чым бліжэй да полюсаў,

тым павольней. На экватары перыяд вярчэння — 9 г 50 *мін*, а ў чырвонай плямы на 5 *мін* 11 *сек* большы. Перыяды вярчэння на экватары Сатурна — 10 г 14 *мін*, Урана — 10 г 49 *мін*, Нептуна — каля 16 г.

Паколькі планеты-гіганты вельмі аддалены ад Сонца, іх тэмпература (па крайняй меры над іх воблакамі) вельмі нізкая: на Юпітэры — 145°C , на Сатурне — 180°C , на Уране і Нептуне яшчэ ніжэй.

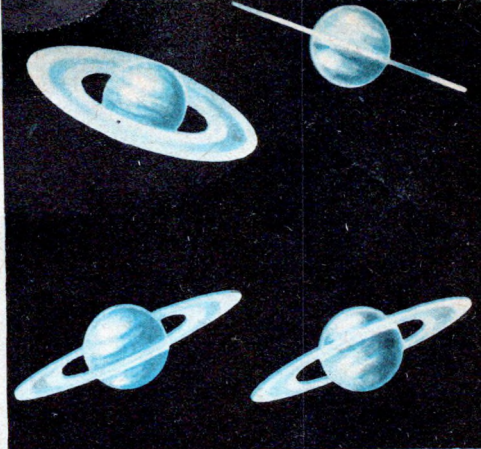
Спектральныя назіранні паказваюць, што атмосферы планет-гігантаў маюць у асноўным малекулярны вадарод, ёсць там метан CH_4 і, як відаць, многа гелію, а ў атмосферы Юпітэра і Сатурна выяўлен яшчэ і аміяк NH_3 . Адсутнасць палос NH_3 у спектрах больш далёкіх планет тлумачыцца тым, што ён там вымерз. Пры нізкай тэмпературы аміяк кандэнсуецца, і з яго, відаць, складаюцца бачныя воблакі Юпітэра.

Тэарэтычна пабудаваны мадэлі масіўных планет, якія складаюцца з вадароду і гелію, што знаходзяцца ў цвёрдым стане з прычыны вялікага ціску, хаця ў цэнтры планеты тэмпература можа дасягаць некалькіх тысяч градусаў. Шчыльнасць газавай атмосферы ля асновы каля $0,1 \text{ г/см}^3$. Малая сярэдняя шчыльнасць планеты-гігантаў можа тлумачыцца тым, што яна атрымліваецца дзяленнем масы на бачны аб'ём, а аб'ём мы ацэньваем па непразрыстаму слою вялізнай атмосферы. Сярэдняя шчыльнасць Юпітэра $1,3 \text{ г/см}^3$, Урана $1,5 \text{ г/см}^3$, Нептуна $1,7 \text{ г/см}^3$, а Сатурна нават $0,7 \text{ г/см}^3$, г. зн. меншая за шчыльнасць вады. *Малая шчыльнасць і вялікая колькасць вадароду адрозніваюць планеты-гіганты ад астатніх планет.*

Адзіным у сваім родзе ўтварэннем у сонечнай сістэме з'яўляецца плоскае кольца таўшчынёй у некалькі кіламетраў, якое акружае Сатурн (гл. каляровыя рысункі на форзацы). Яно размешчана ў плоскасці экватара Сатурна, якая нахілена да плоскасці яго арбіты на 27° . Таму на працягу 30-гадовага абарачэння Сатурна вакол Сонца кольца відаць нам то даволі раскрытым, то

як з канта, калі яго можна разгледзець у выглядзе тонкай лініі толькі ў вялікія тэлескопы (рыс. 51). Шырыня гэтага кольца такая, што, калі б яно было суцэльнае, па ім мог бы каціцца зямны шар.

Пацвярджаючы тэарэтычны вывад аб тым, што суцэльнае кольца ў Сатурна было б няўстойлівае і таму павінна складацца з мноства дробных частачак, рускі вучоны А. А. Белапольскі вывучыў спектр кольца. Па спектру высветлілася, што ўнутраныя часткі кольца верцяцца хутчэй, чым вонкавыя, у адпаведнасці з III законам Кеплера. Частачкі маюць размеры, відаць, ад



51. Змяненні выгляду кольца Сатурна.

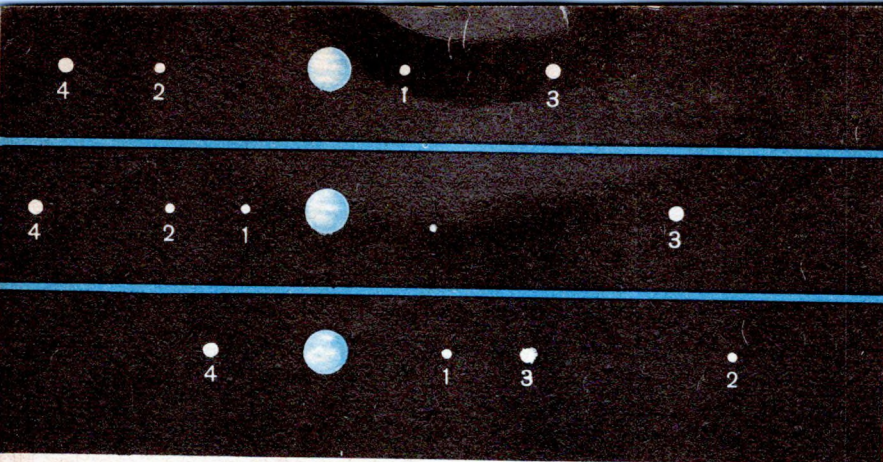
1 см да 1 м. У кольца ёсць цёмныя кальцавыя прамежкі, таму іншы раз гавораць аб кольцах Сатурна. Прамежкі знаходзяцца ў тых месцах, дзе рух частачак кольца быў бы няўстойлівым з прычыны парушэнняў, выклікаемых вялікімі спадарожнікамі Сатурна. Кольца — гэта або вынік разбурэння прылівамі спадарожніка, які занадта наблізіўся да планеты, або рэшткі рэчыва, з якога згушчаліся спадарожнікі, але якое так блізка да Сатурна не магло сабрацца ў адно цела з-за моцных прыліваў на гэтай адлегласці.

З астатніх даных аб планетах заслугоўвае ўвагі факт восевага вярчэння Урана ў напрамку, процілеглым таму, у якім верцяцца амаль усе планеты. Вось яго ўтварае з плоскасцю арбіты вугал усяго толькі 8° , так што ён верціцца быццам бы лежачы на баку. З прычыны гэтага на планеце адбываецца вельмі рэзкая змена пораў года. Год на Уране працягваецца 84 зямныя гады. *Толькі Уран і Венера верцяцца вакол сваёй восі не ў той бок, у які верцяцца ўсе астатнія планеты.*

16. Вызначце шляхам вымярэння адной з фігур (рыс. 49) вугал, які плоскасць кольца Сатурна ўтварае з нашым праменем зроку.

18. РУХ МЕСЯЦА І СПАДАРОЖНІКАЎ ПЛАНЕТ. ЗАЦЬМЕННІ

1. Спадарожнікі планет і Месяц. У Меркурыя і Венеры спадарожнікаў няма. У астатніх планет, за выключэннем Зямлі, спадарожнікі непамерна меншыя за свае планеты. У Зямлі ёсць толькі адзін прыродны спадарожнік — Месяц, але надзвычай вялікі ў параўнанні з ёй самой. Месяц меншы за Зямлю па дыяметру толькі ў 4 разы. Больш за ўсё спадарожнікаў (13) у найбуйнейшай планеты — Юпітэра (трынаццаты спадарожнік адкрыт

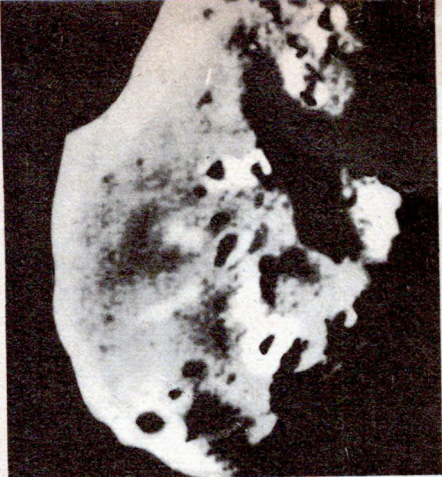


52. Прыклады змянення размяшчэння чатырох галоўных спадарожнікаў Юпітэра за тры наступныя дні.

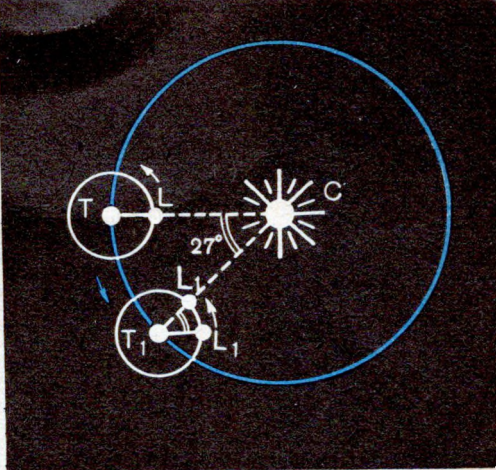
у 1974 г.). У наступнай па масе планеты Сатурна іх 10, прычым дзесяты адкрыты толькі ў 1966 г. Ва Урана 5 спадарожнікаў, у Нептуна і Марса па 2. Самыя буйныя са спадарожнікаў: Тытан (спадарожнік Сатурна) і Ганімед (трэці спадарожнік Юпітэра). Яны ў 1,5 раза большыя за Месяц па дыяметру і крыху большыя за Меркурый. Тытан — адзіны спадарожнік, які мае атмасферу (яна складаецца з метану). З 1973 г. стала магчымым вывучэнне спадарожнікаў планет з блізкай адлегласці пры дапамозе аўтаматычных міжпланетных станцый.

Усе спадарожнікі, для якіх удалося ўстанавіць вярчэнне вакол восі, у тым ліку і Месяц, павернуты да сваёй планеты заўсёды адным і тым жа бокам. Таму іх зорныя перыяды вярчэння роўны перыядам іх абарачэння вакол сваіх планет, у выніку чаго ні з адной планеты нельга бачыць адваротны бок гэтых спадарожнікаў. Чатыры найбольшыя спадарожнікі Юпітэра іншы раз можна разгледзець нават у прызменны бінокуляр. У тэлескоп за некалькі гадзін можна прасачыць, як спадарожнікі прыкметна перамяшчаюцца (рыс. 52) і іншы раз праходзяць паміж Юпітэрам і Зямлёй, а часам адыходзяць за дыск Юпітэра або ў яго цень, у зацьменне. Назіраючы гэтыя зацьменні спадарожнікаў, Рэмер у XVII ст. адкрыў, што скорасць распаўсюджвання святла канечная, і ўстанавіў яе велічыню.

Многія са спадарожнікаў планет цікавыя сваім рухам, напрыклад, Фобас абарачаецца вакол Марса ў тры разы хутчэй, чым сама планета верціцца вакол восі. Таму для назіральніка на Марсе ён двойчы за суткі ўсходзіць на захадзе і двойчы поўнасямьяе ўсе фазы, пераносячыся па небасхіле насустрач сутачнаму вярчэнню зорак. Спадарожнікі Марса вельмі малыя і блізкія да яго паверхні. Фобас знаходзіцца ад паверхні Марса на адлегласці меншай, чым дыяметр планеты. Па фатаграфіях (рыс. 53), зробленых з блізкай адлегласці з космаса, Фобас уяўляе сабой ка-



53. Фатаграфія Фобаса — спадарожніка Марса, зробленая з аднаго са штучных спадарожнікаў.



54. Адрозненне паміж зорным месяцам і сінадычным месяцам.

менную глыбу няправільнай формы крыху больш 20 км у дыяметры. Ён увесь скапаны варонкамі ад сутыкненняў з метэарытамі. Гэтыя варонкі з прычыны адсутнасці атмасферы на спадарожніку не згладзіліся. Фобас, Месяц, Меркурый, Марс з'яўляюцца нібы музейнымі ўзорамі, якія ілюструюць далёкае мінулае — паходжанне і эвалюцыю рэльефу на невялікіх нябесных целах, у рознай меры пазбаўленых шчыльнай газавай абалонкі.

Далёкія спадарожнікі Юпітэра і Сатурна вельмі малыя, і некаторыя з іх абарачаюцца ў бок, процілеглы вярчэнню самой планеты. Усе 5 спадарожнікаў Урана абарачаюцца ў адваротным напрамку, і плоскасці іх арбіт, як і экватар планеты, амаль перпендыкулярныя да плоскасці арбіты Урана.

Разгледзім больш падрабязна рух Месяца — спадарожніка Зямлі.

Зорны, або сідэрычны, месяц — гэта перыяд абарачэння Месяца вакол Зямлі адносна зорак; сінадычны месяц — гэта перыяд абарачэння Месяца вакол Зямлі адносна Сонца. Сінадычны месяц — гэта прамежак часу паміж аднолькавымі фазамі Месяца. Зорны месяц роўны 27,3 сут, а сінадычны месяц — 29,5 сут. Месяц М (рыс. 54) праходзіць за суткі па сваёй арбіце $360^\circ : 27,3 \approx 13^\circ$. За 27,3 сут Зямля Т разам з Месяцам пройдзе па сваёй арбіце адносна Сонца дугу TT_1 , амаль 27° . Месяцу, значыць, спатрэбіцца яшчэ каля $27 : 13 \approx 2$ сут, каб прыйсці ў ранейшае становішча адносна Зямлі і Сонца. Так і атрымліваецца, што сінадычны месяц, інакш — сонечныя суткі Месяца, складае каля 29,5 зямных сутак. Значыць, на Месяцы працягласць дня роўна двум зямным тыдням і два нашы тыдні складаюць там ноч.

Бліжэйшы да Зямлі пункт эліптычнай арбіты Месяца называецца перыгеем, а найбольш аддалены — апагеем.

Схема, якая тлумачыць змену фаз Месяца, паказана на рысунку 55. Калі Месяц бачны нам як вузкі серп, астатняя частка

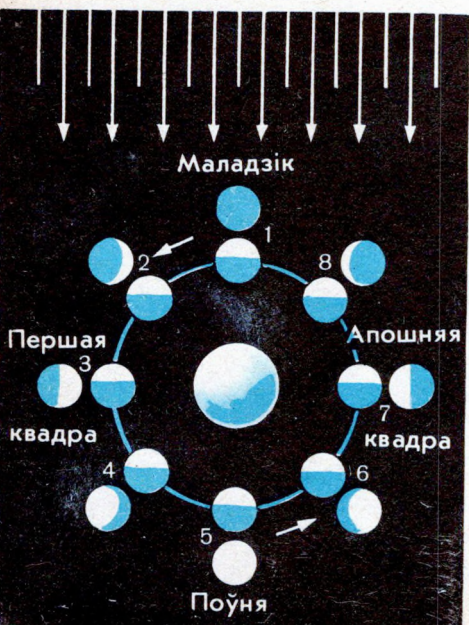
яго дыска таксама злёгка свеціцца. Гэта з'ява называецца попельным святлом і тлумачыцца тым, што Зямля асвятляе начны бок Месяца адбітым сонечным святлом.

Лёгка зразумець, што фазы Зямлі і Месяца ўзаемна процілеглыя. Калі Месяц амаль поўны, Зямля з Месяца відаць як вузкі серп. На рысунку 31 паказана фатаграфія неба і гарызонта Месяца з Зямлёй, ля якой бачна толькі яе асветленая частка — менш паўкруга.

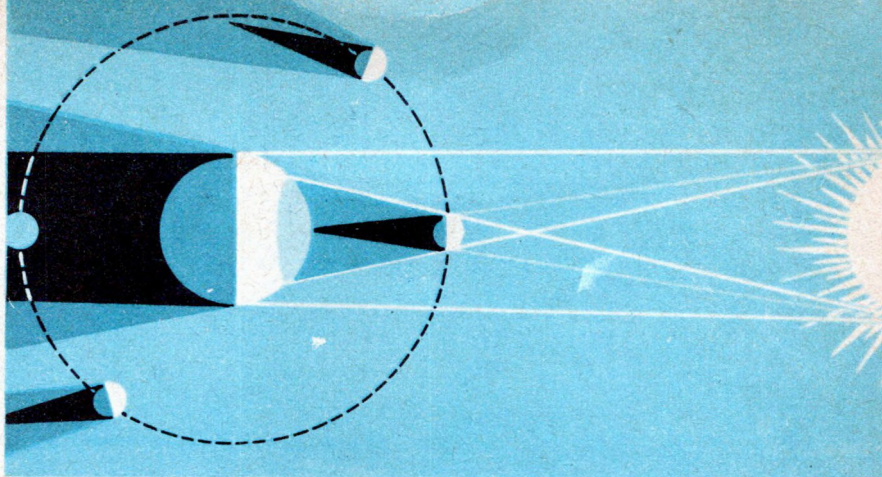
17. 1. Серп Месяца звернуты выпукласцю ўправа і блізка да гарызонта. У які бок гарызонта вы глядзіце?
2. Сёння Месяц на поўдні кульмінаваў у поўнач. Калі верхняя кульмінацыя Месяца паўторыцца заўтра?

2. Зацьменні Сонца і Месяца. Зямля і Месяц, асветленыя Сонцам, адкідваюць конусы ценю (сыходныя) і конусы паўценю (разыходныя). Яны паказаны на рысунку 56. **Калі Месяц пападае ў цень Зямлі поўнасяцю або часткова, адбываецца поўнае або частковае зацьменне Месяца.** З Зямлі яно відаць адначасова адусюль, дзе Месяц над гарызонтам. Фаза поўнага зацьмення Месяца можа працягвацца да 1 г 40 мін, таму што цень Зямлі значна шырэйшы за дыяметр Месяца. Сонечныя праменні, прапалляючыся ў атмасферы Зямлі, пападаюць у конус зямнога ценю. Пры гэтым атмасфера моцна паглынае блакітныя і суседнія з імі праменні (успомніце спектр), а прпускае ўнутр конуса пераважна чырвоныя праменні, якія яна паглынае слабей. Вось чаму Месяц пры вялікай фазе зацьмення афарбоўваецца ў чырванаваты колер, а не прападае зусім. У старадаўнія часы зацьмення Месяца баяліся як страшнага прадвесця, лічылі, што «месяц абліваецца крывёю». Зацьменні Месяца бываюць да трох разоў у год, падзеленыя амаль паўгадавымі прамежкамі, і, безумоўна, толькі ў поўню.

55. Схема, якая тлумачыць змену фаз Месяца (сонечныя праменні падаюць зверху, у плоскасці чарцяжа. Па вонкаваму кругу паказан выгляд Месяца з Зямлі ў адпаведных становішчах).



Сонечнае зацьменне як поўнае бачна толькі там, дзе на Зямлю падае пляма ценю Месяца. Дыяметр плямы не перавышае 250 км, і таму **адначасова поўнае зацьменне Сонца відаць толькі на малым участку Зямлі.** Калі Месяц перамяшчаецца па сваёй арбіце, яго цень рухаецца па Зямлі з захаду на ўсход, вычэрчваючы паслядоўна вузкую паласу поўнага зацьмення (рыс. 57). Поўная фаза зацьмення цягнецца не больш 7 мін 40 сек.



56. Схема зацьменняў Месяца і Сонца.

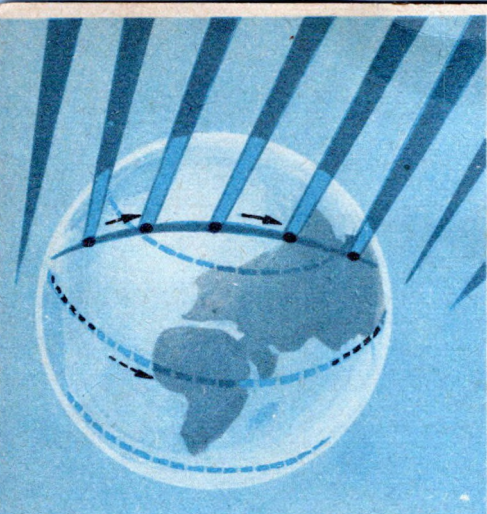
Там, дзе на Зямлю падае пайцень Месяца, назіраецца частковае зацьменне Сонца (рыс. 58). З прычыны невялікага змянення адлегласцей Зямлі ад Месяца і Сонца бачны вуглавы дыяметр Месяца бывае то большы, то меншы за сонечны, то роўны яму. У першым выпадку поўнае зацьменне Сонца працягваецца да 7 мін 40 сек, у трэцім — толькі адно імгненне, а ў другім выпадку Месяц наогул не закрывае Сонца цалкам, назіраецца кольцападобнае зацьменне. Тады вакол цёмнага дыска Месяца бачны ззяючы абадок сонечнага дыска.

На аснове дакладнага ведання законаў руху Зямлі і Месяца вылічаны на сотні гадоў наперад моманты зацьменняў і тое, дзе і як яны будуць бачны. Складзены карты, на якіх паказана паласа поўнага зацьмення, лініі, дзе зацьменне будзе відаць у аднолькавай фазе (ізафазы), і лініі, адносна якіх для кожнай мясцовасці можна адлічыць моманты пачатку, канца і сярэдзіны зацьмення. Сонечных зацьменняў у год для Зямлі можа быць ад двух да пяці, у апошнім выпадку абавязкова частковых.

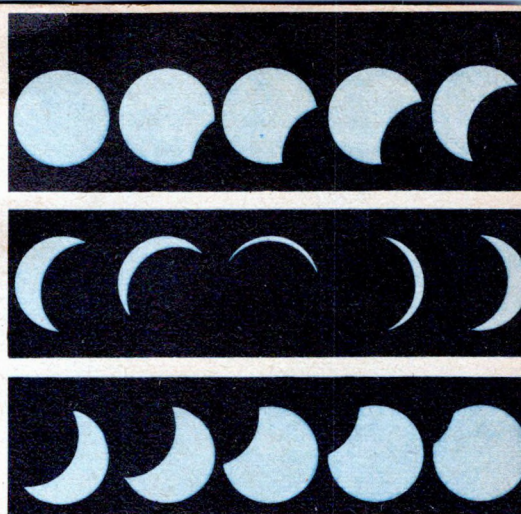
У сярэднім у адным і тым жа месцы поўнае сонечнае зацьменне бывае бачна надзвычай рэдка — толькі аднойчы на працягу 200—300 гадоў.

Асабліваю цікавасць для навукі ўяўляюць поўныя зацьменні Сонца, якія наводзілі раней прымхлівы жах на цёмных людзей. Такія сонечныя зацьменні лічылі прадвесцем вайны, канца свету.

Астраномы арганізоўваюць экспедыцыі ў паласу поўнага зацьмення, каб на працягу секунд, рэдка мінут поўнай фазы вывучаць знешнія разрэджаныя абалонкі Сонца, нябачныя непасрэдна па-за зацьменнем. У час поўнага сонечнага зацьмення неба цямнее, па гарызонту гарыць заравое кольца — свячэнне атмасферы, асветленай праменьнямі Сонца ў мясцовасцях, дзе зацьменне няпоўнае; вакол чорнага сонечнага дыска палае чырвонае кольца сонеч-



57. Перамяшчэнне плямы ценю Месяца па Зямлі.



58. Паслядоўнасць фаз прыватнага зацьмення Сонца (знізу ўверх з рада ў рад).

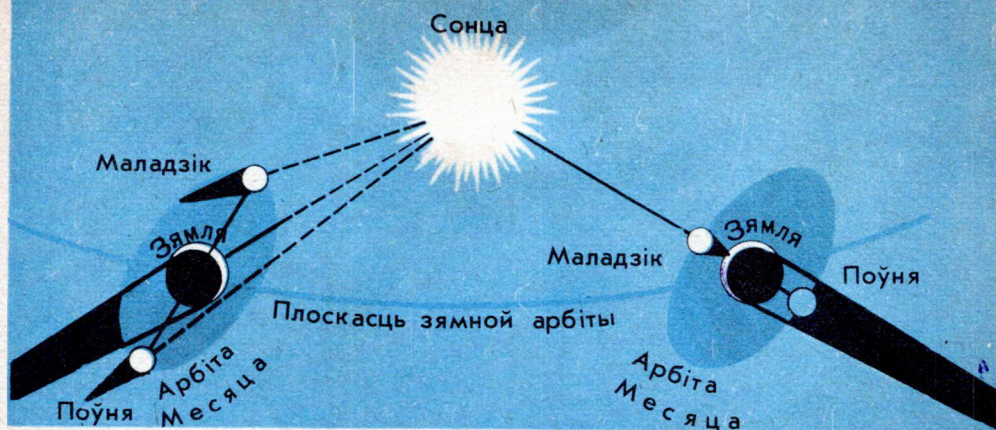
най атмасферы, а далей распасціраюцца жамчужныя праменні ззяння так званай сонечнай кароны (рыс. 78).

● *Калі б плоскасць арбіты Месяца супадала з плоскасцю экліптыкі, то кожны маладзік адбывалася б сонечнае зацьменне, а кожную поўню — зацьменне Месяца.* Але плоскасць арбіты Месяца перасякае плоскасць экліптыкі пад вуглом $5^{\circ}9'$. Таму Месяц звычайна праходзіць больш на поўнач ці на поўдзень ад плоскасці экліптыкі і зацьменні не адбываюцца (рыс. 59). Толькі на працягу двух перыядаў у годзе, падзеленых амаль паўгодам, калі ў поўню і маладзік Месяц знаходзіцца паблізу экліптыкі, магчымы надыход зацьмення.

Справа ўскладняецца тым, што плоскасць арбіты Месяца верціцца ў прастору (гэта адзін з відаў парушэнняў, якія выклікаюцца ў руху Месяца адносна Зямлі прыцяжэннем Сонца). За 18 гадоў плоскасць арбіты Месяца робіць поўны паварот і перыяды магчымых зацьменняў зрушваюцца па датах года. Вучоныя старажытнасці заўважылі перыядычнасць у зацьменнях, звязаную з гэтым 18-гадовым перыядам, і маглі таму прыбліжана прадказваць надыход зацьменняў. Цяпер памылкі перадвылічэння момантаў зацьменняў складаюць менш 1 сек.

Звесткі аб зацьменнях, якія будуць, і аб умовах іх бачнасці даюцца ў «Школьным астранамічным календары», у іншых астранамічных календарых і ў астранамічных штогодніках.

181. Учора была поўня. Ці можа быць заўтра зацьменне Сонца? Праз тыдзень?
2. Паслязаўтра будзе сонечнае зацьменне. Ці будзе сёння месячная ноч?
3. Ці можна з Паўночнага полюса назіраць сонечнае зацьменне 15 лістапада? 15 красавіка?
4. Ці можна з Паўночнага полюса бачыць зацьменні Месяца, якія адбываюцца ў чэрвені і ў лістападзе?
5. Як адрозніць фазу зацьмення Месяца ад адной з яго звычайных фаз?



59. Арбіта Месяца ў двух становішчах:
справа зацёмнені магчымы, злева — не.

9. ФІЗІЧНЫЯ ўМОВЫ НА МЕСЯЦЫ І ЯГО РЭЛЬЕФ

1. **Фізічныя ўмовы на Месяцы.** Месяц, які меншы за Зямлю па дыяметру ў 4 разы, а па масе ў 81 раз, — найбліжэйшае да нас нябеснае цела і таму вывучаны лепш за ўсё. Самыя ж блізкія да нас планеты бываюць прыкладна ў 100 і больш разоў далей, чым Месяц. Сярэдняя шчыльнасць Месяца $3,3 \text{ г/см}^3$ — меншая, чым у Зямлі. Мабыць, у яго няма такога шчыльнага ядра, якое ёсць у Зямлі.

Мы бачым заўсёды толькі адно паўшар'е Месяца, на якім ніколі не відаць ні воблакаў, ні самай нязначнай смугі, што было адным з доказаў адсутнасці на Месяцы вадзяной пары і атмасферы. Пазней гэта было пацверджана прамымі вымярэннямі на паверхні Месяца. Неба на Месяцы нават днём было б чорнае, як у беспаветранай прасторы, але разрэджанае пылавое воблака, што акружае Месяц, крыху рассявае сонечнае святло.

З-за адсутнасці на Месяцы паветра на ім няма гукаў. Месяц — свет цішыні. Няма там ні воблакаў, ні вады, ні туманаў, ні вясёлкі, ні зары са світаннем. Цені рэзкія і чорныя. Няма атмасферы, змякчаючай п'якучыя сонечныя праменні, не прапускаючай на паверхню небяспечныя для жывых арганізмаў рэнтгенаўскае і карпускулярнае спрамяненні Сонца, памяншаючай аддачу цяпла ноччу ў сусветную прастору і засцерагаючай ад касмічных прамянняў і патокаў мікраметэораў.

Пры дапамозе аўтаматычных станцый устаноўлена, што бесперапынныя ўдары дробных метэарытаў, дробячы паверхню Месяца, як быццам абточваюць яе і згладжваюць рэльеф. Дробныя асколкі не ператвараюцца ў пыл, а ва ўмовах вакуума хутка спякаюцца ў порысты шлакападобны слой. Адбываецца малекулярнае счাপленне пылу ў падабенства пемзы. Такая структура кары Месяца надае ёй малую цеплаправоднасць. У выніку пры моцных ваганнях



60. Схематичная карта найбуйнейшых дэталей на звернутым да Зямлі паўшар'і і Месяца (яна арыентавана так, як Месяц бачны ў тэлескоп).

тэмпературы звонку ўжо на невялікай глыбіні ў нетрах Месяца захоўваецца пастаянная тэмпература. Вялікія перапады тэмпературы паверхні Месяца ад дня к ночы тлумачацца не толькі адсутнасцю змякчальнага дзеяння атмасферы, але і працягласцю дня і ночы на Месяцы, якая адпавядае двум нашым тыдням. Тэмпература ў падсонечным пункце Месяца роўна $+120^{\circ}\text{C}$, а ў процілеглым пункце начнога паўшар'я — -170°C .

2. Рэльеф Месяца. Ужо з часоў Галілея пачалі складаць карты бачнага паўшар'я Месяца. Цёмныя плямы на паверхні Месяца былі названы «морамі» (рыс. 60). Гэта нізіны, у якіх няма ні кроплі вады. Дно іх цёмнае і параўнаўча роўнае. Большую частку паверхні Месяца займаюць гарыстыя, больш светлыя прасторы. Ёсць некалькі горных хрыбтоў, названых, падобна да зямных, Альпамі, Каўказам і г. д. Вышыня гор дасягае 9 км. Але больш

васць ляжыць паблізу тэрмінатара, г. зн. мяжы паміж днём і ноччу на Месяцы. Тады асветленыя Сонцам збоку самыя малыя няроўнасці адкідваюць доўгія цені і лёгка прыкметныя. Вельмі цікава на працягу гадзіны прасачыць у тэлескоп за тым, як паблізу тэрмінатара на начным баку загараюцца светлыя пункты — гэта вяршыні валаў кратэраў Месяца. Паступова з цемры выплывае светлая падкова — частка кратэрнага вала, але дно кратэра яшчэ агорнута поўнай цемрай. Праменні Сонца, апускаючыся ўсё ніжэй, паступова абрысоўваюць і ўвесь кратэр. Пры гэтым добра відаць, што чым меншыя кратэры, тым іх больш. Яны часта размешчаны ланцужкамі і нават «сядзяць» адзін на адным. Пазнейшыя кратэры ўтварыліся на валах больш старых. У цэнтры кратэра часта бачна горка, у сапраўднасці гэта група гор (рыс. 62). Кратэрныя сцены абрываюцца тэрасамі крута ўнутр. Дно кратэраў ляжыць ніжэй за навакольную мясцовасць. Разгледзьце ўважліва выгляд унутранасці вала і цэнтральнай горкі кратэра Капернік, сфатаграфаваных штучным спадарожнікам Месяца збоку (рыс. 63). З Зямлі гэты кратэр бачны прама зверху і без такіх падрабязнасцей.

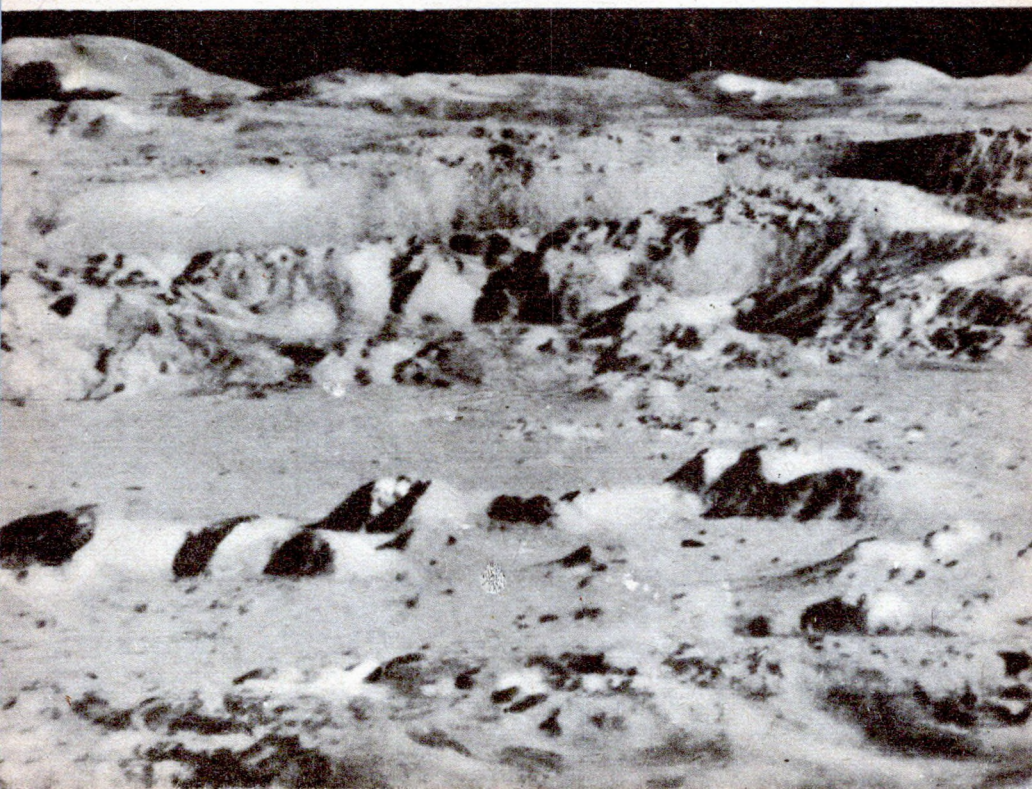
З Зямлі пры найлепшых умовах ледзь бачны кратэры да 1 км у дыяметры. Уся паверхня Месяца ўскапана дробнымі кратэрамі — пакатымі паглыбленнямі. Гэта вынік «абточвання» паверхні ўдарамі дробных метэарытаў. З Зямлі бачна толькі адно паўшар'е Месяца. У 1959 г. савецкая касмічная станцыя, пралетаючы паблізу Месяца, упершыню сфатаграфавала нябачнае

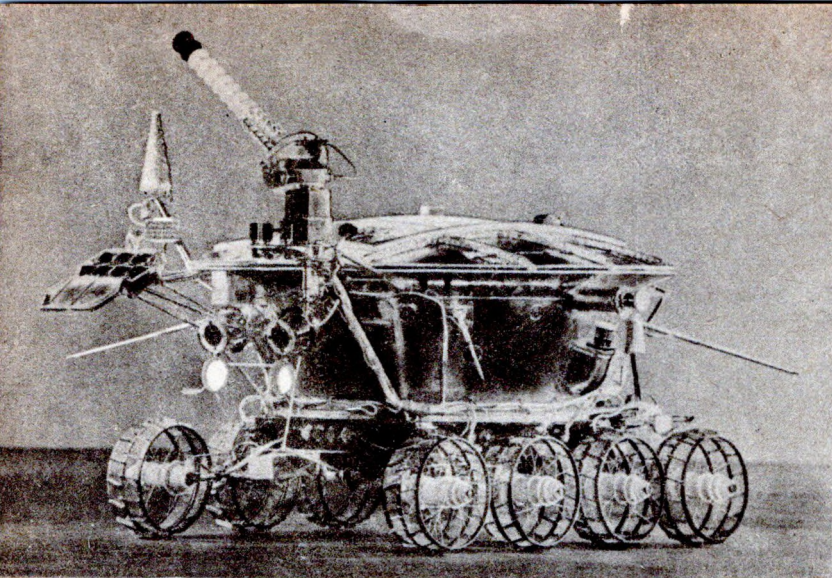


62. Цырк Альфонса, у якім назіралася вылучэнне вулканічных газаў (здымак зроблены аўтаматычнай станцыяй паблізу Месяца).

→
63. «Цэнтральная горка», хутчэй, горны ланцуг у цэнтры кратэра Капернік і тэрасы яго вала, якія абрываюцца ўнутр (кратэр зняты са штучнага спадарожніка Месяца. З Зямлі ён мае выгляд падобны да цырка Альфонса).

з Зямлі паўшар'е. Прынцыпова яно не адрозніваецца ад бачнага, але на ім менш «марскіх» упадзін (рыс. 61). Цяпер складзены падрабязныя карты гэтага паўшар'я на аснове шматлікіх фатаграфій Месяца, выкананых з блізкай адлегласці аўтаматычнымі станцыямі, што пасылаліся да Месяца, абляталі яго як яго штучныя спадарожнікі і апускаліся на яго паверхню. Пачынаючы з 1969 г. касманаўты ЗША некалькі разоў высаджваліся на кароткі тэрмін на Месяцы, а затым паспяхова вярталіся на Зямлю. Яны хадзілі і нават ездзілі па паверхні Месяца, устаўлялі і пакідалі на ёй розныя апараты, у прыватнасці сейсмографы для рэгістрацыі «трасенняў» Месяца, і прывезлі многа ўзораў грунту Месяца. Узоры аказаліся вельмі падобнымі на зямныя горныя пароды, але ў іх выявілі і рад асаблівасцей, уласцівых толькі мінералам Месяца. Савецкія вучоныя атрымалі пробы парод Месяца з розных месц пры дапамозе аўтаматаў, якія па камандзе з Зямлі бралі пробу грунту і вярталіся з ёй на Зямлю. Больш таго, на Месяц пасылаліся савецкія лунаходы (аўтаматычныя самаходныя лабараторыі, рыс. 64), якія выканалі шмат навуковых вымярэнняў і аналізаў грунту і прайшлі па Месяцы значныя адлегласці — па некалькі кіламетраў. Трэба помніць, што нават на мясцовасцях, якія здаюцца з Зямлі роўнымі, грунт пакрыты варонкамі і засыпаны каменнямі разнастайнай велічыні. Лунаход «крок за крокам», кіруемы з Зямлі па радыё, рухаўся з улікам характару мясцовасці, выгляд якой перадаваўся на Зямлю па тэлебачанню. Гэта найвялікшае дасяг-





64. Лунаход.

ненне савецкай навукі і чалавечтва важна не толькі як доказ неабмежаваных магчымасцей чалавечага розуму і тэхнікі, але і як прамое даследаванне фізічных умоў на іншым нябесным целе. Яно важна і тым, што пацвярджае большасць вывадаў, якія астраномы рабілі толькі з аналізу святла Месяца, што прыходзіць да нас з адлегласці 380 000 км.

Вывучэнне рэльефу Месяца і яго паходжання цікава і для геалогіі — Месяц нібы музей старажытнай гісторыі яго кары, паколькі вада і вецер яе ўжо не разбураюць. Але Месяц — гэта не зусім мёртвае прастора. У 1958 г. савецкі астраном Н. А. Козыраў заўважыў у кратэры Альфонс вылучэнне газаў з нетраў Месяца.

У фарміраванні кальцавых гор Месяца, відаць, прымалі ўдзел і ўнутраныя і знешнія сілы. Роля тэктанічных і вулканічных з'яў бяспрэчная, паколькі на Месяцы ёсць лініі скіду, ланцужкі кратэраў, велізарная сталовая гара са схіламі такімі ж, як і ў кратэраў. Ёсць падабенства кратэраў Месяца з лававымі азёрамі Гавайскіх астравоў. Менш буйныя кратэры ўтварыліся ад удараў вялікіх метэарытаў. На Зямлі ёсць таксама рад кратэраў, утвораных пры падзенні метэарытаў. Што датычыцца да «мораў» Месяца, то яны, відаць, утвораны праплаўленнямі кары Месяца і выліваннямі лавы вулканаў. Безумоўна, на Месяцы, як і на Зямлі, асноўныя этапы ўтварэння гор адбываліся ў далёкім мінулым.

Шматлікія кратэры, выяўленыя на Марсе і Меркуры, павінны мець такое ж паходжанне, як і кратэры Месяца. Інтэнсіўнае кратэраўтварэнне, відаць, звязана з малой сілай цяжару на паверхні планет і з разрэджанасцю іх атмасферы, якая мала змякчае бамбардзіроўку метэарытамі.

Савецкія касмічныя станцыі выявілі адсутнасць у Месяца магнітнага поля і паясоў радыяцыі і прысутнасць на ім радыеактыўных элементаў.

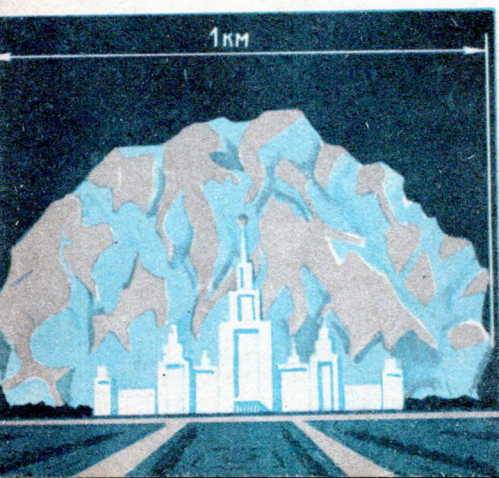
- 19.1. Якая працягласць сонечных зацьменняў на Месяцы ў параўнанні з працягласцю іх на Зямлі?
2. Праз якія прамежкі часу зоркі кульмінаруюць на Месяцы?
3. Ці відаць з Месяца тыя ж сузор'і (ці відаць яны гэтак жа), што і з Зямлі?
4. На краі Месяца відаць гара ў выглядзе зубца вышынёй у 1". Разлічыце яе вышыню ў кіламетрах.
5. Скарыстоўваючы формулы (§ 12.2), вызначце дыяметр цырка Месяца Альфонс (у км), вымераўшы яго на рысунку 60 і ведаючы, што вуглавы дыяметр Месяца, бачны з Зямлі, складае каля 30', а адлегласць да яго каля 380 000 км.
6. Па рысунку 61 вызначце (у км) адлегласць ад Мора Мары да заходняга краю Мора Крызісаў. Не спяшайцеся з адказам!

20. АСТЭРОІДЫ І МЕТЭАРЫТЫ

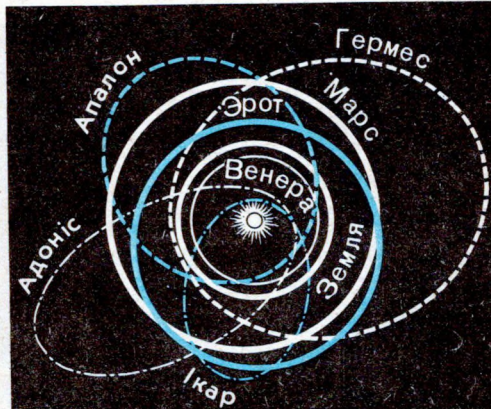
1. Астэроіды. Малыя планеты, або астэроіды, абарачаюцца паміж арбітамі Марса і Юпітэра і няўзброеным вокам не бачны. Першая малая планета была адкрыта ў 1801 г. і па традыцыі яе назвалі адным з імёнаў грэка-рымскай міфалогіі — Цэрэрай. Неўзабаве былі знойдзены і іншыя малыя планеты, названыя Палада, Веста і Юнона. З прымяненнем фатаграфіі сталі адкрываць усё больш слабыя астэроіды. У цяперашні час лік вядомых астэроідаў набліжаецца да 2000. Можа, яны ўзніклі тут таму, што па якойсьці прычыне рэчыву не ўдалося сабрацца ў адно вялікае цела — планету; магчыма таксама, што планета, якая была тут, чамусьці распалася і астэроіды — яе асколкі. На гэту думку наводзіць і тое, што рад астэроідаў мае не шарападобную, а няправільную форму. Сумарная маса астэроідаў ацэньваецца ўсяго толькі ў 0,1 масы Зямлі.

Самы яркі астэроід — Веста не бывае ярчэй за 6-ую зорную велічыню. Самы вялікі астэроід — Цэрэра. Яго дыяметр 780 км, і за арбітай Марса нават у самыя моцныя тэлескопы на такім малым дыску нічога разгледзець нельга. Самыя малыя з вядомых астэроідаў маюць дыяметры толькі каля кіламетра (рыс. 65). Безумоўна, у астэроідаў няма атмасфер. На нябеснай сферы малыя

65. Размер аднаго з найменшых вядомых астэроідаў у параўнанні з будынкам МДУ.



66. Арбіты некаторых астэроідаў з вялікім эксцэнтрысітэтам арбіт.





67. Палёт баліда.

планеты выглядаюць як зоркі, з прычыны чаго іх і назвалі астэроідамі, што па-старажытнагрэчаску азначае «зоркападобныя». Яны адрозніваюцца ад зорак толькі характэрным для планет петлепадобным перамяшчэннем на фоне зорнага неба. Арбіты некаторых астэроідаў маюць незвычайна вялікія эксцэнтрысітэты, у выніку чаго ў перыгеліі яны падыходзяць да Сонца бліжэй, чым Марс і нават чым Зямля (рыс. 66). Ікар падыходзіць да Сонца бліжэй, чым Меркурый. У 1968 г. Ікар падыходзіў да Зямлі амаль у 10 разоў бліжэй, чым Марс, але яго нязначнае прыцяжэнне ніякага ўплыву на Зямлю падыходзяць да Зямлі Гермес, Эрот

не мела. Час ад часу блізка падыходзяць да Зямлі малыя планеты.

2. Баліды і метэарыты. Балідам называецца даволі рэдкая з'ява — вогненны шар, які ляціць па небе (рыс. 67). Баліды, з якіх яркія бачны і днём, часта маюць прыкметны вуглавый дыяметр у $\frac{1}{10}$ — $\frac{1}{2}$ бачнага дыяметра Месяца. Прымхлівыя людзі прымалі такія вогненныя шары за лятаючых драконаў з вогнедышнай пашчай.

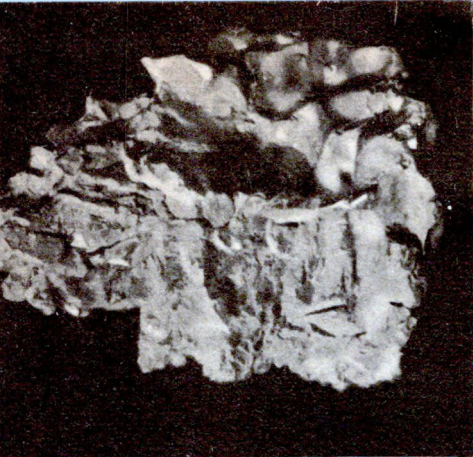
Балід — гэта буйны метэарыт, які пранік з міжпланетнай прасторы ў нізкія слаі атмасферы разам з навакольнай вялізнай абалонкай распаленых газаў і частчак, што зрываюцца з метэарыта пры яго награванні ў выніку тармажэння ў атмасферы. Метэарыт, які мае невялікія размеры, часам цалкам выпараецца ў атмасферы Зямлі. У большасці выпадкаў маса метэарыта за час палёту моцна памяншаецца. Да Зямлі далятаюць толькі рэшткі метэарыта, якія звычайна паспяваюць астыць, калі касмічная скорасць яго пагашана ўжо супраціўленнем паветра.

Ад моцнага супраціўлення паветра метэарыт нярэдка расколаецца і з грукатам выпадае на Зямлю ў выглядзе асколкаў. Часам выпадае цэлы метэарытны дождж. Пры палёце метэарыты аплаўляюцца і пакрываюцца чорнай скарынкай (рыс. 68). Адзін такі «чорны камень» у Мекке ўмураваны ў сцяну храма і служыць прадметам рэлігійнага пакланення.

Бываюць тры віды метэарытаў — каменныя, жалезныя і жалеза-каменныя. Часам метэарыты знаходзяць праз многа гадоў пасля іх падзення. Асабліва многа знаходзяць жалезных метэарытаў. У СССР метэарыт — уласнасць дзяржавы і падлягае здачы ў музей для вывучэння.

Па колькасці радыеактыўных элементаў і свінцу вызначаюць узрост метэарытаў. Ён розны, самыя старыя метэарыты не старэйшыя за зямную кару.

Некаторыя найбольш буйныя метэарыты пры вялікай скорасці



68. Жалезны метэарыт.



69. Арызонскі метэарытны кратэр.

падзення ўзрываюцца і ўтвараюць метэарытныя кратэры, якія нагадваюць кратэры Месяца. Часта метэарыт амаль поўнасьцю выпараецца. Гэта здарылася ў 1908 г. з Тунгускім метэарытам, які паветранай хваляй, што яго суправаджала, паваліў лес на велізарнай плошчы.

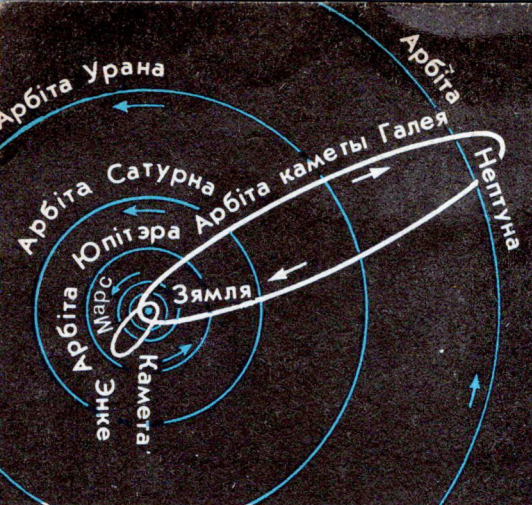
Самы вялікі кратэр з добра вывучаных знаходзіцца ў Арызоне (ЗША) (рыс. 69). Яго дыяметр 1200 м і глыбіня 200 м. Гэты кратэр узнік, відаць, каля 5000 гадоў таму назад. Знойдзены сляды яшчэ большых і больш старажытных метэарытных кратэраў. Усе метэарыты — гэта члены сонечнай сістэмы.

Мяркуючы па тым, што лік астэроідаў расце з памяншэннем іх размераў, і па тым, што адкрыта ўжо многа дробных астэроідаў, якія перасякаюць арбіту Марса, можна думаць, што метэарыты — гэта вельмі дробныя астэроіды з арбітамі, якія перасякаюць арбіту Зямлі. Структура метэарытаў сведчыць аб тым, што на іх дзейнічалі высокія тэмпературы і ціскі і, значыць, яны маглі існаваць у нетрах планеты, якая разбурылася.

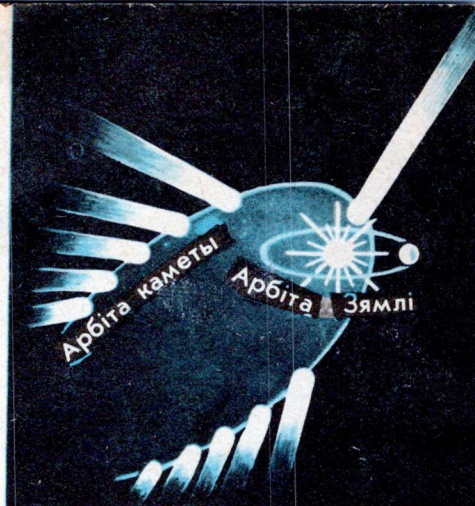
Метэарыты змяшчаюць толькі вядомыя на Зямлі хімічныя элементы, што зноў даказвае матэрыяльнае адзінства Сусвету. Гэта абвяргае рэлігійнае вучэнне аб адрозненні зямнога і нябеснага.

21. КАМЕТЫ І МЕТЭОРЫ

1. Адкрыццё і рух камет. Знаходзячыся ў прасторы ўдалечыні ад Сонца, каметы маюць выгляд вельмі слабых размытых светлых плям з ядром у цэнтры. Большасць камет застаюцца такімі ж і паблізу Сонца. Вельмі яркімі і развіваючымі хвасты паблізу Сонца становяцца толькі некаторыя каметы. Выгляд каметы з Зямлі залежыць ад умоў яе бачнасці — адлегласці да яе, вуглавой адлегласці ад Сонца, святла Месяца і да т. п. Вялікія каметы — свяцілы туманнага выгляду з доўгім бледным хвостом —



70. Арбіта каметы Галей.



71. Хвост каметы расце з набліжэннем яе да Сонца і заўсёды накіраваны ад Сонца.

лічыліся вестунамі розных няшчасцяў, войнаў і да т. п. Яшчэ ў 1910 г. у царскай Расіі служылі малебны, каб адвесці «божы гнеў у вобразе каметы».

Упершыню І. Ньютан вылічыў арбіту каметы з назіранняў яе перамяшчэння на фоне зорак і пераканаўся, што яна, падобна да планет, рухалася ў сонечнай сістэме пад дзеяннем цягачэння Сонца. Пазней англійскі вучоны Галей вылічыў арбіты ўжо многіх камет, якія назіраліся, і ўстанавіў, што каметы, якія назіраліся ў 1531, 1607 і 1682 гг.,— гэта адно і тое ж святціла, якое перыядычна вяртаецца да Сонца. У афеліі камета заходзіць за арбіту Нептуна (рыс. 70) і праз 75,5 года вяртаецца зноў да Зямлі і Сонца. Галей упершыню прадказаў з'яўленне каметы ў 1758 г. Праз многа гадоў пасля яго смерці яна сапраўды з'явілася. Ёй далі назву каметы Галей і бачылі яе яшчэ ў 1835 і 1910 гг. У наступны раз яна наблізіцца да Сонца ў 1985—1986 гг.

Камета Галей належыць да ліку перыядычных камет. Цяпер вядома многа перыядычных камет з перыядамі абарачэння ад трох (камета Энке) да дзесяці гадоў. Іх афеліі ляжаць каля арбіты Юпітэра. Набліжэнне камет да Зямлі і іх будучы бачны шлях на небе вылічваюць загадзя з вялікай дакладнасцю. Разам з гэтым ёсць каметы, якія рухаюцца па вельмі выцягнутых арбітах з вялікімі перыядамі абарачэння. Мы прымаем іх арбіты за парабалы, хоць у сапраўднасці яны, мабыць, з'яўляюцца вельмі выцягнутымі эліпсамі, але адрозніць гэтыя крывыя, ведаючы толькі малы адрэзак шляху камет паблізу Зямлі і Сонца, нялёгка. Большасць такіх камет, якія з'яўляюцца нечакана, як і большасць перыядычных, не мае хваста і бачна толькі ў тэлескоп.

Вось прыклад частаты адкрыцця камет. У 1967 г. было адкрыта 14 камет, з іх 4 былі новыя, а 10 такіх, якіх ужо чакалі (перыядычныя). У каталогі занесена каля тысячы камет, якія

назіраліся. Пры адкрыцці камета атрымлівае назву па прозвішчу вучонага, які яе выявіў.

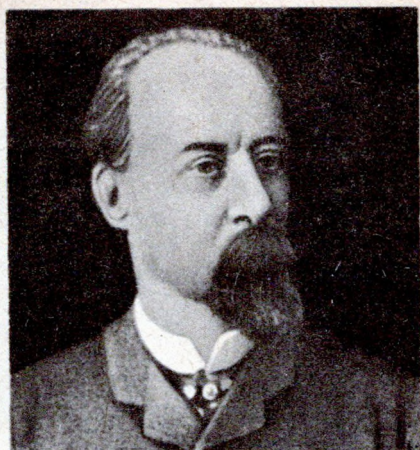
Перыядычныя каметы маюць арбіты, мала нахіленыя да плоскасці экліптыкі і з невялікімі эксцэнтрысітэтамі. Напрыклад, камета Шварсмана — Вахмана рухаецца нават па амаль кругавой арбіце, якая мала адрозніваецца ад арбіт астэроідаў. З другога боку, у такіх астэроідаў, як Ікар і Гермес, арбіты хутчэй каметнага, чым планетнага, тыпу (выцягнутыя). У каметы Шварсмана — Вахмана і ў некаторых іншых камет туманная абалонка (кома) часова знікала, і яны рабіліся неадрознымі ад астэроідаў. Значыць, паміж дробнымі астэроідамі і каметами існуе нейкая роднасць.

2. Фізічная прырода камет. Маленькае ядро дыяметрам некалькі кіламетраў з'яўляецца адзінай цвёрдай часткай каметы, і ў ім практычна сканцэнтравана ўся яе маса. Маса камет вельмі малая і зусім не ўплывае на рух планет. Планеты ж ствараюць вялікія парушэнні ў руху камет.

Ядро каметы, напэўна, складаецца з сумесі пылінак, цвёрдых кавалачкаў рэчыва і замёрзлых газаў, такіх, як вуглякіслы газ, аміяк, метан. Пры набліжэнні каметы да Сонца ядро праграваецца і з яго вылучаюцца газы і пыл. Яны ўтвараюць вакол ядра газавую абалонку, якая разам з ядром складае галаву каметы. Газы і пыл, якія выкідваюцца з ядра ў галаву каметы, адштурхваюцца дзеяннем ціску сонечнага святла і карпускулярных патокаў прэч ад Сонца і ўтвараюць хвост каметы¹, заўсёды накіраваны ў бок, процілеглы Сонцу (рыс. 71). Часцей за ўсё ён прамы, тонкі, струменісты. У вялікіх і яркіх камет часам назіраецца шырокі, выгнуты веерам хвост (рыс. 72).

Чым бліжэй да Сонца падыходзіць камета, тым яна ярчэй і тым даўжэйшы яе хвост (рыс. 71), з прычыны большага яе абпраменьвання і інтэнсіўнага вылучэння газаў. Хвост каметы часам дасягае ў даўжыню адлегласці ад Зямлі да Сонца, а галава каметы — размераў Сонца. З аддаленнем ад Сонца выгляд і яркасць каметы мяняюцца ў адваротным парадку і камета знікае з поля зроку, дасягнуўшы арбіты Юпітэра.

Спектр галавы і хваста каметы мае звычайна яркія палосы. Аналіз спектра паказвае, што *галава каметы складаецца ў ас-*



Ф. А. Брадзіхін (1831—1904).

¹ Ціск святла на дробныя частачкі рэчыва і газы быў даказаны на вопытах выдатным рускім фізікам П. М. Лебедзевым.

ноўным з пары вугляроду і цыяну, а ў саставе яе хваста ёсць іанізаваныя малекулы вокісу вугляроду (чаднага газу). Спектр ядра каметы з'яўляецца копіяй сонечнага спектра, гэта значыць ядро свеціцца адбітым сонечным святлом. Кома, галава і хвост свеціцца таксама халодным святлом, паглынаючы і затым пера-выпраменьваючы сонечную энергію (гэта род флуарэсцэнцыі). На адлегласці Зямлі ад Сонца камета не гарачэйшая, чым Зямля.

Выдатны рускі вучоны Ф. А. Брадзіхін распрацаваў спосаб вызначэння па крывізне хваста велічыні адштурхваючай сілы Сонца. Ён устанавіў класіфікацыю каметных хвастоў і растлумачыў рад назіраемых у іх з'яў законамі механікі і фізікі. У апошнія гады стала зразумела, што рух газаў у прамых хвостах і зломы ў іх выкліканы ўзаемадзеяннем іанізаваных малекул газаў такога хваста з налятаючым на іх патокам карпускул у сонечным ветры. Гэтыя патокі нясуць з сабой магнітнае поле. Іоны не могуць рухацца ўпоперак яго сілавых ліній, і магнітнае поле адкідвае іоны газу ў хвост каметы. У такіх выпадках адштурхваючая сіла сонечнага ветру пераўзыходзіць прыцяжэнне да Сонца ў тысячы разоў. Гэта адзін з яркіх прыкладаў барацьбы процілегласцей у прыродзе. Успышкі гарачых газаў на Сонцы суправаджаюцца ўзмацненнем кароткахвалевай радыяцыі і сонечнага ветру. Гэта выклікае раптоўныя ўспышкі яркасці камет.

72. Фатаграфія каметы Маркоса 1957 г. з выгнутым хвостом II тыпу і прамым хвостом I тыпу.

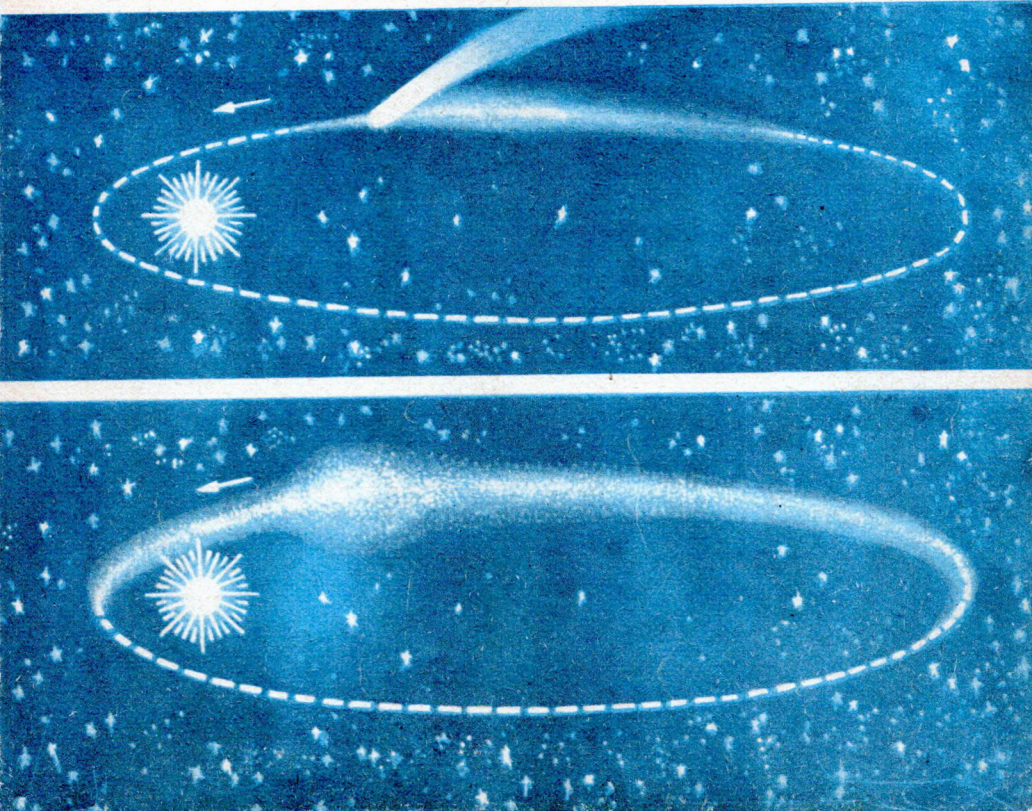


І цяпер іншы раз сярод насельніцтва выказваюцца апаскі, што Зямля сутыкнецца з каметай.

У 1910 г. Зямля прайшла праз хвост каметы Галяя. Хаця ў хвасце каметы ёсць чадны газ, ён так разрэджаны, што ніякімі аналізамі не ўдалося выявіць яго прымесь у прыямным паветры. Газы нават у галаве каметы вельмі разрэджаныя. Сутыкненне Зямлі з ядром каметы крайне малаверагодная з'ява. Калі яно і здарыцца, то Зямлі гэта нічым не пагражае. На самай справе, награвваючыся ў паветры, ільды ядра выпарацца, а вызваленыя пры выпарэнні цвёрдыя частачкі выклічуць з'яву дажджу «падаючых зорак», інакш, метэораў. Аб гэтым гаворка пойдзе ў наступным раздзеле.

3. Паходжанне камет і іх распад на метэорныя патокі. Каметы ўваходзяць у склад сонечнай сістэмы. Значыць, яны нарадзіліся разам з ёй ці ў ёй, хоць пакуль яшчэ невядома, як іменна. Па гіпотэзе галандскага вучонага Оорта, каметы ўтвараюць велізарнае воблака, якое распасціраецца далёка за межы арбіты Нептуна. Парушэнні, ствараемыя найбліжэйшымі свяціламі, «уштурхваюць» некаторыя з камет унутр сонечнай сістэмы. Гэтым тлумачыцца, чаму ў камет, што рухаюцца па амаль парабалічных арбітах, сустракаюцца вялікія схіленні да плоскасці экліптыкі і нават адваротныя напрамкі абарачэння вакол Сонца. Прыцяжэнне

73. Пэратварэнне каметы, якая распадаецца, у метэорны паток.



Юпітэра можа ператварыць некаторыя каметы ў кароткаперыядчыныя. Загадка паходжання камет, аднак, яшчэ не можа лічыцца вырашанай.

Даўно заўважана, што ядры перыядычных камет вычэрпваюцца, з кожным абаротам яны свецяцца ўсё слабей. Не раз назіралася дзяленне каметных ядзер на дзве і больш частак. Гэта разбурэнне рабілі або сонечныя прылівы, або сутыкненні з метэарытным патокам. Камета, адкрытая чэшскім вучоным Білым (Біэлай) яшчэ ў 1772 г., назіралася пры паўторных вяртаннях з сямігадовым перыядам. У 1846 г. яе ядро распалася, і яна ператварылася ў дзве слабыя каметы, якія пасля 1852 г. не назіраліся. Калі ў 1872 г., па разліках, знікшыя каметы павінны былі прайсці паблізу Зямлі, назіраўся дождж «падаючых зорак». З таго часу 27 лістапада гэта з'ява паўтараецца штогод, хоць і менш эфектна. Дробныя цвёрдыя частачкі ядра, якое распалася, былой каметы Білага расцягнуліся ўздоўж яе арбіты (рыс. 73), і, калі Зямля перасякае іх патак, яны ўлятаюць у яе атмасферу і выпараюцца. Вядомы рад іншых метэорных патокаў.

Метэорныя целы — рэшткі камет, бачныя толькі ў момант выпарэння, называюцца метэорамі. Шырыня метэорных патокаў непамерна большая, чым размер ядзер, якія іх нарадзілі.

74. Дождж метэораў з радыянта.



75. Перспектыўнае сыходжанне паралельных ліній.



Фатаграфуючы шлях аднаго і таго ж метэора на зорным небе, як ён праецыруецца для назіральнікаў, што знаходзяцца адзін ад другога на адлегласці 20—30 км, вызначаюць вышыню, на якой з'явіўся метэор. Часцей за ўсё метэорныя целы пачынаюць сваяцтва на вышыні 100—120 км і поўнасьцю выпараюцца ўжо на вышыні 80 км. У іх спектрах бачны яркія лініі жалеза, кальцыю, крэмнію і інш. Фатаграфуючы палёт метэора камерай, аб'ектыў якой перакрываецца верцічымся затворам, атрымліваюць перарывісты след, па якому можна ацаніць тармажэнне метэора паветрам. Адсюль вызначаюць шчыльнасць метэорных цел. Яна складае толькі каля $0,1 \text{ г/см}^3$. Мабыць, метэорныя целы — гэта порыстыя частачкі, поры якіх запоўнены каметным ільдом, што выпараецца першым. Па разліках маса метэорных цел — парадку міліграмаў, а размер — долі міліметраў.

Распаленыя газы, пакідаемыя метэорным целам, утвараюць след, што свеціцца, у якім знаходзіцца таксама іанізаванае паветра. Гэта дало магчымасць выкарыстаць для вивучэння метэораў радыёлакатар. Удаецца вызначыць і скорасць метэораў. Метэорныя целы, што даганяюць Зямлю, маюць скорасці, з якімі яны ўлятаюць у атмасферу, не большыя за 11 км/сек , а тыя, што ляцяць насустрач Зямлі, — скорасці да $60—70 \text{ км/сек}$.

Метэоры часам здаюцца вылятаючымі з якога-небудзь сузор'я, з месца на небе, што называецца радыянтам метэорнага патоку (рыс. 74). Гэта эфект перспектывы (рыс. 75). Шляхі метэораў, што ляцяць па паралельных напрамках, будучы прадоўжанымі, здаюцца сыходзячыміся, як рэйкі чыгункі. Радыянт знаходзіцца на небе ў тым напрамку, адкуль ляцяць гэтыя метэорныя целы. Усякі радыянт займае пэўнае становішча сярод сузор'яў і ўдзельнічае ў сутачным вярчэнні неба. Астраномія; называючы дні, калі метэорныя патокі сустракаюцца з Зямлёй, памяншае небяспеку сустрэчы касманаўтаў з імі і дазваляе ўлічваць іх пры ўстаўленні дат касмічных палётаў. Метэоры, якія вылятаюць 10—12 жніўня з сузор'я Персея, называюцца Персеідамі. Назіранне метэорных патокаў — важная навуковая задача, пасільная для школьнікаў. Яно садзейнічае вивучэнню нашай атмасферы і будовы каметных рэшткаў.

-
20. Пасля заходу Сонца на захадзе знаходзіцца камета. Як адносна гарызонта накіраваны яе хвост?
 2. Чаму роўна вялікая вось арбіты каметы Галей, калі перыяд яе абарачэння 76 гадоў?
 3. Як даказаць недасведчаным людзям, што зоркі з неба не падаюць?
 4. Дапусціўшы, што рысунак 73 ёсць дзесяціразовае павелічэнне фатаграфіі, атрыманай фотаапаратам з фокуснай адлегласцю 10 см, ацаніце даўжыню прамога праменя ў хвасце каметы ў градусах.
-

22. СОНЦА — НАЙБЛІЖЭЙШАЯ ЗОРКА

1. Энергія Сонца і яго будова. Сонца — цэнтральнае і самае масіўнае цела сонечнай сістэмы. Яго маса ў 333 000 разоў большая за масу Зямлі і ў 750 разоў перавышае масу ўсіх іншых планет, разам узятых. Сонца — магутная крыніца энергіі, якая пастаянна спрамяняецца ім ва ўсіх участках спектра электрамагнітных хваль — ад рэнтгенаўскіх і ультрафіялетавых прамянёў да радыёхваль. Гэта спрамяненне моцна ўздзейнічае на ўсе цэлы сонечнай сістэмы: награве іх, робіць уплыў на атмасферы планет, дае святло і цяпло, неабходныя для жыцця на Зямлі.

Разам з тым Сонца — найбліжэйшая да нас зорка, у якой у адрозненне ад усіх іншых зорак мы можам назіраць дыск і пры дапамозе тэлескопа вывучаць на ім дробныя дэталі, размерам нават да некалькіх соцень кіламетраў. Сонца — тыповая зорка, а таму яго вывучэнне дапамагае зразумець прыроду зорак наогул. Бачны вуглавы дыяметр Сонца нязначна мяняецца з-за эліптычнасці арбіты Зямлі. У сярэднім ён складае каля $32'$ або $1/107$ радыяна. Гэта азначае, што дыяметр Сонца роўны $1/107$ а. адз., або прыблізна 1 400 000 км, што ў 109 разоў перавышае дыяметр Зямлі.

На пляцоўку ў 1 м^2 , пастаўленую перпендыкулярна да сонечных прамянёў за межамі зямной атмасферы (напрыклад, на ШСЗ), прыпадае 1,36 кВт прамяністай энергіі Сонца, што адпавядае $2 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мін})$. Памножыўшы гэты лік на плошчу паверхні шара радыусам, роўным адлегласці ад Зямлі да Сонца, атрымаем магутнасць поўнага спрамянення Сонца (яго святцімасць), якая складае каля $4 \cdot 10^{23} \text{ кВт}$. Так спрамяняе цэла сонечных размераў, нагрэтае да тэмпературы каля 6000° К (эфектыўная тэмпература Сонца). Паток энергіі, якая атрымліваецца Зямлёй ад Сонца, роўны прыкладна $1/2\,000\,000\,000$ ад яго поўнай энергіі.

- 22.1.** Якая энергія паступае за 1 мін ад Сонца ў возера плошчай у 1 км^2 у яснае надвор'е, калі вышыня Сонца над гарызонтам 30° , а прапусканне атмасферы 80%?
- 2.** З якой магутнасцю ў сярэднім спрамяняе 1 кг сонечнага рэчыва?

Як і ўсе зоркі, Сонца — распалены газавы шар. У асноўным яно складаецца з вадароду з прымессю 10% (па ліку атамаў) гелію. Колькасць атамаў усіх астатніх элементаў, разам узятых, прыкладна ў 1000 разоў меншая. Аднак па масе на гэтыя больш цяжкія элементы прыпадае $1-2\%$ масы Сонца.

На Сонцы рэчыва моцна іанізаванае, г. зн. атамы пазбаўлены знешніх сваіх электронаў, якія становяцца свабоднымі частачкамі іанізаванага газу — плазмы.

Для вызначэння сярэдняй шчыльнасці сонечнага рэчыва трэба масу Сонца падзяліць на яго аб'ём:

$$\bar{\rho} = \frac{3M_{\odot}}{4\pi R_{\odot}^3}, \quad \bar{\rho} \approx 1,4 \text{ г/см}^3,$$

гэта значэнне сувымерна са шчыльнасцю вады і ў тысячу разоў большае за шчыльнасць паветра ля паверхні Зямлі. Аднак у вонкавых слаях Сонца шчыльнасць у мільёны разоў меншая, а ў цэнтры — у 100 разоў большая, чым $\bar{\rho}$.

Пад дзеяннем сіл гравітацыйнага прыцяжэння, накіраваных да цэнтры Сонца, у яго нетрах ствараецца велізарны ціск.

Калі б рэчыва ўнутры Сонца было размешчана раўнамерна і шчыльнасць усюды была роўна сярэдняй, то разлічыць унутраны ціск было б лягчэй. Зробім прыблізна такі разлік для глыбіні, роўнай палавіне радыуса.

Сіла цяжару на гэтай глыбіні будзе вызначацца толькі прыцяжэннем мас, якія знаходзяцца ўнутры сферы радыусам $\frac{1}{2} R_{\odot}$. Аб'ём гэтай сферы складае $\frac{1}{8}$ ад аб'ёму ўсяго Сонца, і пры пастаянстве шчыльнасці ў ім знаходзіцца $\frac{1}{8} M_{\odot}$. Значыць, згодна з законам сусветнага цягацця Ньютана, гравітацыйнае паскарэнне на адлегласці $\frac{1}{2} R_{\odot}$ ад цэнтры «аднароднага» Сонца складзе:

$$g = \gamma \frac{\frac{1}{8} M_{\odot}}{(\frac{1}{2} R_{\odot})^2}.$$

Сіла ціску на дадзенай глыбіні складаецца з сілы цяжару ўсіх слаёў, якія ляжаць вышэй. Сам жа ціск будзе (лікава) роўны сіле цяжару радыяльнага слупка рэчыва вышынёй $\frac{1}{2} R_{\odot}$, размешчанага над 1 см^2 у разглядаемым пункце. У гэтым слупку знаходзіцца маса

$$m = \rho \frac{R_{\odot}}{2}.$$

Таму ціск

$$p = \frac{mg}{S} = \gamma \frac{\frac{1}{8} M_{\odot}}{(\frac{1}{2} R_{\odot})^2} \cdot \rho \frac{R_{\odot}}{2} \cdot \frac{1}{S},$$

паколькі $S = 1$, то

$$p \approx 6,6 \cdot 10^{13} \text{ н/м}^2 \approx 6,7 \cdot 10^8 \text{ атм.}$$

Знойдзенае значэнне ціску аказалася каласальным: амаль мільярд атмасфер!

З газавых законаў вядома, што ціск прапарцыянальны тэмпературы і шчыльнасці. Гэта дае магчымасць вызначыць тэмпературу ў нетрах Сонца. Для сярэдняй шчыльнасці сонечнага рэчыва ціск у мільярд атмасфер атрымаецца пры тэмпературы парадку $5\,000\,000^\circ\text{K}$.

Дакладныя разлікі паказваюць, што ў цэнтры Сонца шчыльнасць газу складае каля 150 г/см^3 (у 13 разоў большая, чым у свінцу!), ціск — 2000 млрд. атм, а тэмпература — каля $15\,000\,000^\circ\text{K}$.

Пры такой тэмпературы ядры атамаў вадароду (пратоны) маюць вельмі высокія скорасці (сотні кіламетраў у секунду) і могуць сутыкацца адно з адным, нягледзячы на дзеянне электростатычнай сілы адштурхвання паміж імі. Некаторыя з такіх сутыкненняў завяршаюцца ядзернымі рэакцыямі, пры якіх з вадароду ўтвараецца гелій і вылучаецца вялікая колькасць цяпла. Гэтыя рэакцыі з'яўляюцца крыніцай энергіі Сонца на сучасным этапе яго эвалюцыі. У выніку колькасць гелію ў цэнтральнай вобласці Сонца паступова павялічваецца, а вадароду — памяншаецца. У самым цэнтры Сонца за 4—5 млрд. гадоў, якія прайшлі з моманту яго ўтварэння, прыкладна палавіна вадароду ператварылася ўжо ў гелій.

Паток энергіі, якая ўзнікае ў нетрах Сонца, перадаецца ў знешнія слаі і размяркоўваецца на ўсё большую і большую плошчу. З прычыны гэтага тэмпература сонечных газаў памяншаецца па меры аддалення ад цэнтра. Спачатку гэта памяншэнне павольнае, а ў вонкавых сляях вельмі хуткае.

У залежнасці ад значэння тэмпературы і характару вызначаемых ёю працэсаў усё Сонца ўмоўна можна падзяліць на 4 вобласці (рыс. 76):

1) *унутраная, цэнтральная вобласць (ядро)*, дзе ціск і тэмпература забяспечваюць праходжанне ядзерных рэакцый, яна распаціраецца ад цэнтра да адлегласці прыкладна $\frac{1}{3} R_\odot$.

2) *«прамяністая» зона* (адлегласць ад $\frac{1}{3}$ да $\frac{2}{3} R_\odot$), у якой энергія перадаецца вонкі ад слоя да слоя ў выніку паслядоўнага паглынання і спрамянення квантаў электрамагнітнай энергіі;

3) *канвектыўная зона* — ад верхняй часткі «прамяністай» зоны амаль да самай бачнай мяжы Сонца. Тут тэмпература хутка памяншаецца па меры набліжэння да бачнай мяжы Сонца, у выніку чаго адбываецца перамешванне рэчыва (канвекцыя, падобная кіпенню вадкасці ў пасудзіне, якая падаграваецца знізу);

4) *атмасфера*, якая пачынаецца адразу за канвектыўнай зонай і распаціраецца далёка за межы бачнага дыска Сонца. Ніжнія слаі атмасферы ўключаюць тонкі слой газаў, які адпавядае ўяўнай паверхні, назіраемай у бачных праменнях. Верхнія слаі атмасферы непасрэдна не бачны і могуць назірацца або ў час поўных сонечных зацьменняў, або пры дапамозе спецыяльных прылад.

22 Якая сярэдняя малекулярная маса сумесі поўнасцю іанізаваных вадароду і 10% гелію (па ліку атамаў)?

2. Сонечная атмосфера і сонечная актыўнасць. Сонечную атмосферу таксама можна ўмоўна падзяліць на некалькі слаёў (рыс. 76).

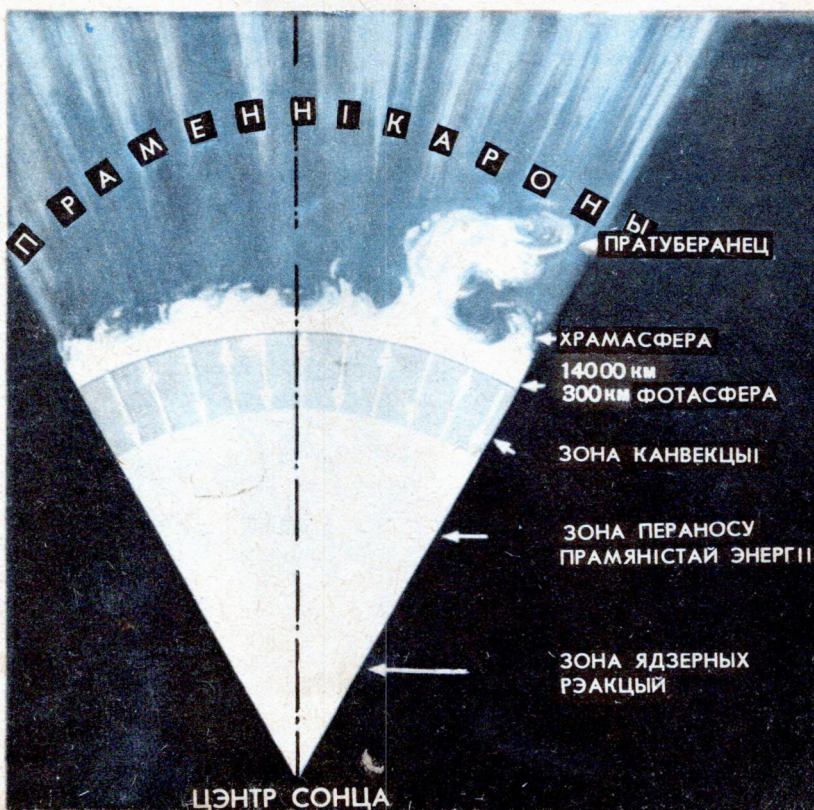
Самы глыбокі слой атмасферы, таўшчынёй 200—300 км, называецца фотасферай (сфера святла). З яго зыходзіць амаль уся тая цеплавая і прамяністая энергія Сонца, якая назіраецца ў бачнай частцы спектра і па магутнасці пераважае над спрамяненнем ва ўсіх іншых яго дыяпазонах.

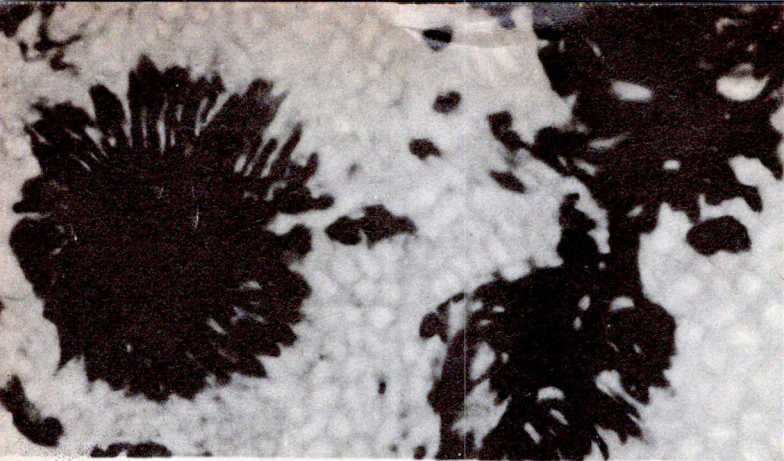
У фотасферы, як і ў больш глыбокіх слаях Сонца, тэмпература памяншаецца па меры аддалення ад цэнтра, змяняючыся прыкладна ад 8000 да 4000° К: моцнае ахаладжэнне вонкавых слаёў фотасферы адбываецца з-за выхаду з іх спрамянення ў міжпланетную прастору.

На фатаграфіях фотасферы (рыс. 77) добра прыкметна тонкая яе структура ў выглядзе яркіх «зярнят» — гранул размерамі ў сярэднім каля 1000 км, падзеленых вузкімі цёмнымі прамежкамі. Гэта структура называецца грануляцыяй. Яна з'яўляецца вынікам перамяшчэння газаў, якое адбываецца ў размешчанай пад фотасферай канвектыўнай зоне.

Памяншэнне тэмпературы ў вонкавых слаях фотасферы прыводзіць да таго, што ў бачным спектры Сонца, амаль цалкам узнікаючым у фотасферы, назіраюцца цёмныя лініі паглынання. Яны называюцца фраунгоферавымі, у гонар нямецкага оптыка

76. Схема будовы Сонца.





77. Фотасфера з грануляцыяй і плямамі.

Фраунгофера, упершыню ў 1814 г. зарысаваўшага некалькі соценя такіх ліній. З гэтай жа прычыны (падзенне тэмпературы ад цэнтра Сонца) сонечны дыск да краю здаецца больш цёмным.

У самых верхніх слаях фотасферы тэмпература дасягае значэння, блізкага да 4000°K . Пры такой тэмпературы і шчыльнасці 10^{-6} — 10^{-7} г/см³ вадарод аказваецца практычна нейтральным. Іанізавана толькі каля 0,01% атамаў, якія належаць галоўным чынам металам. Аднак вышэй у атмасферы тэмпература, а разам з ёю і іанізацыя зноў пачынаюць расці, спачатку павольна, а затым вельмі хутка. Вобласць сонечнай атмасферы, у якой тэмпература расце ўверх і адбываецца паслядоўная іанізацыя вадароду, гелію і іншых элементаў, называецца храмасферай. Яе тэмпература складае дзесяткі і сотні тысяч градусаў. Яна ў выглядзе бліскачага ружовага шлячка бачна вакол цёмнага дыска Месяца ў рэдкія моманты поўных сонечных зацьменняў. Вышэй храмасферы тэмпература сонечных газаў дасягае 1 — $2 \cdot 10^6$ °K і далей на працягу многіх радыусаў Сонца амаль не змяняецца. Гэта разрэджаная і гарачая абалонка называецца сонечнай каронай (рыс. 78). У выглядзе прамяністага жамчужнага ззяння яе можна ўбачыць пры поўнай фазе зацьмення Сонца, тады яна ўяўляе сабой надзвычайна прыгожае відовішча. «Выпараючыся» ў міжпланетную прастору, газ кароны ўтварае пастаянна цякучы ад Сонца паток гарачай разрэджанай плазмы, які называецца сонечным ветрам.

Прычынай нагрэву верхніх слаёў сонечнай атмасферы з'яўляюцца хвалевыя рухі рэчыва, што ўзнікаюць у канвектыўнай зоне. Гэтыя хвалі праходзяць праз фотасферу і пераносяць у храмасферу і карону невялікую частку той механічнай энергіі, якой валодаюць газы ў канвектыўнай зоне.

Лепш за ўсё храмасферу і карону назіраць са спадарожнікаў арбітальных касмічных станцый у ультрафіялетавых і рэнтгенаўскіх праменнях.

Часамі ў асобных абласцях фотасферы цёмныя прамежкі паміж грануламі павялічваюцца, утвараючы невялікія круглявыя поры, некаторыя з іх развіваюцца ў вялікія цёмныя плямы, акружаныя паўценем, які складаецца з прадаўгаватых, радыяльна выцягнутых фотасферных гранул.

Упершыню сонечныя плямы назіраў у тэлескоп Галілей і заўважыў, што яны перамяшчаюцца па бачнаму дыску Сонца. На гэтай аснове ён даказаў, што Сонца верціцца вакол сваёй восі. Вуглавая скорасць вярчэння Сонца памяншаецца ад экватара да полюсаў, пункты на экватары робяць поўны абарот за 25 сут, а паблізу полюсаў зоркавы перыяд вярчэння Сонца павялічваецца да 30 сут. За 25 сут Зямля праходзіць дугу сваёй арбіты каля 25° у тым жа напрамку, у якім адбываецца вярчэнне Сонца. Таму адносна зямнога назіральніка перыяд вярчэння Сонца амаль на двое сутак большы і пляма, якая знаходзіцца ў цэнтры сонечнага дыска, зноў пройдзе праз цэнтральны мерыдыян Сонца праз 27 сут.

Плямы — непастаянныя ўтварэнні. Лік і форма плям на Сонцы бесперапынна змяняюцца (рыс. 79). Звычайна сонечныя плямы з'яўляюцца групамі.

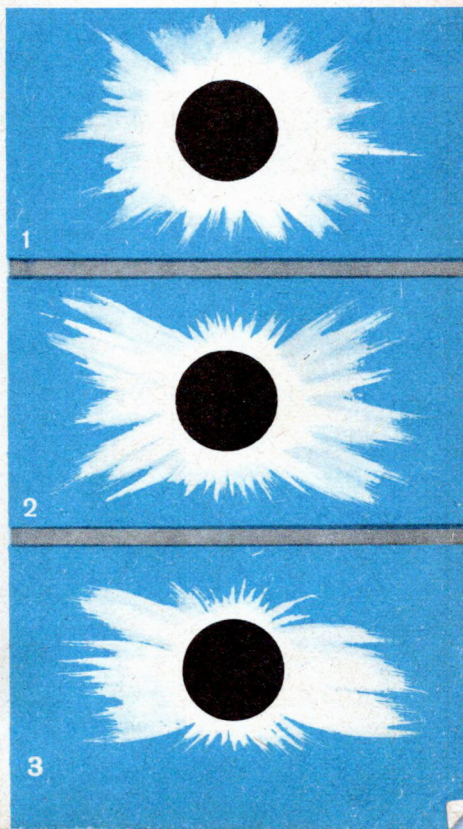
Каля краю сонечнага дыска вакол плям бачны светлыя ўтварэнні, амаль непрыйметныя, калі плямы блізкія да цэнтра сонечнага дыска. Гэтыя яркія ўтварэнні называюцца *факеламі*. Яны больш кантрастныя і бачны па ўсяму дыску, калі Сонца фатаграфавалі не ў белых праменнях, а ў спектральных лініях, асабліва вадароду, іанізаванага кальцыю і некаторых іншых элементаў. Такія фатаграфіі называюцца *спектрагеліяграмамі*. Па іх вывучаецца структура больш высокіх слаёў сонечнай атмасферы і часцей за ўсё — *храмасферы*.

Колькасць актыўных абласцей і груп плям на Сонцы перыядычна мяняецца з часам у сярэднім на працягу прыкладна 11 гадоў. Гэта з'ява называецца *цыклам сонечнай актыўнасці*. У пачатку цыкла плям амаль няма, затым іх колькасць павялічваецца спачатку ўдалечыні ад экватара, а затым усё бліжэй і бліжэй да яго.

Праз некалькі гадоў надыходзіць максімум колькасці плям, ці, як кажуць, максімум сонечнай актыўнасці, а пасля яго яе спад.

78. Сонечная карона:

1 — калі плям на Сонцы многа; 2 — у прамежковую эпоху; 3 — калі плям мала.



Галоўнай асаблівасцю плям, а таксама факелаў з'яўляецца прысутнасць магнітных палёў. У плямах напружанасць поля вялікая і дасягае часам 4000—5000 э, а ў факелах поле слабейшае.

Як правіла, у групе плям прысутнічаюць дзве асабліва буйныя плямы — адна на заходнім, а другая на ўсходнім баку групы, якія маюць процілеглую магнітную палярнасць, падобна двум полюсам падковападобнага магніта. На працягу дадзенага цыкла ў кожным з паўшар'яў (паўночным і паўднёвым) палярнасці ўсіх вядучых плям, як правіла, аднолькавыя, але ў розных паўшар'ях яны процілеглыя. Праз кожныя 11 гадоў усе палярнасці ў парах плям мяняюцца на процілеглыя.

Магнітныя палі адыгрываюць вельмі важную ролю ў сонечнай атмасферы, аказваючы моцны ўплыў на рух плазмы, яе шчыльнасць і тэмпературу. У прыватнасці, павелічэнне яркасці фотасферы ў факелах і значнае яе памяншэнне (да 10 разоў) у вобласці плям выклікана адпаведна ўзмацненнем канвектыўных рухаў у слабым магнітным полі і моцным іх задушэннем пры вялікай напружанасці магнітнага поля.

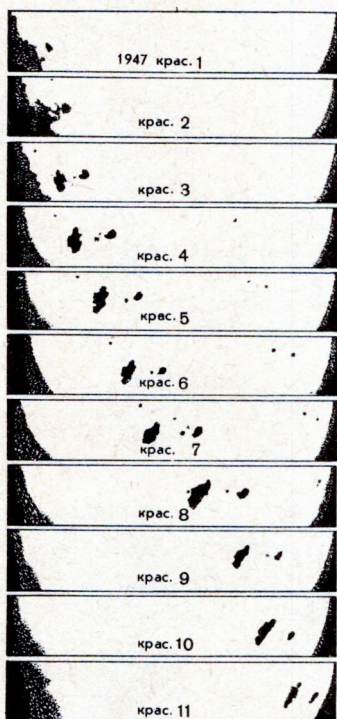
Чорнымі плямы здаюцца толькі па кантрасту з больш гарачай

і таму больш яркай фотасферай. Тэмпература плям складае каля 3700° К, таму ў спектры плямы ёсць палосы паглынання найпрасцейшых двухатамных малекул: CO, TiO, CN, CN і інш., якія ў больш гарачай фотасферы распадаюцца на атамны.

Храмасфера над факеламі ярчэйшая дзякуючы вялікай тэмпературы і шчыльнасці. У час значных змяненняў, якія адбываюцца ў групах плям, у невялікай вобласці часам узнікаюць храмасферныя ўспышкі: раптам, за якія-небудзь 10—15 мін яркасць храмасферы моцна павялічваецца, адбываюцца выкіды магутных згусткаў газу, паскараюцца патокі гарачай плазмы. У некаторых выпадках асобныя зараджаныя частачкі паскараюцца да вельмі высокіх значэнняў энергіі, якая набліжаецца да энергіі касмічных прамяняў. Магутнасць сонечнага радыёспрамянення пры гэтым звычайна павялічваецца ў мільёны разоў (усплескі радыёспрамянення).

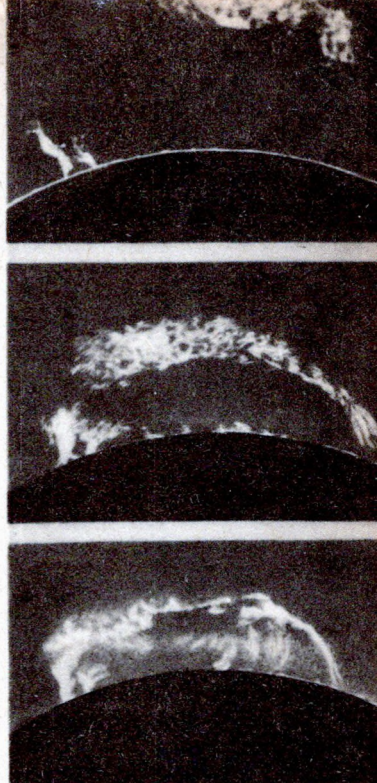
У кароне назіраюцца яшчэ больш грандыёзныя па размерах актыўныя ўтварэнні — пратуберанцы. Яны ўяўляюць сабой выключна разна-

79. Змяненні бачнага становішча плям на Сонцы пры яго вярчэнні.



стайныя па форме і характару свайго руху воблакі больш шчыльных газаў, у параўнанні з рэчывам кароны (рыс. 80). Форма пратуберанцаў і іх рух звязаны з магнітнымі палямі, якія пранікаюць з фотасферы ў карону.

Сонца робіць вялікі ўплыў на з'явы, якія адбываюцца на Зямлі. Кароткахвалевае яго спрамяненне вызначае найважнейшыя фізіка-хімічныя працэсы ў верхніх слаях зямной атмасферы. Бачныя і інфрачырвоныя праменні з'яўляюцца асноўнымі «пастаўшчыкамі» цяпла для Зямлі. Праяўленнем сонечнай актыўнасці спадарожнічае ўзнікненне цэлага рада геафізічных з'яў. Найважнейшыя з іх цесна звязаны з храмасфернымі ўспышкамі. Патокі зараджаных частачак, паскораных ва ўспышках, уплываюць на магнітнае поле Зямлі і выклікаюць магнітныя буры, якія прыводзяць да пранікнення зараджаных частачак у больш нізкія слаі атмасферы, з прычыны чаго і ўзнікаюць палярныя ззянні. Кароткахвалевае спрамяненне Сонца ўзмацняе іанізацыю зараджаных верхніх слаёў зямной атмасферы (іонасферы), што моцна ўплывае на ўмовы распаўсюджвання радыёхваль, часам парушаючы радыёсувязь.



80. Змяненні пратуберанца (1 г 41 мін — ніжні рысунак, 2 г 57 мін — сярэдні рысунак, 5 г 33 мін — верхні).

23.1. Ці можна заўважыць няўзброеным вокам на Сонцы пляму размерам з Зямлю, калі вока ад рознівае прадметы, бачныя пад вуглом не менш 2—3°?

2. Вызначце плошчу сонечных плям на рысунку 77 (выразіце яе ў км²).

3. Вызначце скорасць пад'ёму пратуберанца (выразіце яе ў км/сек), вымяраючы яго становішча на трох фатаграфіях (рыс. 80). Ці з'яўляецца рух гэтага пратуберанца раўнамерным? (У якасці маштабу вызначце радыус Сонца па яго сегменту, бачнаму на рысунку.)

4. Лічачы, што яркасць прапарцыянальная чацвёртай ступені тэмпературы і што тэмпература фотасферы 6000° К, вызначце тэмпературу сонечнай плямы, калі яе яркасць у 10 разоў меншая, чым яркасць фотасферы.

23. СПЕКТРЫ, ТЭМПЕРАТУРЫ, СВЯЦІМАСЦІ ЗОРАК І АДЛЕГЛАСЦІ ДА ІХ

Вывучаючы зоркі, навука высветліла іх велізарную разнастайнасць, хоць усе яны падобны да Сонца ў тых адносінах, што з'яўляюцца самасвецячыміся распаленымі шарамі, якія бяруць са сваіх нетраў каласальныя запасы энергіі. З аднаго боку, веданне гэтага паказвае, што наша Сонца ў Сусвеце не адзінае, а адно з незлічоных сонцаў і нічым асаблівым з іх не вылучаецца. З дру-

гога боку, устаноўлена, што ў разнастайнасці зорак існуюць заканамернасці і што яны абумоўлены пэўнымі фізічнымі прычынамі. Вывучэнне ўсяго гэтага неабходна, каб зразумець паходжанне нашай сонечнай сістэмы з Зямлёй і іх будучае.

У зорных каталогах ёсць каардынаты і ацэнка бляску не толькі ўсіх 6000 зорак, бачных няўзброеным вокам, але і мноства больш слабых — да 11-ай зорнай велічыні. Іх лік складае каля мільёна. На самым новым фатаграфічным атласе неба бачны зоркі да 21-ай зорнай велічыні. Іх каля 2 мільярдаў.

1. Спектры, колер і тэмпература зорак. Спектры зорак вельмі разнастайныя. Амаль усе яны — спектры паглынання. Гэта вынік паглынання святла ў вонкавых абалонках зорак. Вывучэнне спектраў дазваляе вызначыць хімічны састаў атмасфер зорак.

● **У атмасферах усіх зорак пераважнымі з'яўляюцца вадарод і гелій.** Характар спектраў зорак залежыць ад тэмператур і ціску ў іх атмасферах. Высокая тэмпература разбурае малекулы на састаўныя часткі — атамы. Пры яшчэ больш высокай тэмпературы разбураюцца менш трывалыя атамы, яны ператвараюцца ў іоны, страчваючы электроны. Іанізаваныя атамы спрамяняюць і паглынаюць не тыя даўжыні хваль, якія спрамяняюць і паглынаюць нейтральныя атамы. Шляхам параўнання інтэнсіўнасці ліній атамаў і іонаў аднаго і таго ж хімічнага элемента тэарэтычна вызначаюць іх адносны лік. Яны з'яўляюцца функцыяй тэмпературы. Так, па цёмных лініях спектраў зорак можна вызначыць тэмпературу іх атмасфер. Гэта дапаўняе магчымасць вызначэння тэмператур зорак па размеркаванню энергіі ў іх суцэльным спектры і па вымярэнню цяпла, якое атрымліваецца ад іх на Зямлі.

Спектры зорак падзелены на класы, якія абазначаюцца лацінскімі літарамі і лічбамі (гл. рыс. 90 і табл. IV у дадатках).

Колер і спектр зорак звязаны з іх эфектыўнай тэмпературай. У спектры чырвоных зорак чырвоныя праменні ярчэйшыя за астатнія, таму яны і маюць чырвоны колер. Тэмпература чырвоных зорак нізкая. Яна ўзрастае паслядоўна пры пераходзе ад чырвоных зорак да аранжавых, затым да жоўтых, жаўтаватых, белых і блакітнаватых. У такой паслядоўнасці мяняецца колер награванага цела. У спектрах халодных чырвоных зорак тыпу *M* з тэмпературай каля 3000°K бачны палосы паглынання прасцейшых двухатамных малекул, часцей за ўсё вокісу тытану. У спектрах іншых чырвоных зорак пераважае вокіс вугляроду або цырконію. Чырвоныя зоркі першай велічыні тыпу *M* — Антарэс, Бетэльгейзе.

У спектрах жоўтых зорак тыпу *G0*, да якіх належыць і Сонца (з тэмпературай 6000°K на паверхні), пераважаюць тонкія лініі металаў — жалеза, кальцыю, натрыю і інш. Зоркай тыпу Сонца па спектру, колеру і тэмпературы з'яўляецца яркая Капэла ў сузор'і Возніка.

У спектрах белых зорак тыпу *A0*, як Сірыус, Вега і Дэнеб, найбольш моцныя лініі вадароду. Ёсць многа слабых ліній іанізаваных металаў. Тэмпература такіх зорак каля $10\,000^{\circ}\text{K}$.

У спектрах найбільш гарячих, блакитнаватих зорак з температурами каля $30\,000^\circ\text{K}$ бачны лініі нейтральнага і іанізаванага гелію. Температура большасці зорак знаходзіцца ў межах ад 3000 да $30\,000^\circ\text{K}$. У нямногіх зорак сустракаюцца тэмпературы каля $100\,000^\circ\text{K}$.

Крыніцай энергіі, якая атрымліваецца большасцю зорак і Сонцам, з'яўляюцца ядзерныя рэакцыі ператварэння вадароду ў гелій у іх нетрах пры тэмпературах звыш $10\,000\,000^\circ\text{K}$. (Больш падрабязна аб гэтым гл. у § 32.)

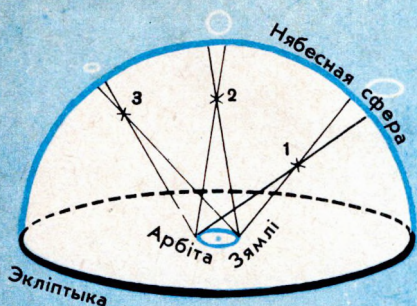
2. Гадавы паралакс і адлегласці да зорак. Радыус Зямлі вельмі малы, каб служыць базісам для вымярэння паралактычнага зрушэння зорак і для вызначэння адлегласцей да іх. Яшчэ ў часы Каперніка было зразумела, што калі Зямля сапраўды перамяшчаецца ў прасторы, верячыся вакол Сонца, то бачныя становішчы зорак на небе павінны мяняцца. Зямля за паўгода перамяшчаецца на велічыню дыяметра сваёй арбіты. Напрамкі на зорку з двух канцоў дыяметра гэтай арбіты павінны адрознівацца на велічыню паралактычнага зрушэння. Інакш кажучы, у зорак павінен быць прыкметны гадавы паралакс. *Гадавым паралаксам зоркі называецца вугал, пад якім з зоркі відаць вялікая паўвось зямной арбіты, перпендыкулярная да праменя зроку* (рыс. 81). Назіранні становішча зоркі на небе робяцца ў моманты, падзеленыя прыкладна паўгодам. За гэты час Зямля пераносіць назіральніка на адлегласць, роўную дыяметру яе арбіты. Паралакс зорак доўга не маглі выявіць, і Капернік правільна сцвярджаў, што зоркі вельмі далёкія ад Зямлі, каб існаваўшымі тады прыладамі можна было выявіць паралактычнае зрушэнне зорак пры базісе, роўным дыяметру зямной арбіты. (Падлічыце, у колькі разоў ён большы, чым дыяметр Зямлі.) У цяперашні час спосаб вызначэння гадавога паралакса з'яўляецца асноўным пры вызначэнні адлегласцей да зорак.

Упершыню гадавы паралакс зоркі быў надзейна вымераны выдатным рускім вучоным В. Я. Струве ў 1837 г. Ён вымераў гадавы паралакс зоркі Вега. Амаль адначасова ў іншых краінах вымералі паралаксы яшчэ ў дзвюх зорак. Адною з іх была Альфа Цэнтаўра. Яна аказалася найбліжэйшай да нас зоркай з гадавым паралаксам $p = 0,75''$. Пад такім вуглом простае вока бачыць дроцік таўшчынёй 1 мм з адлегласці 280 м . Не дзіва, што так доўга не маглі заўважыць у зорак падобныя такія малыя вуглавая зрушэнні.

Адлегласць да зоркі $D = \frac{a}{\sin p}$, дзе a — вялікая паўвось зямной арбіты. Калі прыняць a за адзінку і ўлічыць, што пры малых вуглах $\sin p = \frac{p''}{206\,265}$, то атрымаем $D = \frac{206\,265}{p''}$ астранамічных адзінак.

Адлегласць да найбліжэйшай зоркі α Цэнтаўра $D = 206\,265 : \frac{3}{4} = 270\,000\text{ а. адз.}$ Святло праходзіць адлегласць да α Цэнтаўра за 4 гады, тады як ад Сонца да Зямлі яно ідзе толькі 8 хвілін, а ад Месяца каля 1 сек.

$$D = \frac{1}{p} (\text{мс})$$



81. Гадавыя паралаксы зорак.

Адлегласці да зорак зручна выражаць у парсеках (*пс*). **Парсек** — адлегласць, з якой вялікая паўвось зямной арбіты, перпендыкулярная да праменя зроку, бачна пад вуглом у $1''$. Адлегласць у парсеках роўна адваротнай велічыні гадавога паралакса, выражанага ў секундах дугі. $1 \text{ парсек} = 3,26 \text{ светавога года} = 3 \cdot 10^{13} \text{ км}$. Адлегласць да зоркі α Цэнтаўра роўна $\frac{4}{3} \text{ пс}$.

Вымярэннем гадавога паралакса можна надзейна ўстанавіць адлегласці да зорак, што знаходзяцца не далей за 100 пс або 300 светавых гадоў. Адлегласці да больш далёкіх зорак цяпер можна часам вызначыць іншымі метадамі (гл. наступны раздзел, § 25. 1).

3. Свяцімасць і абсалютная велічыня зорак. Свяцімасцю зоркі L называецца яе сапраўдная сіла святла ў параўнанні з сілай святла Сонца.

Абсалютнай зорнай велічынёй M называецца тая бачная зорная велічыня, якую мела б зорка, калі б знаходзілася ад нас на стандартнай адлегласці $D_0 = 10 \text{ пс}$.

Велічыні L і M лёгка вылічыць, калі вядома адлегласць да зоркі D або паралакс p (паколькі D адваротна прапарцыянальна p). Сапраўды, бляск крыніцы святла мяняецца адваротна прапарцыянальна квадрату адлегласці. Значыць, калі бачны бляск зоркі на адлегласці D будзе I , а на адлегласці D_0 будзе I_0 , то

$$I : I_0 = D_0^2 : D^2. \quad (1)$$

З суадносіны паміж бляскам і зорнай велічынёй (гл. с. 10) вынікае, што

$$I : I_0 = 2,512^{M-m}, \quad (2)$$

дзе m і M — зорныя велічыні, I і I_0 — адпавядаючы ім бляск. Значыць,

$$2,512^{M-m} = D_0^2 : D^2.$$

$$0,4 (M - m) = \lg 10^2 - \lg D^2, \quad \text{або} \quad (3)$$

$$M = m + 5 - 5 \lg D, \quad \text{або} \quad (4)$$

$$M = m + 5 + 5 \lg p''. \quad (5)$$

Гэтыя формулы даюць абсалютную зорную велічыню M па вядомай бачнай зорнай велічыні m пры рэальнай адлегласці да зор-

кі D . Наша Сонца з адлегласці ў 10 пс мела б выгляд як зорка 5 -ай бачнай зорнай велічыні, г. зн. для Сонца $M = M_{\odot} = 5$.

Ведаючы абсалютную зорную велічыню M якой-небудзь зоркі, можна вылічыць яе свяцімасць L . Па азначэнню яе

$$L = I : I_{\odot} = 2,512^{5-M}, \text{ або } \lg L = 0,4 (5 - M).$$

Велічыні M і L у розных адзінках выражаюць сапраўдную сілу святла зоркі незалежна ад адлегласці да яе.

Абсалютныя велічыні вельмі яркіх зорак адмоўныя і даходзяць да $M = -9$. Такія зоркі называюцца гігантамі і звышгігантамі. Зорка S Залатой Рыбы ярчэйшая за наша Сонца ў $500\,000$ разоў, яе свяцімасць $L = 500\,000$, але відаць яе ў паўднёвым паўшар'і неба толькі ў моцны бінокль. А наша Сонца лічыцца зоркай-карлікам! Найменшую сілу святла маюць халодныя чырвоныя карлікі з $M = +17$ і $L = 0,000\,013$. Прыкладна да гэтай мяжы лік зорак у адзінцы аб'ёму прасторы з паніжэннем іх свяцімасці расце, а затым павінен памяншацца.

Існуюць зоркі аднолькавай тэмпературы і колеру, але з рознай свяцімасцю. У такіх зорак спектры ўвогуле аднолькавыя, аднак можна заўважыць адрозненні ў адносных інтэнсіўнасцях некаторых ліній. Гэта адбываецца таму, што пры аднолькавай тэмпературы ціск у іх атмасферах некалькі розны. У атмасферах зорак-гігантаў ціск меншы, яны больш разрэджаныя. Калі для такіх зорак пабудаваць графік, што паказвае, як мяняюцца адносіны інтэнсіўнасці пэўных пар спектральных ліній у залежнасці ад абсалютнай велічыні зорак, то мы зможам па інтэнсіўнасці ліній з графіка знайсці абсалютную велічыню M зоркі. Падстаноўка знойдзенага значэння M у выведзеную намі формулу (4) дае магчымасць вызначыць адлегласць да зоркі.

24.1. Паралакс Вегі $0,11''$. Колькі часу святло ад яе ідзе да Зямлі?

2. Колькі гадоў трэба было б ляцець у напрамку да сузор'я Ліры са скорасцю 30 км/сек, каб Вега стала ў два разы бліжэй?

3. У колькі разоў зорка $3,4$ зорнай велічыні слабей, чым Сірыус, які мае бачную зорную велічыню $-1,6$?

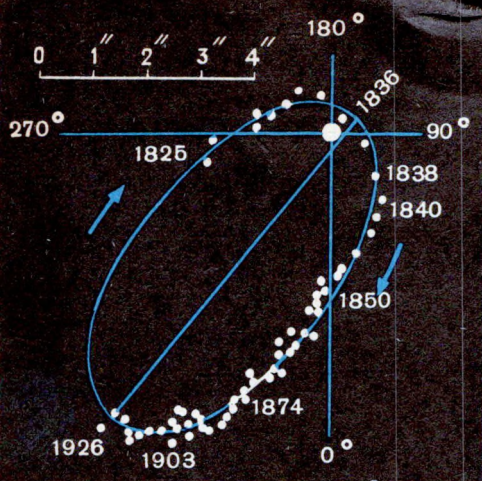
4. Чаму роўны абсалютныя велічыні гэтых зорак, калі адлегласць да абедзвюх складае 3 пс?

5. Якая свяцімасць зоркі ζ Скарпіёна, калі яе бачная зорная велічыня 3 , а адлегласць да яе 7500 светавых гадоў?

6. Назавіце колер кожнай з зорак табліцы IV дадатку па прыведзенаму іх спектральному тыпу.

24. ПАДВОЙНЫЯ ЗОРКІ. МАСЫ ЗОРАК

1. Візуальна-падвойныя зоркі. Масу — адну з найважнейшых фізічных характарыстык зорак — можна вызначыць толькі па яе ўздзеянню на рух іншых цел. Такімі іншымі цэламі з'яўляюцца спадарожнікі некаторых зорак, якія абарачаюцца з імі вакол агульнага цэнтра мас.



82. Арбіта спадарожніка падвойнай зоркі (γ Дзева) адносна галоўнай зоркі. Пункты адзначаюць вымераныя становішчы яго ва ўказаныя гады. Іх адхіленні ад эліпса выкліканы пагрэшнасцямі назіранняў.

Многія з візуальна-падвойных зорак аказваюцца аптычна-падвойнымі, г. зн. блізкасць такіх дзвюх зорак з'яўляецца вынікам выпадковай праекцыі іх на неба. У прасторы яны знаходзяцца далёка адна ад адной. На працягу шматгадовых назіранняў можна пераканацца, што адна з зорак праходзіць міма другой, не мяняючы напрамку, з пастаяннай скорасцю. Іншы раз паступова высвятляецца, што больш слабая зорка-спадарожнік верціцца вакол больш яркай зоркі. Сістэматычна мяняюцца адлегласці паміж імі і напрамак лініі, што іх злучае. Такія зоркі называюцца фізічнымі падвойнымі.

Мноства падвойных зорак адкрыў і вывучыў вядомы рускі вучоны В. Я. Струве. Самы кароткі з вядомых перыядаў абарачэння візуальна-падвойных зорак — 5 гадоў. Вывучаны пары з перыядам абарачэння ў дзесяткі гадоў, а пары з перыядамі ў сотні гадоў вывучаць у будучым. Самая блізкая да нас зорка α Цэнтаўра з'яўляецца падвойнай. Перыяд абарачэння яе састаўляючых (кампанентаў) — 70 гадоў. Абедзве зоркі ў гэтай пары па масе і тэмпературы падобныя на Сонца.

Галоўная зорка звычайна не знаходзіцца ў фокусе эліпса, які апісвае спадарожнік, таму што мы бачым яго арбіту ў праекцыі скажонай (рыс. 82). Але веданне геаметрыі дазваляе аднавіць сапраўдную форму арбіты і вымераць яе вялікую паўвось a ў секундах дугі. Калі вядома адлегласць D да падвойнай зоркі ў парсеках і вялікая паўвось арбіты зоркі-спадарожніка ў секундах дугі роўна a'' , то ў астранамічных адзінках (паколькі $1: p'' = D$ пс) яна будзе роўна: $A = a'' \cdot D = a'' : p''$.

Калі вы паглядзіце на ζ В. Мядзведзіцы, другую зорку з канца «ручкі» яе «каўша», то пры нармальным зроку вы ўбачыце зусім блізка ад яе другую слабую зорачку. Яе заўважылі яшчэ старажытныя арабы і назвалі Алькор (Конік). Яркая зорцы яны далі назву Міцар. Іх можна назваць падвойнай зоркай. Міцар і Алькор аддалены адна ад адной на $11'$. У бінокулярных зорных пар можна знайсці нямала. Так, у Ліры складаецца з дзвюх аднолькавых зорак 4-ай зорнай велічыні з адлегласцю паміж імі $5'$. **Падвойныя зоркі называюцца візуальна-падвойнымі, калі іх падвойнасць можа быць заўважана пры непасрэдных назіраннях у тэлескоп** (а ў рэдкіх выпадках і простым вокам). У тэлескоп у Ліры візуальна-чацвярная зорка. Сістэмы — з лікам зорак $n \geq 3$ называюцца кратнымі.

Найважнейшай характарыстыкай зоркі, разам са свяцімасцю, з'яўляецца яе маса. Прамое вызначэнне масы магчыма толькі для падвойных зорак. Па аналогіі з § 9.4, параўноўваючы рух спадарожніка зоркі з рухам Зямлі вакол Сонца (для якой перыяд абарачэння 1 год, а вялікая паўвось арбіты 1 а. адз.), мы па трэцяму закону Кеплера можам напісаць:

$$\frac{m_1 + m_2}{A^3} T^2 = \frac{m_{\text{С}} + m_3}{1^3} 1^2,$$

дзе m_1 і m_2 — масы кампанентаў у пары зорак, $m_{\text{С}}$ і m_3 — масы Сонца і Зямлі, а T — перыяд абарачэння пары ў гадах. Не ўлічваючы масу Зямлі ў параўнанні з масай Сонца, мы атрымліваем суму мас зорак, якія складаюць пару, у масах Сонца:

$$m_1 + m_2 = A^3 : T^2.$$

Каб вызначыць масу кожнай зоркі асобна, трэба вывучыць рух кожнай з іх адносна навакольных зорак і вылічыць іх адлегласці A_1 і A_2 ад агульнага цэнтра мас. Тады маем другое ўраўненне:

$$m_1 : m_2 = A_2 : A_1$$

і з сістэмы двух ураўненняў знаходзім абедзве масы асобна.

Падвойныя зоркі ў тэлескоп часта ўяўляюць сабой прыгожае відовішча: галоўная зорка жоўтая або аранжавая, а спадарожнік белы або блакітны. Уявіце сабе багацце фарбаў на планеце, якая абарачаецца вакол адной з пары зорак, дзе на небе з'яе то чырвонае Сонца, то блакітнае, то абодва разам.

Вызначаныя апісанымі метадамі масы зорак адрозніваюцца значна менш, чым іх свяцімасці, прыкладна ад 0,1 да 100 мас Сонца. Вялікія масы сустракаюцца вельмі рэдка. Звычайна зоркі валодаюць масай, меншай за пяць мас Сонца. Мы бачым, што з пункту гледжання свяцімасці і тэмпературы наша Сонца з'яўляецца радавой, сярэдняй зоркай, якая нічым асаблівым не вылучаецца.

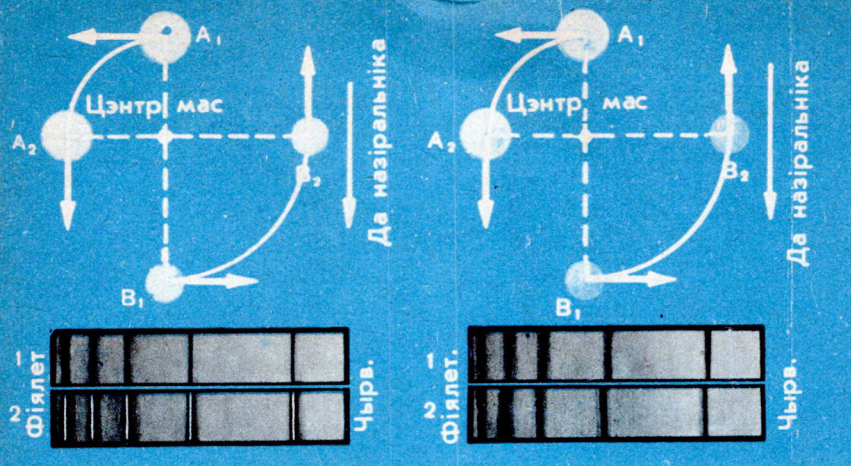
25.1. У падвойнай зоркі перыяд абарачэння 100 гадоў. Вялікая паўвось бачнай арбіты $a = 2,0''$, а паралакс $p = 0,05''$.

Вызначце суму мас і масы зорак асобна, калі зоркі знаходзяцца ад цэнтра мас на адлегласцях, што адносяцца як 1 : 4.

2. Калі б на арбіце Зямлі рухалася зорка з такой жа масай, як у Сонца, які быў бы перыяд яе абарачэння?

3. Па рысунку 82 ацаніце перыяд абарачэння спадарожніка, вялікую паўвось арбіты і вылічыце суму мас кампанентаў.

2. Спектральна-падвойныя зоркі. Калі зоркі пры ўзаемным абарачэнні падыходзяць блізка адна да другой, то нават у самы моцны тэлескоп іх нельга бачыць раздзельна. Але калі плоскасць іх арбіты пры гэтым амаль супадае з праменем зроку, а скорасць абарачэння вялікая, то скорасці іх абарачэння ў праекцыі на прамень зроку будуць хутка мяняцца. Спектры падвойных зорак наклад-



83. Тлумачэнне раздваяння, або вагання, ліній у спектрах спектральна-падвойных зорак (справа — адзін з кампанентаў свеціцца слаба).

ваюцца адзін на адзін, а паколькі розніца ў скорасях гэтых зорак вялікая, то лініі ў спектры кожнай з іх будуць зрушвацца ў процілеглыя бакі. Велічыня зрушэння будзе мяняцца з перыядам, роўным перыяду абарачэння пары. Калі яркасці і спектры зорак, якія складаюць пару, падобныя, то ў спектры падвойнай зоркі назіраецца раздваяенне спектральных ліній, якое перыядычна пайтараецца (рыс. 83). Калі адзін кампанент падвойнай зоркі займае становішча A_1 , а другі — становішча B_1 , то абодва яны будуць рухацца пад прамым вуглом да праменя зроку, які накіраваны да назіральніка, і раздваяення спектральных ліній не атрымаецца. Але калі кампаненты займаюць становішча A_2 і B_2 , то кампанент A рухаецца да назіральніка, а кампанент B — ад яго і будзе назірацца раздваяенне спектральных ліній. У першага кампанента спектральныя лініі зрушвацца да фіялетавага канца спектра, а ў другога — да чырвонага. Калі B свеціцца слаба, то будуць бачны лініі толькі зоркі A , якія зрушваюцца перыядычна.

Адзін з кампанентаў Міцара сам з'яўляецца спектральна-падвойнай зоркай.

3. Зацьменна-падвойныя зоркі — алголі. Калі прамень нашага зроку ляжыць амаль у плоскасці арбіты спектральна-падвойнай зоркі, то зоркі такой пары будуць па чарзе загараджваць адна адну. У час зацьменняў агульны бляск пары, кампанентаў якой мы паасобку не бачым, будзе аслабляваць. У астатні ж час у прамежках паміж зацьменнямі ён будзе пастаянны і тым даўжэйшы, чым карацей працягласць зацьменняў і чым большы радыус арбіты (рыс. 84). Калі спадарожнік вялікі, але сам дае мала святла, то, калі яркая зорка зацьмявае яго, сумарны бляск сістэмы будзе памяншацца мала.

Мінімумы бляску зацьменна-падвойных зорак адбываюцца пры руху іх кампанентаў уоперак праменя зроку. Аналіз крывой

змянення бляску ў функцыі часу дазваляе ўстанавіць размеры і яркасць зорак, размеры арбіты, яе форму і нахіл да праменя зроку, а таксама масы зорак. Такім чынам, зацьменна-падвойныя зоркі, якія назіраюцца таксама і ў якасці спектральна-падвойных, з'яўляюцца найбольш добра вывучанымі сістэмамі.

Зацьменна-падвойныя зоркі называюцца яшчэ алголямі па назве свайго тыповага прадстаўніка β Персея. Старажытныя арабы назвалі β Персея Алголем (скажонае эль гуль), што азначае «д'ябал». Магчыма, што яны заўважылі яе дзіўныя паводзіны: на працягу 2 дзён 11 г бляск Алголя пастаянны, потым за 5 г ён аслабляецца ад 2,3 да 3,5 зорнай велічыні, а потым за 5 г бляск яе вяртаецца да ранейшага значэння. На рысунку 84 паказаны сістэмы Алголя ў перспектыве, у праекцыі на плоскасць яе арбіты, і крывая змянення яе бляску.

Перыяды вядомых спектральна-падвойных зорак і алголяў у асноўным кароткія — каля некалькіх сутак. Увогуле падвойнасць зорак вельмі распаўсюджаная з'ява. Да 30% зорак, напэўна, падвойныя.

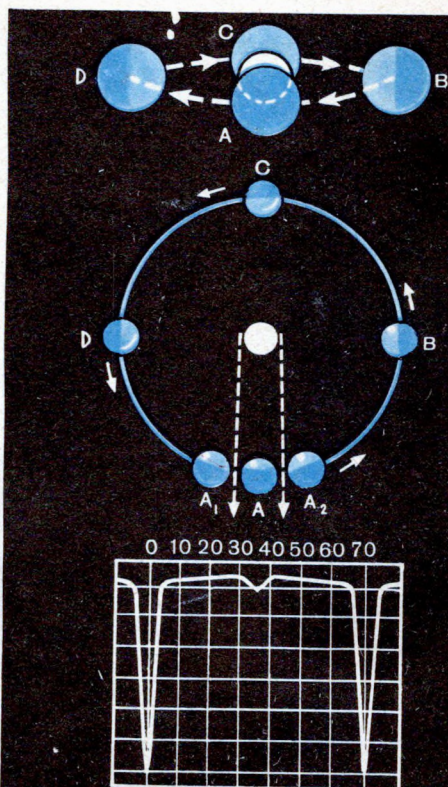
Атрыманне разнастайных даных аб асобных зорках і іх сістэмах з аналізу спектральна-падвойных і зацьменна-падвойных зорак — прыклады неабмежаванасці чалавечага пазнання.

84. Крывая (знізу) змянення бачнага бляску сістэмы зацьменна-падвойнай зоркі тыпу Алголя (па гарызанталі дадзены час у гадзінах) і адпавядаючы ёй становішчы зорак у плоскасці яе арбіты і пры нахіле арбіты да нас.

ПЕРАМЕННЫЯ І НОВЫЯ ЗОРКІ

1. Пераменныя зоркі. Для назіральнікаў на Зямлі змяненні бляску ў сістэмах алголяў выкліканы перыядычнымі зацьменнямі зорак. З пунктаў прасторы, адкуль плоскасць арбіты дадзенай пары бачна пад вялікім вуглом, ніякіх зацьменняў і змяненняў бляску не будзе. Але існуе мноства фізічных пераменных зорак, у якіх бляск мяняецца фізічна, рэальна мяняецца сіла святла.

Бляск адных мяняецца строга перыядычна, бляск другіх — няправільна або з перыядычнасцю, якая часта парушаецца. Для ўсіх фізічных пераменных зорак тыпова, што разам са змяненнем бляску адбываюцца тыя ці іншыя змяненні ў спектры, г. зн. у стане іх атмасферы і фотасферы.





85. Прыкладныя крывыя бляску, праменавай скорасці і тэмпературы цэфеіды (час па восі абсцыс адкладзены ў дзесятых долях перыяду).

З перыядычных пераменных зорак найбольш выдатныя цэфеіды. Цэфеіды характарызуюцца амплітудамі змянення бляску не больш 1,5 зорнай велічыні пры перыядах ад дзесяткаў мінут да некалькіх дзесяткаў сутак. Гэты перыяд у іх доўгія гады пастаянны з дакладнасцю да доляў секунды, так што па іх можна было б правяраць гадзіннік.

Цэфеіды — белыя ці жаўтаватыя зоркі. Бляск іх плаўна падымаецца да максімуму і потым больш павольна спадае, таксама плаўна або з адной хваляй на спуску крывой змянення бляску.

Назву цэфеіды атрымалі па сваёй тыповай прадстаўніцы — зорцы δ Цэфея. Перыяд яе пераменнасці 5,37 сут і амплітуда змянення бляску ад 4,6 да 3,7 зорнай велічыні.

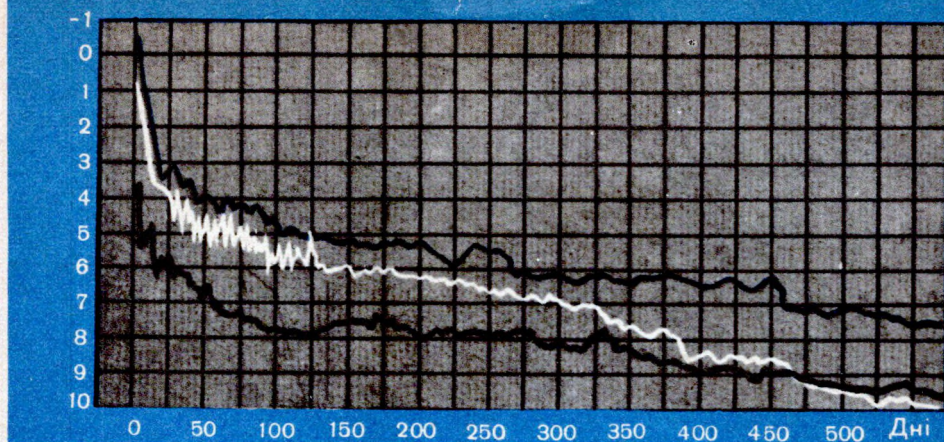
На рысунку 85 паказаны змяненні бляску і звязаныя з гэтым

прыкметныя змяненні тэмпературы і праменавай скорасці цэфеід.

Са змяненнем тэмпературы некалькі мяняецца і спектральны клас цэфеіды. Прычына гэтага заключаецца ў тым, што цэфеіды — пульсуючыя зоркі. Перыяд пульсацыі іх адваротна прапарцыянальна кораню квадратаму з іх шчыльнасці. Яны перыядычна расшыраюцца і сціскаюцца. Расшырэньні фотасферы, якая дае святло, і храмасферы, якая выклікае адпаведны зрух ліній у спектры, адбываюцца неадначасова. Сцісканне знешніх слаёў выклікае іх награванне, а найвышэйшая тэмпература адпавядае найбольшай скорасці набліжэння звернутай да нас часткі храмасферы. Ваганні праменавай скорасці ў спектрах цэфеід упершыню вывучыў А. А. Белапольскі.

Цэфеіды падзяляюцца на дзве групы: кароткаперыядычныя цэфеіды, інакш зоркі тыпу RR Ліры, з перыядамі менш за 1 сут і класічныя, з перыядамі больш за 2 сут. Першыя з іх бялейшыя, гарачэйшыя і ўсе маюць аднолькавую абсалютную велічыню $M = 0,5$.

Класічныя цэфеіды жаўцейшыя, халаднейшыя і маюць наступныя выдатныя асаблівасці: усе класічныя цэфеіды — звышгігanty, і іх свяцімасць плаўна ўзрастае з павелічэннем перыяду. Цэфеіды, якія мяняюцца найбольш павольна, самыя яркія. Пры перыядзе каля 50 сут яны ў 10 000 разоў ярчэйшыя за Сонца. Устанавіўшы свяцімасць цэфеіды па перыяду змянення яе бляску, які лёгка вызначаецца прамымі назіраннямі нават у гранічна слабых цэфеід, можна з параўнання яе абсалютнай зорнай велічыні M з бачнай зорнай велічынёй m вызначыць адлегласць да яе па фор-



86. Крывыя змянення бачнага бляску трох новых зорак.

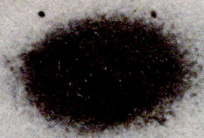
муле $\lg D = 0,2(m - M) + 1$, што вынікае з формулы (4). Таму адзначаныя ўласцівасці цэфеід надзвычайна важныя для ўстанаўлення размераў нашай зорнай сістэмы і адлегласцей да іх. *Яркія цэфеіды-гіганты бачны нам, як маякі Сусвету, здалёк.* Па іх мы і намячаем контуры нашай зорнай сістэмы, г. зн. як далёка яна распасціраецца ў розных напрамках.

Перыядычнай або няправільнай пульсацияй тлумачаць таксама ваганні бляску і іншых пераменных зорак.

2. Новыя зоркі. Назва «новыя зоркі» захавалася ад старажытных часоў за зоркамі, якія лічыліся сапраўды новымі. Накопленыя калекцыі фатаграфій паказалі, што на самай справе так званая новая зорка ў сапраўднасці існавала і раней, але раптоўна ўспыхнула, у выніку чаго бляск яе за кароткі час павялічыўся ў дзесяткі тысяч разоў. Пасля ўспышкі зорка паступова вяртаецца да ранейшага бляску. Амплітуда змянення бляску новых зорак ад 7 да 14 зорных велічынь, г. зн. бляск можа змяняцца да 400 000 разоў. У максімуме бляску яны бываюць ад —6 да —9 абсалютнай зорнай велічыні. Магчыма, што ў новых зорак успышкі паўтараюцца з прамежкамі ў тысячы гадоў. Яркія новыя зоркі, бляск якіх у максімуме дасягаў першай зорнай велічыні, назіраліся рэдка, напрыклад у 1901, 1918, 1925 гг. З прычыны нечаканасці такога роду ўспышак адкрыццё новых зорак адбываецца выпадкова. Іх адкрываюць у большай частцы аматары астраноміі, часам школьнікі. Для гэтага трэба часцей аглядаць сузор'і паблізу Млечнага Шляху. Але не прыміце планету за новую зорку!

Успышка новай зоркі адбываецца звычайна за некалькі дзён — катастрафічна, а вяртанне да ранейшага бляску працягваецца гадамі і суправаджаецца ваганнямі бляску (рыс. 86).

Катастрафічная ўспышка зоркі, пры якой вызваляецца энергія, роўная энергіі, што выпраменьваецца Сонцам за мільён гадоў, адбываецца з прычыны якіхсьці ўнутраных працэсаў. Стан няўстой-



1 min
|-----|

87. Фатаграфія (негатыў) далёкай зорнай сістэмы — Галактыкі са звышновай зоркай, адзначанай стрэлкай (дадзены вуглавы маштаб фатаграфіі).

лівасці накопліваецца гадамі ці стагоддзямі, а потым адбываецца выбух.

Змяненні ў спектры новай зоркі паказалі наступнае: бляск зоркі павялічваецца таму, што ўздуваецца фотасфера — расце яе паверхня. У момант максімуму бляску дыяметр новай зоркі большы за дыяметр зямной арбіты. У момант найбольшага бляску з зоркі зрываецца знешні слой і са скорасцю каля 1000 км/сек , расшыраючыся, імкнецца ў прастору. Успыхваюць як новыя толькі некаторыя вельмі гарачыя зоркі ўмераных свяцімасцей, так што нашаму Сонцу ўспышка не пагражае.

3. Звышновыя зоркі. Некаторыя асобы зоркі, нябачныя раней, нечакана ўспыхваюць і згасаюць падобна да новых зорак. Аднак у максімуме бляску яны бываюць па свяцімасці ў сотні разоў ярчэйшыя, чым новыя зоркі: ад —13 да —21 абсалютнай зорнай велічыні. Іх называюць звышновымі зоркамі. Скорасць выкідку газаў з іх таксама ў многа разоў большая, чым у звычайных новых зорак. Звышновыя зоркі мала вывучаны, паколькі пасля вынаходства тэлескопа «паблізу» ад нас не ўспыхвала ні адна звышновая зорка. Назіраліся толькі вельмі далёкія звышновыя зоркі, для якіх, акрамя вымярэння бляску спектра паблізу максімуму, нічога ўстанавіць звычайна нельга.

У выніку каласальнай свяцімасці, якая ў максімуме пераўзыходзіць у дзесяткі тысяч разоў свяцімасць найярчэйшых са звычайных зорак, мы бачым звышновыя зоркі на велізарных адлегласцях ад нас, у іншых зорных сістэмах (рыс. 87). Для ацэнкі гэтых адлегласцей выкарыстоўваюць вымярэнні бляску звышновых зорак. Успышкі звышновых зорак крайне рэдкія — у сярэднім адна ўспышка за некалькі стагоддзяў у сістэме, якая змяшчае мільярды зорак.

Яшчэ да вынаходства тэлескопа ў нашай зорнай сістэме назіраліся тры зоркі, якія несумненна былі звышновымі. На месцы, дзе адна з іх успыхнула ў 1054 г. у сузор'і Цяльца, знаходзіцца



88. Крабападобная туманнасць — астатак успышкі звышновай зоркі.

асаблівая туманнасць, якая слаба свеціцца, названая Крабападобнай (рыс. 88). Яна змяшчае іанізаваны газ у выглядзе прожылкаў, пранізваючых яе асноўную аморфную масу. З параўнання фатаграфій, зробленых у розныя гады, высветлілася, што туманнасць расшыраецца са скорасцю 1000 км/сек . Яе расшырэнне, а значыць, і ўзнікненне пачалося з года ўспышкі звышновай зоркі. Туманнасць была выкінута ёю пры ўспышцы. Пазней аказалася, што Крабападобная туманнасць з'яўляецца адной з наймагутнейшых крыніц радыёспрамянення. Яно выклікаецца тым, што магнітнае поле, якое ёсць у туманнасці, тармозіць народжання зоркай, што ўзарвалася, электроны, якія рухаюцца ў ёй са скорасцю, блізкай да скорасці святла. Такое радыёспрамяненне называецца нецеплавым, дакладней сінхратронным. Крабападобная туманнасць аказалася таксама і адной з найбольш магутных касмічных крыніц рэнтгенаўскіх прамяняў. На месцы ўспышак іншых «блізкіх» звышновых зорак таксама знойдзены туманнасці, якія радыёспрамяняюць і расшыраюцца. Успышкі звышновых зорак — самыя грандыёзныя і самыя рэдкія з катастроф, што адбываюцца з нябеснымі цэламі (аб іх мы даведаемся яшчэ з § 32).

Вывучэнне ўсіх пераменных і новых зорак крайне важна для разумення прыроды і эвалюцыі зорак наогул, таму што пераменныя і асабліва новыя зоркі знаходзяцца ў няўстойлівых станах на паваротных этапах свайго развіцця. Акрамя таго, моцныя змяненні, што адбываюцца ў гэтых зорак, назіраюцца, а ў звычайных зорак не назіраюцца, паколькі іх змяненні вельмі павольныя.

26 1. У новых зорак бляск звычайна ўзрастае пры пастаяннай тэмпературы ў выніку ўздуцця фотасферы. Калі змяненне бляску новай зоркі складае 10 зорных велічынь, у колькі разоў змяніўся радыус зоркі?

2. На якой адлегласці ад цэнтра галактыкі знаходзіцца ў прасторы звышновая зорка на фатаграфіі 87, калі бачны дыяметр галактыкі $2'$, а адлегласць ад яе 10^7 пс ?

26. РАЗНАСТАЙНАСЦЬ ЗОРНЫХ ХАРАКТАРЫСТЫК І ІХ ЗАКАНАМЕРНАСЦІ

1. Дыяметры і шчыльнасці зорак. Дыяметры зорак у асноўным вылічваюць па іх тэмпературы і баламетрычнай свяцімасці. Баламетрычная свяцімасць вызначаецца сілай святла зоркі ва ўсёй сукупнасці даўжынь хваль, уключаючы і нябачныя вобласці спектра. Яе вылічваюць у адносінах да баламетрычнай свяцімасці нашага Сонца. Баламетрычную свяцімасць зоркі можна таксама вылічыць, ведаючы тэмпературу і колькасць энергіі, якая спрамяняецца зоркай у якім-небудзь участку спектра.

Пакажам на простым прыкладзе, як можна параўнаць размеры зорак аднолькавай тэмпературы, напрыклад Сонца і Капэлы (α Возніка). Гэтыя зоркі маюць аднолькавыя спектры, колер і тэмпературу, але свяцімасць Капэлы роўна 120. Паколькі пры аднолькавай тэмпературы яркасць адзінкі паверхні зорак таксама аднолькавая, то, значыць, паверхня Капэлы большая, чым паверхня Сонца, у 120 разоў, а дыяметр і радыус яе большыя за сонечныя ў $\sqrt{120} \approx 11$ разоў.

У фізіцы ўстаноўлена, што поўная энергія, якая спрамяняецца ў адзінку часу з 1 см^2 паверхні найлепшага спрамяняльніка, да якога зоркі блізкія па сваіх уласцівасцях, роўна: $i = \delta T^4$, дзе δ — каэфіцыент прапарцыянальнасці, а T — абсалютная тэмпература. Адносны лінейны дыяметр зорак, якія маюць вядомую тэмпературу T , знаходзяць з формулы:

$$\frac{L}{L_0} = \frac{4\pi r^2}{4\pi r_0^2} \cdot \frac{i}{i_0} = \left(\frac{r}{r_0}\right)^2 \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^4,$$

дзе r — радыус зоркі, i — поўнае спрамяненне адзінкі паверхні зоркі, r_0 , i_0 , T_0 адносяцца да Сонца, а $L_0 = 1$.

$$\text{Адсюль } r = \sqrt{L} : \left(\frac{T}{T_0}\right)^2 \text{ у радыусах Сонца}$$

Результаты такіх вылічэнняў размераў святл поўнасцю пацвердзіліся, калі стала магчымым вымераць вуглавыя дыяметры зорак пры дапамозе асобай прылады (зорнага інтэрферометра).

Зоркі вельмі вялікай свяцімасці называюцца звышгігантамі. Чырвоныя звышгігanty аказваюцца такімі і па размерах (рыс. 89). Бетэльгейзе і Антарэс у сотні разоў большыя за Сонца па дыяметру. Больш далёкая ад нас VV Цэфея мае такія размеры, што ўнутры яе змяшчалася б сонечная сістэма з арбітамі планет да арбіты Юпітэра ўключна! Між тым масы звышгігантаў большыя за сонечную ўсяго ў 30—40 разоў. У выніку нават сярэдня шчыльнасць чырвоных звышгігантаў у тысячы разоў меншая, чым шчыльнасць пакаёвага паветра. Пры аднолькавай свяцімасці размеры зорак тым меншыя, чым гэтыя зоркі гарачэйшыя і бялейшыя. Чырвоныя карлікі з'яўляюцца самымі малымі сярод звычайных зорак. Масы іх і радыусы — дзесятыя долі сонечных, а сярэднія



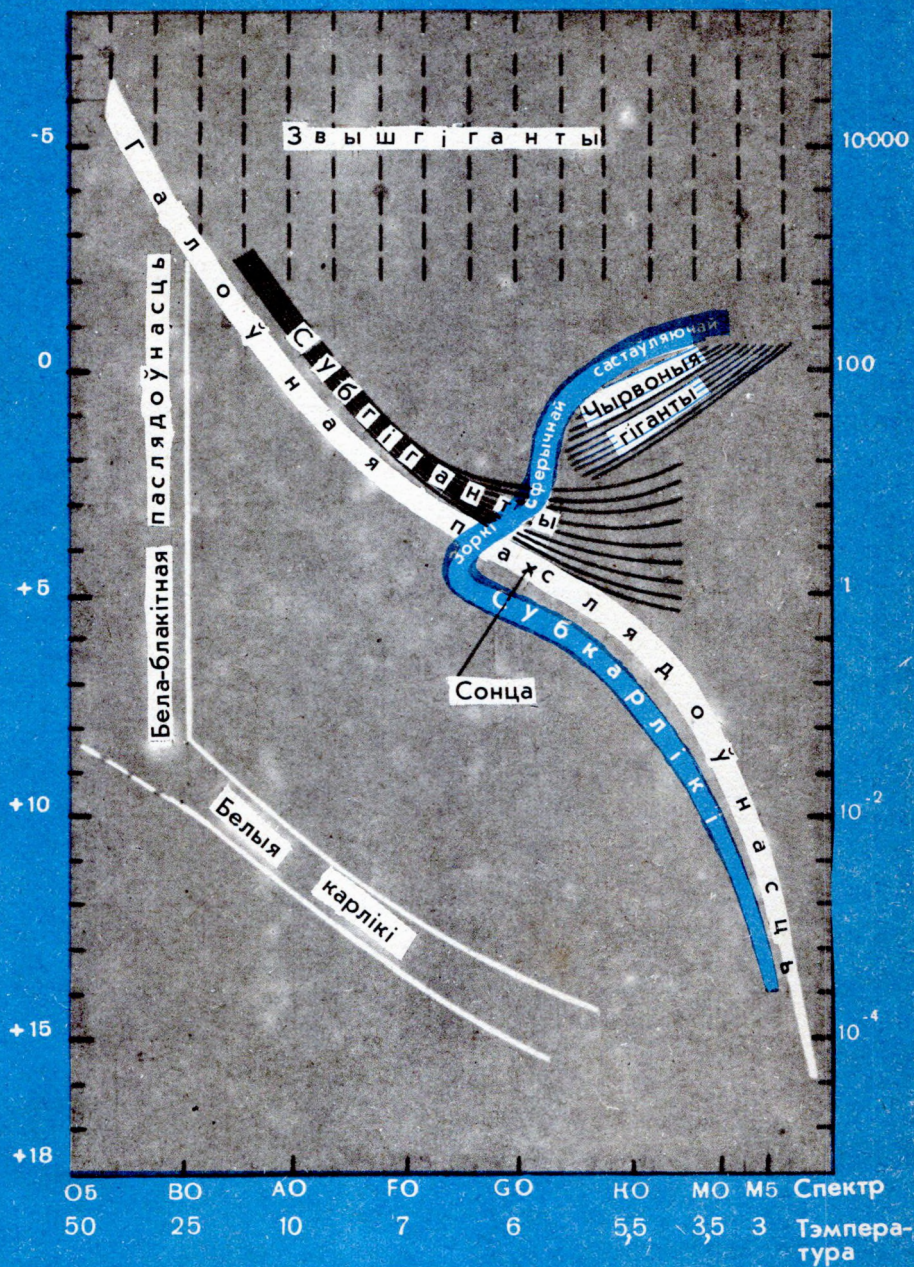
89. Параўнальныя размеры Сонца і зорак розных тыпаў (маштабы ў трох частках рысунка розныя).

шчыльнасці каля $10\text{--}100 \text{ г/см}^3$. Яшчэ меншыя, чым чырвоныя карлікі, белыя карлікі — гэта ўжо незвычайныя зоркі. У блізкага да нас і яркага Сірыуса (які мае радыус прыкладна ў два разы большы за сонечны) ёсць спадарожнік, што абарачаецца вакол яго з перыядам 50 гадоў. Для гэтай падвойнай зоркі адлегласці, арбіта і масы добра вядомыя. Абедзве зоркі белыя, амаль аднолькава гарачыя, (іх паверхні ў 1 см^2 , значыць, аднолькава яркія), але па шчыльнасці спадарожнік у 10 000 разоў слабейшы за Сірыус. Значыць, яго радыус меншы ў $\sqrt{10\,000} = 100$ разоў, г. зн. ён амаль такі ж, як Зямля. Між тым маса ў яго амаль такая ж, як і ў Сонца! Значыць, белы карлік мае велізарную шчыльнасць — каля $3 \cdot 10^7 \text{ г/см}^3$. Існаванне такой шчыльнасці было растлумачана наступным чынам: звычайна мяжу шчыльнасці ставіць размер атамаў, якія з'яўляюцца сістэмамі, што складаюцца з ядра і электроннай абалонкі. Пры вельмі высокай тэмпературы ў нетрах зорак і пры поўнай іанізацыі ядра і электроны становяцца незалежнымі адзін ад аднаго. Пры каласальным ціску вышэйляжачых слаёў гэта «крышанка» з атамаў можа быць сціснута значна мацней, чым нейтральны газ. Тэарэтычна дапускаецца магчымасць існавання пры некаторых умовах зорак са шчыльнасцю, роўнай шчыльнасці атамных ядзер. (Аб іх і аб эвалюцыі зорак больш падрабязна мы даведаемся з § 32.)

Мы яшчэ раз бачым на прыкладзе белых карлікаў, як астрафізічныя даследаванні расшыраюць уяўленні аб будове рэчыва; пакуль стварыць у лабараторыі такія ўмовы, якія ёсць унутры зорак, яшчэ нельга.

Для фізікі велізарнае значэнне мае тэорыя адноснасці Эйнштэйна. З яе вынікаюць тры вывады, якія можна было правесці толькі па астранамічным даным. Адзін з вынікаў тэорыі заключаецца ў тым, што ў вельмі моцным полі цягання светавыя ваганні павінны запавольвацца і лініі спектра зрушвацца да чырвонага

М Блакітныя Белыя Жоўтыя Аранжавыя Чырвоныя L



канца, прычым гэта зрушэнне тым большае, чым мацней поле цягачення зоркі. Чырвонае зрушэнне было выяўлена ў спектры спадарожніка Сірыуса. Яно выклікана дзеяннем моцнага поля цягачення на яго паверхні. Назіранні пацвердзілі прадбачанні тэорыі адноснасці і тым самым пацвердзілі саму тэорыю. Астраномы знайшлі і два іншыя пацвярджэнні гэтай тэорыі. Гэта прыклад узаемадзеяння фізікі і астраноміі і дзіўнай разнастайнасці прыроды.

- 27** 1. У колькі разоў Арктур большы за Сонца, калі свяцімасць Арктура 100, а тэмпература 4500°K ?
 2. Якая сярэдняя шчыльнасць чырвонага звышгіганта ($\gamma \text{ г/см}^3$), калі яго дыяметр у 300 разоў большы за сонечны, а маса ў 30 разоў большая за масу Сонца?

2. Найважнейшыя заканамернасці. Мы бачылі, што існуюць і адзіночныя, і падвойныя, і кратныя зоркі, пераменныя зоркі розных тыпаў, новыя і звышновыя, звышгіганты і карлікі, зоркі разнастайных размераў, свяцімасцей, тэмператур і шчыльнасцей. Ці не ўтвараюць яны хаос фізічных характарыстык? Аказваецца, што не. Абагульняючы апісаная раней даныя, устанавілі рад заканамернасцей.

Супастаўляючы вядомыя масы і свяцімасці зорак, мы пераканваемся, што з павелічэннем масы хутка і правільна расце свяцімасць зорак $L \approx m^{3,9}$. Па гэтай так званай залежнасці «маса — свяцімасць» можна вызначыць масу адзіночнай зоркі, ведаючы яе свяцімасць (белыя карлікі гэтай залежнасці не падпарадкоўваюцца). Для найбольш распаўсюджаных тыпаў зорак справядліва формула $L = R^{5,2}$, дзе R — радыус зоркі. Ва ўсіх выпадках бярэцца баламетрычная свяцімасць. Гэтыя формулы паказваюць, што ўваходзячыя ў іх фізічныя характарыстыкі зорак узаемазвязаны.

Выключна вялікую цікавасць мае супастаўленне свяцімасці зорак з іх тэмпературай і колерам. Гэта залежнасць паказана на дыяграме «колера — свяцімасць» (дыяграма Герцшпрунга — Рэсела, рыс. 90). На гэтай дыяграме па восі ардынаты адкладаюць лагарыфмы свяцімасцей або абсалютныя велічыні M , а па восі абсцыс — спектральныя класы або адпавядаючы ім лагарыфмы тэмператур, або колера. Пункты, якія адпавядаюць зоркам з вядомымі характарыстыкамі, размяшчаюцца на дыяграме не хаатычна, а ўздоўж некаторых ліній — паслядоўнасцей. Большасць зорак размяшчаецца ўздоўж нахільнай лініі, якая ідзе злева зверху ўправа ўніз. У гэтым напрамку памяншаюцца адначасова свяцімасці, радыусы і тэмпература зорак. Гэта галоўная паслядоўнасць. На ёй крыжыкам адзначана становішча Сонца як зоркі — жоўтага карліка. Паралельна галоўнай паслядоўнасці размяшчаецца паслядоўнасць субкарлікаў, якія на адну зорную велічыню слабейшыя за зоркі галоўнай паслядоўнасці з такой жа тэмпературай.

90. Схема дыяграмы «колера — свяцімасць» ($K-C$) для зорак (тэмпература расце справа налева ў 10^3°K)

Уверсе паралельна восі абсцыс размешчаны самыя яркія зоркі — паслядоўнасць звышгігантаў. У іх колер і тэмпература розныя, а свяцімасць амаль аднолькавая. Ад сярэдзіны дзвюх папярэдніх паслядоўнасцей управа ўверх адыходзіць паслядоўнасць чырвоных гігантаў. Нарэшце, унізе размяшчаюцца белыя карлікі з некалькі рознымі тэмпературамі. Бела-блакітную паслядоўнасць складаюць зоркі, што ўспыхваюць як новыя, і іншыя тыпы гарачых зорак, якія змыкаюцца на дыяграме «колер — свяцімасць» ($K - C$) з белымі карлікамі.

Гэта дыяграма паказвае нам сувязь асноўных фізічных характарыстык зорак. Заўважым, што прыналежнасць зоркі да той ці іншай паслядоўнасці можна пазнаць па некаторых дэталях у яе спектры (§ 24).

Мы бачым, што ў прыродзе не існуе адвольных камбінацый масы, свяцімасці, тэмпературы і радыуса. Тэорыя паказвае, што месца зоркі на дыяграме $K - C$ вызначаецца перш за ўсё яе масай і ўзростам, значыць, дыяграма адлюстроўвае эвалюцыю зорак. Важнай заваёвай навукі з'яўляецца высвятленне сувязі паміж прыналежнасцю зорак да той ці іншай паслядоўнасці і іх размяшчэннем у прасторы. Так, мы ўбачым далей, што плоская частка вялікіх зорных сістэм (галактык) складаецца з зорак галоўнай паслядоўнасці, спіральныя галіны ў іх уключаюць гарачыя звышгіганты і цэфеіды, а субкарлікі ўтвараюць абкладаючую гэтыя галіны сферычную сістэму. Гэта адлюстроўвае адрозненні ўмоў і часу ўтварэння зорак. Да сістэм зорак мы і пераходзім у наступным раздзеле.

Дыяграма «колер — свяцімасць» не дае ўяўлення аб тым, як часта сустракаюцца зоркі рознага тыпу. Гэта частата розная ў розных месцах Сусвету, але звышгігантаў і белых карлікаў усюды вельмі мала. Зорак жа галоўнай паслядоўнасці тым больш, чым меншая іх свяцімасць.

-
- 28.1.** Па даных табліцы IV дадатку вылічыце абсалютныя велічыні і свяцімасці некаторых зорак. Нанясіце зоркі па гэтых даных на дыяграму $K - C$ (рыс. 90).
2. Ацаніце масы тых жа зорак па іх свяцімасці.
-

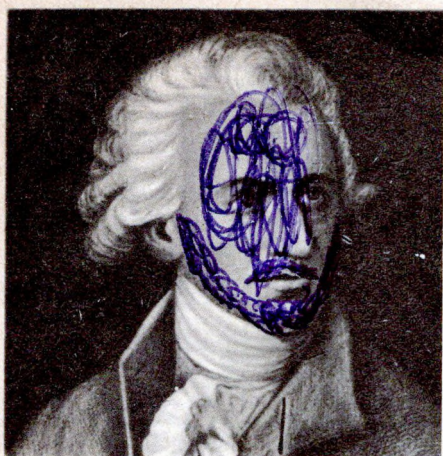
7. НАША ГАЛАКТЫКА

1. Млечны Шлях і Галактыка. Доўгі шлях прайшла навука, перш чым ёю былі выяўлены сапраўдныя рысы структуры навакольнага Сусвету.

Англіійскі вучоны Вільям Гершэль першы ўказаў правільны шлях для рашэння задачы аб будове Млечнага Шляху, які заключаецца ў падліку зорак у малых участках, выбраных у розных абласцях неба.

Гершэль меркаваў, што ўсе зоркі падобныя на Сонца не толькі па сваёй прыродзе, але і па свяцімасці. Калі б усе зоркі былі аднолькавай свяцімасці і іх шчыльнасць у прасторы была б усяды аднолькавая, то, пераходзячы да зорак на адну бачную зорную велічыню, г. зн. у 2,512 раза больш слабых, мы пераходзілі б да аб'ёму сферы з радыусам, у $\sqrt[3]{2,512} = 1,6$ раза большым. А яе аб'ём і, значыць, лік зорак у ёй павінны быць тады ў 4 разы больш за папярэдні. Але фактычны падлік паказвае, што ў розных напрамках гэты прырост розны, і з аслабленнем бляску зорак ён памяншаецца.

Але ў зорак розная свяцімасць, лік зорак рознай свяцімасці неаднолькавы, ды яшчэ існуе аслабленне святла зорак міжзорным касмічным пылам. Яно тым большае, чым зорка далей ад нас, і ў розных напрамках рознае. В. Я. Струве ўпершыню выявіў гэта паглыннанне святла і даказаў, што з набліжэннем да светлай паласы Млечнага Шляху шчыльнасць зорак у прасторы расце. Паласа Млечнага Шляху апяразвае ўсё неба па вялікаму кругу. Значыць, мы знаходзімся паблізу яго плоскасці, якую называюць галактычнай. У Млечным Шляху назіраюцца асобныя воблакападобныя згушчэнні (рыс. 91). Часткова гэта абумоўлена рэальным воблакападобным размяшчэннем слабых (г. зн. далёкіх) зорак, з якіх ён складаецца, часткова тым, што месцамі яго закрываюць воблакі касмічнага пылу. Такое цёмнае воблака можна заўважыць каля зоркі Дэнеб у сузор'і Лебедзя. Якраз у гэтым сузор'і пачы-



Вільям Гершэль (1738—1822).

наецца раздваенне Млечнага Шляху на дзве галіны, якія злучаюцца ў паўднёвым паўшар'і неба. Гэта раздваенне ўяўнае. Яно выклікана скапленнем касмічнага пылу, які засланяе частку самых яркіх месц Млечнага Шляху, у тым ліку і тых, што знаходзяцца ў сузор'ях Скарпіёна і Стральца (рыс. 92).

Паступова высветлілася, што **зоркі Млечнага Шляху — гэта асноўная частка нашай моцна сплюсчанай Галактыкі**. Далей за ўсё ад цэнтра (які знаходзіцца ў напрамку сузор'я Стральца) Галактыка цянецца паблізу плоскасці Млечнага Шляху, і ў гэтым напрамку мы бачым больш за ўсё далёкіх, г. зн.

слабых, зорак. У перпендыкулярным напрамку шчыльнасць зорак памяншаецца, значыць, туды Галактыка распасціраецца не так далёка.

Іншы раз няўдала гавораць, што Млечны Шлях — гэта і ёсць наша Галактыка. **Млечны Шлях — гэта бачнае намі на небе светлае кольца, а наша Галактыка — гэта прасторавая зорная сістэма**. Большасць яе зорак мы бачым у паласе Млечнага Шляху, але імі яна не вычэрпваецца. У Галактыку ўваходзяць зоркі ўсіх сузор'яў.

Падлічана, што лік зорак 21-ай велічыні і ўсіх больш яркіх складае каля $2 \cdot 10^9$. Безумоўна, гэта далёка не вычэрпвае зорнае «насельніцтва» нашай зорнай сістэмы — Галактыкі. Маса Галактыкі ацэньваецца па яе вярчэнню (гл. § 30) і складае каля $2 \cdot 10^{11}$ мас Сонца.

Контурны Галактыкі былі намечаны па размяшчэнню ў прасторы зорак, якія можна бачыць да найбольш далёкіх адлегласцей. Гэта цэфеіды і гарачыя звышгігanty.

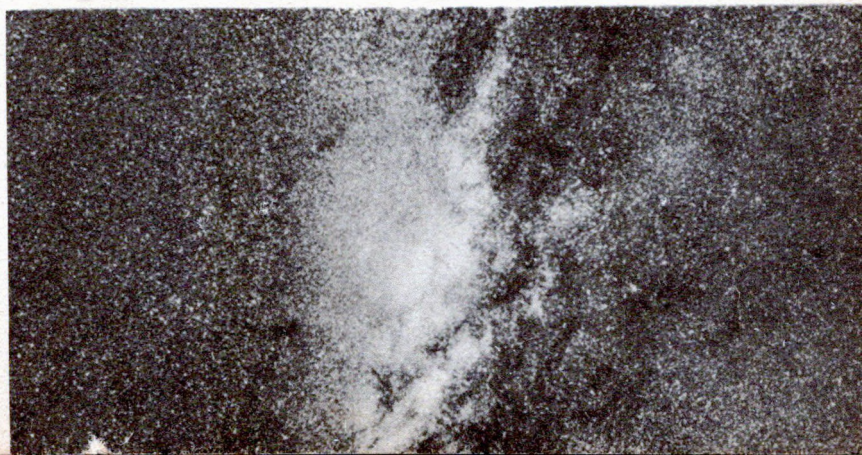
У цэнтры Галактыкі знаходзіцца яе ядро, велізарнае згущанае скапленне зорак дыяметрам 1000—2000 пс. Яно размешчана ад нас на адлегласці амаль 10 000 пс (30 000 светавых гадоў) у напрамку сузор'я Стральца, але амаль цалкам схавана ад нас за слонай воблакаў касмічнага пылу (рыс. 92). У склад ядра Галактыкі ўваходзіць многа чырвоных гігантаў і кароткаперыядычных цэфеід. Зоркі верхняй часткі галоўнай паслядоўнасці, а асабліва звышгігanty і класічныя цэфеіды складаюць больш маладое насельніцтва. Яно размяшчаецца далей ад цэнтра і ўтварае сплюсчаную сістэму. Сярод зорак гэтай сплюсчанай сістэмы ў форме тонкага дыска размешчана пылавая матэрыя.

Зоркі, якія належаць да паслядоўнасці субкарлікаў на дыяграме «колер — свяцімасць», утвараюць разрэджаную карону вакол ядра і дыска Галактыкі.



91. Выгляд Млечнага Шляху для няўзброенага вока.

92. Фатаграфія ўчастка Млечнага Шляху ў сузор'і Стральца.





а



б

93. Зорныя скапленні:

а — рассеянае зорнае скапленне Пляды (яго галоўныя зоркі асвятляюць навакольны касмічны пыл);
б — шаравое зорнае скапленне.

2. Зорныя скапленні і асацыяцыі. Адрозніваюць два тыпы зорных скапленняў: рассеяныя і шаравыя. Супаставім іх уласцівасці. Рассеяныя, ці галактычныя, скапленні складаюцца звычайна з дзясяткаў або соцень зорак галоўнай паслядоўнасці і звышгігантаў са слабай канцэнтрацыяй да цэнтра. Шаравыя скапленні складаюцца з дзясяткаў або соцень тысяч зорак галоўнай паслядоўнасці і чырвоных гігантаў. Іншы раз яны змяшчаюць пераменныя — кароткаперыядычныя цэфеіды.

Размер рассеяных скапленняў — некалькі парсекаў. Прыклад іх — скапленні Гіады і Пляды ў сузор'і Цяльца. Калі на Пляды навесці тэлескоп, то замест кучкі з 6 зорак, бачных простым вокам, у полі зроку тэлескопа мы ўбачым брыльянтавы россып зорак. Размер шаравых скапленняў з моцнай канцэнтрацыяй зорак да цэнтра — дзясяткі парсекаў. Яны ўсе далёкія ад нас і нават у слабы тэлескоп маюць выгляд туманнай плямы (рыс. 93, а, б). Дыяграма «колер — свяцімасць» для зорак шаравых і галактычных скапленняў розная. Гэта і дапамагае адрозніваць тып скаплення.

Адлегласці да найбліжэйшых шаравых скапленняў вызначаюць па кароткаперыядычных цэфеідах, якія знаходзяцца ў іх складзе, параўноўваючы іх бачную зорную велічыню з вядомай для іх абсалютнай зорнай велічынёй.

Адлегласці да рассеяных скапленняў вызначаюць, будуючы для іх зорак дыяграму «колер — бачная зорная велічыня» і супастаўляючы яе з дыяграмай «колер — абсалютная велічыня». Веданне рознасці паміж бачнай і абсалютнай велічынямі для зорак аднаго і таго ж колеру дае магчымасць вызначыць адлегласць да зорак скаплення. Вядома больш за 100 шаравых і сотні рассеяных скап-



а



б

94. Схематычнае ізабражэнне Галактыкі:

а — выгляд з канта з сістэмай шаравых зорных скапленняў (становішча сонечнай сістэмы адзначана крыжыкам); б — у яе плоскасці.

ленняў, але ў Галактыцы апошніх павінна быць дзесяткі тысяч. Мы бачым толькі найбліжэйшыя з іх. Рассеяныя скапленні ляжаць паблізу галактычнай плоскасці, паблізу паласы Млечнага Шляху. Зоркі рассеяных скапленняў належаць да насельніцтва І тыпу. Яны размяшчаюцца ў дыску Галактыкі. Шаравыя скапленні маюць сферычнае размеркаванне, канцэнтруючыся да цэнтра. Самыя далёкія з іх знаходзяцца на граніцах Галактыкі. Яны вось разам з найбольш далёкімі цэфеідамі і вызначаюць яе размер. За дыяметр Галактыкі можна прыняць акруглена 30 000 пс, або 100 000 светавых гадоў, але выразнай граніцы ў яе няма. Зорная шчыльнасць Галактыкі паступова становіцца мізэрна малой.

Па аналогіі з іншымі зорнымі сістэмамі, аб якіх будзе расказана ў § 30, можна лічыць, што ў дыску нашай Галактыкі павінны існаваць спіральныя галіны, якія выходзяць з ядра і сыходзяцца на канцах (рыс. 94, а, б). Для насельніцтва такіх галін характэрны гарачыя звышгігanty, рассеяныя скапленні, у асаблівасці змяшчаючыя гарачыя зоркі, і класічныя цэфеіды.

Аднак на такой адлегласці, на якой ад цэнтра Галактыкі знаходзіцца сонечная сістэма, спіральная структура ў плоскасці Галактыкі павінна страчвацца. Размяшчэнне насельніцтва І тыпу вядома толькі да адлегласці ў 2—3 тысячы парсекаў ад сонечнай сістэмы, і таму становішча спіральных галін у нашай Галактыцы з надзейнасцю яшчэ не ўстаноўлена.

На небе назіраюцца рассеяныя групы гарачых звышгігантаў, якія савецкі вучоны акадэмік В. А. Амбарцумян назваў *О-асацыяцыямі*. Зоркі іх далёкія адна ад адной і не ўтрымліваюцца ўзаемным цягаццём, як у зорных скапленнях. *О-асацыяцыі* таксама характэрны для насельніцтва спіральных галін.

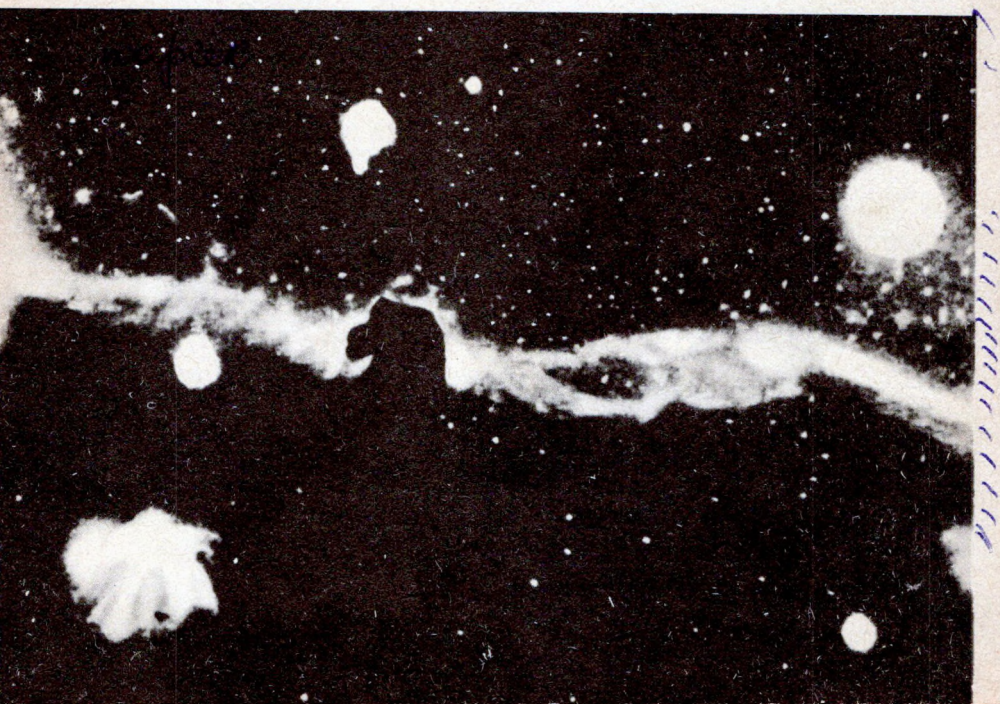
291. Якая адлегласць да шаравога зорнага скаплення, калі ў ім бачна некалькі пераменных — кароткаперыядычных цэфеід? Іх бачная зорная велічыня 15,5, а абсалютная 0,5. Які лінейны дыяметр скаплення, калі яго вуглавы дыяметр $1'$? Якім на гэтай адлегласці выглядала б наша Сонца?
2. На фатаграфіі Плеяд (рыс. 93,а) вуглавы маштаб $1,2'$ у 1 мм. Паралакс Плеяд $p = 0,15''$. Вызначце лінейную адлегласць паміж іх дзвюма самымі яркімі зоркамі ў плоскасці фатаграфіі.

28. ДЫФУЗНАЯ МАТЭРЫЯ

1. **Міжзорны пыл і цёмныя туманнасці.** Мы ўпаміналі, што В. Я. Струве больш за сто гадоў назад указаў на існаванне міжзорнага паглынання святла. Канчаткова яно было даказана толькі ў 1930 г. *Міжзорнае паглынання святла аслабляе святло зорак тым больш, чым яны далей ад нас, і тым мацней, чым карацейшая даўжыня хвалі.* Таму далёкія зоркі чырванейшыя, чым яны ёсць на самай справе. Такі эффект павінен выклікаць дробны пыл, размеры частчак якога параўнальныя з даўжынёй светавой хвалі.

Даследаванні паказалі, што міжзорны пыл сканцэнтраваны ў вузкім слоі таўшчынёй каля $200\text{--}300$ пс уздоўж галактычнай плоскасці. Гэты слой складаецца часткова з суцэльнага разрэджанага асяроддзя, часткова з плаваючых у ім воблакаў пылу большай шчыльнасці. У сярэднім на адлегласці ў 1000 пс святло ў плоскасці Галактыкі аслабляецца на $1,5$ зорнай велічыні. Прыкладам цёмнай

95. Цёмная пылавая туманнасць «Конская галава», акружаная светлай пылавой туманнасцю.



туманнасці можа з'яўляцца туманнасць «Конская галава» ў сузор'і Арыёна (рыс. 95).

Памяншэнне бачнага бляску далёкіх зорак не дазваляе дакладна вызначыць адлегласць да іх шляхам параўнання іх абсалютнай зорнай велічыні з бачнай зорнай велічынёй. Прыходзіцца вывучаць нераўнамернае размеркаванне касмічнага пылу, цёмных туманнасцей і ўлічваць іх уплыў.

2. Светлыя пылавыя дыфузныя туманнасці. Калі паблізу ад вялікага пылавога воблака знаходзіцца яркая зорка-гігант, то яна асвеціць гэта воблака. Яно, адбіваючы святло зоркі, можа свяціцца даволі прыкметна. Спектр такой туманнасці супадае са спектрам зоркі, якая яго асвятляе. Па вылічэннях акадэміка В. А. Амбарцумяна, дастаткова ярка асветлена зоркамі ўсяго толькі малая доля ўсіх цёмных, пылавых туманнасцей. Існуюць туманнасці, у якіх пыл змешаны з разрэджаным газам. Такая туманнасць называецца газапылавой, іх большасць.

3. Дыфузныя газавыя туманнасці. У сузор'і Арыёна знаходзіцца тыповая газапылавая туманнасць (рыс. 96). Яе відаць (зімой) у моцны бінокуляр, але толькі фатаграфія выяўляе яе структуру. Газапылавых і чыста газавых разрэджаных дыфузных туманнасцей вядома шмат. Усе яны касмыкаватыя, няправільнай формы, без выразных контураў. Спектр газавых туманнасцей складаецца з яркіх ліній вадароду, кіслароду і іншых лёгкіх газаў. Некаторыя з газаў знаходзяцца ў такім стане, што даюць спектр, які ніколі не назіраўся ў зямных умовах. Дзве самыя яркія зялёныя лініі спектра туманнасцей доўга прыпісваліся мяркуемаму хімічнаму элементу «небулю» (што азначае «туманны»), які знаходзіцца толькі ў туманнасцях. Але пасля высветлілася, што гэтыя лініі належаць атаму кіслароду, які страціў два электроны і свеціцца ва ўмовах такой разрэджанасці, якая ў лабараторыі не ажыццявімая. Сапраўды, шчыльнасць газавых туманнасцей каля $10^{-21} - 10^{-23}$ г/см³.

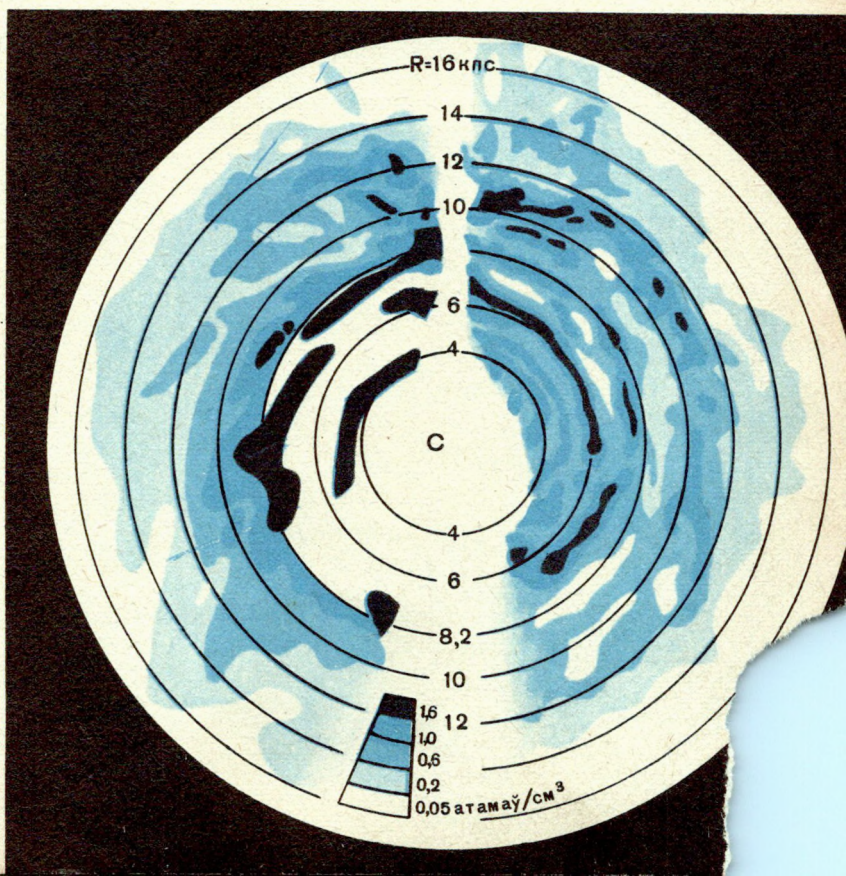
Вадарод у туманнасцях амаль поўнасю іанізаваны. Усе газы туманнасці свецяцца толькі ў тым выпадку, калі ў ёй або паблізу ад яе ёсць вельмі гарачая блакітная зорка з тэмпературай не ніжэй за 25 000° К. Спрамяненне зоркі іанізуе вадарод і іншыя газы туманнасці і прыводзіць іх у свячэнне ў працэсе флуарэсценцыі. Газ паглынае ультрафіялетавыя праменні, а спрамяненне ў чырвоных, зялёных і іншых лініях спектра. Калі б гарачая зорка раптам патухла, туманнасць таксама ў хуткім часе перастала б свяціцца.

Газавыя дыфузныя туманнасці ўтвараюць слой таўшчынёй усяго толькі каля 200 пс у галактычнай плоскасці. Яны таксама належаць да насельніцтва I тыпу, якое характэрна для спіральных галін Галактыкі. Размеры туманнасцей — некалькі парсекаў або некалькі дзесяткаў парсекаў, так што ў іх бывае апушчана некалькі зорак. Унутры іх адбываюцца павольныя хаатычныя рухі — турбуленцыя. Многа звестак аб міжзорным газе прыносіць вывучэнне яго радыёспрамянення.



4. Нейтральны вадарод. Паколькі вадарод у светлых туманнасцях іанізаваны і свеціцца толькі там, дзе паблізу ёсць гарачыя зоркі, то асноўная маса вадароду ў Галактыцы павінна быць нейтральнай. Але нейтральны вадарод у космасе не свеціцца і нябачны. Аднак ён спрамяняе радыёхвалі даўжынёй 21 см. Па інтэнсіўнасці адпаведнай спектральнай лініі вызначаюць масу і шчыльнасць вадароду ў дадзеным напрамку, а па адрозненню фактычнай даўжыні хвалі гэтай лініі ад 21 см па прынцыпу Доплера — Фізо вызначаюць скорасць вадароднага воблака. У цяперашні час высветлена агульная карціна размеркавання вадароду ў Галактыцы (рыс. 97). Ён размешчаны пераважна ў тонкім слоі ў галактычнай плоскасці. Воблакі вадароду можна назіраць на адлегласцях, значна большых, чым тыя, на якіх магчыма назіраць у тэлескоп зоркі. Тэмпература воблакаў нейтральнага вадароду ў сярэднім менш за 100°K , а тэмпература іанізаваных свецячыхся воблакаў (туманнасцей) — каля $10\,000^{\circ}\text{K}$. **Агульная маса вадароду, на 95% нейтральная,**

97. Размеркаванне шчыльнасці нейтральнага вадароду ў плоскасці Галактыкі на розных адлегласцях (у кілапарсеках) ад яе цэнтра.



складає 2% ад агульнай масы Галактыкі, а маса касмічнага пылу яшчэ ў 100 разоў меншая. Шчыльнасць нейтральнага вадароду знаходзіцца ў межах ад 10^{-22} да 10^{-26} г/см³.

У міжзорнай прасторы ў колькасці, малой параўнальна з вадародам і геліём, знаходзяцца атамы і некаторыя найпрасцейшыя малекулы іншых хімічных элементаў. Некалькі дзесяткаў малекул выяўлена радыёметадамі (па спрамяненню і паглыннанню радыёхваля). Сярод іх — OH, H₂O, CO і некаторыя больш складаныя малекулы.

5. Магнітнае поле, касмічныя праменні і радыёспрамяненне. У Галактыцы існуе агульнае магнітнае поле. Яго сілавыя лініі паралельныя галактычнай плоскасці. Выгінаючыся, яны ідуць уздоўж спіральных галін Галактыкі. Напружанасць магнітнага поля Галактыкі каля 10^{-6} э, але ў воблаках газу яна вышэйшая. Поле ўтрымлівае дыфузныя газавыя туманнасці ад рассеяння ў напрамку, перпендыкулярным да сілавых ліній. Магнітнае поле ўтрымлівае і касмічныя праменні, якія нараджаюцца пры ўспышках звязных зорак.

Рухаючыся з велізарнымі скорасцямі вакол сілавых ліній магнітнага поля, частачкі касмічных прамяняў могуць выходзіць з дыска Галактыкі, яны ўтвараюць нешта накшталт кароны Галактыкі — вялікую сферычную сістэму, якая не спрамяняе святла.

Пры ўспышках звязных зорак, а мабыць, і пры іншых працэсах, акрамя цяжкіх частачак, якія складаюць касмічныя праменні, выкідаецца многа электронаў са скорасцямі, блізкімі да скорасці святла. *Магнітнае поле Галактыкі тармозіць хуткія электроны, і гэта выклікае нецеплавое (сінхратроннае) радыёспрамяненне* на метровых і больш доўгіх хвалях. Яно прыходзіць да нас з усіх бакоў. У процілегласць гэтаму іанізаваны гарачы вадарод, сканцэнтраваны паблізу галактычнай плоскасці, пасылае дадатковае радыёспрамяненне толькі з кальцавой зоны Млечнага Шляху.

29. РУХІ ЗОРАК У ГАЛАКТЫЦЫ

1. Уласныя рухі зорак. Зоркі, у адрозненне ад планет, у старажытнасці лічыліся нерухомымі. Аднак у XVIII ст. было выяўлена перамяшчэнне Сірыуса па небе. Яно прыкметна толькі пры параўнанні дакладных вымярэнняў яго становішча, зробленых з праемежкамі часу ў дзесяцігоддзі. *Уласным рухам зоркі называецца яе вуглавое перамяшчэнне па небе за адзін год. Яно выражаецца долямі секунды дугі ў год.* Толькі зорка Барнарда праходзіць за год дугу ў $10''$, што за 200 гадоў складзе $\frac{1}{2}^\circ$, або бачны папярочнік Месяца. За гэта зорку Барнарда назвалі «лятучай». Але калі адлегласць да зоркі невядома, то яе ўласны рух мала што гаворыць аб яе сапраўднай скорасці. Напрыклад, шляхі, пройдзеныя зоркамі за год (рыс. 98), могуць быць SB, або SA, або S₁B₁ (розныя), а адпавядаючы ім уласныя рухі — μ — аднолькавыя.

2. Кампаненты прасторавай скорасці зорак. Уласны рух зоркі μ ёсць вугал, пад якім відаць яе перамяшчэнне ў прасторы, што адбываецца пад якім бы там ні было вуглом да праменя зроку (рыс. 98). Ён характарызуе тангенцыяльную скорасць зоркі V_τ у прасторы. Каб вылічыць яе ў кіламетрах у секунду, трэба μ , выражанае ў радыянах, памножыць на адлегласць да зоркі D , выражаную ў кіламетрах, і падзяліць на лік секунд у годзе. Але паколькі на практыцы μ заўсёды выражаецца ў секундах дугі, а D у парсеках, то для атрымання V_τ у кіламетрах у секунду атрымліваецца формула:

$$v_\tau = 4,74 \mu D.$$

Калі вызначана па спектру і праменевай скорасць зоркі v_r , то прасторавае скорасць яе будзе роўна:

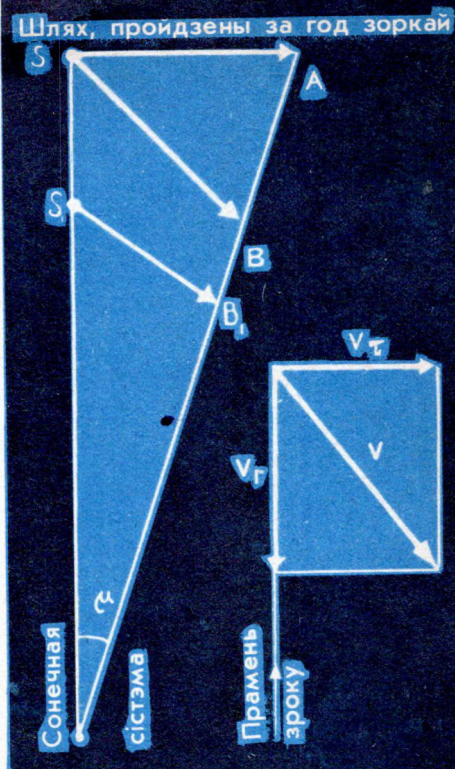
$$v = \sqrt{v_\tau^2 + v_r^2}.$$

Скорасці зорак адносна Сонца складаюць кіламетры і дзесяткі кіламетраў у секунду.

Уласныя рухі зорак цяпер вызначаюць, параўноўваючы фатаграфіі, атрыманыя адным і тым жа тэлескопам з прамежкам часу ў дзесяцігоддзі. Але ў большасці далёкіх зорак пры такім спосабе вызначэння ўласных рухі ўсё ж непрыкметныя.

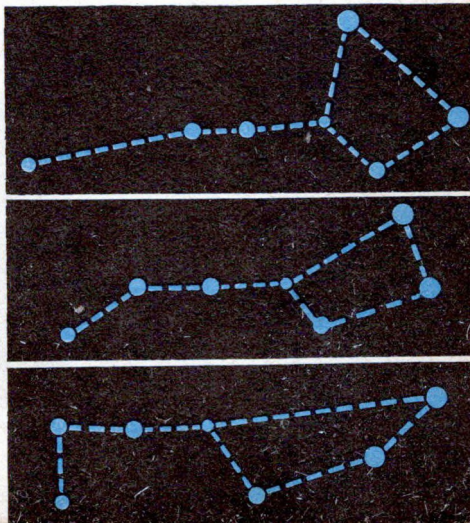
Праменевую скорасць можна вымераць у любой зоркі, толькі б зорка была дастаткова яркай для атрымання яе спектра. Зоркі, якія ўваходзяць у сузор'і, у прасторы далёкія адна ад адной і рухаюцца па-рознаму, таму праз тысячагоддзі выгляд сузор'яў ужо прыкметна мяняецца з прычыны ўласных рухаў зорак (рыс. 99).

3. Рух сонечнай сістэмы. У пачатку XIX ст. В. Гершэль устанавіў па ўласных рухах нямногіх бліз-



98. Уласны рух, тангенцыяльная і поўная прасторавае скорасць зоркі.

99. Змяненне бачнага размяшчэння яркіх зорак сузор'я Вялікай Мядзведзіцы ў выніку іх уласных рухаў: зверху — 50 тысяч гадоў назад; у сярэдзіне — у цяперашні час; унізе — праз 50 тысяч гадоў.



кіх зорак, што ў адносінах да іх сонечная сістэма рухаецца ў напрамку сузор'яў Ліры і Геркулеса. Напрамак, у якім рухаецца сонечная сістэма, называецца апексам руху. Потым, калі пачалі вызначаць па спектрах праменевыя скорасці зорак, вывад Гершэля пацвердзіўся. У напрамку апекса зоркі ў сярэднім да нас набліжаюцца са скорасцю 20 км/сек, а ў процілеглым напрамку яны з такой жа скорасцю ў сярэднім аддаляюцца ад нас.

- Такім чынам, **сонечная сістэма рухаецца ў напрамку сузор'яў Ліры і Геркулеса са скорасцю 20 км/сек у адносінах да суседніх зорак.** Задаваць пытанне аб тым, калі мы даляцім да сузор'я Ліры, няма сэнсу, таму што сузор'е не ёсць прасторава абмежаванае ўтварэнне. Адны зоркі, якія цяпер мы адносім да сузор'я Ліры, мы мінім раней (на велізарнай ад іх адлегласці), другія ж будуць заўсёды заставацца практычна такімі ж далёкімі, як і цяпер.

-
- 30** 1. Уласны рух зоркі складае 0,1'' у год. Адлегласць да яе 10 пс. Якая яе тангенцыяльная скорасць?
 2. У зоркі (гл. папярэдняю задачу) праменевая скорасць 10 км/сек. Якая яе прасторавая скорасць?
 3. Параўноўваючы становішча адной і той жа зоркі на двух ізабражэннях (рыс. 99), ацаніце (у мм) яе зрух за 50 гадоў, які даводзіцца вымяраць на практыцы, калі нават маштаб фатаграфіі будзе большы, чым на гэтым рысунку, разоў у 10.
 4. Калі зорка (гл. задачу 1) набліжаецца да нас са скорасцю 100 км/сек, то як зменіцца яе бляск за 100 гадоў?
-

- 4. Вярчэнне Галактыкі.** Усе зоркі Галактыкі абарачаюцца вакол яе цэнтра. Вуглавая скорасць абарачэння зорак ад цэнтра Галактыкі да Сонца амаль пастаянная, г. зн. дадзеная ўнутраная частка Галактыкі верціцца амаль як цвёрдае цела; знешнія яе часткі верцяцца павольней. Гэта адбываецца таму, што ядро Галактыкі не пераважае ў ёй па масе, як, напрыклад, Сонца ў сонечнай сістэме. **Сонечная сістэма робіць поўны абарот вакол цэнтра Галактыкі прыкладна за 200 млн. гадоў са скорасцю каля 280 км/сек.**

30. ЗОРНЫЯ СІСТЭМЫ — ГАЛАКТЫКІ І МЕТАГАЛАКТЫКА

1. Нармальныя галактыкі. Гершэль у XVIII ст. адкрыў і занёс у каталогі тысячы назіраемых на небе туманых плям. У многіх з іх пазней была выяўлена спіральная структура.

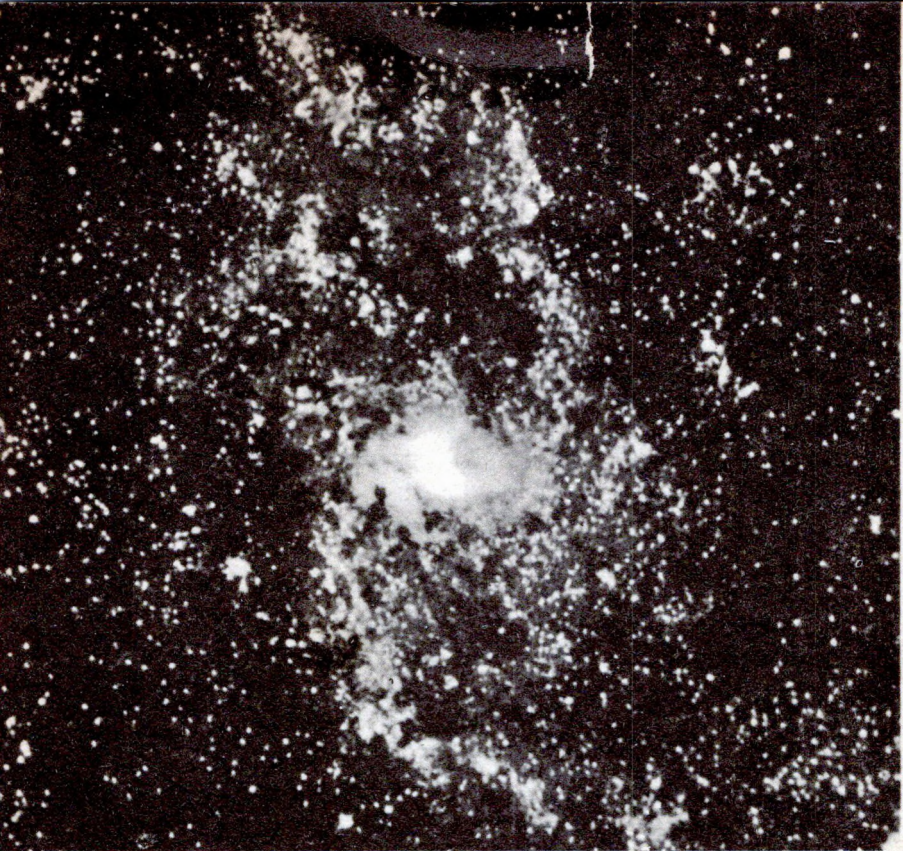
Амерыканскі астраном Хабл у XX ст. атрымаў фатаграфіі туманнасцей у сузор'і Андромеды, на якіх было відаць, што гэта туманная пляма складаецца з мноства зорак (рыс. 100). Ён выявіў у туманнасці ўспышкі новых зорак, рассеяныя і шаравыя

скапленні і цэфеіды. Визначыўшы перыяды пераменнасці і бачную зорную велічыню цэфеід, Хабл устанавіў, што яны знаходзяцца вельмі далёка за межамі нашай Галактыкі. Такім чынам, спіральная туманнасць у сузор'і Андромеды таксама знаходзіцца за межамі Галактыкі і ўжо гэтым адрозніваецца ад газавых і пылавых туманнасцей нашай зорнай сістэмы. Ведаючы адлегласць да гэтай туманнасці і яе вуглавы дыяметр, вылічылі яго ў лінейных адзінках.

Аказалася, *спіральная туманнасць у сузор'і Андромеды прыкладна такая ж вялізная зорная сістэма, як і наша Галактыка*. Мы ведаем цяпер, што да яе 2 мільёны светавых гадоў. У ёй ёсць газавыя і пылавыя туманнасці, як і у нашай Галактыцы. З прычыны таго што галактыку ў сузор'і Андромеды мы бачым пад некаторым вуглом да яе восі, яна мае прадаўгаватую форму. Галактыка ў сузор'і Трохвугольніка, таксама спіральная, менш нахілена да праменя зроку і мае таму іншы выгляд у тэлескоп (рыс. 101). Астраномы знайшлі вялікае мноства гіганцкіх зорных

100. Спіральная галактыка М 31 у сузор'і Андромеды, бачная пад вялікім вуглом да яе экватарыяльнай плоскасці.





101. Галактыка М 33 у сузор'і Трэхвугольніка, бачная амаль плазам.

сістэм за межамі нашай Галактыкі, ім далі агульную назву галактык, у адрозненне ад нашай Галактыкі.

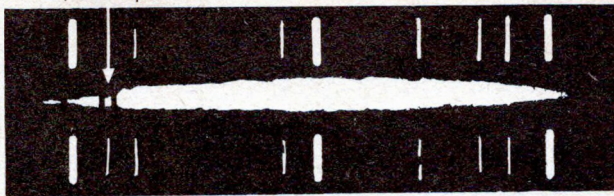
● **Адлегласці да больш далёкіх галактык, у якіх цэфеіды або нават самыя яркія звышгіганты не бачны, вызначаюць па велічыні так званага чырвонага зрушэння ў іх спектрах.** Хабл высветліў, што ў спектрах галактык, адлегласці да якіх ужо былі ацэнены па бачнаму бляску іх найярчэйшых зорак, лініі зрушаны да чырвонага канца спектра. Гэта чырвонае зрушэнне ўзрастае прапарцыянальна адлегласці да галактыкі (рыс. 102). Устаноўлена, што калі велічыню чырвонага зрушэння выражаць у адзінках прамянёвай скорасці галактыкі, то на кожны мільён парсекаў адлегласці яно ўзрастае на 100 км/сек ¹. Таму адлегласць да далёкай галактыкі можна вызначыць па велічыні чырвонага зрушэння ліній у яе спектры. Калі, напрыклад, зрушэнне адпавядае $10\,000 \text{ км/сек}$, то да галактыкі 100 млн. пс .

¹ Значэнне гэтай велічыні ўсё ўдакладняецца (магчыма, што яна бліжэй да 50 км/сек).

Выгляд галактыкі
на фатаграфіі

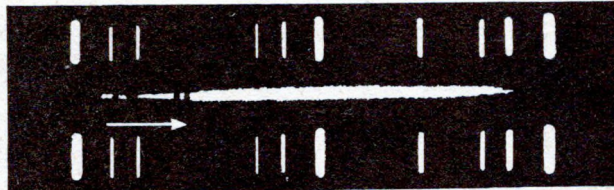
сіні
канец спектра

чырвоны
канец спектра



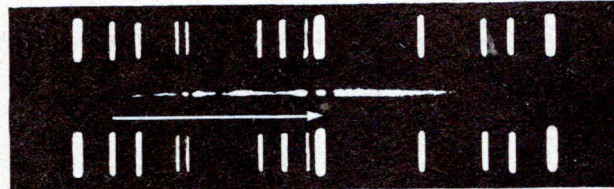
Каля 25 мегапарсек

1200 км/сек



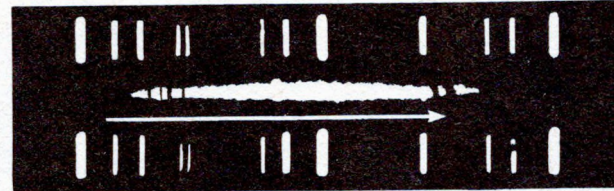
Каля 300 Мпс

15000 км/сек



Каля 800 Мпс

39300 км/сек



Каля 1200 Мпс

60900 км/сек

102. Чырвонае зрушэнне ў спектрах галактык узрастае з адлегласцю да іх (на фатаграфіі спектра бачны галоўныя лініі паглынання іанізаванага кальцыю).

103. Спіральная галактыка, бачная з канта, з цёмнымі туманнасцямі ўздоўж яе экватара.





104. Вялікае Магеланав Воблака — няправільная галактыка.

У спіральных галактыках галіны, як і ў нашай Галактыкі, складаюцца з гарачых зорак, цэфеід, звышгігантаў, рассеяных зорных скапленняў і газавых туманнасцей. Радыётэлескопы выяўляюць у іх нейтральны вадарод у колькасці да 5—10% ад масы галактыкі. Тыя з іх, якія павернуты да нас кантам, падобныя на верацяно або сачавіцу (рыс. 103). Уздоўж іх праходзіць цёмная паласа — скапленне пылавых туманнасцей — у экватарыяльнай плоскасці. Наша Галактыка і галактыка ў сузор'і Андромеды належаць да найвялікшых. Усе спіральныя галактыкі верцяцца з перыядамі ў некалькі соцень мільёнаў гадоў. Масы іх складаюць 10^8 — 10^{11} мас Сонца.

З даўніх часоў у паўднёвым паўшар'і неба былі вядомы два вялікія зорныя воблакі. Іх назвалі Вялікім і Малым Магеланавымі Воблакамі (рыс. 104). Гэтыя галактыкі адносяцца да тыпу няправільных. Яны з'яўляюцца спадарожнікамі нашай Галактыкі. Адлегласць да іх каля 150 000 светавых гадоў. Іх зорны склад такі ж, як і ў галін спіральных галактык. Няправільныя галактыкі значна меншыя за спіральныя і сустракаюцца рэдка (рыс. 105, а). Многа сустракаецца эліптычных галактык, па выглядзе падобных да шаравых зорных скапленняў, але большых за іх па размерах (рыс. 105, б). Яны верцяцца вельмі павольна і таму амаль не сплюснутыя як спіральныя галактыкі, якія хутка верцяцца (рыс. 105, в). Эліптычныя галактыкі не змяшчаюць ні зорак звышгігантаў, ні цёмных, ні светлых дыфузных туманнасцей.

У гіганцкіх галактык абсалютная зорная велічыня каля —21. Існуюць галактыкі-карлікі, у паўтары тысячы разоў больш слабыя, з абсалютнай зорнай велічынёй да —13.

Некаторыя галактыкі выяўляюць вельмі моцнае радыёспрамяненне. Гэта так званыя радыёгалактыкі.

Галактыкі, падобна да зорак, бываюць падвойнымі, кратнымі, утвараюць групы і скапленні. Акадэмік В. А. Амбарцумян прывёў рад довадаў на карысць таго, што многія пары галактык, групы і нават скапленні з'яўляюцца няўстойлівымі сістэмамі і распадаюцца. Ён упершыню звярнуў таксама ўвагу на тое, што ядры галактык нярэдка праяўляюць актыўнасць у форме выбухаў і павышэння радыёспрамянення.

Свет галактык такі ж разнастайны, як і свет зорак.

311. Лініі спектра далёкай галактыкі аказаліся зрушанымі на велічыню, адпавядаючую скорасці аддалення ад нас у 15 000 км/сек. Якая адлегласць да яе? Які яе размер, калі яна бачна як плямка 20'' у дыяметры?

2. У галактыцы, у якой чырвонае зрушэнне ліній у спектры 2000 км/сек, успыхнула звышновая зорка. Яе бляск у максімуме адпавядаў 18-ай бачнай зорнай велічыні. Якія яе абсалютная зорная велічыня і свяцімасць?

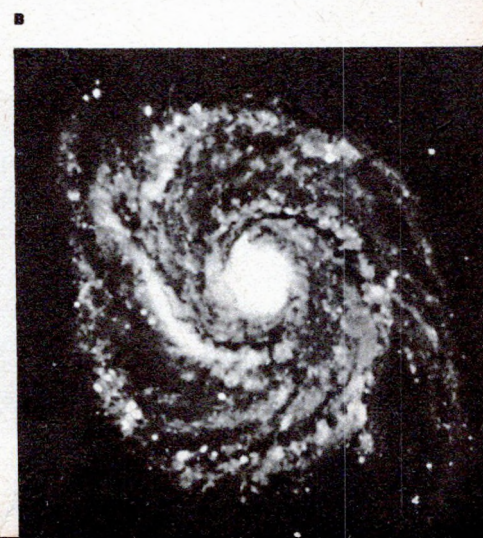
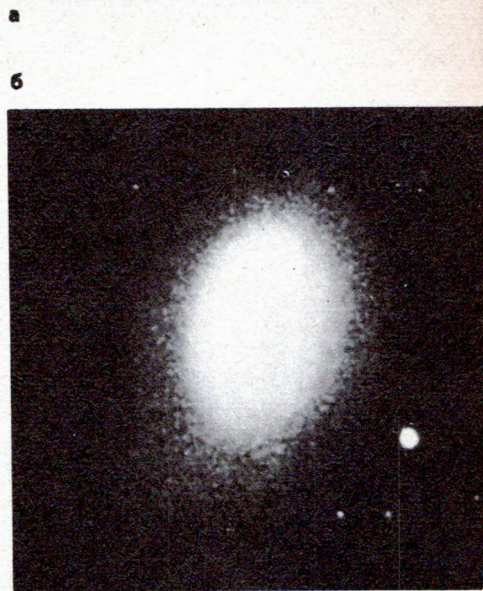
3. Па фатаграфіі (рыс. 100) ацаніце вугал нахілу спіральнай галактыкі да праменя зроку.

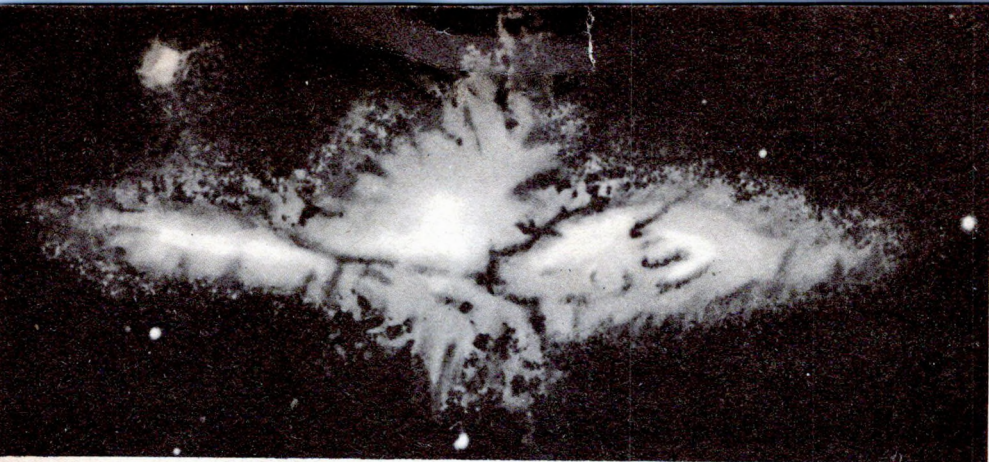
4. На якой адлегласці (у парсеках) ад цэнтра галактыкі (рыс. 87) знаходзіцца ў прасторы ў праекцыі на небе звышновая зорка, калі чырвонае зрушэнне ў іх спектрах 10 000 км/сек, а бачны дыяметр галактыкі 2'?

2. Радыегалактыкі і квазары. Галактыкі спрамяняюць радыёхвалі. Радыеспрамяненне адбываецца ад нейтральнага вадароду на даўжыні хвалі 21 см, а таксама ад іанізаванага гарачага вадароду ў светлых туманнасцях. Акрамя таго, галактыкі служаць крыніцамі нецеплавага радыёспрамянення, якое адбываецца ад тармажэння электронаў магнітным полем галактык. Гэта спрамя-

105. Асноўныя тыпы галактык:

а — няправільная, б — эліптычная, в — спіральная.





106. Неправильная галактика М 82, якая «ўзарвалася», з газавымі струменямі, выкінутымі з яе.

ненне называецца сінхратронным. У радыёгалактык вельмі моцнае сінхратроннае спрамяненне. Характэрна, што часцей за ўсё радыёгалактыка мае два ачагі радыёспрамянення, размешчаныя па абодва бакі ад аптычна бачнай галактыкі.

Было ўстаноўлена, што слаба спрамяняючая радыёгалактыка няправільнай формы ў сузор'і Вялікай Мядзведзіцы М 82 выяўляе вынікі велізарнага выбуху ў яе ядры. Выбух адбыўся каля 2 млн. гадоў назад. У цяперашні час доўгія валокны гарачага вадароду, выкінутага пры выбуху, распаўсюджваюцца са скорасцю каля 1000 км/сек пераважна ў напрамку яе полюсаў (рыс. 106). Напэўна, з выбухам у ядры звязана і ўзнікненне падвойных радыёгалактык. Пры выбуху, які адбываецца ў радыёгалактыцы, два воблакі газу з хуткімі электронамі і з магнітным полем у кожным з іх выкідваюцца ў процілеглыя бакі. Гэтыя воблакі пачынаюць спрамяняць нецеплавое радыёспрамяненне, са ШСЗ выяўлена і рэнтгенаўскае спрамяненне касмічных аб'ектаў.

На месцы некаторых радыёкрыніц знайшлі аб'екты, якія нельга адрозніць на фатаграфіях ад вельмі слабых зорак. У іх спектры ёсць яркія лініі са значным чырвоным зрушэннем. У некаторых выпадках гэта лініі ультрафіялетавай зоны спектра, зрушаныя ў яго бачную частку. Чырвонае зрушэнне іх такое вялікае, што яму адпавядаюць адлегласці ў мільярды светавых гадоў. Гэтыя аб'екты, названыя квазізоркавымі (зоркападобнымі) крыніцамі радыёспрамянення або квазарамі, з'яўляюцца самымі далёкімі нябеснымі цэламі, адлегласці да якіх удалося вызначыць. Найярчэйшы з квазараў мае такі выгляд, як зорка 13-ай зорнай велічыні, але па святцімасці квазары аказваюцца ў сто разоў ярчэйшымі, чым гіганцкія галактыкі.

Застаецца незразумелым паходжанне каласальных патокаў энергіі, якую квазары спрамяняюць у выглядзе святла і ў выглядзе радыёхваляў. Нічога больш грандыёзнага, чым з'ява квазараў, мы

ў прыродзе не ведаем. Хуткае наапапенне ведаў аб квазарах дае надзею сора нааблізца да разгадка іх прыроды.

3. Метагалактыка і касмалогія. Большасць галактык сканцаэтравана ў скапленнях (рыс. 107). Скапленні галактык, як і скапленні зорак, бываюць рассяенымі і шарападобнымі і змяшчаюць дзесяткі, іншы раз тысячы членаў. Найбліжэйшае да нас скапленне галактык знаходзіцца ў сузор'і Дзевы на адлегласці каля 20 млн. пс.

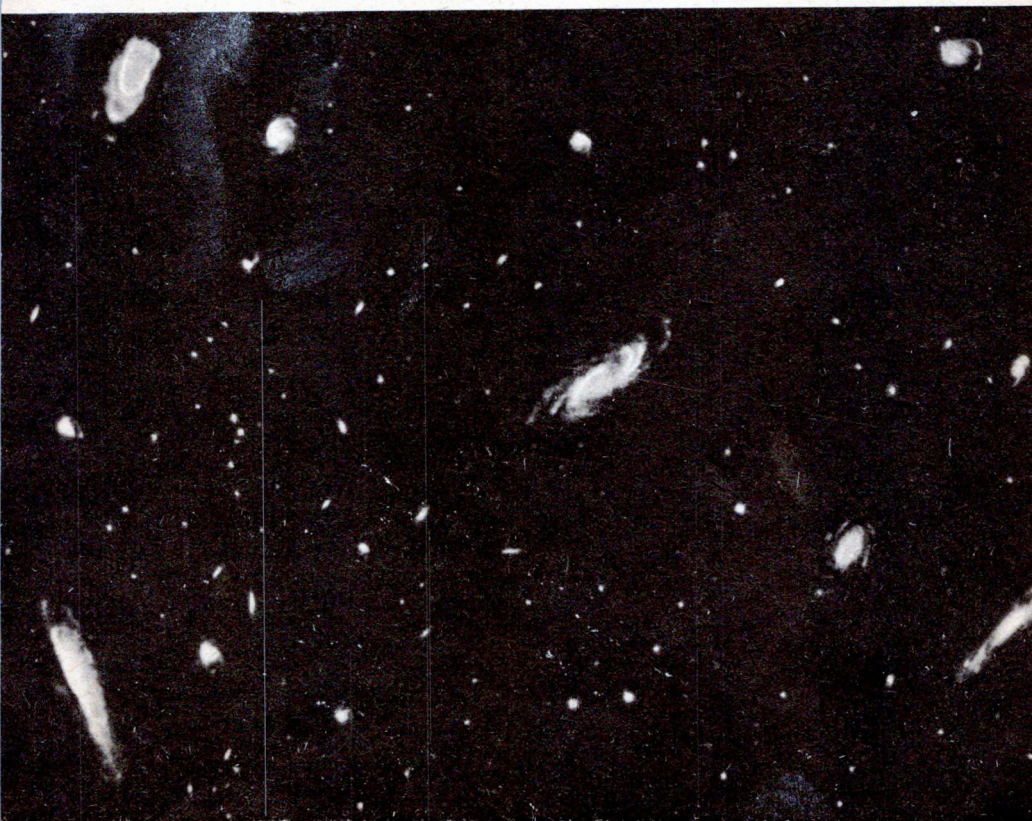
Самы вялікі каталог (скаладзены ў СССР) змяшчае 30 000 галактык, ярчэйшых за 15-ую зорную велічыню.

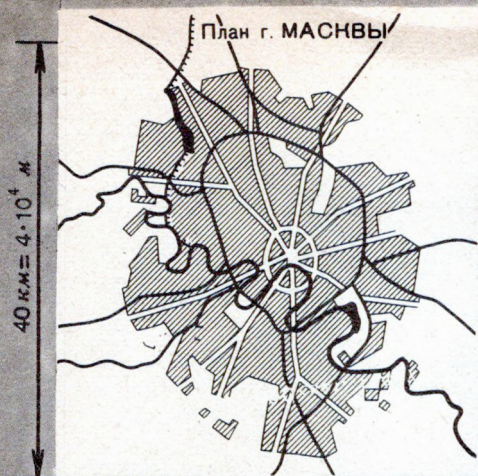
Пры дапамозе моцнага тэлескапа можна зняць многа мільёнаў галактык да 21-ай зорнай велічыні, з якіх самыя далёкія з цяжкасцю адрозніваюцца ад слабых зорак і аддалены ад нас на некалькі мільярдаў светавых гадоў. Размеркаванне скапленняў галактык у прастору, відаць, раўнамернае, і няма прыкмет памяншэння шчыльнасці размяшчэння скапленняў на вялікіх адлегласцях.

Метагалактыкай называецца ўся сістэма скапленняў галактык, з якіх нам пакуль што вядома толькі частка. Каб ясней уявіць сабе маштабы Сусвету, разгледзьце ўважліва рысунак 108.

У Метагалактыцы дзейнічае закон чырвонага зрушэння Хабла, і прызнана, што зрушэнне гэта сапраўды адлюстроўвае рух галактык. А гэта азначае, што галактыкі аддаляюцца ад нас (і адна ад адной) ва ўсе бакі, і тым хутчэй, чым яны далей ад нас. Гэты

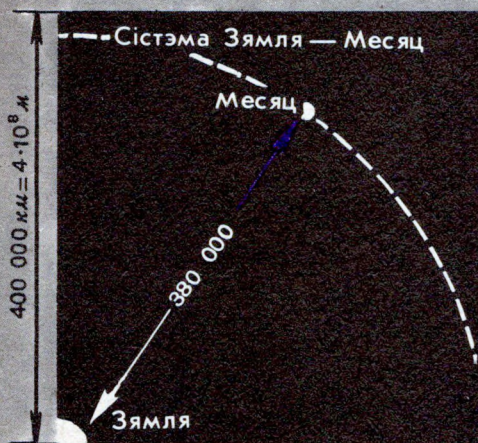
107. Частка скаплення галактык у сузор'і Дзевы.





Адлегласць паміж найбліжэйшымі зоркамі

Сістэма α Цэнтаўра



Прыблізная мяжа назіраемай часткі Сусвету



108. Маштабы Сусвету (паказана, што ўмяшчаецца ў квадраце, старана якога большая за папярэднюю ў 10^4 разоў, а апошняга ў 10^5 разоў. Мяжа дадзена ўмоўна, толькі па парадку велічыні. Яна і вызначаецца ўмоўна і адсоўваецца з кожным годам).

працэс захоплівае ўсю назіраемую частку Сусвету, а магчыма і ўвесь Сусвет, і таму яго назвалі «расшырэннем Сусвету». На магчымасць расшырэння Сусвету ўпершыню ўказаў у сваіх работах савецкі вучоны А. А. Фрыдман на аснове агульнай тэорыі адноснасці А. Эйнштэйна за некалькі гадоў да адкрыцця закону Хабла.

Навука, якая вывучае Сусвет, разглядаючы яго як адзінае цэлае, ~~а~~ Метагалактыку — як частку бязмежнага Сусвету, называецца касмалогіяй. Большасць існуючых касмалагічных тэорый базіруецца на агульнай тэорыі адноснасці. Адзін з вывадаў гэтай тэорыі заключаецца ў тым, што масіўныя нябесныя целы мяняюць уласцівасці навакольнай прасторы, «скрыўляюць» яе, робячы не зусім дакладнымі для яе аксіёмы і тэарэмы еўклідавай геаметрыі. Сукупнае дзеянне ўсіх цел Сусвету прыводзіць да з'яўлення агульнай ці сярэдняй крывізны прасторы, якую можна вымераць, толькі назіраючы вельмі далёкія аб'екты. Сярэдняя крывізна прасторы вельмі малая і вядома недастаткова дакладна.

Як у любой іншай навуцы, у касмалогіі шырока скарыстоўваецца метада мадэліравання, калі вучоныя шукаюць тэарэтычныя мадэлі Сусвету, якія б наглядна паказвалі назіраемыя з'явы. Рэальны Сусвет, як аказалася, добра апісваецца мадэлямі Сусвету, што расшыраецца, у якім сярэдняя крывізна прасторы павольна памяншаецца з часам.

Расшырэнне Сусвету гаворыць аб тым, што раней галактыкі былі ў сярэднім бліжэй адна да адной, чым цяпер, а каля 10—15 млрд. гадоў назад сярэдняя шчыльнасць матэрыі ў Сусвеце, відаць, была такой высокай, што рэчыва ў ёй не магло існаваць у форме зорак і галактык. Быў шчыльны газ, які хутка расшыраўся і складаўся ў асноўным з вадароду і гелію. З гэтага газу потым і ўзніклі галактыкі і зоркі.

Што ўяўляў сабой Сусвет да пачатку расшырэння, на самых ранніх яго этапах, і ці зменіцца ў будучым расшырэнне сцісканнем — гэта вельмі складанае пытанне, над вырашэннем якіх вучоныя працуюць цяпер.

Ідэалістычна настроеныя вучоныя спяшаюцца зрабіць патрэбны рэлігіі вывад аб тым, што пачатак расшырэння Сусвету, сканцэнтраванага ў адным «атаме-бацьку», пароджаны быў звышнатуральным «божым актам». На самай жа справе магчымасць паходжання ўсяго Сусвету з аднаго атама з'яўляецца нічым не абгрунтаванай выдумкай. Яна была патрэбна праціўнікам матэрыялізму толькі для нібыта навуковага пацвярджэння біблейскай легенды аб стварэнні свету.

● **Раздзел астраноміі, які займаецца пытаннямі паходжання і развіцця нябесных цел, называецца касмагоніяй.**

Матэрыялістычная касмагонія лічыць недарэчным пытанне аб пачатку свету і аб паходжанні Сусвету. Увесь вопыт чалавецтва паказвае, што матэрыя не ствараецца і не знішчаецца. Яна толькі мяняе форму свайго існавання. Закон захавання рэчыва і закон захавання энергіі пры магчымасці пераходу яе розных відаў аднаго у другі ляжаць у аснове навуковай касмагоніі. Касмагонія ~~анірае~~ца не толькі на ўсю сукупнасць навук аб прыродзе, але і на філасофію.

Асноўная цяжкасць рашэння пытанняў касмагоніі заключаецца ў тым, што нябесныя целы развіваюцца і змяняюцца надзвычайна павольна. У параўнанні з узростам навукі ўзрост нябесных цел незвычайна вялікі. *Ужо Зямля існуе каля $5 \cdot 10^9$ гадоў*, а ёсць свяцілы яшчэ больш старыя, хоць вядомы і зусім маладыя.

31. УЗРОСТ НЯБЕСНЫХ ЦЕЛ. УЗНІКНЕННЕ ГАЛАКТЫК І ЗОРАК

1. Узрост нябесных цел. Узрост нябесных цел вызначаюць рознымі метадамі. Самы дакладны з іх заключаецца ў вызначэнні ўзросту горных парод па адносінах колькасці ў іх радыеактыўнага элемента урану да колькасці свінцу. Свінец з'яўляецца канчатковым прадуктам самаадвольнага распаду урану. Скорасць гэтага працэсу вядома дакладна, і змяніць яе нельга ніякімі спосабамі. Чым менш урану засталася і чым больш свінцу накіпілася ў пародзе, тым большы яе ўзрост. Самыя старажытныя горныя пароды ў зямной кары маюць узрост некалькі мільярдаў гадоў. Зямля цалкам узнікла, мабыць, некалькі раней, чым зямная кара. Вывучэнне акамянелых

рэшткаў жывёл і раслін паказвае, што за апошнія сотні мільёнаў гадоў спрамяненне Сонца істотна не змянілася. Значыць, *Сонца павінна быць старэйшым за Зямлю*. Ёсць зоркі, як даказаў упершыню акадэмік В. А. Амбарцумян, многа маладзейшыя за Зямлю. Па тэмпу расходавання энергіі гарачымі звышгігантамі можна меркаваць аб тым, што магчымыя запасы іх энергіі дазваляюць ім расходаваць яе так шчодро толькі кароткі час. Значыць, гарачыя звышгігanty маладыя — ім 10^6 — 10^7 гадоў.

Маладыя зоркі знаходзяцца ў спіральных галінах галактык, як і газавыя туманнасці, з рэчыва якіх узнікаюць зоркі. Туманнасці ўтрымліваюцца ў галінах магнітным полем, зорак жа магнітнае поле ўтрымаць не можа. Зоркі, якія не паспелі рассяцца з галіны, маладыя. Выходзячы з галіны, яны старэюць.

Зоркі шаравых скапленняў, па сучаснай тэорыі ўнутранай будовы і эвалюцыі зорак, самыя старыя. Ім можа быць да 10^{10} гадоў. Зразумела, што зорныя сістэмы — галактыкі павінны быць старэйшымі, чым зоркі, з якіх яны складаюцца. Узрост большасці з іх павінен быць не меншы, чым 10^{10} гадоў. У зорным Сусвеце адбываюцца не толькі павольныя змяненні, але і хуткія, нават катастрафічныя. Напрыклад, за час парадку года звычайная, відаць, зорка ўспыхвае, як «звышновая» (§ 25. 3), і за той жа прыкладна час спадае ў бляску. У выніку яна, верагодна, ператвараецца ў малюсенькую зорку, што складаецца з нейтронаў і верціцца з перыядам парадку секунды і хутчэй. Яе шчыльнасць (пры спадзе) узрастае да шчыльнасці атамных ядзер і нейтронаў (каля 10^{13} г/см^3), і яна становіцца магутнейшым спрамяняльнікам радыё- і рэнтгенаўскіх праменняў, што, як і яе святло, пульсуюць з перыядам вярчэння зоркі. Прыкладам такога пульсара, як іх называюць, з'яўляецца слабая зорачка ў цэнтры расшыраючайся Крабападобнай радыётуманнасці (§ 25. 3). Астаткаў успышак звышновых зорак у выглядзе пульсараў і радыётуманнасцей, падобных да Крабападобнай, вядома ўжо многа.

У першую чаргу навукай было пастаўлена пытанне аб паходжанні сонечнай сістэмы, але ў далейшым стала зразумела, што яно павінна вырашацца разам з праблемай паходжання і развіцця зорак. Мусіць, і яе цяжка рашыць правільна без ведання таго, як фарміруюцца і развіваюцца галактыкі.

2. Узнікненне галактык і зорак. Акадэмік В. А. Амбарцумян выказаў довады, што галактыкі і, можа быць, Метагалактыка ўтварыліся з якогасці звышшчыльнага «дазоркавага рэчыва». На яго думку, яно валодае здольнасцю самаадвольна драбіцца і ўтварае галактыкі. Ядры іх шляхам далейшага драбнення параджаюць асацыяцыі «дазоркавых» цел, а тыя, дробячыся, параджаюць і зоркі, і дыфузную матэрыю. Галактыкі з актыўнымі ядрамі, якія радыёспрамяняюць і выкідваюць газы, ён лічыць маладымі.

Большасць вучоных прытрымліваецца, аднак, ранейшай, значна больш падрабязна распрацаванай гіпотэзы аб тым, што зоркі і галактыкі ўзніклі з водна-геліевага асяроддзя Метагалактыкі шляхам яе распаду на асобныя воблакі. За гэтым ішло ўшчыльненне

кожнага з іх у сферычнае воблака за кошт цягацення. Яно распадалася на мноства згусткаў, маючых таму таксама сферычнае размеркаванне. Так узніклі першыя зоркі, якія змяшчалі мала цяжкіх элементаў. Гэта зоркі шаравых скапленняў, эліптычных галактык і ядзер спіральных галактык.

У эліптычных галактыках павышаная шчыльнасць газу спрыяла кандэнсацыі яго ў зоркі. Працэс утварэння зорак у эліптычных сістэмах даўно закончыўся. Іх зоркі з'яўляюцца самымі старымі зоркамі.

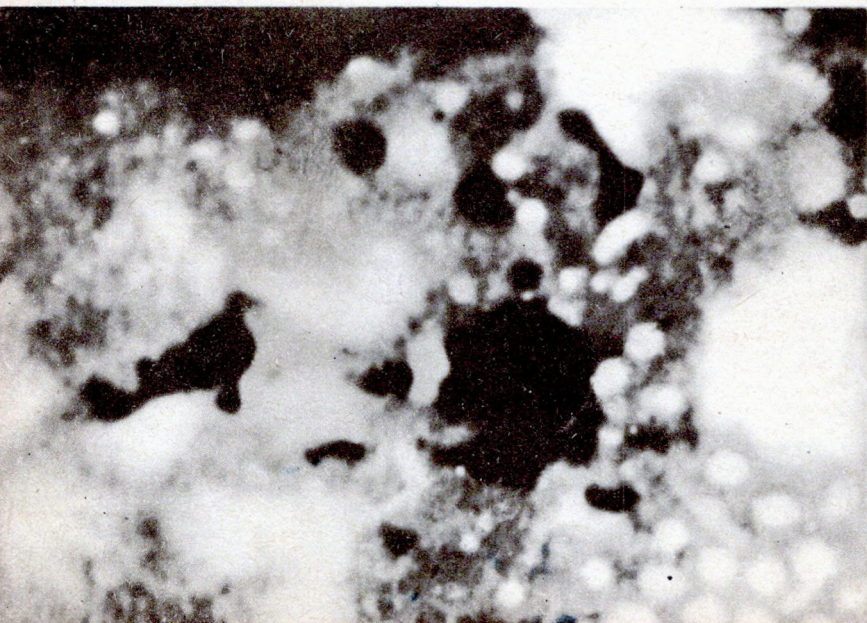
У 1931 г. аўтарам гэтага падручніка было даказана, што зоркі ў працэсе эвалюцыі выкідваюць столькі газу, што яго дастаткова для фарміравання новых пакаленняў зорак. У нетрах зорак, асабліва звяшновых, у працэсе ядзерных рэакцый выпрацоўваюцца цяжкія элементы. Таму газ, які выкідваецца зоркамі, ужо ўзбагачаны імі. Так узніклі і ўзнікаюць шляхам кандэнсацыі паўторна накопленнага газу зоркі новага пакалення, больш маладога. Яны адрозніваюцца ад ранейшых сваім хімічным саставам.

У Сусвеце ідзе бесперапыннае развіццё і змяненне не толькі арганічнага, але і неарганічнага рэчыва.

32. РАЗВІЦЦЕ ЗОРАК (для дадатковага чытання)

На карысць узнікнення зорак шляхам гравітацыйнай кандэнсацыі (г. зн. узаемнага цягацення частачак) са шчыльнага газавага або газапылавага асяроддзя гавораць многія факты. На фоне светлых туманнасцей былі адкрыты вельмі маленькія, але надзвы-

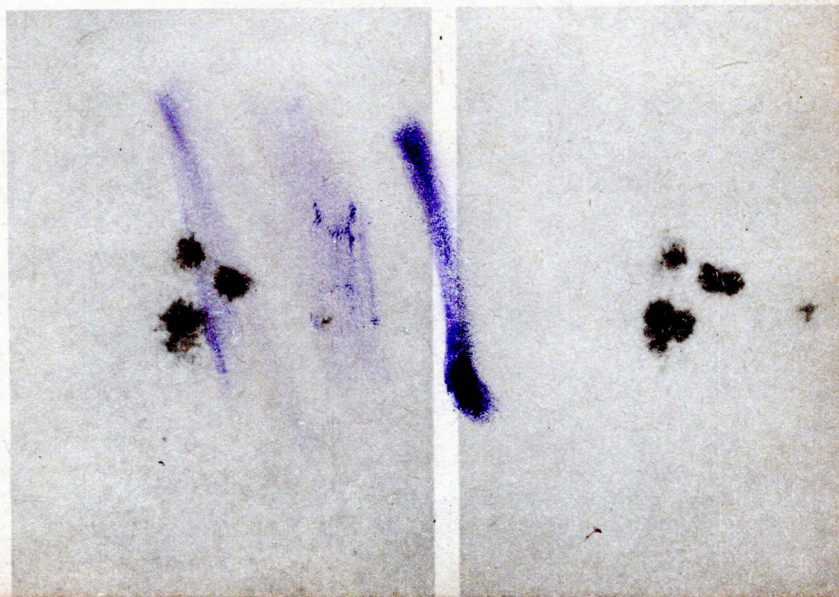
109. Глобулы — маленькія, чорныя, вельмі шчыльныя газапылавая туманнасці.



чай шчыльныя пылавыя туманнасці, названыя глобуламі (рыс. 109). Магчыма, што яны з'яўляюцца зародкамі зорак. Разам з гэтым Ара (Мексіка) і Хербіг (ЗША) у пылавых туманнасцях сузор'я Арыёна выявілі малюсенькія, вельмі слабыя згусткі (рыс. 110). У адным з іх пазней з'явілася туманная зорачка, якую раней тут не бачылі. Можна быць, гэта зарадзілася зорка. Зоркі, што зараджаюцца, называюцца пратазоркамі. Далей, гіпотэза, якая правяраецца шматлікімі разлікамі на аснове тэорыі ўнутранай будовы зорак, рысую такую карціну.

Пратазоркі на дыяграме $K-C$ знаходзяцца правей галоўнай паслядоўнасці, паколькі іх тэмпература яшчэ ніжэй, чым ва ўзнікшых зорак дадзенай масы і адпавядаючай ёй сваячасці. Сціскаючыся, зорка «рухаецца» гарызантальна ўлева па дыяграме $K-C$, пакуль у нетрах зорак тэмпература не падывецца да некалькіх мільёнаў градусаў. Тады пачнуцца ядзерныя рэакцыі з удзелам лёгкіх элементаў і вылучэннем цяпла. Пераменнасць бляску зорак — знак таго, што яны яшчэ не сталі ўстойлівымі. Награванне ўводзіць у дзеянне рэакцыю ператварэння вадароду ў гелій і спыняе сцісканне. Ціск газу знутры ўраўнаважвае цягаценне да цэнтра. Зорка становіцца ўстойлівай і пападае на галоўную паслядоўнасць. Зорка з масай такой, як у Сонца, сціснулася і з'явілася на галоўнай паслядоўнасці за 10^8 гадоў. Месца прыходу зоркі на галоўную паслядоўнасць справа тым вышэй, чым больш яе маса. Чым больш масіўная зорка, тым тэмпература ў яе нетрах вышэйшая і хутчэй «выгорае» вадарод, ператвараючыся ў гелій. Блакітныя зоркі «спальваюць» вадарод, знаходзячыся на галоўнай паслядоўнасці, за $10^6 - 10^7$ гадоў, а Сонца толькі за 10^{10} гадоў. Унутранай энергіі Сонца хопіць яшчэ на мільярд гадоў.

110. Зоркі Ара — Хербіга. Аб'екты, якія з'явіліся на правым здымку (1954 г.) і адсутнічалі на левым здымку (1947 г.), можна быць, з'яўляюцца ўзнікшымі пратазоркамі.



З выгараннем вадароду ў ядры зоркі пачынаецца трэцяя стадыя эвалюцыі ў форме руху па дыяграме $K - C$ управа і ўверх ужо ў якасці чырвонага гіганта. У канцы гэтай стадыі ў чырвоных гігантах ідзе рэакцыя ператварэння гелію ў вуглярод. У трэцяй стадыі гэта рэакцыя спыняецца. Зорка, ушчыльніўшыся, прыходзіць у стан белага, крайне шчыльнага карліка. Пры малой паверхні і таму скупым расходаванні энергіі белы карлік зноў можа свяціць за кошт сціскання вельмі доўгі час.

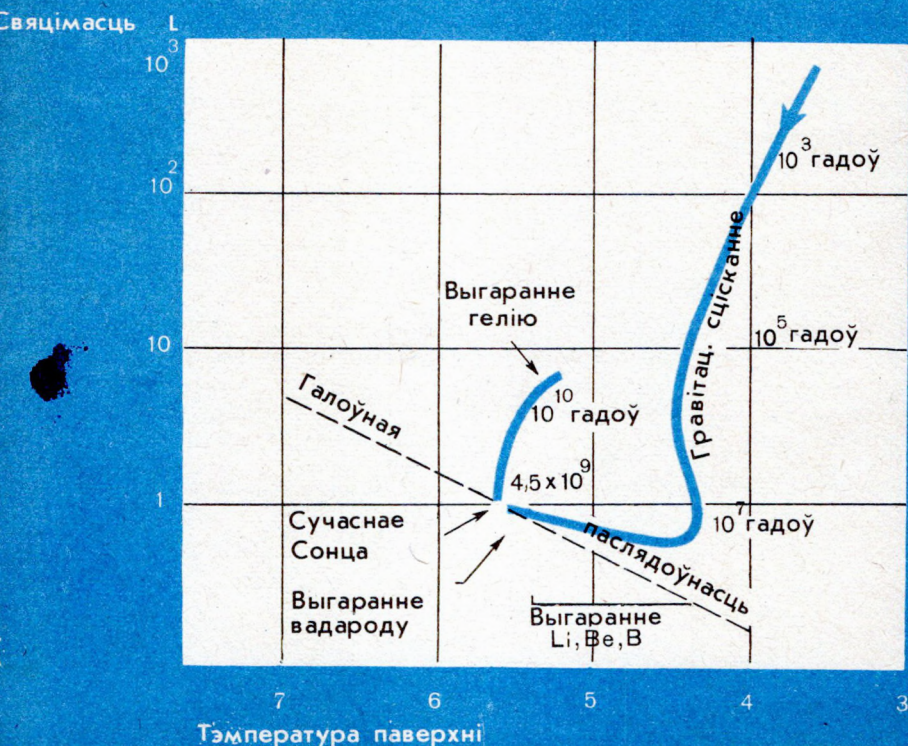
На рысунку 111 паказана схематычна эвалюцыя Сонца ў мінулым і ў будучым. Лічбы на крывой паказваюць працягласць адпаведных стадый эвалюцыі.

33. УЗНІКНЕННЕ ПЛАНЕТНЫХ СІСТЭМ І ЗЯМЛІ

Рашэнне пытання аб паходжанні сонечнай сістэмы сустракае асноўную цяжкасць у тым, што іншыя падобныя сістэмы ў іншых стадыях развіцця мы не назіраем. Нашу сонечную сістэму няма з чым параўноўваць.

Праўда, каля некаторых найбліжэйшых зорак, відаць, існуюць планеты, таму што гэтыя зоркі выяўляюць ледзь прыкметныя пе-

111. Схема эвалюцыі Сонца і зорак падобнага з ім тыпу (тэмпература дадзена ў $10^{3/0} K$).



рыядычныя абарачэнні каля некаторага цэнтра мас. Іх нябачны спадарожнік мае вельмі малую масу і з'яўляецца, відавочна, планетай або групай планет. Але больш аб гэтым пакуль нічога сказаць нельга. Аднак гэта з'ява важная ў тых адносінах, што гаворыць супраць выключнасці сонечнай сістэмы і Зямлі ў прасторы. Сістэмы, падобныя да нашай сонечнай сістэмы, павінны быць дастаткова распаўсюджаны, і іх узнікненне павінна быць не выпадковым, а заканамернай з'явай.

Гістарычна для развіцця матэрыялістычнага светапогляду вельмі вялікую ролю адыгрывалі першыя навуковыя меркаванні аб паходжанні сонечнай сістэмы. Першай была гіпотэза нямецкага філосафа І. Канта. У сярэдзіне XVIII ст. ён выказаў ідэю аб узнікненні сонечнай сістэмы з воблака халодных пылінак, якія знаходзіліся ў хаатычным руху. У 1796 г. французскі вучоны П. Лаплас падрабязна апісаў гіпотэзу ўтварэння Сонца і планет з газавай туманнасці, якая ўжо вярцелася.

Лаплас улічыў асноўныя характэрныя рысы сонечнай сістэмы, якія павінна растлумачыць усякая гіпотэза аб яе паходжанні: асноўная маса сістэмы сканцэнтравана ў Сонцы; арбіты планет і спадарожнікаў амаль кругавыя і ляжаць амаль у адной плоскасці; адлегласці паміж імі ўзрастаюць па пэўнаму закону; амаль усе планеты не толькі абарачаюцца вакол Сонца, але і верцяцца вакол сваіх восей у адным напрамку.

Пазнейшае развіццё навукі дабавіла неабходнасць растлумачыць размеркаванне моманту колькасці руху ў сонечнай сістэме¹.

Момант колькасці руху Сонца вельмі малы ў параўнанні з сумарным момантам колькасці руху планет. Гэта было найбольш сур'ёзнае сярод прычанняў супраць гіпотэзы Лапласа. У цяперашні час усе вучоныя прыйшлі да вываду аб тым, што *Зямля ніколі не была ні газавай, ні вогненна-вадкай, а ўзнікла з халоднай газапылавой масы*.

У дадзены перыяд найбольш распрацаванай з'яўляецца гіпотэза савецкага акадэміка О. Ю. Шміта аб узнікненні планет з газыпаваго асяроддзя.

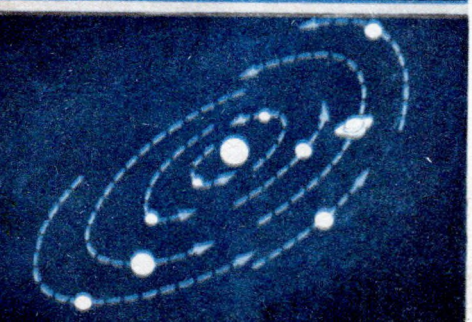
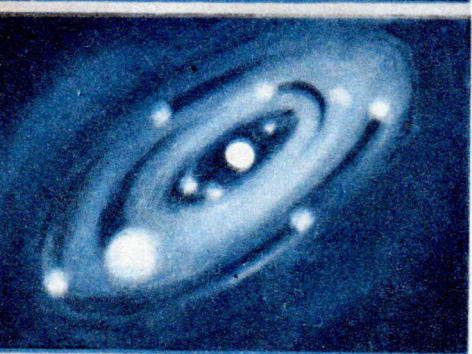
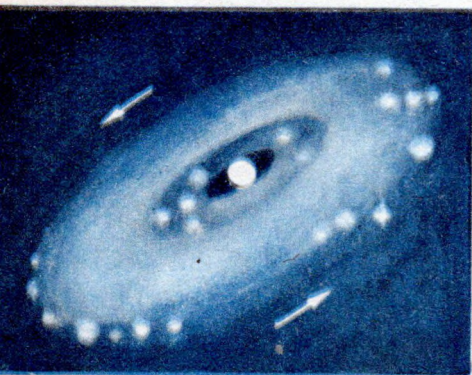
Згодна з гіпотэзай Шміта, велізарнае халоднае газыпалавое воблака, якое верціцца вакол Сонца, павінна было сплюшчвацца. Гэта выклікалася сутыкненнем частачак і абменам іх энергіяй і колькасцю руху, што вяло да размеркавання частачак па скорасцях і напрамках так, каб сутыкненні былі магчыма больш рэдкімі. Так, пачынаўся выгляд дыска, які меў таўшчыню ў тысячу разоў меншую за яго дыяметр. Арбіты частачак сталі кругавымі з рухамі ў адным напрамку. Буйныя частачкі далучылі да сябе дробныя. Хутчэй за ўсё расла маса найбуйнейшых частачак.

¹ Момант колькасці руху сонечнай сістэмы можна выразіць велічыняй: $\Sigma m \cdot r^2 \cdot \omega$, дзе m — маса планеты, r — яе сярэдняя адлегласць ад Сонца, ω — вуглавая скорасць.

Так узнікла некалькі буйных цел — планет (рыс. 112). Зямля вырасла да яе сучаснай масы па разліках за некалькі сот мільёнаў гадоў. Зямля, халодная на паверхні, стала разаграванца за кошт радыеактыўных элементаў. Гэта прывяло да распаўсюлення зямных нетраў. Цяжкія элементы прадэфундзіравалі ўніз, утварыўшы ядро, а лёгкія ўтварылі кару. У роі частчак, якія акружалі зародкі планет, паўтараўся працэс зліпання частчак і ўзніклі спадарожнікі планет. Удары падаючых на планеты цел прывялі планеты ў вярчэнне.

У частках пылавога дыска, аддаленых ад Сонца, была нізкая тэмпература, і вадарод пры фарміраванні вялікіх планет не выпарыўся. Моцнае награванне воблака паблізу Сонца паскарала рассяянне вадароду, і ў планетах зямной групы яго амаль не захавалася.

112. Этапы ўзнікнення Зямлі і планет з газапылавога воблака па гіпотэзе О. Ю. Шміта.



Шміту ўдалося таксама ўпершыню тэарэтычна вывесці назіраемы закон планетных адлегласцей ад Сонца.

Найбольш цяжкім з'яўляецца тлумачэнне таго, як першапачатковае газапылавае воблака магло акружыць Сонца і атрымаць момант вярчэння, які ёсць цяпер у планет.

Англійскі вучоны Хойл распрацаваў тэорыю, па якой «пратасонца» пры нараджэнні было згусткам у газапылавой туманнасці, якая змяшчала магнітнае поле. Тады пры некаторых умовах момант колькасці руху пратасонца, якое хутка вярцелася, паменшыўся з прычыны тармазячага дзеяння магнітнага поля, а ў рэчыва дыска павялічыўся і захаваўся ў планет. Пратасонца стала вярцецца павольна. Гэта асяроддзе пачало папаўняцца выцяканнем рэчыва з экватара пратасонца, калі скорасць яго вярчэння была ўсё ж яшчэ дастаткова вялікая, а дыяметр быў роўны дыяметру арбіты Меркурыя. Так стварыўся дыск пратапланетнага воблака. Далейшую эвалюцыю воблака можна ўявіць так, як яе рысавала гіпотэза Шміта. Але для гэтага гарачы газ павінен быў якімсьці чынам узбагаціцца вялікай прымессю пылу.

4. ПРАБЛЕМА ПААЗЯМНЫХ ЦЫВІЛІЗАЦЫЙ І МАТЭРЫЯЛІСТЫЧНАЯ КАРЦІНА СУСВЕТУ.

У цяперашні час мы не можам яшчэ нават прыблізна ацаніць, якая колькасць зорак мае планеты, на колькіх з іх магло зарадзіцца жыццё. На колькі яно паспела ўзнавіць разумныя істоты і тэхніку, дапускаючую магчымасць абменьвацца па радыё інфармацыяй з іншымі цывілізацыямі? Як часта ў космасе сустракаюцца цывілізацыі, здольныя на гэта адначасова з намі? Што ў Галактыцы такіх цывілізацый многа, гэта несумненна пры самых скупых падліках. Але каб такая цывілізацыя аказалася дастаткова блізкай да нас, каб мела сэнс «размаўляць» з ёю, гэта справа выпадку, бо радыёсігналы паміж блізкімі зоркамі будуць ісці не менш, чым дзесяткі гадоў, і столькі ж гадоў будзе праходзіць да адказу. Хуткае развіццё навукі і тэхнікі скоры зробіць праблему пошуку іншых цывілізацый больш зразумелай.

Навука пры дапамозе гіпотэз тлумачыць паходжанне і развіццё нябесных цел. Навуковыя гіпотэзы грунтуюцца на ўсёй сукупнасці нашых ведаў і імкнуцца задавальняць многім навуковым патрабаванням. З часам некаторыя з гіпотэз становяцца тэорыямі.

У процілегласць рэлігіі, якая прыпісвае ўсё, што адбываецца, волі бога і сцвярджае, што свет непазнавальны, навука крок за крокам пазнае Сусвет. Навука строга размяжоўвае вядомае і дапушчальнае, дапушчальнае і невядомае. Сіла навукі ў яе руху наперад. Яна паступова замяняе дапушчальнае цвёрда ўстаноўленым, а невядомае замяняе дапушчальным. Гэтым навука пастаянна даказвае магчымасць неабмежаванага пазнання прыроды.

Сусвет у святле навуковых даных аказваецца бесканечным у часе, г. зн. вечным і вечна змяняючымся. Ён ніколі не меў пачатку і ніколі не будзе мець канца, ён заўсёды існаваў і будзе існаваць. Усё гэта датычыцца Сусвету цалкам, дакладней, матэрыі, з якой ён складаецца. Асобныя ж яго часткі, напрыклад Зямля, сонечная сістэма, зоркі і нават зорныя сістэмы — галактыкі, пастаянна ўзнікаюць, робяць доўгі шлях развіцця і, нарэшце, спыняюць сваё існаванне з тым, каб утвараючы іх матэрыя прыняла новую форму. На змену аджыўшым светам узнікаюць новыя, на іх з цягам часу можа ўзнікнуць жыццё, якое шляхам паступовага ўскладнення ўзнаўляе сваё вышэйшае выражэнне — разумныя мыслячыя істоты.

І. ПРЫБЛІЖАНЫЯ ЛІКАВЫЯ ЗНАЧЭННІ (ПАЖАДАНЫЯ ДЛЯ ЗАПАМІНАННЯ) НАЙБОЛЬШ ВАЖНЫХ ВЕЛІЧЫНЬ, ЯКІЯ СУСТРАКАЮЦА У АСТРАНОМІІ

Бачны вуглавы дыяметр Сонца і Месяца

Нахіл экліптыкі да экватара

Сярэдні радыус Зямлі

Рознасць экватарыяльнага і палярнага радыусаў Зямлі

Працягласць года

Працягласць сінадычнага месяца (прамежак паміж двюма аднолькавымі фазамі Месяца)

Працягласць зорнага (сідэрычнага) месяца (перыяд абарачэння Месяца вакол Зямлі)

Маса Сонца ў параўнанні з масай Зямлі

Самы кароткі перыяд абарачэння планеты (Меркурыя)

Самы доўгі перыяд абарачэння планеты (Плутона)

Дыяметр самай вялікай планеты (Юпітэра)

Сярэдняя адлегласць Месяца ад Зямлі

Сярэдняя адлегласць Зямлі ад Сонца, або 1 астрана-мічная адзінка

1 парсек

Адлегласць ад Сонца да найбліжэйшай планеты (Меркурыя) у параўнанні з адлегласцю Зямлі ад Сонца

Сярэдняя адлегласць ад Сонца да самай далёкай планеты (Плутона)

Адлегласць ад сонечнай сістэмы да найбліжэйшай зоркі (α Цэнтаўра)

Папярочнік нашай зорнай сістэмы — Галактыкі

Адлегласць да найбліжэйшай спіральнай зорнай сістэмы — галактыкі ў сузор'і Андромеды

Колькасць зорак, бачных няўзброеным вокам

Дыяметр Месяца ў параўнанні з дыяметрам Зямлі

Дыяметр Сонца ў параўнанні з дыяметрам Зямлі

Тэмпература паверхні Сонца

Сярэдні перыяд змянення колькасці сонечных плям

Тэмпература зорак

Узрост зямной кары

Вясенняе раўнадзенства

Летняе сонцастаянне

Асенняе раўнадзенства

Зімянае сонцастаянне

$1/2^\circ$

$23\frac{1}{2}^\circ$

6370 км

21 км

365 сут 5 г 49 мін

$29\frac{1}{2}$ сут

$27\frac{1}{3}$ сут

330 000

3 месяцы (88 сут)

250 гадоў

11 дыяметраў Зямлі

380 000 км

150 000 000 км

206 265 а. адз.,

або $3\frac{1}{4}$ свет. года

0,4 а. адз.

40 а. адз.

4 свет. гады,

або $1\frac{1}{3}$ пс, або

270 000 а. адз.

100 000 свет. гадоў

2 000 000 свет. гадоў

каля 6000

$1/4$

109

6000°

11 гадоў

ад 3000°K (чырвоныя зоркі) да $30\,000^\circ\text{K}$ (блакітнаватыя зоркі)
каля 5 млрд. гадоў

» 21 сакавіка

» 22 чэрвеня

» 23 верасня

» 22 снежня

II. ГРЭЧАСКІ АЛФАВІТ

α — альфа
β — бэта
γ — гама
δ — дэльта
ε — эспілон
ζ — дзета
η — эта
θ — тэта

ι — йота
κ — капа
λ — ламбда
μ — мі (мю)
ν — ні (ню)
ξ — ксі
ο — омікрон
π — пі

ρ — ро
σ — сігма
τ — тау
υ — іпсілон
φ — фі
χ —хі
ψ — псі
ω — амега

III. НАЙБОЛЬШ УЖЫВАЛЬНЫЯ НАЗВЫ ЯРКІХ ЗОРАК

Алголь	— β Персея	Кастор	— α Блізнят
Альдэбаран	— α Цяльца	Міцар	— ζ В. Мядзведзіцы
Альтаір	— α Арла	Полукс	— β Блізнят
Антарэс	— α Скарпіёна	Палярная	— α М. Мядзведзіцы
Арктур	— α Валапаса	Працыён	— α М. Пса
Белятрыкс	— γ Арыёна	Рэгул	— α Льва
Бетэльгейзе	— α Арыёна	Рыгель	— β Арыёна
Вега	— α Ліры	Сірыус	— α В. Пса
Дэнеб	— α Лебедзя	Спіка	— α Дзевы
Капела	— α Возніка	Фамальгаут	— α Паўднёвай Рыбы

Асноўныя даныя аб гэтых зорках гл. у дадатку IV.

IV. СПІС НЕКАТОРЫХ ЯРКІХ ЗОРАК, БАЧНЫХ У СССР

У табліцы абазначэнне спектра ў той жа час служыць указаннем колеру: *O*, *B* — блакітныя зоркі, *A* — белыя, *F* — жаўтаватыя, *G* — жоўтыя, *K* — аранжавыя, *M* — чырвоныя. α, δ павольна мяняюцца ў выніку перамяшчэння зямной восі. Тут яны дадзены для 1950 г.

Зорка	Зорная велічыня	Прамае ўзыходжан- не α	Схіленне δ	Спектр. клас **	Адлегласць у парсеках.
		$^{\circ}$ $'$ $^{\circ}$ $'$	$^{\circ}$ $'$ $^{\circ}$ $'$		
α Цяльца	1,06	4 33,0	+16 25	K	20,8
β Арыёна	0,34	5 12,1	— 8 15	B	330
α Возніка	0,21	5 13,0	+45 57	G	13,7
α Арыёна	0,92*	5 52,5	+ 7 24	M	200
α В. Пса	—1,58	6 42,9	—16 39	A	2,7
α Блізнят	1,99	7 31,4	+32 00	A	13
α М. Пса	0,48	7 36,7	+ 5 21	F	3,5
β Блізнят	1,21	7 42,3	+28 09	K	10,7
α Льва	1,34	10 05,7	+12 13	A	25,6
α Дзевы	1,21	13 22,6	—10 54	B	47,7
α Валапаса	0,24	14 13,4	+19 27	K	11,1
α Скарпіёна	1,22*	16 26,3	—26 19	M	52,5
α Ліры	0,14	18 35,2	+38 41	A	8,1
α Арла	0,89	19 48,3	+ 8 44	F	5,0
α Лебедзя	1,33	20 39,7	+45 06	A	290
α Паўднёвай Рыбы	1,28	22 54,9	—29 53	A	7,0

* Злёгка мяняюць свой бляск.

** Без удакладнення яго.

V. ТАБЛІЦА СОНЕЧНАЙ СІСТЭМЫ

	Зорны перыяд абара-чэння (у гадах)	Сінадычны перыяд абара-чэння (у сутках)	Сярэдняя адлегласць ад Сонца		Нахіл арбіты да экліптыкі	Маса (Зямлі = 1)
			у астр. адз.	у млн. км		
Меркурый	0,241 ¹	116	0,387	58	7°00'	0,05
Венера	0,615 ²	584	0,723	108	3 24	0,81
Зямля	1,000	—	1,000	150	—	1,00
Марс	1,881	780	1,524	228	1 51	0,11
Юпітэр	11,86	399	5,203	778	1 18	318
Сатурн	29,46	378	9,539	1426	2 29	95,1
Уран	84,01	370	19,19	2869	0 46	14,5
Нептун	164,7	368	30,07	4496	1 46	17,3
Плутон	248,9	367	39,65	5929	17 08	?
Сонца	—	—	—	—	—	333 000

¹ Або 88 сут.

² Або 225 сут.

VI. УКАЗАННІ ДА НАЗІРАННЯЎ

Назіранні асноўных нябесных з'яў кожным вучнем краіне неабходны. Аднак назіраць нябесныя свяцілы можна толькі ў яснае, безвогнечнае надвор'е. Усе свяцілы, апрача Сонца і іншы раз Месяца, не бываюць бачны ўдзень. Некаторыя з'явы адбываюцца пад раніцу або толькі ў пэўныя рэдкія моманты, напрыклад зацьменні, і мы не можам убачыць іх у іншы, зручны для нас час. Таму, а таксама маючы на ўвазе кароткі тэрмін, адведзены на вывучэнне астраноміі ў школе, назіранні ні ў якім разе нельга адкладваць. Іх трэба выканаць пры першай жа магчымасці, выкарыстоўваючы ясныя вечары і не імкнучыся прыўрочыць назіранні да вывучэння адпаведных пытанняў праграмы на ўроку. Дасягнуць такой узгодненасці немагчыма па ўмовах надвор'я.

Трэба імкнуцца выканаць як мага больш назіранняў на працягу верасня і кастрычніка, пакуль яшчэ часта бываюць ясныя вечары і не так холадна. У лістападзе і зімой яснае надвор'е бывае даволі рэдка і холад перашкаджае назіранню. З сакавіка надвор'е часцей бывае ясным, але цёмната надыходзіць усе пазней і пазней.

Назіраць трэба ў месцы, захаваным ад святла ліхтароў і вокнаў дамоў. Зоркі трэба назіраць, калі не перашкаджае святло Месяца. Пажадана мець пры сабе ліхтарык, які не дае яркага святла і дазваляе ў патрэбны час паглядзець на зорную карту, зрабіць запіс або замалеўку.

На працягу верасня і кастрычніка зусім неабходна (і чым раней, тым лепш) правесці такія назіранні.

Шчыльнасць, г/см ³	Экватарыяльны дыяметр		Сцісканне	Зорны перыяд вярчэння вакол восі	Нахіл экватара да плоскасці арбіты	Лік вядомых спадарожнікаў планет
	Зямлі = 1	км				
5,6	0,38	4900	0	58,65 сут	малы	—
5,2	0,95*	12 100*	0	243,0** сут	малы	—
5,5	1,00	12 756	1/298	24 ^г 56 ^м 4 ^с	23°27'	1
4,0	0,53	6800	1/150:	24 ^г 37 ^м 23 ^с	24°	2
1,3	11,2	142 000	1/16	9 ^г 50 ^м ***	3°0	13
0,7	9,5	120 000	1/10	10 ^г 14 ^м	26°,7	10
1,5	3,9	50 000	1/40:	10,8,**	98°	5
1,7	3,9	50 000	1/60	15,8 ^г	29°	2
?	<0,3	<2000?	?	6,4 сут	?	?
1,4	109,1	1 392 000	0	25,4 сут	7°15'	—

* Дыяметр цвёрдай паверхні

** Вярчэнне адваротнае.

*** На экватары.

Дзукроп'е (!) азначае недакладнасць ліку.

1. Адзін раз прыблізна праз кожныя 2 тыдні (у залежнасці ад надвор'я) заўважыць час і зарысаваць (у адносінах да навакольных прадметаў) на бачным гарызонце месца захаду або ўсходу Сонца. Замалёўку рабіць кожны раз з аднаго і таго ж месца. Пераканацца ў змяненні з часам пункта ўсходу або захаду Сонца.

2. Пажадана выканаць тое ж у адносінах да Месяца. Такія назіранні Месяца трэба весці ўжо штодзённа, адзначыўшы ўсяго 3—4 яго ўсходы (або захады).

3. Прасачыць (дзень пры дні) поўны цыкл змянення фаз (выгляду) Месяца. Пры гэтым зрабіць не менш дзвюх замалёвак у сумежныя дні выгляду і становішча Месяца сярод зорак на копіі, знятай з зорнай карты. Гэтыя замалёўкі трэба рабіць, калі Месяц свеціць не вельмі моцна і калі бачны таму няяркія зоркі. Калі ж заўважаць становішча Месяца адносна толькі самых яркіх зорак, то (паколькі іх мала на небе) рух Месяца на 13° у суткі мы можам выразна не заўважыць. Гэтыя назіранні пакажуць нам, як Месяц перамяшчаецца на ўсход на фоне зорак.

4. Увосень пры дапамозе рухомай зорнай карты знайсці і запомніць сузор'і Вялікай і Малой Мядзведзіц, Палярную зорку і некаторыя іншыя сузор'і і яркія зоркі. Каб не забыць сузор'і, кожны вучань павінен сам час ад часу знаходзіць іх на небе. Пры гэтым у сшыткі неабходна запісаць, якія сузор'і былі бачны ўвечары ў паўднёвым баку неба.

5. Вясной (а лепш яшчэ і зімой) паглядзець, якія сузор'і бачны ў паўднёвай частцы неба, і пазнаць на небе знаёмыя каляпалярныя сузор'і. Пры адшукванні

сузор'яў трэба зорную карту трымаць так, каб аднакі поўначы, усходу і г. д. на ёй адпавядалі размяшчэнню гэтых пунктаў гарызонта на мясцовасці. Трэба звяртаць увагу на адрозненне бляску зорак, паказаных на карце, і мысленна злучаць іх прамымі лініямі. Знайшоўшы адно сузор'е, пераходзіць ад яго да другога.

6. Пры назіранні сузор'яў трэба звярнуць увагу на колер яркіх зорак, які адпавядае тэмпературы гэтых зорак.

7. У самым пачатку і ў канцы назіранняў сузор'яў заўважыць месца якіх-небудзь яркіх зорак адносна гарызонта ў выніку сутачнага вярчэння неба і ў залежнасці ад адлегласці зорак ад полюса свету. Пажадана сфатаграфавальнае вярчэнне неба каля полюса так, як гэта апісана ў падручніку.

8. Для заліку паказаць настаўніку, як знайсці Палярную зорку, а па ёй — асноўныя пункты гарызонта.

9. Па фазе і па становішчу Месяца адносна гарызонта паказаць прыблізнае становішча асноўных пунктаў гарызонта.

10. Карыстаючыся астранамічным календаром і зорнай картай, самастойна або пры дапамозе настаўніка знайсці на небе планеты, якія ў дадзеным месяцы бачны. Гэта назіранне трэба зрабіць у верасні і дакладна замалёваць становішча планеты сярод зорак таго сузор'я, у якім планета бачна. Праз 1—2 месяцы паўтарыць гэту замалёўку і высветліць, як планета перамясцілася.

11. Заўважыць у час вывучэння сузор'яў, як ляцяць па небе метэоры.

12. Назіранні ў тэлескоп або ў бінокуляр. Бінокуляр лепш браць прызменны, які дае шасціразовае павелічэнне. У яго можна ўбачыць: 1) буйныя сонечныя плямы, калі яны будуць на Сонцы (праз цёмнае шкло); 2) няроўнасці мяжы дня і ночы на Месяцы і найбуйнейшыя кальцавыя горы на ім; 3) многа зорак у Млечным Шляху і ў зорным скаПЛенні Плеяды, у якім няўзброенае вока бачыць пры нармальным зроку 6 зорак; 4) газавую туманнасць Арыёна (зімой) і туманную пляму — галактыку ў Андромедзе (увосень), ледзь бачныя вокам; 5) падвойныя зоркі ў Вялікай Мядзведзіцы, у Ліры; 6) іншы раз спадарожнікі Юпітэра (вельмі блізка ад яго).

У тэлескоп або ў падзорную трубу можна ўбачыць значна больш. Замест тэлескопа можна скарыстаць трубу тэадаліта або дальномера. Вучням рэкамендуецца зрабіць самаробныя тэлескопы са шкла ад акулярнага, устаўленага ў трубку, склееную з паперы.

Экспедыцыі ў планетарый або на абсерваторыю вельмі карысныя, але яны не павінны замяняць сабою самастойныя назіранні з'яў прыроды.

Пры назіраннях неба пажадана карыстацца «Вучэбным зорным атласам» А. Д. Марленскага (М., «Просвещение», 1970).

I. УВОДЗІНЫ

1. Прадмет астраноміі	3
2. Астранамічныя назіранні і тэлескопы	4
1. Назіранні і асаблівасці астранамічных назіранняў	—
2. Вашы назіранні	6
3. Тэлескопы	—
3. Сузор'і неба. Яго бачнае вярчэнне	9
1. Сузор'і	—
2. Бляск і колер зорак	—
3. Сутачнае вярчэнне неба	11
4. Вызначэнне геаграфічнай шыраты	13
5. Кульмінацыі	—
4. Экліптыка і «блукваючыя» свяцілы	14
5. Зорныя карты, нябесныя каардынаты і час	16
1. Карты і каардынаты	—
2. Вышыня свяціл у кульмінацыі	18
3. Дакладны час	—
4. Лічэнне часу. Вызначэнне геаграфічнай даўгаты. Каляндар	19

II. БУДОВА СОНЕЧНАЙ СІСТЭМЫ

6. Састаў сонечнай сістэмы	21
7. Законы руху планет і штучных нябесных цел	23
1. Форма арбіты і скорасць руху	—
2. Другі і трэці законы Кеплера	25
8. Канфігурацыі і сінадычныя перыяды планет	26
1. Канфігурацыі планет	—
2. Сінадычныя перыяды	27
9. Парушэнні ў руху планет. Паняцце аб прылівах. Вызначэнне мас	28
1. Парушэнні ў руху планет	—
2. Адкрыццё Нептуна	29
3. Паняцце аб тэорыі прыліваў	30
4. Вызначэнне мас нябесных цел	31
10. Барацьба за навуковы светапогляд	33

11. Зямля, яе размер і форма, маса, рух	35
1. Размер і форма Зямлі	—
2. Маса і шчыльнасць Зямлі	38
3. Доказ сутачнага вярчэння Зямлі доследам Фуко	—
4. Доказ абарачэння Зямлі вакол Сонца	39
12. Вызначэнне адлегласцей да цел сонечнай сістэмы і іх размераў	40
1. Вызначэнне адлегласцей	—
2. Вызначэнне размераў свяціл	42

III. ФІЗІЧНАЯ ПРЫРОДА ЦЕЛ СОНЕЧНАЙ СІСТЭМЫ

13. Прымяненне спектральнага аналізу	43
14. Метады вывучэння фізічнай прыроды нябесных цел	47
1. Аптычныя і радыёназіранні	—
2. Абсерваторыі	48
3. Даследаванні з дапамогай касманаўтыкі	49
4. Задачы і метады вывучэння фізічнай прыроды планет	—
15. Планеты зямной групы і Зямля	50
1. Характарыстыка планет зямной групы	—
2. Зямля. Атмасфера	52
3. Зямля. Магнітнае поле	53
16. Планеты Меркурый, Венера і Марс	55
1. Калясонечныя планеты	—
2. Марс	57
17. Планеты-гігanty	59
18. Рух Месяца і спадарожнікаў планет. Зацьменні	61
1. Спадарожнікі планет і Месяц	—
2. Зацьменні Сонца і Месяца	64
19. Фізічныя ўмовы на Месяцы і яго рэльеф	—
1. Фізічныя ўмовы на Месяцы	67
2. Рэльеф Месяца	68
20. Астэроіды і метэарыты	73
1. Астэроіды	—
2. Баліды і метэарыты	74
21. Каметы і метэоры	75
1. Адкрыццё і рух камет	—
2. Фізічная прырода камет	77
3. Паходжанне камет і іх распад на метэорныя патокі	79

IV. СОНЦА І ЗОРКІ

22. Сонця — найбліжэйшая зорка	82
1. Энергія Сонца і яго будова	—
2. Сонечная атмосфера і сонечная актыўнасць	85
23. Спектры, тэмпературы, свяцімасці зорак і адлегласці да іх	89
1. Спектры, колер і тэмпература зорак	90
2. Гадавы паралакс і адлегласці да зорак	91
3. Свяцімасць і абсалютная велічыня зорак	92
24. Падвойныя зоркі. Масы зорак	93
1. Візуальна-падвойныя зоркі	—
2. Спектральна-падвойныя зоркі	95
3. Зацьменна-падвойныя зоркі — алголі	96
25. Пераменныя і новыя зоркі	97
1. Пераменныя зоркі	—
2. Новыя зоркі	99
3. Звышновыя зоркі	100
26. Разнастайнасць зорных характарыстык і іх заканамернасці	102
1. Дыяметры і шчыльнасці зорак	—
2. Найважнейшыя заканамернасці	105

V. БУДОВА СУСВЕТУ

27. Наша Галактыка	107
1. Млечны Шлях і Галактыка	—
2. Зорныя скапленні і асацыяцыі	110
28. Дыфузная матэрыя	112
1. Міжзорны пыл і цёмныя туманнасці	—
2. Светлыя пылавыя дыфузныя туманнасці	113
3. Дыфузныя газавыя туманнасці	—
4. Нейтральны вадарод	115
5. Магнітнае поле, касмічныя праменні і радыёспрамяненне	116
29. Рухі зорак у Галактыцы	—
1. Уласныя рухі зорак	—
2. Кампаненты прасторавай скорасці зорак	117
3. Рух сонечнай сістэмы	118
4. Вярчэнне Галактыкі	—
30. Зорныя сістэмы — галактыкі і Метагалактыка	—
1. Нармальныя галактыкі	—
2. Радыегалактыкі і квазары	123
3. Метагалактыка і касмалогія	125

VI. ПАХОДЖАННЕ І РАЗВІЦЦЁ НЯБЕСНЫХ ЦЕЛ

31. Узрост нябесных цел. Узнікненне галактык і зорак	128
1. Узрост нябесных цел	—
2. Узнікненне галактык і зорак	129
32. Развіццё зорак	130
33. Узнікненне планетных сістэм і Зямлі	132
34. Праблема пазазямных цывілізацый і матэрыялістычная карціна Сусвету	135
Дадаткі	136

Борис Александрович Воронцов-Вельяминов

АСТРОНОМИЯ

Учебник для 10 класса

На белорусском языке

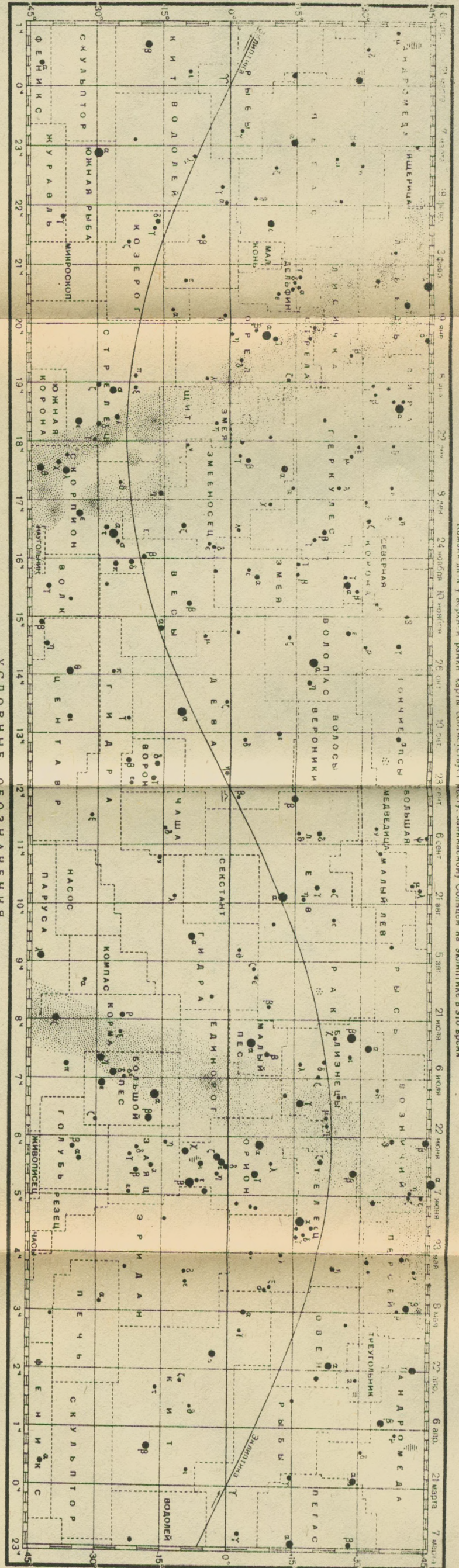
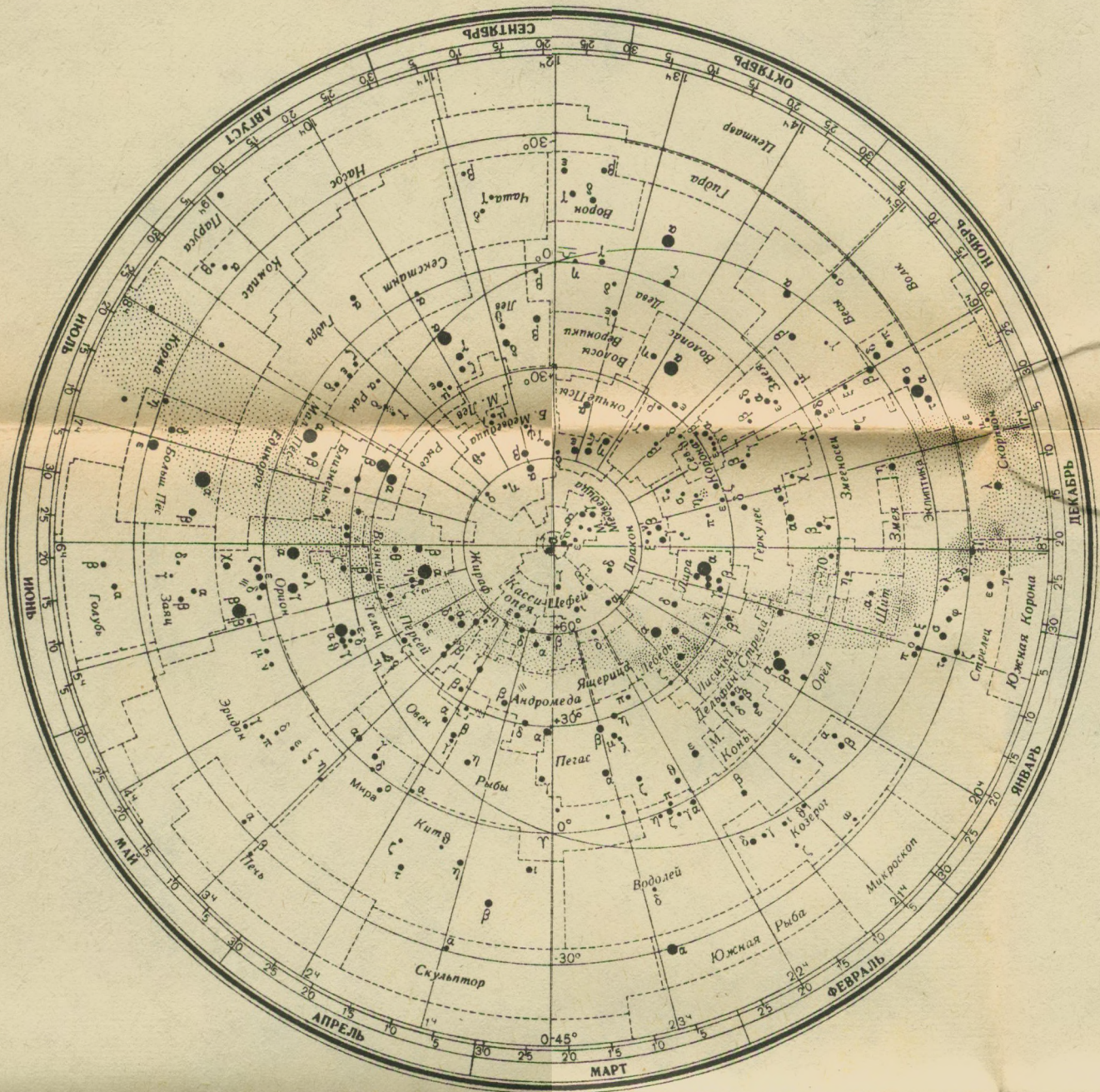
Рэдактар Л. Э. Гараніна. Вокладка мастака Г. С. Грака. Мастацкі рэдактар Н. Л. Шаўшкова. Тэхнічны рэдактар В. Н. Жук. Карэктар З. М. Грышэлі.

Здадзена ў набор 28/XII 1976 г. Падпісана ў друк 20/VI 1977 г. Фармат 60X90¹/₁₆. Пап. афс. № 2. Друк. арк. 9 + 0,55 укл. + 0,31 форз. Ул.-выд. арк. 10,74 + 0,27 укл. + 0,32 форз. Тыраж 40 000 экз. Заказ 3853. Цана 25 кап.

Выдавецтва «Народная асвета» Дзяржаўнага камітэта Савета Міністраў БССР па справах выдавецтваў, паліграфіі і кніжнага гандлю. Мінск, Ленінскі праспект, 85.

Паліграфкамбінат імя Я. Коласа Дзяржаўнага камітэта Савета Міністраў БССР па справах выдавецтваў, паліграфіі і кніжнага гандлю. Мінск, Чырвоная, 23.

ПОДВИЖНАЯ КАРТА ЗВЕЗДНОГО НЕБА

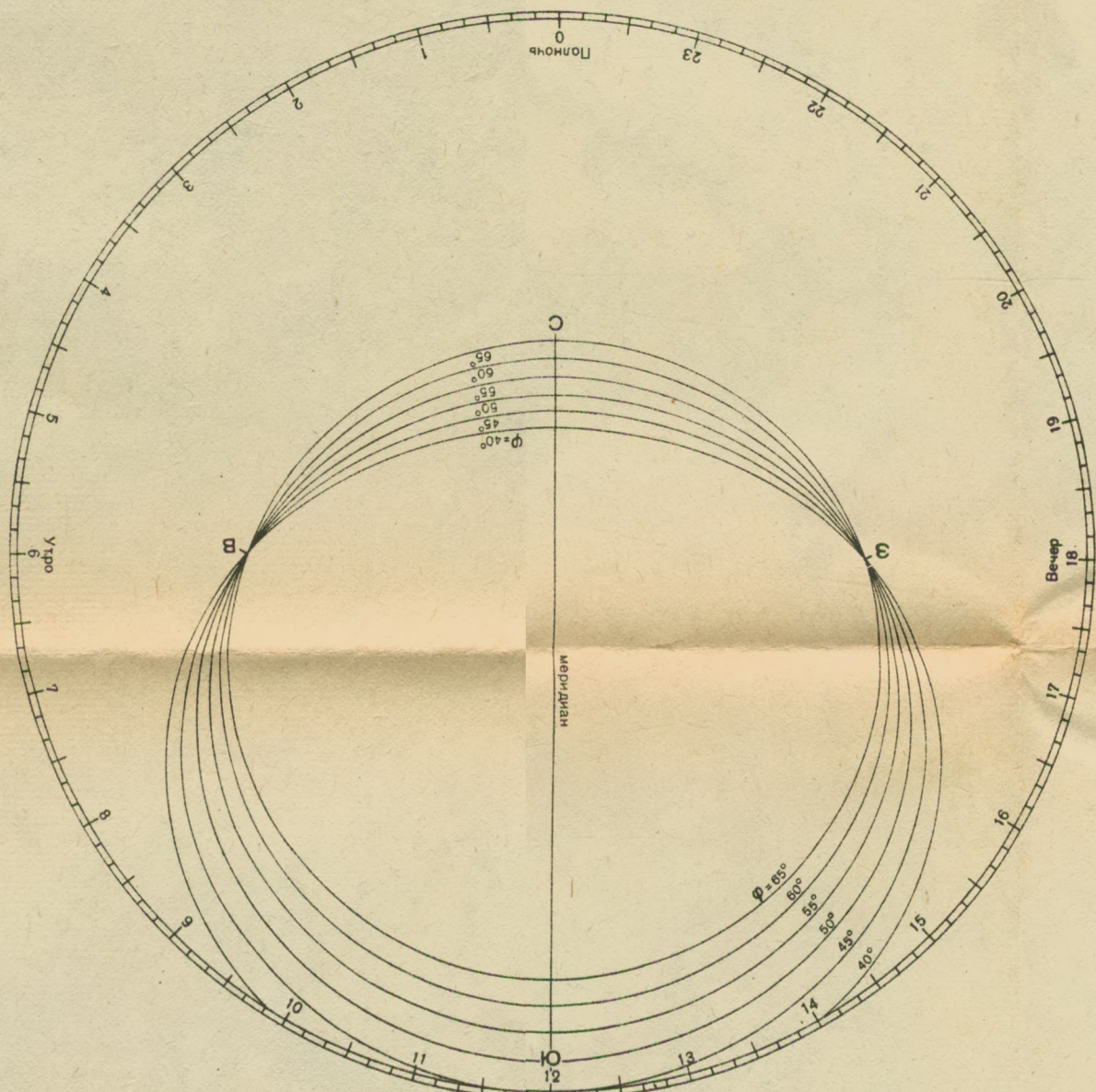


КАРТА ЭКВАТОРИАЛЬНОГО ПОЯСА ЗВЕЗДНОГО НЕБА

Каждая дата у верхней рамки карты соответствует месту, занимаемому Солнцем на эклиптике в это время

- УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ
- Звезда около 1-й величины и ярче
 - Звезда около 2-й величины
 - Звезда около 3-й величины
 - Звезда около 4-й величины и слабее
 - Звездные скопления
 - Туманности
 - Точка весеннего равноденствия
 - Точка осеннего равноденствия
 - Границы созвездий

НАКЛАДНОЙ КРУГ К КАРТЕ ЗВЕЗДНОГО НЕБА





Сонця з плямами і протуберанцями



Спектр Сонця



Спектр водороду



Спектр гелію



Спектр Сіріуса (біла зорка)



Спектр α Арієна (червона зорка)



Туманнаць Рыбацкая сетка ў сузор'і Лебедзя

25 К.

•
**SCIENCE
IN
THE
LABORATORY**
•

**AND
THE
ARTS**
•