22.6
Б24

ПРОФ. М. БАРАБАШІВ

ПІДРУЧНИК АСТРОНОМІЇ

Науково-Методичний Сектор НКО УСРР, ухвалив як підручник для педагогічних ВИШІВ
Віза № 8 від 16 IV — 1932 р.

ТЕХНІЧНО-ТЕОРЕТИЧНЕ ВИДАВНИЦТВО
ХАРКІВ 1933

Бібліографічний опис цього видання вміщено в „Літописі Укр. Друку“, „Картковому репертуарі“ та інших показниках Української Книжкової Палати

15 — 5 (4) — 2

Рецензент *Орлов М. Х.*
Перекладач *Агнівцев М. Е.*
Редактор мови *Царгородський В. П.*
Техоформлення *Симхович Н. М.*

Видання ОНТВУ Теоретично-Технічне видавництво.
Передано до виробництва 27/VII—32 р.
Підписано „друкувати“ 31/X—32 р.
Папір 62×94 см. 35 кгр
Паперових аркушів 8³/₈
В однім паперовім аркуші 106 тис. знаків.

1-ша Всеукраїнська Поліграфічна фабрика імени Сухомлина, Полтава
Зам. № 5400. Райліт № 1300/4885-Полтава. Тираж 2000.

I. ЗЕМЛЯ

Якщо ми вийдемо на відкрите рівне місце і подивимось навкруги, нам здасться, ніби ми стоїмо посередині якогось кола, над яким розляглося велике склепіння, так звана — *небесна сфера* (небесна полусфера), що десь далеко сходиться з Землею. Нам здаватиметься, що вся місцевість плоска. Цілком ясно, що коли ми так спостерігаємо Землю, то бачимо її не всю, а тільки невеличку її частину. Ми знаємо, що за кілька десятків кілометрів від нас лежать добре відомі нам села й міста, за ними — інші місцевості країни. Проте, ми нічого цього не бачимо; тільки там, десь далеко, де наче небо сходиться з Землею, бовваніють димарі заводу, про який ми знаємо, що він лежить від нас не далі, як за 20 кілометрів. І ось тут цілком природно постає питання про те, чому ми бачимо предмети тільки до певної віддалі, а чому інші всі невидні для нас. Інакше кажучи, перед нами постає важливе питання про те, яку форму має наша Земля. Плоска вона, чи якась інша? Думку про те, що Земля плоска, ми зразу відкидаємо на підставі дуже простих міркувань, яких не брали до уваги за стародавніх часів, коли справді вважали, що Земля плоска. Ми добре знаємо, що коли Сонце сходить, верхні і нижні частини високіх предметів не враз осяває соняшне проміння. Спочатку проміння осяває верхню частину, наприклад, верхів'я гір, високі щогли, верхні частини завідських димарів, і тільки згодом, потроху, в міру того, як з-за обрію виходить Сонце, проміння починає осявати середні частини цих предметів і, нарешті, нижні, коло самої поверхні Землі. Це доводить нам, що плоскою Земля не може бути, бо тоді всякий

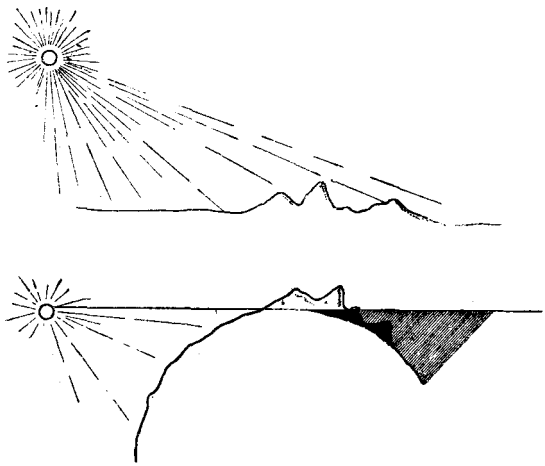


Рис. 1. Схід сонця на плоский і опуклій землі.

предмет, хоч би яку висоту він мав, освітлювався б увесь одразу — соняшне проміння падало б водночас і на найвищі, й на найнижчі частини його. Це цілком ясно видно з поданих тут двох рисунків. На однім із них показано, як Сонце осявало б предмети, якби Земля була плоска, а на другому — те саме, якби вона була опукла.

З усього сказаного виходить, що Земля не може бути плоска, а що поверхня її *опукла*. А втім, цього мало; треба знати, яка це поверхня, — чи вона куляста, чи еліпсоїдальна чи ще яка небудь інша. Що ця поверхня замкнена — це річ безперечна (хоч за стародавніх часів цьому не дуже йняли віри). Про це свідчать подорожі навколо світу; вони доводять, що хоч у якім напрямі їхатимемо, завжди Землю можна об'їхати кругом і повернутися знову на те саме місце, тільки з протилежного боку.

Тепер подивимось, які явища можна було б спостерігати, якби Земля мала точно сферичну форму, а так само й тоді, якби Земля була неправильною сферою.

Визначання місця на сферичній Землі, географічні координати та основні лінії.

Нагадуємо, що положення всякої точки на сферичній поверхні можна визначити двома координатами, — *широтою* і *довготою*. Так само можна визначити й положення всякого пункту на Землі. Подивимось, як це зробити, коли вважати Землю за точну кулю.

Ми знаємо, що Земля не стоїть нерухомо, а бере участь у різноманітних рухах. Один з цих рухів, як відомо, це — обертання Землі довкола її самої протягом однієї доби. Відомо також, що Земля обертається довкола певного напряму, так званої земної осі, і що точки, в яких земна вісь перетинається з поверхнею Землі, мають назву полюсів її — північного і південного. Крім того, нагадуємо ще, що площина, яка перетинає Землю перпендикулярно до осі на рівних віддалях від полюсів, вирізує на її поверхні обвід великого кола; це коло зветься — *земний екватор*. Нарешті, кола, паралельні з екватором, звуть *земні паралелі*, а кола перпендикулярні до екватора — такі, що проходять через полюси, звуть земні *меридіяни*.

Нагадуємо також, що *довготою* якогонебудь пункта ми звемо кут між меридіяном, що проходить через дане місце, і якимнебудь іншим меридіяном, взятим за основний (кут при центрі). *Широтою* звемо кут при центрі кулі між екватором і паралелею, що проходить через дане місце. Ці дві величини — широта і довгота — цілком визначають положення якого хоч пункту. Широту відлічуємо по обидва боки від екватора на північ і на південь від 0 до 90^0, а довготу — по один бік, на схід від узятого за основний меридіяна від 0 до 360^0. Якщо продовжити земну вісь

по обидва боки від полюсів, то її кінці пройдуть близько якихнебудь зір, видних на небесній сфері, — отже, з положення цих зір над горизонтом в тім чи іншім місці можна мати уявлення про напрям земної осі.

Покажемо тепер, що широту всякого місця на Землі можна так само визначити як кут між площиною горизонту в данім місці (дотичною площиною) і напрямом до тієї точки зоревого неба, в якій його ніби перетинає напрям продовженої земної осі.

Розгляньмо рисунок 3. Нехай коло, подане на рисунку, це буде перетин площини, що проходить через земні полюси, з поверхнею Землі. Нехай далі O, O — точки, що в них земна вісь перетинається з цією поверхнею. Візьмімо два пункти на земній

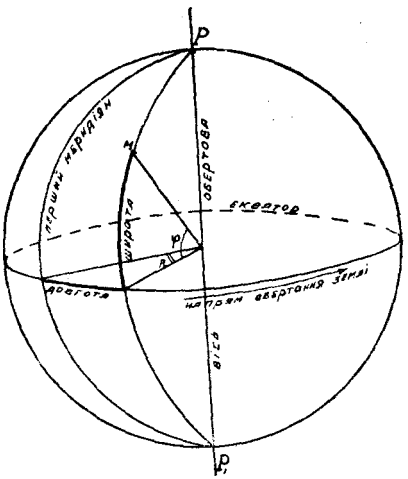


Рис. 2. Широта і довгота.

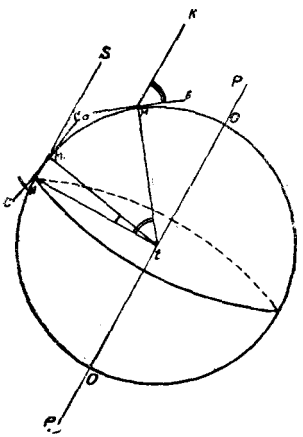


Рис. 3. Широта місця.

поверхні M — та M_1 і проведімо в них площини горизонту. В перетині з площиною рисунка це будуть прямі для точки M — ab, а для точки M_1 — cc_1. Найдемо напрями земної осі для цих двох пунктів. Щоб мати напрям земної осі в точці M, нам треба провести з неї пряму до тієї точки неба, де має перетинатися з небесною сферою лінія PP_1. Ця точка лежить недалеко так званої полярної зорі. Цей напрям для точки M буде MK, а для точки M_1 — M_1S.

Обидва ці напрями будуть майже точно паралельні між собою, бо кути, які утворяться при тій точці (близько полярної зорі) небесної сфери, куди напрямлені всі три прямі PP_1, MK та M_1S становитимуть таку малу величину, що нашими, навіть найточнішими, приладами не можна буде не тільки виміряти їх, а навіть і просто виявити. Це свідчить про те, що розміри Землі неймовірно малі проти віддалі її до зір. Отже, ми робимо

висновок, що всі напрями з усякої точки земної поверхні до тієї самої зорі ми можемо для всіх наших вимірів вважати просто за паралельні.

Видима річ,— для того, щоб дізнати напрям земної осі в якій-небудь точці її поверхні, досить провести з цієї точки пряму, паралельну з земною віссю PP_1. Покажемо тепер, що кут між горизонтальною площиною і напрямом земної осі в цім місці дорівнює широті цього місця. Справді, широтою, наприклад, пункту M — відповідно до самого визначення широти — ми звемо кут NtM, а як лінія $tM \perp ab$, а лінія $Nt \perp MK$, то й кути bMK та NtM рівні між собою, отже, й кут bMK дорівнює так само широті пункту M. Те саме можна сказати і про пункт M_1, — його широта дорівнює кутові SM_1C_1.

Треба ще нагадати, що довготу можна давати не тільки на градуси, а й на години часу. Земля обертається довкола себе самої за 24 години, а все коло її становить 360°; з цього виходить, що кожні 15° відповідають одній годині часу. За одну годину Земля повертається на кут в 15°, а тому довгота на 45° дорівнює 3 годинам і т. д.

Земля, як точна сфера.

Припустімо, що Земля — точна сфера, і спостерігач переміщується на земній поверхні з однієї точки в другу; тоді площина, дотична до земної поверхні, або, як це кажуть, площина горизонту чи лінія, перпендикулярна до цієї площини, має змінювати свій напрям на кут, прямо пропорційний з тією віддаллю, на яку переміщується спостерігач по земній поверхні, незалежно від того, які будуть напрями та віддалі цього переміщення. Справді, уявімо собі, що спостерігач подорожує вздовж меридіяна AB. Нехай спочатку він буде в точці M_1 і переїжджає в точку M_2. Довжина дуги $S = M_1M_2$ пропорційна з відповідним їй кутом при центрі сфери α. Нехай дотичні площини горизонту в точках M_1 і M_2 будуть відповідно K_1M_1 і h_1M_2. Очевидно, що вони перпендикулярні до M_1C і M_2C, тому кут між цими площинами у площині рисунка (кут між M_1K_2 та M_2h_2, тобто β) дорівнюватиме кутові α, тобто $\angle \alpha = \angle \beta$, або, що те саме, різниці поміж широт двох пунктів M_1 і M_2; отже, пройдена віддаль $S = M_1M_2$ буде так само пропорційна зі зміною напряму площини горизонту, коли пересуватись сферою в якім хоч напрямі. Цього не буде, звичайно, якщо Земля не є правильна сфера.

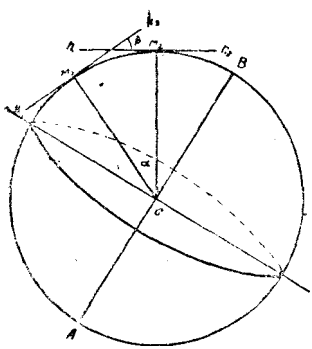


Рис. 4. Наслідок кулястости землі.

Несферична Земля.

На рис. 5 показано, як площина перетинає несферичну Землю. Кривина цієї поверхні буде неоднакова в різних її точках, а тому виходить, що в різних її ділянках рівні завбільшки кути, утворені перпендикулярами до поверхні або, що те само, дотичними площинами в цих точках, стягуватимуться різними дугами. Отже, кут між перпендикулярами чи площинами горизонту в цім разі не може змінюватись пропорційно з віддалями (див. рис. 5).

Відси робимо дуже важливий висновок, що, виміряючи довжину дуг на земній поверхні в різних напрямах і визначаючи кути, утворювані нормалями до поверхні для цих дуг, ми можемо дізнатися, чи Земля є сфера, а як виявиться, що ні, то зможемо визначити міру цього відхилу, отже, й справжню форму Землі.

Отже, завдання сходить на визначення двох величин, а саме: треба виміряти довжини різних дуг на земній поверхні і кути між нормалями до поверхні Землі, проведеними через кінці тієї самої дуги. ***Обидва ці визначення мають величезну практичну вагу, бо тут можна визначити віддаль між двома пунктами на земній поверхні***, а коли додати ще спеціяльні спостереження зір (про це ми скажемо далі) — визначити положення точки на Землі, тобто визначити її ***географічні координати.***

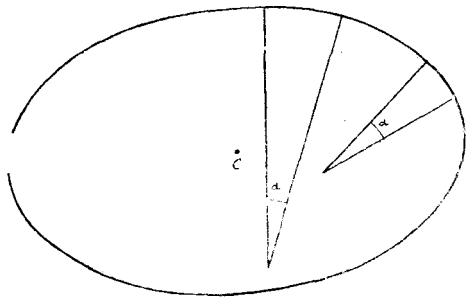


Рис. 5. Різні кути, утворені нормалями до еліпсоїда, стягуються нерівними дугами.

Як виміряти дуги на земній поверхні.

Розгляньмо, як треба виміряти довжини дуг на земній поверхні. Щоб виміряти віддаль між двома досить далекими одна від одної точками, не треба вдаватися до методи безпосереднього вимірювання всієї цієї віддалі, бо це дуже незручно — укладати одну міру довжини на всій цій віддалі, де, крім того, можуть трапитися різні перешкоди—яри, річки тощо. Крім того, ця метода була б далеко не така точна, ніж та, що базується на вимірюванні однієї, порівняно невеликої довжини (бази), а потім побудовою кількох трикутників дає змогу на підставі цієї основної довжини обчислити ту, яку нам треба визначити.

Така метода виміряти має назву — ***тріянґуляція*** (тобто, вимірювання трикутниками).

Тріянґуляцію роблять так: припустімо, треба виміряти довжину A_1B_1, що йде вздовж меридіяна. Беруть досить рівну ді-

лянку A_1A_2 на кілька кілометрів завдовжки. Цю величину вимірюють якнайточніше (див. рис. 6). Ця довжина A_1A_2 і буде тією базою, що за неї ми оце говорили. Потім беруть на певній віддалі від A_1 та A_2 третий пункт A_3, добре видний з A_1 та A_2. Потім у пункті A_1 встановлюють кутомірчий прилад (теодоліт), що складений з зорової труби (далекозору) з двома розділеними кругами. Ці круги (один вертикальний, а другий горизонтальний) дають змогу визначити кут, на який повернута в даний момент зорова труба відносно якогонебудь початкового її положення. Таку трубу, встановлену в A_1, скеровують спочатку на пункт A_2, а потім на A_3 і відлічують кут $A_2A_1A_3$ між двома напрямами A_1A_2 і A_1A_3. Потім прилад переносять у пункт A_2, і, наводячи почережно на пункти A_1 і A_3, визначають кут $A_1A_2A_3$. Маючи ці два кути та раніш виміряну довжину, ми можемо обчислити обидві інші сторони і третій кут трикутника $A_1A_3A_2$. Нехай ми обчислили сторону A_2A_3. Потім беремо четвертий пункт A_4, щоб його видно було з A_2 і A_3; тоді, встановлюючи послідовно зорову трубу в двох цих пунктах, ми можемо виміряти кути $A_4A_2A_3$ та $A_4A_3A_2$. Обчислюємо сторону A_3A_4 трикутника $A_2A_3A_4$. Після того беремо новий пункт і робимо так само. Очевидно, що, залежно від вимірюваної довжини, ми можемо продовжувати таке вимірювання, скільки схочемо.

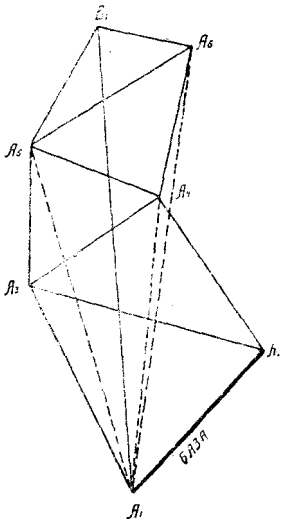


Рис. 6. Тріянгуляція.

Визначивши таким способом кілька кутів і довжин, ми легко обчислимо потрібну нам довжину дуги меридіяна. Справді, довжину A_1B_1, як діягоналю многокутника $A_1A_2A_4A_6B_1A_5A_3$, можна легко обчислити, так само, як і всі інші: A_1A_5; A_1A_6 і A_1A_4. Іноді в окремих пунктах доводиться ставити спеціяльні вежі, щоб дати змогу з одного пункту бачити два інші, особливо, коли треба йти нерівною місцевістю, і коли доводиться наводити трубу на пункти дуже далекі один від одного. Результати від такого способу маємо дуже точні через особливості методи тріянгуляції, а так само й через те, що тут вимірюють кути зоровою трубою з великим збільшенням. Правда, обчислюючи результати, доводиться брати до уваги деякі причини, що призводять до помилок; наприклад, доводиться зважати на те, що самі пункти не на однім рівні, що трикутники розміщуються не на плоскій поверхні, а на опуклій, бо поверхня Землі якраз опукла. Проте, все це можна взяти до уваги в процесі обчислення, і цих дефектів можна порівняно легко позбутися.

Другу величину з тих, що їх ми раніше згадали, а саме— різницю поміж широт, яка відповідає двом даним пунктам, визначають на основі спостережень над зорями.

Першу тріянґуляцію зробив Снеллюс у Голяндії. Ця тріянґуляція, дуже неточна, має тепер лише історичний інтерес. Тільки 1669—1670 р. зробив досить точну тріянґуляцію Пікар з доручення Французької Академії Наук. Можна назвати чимало інших таких вимірів. Згадаємо лише найбільший з усіх зроблених досі вимірів, а саме, Російсько-скандинавський, де тріянґуляція простягалась від Північного Крижаного океану до Дунаєвого гірла. Цей вимір складається з 258 головних трикутників, а виміряно 10 окремих баз.[1])

Подивимось тепер, до чого призвели всі такі виміри на земній поверхні, і яку визначено фігуру Землі на основі цих вимірів.

Обчислення пророблених вимірів довели, що Земля — не точна сфера, бо довжини дуг на 1° неоднакові в різних місцях Землі. Найбільша вартість дуги меридіяна (близько полярного кола) становить $111^1/_2$ кілометрів, потім ця довжина правильно зменшується в напрямі до екватора, і становить $110^1/_2$ кілометрів на екваторі. Це наочно доводить, що Земля — не куля, хоч відхил від цієї фігури взагалі невеликий, і, розв'язуючи різні астрономічні питання, де доводиться мати діло з дуже великими віддалями від Землі, або де не потрібна надто велика точність,—Землю можна вважати просто за кулю. Ґрунтуючись на допіру відзначеній різниці між довжиною дуги на 1° коло полюса і екватора Землі, ми бачимо, що близько полюса дуга меридіяна становить ніби частину кола з більшим радіюсом, ніж на екваторі (див. рис. 7), тобто кожний земний меридіян це не коло, а якась інша лінія, викривлена коло екватора більше, ніж коло полюсів. Такі властивості має, як відомо, наприклад, еліпса. І от, на підставі різних міркувань, вважають (у другім наближенні, а в першім наближенні, як я вже згадував, Землю вважають за кулю), що всі меридіяни мають форму цілком однакових еліпс, великі осі яких лежать у площині земного екватора і становлять не інше що, як діяметри земного екватора а малі осі, збігаючись докупи, становлять полярний діяметр зем-

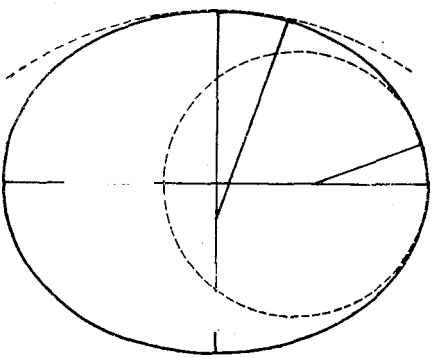


Рис. 7. Кола, що відповідають різним дугам на еліпсі.

[1]) Про методи вимірювати та обчислювати, вживані и тріянґуляції трактує *геодезія.*

ного еліпсоїда. Різниця між великою та малою осями цих еліпсоїдів близько 40 кілометрів. Інакше кажучи, коли вважати Землю за еліпсоїд, або, як ще кажуть за сплющений сфероїд (за стиснену сферу), то її полярний діяметр виходить коротший за екваторіяльний на 40, приблизно, кілометрів

Елементи земного сфероїда обчислювано не один раз. Найвідоміші обчислення Бесселя (Bessel 1841) та Клярк (Clarke 1880) базуються на великім числі тріянгуляцій.

Елементи земного сфероїда що їх обчислив Бессель і що лягли в основу географічних мап, зокрема й радянських, такі: a = велика піввісь = 6377,4 км; b = мала піввісь = 6356,1 км; величина, що її звуть стиск земного сфероїда, $c = \frac{a-b}{a} = \frac{21,3}{6377,4} = \frac{1}{299}$. Елементи, що їх подав Клярк, такі: $a = 6378,25$; $b = 6356,52$ і $c = \frac{1}{293,5}$.

Така фігура і розміри Землі у другім наближенні.

Проте, якщо Земля справді сфероїд, то, обчисливши положення якогось місця на земній поверхні, ми, користуючись щойно наведеними розмірами, маємо дістати результат, що відрізнявся б від справжнього тільки на величину можливих і неминучих помилок спостереження. Таке припущення не виправдується, і ці різниці доходять іноді величини над 10″. Тому їх не можна зачислити до помилок самих спостережень, бо вони дуже великі. Відси ясно, що, власне кажучи, Земля не може бути і сфероїдом, а її математична фігура дещо різниться від сфероїда. Це — геоїд, дуже складна фігура, і тепер учені багато працюють, щоб визначити його форму. Але, що поверхня геоїда в кожнім данім місці, коли рівняти до загальних його розмірів, ніколи дуже не відрізняється від поверхні сфероїда, а геоїд — це дуже складна поверхня, то, навіть, *розв'язуючи точні астрономічні завдання, можна вважати Землю за сфероїд, а розв'язуючи завдання, де не потрібна дуже велика точність — просто за кулю.* Слід також відзначити, що земна поверхня нерівна, а тому справжню форму земної поверхні не можна уявити собі як якесь геометричне тіло. І взагалі, справжня фігура Землі відрізняється від вищезгаданого сфероїда куди менше, ніж сфероїдальна Земля від тієї, яку ми вважали б просто за кулю. Щоб наочно пересвідчитись, як земний сфероїд відрізняється від кулі, досить узяти кулю з діяметром 60 см, і зняти на її протилежних кінцях шар всього лише на 1 мм. Так мало різниться земний сфероїд від кулі.

У нашім прикладі цієї різниці без спеціяльних вимірів не можна було б і помітити. Найвищі гори становлять заввишки лише $^1/_{700}$ частину земного радіюса. Якщо уявити, що Земля рівна куля з діяметром 30 см, то найвища гора мала б висоту лише 0,2 мм, тобто таку нерівність ми навряд чи помітили б.

Як розширюватиметься видимий горизонт, коли підійматись над земною поверхнею

Розгляньмо, як змінюватимуться розміри видимого горизонту, коли підійматимемося над земною поверхнею (розв'язуючи це завдання, можна вважати Землю просто за кулю). Нехай O— центр Землі. Нехай спостерігач піднявся на висоту h над точкою A земної поверхні.

Очевидно, що видний йому з K горизонт обмежуватиметься колом SS, що вирізається на земній поверхні конусом дотичним до земної поверхні з вершком в оці спостерігача K Треба обчислити радіюс горизонту, видного з K.

З прямокутнього трикутника OSP легко находимо $PS = OS \cdot \sin\alpha$ або $r = R \sin\alpha$ (I). Далі треба визначити $\sin\alpha$ через висоту, на яку піднявся спостерігач над земною поверхнею. З прямокутнього трикутника OKS находимо: $OS = OK \cos KOS$, або $R = (R+h) \cos\alpha$ (II). Якщо визначити зі спостережень кут $\angle KOS = \angle SKD = \alpha$, де $KD \perp KO$, то з попереднього співвідношення можна наближено обчислити радіюс Землі. Розімкнувши дужки і визначивши R з (I) найдемо: $R = \frac{h}{1-\cos\alpha}$ або, як замінити $1-\cos\alpha$, $R = \frac{h \cos\alpha}{2\sin^2\frac{\alpha}{2}}$. Визначуємо тепер потрібне нам α. I_3 (II)-го находимо: $\cos\alpha = \frac{R}{R+h}$ або, віднявши обидві частини цієї рівности від одиниці, тобто $1-\cos\alpha = 1 - \frac{R}{R+h}$, матимемо: $2\sin^2\frac{\alpha}{2} = \frac{h}{R+h}$

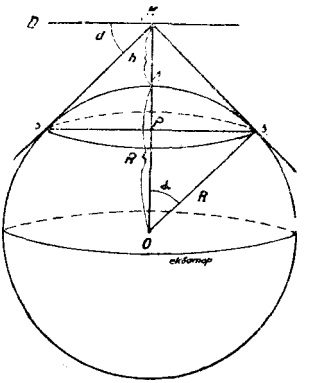


Рис. 8. Розширення видимого горизонта.

h мале проти R, і самий кут α досить малий, а тому можна досить точно синус взяти за рівний дузі і в знаменнику взяти замість $R+h$ просто R. Тоді матимемо $2\left(\frac{\alpha}{2}\right)^2 = \frac{h}{R}$ або $\alpha = \sqrt{\frac{2h}{R}}$, де α визначена радіянами.

Далі, взявши у формулі (I) синус так само за рівний дузі, найдемо $r = R\alpha$ або, вставивши сюди допіру найдений вираз, матимемо остаточно: $r = \sqrt{2hR}$

Отже, знаючи радіюс Землі R і висоту h, на яку ми піднялися завжди можна обчислити радіюс видного горизонта для висоти h. Це завдання має велику практичну вагу в зв'язку з розвитком повітроплавства.

Географічна й геоцентрична широти.

З усього сказаного ми робимо висновок, що фігура Землі найбільше наближається до еліпсоїда, який обертається довкола своєї малої осі, і що вважати її за еліпсоїд можна тоді, коли ми розв'язуємо астрономічні завдання, де треба високої точности. Розгляньмо тепер, що ж ми називатимемо широтою на еліпсоїдальній Землі. Про довготу говорити нема чого: вона матиме ту саму вартість, бо всі паралелі і на еліпсоїдальній Землі теж будуть такими самими кругами.

Цілком очевидно, що коли б Земля була куля, то в усякій точці на земній поверхні прямовисна лінія (напрям, що його показує висячи вільно нитка з тягарем на кінці,) збігалася б з радіюсом кулі, що проходить через цю точку. Але ми бачимо, що фігура Землі найбільше наближається до обертового еліпсоїда, а як відомо, — прямовисна лінія в кожній точці поверхні еліпсоїда, перпендикулярна до площини горизонту в цій самій точці, не буде вже напрямлена до центра, як кулі, тобто не збігатиметься з лінією, що злучає цю точку з центром еліпсоїда. Розгляньмо, що саме ми зватимемо широтою, коли Земля—це обертовий еліпсоїд, або, як кажуть, *сфероїд*. Візьмімо якунебудь точку на поверхні земного сфероїда, що не збігалася б з його полюсами і не лежала б на його екваторі, бо в цих точках широта дорівнює відповідно 90° і 0°. Нехай це буде точка *M*. (Ми розглядаємо перекрій земного сфероїда площиною рисунка, тобто одну з його меридіяльних площин). За нормалю до поверхні нашого еліпсоїда в цій точці буде пряма *ZMN*. Кут MNO^1, що його становить прямовисна лінія в цій точці *M* (нормаля *MN*) з площиною екватора 00, звуть астрономічна або географічна широта точки *M*. Цей кут дорівнює так само кутові *rMS*, тобто маємо тут цілковиту аналогію з широтою на кулі, бо і в цім випадку широта є кут між площиною горизонту (*st*) в точці *M* і напрямом *Mr*, паралельним з обертовою віссю земного сфероїда. Цей кут φ визначають для всякого місця земного сфероїда з астрономічних спостережень над зорями. Кут MCO_1, утворений площиною екватора і радіюсом *MC*, має назву геоцентричної широти[1]) і позначується літерою φ^1.

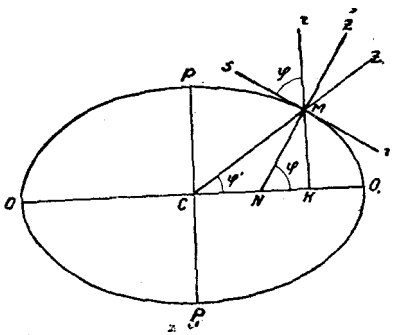


Рис. 9. Географічна та геоцентрична широти.

[1]) Геоцентрична широта — широта при центрі Землі. По грецькому „ге" (γή) — Земля.

З нього користають, розв'язуючи різні завдання, зв'язані з спостеріганням небесних світил. Дуже часто спостереження, зроблені на поверхні земного сфероїда, доводиться вважати за такі,ніби їх зроблено з центра Землі. Щоб спостереження, зроблені з поверхні Землі, привести до центра, треба знати геоцентричну широту φ_1 і так званий місцевий радіюс $MC = \rho$. Геоцентричної широти не можна визначити з безпосередніх спостережень. Астрономічними спостереженнями можна тільки визначити географічну широту φ. Виходить, що треба, знаючи φ, уміти найти φ^1 і ρ. Розгляньмо, як треба розв'язувати поставлене завдання.

Візьмімо рівнання меридіянальної еліпси OPO^1P^1. Воно, як відомо з аналітичної геометрії, позначене в прямокутніх координатах, що починаються в точці C, таке:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \ldots (I),$$

a і b — це велика й мала півосі еліпси, а x і y — координати якої хоч точки його. З рисунка видно, що наприклад, для точки M, $x = CK$, а $y = MK$. З трикутника CMK легко находимо, що $\operatorname{tg} \varphi^1 = \frac{y}{x}$ Далі, розглядаючи кут φ, бачимо, що він складений нормалею до еліпси та віссю абсцис. За правилами диференціяльного обчислення tg цього кута має дорівнювати похідній $-\frac{dx}{dy}$. Мінус треба поставити перед похідною через те, що ми маємо діло з частиною нормалі, яка лежить з боку вгнутости кривої, або, як кажуть, із внутрішньою нормалею. Отже, маємо: $\operatorname{tg}\varphi = -\frac{dx}{dy} \cdot \frac{dx}{dy}$; його легко найти простим диференціюванням з рівнання еліпси, що ми його написали.

Диференціюючи це рівнання (I), находимо $\frac{xdx}{a^2} + \frac{ydy}{b^2} = O$. Відси, перенісши другий член у праву частину і поділивши все рівнання на xdy, а потім помноживши його на a^2, легко найдемо: $-\frac{dx}{dy} = \frac{a^2}{b^2} \frac{y}{x}$. Знаючи, що $\operatorname{tg} \varphi^1 = \frac{y}{x}$, а $\operatorname{tg} \varphi = -\frac{dx}{dy}$, вставляємо у добутий допіру вираз ці вартості і маємо:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{a^2}{b^2} \operatorname{tg} \varphi^1 \ldots (II).$$

З аналітичної геометрії відомо, що ексцентриситет еліпси можна визначити через її велику й малу півосі, а саме: $e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}}$,

або $e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$, або також $\frac{b^2}{a^2} = 1 - e^2$. Підставивши це в (II), маємо остаточно: $\operatorname{tg}\varphi = \frac{1}{1-e^2}\operatorname{tg}\varphi^1$ або $\operatorname{tg}\varphi = {}^1(1-e^2)\operatorname{tg}\varphi$. З цього виразу завжди можна, найшовши із спостережень над зорями географічну широту φ, обчислити геоцентричну широту φ^1, знаючи, звичайно, велику й малу півосі земного сфероїда. Подивимось тепер, як можна визначити місцевий радіюс ρ для якоїсь точки на земнім сфероїді, тобто віддаль її до центра Землі. Певна річ, що $\rho = \sqrt{x^2 + y^2}$ (див. попередній рисунок); треба тепер тільки визначити x та y через відомі нам величини, наприклад, щойно визначені широти φ та φ^1. З аналітичної геометрії відомо, що $b = a\sqrt{1 - l^2}$, отже,

$$b^2 = a^2(1 - l^2) \ldots \text{(III)}.$$

Якщо вилучити φ^1 з співвідношень: $\operatorname{tg}\varphi^1 = \frac{y}{x}$ і $\operatorname{tg}\varphi^1 = (1-e^2)\operatorname{tg}\varphi$, матимемо:

$$y = x\,(1 - e^2)\operatorname{tg}\varphi \ldots \text{(IV)}.$$

Крім того, вставивши (III) замість b^2 в рівнання еліпси, найдемо: $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{a^2(1-e^2)} = 1$, або $x^2 + \frac{y^2}{1-e^2} = a^2$. Підставивши в це останнє рівнання y з (IV), матимемо $x^2 + \frac{x^2(1-e^2)^2\operatorname{tg}^2\varphi}{1-e^2} = a^2$ або $\frac{x^2\cos^2\varphi + x^2(1-e^2)\sin^2\varphi}{\cos^2\varphi} = a^2$. Множимо далі обидві частині на $\cos^2\varphi$ і в лівій виносимо за дужки x^2; тоді $x^2[\cos^2\varphi + (1-e^2)\sin^2\varphi] = a^2\cos^2\varphi$, отже, для x матимемо вираз через відомі нам величини e; φ та φ^1: $x = \frac{a\cos\varphi}{\sqrt{1 - e^2\sin^2\varphi}}$ (V). Щоб визначити y залежно від тих самих величин, підставимо щойно добутий вираз для x (V) в (IV). Це підставлення дає нам: $y = \frac{a(1-e^2)\sin\varphi}{\sqrt{1 - e^2\sin^2\varphi}}$. Знаючи x та y, легко находимо ρ з вищенаведеного відношення $\rho = \sqrt{x^2 + y^2}$. Таким способом для всякої точки земного сфероїда можна найти величини φ, φ^1 і ρ; цим і розв'язується поставлене завдання.

Розміри Землі.

Ми бачили, отже, що Землю завжди досить точно можна вважати за еліпсоїд, де велика піввісь становить 6378,25 км, а мала — 6356,32 км. Цими величинами цілком визначаються її розміри. Відси видно, що обвід екватора Землі становить 40055,41 км.

Маса Землі і принцип визначати маси

Дальше дуже важливе завдання — це визначити масу всієї земної кулі. Це завдання можна розв'язати цілком, і за основу розв'язання править такий простий принцип. Відомо, що матерія має властивість притягати. Це значить, що кожна маса притягує іншу масу з певною силою. Сила цього притягу залежить з одного боку, від величини притяжних мас, а з другого — од віддалі між ними. За Ньютоновим законом, що про нього ми говоритимемо докладніше далі, це твердження можна, розглядаючи рух небесних тіл, зформулювати так: кожні два тіла притягують одне одного прямо пропорційно їх масам і обернено пропорційно квадратові віддалі між цими двома масами. Математичною формулою це можна визначити так: нехай ми маємо дві маси M і m, а віддаль між ними — r. Тоді силу притягу між цими двома тілами можна подати так: $F = K^2 \frac{Mm}{r^2}$, де K^2 — це коефіцієнт пропорційности.

Щоб знати масу Землі, треба визначити, з якою силою вона притягає якунебудь іншу масу, і щоб визначити земну масу кількісно, треба порівняти її притяг з притягом цієї другої маси якоюнебудь третьою масою певної величини. Тоді з порівнання сил притягу між Землею і другою масою з притягом між другою й третьою легко найти масу Землі.

Наприклад, коли порівнювати притяг, що його чинить Земля і олив'яна куля на притягане тіло, беручи до уваги поправки на віддалі від нього до відповідних центрів (для того треба, звичайно, знати розміри Землі), можна визначити число, яке показуватиме, в скільки разів маса Землі перевищує масу олив'яної кулі з певним діяметром. На тім самім принципі порівнювання притягів базується і визначання маси всякого іншого небесного тіла. А саме, маси плянет, що мають супутників, визначають з притягу супутників до цієї плянети, а маси подвійної зорі, де одна зоря обертається довкола другої певною путтю обчислюють на підставі сили притягу між двома складовими цієї зоревої пари.

Згаданим допіру способом і визначено масу Землі. Виявилося, що вона майже в 10^{21} разів більша за масу олив'яної кулі з діяметром 1 метр. Як бачимо, це дуже велике число. Щодо пересічної густини Землі, то виявляється, що вона дорівнює 5,5, коли за одиницю взяти густину води при 4°С. Проте, якщо просуватися вглиб Землі, то побачимо, що пересічно її густина різна на різній віддалі від центра. А саме, пересічна густина землі до глибини на 1 — 2 км, становить 2,5. Відси видно, що коли недалеко від поверхні Землі лежать порівняно негусті породи, то ближче до центра мають бути багато густіші. Коли порівняти наведене число 5,5, що характеризує пересічну густину землі проти густини різних металів та порід (пісок—2,5; вапняк—3,2;

виливане залізо—7,1; сталь—7,8; оливо—11,3; живе срібло—13,6; золото—19,3; плятина—21,5), то можна дійти висновку, що більша частина Землі може складатися з заліза. На підставі пророблених уже обчислень можна припустити, беручи до уваги стискуваність речовин, з яких складена Земля, що на різних глибинах густина має розподілятись так: на глибині 1 500 км—5,62; 3 200—8,30; 4 800—10,19 і, нарешті, в центрі Землі близько 10,8.

Після того, як ми обізналися з масою та густиною Землі, не завадить дізнатися, яким способом визначають ці величини. Це завдання розв'язують користаючи з так званих ***крутних терезів.***

Ці терези, як відомо, складені з двох маленьких кульок, насаджених на кінець стрижня. Цей стрижень почеплено в точці A на кварцовій нитці OA. Якщо лишити прилад на якийсь час у стані спокою, то стрижень поволі перестає хитатися і робиться нерухомий. Коли тепер взяти дві великі масивні кулі і примістити їх, наприклад, у точках KK, як показано на рисунку, то притяг від них на малі кулі, закріплені на стрижні, змусить стрижень вийти з стану спокою і, після певного періоду хитання, стати в якесь нове положення bb, відхиливши стрижень на невеличкий кут. Нитка, звичайно, при тім злегка закрутиться. Кут, що на нього повернули стрижень, не важко обчислити, а також способом лябораторних дослідів визначити той опір, що його ставить кварцова нитка проти закручування. Є така формула: $t = 2\pi\sqrt{\frac{l}{f}}$; тут t — час повного похиту стрижня, l — віддаль від A до b, а f — опір нитки проти закручування. Ця формула дуже нагадує ту, що визначає час коливання маятника (тобто $t = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$); вся різниця тут лише та, що замість g — прискорення сили тяжіння тут величина опору проти закручування — f,

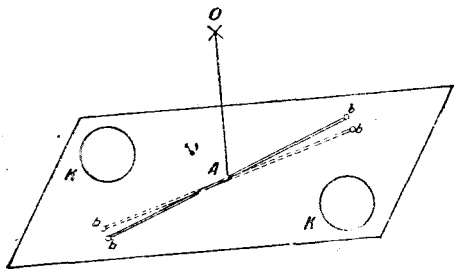


Рис. 10. Крутні терези.

Маючи ці дві формули, ми легко можемо зі спостережень над періодом хитання стрижня Ab, а також маятника певної довжини визначити величини f — опір проти закручування і g — прискорення сили тяжіння.

Тепер, коли f і g відомі, можна обчислити і масу Землі за законом притягу, що за нього ми нещодавно згадували. Подивимось, як це можна зробити.

Припустімо, що маса Землі нам невідома; позначаємо її через M, радіюс Землі через R (припустімо, що Земля — куля). Через $2m$

позначаємо суму мас обох великих куль, піднесених до кульок, закріплених на кінцях стрижня закрутних терезів, а їх взаємні віддалі від великих куль позначаємо через r. Тоді, через те, що як ми вже говорили, сила притягу прямо пропорційна з добутком мас і обернено пропорційна з квадратом віддалі між ними, легко находимо: $\frac{M}{R^2} = \frac{2m}{r^2} = g : f$; з цього відношення і визначаємо масу Землі, тобто M.

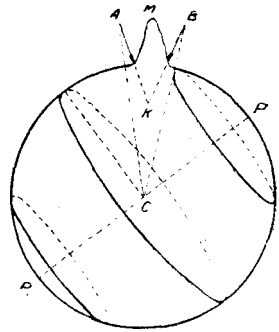


Рис. 11. Визначання маси тіла з притягу гори

Можна визначити масу Землі ще й іншим способом. Припустімо, що в якомусь місці земної поверхні є гора (див. рис. 11). Спостерігач стоїть спочатку в точці A по один бік цієї гори, а потім переходить на другий її бік у точку B. Кут при центрі землі C, утворений двома радіюсами, що проходять через A і B, можна легко обчислити, бо віддаль AB по земній поверхні (дуга) визначається тріянґуляцією, а радіюс Землі нам відомий.

Почепимо тепер у точках A і B два виски. Напрям ниток цих висків не збігатиметься з напрямом радіюсів, бо в наслідок притягу гори виски відхиляться в напрямі до неї,— отже, продовжені напрями ниток вглиб Землі перетнуться не в центрі Землі, а ближче до її поверхні, наприклад, у точці K, утворивши кут BKA. Напрями висків можна визначити астрономічними спостереженнями відносно зір; отже, буде відомий і кут K. Відхил висків від напрямку радіюсів, тобто суму кутів CBK і CAK можна обчислити, користаючи з елементарної геометрії, а з неї відомо, що сума цих двох малих відхилів дорівнює різниці поміж кутів AKB і ACB. Якщо гора симетрична супроти своєї осі, то відхил в A має бути однаковий із тим, що утворюється в точці B; отже, кожний з них окремо дорівнюватиме половині різниці поміж AKB і ACB. Таким способом визначають відхили висків, що сталися в наслідок притягу гори. З цього відхилу вже дуже легко обчислити відношення сили притягу гори до сили притягу Землі. Розгляньмо чин цих сил.

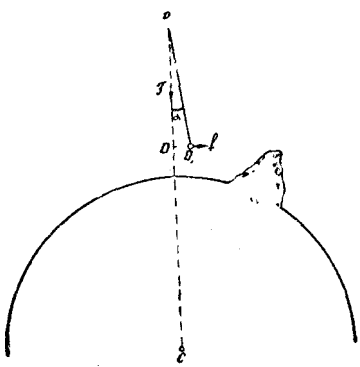


Рис. 12. Притяг гори.

Нехай на рисунку подано два положення виска. Одне відповідає тому припущенню, що впливу гори зовсім немає, і друге,

що його набуває нитка під впливом притягу гори. В першім нитка має напрям за радіюсом OD, а в другім — OD_1 відхилена на певний кут α в наслідок притягу гори. Очевидно, що на точку D чинять дві сили: одна F — притяг Землі в напрямі OD, а друга f — у напрямі до гори. Можна довести, що відношення цих сил, тобто $\frac{F}{f}$, дорівнює відношенню $\frac{OD}{DD_1}$. Тепер очевидно, що гора тут має значення великих куль, що ними ми користувалися, визначаючи масу Землі закрутними терезами. Наприклад, за горою 1 500 м заввишки і 1 500 м завширшки матимемо відхил, більший приблизно у 800 разів, ніж той, що його можна було б спостерігати, маючи залізну кулю з діяметром на 0,30 м. Ця метода важка і неточна, особливо тоді, коли ми маємо діло з горою неправильної форми, складаною з порід дуже різної густини.

Проте, якраз ця метода дала перше порівняно точне визначення маси Землі.

Як визначати силу притягу в різних точках, користаючи з маятника.

1672 року Французька Академія Наук, щоб визначити віддаль між Землею і плянетою Марс (маючи на меті визначити віддаль до Сонця) відрядила з Парижу до Каєнни Рішара; щоб зробити потрібні спостереження, він узяв із собою годинник з маятником. Цей годинник перевірили в Парижі і довжину його маятника зрегулювали так, що він ішов там правильно, даючи точно 8640 похитів на добу. Установивши цей годинник у Каєнні і знову перевіривши його за зорями, Рішар був дуже здивований, виявивши, що годинник почав тут відставати майже на дві хвилини, тобто маятник давав у Каєнні майже на 120 похитів менше, ніж у Парижі. Інакше кажучи, маятник у Каєнні почав хитатись повільніше, ніж у Парижі.

Щоб знову змусити годинник іти правильно, йому довелося трохи прикоротити маятник. Повернувшися знову до Парижу з цим відрегульованим для Каєнни годинником, Рішар виявив, що тут він почав, навпаки, поспішати на дві хвилини, і маятник знов довелося видовжити. Все це виявило, що така зміна в ході годинника була наслідком не того, що сам годинник зіпсувався, а того, що сила притягу в цих двох пунктах земної поверхні, яка змушувала маятник хитатись, була неоднакова. У Парижі вона була більша (маятник хитається швидше), а в Каєнні — менша. Отже, з усього сказаного виходить, що числом похитів маятника протягом того самого інтервалу часу можна виміряти сили притягу Землі в різних пунктах її поверхні.

Для невеличких похитів маятника, якими користуються в точних годинниках, ми маємо відому вже формулу $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$, а тому,

вимірюючи період похиту того самого маятника у двох різних місцях земної поверхні і найшовши для цих періодів вирази t_1 і t_2, ми зможемо написати два такі відношення:

$t_1 = \pi \sqrt{\frac{l}{g_1}}$ (у першім місці) і $t_2 = \pi \sqrt{\frac{}{g_2}}$ (I) (у другім місці)

легко находимо відси, що $\frac{t_1}{t_2} = \frac{\sqrt{g_2}}{\sqrt{g_1}}$. Визначивши зі спостережень над тривалістю похитів маятника відношення $\frac{t_1}{t_2}$, ми легко визначимо і відношення прискорень сили тяжіння в цих двох місцях. Наприклад, якщо годинник у першім місці дає n_1 похитів за якийсь час, а в другім за той самий час на якусь величину a більше, тобто число похитів для цього місця буде: $n_2 = n_1 + a$, то з рівности (I) найдемо, піднісши її до квадрата і визначивши, g_2, що $g_2 = g_1 \left(1 + \frac{a}{n_1}\right)^2$

Переходимо тепер до математичного розгляду цього питання.

Цілком очевидно, що коли густина порід, з яких складена Земля, була всюди однакова, то, беручи до уваги з одного боку, що Земля — еліпсоїд, а з другого, що вона обертається довкола своєї осі, ми мали б спостерігати рівномірну зміну сили притягу при переході від полюсів Землі до її екватора, як наслідок щойно розглянених двох явищ.

Неоднаковість сили тяжіння в різних точках земної поверхні, як наслідок обертання Землі довкола осі (коли вважати Землю за кулю).

З фізики добре відомо, що відосередкова сила, яка намагає віддаляти часточки обертного тіла від обертової осі дається формулою.

$$f = \frac{v^2}{\rho} \cdots (I);$$

Тут f — відосередкова сила, v — швидкість обертання в даній точці, і ρ — віддаль цієї точки від обертової осі. Очевидно, що для кожної точки Землі, що обертається, матимемо ту саму формулу.

Ми знаємо, що Земля обертається довкола своєї осі протягом однієї доби, тобто за $24 \times 60 \times 60 = T$ секунд. Отже, лінійну швидкість всякої точки земної поверхні дасть вираз:

$v = \frac{2\pi\rho}{24 \times 60 \times 60} \cdots$ (II), тобто частка від ділення кола, що його проходить дана точка протягом доби, на число секунд у добі (див.

рис. 13). Відси, підставивши в (1) замість v його вираз (II) легко найдемо $f = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \rho$, але віддаль від обертової осі (на рисунку) з прямокутнього трикутника ACT, дорівнює $\rho = r \cos \varphi$, де r — радіюс Землі, а φ = широта даної точки. Тоді: $f = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 r \cos \varphi$. Відосередкову силу f можна, користуючись паралелограмом сил, розкласти на дві складові, а саме: k і l. Напрям сили k збігається, отже, з напрямом радіюса AT, а l — з дотичною AN. Не важко бачити з прямокутніх трикутників ADS та SAN, що $AD = k = \cos \varphi$, бо кут DAS дорівнює φ, як відповідний при паралельних лініях EE і CS, перетятих прямою DT. $l = f \sin \varphi \ldots$ (III). Коли притяг у точці A напрямлений до центра Землі в напрямі її радіюса AT, то сила $k = f \cos \varphi$, намагаючи підняти точку A перпендикулярно до земної поверхні, ставитиме опір цьому притягові, отже й зменшуватиме вагу кожного предмета, що буде в цій точці.

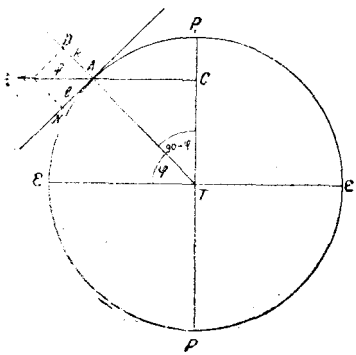


Рис. 13. Відосередкова сила.

Цілком зрозуміло, що відосередкова сила $f = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 r \cos \varphi$ буде найбільша на екваторі, бо тут $\varphi = 0$, отже й $f = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 r$ і найменша — на полюсах, бо там $\varphi = 90^0$, отже, $f = 0$. Відси виходить, що на екваторі всі тіла, через найбільшу величину тут відосередкової сили, менше важитимуть, ніж на полюсах, де відосередкової сили зовсім немає, де вона дорівнює 0. Видно так само з формули відосередкової сили, що вона то більша, що більша швидкість руху точки земної поверхні. Нескладні обчислення доводять, що коли б Земля оберталася в 17 разів швидше, ніж вона обертається тепер, то всі предмети на її екваторі зовсім позбулися б своєї ваги від протичину великої відосередкової сили, і могли б вільно висіти в повітрі, коли б їх лишити на певній висоті над земною поверхнею. Коли б швидкість обертання зросла більше, ніж в 17 разів, то всі предмети розлетілися б у світовий простір без втручання якоїнебудь іншої сили.

Як впливає на вагу предметів еліпсоїдальність Землі

На різницю в вазі предметів у різних частинах земної поверхні впливає не одна тільки допіру згадана причина (обертання Землі довкола осі). Тут чимало важить ще і те, що Земля не куля, а обертовий еліпсоїд, а це так само походить з того, що Земля

обертається. Якби Земля не оберталася, то не було б відосередкової сили, отже й другої її складової $l = f \sin \varphi$, що вона, як ми бачили, іде дотичною в напрямі до земного екватора. Ця сила змушує часточки пересуватись від полюсів до екватора і утворювати там певний випин, надаючи Землі еліпсоїдальної форми.

Еліпсоїдальної форми Земля мала набути ще до того, як на ній утворилася тверда кора, коли вона була розжареною кулею, і часточки вільно переміщувалися під впливом сили l від полюсів до екватора. Проте, якби Земля ніколи не була газуватим чи течним тілом, вона все ж мала б набути еліпсоїдальної форми, бо абсолютно твердих тіл немає, і всяке тіло деформується. Так сплющується металеве кільце, набуваючи форми еліпси, коли його досить швидко обертати довкола одного з діяметрів.

Так от, різницю в силі притягу в різних точках земної поверхні тим і пояснюємо, що Земля не куля, а еліпсоїд. Що Земля стиснена (сплющена коло полюсів), точки земного екватора лежать на $21^1/_2$ км далі від її центра, ніж полярні. Ньютон же довів, що притяг залежить також і од віддалі притяганої точки від центра Землі. Через те предмети, що містяться на екваторі Землі, тобто в точках, які лежать дальше від центра, притягуються менше, ніж предмети, що лежать на полюсах.

Зрозуміла річ, що на силу притягу (на вагу тіл) впливають обидві ці причини разом, тобто і відосередкова сила, і еліпсоїдальна форма Землі; при цім зменшення сили тяжіння, що сталося з другої причини, майже вдвоє менше за те, що постає від відосередкової сили.

Під впливом цих двох причин разом сила тяжіння на екваторі, виходить, на $^1/_{190}$ менша, ніж коло полюсів. Числом цю зміну можна подати так: предмет, що важить коло полюса 200 тонн, стає легший на екваторі трохи більше, як на одну тонну.

Ґравіметрія (виміряння сили тяжіння).

Ми оце бачили, що через обертання Землі та її еліпсоїдальну форму прискорення сили тяжіння має бути різне в різних точках земної поверхні, правильно змінюючись, коли йти від полюсів до екватора. На полюсах воно має бути максимальне, а в точках, розміщених уздовж екватора—доходити мінімуму. Так було б, якби Земля складена була з порід однакової густини, або коли б густина їх зростала з глибиною, але самі породи різної густини розміщені були більш менш рівномірними шарами, не утворюючи в різних місцях зложищ то більш, то менш густих речовин, як це є справді. В наслідок такого нерівномірного розміщення порід має бути місцевий вплив на величину g, яка в цих місцях має, отже, відходити від тієї вартости, що мала б бути, якби розміщення було рівномірне. Отже, вимірюючи g в різних місцях земної поверхні і порівнюючи його з тією величиною, яка мала б бути, якби не було надміру або нестачі маси в цих пунктах, ми можемо

робити висновки про те, чи залягають у данім місці під поверхнею Землі породи густіші, чи менш густі. [1]) Таке вивчання аномалій сили тяжіння *(g)* дає нам до рук могутню зброю виявляти різні корисні копалини, що залягають на тій чи іншій глибині під поверхнею Землі. Цікаво навести табличку, як має змінюватись величина *g* на Землі, разом із широтою, коли на неі не впливають сторонні маси, що залягають в тих и тих місцях під поверхнею землі.

Нормальне виміряння сили тяжіння з широтою

(на рівні моря)

40	980,1811	49	980,9895	58	981,7639
41	980,2701	50	981,0786	59	981,8445
42	980,3596	51	981,1673	60	981,9236
43	980,4494	52	931,2553	61	982,0012
44	980,5395	53	981,3426	62	982,0770
45	980,6297	54	981,4290	63	982,1512
46	980,7199	55	981,5144	64	982,2234
47	980,8100	56	981,5983		
48	980,8999	57	981,6820		

Вимірюють силу тяжіння, як ми вже говорили, користаючи з маятників.

Для відносних визначень сили тяжіння беруть маятники, що не змінюють своєї довжини. Тоді видно з раніше поданих формул, що прискорення сили тяжіння у двох місцях обернено пропорційне квадратам часу похитів, які, отже, і треба визначити зі спостережень. Прилад визначати силу тяжіння, що його сконструював Штернек, має півсекундні маятники, і при ньому є спеціяльний прилад, що дає змогу відзначати збіг похитів маятника в приладі з ходом точного годинника, що його перевіряють за зорями. Цей прилад дуже компактний, і його легко переносити з місця на місце, коли треба визначати силу тяжіння в різних місцях земної поверхні.

Штернеківський прилад нової конструкції має чотири півсекундних маятники з ніклевої сталі або кварцу. Ці маятники містяться на тім самім штативі навхрест. Багато маятників беруть для того, щоб виміри були точніші. Маятники чіпляють на агатових ніжках і хитаються вони в спеціяльних агатових лягерах. На маятниках укріпляють маленькі люстерка спостерігати час похитів з великої віддалі через невеличку зорову трубу з натягненою посередині поля зору ниткою.

Допоміжний Штернеківський апарат, що про нього ми говорили, це електромагнет, де струм, змикаючись і розмикаючись через годинник, перевірений за зорями, відкриває і закриває затулку, відки тоді, коли вона відкрита, виривається промінь

[1]) Щоб виявляти це явище — зменшення тяжіння в напрямі до екватора, треба користуватися пружинними терезами, бо тягарці так само втрачають на вазі.

світла. Цей світловий промінь падає потім на люстерко маятника і його спостерігають у трубу. Отже видно, що похити Штернеківського маятника і маятника годинника, потрібного для спостережень, збігаються тоді, коли зайчик (світловий промінь) потрапляє на нитку, натягнену в трубці. Треба, звичайно, для того встановити прилад так, щоб тоді, як маятник перебуває в стані спокою, зайчик падав на нитку в спостережній трубі.

Звичайно, опрацьовуючи зроблені з цим приладом спостереження, треба брати до уваги цілий ряд явищ, що можуть спричинятись до помилок; наприклад, треба завжди однаково чіпляти маятник. Площина похитів маятника має бути строго вертикальна проти горизонтальної площини. Треба, щоб прилади ніяк не тремтіли під час роботи, щоб на маятниках не було ні пилу, ні краплин води, осілих з навколишнього повітря (ці краплинки часто бувають, якщо температура середовища, де містяться маятники, дуже змінюється). Від того може бути помітна похибка на 30 x 10^{-7} секунд. Крім того, треба, щоб годинник був перевірений астрономічними спостереженнями якнайретельніше. Треба також, щоб абсолютно не було впливу від хитання самого штатива або, як кажуть, щоб не було співхитання приладу, до чого спричиняються похити маятників.

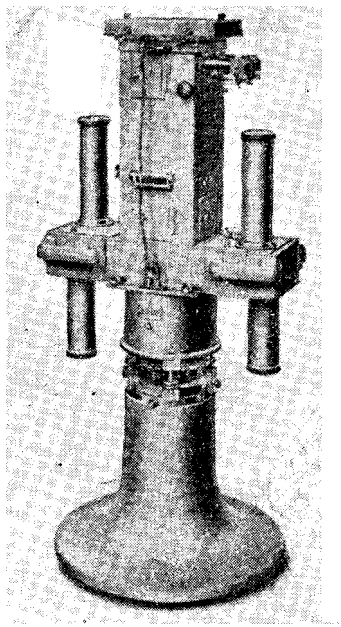


Рис. 14. Етвешівський варіометр.

Дуже зручна річ — фотографічна реєстрація похитів; до неї часто вдаються тепер. Крім того, спостереження треба зводити до рівня моря, бо їх можна робити в місцях, що лежать над ним на тій чи тій висоті і заводити ще інш поправки, яких ми тут розглядати не будемо.

При дуже точних роботах, коли виміряють силу тяжіння, працюють з Етвешевим приладом (Етвешівський варіометр); це не інше що, як спеціяльно пристосовані для таких робіт і дуже точні закрутні терези. Вони добре пристосовані, щоб визначати розподіл сили тяжіння в невеличких ділянках поля тяжіння Землі, проте, мало пристосовані на те, щоб вивчати загальне поле тяжіння Землі. Коли почали користати з цього приладу, то побачили, що з ним можна виявляти, на основі вимірювання сили тяжіння в різних місцях, зложища багатьох корисних копалин, як от різних солей, нафти, крейди тощо.

Отже, перелічені прилади та методи дають змогу поставити питання про виявлення зложищ корисних копалин. Проте, щоб розв'язати чимало проблем, зв'язаних з цим суто-практичним питанням, доведеться до згаданих метод приєднати й інші. А саме, крім дослідження аномалій сили тяжіння, треба досліджувати і так звані магнетні аномалії, тобто місця Землі, де магнетні елементи, що характеризують їх, ненормально великі або ненормально малі.

Такі досліди дають змогу виявляти металі, що в тій чи тій мірі мають магнетні властивості. Крім того, застосовують ще сейсмографічну методу, коли, спостерігаючи поширювання хвиль у наслідок навмисне зроблених у певних точках земної поверхні вибухів, де є та чи та аномалія, можна до певної міри виявити властивості та причини цих аномалій. Застосовуючи згадані методи, ми можемо більш чи менш точно виявити і місця, де залягають ті чи ті копалини, і глибину їх залягання, а також площу їх і обсяг. Немає потреби говорити про те, яка важлива така робота, де безпосередню участь бере астроном, особливо в епоху інтенсивного соціялістичного будівництва в нашім Радянськім Союзі. От чому тепер особливу увагу звертають на такі ґравіметричні та магнетні здіймання, що від року до року чим раз ширше розгортають свою мережу і виявляють нові й нові підземні багатства.

Наша важка індустрія, що зростає велетенськими темпами, потребує нових баз сировини, а це можна зробити в порівняно короткий термін лише згаданим способом.

Про важливість геологічного розвідування взагалі і ґравіметричного зокрема свідчить невеличкий уривок з документу, що має для нас історичне значення.

„Забезпечення розвитку народнього господарства висуває потребу надати таких темпів геолого-розвідувальній справі, які б набагато випередили темпи розвитку промисловости, щоб завчасу готувати матеріяльну сировину. Для того треба домогтися рішучого зрушення в ґеолого-розвідувальних роботах і цілком забезпечити цю справу матеріяльною базою, переглянувши в цім напрямі п'ятирічку ґеолого-розвідувальної справи".

Ці слова взято з резолюції XVI з'їзду ВКП(б).

Виконуючи партійні директиви, ґравіметрична нарада, що її р. 1931 скликала Комуністична Академія, „констатує, що ґравіметричні роботи мають величезне значення не тільки для вивчання важливих теоретичних робіт, але вони, разом з тим, мають актуальну, дуже велику вагу для здійснення реконструкції народнього господарства на соціялістичних засадах"

Внутрішня будова Землі

Цілий ряд явищ свідчить про те, що Земля всередині дуже гаряча. Так, вибухання вулканів, що викидають розжарену лаву, яка спалює все перед собою, показує, що температура тих діля-

нок Землі, що не так уже й глибоко лежать від її поверхні, далеко вища за точку топлення кам'яних порід. За високу температуру в глибині Землі свідчать також гарячі джерела та пара, що виривається з земних надр. Відомо, що в глибоких шахтах температура куди вища, ніж на поверхні Землі. Такі досліди в глибоких шахтах показують, що коли спускатись на кожні 55 метрів углиб Землі, температура збільшується приблизно на 1°С. В різних місцевостях цей градієнт температури трохи різниться.

Коли вважати, що на протязі всього земного радіюса температура зростає на 1° на кожні 55 м глибини, то не важко пересвідчитись, що на глибині 10 км вона має становити, приблизно, 170°, на глибині 100 км 1 700°, на глибині 2000 км—34000°, а коло самого центра Землі — близько 110000°. Ми бачимо, отже, що вже на порівняно малих глибинах температура дуже велика, і що всередині Землі — величезні теплові багатства.

Тепер техніка намагається добрати способів, як використовувати це внутрішнє тепло Землі, щоб надавати руху різним машинам.

Так, в Італії, наприклад, парою, що виходить з щілин у Землі, рухають невеличкі машини.

Взагалі ж це питання енергійно опрацьовують, і в майбутнім людство матиме тут блискучі наслідки.

Є підстави гадати, що в глибині Землі температура зростає дещо повільніше. Проте, безперечно, що температура всередині Землі доходить кількох десятків тисяч градусів. Раніше думали, що на великій глибині Земля — це розжарена течна речовина. Тепер проти такого припущення є серйозні заперечення. Так, наприклад, не можна, розглядаючи стан середини Землі, не брати до уваги того колосального тиску, що його чинять верхні шари на нижні.

На основі Ляплясового закону про густини виходить, що в центрі Землі тиск від верхніх шарів має бути майже в 3000 разів більший, ніж тиск атмосфери на поверхні Землі на квадратовий сантиметр, тобто в центрі землі один квадратовий сантиметр має зазнавати тиску майже на 3000 тонн. Деякі спостереження доводять, що середина Землі — це тверда, дуже стиснута і дуже елястична речовина. Є підстави гадати, що середина Землі має твердість сталі.

Основні заперечення проти течного стану середини землі такі: відомо, що Місяць своїм притягом підіймає води морів та океанів, спричинючись до так званих *припливів* та *відпливів*. Якби ядро Землі було течна маса, то, як кажуть фізики, і там можна було б спостерігати припливні хвилі, що періодично підіймали і спускали різні ділянки земної поверхні, і якраз ті, де на даний момент відбувається морський приплив чи відплив. Не важко уявити собі, що з таким припущенням ми зовсім не мали б змоги помітити морських припливів та відпливів, які спостерігаємо

насправді, подібно до того, як ми не помічаємо руху Землі довкола її осі, бо водночас з тим, як піднімалася і спускалася б вода, підіймався і спускався б так само суходіл.

Друге заперечення проти твердження, що середина землі течна, базується на швидкості розпросторювання хвиль всередині Землі, що їх спричиняють землетруси. Спостереження точними сучасними приладами, що відзначають землетруси (сейсмографами), свідчать про те, що характер і швидкість розпросторювання цих хвиль якраз такі, якими їм слід бути тільки в твердій і дуже стисненій речовині.

Отже, на підставі всього попереднього, ми робимо висновок, що вся Земля майже від самих верхніх її шарів і до тих, що лежать коло центра — тверда.

Найголовніші складові частини земного ядра це залізо та нікель. Тому ця внутрішня частина земної кулі має назву *Ніфе*, бо хемічні показники нікелю — Ni, а заліза Fe. Радіюс цієї частини Землі (Ніфе) становить 3500 км, а густина може бути від 6 до 12 (проти води).

Земну кору поділяють здебільшого на дві частини. Пересічна густина поверхневого шару її близько 2,7; грубина — близько 120—180 км.

Між цим верхнім шаром і Ніфе лежить проміжний шар приблизно на 1000 км завгрубшки; густина його близько 3—4. Своїм хемічним складом обидві ці частини так само дуже різняться одна від одної.

Поверхневий шар, менш густий, складений, переважно, з силіцію (Si) та алюмінію (Al), а тому його звуть *Сіаль*. У другім шарі переважає силіцій в його сполуці з магнезієм (Mg), а тому його звуть *Сіма* (*Sima*). Так побудована, загалом кажучи, середина Землі.

Нарешті, вчені, наприклад, Веґенер, гадають, що густіша Сіма, яка лежить під Сіалем, має високу температуру і зазнає великого тиску від частин Сіалю; тому вона дуже плястична, і тому суходільні масиви, що складені з Сіалю, ніби плавають у плястичній масі Сіми, занурені в неї певною своєю частиною, так само, як плавають по воді крижані гори — *айсберґи*. На цім припущенні базується Веґенерова теорія про те, що вся суходільна частина Землі колись була одним великим суходолом, а потім, розірвавшись, окремі її частини поволі, протягом багатьох мільйонів років розлізлись різними напрямами, утворивши відомі нам тепер суходільні масиви.

Деякі астрономічні спостереження ніби потверджують такі припущення, відзначаючи, що суходоли дуже повільно змінюють свої віддалі один від одного. Деякі астрономічні спостереження свідчать про те, що віддалення між Америкою та Европою ніби справді змінюється, і що Америка дуже повільно посувається на північ. Проте, ці наслідки потребують ще серйозної перевірки.

Припливи та відпливи.

Щоб дати хоча б приблизне уявлення про ті явища, що відбуваються на нашій Землі і що їх має дослідити астроном, треба, крім того, що вивчити тверду основну частину нашої Землі, ще й звернути увагу на явища, які відбуваються у рідкій водяній оболонці її, а так само і в повітряній,— тобто в атмосфері. Тому ми тепер розглянемо припливи та відпливи, що їх можна спостерігати у водяних басейнах земної кулі.

Всяке тіло, що перебуває у світовім просторі, має впливати на Землю своїм притягом. Цілком очевидно, що найближчі і наймасивніші тіла мають найдужче притягати. Приміром, Землю найбільше притягають Місяць і Сонце. Місяць—через свою близькість (380 000 км) і Сонце—через свою велику масу (сонцева маса в 700 разів більш за масу всіх плянет, разом узятих). Явища, що їх звуть — приплив та відплив, відбуваються, загалом кажучи, так: рівень води в морях та океанах безнастанно змінюється. Протягом шести годин він у двох якихнебудь діяметрально протилежних на земній кулі місцях безнастанно підноситься. Припливна хвиля наступає на берег і, коли він низький, затопляє його. Це явище звуть приплив. Після того, як вода дійде свого найвищого рівня, вона так само протягом шести годин починає безупинно спадати, поки не дійде свого найнижчого рівня — це так званий відплив. Після того вода знову починає прибувати — і знову починається приплив. Отже, протягом доби в тім самім місці земної поверхні буває два припливи і два відпливи, запізнюючись кожної доби, приблизно, на 50 хвилин. Якщо простежити за рухом Місяця, то ми побачимо, що він у кожнім данім місці земної поверхні досягає свого найвищого положення на небі кожної доби, при чім ці найвищі положення кожної наступної доби запізнюються так само, пересічно, на 50 хвилин проти попередньої доби. Все це свідчить про безперечний зв'язок між цими двома явищами, тобто між припливами та відпливами і видимим рухом Місяця.

Ми вже говорили, що припливи у водяній оболонці Землі бувають у наслідок впливу не тільки Місяця, а й Сонця, і не тільки у водяній оболонці, а й в атмосфері Землі, а так само і в твердім її ядрі. Таким самим способом кожне небесне тіло своїм притягом має утворити припливні хвилі у другім тілі. Виявляється, проте, що хоч Сонце має величезну масу проти всіх інших дрібних тіл, які лежать порівняно близько від Землі, воно може утворювати припливи близько в 2,5 разів менші, ніж Місяць; це через те, що між ним і Землею надто велика віддаль. Притяг інших небесних тіл такий малий, що його можна зовсім не брати до уваги, бо припливи від них практично майже не помітні.

Розгляньмо тепер, як сила притягу Місяця утворює у водяній оболонці Землі явище припливів та відпливів. Нехай на малюнку

точка $З$ буде центр кулястої Землі, а M — центр Місяця, що лежить на віддалі $ЗM$.

Видима річ, що притяг Місяця на точку P іде прямою PM, на точку D прямою DM, і, нарешті, на протилежну P точку P_1 — в напрямі P_1M. Цими ж напрямами мають іти й прискорення, що їх Місяць дає цим точкам. Очевидно, що прискорення P_1B більше за прискорення PB_1, бо точка P лежить дальше від Місяця, ніж

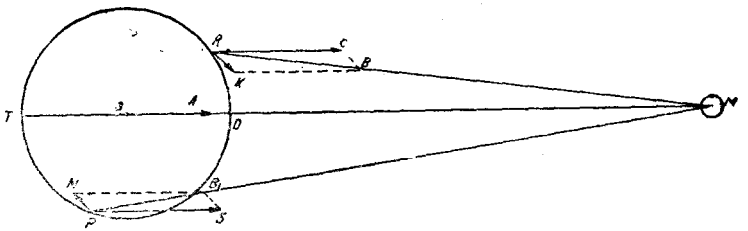


Рис. 15. Сили, що спричиняють припливи.

точка P_1, а притяг, як ми знаємо, змінюється обернено пропорційно квадратові віддалі між тілами, що притягують одне до одного. Розкладімо прискорення P_1B на дві складові так, щоб одна з них дорівнювала $ЗA$ і була паралельна з нею. Назвімо цю складову P_1C. Тоді що P_1B більше, ніж $ЗA$, друга складова буде напрямлена так само вправоруч на рисунку, а величиною й напрямом дорівнюватиме P_1K. Розкладаючи прискорення PB_1 так, щоб одна з складових так само, як і в першім випадку, дорівнювала $ЗA$ і була паралельна з нею, наприклад, PS, побачимо, що друге прискорення має становити з PS тупий кут і дорівнювати, отже, величиною й напрямом PN. Що прискорення PS та P_1C, утворювані притягом Місяця в точках $З$, P і P_1 усі рівні між собою, то очевидно, що прискорення PC і P_1S не можуть зміщувати точок P і P_1 відносно центра $З$. Виходить, що ці прискорення не можуть утворити припливу, подібно до того, як однакові прискорення q, q, q, прикладені до середини прута C та до кінців A і B, не можуть зігнути прута AB. Вони можуть лише пересунути *ввесь прут*, не деформуючи його.

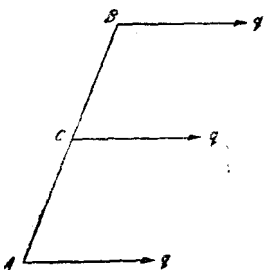


Рис. 16. Чин рівних і паралельних прискорень на прут.

Ті ж прискорення, що лишилися,— PN та P_1K, намагатимуть зсунути частинки P і P_1 у напрямі T та D. Ці прискорення утворюють приплив, бо вони намагають пересунути рухомі часточки води до згаданих допіру точок, утворивши там два припливні виступи A і B (рис. 17).

Це стає ще ясніше, якщо ми розкладемо кілька прискорень у багатьох точках земної поверхні і нарисуємо лише ті, що утворюють приплив, відкинувши решту.

Відси ми висновуємо, що в точках R, N рівень течива має знизитись, бо тут прискорення намагає наблизити воду до центра Землі, а також відтягти її від цих місць. Отже, у двох протилежних точках земної поверхні, що лежить на лінії, яка злучає центр Землі з Місяцем, має бути приплив, а в точках, що лежать від цих останніх на 90° — відплив.

Коли-б Земля не оберталась довкола своєї осі, а Місяць не обертався довкола Землі, то ми мали б завжди приплив в тім самім місці на боці Землі, оберненім до Місяця, і другий майже такої самої величини (трохи менший) на другім боці. Проте, обидва ці тіла обертаються, і це додає посутніх змін у картину, що її ми насправді спостерігаємо. Нехай і Земля довкола своєї осі і Місяць довкола Землі обертаються в той самий бік, але друге обертання повільніше за перше, як воно і є насправді. Тоді приплив в самім місці має настати не точно через 12 годин, а пересічно через 12 годин 25 хвилин, трохи запізнюючись. Справді

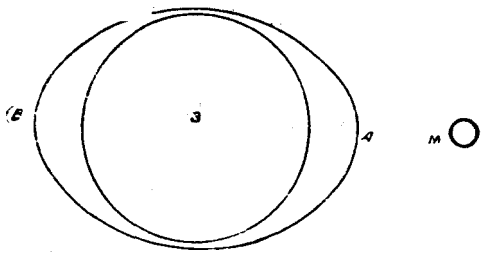


Рис. 17. Припливні виступи.

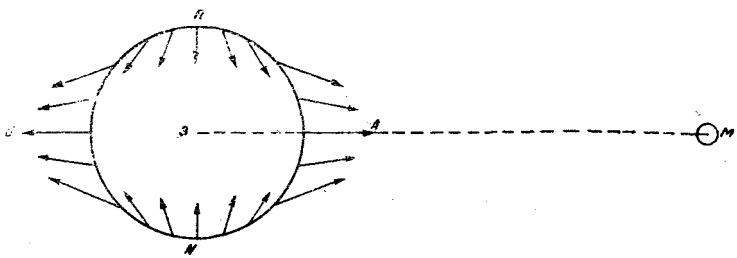


Рис. 18. Припливні прискорення.

так і буває. Крім того, є чимало причин,— тертя часточок води, місцеві умови, форма та обриси берегів тощо,— які змушують в деяких місцях приплив ще більше запізнюватись. Іноді запізнення може дійти двох годин. Воно має назву — прикладна година.

Висота припливу різна в різних місцях, залежно від згаданих умов. В деяких місцях припливи ледве помітні, а в деяких вони чималі. Наприклад, у середосуходільних морях вони дуже малі, зате на берегах океанів досягають великої висоти. Найвищий приплив буває в Канаді, де він доходить майже 21 метра. З часом висота припливу так само змінюється. Залежить це від

того, що змінюється висота над горизонтом Місяця й Сонця, а так само й від того, що віддаль Землі від цих тіл увесь час змінюється.

Отже, явище припливу, як ми спостерігаємо його, дуже складне явище. Проте, тепер теорію припливу так добре вже розроблено, що можна цілком точно передбачати час його наступу навіть на багато років уперед для всякого місця земної поверхні. Припливні хвилі мають велсичезну рушійнуи , у а тому сучасна техніка намагається використати цю силу через спеціяльні машини, що роблять силою припливних хвиль. Покищо завдання використати енерґію припливів в стадії розроблення. Треба ще відзначити, що припливні явища мають бути не тільки у водяній оболонці Землі, а і в атмосфері.

Атмосфера й астрономічні явища в ній.

Відомо, що Земля оточена повітряною оболонкою — ***атмосферою***. Атмосфера складена з суміші різних газів. 78% становить азот, 21% кисень, 0,94% аргону. На інші гази припадає всього 0,06%. Атмосфера має в собі трохи вуглецьІУ-оксиду,— 0,03% атмосфери щодо об'єму становить вуглецьІУ-оксид (вуглекислота). Пайка водяної пари дуже неоднакова і на різних висотах, і як до часу. Крім того, в атмосфері є пил, кіпоть, амоній та інші речовини. Густина атмосфери на рівні моря становить близько $^1/_{800}$ густини води. Тиск становить приблизно 1 кг на квадратовий сантиметр. Загальна вага атмосфери близько — 6 000 000 000 000 000 тонн. Густина атмосфери ввесь час зменшується в напрямі вгору, і на великих висотах вона дуже мала.

У кожнім разі сліди надто розрідженої атмосфери ми ще можемо помітити на висоті від 500 до 900 км, де спостерігається північне сяйво. Проте, тут густина ця не може бути більша за ту, яку ми маємо в наших круксових трубках через найкращі повітросмоки. Там, на цих надто великих висотах відбувається завжди обмін матерії з міжзоревим простором. З міжзоревого простору в нашу атмосферу мають проходити різні частинки, що літають у просторі, а з нашої атмосфери, в наслідок відосередкової сили[1]) (зрозуміло, що атмосфера обертається разом із Землею з такою самою швидкістю, як Земля), і в наслідок власного руху молекуль газів певна частина матерії з атмосфери має виходити в простір. Відси вже ясно, що світовий простір не може бути абсолютно порожній, хоч, звичайно, густина речовини що є в нім, надто мала.

На великих висотах атмосфера складена майже з чистого водню, куди він перемістився через свою легкість. Підіймаючи

[1]) Якби атмосфера не оберталась разом з Землею, то ввесь час лютували б вітри такої сили, що зміталиб усе з свого шляху.

метеорологічні прилади на аеростатах, установили, що температура на великих висотах дуже низька, і при цім вона зменшується не дуже плавко. На деяких певних висотах температура перестає спадати і навіть починає збільшуватись, а потім падає знов. Такі зміни температурної кривої в атмосфері звуть *інверсії*.

Рефракція

Вважаючи Землю за кулю, можна гадати, що земна атмосфера складена з однорідних сферичних і концентричних шарів, густина яких увесь час зменшується в міру того, як збільшується віддаль від земної поверхні. Цілком очевидно, що світловий промінь від якогось небесного тіла, потрапляючи з середовища з меншою густиною (світовий простір) до середовища з більшою густиною (земна атмосфера), має відхилитись від свого початкового напряму і заломитись. Так заломлюється він на межі кожного з концентричних шарів, на які ми поділили всю атмосферу. Коли тепер, щоб мати справжню траєкторію променя, припустити, що число цих шарів безмежно зростає, і при цім кожний з них робиться чим раз тонший, то ламана лінія, якою йшов промінь, коли проходив у кожнім шарі, перетвориться гранично на якусь криву лінію; ця лінія буде обернена опуклістю у бік, протилежний земній поверхні,— отже, ми матимемо криву, показану на рисунку. Отже, промінь світла, йдучи від S, потрапить в A викривленою траєкторією SA. Побачим же світило з A в напрямі останнього елементу путі світлового променя, коли він входитиме в зіницю нашого ока, інакше кажучи — в напрямі дотичної AS_1, тобто нам здається, що світило стоїть куди вище над горизонтом, ніж це є справді.

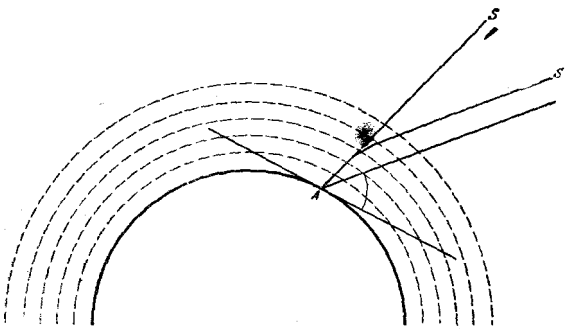


Рис. 19. Рефракція.

Це явище підіймання світила над горизонтом, в наслідок заломлювання звуть *рефракція*.

Рефракції не буває (вона дорівнює О) тоді, коли світило стоїть просто в зеніті, на продовженні прямовисної лінії в даному місці, і тоді світловий промінь падає нормально на кожний концентричний шар; з фізики ж відомо, що в цім разі він не має заломлюватись, а проходить крізь шар, не змінюючи свого початкового

напряму. В міру того, як світило наближається до горизонту, рефракція[1]) зростає, і коло горизонту доходить найбільшої величини — близько 33′48″.

Тому всі астрономічні спостерігання, що ними мають на меті визначити положення світла, слід виправляти на рефракцію. Для того є спеціяльні таблиці, що з ними легко й зручно робити такі поправки.

Звичайно, величина рефракції залежить також і від барометричного тиску, і від температури повітряних шарів. Це так само слід брати до уваги, обчислюючи поправки до пересічної рефракції, тобто такої, яку ми спостерігаємо при температурі 10°C і 760 мм барометричного тиску.

Рефракція дуже швидко зростає близько горизонта, досягаючи своєї максимальної вартости 33′48″, а тому Сонце й Місяць, коли вони заходять чи сходять, видаються нам не як круглі, а овалами, трохи сплющені знизу вгору. Так буває через те, що верхній край Сонця, в наслідок рефракції підіймається менше за нижній і від того змінюється кругла форма сонцевого диску. Крім того, наслідки меншої заломности проміння дуже довгих хвиль (червоне, жовте тощо заломлюється менше, ніж синє й фіялкове) зоря коло горизонту витягується на спектральну смугу.

Вбирання світла в атмосфері.

Світловий промінь, проходячи крізь атмосферу, зазнає не тільки рефракції. Його, крім того, ще вбирає атмосфера; цілком очевидно при тім, що вбирання то більше, що нижче стоїть над горизонтом світило, яке посилає своє проміння до спостерігача, бо тоді світловому промінню доводиться проходити довшу путь в середині атмосфери, ніж тоді, коли світило стоїть високо над горизонтом. З поданого тут рисунка сказане зрозуміло без дальших пояснень.

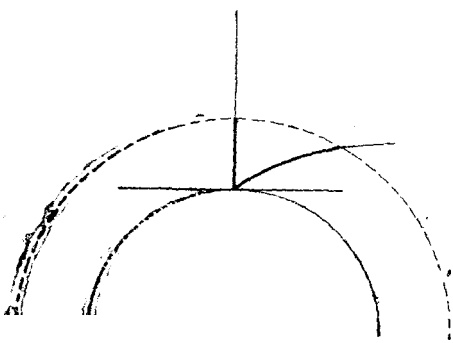


Рис. 20. Шляхи світлового проміння в атмосфері від світла, що високо й низько стоять над горизонтом.

Крім того, низько над горизонтом, тобто в низьких шарах атмосфери, де вона й так найгустіша, завжди плаває багато пилу, кіпоті, повітряної пари та інших речовин, що її занечищують. Тому тут, навіть на такій самій завдовжки ділянці, як і на великій висоті, вбирання буває

[1]) Від латинського слова *refringo* — заломлюю.

далеко інтенсивніше. З цієї причини нам, здається, що всі світила не такі яскраві коло горизонту, як високо над ним. Наприклад, на Сонце, коло воно заходить чи сходить, легко можна дивитись без ніякої шкоди для ока, не дивлячись на нього крізь задимлене скло, без якого ніяк не можна дивитись на Сонце, коли воно вже високо піднялося над горизонтом. Нам здається так само, що зорі далеко блідніші коло горизонту. Крім усього сказаного, треба ще відзначити різну вбираність світлових хвиль різних завдовжки. Приміром фіялкова й синя ділянки спектру інтенсивніше вбираються, ніж, наприклад, жовта та червона. Через те й світила коло горизонту, здаються нам червоніші, ніж на великій висоті.

Розсіювання світла в земній атмосфері.

Світловий промінь, який проходить всередині атмосфери, крім того, що заломлюється і вбирається, ще й розсіюється. До розсіювання світла спричиняються і тверді часточки, що плавають в атмосфері, і молекулі повітря. Розсіювання буває більше для коротких хвиль і менше для довгих. Цим пояснюється блакитний колір неба.

З інших явищ, що до них спричинюється розсіювання світла в атмосфері, треба відзначити *присмерк*. Що світло розсіюється в атмосфері, то нас може осявати Сонце навіть тоді, коли його проміння безпосередньо не падає на нас. Наприклад, коли Сонце стоїть під горизонтом ще вдосвіта або по заході, воно ще якийсь час осяває верхні шари атмосфери над тим місцем, де ми перебуваємо. По заході або до сходу Сонця буває якийсь час видно,— і день, і ніч не надходить раптом. Сила освітлення під час присмерку поволі зменшується в міру того, як Сонце глибше заходить під горизонт, і, нарешті, настає ніч. Під той час у те місце поверхні Землі, де ми перебуваємо, перестає попадати і розсіяне та відбите від верхніх шарів атмосфери світло, і стає темно.

Той момент, коли на небі помітні стають зорі 6-ої величини, тобто найменш яскраві з тих, що їх можна бачити голим оком, звуть *кінець астрономічного присмерку*. Кінцем звичайного присмерку ми звемо той момент, коли морок згущується так, що не можна вже читати без штучного світла. Виявляється, що в момент закінчення астрономічного присмерку Сонце спускається на 18° під горизонт. Тривалість присмерку буває різна в різних широтах, а так само і різної пори року в тім самім місці земної поверхні. Це залежить від видимої путі Сонця протягом доби, неоднакової на різних широтах і різної пори року. Отже, щоб зайти під горизонт на 18°, Сонцю потрібний буває різний час.

Знаючи, що астрономічний присмерк кінчається, коли Сонце зайде під горизонт на 18°, легко можна обчислити висоту най-

вищого і досить густого шару повітря, який ще помітно відбиває світло у місце спостерігання на земній поверхні. Розгляньмо, як це можна зробити.

Нехай на рис. 21 AB — це частина поверхні Землі, CD — частина найвищого шару повітря, який ще помітно відбиває світло. Тоді останній соняшний промінь, що доходить до місця M, відбивається від точки K, цього найвищого шару вздовж горизонту точки (MN). За законами відбивання кут BKO дорівнює кутові MKO. Далі, через велику віддаль Сонця від Землі напрям KB можна вважати за паралельний з MS. Кут RKS позначимо через k; він дорівнює $KMS = 18^0$. $\angle BKO = 90 - \frac{K}{2}$. Якщо позначити TK через h, тобто висоту найвищого шару повітря, що відбиває ще світло, а радіюс Землі через r (тобто $KO = (r + h)$, то з трикутника MOK легко найдемо:

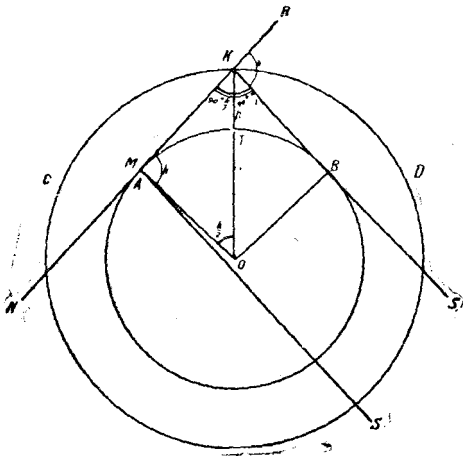


Рис. 21. Визначання висоти повітряних мас, які ще помітно відбивають світло.

$$\frac{r}{r+h} = \cos\frac{k}{2} \text{ або } h = \frac{2r\sin^2\frac{k}{4}}{\cos\frac{k}{2}}$$

Вставивши в цю формулу замість радіюса Землі r його вартість на кілометри ($r = 6\,370$ км), знайдемо для $K = 18^0$, висоту — 79 км.

Вартість 79 км — це висота останнього шару повітря, який ще помітно відбиває світло. На більших висотах повітря вже так розріджене, що виявити його цим способом ніяк не можна. Проте, ми бачимо, що північне сяйво спалахує ще на висоті 200 — 900 км, де атмосфера ще рідша. Падні зорі, пролітаючи крізь земну атмосферу, теж загоряються на більших висотах, а саме 90 — 160 км.

Мигтіння зір.

Атмосфера ніколи не буває цілком спокійна, а в тих чи тих ділянках її завжди можна спостерігати повітряні течії; ці струмки повітря (подібні до тих, що їх видно душного дня над зоряним полем) так само впливають на путь променя, що проходить крізь атмосферу — вони ніби хитають його. Якщо джерело світла

ми уявляємо собі, як точку, то ці невеликі відхили від того напряму, в якім, нам здається, світловий промінь виходить, бувають причиною його мигтіння.

Різні кольори спектру заломлюються не однаково, а тому змінюється й колір миготливого світила. З цієї причини зоря, що здається нам точкою, мигтить, виблискуючи то блакитними, то зеленими, то інших кольорів вогнями. Світила, що видаються нам, як диск, тобто, як цілий ряд поодиноких крапок, миготять куди менше, ніж зорі. Зорі близько горизонта мигтять більше, ніж ті, що стоять високо, бо в першім випадку світловий промінь проходить довшу путь над нагрітою землею, відки підносяться догірні течії, ніж у другім.

З тієї ж таки причини мигтять і далекі електричні ліхтарі.

ЗАВДАННЯ ДО РОЗДІЛУ I.

1. Визначити віддаль до предмета, не підходячи до нього, — вимірявши невелику базу та два кути коло його кінців, утворених напрямом самої бази і напрямом від двох кінців її до цього предмета.

2. Визначити, який буде радіюс видимого горизонту, якщо дивитись з аероплана, злетівши на висоту 4000 м, і порівняти його з радіюсом того горизонту, що його видно з висоти 500 м.

3. Обчислити, як відрізняються одна від одної геоцентрична та географічна широти для Харкова.

4. Обчислити, приблизно, скільки похитів зробить маятник на широті 60°, якщо на широті 48° 50′, він робить близько 86 400 похитів на добу.

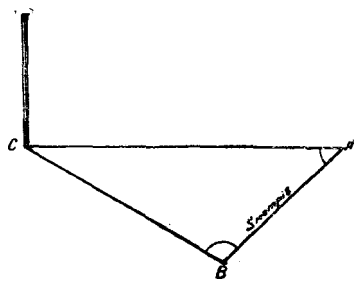


Рис. 22. Визначання віддалі до недоступного предмета.

Розв'язання завдань.

1. Припустімо, що нам треба наміряти віддаль від даної точки A до основи жердини C, що лежить від нас на певній віддалі, не підходячи туди. Візьмімо на тій віддалі, на якій ми стоїмо, від точки A певну довжину AB, наприклад — 5 м (що далі від нас предмет, до якого ми вимірюємо віддаль, то більшу довжину цієї бази треба брати — див. рис. 22). Станьмо те, пер у точці A і користаючи з якогонебудь кутомірного приладу (відповідно до бажаної точности ми беремо більш чи менш досконалий кутомірний прилад) зробивши два наводи, один на точку C і другий на точку B, вимірюємо кут BAC. Так само, перейшовши в точку B і зробивши наводи на C і A вимірюємо кут ABC.

Отже, в трикутнику ABC нам відомі будуть бік AB та два кути $\angle A$ та $\angle B$. Треба найти бік AC. На підставі добре відомої з тригонометрії формули, ми пишемо: $\frac{AC}{AB} = \frac{\sin B}{\sin C}$ (I), але кут $C = 180° - \angle B - \angle A$. Підста-

Світило, що піднялося над горизонтом на сході, пересувається поволі на південь, увесь час підіймаючись над горизонтом. Перетинаючи меридіян, воно доходить свого найвищого положення над горизонтом. В цьому положенні воно, звичайно, перебуває і найближче до зеніту. Пройшовши через меридіян, або, як кажуть, після кульмінації, світило починає знову потроху спускатись до горизонту і, перетинаючи його, нарешті заходить. Кутову віддаль світила від горизонту звуть *висота світила*, а кут між світилом та зенітом—*зенітною віддаллю світила*. Перше назвемо h, а друге z.

Якийнебудь з цих кутів, що між ними, як дуже легко можна бачити з рисунка, є співвідношення $z + h = 90°$, ми й візьмемо за одну координату горизонтальної системи координат. За другу координату в цій системі ми беремо кутову віддаль світила від меридіяна, відлічуючи по горизонту. Цю координату звуть *азимут*. Зенітну віддаль відлічують від О, що відповідає точці зеніту, по обидва боки від зеніту до горизонта — це відповідає 90°. Азимут здебільшого відмічають від точки півдня по обидва боки від неї до точки півночі від 0° до 180°. При цьому, західнім азимутам дають знак +, східнім знак —. Певна річ, що коли знати для даного моменту зенітну віддаль або висоту світила, а так само і його азимут, то ці дві величини цілком визначать видиме положення світила. Треба відзначити до того ж, що наслідком обертання Землі обидві координати горизонтальної системи ввесь час змінюються, а тому давати їх треба для якогонебудь певного моменту.

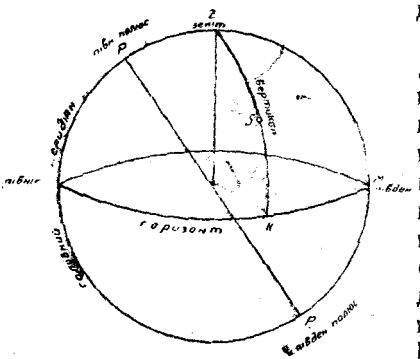


Рис. 24. Горизонтальна система координат.

Малі кола, паралельні з горизонтом, звуть *альмукантарати* або *висотні кола*.

Для багатьох завдань астрономії користати з цих координат, що ввесь час змінюються, незручно, і тому завели іншу систему, так звану систему *екваторіяльних координат*. Розгляньмо цю систему. Проте, перше, ніж перейти до неї, нам доведеться розглянути ще одну систему, де одна з координат стала, а друга змінюється з бігом часу (див. рис.).

Перша система екваторіяльних координат

У цій системі за основну площину беруть площину екватора. Уявімо собі, що Земля перетята по екватору, і що через цей перекрій проведено необмежену з усіх боків площину; нам зда-

ватиметься, що ця площина перетинається з небесною сферою; лінія (велике коло), що в її напрямі відбувається цей перетин, має назву *небесного екватора*[1]). Точки перетину земної осі з небесною сферою, як уже говорено, звуть *небесні полюси*, — один північний, другий південний. Можна було б подумати, що ці точки дуже важко найти на небі, бо вони нічим не відзначені, проте, рух Землі довкола осі спричиняється до видимого руху зір довкола полюса, і точки полюсів визначають, як загальні центри видимих добових кіл зір. Коло північного полюса є добре відома всім полярна зоря, що належить до складу Малого Возу. Якщо скерувати фотографічний апарат, що стоїть нерухомо, на полярну зорю і тримати його якийсь час відкритим, то ми матимемо чіткі фотографії слідів приполярних зір, що матимуть форму частин кіл; спільний центр їх і становитиме північний небесний полюс.

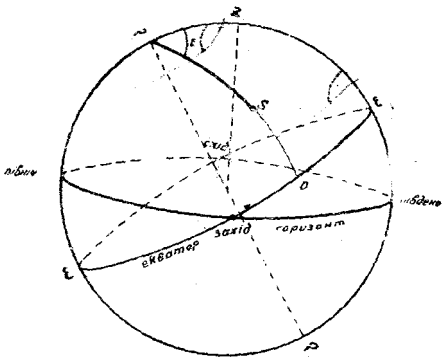


Рис. 25. Екваторіяльна система координат.

Малі кола, паралельні з екватором, звуть — *відхилові кола*. Друга група кіл у цій системі координат, що визначають положення світила, — це кола, що проходять через полюс світу; вони перпендикулярні до небесного екватора та відхилових кіл, і аналогічні меридіянам на земній кулі. Ці кола мають назву *годинні кола*. Одне з цих кіл, що проходить через ту точку небесного екватора, де Сонце перетинає його під час свого видимого руху з півдня на північ, тобто в момент весняного рівнодення[2]), має назву *колюр рівнодення*. Від цього кола і числять усі інші в другій системі екваторіяльних координат.

Тепер скажемо про першу екваторіяльну систему координат.

Тут за основну площину править площина екватора, що її ми вже визначили (рис. 25); ця площина в системі цій відповідає площині горизонту в горизонтальній системі координат. За вертикалі в цій системі координат правлять годинні кола.

[1]) Власне кажучи, у кожнім місці земної поверхні небесний екватор і світова вісь не будуть точно збігатися з тими, що про них тут ідеться. Вони, власне, стосуються до центра Землі. Проте очевидно, що ці напрями в усякім місці Землі будуть паралельні з відповідними напрямами для центра Землі, і, крім того, віддалі до небесних світил такі великі, що ми можемо для наших потреб обмежитись поданими тут визначеннями небесного екватора та світової осі, вважаючи Землю просто за точку.

[2]) Весняне рівнодення — близько 21 березня.

Перша координата — це кутова віддаль світила від екватора або від полюса, як числити за годинним колом. В першім випадку його звуть *відхил світила* (деклінація), а в другім — *полярна віддаль* його.

Певна річ (див. рис. 25), що між цими величинами, тобто між відхилом, позначуваним δ і полярною віддаллю, позначуваною літерою P, є залежність:

$$P + \delta = 90^0$$

Друга координата в цій системі — це *годинний кут.* Отже, в цій системі положення світила визначається відхилом та годинним кутом. Відхил відлічують від екватора до полюса вздовж відхилового кола від 0° до 90°. На північ від екватора його вважають за додатній, на південь — за від'ємний.

Годинний кут — це кут при полюсі між меридіяном та відхиловим колом зорі. Його вимірюють так само дугою екватора між площиною меридіяна та площиною даного відхилового кола; його завжди відлічують від меридіяна в той самий бік на захід від меридіяна від 0° до 360°. Земля робить повний обіг за 24 години, тобто повертається якраз на 360°, а тому очевидно, що годинний кут можна брати не тільки на градуси, а й на години часу, і при цім ясно, що 360° становлять 24 години. Кожна година, становлячи $^1/_{24}$ частину кола, відповідає 15°, $1^м$ — 15′ і $1^с$ — 15″ дуги.

В цій системі координат одна координата, а саме — відхил — лишається стала, а друга — годинний кут — ввесь час рівномірно збільшується в міру того, як Земля повертається довкола осі.

Друга система екваторіяльних координат

Як визначати точку весняного рівнодення.

Щоб складати зореві карти, та й для інших потреб, астрономам треба мати таку систему, щоб у ній обидві координати лишалися сталі, незалежно від бігу часу. Для того першу екваторіяльну систему замінюють на таку, де замість годинного кута є інша координата, що ввесь час лишається стала. Це можна зробити, коли основне коло, що від нього відлічують другу координату (що відповідає часовому кутові) добрати так, щоб вона була нерозривно зв'язана з небесною сферою. Тоді ми матимемо діло з сферою, і при цім осі координат, що відносно їх визначають положення світила, ввесь час зв'язані з нею, а не з спостерігачем, що перебуває на поверхні рухомої Землі.

Для того одну з координат першої системи, а саме — відхил — лишають і в другій екваторіяльній системі, а замість годинного кута заводять так зване *пряме піднесення* (ректасцензія). Його відлічують вздовж екватора від точки весняного рівнодення, що про неї ми вже згадували. Ця дуже важлива точка перебуває тепер у

сузір'ї Риб, і коло неї немає жодної досить яскравої зорі. Точку цю позначають знаком γ. Від точок зеніту, сходу, заходу тощо вона відрізняється тим, що нерозривно зв'язана з небесною сферою і разом з нею видимо обертається. Отже, вона і сходить і заходить, як і всяке світило. Пряме піднесення позначають літерою α. α — це кут між годинними колами, що проходять через зорю і точку весняного рівнодення (тобто колюром рівнодення). Його вимірюють так само, як і годинний кут — або на градуси, мінути та секунди, або на години, хвилини та секунди часу. Пряме піднесення завжди відлічують від точки весняного рівнодення на схід від 0° до 360°, або від 0 до 24 годин.

Видимий рух Сонця.

Крім добового видимого руху небесної сфери, що від нього нам здається, ніби всі світила обертаються довкола небесного полюса, Сонце і деякі інші світила мають ще власний видимий рух. Здається, що вони переміщуються між зорями, ніби прикріпленими до небесної сфери, — а вона, як нам відомо, обертається як одне ціле, зі сходу на захід.

Якщо стежити досить довго за якоюнебудь зорею, то легко уявити собі, як відбувається цей рух Сонця між зорями. Припустімо, що ми стежимо за добре відомою всім групою зірок — *Плеядами* (у сузір'ї Бика). Ця група сходить улітку майже перед самим сходом Сонця. Це свідчить про те, що і Плеяди, і Сонце бувають улітку по той самий бік Землі. В міру того, як наближається осінь, вони сходять чимраз раніше, дедалі більше випереджаючи Сонце, що іде від них на схід.

Восени під час соняшного сходу Плеяди вже не дуже високо стоять у східній частині неба. Взимку вони досягають свого найвищого положення (проходять через меридіян — кульмінують) увечорі і, нарешті, в травні вони знов зникають у соняшному сяйві. В цей час Сонце, обійшовши видимо для нас один раз круг усього неба, знову стоїть недалеко від них.

Те саме можна спостерігати і з усіма зорями, тільки, звичайно, в різні місяці, — це залежить від положення цих зір на небесній сфері. Сонце, отже, буває поблизу різних зір і ховає в своїм промінні то ті, то інші, а тому картина зоряного неба ввесь час змінюється від місяця до місяця. Щороку ці зміни бувають однакові.

Крім цих змін, можна помітити ще й такі: влітку опівдні Сонце стоїть високо над горизонтом; узимку навпаки, низько. Навесні і восени Сонце проходить через меридіян на середній висоті над горизонтом. Крім того, точки горизонта, де Сонце заходить і сходить, не сталі. Вони ввесь час переміщуються. Влітку Сонце сходить і заходить ближче на північ. Взимку точки його сходу й заходу пересуваються до південної частини горизонту. Все це свідчить про те, що Сонце, крім властивого всім світи-

лам добового руху, має ще і свій власний видимий рух[1]). Знаючи, близько яких зір буває Сонце в різні моменти, можна накреслити його видиму путь на зоревій мапі або на небесному глобусі. Виявляється, що ця видима путь — це велике коло, що його звуть — *екліптика*; воно нахилене до екватора на $23^1/_2°$, отже й перетинається з екватором у двох точках. Одна з них—це і є відома вже нам точка весняного рівнодення, а друга—точка осіннього рівнодення. Звуть їх точками рівнодення через те, що коли Сонце, рухаючись екліптикою, перебуває в одній із них, тоді день якраз дорівнює ночі (Сонце буває стільки часу над горизонтом, скільки під горизонтом), бо небесний екватор, як легко можна бачити, перетинається з горизонтом у двох точках, що поділяють його на дві однакові частини.

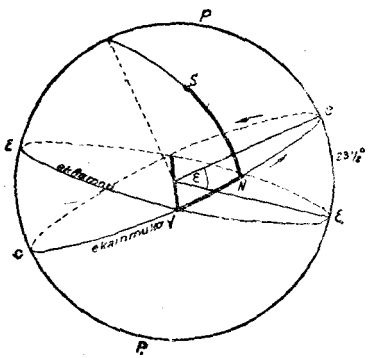


Рис. 26. Видимий рух сонця.

Скажемо тепер докладніше про видимий рух Сонця і про те, як можна визначити положення точки весняного рівнодення. Подивимось, як пересувається Сонце між 21 і 22 березня (рис. 26). До 21 березня Сонце перебуває ще на південь від екватора, а після 22 березня, перейшовши екватор, воно посувається вже на північ від нього; відси легко зрозуміти, що має надійти момент (коли Сонце перетинатиме екватор), коли його відхил дорівнюватиме 0. Цей момент і визначає положення точки весняного рівнодення. Після цього моменту Сонце з кожним днем підіймається вище й вище і кульмінує все на більшій висоті над горизонтом. Так воно підіймається до 22 червня, *коли в нашій північній півкулі проходить через меридіян на найбільшій висоті над горизонтом*. Цей момент зветься ***літній сонцезворот***. Після літнього сонцезвороту, Сонце, рухаючись екліптикою, починає знову наближатись до екватора, і, нарешті, (близько 23 вересня) знову перетинає екватор і переходить у південну півкулю. В цей момент, що його звуть—***осіннє рівнодення***, день, дедалі зменшуючись, знову стає рівний ночі. Після цього, віддаляючись від екватора, Сонце доходить свого найнижчого (в момент кульмінації) положення для північної півкулі Землі. Цей момент, коли ніч найдовша, а день найкоротший—має назву ***зимового сонцезвороту***. Після зимового сонцезвороту Сонце знову повертає на північ, і знову починає наближатись до екватора. Так буває щороку.

[1]) Далі ми побачимо, що видимий рух Сонця поміж зорями є не інше що, як наслідок справжнього руху Землі довкола Сонця.

Відси вже очевидно, що в наслідок руху Сонця екліптикою, а не екватором, тривалість дня і ночі ввесь час змінюється; до того ж, ці зміни не однакові бувають у різних широтах. Подивимось, в чім тут різниця.

На земнім екваторі, де широта дорівнює 0, земна вісь лежить у площині горизонту. Тому всі паралелі, отже й усі видимі добові путі світил перпендикулярні до горизонту. Горизонт поділяє кожний з них на дві рівні частини. Через те на земнім екваторі кожне світило, хоч би на якій кутовій віддалі від екватора воно було (тобто, хоч би який був його відхил), завжди протягом доби лишається стільки часу над горизонтом, скільки й під горизонтом. Відси виходить, що на екваторі день завжди дорівнює ночі. Коли ми пересунемось у місце, що лежить на північ від екватора, то побачимо, що картина буде вже зовсім інша. У цім місці день дорівнює ночі тільки в момент рівнодення. Що ближче до літнього сонцевороту, то більша частина добової путі пролягатиме над горизонтом і менша — під горизонтом. Отже, день збільшуватиметься, а ніч зменшуватиметься. Найбільша тривалість дня буде близько літнього сонцевороту.

Взимку всі явища йдуть зворотним порядком. Для місць, що лежать на земній поверхні на південь від екватора, найбільший день відповідатиме зимовому сонцезворотові для північної півкулі землі, а найменший — літньому. Певна річ, що коли Сонце стоїть низько над горизонтом, то, з одного боку, його промінню доводиться проходити довшу путь у земній атмосфері, проміння більше вбирається і воно менше гріє. З другого боку, воно скісніше падає на земну поверхню у данім місці, а відомо, що освітлення й нагрівання пропорційні з косинусом кута падіння променів. Ці дві причини мають той наслідок, що влітку в данім місці земної поверхні температура вища, ніж узимку. На широті Харкова Сонце ніколи не може дійти зеніту. Максимальна висота його над горизонтом $63^1/_2{}^\circ$, а тому вдень літнього сонцевороту Сонце як раз на цей кут стоїть від горизонта. Очевидно, що в момент літнього сонцевороту Сонце стоїть у зеніті, в місці, що його широта дорівнює як раз $23^1/_2{}^\circ$. Земні паралелі, що проходять по обидва боки від екватора на віддалі $23^1/_2{}^\circ$ від нього, звуть *тропіки*. На тропіках Сонце доходить зеніту саме в момент літнього (тропік Рака) та зимового (тропік Козорога) сонцевороту.

Переходячи від тропіків до полюсів, ми побачимо, що в міру нашого пересування до них тривалість дня ввесь час дедалі більше змінюється. Щоб схарактеризувати це явище, подаємо тривалість найдовшого й найкоротшого дня для таких місцевостей на земній кулі: на полюсі найдовший день—24 години, найкоротший—0 год., у Ленінграді найдовший день—18 год. 29 хв., найкоротший 6 год. 15 хв.; у Харкові найдовший день—16 год. 19 хв. найкоротший—8 год. 01 хв. На екваторі найдовший день—12 годин, найкоротший—12 годин.

Навіть у межах України, коли пересуватися з півночі на південь, досить яскраво виступає зміна тривалости найдовших та найкоротших днів. Наприклад, для Одеси, Харкова та Києва маємо такі дані:

	Найдовший день	Найкоротший день
Одеса	15 год. 45 хв.	8 год. 32 хв.
Харків	16 „ 19 „	8 „ 01 „
Київ	16 „ 23 „	7 „ 57 „

Що ближче до полюсів, то більше позначається ця нерівномірність. Так, коло Ленінграду день близько літнього сонцевороту такий довгий, що після присмерку не буває ночі, а присмерк безпосередньо переходить у ранок (це так звані білі ночі). Пересуваючись ще далі до полюса, ми, нарешті, попадаємо в такі місця, де Сонце зовсім не заходить, а лишається протягом цілої доби над горизонтом. Широта тих місцевостей, де згадане явище стає вже можливим, становить $66^1/_2°$. Земну паралелю, що проходить на цій широті, звуть — ***північне полярне коло.*** На півдні, на тій самій широті, лежить ***південне полярне коло.*** Північне полярне коло лежить, приблизно, на 650 км від Ленінграду. Розгляньмо, що робиться на самих полюсах.

Ми вже знаємо, що земна вісь показує тут прямо на зеніт. Тому небесний полюс світу збігається тут із зенітом, а екватор—з горизонтом, і всі світила в добовім русі творять кола, паралельні з горизонтом, не сходячи і не заходячи зовсім. Очевидно, що тут увесь час, поки Сонце стоїть на північ від екватора тобто півроку, воно зовсім не заходить, обходячи протягом доби все небо кругом. Коли ж Сонце перейде на південь від екватора, воно ховається за горизонтом, і вже шість місяців тоді зовсім не сходить над ним, аж поки знову не перейде на північ від екватора. Тут, на полюсі, можна спостерігати шестимісячну безперервну ніч, яку згодом заступає такий самий безперервний шестимісячний день. Не на самім полюсі, а всередині полярних кіл, багатодобові дні вже не такі довгі; наприклад—на широті 78°11′ безперервні полярні дні і ночі тривають по чотири місяці, на широті 69°51′ по два місяці, а на самих полярних колах—тільки одну добу. В інший час день змінює ніч кожної доби, як і поза полярним колом.

Ми тепер добре уявляємо собі, що згадані явища мають ту причину, що площина екліптики не збігається з площиною екватора, а нахилена до неї під кутом $23^1/_2°$. Як би цього не було, то завжди і на всій Землі день дорівнював би ночі і тривав би як раз 12 годин. Ми побачимо далі, що видимий рух Сонця є наслідок руху самої Землі довкола нього. Цілком зрозуміло, що й екліптика є відображення (проєкція) на небесну сферу справжньої путі, орбіти Землі довкола Сонця. Не важко збагнути також, що земна вісь нахилена до екліптики на кут $66^1/_2°$,

і переміщується в просторі, коли Земля рухається довкола Сонця завжди паралельно з собою самою, наслідком того, що, як відомо з фізики, всяке обертне тіло намагається зберегти напрям своєї обертової осі (дзига, вельосипед, коли він швидко біжить, тощо). Коли північний кінець земної осі повернутий до Сонця (див. рис. 27), то в північній півкулі—літо, і дні та ночі розподіляються так, як це буває в момент літнього сонцевороту в північній півкулі. Соняшне проміння на цю півкулю спадає пряміше, ніж іншого часу, тут тепло, — літо. У положеннях 2 і 4 маємо весну й осінь. Земна вісь нахилена у бік від Сонця так, що проміння його од-

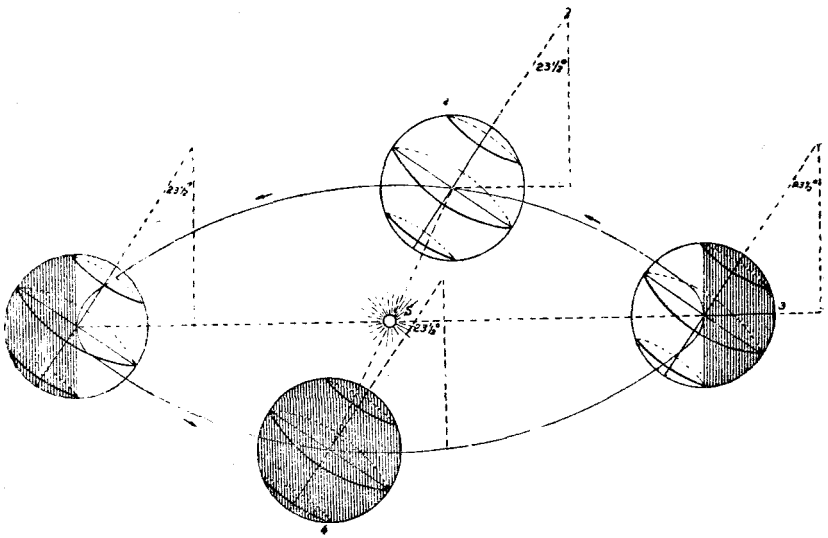


Рис. 27. Пору року.

наково осяває північний і південний її полюси. День у цей час на всій Землі дорівнює ночі—це весняне й осіннє рівнодення. У положенні 3 маємо картину, протилежну 1-й. Тут до Сонця повернутий південний полюс, а північний відвернутий від нього. Тоді у південній півкулі стоїть літо, а в північній—зима. Тут холодно, найдовші ночі й найкоротші дні.

Екліптикальна система координат.

Іноді, розв'язуючи цілий ряд питань, зв'язаних з рухом небесних тіл, дуже зручно буває користати не з наведених раніше систем координат, а завести ще одну так звану ***екліптикальну*** систему координат; вона побудована так.

За основну площину береться тут площину екліптики. Дві точки на небесній сфері на віддалі 90° від екліптики мають назву — ***полюси екліптики.*** Малі кола, паралельні з екліптикою,

звуть *широтні паралелі*, а великі кола, що проходять через полюси екліптики й перетинають саму екліптику під прямими кутами, звуть *довготні кола*. Очевидно, що координати в системі екліптики такі: поперше — кутова віддаль на північ і на південь від екліптики, як числити на обидва боки від 0 до 90; цю координату звуть — *широта світла*, і здебільшого її позначають грецькою літерою β (бета). Друга координата — це кутова віддаль світила, як числити на схід від точки весняного рівнодення по екліптиці до тієї точки, де довготне коло, що проходить через дане світило, перетинається з екліптикою. Цю координату що її звуть — *довгота*, позначають грецькою літерою λ (лямбда). Як визначати положення світила в цій системі координат — видно без дальших пояснень з наведеного тут рисунку (див. рис. 26).

Картина зоряного неба під різними широтами.

Легко уявити собі, на підставі всього попереднього, ту картину зоряного неба та добового руху, що її можна спостерігати на різній широті. Припустимо спочатку, що ми на полюсі. Тут небесний полюс, як ми вже знаємо, лежить просто в зеніті, і земна вісь, проходячи через зеніт, стоїть вертикально. Довкола цього напряму видимо й обертається вся небесна сфера. Ясно з усього сказаного, що паралелі, які творять ті чи ті світила, в добовім русі на полюсі збігатимуться з висотними колами першої координатної системи, а екватор зливається з горизонтом. Отже, тут усі світила творять кола, паралельні з горизонтом. Відси виходить, що на полюсі завжди видно точно одну небесну полусферу. Зорі цієї полусфери завжди стоять над горизонтом — не сходять і не заходять. Щождо зір другої полусфери, що лежить нижче від екватора, то ці зорі ніколи не сходять, отже їх ніколи не видно (див. мал. 28).

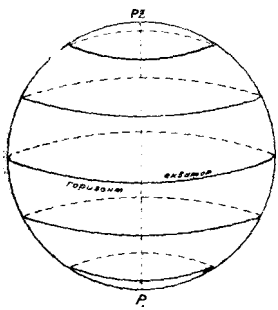


Рис. 28. Добовий рух на полюсах.

Зовсім іншу картину побачив би спостерігач на земнім екваторі. Тут вісь лежить горизонтально, а обидва небесні полюси, як відомо, збігаються з горизонтом. Отже, на екваторі небесна сфера обертається довкола горизонтальної осі, і всі світила творять паралелі, перпендикулярні висотним колам та горизонтові. Відси зрозуміло, що спостерігач, перебуваючи в якій хоч точці земного екватора, в наслідок добового руху зір бачитиме всі чисто зорі небесної сфери, і не може бути таких, які не зійшли б над його горизонтом. Крім того, очевидно, що в цих точках земної поверхні кожне світило протягом доби має 12 годин бути над горизонтом, а 12 годин під горизонтом (див. мал. 29). Щось середнє між двома допіру згаданими картинами побачить спосте-

рігач, коли буде на проміжній широті. Тут він бачитиме більшу половину небесної сфери, і, звичайно, то більшу її частину, що ближче він переміститься до екватора. Легко уявити собі, подививши́сь на мал. 30, як рухається небесна сфера в цих точках земної поверхні. Тут світова вісь нахилена відносно горизонту на кут, рівний широті місця спостерігання, отже, і добові паралелі світил так само нахилені до нього. Тимто будуть такі зорі, що зовсім не заходять, тобто ніколи не ховаються під горизонтом, будуть так само й такі, що ніколи не сходять, тобто зовсім не підіймаються над горизонтом; нарешті, є й такі, що і сходять, і заходять, лишаючись над горизонтом неоднаковий час. Що ближче лежать вони до тих зір, які зовсім не заходять, то довше лишаються над горизонтом. Є такі, що, лише торкнувшись горизонту, знову ховаються за нього. Ці останні відділяють зорі, ще видні на даній широті, від тих, що зовсім не сходять, і що їх, отже, тут зовсім не видно. Очевидно, що лише світила, що містяться точно на небеснім екваторі, будуть тут півдоби стояти над горизонтом, а півдоби під горизонтом.

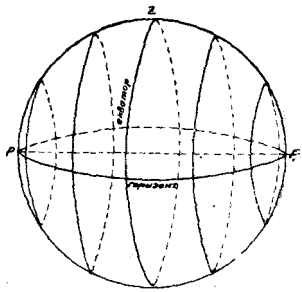


Рис. 29. Добовий рух на екваторі.

Подивимось тепер, як визначити, які саме зорі на даній широті 1) зовсім не заходитимуть, 2) сходитимуть і заходитимуть, і, нарешті 3) не сходитимуть зовсім. Для того звернімось до попереднього рисунка, де припускається, що спостерігач перебуває у північній півкулі Землі. З цього рисунка видно, що всі світила, що їх видимі паралелі лежать всередині показаної на рисунку паралелі AA^1 або на ній самій, не будуть зовсім заходити. Світила, що лежать на самій паралелі AA^1, лише торкнувшись до горизонту в точці A^1, знову підіймаються над ним. Не важко буде визначити, який відхил має бути в світила, щоб воно на даній широті зовсім не заходило. Нехай δ — відхил паралелі AA^1, що містить у себе всередині всі незахідні зорі, і φ — широта місця спостерігання. Тоді з рисунка цілком очевидно, що має бути така проста рівність, що визначає паралелю AA^1. $\varphi + \delta = 90$ або $\delta = 90 - \varphi$. Очевидно також, що коли $\delta > 90 - \varphi$, то світило зовсім не заходитиме, бо його добова паралеля лежить всередині AA^1. Коли ж $\delta < 90 - \varphi$, то світило і заходитиме, і сходитиме. Очевидно, що всі світила всередині паралелі BB^1 зовсім сходити не будуть. Ця паралеля, що має від'ємний

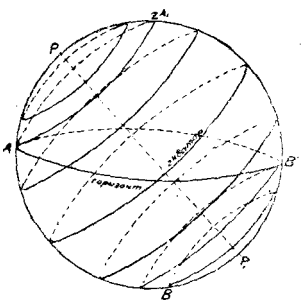


Рис. 30. Добовий рух на середній широті.

відхил — δ, визначається так: $-[-\delta] = 90 - \varphi$. Зоря, що лежить на ній, лише на момент торкається до горизонту і знову ховається під нього. Відси видно, що світило, з координатою $-[-\delta] > 90 - \varphi$, не сходитиме зовсім. Визначене ж із відношення $-[-\delta] < 90 - \varphi$ світило і сходитиме, і заходитиме. Отже, всі світила, що їх δ лежить в інтервалі $\delta > 90 - \varphi$ та $-[-\delta] < 90 - \varphi$ на даній широті φ і сходитимуть, і заходитимуть. Відшукаємо на карті або в щорічнику δ світила, що нас цікавлять,— і можемо визначити, до якого розряду зір (східних і західних, ввесь час видних над горизонтом або зовсім не видних на даній широті φ) воно належить.

Обертання Землі довкола осі (докази).

Спостерігаючи, як поволі повертається небесна сфера довкола небесного полюса, як сходять і знову ховаються за горизонтом різні світила, у нас природно постає питання, що ж рухається справді? Чи справді всі зорі обертаються довкола Землі з сходу на захід, роблячи повне коло протягом однієї доби; чи обертання самої Землі довкола своєї осі у протилежнім напрямі (з заходу на схід) створює це видиме обертання небесної сфери, що, отже являє собою тільки позірне явище?

За давніх часів, коли не мали ніякого уявлення про віддаль зір від Землі і коли різні забобони, що так довго тримали науку в своїх кайданах, змушували вважати Землю за центр всесвіту і до того ж уважати її за цілком нерухому,— думали, що не Земля обертається, а всі світила ходять довкола нерухомої Землі, що стоїть у центрі світу. Тепер ми вже не можемо мати сумніву з приводу того, що Земля поволі обертається довкола своєї осі з заходу на схід і через те у нас утворюється враження, ніби небесна сфера обертається в протилежнім напрямі.

До цілком безглуздих висновків призвело б нас протилежне припущення. Наприклад, якби припустити, що зорі обертаються довкола самої Землі, то швидкості руху цих зір мали б бути неймовірно великі, і для найближчої зорі їх довелося б обчислювати мільйонами кілометрів на секунду.

Є ще й інші докази про обертання Землі довкола осі,— такі докази, що не потребують навіть спостережень над небесними світилами, а базуються на спостеріганні явищ, що відбуваються на самій землі. Наочний і цілком переконливий доказ — це *маятник Фуко.*

Маятник Фуко.

Щоб виразніше уявити собі доказ із маятником Фуко (Фуко зробив свій славнозвісний експеримент в Парижі 1851 р.), уявімо собі спочатку, що звичайний маятник, складений з тягаря, прив'язаного до нитки, причеплено на північнім полюсі землі.

Тут не братимемо до уваги тертя, опору повітря тощо. Суть експерименту при тім лишається та сама.

Обережно пустимо наш маятник так, щоб він хитався в одній площині. Ця площина збігається, безперечно, з одним із меридіянів, бо всі вони сходяться якраз на полюсі. Коли б Земля не оберталась, то площина похитів маятника за ввесь час експерименту збігалася з площиною того самого меридіяна, з яким вона збігалася і на початку нашого експерименту. Якщо ж Земля обертається, то з площиною хитання маятника будуть послідовно збігатися, в міру того, як обертатиметься Земля, всі її меридіяни. Це буває через те, що площина хитного маятника лишається та сама від інерції, якщо нитка, що на ній його почеплено, поволі закручується. Те саме можна спостерігати і в нашім досліді. Нитка, що поволі закручується від обертання Землі, не змінює початкового напряму площини похитів маятника. Тим часом, як маятник хитається далі у тій самій площині, а Земля обертається довкола своєї осі, спостерігачеві, що перебуває на земній поверхні коло маятника і спостерігає обертання Землі, здаватиметься, що маятник змінює площину своїх похитів; але так здаватиметься лише через те, що Земля обертається довкола своєї осі. Коли б маятник міг без упину хитатися протягом цілого оберту Землі, тобто 24 години, то всі меридіяни по черзі пройшли б через площину його похитів, і якби маятник своїм кінцем креслив на насипанім під ним піску прямі лінії при кожнім своїм похиті, то він заповнив би цими лініями все коло. Отже, видимий годинний відхил маятника від початкового меридіяна, що з ним спочатку збігалася площина його похитів, був би, очевидно, $\frac{360^\circ}{24} = 15^\circ$, тобто маятник відхилявся б від цієї площини, бувши почеплений на полюсі, на 15° за одну годину.

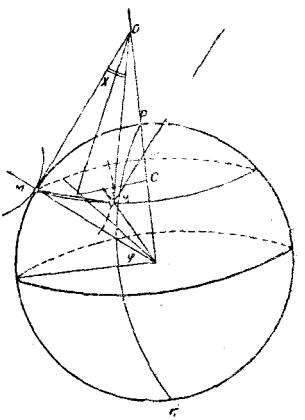


Рис. 31. Маятник Фуко.

У другім випадку, як це видно з рис. 31, почіпна точка маятника і прямовисна лінія в данім місці, що її напрям увесь час змінюється від обертання землі довкола осі, має лежати в площині похитів маятника. Тому площина похитів маятника в цім разі не може лишатись паралельно з собою самою. Паралельна з самою собою має лишатися лінія, дотична до дуги похитів у тій точці, де вона перетинається з прямовисною лінією. Взявши це до уваги, легко пересвідчитися, що видимий відхил маятника, який доводить, що Земля справді обертається довкола осі, можна спостерігати на всякій широті, крім тієї, де $\varphi = 0$, тобто, крім екватора.

Формула, що визначає кут відхилу маятника на якійнебудь широті φ, така: $\sin\frac{x}{2} = \sin\varphi \sin\frac{15\tau}{2}$; тут x це кут відхилу маятника, φ — широта, що на ній хитається маятник, і 15τ — час, що його протягом маятник відхиляється на кут x.

Очевидно, що для екватора, де $\varphi = 0$, матимемо з попередньої формули і $x = 0$, тобто відхилу зовсім не буде. Треба відзначити, що для цього експерименту досить мати маятник на 3—4 м завдовжки. Проте, що довше його нитка, то показовіші наслідки. От чому беруть по змозі довші нитки. Наприклад, у Ленінграді встановлено в Ісаакіївському соборі маятник, що дає наочну ілюстрацію обертання Землі довкола осі.

Відхиляння падних тіл на схід.

За другий доказ обертання Землі може правити відхиляння падного тіла на схід. Що Земля обертається довкола осі, кожна точка її поверхні творить коло; що ближча ця точка до екватора — то більший радіюс цього кола. Очевидно так само, що й швидкості точок земної поверхні збільшуються вміру того, як точки наближаються від полюсів до екватора. На полюсі ця швидкість дорівнює 0. На екваторі вона доходить своєї максимальної вартости — близько $^1/_2$ км на секунду. Швидкість ця змінюється, як переходити від одних точок земної поверхні до других пропорційно з косинусом широти. На широті 60° вона становить уже майже $^1/_4$ км на секунду.

Стародавні філософи, що заперечували можливість обертання Землі, так доводили її нерухомість: „Якщо Земля обертається,— казали вони,— то всякий предмет, коли його кинути вгору, має впасти на захід від того місця, відки його кинуто, бо за час його льоту вгору і вниз Земля встигне повернутись на схід. Справді ми цього не спостерігаємо,—отже, Земля має бути нерухома й обертатись не може“

Ця думка довгий час панувала, і разом з релігією, що рішуче обстоювала нерухомість Землі, становила одну з найбільших перешкод до поширення Коперникової думки про рух Землі довкола Сонця, бо це суперечило „святому письму“. Прихильники старої науки вважали, що обертання Землі мало б виявитися з багатьох явищ, що їх можна було б спостерігати тоді на земній поверхні. Наприклад, мав би дути завжди великий ураган у бік, протилежний обертанню Землі; цей ураган утворювала б сама Земля, обертаючись у нерухомій атмосфері.

Всі ці неправильні висновки були наслідком того, що стародавні вчені не брали до уваги інерції рухомих тіл, тобто того добре відомого нам факту, що кожне тіло, перебуваючи на рухомім другім тілі, має ту саму швидкість, що й це друге тіло; отже, наша атмосфера, перебуваючи на земній поверхні, бере участь разом з нею в добовім русі. Камінь, кинутий

угору, зберігає ту швидкість, що йому надала Земля, коли він був на її поверхні, і тоді, коли він летить угору і знову падає вниз. Через те він має упасти в те саме місце, відки його кинуто. Навіть він, коли його кинути з певної висоти, має відхилитись трохи на схід, якщо Земля обертається, а не на захід, як думали в старовину. Якраз оце відхиляння падного тіла на схід і є другий чудовий доказ про обертання Землі довкола осі.

Розгляньмо, чому і як має відбуватись це відхиляння падних тіл на схід на рухомій Землі.

Припустімо, що ми кидаємо якенебудь тіло з високої вежі AB. Від обертання Землі точка B творить протягом доби коло з радіюсом $r \cos \varphi$, де r — радіюс Землі, а φ — широта, де стоїть вежа. Точка A, бо вона лежить далі від центра Землі, творить коло з радіюсом $(r+h) \cos \varphi$, де h — висота вежі (див. рис. 32). Тоді, якщо T — це число секунд у добі [1]), то швидкості в точках, A і B будуть відповідно:

$$V_A = \frac{2\pi\,(r+h)}{T} \cos \varphi \text{ і } V_B = \frac{2\pi r}{T} \cos \varphi.$$

Предмет, що його ми кидаємо з висоти вежі, має звичайно наслідком інерції ту саму швидкість, як і вежа. Ця швидкість більша за швидкість основи вежі, а тому предмет, падаючи на Землю, має випередити основу вежі й упасти трохи на схід від неї. Якщо t число секунд, що протягом їх предмет долітає до Землі, падаючи з вежі, висота якої h, то віддаль, що на неї пересунеться тоді точка B земної поверхні, в наслідок обертання Землі, за цей час t буде $V_B t$. Подібна ж віддаль для точки A становитиме: $V_A t$. Відси виходить, що для того, щоб визначити відхил при падінні, треба обчислити різницю:

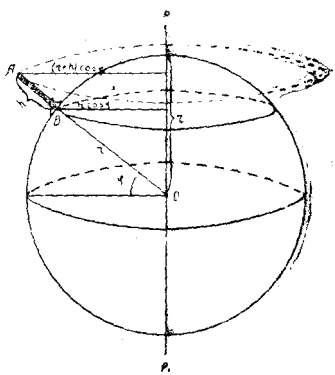


Рис. 32. Відхиляння падних тіл на схід.

$$BB_1 = t\,(V_A - V_B) = \left[\frac{2\pi\,(r+h)}{T} \cos \varphi - \frac{2\pi r}{T} \cos \varphi\right] t = \frac{2\pi h t}{T} \cos \varphi.$$

Фізика доводить, що довжина путі, що її проходить тіло у рівномірно прискореному русі (це ми й маємо, коли тіло падає), дорівнює $h = {}^1/_2\, gt^2$; отже, підставивши в попередній вираз замість h цю його вартість, маємо:

$$BB_1 = \frac{\pi}{T} \frac{(2h)^{3/2}}{\sqrt{g}} \cos \varphi.$$

[1]) Тут маємо на оці зореву добу, що за неї говоритиметься ще й далі.

Треба відзначити, що ця формула не цілком точна, а втім цілком достатня для того, щоб ілюструвати сказане. Наприклад, коли висота вежі 200 м, а широта $\varphi = 60°$, тобто вежа міститься на широті Ленінграду, а значить $\cos \varphi = \frac{1}{2}$, то беручи, що $g = 9{,}8$-м, а $T = 86\,164$ сек., матимемо відхил, рівний 15 мм. Коли обчислювати за точною формулою, то відхил буде близько 10 мм. Хоч цей відхил і дуже важко виміряти, бо він дуже малий, але Райховими та Хелевими дослідами виявлено цілковиту згоду теорії з спостереженнями. Звичайно, такий самий наслідок ми мали б і тоді, коли б робили досліди не з високою вежею, а з глибокою шахтою.

Ще один наочний доказ про обертання Землі — це, так званий, Берів закон. Якщо розглядати береги річок північної півкулі, що течуть не перпендикулярно до меридіяна, то виявляється, що в них має бути прикрий правий берег і пологий лівий, якщо дивитись за водою. У південній півкулі — навпаки. Це явище і можна спостерігати справді.

Буває це з тієї причини, що частинки води у річках північної півкулі, переміщуючись із ділянок з однією швидкістю обертання до ділянок, де друга швидкість, натискають на правий берег, намагаючись пересунути корито річки управоруч. Особливо добре це можна бачити, коли досліджувати великі річки, що несуть багато води, як Волга, або Дін.

Відосередкова сила.

Ще один дуже переконливий доказ про обертання Землі — це *відосередкова сила* (про неї ми говорили раніше), що намагає відсунути частинки Землі від осі обертання. З цієї причини Земля має форму еліпсоїда; з цієї самої причини, як ми вже бачили, вага тіл на екваторі менша, ніж на полюсі

Наведених доказів цілком досить, щоб переконатися, що Земля обертається довкола своєї осі, а не світила ходять круг неї, і що обертання небесної сфери є лише позірне явище,— наслідок обертання самої Землі. Останнього часу висловлено припущення — і його потверджують деякі спостереження,— що швидкість обертання Землі довкола осі нерівномірна. Проте, як ці нерівномірности надто малі,— явище це потребує ще дальшої ретельної перевірки.

Прецесія та нутація.

Прецесія. Досі ми говорили про добове обертання довкола певної осі, що лишається ввесь час паралельна самій собі, коли Земля рухається круг Сонця. Проте, таке припущення можна вважати за правильне лише для невеликих періодів часу. Коли ж минають сотні років, — виявляється, що обертова вісь Землі змінює свій напрям; цю зміну звуть *прецесія*.

Звичайна дзига, дитяча іграшка, може чудово ілюструвати наші слова. Якщо дзигу, коли вона крутиться, злегка ударити в бік, то вільний кінець її обертової осі починає поволі обертатись, описуючи при тім невеличкі кола. Це обертання осі, коли вона описує певну конічну поверхню, і є те, що для руху осі земної кулі ми звемо прецесія. Отже, не тільки земна куля, як і дзига, обертається довкола осі, а й сама вісь її дуже повільно змінює свій напрям, роблячи повний оберт при незмінним куті нахилу до екліптики на $66^1/_2{}^\circ$ протягом 26 000 років.

Наслідком прецесії небесний полюс змінює своє положення. Тепер він лежить десь коло α Малого Возу. 4 000 років тому за полярну зорю була α Дракона, а через 12 000 років полюс буде близько яскравої зорі північної півкулі Веги в сузір'ї Ліри. Положення небесного екватора визначає проєкція на небесну сферу земного екватора, а тому точка перетину його з екліптикою буде, наслідком прецесії, ввесь час переміщуватись на величину 50,2″, що її вперше визначив Гіппарх. Це так звана ***загальна річна прецесія***. З цієї причини Сонце щороку, рухаючись по екліптиці, вступає в точку весняного рівнодення трохи раніше, ніж тоді, коли б напрям осі обертання Землі лишався сталий. Ця особливість прецесії і була за підставу для її назви, бо слово „прецесія" значить „випередження" рівнодення, тобто ранніший прихід його.

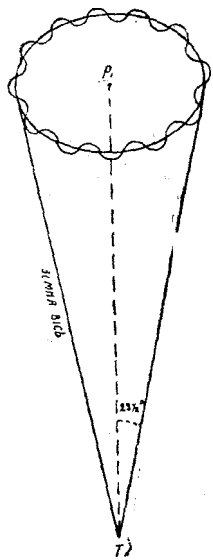


Рис. 33. Прецесія і нутація земної осі.

Наслідок прецесії той, що тропічний рік, тобто час між двома послідовними проходженнями сонця через точку весняного рівнодення приблизно на 20 хвилин коротший за зоревий рік.

Точка весняного рівнодення править за початок числення в екваторіяльній та екліптикальній системах координат, а тому прямі піднесення, відхили і довготи всіх світил змінюються, і щоразу треба додавати поправки, зводячи положення світил до певної епохи.

Причину прецесії пояснив Ньютон. Він, базуючись на законі всесвітнього тяжіння, довів, що прецесія є наслідок чину Сонця й Місяця на зайвину маси коло екватора земного еліпсоїда.

Розглянуту прецесію звуть ***місяцево-сонцева***, на відзнаку від плянетної прецесії, що її спричиняють плянети. Плянетна прецесія виявляється в тім, що точки весняного рівнодення зміщуються в протилежнім напрямі на величину всього лише 0,13 сек. за рік. Разом з цим змінюється нахил екватора до екліптики, але відбувається це дуже повільно і на дуже малу величину — близько 0,5 сек. за рік.

Нутація. Величина прецесійної сили Сонця й Місяця має змінюватись відповідно до положення цих світил, доходячи максимальної вартости при найбільших віддаленнях цих світил від площини екватора, а тому величина прецесії має періодично змінюватись. Ці дрібні зміни з коротким періодом, що їх накладають на загальну прецесію, звуть *нутація*. Явище нутації відкрив Брадлей; її найбільший відхил відбувається протягом 18,6 років.

Коливання земної осі всередині Землі

Додамо ще, що через особливості будови Землі земна вісь, зберігаючи взагалі свій напрям у просторі, пронизує поверхню Землі в різних точках. Отже, полюси Землі не сталі, а вони роблять на земній поверхні якусь криву лінію, відходячи від свого пересічного положення не більше, як на 9 м. Наслідком такого руху осі всередині Землі бувають невеликі періодичні зміни широт усіх точок земної поверхні (рис. 34).

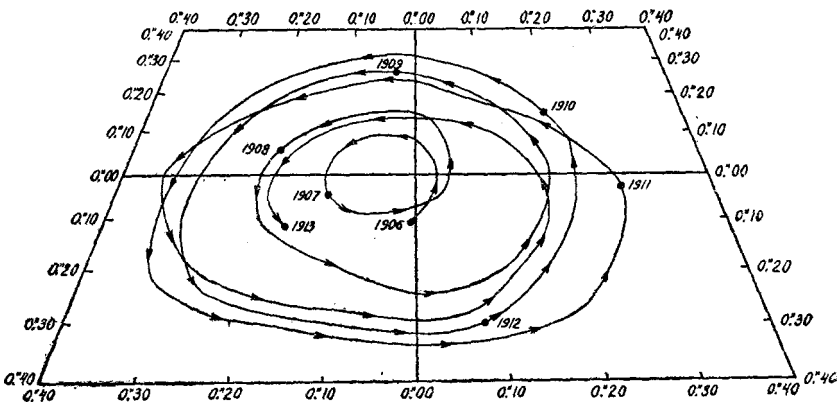


Рис. 34. Рух земної осі всередині землі.

Зоревий і сонцевий час.

Обертання Землі довкола осі дає розв'язати завдання про те, як треба вимірювати час. Це — одне з найважливіших завдань астрономії. Розв'язуючи це завдання, за основну одиницю часу беруть той час, що протягом його Земля один раз обертається довкола своєї осі, або, що те саме, той час, за який небесна сфера робить один свій повний видимий обіг. Цей період часу звуть — *зорева доба*. За початок зоревої доби беруть момент проходження через меридіян точки весняного рівнодення, тобто точку γ. Отже, час між двома послідовними проходженнями через меридіян точки весняного рівнодення також дорівнює зоревій добі. Зорева доба поділяється на 24 зореві години,

зорева година на 60 зоревих хвилин, а зорева хвилина на 60 зоревих секунд. Ми знаємо, що одна година відповідає 15° і т. д., а тому цілком очевидно, що зоревий час кожного даного моменту точно дорівнює годинному кутові точки весняного рівнодення, визначеному на години, хвилини і секунди для того самого моменту. Отже, для того, щоб знати зоревий час, треба найти часовий кут точки весняного рівнодення. Людина пристосувала своє життя до Сонця і тому в повсякденнім житті вона користується не зоревим, а сонцевим часом, що відбиває зміну дня й ночі.

Сонцевий час визначається обертанням Землі не відносно зір, а відносно Сонця. Сонцевою добою ми звемо час між двома послідовними проходженнями через меридіян центра сонцевого диска. Ми бачили вже, що Сонце видимо переміщується між зорями. Відси виходить, що сонцева доба не може мати такої самої тривалости, як зорева. Сонце робить повний обіг по небу, тобто пересувається на 360°, за один рік, тобто за 365 день. Відси видно, що за один день воно пересунеться на $\frac{360°}{365}$ на схід, тобто трохи менше, ніж на один градус.[1]) Припустімо, що ми розглядаємо той момент (близько 21 березня), коли Сонце проходить через точку весняного рівнодення. Тоді і Сонце, і точка весняного рівнодення водночас проходять через меридіян. Це значить, що тоді початок зоревої і сонцевої доби збігаються.

В астрономії часто за початок доби беруть не північ, а полудень, тобто момент кульмінації Сонця. Другого дня Сонце відійде вже від точки весняного рівнодення на схід майже на один градус. Отже, в той момент, коли точка весняного рівнодення кульмінуватиме і коли, отже, почнеться нова зорева доба, Сонце не буде ще в меридіяні, і Землі доводиться повернутись майже на 1°, щоб пройшло через меридіян і Сонце. Виходить, що нова сонцева доба почнеться лише на 4 хв. (точніше 3 хв. 56 сек.) пізніше за зореву і буде довша від неї на ту саму величину. Наступної доби повториться те саме. Отже, щодня початок зоревої доби випереджатиме початок сонцевої, і зоревий час усе забігатиме вперед. Через місяць це випереджування становитиме 2 години, через 6 місяців — 12 годин, і, нарешті, через рік початок зоревої і сонцевої доби знову припаде на той самий момент. Відси видно, що, знаючи зоревий час, легко обчислити відповідний йому сонцевий час і навпаки.

Різні сонцеві доби і зміни їхньої тривалости.

Якби Сонце протягом року щодня пересувалося по небу точно на одну величину і, крім того, рухалося б видимо по небесному екватору, то всі сонцеві доби мали б однакову тривалість. Проте,

[1]) Це і є той самий видимий рух Сонця, що за нього ми говорили, коли розглядали зміни видимої картини зоряного неба протягом року.

ми не маємо ні першої, ні другої умови, а тому всі сонцеві доби мають різну тривалість. Подивимось, як впливають на зміну тривалости сонцевої доби обидві згадані причини.

Сонце рухається екліптикою, що її площина нахилена до площини екватора на кут 23°, 5; отже, цікавий для нас рух по екватору становитиме не інше що, як проєкцію руху Сонця по екліптиці на екватор. Щоб мати цю проєкцію в якійнебудь точці екватора, треба, як відомо, переміщення по екліптиці помножити на косинус кута, що утворюється між напрямами екліптики та екватора в цих точках. У різних точках, видима річ, ці напрями будуть різні. Приміром, у точках, де екліптика перетинає екватор, ці напрями утворюватимуть кути, рівні 23°,5, а в точках літнього та зимового сонцевороту ці напрями паралельні, отже кут між ними дорівнює 0. Тому величина косинуса змінюватиметься від дня до дня. Отже, вже коли матимемо тільку одну причину, що Сонце видимо переміщується не по екватору, а по екліптиці (навіть коли б по екліптиці воно рухалося рівномірно), то й це матиме наслідком неоднакову тривалість сонцевої доби. Коли взяти до уваги лише саму цю причину неоднаковости сонцевої доби, то її вплив виявиться так: сонцева доба має бути найдовша 21 грудня і 21 червня, а найкоротша десь близько 21 березня та 23 вересня.

Насправді картина буде складніша через те, що діє ще й друга причина, а саме нерівномірність руху Сонця по екліптиці Розгляньмо спочатку вплив цієї причини, а потім спільний чин обох разом.

Земля рухається круг Сонця не коловим шляхом, а еліптичним, тому віддаль її від Сонця змінюється. Коли Земля стоїть ближче до Сонця, вона йде трохи швидше, ніж у той момент, коли вона відходить далі. Від цього нерівномірного руху Землі і залежить нерівномірність видимого руху Сонця. Земля буває найближче до Сонця (або, як кажуть, в перигелії) близько 1 січня і найдальше близько 1 липня.

Насправді неоднаковість сонцевої доби буває наслідком обох разом відзначених причин, а тому треба вияснити, що дають вони вкупі.

Близько 1 січня обидві причини разом здовжують сонцеву добу. Під час весняного рівнодення переважає перша причина, прикоротшуючи сонцеву добу і т. д.

Отже, обидві причини дають такі наслідки. Найдовша сонцева доба року буває десь близько 22 грудня. Після цього сонцева доба ввесь час коротшає, приблизно, до 26 березня. Потім вона знову довшує до 21 червня, а потім зменшується знов до 17 вересня,

Користуватися в повсякденнім житті з мінливої одиниці часу — річ дуже складна, і тому заведено так звану пересічну сонцеву добу, що має однакову тривалість протягом цілого року. Як перечислюючи на зоревий час, вона становить 24 год. 3 хв.

і 56,555 зоревих секунд. Пересічна доба поділяється на 24 пересічні сонцеві години, година на 60 хвилин і хвилина на 60 секунд. Цю добу й покладено за основу обчислювання часу.

Різницю між справжнім сонцевим часом і пересічним, що вона змінюється від дня до дня, звуть—рівнання часу. 24 грудня пересічний і справжній сонцевий час збігаються—рівнання часу дорівнює тоді 0. Потім воно робиться від'ємне і числом зростає до 11 лютого, коли різниця між справжнім і пересічним сонцевим часом доходить 14 хв. 25 сек. Потім вона знову зменшується і сходить до 0 близько 15 квітня. Далі рівнання часу робиться додатнє і 14 травня воно дорівнює 3 хв. і 48 сек. Потім воно знову зменшується, 14 червня сходить до 0 і 26 липня досягає величини 6 хв. 20 сек. Після того воно снову сходить до 0. 1 вересня і 2 листопада доходить до 16 хв. і 21 сек. Нарешті, 24 грудня знову перетворюється на 0.

Числа, коли рівнання часу досягає тієї чи тієї величини, можуть трохи змінюватись залежно від переступних років. Що вимірюючи час беруть не справжню, а пересічну сонцеву добу, виходить, що періоди часу від справжнього сходу Сонця до пересічного полудня і від пересічного полудня до справжнього заходу Сонця неоднакові. Різниця поміж тривалостей дня до полудня і після нього змінюється, маючи максимальну вартість близько 30 хв. Сонце не в один час проходить через меридіян для різних місць земної поверхні, а тому пересічний час у кожнім данім місці має назву *місцевого* часу. Отже, усі місцевості, що мають одну довготу, тобто, що лежать на тім самім меридіяні, мають однаковий місцевий час. Кожні 15° довготи на земній кулі відповідають різниці в місцевому часі на одну годину і т. д.

Зрозуміла річ, що місцевий час навіть дуже близьких одна від одної точок земної поверхні, якщо вони не лежать на однім меридіяні, вже різнитиметься. Отже, знаючи різницю в часі між двома місцями на земній поверхні, можна визначити різницю між довготами цих місць і навпаки.

Смуговий час.

Ми добре знаємо, що час визначають в астрономічних обсерваторіях з положення зір; потім радіотелеграфом ці відомості передають для широкого вжитку. Розгляньмо, чому незручно користати з місцевого часу, а так само нащо і як заведено смуговий час.

Ми вже бачили, що місцевий час той самий вздовж одного меридіяна і змінюється при переході від одного меридіяна до другого. У країнах, що простяглися далеко по довготі, як от—СРСР та Сполучені Штати Північної Америки, користати з місцевого часу дуже незручно. Досить нагадати, що різниця в місцевім часу між Харковом та Владивостоком становить майже 6 год. 23 хв. Видима річ, що, коли ми подорожуватимемо на

захід, наш годинник більше й більше випереджатиме час тих меридіянів, що їх ми перетинатимемо. Коли ж ми подорожуватимемо на схід, наш годинник чимраз більше відставатиме від часу меридіянів, через які ми переїжджатимемо. В таких умовах дуже важко підтримувати правильне залізничне сполучення, уникаючи плутанини та катастроф, що можуть бувати наслідком зміни часу. Важко також визначати моменти розмови телефоном і повідомлень телеграфом. Щоб усього цього уникнути, треба на великих просторах тієї самої країни завести якийсь один час. От чому раніше користали з так званого *залізничного* часу. Цей час був не інше що, як час Ленінградського меридіяна. Проте, і єдиний час, як нам відомо, на великій території так само спричиняє незручності, і тільки тоді їх не буде, коли завести так званий *смуговий* час.

Смуговий час обчислюють так: всю Землю 24 меридіянами поділяють на 24 смуги. Отже меридіяни, що поділяють ці смуги, лежать один від одного на 15° по довготі. Ґрінічська обсерваторія (коло Лондона) лежить на середині нульової смуги, на меридіяні, що проходить через її середину. Різниця поміж довгот на 15° відповідає одній годині в часі, а тому очевидно, що час основних 24 смуг, якщо переходити послідовно від однієї до другої, різниться від ґрінічського місцевого часу на 1, 2, 3, 4 і т. д. до 23 годин. Отже час всередині кожної з 24 смуг—це не інше що, як місцевий час меридіяна, що проходить серединою даної смуги й вважається за той самий в усій смузі. У межах кожної смуги смуговий час може відрізнятись від місцевого не більше, як на 30 хв. у той чи той бік, досягаючи цієї максимальної величини коло границь смуги. От принцип будови смугового часу.

Часи кожної смуги відрізняються один від одного, а так само і від основного ґрінічського меридіяна лише на ціле число годин (1, 2, 3 тощо), тимто в усіх смугах в той самий момент правильний годинник має показувати одне число хвилин і секунд. Різниця може бути тільки в годинах. Цілком очевидно, що не завжди вигідно буває вважати за межу між двома смугами той самий меридіян (межу смуги). Часто доводиться дещо змінювати межі смуг відповідно до політичних кордонів тієї чи тієї держави. Наприклад, всю Европу поділяється на три смуги. У нульовій лежать: Еспанія, Франція, Англія й інші. Тут усюди маємо час ґрінічського меридіяна. Цей час має назву західньоевропейського смугового часу. У першій смузі лежать: Німеччина, Австрія й інші. Тут час, що різниться від часу попередньої смуги всюди рівно на одну годину, має назву середньоевропейського часу. Нарешті, до другої смуги належать: Польща, західня частина европейського СРСР і т. д. Тут цілком лежить і вся Україна. Час цей відрізняється від часу нульової смуги (ґрінічської) рівно на дві години. Час тут випереджає на дві години час нульової смуги. За цим часом ми й живемо. Це так званий

східньоевропейський час. Треба відзначити, що ввесь СРСР лежить у семи різних смугах, бо його територія дуже далеко простяглася по довготі.

Щоб полегшити перечислювання смугового часу на місцевий подамо дані для деяких пунктів, що лежать у нашій смузі, відзначивши, наскільки в них місцевий час відрізняється від смугового. Наприклад, у Києві, що лежить близько до середини нашої смуги, смуговий час відрізняється від місцевого київського на 2 хв. 1 сек. В Одесі відстає на 3 хв. 2 сек. У Москві смуговий час відстає від місцевого на 30 хв. 17 сек. У Харкові на 24 хв. 54 сек. У Житомірі смуговий час поспішає проти місцевого на 5 хв. 21 сек. Хоч смуговий час має всі вигоди, і це цілком зрозуміло, в нас у Союзі його заведено тільки після революції, декретом Раднаркому 1919 р.

Лінія змінювання дати

Що час на всій земній кулі неоднаковий, місцевий час змінюється від меридіяна до меридіяна, а смуговий—від смуги до смуги може постати непорозуміння під час подорожей на великі віддалі (під час кругосвітніх мандрівок). Уявімо собі мандрівника, що їде з Ґрініча на схід. Він виїхав 1 квітня 1931 р. і пересувається кожної доби на 15° по довготі на схід. Отже, через кожну добу він потраплятиме в нову смугу, що лежить далі на схід, і йому доведеться щодня переставляти свій годинник на одну годину вперед, щоб він ішов у згоді з часом тих смуг, де мандрівник проїжджає. Коли він знову під'їде до Ґрінічської смуги, але вже з протилежного боку, його годинник буде послідовно переставлений на всі 24 години доби, тобто на цілу добу. Тому, мандрівникові здаватиметься, що він повернувся не 25 квітня 1931 року, як це буде справді, а 26-го, тобто він причислить один зайвий день. Якщо він поїде з тією самою швидкістю на захід, то йому доведеться кожної доби переставляти свій годинник на одну годину назад, і він порахував би на одну добу менше, тобто у нього випав би день. Такі випадки бували в круго світніх мандрівках.

Причина цього явища така: коли мандрівник їде з зазначеною швидкістю на схід, тобто в напрямі обертання Землі, то за 24 доби він зробить один зайвий обіг довкола Землі, проти того, скільки він зробив би, якби перебував на земній поверхні в стані спокою. Отже, для цього спостерігача, що їде на схід, Сонце зійде не 24, а 25 разів. Якщо ж він поїде на захід, тобто проти обертання Землі, то зробить на один обіг менше і втратить один день.

Щоб уникнути від можливої, в такім разі, плутанини,—особливо, коли наші засоби руху по Землі, на воді і в повітрі дійшли високого рівня досконалости,—по землі провели так звану „лінію зміни дати". Вона, приблизно, збігається з меридіяном, що лежить від Ґрініча на 180°. Проходить вона в Тихім океані.

Корабель або літак, що перетинає цю лінію, ідучи з заходу на схід, лічить той самий день двічі, щоб викинути той, що він за цей час набуває. Наприклад, якщо сьогодні у нього було 2-е число, то й на завтра має лишатися теж 2-е. Якщо він їде на захід, то йому, щоб наздогнати зниклий день, доведеться на лінії дати замість 2-го одразу брати 4-е.

Як перечисляти зоревий час на середній і навпаки.

Розв'язуючи різні завдання астрономічні та географічні, а так само і визначаючи самий час та точність ходу наших хронометрів та годинників, завжди доводиться перечислювати зоревий час на середній і навпаки.

Розгляньмо, як можна це зробити, Ми вже знаємо, що зоревий час завжди випереджає сонцевий, і що зорева і сонцева година неоднакові. Скажемо спочатку про те, як перечислювати з зоревого часу на середній не моменти часу, а більші чи менші періоди часу.

Припустімо, наприклад, що нам треба період зоревого часу, тривалістю на 18 год. 19 хв. перечислити на період середнього часу. Зорева доба коротша за середню на 3 хв. 55,90 сек. середнього часу, а тому 24 год. зоревої доби дорівнювали б 24 год.— 3 хв. 55,90 сек. = 23 год. 56 хв. 04,10 сек.

Легко обчислити, скільки хвилин та секунд доведеться відняти не від 24 год., а від 18 год. 19 хв., щоб цей останній період зоревого часу так само перечислити на середній. Якщо на 24 год. відставання середнього часу від зоревого становить 3 хв. 55,90 сек., то легко буде способом простої пропорції обчислити, що для 18 год. воно становитиме 2 хв. 56,93 сек., а на 19 хв. — 31, 11 сек. Отже, для всього періоду на 18 год. 19 хв. воно становитиме 3 хв. 00,04 сек. Цю величину й доведеться відняти від даного періоду. Виходить, що період на 18 год. 19 хв. зоревого часу дорівнюватиме 18 год. 15 хв. 5,96 сек. середнього часу.

Припустімо тепер, що нам треба, навпаки, 18 год. 16 хв. середнього часу перечислити на період зоревого часу. Обчислюємо, як і в першім випадку, що за 18 год. 16 хв. середнього часу зоревий час випередить середній на 3 хв. 00,05 сек., бо за 24 години це випереджання становить 3 хв. 56,56 сек. Отже, шуканий зоревий період має бути на 3 хв. 00,05 сек. зоревих довший за середній. За 18 год. випереджання становить 2 хв. 57,42 сек., а за 16 хв.— 2,63 сек. Значить, разом 2 хв. 57,42 сек.+ +2,63 сек. = 3 хв. 00,05 сек. Тобто, шуканий період на зоревий час становитиме 18 год. 16 хв.+3 хв. 00,05 сек.— 18 год. 19 хв. 00,05 сек.

Так перечислюють зореві періоди часу на середні і навпаки. Щоб полегшити це перечислювання, складають спеціяльну таблицю, де подають поправки, які треба додавати чи віднімати, щоб зробити перечислення.

Тепер скажемо про те, як обчислювати момент середнього часу, коли дано момент зоревого часу і навпаки.

Припустімо, що ми хочемо знати, коли зоря Вега (головна зоря сузір'я Ліри) проходить через меридіян 15 серпня 1931 р. в Харкові.

Передусім нам треба виявити, який зоревий час буде середнього харківського полудня 15 серпня. Можна, звичайно, обчислити його, виходячи з того, що кожна година зоревого часу випереджає середній на 9,86 сек. Нам треба визначити момент, коли за зоревим часом зоря Вега доходить до меридіяна. Певна річ, що вона буде в меридіяні через стільки зоревих годин, хвилин та секунд після початку зоревої доби, скілько їх мине від моменту кульмінації точки весняного рівнодення до моменту кульмінації Веги. Інакше кажучи, на скільки годин, хвилин, секунд стоїть Вега від точки весняного рівнодення. Ця величина є, як ми вже говорили коли розглядали координатні системи на небесній сфері, пряме піднесення Веги. Отже ми й доходимо дуже важливого висновку, що в момент кульмінації Веги її пряме піднесення дорівнює зоревому часові в цей момент. Це саме відношення $S = \alpha$ справедливе буде для всякої зорі в момент проходження її через меридіян, де літерою S позначено зоревий час, а α — пряме піднесення. Якщо зоря не в меридіяні, а лежить від нього на віддалі певного годинного кута t, то як видно з рисунка, в цім разі $S = \alpha + t$, тобто зоревий час дорівнює прямому піднесенню якої хоч зорі плюс її годинний кут даного моменту. Якщо зоря в меридіяні, то за самим визначенням, її годинний кут під той момент дорівнює 0, і це відношення $S = \alpha + 0$ переходить у попереднє $S = \alpha$.

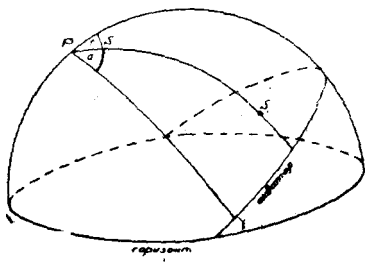


Рис. 35. $S = \alpha + t$.

Отже, щоб знати зоревий час даного моменту треба знати пряме піднесення тієї зорі, що під цей момент, перебуває в меридіяні. Тепер повертаючись до нашого прикладу, побачимо, що Вега доходить до меридіяна тоді, коли зоревий час буде дорівнювати її прямому піднесенню. Находимо в астрономічнім календарі пряме піднесення Веги. Воно дорівнює 18 год. 34 хв. 38,53 сек. Отже в момент кульмінації Веги буде 18 год 34 хв. 38,53 сек. зоревого часу. Щоб дізнатись, скільки в цей момент середнього сонцевого часу, треба встановити спочатку, скільки було зоревого часу в момент або середнього харківського сонцевого полудня або середньої харківської півночі, і вияснити, скільки годин середнього часу минуло від одного з цих моментів до моменту кульмінації Веги, для 15 серпня 1931 року. Добутий час і буде середній харківський час на проходження Веги через меридіян.

У спеціяльних таблицях, що їх подають в астрономічних щорічниках і що їх звуть „Зоревий час середньої ґрінічської півночі“ находимо, що 15 серпня 1931 року середньої ґрінічської півночі було 21 год. 29 хв. 45,36 сек. зоревого часу. Коли в Ґрінічі північ, у Харкові вона вже минула. Отже, зоревий час ґрінічської півночі буде більший, ніж харківської півночі на величину, рівну зміні зоревого часу за той період часу, на який північ у Ґрінічі запізнюється супроти харківської, тобто на величину різниці поміж довгот Харків-Ґрініч. Ця різниця становить 2 год. 24 хв. 55,72 сек. За цей час зоревий час випередить середній на 23,81 сек. Виходить — для того, щоб мати зоревий час середньої харківської півночі, а не ґрінічської, треба цю величину відняти від зоревого часу середньої ґрінічської півночі. Тоді матимемо, що зоревий час середньої харківської півночі становить 21 год. 29 хв. 45,36 сек.— 23,81 сек. тобто 21 год. 29 хв. 21,55 сек. Тепер, знаючи зоревий час середньої харківської півночі і зоревий час кульмінації Веґи, дізнаємось, скільки зоревих годин, хвилин та секунд минуло від півночі до моменту кульмінації; для того треба взяти різницю 18 год. 34 хв. 38,52 сек. — 21 год. 29 хв. 21,55 сек = 21 год. 05 хв. 16,97 сек. Тепер, щоб дізнатися, скільки від середньої півночі минуло середніх сонцевих годин, інакше кажучи — яка година буде за середнім харківським часом на момент проходження через меридіян Веґи, треба тільки цей період 21 год. 05 хв. 16,97 сек. зоревого часу перевести на період середнього сонцевого. Роблячи так само, як і в попередніх прикладах, ми побачимо, що від добутої величини треба відняти поправку на 3 хв. 27,29 сек (запізнювання за цей час середнього часу проти зоревого); віднімаючи, виявляємо, що середній час кульмінації Веґи в Харкові становить 21 год. 01 хв. 49,68 сек, тобто 9 год. 01 хв. 49,68 сек. вечора для 15 VIII 1931 року. Відомо, що смуговий час нашої другої смуги на 24 хв. 55,72 сек. відстає проти середнього сонцевого харківського часу, а тому видно, що за нашим смуговим часом кульмінація Веґи відбудеться в Харкові о 20 год. 36 хв. 53,96 сек., як числити від полуночі або о 8 год. 36 хв. 53,96 сек. вечора.

Розв'яжемо тепер таке завдання: які зорі будуть у меридіяні Харкова о 9 год. вечора місцевого сонцевого середнього часу?

Робимо так: перечислюємо спочатку період часу, що минув від півночі до 9-ї години ввечорі, тобто 21 год. середнього часу на зоревий. Для того треба до цього періоду додати відповідну поправку (зоревих годин більше, ніж середніх). Ця поправка для 21 год. хв. 00 сек. що її легко найти в таблицях „Перечислення середнього часу на зоревий“ становить + 3 хв. 27,00 сек. Отже даний нам у середнім часі інтервал у зоревім буде: 21 год. 00 хв. 00 сек. + 3 хв. 27,00 сек. = 21 год. 03 хв. 27,00 сек. зоревого часу, а що зоревий час середньої харківської півночі 15 серпня 1931 року, як ми вже бачили, дорівнює 21 год. 29 хв. 21,55 сек, то від початку зоревої доби минуло,

отже, 21 год. 03 хв. 27,00 сек. + 21 год. 29 хв. 21,55 сек. = 42 год. 32 хв. 48,55 сек. або, віднявши 24 год., матимемо: 18 год. 32 хв. 48,55 сек. Стільки зоревих годин пройшло від моменту, як почалася зорева доба (від кульмінації точки весняного рівнодення) до 9 год. вечора середнього часу 15 серпня 1931 року.

А як у меридіяні завжди даного моменту (див. вище) перебувають ті зорі (у верхній кульмінації), що їх пряме піднесення дорівнює зоревому часові під цей самий момент ($S=\alpha$), то добуте число годин, хвилин і секунд буде не інше що, як пряме піднесення тих зір, що о 9-й год. ввечорі середнього часу 15 серпня 1931 року будуть у меридіяні. Найшовши ці зорі на зоревій карті, або відшукавши в щоденнику зорі, що мають це пряме піднесення, матимемо ясну картину тих зір та сузір'їв, що згаданого моменту доходять до свого найвищого положення над горизонтом Харкова.

Як визначати час.

Кожна з зір, що сходять над нашим горизонтом, протягом доби підноситься поволі, досягаючи в меридіяні найвищого свого положення, потім знову йде вниз, і, нарешті, заходить. Зрозуміло, отже, що на певній висоті над горизонтом та сама зоря буває двічі: один раз — коли підіймається над горизонтом, а вдруге — коли спускається після проходження через меридіян. Так от, з відповідними обчисленнями, показаними у сферичній астрономії, легко визначити той момент, коли зоря перебуває на даній висоті над горизонтом. Математична формула, виснувана для цього, зв'язує між собою час і зенітну віддаль зорі. Вимірявши астрономічним інструментом (універсальний інструмент—див. розділ про інструменти) зенітну віддаль зорі, і взявши з щорічника відхил зорі, її пряме піднесення і, нарешті, широту місця, легко находимо і зоревий час спостерігання. Якщо наш годинник або хронометр показує не той час, що його ми дістали з наших спостережень, значить — він показує неправильно, і, як то кажуть, має поправку зі знаком +, коли відстає, і зі знаком — якщо поспішає. Таким способом, звичайно, визначають зоревий час, а потім його перечислюють на той, який нам треба знати.

Формули визначати час цим способом або, як то кажуть, способом вимірювання зенітних віддалей, можна подати в такій формі:

$$\cos Z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t \quad . \; . \; . \; . \quad (I)$$

і

$$S = t + \alpha \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (II)$$

Спочатку, за формулою (I) вимірявши зенітну віддаль Z і взявши з астрономічного щорічника відхил δ і широту в місці спостерігання φ, обчислюють t, тобто годинний кут зорі під момент спостерігання, а потім, маючи вже t і взявши з щорічника пряме

піднесення зорі α за формулою (II), находять зоревий час S і порівнюють з тим, що його показував під момент спостерігання наш хронометр. Таким способом находять поправку годинника $\pm U$.

Можна визначити час і на підставі спостережень того моменту, коли дві зорі лежать на тій самій висоті над горизонтом. Цей спосіб звуть — Цінгерів спосіб. Він дуже точний.

Нарешті, спостерігаючи момент проходження зорі через меридіян, можна так само визначити поправку годинника. Справді, в момент проходження зорі через меридіян, зоревий час, показуваний на нашім хронометрі або годиннику, що іде за зоревим часом, має дорівнювати прямому піднесенню зорі, що її проходження ми спостерігали. Звичайно спостерігати це не так просто, як здається на перший погляд. Для цього треба мати дуже точні інструменти, великий досвід спостерігача, та ще й треба до того вилучити помилки, що бувають під час спостережень. Крім того, на ці спостереження доводиться витрачати багато часу. От чому в обсерваторіях ця робота (визначання часу) має велике значення і її звуть „служба часу". Дізнаний в обсерваторіях час потім передається через радіо.

Як визначати координати світил

Зенітну віддаль та азимут світил визначають, вимірюючи ці величини універсальними інструментами. Пряме піднесення зорі, коли воно невідоме, визначають, спостерігаючи проходження цієї зорі через меридіян; при тім відзначають—за даними наперед перевіреного на основі спостережень над зорями хронометра, що його поправка вже добре відома,—той момент, коли це проходження станеться. Тоді, знаючи за хронометром момент проходження через меридіян спостеріганої зорі, тобто зоревий час S у момент спостерігання, ми, з добре відомого вже нам відношення $S = \alpha$, находимо α, тобто пряме піднесення зорі. Щодо відхилів, то їх або безпосередньо вимірюють через прочити на поділкованих колах, що є при деяких астрономічних інструментах, або обчислюють з виміряних зенітних віддалей та азимутів.

Як визначати координати на земній поверхні

Щоб визначити координати якогонебудь місця на земній поверхні, тобто його широту, базуються на таких саме міркуваннях. Широту місця спостерігання, або, що те саме, як ми вже знаємо, висоту полюса над горизонтом визначають, виміряючи зенітні віддалі зір близько моментів їхньої кульмінації. Ми знаємо, що $\varphi = Z + \delta$, якщо зоря кульмінує між зенітом та екватором на південь від зеніта. Звідси, знаючи відхил зорі і визначивши з спостережень її зенітну віддаль Z, находимо широту

місць спостерігання φ. Є ще інші способи, але за них ми говорити тут не будемо.

Щодо другої координати, тобто довготи, то її можна визначити так. Фактично це завдання розпадається на дві частини. Спочатку треба визначити місцевий час (поправку годинника) в місці спостерігання, а потім дізнатися, котра година в цей самий момент на меридіяні, взятому за основний. Тоді довгота місцевости дорівнюватиме різниці між тим часом, що його ми маємо у місці спостерігання, і тим, що в той самий момент спостерігається на основнім (ґрінічськім) меридіяні. Як визначити час у місці спостерігання — ми вже взагалі знаємо, а тому більше за це не говоритимемо. Що до другої частини, тобто, як визначати час в цей самий момент на основнім меридіяні, то цю частину завдання можна розв'язати кількома способами, а саме: можна вжити методи, що її звуть способом „перевозіння хронометрів". Спостерігач, рушаючи до місця, що його довготу він хоче визначити, бере з собою перевірений хронометр (здебільша, не один, а кілька, щоб точніші були наслідки), старанно уберігаючи його від різних впливів, що могли б порушити його хід; при тім, звичайно, не можна пересувати його стрілок.

Перевізши такий хронометр до місця, що його довготу треба визначити, спостерігач визначає тут місцевий час і зіставляє його з показами привезеного хронометра. Різниця цих часів і дає довготу місця спостерігання. До таких спостережень тепер вдаються лише тоді, коли треба визначати невеликі різниці поміж довгот, де недалеко доводиться возити хронометри, і тільки в тих випадках, де не можна застосувати досконаліших способів.

Можна ще визначити довготу місця спостерігання на підставі спостережень над небесними явищами, що відбуваються в той самий фізичний момент. Для того може придатись затемнення місяця, а також затемнення в системі супутників плянети Юпітер

Спосіб штучних сиґналів.

Припустімо, що два спостерігачі, перебуваючи на різних меридіянах землі, налагоджують між собою зв'язок дротовим чи бездротовим телеграфом. Кожний спостерігач має свій точний місцевий час, визначений на підставі спостережень над зорями (здебільшого пасажним інструментом). Тепер в умовлений момент, наприклад, об „a" годині, один із спостерігачів посилає другому сиґнал телеграфом. Другий спостерігач, приймаючи цей сиґнал, відзначає точний час одержання його за своїм хронометром. Припустімо, хронометр показує „b" годин. Тепер здебільша це роблять автоматично, записом на стьожці. Очевидно, що різниця між „b" і „a" і дасть нам різницю довгот цих двох місць спостерігання, і при цім, якщо „$b-a$" додатнє, то друге місце лежить далі на схід від першого, а коли від'ємне — то навпаки.

Звичайно не обмежуються таким „однобічним“ визначенням довготи, бо при тім бувають помилки впливу швидкости розподілу електричного струму чи електромагнетних хвиль. Щоб цього не було, другий спостерігач посилає також сигнал першому, а цей уже зіставляє час, коли його одержано, з показом свого хронометра Такі „двобічні“ визначення дають змогу мати далеко точніші наслідки; беруть цілий ряд визначень, і потім—пересічне з них,

Треба відзначити, що тепер багато обсерваторій через потужні радіо-станції посилають в певні моменти свої сигнали часу.

Тому кожен спостерігач, що знає довготу свого місця, легко з цих сигналів обчислює поправку для свого годинника, а той спостерігач, що знає свій точний місцевий час, визначає довготу місця спостерігання. Наприклад, кораблі, що мають у себе радіоприймальні злагоди і точні хронометри, виміряні в морських обсерваторіях, можуть зручно й точно, знаючи свій місцевий час, визначати довготу того місця, де вони зараз перебувають.

Отже, можна сказати, що астроном, передаючи радіом час, визначений в обсерваторії за даними зір, помагає рухові суден, розкиданих у морях та океанах всієї земної кулі, навіть не знаючи про існування цих суден.

Календар.

Вище ми говорили, як обчислювати невеликі періоди часу. Тепер нам треба обізнатися з тим, як обчислювати великі періоди часу, і з яких одиниць треба для того користати.

Тут доводиться мати діло з тропічним роком і синодичним місяцем. Тропічний рік—це не інше що, як період часу між двома послідовними проходженнями Сонця через точку весняного рівнодення. Він має 365 діб 5 год. 48 хв. 46,045 сек.= 365,242217... зоревої доби. Синодичний місяць, тобто час обертання Місяця,[1]) становить 29 день 12 год. 44 хв. 2,9 сек.=29,53059... доби. Згадані три одиниці—доба, рік і місяць, які, цілком очевидно, зовсім незалежні одна від одної, між собою неспільномірні, тобто ні року, ні синодичного місяця не можна визначити ніяким періодичним дробом доби. Тому скласти календар, де всі ці величини були б між собою погоджені та зведені до однієї системи,—дуже важко. От чому з давніх давен ми маємо кілька різних календарів, що ними люди намагалися розв'язати це завдання і уникнути неминучої при тім плутанини.

Всі календарі, що з них користали і користують тепер, можна взагалі поділити на три такі кляси: 1) календарі місяцеві, 2) календарі місяцево-сонцеві, де намагалися погодити числення часу за Місяцем з численням за Сонцем і, нарешті 3) календарі тільки сонцеві, де на Місяць зовсім не звертають уваги і числять час тільки на підставі руху Сонця. Розгляньмо будову деяких календарів.

[1]) Переміжок часу між однаковими його положеннями відносно Землі і Сонця, а не зір, що звуть сидеричним місяцем.

Дуже давно єгиптяни спочатку мали у себе рік, що тривав 360 день і був поділений на 12 місяців по 30 день у кожнім; потім вони перейшли на рік сталої тривалости — 365 день. Через те утворилося запізнення майже на один цілий місяць через 120 років, а через 1400 років рік знову майже цілком збігався з тропічним роком. Протягом цього періоду Сонце в ті самі частини року, природна річ, мало бути в різних положеннях на небі.

45 року до початку нашої ери римський імператор Юлій Цезар з допомогою астронома Созігена, щоб позбутися плутанини, в календарі, реформував його. Створено календар, що дістав назву Юліянського календаря. В цьому календарі беруть тривалість тропічного року рівно за 365,2500 доби, тобто $365^1/_4$. Щоб не мати в році дробового числа діб, ухвалили вважати три перші роки по 365 день, а четвертий,—що дістав назву переступного—за 366 день. Отже, початок року можна було припасовувати до тієї самої години доби. Цей зайвий вставний 366-й день почали додавати в четвертім — переступнім році, у лютім місяці; тоді вважають, що цей місяць має не 28, а 29 день. Переступний рік той, що сума цифр його ділиться на 4. Наприклад, роки 1920, 1924 за Юліянським календарем—роки переступні. Цей спосіб обчислювати час має назву „старого стилю". Рік поділяється на 12 місяців, що мають у собі по 30 та 31 день, крім лютого, де буває то 28, то 29 день, як дот ого, переступний даний рік, чи ні. Один вік у Юліянськім календарі, що охоплює 100 років, має, отже, 36525 день.

Григоріянський календар (новий стиль).

Ми бачили, що Юліянський рік триває 365,25 день; він, виходить, довший за тропічний рік на 365,25 — 365,242217, тобто на 0,007783 д. Ця різниця, дедалі збільшуючись, дійшла через 400 років 3,1132 д. і на кінець XVI ст. становила 10 день; тоді весняне рівнодення наступало 11 березня. Щоб позбутися цієї помилки, 1582 р. схвалено проєкт нового календаря, що його опрацював італійський лікар Ліліо. Цей календар названо григоріянським на честь папи Григорія XIII, що за його часів проведено цю реформу. Через те дальший день після 4 жовтня 1582 р. почали вважати за 15 жовтня 1582 р. і надалі всі роки з цілим числом сотень уже не вважали за переступні, крім лише тих, що в них число сотень ділиться на 4. Наприклад, у григоріянському календарі роки 1600 і 2000—переступні, а 1700, 1800, і 1900 не переступні (в юліянськім календарі ці роки так само переступні, бо їх цифри кінчаються на два нулі).

Отже, в цім календарі за 400 років викидають з тих, що зібралися 3,1132 д. рівно 3 дні, і за 400 років буває, отже, запізнення лише на 0,1132 д. проти тропічного року. За 4000 років у новім стилі станеться запізнення на 1,132 д. Можна було б ще

уточнити календар, коли б роки 4000, 8000 тощо не вважати за переступні.

У нас у Союзі новий стиль завів Радянський уряд 1918 р. До того часу користалися старим стилем, що відстав 1900 р. вже на 13 день. Крім григоріянського календаря запропоновано ще кілька систем календарів навіть точніших, ніж цей. Проте, через свою велику складність вони мають лише теоретичний інтерес, а в повсякденний ужиток їх не вводять, бо для життя точність нового стилю цілком достатня. Слід би було ще упорядкувати справу з тим, щоб по іншому обчислювати малі періоди часу; зробити, наприклад, так, щоб у місяці було ціле число тижнів тощо.

У нас у Союзі, у зв'язку з заходами до повнішого використовування устаткування підприємств, а також для правильнішого чергування робітних днів та днів відпочинку, заведено п'ятиденку, а останнього часу—шестиденку.

Отже, з п'ятиденкою місяць розбивається на шість менших періодів часу, а з шестиденкою—на п'ять.

ЗАВДАННЯ ДО РОЗДІЛУ II

1. 1) Визначити на небі положення точки зеніту, 2) надиру, 3) опівденної лінії, 4) висотних кіл, 5) вертикалів, 6) меридіяна, 7) точки сходу та заходу, 8) визначити наближено з транспортиром висоту якоїнебудь зорі, плянети, або Місяця.

2. 1) Показати на небі напрям екватора та його висоту в місці спостерігання; 2) показати положення північного полюса між зорями та його висоту над горизонтом і напрям світової осі, напрям паралель; 3) визначити наближено відхил і полярну віддаль якоїнебудь зорі, взятої близько меридіяна на північ та південь від зеніту; 4) визначити на градуси та години годинний кут якоїнебудь зорі; 5) взявши якунебудь зорю, дізнатися, чи буде вона не західна. чи східна й західна, а так само сказати наближено, яку частину доби перебуває вона над і під горизонтом; 6) дізнатися, як проходить екліптика по небу даного дня й години.

3. 1) Визначити висоту Сонця над горизонтом з тіні, що її кидає вертикальна жердина; 2) дати вказівки, як визначити нахил екватора до екліптики, виміряючи довжину тіні від вертикальної жердини близько моментів літнього та зимового сонцезвороту; 3) дізнатися, коло якої зорі даного моменту має бути середнє Сонце; 4) дізнатися, який годинний кут має тепер точка весняного й осіннього рівнодення; 5) визначити графічно момент сходу й заходу того чи того світила, а так само тривалість перебування його над горизонтом.

4. 1) Обчислити зоревий час для якогонебудь наперед узятого моменту за смуговим часом; 2) визначити, як у місці спостерігання місцевий час відрізняється від смугового; 3) виявити, які зорі будуть загаданого моменту коло меридіяна; 4) обчислити, на скільки день різнитиметься старий стиль від нового 3000 року; 5) яка помилка буде в новім стилі за час з 1931 р. до 4000 р.

Розв'язання завдань

1. 1) На точку зеніту вказуватиме вбита в Землю точно вертикальна жердина. 2) Точка надиру буде по той бік Землі на продовженні вбитого в Землю кінця жердини. 3) Опівденну лінію можна провести, продовживши тінь вертикальної жердини під час справжнього сонцевого полудня, або злучивши північну точку з точкою південною. 4) Висотне коло—коло, проведене паралельно з горизонтом. 5) Вертикал — коло, проведене через зеніт. 6) Меридіян — коло, проведене через зеніт і полюс; він перетинається з горизонтом у північній і південній точках. Східня точка лежить на горизонті на 90° від південної частини меридіяна (від південної точки) ліворуч. Західня точка лежить на горизонті на 90° від південної точки праворуч. 7) Прикріпивши до центра транспортира нитку з тягарцем, скеровують його прямий бік на світило—так, щоб око, прямий бік транспортира і світило лежали на одній прямій. Інакше кажучи, треба націлитись транспортиром на світило. Тоді, якщо круг транспортира обернений вниз, різниця між прямим кутом і прочитом за транспортиром буде висота світила (рис. 36).

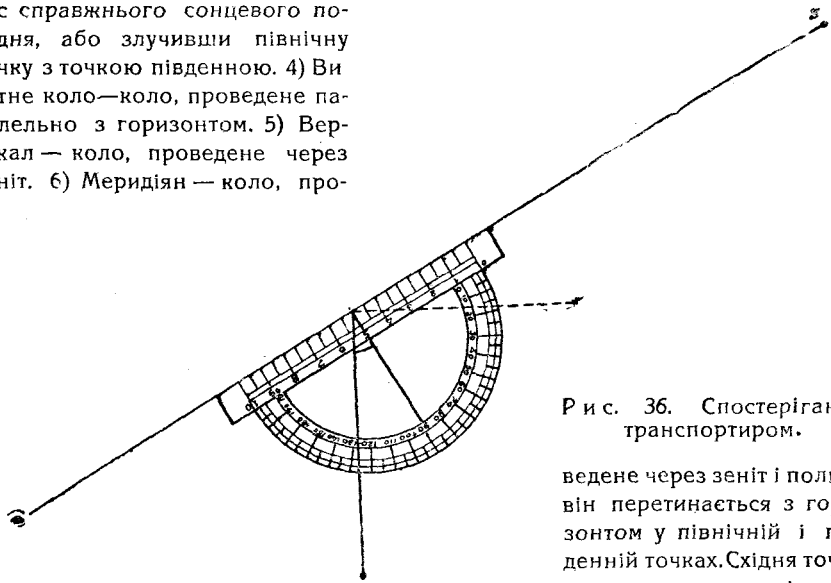


Рис. 36. Спостерігання транспортиром.

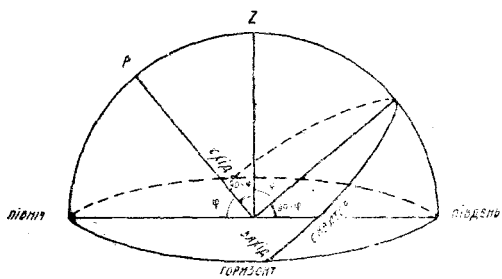


Рис. 37. Визначання напряму екватора.

2. 1) Екватор перетинає горизонт у двох точках, східній і західній, проходячи похило до горизонту. Його висота в меридіяні становить $90 - \varphi$. Ці три точки і допоможуть найти напрям екватора (див. рис. 37). 2) Висота полюса над горизонтом, коли числити від північної точки, дорівнює широті місця спостерігання, а тому виходить, що полюс лежить на висоті φ, а зенітна його віддаль $= 90 - \varphi$ (див. попередній рис.). Світова вісь проходить через

полюс та спостерігачеве око через центр Землі до південного полюса. Положення її видно на рисунку. Паралелі — кола, паралельні до екватора і перпендикулярні до світової осі. 3) Розгляньмо якунебудь зорю на південь від зеніту близько меридіяна. Припустімо, що найдена її висота від південної точки горизонту становить 60°. Екватор для Харкова підноситься над горизонтом на 40°. Тоді зоря стоятиме над екватором на 60° — 40° = 20°, тобто відхил її $\delta = +20°$. Якщо зоря в меридіяні на північ від зеніту, між полюсом і зенітом, і її висота від північної точки становить 60°, значить— від південної точки її висота буде більша за 90° і становитиме 180° — 60° =

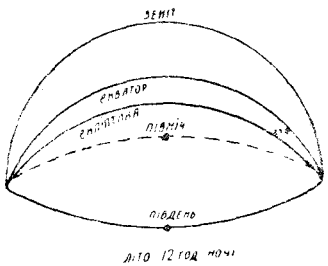


Рис. 38. Положення екліптики відносно горизонта влітку.

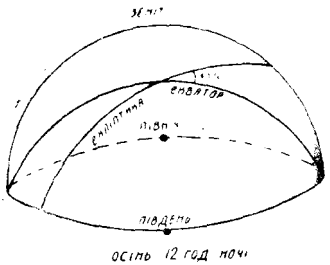


Рис. 39. Положення екліптики відносно горизонта восени.

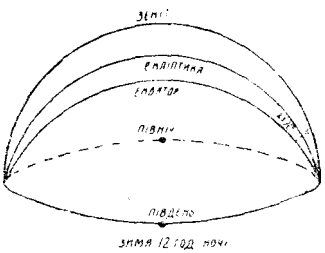


Рис. 40. Положення екліптики відносно горизонта взимку.

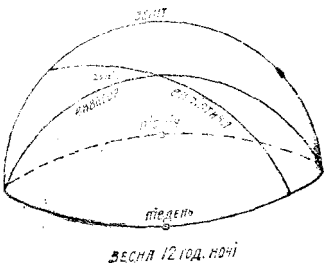


Рис. 41. Положення екліптики відносно горизонта навесні.

= 120°. Екватор стоїть над горизонтом (у південній точці) на 40° (для Харкова), отже, відхил зорі $\delta = +120 - 40 = 80°$. Якщо зоря проходить через меридіян між полюсом і північною точкою, і її висота становить 20°, то з того, що екватор (див. той самий рис.) спускається під горизонт (від північної точки) на 40° (90—φ для Харкова), — очевидно, що відхил зорі буде тоді $20° + 40° = 60° = \delta$. Нарешті, якщо зоря проходить через харківський меридіян на висоті 20°, як числити від південної точки (у верхній кульмінації), то вона лежить далеко нижче від екватора, її відхил (на південь) буде від'ємний і становитиме $\delta = -(40 - 20) = -20$. Полярна віддаль від північного небесного полюса для цих усіх випадків за порядком розгляду їх буде: 70°, 10°, 30° і 120°. 4) На це питання можна відповісти, розглянувши, яку

частину паралелі зоря пройшла від меридіяна, пам'ятаючи, що кожний градус відповідає 4 хв. часу. Якщо відомо, коли зоря була в меридіяні і момент спостерігання, то різниця поміж цих двох величин і дає годинний кут зорі. 5) Щоб знати, чи буде зоря східна чи західна тощо, треба звернутись до розділу „Вигляд зоряного неба в різних широтах". 6) Щоб розв'язати це питання, треба пам'ятати, що екліптика нахилена до екватора на 23,5° і треба підрахувати, де тепер лежать точки весняного та осіннього рівнодення, що в них екватор перетинається з екліптикою. Цих даних досить, щоб у думці провести екліптику серед зір даного моменту. На дальших чотирьох фігурах показано положення екліптики супроти горизонту в моменти: весняного рівнодення, літнього сонцезвороту, осіннього рівнодення і зимового сонцезвороту (див. рис. 38, 39, 40 і 41).

3. 1) Поставивши вертикально жердину, виміряймо її висоту та довжину тіні, що падає від неї. Тоді з трикутника находимо кут h, що й буде висотою сонця над горизонтом (див. рис. 42). $\text{tg } h = \frac{\text{висота жердини}}{\text{довжина тіні}}$.

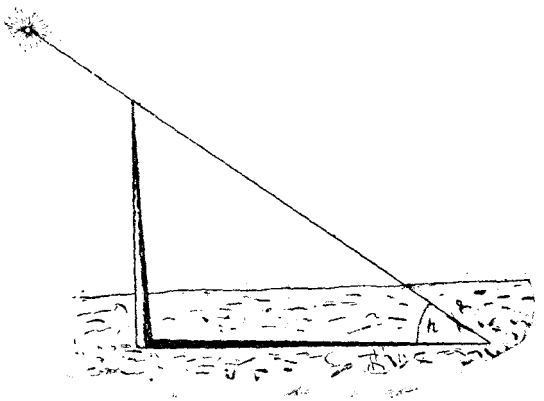


Рис. 42. Вимірювання висоти Сонця за довжиною тіні.

2) Виміряймо висоту тіні в момент справжнього півдня під час літнього сонцезвороту. Нехай ця висота в Харкові становить для літнього сонцезвороту $63^1/_2{}^\circ$. Екватор підноситься в Харкові над горизонтом на 40°, а Сонце йде видимо екліптикою; тому матимемо $63^1/_2{}^\circ - 40^\circ = 23^1/_2{}^\circ$, тобто нахил екватора до екліптики становить $23^1/_2{}^\circ$. Для зимового сонцезвороту матимемо, що висота сонця становить $16{,}5^\circ$, отже й нахил екватора до екліптики $40^\circ - 16{,}5^\circ = 23{,}5$ (бо відхил Сонця взимку від'ємний і воно лежить нижче від екватора). 3) Знаючи, скільки діб, припустімо A, минуло від моменту весняного рівнодення, коли Сонце стоїть у точці γ, розраховуємо наближено, що пересуваючись щодоби на $\frac{360^\circ}{365}$ градусів, дізнаємось, що за A діб воно пройшло по екліптиці $A \times \frac{360}{365}$ градусів. Відшукавши на карті цю точку екліптики, найдемо і найближчу яскраву до неї зорю, що й визначить нам наближене положення середнього Сонця, 4) Годинний кут точки весняного рівнодення дорівнює зоревому часові даного моменту, а тому, обчисливши зоревий час даного моменту, користаючи з прикладу, вміщеного в розділі „Як перечислювати зоревий час на середній і навпаки", матимемо й шуканий годинний кут точки весняного рівнодення. Відомо, що точка осіннього рівнодення лежить до точки весняного рівнодення на 180° або 12 годин; додаючи цю величину до обчисленого годинного кута точки весняного рівно-

дення, матимемо і часовий кут точки осіннього рівнодення. 5) Нехай коло 0— це площина меридіяна, лінія AB—проєкція на неї площини горизонту, PP_1— світова вісь, EE_1—проєкція площини екватора. Нехай наше світило має відхил $+\delta$. Відкладімо цей кут при точці O над проєкцією екватора, як показано на рис. 43 (не забуваючи, що кут AOP має дорівнювати φ, тобто висоті полюса над горизонтом). Проведімо далі пряму, паралельну з EE_1 через точку, утворену від перетину щойно проведеної прямої з обводу кола O. Нехай ця пряма буде KK'. Очевидно, що ця пряма поділяється навпіл у точці T і кожна її половина KT і $K'T$—це радіюси тієї паралелі, що її описує наше світило. Утворимо тепер радіюсом TK нове коло O' і проведімо його діяметр KK_1. Потім відкладімо від точки K на цім діяметрі довжину KC, що становить відтинок діяметра між хордою, що проходить через точку C, і точкою K. Цей відтинок відповідає, очевидно, дузі, що її світило пробігає над горизонтом. CK_1 — відповідає дузі, що її проходить світило під горизонтом.

Можна бачити, що центральний кут V стягує ту дугу, яку світило проходить над горизонтом. Ми матимемо його, вимірявши транспортиром, Перечисливши його на години з такого розрахунку, що кожна година відповідає 15°, матимемо тривалість перебування нашого світила над горизонтом. 24 години мінус ця величина — буде час його перебування під горизонтом. Очевидно, що половина кута V, або дуга SK, коли обчислювати на години, дає період часу від проходження світила через меридіян до його заходу, або від сходу до проходження через меридіян. Момент проходження через меридіян можна визначити з добре відомого уже нам відношення $S = \alpha$, тобто знаючи пряме піднесеня зорі, ми знаємо і момент її проходження через меридіян. Очевидно, що момент сходу ми матимемо з різниці $S_1 = S - \frac{V}{2}$ год., а момент заходу з $S_2 = S + \frac{V}{2}$ год. Якщо хочемо знати момент, коли сходить чи заходить зоря в середнім, місцевім чи смуговім часі, то досить визначені моменти S_1 S_2 зоревого часу перечислити, на підставі раніше даних указівок, на середній чи смуговий час.

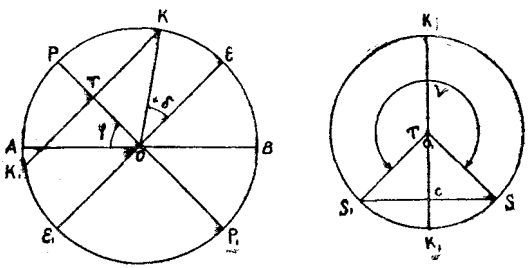


Рис. 43.

4. 1) Див. приклад перечислення середнього часу на зоревий, (розділ. „Як перечисляти зоревий час на середній і навпаки“).

2) Щоб розв'язати це завдання, треба, за поданими вище вказівками, найти різницю між довготою середини смуги і місця спостерігання (бо смуговий час збігається з середнім сонцевим лише на середині кожної смуги) і, якщо місце лежить на схід від середини смуги, то, щоб мати середній час, треба до смугового часу цю різницю додати, а коли воно лежить на захід — відняти.

3) Див. розділ „Як перечисляти зоревий час на середній і навпаки

4) За григоріянським календарем роки з цілим числом сторіч будуть прості, а не переступні, якщо в них число сотень не ділиться на 4. Користаючи з цього правила, треба у поданій нижче таблиці вважати підкреслені роки за прості, тим часом, як за юліянським календарем вони будуть переступні. З правого боку поставлено різницю між григоріянським та юліянським календарем, тобто наскільки для даного сторіччя юліянський календар відстав від григоріянського.

1900	
	13 д.
2000	
2100	
	14 д.
2200	
	15 д.
2300	
2400	
	16 д.
2500	
	17 д.
2600	
	18 д.
2700	
	19 д.
2800	
2900	
	20 д.
3000	
	21 д.
3100	
3200	22 д.
3300	

Отже, при переході через столітній рік (тобто через 2000, 2400, 2700 тощо) різниці проти юліянського календаря, як можна бачити, не буде.

Зі сказаного виходить, що між 1 березня 2900 р. і 28 лютого 3000 р. за юліянським календарем, помилка буде 20 день, а між 1 березня 3000 р. і 28 лютого 3100 р. вона дійде 21 дня; або — за григоріянським календарем: між 21 березня 2900 р. і 20 березня 3000 р. помилка юліянського календаря буде 20 день. А між 3000 р. 22 березня і 3100 р. 21 березня поправка буде 21 день.

5) Помилка григоріянського календаря на 4000 р (від 1931 р.).

Період 400 років у григоріянськім календарі на 3 дні менший за юліянський, тобто пересічна тривалість григоріянського року на 3/400 = 0,0075 дня коротша за юліянський. Звідси: пересічна тривалість року в григоріянськім 400-річчі 365,25 — 0,0075 = 365,2425. Час між двома послідовними проходженнями Сонця через точку весняного рівнодення, або, що те саме, справжня тривалість тропічного року = 365,2422). Отже, помилка григоріянського року (пересічно за 400 років буде 0,0003 дня або 26 сек. Починаючи з 1932 р. і кінчаючи 3999 р. мине 2068 (4000 — 1932) років.

Помилка за цей час: 2068 × 0,0003 = 0,6204. д.

Проте, в межах 400-річного періоду помилка ввесь час збільшується так, що коли на початку періоду вона дорівнювала 0, то на кінець періоду помилка зникає знову. Але, навпаки, до 303 року від початку 400-річного періоду, помилка доходить 1,5 дня. За 2068 років буде 5 чотирихсотріч, що кінчаються 3931 роком. За цей час помилка проти тропічного року буде 2000 × 0,0003 = 0,6000. д.

В решті ж — 68 роках — буде 14 чотириріч, що починаються переступним роком. Якщо взяти 366 день, то помилка проти тропічного року буде: 365 2422 — 366 = — 0,7578 д.; якщо ж узяти 365, то матимемо помилку: 365,2422 — — 365 = + 0,2422.

Остаточна помилка чотириріччя через те становитиме: + 0,2422 — 0,7578 = — 0,0312, а за 17 чотириріч — 0,0312 × 17 = — 0,5304, тобто на цю величину *календарне обчислення треба зменшити, щоб мати справжнє.*

Отже: за 2000 років календарне обчислення, щоб мати справжнє, треба зменшити на 2000 × 0,003 д. = — 0,6000 д. і за 68 років: 17 × 0,0312 = — 0,5304. Всього, отже, на —1,1304 дня.

Тому *помилка григоріянського календаря на чотиритисячний рік проти тієї помилки, що була на кінець 1931 р. становитиме —1,1304 дня, або 27* годин *07* хвилин *46,56* секунд.

III. ІНСТРУМЕНТИ ДЛЯ АСТРОНОМІЧНИХ ДОСЛІДІВ

Астрономічна труба — це основний інструмент, і належить до складу майже всіх інших астрономічних інструментів, зокрема й вимірчих, а тому нам треба насамперед сказати саме за неї.

Всю астрономію можна поділити на кілька великих розділів. Один з них, *астрометрія*, переважно визначає положення світил на небесній сфері. Це видиме положення світил визначають, вимірюючи їхні координати. У приладах, що для цих дослідів є, буває астрономічна труба; її наводять точно на те чи інше світило, і тоді мають змогу робити різні виміри, наприклад — мікрометричні. Другий відділ астрономії, *астрофізика*, використовує астрономічну трубу по-іншому. Тут з нею вивчають поверхню світил (бо труба дуже збільшує,) яскравості, а так само вона в пригоді стає для спектральної аналізи та фотографії.

Астрономічні труби бувають двох відмін, дуже відмітних одна від одної — *рефрактори* і *рефлектори*. В рефракторах світло, що проходить від світила, заломлюється у великім збільшувальнім склі (об'єктиві), і дає у фокальній його площині зображення того світила, що його ми потім розглядаємо крізь невеличке збільшувальне скло (окуляр) збільшене.

У рефлекторах за об'єктив править велике вгнуте дзеркало. Світло, відбиваючись від нього, збирається в його фокусі. Тут утворюється зображення, що його так само розглядають в окуляр.

Отже, різниця між цими двома типами астрономічних труб лежить у самій методі діставати зображення. У рефракторах [1])— через заломлювання світла в об'єктиві, у рефлекторах [2]) через відбивання від угнутого дзеркала.

Розгляньмо спочатку перший тип астрономічних труб — рефрактор.

Першу люнету винайдено на початку XVII ст. у Голляндії. Для спостерігання небесних світил її вперше використав Галілей 1609 р. і з нею зробив багато важливих відкриттів. Галілеєва труба складена з двох скелець. За об'єктив була опукла (збірна) сочка, за окуляр — вгнута сочка (розсівна). Галілеєва труба давала дуже невелике збільшення і була дуже недосконала, а тому її дуже скоро витиснено трубами досконаліших конструкцій, і тепер принцип ґалілеївської труби зберігся тільки в біноклях, що дають, як відомо, збільшення невелике (за винятком призматичних біноклів).

Кеплер запропонував іншу систему астрономічних труб. Ця система дала багато кращі наслідки, і її застосовують в астрономії навіть тепер. Кеплерівська труба складена з двох опуклих скелець. Одне з цих скелець, об'єктив, що його скеро-

[1]) Refringo — заломлюю (лат.).
[2]) Reflekto — відбиваю (лат.).

вують на спостеріганий предмет, буває здебільшого велике, а друге (окуляр), що крізь нього дивляться, так само опукле багато менше. Об'єктив має проти окуляра далеко більшу фокусову віддаль.

Світлове проміння, що його посилає світило *AB*, проходячи крізь об'єктив і заломлюючись у нім, відхиляється від свого початкового напряму і дає зображення світила в головній фокальній площині (тому в головній, що віддаль світила від Землі, як рівняти до фокусової віддалі від об'єкта, безмежно велика, а проміння, що йде від безмежно далекого предмета, збирається завжди у головнім фокусі сочки). Тут проміння дає справжнє й обернене зображення світила *ba* (див. рис. 45). Зображення *ba* розглядають з окуляром *k*, що править тут за люпу.

Р и с. 44. Схема астрономічної труби (Кеплерівської)

Отже, дивлячись в астрономічну трубу, ми бачимо всі предмети оберненими. Щоб мати прямі зображення, нам довелося б уставити в трубу ще одне скло. Проте, така побудова астрономічних труб небажана, бо зайве скло, вбираючи певну частину світла, послаблює чіткість видного в трубу об'єкта, тим паче, що розглядати обернене зображення світила також просто й зручно.

Як збільшує зорова труба.

Кути *AOC* і *aOD* рівні між собою, а тому, примістивши око на віддалі від зображення *ba* яка дорівнювала б фокусовій віддалі об'єктива, спостерігач з цієї точки побачить зображення Місяця під таким самим кутом, під яким він бачив би Місяць просто оком без ніякого об'єктива. Коли припустити, що нормальна віддаль ясного зору (віддаль, коли нормальне око найкраще розглядає деталі) становить пересічно 25 см, а фокусова віддаль об'єктива більша за цю величину, то можна і без окуляра, з самим лише об'єктивом, дістати певне, правда дуже невелике, збільшення.

Наприклад, якщо фокусова віддаль об'єктива дорівнює 3 м, то, примістивши око на віддалі 25 см від того місця, де об'єктив дає зображення, ми дивитимемось на це зображення з віддалі в $3 : {}^1/_4 = 12$ разів ближчої, ніж та, на якій (3 м) ми бачимо світило під тим самим кутом, що й зовсім без об'єктива. Тому ми мали б збільшення в 12 разів. Утворювати збільшення показаним тут способом дуже незручно і з суто конструктивних

міркувань, і, головно, через те, що досить сильного збільшення ця метода не дає. Тому вдаються до окуляра. Щоб розглядати зображення, яке дає об'єктив з окуляром, треба цей окуляр примістити так, щоб його фокус майже збігався з зображенням від об'єктива. Тоді стає цілком зрозуміло: що менша фокусова віддаль окуляра і, отже, що ближче через те доведеться примістити око до зображення, то сильніше збільшення дасть наша труба, тобто система об'єктив-окуляр. Якщо ж об'єктив і окуляр мають однакові фокусові віддалі,

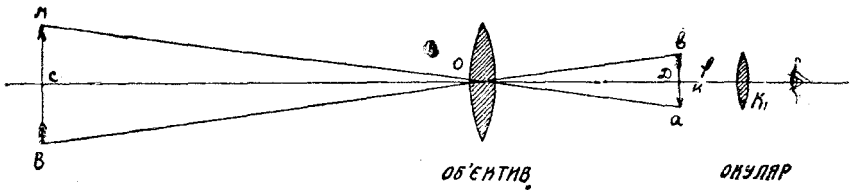


Рис. 45. Збільшення астрономічної труби.

то збільшення ми не матимемо зовсім. Тим то — що сильніше збільшення ми хочемо мати, то більший має бути фокус об'єктива проти фокусової віддалі окуляра. Збільшення труби досить точно можна визначити, поділивши фокусову віддаль її об'єктива на фокусову віддаль окуляра, тобто подати формулою $W = \frac{F}{f}$, де W—збільшення, F—фокусова віддаль об'єктива, а f — фокусова віддаль окуляра. Якщо, наприклад, $F = 3$ м, а $f = 1$ см, то збільшення цієї системи становитиме: $W = \frac{F}{f} = \frac{300}{1} =$ 300 разів.

Яскравість зображення і поле зору труби.

Яскравість зображення та величина поля зору труби дуже щільно зв'язані з тим збільшенням, що буває в астрономічній трубі. Слід відзначити, що є світила, які астрономічна труба показує збільшеними, тобто спостерігач, дивлячись крізь трубу, бачить їх під більшим кутом, ніж просто голим оком. Є, звичайно, і такі, що їх астрономічна труба не може практично збільшити. Спробуймо пояснити собі причину цього явища і розгляньмо окремо той і той випадок.

Пересічне людське око має ту особливість, що може бачити окремо лише ті предмети (вони не зливаються для нього докупи), що мають одне від одного кутову віддаль, пересічно — одну дугову мінуту. Якщо кутова віддаль між ними більша за цю величину, то людина вільно відрізняє ці предмети, вона бачить їх окремо один від одного; коли ж ця віддаль менша, то людина бачить їх, ніби один предмет — вони зливаються. Якщо світило

має диск, більший в діяметрі за одну дугову мінуту, то спостерігач бачить, що перед ним не точка, а невеликий диск. Якщо ж видимий діяметр світила менший за одну дугову мінуту, то його сприймає око просто, як точку. Якщо видима величина діяметра розглядного диска така невелика, що навіть максимальне збільшення, яке має дана труба, показує цей диск меншим, ніж одна мінута, то, не зважаючи на збільшення, спостерігач бачитиме світило і крізь трубу просто, як точку. Такі явища можна спостерігати, розглядаючи крізь трубу зорі. Всі чисто зорі ми бачимо в першу-ліпшу з тих труб, що є тепер, просто, як точку; це через те, що їхні видимі діяметри надто малі.

Труба дає змогу лише поділяти (бачити нарізно) деякі зорі що здаються голому оку ніби злиті між собою і, крім того, помітно збільшує їх яскравість. Причини цього явища такі: коли ми дивимось на зорю голим оком, то в нього потрапляє лише те світло, яке проходить крізь нашу зіницю, що має максимальний діяметр 0,5 см; інакше кажучи — те світло, що може перепустити в око площа отвору зіниці.

Об'єктив астрономічної труби, заломлюючи проміння, скеровує в зіницю все світло, що впало на його поверхню. Отже, у зіницю потрапляє в стільки разів більше світла, в скільки разів площа об'єктива труби більша за площу зіниці нашого ока. А як площа круга пропорційна квадрату його діяметра, то яскравість видимого крізь трубу зображення зорі буде в стільки разів більша за яскравість зорі, видимої голим оком, у скільки разів квадрат діяметра об'єктива астрономічної труби більший за квадрат діяметра зіниці людського ока; отже маємо формулу $I = i \frac{D^2}{d^2}$ де I — яскравість зорі, видної крізь трубу, i — яскравість тієї самої зорі, видної голим оком, D — діяметр об'єктива астрономічної труби, d — діяметр нашої зіниці. Насправді це відношення доведеться трохи зменшити, бо частина світла втрачається в астрономічній трубі, через те, що його вбирають уставлені в неї скельця. Проте, це вбирання взагалі невелике, і ми для наших потреб можемо не брати його до уваги. Тому крізь трубу з досить великим об'єктивом ми бачимо дуже малі зорі, цілком недоступні для простого ока.

Погляньмо тепер, що станеться, коли розглядатимемо світило, що має і для голого ока помітний видимий диск. Певна річ, що тоді труба ще збільшить видимі його розміри за наведеною попереду формулою для збільшення труби $W = \frac{F}{f}$, отже й та кількість світла, що розподілялася спочатку на диск певної величини, розподілиться тепер на більшу площу диска зображення, збільшеного трубою. Спочатку, коли збільшення не досягає певної границі, велика кількість світла, що потрапила через об'єктив (проти зіниці), компенсуватиме зменшення яскравости

через те, що труба збільшує видиме зображення; потім, настане такий момент, коли яскравість поверхні диска, видного крізь трубу, дорівняється до тієї, яку ми маємо, спостерігаючи його простим оком; нарешті, якщо пригвинтимо до труби ще сильніший окуляр і ще підвищимо збільшення, то поверхнева яскравість видимого крізь трубу зображення стане менша за ту, що її маємо, коли розглядаємо простим оком. При дуже великих збільшеннях ця яскравість може стати дуже малою, диск світила зробиться дуже блідий — в ньому буде, як іноді кажуть, „мало світла". От одна з причин чому не можна в трубах застосувати довільно великих збільшень.

Є, проте, й інша причина, що не дає застосувати тих максимальних збільшень, які ще може витримати дана труба. Такі максимальні збільшення — це збільшення, удвоє більші проти числа міліметрів у діяметрі об'єктива труби. Дуже добрий об'єктив може витримати і дещо вищі збільшення. Астрономічні спостереження роблять з поверхні Землі крізь грубий шар її атмосфери, — туманне середовище, неспокійне і розхвильоване, а труба збільшує і ці неспокійні струмини; тому, якщо зображення далеких предметів та світил дуже збільшувати, то вони здаються нам розмитими, невиразними, а зчаста так само розхвильованими, неспокійними. Тимто розглядаючи якенебудь світило, доводиться добирати найвигідніше для даного моменту збільшення. З максимального збільшення доводиться користати дуже зрідка, особливо працюючи з великими астрономічними інструментами, далеко чутливішими до неспокою атмосфери, ніж малі. Крім того, об'єктиви при дуже великих збільшеннях, через свою неповну досконалість (так званий *хроматизм*) забарвлюють ображення спектральними кольорами. На це хибують тільки рефрактори, а в рефлекторах цього нема.

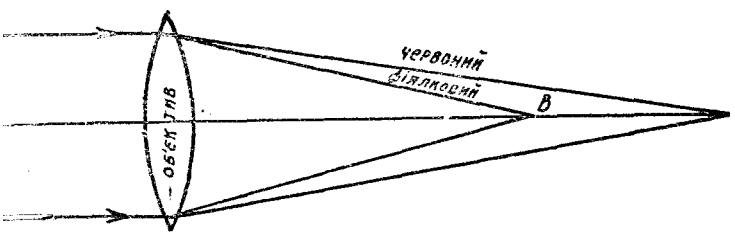


Рис. 46. Хроматична аберація.

Явище хроматизму буває наслідком того, що скло об'єктива, заломлюючи світло, в той самий час і розкладає його на складові кольори. Проміння довгих хвиль заломлюється далі від об'єктива, ніж проміння коротших хвиль (фіялкових). Через те всі предмети, коли їх розглядати крізь таке скло, здаються забарвленими. Це дуже позначається на ясності та чіткості зображення.

Явище забарвлювання предметів у наслідок заломлювання зветься — *хроматична аберація*. Об'єктиви, складені з однієї опуклої

сочки, мають цю властивість великою мірою. За старих часів намагались позбутися цього, роблячи об'єктиви з дуже довгими фокусами. Проте, дуже довгі труби були такі незручні і мали таку малу світлосилу, що з рефракторів облишили користати на-

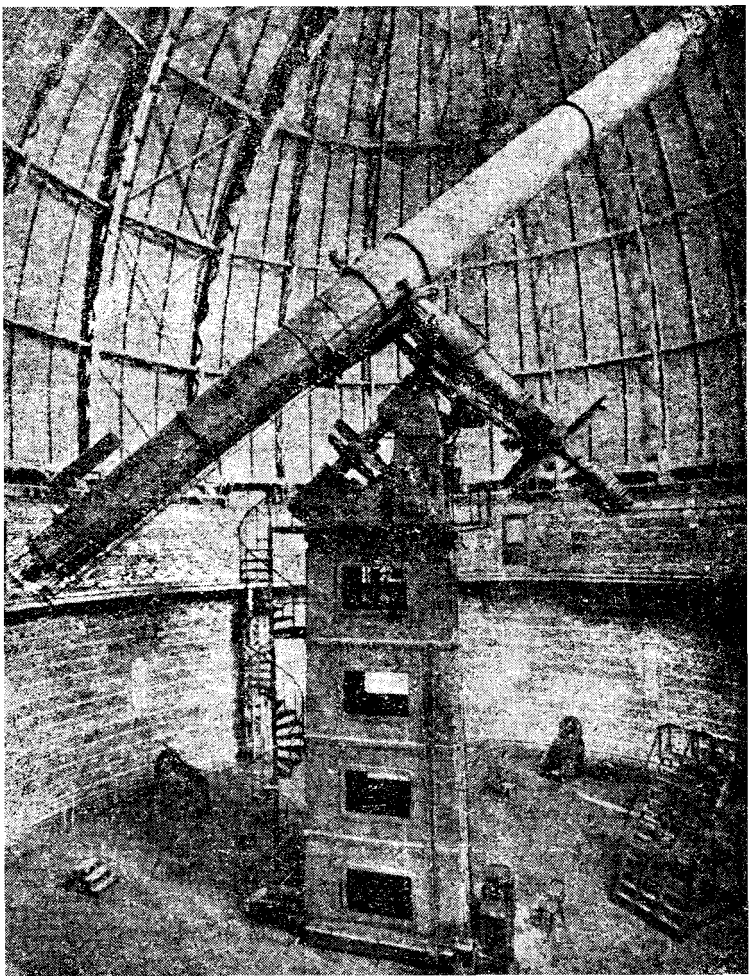


Рис. 47. Єрксівський рефрактор.

довго; аж у XVIII ст. Айлер довів, що коли скласти об'єктив з двох сочок, однієї двовигнутої з звичайного скла, кронглясу, а другої вгнутої — з важкого сорту скла — флінтглясу, то можна добрати поверхні цих сочок так, що проміння, яке належить до складу білого кольору, відчуваючи різні заломлення (і через

різну густину обох сочок, і через спеціяльний добір їхніх поверхень), збереться майже в одній точці. Першу трубу такого типу (ахроматичну) сконструював 1757 р. англійський оптик Долонд. Тепер роблять дуже досконалі астрономічні об'єктиви. Проте, і в них при дуже великих збільшеннях кольорове забарвлення все ж позначається досить помітно.

Найбільший рефрактор нашого часу — це великий рефрактор американської обсерваторії Єркса (близько Чікаго) з об'єктивом, що має в діяметрі 1 м. Довжина цього рефрактора — близько 19 м. Важить він майже 4000 кг. Найбільший рефрактор в СРСР з об'єктивом на 76 см встановлено в Пулківській обсерваторії недалеко Ленінграду. Фокусова віддаль цього об'єктива — 13 м. Виготовляти дуже великі об'єктиви важко, а дзеркала для другого типу астрономічних інструментів — рефлекторів — набагато легше. Через те об'єктива більшого, ніж 1 м, навіть не пробували робити,— а перейшли до рефлекторів.

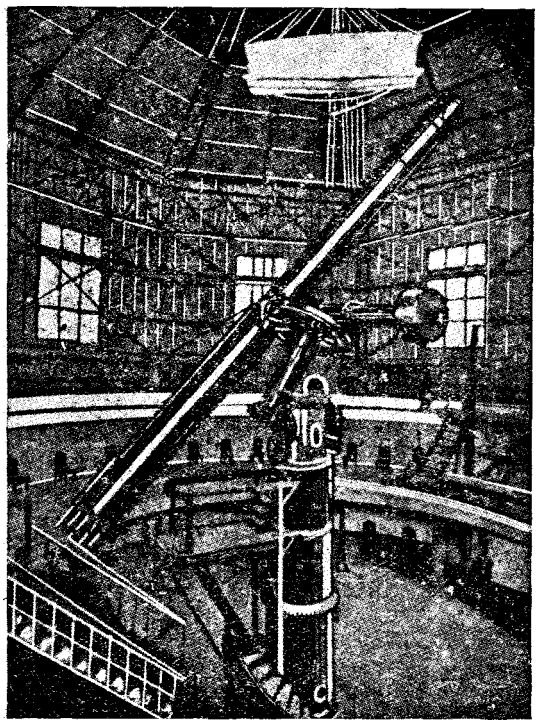


Рис. 48. Тридцятицалевий Пулківський рефрактор.

Ми бачили, що в рефлекторі за об'єктив править велике вгнуте дзеркало, що в його фокусі як і в фокусі сочки, утворюється справжнє обернене зображення світила. Дивитись треба з того боку поверхні великого дзеркала, що відбиває, а тому щоб не закривати його головою, світлове проміння відбивають знову малим дзеркалом або вбік, де й ставлять окуляр, або крізь отвір, просвердлений у великім дзеркалі; отже, дивляться або з боку труби (Ньютонівський рефлектор), або ще, як і при рефракторі, крізь трубу з нижнього її боку (напр. Кассергенівський рефлектор).

Найбільший з усіх рефлекторів нашого часу — величезний рефлектор, установлений на Соняшній обсерваторії на горі Вілсон у Каліфорнії. Скляне посріблене дзеркало цього велетня має діяметр на 2, 5 м і важить майже 4 тонни. Рухомі частини цього

величезного інструмента — труба, куди вставлено дзеркало, осі що на них обертається труба, противаги, що зрівноважують обертову систему та інші механічні пристрої важать загалом майже 100 тонн. Потужний рефлектор, встановлений на обсерваторії в Сімеїзі, має дзеркало з діяметром 1 м. На Україні передбачається встановити ще більший інструмент з дзеркалом на $1^1/_2$ м. Цей телескоп буде найбільший в Европі інструмент такого типу.

А втім, хоч ми маємо такі величезні інструменти, що можуть витримати збільшення до 6—7 тисяч разів,— до таких великих збільшень ніколи не доводиться вдаватись з причин, за які ми вже говорили. Звичайно максимальне збільшення, що з нього ще користають, не перевищує тисячі разів, і лише у виняткових випадках для спеціяльних дослідів збільшують об'єкти над тисячу разів [1]).

Щоб можна було робити спостереження з рефрактором або рефлектором, спрямовуючи їх на різні ділянки неба, їх установлюють на спеціяльних підставках (великі труби на масивних литих колонках); на цих підставках трубу й повертають в різні боки довкола осей, що в неї є. Є кілька типів устав для астрономічних труб.

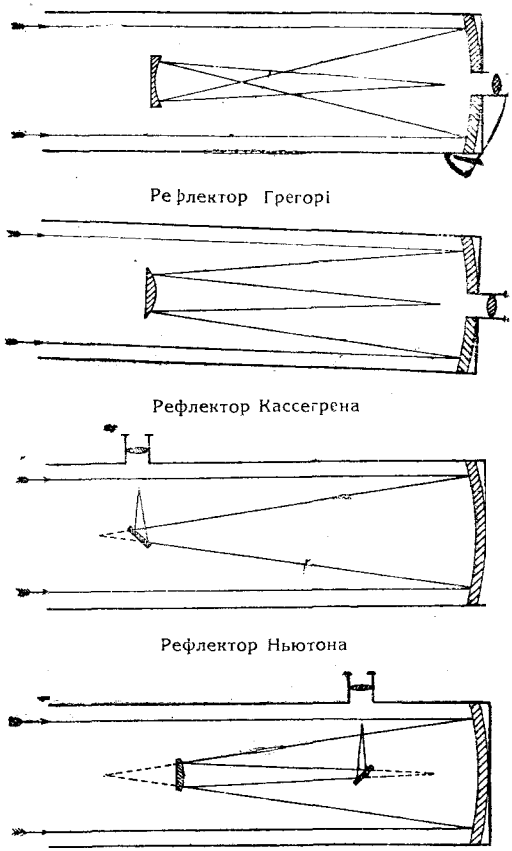


Рис. 49. Схеми різних рефлекторів (чотири фігури).

Найпростіша, застосовувана лише для малих труб,— це так звана ***вертикально-горизонтальна*** або ***азимутальна*** устава. В цій уставі маємо дві осі, що довкола них можна вільно повертати астрономічну трубу і наслідком цих рухів, скеровувати її в різні точки неба. Одна з цих осей вертикальна; довкола неї труба може повертатись справа наліво і навпаки; інакше кажучи, об'єктив труби при цім робить кола, паралельні з горизон-

[1]) Тут, звичайно, йдеться за лінійне, а не за площове збільшення.

том. Друга вісь лежить горизонтально. Довкола цієї осі трубу можна пересувати вгору і вниз, тобто при такім русі об'єктив її має рухатись за вертикалом. Ця устава хоч і проста, проте незручна для астрономічних спостережень, і з неї майже зовсім не можна користати і при точних вимірах, і при тривалім фотографуванні різних небесних об'єктів. Ми вже знаємо, що в наслідок добового руху всі світила йдуть колами, що нахилені до горизонта, а не паралельні з ним. Доводиться, щоб стежити за зорями, надавати трубі разом двох рухів: один управоруч або вліворуч, а другий — або вгору або вниз.

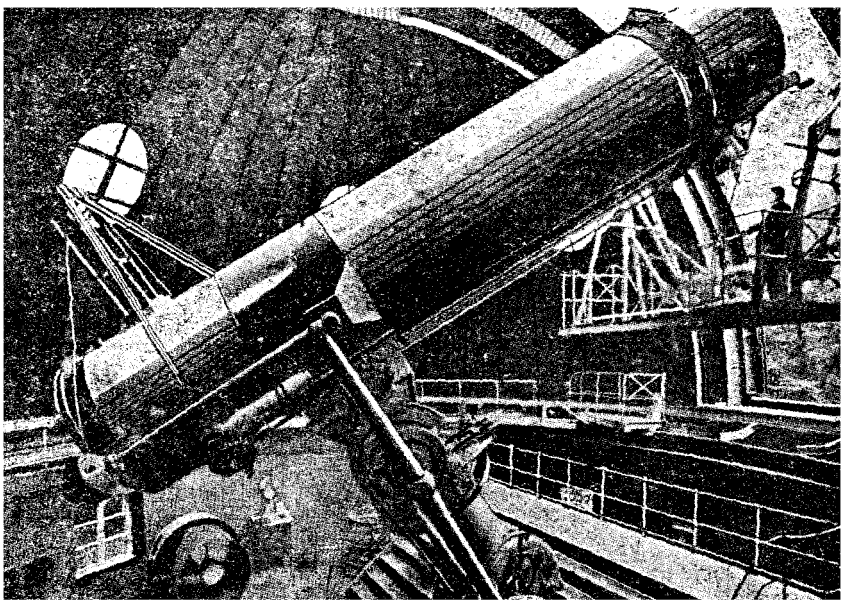


Рис. 50. 48-цалевий рефлектор обсерваторії Берлін - Бабельсберг.

Щоб мати змогу довго спостерігати і мати точні наслідки, це було б особливо важко, якби сучасні велетенські інструменти мали азимутальну уставу, — користають з так званих ***паралактичних*** устав. Є дві відміни паралактичних устав — німецька і англійська. В цих уставах теж дві взаємно перпендикулярні осі, тільки вони по різному розміщені відносно горизонту. Одну вісь (годинну) скеровують на небесний полюс, а другу влаштовують перпендикулярно до першої (відхилова вісь). Отже, якщо надати трубі руху довкола першої осі, то її об'єктив ітиме за якоюнебудь небесною паралелею, отже, й буде разом з світилом підноситись на сході і спускатись до заходу. Тому, користаючи

з цієї устави, трубі досить надавати тільки одного руху зліва направо, щоб вона ввесь час стежила за тією зорею, на яку її наведено. Рух довкола другої осі дає змогу переводити трубу з однієї небесної паралелі в другу.

У *німецькій* уставі ми маємо одну масивну колону, на якій і укріпляють трубу разом з обома осями. В *англійській* уставі годинна вісь лежить своїми кінцями на двох міцних стовпах (див. рис. 52). І на годинну вісь, і на вісь відхилову в обох цих уставах надягають поділені круги. Перший круг зветься *годинний*, бо він дає відлічувати годинні кути тих світил, що на них скеровують трубу. Другий зветься *відхиловий* круг; він дає змогу відлічувати відхил світила, що перебуває в полі зору труби. Використовуючи ці круги і знаючи координати, можна легко встановити трубу на таке світило, що його ми зовсім не бачимо голим оком. Щоб уникнути потреби пересувати трубу, спостерігаючи якусь зорю, просто рукою або мікрометричним гвинтом (це дуже важко буває, коли треба виміряти або фотографувати),— при трубі влаштовують годинниковий механізм; його розраховують так, що він увесь час пересуває трубу — як годинникову стрілку, за світилом. Через те труба ввесь час лишається наведена на світило, треба тільки від часу до часу виправляти її положення, бо хід годинникового механізму не може бути абсолютно точний.

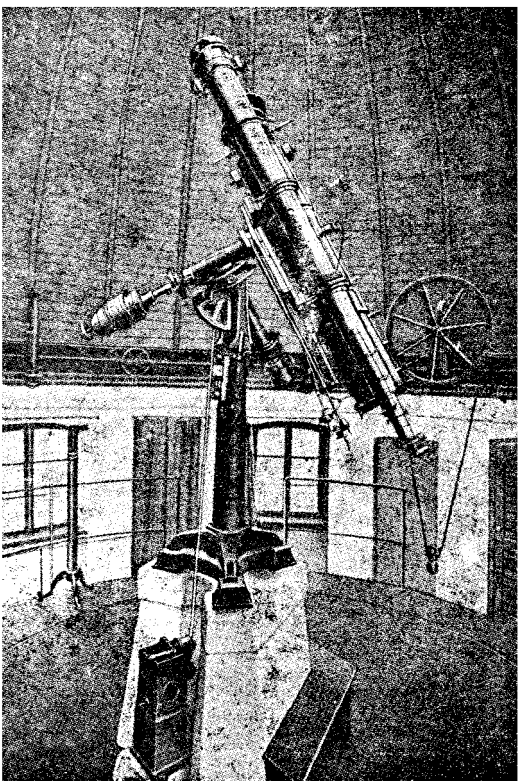


Рис. 51. Німецька устава.

Кожна труба, призначена для астрономічних дослідів, має при собі цілий ряд приладів та пристроїв, що дають змогу розв'язувати ті чи інші завдання. Згадуємо тут за браком місця тільки деякі з них, що мають особливо велике значення. Один з таких

приладів — *мікрометр*. Цей прилад пригвинчується до окулярного кінця рефрактора, бо рефрактор через свою надзвичайно компактну конструкцію далеко більше придатний для точних вимірів

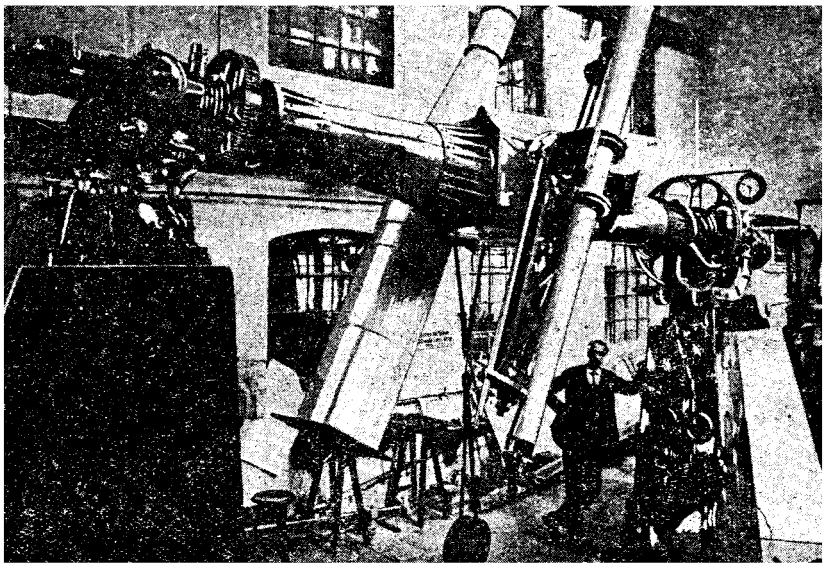


Рис. 52. Англійська устава.

з мікрометром, ніж рефлектор. У рефлекторі дзеркала можуть змінювати своє положення одне проти одного, і це позначається на точності вимірів.

Нитковий мікрометр

Головне призначення ниткового мікрометра — визначати взаємне видиме положення світил, що потрапляють у поле зору-труби. Цим приладом виміряють кутові віддалі між світилами, а так само розміщення їх відносно якогонебудь певного напряму. Здебільша його визначають так званим *позиційним* кутом; це кут між великим колом, проведеним через обидві видні в полі зору зорі та відхиловим колом, що проходить через одну з цих зір. Позиційний кут відлічують від північної частини відхилового кола через схід, південь та захід від 0° до 360°. Відлічують його за спеціяльним позиційним кругом, що є на мікрометрі. Крім того, мікрометром можна вимірювати видимі кутові діяметри світил, що мають помітні видимі розміри. Мікрометр складений з двох взаємно перпендикулярних нерухомих

ниток і однієї рухомої, паралельної з однією з них. Цю рухому нитку можна пересувати в полі зору мікрометричним ґвинтом і, таким чином, встановлювати на різних віддалях від однієї з нерухомих ниток. Часто в мікрометрі замість двох ниток натягують кілька нерухомих і кілька рухомих; при деяких спостереженнях це буває дуже корисно. На барабані з поділками, на мікрометричнім ґвинті, що пересуває рухому нитку, можна прочитати число обертів та часток їх і, отже, визначити виміряну кутову віддаль частинами оберту ґвинта. Обчисливши з спеціяльних спостережень, якій кутовій мірі відповідає один оберт ґвинта, виміряну віддаль визначають на градуси, мінути та секунди дуги.

Астрономічна фотографія.

Одна з найсильніших метод астрономічних досліджень тепер — це *астрофотографія*.

Фотографічна платівка має ту властивість, що вона збирає докупи чин світла. Спостерігачеве око може бачити зорі лише до певної яскравости, хоч як пильно він буде придивлятись. Фотографічна платівка фіксує об'єкти, що чимраз менше світяться в міру того, як збільшується тривалість впливу на неї світлового проміння. Ця властивість фотографії дуже цінна для астрономії, де часто доводиться фотографувати такі об'єкти, що ледве світяться — найдальші зорі, рої, туманності, що їх, коли б не було фотографії, не можна було б і помітити. Крім того, на платівку потрапляє відразу багато зір, і всі потрібні виміри можна робити вже над платівкою, сидячи в сприятливій обстанові в лябораторії. Потім платівка може зберігатися дуже довго, а тому вона є цінний документ, що з нього астроном може вивчати різні небесні явища через багато років.

Фотографують небесні світила спеціяльними приладами, що їх звуть — *астрографи*. Астрограф — це не інше що, як астрономічна труба, куди замість окуляра вставляють касету з фотографічною платівкою. На звичайну фотоплатівку діє проміння короткої хвилі (так зване хемічне або фотографічне проміння), а тому об'єктив астрографів звичайно ахроматизують саме для цього проміння, щоб мати якнайвиразніші та якнайточніші зображення. Астрографи застосовують з різними фокусовими віддалями і додають до них об'єктиви з різними діяметрами, відповідно до їхнього призначення. Коли хочуть мати більший маштаб на фотоплатівці, беруть довгофокусовий астрограф: тоді на платівці вміщається лише невеличка ділянка неба. Коли хочуть захопити якнайбільшу площу, беруть об'єктив з малою фокусовою віддаллю, що дає менший маштаб. Коли хочуть дослідити дуже бліді об'єкти, об'єктив беруть з якнайбільшим діяметром. Фотографуючи об'єкти, що дуже мало світяться, доводиться робити досить довгу видержку, і треба, щоб під час фотографування зображення фотографованого об'єкта потрапляло ввесь час на

те саме місце фотоплатівки, бо інакше замість виразного зображення ми мали б розмазану пляму.

Щоб утримувати зображення на тім самім місці платівки, астрограф пригвинчують до астрономічної труби і встановлюють так, щоб коли зображення якогонебудь світила потрапляло в центр поля зору окуляра, воно було б у центрі платівки. Телескоп, що до нього приладнано астрограф, має годинниковий механізм, а тому цей механізм рухає і астрограф, ввесь час тримаючи зображення світила на тім самім місці фотоплатівки там його і фіксується.

Жодний механізм не може йти абсолютно точно, а тому на обов'язку астронома лишається від часу до часу перевіряти його хід, дивлячись у трубу, що до неї пригвинчено астрограф, і стежити за тим, чи лежить зображення фотографованого світила на тій павутинній нитці, на яку його поставлено на початку фотографування. Якщо зображення зійде з нитки в той чи той бік через неточність ходу годинникового механізму, то його знову ставлять на нитку мікрометричним ґвинтом, який дає змогу повільно і плавко пересувати рукою ввесь інструмент.

Крім цих спеціяльних фотографічних труб—астрографів, кожний рефрактор або рефлектор, збудований для спостерігання ском, можна застосовувати і для фотографування. Усі великі рефлектори, побудовані тепер, пристосовані майже тільки для фотографічних робіт. Тому в них на місці окуляра можна вставляти касету з фотографічною платівкою і користуватися цими інструментами, як величезними астрографами. Їх застосовують і на те, щоб фотографувати плянети та Місяць, і на те, щоб фотографувати найтьмяніші та найдальші небесні об'єкти, переважно зоряні рої та туманності. Тут ці інструменти дали дуже багато З ними пощастило дослідити такі подробиці в будові зоряних роїв та туманностей, що їх зовсім не пощастило б дізнати без фотографічної методи.

Астрофотометр

Астрофотометр — прилад виміряти яскравість небесних об'єктів. Є астрофотометри двох зразків: *поверхневі*, що ними можна виміряти яскравість невеликих видимих ділянок поверхні небесних тіл — Місяця, плянет тощо — і *точкові*, що ними можна вимірювати яскравість точкових джерел світла, наприклад, зір. Астрофотометри потрібні і для того, щоб безпосередньо вимірювати оком, якщо їх пригвинчено на місце окуляра астрономічних труб, і для того, щоб вимірювати яскравість за фотографіями. Звичайно, конструкції цих приладів дуже відрізняються одна від одної.

Скажемо тут коротенько лише про два фотометри,— про фотометр *Цельнерівський*, що з ним можна вимірювати оком яскравість зір, і про мікрофотометр *Гартманівський* — вимірю-

вати фотографії. Будову Цельнерівського фотометра уґрунтовано на законах поляризації світла. Фотометр складений з звичайної астрономічної труби, що крізь неї спостерігач дивиться на досліджувану зорю. Збоку коло окулярного кінця цієї труби (див. рис. 53) прилаштовано перпендикулярну до неї другу трубку. В ній коло вільного її кінця приміщено електричну лямпочку $Л$, що посилає світлове проміння через сочку C_1

Електричну лямпочку встановлено у фокусі цієї сочки, а тому світлове проміння, вийшовши з неї, іде далі паралельним жмутом. Далі воно потрапляє на встановлену в трубі призму H_1 ніколя і виходить з неї поляризоване так, що незвичайний промінь виходить з призми незаломлений, а звичайний відхиляється. Вийшовши з призми, поляризоване проміння входить у другий ніколь H_2, потім потрапляє на другу опуклу сочку C_2, а далі—в головну трубу, що злучає його в точкове зображення. Всередині головної труби встановлено плоску прозору скляну платівку m_1 під кутом 45^0 до осі головної труби, що відбиває це проміння під прямим кутом в окуляр 0.

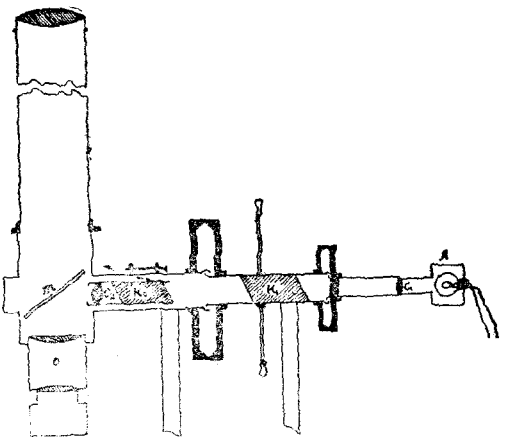


Рис. 53. Цельнерівський фотометр. Схема.

Спостерігач, дивлячись в окуляр, бачить поряд з природною зорею, що на неї наведено головну трубу, ще дві штучні зірочки від лямпочки $Л$. Одна з цих зірочок, яскравіша, утворюється через те, що світло відбивається від передньої площини скляної платівки, а друга, блідіша, через те, що відбивається від задньої площини. Друга зірка виходить не така яскрава, бо світло, відбиваючись від цієї задньої поверхні, перше, ніж потрапити в око спостерігачеві, має двічі пройти крізь товщу самої скляної платівки. Від того частина світла вбирається, і друга зірочка здається не така яскрава.

Віддаль між штучними зірочками залежить від грубини скляної платівки. Що грубша платівка, то далі здається одна від одної зірочки; що тонша платівка, то ближче одне до одного ці зображення. Якщо обидва ніколі повернені так, що їхні головні перекрої паралельні між собою, то поляризоване світло, вийшовши з першого ніколя, вільно проходить і крізь другий. Якщо ж другий ніколь повернений супроти першого так, що його головний

перекрій перпендикулярний до головного перекроя першого ніколя, то світло пройти не може. Отже, в першім положенні ніколів штучні зірочки здаються найбільш яскраві. В другому положенні вони гаснуть зовсім.

За Малюсовим законом інтенсивність незвичайного променя світла, що виходить з ніколя, пропорційна з квадратом косинуса кута між двома головними перекроями ніколів. Якщо через I_0 позначимо інтенсивність (яскравість) штучної зірки, коли головні площини обох ніколів паралельні, і якщо кут повороту, як завжди, відлічується від того положення, коли головні перекрої ніколів взаємно перпендикулярні (тобто, коли яскравість штучної зорі дорівнює 0), то інтенсивність штучної зорі при куті α, відлічуванім від цього положення ніколів, користаючи з круга з поділками, зв'язаним з одним з них, становитиме $I = I_0 \sin^2\alpha$ [1]). Повертаючи систему ніколя H_1 відносно ніколя H_2, можна дійти того, щоб яскравості штучних зірочок стали такі, коли природна зірочка блідіша за одну з них, але яскравіша за другу (різниця яскравостей обох штучних зірочок не перебільшує звичайно 0,02 зоревих величин). В цей момент роблять прочит по кругу (його звуть кругом напруги). Потім, поставивши між штучними зірочками другу природну зорю, таким самим способом роблять другий прочит. З цих двох прочитів за наведеною попереду формулою легко визначити різницю в яскравості обох природніх зір. Певна річ, що коли яскравість однієї з цих зір невідома, то її визначають на підставі відомої яскравости іншої зорі.

Гартманівський мікрофотометр

Гартманівський мікрофотометр, на відзнаку від Цельнерівського астрофотометра, призначено вимірювати ступінь потемнення фотоплатівок під впливом світла, що падало на них. В цім приладі світло від електричної лямпочки йде двома напрямами: з одного боку, воно проходить крізь те місце фотоплатівки, що його потемнення хочуть виміряти, а з другого — крізь спеціяльний фотометричний клин, — скляну платівку, що має по своїй довжині різну прозорість; прозорість її, притім, ступнево зменшується від одного кінця до другого. Отже, переміщуючи клин спеціяльним гвинтом, можна змінити інтенсивність цього другого жмута проміння.

Скляний кубик, складений з двох призм, складених докупи, з маленьким люстерком між ними, дає бачити в окуляр два ясні концентричні кола. Мале внутрішнє коло утворюється від світла, що пройшло через фотографічну платівку, а більше, що охоп-

[1]) Sin узято тут замість cos тому, що тут ми відлічуємо не від того положення ніколів, коли головні перекрої їх паралельні, а від перпендикулярного, тобто від такого, коли цей кут поверту доповнює перший, відлічуваний від паралельного положення головних площин ніколя до 90^0, $\cos(90 - \alpha) = \sin\alpha$.

лює його, від світла, що йде крізь клин. Пересуваючи клин, можна домогтися того, що все поле зору набуває однакової яскравости, і мале коло майже зникає на фоні великого. В той момент, коли кола досягають однакового ступня яскравости, роблять, прочит на скалі клина, що її поділки позначено на посрібленій штабі, пригвинченій до оправхи клина. Підводячи під фотометр різні місця фотоплатівки що і треба виміряти і що мають різні потемнення, ми щоразу, пересуваючи клин, домагаємось того, щоб яскравість обох кіл стала однакова, і робим прочити клина.

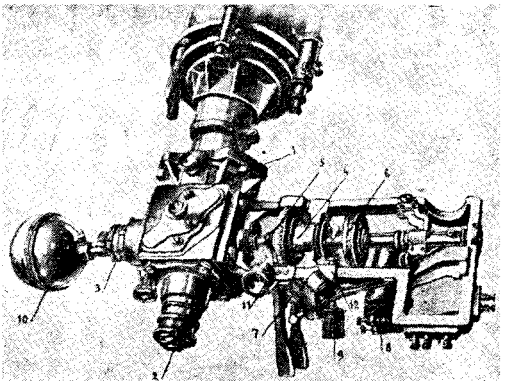


Рис. 54. Цельнерівський фотометр. Заг. вигляд.

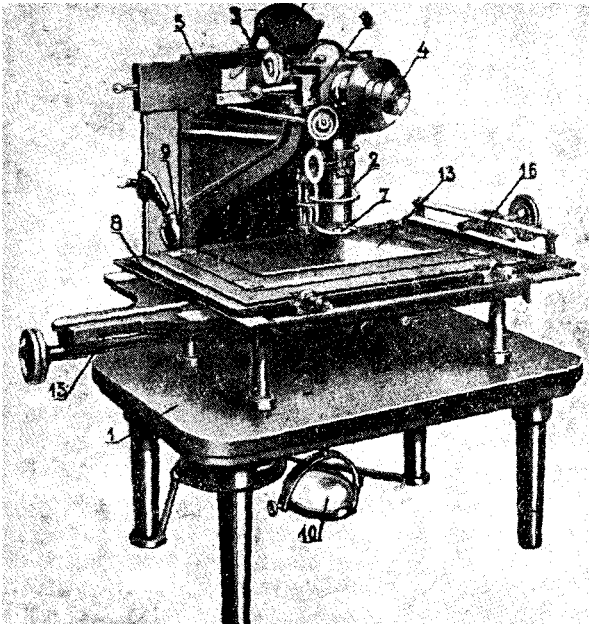


Рис. 55. Гартманівський мікрофотометр.

Отже, ми дістаємо відношення між потемненням різних цікавих для нас місць фотоплатівки і визначаємо їх у прочитах клина. Позначивши на тій самій фотоплатівці фотометричну скалю, легко можна відношення між потемненнями, визначеними у прочитах клина, перечислити на дношення інтенсивностей світла, що спричинило ці потемнення. Для того на тій таки платівці, де зфотографовано і належні до вивчення об'єкти, фотографують джерела світла різної яскравости; при цім має бути точно відомо, наскільки ці яскра-

вості відрізняються одна від одної. Такий, коротко кажучи, принцип вимірювання яскравости Гартманівським мікрометром. Лишається ще згадати, що при згаданих вимірах треба вживати різних запобіжних заходів, щоб уникнути різних можливих помилок.

Тепер дуже поширюється так звані об'єктивні фотометри, де яскравість оцінюють не просто на око, а за допомогою спеціяльних пристроїв. Так, в електрофотометрі, що його пригвинчується до окулярного кінця астрономічної труби, світло падає на спеціяльну фоточарупку, і про його інтенсивність складають уявлення на підставі величини струму, що його утворює світло, впале на чарупку. Така метода вимірювати силу світла дає дуже

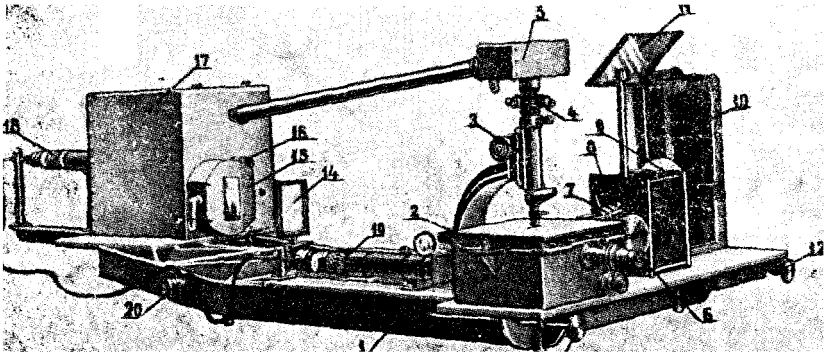


Рис. 56. Самореєстраційний Кохівський мікрофотометр.

високу точність, і застосовують її не тільки тоді, коли безпосередньо вимірюють силу світла, а й коли обробляють фотографічні знятки. На цім принципі сконструйовано кілька так званих самореєстраційних мікрофотометрів.

Будова самореєстраційного фотометра така: у прилад закладають світлочутливий папір, або платівку; потім, при пересуванні вимірюваної платівки, коли прилад послідовно наводять на те місце, що його треба виміряти, на світлочутливім папері, закладуванім у прилад, вирисовуються криві потемнень проміряної частини платівки. Цю криву потім переводять, користаючи зі скалі, подібної до описаної попереду на криву яскравостей.

Спектри.

Дуже важливі в астрономічних дослідах такі прилади, як *спектроскоп* та *спектрограф*. Обидва ці прилади застосовують, коли треба вивчати спектри небесних тіл. З першим спостерігають оком, другий придатний для фотографування.

Всякому відомо, що коли крізь скляну призму перепустити світло розжареного твердого тіла, то утвориться так званий *суцільний* спектр — веселкова смужка, де не помітно окремих ясних і темних ліній. Гази з дуже великим тиском дають також суцільні спектри. Коли ж розжарений газ не зазнає дуже великого тиску, то він дає так званий *лінійчастий* спектр. Замість веселкової смужки суцільного спектру тоді утворюється одна або кілька ясних ліній, відділених одна від одної темними переміжками. Кожний газ дає свої характеристичні лінії в певних місцях спектру. Отже, з спектру газу завжди можна бачити, до якого саме газу він належить. Проте, якщо світло, що його випромінює якенебудь розжарене тіло, перепустити крізь якийнебудь газ, що має нижчу температуру, то якраз у тих місцях спектра, де цей газ дає ясні лінії, утворюються також лінії, але вже не ясні, а темні. Лінії, як то, кажуть перетворюються, і

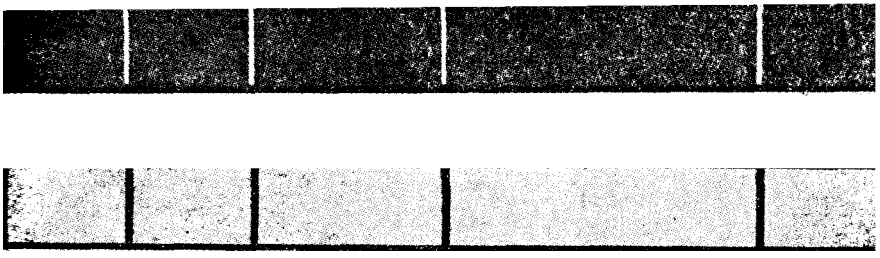


Рис. 57. Спектри випускання і вбирання.

постає спектр, що його звуть *спектр убирання*. Тому, якщо ми маємо перед собою суцільний спектр, перетятий темними лініями, то це свідчить, що світло тіла, що дає суцільний спектр, пройшло крізь гази або пару, а з положення цих темних ліній у спектрі можна гадати про те, крізь які саме гази світло пройшло. На згаданих тут і, безперечно, відомих кожному явищах базується те величезне значення, що його має в астрономії спектральна аналіза. Спектральні спостереження дають змогу робити висновки про будову небесних тіл через порівняння спектрів їх із спектрами різних речовин на Землі. Крім того, на підставі інтенсивности деяких ліній у спектрах та яскравости зір можна визначити віддаль до них. Потім спектрограф подає нам відомості про рух небесних тіл у напрямі до нас або від нас, чи, як то кажуть інакше, за променем зору на основі принципу Доппле́ра-Фізо. Нагадаймо коротенько, що це за принцип.

Припустімо, що світна точка A посилає світлове проміння з певною довжиною хвилі λ. Позначаємо через c — швидкість розпросторення цих світлових хвиль (швидкість світла дорівнює

віддалі, що її проходять ці хвилі за одну секунду). Тоді очевидно, число коливань, що їх дає це проміння, буде за 1 сек. $\frac{c}{\lambda}=n$. Інакше кажучи, це є число хвиль, що укладається на віддалі, що її проходить світло за 1 сек, тобто 300 000 км. Якщо джерело світла A і спостерігач нерухомі один супроти другого, то спостерігач сприймає протягом 1 сек. n хвиль або коливань, що досягають його ока з довжиною хвилі λ. Довжина хвилі — це віддаль між двома однаковими фазами двох послідовних хвиль, — наприклад, між двома послідовними гребенями; отже й світло проходить віддаль λ за $\frac{1}{n}$ сек.

Припустімо тепер, що джерело світла A віддаляється від спостерігача з швидкістю v. Тоді цілком очевидно, що хвилі приходитимуть до спостерігача з різних віддалей; вони будуть різні через те, що пересувається саме джерело світла. Найменшу віддаль назвемо d; тоді через 1 сек. джерело світла віддалиться ще на v км,—отже через секунду хвилі приходитимуть уже не з віддалі d, а з $d+v$. Коли c швидкість розпросторення світлових хвиль, то очевидно, що з найближчої віддалі d хвиля дійде до нас за $\frac{d}{c}$ сек, а з віддалі $d+v$ через $\frac{d+v}{c}$. Отже, друга запізниться проти першої на $\frac{d+v}{c}-\frac{d}{c}=\frac{v}{c}$. Тоді протягом 1 сек. спостерігач сприймає не n хвиль, а дещо менше. Інакше кажучи, n хвиль дійдуть до нього не за одну секунду, а за трохи довший час, а саме за $1+\frac{v}{c}$ секунди. Тому за одну секунду спостерігач сприйме не n хвиль, а $\pi^1=\frac{n}{1+\frac{v}{c}}$ (I). Відси видно, що спостерігачеві здасться, ніби сама довжина хвилі стала інша (довша), тобто $\lambda_1=\frac{c}{n_1}$, відси $\pi_1=\frac{c}{\lambda_1}$ і, підставивши у (I), матимемо: $\frac{c}{\lambda_1}=\frac{\frac{c}{\lambda}}{1+\frac{v}{c}}$ або $\frac{c}{\lambda_1}=\frac{c}{\lambda\left(1+\frac{v}{c}\right)}$, а відси $\lambda=\lambda\left(1+\frac{v}{c}\right)$. З цієї формули очевидно, що позірне здовження світлової хвилі того, що віддалилося світне тіло, залежить від відношення швидкости світила до швидкости світла.

Якщо джерело світла не відходить від нас, а наближається, то так само дістанемо формулу: $\lambda_1=\lambda\left(1-\frac{v}{c}\right)$, тобто нам здасться, що хвиля стала коротша.

Очевидно, що коли світило відходить від нас, лінії в його спектрі мають зсуватись до червоного кінця спектра (хвилі здовжуються); коли ж воно наближається до нас — лінії мають зсуватися до фіялкового кінця (хвилі коротшають). Вимірюючи величини цього зсування, отже, визначаючи на підставі цих вимірів величину $\lambda_1 - \lambda$, легко обчислити і швидкість джерела світла v. Крім згаданого вище, спектроскоп і спектрограф дають змогу ще зробити висновок про тиск в атмосферах зір і про висоту цих атмосфер. Далі, на підставі вимірів різних ділянок спектра можна визначити температуру самосвітного тіла, отже, зір, і Сонця.

Нарешті, з самого вигляду спектральних ліній можна зробити висновок про електричні та магнетні сили, що діють на Сонці та зорях. Приміром, якщо джерело світла перебуває під чином магнетних сил, його спектральні лінії розщеплюються — в певних умовах — на дві, і утворюються так звані *дублети*. В інших умовах вони поділяються на три, і утворюються так зван, *триплети*.

Ми сказали тут про найголовніші випадки застосовування спектроскопа. Коли ж читач хоче обізнатися докладніше з цим питанням, то йому доведеться вдатись до спеціяльної літератури з астроспектроскопії, бо через недостатній обсяг цього підручника не можна докладніше висвітлити це питання.

Спектрогеліоскоп і спектрогеліограф.

Ці два прилади призначені на те, як показує сама їх назва щоб ними досліджувати Сонце [1]). *Спектрогеліоскоп* потрібний для візуального спостерігання, *спектрогеліограф* — для фотографічного.

Принцип чину спектрогеліографа такий.

Припустімо, що ми маємо спектроскоп, а він, як відомо, побудований так: на кінці трубки укріплено щілину (див. рис. 58), що її ширину можна змінювати мікрометричним ґвинтом. Пройшовши крізь щілину, соняшне проміння потрапляє на об'єктив, що в фокусі його і лежить згадана щілина. Що щілину закріплено у фокусі об'єктива, соняшне проміння, пройшовши крізь об'єктив, виходить з нього паралельним жмутом. Потім воно потрапляє на призму і, вийшовши з неї, дає спектр, що його можна розглядати з зоровою трубою, встановленою з другого боку призми, ніж об'єктив, або фотографувати на фотографічній платівці з фотографічною камерою, установленою замість труби.

Припустімо, що, розглядаючи спектр, ми беремо якунебудь цікаву нам спектральну лінію, — наприклад, одну з ліній, що

[1]) „Геліос“ — Сонце (грецьке слово).

належать водневі, і встановлюємо в тім місці, де утворюється виразне й чітке зображення спектра, другу щілину; ми встановлюємо її так, щоб вона вирізала з спектра тільки саму цю лінію, і так давала б змогу лише їй фіксуватись на фотоплатівці, закриваючи всі інші ділянки спектра та спектральні лінії. Назвемо цю щілину другою щілиною.

Припустімо тепер, що першу щілину спектроскопа наведено на якунебудь ділянку соняшного диска, що утворюється в фокусі довгофокусового об'єктива або дзеркала. Тоді на фотоплатівці зафіксується вузька смужка соняшної поверхні; а як є друга щілина, що виділяє водневу лінію, то матимемо фотографію тільки водню на тій ділянці соняшної поверхні, куди скерована була перша щілина.

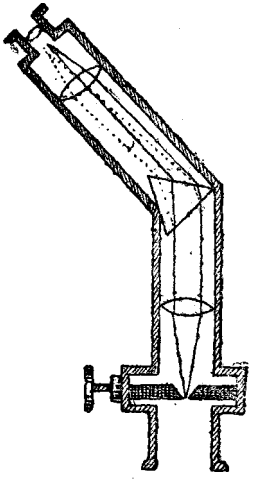


Рис. 58. Схема спектроскопа.

Якщо пересуватимемо тепер першу щілину, щоб вона ступнево проходила через усе зображення Сонця, то крізь другу щілину на фотоплатівку буде послідовно потрапляти світло від водня, що є в різних ділянках Сонця. Якби ми підставляли, в міру руху першої щілини, під другу щілину чимраз нові платівки, то мали б на них кілька вузьких знятків, що відповідали б водневі в різних частинах Сонця. Ми мали б кілька знятків окремих вузьких ділянок соняшної поверхні у водневім промінні.

Якби скласти тепер уряд всі ці вузькі смужки, то ми могли б скласти фотографію всього соняшного диска у водневім промінні і могли б дослідити, як розподіляється на Сонці цей газ. Проте, так складати велике число платівок дуже незручно, і тому вдаються до іншої методи, що дає на одній платівці фіксувати вряд всі ці зображення, отже й послідовно дістати повний зняток.

Справді, для цього досить зробити касетку, куди була б закладена фотоплатівка,— пересувну, але так, щоб вона рухалася синхронно з першою щілиною.

Очевидно, що тоді зображення різних частин соняшної поверхні прикладатимуться одне до одного і утвориться повний зняток Сонця в променях тих речовин, що їх спектральну лінію виділяє друга щілина.

Такий, загальними рисами, принцип будови спектрогеліографа.

Цей інструмент у величезній пригоді стає, коли вивчають Сонце, бо з ним можна дослідити, як розподіляються на поверхні Сонця різні гази, а також незалежно від затемнень вивчати ті вогняні язики, що їх викидають розжарені соняшні надра.

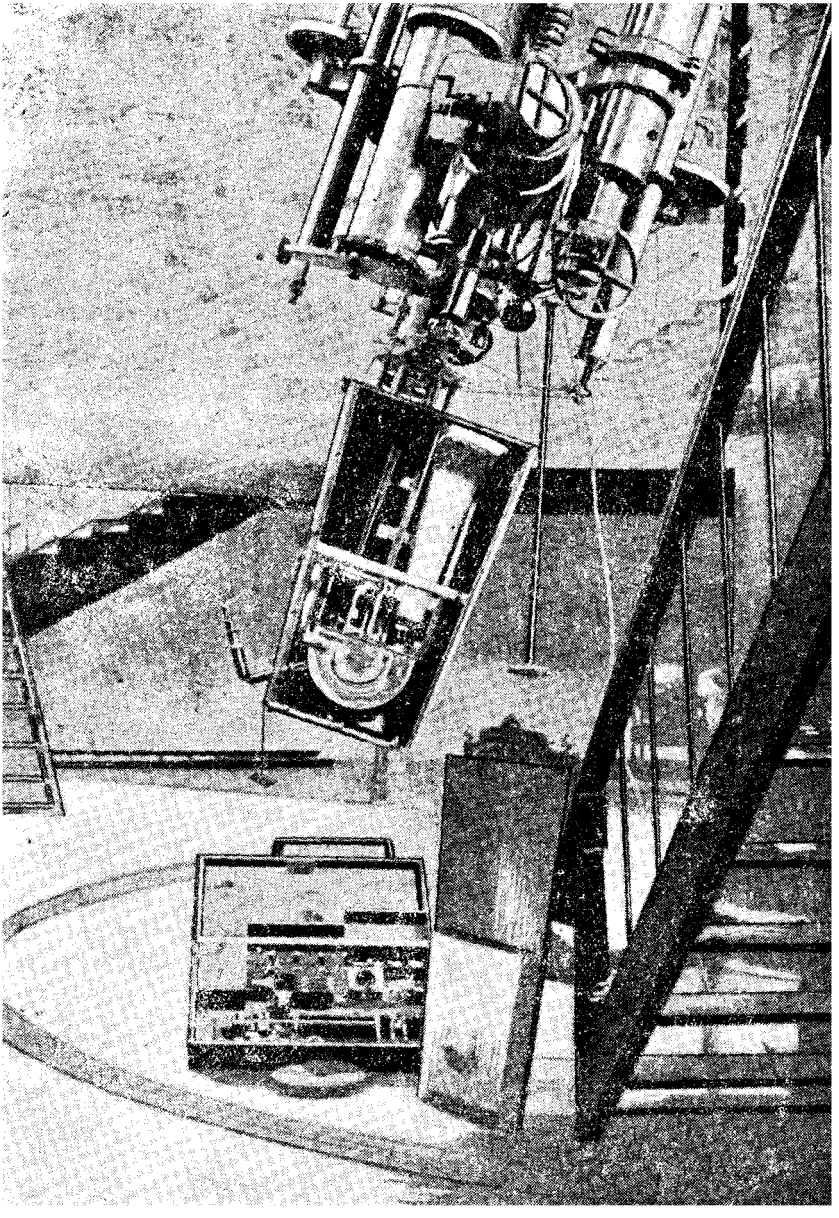


Рис. 58а. Спектрограф, пригвинчений до 30-цалевого Пулківського рефрактора.

Пасажний інструмент і меридіянний круг

Меридіянний круг і пасажний інструмент потрібні на те, щоб визначати координати світил у меридіяні.

Меридіянний круг—це астрономічна труба, укріплена на осі, перпендикулярній до самої труби. Кінці цієї осі, особливо старанно оброблені, мають так звані чопи; ці кінці лежать на двох лягерах, укріплених на спеціяльних підставках і так само старанно оброблених. Обидві підставки укріплені на двох масивних, відокремлених від верхніх шарів ґрунту (щоб потруси ґрунту не передавалися інструментові), кам'яних стовпах, поставлених у напрямі схід-захід. Отже, коли інструмент обертається, вісь, повертаючись у лягерах, дає інструментові обертатись тільки вздовж меридіяна.

Меридіянним кругом і пасажним інструментом, зробленим у цих їхніх частинах цілком аналогічно, можна спостерігати світила тільки тоді, коли вони проходять через меридіян. Ніякого іншого положення світила в бік від меридіяна дослідити з цими інструментами не можна.

На осі меридіянного круга насаджено великий, з діяметром близько 1 м з поділками на обводі, металевий круг. Цей круг установлено так, що коли трубу скеровано на небесний екватор, указник показує прочит 0. Прочити поділок круга, щоб збільшити точність, роблять з кількома мікроскопами, установленими на підставках, що підтримують вісь. Круг поділено з максимальною точністю.

Пасажний інструмент відрізняється від меридіянного круга тим, що при нім зовсім немає круга з точними поділками, а є лише малий круг—шукач з поділками, потрібний лише на те, щоб наводити трубу. І при меридіяннім крузі, і при пасажнім інструменті є ниткові мікрометри.

Розгляньмо, як спостерігати з меридіянним кругом або пасажним інструментом.

Наближені екваторіяльні координати α і δ всякого світила відомі, а тому завжди можна наперед установити трубу меридіянного круга або пасажного інструмента під таким кутом до ґоризонту, щоб зоря, проходячи через меридіян, потрапила в поле зору.

Крім того, можна знати, скориставши з наближених α і δ, коли світило має пройти через меридіян. Отже, установивши відповідним способом інструмент, спостерігач, дивлячись скрізь його окуляр, чекає моменту, коли світило входить у поле зору труби, і відзначає за годинником або за хронометром моменти, коли воно послідовно, під час свого руху, перетинає вертикальні нитки, натягнені в окуляри. Потім, знаючи віддалі між нитками, спостерігач може всі спостереження звести до середньої нитки, отже й дістати ніби кілька незалежних спостережень проходження світила через середню нитку. Спостерігання проходжень

не через одну, а через кілька ниток дуже збільшує точність результатів.

Знаючи за зоревим часом момент проходження зорі через середню нитку, отже, й через меридіян, легко визначити пряме піднесення зорі.

Відхил зорі відлічують, користаючи з круга, що є при меридіяннім крузі.

Пасажним інструментом можна визначити лише саме пряме піднесення, бо в нім немає точного круга визначати відхили.

Пасажний інструмент часто використовують, визначаючи точний час (виправляючи годинники). Спостерігаючи проходження

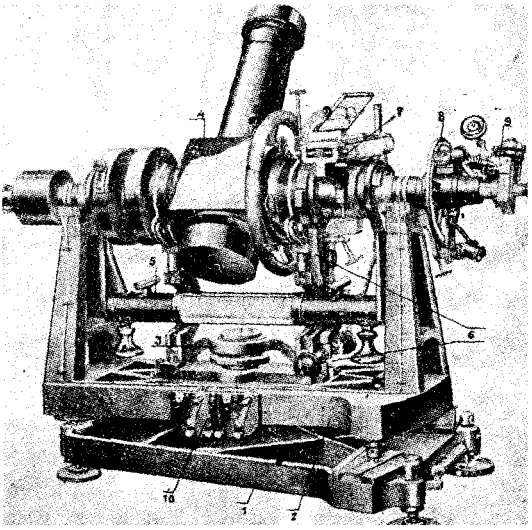


Рис. 59. Пасажний інструмент.

зорі через меридіян і знаючи її пряме піднесення, ми з добре відомого нам відношення $S = \alpha$ визначаємо зоревий час S у момент спостережень. Скажемо тепер дещо про саму методику спостерігати проходження зір через нитки описаних щойно інструментів.

Перша метода базується на способі спостерігання „зором та слухом". Суть цієї методи: спостерігач, дивлячись у трубу, підраховує удари хронометра або годинника, що відбиває секунди, або півсекунди, і відзначає, під час якого удару або на якій частині періоду між двома послідовними ударами зоря перейшла ту чи ту з вертикальних ниток. Знаючи момент, коли спостерігач почав лічити удари, а також — скільки ударів та їх часток він налічив до моменту, коли зоря перетне нитку,

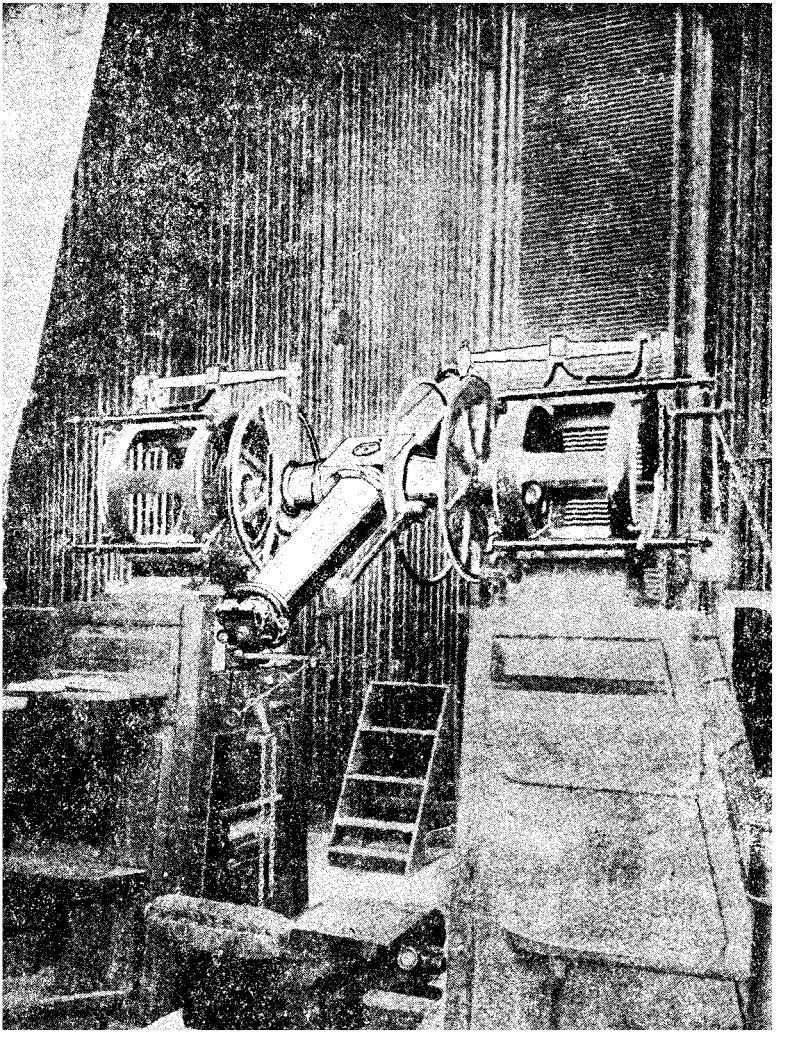


Рис. 60. Меридіянний круг Харківської обсерваторії.

спостерігач визначає і час проходження зорі через нитку. Щоб спостерігати цим способом, треба, щоб спостерігач мав у цій справі певні навички, щоб у нього не було помилок, коли він лічитиме удари, записуючи спостереження.

Як спостерігати проходження через нитку, користаючи з хронографа.

Далеко точніше і зручніше хронографувати проходження світил через нитки пасажного інструмента та меридіянного круга. Для того спостерігач, дивлячись у трубу, держить у руці так званий клявіш; натискаючи на нього, він замикає струм у той момент, коли зоря перетинає нитку, і цей момент перо хронографа відзначає на паперовій стьожці. Хронограф своєю будовою дуже подібний до телеграфного апарата Морзе (див. рис. 61). В нім так само, як і в апараті Морзе, механізм, що йому надає руху тягар, рухає паперову стьожку. До цієї стьожки притискаються два пера, автоматично намочувані атраментом.

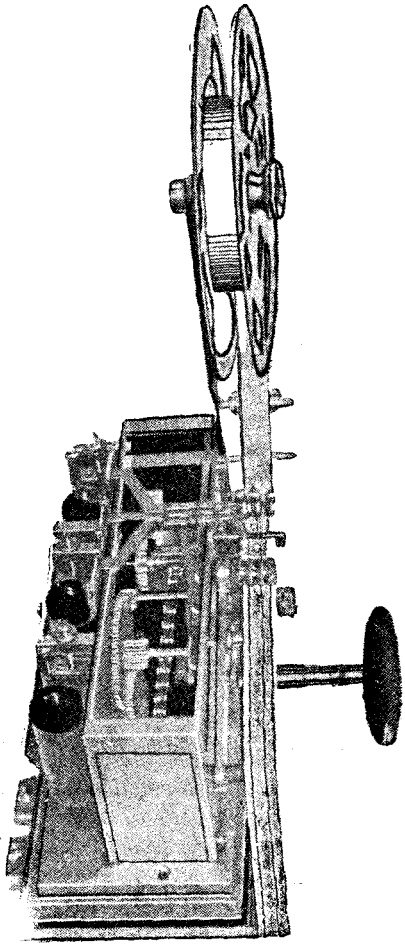


Рис. 61 Хронограф.

При такій будові пера, коли хронограф пущено, пишуть уздовж паперової стьожки дві паралельні прямі лінії. І на те, і на те перо можна діяти встановленими у хронографі електромагнетами, що в момент замикання струму трохи відтягають пера вбік. Одне з цих пер злучене з точним астрономічним годинником, який щосекунди замикає струм батерії, ввімкненої в електромагнет одного з пер. Коли струм замикається, перо засувається трохи вбік, потім знов повертається до свого попереднього положення. Тому перо, злучене з годинником, рисує на рухомій стьожці хронометра не пряму, а зигзагувату лінію. Кожен зигзаг цієї лінії відповідає одному похитові маятника, тобто одній секунді. Друге перо злучається з клявішем, що його держить у руці спостерігач. Коли зоря проходить через нитку, спостерігач натискає на клявіш, і на другій паралельній рисі з'являється зигзаг.

Зіставляючи розміщення зигзагів, що їх рисує друге перо, і розміщення тих зигзагів, що їх пише годинник, можна дуже

точно визначити момент, коли спостерігач замкнув струм клявішем, отже й момент, коли зоря пройшла через нитки. Звідти й дізнаємося, нарешті, коли саме проходить зоря через меридіян.

Тепер починають поширювати хронографи досконалішого типу, що через клявіш записують цифрами момент проходження зорі з точністю до $^1/_{100}$ секунди.

Крім цього способу спостерігати користаючи з клявіша, застосовують ще досконалішу автоматичну методу, записуючи проходження через нитки труби так званим *безособовим* макрометром.

Для того на барабані, злученім з рухомою ниткою, влаштовують кілька контактів, точно визначаючи розміщення їх проти середньої нитки. Коли нитка рухається, обертний барабан чинить контакти, і під ці моменти перо пише зиґзаґи; положення їх вимірюють на стьожці відносно зиґзаґів, що її нарисувало перо, злучене з годинником.

На підставі цих вимірів і визначають момент проходження зорі через меридіян. Спостерігання сходить до того, щоб, навівши рухому нитку на зорю під той момент, коли вона з'явилася в полі зору труби, ввесь час тримати її точно націлену на зорю, рівномірно пересовуючи слідом за нею.

Іноді влаштовують годинниковий механізм, що сам пересуває нитку за зорею, а спостерігачеві лишається тільки пильнувати, щоб нитка не відставала або не поспішала проти зорі, і, коли це буває, злегка виправляти її рух.

Звичайно, спостерігаючи і з пасажним інструментом, і з меридіянним кругом, доводиться вживати різних запобіжних заходів та робити додаткові дослідження, щоб уникнути помилок, що можуть постати під час спостерігання або через неточність установляння інструментів, або через недосконалість виготовлення їх. Крім того, доводиться брати до уваги ще й помилки, що їх допускає сам спостерігач; ці помилки відомі під назвою „особисті помилки" спостерігача. Тільки зваживши як слід і інструментальні, і особисті помилки, можна мати потрібну в таких спостереженнях точність. Ми не будемо тут перелічувати всіх помилок, а так само не говоритимемо й про способи визначати їх; хто цікавиться цим питанням — нехай читає спеціяльну літературу.

Універсальний інструмент.

Це — невеличкий інструмент, призначений відлічувати вертикальні та горизонтальні кути. Користаючи з цього, можна визначити горизонтальні координати світил, тобто зенітні віддалі та азимути.

В цім інструменті є два круги — один вертикальний, а другий горизонтальний. Першим вимірюють зенітні віддалі або висоти світил, а другим — азимути.

Вертикальний круг, так само, як і в меридіяннім крузі, прикріплений до осі труби і тому обертається разом із нею.

Верхня частина приладу разом з трубою обертається довкола вертикальної осі, і за нерухомим горизонтальним кругом відлічують горизонтальні кути.

Вимірюючи зенітну віддаль тієї чи тієї зорі, можна визначити поправку годинника, а, знаючи точний час і вимірявши зенітну віддаль та азимут світила з формул сферичної астрономії, находимо його екваторіяльні координати: α і δ. Цим самим приладом користуються і для геодезичного здіймання, визначаючи на прямі на земні предмети та їхні азимути.

Крім того, визначаючи зенітні віддалення зірок близько їх моментів кульмінації, ми находимо широту місця спостерігання.

Завжди, коли доводиться вимірювати вертикальними кругами—і в меридіяннім крузі, і в універсальнім інструменті,—треба брати до уваги вплив рефракції.

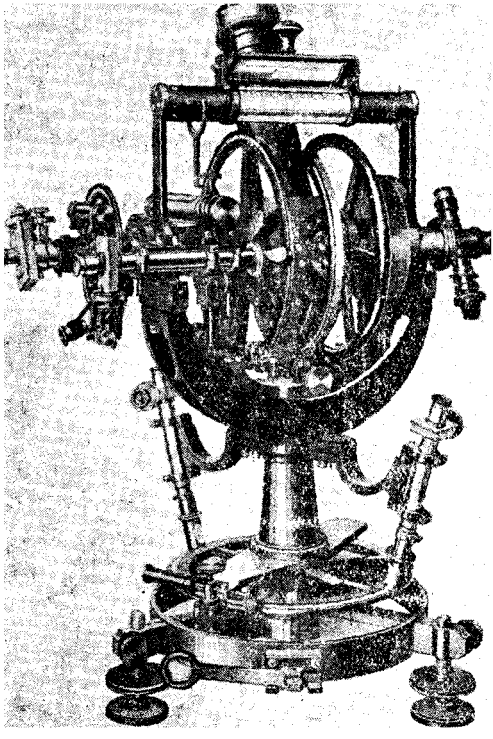


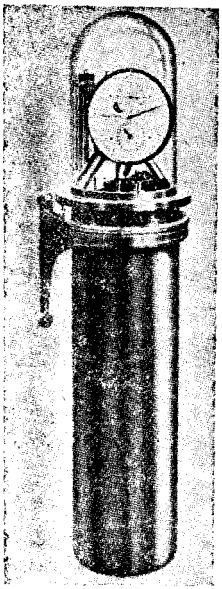
Рис. 62. Універсальний інструмент.

Астрономічні годинники та хронометри.

Астрономічний годинник з маятником відрізняється від звичайних годинників такого самого типу тим, що його дуже ретельно зроблено та усунено причини, що могли б впливати на правильність його ходу. На хід годинника дуже впливає зміна температури середовища довкола годинника; це середовище може змінювати довжину маятника, розширяючи його, і, таким чином, змушує годинник то поспішати, то відставати. Через те в астрономічних годинниках намагаються завести що змога досконалу компенсацію: або роблять маятники з металів,

що дуже мало змінюють свою довжину в наслідок температурних змін, або влаштовують спеціяльні компенсаційні прилади, що дають змогу зберігати майже незмінну віддаль між точкою почепу маятника та центром ваги його і, таким чином, підтримувати період похитів його майже однаковим.

Щоб уникнути, що змога, невеличких змін, що ще лишаються, годинник приміщують у спеціяльних льохах, де температура мало змінюється протягом року; а щоб позбутися впливу змін барометричного тиску, бо зміна густини повітря впливає на період похитів маятника, годинник здебільшого вміщують у герметично закритий скляний ковпак, де густину повітря підтримують завжди сталу.



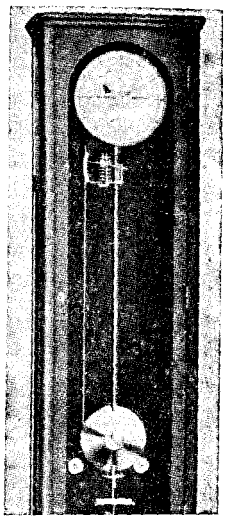


Рис. 63. Астрономічні годинники.

Крім того, сучасним добрим годинникам надають руху електрикою. Приміром, у годиннику Ріфлерової системи застосовують, як рушійну силу, замість великого тягара, що висить на нитці чи ланцюжку, — невеличке важільне рамено, приробле́не всередині годинникового механізму; це рамено спускається вниз приблизно протягом півхвилини. Після того, як воно спуститься, електричний струм знову підкидає його вгору і воно знову починає спускатись.

Отже, електричний струм щопівхвилини заводить годинника. Годинник встановлюють на масивнім стовпі, влаштовуючи його так, щоб захистити від будь-якого потрусу. Крім того, щоб не порушувати ходу годинника, часто одвідуючи те приміщення, де вони містяться, електрикою передають покази про час від цього головного годинника до другого годинника, що перебуває в звичайних умовах і що його показами можна користуватись, коли хоч. Для того в головнім годиннику з його спусковим колесом злучають друге колесо, що щосекунди або через секунду замикає електричний струм батерії, підведений до другого годинника. Цей струм збуджує невеличкий електромагнет, приладнаний близько нижнього кінця маятника цього годинника; електромагнет — наслідком щосекундного замикання в нім струму першим годинником—притягує на мить кожної

другої секунди нижній кінець маятника другого годинника, змушуючи його хитатися з такою самою тривалістю, з якою хитається маятник головного годинника. Тому хід у другого годинника буває такий самий, як і в першого, і покази їх обох — однакові. Годинник з маятником перевозити з місця на місце незручно, а тому вигадали годинник без маятника; його звуть — *хронометр*.

Хронометри, власне, мають ту саму будову, що й добрі кишенькові годинники. Деталі конструкції астрономічних хронометрів дещо відрізняються від конструкції звичайних годинників. Хронометри здебільшого побудовані так, що відбивають півсекунди.

Хоч хронометри і дуже добре йдуть, але вони не можуть рівнятись до годинників з маятниками, де добові похити ходу не перевищують, здебільшого, кількох сотих секунди. Призначення і годинників, і хронометрів — зберігати точний час протягом більш чи менш тривалих періодів часу. На цім ми закінчуємо коротенький опис найголовніших астрономічних інструментів.

ЗАВДАННЯ ДО РОЗДІЛУ III.

1. Маючи в своїм розпорядженні астрономічну трубу з діяметром об'єктива 58 мм і фокусовою віддаллю 80 см, визначити, яке збільшення вона дасть з окуляром, що має фокусову віддаль — 2 мм, і наскільки яскравіше чи блідіше, ніж для голого ока, здаватиметься нам зображення зорі та плянети в ту саму трубу і з тим самим збільшенням.

2. Які лінійні розміри матиме зображення Юпітера та Місяця, що їх кутові діяметри даного моменту є відповідно 46″ і 30′ у фокусі об'єктива, що його фокусова віддаль — 18 м?

3. З якою швидкістю зменшується віддаль між спостерігачем і зорею якщо спектральна лінія відповідна довжині хвилі 0,0005 мм зсунена до фіялкового кінця на 0,0000008 мм?

4. Визначити збільшення астрономічної труби з даним окуляром.

5. Визначити, користуючися теодолітом, зенітну віддаль та азимут якогонебудь світила.

6. Визначити широту місця, вимірюючи зенітну віддаль зорі, що кульмінує на південь від зеніта, в момент проходження її через меридіян.

7. Установивши універсальний інструмент в меридіяні, визначити наближено поправку хронометра, якщо Вега пройшла через середню нитку труби 21 березня 1931 р. о 6 год. 42 хв. 32 сек. за показами нашого хронометра (середній харківський час).

8. Влаштувати екскурсію до обсерваторії, щоб обізнатися з найголовнішими астрономічними приладами, що там є.

Розв'язання завдань

1. Збільшення астрономічної труби визначається формулою $W = \frac{F}{f}$, де W збільшення, F — фокусова віддаль об'єктива, а f — фокусова віддаль окуляра; тому для розв'язання першої частини поставленого завдання маємо: $W = \frac{F}{f} = \frac{800}{2} = 400$. Це число, далеко більше, ніж 116, тобто, ніж подвоєне число міліметрів у діяметрі об'єктива труби, а тому двоміліметровий окуляр

дуже сильний для цієї труби, і збільшення в 400 разів надто велике, щоб мати з ним виразні зображення.

Переходячи до розв'язання другої частини завдання, робимо висновок, що коли зоря крізь трубу здаватиметься нам, як точка і при цім кутові її розміри не збільшуються, збільшення яскравости має бути пропорційне з відношенням площі об'єктива труби до площі отвору зіниці. Зіниця пересічно має діяметр 0,5 см, а тому це відношення буде $\frac{S}{S_1} = \frac{\pi \cdot 2,5^2}{\pi \cdot 2,5^2} = 134,5$, бо площа круга (зіниці чи об'єктива) дорівнює $S = \pi r^2$, а r у випадку з зіницею та взятим нами об'єктивом становлять 2,5 і 29 мм (с$\frac{5}{2}$мм і$\frac{58}{2}$мм), де 5 і 58 мм— діяметри їх).

Отже, якщо не брати до уваги вбирання світла в об'єктиві, то в таку трубу зоря має здаватися нам яскравіша в 134,5 разів, ніж для простого ока.

Для плянети, що її кутові розміри труба збільшує, матимемо іншу картину. Якби ми мали діло з зорею, то її яскравість, видима крізь трубу, стала б більша в 134,5 раза. Проте, ми вже відзначили у першій частині нашого завдання, що наша труба дає з двоміліметровим окуляром лінійне збільшення в 400 разів; отже, світло, що проходить крізь трубу, при цім збільшенні має поширитись на площу в 160 тисяч разів більшу, ніж для зображення, видного простим оком (400 × 400 = 160 тисяч) і, яскравість зображення плянети, видної крізь трубу, буде: $S = \frac{134,5}{160,000} = 0,0008$; отже, яскравість кожної точки видного в трубу зображення плянети становитиме всього 8 десятитисячних її яскравости, що її ми спостерігаємо без труби. Зображення буде дуже бліде і неясне. Це ще раз доводить нам, що окуляр з фокусовою віддаллю 2 мм надто сильний для нашої труби.

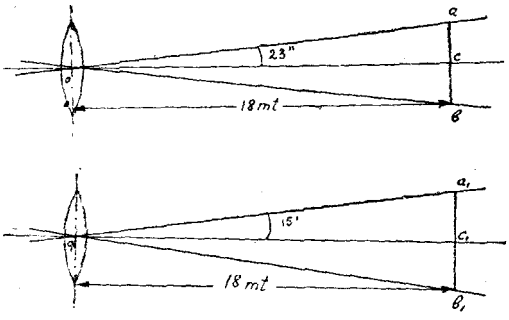


Рис. 64.

2. З поданого тут рисунка для випадків Юпітера та Місяця видно, що справа сходить до розв'язання двох прямокутніх трикутників, де катети oc та o_1c_1 дорівнюють 18 м і кути при точці o aoc та $a_1 o_1 c_1$ відповідно дорівнюють 23″ і 15′, тобто $ac = 18 \times \text{tg } 23''$ та $a_1 c_1 = 18 \times \text{tg } 15'$. Користаючи з таблиць, находимо $ac = 2$ мм і $a_1 c_1 = 78$ мм. Отже, діяметри зображень Юпітера та Місяця у фокусі цього інструмента відповідатимуть для Юпітера $2 \times 2 = 4$ мм, а для Місяця $78 \times 2 = 156$ мм.

3. Якщо лінії зсунені в бік коротких хвиль (до фіялкового кінця), то значить, джерело світла наближається до нас. Ми беремо формулу: $\lambda_1 = \lambda\left(1 - \frac{v}{c}\right)$, або, визначаючи потрібне нам V, тобто швидкість джерела світла, находимо: $\lambda_1 - \lambda = \lambda \frac{v}{c}$ або $v = -\frac{c}{\lambda}(\lambda_1 - \lambda)$. λ для нашого випадку

дорівнює 0,0005 мм, а $\lambda_1 - \lambda$ за умовою становить 0,0000008 мм; тому $v = -300000 \frac{0,0000008}{0,0005}$ км або $v = -300000 - \frac{0,008}{5} = -150000 \times 0,008 = -1200$ км. Отже, виміряний відбіг лінії з довжиною хвилі на 0,0005 мм або 500 $\mu\mu$ (мілімікрона) на 0,0000008 мм або на 0,8 $\mu\mu$ відповідає швидкості наближення між зорею та спостерігачем на 1200 км за кожну секунду.

4. Це завдання можна розв'язати двома способами, а саме:

1) Наведімо на Сонце спочатку об'єктив, і на аркуші білого паперу матимемо чітке зображення соняшного диска, наближаючи і віддаляючи об'єктив від паперу. Виміряймо тепер віддаль від об'єктива до паперу. Ця довжина буде F—фокусова віддаль об'єктива. Найшовши фокусову віддаль окуляра f, матимемо $W = \frac{F}{f}$

2) Можна зробити й інакше, Наведімо трубу разом з окуляром на ясне небо і примістимо перед окуляром аркуш прозорого паперу. На нім утвориться ясне кружальце. Добравши відповідну віддаль паперу від окуляра, дійдемо того, щоб це кружальце було чітке. Виміримо діяметр об'єктива і діяметр кружальця. Розділивши першу величину на другу, матимемо збільшення нашої труби з окуляром, вставленим у неї.

5. Встановивши відповідним способом теодоліт, находимо ту поділку круга, що їй відповідає наведення труби на зеніт. Потім, спостерігши проходження зорі через середню нитку інструмента, знов прочитуємо круг. Різниця поміж прочитів і дає шукану зенітну віддаль зорі даного моменту. Завдання треба розв'язувати відповідно до вказівок керівника.

6. Виміряймо, користуючи з теодоліта, зенітну віддаль зорі, коли вона проходить через меридіян. Нехай ця зенітна віддаль дорівнює z. Припустімо, що зоря має додатній відхил. Маємо: $z + \delta = \varphi$ — широта місця.

7. 21 березня 1931 року у Харкові спостерігали проходження Веги через меридіян. Середній хронометр під той час показував 6 год. 42 хв. 32 сек. В момент проходження Веги через меридіян зоревий час має дорівнювати прямому піднесенню зорі Веги, тобто 18 год. 34 хв. 36 сек., а як цьому зоревому часові у Харкові відповідає 6 год. 43 хв. 42 сек., то поправка нашого середнього хронометра становить 6 год. 43 хв. 42 сек.— 6 год. 42 хв. 32 сек.= + 1 хв. 10 сек. (тобто на цю величину хронометр показував менше, ніж треба).

IV. ПЛЯНЕТНА СИСТЕМА

Вдивляючись у ясне небо, ми легко можемо бачити деякі характеристичні фігури, що їх утворює взаємне розміщення зір. Наприклад, відомий усім ківш Великого Возу завжди являє нам форму каструлі, відома зорева група Плеяд (Волосожар) також не змінює помітно свого вигляду. Зорі, отже, зберігають протягом століть своє взаємне розміщення. Проте, часто серед цих нерухомих, як здається нам зірок, у певних частинах неба можна буває бачити світила, що зовнішнім виглядом своїм для голого ока бувають цілком подібні до зір, але мають ту особливість, що порівняно швидко пересуваються поміж ними.

Це так звані *плянети*. Слово „плянета“ значить — блудна зоря, і тепер нам стає зрозуміло, чому ці світила так звуть.

Стародавні греки, крім Сонця та Місяця, знали ще п'ять плянет. Інших плянет, відомих нам тепер, вони не могли роздивитись, бо вони надто бліді, а тоді ще не було астрономічних труб, що показували б бліді, неприступні голому оку світила.

Стародавні греки знали такі плянети: *Меркурій*, *Венеру*, *Марс*, *Юпітер* і *Сатурн*. Решта — *Астероїди*, *Уран*, *Нептун* і *Плутон* відкрито далеко пізніше. Швидке пересування плянет між зір характеризується цікавими особливостями; тут ми їх і розглянемо.

Сонце й Місяць протягом свого видимого пересування по небу ідуть завжди в однім напрямі, з заходу на схід. Такий рух звуть прямим, бо з бігом часу довготи цих світил збільшуються. З плянетами справа не така. Протягом певного часу плянета йде прямим рухом — її довготи збільшуються, потім вона ніби зупиняється, повертає назад, іде зворотним рухом так, що її довготи починають зменшуватись. Через якийсь час вона знову зупиняється, і рух її знов стає прямий.

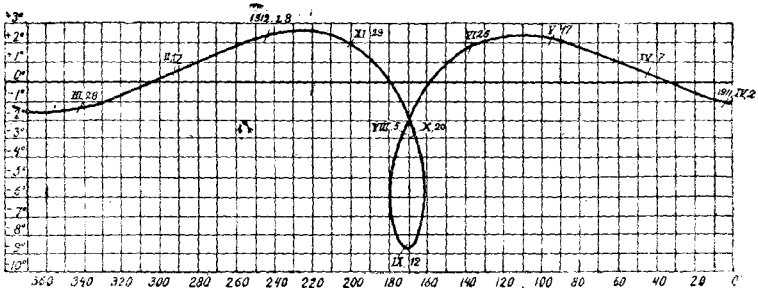


Рис. 65. Петля, зав'язана Венерою.

Ці видимі зміни в русі плянети відбуваються не однією лінією, як прямі рухи Сонця, що йде вздовж екліптики, або прямі рухи Місяця вздовж його видимої путі, — плянета відхиляється то на північ, то на південь від загального напряму свого руху. Проте, коли пильніше досліджувати ці безладні, на перший погляд, рухи, можна примітити тут цілий ряд цікавих закономірностей. Поперше, жодна з плянет не відходить далеко на північ чи на південь від екліптики — отже, широти їх не перебільшують певного невеличкого числа градусів, крім у Плутона, де відхили мають бути далеко більші. Петлі, що їх „зав'язує“ таким чином плянета, лежать близько екліптики і, зав'язуючи їх, вона неминуче перетинає екліптику. Так, Венера, зав'язуючи свою петлю з 2/II—1911 до 13/III — 1913 р. чотири рази перейшла екліптику, і при цім перше й третє проходження відбувалося тоді, коли вона йшла з півдня на північ, а друге й четверте—коли вона йшла в протилежнім напрямі з півночі на південь.

Ту точку, де плянета переходить екліптику, називають ***вузлом***; при цім, якщо проходження відбувається тоді, коли плянета рухається з півночі на південь, то кажуть, що вона проходить через додільний вузол своєї путі, позначуваний значком ☊ якщо ж проходження відбувається тоді, коли вона рухається з півдня на північ, то вона проходить через так званий догірний вузол, позначуваний ☋.

Виявляється, що період часу між двома послідовними проходженнями Венери через догірний вузол становить 224,7 дня; так само, і період між двома послідовними проходженнями через додільний вузол, становить 224,7 дня. Протягом довгого часу спостерігання ці періоди лишаються цілком сталі. Такі самі петлі роблять і інші плянети. Різниця та, що величина петлі різна для різних плянет, так само, як і той час, що його протягом та чи та плянета робить свою петлю.

На підставі особливостей їх видимости, всі плянети можна поділити на дві групи. Особливості ці такі: якщо ми спостерігатимемо Меркурія та Венеру, то дійдемо висновку, що ці дві плянети ніколи не відходять видимо далеко від Сонця. Їх можна бачити над горизонтом або незадовго до сходу Сонця, або скоро після заходу. Пізно ж уночі їх ніколи не видно.

Отже, Венеру й Меркурія буває спочатку видно вдосвіта, перед тим, як сходити Сонцю. Потім вони ховаються в соняшнім промінні на певний час, а після того з'являються ввечорі, як вечірні зорі, перед заходом Сонця. Приміром, Меркурій ніколи не відходить видимо від Сонця далі, як на 29°, а Венера на 48°. Плянета наближається до Сонця і ховається в його промінні тоді, коли її рух зворотний. Як ранкова зоря, вона з'являється не за довгий час до кінця свого зворотного руху. Перехід же від ранкової зорі до вечірньої у Венери відбувається тоді, коли вона має прямий рух. Ті положення Меркурія і Венери, коли їхні довготи стають однакові з довготою Сонця, мають назву ***сполук*** цих плянет із Сонцем. Ті сполуки, коли рух цих плянет буває зворотний, звуть ***нижні*** сполуки, а коли їхній рух прямий—***верхні***. Час між двома однотипними сполуками плянети звуть ***синодичний обіг*** плянети. Синодичні обіги вже за давньої давнини визначено дуже точно. Приміром, для Меркурія цей обіг становить 115,9, а для Венери—583,9 дня.

Розглядаючи видимий рух інших плянет, ми побачимо зовсім іншу картину. Наприклад, всі інші плянети можуть відходити від Сонця на яку хоч кутову віддаль, і їх можна в моменти, що відповідають видимості над горизонтом, спостерігати всякої пори ночі, навіть опівночі. Той момент, коли довготи цих плянет стають рівні довготам Сонця, так само, як і для Меркурія а Венери, звуть ***сполука з Сонцем.*** Ті ж положення їх, коли довготи їх відрізняються від довготи Сонця на 180°, і плянети, отже, кульмінують якраз опівночі, мають назву — ***протиполога з Сонцем.***

Ці плянети не мають зовсім нижніх сполук; їх заступає для них протиполога. Із сполук же лишаються самі верхні. Наводимо тут для трьох відомих за стародавніх часів, крім Меркурія та Венери, плянет періоди часу між проходженням їх через одноймені вузли. Для Марса цей час становить 1 рік і 321,7 дня, для Юпітера 11 років і 314,8 дня, і, нарешті, для Сатурна 29 років і 167,0 день

Як за давніх часів пояснювали петлюваті рухи плянет.

Уже за сивої давнини намагалися люди пояснити ці плутані плянетні рухи і, отже, пояснити структуру нашої сонцевої системи, визначивши взаємне розміщення Сонця, Місяця та плянет, віддалі між них, формулу путей, що ними відбувається їхній справжній рух, а так само й особливості цього руху.

Треба нагадати, що за доби так званого середньовіччя панував геоцентричний світогляд; релігія та її представники сумлінно боронили та підтримували цей світогляд. Всякі спроби відійти від геоцентричного світогляду важали за єретицькі, ворожі церкві та релігії, за них катували, палили на вогнищах і всяко переслідували. Це був воістину тяжкий час для науки, бо економічні передумови того часу вимагали зміни застарілого світогляду. Легко можна бачити, що цей застарілий світогляд був вигідний панівній тоді клясі, особливо духівництву, воно через свого голову— папу, що його вважали за божого заступника на землі, могло впливати на політичне життя цілих країн. Маючи велику економічну вигоду — колосальні прибутки, що збереглися ще й досі в капіталістичних країнах, церква чинила опір, природна річ, будь-яким способам змінити геоцентричний світогляд, бо це дуже зменшило б її вплив. Треба відзначити, що й до останнього часу церква та релігія вважають деякі астрономічні теорії і навіть факти за єретицькі, ворожі „святому письму“: представники церкви вважають, що ці теорії і факти не можуть бути правильні лише через те, що вони суперечать дитячим казкам у „святім письмі“

Отже, кожна благонадійна та побожна людина мала поділяти геоцентричні погляди, тобто такі, що земля та її мешканці — люди — є центр всесвіту, що все „створено“ тільки для людини; відси випливало, що Земля, певна річ, міститься в центрі світу, що вона нерухома, і що небесні світила обертаються круг Землі, як світового центра. Не розглядаючи дуже давніх поглядів про будову нашої сонцевої системи, бо ми не можемо зробити цього через брак місця, скажемо лише за пізніші погляди, починаючи з IV сторіччя до нашої ери.

Наприклад, грецький учений Евдокс дав геометричну побудову, що з нею намагався пояснити видимі рухи світил. Щоб пояснити рухи Сонця, Місяця та плянет, його побудова мала

містити в собі 27 окремих кулястих поверхень — сфер, вкладених одна в одну. Комбінуючи обертання цих сфер довкола нахилених одна до одної осей, Евдокс зміг, певною мірою, пояснити рухи плянет, Сонця та Місяця.

Щоб пояснити заплутані, петлюваті рухи плянет, Евдоксові треба було для кожної плянети припустити існування чотирьох окремих сфер. Для Сонця та Місяця, що рухаються завжди одним напрямом — на схід — досить було по одній сфері. Земля мала бути в центрі всієї складної системи; при тім деякі вчені вважали цю систему лише за геометричну побудову, а деякі, зокрема філософ Арістотель, вважали що ці сфери є справді, і складені з твердого матеріялу. Звичайно, таке примітивне уявлення не могло триматися довго, і за сферами незабаром лишилося тільки геометричне їх значення. Але і в такій формі ця побудова не могла нікого задовольнити, бо вона була надто складна, щоб можна було обчисляти видимі положення світила для якогонебудь загаданого наперед моменту. Почали спроби замінити цю систему на простішу, не виводячи, проте, Землі з її центрального положення, бо це, як ми вже відзначали, було небезпечне й шкідне вільнодумство з погляду релігії.

Наприклад, великий стародавній астроном Гіппарх, що жив у II сторіччі до нашої ери, обчислював положення Сонця для різних моментів часу, вважаючи, що воно рухається рівномірно по колу, і при цім Земля лежить не в центрі цього кола, а трохи осторонь від нього, тобто трохи ексцентрично. Отже Гіппархові пощастило створити досить точну на той час теорію руху Сонця й Місяця. Що до плутаних рухів плянет, то спосіб побудови зворотних рухів,— припускаючи все ж, що Земля є центральне тіло,— запропонував ще в IV сторіччі до нашої ери математик Аполлоній.

Він намагався розв'язати це завдання, комбінуючи два колові рухи. Цей спосіб згодом опрацьовували різні астрономи; його використав, наприклад, александрійський астроном Птоломей у системі, названій його ім'ям, близько половини II сторіччя нашої ери. Свою систему Птоломей подав у творі, що зветься „Велике математичне зіставлення астрономії"; по-арабському цей твір зветься „Альмагест".

Ця теорія припускає, як і всі теорії до неї, що Земля нерухома, а плянети, Сонце й Місяць ходить круг неї. Розгляньмо коротенько Птоломеєву систему.

Припустімо, що в точці T — Земля. З цієї точки, як із центра, опишемо коло, а на нім примістимо друге, менше — так, щоб центр цього другого кола лежав на обводі першого.

Птоломей уявляв собі рух плянети так: сама вона рухається вздовж обводу другого кола, ввесь час у тім самім напрямі що зветься *епіцикл*, тим часом, як центр епіцикла йде по обводу першого кола, що має назву — *деферент*, так само ввесь час в однім напрямі (див. рис. 66).

Припустімо, що, як показано на рисунку, епіцикл рухається деферентом у напрямі, показанім стрілкою; такою самою стрілкою показано і напрям руху плянети епіциклом.

Коли плянета буває в точці P_1, то рух її епіциклом і рух самого епіцикла деферентом відбуватиметься в тім самім напрямі, і тому рух плянети, якщо на нього дивитися з Землі T, здаватиметься прямим. Коли ж плянета буде в точці P_1, то вона йде епіциклом у напрямі, протилежнім тому, що ним рухається центр епіцикла, і тому з Землі T рух плянети здаватиметься нам зворотним.

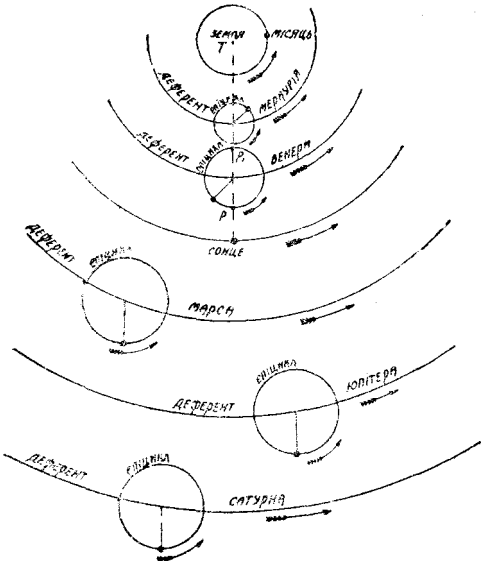


Рис. 66. Птоломеєва система. Епіцикли й деференти.

Такий принцип Птоломеєвої системи для пояснення прямих і зворотних рухів плянет.

Порядок розміщення плянет у Птоломеєвій системі можна уявити собі так: довкола кулястої Землі ходить своїм деферентом Місяць[1]).

За Місяцем розміщуються Сонце і плянети з своїми деферентами та епіциклами таким порядком: Меркурій, Венера, Сонце без епіцикла, Марс, Юпітер і Сатурн (див. рис. 66). Щоб мати змогу уявити ту особливість Меркурія та Венери, що вони ніколи не відходять видимо на далеку віддаль від Сонця і їх не можна бачити у протилежній Сонцю ділянці неба, припустімо, що вони рухаються так, що центри їхніх епіциклів і Сонце завжди лежать на одній прямій лінії. Для решти плянет такого обмеження немає, бо вони можуть відходити від Сонця на яку хоч кутову віддаль. Проте, рух центра епіцикла деферентом та рух плянети епіциклом погоджені так, що плянета завжди має бути на кінці радіюса епіцикла, паралельному лінії, проведеній через Землю й Сонце. Щоб можна було визначити за цією системою положення плянет, Птоломей обчислював відношення радіюсів епіциклів до радіюсів деферентів для кожної плянети, бо від цих відношень і залежить правильне функціонування всієї системи. Отже, Птоломеєва система нічого не говорить про справжні віддалі між Землею та плянетами і не дає цих віддалей.

[1]) Хоч Місяць ходить завжди з заходу на схід, проте в його русі помічають деякі неправильності, що їх пробували пояснити місяцевим епіциклом.

Проте, Птоломеєва система в такій формі як її висловлено спочатку і подано тут, не досить точно відповідала спостереженням. Тому її дуже ускладнили згодом. Щоб пояснити відхил у положенні плянет від екліптики, довелося трохи нахиляти епіцикли проти деферентів. Та виявилося, що цього не досить. Тоді замість одного епіцикла почали заводити цілу систему кіл, нагромаджуючи їх одно на одно.

Це нагромаджування кіл, щоб погодити теорію зі спостереженнями, спричинило недовір'я до Птоломеєвої системи і бажання створити простішу та зручнішу теорію, що бувши разом з тим реальною, давала б змогу точно обчисляти наперед положення плянет для всякого моменту часу. Багато вчених навіть тоді догадувалися, що цього можна дійти, якщо зсунути Землю з її центрального положення в системі, змусити її обертатись разом з іншими плянетами, а на її місце поставити Сонце, як центральне для плянетної системи тіло.

Але таке уявлення про сонцеву систему позбавляло духівництво його виняткового становища в тодішнім суспільстві, і воно нещадно боролося проти нових ідей. Досить прочитати слова „святого письма": „Мудрощі світу цього є безумство перед богом", щоб зрозуміти, якими заходами хотіло християнство зберегти при собі вплив на маси; воно хотіло придушити будь-який прогрес науки аби тільки не позбавляти економічних привілеїв духівництво та щільно зв'язаних із ним представників февдального побуту.

Того часу навіть глузували, з твердження, що Земля має кулясту форму, Висловлювали думки, що тільки віронавчання може бути основою всякого знання. Християнські письменники починали доводити непотрібність науки; вони говорили про те, що її треба обмежити. Наведеного тут цілком досить, щоб зрозуміти, яким непримиренним ворогом науки була церква, що намагалася цілком придушити наукову думку і поширити на ввесь світ темряву та рабство.

Буржуазне суспільство, що саме народжувалося і тоді чимдуж боролося з февдалізмом, що відживав своє, намагалося позбавити церкву її провідної ролі; воно створювало сприятливий ґрунт для виступів окремих хоробрих, що, не зважаючи на нещадне переслідування та тортури, одверто висловлювалися проти старих поглядів, доводячи цілковиту неправильність геоцентричного світогляду, що на нього спиралася церква і вся февдальна система.

Микола Коперник

Микола Коперник народився 19 лютого 1473 р. у місті Торні. Спочатку він учився в Краківськім університеті, а потім майже десять років студіював математику та астрономію в Італії. Астрономічним спостереженням він віддавав дуже мало часу, а найбільше звертав увагу на теоретичні досліди та обчислення.

Заглибившись у вивчення рухів небесних тіл, він дійшов висновку, що Птоломеєву систему треба замінити на нову, де Земля не становила б центрального тіла нашої сонцевої системи, а щоб і вона рухалася; тоді вийде, що якраз через такий рух Землі видимі рухи плянет здаються нам такими, як ми їх спостерігаємо, бо ми розглядаємо їх не з нерухомої, а з рухомої Землі.

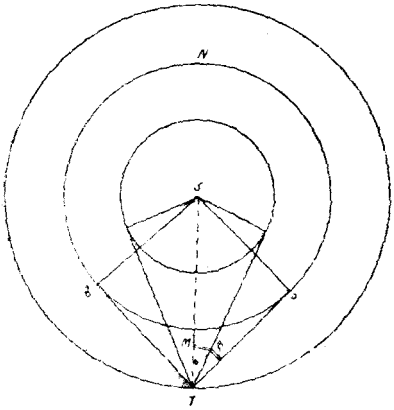


Рис. 67. Орбіти Меркурія та Венери.

Його система виводить Землю з центрального положення і становить на її місце Сонце, а плянети вкупі з Землею розглядає, як тіла, що обертаються довкола Сонця таким порядком: Меркурій, Венера, Земля, Марс, Юпітер, Сатурн. Інші плянети ще не були тоді відомі. Рух Землі довкола Сонця спричиняється до видимого річного руху Сонця між зорями, а обертання її довкола осі спостерігач приймає, як добовий рух зір. Місяць обертається не круг Сонця, а круг Землі, творячи разом з нею свою річну путь круг Сонця. Коли спостерігати плянети з рухомої Землі, то не важко пояснити характеристичні особливості їхнього руху, що через них плянети Венера та Меркурій ніколи не відходять видимо на далеку відстань від Сонця; легко пояснити також, чому рух Сонця та Місяця завжди буває прямий, і, нарешті, чому видимі рухи плянет здаються нам петлюватими і напрям цих рухів буває то прямий, то зворотний. Звернімо свою увагу на рисунок 67. Нехай Земля міститься у точці T своєї орбіти, а плянети, за Коперниковою теорією, обертаються круг Сонця показаними на рисунку коловими путями. Певна

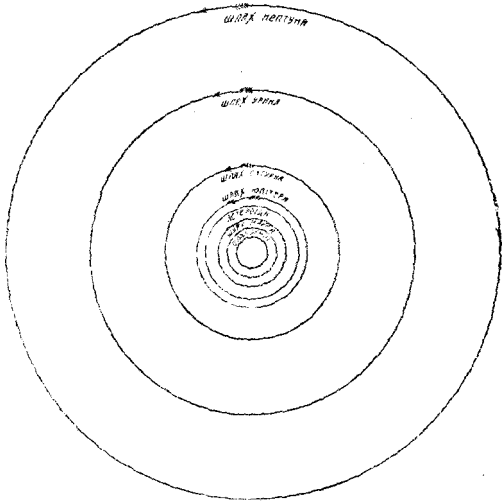


Рис. 68. Орбіти верхніх плянет.

річ, що спостерігаючи з Землі T Меркурій та Венеру, що їх орбіти лежать усередині земної орбіти, ми легко уявимо собі, що ці плянети, називані через саме розміщення їхніх орбіт, нижніми або внутрішніми плянетами, ніколи не зможуть видимо на далеку відстань відійти від Сонця. Вони можуть відійти від Сонця щонайбільше на кути — для Меркурія $\angle \alpha$, для Венери — на $\angle \beta$, а також вони ніколи не зможуть бути в протиполозі до Сонця, бо не може бути такого положення, коли Земля була б між Сонцем і однією з нижніх плянет. Зрозуміло також, що в ті моменти, коли плянета проходить через ті точки своєї орбіти, напр. a і b, де її рух скерований до нас чи від нас, ми не помічаємо, що вона переміщується, і нам здається, що вона ніби зупинилася. В точках M і N плянета, навпаки, рухається перпендикулярно до променя зору, а тому ми помічаємо, як вона пересувається між зорями, і при цім у точці M цей видимий рух скерований в один бік, а в точці N — у другий. Так просто можна пояснити прямі й зворотні рухи нижніх плянет. Насправді, через те, що комбінуються рухи Землі і нижньої плянети, явища відбуватимуться дещо складніше. Видимі рухи плянет то загаюватимуться, то прискорюватимуться і т. д. Проте, суть пояснення лишається та сама.

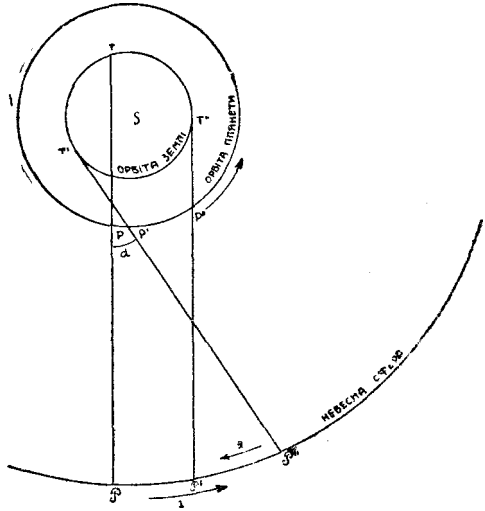


Рис. 69. Пояснення прямих і зворотніх рухів верхніх плянет.

Дальший рисунок дає нам змогу (див. рис. 68) пересвідчитися, що плянети, орбіти яких охоплюють орбіту Землі, тобто верхні плянети можуть відходити на яку хоч кутову віддаль від Сонця. Отже, вони можуть увіходити з ним і в протипологу. З рисунка видно також, як пояснити в цім разі прямі й зворотні рухи верхньої плянети.

Коли Земля стоїть у точці T мал. 69, а верхня плянета в ρ, то ми бачимо її в напрямі TP. Нехай Земля перейде в T', а плянета в ρ'. Тоді ми побачимо плянету в напрямі $T'P'$, тобто нам здасться, що плянета пересунулася на кут α в бік, показаний стрілкою, позначеною 1; ще через якийсь час Земля буде в положенні T'' а плянета — ρ'', і ми бачитимемо плянету в напрямі $T''P''$; тепер нам здасться, що вона пересунулася вже в протилежний бік,

тобто в напрямі, що його показує стрілка, позначена 2. Так просто пояснюється прямі і зворотні рухи плянет у Коперніковій системі.

Правда, Коперникова теорія в тій формі, як він її дав, була не зовсім розроблена. Вона визнавала рух колами, а тому не могла досить точно дати уявлення про спостерігані рухи. Далі її уточнювали інші дослідники, але філософське значення її величезне, бо вона дала ключ до розуміння рухів плянет і дуже вдарила по представниках церкви та февдального суспільства, що намагалося через релігійні забобони тримати людей у покорі і темноті. Треба відзначити, що Коперникова теорія наразилася на одвертий опір і глум. І так поставилася до неї не тільки католицька церква; навіть філософи взивали Коперніка дурнем, доводячи, що таких думок та теорій не можна терпіти, бо вони чудово розуміли, яку революційну зброю становить ця теорія проти панівного світогляду. Справа закінчилася не тільки лайкою; почалася одверта боротьба. Почалися тортури та переслідування; декого навіть спалили на вогнищі, — наприклад, італійського вченого Джордано Бруно, що вчив, що навіть Сонце не є центр всесвіту, а воно є лише одна з численних, розкиданих у безмежнім просторі зір, що так само, як круг нашого Сонця — і круг інших зір обертаються плянети і т. д.

Рис. 70. Коперник.

За це „єретицьке“ вчення Джордано Бруно кинули до в'язниці, давши його на суд церкви, і всякими способами пробували примусити зріктися своїх поглядів. Але всі ці заходи були марні; Бруно не поступився своїми поглядами, і його спалили на вогнищі 1600 р.

Коперникові праці, де він викладав свою теорію — напр. книга „Про обертання небесних сфер“ були заборонені, і з цими працями мало хто міг обізнатися—лише з рукописів. Цікаво відзначити, що ця заборона тривала до 1819 р., і що таке ставлення до наукової думки надовго затримало розвиток нової теорії про справжній рух плянет.

Показові для того часу слова астронома єзуїта Баскевіча з передмови до його дисертації; вони показують нам, до яких

вигадок треба було вдаватись, щоб мати змогу писати й говорити про Коперникову систему, разом з тим не накидаючи на себе підозри в тім, що й автор пристає на цю теорію.

Баскевіч писав: „Сповнений пошани до святого письма та до декретів святої інквізиції, я вважаю, що Земля нерухома. Проте, щоб простіші були мої пояснення, я міркуватиму так, ніби вона обертається, бо доведено, що в двох гіпотезах видимі явища подібні“

Слід згадати й за Галілея, що сконструював 1610 р. першу астрономічну трубу; з нею можна було безпосередніми спостереженнями довести правдивість Коперникової теорії. Галілей почав одверто визнавати себе за прихильника Коперникової системи. Проте, 1616 р. церковний суд цілком недвозначно виявив, як він ставиться до неї; і Галілеєві теж довелося зазнати переслідування та всякого знущання; мабуть справа закінчилася б тим, що його б стратили, коли б він не зрікся прилюдно своїх поглядів.

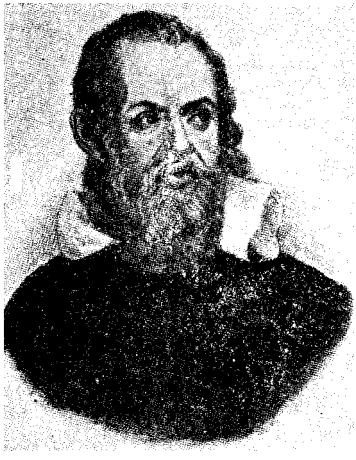


Рис. 71. Галілей.

От що писав церковний суд про Коперникову теорію: „Учення, ніби Сонце стоїть у центрі світу і є нерухоме — неправдиве і безглузде; воно з формального погляду єретичне, бо суперечить святому письму; учення ж, ніби Земля не лежить у центрі світу і рухається, маючи до того, ще й добове обертання, неправдиве й безглузде з філософського погляду, а з богословського — принаймні помилкове“.

Галілей написав роботу, видруковану 1632 р.: „Розмова про дві головні системи світу — Птоломеєву та Коперникову“. В цім своїм творі він з обережности подає розмову між трьома особами про ці системи і доводить правильність Коперникової системи.

Проте, коли довідалися, що приховано під цією розмовою, книгу заборонили і почали переслідування проти Галілея. 1633 р. його викликано на суд, де йому довелося боронитися. Скільки можна бачити з джерел, що дійшли до нас, Галілея нещадно катували і, нарешті, змусили старого прилюдно зректися Коперникової науки.

Такого знущання зазнавали найрозумніші люди. Ми бачили вже, що правильна в своїх основах Коперникова система потребувала ще дальшого удосконалення, щоб можна було з нею

цілком точно уявити собі рух плянет. Коло цих питань і почав працювати славний Кеплер, а згодом міцну базу під наслідки, що їх він дістав, підвів Ньютон законом *всесвітнього тяжіння*. Ми побачимо далі, що й на Кеплерову долю припало не мало знущання та утисків, і що він фактично так само загинув через неприпустиме ставлення до нього.

Йоган Кеплер.

Данський учений Тіхо-Браге, що робив на острові Хвен астрономічні спостереження невдовзі після Коперніка, довів точність визначання положень світил до далеко більшої досконалости, ніж це було у Коперніка. Якщо ця точність за часів Коперніка доходила 8′ — 10′, то у Тіхо-Браге не було вже помилок, більших за 1′

Рис. 72. Кеплер

Численними спостереженнями самого Тіхо і спостереженнями його учнів доведено, що ні Птоломеєва система, ні система Копернікова не можуть пояснити тих розходжень, що їх можна було спостерігати між обчисленими за цими системами та спостереженими положеннями плянет. Тіхо хотів спробувати, чи не можна мати точніші результати, коли скористати з його власної теорії, що в основі її лежало те припущення, ніби Земля нерухома, а всі плянети обертаються не довкола Землі, а довкола Сонця, що круг Землі ходить. Проте, ця теорія зовсім не поширилася, бо навіть сам Тіхо не робив за нею ніяких обчислень. Щоб опрацювати ввесь спостережений матеріял над положенням плянет, який у нього був, Тіхо закликав до себе в Прагу кількох молодих учених і розподілив між ними всю роботу обчислювання плянетних орбіт. За собою він лишив тільки керівництво цією роботою.

Серед молодих учених, що їх викликав Тіхо, був і Йоган Кеплер (1571-1630); йому доручив Тіхо опрацювати досить великий матеріял спостережень над плянетою Марс. Тіхо незабаром умер, і Кеплер уже самостійно взявся опрацьовувати спостереження над Марсом; до спостережень Тіхо він додав ще й свої власні.

Проте, перше, ніж розпочати цю велику роботу, Кеплер зрозумів, що йому треба спочатку якнайточніше визначити форму

путі Землі круг Сонця, або, як то кажуть, орбіту Землі. До цього він і взявся. Скориставши з тих самих спостережень над Марсом, що були в нього, Кеплер дуже дотепною методою, зміг обчислити відношення радіюсів земної орбіти в різних її точках.

Припустимо (див. рис. 73), що в S стоїть Сонце, а T_1, T_2, T_3, T_4 і т. д. — це різні положення Землі, під час її річного обігу круг Сонця. Назвемо віддаль Землі від Сонця під час її різних положень T_1, T_2, T_3, T_4 і т. д. через a_1, a_2, a_3, a_4 і т. д. Тоді, взявши одну з цих віддалей, наприклад a_1 за рівну одиниці, можна всі інші віддалі a_2 a_3 a_4 і т. д. визначити в цій одиниці. Слід нагадати, що таким способом визначають лише відношення віддалей, тобто відношення $\frac{a_2}{a_1}$; $\frac{a_3}{a_1}$; $\frac{a_4}{a_1}$ і т. д., а не самі віддалі, що їхні вартості, до того ж, лишаються невідомі.

Зробивши всі потрібні обчислення, що на них ми докладно тут спиняти уваги не можемо, Кеплер дійшов висновку, що всі ці так звані радіюси-вектори земної орбіти в межах допускних тоді помилок у спостереженнях досить точно відповідають коловій орбіті, з тим припущенням, що Сонце не стоїть в її центрі, а злегка зсунене вбік. Інакше, на підставі цих обчислень Кеплер дійшов висновку, що орбіта Землі — ексцентрична проти Сонця, як центра кола.

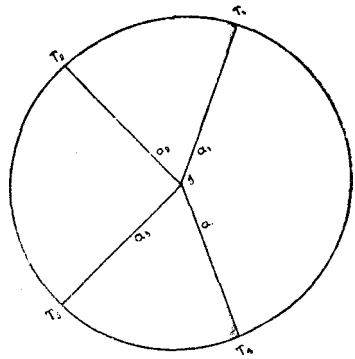


Рис. 73. Кеплерове визначення радіюсів земної орбіти.

Знаючи форму земної орбіти і склавши таблицю, що з неї можна було взяти вартість радіюса-вектора Землі для всякого моменту часу, Кеплер перейшов до визначання орбіти плянети Марс (для цього він, при тім, вдався до тієї самої методи, що й у визначенні орбіти Землі).

Зробивши всі потрібні обчислення, Кеплер спробував спочатку зобразити путь Марса так само, як він це зробив і для Землі — коловою орбітою. Проте, таке припущення не дало змоги задовольнити спостереженням. Помилки між обчисленими та спостереженими положеннями Марса при щойно відзначенім припущенні про колову орбіту досягли 8′, тим часом, як точність визначання спостережених положень у Тіхо була неменша за 1′.

Все це змусило Кеплера дійти висновку, що Марсова орбіта — не коло, а якась інша на форму.

Кілька разів він кидав свої дуже складні й довгі обчислення, втративши надію домогтися позитивних наслідків; нарешті, йому спала на думку ідея — спробувати, чи не задовольнить його спостереження овальна орбіта.

Кінець-кінцем, після дуже марудних і довгих обчислень Кеплер дійшов позитивних наслідків. Йому пощастило довести, що плянета Марс рухається круг Сонця еліптичною орбітою, і що Сонце стоїть в однім із фокусів цієї еліпси. Згодом Кеплер довів, що й усі інші плянети, зокрема й наша Земля, рухаються круг Сонця плоскими еліптичними орбітами. Отже, Кеплер прийшов до першого з своїх законів про рух плянет, а саме:

Усі плянети рухаються еліпсами, де в однім із фокусів їхніх лежить Сонце.

Продовжуючи свої досліди, Кеплер дізнався ще, що є певний зв'язок між кутовою швидкістю плянети, під час її руху еліпсою, і віддаллю від Сонця. Виявилося, що кутова швидкість зменшується, коли збільшується віддаль плянети від Сонця, і навпаки. Він дізнався, що добуток $r^2\Delta v$ є стала величина, де r є радіюс-вектор плянети для якого хоч моменту часу, а Δv — кут при Сонці між напрямами з нього до двох положень плянети в моменти часу t та $t+\Delta t$, де Δt — це дуже мала величина (див. рис. 74).

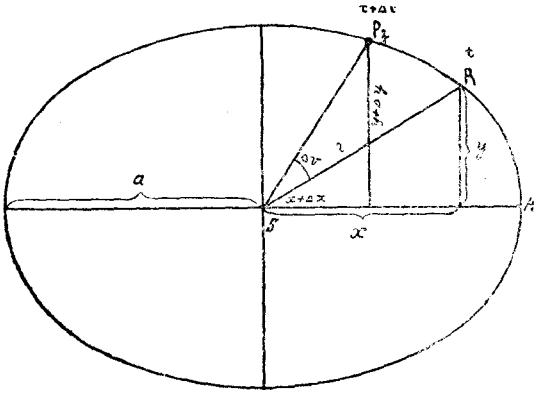


Рис. 74. Пояснення другого Кеплерового закону.

Відси дуже нескладними міркуваннями він дійшов висновку, що площі секторів, описуваних радіюс-вектором плянети протягом того самого періоду часу, рівні між собою. Нарешті, він виявив також, що є певна залежність між віддаллю плянети від Сонця і часом її обігу круг нього; цю залежність можна уявити так: ***квадрати часів обігів плянет круг Сонця відносяться, як куби пересічних віддалей між Сонцем і плянетами.*** Це останнє відношення потребує певної поправки, бо воно, взагалі кажучи, не цілком точне, і в нім має фігурувати відношення мас плянет і Сонця. Правда, для нашої сонцевої системи це відношення задовольняється досить точно, бо маса нашого Сонця майже в 700 разів більша за суму всіх плянет, разом узятих.

Перейдімо тепер до математичного виразу цих трьох Кеплерових законів.

Перший Кеплерів закон.

Усі плянети рухаються еліпсами, де в однім з фокусів лежить Сонце

Формула еліпси в Декартових координатах така: $\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}=1$

Беручи за початок координат не центр еліпси, а центр Сонця, що лежить у фокусі, а напрям осей беручи так, щоб, повертаючи координатні осі в напрямі прямого руху плянети, можна було від додатньої осі x-ів прийти до додатньої осі y-ів (тобто при повороті проти руху годинникової стрілки),— ми можемо це рівнання еліпси визначити полярною системою координат; це далеко зручніше для цілого ряду дослідів.

Відомо, що це рівнання таке:

$$r = \frac{P}{1 + e \cos v} \qquad (1)$$

тут r це радіюс-вектор плянети (див. рис. 74), $P = a\ (1 - e^2)$, де a — велика піввісь еліпси, а e — її екцентриситет.

v це кут PSA, що його звуть — ***справжня аномалія плянети.***

Отже, вираз перший (1) і можна взяти за аналітичний вираз першого Кеплерового закону, причому для еліпси $e < 1$.

Другий Кеплерів закон.

Радіюс-вектор плянети за однакові періоди часу описує рівні площі або — площі секторів, описані радіюсом-вектором, пропорційні часові.

Якщо для моментів часу t та $t + \Delta t$ координати плянети будуть x, y та $x + \Delta x$, $y + \Delta y$ (в точках P_1 і P_2), то площа трикутника, що його вершки лежать у цих двох положеннях плянети та центрі Сонця, може бути визначена так[1]): площа $\triangle P_2P_1s = \frac{1}{2}(x\ \Delta y - y\ \Delta x)$. Якщо період часу Δt малий, то його можна замінити на диференціял, dt, і тоді площа трикутника відрізнятиметься від площі сектора P_1P_2S лише на нескінченно малі величини другого порядку; отже, її тоді можна визначити виразом: $S_1 = \frac{1}{2}(xdy - ydx)$, де dx та dy — це зміни координат x та y, коли плянета переміщується з положення P_1 в положення P_2 за час dt. За другим Кеплеровим законом площа, описана радіюс-вектором плянети, змінюється пропорційно з часом, отже й ці площі, описані за ту саму одиницю часу, однакові на всій орбіті плянети, а тому можна написати відношення: $x\frac{dy}{dt} - y\frac{dx}{dt} = c$, де ліва частина — це подвоєна площа, описана радіюс-вектором плянети за одиницю часу, а c — стала величина. Це саме відношення $x\frac{dy}{dt} - y\frac{dx}{dt} = c$ і буде аналітичний вираз другого Кеплерового закону

[1]) Див. Аналітичну геометрію.

Його можна визначити і полярними координатами, якщо скористати з добре відомих формул переходу від Декартових координат до полярних: $x = r \cos\theta$ та $y = r \sin\theta$, де θ — це кут xsP у формі $r^2 \frac{d\theta}{dt} = c$.

Третій Кеплерів закон.

Квадрати часів обігів плянет довкола Сонця відносяться один до одного, як куби пересічних віддалей їх від Сонця.

Якщо через T_1 і T_2 позначити часи обігу двох якихнебудь плянет, а через a_1 і a_2 великі півосі їхніх орбіт, то вираз третього Кеплерового закону можна подати в такій формі:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3} \text{ або } \frac{a_1^3}{T_1^2} = \frac{a_2^3}{T_2^2} \qquad \text{(I)}$$

Взявши ще інші плянети, зможем написати для 3-ої $\frac{a_1^3}{T_1^2} = \frac{a_3^3}{T_3^2}$ і т. д., тобто такі відношення спостерігатимемо для всіх плянет сонцевої системи. Отже, можна написати $\frac{a_1^3}{T_1^2} = \frac{a_2^3}{T_2^2} = \frac{a_3^3}{T_3^2} = \frac{a_4^3}{T_4^2}$ . . . = сталій величині. Інакше кажучи, відношення куба великої півосі плянетної еліпси до квадрата часу обігу її круг Сонця є величина однакова (стала) для всіх плянет. Цей закон можна подати ще і в іншій формі. Якщо T — це час обігу плянети круг Сонця, a і b — велика та мала півосі її орбіти, то підвоєна площа плянетної еліпси, як відомо з геометрії, становитиме: $s = 2\ \pi ab$, а за одиницю часу радіюс-вектор опише площу, що бувши збільшена вдвоє, становить:

$$c = \frac{2\pi ab}{T} \qquad \text{(II)}$$

Вставивши в (I) вираз для T, визначений з (II), тобто $T = \frac{2\pi ab}{c}$ матимемо: $\frac{a_1\ c^2}{4\pi^2 a_1^2 b_1^2}$; крім того, знаючи, що $b^2 = a^2(1 - e^2)$ і $P = a(1 - e^2)$, легко найдемо, що й величина $\frac{c^2}{4\pi^2 P}$ має бути однакова для всіх плянет, тобто стала. Величина $\frac{c^2}{P}$ має бути також величина стала, бо й $4\pi^2$ теж стала величина.

Відси бачимо, що третій Кеплерів закон можна подати ще й так: $\frac{c^2}{P} = \mu$; тут P — параметр плянетної еліпси, а c — подвоєна площа, описувана радіюс-вектором плянети за одиницю часу, а μ — стала величина, однакова для всіх плянет нашої сонцевої системи.

Ці три закони є основні закони руху небесних тіл, і не тільки дають змогу розв'язувати всякі завдання, зв'язані з астрономією, а є основні закони, взагалі, теоретичної механіки, щільно поєднаної з розв'язанням завдань практичних. Ці закони, що відкрили нову еру для наукової думки, увічнили Кеплерове ім'я.

Лишається тільки для повности додати, що і Кеплер, як Коперник та Ґалілей, мусив працювати в надто тяжких обставинах, що й на його звідусюди нападали та що й його переслідували. Приміром, його матір мало не спалили на вогнищі, як ворожку, а сам він хоч і був так званий королівський астроном, але все своє життя не діставав платні, живучи в страшних злиднях. Йому навіть довелося тікати з міста Лінца, де його вважали за єретика. Треба відзначити також, що Кеплерів твір „Скорочена астрономія", що почав виходити з 1618 р., інквізиція заборонила так само, як свого часу Коперникову книгу.

Ньютон і закон всесвітнього тяжіння.

Якщо Кеплер виявив формулу плянетних рухів і пояснив особливості їх, то Ньютон відкрив силу, що керує цими рухами. Цю силу названо ***сила всесвітнього тяжіння.***

Ґрунтуючись на цій назві звичайно вважають, як пише Енгельс у „Діялектиці природи", „що вага є найзагальніша ознака матеріяльности, тобто, що притяг, а не відштовхування, є доконечна властивість матерії. Але притягу і відштовхування так само не можна відокремити одне від одного, як додатнього і від'ємного, а тому можна, на підставі принципів діялектики, сказати наперед, що справжня теорія матерії має дати відштовхуванню таке саме важливе місце, як і притягові, тобто, що теорія матерії, угрунтована лише на притягу, неправильна, досить половинчаста. І справді, є досить явищ, що вказують на це. Від етеру не можна відмовитись уже через те, що є світло. Чи матеріяльний етер? Якщо він є, то він має бути матеріяльний, має підходити під розуміння матерії. Але він ніякої ваги не має.

Хвости комет наука вважає за матеріяльні. Вони виявляють велике відштовхування. Тепло в газі породжує відштовхування і т. д."

Тепер, за наших часів, можна навести ще багато прикладів, що цілком потверджують Енґельсові погляди на те, що притяг не можна вважати за вичерпну ознаку матеріяльности. Стійкість зоревих куль пояснюється чином двох сил — притягом та відштовхуванням.

Кеплер уважав, що сила притягу є властивість усіх тіл, проте вважав існування цієї сили за недостатню підставу для того, щоб пояснити рухи плянет. І тільки після того, як у другій половині XVII ст. відкрито закон відосередкової сили, Ньютонові й іншим дослідникам пощастило довести, що Сонце притягує плянети обернено пропорційно з квадратом віддалі між ним і плянe-

тами. Це можна довести так: з фізики відомо, що відосередкову силу f можна подати у формі $f = \frac{v^2}{a}$ . . . (I), якщо рух плянет вважати за коловий і не брати до уваги невеликих ексцентриситетів їхніх орбіт; тут v — швидкість руху по коловій орбіті, а a — її радіюс. Але ми, розглядаючи третій Кеплерів закон, найшли, що $\mu = \frac{c^2}{P} = \frac{4\pi^2 a^2 b^2}{a(1-e^2)T^2}$; пам'ятаючи, що $P = a(1-e^2)$ і що для колової орбіти $a = b$, попередній вираз легко зводимо до такого: $\mu = \frac{c^2}{P} = \frac{4\pi^2 a^4}{aT^2} = \frac{4\pi^2 a^3}{T^2}$ . . . (II).

Крім того, швидкість по коловій орбіті є не інше що, як довжина цієї орбіти, поділена на час обігу. Маємо також $v = \frac{2\pi a}{T}$ Отже, формула (I) набирає форми:

$$f = \frac{4\pi^2 a}{T^2} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (III)$$

з формули (II) находимо:

$$\frac{4\pi^2 a}{T^2} = \frac{\mu}{a^2} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (IV)$$

Порівнявши формули (III) і (IV) остаточно найдемо: $f = \frac{\mu}{a^2}$, тобто відосередкова сила обернено пропорційна квадрату віддалі. Вона діє, як відомо, в напрямі від центра, в данім разі від Сонця, і щоб плянета не була відкинена цією силою від Сонця і не пішла б від нього в простір, Сонце має утримувати плянету, притягуючи її з такою самою силою.

Ньютон наочно довів, що той самий закон тяжіння — обернено пропорційно квадратові віддалі — справедливий не тільки для колових орбіт, але він правильний і для еліптичних, тобто для таких, що ними справді відбувається рух плянет довкола Сонця. Ньютон показав також, що закон тяжіння є наслідок Кеплерових законів, і що закони Кеплерові можна виснувати з закону тяжіння. Він довів ще, що сила тяжіння, з якою притягується Сонце та плянети, та сама з якою Земля притягує до себе всі плянети, зокрема і нашого супутника — Місяць. Тому закон тяжіння — обернено пропорційно квадратові віддалі — з цілковитим правом названо *Ньютонів закон.* Згодом довели, що він справедливий не тільки в межах нашої сонцевої системи, але йому підлягають у своїм русі і дуже далекі зорі. Тимто Ньютонів закон звуть ще — *всесвітній закон тяжіння.* В остаточній своїй формі закон всесвітнього тяжіння має такий аналітичний вираз: $F = k^2 \frac{Mm}{r^2}$, де F — сила притягу між двома тілами з масами M та m, r — віддаль між цими тілами, а k^2 — коефіцієнт,

що являє собою силу взаємного притягу двох тіл, що мають обидва маси, рівні одиниці, і що лежать одне від одного на віддалі, також рівній одиниці.

Треба тепер показати, на що перетвориться третій Кеплерів закон, коли, уточнивши його, взяти до уваги маси Сонця та плянет. Цей закон замість $\frac{a_1^3}{a_2^3} = \frac{T_1^2}{T_2^2}$ (цей вираз нам і відомий), тепер буде такий:

$$\frac{a_1^3}{a_2^3} = \frac{T_1^2(M+m_1)}{T_2^2(M+m_2)} \qquad \text{(V)}$$

де M — маса Сонця, а m_1 і m_2 — маси обох плянет, шо обертаються круг нього. Цю формулу можна написати по-іншому, розділивши чисельника й знаменика дробу, що стоїть у правій частині на M, тобто $\frac{a_1^3}{a_2^3} = \frac{T_1^2\left(1+\frac{m_1}{M}\right)}{T_2^2\left(1+\frac{m_2}{M}\right)}$ У нашій сонцевій системі маса Сонця майже в 700 разів більша за суму мас усіх плянет разом узятих, отже й ще більша за маси плянет, взятих окремо а тому дріб $\frac{1+\frac{m_1}{M}}{1+\frac{m_2}{M}}$ для нашої сонцевої системи має бути дуже близький до одиниці. От чому третій закон у тій формі, що його надав йому Кеплер, справедливий для нашої сонцевої системи; взагалі ж він правильний лише тоді, коли беруть до уваги і маси надають йому форми (V)

Маючи Кеплерові закони і Ньютонів закон, що випливає з нього, можна показати і пояснити цілий ряд особливостей у русі плянет. Можна показати також, що орбіти плянет мають бути плоскі криві.

Крім того, маючи за базу все сказане, можна, зробивши кілька спостережень (досить навіть трьох), над положенням якогонебудь світила, що його орбіта нам невідома, обчислити цю орбіту, тобто визначити її форму, розміри і положення в просторі.

Нарешті, діставши зі спостережень та обчислень дані про орбіту світила, можна наперед обчислити його положення на небі для всякого моменту часу, або, як кажуть, обчислити *ефемериду* світила.

Ця ефемерида дасть змогу на який хоч момент, коли дане світило над горизонтом, скерувати на нього інструмент і робит потрібні досліди.

Щоб закінчити розділ про загальну будову нашої сонцевої системи, нам лишається додати сюди її плян і навести часи обі-

гів довкола Сонця всіх відомих тепер плянет і віддалі їх від центра системи Сонця.

Подаємо рисунок — плян сонцевої системи і таблицю, де подано назви плянет віддалі їх від Сонця, час обігу довкола нього, а також маси проти маси Землі, взятої за одиницю.

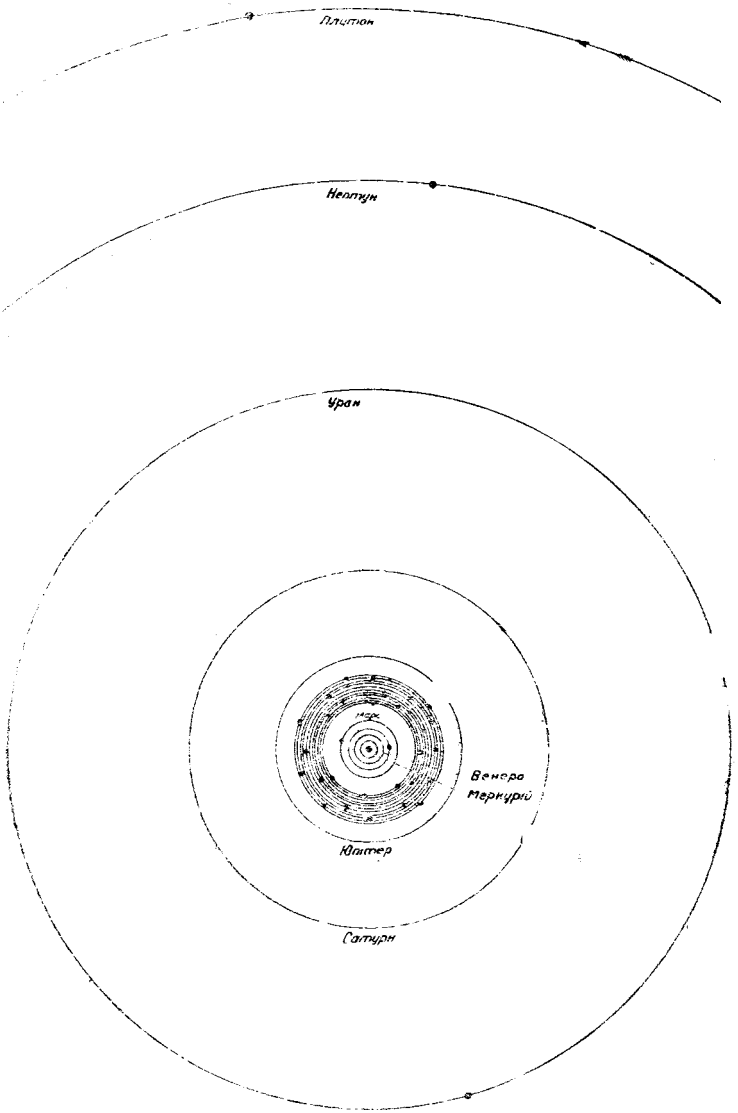


Рис. 75. Плян сонцевої системи.

Таблиця

Назви плянет	Віддаль від Сонця	Час обігу довкола Сонця на сидерич. роки	Маса (маса Землі = 1)
Меркурій	0,387	0,241	0,037
Венера	0,723	0,615	0,83
Земля	1,000	1,000	1,00
Марс	1,524	1,881	0,11
Юпітер	5,203	11,862	318,4
Сатурн	9,539	29,458	95,2
Уран	19,191	84,015	14,6
Нептун	30.071	164,788	16,9
Плутон	39,5	248,43	близько 0,1

Завдання до розділу IV

1. О якій годині за місцевим часом буває верхня плянета в меридіяні (у верхній кульмінації) під момент її сполуки та протипологи?

2. Обчислити найменші можливі віддалі між Землею та плянетами, вважаючи, що орбіти всіх плянет є кола.

3. На підставі другого Кеплерового закону довести, що орбіти плянет — плоскі криві.

4. Знаючи, що ексцентриситет Меркурія і Марса дорівнює відповідно $^1/_5$ і $^1/_{11}$, визначити найбільші та найменші віддалі цих плянет від Сонця.

5. На підставі третього Кеплерового закону у його спрощеній формі визначити час обігу Марса довкола Сонця, якщо відомі віддалі Марса та Землі від Сонця, а також відомий час обігу Землі.

6. Визначити віддаль Юпітера від Сонця, застосувавши третій Кеплерів закон, якщо відомий час обігу Землі та Юпітера довкола Сонця, а також віддаль між Землею та Сонцем.

7. Довести, як це зробив свого часу і Ньютон, що Місяць рухається довкола Землі під впливом сили притягу її.

Розв'язання завдань.

1. а) Момент сполуки верхньої плянети з Сонцем — це той момент, коли плянета стоїть по той бік Сонця, і довготи її та Сонця однакові; тому верхня кульмінація цієї плянети збігається з верхньою кульмінацією Сонця. Отже, в той момент, коли плянета проходить через меридіян, Сонце так само має бути в меридіяні. Відси очевидно, що верхня плянета в момент своєї сполуки з Сонцем має кульмінувати десь близько моменту справжнього полудня.

б) У момент протипологи верхньої плянети її довгота відрізняється від довготи Сонця рівно на 180^0. Отже в цей час вона має кульмінувати через 12 годин після Сонця, тобто близько півночі. Це найвигідніший час спостерігати верхні плянети.

2. Якщо віддаль нижньої плянети від Сонця позначимо через a, а ту саму віддаль для Землі через $в$, то очевидно, що найбільша віддаль плянети від Землі буде $a + в$, а найменша $в - a$

Для верхньої плянети матимемо, якщо її віддаль від Сонця позначено через a, найменшу віддаль $a - в$, найбільшу — $a + в$.

Отже, знаючи віддаль нижніх плянет від Сонця, а саме: Меркурія — 58 000 000, Венери — 108 000 000, визначимо їх найменшу віддаль від Землі (ця віддаль Землі від Сонця становить 149 500 000)

Найменша віддаль нижніх плянет від Землі:

Меркурія . .	91 500 000	Венери . .	41 500 000

Найбільша віддаль нижніх плянет від Землі:

Меркурія . .	207 500 000	Венери . .	257 500 000

Віддаль верхніх плянет від Сонця:

Марса . .	228 000 000	Юпітера .	778 000 000	Сатурна .	1 428 000 000
Урана .	2 873 000 000	Нептуна .	4 501 000 000	Плутона .	5 905 250 000

Обчислена відси найменша віддаль верхніх плянет від Землі:

Марса . .	78 500 000	Юпітера .	628 500 000	Сатурна .	1 277 500 000
Урана .	2 723 500 000	Нептуна .	4 351 500 000	Плутона .	5 755 750 000

Найбільша віддаль верхніх плянет від Землі:

Марса . .	377 500 000	Юпітера .	927 500 000	Сатурна .	1 577 500 000
Урана	3 022 500 000	Нептуна .	4 650 500 000	Плутона .	6 054 750 000

3. Якщо спроєктуємо сектор, описуваний радіюс-вектором плянети, на три взаємно перпендикулярні координатні площини, то другий Кеплерів закон буде справедливий для кожної з цих трьох площин. Тому можемо написати три такі відношення: 1) $x\frac{dy}{dt} - y\frac{dx}{dt} = C$; 2) $y\frac{dz}{dt} - z\frac{dy}{dt} = A$ 3) $z\frac{dx}{dt} - x\frac{dz}{dt} = B$, де A, B і C — сталі величини. Помноживши перше на z, друге на x і третє на y і склавши їх, матимемо після скорочення: $Ax + By + Cz = 0$. Це рівняння площини, що проходить через початок координат, де перебуває Сонце.

Відси орбіта плянети — плоска крива, і її площина проходить через Сонце

4. Якщо пересічну віддаль Меркурія від Сонця вважатимемо за одиницю, то, очевидно, найбільша віддаль Меркурія від Сонця буде: $1 + {}^1/_5$, а найменша $1 - {}^1/_5$. Наша одиниця становить 58 000 000 км, а тому ${}^1/_5$ становитиме 11 600 000; отже, для найбільшої віддалі матимемо 58 000 000 + + 11 600 000 = 69 600 000, а для найменшої 58 000 000 — 11 600 000 = 46 400 000.

Таким самим способом для Марса обчислимо:

Найбільша віддаль = 248 727 272 км.

Найменша віддаль = 207 272 728 км.

5 Третій Кеплерів закон такий: $\frac{a_1^3}{a_2^3} = \frac{T_1^2}{T_2^2}$. Ми написали його в данім разі для Землі й Марса. a_1 і T_1 — це віддаль і час обігу Землі, a_2 і T_2 — те саме для Марса. Ми вважаємо, що a_1 дорівнює одиниці, T_1 = одному рокові, $a_2 = 1.52$, а тому попередня рівність, коли підставимо ці числа, буде так

$\frac{1^3}{(1{,}52)^3} = \frac{1^2}{x^2}$ або $x = +\sqrt{3{,}512} = 1{,}88$ або 1 рік і 321 день.

Отже, Марсів рік має 686 земних діб.

6. Це завдання треба розв'язувати, як і попереднє, тільки визначити треба не час обігу, а пересічну віддаль:

$$\frac{1^3}{y^3} = \frac{1^2}{(11.85)^2} : y = \sqrt[3]{140,4225} = 5,2$$ віддалей Землі від Сонця

7. Треба визначити спочатку, наскільки має бути послаблена, через велику віддаль, сила тяжіння Землі на віддалі Місяця. Ми знаємо з дослідів над паданням тіл, що на земній поверхні прискорення сили тяжіння $g = 9,81$ м. За Ньютоновим законом ця величина має змінюватись обернено пропорційно з квадратом віддалі від центра Землі. Позначаємо радіюс Землі через r, віддаль Місяця від Землі через R і величину g на віддалі Місяця через g_1. Тоді $\frac{g_1}{g} = \frac{r^2}{R^2}$; якщо радіюс Землі взяти за одиницю, то віддаль R буде, приблизно, 60, або, вставивши в попередню формулу числові вартості, матимемо $\frac{g_1}{981} = \frac{1^2}{60^2}$; $g_1 = 0,273$ см.

Таку величину матиме прискорення сили земного тяжіння на віддалі Місяця. Обчислимо цю величину з спостережень і подивимось, чи матиме вона ту саму числову вартість. Якщо матиме, то очевидно сила, що керує рухом Місяця, є сила тяжіння.

Візьмемо для простоти, що Місяць обертається довкола Землі по колу та рівномірно, і визначимо величину доосередкового прискорення за відомою з фізики формулою $g_1 = \frac{v^2}{R}$, де v — швидкість рівномірного колового руху Місяця.

$v = \frac{2\pi R}{T}$, де T — час обігу Місяця; відси $v^2 = \frac{4\pi^2 R^2}{T^2}$ і $g_1 = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$

Якщо в цю формулу підставити R — віддаль Місяця від землі $= 385\,000$ км, T — час обігу 27,3 доби, і перетворити кілометри на сантиметри, а час обігу визначити на секунди, то матимемо $g_1 = 0,273$, тобто ту саму величину, що її дає і Ньютонів закон.

Отже, Місяць справді рухається під впливом сили тяжіння

V СОНЦЕ

Методи визначати віддаль Сонця від Землі

Перше, ніж перейти до вивчання фізичної природи Сонця, нам треба сказати дещо про віддаль Сонця від Землі та про методи визначати цю віддаль.

Ще за триста років до нашої ери грецький астроном Арістарх пробував визначити віддаль Сонця від Землі, вимірюючи кут між Сонцем та Землею в той час, як Місяць освітлений для спостерігача якраз на половину. З цих вимірів він найшов, що віддаль Сонця від Землі має бут у 20 разів більша, ніж віддаль між Землею та Місяцем. Згодом, базуючись на цих вимірах, а також на міркуванні Гіппарха та Птоломея, вчені ви-

значили віддаль Землі від Сонця на 1200 земних радіюсів. Цей результат вважали за правильний майже до XV ст. нашої ери. Кеплер і його сучасники гадали, що віддаль Землі від Сонця лежить у границях 3500—7000 земних радіюсів. Проте, виявилося, що й ці віддалі надто малі проти справжньої віддалі Сонця, визначеної на підставі сучасних метод.

Новітні методи уґрунтовано не на безпосереднім вимірюванні так званої сонцевої паралакси, тобто кута, що на нього видимо відходить центр Сонця, коли його спостерігати з двох місць земної поверхні, віддалених одне від одного на чверть земного кола (див. вище про те, як визначати віддалі до недоступних предметів); новітні методи уґрунтовано на вимірюванні паралакси якоїнебудь плянети, що підходить до Землі доволі близько. Вимірявши паралакси цієї плянети і знаючи її віддаль від Землі і від Сонця, легко вже обчислити і паралаксу Сонця та співвідношення між цими віддалями на підставі третього Кеплерового закону. Знаючи паралаксу Сонця, обчислюють і його віддаль. Для того здебільшого використовують або плянету Марс, або

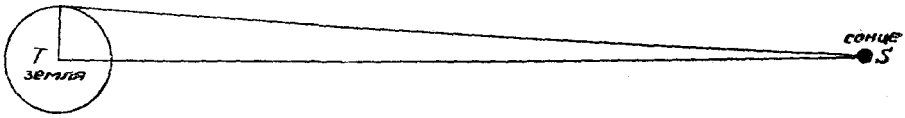


Рис. 76. Сонцева паралакса.

деякі малі плянети, що доволі близько підходять до Землі, ближче, ніж Сонце, і тому мають далеко більшу, отже й легшу для вимірювання паралаксу, ніж паралакса самого Сонця. Дуже зручна для цього, наприклад, мала плянета Ерос.

Спостерігаючи положення Марса, видні з двох місць — Каєнни та Парижу, під час протипологи цієї плянети, Кассіні визначив для паралакси Сонця 9″ 5 і відповідну їй віддаль на 21 600 земних радіюсів. Після того майже протягом ста років паралаксу Сонця покладали між 9″ і 10″, тобто вважали, що віддаль Сонця може бути від 146 000 000 до 132 000 000 км. Ми не говоритимемо про дальші точніші вимірювання цими самими методами, а скажемо лише, що по багатьох роках таких спостережень виявилося, що сонцева паралакса становить 8″ 806 з точністю до 0″, 002, 0″003.

Дуже відома також метода визначати сонцеву паралаксу зі спостережень над проходженням плянети Венери перед сонцевим диском. Проходженнями Венери по сонцевому дискові звуть те явище, коли Венера точно стає між Землею і Сонцем, і через те проєктується на сліпучу сонцеву поверхню, як невеличке темне кружальце; а що сама плянета рухається, то нам здається, що це кружальце переповзає через сонцевий диск. Явища ці можна спостерігати дуже рідко.

От табличка, де дано час проходжень Венери по сонцевому дискові, починаючи з 1518 р.

1518	5-го червня	1769	3 червня
1526	1„ червня	1874	9 грудня
1631	6„ грудня	1882	6 грудня
1639	4„ грудня	2004	8 червня
1761	6„ червня	2012	6 червня

Принцип визначати паралаксу Сонця зі спостережень над проходженнями Венери дуже простий. Припустімо, що два спостерігачі спостерігають це проходження з двох точок земної поверхні A і B. Для спостерігача, що стоїть в точці A, Венера перейде через сонцевий диск хордою cd, а для спостерігача в B — лінією ef.

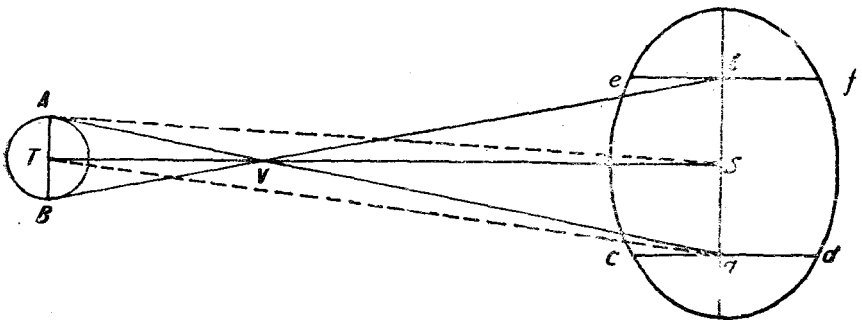


Рис. 77. Визначення сонцевої паралакси з проходження Венери.

Завдання визначити сонцеву паралаксу, як ми зараз побачимо, сходить до того, щоб визначити кут $b\,v,\,a$, що його ми назвемо γ, тобто кут, на який видимо відходить видима путь Венери, коли вона проходить через сонцевий диск, а спостерігач переходить з точки A земної поверхні в точку B.

З подібних трикутників AvB та avb маємо: $\frac{ab}{AB} = \frac{vS}{vT}$. Ця величина нам відома, бо ми знаємо відношення віддалей Венери та Землі від Сонця, що дорівнює 2,6. Потім, з трикутників ATS та aTS маємо: $\frac{AB}{2} = TS \operatorname{tg} \omega$, де ω — це сонцева паралакса, що дорівнює кутові ATS та $\frac{ab}{2} = TS \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2}$. Поділяючи друге на перше, маємо $\frac{ab}{AB} = \frac{\operatorname{tg}\frac{\gamma}{2}}{\operatorname{tg}\omega}$. і як $\frac{ab}{AB} = 2{,}6$, то в цім відношенні лишається одне невідоме — сонцева паралакса $= \omega$, що її відси визначити легко.

Такі спостереження дали для сонцевої паралакси величину подібну до визначеної попереду зі спостережень над Марсом а 1882 р. спостереження 11 французьких станцій дали величину 8″80. Є ще й інші методи визначати сонцеву паралаксу — наприклад, з дослідження нерівностей руху Місяця; ці досліди дали величину 8″79; про ці інші методи ми тут не говоритимемо В кожнім разі, всі ці методи дали досить подібні результати, і тепер сонцеву паралаксу вважають за рівну 8″80; отже, віддаль Сонця від Землі — $149^1/_2$ млн. км, а можлива неточність — до 170.000 км. Якнайточніше знати цю величину конче треба, щоб можна було розв'язувати цілий ряд дуже важливих проблем; тимто й тепер віддають багато уваги дослідам, що мають на меті уточнити досягнені в цім питанні результати.

Верхній вигляд Сонця. Будова Сонця. Плями та ґрануляція сонцевої поверхні

Якщо дивитимемось на Сонце крізь закурене скло (щоб захистити око від надто яскравого світла), ми побачимо його, як ясне коло; ніяких деталів при таких обставинах ми й помітити не зможемо, тільки краї Сонця здаватимуться нам дещо темніші, ніж його середина. Це через те, що Сонце не тверде розжарене тіло, а газова куля, і світло та тепло доходять до нас не тільки з його розжареної поверхні, а і з глибших шарів. Через інтенсивніше вбирання на краях, де світло проходить крізь грубіший шар сонцевої атмосфери, вони й здаються нам темніші.

Коли ж дивитись на Сонце в потужний телескоп, то воно вже матиме інший вигляд. Нам здаватиметься, що вся його поверхня ряба, вкрита маленькими ясними хмарками, що містяться близько одна коло одної і на вигляд подібні на набряклі рижові зернята, що плавають у молоці. Їх звуть — *ґранулі*.

Отже, все газувате розжарене ядро Сонця повите цими дуже яскравими, ясними хмарками. Ця оболонка, що складена ніби з ясних рижових зернят, має назву — фотосфера, тобто світлова оболонка. Від неї, переважно, Земля й дістає світло та тепло. Ґранулі насправді не такі малі, як це нам здається з тієї величезної віддалі, що лежить між Землею та Сонцем. Кожна з цих ґранулей займає місце від 200 до 2000 км. Ці ґранулі не перебувають у стані спокою, а хутко переміщуються одна проти одної. Фотографії Сонця, що дають нам змогу дуже швидко фіксувати вигляд сонцевої фотосфери, коли їх робити за кілька хвилин одна по одній, покажуть нам наочно це переміщення, і ми побачимо, що на другій фотографії ґранулі будуть розміщені вже зовсім по-іншому, ніж на першій.

Крім того, часто можна бачити на Сонці великі темні плями, величезні на розмір; вони іноді в десятки разів більші, ніж Земля. Сонцеві плями відкрили Фабріціюс та інші вчені незабаром

по тому, як винайдено першу трубу XVII ст. Проте, безперечно що найбільші з цих темних плям люди бачили куди раніше голим оком. Так, наприклад, у записах (літописах) китайських є згадки про те, що року 311 бачили на Сонці „летящу птицю“ Китайці таки р. 354 бачили пляму, „як куряче яйце завбільшки“ а р. 355— пляму, „що скидалася на броскву“.

Якщо звернутись до наших російських літописів, то можна найти там чимало спостережень.

Великі плями на Сонці можна й тепер бачити іноді голим оком через закурене скельце. Але плями, що їх можна бачити без телескопа, з'являються на Сонці зрідка.

Не щодня можна бачити на Сонці плями, навіть маленькі, видні тільки в телескоп. Бувають роки, коли протягом кількох місяців немає жодної плями, а тільки видно саму грануляцію; іноді ж їх видно стільки, що навіть важко перелічити.

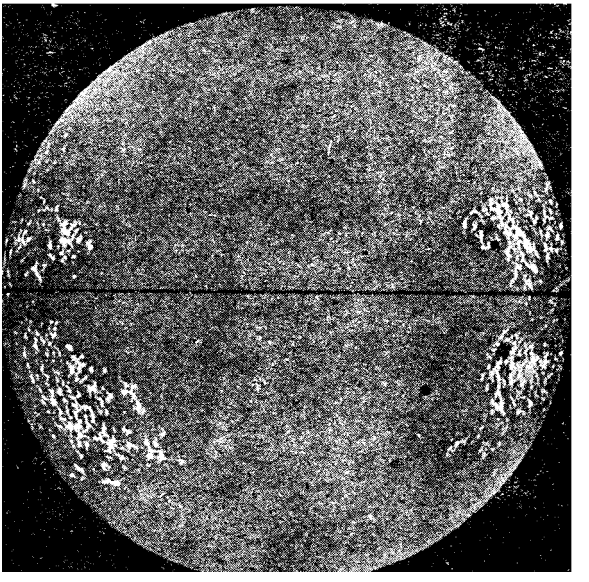


Рис. 78. Фотографія поверхні Сонця.

В телескоп можна бачити будову сонцевої плями. Здебільшого пляма така на вигляд: в ній є внутрішня частина, що здається нам чорною, і що її звуть *ядро* або *тінь*; довкола ядра — ясніша сірувата смуга, що дістала назву — *півтінь*.

Ядро здається нам чорним тільки в наслідок контрасту з усією іншою частиною сонцевої поверхні, сліпучо-яскравою.

Насправді ж виходить, що коли виділити на Місяці під час повні ділянку такої самої видимої величини, як завбільшки здається нам яканебудь сонцева пляма, то виявиться, що від цієї плями Земля має в 2000 разів більше світла, ніж від згаданої частини Місяця.

На рис. 79 показано велику сонцеву пляму. Півтінь плями має доволі складну будову: вона складена з сіруватих, що розходяться на всі боки від темного ядра плями, ниток, подібних до вербового листя. Не всі плями, проте, оточує півтінь;

дуже маленькі плями не мають півтіні,— ми бачимо їх, як чорні точки.

Плями постають на Сонці, здебільшого, не відразу. Спочатку з'являється маленька плямочка — пора; вона поволі збільшується на розмір і стає дуже велика. На те, щоб утворилась пляма на Сонці, треба кілька годин, а іноді й днів. Сонцеві плями дуже мінливі і форма їх швидко змінюється, іноді так швидко, що сьогодні важко пізнати ту пляму, що її бачили вчора. Перед тим, як зникнути, пляма звичайно поділяється на частини. Замість однієї плями ми бачимо кілька маленьких, що потім цілком зникають.

Поділ плями відбувається звичайно так: ясна речовина розжареної фотосфери вривається всередину півтіні ніби вогняним мостом, що поширюється чимраз далі. Цей міст перекидається через темне ядро і поділяє, таким чином, пляму на дві частини. Іноді ми можемо помітити, що сіруваті нитки півтіні загнуті в один бік, і утворюється враження, ніби вся пляма, як якийсь величезний вихор, обертається довкола самої себе, наче розжарені гази утворюють вир, подібний до того, що його можна спостерігати в шклянці чаю, якщо швидко помішати в ньому ложкою.

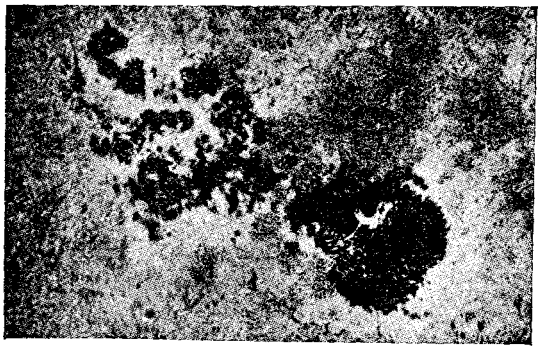


Рис. 79. Велика сонцева пляма.

Взагалі, як ми бачили, на Сонці немає нічого сталого. Вогняна речовина легко переноситься з одного місця сонцевої поверхні на друге, наче величезні хвилі розбурханого океану. Тільки цей океан вогняний. Цим пояснюється те, що плями такі несталі: хутко з'являються і незабаром зникають.

Але бували випадки, що правда — дуже зрідка, коли та сама пляма лишалась багато місяців зряду. Далі ми побачимо, що плями — це не інше що, як прориви, дірки у світній сонцевій фотосфері, посталі наслідком ерупції розжарених газів з середини вогняної маси Сонця. Поки триває така ерупція, пляма є. Скоро ерупція припинилася, пляма зникає, і знову сонцева поверхня здається нам укритою одноманітною сіткою ґрануляції, а від плями немає й сліду, ніби її ніколи в цім місці й не було. Пляма — це лійкувата заглибина у сонцевій фотосфері, і глибина її порівняно невелика. Вона не доходить навіть величини земного діяметра, що, як ми знаємо, в 109 разів менший за діяметр Сонця.

Періодичність плям на Сонці.

Плями не завжди бувають на Сонці; іноді цілими місяцями Сонце буває вільне від них. Зате бувають роки, коли сонцеві плями утворюються майже щодня. Тепер відомо, що число плям змінюється від року до року, протягом одинадцяти років. За $4^1/_2$ років плям ступнево більшає, наступає так званий максимум, тобто час, коли плям найбільше; після цього сонцева поверхня ніби заспокоюється; плям ступнево меншає, щоб дійти мінімуму, тобто такого стану, коли плям найменше. Наприклад, 1913 року Сонце протягом багатьох тижнів було чисте,— плям було дуже мало; того року був мінімум. Наступний мінімум був 1924 року. Після нього плям увесь час більшало і максимум їх був 1928 року. Подаємо табличку, де наведено дані про роки максимумів сонцевих плям.

Таблиця

Роки максимумів сонцевих плям

1788	1837	1883
1804	1848	1893
1816	1860	1905
1830	1871	1917

Проте, цей, так званий, одинадцятирічний період не цілком сталий. Період зміни числа сонцевих плям може змінюватися від 7 до 17 років, тобто період цей неправильний, і тільки пересічно становить 11 років.

Найімовірніша пересічна вартість періоду плямотворчої діяльности — 11,124 року. Пересічно від мінімуму до дальшого за ним максимуму проходить 5,96 року.

Дуже цікавий також той факт, що плями на Сонці переважно утворюються в певних широтах. Так, найчастіше їх можна бачити під час максимуму, починаючи від сонцевого екватора і до широти $\pm 45^0$. Під час мінімуму зона утворювання їх дещо звужується до $\pm 20^0$. Проте, в рідких випадках пляма з'являється й у вищих широтах. Зареєстровано поодинокі випадки, коли плями спостерігано навіть на широті, більшій за 60^0.

Розміри та масивність Сонця.

Знаючи видиму величину предмета і віддаль до нього, можна, на підставі простих міркувань, що за них говорити тут ми не будемо, обчислити і справжні розміри предмета,

Виявилося. що діяметр Сонця в 109 разів більший за діяметр нашої Землі і становить 1 386 700 км.

Сонце в 333432 рази масивніше, ніж Земля.

Зробивши деякі прості розрахунки, ми побачимо, що для того щоб підняти предмет, довелося б на Сонці прикласти зусилля в $27^1/_2$ разів більше, ніж у нас на Землі. Приміром, якби тягарець, що важить на Землі 10 кілограмів, перенести на Сонце, то щоб підняти його там, треба було б прикласти зусилля, потрібне, щоб на Землі підняти 175 кг.

Факлі, хромосфера і протуберанці.

Крім плям, грануляції та пор (малих плям), на Сонці можна бачити в телескоп ще *світники* або *факлі*, як їх інакше звуть. Світники або факлі,— це ясні ділянки, що мають форму черваків або ниток. Вони помітні тільки коло країв Сонця, де виразно виступають на темнішім тлі. В міру обертання Сонця, коли воно відносить їх ближче до середини видимої сонцевої кулі, факлі стають совсім не видні, зливаючись з яскравішою поверхнею Сонця.

Тим часом, як плями здебільшого утворюються лише в ділянках між екватором та полюсами, майже ніколи не трапляючись коло самого екватора та полюсів, світники утворюються на всій поверхні Сонця. Але надто багато буває їх коло плям, де вони скупчуються великими групами. Бувають факлі й поодинокі. Мабуть, вони являють собою ті місця сонцевої поверхні, де потоки розжареної речовини ідуть знову всередину Сонця, протилежно до тих догірних потоків, що є в сонцевих плямах.

Довкола сонцевої фотосфери простяглася на велику висоту (майже 18000 км) холодніша сонцева атмосфера — *хромосфера* (тобто — кольорова оболонка); температура її все таки ще така висока, що речовини можуть бути в ній у формі розжареної пари та газів. Не треба думати, проте, що сонцеве ядро чимнебудь прикро відділене від фотосфери, а фотосфера від хромосфери. Кожна з цих оболонок ступнево робиться рідша до поверхні, так само, як наше повітря, коли ми підносимось на аеростаті, і непомітно переходить одна в одну. Гранулі ж, за новітніми дослідами, мають грубину лише близько 200 км.

Безпосередньо спостерігаючи Сонце в телескоп, ми можемо бачити тільки фотосферу Сонця, бо сяйво хромосфери цілком зникає на тлі сліпучої фотосфери, і тому наше око не може її помітити.

Проте, бувають моменти, коли сонцева хромосфера стає приступна для спостерігання не тільки в телескоп, а навіть і для простого ока. Це буває під час так званих повних затемнень Сонця.

Усім відомо, що таке затемнення Сонця і які його причини. Місяць, творячи свій цикл круг нашої Землі, іноді може стати якраз між Землею та Сонцем і закрити собою сліпуче коло сонцевої фотосфери. Місяць — тіло темне і світиться тільки через

те, що його осяває Сонце. І хоч Місяць далеко менший за Сонце, але що він до нас набагато ближче, то може закрити собою величезне Сонце так само, як тонким олівцем, коли його держати близько до ока, можна вільно закрити великий будинок, що стоїть від нас досить далеко. Те саме буває і під час цілковитого затемнення Сонця.

І от, коли блискуча фотосфера ховається за темним диском Місяця, протягом кількох хвилин, поки триває цілковите затемнення Сонця, довкола чорного диску Місяця, на тлі стемнілого неба виступають рожеві вогники сонцевої хромосфери. Тут і там, на межі хромосфери, ми помічаємо вогняні виступи, — це, так звані сонцеві виступні або *протуберанці*. Форма їх дуже різноманітна, і самі вони дуже мінливі. Протуберанці — це ерупція розжарених газів зсередини Сонця; силою і величиною своєю вони набагато перевищують вибухи наших земних вогнедишних гір — вулканів. Вони піднімаються на величезну висоту над поверхнею сонцевої хромосфери, і ця висота іноді в багато разів перевищує діяметр нашої Землі. Вони бувають, як ми вже говорили, дуже різноманітні з форми; іноді вони нагадують маленькі ніжні кущики з червоного вогню, а іноді це — цілі фонтани, що розкидають вогняні бризки на всі боки і знову спадають на червонясту поверхню хромосфери. Температура протуберанців теж дуже висока, і всі речовини, що ерупгують, так само, як і в хромосфері, перебувають в них у газуватім стані.

Рис. 80. Хромосфера й протуберанці.

Протуберанці, звичайно, розсіяні по всьому Сонцю. Але так звані вибухові протуберанці, що їх ми бачимо не в формі спокійних ясних кущиків червонястого вогню, як згадувано вище, а що здаються нам, як бурхливі вибухи, що вириваються зсередини Сонця з величезною швидкістю, іноді до 200 км на секунду, — такі протуберанці утворюються, переважно, в тих частинах сонцевої кулі, де утворюються й плями. Форма того самого протуберанця змінюється також дуже швидко. Перед нашими очима, там, де раніше нічого не було видно, крім спокійної поверхні сонцевої хромосфери, утворюється маленький червонястий вогняний язик, що за кілька хвилин підноситься на величезну висоту, більшу, ніж діяметр нашої Землі, а потім знову спадає вниз, розкидаючи вогняні бризки на спокійну поверхню хромосфери.

Сонцева корона і зодіякальне сяйво

Проте, це ще не все з того, що можна бачити на сонці простим оком або в телескоп. Є ще одне явище, що за нього слід поговорити — це так звана *сонцева корона.*

Під час повних сонцевих затемнень ми помічаємо на стемнілім тілі неба, довкола рожевого обідка хромосфери, м'яке сріблясте сяйво, що дуже далеко поширюється на всі боки, як ніжне сріблясте проміння. Воно оточує Сонце й становить продовження хромосфери. Це сяйво звуть *корона.* Корона набагато холодніша за хромосферу, отже в ній можуть уже бути тверді часточки. На вигляд вона не завжди однакова: то вона здається витягнута, і проміння її густо збирається коло сонцевого екватора, тоді, як біля полюсів воно коротке й бліде, то вона рівномірніше розподіляється довкола сонцевої кулі. За короною тягнеться ще більш розріджена речовина, що розпросторюється на неймовірно велику віддаль від Сонця. Межі, де вона кінчиться, досить точно визначити не пощастило. Ця світна речовина має назву — *зодіякальне сяйво.* Вона повиває Сонце, ніби якась величезна сочка, витягнута по сонцевому екватору, і ледве світиться. Тільки ясного зимового чи весняного вечора, після присмерку, на заході, а в літку та восени удосвіта на сході, іноді можна бачити легеньке сяйво, вужче вгорі. Це і є зодіякальне сяйво. Іноді, коли повітря особливо прозоре, його можна простежити серед зір, що яскраво горять; тоді воно поширюється майже на півнеба.

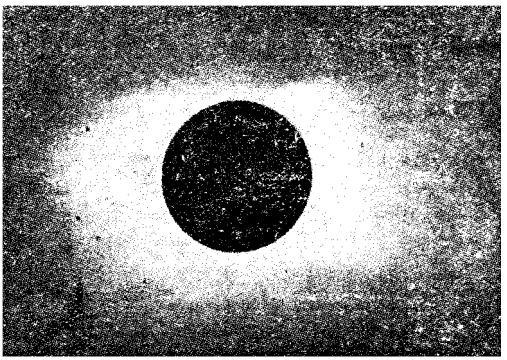


Рис. 81. Сонцева корона.

Температура Сонця.

Температура Сонця, тобто величина, що характеризує ступінь його нагрівання, має дуже велику вагу, коли досліджувати різні питання, зв'язані з випромінюванням Сонця. Тому цілком зрозуміло, що методиці визначання температури Сонця віддавали й віддають дуже багато уваги. Визначати температуру Сонця намагалися по-різному, — проте, на найбільшу довіру заслуговує спосіб визначати цю температуру на підставі розподілу інтенсивности в сонцевім спектрі.

Добре відомо, що розподіл яскравости в спектрі, тобто яскравість різних його ділянок, залежить від тієї температури, що до неї нагрілося тіло, що дає спектр. Багато дослідників виміряли температуру сонцевої фотосфери на основі досліджування загальної кількости теплової енергії, випромінюваної від Сонця,— при тім вони брали до уваги різні явища, що могли б впливати на точність наслідків, і особливо намагалися звільнитись від вбирання радіяції всередині земної атмосфери. Проте, тільки починаючи з 1922 року пощастило добути доволі точну вартість цієї величини.

На підставі цих дослідів ми маємо, що температура сонцевої фотосфери має бути близько 5900^0. На основі дослідження спектра добуто температуру близько 6200^0.

Отже, для температури фотосфери беруть здебільшого температуру 6000^0. Температура хромосфери далеко нижча — близько 5000^0, а в сонцевих плямах вона зменшується до $4000 — 4500^0$.

Щодо середини Сонця, то для глибини, де здебільшого розміщуються ядра сонцевих плям, температура буває близько 4000^0.

На підставі наведених вартостей можна вважати, що температура в центрі Сонця становить 30 — 40 млн. градусів.

Обертання Сонця довкола осі.

Сонцеві плями не лишаються нерухомі, і спостерігаючи, як вони переміщуються, можна вивчати обертання Сонця довкола його осі. Припустімо, що, спостерігаючи Сонце, ми помітили якунебудь пляму на його правім краї. На краю пляма завжди здається нам вузька, витягнена, навіть тоді, якби вона була насправді цілком кругла. Це — вплив перспективи. Потім пляма поволі підходить до середини сонцевого диску, починає знову відходити від неї, наближаючись до лівого краю і, нарешті, цілком зникає за ним. Спостереження над цими видимими переміщеннями сонцевих плям дали змогу визначити той період часу, що його протягом Сонце робить повний оберт довкола своєї осі, бо таке переміщення плями є не інше що, як наслідок обертання Сонця довкола осі. Проте, визначаючи час оберта Сонця, виявлено одну дуже цікаву особливість, і ще раз потверджено, що Сонце — це справді величезна газова куля. Виявлено, що ближче лежить пляма до екватора, то швидше рухається вона; що ближче до полюса, то повільніше. Це й свідчить про характеристичну особливість Сонця, а саме — що воно обертається не як одне щось суцільне, а смугами, і при цім швидкості обертання різних смуг неоднакові.

Екваторіяльна смуга робить повний обіг за 24,83 дня. Ці наслідки добуто на підставі вимірювання відбігів ліній у спектрі сонцевих країв, бо коли Сонце обертається довкола осі, точки одного його краю рухаються в напрямі до спостерігача, а точки другого краю — віддаляються від нього. Отже, нам доведеться

тоді мати діло з відомим уже нам ефектом Допплера-Физо. Детальніші досліди переконують нас, що швидкості сонцевих шарів, на різних глибинах, так само різні.

Спектральні дослідження Сонця.

Досліджуючи темні лінії сонцевого спектра, вчені дійшли висновку, що на нім трапляються такі хемічні елементи: залізо, нікель, титан, манґан, хром, кобальт, вуглець, ванадій, цирконій, церій, кальцій, неодимій, скандій, лятан, ітрій, ніобій, молібден, палладій, магнезій, нітрій, силіцій, водень, стронцій, барій, алюміній, кадмій, родій, ербій, цинк, мідь, срібло, цина, калій, рубідій, гелій, галій, кисень, літій і церій: щождо дуже важких металів, як наприклад — оливо, золото та інш.— то їх покищо на Сонці не виявлено. Дуже можливо, що пари цих речовин залягають в найглибших шарах Сонця, недоступних спектральним дослідам, і тому вони нічим не виявляють себе. Можливо також, що в наслідок умов тиску та температури ці елементи мають на Сонці спектри, що так відрізняються від спектрів цих самих речовин у земних умовах що їх просто не вдається поки що ототожнити.

Дослідження відбігів спектральних ліній, відповідних різним речовинам, розміщеним на різній висоті, дали змогу дослідити, користаючи з принципу Допплера - Физо, швидкості руху різних газів: виявлено, що ці швидкості дуже різняться одна від одної. Дослідження форми спектральних ліній дало змогу дослідити і магнетне, і електричне поля Сонця. Ці досліди базують на вивченні так званих Зееманового та Штаркового ефектів.

Зееманів ефект у тім, що одинарні в звичайних умовах лінії в магнетнім полі перестають бути одинарні, а розходяться на дві або на три окремі лінії, залежно від того, яке положення має на Сонці взята для спостерігання ділянка. Досліджуванням Зееманового ефекту на Сонці виявлено, що магнетне поле його близько його магнетних полюсів, що лежать від полюсів обертання майже на 6^0, у 80 разів потужніше за магнетне поле Землі.

Штаркового ефекту, що, як і Зееманів ефект, дає розходження спектральних ліній (в потужних електричних полях іноді на 14 компонентів,) на Сонці, принаймні з цілковитою категоричністю, ще ніхто не спостерігав, а тому говорити про потужність електричного поля Сонця ми покищо не маємо підстав. Крім усього, тут відзначеного, спектроскоп дає змогу досліджувати сонцеві протуберанці, не чекаючи на цілковиті затемнення Сонця.

1868 року двом ученим — англійцеві Локієрові та французові Жансенові майже водночас пощастило винайти такий спосіб спостерігати. Якщо поставити щілину спектроскопа так, щоб вона торкалася подовжнім краєм видимого сонцевого краю, то побачимо в спектроскопі не спектр убирання, а яскраві лінії,

що пішли з розріджених газів сонцевої атмосфери і протуберанців, що здіймаються над краєм. Ці лінії ясні, бо світло, що виходить з хромосфери та протуберанців, безпосередньо досягає спектроскопа, і проміння його не вбирається, бо не має на своїм путі досить густого середовища, що могло б ясні лінії перетворити на темні.

Локієр довів, що коли ставити щілину спектроскопа вздовж сонцевого краю,— можна помітити ясні спектральні лінії, що належать хромосфері та протуберанцям.

Нарешті, вдаючись до інструментів, описаних уже в розділі про астрономічні інструменти,— до *спектрогеліоскопа* або *спектрогеліографа*, можна вивчити розподіл на Сонці тієї чи тієї речовини, інакше кажучи — досліджувати Сонце в промінні тих спектральних ліній, що їх випромінює та чи та речовина, що є на сонцевій поверхні. Такі досліди, зроблені близько сонцевих плям, наочно показують нам ті вихрові рухи, що їх мають речовини довкола сонцевих плям, і ясно свідчать за те, що сонцева пляма—це величезний вихор у розжарених сонцевих газах.

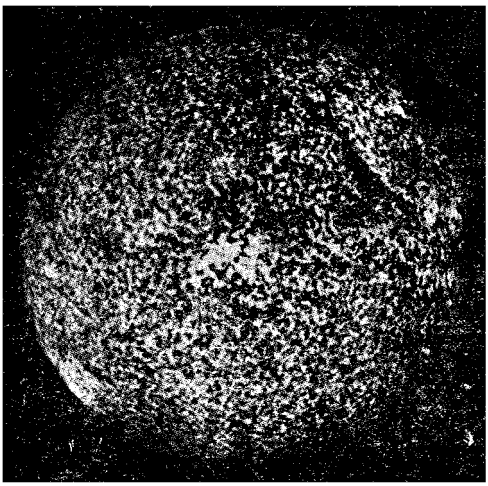


Рис. 82. Спектрогеліограма Сонця.

Щодо сонцевої корони, то спектр її неоднаковий у внутрішній і зовнішній частині. Найбільш віддалені від Сонця частини дають суцільний спектр, перетятий темними *Фрауенгоферовими* лініями. Це показує, що ці частини корони складені, очевидно, з дрібнісіньких твердих чи рідких частинок, що відбивають соняшне світло. Частини корони, що містяться безпосередньо близько до Сонця, зовсім не мають у своїм спектрі Фрауенгоферових ліній. Якщо відійти від краю Сонця на віддаль близько б′, ми помітимо у спектрі цієї частини корони разом з суцільним спектром і ряд ясних ліній випромінювання.

Цілого ряду спектральних ліній не пощастило зовсім ототожнити з відомими нам у земних умовах лініями елементів; проте, крім них можна спостерігати ще лінії водню, гелію, кальцію та магнезію; вони свідчать про те, що, принаймні, спектр внутрішньої частини корони дуже важко відокремити від спектру хромосфери, що лежить нижче. Щодо густини матерії, що належить

до складу сонцевої корони, то різні спостереження над короною категорично свідчать, що ця густина дуже й дуже мала і, очевидно, лише трохи перевищує густину газів у найкращих вакуумах, що їх можна мати в наших ляборатоpіях.

Запаси сонцевої енерґії.

Дуже важливе питання про те, за наскільки стале можна вважати сонцеве випромінювання. Яке це випромінювання в минулім, і як воно зміниться в майбутнім?

Цілком очевидно, що коли Сонце не поповнює якимось способом витрачуваних запасів енерґії, то воно порівняно в недалекім майбутнім має прохолонути і перестати освітлювати та огрівати нашу Землю. Досліди відомого вченого Аббота доводять, що Сонце на пересічній віддалі його від Землі — 149 500 000 км — випромінює на площинку 1 кв. см, поставлену нормально до його проміння, 1,95 грам-кальорій протягом однієї хвилини. Отже, якщо круг Сонця описати радіюсом, що дорівнював би пересічній віддалі Землі від Сонця, сферу, то внутрішня поверхня цієї сфери має дістати величезну кількість енерґії, — $2{,}9 \times 10^{33}$ грам-кальорій протягом одного року. Таку величезну кількість енерґії витрачає Сонце щороку.

Коли припустити, що Сонце — це величезна водяна куля з рівною йому масою і з густиною 1,4, то загальна річна витрата енерґії $2{,}9 \times 10^{33}$ грам-кальорій має зменшувати його температуру на $1{,}5^0$ щороку. Цілком зрозуміло, що коли б запаси енерґії цієї величезної кулі нічим не поповнювалися, то це зменшення температури було б дуже помітне навіть на протязі одного життя людини.

Коли припустити, що температура Сонця спадає в 10, 100 або 1000 раз повільніше, то й тоді не можна було б пояснити, як це Сонце світить і гріє з малозмінною силою на дуже великім протязі геологічних діб, що становлять сотні мільйонів років.

Коли уважно розглянути геологічний матеріял та узяти до уваги клімат того часу, то можна зробити висновок, що принаймні протягом 50 мільйонів років Сонце світить і гріє з майже однаковою силою.

Тому різні вчені почали висловлювати різні теорії, щоб пояснити, як поповнюється сонцева енерґія.

Роберт Маєр казав, що сонцеве випромінювання і виділяння тепла підтримується тим, що на його поверхню падають темні тіла-метеори, що літають у просторі. Проте, виявилося, що ця теорія цілком неправильна, бо легко можна обчислити, що для того, щоб поповнити витрату кожного року сонцевої енерґії, треба припустити, що на його поверхню протягом того самого часу падає стільки метеорів, що їх загальна маса має становити не менше, як 1/100 Землі. Якби це справді відповідало дійсності, то притяг Сонця ввесь час збільшувався б через те, що збільшувалася б так само його маса, і час обігу Землі все меншав би.

Приміром, через 2000 років з таким припущенням земний рік мав би зменшитись майже на 42 дні. Проте, астрономічні спостереження не виявляють такого прикорочування, і тому цю теорію треба назавжди відкинути, бо вона не відповідає дійсності

Гельмгольц гадав, що сонцева енергія поповнюється через те, що сонцева маса стискається та згущується. Від стискання, що справді буває в усіх зір і в Сонця, має виділятись дуже багато тепла, через спад поверхневих шарів в напрямі до центра. Проте хоч при тому й виділяється дуже велика енергія, її, як виявляється з підрахунків, все ж замало, щоб протягом багатьох мільйонів років підтримувати запаси Сонця. Безперечно, що частина сонцевої енергії поповнюється саме так, бо Сонце стискається і згущується надто повільно, і триває це явище з тих далеких часів, коли воно з розрідженої і величезної туманности перетворилося якраз через стиснення на те порівняно густе тіло, яким ми знаємо його тепер.

Наприкінці XIX сторіччя відкрито радіоактивний елемент — радій. Тепер найвідоміші радіоактивні елементи — радій, торій та уран. Атоми цих елементів, розпадаючись, виділяють дуже багато енергії, а самі ці речовини через те перетворюються на інші, тривкіші. Коли припустити, що на Сонці в глибоких його надрах також є радіоактивні речовини, що виділяють багато енергії, або коли б, навіть, припустити, що все Сонце складене лише з однієї радіоактивної речовини — урану, то й тоді воно могло б випромінювати в простір лише близько половини тієї енергії, що її воно випромінює тепер. Так от, коли вважати, що сонцева енергія поповнюється через розпад радіоактивних елементів, то довелося б припустити, що вони далеко потужніші, ніж радій чи уран. Тільки тоді вони могли б забезпечити Сонцю таке довгочасне випромінювання, як воно має справді. Можливо, проте, що в тих умовах температури й тиску, що їх ми бачимо в надрах Сонця, і що їх ми поки не можемо ще мати в наших лябораторіях, речовини можуть мати невідомі нам властивості, бути в цих умовах далеко активнішими і виділяти далеко більше енергії, ***тим паче, що сучасна фізика вчить нас, що матерія та енергія можуть переходити одна в другу.***

Під переходом матерії в енергію реакціонери - ідеалісти розуміють буквально зникання матерії, і часто використовують це відкриття сучасної фізики, щоб угрунтувати свій світогляд. Тим часом, уже В. І. Ленін дав чітке пояснення питанню про те, як матерія перетворюється на енергію („Материализм и эмпириокритицизм", Ленгиз, 1932), де він говорить з приводу цього так: „Матерія зникає — це значить, що ***зникає та границя, до якої ми знали матерію досі*** (ці слова Леніна ми підкреслюємо), наше знання іде глибше; „зникають" такі властивості матерії, що здавались раніше абсолютними, незмінними, первісними (непроникливість, інерція, маса тощо) і що тепер виявляються,як відносні, властиві тільки деяким станам матерії, бо ***єдина*** „власти-

вість“ матерії, з визнанням якої зв'язаний філософський матеріялізм, є властивість *бути об'єктивною реальністю*, існувати поза нашою свідомістю“. (Останні два вирази підкреслено у самого В. І. Леніна).

Діялектичний матеріялізм, за Леніном, „... обстоює відносний характер усякого наукового твердження про будову матерії та властивості її, обстоює відсутність абсолютних границь у природі, обстоює перетворення рухомої матерії з одного стану в другий“

Невелика частина матерії, перетворившись на енергію, може дати величезну кількість енергії. Наприклад, спалюючи одну тонну вугілля, ми можемо змусити паротяг рухатися всього лише одну годину. А коли цю саму тонну пощастило цілком перетворити на енергію, то її вистачило б, щоб протягом 100 років підтримувати опалення, освітлення транспорт і інші потреби Великобрітанії. Розпад однієї краплі нафти дав би таку кількість енергії, що великий океанський пароплав міг би припливти від берегів Европи до Америки й назад.

Відомо, що матерія складена з невеликих окремих частинок — атомів. Щоб пояснити розміри атома, досить зазначити, що в 1 куб. см сонцевої маси має бути близько 10^{21} атомів.

Атом теж не є неподільна кулька; це — складна система. Він складений з центрального ядра, що довкола нього обертаються ще дрібніші частинки, так звані електрони. Система атома має діяметр, не більший за одну більйонну частку міліметра. Центральне ядро атома, так званий „*протон*“, наснажене додатньою електрикою, а електрони, що обертаються довкола нього, наснажені від'ємно. Маса електрона в 4840 разів менша за масу водневого атома. Електрони обертаються довкола свого ядра по цілком певних орбітах. Залежно від числа електронів, що належать до складу атома, ми маємо той чи той елемент. Наприклад, атом водню складений з ядра і лише одного електрона.

В атомі урану обертається 93 електрона.

В деяких умовах можна домогтися того, щоб електрони залишали свої орбіти і перебігали з однієї на другу. Якщо електрон перебігає з дальшої орбіти на ближчу до ядра, тоді атом випромінює певну кількість енергії, так звану „кванту“. Коли ж витратити з-зовні таку саму кількість енергії, то можна змусити електрон перебігати з ближчої орбіти на дальшу. Тоді атом уже не випускає енергії, а сам вбирає її. Якщо на атом діє досить велика кількість енергії, то може статися, якесь число електронів, що обертаються довкола ядра, може зірвати з їх орбіт і викинути зовсім за межі атома. Тоді довкола ядра обертатиметься вже менше електронів, а то й жодного не буде. Якщо довкола ядра лишається кілька електронів, то атом звуть *почасти йонізований*, якщо ж викинуто всі, то атом *йонізований* цілком. Тоді ж, коли атом зберіг усі свої електрони, його звуть — *незбуджений* або *невтральний* атом. Збудження атома можуть спричинити електрони, що потрапляють на

нього з великою швидкістю, або потоки енергії, що пронизують атом з-зовні.

Йонізацію можна, наприклад, утворити, збільшуючи температуру і зменшуючи тиск. Спектри тіл, де атоми почасти або цілком йонізовані, відрізняються від спектрів тіл з невтральними атомами. Тому, досліджуючи спектральні лінії в спектрі, можна гадати про ступінь йонізації атомів, що належать до його складу.

Коли ядро атома цілком позбавлене своїх електронів, тобто протон зустрічається з якимнебудь електроном, що відірваний від якогось атома і рухається вільно, то від кожної такої зустрічі протона з електроном виділяється певна кількість енергії. Ця енергія, коли вважати, що вона саме так зароджується в надрах Сонця, — ступнево переміщується від його центра в напрямі до ближчих до поверхні шарів, нагріває матерію, що з неї складене Сонце, і, нарешті, виходить у навколишній світовий простір. Коли припустити, що такі зустрічі протонів та електронів бувають досить часто, то сонцева маса замість простигати, мала б ступнево чимраз більше нагріватися. Проте, Сонце, як побачимо далі, коли розглядатимемо зореву еволюцію, вже дійшло такої стадії свого розвитку, коли воно дуже поволі простигає.

На Сонці протягом однієї години перетворюється на енергію лише один з 100 мільярдів атомів. Отже Сонце має викидати в простір близько 250 мільйонів тонн щохвилини енергії теплової, світлової та іншої. Можна підрахувати, що Сонце протягом 10^{10} років (час, що минув з моменту утворення нашої сонцевої системи), викинуло в простір близько 1/1500 теперішньої своєї маси, тобто ледве дві третини маси плянети Юпітера, а це дуже мізерна величина проти маси самого Сонця.

І, нарешті, коли припустити, що Сонце й далі грітиме та світитиме з однаковою силою, то енергії його надр вистачить більше, як на 15 мільйонів років.

Проте, наслідком того, що Сонце світить не з однаковою силою протягом усього свого життя, цієї енергії вистачить на ще довший час. Потроху енергії виділяється дедалі менше, і Сонце, цілком простигнувши, має перейти в нову стадію свого існування, а саме, в стадію темного та холодного тіла, подібного до нашої Землі. Це станеться лише через мільярди років.

От де, очевидно джерело сонцевої енергії, що її Сонце так щедро витрачає.

Вплив Сонця на землю.

У попередніх розділах ми розглядали фізичну будову Сонця і процеси, що відбуваються в нім. Тут нам треба розглянути як впливає сонцева енергія на явища, що відбуваються на Землі І накше кажучи, нам треба відзначити, який вплив Сонце має на

процеси, що відбуваються на Землі, на віддалі $149^1/_2$ млн. км від нього.

Ми не говоритимемо тут про ті, добре відомі кожному явища, що є наслідком діяння сонцевого світла та тепла, що від них залежать різні процеси в нашій атмосфері, рослинах і тваринах; ми скажемо лише про ті явища, що менш відомі, а разом з тим заслуговують на велику увагу.

Сонцева стала.

Вивчання кількости світла та тепла, що їх дає Сонце Землі, та різні зміни цієї кількости — це одне з найважливіших завдань нашого часу, коли, нарешті, на всю широчінь постає перед нами питання про безпосереднє використовування тієї величезної енергії, що її Сонце дає Землі. Досить зазначити тільки, що Сонце освітлює нашу Землю з силою 1340 квадрільйонів свічок, поставлених на віддалі Сонця від Землі, і що роботу соняшного випромінювання на Землі можна замінити роботою машини з потужністю на 217 млрд. 316 млн. механічних коней, щоб іще краще зрозуміти всю важливість поставленого питання. Щоб переконатись, наскільки кількість тепла, що потрапляє на Землю, є величина стала, вдаються до такого, приблизно, способу. Коли ми поставимо якунебудь площинку, приміром — пофарбований чорний металевий аркуш, під соняшне проміння, і довідаємось, як він нагрівся протягом того часу, що був під діянням тепла, то зможемо обчислити, скільки тепла дістає маленька площинка на 1 квадратовий сантиметр, поставлена так, щоб соняшне проміння падало на неї нормально протягом однієї хвилини.

Проте, та кількість тепла, що її дістає така пофарбована в чорне платівка на поверхні Землі, ще мало свідчить нам про справжнє випромінювання Сонця, бо майже $20^0/_0$ тепла, що могло б ще потрапити на неї, затримує наша атмосфера. Тому досліджуючи теплове випромінювання Сонця, користають з величини, вільної від цього вбирання; її звуть — ***сонцева стала.*** Певна річ, що коли б вимірювання сонцевої сталої виявили її змінність, то це свідчило б і про змінність випромінювання Сонця. Такі зміни сонцевої сталої і визначено справді. Цілий ряд дослідників незаперечно визначають також, що зміни сонцевої сталої впливають на такі метеорологічні чинники, як температура, тиск, вологість тощо. А втім, слід відзначити, що хоч і помічено довгоперіодичні й короткоперіодичні зміни сонцевої сталої, хоч і позначається зв'язок між цим явищем, а також явищем періодичности сонцевих плям та метеорологічними елементами погоди, — ще рано робити якінебудь суто числові висновки. Зміна погоди дуже складне явище, його треба довго і всебічно вивчати не в однім якімнебудь місці Землі, а на всій земній поверхні, щоб звільнитись від суто-місцевих причин послаблення

сонцевої радіяції, що доходить Землі, а саме зміни прозорости земної атмосфери тощо.

Загалом на це питання слід звернути (і звертають) дуже багато уваги. Для того будують спеціяльні сонцеві станції та обсерваторії, призначені всебічно вивчати процеси, що відбуваються на Сонці, а так само і вплив їх на Землю. Щоб іще наочніше підкреслити важливість такого вивчання, досить відзначити, що доволі тривала зміна температури Сонця всього лише на 200° і відповідна їй невеличка зміна сонцевої сталої могла б спричинитись до зледеніння великих ділянок земної поверхні, і для них, безперечно, настала б так звана льодовикова доба. Щоб схарактеризувати вплив періодичности сонцевих плям на температуру, подаємо тут дві криві (рис. 83).

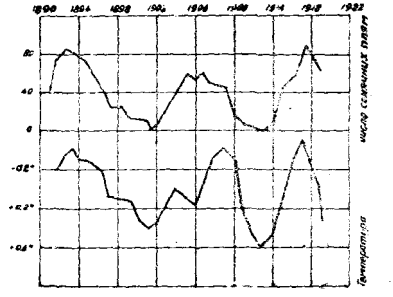


Рис. 83. Графік числа сонцевих плям і температура на острові Самоа.

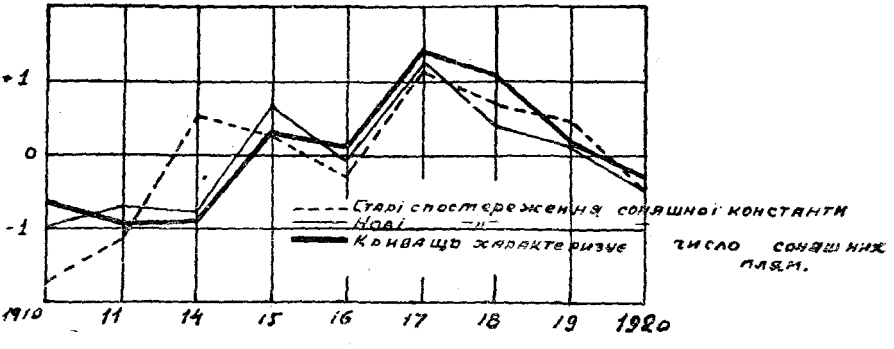


Рис. 84. Крива числа сонцевих плям і сонцевої сталої.

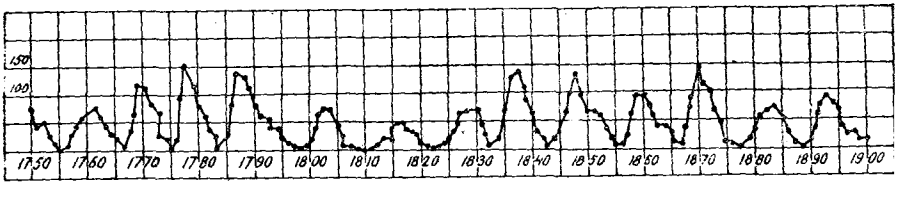


Рис. 85. Крива сонцевих плям.

Одна з них, верхня — це графік числа сонцевих плям з 1890 до 1922 року, а нижня — графік температури за той самий період у Самоа. Крім того, на дальшім рисунку подано криву, що дає залежність між сонцевою сталою і числом сонцевих плям (*за Абботом*).

Електромагнетні впливи Сонця на Землю

Магнетна стрілка, як відомо, має ту властивість, що завжди показує одним кінцем на північ, а другим на південь. У таке положення її змушує стати Земля, що становить ніби великий магнет. Якщо доволі велику та чутливу магнетну стрілку встановити у глибокім льоху обсерваторії, що змога ізолювавши її від сторонніх впливів, то можна помітити, що стрілка ця, нерухома вночі, не лишається нерухомою вдень. Здебільшого північний кінець стрілки перед восьмою годиною ранку буває трохи відхилений на схід; перед першою чи другою годиною опівдні стрілка буває відхилена трохи на захід, а потім знову поволі повертається до свого вихідного положення спокою. Ці зміни здебільшого виразніші й правильніші влітку, ніж узимку.

50-х років минулого сторіччя виявлено, що величина цього добового коливання магнетної стрілки не буває цілком однакова від року до року, а змінюється протягом одинадцяти років, тобто протягом одинадцятирічного періоду сонцевих плям. Тепер остаточно встановлено зв'язок між цими явищами. Отже, сидячи коло магнетної стрілки і, навіть, не дивлячись у телескоп, ми можемо гадати до певної міри про плямотворчу діяльність Сонця під даний момент. Ті роки, коли коливання стрілки найбільші, є разом з тим і роки найбільшого числа плям, бур та вибухів на Сонці. І, навпаки, тих років, коли коливання стрілки найменше, на Сонці буває мало плям, мало вибухів. Крім цих періодичних коливань магнетної стрілки, є ще на Землі так звані „магнетні бурі", коли магнетна стрілка протягом кількох годин перескакує з одного боку на другий. Це вплив Сонця під моменти особливо сильних процесів, що там відбуваються.

Коли велика пляма проходить через середню частину видимого сонцевого диску, або, як кажуть, через його центральний меридіян, магнетна стрілка не може лишатися в стані спокою. Іноді цей вплив такий великий, що наші телеграфи не можуть зовсім робити, і протягом кількох годин не можна буває передати телеграм.

Найімовірніше пояснення цих впливів Сонця таке: Сонце викидає потоки електрично наснажених йонів та електронів; ці часточки, очевидно, випромінюються дуже великим числом від сонцевих плям, тим часом, як решта сонцевої поверхні викидає їх дуже мало; як носії електрики, ці частинки спричинюють у самій Землі електричні струми, а вони, як відомо, мають властивість відхиляти магнетну стрілку. Крім того, ці частинки, потрапляючи у горішні розріджені шари земної атмосфери, змушують їх світитись, і ми можемо спостерігати тоді грандіозні явища, що їх звуть — *північне сяйво.*

Усі описувані явища спричиняє сонцева енергія, що, як ми знаємо, виконує на Землі величезну роботу. Щоб змушувати магнетну стрілку хитатись і щоб порушувати роботу телеграфів,

треба великої сили. За *Шустеровими* даними виходить, що енергію великою магнетної бурі можна дорівняти до 3 мільйонів механічних коней. Закінчуючи огляд нашого денного світила, ще раз треба підкреслити ту величезну вагу, що її має для життя Землі сонцева енергія, і що постала вже доконечна потреба пляново та систематично вивчати діяльність Сонця, щоб навчитися як слід використовувати величезні запаси сонцевої енергії зокрема на потреби індустріялізації.

ЗАВДАННЯ ДО РОЗДІЛУ V

Під час роботи на обсерваторії з керівником:

1. Спроєктувати Сонце на екрані.

2. Зарисувати велику пляму на Сонці.

3. Визначити наближено напрям сонцевого екватора та його осі.

4. Простежити, через який час по проєкції на екрані наскільки пересунулася пляма по сонцевому диску, в наслідок його обертання довкола осі, і приблизно підрахувати час цього обігу.

5. Визначити на частини сонцевого радіюса діяметр якоїнебудь плями на Сонці і обчислити її приблизні видимі розміри насекунди, а також і дійсні розміри.

РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАВДАНЬ.

1. На окулярну частину астрономічної труби надягають пірамідку (див. рис. 86) з екраном „а"; на об'єктивний кінець труби краще надягти аркуш картону, щоб від нього падала тінь на пірамідку, і щоб на екран не могло попадати пряме соняшне проміння. У трубу вставляють малосилий окуляр,— такий, щоб у полі зору вміщувався образ усього Сонця. Потім трубу наводять на Сонце. Можна навести на Сонце цю трубу, стежачи, як зменшуються розміри тіні від труби на Землі. В той момент, коли трубу наведено на Сонце, розміри тіні мають стати найменші. Пересуваючи екран проти труби і всуваючи чи висуваючи окуляр, ми доходимо найвиразнішого зображення Сонця на екрані.

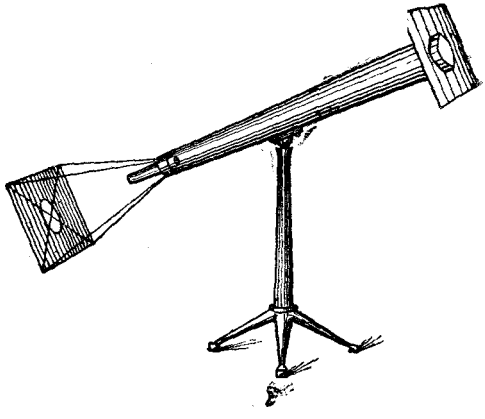


Рис. 86. Проєктування Сонця на екран за допомогою пірамідки.

2. Рисувати можна двома способами: або, домігшись на екрані (віддаляючи його від труби на потрібну віддаль) доволі великого та чіткого зображення сонцевої плями, щоб видно було деталі її будови, малюємо просто з екрана; або, вставивши в трубу доволі сильний окуляр і нагвинтивши на

нього темне скло (без темного скла спостерігач неминуче зіпсує очі), ми дивимося у трубу на пляму і малюємо її.

3. Спроєктувавши Сонце на екрані, відзначаємо на ньому олівцем положення якоїнебудь плями. Потім, лишаючи і трубу, і екран нерухомі протягом кількох хвилин, відзначаємо на тім таки аркуші паперу положення тієї самої сонцевої плями, що за цей час зсунулася на екрані від добового руху. Лінія, що злучає ці два положення, дасть напрям добової паралелі, або напрям схід-захід. Потім, найшовши в щорічнику кут, що його під момент спостерігання має складати обертова вісь Сонця з цим напрямом, відзначаємо напрям осі Сонця, відкладаючи її напрям транспортиром. Напрям, перпендикулярний до цього, є напрям сонцевого екватора. Проте, наскільки він лежить на північ або на південь од видимого центра Сонця, ми гадаємо на підставі даних, поданих у щорічнику і званих широтою видимого центра Сонця.

4. Проєктуємо протягом кількох день зряду ту саму сонцеву пляму на накреслене заздалегідь кружальце Сонця, суміщаючи завжди зображення Сонця з цим кружальцем і дійшовши того, щоб зображення Сонця займало точно все накреслене кружальце. Пильнуючи, щоб екран завжди був у такім положенні, коли накреслювана на екрані добова паралеля плями щоразу лишається паралельна з собою самою, відзначаємо щодня олівцем положення тієї самої плями; потім, обчисливши, на скільки градусів пересунулася пляма проти свого початкового положення, легко обчислюємо, на скільки градусів вона пересунулася за одну добу, а потім,— скільки день треба їй буде, щоб зробити повний обіг (див. рис. 87).

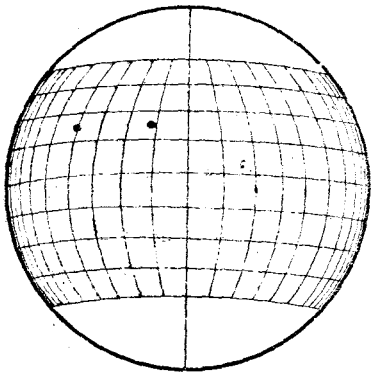


Рис. 87. Визначення відбігу сонцевої плями.

Нехай ми маємо на рисунку два положення плями, відзначені олівцем,— 2-е через два дні після 1-го. Обчислюємо, що за два дні сонцева смуга, що на ній міститься пляма, повернулася на 28^0, отже за добу на 14^0. Звідси виходить, що на 360^0 пляма повернеться за $\frac{360}{14} = 25{,}71$ дня. Такий, отже, період обігу тієї смуги Сонця, де лежить спостерігана сонцева пляма.

5. Вимірявши на екрані діяметр зображення Сонця, що утворюється при проєкції, а також і якоїнебудь плями, визначаємо, у скільки разів діяметр зображення Сонця більший за діяметр плями. Припустімо що в 60 разів. Тоді, взявши з щорічника видимий діяметр Сонця на даний день, легко обчислюємо видимий діяметр плями. Припустімо, що в момент спостерігання видимий діяметр Сонця становив 30 мінут дуги. Діяметр плями в 60 разів менший за діяметр Сонця, а тому видимий діяметр плями $\frac{30'}{60} = 30''$.

Справжній діяметр Сонця становить 1 391 000 км, а тому пляма, що її діяметр у 60 разів менший за діяметр Сонця, має справжній діяметр $= \frac{1.391\,000}{60} = 23\,183$ км.

VI. ПЛЯНЕТИ СОНЦЕВОЇ СИСТЕМИ

Ми бачили вже, що довкола центрального тіла нашої сонцевої системи обертається 9 великих плянет, і, як побачимо далі, у поясі, що лежить між плянетами Марсом та Юпітером, є ще понад тисячу відкритих досі малих плянет. Тепер ми й розглянемо ці плянети та фізичну обстанову кожної з них.

Плянета Меркурій.

Меркурій, як ми вже знаємо, найближча до Сонця плянета і разом з тим найменша на розмір з усіх інших великих плянет нашої сонцевої системи. Меркурій обігає довкола Сонця на пересічній віддалі 58 000 000 км. Його віддаль від Сонця змінюється в досить широких межах через те, що ексцентриситет орбіти Меркурія дуже великий і дорівнює 0,206. Діяметр Меркурія—4 800 км. Пересічна густина 0,68 густини Землі, тим часом, як маса становить всього лише 0,04 земної маси. Повний обіг довкола Сонця Меркурій робить за 88 день. Через свою видиму близькість до Сонця (відходить від нього лише на 28°), Меркурій—дуже несприятливий об'єкт для досліджування. Присмерком він надто низько під горизонтом, щоб можна було продуктивно його спостерігати в телескоп. Спостерігати ж удень дуже важко через те, що повітря вдень неспокійне, а так само через те, що видимий диск Меркурія взагалі дуже малий; тимто денні спостереження досі дали дуже невеликі наслідки. Іноді на його диску можна спостерігати різні темні плями й смуги, але такі розмиті та невиразні, що всі зроблені досі приблизні мапи поверхні Меркурія навряд чи заслуговують на довіру. Через те досі й не пощастило досить точно визначити час, поки обернеться Меркурій довкола його осі, тобто тривалість доби на його поверхні.

Останні спостереження тепер свідчать за те, що Меркурій має, очевидно, короткий період обертання довкола своєї осі — приблизно кілька годин, або, в крайнім разі, кілька день. Остаточно розв'язати це питання можна буде лише після цілого ряду нових дослідів. Є ще правда вказівки і на довгий період.

Дуже важливе також питання про атмосферу Меркурія. На нього доводиться, беручи до уваги різні дослідження, відповісти так, що коли там і є повітряна оболонка, то така розріджена, що практично можна вважати, ніби її зовсім немає. Отже, базуючись на всіх зроблених до останнього часу різних спостереженнях над Меркурієм, можна зробити такі висновки:

Меркурій — тверда плянета, складена, очевидно, з темних порід; довкола Меркурія у крайнім разі можна визнати, що є дуже врозріджена атмосфера, де неможлива ніяка конденсація пари ні туман, ні, тим паче, у хмари. Ця плянета дуже близька до Сонця, атому її поверхня дуже нагрівається, доходячи температури близько 400°. Отже, Меркурій — це гола, спалена від Сонця плянета.

Плянета Венера

З усіх великих плянет Венера може підходити до Землі ближче, ніж будь-яка інша. Ми знаємо, що вона, так само, як і Меркурій, не може видимо далеко відходити від Сонця, і що максимальна кутова віддаль її від Сонця не більша 48° Тому Венеру далеко краще спостерігати, ніж Меркурій.

Діяметр Венери 12 200 км. Маса її становить 0,83, а густина — 0,94 проти маси Землі та її густини. Отже, розмірами, масою і густиною Венера дуже мало відрізняється від нашої Землі. Венера обертається на пересічній віддалі від Сонця 108 000 000 км і робить довкола нього повний обіг за 225 день. Щодо віддалі Венери від Землі, то вона може дуже змінюватись. Під час нижньої сполуки вона зменшується до 41 млн. км, а під час верхньої — збільшується до 257 млн. км. А що віддаль між Землею

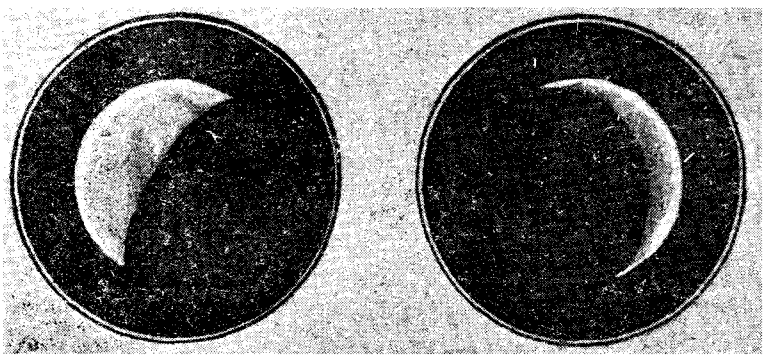


Рис. 88. Вигляд Венери в телескоп під час різних її фаз (за авторовими спостереженнями).

та Венерою дуже змінюється, — її видимий діяметр, а також і видима яскравість теж дуже змінюється. Щодо часу обертання Венери довкола осі та положення обертової осі, то це питання і досі остаточно не розв'язане. З приводу цього є дві думки. Перша — що Венера обертається довкола своєї осі в той самий період, як обігає і довкола Сонця, тобто протягом 225 день, а друга — що вона має порівняно короткий період обертання довкола осі. Новітні досліди свідчать за те, що цей період, принаймні, навряд чи менший за 15—20 день. Щодо нахилу Венериної осі до її орбіти, то цього питання також ще як слід не розв'язано. В кожнім разі, найбільш імовірне те припущення, щ Венерина вісь не лежить у площині її орбіти, а нахилена до неї під певним кутом,— що правда, і до цього часу невідомий.

Щодо спостерігання Венери в телескоп, то навіть найпотужніші інструменти не дають змоги побачити на ній будь-які певні

й сталі утворення. Можна спостерігати, що правда, іноді трохи темніші чи ясніші місця; проте, ці місця такі неясні й невизначені, що їх навряд чи можна вважати за утворення на поверхні. Мабуть, це утворення, що плавають в атмосфері плянети. Доведено цілком, що Венеру оточує атмосфера густа,— вища й густіша, ніж земна, і така малопрозора, що ця оболонка не дає побачити будь-що на її поверхні.

Щодо складу її атмосфери, то тут важко ще сказати щонебудь певне. В кожнім разі, останні досліди не потверджують існування на Венері кисню та водяної пари; а втім, наслідки різних дослідників у цім питанні дуже розходяться, не даючи остаточної відповіді. Отже, і для Венери, і для Меркурія розгадати фізичну обстанову, що є на їхніх поверхнях, можна буде тільки після дуже багатьох нових спостережень. Це — справа майбутнього.

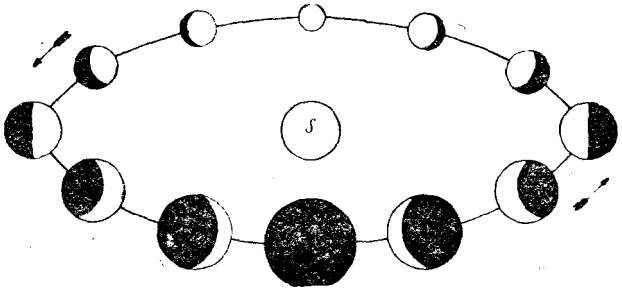


Рис. 89 Пояснення фаз Венери і Меркурія.

І Меркурій, і Венера, коли їх спостерігати в телескоп, являють фази, подібні до фаз Місяця. То плянети видно, як освітлений диск, то вони освітлені наполовину, то подібні до вузького серпа. З поданого тут рисунка видно причину цього явища.

Плянета Марс.

Перша за порядком віддалености від Сонця зовнішня плянета — це Марс. Відрізнити його дуже легко, бо в око впадає його інтенсивно-червоний колір. Він рухається на пересічній віддалі від Сонця 228 млн. км, тобто в півтора рази більшій, ніж Земля. Його діяметр — 6800 км, тобто майже вдвоє менший за земний. Маса Марса становить усього лише 0,11 маси Землі, а густина — 0,71. Для цієї плянети пощастило доволі точно визначити і положення осі, і час на оберт довкола неї, тобто тривалість доби на Марсі. Нахил екватора Марса до його орбіти становить 24,6^0, тобто всього на 1^0 більше цієї величини для Землі. Щодо тривалости доби на Марсі, то вона також дуже мало відрізняється від тривалости земної доби і становить 24 год. 37 хв. 22,6 сек. Час обігу довкола Сонця, тобто рік на Марсі, становить 687 земних діб.

У трубу можна бачити на Марсі багато подробиць, а також і напрям його осі теж добре відомий, тимто й складено досить докладні мапи поверхні цієї плянети.

Віддаль Марса від Землі змінюється в дуже широких границях. Так, найменша віддаль лише 55 млн. км, а найбільша доходить 400 млн. км. Через те неоднаковий буває і видимий діяметр Марса. Найбільші видимі розміри — 25″ — він має тоді, коли найбільше наближається до Землі, а найменша величина його не більше за 4″.

Марс, так само, як Місяць, Меркурій і Венера має фази, тільки що Марс зовнішня плянета, доволі віддалена від Землі, ці фази змінюються не в таких широких границях, як у згаданих плянет. Неосвітлений Сонцем максимум плянети — $^1/_6$ диска.

Що віддаль між Марсом та Землею дуже змінюється, а також, що Марс має фази, яскравість його теж може дуже змінюватись. То він світить аж надто яскраво, то стає блідою, мало помітною зірочкою. Найзручніший час спостерігати кожну верхню плянету — це її протиполога з Сонцем, а тому не зайве буде відзначити, що протипологи Марса йдуть одна по одній через кожні два роки з невеличким додатком. Наводимо табличку, де подано моменти протиполог Марса, починаючи з 1909 р. і кінчаючи 1924 р., і дано віддалі його від Землі на мільйони кілометрів.

1909	24 вересня	58	1918	15 березня	98
1911	25 листопада	76	1920	21 квітня	87
1914	5 січня	92	1922	10 червня	72
1916	10 лютого	100	1924	23 серпня	55

А втім, що орбіта Марса дуже витягнена і віддалі між різними її точками та відповідними точками земної орбіти досить відрізняються одна від одної, — не всі, як це видно і з попередньої таблиці, Марсові протипологи однаково вигідні для спостерігання. Найвигідніші протипологи це ті, що бувають у серпні. Їх звуть великі протипологи, і вони повторюються приблизно через кожні 15 років. Хоч під час великих протиполог Марс найближче підходить до Землі, але й ці протипологи не всі однаково вигідні. Подаємо табличку, де наведено віддаль Марса від Землі під час різних його великих протиполог.

Час великої протипологи	Віддаль Землі на мільйони км
1877 5 вересня	55,6
1891 4 серпня	56,6
1909 24 вересня	59,9
1924 23 серпня	55,4
1939 23 липня	57,8

З цієї таблички видно, що найближче Марс підходив до Землі під час великої протипологи 1924 р.

На Марсовій поверхні, як ми вже й відзначили, можна спостерігати виразні утворення. Деякі з них майже не змінюють

своєї зовнішньої форми, зате інші доволі швидко змінюють свої розміри, форму й забарвлення.

Найпомітніші і легко спостерігані так звані полярні Марсові шапки; їх добре видно навіть у наймалосиліші телескопи. Вони на вигляд як дві білі плями. Одна — довкола північного полюса плянети, друга — довкола південного. Цікаво те, що ці плями не зберігають своїх розмірів. Вони збільшуються, коли в тій півкулі, де вони лежать, буває зима. Коли настає літо, вони зменшуються і майже цілком зникають. Є багато підстав гадати, що з одного боку — ці плями складені з снігу та криги, що скупчуються в полярних ділянках Марса, а з другого — це величезні скупчення хмар у полярних ділянках плянети; ці хмари швидко розходяться, коли соняшне проміння починає дужче їх пригрівати.

Крім цих полярних плям на жовтогарячій поверхні Марса помітно великі і малі темні плями, що майже не змінюють своїх обрисів. Вони дістали назву морів, озер та боліт. Це, очевидно, дуже неглибокі водяні басейни, певніше болота, ніж моря; в них, як доводять деякі спостереження, може бути рослинність. Ці плями займають на Марсі далеко меншу площу проти жовтогарячого „суходолу". В кожнім разі, води на Марсі дуже мало, і відношення між нею та суходолом обернене проти того, що його маємо на Землі, де три чверті поверхні вкрито водою. На Марсі три чверті поверхні як раз під суходолом. Безперечно, що на Марсі раніше було далеко більше води, ніж тепер; так само відомо, що на нім, як на меншій проти Землі плянеті, і на швидше простиглій, — висихання та вивітрювання пари й газів у світовий простір зайшло вже багато далі, ніж на Землі, де ці причини, можна сказати, оце тільки починають діяти.

Крім більш чи менш глибоких морів, озер та боліт у жовтогарячих ділянках Марса італійський астроном Скляпарелл і відкрив темні смужки, що злучають між собою його темні утворення. Він назвав їх канали, тобто протоки. Згодом деякі вчені, наприклад, Ловелл, почали вважати, що це — штучні канали, і що мешканці Марса спорудили їх, щоб обводнювати свої пустельні та неплідні суходоли. Проте, тепер спостереження багатьох астрономів, що робили свої досліди дуже потужними інструментами, довели, що ці канали — не інше що, як окремі темні плямочки, що їх спостерігачеве око, озброєне не досить потужним інструментом, сполучає в прямі лінії. Деякі канали — це просто межі між темнішими та яснішими ділянками, і око так само сприймає їх як правильні темні лінії. Що таке ці темні плямочки, що створюють враження канала — покищо невідомо.

На Марсі безперечно є атмосфера, хоч і набагато рідша, ніж на Землі. В цій атмосфері іноді можна спостерігати хмари й тумани. Часто можна спостерігати вітри, що здіймають хмари пилу в жовтогарячих пустелях. Так само видно іноді й блискучі снігові опади.

Дуже цікаві спостереження над Марсом, що їх робили останнього часу крізь різно забарвлені фільтри; фотографічно робили ці досліди астроном Райт в обсерваторії Ліка (Америка). а також Барабашов та Семейкін візуально в Харкові.

Рис. 90. Марс за спостереженням автора.

Наприклад, на фотографіях Марса, зроблених через світл фільтр, що пропускає інфрачервону частину спектра, виразн видно деталі самої поверхні Марса — темні плями, моря тош (див. рис. 91 і 92).

На фотографіях, добутих через фільтри, що пропускають жовте та зелене проміння, ці деталі видно далеко гірше.

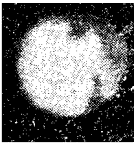


Рис. 91. Фотографія Марса в інфрачерзоному промінні.

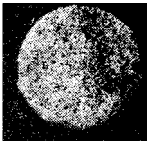


Рис. 92. Фотографія Марса в ультрафіялковому промінні.

Крізь світлофільтри, що пропускають фіялкову та ультрафіялкову частину, деяких деталів, що належать до самої поверхні Марса, не видно зовсім. Зате виразно видно плями в різних місцях та полярні шапки. Пояснюється цю цікаву особливість так. Атмосфера Марса, якби дивитись крізь неї на світло, здавалась би нам червоняста, бо вона добре перепускає проміння довгих хвиль і затримує короткі світлові хвилі. Американський астроном Райт гадає, між іншим, що червонястий відтінок Марсової поверхні можна до певної міри пояснити допіру вказаними властивостями атмосфери. Тому для спостерігача, що перебуває на самій поверхні Марса, колір атмосфери над ним, очевидно, здається блакитним. Отже, на Марсі колір неба має бути майже такий самий, як і в нас на Землі. Відси очевидно, що фотографії,

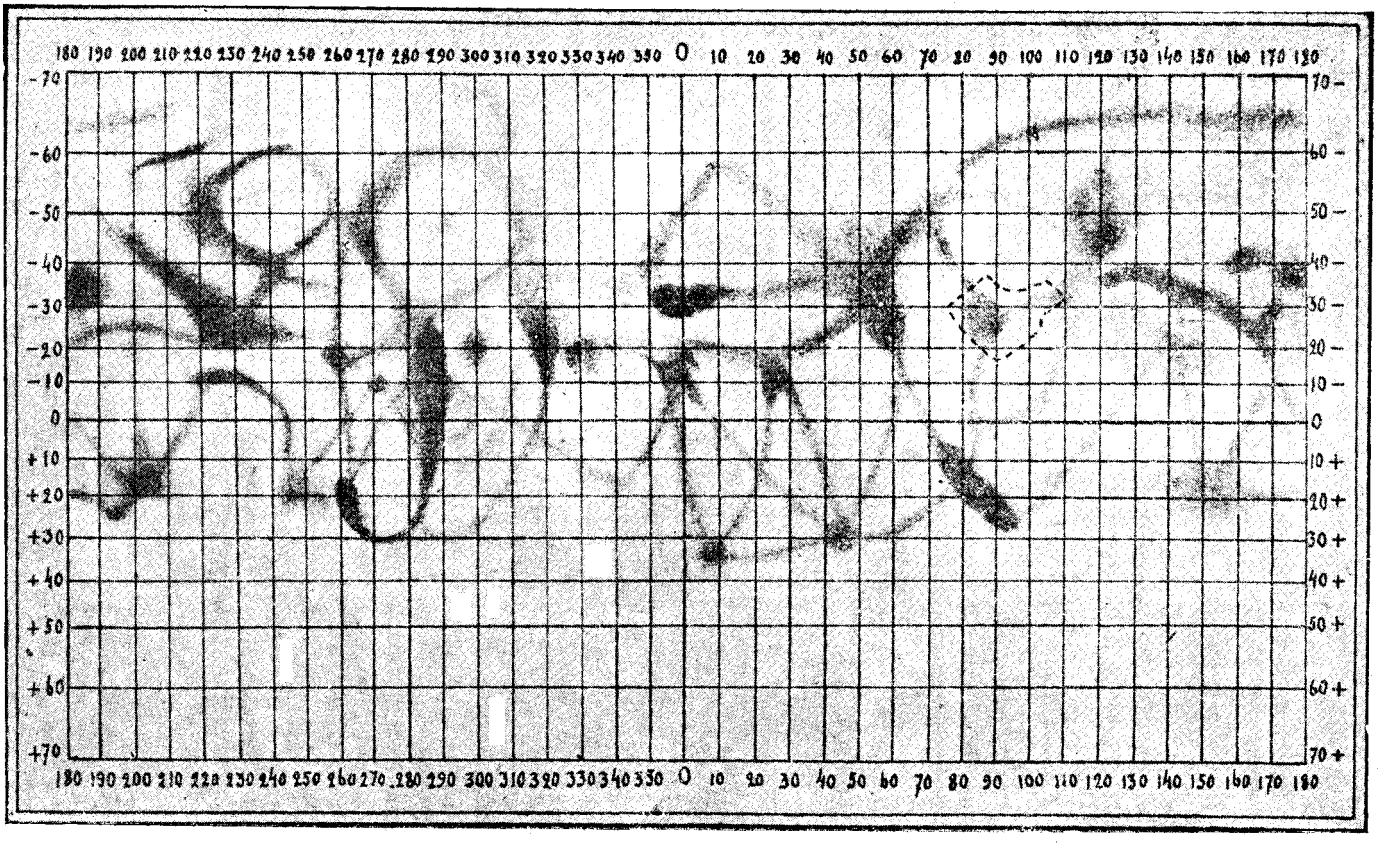


Рис. 93. Карта Марса за спостереженнями автора.

зроблені крізь фільтри, які пропускають проміння довгих хвиль — це зображення самої поверхні плянети, тим часом, як фотографії крізь фіялковий та ультрафіялковий фільтри — це зображення її атмосфери, освітленої розсіяним у ній світлом, що приховує деталі самої поверхні плянети.

Розглянувши кілька таких фотографій, можна також зробити висновок, що й більша частина полярної шапки — це не тверді утворення опадів на самій поверхні, а хмари, що плавають доволі високо в атмосфері. Дуже цікавий той факт, що діяметр фотографічного зображення Марса більший на знятках, зроблених крізь фільтри, що пропускають світлове проміння короткої хвилі, ніж на тих, що відповідають червоним та інфрачервоним частинам спектра і являють собою фотографії не атмосфери, що оточує плянету, а самої твердої поверхні її. На основі вимірів цього збільшення діяметра Райт робить висновок, що висота Марсової атмосфери, приблизно, 200 — 300 км.

Слід відзначити, що на Райтові погляди з приводу висоти атмосфери багато астрономів не пристають.

Такі основні наслідки досліджування Марса крізь світлофільтри. Щодо хемічного складу атмосфери, то тепер можна вважати за доведене, що в ній є і кисень, і водяна пара, але багато менше, ніж у земній атмосфері.

Дуже важливе питання для того, щоб довідатися за фізичні умови на поверхні Марса — це питання про те, яка там температура. Цілий ряд дослідників, зокрема фізик Сванте Арреніюс вважали, що як Марс від Сонця лежить далеко дальше, ніж Земля, то й температура там взагалі дуже низька, і навряд чи навіть удень підноситься вище за 0^0. Проте, останнього часу, коли можна стало безпосередньо вимірювати температуру в різних частинах поверхні плянет, наслідки для Марса виходять зовсім інші. Виміри, що їх зробив Кобленц чутливим термоелементом, приміщеним у фокусі стоцалевого рефлектора Моунт Вілсонівської обсерваторії, а також на обсерваторії Ловелла у Флагстафі, дали також дуже цікаві наслідки. Південна полярна пляма під час свого розтавання 1924 р. мала температуру, що зросла з -100^0 до -15^0. Ті частини Марса, де починався ранок, мали температуру -85^0. Ті ділянки плянети, де був південь, і соняшне проміння падало майже вертикально, мали температуру $+15^0$. На тім краю плянети, де надходив вечір, температура була 0^0. Мабуть, до всіх цих температур, як думає, між іншим, і сам Кобленц, треба додати $+10^0$, щоб мати температури, цілком відповідні дійсності. Цікаво, що жовтогарячі ділянки мають пересічно температуру градусів на 15 — 20 нижчу, ніж темні плями. Якщо порівняти температурні умови на Марсі і на Землі, то вони у Верхоянську мало чим різнитимуться від температурних умов на Марсі.

Отже, Марс зовсім не є замерзла крижана пустеля, що ніколи не відмерзає, а безперечно там є всі умови, потрібні для життя.

Крім того, дуже багато шансів за те, що частина спостеріганих змін у темних ділянках його є наслідок рослинности. Проте, відповісти на питання, що так цікавить багатьох, а саме — чи є на Марсі тепер доволі розвинені живі істоти, — ми не можемо. Розв'язати цю загадку може тільки майбутнє.

Довкола Марса обертається два його супутники — два його місяці: Фобос і Деймос. Вони дуже малі, і їх можна спостерігати лише в дуже потужні труби. Віддаль між Фобосом та Марсом — 6000 км, тобто в 60 раз менша, ніж віддаль між Землею та Місяцем; Фобос робить свій обіг за 7 год. 39 хв. Він обертається швидше, ніж сама плянета, а тому спостерігачеві на Марсі здаватиметься, що цей супутник сходить на заході і заходить на сході. Деймос обходить довкола Марса за 30 годин; віддаль між плянетою та цим супутником 20000 км.

Малі плянети (астероїди)

Три відомі вже нам Кеплерові закони змусили шукати ще інших відношень, що характеризували б рухи плянет. 1772 р. Боде і 1766 р. Тіціюс установили певну числову залежність між пересічними віддалями плянет від Сонця. Ми побачимо, що ця залежність дає змогу обчислити відносні віддалі плянет від Сонця; проте, для деяких плянет вона відходить від дійсности, отже, ще й досі не пощастило з'ясувати, що таке, власне, ця залежність, і як вона зв'язана з відомими вже нам законами руху плянет. Ось це відношення Тіціюса-Боде.

Візьмімо такий ряд чисел: 0, 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192, 384, 768, додамо тепер до кожного з цих чисел по чотири, і поділимо добуті результати на 10. Тоді виходять числа, що певною мірою дають відносні віддалі плянет від Сонця, де віддаль Сонця від Землі взято за одиницю. Нижче ми подаємо табличку, де наведено віддалі плянет від Сонця, — з одного боку обчислені на підставі ряду Тіціюса-Боде, а з другого боку ті, що є справді:

Плянети	Віддалі на підставі ряду Тіціюса-Боде	Справжні віддалі
Меркурій	0,4	0,39
Венера	0,7	0,72
Земля	1,0	1,00
Марс.	1,6	1,52
Малі плянети	2,8	1,5 — 5,3
Юпітер	5,2	5,2
Сатурн	10,0	9,55
Уран.	19,6	19,22
Нептун	38,8	30,11
Плутон.	77,2	39,5

З цієї таблички видно, що для деяких плянет ряд Тіціюса-Боде дає дуже неточні результати.

Наведене вище правило Тіціюса-Боде давало підстави гадати, що між Марсом і Юпітером має бути плянета з віддаллю 2,8, а тим часом спроби виявити тут плянету не давали ніяких наслідків.

Тільки 1 січня 1801 р. італійський астроном Піяцці відкрив першу плянету близько цієї віддалі. Цю плянету назвали—Церера. Згодом виявилося, що Церера — лише одна з багатьох малих плянет, або, як їх ще інакше називають, астероїдів, що обертаються між Марсом та Юпітером. Тепер їх відомо вже над 1200, і щороку відкривають нові й нові.

Своїми розмірами малі плянети — це дуже невеликі світила. Найбільші з них мають діяметри, навряд чи більші за 900 км, найменші — менше 10 км. Це якесь груддя, що обертається між Марсом та Юпітером.

Маса всіх малих плянет, разом узятих, не більша, очевидно, за кілька сотих маси Землі.

Час обігу малих плянет довкола Сонця — від 2 до 12 років. Більша ж частина астероїдів має періоди обертання 4 — 5 років. Дві малі плянети — Ерос та Альберт — заслуговують на особливу увагу: орбіти їх такі, що з цими плянетами дуже зручно визначати сонцеву паралаксу, бо вони можуть підходити до Землі майже в $2^1/_2$ рази ближче, ніж Марс. Еросова орбіта так витягнена, що частина її лежить всередині Марсової орбіти; отже, тут Ерос рухається, власне кажучи, між Землею і Марсом. Друга частина орбіти лежить між путями Марса та Юпітера. Альберт, що рухається як і Ерос, під час свого найбільшого віддалення від Сонця ближче підходить до Юпітерової орбіти, ніж до Марсової. Діяметри цих плянет не більші за 16 і 5 км. Вивчання руху малих плянет, особливо деяких груп цих тіл, має спеціяльний інтерес, бо вони дають змогу перевіряти та поглиблювати деякі висновки теоретичної механіки.

Особливо цікаво те, що останнього часу виявлено несталість яскравостей та кольору кількох малих плянет протягом коротких періодів часу. Це дає змогу зробити висновок, що деякі з них, мабуть, мають некулясту форму, і, обертаючись подібно до великих плянет, довкола своєї осі, дають згадані відміни яскравости та кольору. Це, очевидно, якісь великі „уламки“ неправильної форми, що обертаються під час свого льоту довкола себе. Можливо, що деякі з малих плянет — це подвійні тіла, де один уламок обертається коло другого, і разом з тим вони вкупі обертаються довкола Сонця.

Зміна кольору свідчить, мабуть, про те, що малі плянети неоднаково забарвлені з різних боків.

Вивчання спектрів малих плянет останнього часу довело, що деякі з них мають спектри, дуже подібні до спектрів комет; за них ми говоритимемо далі. Це дає підстави деяким астрономам підозрівати якийсь, покищо невідомий, зв'язок між кометами та малими плянетами.

Плянета Юпітер.

За порядком віддалености від Сонця далі стоїть Юпітер — найбільша та наймасивніша плянета нашої сонцевої системи. Її екваторіяльний діяметр становить 143000 км. Маса в 318 разів більша за земну, а густина становить лише 0,24 земної густини. Юпітер дуже стиснений коло полюсів. Стисненість ця становить $^1/_{15}$ і відразу впадає в око, коли подивитись в телескоп.

Юпітер обходить довкола Сонця за 11,86 року, і разом з тим обертається довкола осі, що стоїть майже перпендикулярно до його орбіти. Цікава особливість цього обертання та, що Юпітер як і Сонце, обертається не як щось суцільне, а смугами. Тривалість обігів його різних зон буває від 9 год. 48 хв. до 9 год. 55 хв.; найшвидше на Юпітері, як і на Сонці, обертається його екваторіяльна зона. Причини цього явища, мабуть, ті повітряні течії, що є в густій атмосфері Юпітера. Ми, власне, і спостерігаємо цю атмосферу в наші телескопи, бо величезні хмари, що плавають в них, не дають нашому зорові пройти до самої поверхні плянети. Щодо самої поверхні Юпітера, то вона, мабуть, через велику свою масивність, гарячіша, ніж Земля, але не так нагріта, щоб помітно випускати власне тепло. Про це свідчать виміри температури, що їх робив Кобленц; ці виміри доводять, що на границі хмар плянети температура становить — 130°. Юпітер оточений дуже густою атмосферою, де на різних висотах плавають хмарові утворення. Ми спостерігаємо їх, як смуги, що перетинають диск Юпітера вздовж екватора, а також, як плями різної форми. Взагалі кажучи, на видимій Юпітеровій поверхні не можна найти нічого сталого; всі видимі там утворення швидко й дуже змінюються на вигляд.

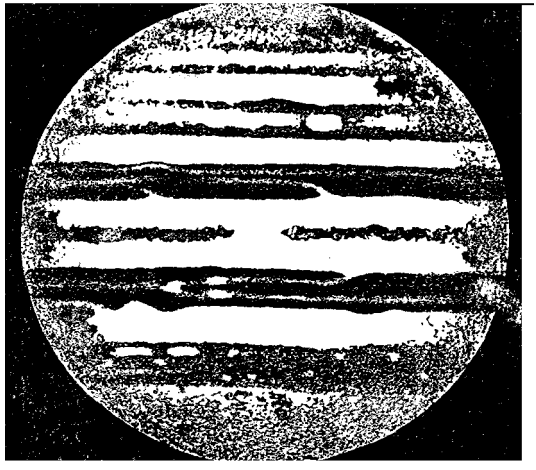


Рис. 94. Юпітер.

У першій половині 1878 р. на Юпітері помічено велику червону пляму: її видно й досі — це ніби якесь жовтяво-рожевувате утворення. Воно — найсталіше утворення з усіх, що їх пощастило колинебудь спостерігати на Юпітері. Точно встановити природу його ще не пощастило; проте, на підставі фото-

графічних досліджень останнього часу, можна думати, що це також якесь утворення, що плаває в атмосфері плянети. Спектральні досліди показують, що лінії вбирання, які відповідають водяній парі, помітно посилені в спектрі Юпітера. Це дає підставу припускати, що в атмосфері Юпітера багато водяної пари Такий висновок цілком потверджується безпосереднім спостерігганням у телескоп хмарових утворень цієї плянети. Крім того виявлено ще кілька ліній вбирання, властивих Юпітеровій атмосфері, що їх і досі не пощастило ототожнити з відомими нам газами.

Фотографії Юпітера крізь світлофільтри дають нам ту саму картину, що її маємо і для Марса. Проте, тут навіть і крізь червоний фільтр ми, очевидно, не можемо розглянути самої поверхні Юпітера, через дуже велику густину атмосфери, а спостерігаємо лише нижні, близькі до поверхні шари та явища, що в них відбуваються. Про густину цієї атмосфери свідчать навіть безпосередні спостереження в телескоп, бо дуже виразно помітно потемнення Юпітерового диску в міру наближення до краю. Це є наслідок того, що багато світла вбирається на краю, де світлу доводиться проходити довшу путь у його густій атмосфері, ніж коло середини диску.

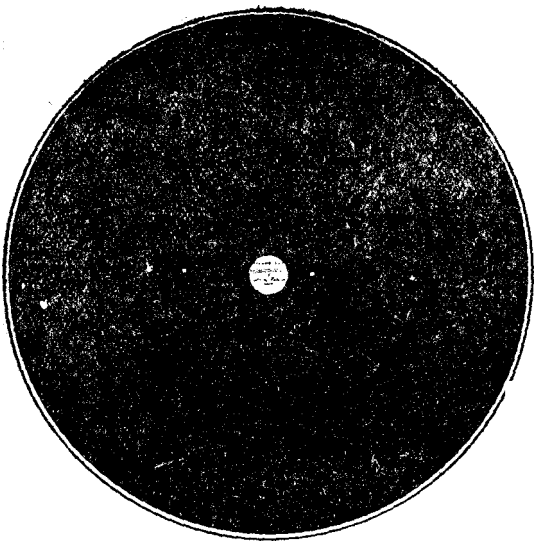


Рис. 95. Юпітер із супутниками.

Юпітерові супутники.

Довкола Юпітера обертається 9 супутників, 9 його місяців. Чотири з них відкрив ще Галілей своєю примітивною трубою. Їх можна побачити вже в добрий бінокль. У наймалосилішу трубу їх видно вже добре. Два з цих супутників своїми розмірами трохи більші, ніж Меркурій. Найменший майже такий, як наш Місяць. Ці чотири „Галілеєві“ Юпітерові супутники обертаються в площині його екватора, а тому ми можемо спостерігати різні явища, що відбуваються в цій системі. Що площина Юпітерового екватора майже збігається з лінією нашого зору, рухи цих чотирьох супутників видаються нам як щось подібне до коливання їх

коло Юпітера. Їх видно то з одного боку плянети, то вони переміщуються на другий, проходячи або перед плянетою, або за нею. Коли супутник проходить перед Юпітером, його можна бачити на диску плянети, як невеличке або ясне, або темне кружальце. Іноді можна бачити і тінь, що її, ніби чорне кружальце, кидає супутник на хмарну поверхню Юпітера. Ця тінь поволі перетинає диск Юпітера і, нарешті, зникає. Можна також спостерігати, як супутники ховаються за корпус плянети під час свого проходження за ним; іноді бачимо, що вони бувають у конусі тіні, що падає від Юпітера, і на якийсь час стають невидні. Це, так зване, затемнення Юпітерових супутників. Спостерігання початку і кінця цих явищ дає змогу визначити (з точністю до кількох секунд) поправку годинника або довготу місця, коли порівняти спостерігані моменти початку або кінця згаданих явищ з тими, що їх обчислено наперед та друкується в астрономічних календарях. Час обігів їх — від $9^3/_4$ до 16 день.

Крім цих чотирьох давно відомих уже супутників Юпітера останнього часу відкрито ще п'ять нових супутників. Ці останні п'ять Юпітерових супутників такі бліді, що бачити їх можна тільки в дуже сильні труби.

Особливо цікаві своїм рухом 8-й і 9-й супутники, відкриті 1908 і 1914 років; вони обертаються в протилежний бік проти інших семи. Крім того, вони такі далекі від Юпітера, що підлягають і притягові Сонця, бо притяг самого Юпітера на тій віддалі, де вони обертаються, уже досить малий. Тому рухи їх дуже складні, і щоб не спустити їх з ока, доводиться обчислювати точні положення їх і стежити за ними фотографічно. Можлива річ, що вони незабаром перестануть бути супутниками Юпітера, вирвавшись із сфери його притягу. Спостерігання явищ у системі Юпітерових супутників дали змогу Ремерові 1675 року виміряти швидкість світла.

Сатурн.

За Юпітером далі від Сонця йде Сатурн. Його діяметр — 121 000 км. Маса Сатурна становить всього 95 земних мас, а густина — 0,12, тобто ця плянета має найменшу густину з усіх плянет нашої сонцевої системи. Довкола Сонця він обходить за $29^1/_2$ років. Повний обіг довкола своєї осі він робить за 10 год. 15 хв.

Своєю будовою Сатурн усім подібний до Юпітера. Його оточує така сама густа атмосфера. Помітні також хмарові смуги, та плями. Спектральні дослідження, що їх робили Фогель, Кіллер та Ловелл, показують, що спектр Сатурна усім подібний до спектра Юпітера, а це свідчить за те, що й атмосфери цих плянет мають бути доволі подібні. Вимірювання температури на рівні хмарового шару плянети дали—150^0, тобто на 20^0 нижче,

ніж для Юпітера. Це свідчить за те, що поверхня Сатурна не може бути дуже нагріта, бо інакше вона посилала б досить тепла, щоб його відчувалося навіть на висоті хмар. Проте, мабуть температура поверхні Сатурна вища за температуру поверхні Землі. Сатурн так само, як і Юпітер, дуже стиснений коло полюсів, і стисненність його становить $^1/_{10}$, але примітити це важче, ніж у Юпітера, бо довкола Сатурна є світлове кільце.

Сатурнове кільце.

З першого погляду на Сатурн навіть у малопотужну трубу ми помічаємо, що його оточує з усіх боків широке ясне кільце. Це кільце колове і охоплює кулю Сатурна з усіх боків, ніде до неї не торкаючись. Як еліптичне ми його бачимо через те, що площина його ніколи не може стати перпендикулярно до лінії нашого зору. Зокільний діяметр кільця становить майже 276 000 км. Середовий край від поверхні самої плянети лежить на 27 100 км. Грубина кільця дуже невелика і, за даними останніх спостережень, не більша як 15—20 км. Маса матерії, що з неї складене кільце, також дуже мала. Вона дорівнює $^1/_{100000}$ маси самого Сатурна, отже становить менше, ніж $^1/_{10}$ маси нашого супутника — Місяця.

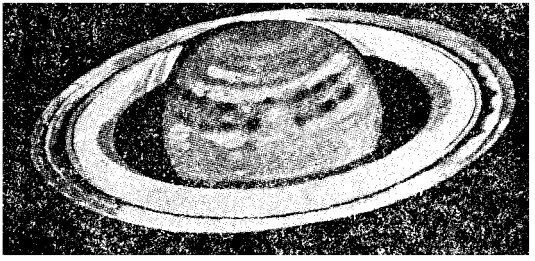


Рис. 96. Сатурн.

Глянувши на кільце в досить потужний телескоп, можна помітити, що воно не суцільне, а темні переміжки поділяють його на кілька окремих кілець, що утворюють цілу систему.

Щодо природи та будови кілець, то теоретичні досліди та безпосередні спостереження свідчать за те, що кільце не може бути геть усе твердим або течним тілом. Така будова не могла б дати кільцю належної тривкости, і воно неминуче розривалося б на окремі частини.

Тепер можна вважати за доведене, що кільце—це величезне скупчення окремих маленьких тілець—супутників. Мабуть, вони розмірами не більші за пісчинки чи порошинки, хоч може бути, що між ними є і трохи більші.

Спостерігаючи відбіги спектральних ліній у різних ділянках кільця, пощастило виміряти швидкости цих ділянок і довести, що різні точки цієї системи обігають довкола Сатурнової кулі, цілком відповідаючи третьому Кеплеровому законові. Тим-то й не можна ніяк припустити, що кільце — суцільна маса.

Кільце не завжди для нас однаково відкрите. Площина кілець, коли Сатурн рухається довкола Сонця, лишається паралельна з собою самою і похила до площини орбіти на кут 27^0; а тому й виходить, що при кількох положеннях кілець супроти Землі площина їх проходить через Землю. Спостерігач, що дивиться з неї, бачить їх у ребро. Потім, у міру того, як Земля виходить з площини кілець, вони потроху починають відкриватись, набираючи еліптичної форми. Дійшовши певного максимального розкриття, кільця знову починають закриватись, перетворюючись на пряму лінію (див. рис. 97). Під ці моменти кільце здається як дуже бліда вузенька сірувата смужечка, і то лише в потужні труби. У труби середньої сили цього кільця не можна бачити зовсім, бо воно дуже тонке. Тоді ми бачимо Сатурн без кільця, і він подібний на вигляд до Юпітера.

Що кільця зникають для нас, коли площина їх проходить крізь Землю, а повний обіг довкола Сонця Сатурн робить за $29^1/_2$ років,— то таке зникання має пересічно відбуватись через кожні 15 років. Через такі самі періоди часу система і найбільше розкривається.

Останнє зникнення кілець можна було спостерігати взимку 1920-21 року.

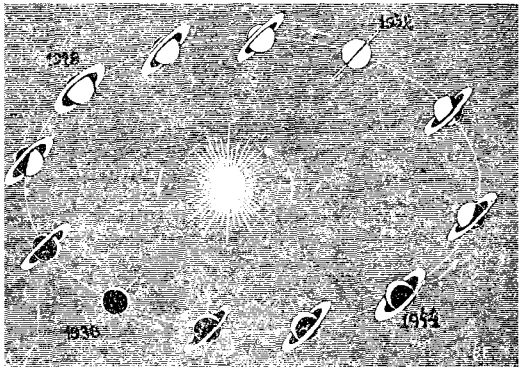


Рис. 97. Зміна вигляду Сатурнових кілець.

Сатурнові супутники.

Крім системи Сатурнових кілець, що їх ми розглянули, довкола цієї плянети обертається ще 10 супутників. Найбільший з них—Титан—має діяметр 4100 км. Решта набагато менші розмірами. Другий супутник—Япет—цікавий тим, що його яскравість періодично дуже змінюється. Це можна пояснити тим, що одна Япетова півкуля має бути куди темніша за другу, і що він обертається довкола своєї осі якраз протягом того самого часу, коли відбувається і повний цикл зміни його яскравости.

З усіх супутників найближче до Сатурна обертається Мімас Він обходить довкола Сатурна менше, як за одну добу, і дуже близько стоїть до зокільного кільца.

Найдальший супутник Феба—лежить від Сатурна на віддал в 70 раз більшій, ніж Мімас, і обходить довкола Сатурна з 1,5 року.

Уран і Нептун.

Обидві ці плянети менші, ніж Сатурн, але більші за Землю. Уран, що його відкрив Гершель 1781 року, має діяметр у чотири рази більший за діяметр нашої Землі. Його маса більша за земну в 13 разів,— отже, густина Урана становить лише $^1/_5$ густини Землі. Обходить Уран довкола Сонця за 84 роки.

Нептун відкрив 1846 року Левер'є і незалежно від нього— Адамс. Досліджуючи неправильности руху Урана, вони дійшли висновку, що ці неправильності є наслідок притягу якоїсь невідомої плянети, що змінює трохи путь Урана, обертаючись за межами його. На підставі своїх обчислень вони визначили те місце на небі, де треба шукати нову плянету. І справді, дуже недалеко від визначеної точки плянету й найшли. Це відкриття слід уважати за велику перемогу небесної механіки та обчислювальної астрономії взагалі, бо Нептуна, коли можна так сказати, відкрито „на кінчику пера", з самих лише обчислень.

Радіюс Нептуна майже в чотири рази більший за радіюс Землі. Маса в 16 разів більша за масу Землі, а густина у три рази менша. Обходить він круг Сонця за 165 років. Про дві ці плянети ми знаємо дуже мало. На їхніх блідих і далеких дисках майже нічого не можна побачити навіть в найпотужніші сучасні інструменти. Встановлено лише, що на цих плянетах є смуги, подібні до смуг на Юпітері та на Сатурні. Точно визначити час оберту цих плянет довкола осі досі не пощастило. Проте, зі спостережень за зміною яскравости (вважаючи, що вона залежить від різниці відбивної здатности обох їхніх півкуль) дізналися, що для Урана час оберту становить 10 год. 30 хв, а для Нептуна від 8 год. до 15 год.

Спектри цих обох плянет дуже подібні один до одного. В них виявлено також велику подібність до спектрів Юпітера й Сатурна.

У спектрі Урана помітно велике посилення водневих ліній. Обидві ці плянети, так само, як Юпітер і Сатурн, оточені грубими та густими атмосферами.

В Урана відомо чотири дуже бліді супутники. У Нептуна — один. Супутники Урана і Нептуна мають зворотний рух.

Плутон.

Остання з відомих досі плянет нашої сонцевої системи — це Плутон, відкритий у березні 1930 року на обсерваторії Ловелла в Арізоні (ПАСШ). Ловелл, Пікерінґ та інші астрономи, наслідуючи Адамса та Левер'є, гадали, що за межами орбіти Нептуна може бути ще одна чи дві плянети, що порушують нормальний рух Нептуна та Урана. Задовго до того, як відкрити Плутона, роблено обчислення, щоб визначити ту ділянку неба, де треба шукати ці найдальші від Сонця плянети. Найбільше

шукали плянету на обсерваторії Ловелла,— нарешті, там і відкрито Плутона.

Відкривши Плутона, почали обчислювати його орбіту, визначати його розміри, масу тощо. Спочатку Плутона вважали навіть не за плянету, а за нову комету. Розглядаючи старі фотографії видно, що на деяких із них є й Плутон. Тимто можна сказати, що ми маємо матеріял 17-тирічних спостережень над Плутоном.

Оброблення всього цього матеріялу дає змогу зробити такі висновки.

Час обігу Плутона круг Сонця — 248,43 року. Велика піввісь орбіти — 39,5 віддалей Землі від Сонця. Нахил площини Плутонової орбіти до площини земної орбіти $17^0\ 8'\ 48''$. Крім того, всі досліди, роблені досі, свідчать про те, що маса Плутона навряд чи більша за 0,1 земної маси. Світить Плутон, як зоря 15-ї величини, і тому його можна спостерігати лише в дуже потужні труби.

З цією плянетою кінчаться, покищо, межі нашої сонцевої системи. Проте, перше ніж остаточно покинути її, нам треба розглянути ще найближче до нас тіло — нашого супутника — Місяць.

Місяць.

Найближче до Землі небесне світило— Місяць, що обертається круг неї. Діяметр Місяця становить 3472 км. Маса його — $^1/_{82}$ земної маси. Густина — 0,6. Пересічна віддаль Місяця від Землі становить 380000 км і обходить він круг Землі за 27,32 дня. Місяць має так звані фази. Коли він стає між Сонцем и Землею, до нас обернена його темна, неосвітлена частина, і через те ми зовсім не можемо бачити Місяць. Це так звана пора молодика. Поволі Місяць відходить від цього положення, і соняшне проміння починає освітлювати чимраз більшу частину його поверхні, повернутої до Землі. З'являється спочатку вузенький серп, він дедалі ширшає і, нарешті, ми бачимо освітлене півколо. Це так звана перша квадра. Освітлена частина дедалі збільшується, і коли Земля буває між Сонцем та Місяцем, ми бачимо повне освітлене коло; це так звана—*повня*. З дальшим рухом Місяця ця освітлена частина знову починає зменшуватись. Настає момент, коли знову видне освітлене півколо, протилежне тому, що його видно було в першій квадрі,— це остання квадра. Потім лишається вузький серп, і Місяць зникає знову. Це знову пора молодика.

Все це свідчить за те, що Місяць — темне тіло, освітлюване соняшним промінням, і що його фази є наслідок різних положень, в яких Місяць, рухаючись довкола Землі, буває відносно неї і Сонця.

Походження місяцевих фаз цілком зрозуміле без дальших пояснень з поданого тут рисунка (рис. 98). Цілий цикл зміни фаз Місяця становить 29,5 діб. Місяць так само, як Земля, обертається довкола своєї осі, проте, це обертання далеко повільніше, ніж у Землі. Місяць робить повний оберт довкола своєї осі за той са-

мий період часу, за який він обігає і довкола Землі, тобто за 27,32 дня. З цього виходить, що Місяць завжди має бути повернений до Землі тим самим боком, і тому спостерігач з Землі може бачити лише одну півкулю Місяця. Це наочно видно з доданого тут рисунка.

Коли Місяць пройде одну чверть своєї путі довкола Землі, числити від положення І-го, і перейде в положення ІІ-е, то точка *a*, що в тім положенні була спрямована до Землі, буде так само і в ІІ-му спрямована до Землі, обійшовши довкола осі Місяця на 90° тобто на чверть оберту (див. рис. 99).

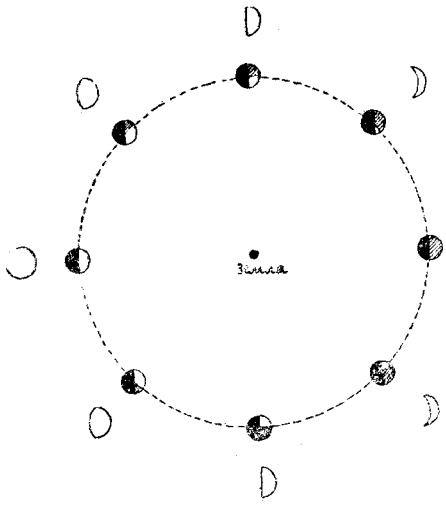


Рис. 98. Пояснення фаз Місяця.

Проте, не можна сказати, що ми завжди бачимо точно половину місяцевого диску. Є причини, так звані *лібрації*, що дають нам трохи заглядати і в другу його півкулю.

Місяць рухається по своїй орбіті нерівномірно, а довкола осі обертається рівномірно; через те й буває так звана лібрація за довготою.

З рисунка наприклад, добре видно, що коли Місяць обернеться довкола своєї осі рівно на одну чверть обігу або на 90° по своїй орбіті, він пройде дещо більше, ніж чверть путі, отже й повернеться довкола Землі на кут, більший за 90°. (Положення І і ІІ). Через те спостерігачеві, що дивиться з Землі, здаватиметься, ніби точка, що була для нього в центрі видимого диску Місяця (положення І, положення ІІ), відхилиться вліворуч від центра. Вліворуч таки зсунуться й точки, що були в положенні І на самім правім краю. Через те ми побачимо у положенні ІІ точки, що в положенні І лежали за видимим краєм. Отже, можна буде спостерігати більше, ніж одну півкулю Місяця Є ще лібрації від інших причин. Наприклад, широтна лібрація паралактична і фізична. Через спільний чин усіх цих лібрацій ми можемо бачити загалом не 0,5 усієї поверхні Місяця, а майже $^3/_5$

Ми бачили, що Місяць своїм притягом спричиняє на Землі приплиги та відпливи. Такий самий вплив чинить і Земля на Місяць. Якщо навіть Місяць обертався довкола своєї осі в далекім

минулім багато швидше, ніж тепер, то великі припливи всередині Місяця, що їх спричиняла Земля, мали поволі гальмувати це його обертання і звести кінець-кінцем швидкість обігу довкола осі до тієї величини, що її Місяць має тепер, тобто до 27,32 доби. Крім того, в наслідок великого притягу від Землі, Місяць мав трохи витягтись у напрямі до Землі, набравши еліпсоїдальної форми. Це спостерігаємо й справді: діяметр Місяця, напрямлений до Землі, майже на 3 км довший за діяметр, перпендикулярний до нього.

Спостерігаючи Місяць навіть голим оком, ми бачимо, що його поверхня неоднорідна. Є темніші і ясніші ділянки. Коли ми розглядаємо їх у телескоп, то бачимо все добре і виразно. Темні плями—це величезні западини, темніші, ніж поверхня навколо їх. Ці западини звуть — моря, хоч у них і немає жодної краплі

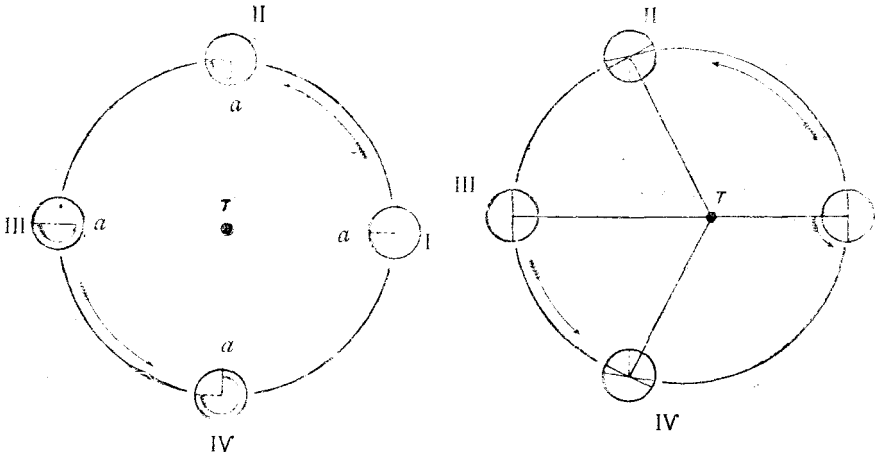


Рис. 99. Обертання Місяця.

води. Менші темні плями звуть — затоки, озера, болота, хоч там знову таки немає води. Назви, що їх дано цим темним ділянкам, дуже химерні, збереглися від тих часів, коли думали, що Місяць дуже впливає на життя на Землі. Приміром, на Місяці є болото Снів, океан Бур, море Дощів, озеро Смерти тощо. Щоб обізнатися з цими утвореннями, а також і з іншими, що їх видно на Місяці в телескоп, досить розглянути подану мапу поверхні Місяця (рис. 100). Треба сказати, що Місяць так недалеко від Землі, що мапа видимої поверхні Місяця далеко докладніша, ніж мапи багатьох місцевостей на Землі, що у нас є.

Крім морів, на поверхні Місяця видно багато гір. Увесь Місяць вкритий горами. Ці гори здебільшого круглі, всередині порожні. Це—вали, що всередині за ними іноді стремить одна або кілька центральних гірок. За свою подібність до земних вулканів ці гори дістали назву кратерів, а дуже великі звуть цирки. Є на Мі-

сяці і гірські пасма; трапляються іноді і поодинокі підвищення — горби та гори

Найдокладніші мапи Місяця дають змогу перелічити щось із 30000 кратерів; розміри їх дуже різні, починаючи від дуже маленьких і кінчаючи такими, що їх діяметри доходять 100 — 200 км

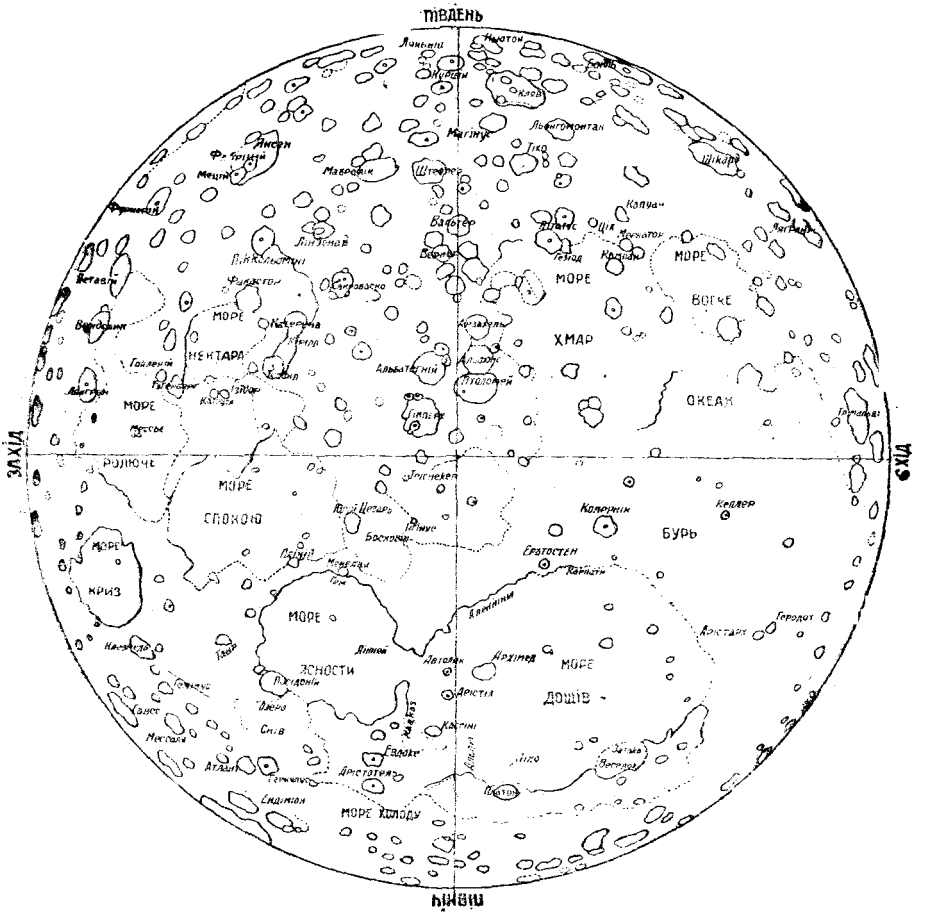


Рис. 100. Мапа поверхні Місяця.

Найвищі гори підносяться до 8 км над поверхнею Місяця. Найбільше гірське пасмо на Місяці звуть *Апеніни.*

Крім усього переліченого в багатьох місцях поверхні Місяця є борозни, різні довжиною та формою, що простягаються іноді на

багато кілометрів. Це, очевидно, не інше що, як глибокі розколини у поверхні нашого супутника. Під час повні можна ще помітити, як від деяких кратерів, наприклад — Тіхо і Коперніка на всі боки радіюсами розбігаються ясні смуги, так зване „Ясне Проміння“ Досліди доводять, що це не заглибини й не підвищення. Очевидно, у цих місцях поверхня Місяця складена з дуже пористих речовин, наприклад лави, що більш пориста і більше відбиває світло, ніж навколишня поверхня Місяця.

Цікаві ще деякі темні плями, розкидані подекуди на поверхні Місяця у морях та кратерах; що ближче до повні, то дужче темнішають ці темні плями. Це не тіні, бо перед повнею вони мали б зникати.

Деякі дослідники вважають, що в цих місцях під впливом соняшного проміння розвивається квола місяцева рослинність—мохи та обрісники; але навряд чи це може бути.

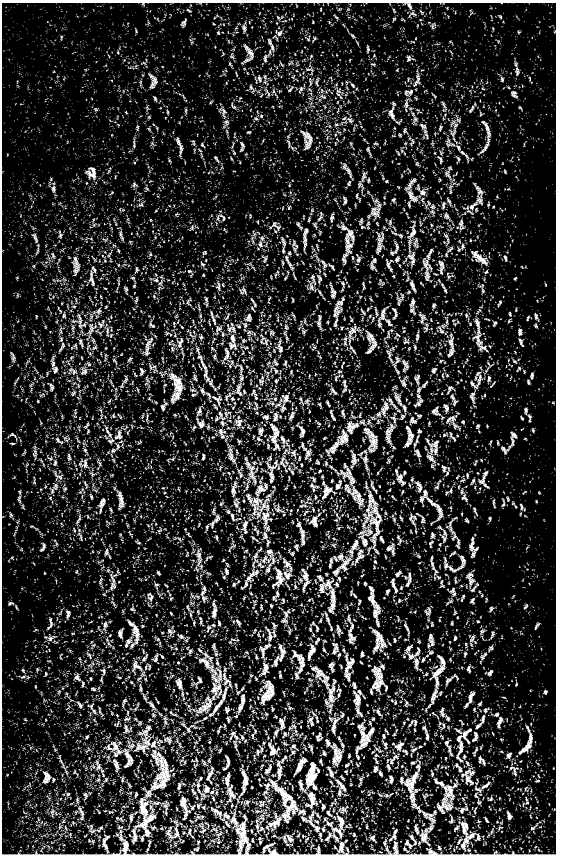


Рис 101 Частина поверхні Місяця

Найшвидше, в цих місцях осідає дуже тонкий шар паморозі з дуже рідкої місяцевої атмосфери під час двотижневої ночі, а потім під впливом соняшного проміння він розтає, і ми помічаємо під ним темніші породи

Атмосфера і вода

Безпосередньо спостерігаючи в телескоп поверхню Місяця, ми пересвідчуємось, що на цім найближчім для нас небеснім

притягом не можуть затримувати дуже швидких рухомих частинок, але можуть затримати важкі гази, бо частинки їх рухаються повільно. Кожна маса має свою граничну швидкість, тобто маса даної величини може затримувати коло себе гази, що їх часточки рухаються з швидкістю меншою, ніж ця гранична. Гранична швидкість для Землі, наприклад, становить 11,2 км на секунду, і тому Земля не може досить добре затримувати такий газ, як водень. Він має порівняно швидко розсіюватись. Інші гази, наприклад — водяна пара і така суміш газів, як повітря, — мають відповідно швидкості 1,6 і 1,0 км на секунду; тому їх міцно тримає земний притяг. Для Місяця гранична швидкість — 1,4 км, і тому навіть ці гази для Місяця надто рухомі, і їх не може міцно й довго тримати надто малим притягом Місяця. От чому Місяць так швидко позбувся газової оболонки, що могла бути на їм в дуже далекім минулім. От чому небесні тіла з малими масами не можуть мати густих атмосфер, і, навіть, наша Земля ступнево, хоч і надзвичайно повільно, втрачає деякі особливо легкі гази.

Температура поверхні на Місяці.

Хоч Місяць, як ми вже бачили раніше, завжди повернений до Землі тим самим боком, але до Сонця він повертається всіма частинами своєї поверхні так, що в кожній точці на нім день і ніч триває майже по два тижні. Щоб уявити собі як слід умови на поверхні Місяця, важливо знати і ту температуру, що її має поверхня на Місяці вдень і вночі. Для того роблено різні виміри з термоелементами, і ці виміри довели, що в точках поверхні Місяця, де соняшне проміння падає вертикально, температура поверхні під час довгого дня на Місяці підноситься до 120 — 140°, тобто вище за точку кипіння води в наших земних умовах. Вночі ж вона спускається до — 100°, або навіть ще й нижче. Отже, температурні зміни можуть мати величезну амплітуду — 240 градусів. Відсутність атмосфери і величезні зміни температури роблять з Місяця мертву пустелю, де немає нічого живого і де панує мертва тиша, бо звук не може передаватись у такій розрідженій атмосфері.

Щодо змін на поверхні Місяця, то досі не можна назвати й однієї такої, що її було б цілком доведено. Жодного вулканічного вибуху за ввесь час спостерігання там не виявлено, вулканічна діяльність абсолютно припинилася на Місяці. Ті зміни, що їх помічають іноді спостерігачі в різних місцях поверхні на Місяці — це, очевидно, не зміни, а наслідок різного освітлення тих ділянок. Безперечно одне, що від великих температурних змін там порепалися гірські породи, утворивши завали та розколи. Сліди таких змін легко можна виявити в телескоп.

Дуже важливе питання — про склад поверхні Місяця та про ті гірські породи, що з них вона складена. Зроблено багато дослідів з фотометричними, кольориметричними та поляризацій-

тілі немає скількинебудь густої атмосфери. Усі деталі на поверхні нашого супутника вистають надто чітко й виразно. Гірські пасма, окремі гори і вали кратерів кидають від себе прикрі чорні тіні. Ніколи не можна спостерігати розмитости в контурах тіней, як це буває на Землі. Непомітно й імли, що робила б обриси того чи іншого утворення розмитими та неясними. Ніколи не пощастило ще спостерігати хмар чи туманів. Непомітно також ніяких явищ присмерку на ранішнім чи вечірнім краю місяцевого диску. Там ніч і день настають одразу без ступневого переходу, як то буває на Землі, де є атмосфера. Саме вже це досить очевидно свідчить про те, що на Місяці немає атмосфери і водяної пари. Спостерігаючи покриви зір від Місяця, ми ще більше пересвідчуємось у тім.

Рухаючись довкола Землі, Місяць часто проходить перед тією чи тією зорею і через те закриває їх від нашого ока своїм темним корпусом. Ці явища мають назву — покриви зір від Місяця. Під час покриву, зоря спочатку ховається за східнім краєм Місяця, певний час лишається невидна, а потім знову виходить з-за його західнього краю. Покриви бувають різної тривалости, як до того, як Місяць покриває зорю. Коли б Місяць був оточений скількинебудь помітною атмосферною оболонкою, то, зоря, ховаючись за його краєм, потухала б не відразу, а ступнево, — сяйво зорі поволі меншало б, проходячи крізь чимраз густіші шари повітряної оболонки. Таке явище ми й спостерігаємо справді, коли бачимо, як покриваються зорі плянетами, де є більш чи менш густа атмосфера. Коли ж зорю покриває Місяць, вона гасне не поволі, а відразу. Торкнувшись краю Місяця, вона ніби моргне і відразу зникає за ним.

Все це свідчить, що на Місяці немає якоїнебудь густої атмосфери. Новітні досліди свідчать за те, що місяцева атмосфера не може мати густини більшої, ніж $\frac{1}{20000}$ земної. А як на Місяці немає атмосфери, то не може бути там і води та водяної пари. Це — безводяна і безповітряна пустеля.

Місяць утворився, відокремившись від тієї маси, що дала початок нашій Землі, а тому можна припустити, що в далекім минулім і на Місяці могла бути повітряна оболонка. Проте, місяцева маса була невелика, а тому невеликий був і притяг від Місяця; через те ця оболонка мала порівняно швидко покинути поверхню Місяця і розсіятись у світовім просторі.

За кінетичною теорією газів, частинки (молекулі), що з них складений кожний газ, швидко рухаються. Швидкості руху цих частинок залежать від маси молекуль і від тієї температури, що її має даний газ. У легшого водню ці швидкості більші, ніж у важчого кисню та водяної пари. Від руху частинок, вони можуть вилітати за межі атмосфери небесного тіла і покидати її назавжди. Що масивніше небесне тіло, то дужче притягує воно і, отже, затримує свою атмосферу. Мало масивні тіла з малим

притягом не можуть затримувати дуже швидких рухомих частинок, але можуть затримати важкі гази, бо частинки їх рухаються повільно. Кожна маса має свою граничну швидкість, тобто маса даної величини може затримувати коло себе гази, що їх часточки рухаються з швидкістю меншою, ніж ця гранична. Гранична швидкість для Землі, наприклад, становить 11,2 км на секунду, і тому Земля не може досить добре затримувати такий газ, як водень. Він має порівняно швидко розсіюватись. Інші гази, наприклад — водяна пара і така суміш газів, як повітря, – мають відповідно швидкості 1,6 і 1,0 км на секунду; тому їх міцно тримає земний притяг. Для Місяця гранична швидкість 1,4 км, і тому навіть ці гази для Місяця надто рухомі, і їх не може міцно й довго тримати надто малим притягом Місяця. От чому Місяць так швидко позбувся газової оболонки, що могла бути на їм в дуже далекім минулім. От чому небесні тіла з малими масами не можуть мати густих атмосфер, і, навіть, наша Земля ступнево, хоч і надзвичайно повільно, втрачає деякі особливо легкі гази

Температура поверхні на Місяці

Хоч Місяць, як ми вже бачили раніше, завжди повернений до Землі тим самим боком, але до Сонця він повертається всіма частинами своєї поверхні так, що в кожній точці на нім день і ніч триває майже по два тижні. Щоб уявити собі як слід умови на поверхні Місяця, важливо знати і ту температуру, що її має поверхня на Місяці вдень і вночі. Для того роблено різні виміри з термоелементами, і ці виміри довели, що в точках поверхні Місяця, де соняшне проміння падає вертикально, температура поверхні під час довгого дня на Місяці підноситься до 120 — 140^0, тобто вище за точку кипіння води в наших земних умовах. Вночі ж вона спускається до — 100^0, або навіть ще й нижче. Отже, температурні зміни можуть мати величезну амплітуду 240 градусів. Відсутність атмосфери і величезні зміни температури роблять з Місяця мертву пустелю, де немає нічого живого і де панує мертва тиша, бо звук не може передаватись у такій розрідженій атмосфері.

Щодо змін на поверхні Місяця, то досі не можна назвати й однієї такої, що її було б цілком доведено. Жодного вулканічного вибуху за ввесь час спостерігання там не виявлено, вулканічна діяльність абсолютно припинилася на Місяці. Ті зміни, що їх помічають іноді спостерігачі в різних місцях поверхні на Місяці — це, очевидно, не зміни, а наслідок різного освітлення тих ділянок. Безперечно одне, що від великих температурних змін там порепалися гірські породи, утворивши завали та розколи. Сліди таких змін легко можна виявити в телескоп.

Дуже важливе питання — про склад поверхні Місяця та про ті гірські породи, що з них вона складена. Зроблено багато дослідів з фотометричними, кольориметричними та поляризацій-

ними методами з приводу цього; серед цих дослідів не аби яке місце мають роботи автора цих рядків у Харківській астрономічній обсерваторії; ці досліди доводять, що найтемніші частини місяцевої поверхні складені, очевидно, з темних, подібних до лави, порід, а найясніші частини подібні до порід глинястих.

Походження форм на Місяці.

Коли ми спостерігаємо місяцеву поверхню, нас мимоволі вражає те, що вона дуже порита; вражає також висота окремих гір, сила кратерів і великі розміри кількох з них. На інших небесних тілах, навіть куди більших розмірами, ми не бачимо такої нерівної поверхні. Підвищення на Марсі навряд чи мають висоту більшу за 400 м. Найвищі гори на Землі, хоч Земля далеко більша за Місяць, мають ту саму висоту, що й гори на Місяці. Відповісти на питання, чому ми спостерігаємо на Місяці таку своєрідну картину рельєфу поверхні, можна так.

Вода й вітер, як відомо, нівелюють, вирівнюють поверхні плянет зокрема й Землі. От чому рельєф земної поверхні завжди змінюється і високі гірські пасма майже цілком знищуються, а потім утворюються знову. На Місяці, де немає атмосфери й води, ці потужні сили розмивання та звітрювання не діють, а тому рельєф його поверхні лишається протягом дуже довгого часу без змін. Самі тільки температурні коливання потроху змінюють її.

Щодо походження такого своєрідного рельєфу поверхні на Місяці, то з приводу цього висловлено кілька гіпотез; про них ми коротенько тут і скажемо.

Деякі вчені думають, що ці кільцеві гори є не інше що, як кратери колись діяльних вулканів, подібних до земних. Є також думка, що це — лопнуті бульбашки газів, що дуже давно виходили з середини Місяця. Ці велетенські надими, лопаючись і прориваючи тонку, ще нестійку місяцеву корину, застигали й утворювали кільцюваті вали, такі характеристичні для кратерів на Місяці. Великі заглибини — моря могли утворитись від зниження ґрунту на Місяці під час стискання, отже й зменшення розмірами внутрішнього місяцевого ядра. Згодом розжарена лава, вилившись із щілин, що утворилися від того стискання, могла залити ці неглибокі провалля і, стверднувши, утворити те поглядно рівне дно, що його ми спостерігаємо у морів на місяці.

Крім цих гіпотез, висловлено ще так звану метеорну гіпотезу утворення місяцевих форм; ця гіпотеза визнає, що кратери утворилися від спільного чину внутрішніх і зовнішніх сил.

Відомо, що в просторі літає дуже багато темних тіл — метеорів. Вони бувають різні розміром; іноді вага їх доходить багатьох сотень тонн. Багато метеорів падає на Землю і на інші плянети. Проте, як Землю оточує густа повітряна оболонка, ніби укривало,

то метеори, пролітаючи крізь неї, хутко втрачають ту велику швидкість, що її вони мають, коли літають у світовім просторі, і, упавши на Землю, вони не мають досить сили, щоб вибити в її поверхні великі заглибини. Не так з Місяцем, де атмосфери немає. Удари великих метеорів утворювали на місяцевій поверхні великі заглибини — ями, подібні до ям від гарматнів, що їх ми можемо спостерігати на Землі і що дуже схожі на місяцеві кратери.

Геологічні досліди, а також вивчання будови поверхні на Місяці приводить нас до висновку, що всю різноманітність місяцевих форм навряд чи можна пояснити однією якоюнебудь з поданих вище теорій. Мабуть тут треба використати їх усі. І тільки спільна робота геолога та астронома зможуть дати остаточну відповідь у майбутнім.

Порівняння плянет сонцевої системи

Сучасний стан тіл, що належать до складу нашої сонцевої системи, дає нам змогу сказати дещо про їх послідовний розвиток, відзначивши деякі з етапів його.

Якщо звернути свою увагу на найменші розмірами тіла, що мали найшвидше простигнути і найдалі піти путтю свого розвитку, то насамперед нам доведеться сказати про Меркурій та Місяць, що мають бути дуже подібні один до одного своїми фізичними умовами. На обох цих тілах немає атмосфери, на поверхні обох можна спостерігати величезні температурні зміни. Далі йде Марс, що менше пішов уперед у процесі розвитку; він має ще на своїй поверхні воду та порівняно густу атмосферу, і температурні зміни на його поверхні далеко менші.

Він стоїть посередині між Меркурієм і Землею, і подібний до Землі більше від усіх інших плянет. Венера має таку саму густину і такі самі розміри, як і наша Земля; вона теж подібна до неї. З космогонічного погляду її слід уважати за плянету молодшу. Якби її не оточували такі густі хмари, то, подивившись на її поверхню, ми, мабуть, побачили б ті умови, що були на Землі в минулім.

Верхні плянети — Юпітер, Сатурн, Уран і Нептун, що за них ми не маємо ще достатніх відомостей, своїми властивостями становлять відокремлену групу плянет, що відрізняється від усіх інших. Це — величезні кулі, закутані густими грубими атмосферами, де завжди багато густих хмар. Власне тепло їх очевидно, ще велике, бо велика маса їх не встигла дуже простигнути. В їхніх атмосферах дуже багато водню. Щодо їхнього положення на скалі розвитку, то ці плянети треба поставити між Сонцем та Венерою. Отже, у плянетній системі ми бачимо майже всі стадії плянетної еволюції від верхніх плянет, що не встигли ще охолонути, і до Місяця, — застиглого та мертвого нашого супутника.

Затемнення Сонця.

Щоб закінчити опис нашої сонцевої системи, нам треба сказати про так звані сонцеві та місяцеві затемнення і виявити причину їх. Скажемо спочатку про сонцеві затемнення.

Місяць, рухаючись довкола Землі, проходить іноді між Землею і Сонцем. Якщо він стане в таке положення тоді, коли перебуває коло вузлів своєї орбіти, тобто коло точки перетину орбіт Місяця та Землі, тоді три тіла — Сонце, Місяць і Земля розміщуються або точно на одній прямій, або майже на прямій. В такім разі Місяць для деяких місць земної поверхні або цілком закриває собою Сонце, або лише почасти. Тоді й буває повне або частинне затемнення Сонця. Проте, як місяцева орбіта нахилена до екліптики, то Місяць може тоді, коли він буде між Сонцем та Землею, тобто в *момент новомісяччя*, пройти або далі на північ, або далі напівдень від Сонця і цілком не закрити його. Тоді затемнення не буде зовсім. Дуже просто можна уявити собі, що як Місяць сам невеликий (див. рис. 102), то затемнення Сонця буде різне на вигляд для різних точок земної поверхні. Для одних точок воно може бути повне, а для інших часткове. Для більшої ж частини точок затемнення не буде зовсім.

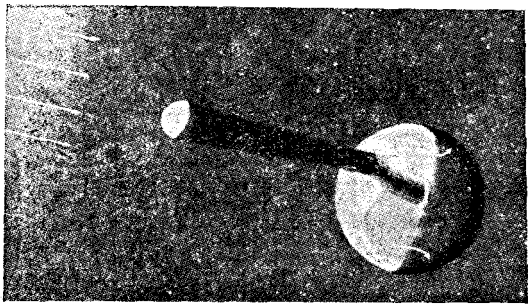


Рис. 102. Пояснення затемнення Сонця.

З рисунка 102 добре видно, що повне затемнення буде лише для того спостерігача, що попаде всередину конуса самої тіні Місяця. Тільки для тих місць земної поверхні, куди падає ця невеличка проти розмірів Землі тінь, і буде повне затемнення. Тут спостерігач може побачити, що для нього сонцевий диск буде протягом певного часу цілком закритий місяцевим диском. У ділянках, що попали всередину так званого конуса місяцевої півтіні, спостерігачі бачитимуть Місяць, що закриває лише частину сонцевого диска. Тут частинне затемнення Сонця.

Що ближче перебуває спостерігач до тих місцевостей земної поверхні, де проходить конус повної тіні, то більшу частину сонцевого диска він буде бачити закриту, а що далі він буде від конуса тіні, то меншу. Поза конусом півтіні затемнення не видно зовсім. Внаслідок руху Місяця та обертання Землі довкола осі, конуси тіні й півтіні не лишаються нерухомі на земній поверхні, а переміщуються по ній приблизно з заходу на схід, позначаючи на ній дві смуги, одну всередині другої. Ширина

смуги повного затемнення рідко буває більша за 200 км; завдовжки вона простягається на кілька тисяч кілометрів. У тих ділянках Землі, де конус увіходить на земну поверхню, настає ранок,— отже, затемнення відбувається, коли Сонце сходить. Там, де конус облишає її, на схід від перших місцевостей, настає вечір, і затемнення відбувається, коли Сонце заходить. У проміжних місцевостях вздовж смуги затемнення відбувається між ранішніми та вечірніми годинами. Ми маємо змогу наперед визначити моменти початку й кінця сонцевого затемнення і величину закритої місяцем частини сонцевого диска для всіх місць, де має відбутись затемнення, дуже точно і на багато років наперед; правда, таке обчислення—це доволі складне й марудне завдання.

Крім повного і частинних затемнень іноді можна буває спостерігати так звані кільцеві затемнення Сонця, тобто такі, коли диск Місяця не цілком закриває Сонце, а довкола нього лишається вузька частина сонцевого диску, не закрита Місяцем. Тобто під той момент спостерігається незакрите лише вузьке кільце коло країв сонцевого диска. Такі затемнення бувають тоді, коли віддаль Місяця від Землі так збільшується через ексцентричність його орбіти, що видимий диск Місяця, зменшуючись своїми видимими розмірами, вже не може цілком закрити диску Сонця; інакше кажучи, коли видима величина місяцевого диску менша за видиму величину сонцевого. В той момент вершок конуса місяцевої тіні не доходить земної поверхні, а проходить від неї на якійсь віддалі.

Для спостерігача, що перебуває у смузі повного затемнення Сонця, воно відбувається так: спочатку він помічає, як на західньому краї сонцевого диска (бо місяць іде з заходу на схід), з'являється невеличка вищербина, що з кожною хвилиною збільшується; вищербина ця має форму частини кола майже такого самого розміру, що й видимий диск Сонця; нарешті, лишається незакрита лише невеличка частина сонцевого диску у формі блискучого серпа. Цей серп з кожною хвилиною вужчає, і нарешті, зовсім зникає за темним диском Місяця. Тоді настає присмерк, і починається повне затемнення. На потемніле небо виходять зорі, і без штучного освітлення не можна тоді читати. Довкола темного краю Місяця виступають рожеві вогні сонцевої атмосфери, видно вогняні язики протуберанців і позначається сріблясте сяйво корони Сонця. Так триває недовго, здебільшого 2—3 хвилини, максимум—8 хвилин. Потім з західньої частини краю Сонця з'являються перші промені соняшного світла. Повне затемнення закінчилось. Місяць зсувається дедалі більше, блискуча сонцева поверхня чимраз більше відкривається і, нарешті, Сонце знов стає на вигляд, як повне коло. Затемнення скінчилося.

Спостерігати затемнення Сонця дуже цікаво; тоді можна дослідити найближчі ділянки коло Сонця, корону, що оточує його, а також, вимірюючи видимі віддалі зір від краю Сонця на

фотографіях у момент повного затемнення і зіставляючи їх з обчисленими, можна бачити, як соняшний промінь, що йде від якоїнебудь зорі і проходить близько великої маси Сонця, відхиляється від свого початкового прямолінійного напряму, і наскільки цей відхил погоджений з тим, що його дає для цього випадку теорія відносности. Отже, спостерігаючи затемнення Сонця можна перевірити правильність деяких висновків, що випливають з теорії відносности. Тимто до тих місцевостей, де можна спостерігати затемнення Сонця, виряджають експедиції, що коштують великі гроші, тимто дають цим експедиціям найдосконаліші астрономічні інструменти, маючи на меті зібрати якнайбільше матеріялу за малий час повного затемнення Сонця.

Затемнення Місяця

Затемнення Місяця буває тоді, коли Земля стоїть між Місяцем і Сонцем, тобто в момент протипологи Місяця з Сонцем, інакше кажучи в *момент повні*. Земля, як темне тіло, відкидає від себе, як і всяка темна куля, конус тіні. Він далеко довший за конус, що його має Місяць, бо діяметр Землі далеко більший за діяметр Місяця.

Часто Місяць, рухаючись довкола Землі, проходить то трохи вище, то трохи нижче від цього конуса. Тоді затемнення Місяця зовсім не буває.

Якщо ж Місяць пройде якраз через конус земної тіні, увійшовши в нього цілком, або лише почасти, то буває в першім випадку повне затемнення Місяця, а в другім — частинне. Відси очевидно, що повне затемнення Місяця можливе лише тоді, коли Місяць під момент повні буває коло одного з вузлів своєї орбіти. Отже, з кожного місця Землі, хоч би звідки ми дивилися,—з умовою тільки, що Місяць перебуває над горизонтом цього місця,— ми бачитимемо це затемнення, і відбуватиметься воно порівняно однаково для кожного спостерігача. Моменти початку, кінця або інших фаз затемнення Місяця можна буде спостерігати в усіх точках земної півкулі, оберненої до Місяця в той самий момент за світовим — Ґрінічським часом. Отже, коли треба визначити момент затемнення за місцевим часом, то проти світового часу різниця дорівнюватиме різниці між довгот даного місця і Ґрініча.

Місяцеве затемнення відбувається так: спочатку Місяць увіходить в конус півтіні (рис. 103). Тоді його сяйво зменшується дуже не на багато—так, що без спеціяльних спостережень цього можна зовсім і не примітити. Потім Місяць увіходить в конус тіні. На його східнім краї, що ним Місяць рухається вперед, з'являється вищербина, і дедалі більшає. Потім Місяць увесь ввіходить у тінь. Серп Місяця, що його можна спостерігати перед початком повної фази затемнення або незабаром по тому,

як воно закінчиться, дуже на вигляд відрізняється від того серпа що його ми спостерігаємо звичайно в місяцевих фазах. Межа світла і тіні, що відокремлює освітлену частину Місяця від неосвітленої, має форму дуги еліпси. Під час першої або останньої квадри вона перетворюється на пряму лінію, що поділяє місяцевий диск навпіл.

Під час затемнення ця межа не є вже дуга еліпси це дуга кола з радіюсом, приблизно, вдвоє більшим, ніж радіюс видимого місяцевого диску. Це буває через те, що діяметр земної тіні на віддалі Місяця далеко більший, ніж діяметр видимого місяцевого диску.

Тому повне затемнення Місяця може тривати дуже довго — майже дві години.

Коли Місяць ввіходить цілком у конус земної тіні, він не перестає бути видимий, не зникає цілком, але набирає мідно-червоного відтінку і ледве світиться.

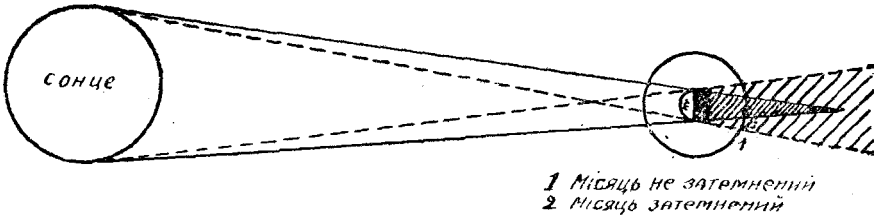


Рис. 103. Пояснення затемнення Місяця.

Це буває через те, що в момент повного затемнення на Місяць усе таки потрапляє трохи соняшного сяйва, що пройшло крізь земну атмосферу і заломилося в ній. Забарвлення в червоний колір буває від того, що червоне проміння наша атмосфера добре пропускає, а проміння коротких хвиль вона розсіває, і воно не доходять до поверхні Місяця. Відтінок Місяця в момент повного затемнення може змінюватись залежно від того, над якими ділянками земної поверхні — морями, пустелями тощо — проходить проміння, що падає на поверхню Місяця, а також від того, чи ясне в цих місцях небо, чи вкрите хмарами. Спостерігати повні затемнення Місяця важливо для того, щоб вивчити будову горіщніх шарів нашої атмосфери (фотометричні й спектральні спостереження), а також, щоб детальніше вивчити рух Місяця, де є певні відхили, що їх причини ще не з'ясовано.

Першого досягають тим, що вивчають яскравість та кольори різних місць місяцевої поверхні, зануреної в тінь. Другого—тим, що спостерігають покриви зір від Місяця, бо тоді, коли Місяць входить у тінь і ледве світиться, він не гасить блідих зір, що коло них проходить.

Слід відзначити ще, що під час повного затемнення Місяця з нього можна було б спостерігати повне затемнення Сонця, затіненого від Землі.

Є цикл повторюваности затемнень, що дуже полегшує справу обчислювання їх наперед. Цей цикл відомий був ще здавна і має назву сарос: він становить 18 років і 11 день. Коли цей цикл кінчається, Сонце, Місяць і вузли місяцевої орбіти повертаються приблизно до свого початкового положення. Протягом сароса має відбутися всього 70 затемнень — 41 Сонця і 29 Місяця. Найбільше число затемнень на рік — 7, найменше — 2: обидва ці затемнення тоді — сонцеві. Найчастіше буває чотири затемнення за рік — два — Сонця і два — Місяця.

Загалом кажучи, сонцеві затемнення бувають частіше, ніж місяцеві. Проте, що затемнення Сонця можна бачити в порівняно вузькій смузі Землі, а затемнення Місяця — на всій півкулі, оберненій до Місяця, в кожнім данім місці місяцеві затемнення бувають частіше за сонцеві. В кожній даній точці Землі повне затемнення Сонця буває один раз за 200 300 років.

Отже, користуючись саросом, можна визначити наперед, коли настане затемнення; проте, щоб визначити годину, хвилини тощо, цього явища — доводиться щоразу робити окремі обчислення. Буває це через те, що однойменні затемнення у двох послідовних саросах не цілком збігаються, бо в другім саросі для того самого затемнення новомісяччя буває не точно у вузлі, якщо це було в першім саросі, а трохи далі на захід, тобто трохи раніше видимого проходження Сонця через вузол.

ЗАВДАННЯ ДО РОЗДІЛУ VI.

1. Під час екскурсії до обсерваторії обізнатися з зовнішнім виглядом плянет і зробити загальний рисунок того, що на них видно.

2. Обізнатися через спостереження в трубу з найголовнішими утвореннями на поверхні Місяця.

3. Наскільки, приблизно, кожної доби спізнюється момент кульмінації Місяця?

4. Що час оберту Марса довкола осі трохи довший за час оберту Землі, спостерігач тієї самої години доби, але в різні дні, буде бачити різні ділянки поверхні Марса, обернені до нього.

Через скільки день він побачить точки, що лежать на 90^0 від тих, що їх він бачить тепер?

5 Яку фазу матиме Земля для спостерігача, що перебуває на Місяці а) під момент повні, б) під час першої квадри, новомісяччя?

6. Що побачив би спостерігач з Місяця, коли б дивився на Землю під час повного місяцевого затемнення? Під час повного сонцевого затемнення?

7. У який бік, на схід чи на захід, обернений вгнутий бік місяцевого серпа до моменту першої квадри?

8. Яким краєм Місяць затуляє зорю в момент покриву?

Розв'язання завдань.

3. Місяць, пересуваючись на схід, повертається до тієї самої точки неба, інакше кажучи—робить повний обіг довкола Землі протягом 27,3 дня, а тому за один день він пересунеться на схід на $\frac{360}{27,3} = 13^0 2$; на цей кут Земля повернеться за $13,2 \times 4 = 52,8$ хв., бо на 1^0 вона повертається за 4 хв. Інакше кажучи, цей приблизний підрахунок показує, що коли вважати рух Місяця за рівномірний, то він з кожним днем проходитиме через меридіян на 52,8 хв. пізніше, ніж попереднього дня.

4. Марс робить повний оберт за 24 год. 37 хв. 22,6 сек., а тому точно через земну добу він ще не закінчить одного повного оберту. Йому потрібно буде на це 24 год. 37 хв. 22,6 сек — 24 год. = 37 хв. 22,6 сек. поверх земної доби. За 24 год. 37 хв. 22,6 сек. Марс робить повний оберт, тобто обертається на 360^0, а тому легко підрахувати, що за 37 хв. 23 сек. (як брати секунди кругло) він повернеться на $9^0 94$. Отже, на 90^0 він повернеться за $\frac{90}{9,94} = 9,05$ день, і через 9,05 день точки, що лежать на 90^0 від тих, що їх ми бачили першого разу в центрі видимого диску Марса, будуть у центрі.

5. Коли ми спостерігаємо повний Місяць (буває повня), Земля лежить між Сонцем і Місяцем; отже, до Місяця повернута неосвітлена сонячним промінням частина земної поверхні. Виходить, що спостерігач, перебуваючи на Місяці, бачив би Землю в першій фазі; вона відповідала б тій фазі Місяця, що спостерігач на землі зве — новомісяччя.

Легко можна бачити, що коли земний спостерігач спостерігає новомісяччя — спостерігач Місяця бачив би „Землю в повні". Під час першої квадри Місяця можна було б спостерігати останню квадру Землі і т. д; отже кожна фаза Землі, спостерігана з Місяця, була б протилежна тій місяцевій фазі, що її бачить спостерігач із Землі.

6. а) Цілком очевидно, що в момент повного затемнення Місяця спостерігач, бувши на Місяці, бачив би повне сонцеве затемнення, бо в той час увесь Місяць входить у земну тінь, для всього Місяця Сонце закрите Землею.

б) В момент повного сонцевого затемнення, видного в якійнебудь частині земної поверхні, до Землі повернеться неосвітлена частина Місяця, бо повне сонцеве затемнення може статися тільки під час новомісяччя. Спостерігач, що був би тоді на неосвітленій частині Місяця, повернутій до Землі, побачив би тінь од Місяця, як кружальце, що пересувалося б по поверхні Землі і закривало б різні її частини.

7. До повні кутова віддаль між Місяцем і Сонцем менше 180^0. До першої квадри, коли видно вузький серп, вона менша за 90^0. Під той час Місяць лишається над горизонтом по заході Сонця менше, як 6 годин. Сонце має бути з того боку Місяця, відки Місяць освітлений його промінням, а воно сховалося за західнім горизонтом,— отже очевидно, що до заходу має бути повернена опукла частина місяцевого серпа, а вгнута — на схід.

8. Місяць рухається видимо з заходу на схід, а тому зоря в момент покриву ховається за східнім краєм Місяця, виходячи знову з-за західнього краю.

Якщо покрив відбувається до повні, а під той час східній край Місяця темний, то до повні зоря ховається завжди за темний край Місяця, а виходить з-за ясного. Після повні освітлений буває східній край Місяца, а західній—темний. Отже, після повні зоря під час покриву ховається за освітленим краєм Місяця, а виходить із-за темного.

VII. КОМЕТИ ТА МЕТЕОРИ.

Іноді серед зір та плянет, що сяють над нашими головами, ясної ночі з'являються світила, що змінюють собою звичайну картину зоряного неба.

Ідеться про туманні кошлаті світила комети. З'являється комета, розгортаючи свій блідий та довгий хвіст. Потім вона стає чимраз яскравіша і, нарешті, являє спостерігачеві увесь свій величний блиск. Потім вона поволі втрачає свою яскравість, і, нарешті, знову зникає десь далеко в глибині неба.

Великі, яскраві комети бувають на небі рідко. Вони такі незвичайні на вигляд, що люди довго зберігають згадку про них. Куди частіше можна щоночі спостерігати інше явище, що привертає до себе увагу навіть людей, що не мають нічого спільного з астрономією. Це—падні зорі—метеори, що пролітають по небу і лишають по собі довгий вогняний хвіст.

От про ці два явища—комети та падні зорі — метеори ми й говоритимемо в цім розділі.

Всяке незрозуміле і незнане явище спричинює у людини почуття страху. Так було і з кометами. Великі комети, що бували іноді такі яскраві, що їх можна було бачити навіть удень при повнім соняшнім сяйві, і простягали свої хвости іноді більше, як на півнеба, люди вважали за щось надприродне. У літописах і наших, і чужоземних, можна бачити багато заміток та описів великих комет і пересвідчитись, яких незвичайних властивостей надавали за тих часів кометам. Комети вважали за якихось посланців, провісників майбутнього, здебільшого жахних подій,—війни, пошести тощо. Тому з'явлення комети спричинялося до справжнього переполоху, а духівництво цей переполох ще підсилювало, намагаючись використати його в своїх інтересах. Деякі стародавні народи думали, що комети—це душі людей, що підносяться на небо. Перелякані люди бачили в кометі те, чого в ній зовсім і не було. Наприклад, комета 1528 р. здавалася багатьом ніби рукою, що держала меч, а коло хвоста комети бачили криві сокири, ножі, мечі, відтяті людські голови тощо. Іноді комету вважали за провісника кінця світові, і тоді переполох бував ще більший. Люди молилися, роздавали своє майно, готувалися до смерти, і деякі з них справді вмирали з переляку. Проте, комета зникала, а кінець світу так і не приходив...

Такі погляди на природу комет—шкідні й безглузді забобони, і зовсім не відповідають дійсності. Ми знаємо, що комети—це небесні тіла, що рухаються в просторі точно визначеними путями, що

астрономи відкривають щороку по кілька комет, здебільшого блідих, що їх можна спостерігати лише в дуже потужні астрономічні інструменти, і що ці комети аж ніяк не впливають на життя на Землі

Зверхній вигляд комет

Комета своїм зовнішнім виглядом дуже відрізняється від інших небесних тіл. Звичайно велика комета така на вигляд: довкола більш чи менш блискучої точки, що її зветься ядром, поширюється, оточуючи ядро, туманна матерія, що має назву *волосся* або *кома*. З другого боку ця матерія витягується, як довгий туманний додаток, що його зветься *хвіст*. Ядро разом з комою звуть *головою комети*. Проте, не всі комети однакові на вигляд; деякі з них складені з самого лише ядра та хвоста і не мають виразно виявленої коми, а інші, здебільшого бліді, здаються нам як бліда та мало блискуча туманність, кругла чи овальна з неясним і мало видним ядром. Форми кометних хвостів теж дуже різні.

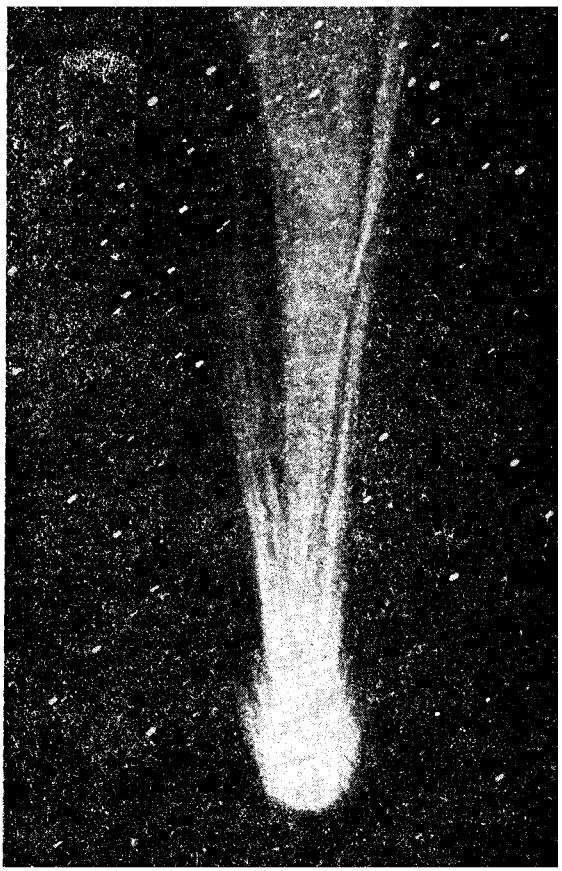


Рис. 104. Велика комета.

Деякі хвости прямолінійні, а деякі помітно загнені.

Бували комети і з кількома хвостами (5-ма, 6-ма). Цю особливість мала, наприклад, комета 1744 р. Коли її ядро було під горизонтом, хвіст протягався по небу ніби розкішне віяло, складене з окремих світних смуг. Слід відзначити, що й видимі розміри комет дуже різні. Деякі здаються як маленькі туманності,

далеко менші, ніж видимий діяметр Місяця; хвости інших комет простягаються іноді на чверть, на третину і навіть на половину небесного склепіння. Справжні розміри великих комет величезні. Наприклад, ядро комети Донаті, що її спостерігали 1858 р., мало діяметр більший за 900 км, а хвіст простягся на 900 млн. км. Хвіст величезної комети 1843 р. простягався на 270 млн. км.

Найкраща метода вивчати зверхній вигляд комети—це фотографія. Зафіксувавши на фотографії з великою точністю якунебудь комету, ми можемо докладно вивчити її будову і простежити за тими змінами, що відбуваються в кометі з бігом часу.

Видимий і справжній рух комет

Коли спостерігати комету протягом певного часу, то ми побачимо, що вона переміщується між зорями. Це свідчить за те, що комета має власний рух. Коли комета далеко від Сонця, її рух здається нам дуже повільний; коли вона наближається до Сонця, рух її прискорюється. Спостерігаючи, як рухається по небу комета, ми не можемо на підставі тільки цього зробити висновок про справжні форми її путі, не можемо дізнатися швидкости, що з нею вона рухається в просторі, не можемо також відповісти на питання, відки і з якої віддалі вона прийшла, як близько підходила до Землі і до Сонця, і, нарешті, куди вона йде.

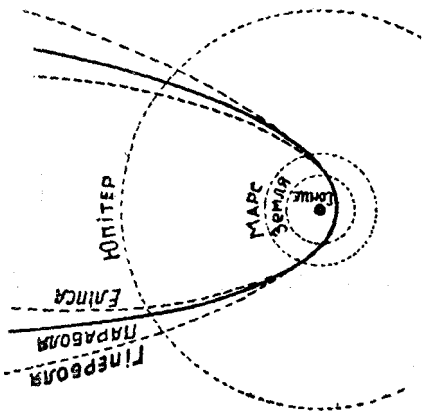


Рис. 105. Еліпса, параболя й гіпербола.

Отже, перед нами постає завдання — обчислити путь комети в просторі, віддаль її від Землі, швидкість і напрям руху. Тепер, коли ми знаємо координати комети (пряме піднесення й відхил) для трьох моментів, не дуже близьких між собою, це цікаве та важливе завдання розв'язати можна, або, як то кажуть, ми можемо на підставі трьох спостережень над кометою обчислити її орбіту. Англієць Галлей 1705 р. перший обчислив путь комети. Тепер обчислити орбіту комети не важко. Треба відзначити, що комети приходять до нас з дуже віддалених частин світового простору, де вони неприступні для найпотужніших навіть астрономічних труб. Відходячи від Землі, вони теж так віддаляються, що їх зовсім не можна спостерігати. Тимто кожну комету можна спостерігати тільки на невеличкій ділянці її путі, поки вона доволі близько до Землі і до Сонця. Якщо орбіта комети дуже велика,—заходить, наприклад, за орбіту Нептуна,—тоді дуже важко зі спостережень над нею на невеличкій ділянці

путі, де її ще спостерігати можна,– дізнатися, якою власне путтю вона йде. Комета є тіло, що рухається під впливом сили сонцевого притягу, а тому її орбіта може являти собою лише один з конічних перекроїв—еліпсу, параболю або гіперболю.

На цій невеличкій ділянці путі комети, де її можна спостерігати, ядро витягненої еліпси так мало відрізняється від пароболі чи гіперболі, що майже не можна відрізнити їх одне від одного.

Безперечно, певна частина комет має дуже витягнені еліптичні орбіти, іноді так витягнені, що, йдучи ними, комети роблять свій обсяг довкола Сонця протягом десятків, а то й сотень тисяч років. У перігелії комети часто так близько підходять до Сонця, що майже зачіпають його розжарену поверхню. В афелії вони так далеко відходять від нього, що їх не можна бачити навіть у найпотужніші інструменти. Всі спостереження над рухом комет, що є у нас, категорично твердять, що комети рухаються цілком відповідно Кеплеровим законам, підкоряючись Ньютоновому законові тяжіння.

Про комету, що з'являється коло Сонця вперше, ще не відомі ні форма орбіти, ні її ексцентриситет, а з небагатьох спостережень першого часу після з'явлення комети, як ми вже говорили, важко сказати — параболічна чи еліптична її орбіта; через те, щоб спростити завдання, спочатку обчислюють для комети параболічну орбіту, а потім, поволі збираючи спостережений матеріял, ступнево виправляють її і заміняють на найпридатнішу еліптичну.

Періодичні комети. Зміна кометної орбіти

Комети, що рухаються порівняно невеликими еліпсами, які дуже відмітні від параболь, звуть *періодичні*. Період обертання цих комет здебільшого невеликий (найбільший ми бачимо у Галлеєвої комети — 76 років), не більше за кілька десятків років.

Треба відзначити, що форма орбіти тієї чи тієї комети може дуже змінитись під впливом притягу небесних тіл — плянет, що її оточують. Як то кажуть, плянетний притяг призводить до порушень у кометних орбітах. Особливо великі порушення дає величезний Юпітер. Відзначаємо також, що в деяких випадках від порушень може еліптична замкнена орбіта комети перетворитися на криву іншої форми (параболю, гіперболю), зробитися розімкненою і, отже, комета може зовсім вийти за межі сонцевої системи. Очевидно, що рухаючись розімкненою кривою, комета вийде зовсім з сонцевої системи і вже не буде періодична, не буде через певні періоди часу повертатись до Сонця. Таких випадків спостерігали не один. Це буває через те, що рух кожною з кривих — еліпсою, параболею та гіперболею — характеризується певною швидкістю, властивою тому чи тому рухові. Коли плянета, перебуваючи перед кометою,

своїм притягом збільшує швидкість руху комети, то за формулами механіки має збільшитись і велика піввісь еліпси — вона більше витягнеться, а так само і час обертання комети довкола Сонця дуже збільшиться. Якщо прискорення руху буде ще більше і перевищить якусь певну границю, то еліптична орбіта може перетворитись на параболічну або, навіть, гіперболічну.

Якщо плянета зменшує швидкість руху комети, то еліпса кометної орбіти стає менш витягнена, тобто її ексцентриситет і велика піввісь зменшуються. Коли ж комета підійде до плянети, що порушує її рух, особливо близько, то цей сповільнювальний рух позначається так, що період обертання комети, що до того тривав десятки або й сотні років, може зменшитись до небагатьох років. От ці комети, з періодами обертання на кілька років (найбільший період має, як ми вже казали, Галлеєва комета) і звуть, власне, періодичні.

Періодичних комет не дуже багато. Вони становлять лише одну десяту частину з числа всіх відомих нам комет. Лише близько 25 з цих комет мають точно визначені орбіти, бо вони вже кілька разів повертались до Сонця, і тому над ними роблено доволі багато спостережень.

Майже всі ці комети мають порівняно короткі періоди обертання довкола Сонця, від 3 до 8 років.

Взагалі комет дуже багато. Кеплер казав, що їх стільки, „скільки риб в океані" Починаючи з глибокої давнини і до наших днів всього спостерігали близько 8.000 комет. 500 з них можна було бачити голим оком, а решту — лише в телескоп. Їх можна було спостерігати або потужними астрономічними трубами, або через фотографії. Тепер, як ми вже говорили, щороку відкривають по кілька комет, здебільшого невеликої сили. Їх звичайно позначають роком відкриття і поставленою після року латинською літерою за порядком абетковим; ця літера показує, в якій послідовності відкрито в данім році комети цього року. Наприклад, позначення 1922 *a* показує, що ми маємо діло з першою кометою, відкритою 1922 р.

Цікаво, що з періодичних комет можна вирізнити так звані кометні родини, що мають зв'язок з деякими плянетами нашої сонцевої системи. Причина такого розподілу така.

Ми вже говорили, що плянети своїм притягом можуть дуже змінити початкову орбіту комети, зробивши її періодичною і з невеликим періодом обертання. Можна, вивчаючи розподіл афеліїв (тих точок кометних орбіт, де комети бувають найдалі від Сонця) комет і помічаючи, близько орбіти якої плянети вони групуються, сказати, яка з цих плянет порушила кометну орбіту, або, інакше кажучи, яка з плянет своїм притягом надала тій чи тій кометній орбіті її теперішньої форми.

Залежно від цього ми маємо Юпітерову родину, Сатурнову родину, Уранову й Нептунову. Юпітерова родина найбільша, складена вона з тридцяти комет. На це й треба було сподіва-

тись, бо маса Юпітера величезна. Сатурнова родина багато менша: тут тільки дві комети. Уранова родина має три комети, а Нептунова — шість. Марс і ще ближчі до Сонця плянети не мають своїх кометних родин через те, поперше, що вони лежать далеко від границь сонцевої системи, де переважно втягуються комети, а подруге — їх маси порівняно дуже невеликі.

Площини орбіт періодичних комет утворюють здебільшого не дуже великі кути з площиною екліптики. Ці кути приблизно того самого порядку, як і у малих плянет. Орбіти не періодичних комет утворюють найрізноманітніші кути з площиною екліптики. Відомі нам комети рухаються своїми орбітами прямим рухом, і лише Галлеєва комета має зворотний рух.

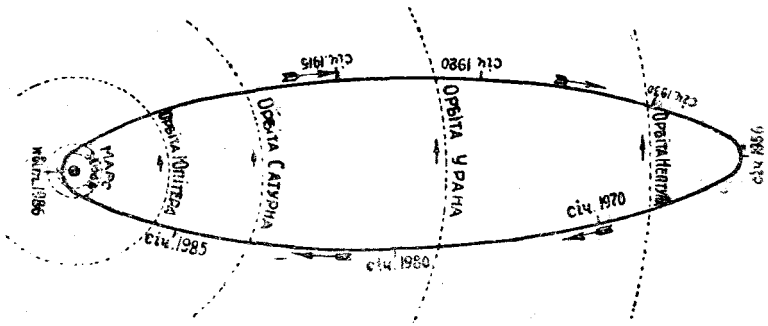


Рис. 106. Орбіта Галлеєвої комети.

Як побудовані комети.

Мало коли пощастить відкрити комету на віддалі від Землі більшій, як 130 млн. км. Коли комета рухається у світовім просторі на дуже великій віддалі від Сонця, то соняшне проміння впливає на неї дуже мало, і в неї має бути дуже низька температура. Вона літає в просторі замерзла й застигла. В міру того, як вона наближається до Сонця, рух її збільшується, вона ближче й ближче підходить до Землі, і нарешті, її можна буває бачити в наші телескопи. Під той час комета буває звичайно на вигляд, як кругла туманна маса з невиразно окресленими, розмитими краями. Потроху рух комети дедалі прискорюється і, коли вона досить близько підійде до Сонця, у неї з'являється один або кілька хвостів; ці хвости, як ми вже бачили, іноді простягаються дуже далеко по небу.

Деякі комети, ідучи круг Сонця, проходять дуже близько від нього. Комета 1880 р. наблизилась до Сонця на 18000 км. Якби Земля підійшла до Сонця на таку віддаль, то вона дістала б від нього в 600000 разів більше світла та тепла, ніж вона дістає тепер. Комета, що прилетіла з холодних глибин світового простору, починає коло Сонця зазнавати впливу цього страш-

ного жару. Звичайно, така швидка зміна температури не може лишитися для комети без наслідків. Комета розжарюється і стає іноді така блискуча, що її можна буває бачити навіть у день на повнім соняшнім сяйві. Так, наприклад, було з кометою 1882 р.

Очевидно, що з такими швидкими змінами температурних умов матерія, що входить до складу комети, має зазнавати великих і швидких змін. Не важко догадатись, що це і є причина утворення кометного хвоста. Можна сказати, що всі ті комети, що близько підходять до Сонця, мають яскраві й блискучі хвости. У комети, що доволі близько підійшла до Сонця, можна помітити, звичайно такі зміни. Голова її — туманна оболонка ядра — спочатку дещо зменшується розмірами, а потім знову дещо збільшується. При тім ядро, що є всередині цієї оболонки, стає добре помітне. Під той час можна помітити, як із ядра, з того боку, що повернене до Сонця, і через те більше нагрітого, починає виділятись струмина матерії. Ця струмина, в міру того, як вона віддаляється від ядра комети, розширюється, як фонтан. Піднявшись на певну висоту над ядром комети, вона повертає знов до ядра, обходить його з усіх боків і йде на величезні віддалі (сотні мільйонів кілометрів) у бік, протилежний Сонцю. Ядро буває ніби вміщене в трубу, у вузький та закруглений її кінець. Так утворюються хвости, напрямлені в бік, протилежний Сонцю.

Іноді у комети розвивається не один лише хвіст у напрямі від Сонця, а бувають хвости, що йдуть більш чи менш похило до цього напряму. Іноді навіть розвиваються хвости, напрямлені до Сонця. Ці хвости найкоротші.

Коли розглядати будову кометного хвоста навіть побіжно, то цього досить, щоб переконатися в тім, що ця будова нестала й мінлива; кометний хвіст подібний до стовпа диму, що виходить з труби паротяга. Він не лишається той самий. Хвіст, що ми спостерігаємо сьогодні, складений вже з нових часток, не з тих, що належали до його складу вчора. Важливо знати, у якім стані перебуває матеріял, що належить до складу різних частин комети — ядра, голови й хвоста. Щоб краще з'ясувати це, нам треба розглянути питання про величину маси комети.

Ми вже бачили, що комети своїми розмірами — найбільші тіла в нашій сонцевій системі. Це стосується особливо до комет, що мають довгі хвости. Проте, навіть безхвості комети своїми розмірами в багато разів більші за нашу Землю. Якщо розміри комет і об'єм їх величезні, то маса їх, як свідчать всі спостереження, зроблені досі, дуже мала. Відомі випадки, коли комета проходила між супутниками Юпітера і ніякого впливу не мала на їхній рух: така мала сила притягу комет. Ляпляс довів на підставі своїх обчислень для цієї комети (1770 *a*), що її маса не може бути більша за 5.10^{-3} маси Землі. Спостерігаючи поділ на частини комет 1846 *b* (Біела) і 1915 *c* (Тайльора) найшли, що маси їх не можуть бути більші за 10^{-10} земної маси, тобто ще меншу величину, ніж ту, яку давав Ляпляс. Отже можна

сказати, що маси комет навряд чи перебільшують $^1/_{1000000}$ маси Землі. Відси, зіставляючи величезні об'єми і дуже малі маси комет, не важко зробити висновок, що пересічна густина речовини, що з неї складена комета, має бути теж дуже невелика. Хвіст комети складений з особливо розрідженої матерії. Це виходить з того, що коли комета розпускає хвіст між нами й зорями, то крізь нього ми бачимо зорі такими саме яскравими, як і ті, що їх комета не закриває своїм хвостом. У ядрі ж комети можуть бути і дуже невеликі, і чималі розмірами тверді частки.

Як утворюються хвости комет

В переважній більшості випадків кометні хвости напрямлені в бік, протилежний Сонцю, і тому можна припустити, що ми тут маємо діло з якоюсь відштовхною силою, що виходить з Сонця і змушує матерію, що йде спочатку до Сонця з ядра комети, завернути назад і йти в протилежний від Сонця бік.

Астрономи гадають, що тут діють спільно дві сили: з одного боку — тиск світла на частинки матерії, що належить до складу кометного хвоста, а з другого — електричне відштовхування, і що ці дві сили якраз і є чинники утворювання кометних хвостів. І електричне відштовхування, і світловий тиск діють на поверхню частинки. Крім того, ця сама частинка зазнає й притягу від сонцевої маси. Обидві попередні сили, загалом кажучи, для випадку з частинками, звичайними на розмір, дуже малі, і треба мати дуже чутливе приладдя, щоб їх виявити. Проте, що легший предмет, то дужче позначається на нім вплив згаданих сил — світлового тиску та електричного відштовхування. Вперше світловий тиск пощастило виявити на досліді російському вченому Лебедеву. Дуже цікаві досліди робили в цій галузі американські вчені Нікольс та Гул. Цей дослід наочно доводить тиск світла на легкі предмети.

Вони у скляну трубку з перехватом, як от у пісковім годиннику, насипали п'ядичевого насіння та шмерґелевого порошку. Повітря всередині трубки було дуже розріджене. П'ядичеве насіння — це дуже дрібний порошок, що його кожна порошинка має діяметр не більший за $^2/_{1000}$ мм і майже в десять разів легша за краплю води того самого розміру. Коли цю трубочку, повну легкого п'ядичевого насіння та важкого шмерґелевого порошку, перекинути, то зернята і того, і того матеріялу сипатимуться крізь перехват, падаючи вертикально на дно трубки. Коли ж на порошок, що сипатиметься, з одного боку трубки пустити сильний потік світла, наприклад, вольтового луку, то ми побачимо, що п'ядичеве насіння вже не буде падати вертикально вниз, а падатиме похило, відхиляючись до протилежного боку трубки, тим часом, як важкий шмерґелевий порошок буде, як і раніше, падати вниз вертикально.

Такий результат досліду пояснюється так: тиск світла який може змінити напрям падіння дрібного п'ядичевого насіння відкидаючи його в протилежний бік, не може зсунути з місця важких шмергелевих порошин. Для маленьких і легких частинок отже, світловий тиск дужчий за притяг Не важко зрозуміти чому, коли ми маємо діло з великими тілами, притяг далеко більше впливає, ніж відштовхування, якщо тіла менші розмірами ці сили дорівнюють одна одній, а коли частинки надто малі відштовхування бере гору над притягом. Річ у тім, що притяг пропорційний з масою тіла, а відштовхування — з його поверхнею. Візьмемо для наочности кульку з радіюсом R; притяг буде пропорційний з масою, отже й об'ємом тобто третім степенем радіюса R^3; а відштовхування, що залежить від величини поверхні цієї кульки, буде пропорційне з другим степенем її радіюса, тобто R^2

Якщо ми зменшимо радіюс кульки вдвоє, тобто замість R візьмемо $\frac{R}{2}$, то для цієї частинки сила притягу буде пропорційна $\frac{R}{2}^3 = \frac{R^3}{8}$ тобто зменшиться у вісім разів, а сила відштовхування буде пропорційна $\left(\frac{R}{2}\right)^2 = \frac{R^2}{4}$ тобто зменшиться в чотири рази Інакше кажучи, коли радіюс частинки зменшити вдвоє, то відштовхна сила зменшиться вдвоє менше, ніж сила притягу Отже коли зменшувати частинки — завжди переважає відштовхна сила проти сили притягу

При малих частинках або молекулях газу відштовхування вже набагато більше за притяг. Отже, хвости, складені з малих частинок, більше підлягають відштовхним силам, а тому вони прямолінійні і напрямлені діяметрально від Сонця. Російський астроном Бредіхін висловив теорію, що прямі хвости напрямлені від Сонця, складені з легкого водню, де частинки мають найдужче відштовхуватися електричними силами Сонця. Злегка викривлені хвости можуть складатися з вуглеводневих газів, бо вони важчі і тому менше відштовхуються. Короткі і ще більше викривлені хвости — з пари металів і, нарешті, хвости, напрямлені просто до Сонця — з дрібних твердих частинок.

Якщо утворювання кометних хвостів пояснювати тільки електричним відштовхуванням, то ми наразимося на суперечності, бо величини цієї сили недосить, щоб спричинити всі спостерігані явища. Коли ж сполучити докупи обидві сили і електричне відштовхування, і світловий тиск - то дуже багато явищ у кометних хвостах можна пояснити цілком задовільно; але все таки лишаються деякі особливості природи хвостів, що їх треба пояснити дальшими дослідами та доповненнями до теорії Бредіхіна До таких явищ належить, наприклад, питання про світіння кометного хвоста, а так само про те, що іноді можна спостерігати

надто великі відштовхні сили у хвостах комет проти тих сил, що мають бути за згаданою теорією. Викидаючи з ядра матерію що утворює хвіст, комета з бігом часу, природна річ, має втрачати свою масу через те, що матерія розсіюється в просторі. Далі ми побачимо, що є ще й інші причини ступневого руйнування комети.

Спектр і хемічний склад комети

Спектр комет, що, загалом кажучи, не підходять досить близько до Сонця, подібний до сонцевого спектра, бо в цей час комета світить відбитим соняшним світлом. Коли ж спрямувати спектроскоп на ядро доволі блискучої комети, тоді, коли вона не дуже далеко від Сонця, то на тлі суцільного кометного спектру можна помітити і лінії випромінювання у жовтій, зеленій та блакитній частинах спектру. Спектр голови комети подібний до спектру розріджених сумішів вуглекислого газу з воднем, киснем або азотом. Іноді, крім цих ліній, характеристичних для кометного спектру, у комет, що доволі близько підходять до Сонця, з'являються лінії натрію і, навіть, заліза. Іноді лінії натрію доходять у кометнім спектрі такої інтенсивности, як це було у комети 1882 р., що, збільшивши ширину щілини спектроскопа, можна було всю голову комети спостерігати у світлі натрію так само, як це роблять, спостерігаючи сонцеві протуберанці у світлі ліній водню. Великий розвиток натрійних ліній спостережено також у кометах 1910 *a*, 1910 *b* (Галлеєва) 1911 *c*. Можна було помітити також, що в міру посилення лінії натрійної, лінії вуглець-оксиду ставали блідіші. Це явище пощастило відтворити і в лябораторних обставинах. Якщо наповнити Гейслерівську трубку вуглець-оксидом і додати туди трохи металевого натрію та підігрівати цю суміш, то від нагрівання натрію лінії вуглецьII-оксиду потроху зовсім зникають.

У ядер деяких комет спостерігали лише один суцільний спектр: це свідчить за те, що тоді у ядрі комети лишилися самі тверді частинки, а вся легка газувата матерія була викинена в хвіст. Так було, наприклад, з кометою 1901 р.

Дуже можливо, що кометні хвости світяться під впливом електрики Сонця.

Зі спостережень над спектрами кометних хвостів видно, що в них трапляються іноді гази, що являють сполуки вуглецю з азотом та киснем. Зі сполук вуглецю з киснем, у них, очевидно, трапляється і такий шкідний газ, як вуглецьII - оксид, а зі сполук з азотом — ціян.

Тепер, на підставі всього матеріялу, що є в нас, та базуючись і на безпосередніх спостереженнях над кометами, і на спектроскопічних дослідах, ми можемо собі уявити ті зміни, що відбуваються в кометах під час довгочасного мандрування їхнього у світловім просторі, приблизно так.

Спочатку, на великій віддалі від Сонця, де його проміння гріє дуже мало, комета — це холодна замерзла куля. У неї тоді ще не буває хвоста. В міру того, як комета наближається до Сонця, його проміння дедалі більше огріває ядро її. Ядро нагрівається дедалі дужче, і з нього починають вив'язуватись спочатку найлегші речовини, а до них згодом долучаються і важчі. Ці легкі випари спочатку йдуть у напрямі до Сонця. Проте, від впливу на них світлового тиску та електричних відштовхних сил Сонця, вони завертають назад, обходять ядро з усіх боків і йдуть у протилежний від Сонця бік, утворюючи порожню всередині лійку кометного хвоста, що протягається у світовім просторі на багато мільйонів кілометрів.

Важчі речовини утворюють хвости, напрямлені навскоси від Сонця, або навіть такі, що простягаються в напрямі просто до Сонця. Така розкішна на вигляд пролітає комета повз Сонце, а потім знову відходить далеко від нього у холод світового простору. Ступнево вона покидає ті місця, де соняшне проміння може огрівати її, і йде у темряву й холод. Тоді знову зникає розкішний хвіст, і комета знову перетворюється на туманну замерзлу кулю, таку саму, як ми її бачили, поки вона ще не наближалася до Сонця. Якщо ця комета періодична, то відійшовши від Сонця на багато мільйонів кілометрів і ставши невидною з Землі, вона знову звертає назад, летить до Сонця і стає видима. Якщо ж комета рухається не еліптичною орбітою, а перетвореною на незамкнену від впливу якоїнебудь плянети, що порушила нормальний її рух, то вона назавжди виходить за межі сонцевої системи у світовий простір і перестає бути її членом.

Як розпадаються комети.

Послідовно повертаючись до Сонця, комета не лишається ввесь час однакова; що частіше вона підходила до Сонця, то менш ефектна видається вона, бо хвіст комети утворюється з пари та газів, що виходять з ядра у світовий простір і, отже, уже не належать до складу комети. Ці легкі речовини потроху зовсім покидають комету — вона поволі втрачає їх. Тому комети, що багато разів наближалися до Сонця, або мають дуже невеликі хвости, або зовсім їх не мають. Крім цих змін, у кометах можна спостерігати й інші, виразніші. Тут йдеться про так званий розпад самої комети, поділ її на частини, коли потроху розсіваються в просторі „метеори" — тверді тільця, з яких складене ядро комети.

Такий поділ комет на частини можна спостерігати порівняно часто.

Наприклад, ядро комети 1882 р. було спочатку кругле, потім воно витяглося і згодом поділилося на чотири окремі частини — на чотири окремі ядра. Спостереженнями доведено, що віддалі між цими чотирма частинами дедалі збільшувалися. Це дало змогу

зробити висновок, що кожне з цих чотирьох ядер рухалося своєю власною, відмінною від інших ядер орбітою.

Цікаве явище поділу на частини сталося також і з кометою Бієли 1846 р.

Спочатку ця комета розпалася на дві, майже однакові розмірами комети. Віддаль між кометами дедалі збільшувалася. 1852 р., коли ці комети з'явилися знову, віддаль між ними ще збільшилася. Після 1852 року комети Бієли більше не бачили взагалі, хоч це була періодична комета, що поверталася до Сонця через кожні $6^1/_2$ років. Особливо близько до Землі комета Бієли мала підійти 1872 р. Проте, хоч як старанно шукали, її виявити не пощастило. Зате 27 листопада цього року можна було спостерігати чудовий дощ „падних зірок". Обчисленнями доведено, що часточки, що пролітали тоді крізь нашу атмосферу і були причиною зоряного дощу, летіли тією самою путтю, що нею ішла раніше і зникла Бієлина комета. Все це свідчить про те, що комета Бієли остаточно розсипалася, розпавшись на ті дрібні тверді частинки, що з них складалося її ядро і очевидно, складається більша частина ядер інших комет.

Рештки Бієлиної комети у формі дощу падних зірок можна спостерігати ще й до тепер. Проте, з часом цей дощ меншає, бо часточки, що належали до складу цієї комети, далі й далі розходяться одна від одної, розподіляючись рівномірніше вздовж усієї орбіти колишньої комети.

Так розпадається, очевидно, кожна комета. Головна причина цього та, що Сонце з різною силою притягає ближчі до нього і дальші від нього частини комети. Якщо голова комети має великі розміри і в перигелії близько підходить до Сонця, то найближчі до Сонця частинки мають набагато випередити віддалені, і тому ядро комети витягнеться вздовж її орбіти. Це витягування посилюється щоразу, як комета наближається до Сонця; нарешті, матерія, що з неї складена комета, витягується вздовж її орбіти й утворює так званий метеорний потік, що складений з твердих частинок.

Треба відзначити, що крім сонцевого притягу на розпад комет впливає також і притяг на них від плянет, коло яких комета пролітає, рухаючись своєю орбітою.

Походження комет

Раніше, поки ще не було підстав гадати, що путі цих комет — це більш чи менш витягнені еліпси, деякі астрономи думали, що ці світила — це не постійні члени нашої сонцевої системи, а приходять у неї з різних, дуже віддалених від неї зоревих систем і є лише короткочасні гості коло нашого Сонця. Гадали, що комети — це просто туманні маси, що мандрують од зорі до зорі. Якщо припустити, наприклад, що велика комета 1882 р. прийшла до нас від однієї з найближчих зірок Сіріюса і знову

повернулася до нього, то вийшло б на підставі обчислень, що для того, щоб пройти віддаль між Сіріюсом та Сонцем, кометі треба було б майже 140 млн. років (коли вважати, що комета рухалася лише під впливом притягу Сіріюса та Сонця).

Отже, коли припустити, що комети справді мандрують від однієї зорі до другої, то більшу частину часу вони витрачали б на ці переходи між зорями і лише малу частку часу вони були б коло тієї чи тієї зорі. Що правда, цей висновок не є достатній доказ належности комет до сонцевої системи, і остаточно це питання можна розв'язати лише досліджуванням кометних орбіт.

Якби комети ходили од зорі до зорі, то, як видно з обчислень, вони мали б рухатися майже завжди гіперболічними орбітами. Еліптичною кометна орбіта могла б стати лише тоді, коли б комету захопила одна з плянет сонцевої системи. Ми бачили, що виразно виявлених гіперболічних кометних орбіт досі невідомо, і тому ми не можемо вважати комети за тіла, чужі нашій сонцевій системі, за такі тіла, що випадком потрапили в ділянку сонцевого притягу. Тимто найімовірніше буде припустити, що вони утворилися з речовини тієї самої туманности, з якої постало Сонце та плянети довкола його. Деякі частини цієї туманности, що були на великих віддалях від її центра, і могли бути за матеріял для утворення комет.

Можливість і наслідки зустрічі комети з Землею.

Виявляється, що орбіти деяких комет перетинаються з орбітою Землі, отже в цих точках перетину комета і Земля можуть стрінутись. Нам треба з'ясувати, наскільки ймовірна така зустріч плянети з кометою, чи були раніше такі зустрічі, а також — чим загрожує плянеті, тобто і нашій Землі, така сутичка. Не зайве буде нагадати й той галас, що його зняли газети 1910 р., коли чекали на повернення періодичної Галеєвої комети, нагадати за ті побоювання, за той жах, що ці газети тоді ширили. Ми вже бачили, якої недоброї слави зажили комети з давніх-давен, а тому й легко можна уявити собі, який жах проймав людей, коли така небесна мандрівниця мала пройти порівняно недалеко від Землі, або навіть зіткнутися з нею.

Після того, як наука розвіяла забобонний страх перед кометами, багато людей гадають, проте, що коли б комета зіткнулася з земною кулею, то це була б загроза для всього, що живе на Землі. Подивимось, які є підстави для цієї думки.

Ми бачили, що комети — це величезні розмірами світила, і що в голові великої комети може вміститися кілька таких куль, як наша Земля. Ми знаємо також, що комети близько Сонця рухаються з надто великою швидкістю, іноді до 100000 км за годину. Можна було думати, що коли таке величезне небесне тіло, що летить так швидко, зіткнеться з нашою маленькою Землею — станеться страшна катастрофа.

Крім того, спектроскоп показав, що в голові комети і в її хвості є отрутні гази — ціян та вуглецьII-оксид. Багато людей, тому, думали, що коли наша Земля ввійшла всередину газуватої голови комети, то згадані отрутні гази, пройшовши в атмосферу Землі, отруїли б усе живе на ній. Нарешті, через сутичку двох тіл — комети та Землі — мало б виділитись стільки тепла, що погоріло б усе на земній поверхні. Такі думки опановували багатьох щоразу, коли поблизу Землі проходила велика комета.

Насамперед слід відзначити, що зустріч комети з Землею — річ не тільки можлива, але це не один раз уже й бувало. Кілька разів Земля проходила не тільки крізь хвіст а навіть і крізь голову комети.

Коли ми говорили про Біелину комету, ми відзначили, що 27 листопада 1872 р. можна було спостерігати чудовий дощ падних зірок, і що під той саме час Земля зустрілася з рештками Біелиної комети, що вже розпалася. Крім того, 1861 р. Земля пройшла крізь хвіст комети, і ніяких наслідків від того не було. Цього навіть ніхто не помітив.

1910 р. Земля знову пройшла крізь хвіст комети, і це знов таки на житті на Землі ніяк не позначилося.

З усього сказаного можна зробити висновок, що комети з Землею зустрічалися і безперечно зустрічатимуться й далі.

Можлива річ, що коли, комета зустрінеться з Землею,— Земля цілком увійде в кометну голову, або зіткнеться з самим ядром. Які будуть наслідки цієї зустрічі?

Якщо Земля пройде крізь хвіст комети, то безперечно, що це минеться для неї цілком непомітно, бо матерія кометного хвоста, хоч хемічним складом і отрутна, але дуже розріджена. Важко сказати тепер, що сталося б, якби Земля зіткнулася з більш чи менш густим ядром комети.

Найшвидше було б так, що був би чудовий „дощ падних зірок“ і, що на землю упало б чимало метеорів. Якби ці метеори мали достатню масу, то можна було сподіватися не аби якої руйнації. Але справжньої великої катастрофи від них не було б.

Навряд чи можна говорити й про отруєння земної атмосфери шкідними газами, бо вони є в складі комети у дуже розрідженім стані,

Наприклад, у комети 1828 р. шар туманної речовини у її голові був завгрубшки 5000 км, і, не зважаючи на це, крізь нього можна було бачити виразно найблідіші зорі, що перед ними проходила комета.

Якщо такі розріджені отрутні гази і долучаться до земного повітря, то навряд чи зможуть отруїти його.

Взявши до уваги все сказане тут, ми робимо висновок, що зустріч з кометою для Землі не страшна. Це майже те саме, як би металевий шар стрінувся з мильною бульбашкою.

зорі

Кожної ясної ночі можна помітити, як у різних місцях між зорями зрідка пролітають більші чи менші світні точки, лишаючи за собою різний завдовжки світний слід, і знову зникають. Це так звані *падні зорі*. Насправді це не зорі, що являють собою дуже великі тіла — сонця, подібні до нашого, а маленькі часточки, зчаста завважки не більше кількох грамів. Ці часточки, рухаючись у просторі і зустрічаючись із Землею, проходять у її атмосферу з швидкістю від 45 до 65 км на секунду. Що вони труться об повітря, то розвивається багато тепла що перетворює ці частинки на пару і спалює їх. Тверді продукти горіння поволі падають на землю, а газуваті домішуються до атмосфери і тільки найбільші долітають до земної поверхні.

Падних зірок, або, як їх повелося називати, метеорів, що влітають у нашу атмосферу, дуже багато. Підрахунки доводять що кожного дня крізь земну атмосферу пролітає не менш, як 20 млн. метеорів, таких яскравих, що їх можна було б бачити голим оком. Що до блідих, помітних лише в телескоп, то їх має бути куди більше.

Метеори трапляють на Землю з різних її боків, бо вони, взагалі кажучи крім так званих потоків, що за них говоритиметься далі, рухаються в просторі різними напрямами

Проте, як Земля сама рухається, то число метеорів, що трапляють на різні півкулі Землі на обернену в бік обертання Землі і на протилежну їй — не може бути однакове. Видима річ що той бік Землі, яким вона повернена вперед — у бік руху Землі — має зустрічати більше метеорів, ніж протилежний, бо об нього можуть ударитись і ті метеори, що летять назустріч Землі, і ті, що їх вона наганяє, летючи. А протилежний (задній) бік Землі має лише ті метеори, що рухаються так швидко, що можуть наздогнати її. На тім боці, яким Земля йде вперед під час свого руху довкола Сонця, буває ранок, а на протилежнім — вечір, а тому, виходить, вранці має бути більше метеорів, ніж у вечері. Це ми і спостерігаємо справді.

Визначання видимих положень того самого метеора з різних місць земної поверхні, віддалених одне від одного на невелике число кілометрів, дали змогу обчислити ту висоту, на якій метеор загоряється й погасає. Виявляється що вони майже ніколи не стають видимі на висотах, більших за 160 км, і зникають раніше, ніж пустяться до висоти 50 — 40 км.

Метеорні потоки

Ми говорили тут про метеори, що рухаються в просторі різними напрямами і не зв'язані в окремі, більш чи менш численні групи

Крім цих спорадичних метеорів є ще так звані *потоки*; вони характеризуються тим, що певної пори року, коли Земля прохо-

дить через ту саму точку своєї орбіти, метеорів, що летять з певних ділянок неба, набагато більшає. Наприклад, є потік *Персеїд*,— його можна здебільшого спостерігати близько 10 серпня, потім *Леонід* — між 12 і 14 листопада, що летять з сузір'я Лева, і т. д. Коли простежити уважно за рухом метеорів у *метеорнім потоці*, то легко помітити, що нам здається, наче всі метеори, належні до цього потоку, вилітають з однієї ділянки неба і розлітаються з неї в різні боки. Якщо позначити на зоревій мапі видимі путі метеорів того самого потоку, і продовжити їх усі в боки, протилежні рухові кожного з метеорів, то всі ці продовжені лінії

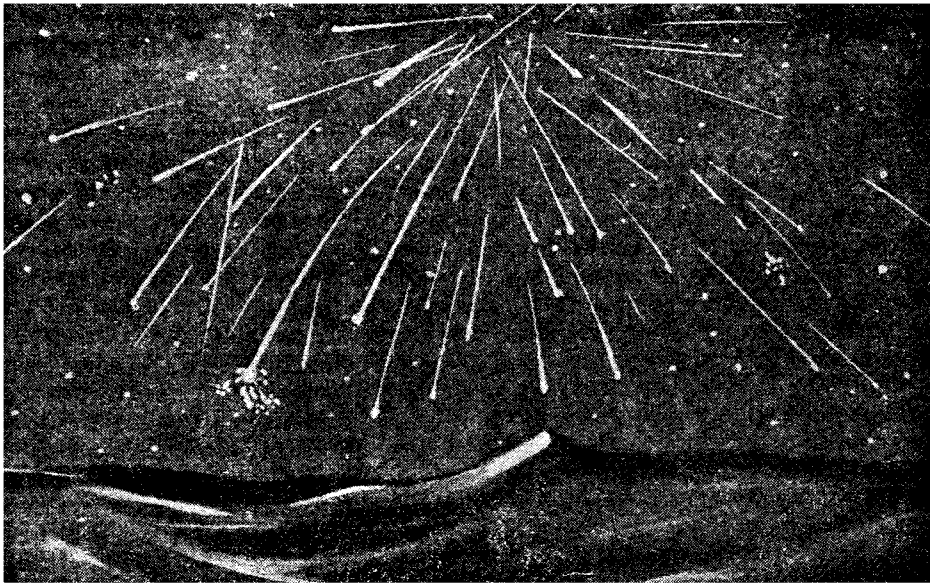


Рис. 107. Радіянт.

зійдуться в одній невеличкій ділянці неба, відмежувавши невеличку площинку. Цю ділянку звуть — *радіянт* даного метеорного потоку.

Виявляється, що путі метеорів того самого потоку паралельні між собою, і лише за законом перспективи нам здається, що вони сходяться подібно до того, як здається, що паралельні між собою залізничі рейки сходяться десь дуже далеко від нас.

Отже, положення радіянта на небі показує нам ту частину простору, відки прилітають метеори. А те, що нам здається, ніби путі їх сходяться на невеличкій ділянці неба, свідчить, що путі метеорів того самого потоку паралельні між собою.

Певна періодичність у з'явленні метеорних потоків свідчить за те, що ці метеори, так само, як і комети, рухаються довкола Сонця замкненими еліптичними путями; наша Земля, рухаючись довкола Сонця, щороку їх перетинає. Тоді метеори потоку влітають у земну атмосферу, і ми спостерігаємо явища падних зір

Зв'язок метеорних потоків з кометами

Те, що комети через певний час розпадаються і що метеорні потоки складені з маленьких частинок, що обертаються довкола Сонця, так само, як і комети— витягненими еліптичними орбітами, -все це приводить до висновку, що комети й метеорні потоки мають бути щільно зв'язані між собою. Тотожність між орбітами деяких комет та метеорних потоків, що її доводить обчислення, ще більше потверджує це припущення

Наприклад, італійський астроном Скіяпареллі наочно довів, що метеори серпневого потоку Персеїд рухаються тією самою орбітою, що нею йде і Тутлева комета 1862 р. 1867 р Левер'є довів так само, що Темпелева комета 1866 р. і потік Леонід також мають однакову орбіту. Виявляється потім що орбіта Біелиної комети і орбіта метеорного потоку Андромедід—теж тотожні. Те саме можна сказати про потік Акварид та Галлеєву комету. Все це свідчить про те, що між деякими періодичними кометами та метеорними потоками є зв'язок. Можна уявити собі таку картину утворення метеорних потоків.

Надто витягнені еліпси кометних орбіт, що ними комети рухаються спочатку, ступнево скорочуються під впливом збурного чину плянет. Їх, як ми вже говорили, захоплюють плянети. Час обертання довкола Сонця теж ступнево зменшується. Леткі речовини, викинені в кометні хвости силами Сонця, поволі розсіюються у просторі. Речовина голови та ядра під впливом сил притягу Сонця та плянет поволі розподіляється вздовж усієї кометної орбіти. Комета перестає бути і перетворюється на метеорний потік. Якщо на початку кометна орбіта не перетинає орбіти плянетної, то збурювання від плянети роблять те, що путі комети й плянети перетинаються. Отже, метеори потоку зустрічаються з плянетою, і більша частина їх ступнево потрапляють або в атмосферу цієї плянети, або на її поверхню. Метеори вмить спалахують і знову погасають, тому спостерігати їх дуже важко; а втім, деякі спектри метеорів пощастило все таки зфотографувати, і ці фотографії здебільшого давали таку картину.

На тлі суцільного спектру, що його дають тверді або течні розжарені частинки, можна було спостерігати ще й ясні лінії Можна було бачити лінії натрію, а також розжарених газів — наприклад, кисню. Очевидно, ми тут маємо діло з газами нашого повітря, що розжарюється довкола метеора, коли він летить крізь атмосферу

Боліди та метеори

Іноді серед спорадичних метеорів, що влітають у земну атмосферу поодинці або цілими групами, трапляються тіла, доволі великі. Вага їх доходить іноді багатьох десятків, навіть тисяч тонн. Ударившись об земну атмосферу, загорівшись через тертя об неї і не встигнувши згоріти вони втрачають ту велику швидкість, що мали спочатку і, під впливом лише сили земного притягу, падають на її поверхню, іноді розриваючись на невеличкі грудки, вибиваючи в ній ями, подібні до тих, що їх лишають по собі гарматні.

Коли ці великі метеори летять крізь атмосферу, вони здаються нам, як вогняні кулі, іноді з видимим діяметром більшим за той, що його має повний Місяць. Ці вогняні кулі звуть *боліди*. Часто вони так сяють, що осявають усе небо й околиці. Іноді чути буває великий гуркіт подібний до грому або артилерійної канонади, і при цім на земну поверхню падають скалки лопнутого боліда. Це каміння, коли воно вже впало, звуть *метеорити*. Іноді падає дуже багато невеличких скалок, а рідше падають одна або кілька брил на тисячі кілограмів завважки.

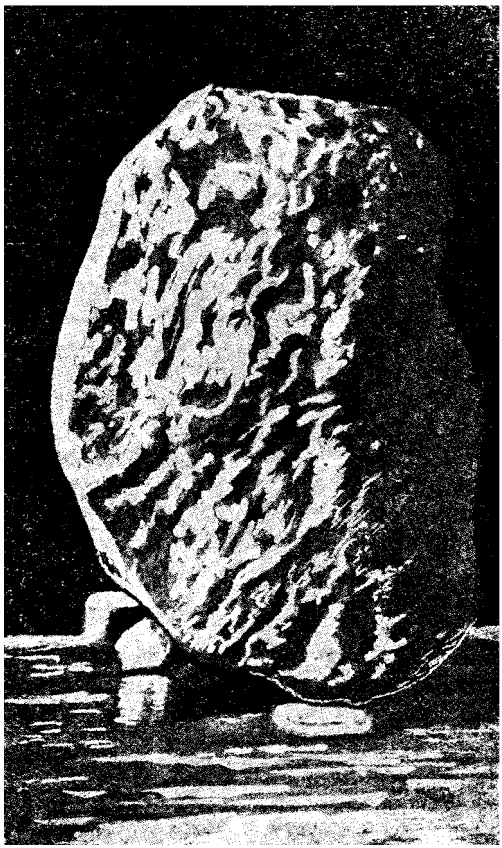


Рис. 108. Великий метеорит

Спостереження над швидкістю руху болідів свідчать нам про те, що ці тіла рухаються гіперболічними орбітами, і тому не виключена можливість, що вони не є члени нашої сонцевої системи Мабуть вони прилітають до нас з дуже далеких міжзоревих просторів з далеких зоревих систем, і тому не можуть належати до

метеорних потоків. Дослідженнями над метеоритами доведено, що до складу їх належать ті самі речовини, що їх ми бачимо й у нас на Землі, і не найдено жодного нового невідомого елементу.

Це ще раз потверджує ту думку, що ввесь всесвіт складений з тих самих речовин.

Підрахунки доводять, що на Землю падає щороку близько 500-600 метеоритів більш-менш важких, як не враховувати, звичайно, дрібних метеорів, що згоряють в атмосфері.

Поверхня метеора, коли він летить крізь атмосферу, дуже нагрівається й обтоплюється. Внутрішні ж частини мають дуже низьку температуру. Що поверхневі шари метеорита дуже нагріваються, то вони розширюються, і метеорит розтріскується й вибухає.

Є також і інші причини, що багато важать, наприклад — різниця поміж тисків, що їх зазнає передня й задня частина метеорита, коли він летить крізь атмосферу.

Поверхня метеорита не тільки дуже нагрівається, а навіть обтоплюється, а потім, упавши на Землю, швидко простигає. Через те поверхня метеорита набуває глянсуватої структури і має здебільшого багато заглибин у тих місцях, де був менш стійкий проти температури матеріял.

З усіх метеоритів, щодо їхнього складу, можна вирізнити три великі групи, а саме:

1) *сидерити* — залізні метеорити, що мають у собі багато заліза, а іноді навіть складені з самого заліза;

2) *мезосидерити* — проміжні метеори;

3) *асидерити* — кам'яні метеори, де зовсім немає заліза.

Найчастіше трапляються в метеоритах такі речовини: кисень, залізо, силіцій, магнезій, сірка, нікель і алюміній.

Метеоритове залізо завжди буває в сполуці з ніклем і невеликою кількістю сірки, фосфору та вуглецю.

Якщо відшліфовану поверхню залізного метеорита облити міцною нітратовою кислотою, то на облитій поверхні виступає гарний візерунок, відомий під назвою *Відманштедтівських фігур*.

Це буває через те, що залізні платівки, що з них складені метеорити, неоднаково швидко розчинює кислота. Ті, де більше ніклю, розчинюються повільніше, ніж ті, де ніклю менше.

Треба казати ще кілька слів про величину відомих дотепер метеоритів і про те, як упали деякі з них.

1650 р. у Міляні невеличкий камінь упав на церкву, пробив дах і вбив одного ченця.

Крім того, в Америці (Арізона) 1891 р. виявлено в землі велику яму, діяметром майже на цілий кілометр і близько 200 м заглибшки

В ній і около неї лежало багато розкиданого каміння метеорного походження.

Можна було б навести сотні випадків і описів того, як падали метеорити, але за браком місця цього робити не можна. Відзначимо лише, що 1908 р. у сибірській тайзі в районі річки Тунгузки впав величезний метеорит. Силою вітру при його падінні повалило і спалило дерева на кілька десятків кілометрів навколо. Багато сейсмічних станцій, що були навіть на дуже великій віддалі від місця падіння, відзначили велике коливання ґрунту.

1929 р. зареєстровано ще одне падіння великого метеорита в західнім Сибіру. Слід відзначити, що падіння великих метеоритів навіювало на багатьох містичний страх, і це використовувало духівництво на свою користь.

Приміром, усім відомий чорний камінь, що його араби звуть хаджар-Ель-Левад, він має діяметр близько 2 м і міститься у південнім кутку Кааби в Мецці,— це не інше що, як звичайний метеорит.

Тим часом, цей камінь вважають за „священний" і на прощу до нього ідуть магометани з усіх країн світу.

У німецькому містечку Ензісгаймі 1492 р. упав метеорит; його замурували в стінку церкви і так само вважали за священний.

Взагалі, на метеорити складали чудодійну силу і вважали їх за талісмани, що ніби уберігають від усякого лиха та хороб.

Зодіякальне сяйво.

У наших широтах у жовтні чи в листопаді вранці, або у січні чи лютому ввечері, після того, як стане темно, можна спостерігати бліде тьмяне сяйво, що простяглося вздовж екліптики; це так зване *зодіякальне сяйво*.

Спостереження над зодіякальним сяйвом показують, що це — величезна сочка, складена з надзвичайно розрідженої матерії (космічного пилу та дрібних метеоритів): ця матерія оточує Сонце і простягається далеко за межі земної орбіти. Мабуть, форма зодіякального сяйва дуже подібна до обертового еліпсоїда з стисненістю $^1/_{10}$.

Щодо густини матерії, що є в складі зодіякального сяйва, то спостереження дають для неї на віддалі $^1/_4$ відстані Землі від Сонця $2{,}52 \times 10^{-11}$, а на віддалі в 1,2 більшій, ніж відстань Землі від Сонця,—$2{,}6 \times 10^{-15}$ пересічної густини Сонця. Загальна маса зодіякального сяйва не більша, очевидно, за 10^{-7} сонцевої маси.

Є підстави гадати, що зодіякальне сяйво — це, насамперед, рештки тієї величезної туманности, що з неї утворилася наша сонцева система, а крім того — до його складу може входити матерія, викидана від Сонця під час великих вибухів, що бувають на ньому.

Можливо також, що велика частина його складена з продуктів розпаду комет, отже зодіякальне сяйво — це величезне кометне кладовище.

ЗАВДАННЯ ДО РОЗДІЛУ VII

1 На підставі яких спостережень можна довести, що комети не є атмосферні явища, як думали стародавні вчені?

2 Обчислити, коли приблизно повернеться знову періодична комета в неї велика вісь орбіти становить 200 астрономічних одиниць, якщо найпізніше наближалася вона до Сонця 1931 р.?

3 Спостерігши кілька метеорів якогонебудь метеорного потоку, визначити приблизно його радіянт.

4 Чи буває таке, щоб комета рухалася хвостом уперед?

5 Яка жива сила метеорита, що має масу 1 г і падає з висоти 160 км під впливом притягу Землі?

Розв'язання завдань.

1. Обчислені орбіти комет свідчать, що ці тіла не можуть бути атмосферними явищами

2 Користуємось третім Кеплеровим законом. Маємо

$$\frac{1^2}{x^2}=\frac{1^3}{100^3};\quad x^2=1\,000\,000\ x=\sqrt{1\,000\,000}=1\,000$$

Рис 109 Рух комети та її хвоста

тут x — час обігу комети, визначений на роки, 100 — велика піввісь кометної орбіти на астрономічні одиниці. У чисельнику обох дробів стоять ті самі величини для Землі.

Відси видно що період обігу комети круг Сонця — 1000 років Отже, вона буде знов у перигелії 1931 + + 1000 = 2931 року.

3 Позначивши на мапі сліди кількох метеорів, простеживши їх положення між зорями, продовжуємо ці сліди в бік, протилежний їх рухові Ділянка неба, де ці сліди зійдуться, і визначить положення радіянта

4 З рисунка, де подано комету та її хвіст під час руху її круг Сонця видно, що в положенні III її хвіст іде поперед голови.

5 З фізики відомо, що жива сила визначається формулою $\frac{m v^2}{2}$, де m — маса падного тіла, а v швидкість його в момент падіння. Коли від опору земної атмосфери метеорит спиниться, він з висоти 160 км починає падати на Землю рівномірно прискорено (під час цього падіння ми не беремо до уваги опору атмосфери). Щоб визначити швидкість на момент падіння, ми матимемо такі, добре відомі з фізики відношення, виснувані для рівномірно - прискореного руху:

$$s=\frac{g t^2}{2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \text{I}$$

$$v=gt \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \text{II}$$

де t — час падіння. Визначаючи з першого t і підставляючи його у друге матимемо $t = \sqrt{\frac{2s}{g}}$ і $v = g\sqrt{\frac{2s}{g}}$. В нашім випадку $S = 160$ км, а g прискорення сили тяжіння, що дорівнює 9,8 м на секунду. Підставляючи, маємо $v = 9{,}8\sqrt{\frac{320000}{9{,}8}}$ метрів на сек. Підставивши найдену відси вартість v у вираз $\frac{m v^2}{2}$, де m треба визначити на кілограми, найдемо й живу силу метеорита.

Примітка. При точному розв'язанні завдання 5-го, слід брати до уваги опір повітря і зміну g з висотою.

VIII. БУДОВА СВІТУ.

Зоряне небо.

Вдивляючись у ясне безхмарне небо, ми бачимо, що зорі мають різну силу світла. Деякі з них майже засліплюють нас своїм сяйвом, а деякі ледве помітно світяться десь у глибині неба. Усі зорі, що їх можна бачити голим оком (їх близько 6000 на обох півкулях неба) ще з часів далекої давнини поділено на шість кляс або величин. 19 найяскравіших зір належать до зір першої величини. За ними йдуть зорі другої величини—їх 59. Потім ідуть зорі 3, 4, 5 і 6-ої величини. Проте, в телескопи ми можемо бачити й блідіші зорі, ніж шостої величини. Поділ на величини поширили згодом і на них. Тимто ми можемо говорити і про зорі 7, 9, 12-ої величини, і про ще блідіші.

В дальшій невеличкій табличці дано число зір перших п'ятнадцяти величин:

Число зір різної величини

Першої величини	19
Другої „	59
Третьої „	182
Четвертої „	530
П'ятої „	1 600
Шостої „	4 800
Сьомої „	13 000
Восьмої „	40 000
Дев'ятої „	120 000
Десятої „	380 000
Одинадцятої „	1 000 000
Дванадцятої „	3 000 000
Тринадцятої „	9 000 000
Чотирнадцятої „	27 000 000
П'ятнадцятої „	80 000 000

Треба відзначити, що видима величина зорі нічого не говорить нам про її справжні розміри, бо бліда зірочка може мати дуже великі справжні розміри і велику силу світла, перебуваючи

від нас на величезній віддалі. Зоря ж порівняно менша з ближчої віддалі здаватиметься нам далеко яскравіша.

Зорі розподілено за величинами так, що зоря кожної дальшої кляси в 2,512 раза блідіша за зорю попередньої. Цю залежність можна визначити такою простою формулою: $\frac{I_1}{I_2} = 2{,}512^{m_2 - m_1}$, де I_1 і I_2 видимі яскравості двох якихнебудь зір, а m_2 і m_1 — відповідні їм зореві величини.

Відси можна обчислити, наприклад, що найблідіші зорі доступні ще нашим телескопам, майже в 30 — 40 мільйонів раз блідіші за головні зорі Великої Ведмедиці.

Сузір'я

Ми знаємо, що видимо зорі одна відносно другої пересуваються дуже поволі. Цих переміщень протягом століть голим оком зовсім не можна помітити. Щоб їх виявити, потрібні точні астрономічні інструменти.

Так от, саме те, що зорі протягом століть зберігають своє видиме розміщення на небі одна проти одної,—дало змогу поєднати їх в окремі групи, так звані *сузір'я*.

Тепер сузір'я мають значення лише стільки, скільки полегшують найти на небі те чи те світило, визначаючи приблизний напрям, де його треба шукати даного моменту.

Ні Бика, ні Діви, ні Барана, ні Дракона, ні Великої Ведмедиці, ми, власне, не бачимо. Багато треба фантазії мати, щоб сполучаючи лініями світлі точки — зорі, думкою скласти фігури людей, звірів, птахів тощо.

Проте, до цих назов легко призвичаїтись і навчитись шукати та відрізняти сузір'я одне від одного, сполучаючи найяскравіші зорі в різні нескладні фігури. Наприклад, сім зір Великого і Малого Возу у формі каструль тощо.

Спочатку треба обізнатися з найголовнішими сузір'ями, а потім, орієнтуючись на них, можна відшукати й усі інші, що їх можна бачити в даний момент, користуючись мапою зоряного неба. Найкраще спочатку шукати сузір'я Великої Ведмедиці та Полярну зорю, а потім, користуючись цими опорними зорями, шукати всі інші.

Усі доволі яскраві зорі, що належать до складу того чи того сузір'я, названо літерами грецької та латинської абетки, блідіші іноді цифрами, а ще блідіші зовсім лишаються без назов, і їх шукають, просто знаючи їх прямі піднесення та відхили.

Найяскравіші зорі називають початковими літерами, блідіші— дальшими. Деякі зорі позначають просто нумерами. Найяскравіші зорі, що визначаються з усіх, мають, крім того, і спеціяльні назви; ці назви треба знати, бо їх доволі часто доводиться чути.

Подаємо тут назви деяких із цих зір, назви сузір'їв, що до їх складу вони належать, і грецькі літери, що ними їх, крім того позначають:

Альґеніб	γ Пегаса	Денеболя	β Лева
Альґоль	β Персея	Капеля (Коза)	α Візника
Альдебаран	α Бика	Кастор	α Близнят
Альтаїр	α Орла	Мізар	φ Великої Ведмедиці (Великого Возу)
Антарес	α Скорпіона	Поллюкс	β Близнят
Арктур	α Волопаса	Полярна	α Малої Ведмедиці (Малого Возу)
Бетейґейзе	α Оріона (Косарі)	Проціон	α Малого Пса
Белятрікс	γ Оріона (Косарі)	Реґул	α Лева
Веґа	α Ліри	Ріґель	β Оріона (Косарі)
Ґема (Перлина)	α Північного вінця	Сіріюс	α Великого Пса
		Спіка (Колос)	α Діви
Денеб	α Лебедя	Фомальґавт	α Південної риби

Віддалі до зір — паралакси

Ми бачили, що коли знати добову паралаксу світила, то ми можемо виміряти віддаль усередині нашої сонцевої системи. Треба відзначити, що, розв'язуючи це завдання, часто можна не робити спостережень з двох віддалених одне від одного місць земної поверхні, а досить спостерігати з одного місця, бо спостерігач обертається разом з Землею, отже він, перебуваючи, наприклад, на екваторі Землі, через половину її обігу перенесений буде, через добовий рух, на 12000 км. Це переміщення і можна використати, як базу, визначаючи паралаксу всередині нашої сонцевої системи.

Зорі лежать на неймовірно великих віддалях від нас, і тому вони не показують зовсім скількинебудь помітних добових паралакс; тим до такого способу вимірювати віддалі до зір, виходить, зовсім не можна вдаватися.

Віддалі до деяких найближчих до нас зір можна визначити на підставі вимірювання так званих „річних їхніх паралакс" Принцип цієї методи такий: Земля обертається круг Сонця по орбіті, що її діяметр становить 299 млн. км, а тому якраз цю величину, далеко більшу, ніж діяметр Землі, і можна взяти за базу, визначаючи річну паралаксу зір і виміряючи ті відбіги зір, що мають виявитись через півроку.

Після цілого ряду марних спроб виявити паралаксу зір такі малі вони, хоч база й величезна—діяметр земної орбіти лише 1838 р. відомий німецький астроном Бессель виміряв уперше паралаксу зорі 61 Лебедя. Треба відзначити, що вимірювання річних паралакс зір — це одне з найважчих завдань вимірної астрономії: тут потрібна надто велика точність, бо всі ці паралакси менші за одну дугову секунду. Досі пощастило визначити всього близько 2000 паралакс зір. Всі вони мають величину на кілька десятих, сотих або й тисячних часток секунди і належать до найближчих зір. Річні паралакси інших зір такі малі, що навіть найточнішими інструментами нашого часу їх зовсім не можна цим способом виміряти.

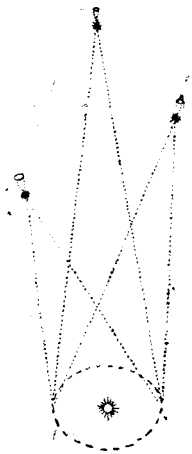


Рис. 111. Річна паралакса зір.

Коли позначити радіюс земної орбіти через R, віддаль зорі до спостерігача через Δ, а паралаксу зорі через ρ, то легко можна зміркувати, що ці три величини зв'язані між собою такою простою залежністю: $\Delta = \frac{R}{\sin\rho}$. Що кут ρ, як ми бачили, завжди дуже малий,— його синус можна без помітної помилки вважати за пропорційний з дугою і написати просто $\Delta = \frac{R \times 206.265}{\rho''}$, бо $\sin \rho \backsim \rho''$ $\sin 1'' = \frac{\rho''}{206.265}$, бо дуга, що відповідає кутові $1''$ або синус $1''$, становить $\frac{1}{206.265}$ — у частину радіюса, або якщо взяти $R = 1$, то визначимо віддаль Δ зорі на астрономічні одиниці, тобто $\Delta = \frac{206.265}{\rho''}$ (I) астрономічних одиниць.

Якщо припустимо, що паралакса якоїнебудь зорі дорівнює $1''$, то її віддаль дорівнюватиме 206265 астрономічних одиниць, або така зоря буде в 206265 разів дальше від нас, ніж Земля від Сонця на кілометри; це становитиме 31 трильйон км—$31 . 10^{12}$ км, тобто число, складене з чотирнадцяти цифр.

Проте, всі зореві паралакси менші за одну секунду, і тому відповідні віддалі будуть ще більші. Щоб виміряти віддалі зір, користуватися такою маленькою одиницею, як кілометр або як навіть астрономічна одиниця—незручно, і через те для того беруть інші одиниці, наприклад—світловий рік або *парсек*. Світловий рік—це та віддаль, що її пробігає світло за один рік. Певна річ, що, коли його визначати на кілометри, він становить 300000 x x 365 x 24 x 60 x 60 км. Виявляється, що найближча до Землі зоря α Центавра лежить від нас на віддалі 4,3 світлового року. Є, проте, світила, що їх віддаль від нас треба визначати на сотні тисяч і навіть багато мільонів світлових років. Парсеком (скорочено—

паралакса секунда) звуть віддаль, що відповідає паралаксі на I секунду, отже, $\Delta = \frac{1}{\rho''}$ парсеків. Якщо паралакса зорі дорівнює 0,001″, то вона лежить від нас на віддалі 1000 парсеків. Один парсек світло пробігає за 3,26 року, а тому та сама віддаль, як обчислювати на світлові роки, становитиме $\Delta = \frac{3{,}26}{\rho''}$ світлових років

Крім цього тригонометричного способу визначати віддалі зір,— його можна вживати лише для найближчих до нас зір, — є ще кілька посередніх метод, що дають більш чи менш точні наслідки, і що їх можна вживати для далеко віддаленіших від нас об'єктів.

Одна з таких метод—це метода визначати віддалі зір з спектроскопом; цю методу уґрунтовано на вимірюванні так званих спектроскопічних паралакс.

Виявляється, що спектральні лінії деяких речовин мають різну інтенсивність навіть у зір, що в них спектри однакові. Вимірюючи інтенсивність спектральних ліній у зір з певними віддалями, визначеними вимірюванням тригонометричних паралакс, пощастило найти залежність між інтенсивністю ліній і віддаллю зорі від нас. Таким способом найшли нову методу визначати віддалі зір від нас, отже й паралакси їх, на основі вимірювання інтенсивности деяких спектральних ліній у зоревих спектрах.

Ця метода має величезне значення, бо вона далеко простіша, ніж тригонометрична. Тригонометричною методою за 100 років визначено лише кілька сот паралакс, а спектроскопічна метода дала за 6 років виміряти майже 3000 паралакс. Крім того, є ще й інші методи, уґрунтовані на вивчанні власних рухів зір, так звані методи групових паралакс, паралакс, що базуються на вивчанні спеціяльного типу змінних зір—цефеїд і цілий ряд інших, що їх уживають тепер більш чи менш успішно, вимірюючи віддалі до дуже далеких об'єктів. За браком місця ми тут не маємо змоги докладно говорити про всі ці способи, а скажемо лише за деякі з них у відповідних місцях цього підручника.

Світлова аберація

До тих астрономів, що заходилися на початку XVIII ст. визначати річні паралакси зір, щоб довести рух Землі по орбіті, належав ще молодий тоді астроном Брадлей, що його англієць Молено запросив в обсерваторію недалеко Лондону. Хоч Брадлей і працював дуже уперто, але йому так і не пощастило виміряти жодної паралакси. Зате він відкрив інше явище, що через нього положення зорі на небі дещо змінюється, потроху відхиляючись протягом року в той чи в той бік.

Спочатку Брадлей подумав, що він найшов паралаксу зір, але цей висновок був неправильний, бо спостерігані зміни в

положенні зорі відбувалися не в тім напрямі, в якім малося б їх спостерігати, якби паралакси мали величину, приступну для вимірів за тих часів. Це явище зветься річна світлова аберація.

Щоб зрозуміти суть світлової аберації, уявимо собі судно, що один борт його пробиває перпендикулярно гарматень. Якщо судно стоїть, то гарматень, пробивши перший борт, потрапляє у другий на тій самій віддалі від носу. Якщо ж судно рухається, то гарматень потрапляє у другий борт на більшій віддалі від носу, ніж у перший, і різниця поміж цих віддалей то більша, що більша швидкість судна. Отже, для людини, що пливе на кораблі, здаватиметься, що постріл зроблено не перпендикулярно до борта, а під певним кутом до нього. Причина цьому та, що хоч швидкість гарматня і велика проти швидкости судна, але за той час, що гарматень летітиме від одного борта до другого, судно все ж трохи пересунеться вперед. Те саме буває і з світлом усякої зорі, коли ми спостерігатимемо її з рухомої Землі. Через аберацію нам здаватиметься, що напрям світлового проміння, від зорі поперемінно змінюватиметься у невеличких границях, залежно від напряму руху Землі проти зорі.

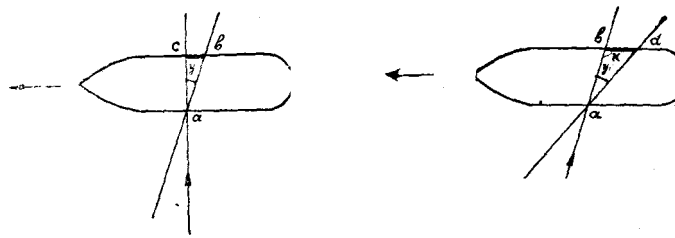


Рис. 112. Аберація світла.

Тут світловий промінь править за гарматень, а Земля — це ніби рухоме судно.

На вплив аберації треба зважити, визначаючи положення зір. Є ще *добова* аберація, що залежить від обертання Землі довкола осі, і *вікова*—від руху Землі разом із Сонцем у просторі. Проте, за них ми тут не говоритимемо.

Нехай за час Δt гарматень пролетить у рухомім судні від a до b. За той самий час судно просунеться на віддаль bc. Тоді з трикутника abc можна написати: $bc = ba \sin y$ або $\sin y = \frac{bc}{ba}$, але як $bc = v\Delta t$, а $ba = w\Delta t$, де v — це швидкість судна, а w — швидкість гарматня, —маємо: $\sin y = \frac{v\Delta t}{wst} = \frac{v}{w}$. Якщо гарматень пущено не перпендикулярно до борта, а, наприклад, в напрямі ad, то найдемо з скіснокутнього трикутника abd, що $\sin y' = \frac{v}{w} \sin k$.

Те саме маємо і для світла від зорі; тут v — швидкість Землі по орбіті, w — швидкість світла, y' — кут аберації, а кут k — кут між видимим напрямом на зорю і напрямом руху Землі, тобто дотичної до її орбіти.

Через річну аберацію, зоря творить на небі більш чи менш витягнену, залежно від положення зорі, еліпсу, і при цім більша піввісь цієї еліпси становить 20″47.

Добова аберація багато менша.

Отже, Брадлей не відкрив паралакси, але виявив річну аберацію світла, а вона цілком потвердила те, що Земля обертається круг Сонця.

Абсолютна яскравість і величина зір.

Ми вже бачили, що видимі яскравості зір і видимі їх зореві величини нічого не говорять нам про справжню яскравість і величину цих небесних тіл, бо віддалі їх від нас дуже різні. Для того ж, щоб мати змогу порівнювати між собою справжню силу світла—яскравості зірок, треба обчислити ту яскравість їх, яку б вони мали всі, якби перенести їх на ту саму певну віддаль від Землі.

Порівняння це роблять так.

Обчислюють ті яскравості, що їх мали б зорі, якби вони всі мали ту саму паралаксу 0″1, або, інакше кажучи, якби вони всі були віддалені від нас на 32,6 світлових років або, що те саме, на 10 парсеків.

Ці обчислення роблять, користаючи з того добре відомого правила, що яскравість джерела світла, наприклад, зорі, змінюється обернено пропорційно з квадратом її віддалі від спостерігача.

Якщо, наприклад, джерело світла відсунути на удвоє більшу віддаль, то його видима яскравість зменшиться в чотири рази.

Яскравість зір, віднесену до віддалі, що відповідає паралаксі 0″1, звуть ***абсолютна яскравість*** цих зір. Зорева величина, що її мали б зорі на тій самі віддалі 10 парсеків, має назву—***абсолютна зорева величина***. На відзнаку від видимої величини зорі, позначуваної малою латинською літерою m, її позначають великою літерою M. Абсолютну величину зорі легко можна обчислити, якщо знати її видиму величину m і паралаксу P, або віддаль Δ. Обчислимо спочатку абсолютну яскравість зорі J_M, якщо відома її видима яскравість J_m. Яскравості обернено пропорційні з квадратами віддалей, а віддалі обернено пропорційні з паралаксами; тому, щоб обчислити абсолютну яскравість J_M на підставі її видимої яскравості, матимемо таке просте відношення: $\frac{J_M}{J_m} = \frac{\Delta^2}{\Delta_0^2} = \frac{P_0^2}{P^2}$ (I), де Δ_0 і P_0—віддаль та паралакса, що відповідають абсолютній яскравості J_M. Потім, щоб перейти від яскра-

вости до зоревих величин, ми матимемо, на підставі попереднього: $\frac{J_M}{J_m} = 2.512^{m-M}$ (II), де m—видима, а M—абсолютна зореві величини

З I-го та II-го відношень легко маємо: $\frac{\rho_0^2}{\rho^2} = 2{,}512^{m-M}$, тобто зв'язок між видимою, абсолютною величинами зорі та її паралаксою.

Логаритмуючи, находимо: $-2-2\ \log\rho = 0{,}4\ (m-M)$, бо $\log 2{,}512 = 0{,}4$ і $\log\rho_0 = \log 0{,}1 = -1$ або $m-M = -5-5\ \log\rho$; отже, щоб визначити M, остаточно маємо:

$$M = m + 5 + 5\ \log\rho.$$

Ця формула — одна з основних формул зоревої астрономії. З неї можна, до речі, дізнатися, що абсолютна величина нашого Сонця дорівнює 5 зоревим величинам. Інакше кажучи, якби наше Сонце перенести на віддаль 10 парсеків, то ми уявляли б його собі, як бліду зірочку тільки 5-ї величини.

Кольори зір та їхні спектри.

Вдивляючись у зорі, ми помічаємо, що вони відрізняються одна від одної не тільки силою свого блиску, а й кольори їх різні. Є зорі білі, блакитні, жовті, червонясті і навіть цілком червоні, що нагадують краплі загуслої крови. Ця різниця поміж кольорів щільно зв'язана з різницею поміж спектрів цих зір і з тією температурою, яку вони мають. Зорі—тіла самосвітні, складені, як наше Сонце, з розжарених газів та пари, а тому спектроскопічні досліди можуть дати дуже багато цінних данних про їх склад, температуру та будову.

Зореві спектри—це типові спектри вбирання. Це свідчить за те, що зоря—це величезна газувата куля, подібна до нашого Сонця, оточена грубим шаром холодніших газів—зоревою атмосферою.

Спектри різних зір так відрізняються один від одного, що їх, щоб зручніше було досліджувати, поділено на окремі групи, так звані спектральні кляси або типи.

Першу клясифікацію запропонував Секкі (італійський астрофізик) в 60-х роках минулого сторіччя.

За цією клясифікацією всі зорі поділяють на чотири окремі кляси.

До першої залучено білі зорі, що мають дуже грубі атмосфери. Ці зорі далеко яскравіші за наше Сонце. В їхніх спектрах помітно, здебільша, небагато водневих ліній.

До другої кляси клясифікації Секкі належать жовтяві зорі. В їхніх спектрах видно дуже багато ліній різних металів. До цієї кляси належить і наше Сонце.

До третьої кляси належать червонясті зорі; вони характеризуються тим, що в їхніх спектрах, крім темних спектральних ліній, виступають ще широкі темні смуги вбирання.

У червоних зір четвертої кляси ці смуги такі широкі, що від веселкової смужки спектру лишаються тільки невеличкі ділянки.

Тепер клясифікація Секкі вже непридатна,— її заступила точніша клясифікація, опрацьована на Гарвардській обсерваторії у північній Америці. Цю клясифікацію угрунтовано на дослідженні дуже великого числа спектрів (більше за 200 000). У цій схемі зореві кляси позначено не цифрами, як у Секкі, а літерами.

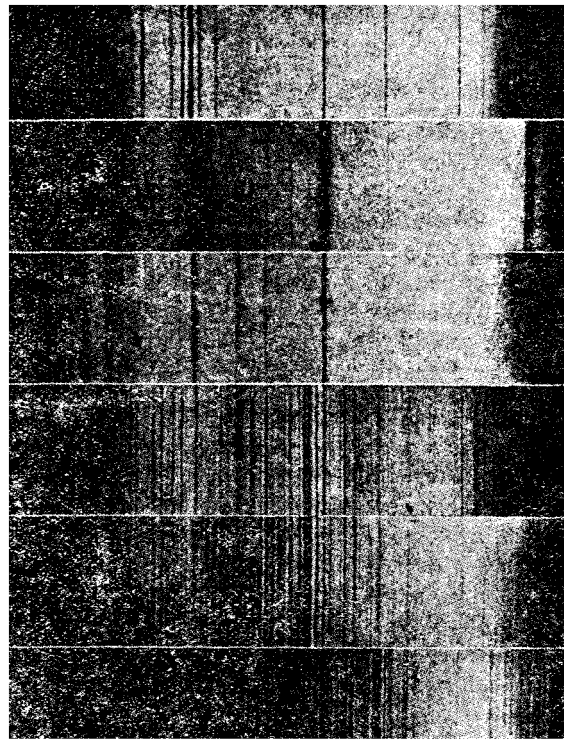


Рис. 113. Спектри зір різних спектральних типів.

Кляси ці такі: *O, B, A, F, G, K, M, N, R, S, P*. Крім того, щоб точніше схарактеризувати зміну спектру при переході від однієї спектральної кляси до другої, заведено ще дрібніші підподіли у кожній окремій клясі, цифрами, поставленими коло літери, що визначає спектральну клясу. Наприклад, зоря спектральної кляси B_5 має з своїм спектром середнє місце між зорями спектральних типів *Bo* і *Ao*. Зоря *Bg* дуже мало відрізняється спектром від зір кляси *Ao*.

Подивимось тепер, чим характеризується кожна кляса Гарвардської клясифікації.

До кляси *O* належать білі зорі, так звані Вольфа-Райє. Їхні спектри, крім темних ліній, мають ще й ясні, серед яких визначаються лінії йонізованого гелію. Ці зорі мають найвищу температуру.

Кляса *B* — це також білі зорі. У їхніх спектрах найвиразніше помітні характеристичні для цієї кляси лінії гелію. Водневі лінії теж доволі виразні. Зорі цього типу можна спостерігати, переважно, у Молочній Дорозі та в сузір'ї Оріона. Шість із семи яскравих зір у сузір'ї Оріона належать до цього типу.

До кляси *A* належать також білі зорі. У їхніх спектрах можна бачити широкі і дуже виразні водневі лінії. З'являються лінії йонізованих металів. Типові представники цієї кляси — Сіріюс та Вега.

Кляса *F* — це жовтявобілі зорі. В їхніх спектрах дуже інтенсивні лінії і йонізованого, і невтрального кальцію. Лінії металів позначаються далеко виразніше, ніж у клясі *A*. Типові для цієї кляси — Проціон і Канопус.

До кляси *G* належать жовтяві зорі. Спектр їх перетятий багатьма лініями металів, що належать здебільшого до невтральних елементів. Представники цієї кляси — наше Сонце і Капеля.

Кляса *K* характеризується червонястими зорями. В їхніх спектрах фіялкова частина помітно послаблена. Лінії металів ще сильніші. Типові для цієї кляси — Артур і Альдебаран.

До кляси *M* належать червоні зорі, що їхні спектри характеризуються широкими смугами вбирання сполук титанових, що містяться у блакитній частині спектру. Представники цієї кляси — Бетейгейзе та α Геркулеса.

Представників кляси *N* дуже небагато. Це бліді червоні зорі. Спектри їх характеризуються смугами вбирання вуглецевих сполук.

До кляс *R* і *S* належать дуже червоні зорі; їх дуже мало.

Кляса *P* охоплює плянетарні туманності. До спеціяльної кляси *Q* залучено нові зорі.

Температура зір

Визначення зоревих температур уґрунтовано на вивчанні розподілу енергії спектру і на порівнюванні цього розподілу з тим, що його маємо в спектрах розжарених тіл, нагрітих до певних високих температур у ляборатoрії. Вимірюючи яскравості окремих учасників спектру різного кольору, можна визначити температуру розжареного тіла, бо розподіл яскравости в спектрі — це функція тієї температури, до якої це тіло нагріто. Інакше кажучи, колір зорі характеризує її температуру. Тому досліджування ***показника кольору*** зір або, як кажуть, їхній ***індексовий колір*** дає так само засіб визначати температуру зір.

Показником кольору зорі звуть різницю поміж її яскравостей, виміряних з одного боку — візуально, а з другого — на підставі

фотографічних визначень. Візуальні визначення стосуються до найяскравішої для нашого ока частини спектра, а саме жовто-зеленої, а фотографічні—для коротших хвиль—фотографічного проміння,—тому в цій методі ми маємо, власне, спрощену спектроскопічну методу визначати температуру; звичайно, ця метода не така точна, але швидша і зручніша. Ми не можемо в наших лябораторіях мати таких високих температур, які ми спостерігаємо у найгарячіших зір. Тимто нам і доводиться вдаватись до екстраполяцій, користаючи з формул, наприклад Плянкової та Вінової, виснуваних для так званого абсолютно чорного тіла.

Досліджуючи залежність між кольором розжареного тіла та його температурою, застосовують Плянкову формулу, виснувану теоретично і перевірену лябораторними дослідами до температури 2000°.

Абсолютно чорним тілом ми звемо таке, що вбирає всі промені різних завдовжки хвиль, що падають на нього.

Плянкова формула така: $I = C\lambda^{-5}\left(e^{\frac{c}{\lambda T}} - 1\right)^{-1}$; I

тут I—це інтенсивність випромінювання, що відповідає даній довжині хвилі спектру λ. C і c — дві сталі величини, e — основа натуральних логаритмів, а T — абсолютна температура. Для зір можна згаданими способами визначити лише так звану ефективну температуру, а це не інше що, як температура абсолютно чорного тіла з тим самим розподілом інтенсивности в спектрі, спостеріганім у спектрі зорі, що її температуру визначаємо. Спостереження доводять, що випромінювання тіла то більше наближається до законів випромінювання абсолютно чорного тіла, що вища температура тіла і що коротша світлова хвиля. Для зір з досить високою температурою відхили від абсолютно чорного тіла невеликі, і тому певні ефективні температури їх дуж наближаються до справжніх.

Якщо визначено енергію випромінювання I_1 і I_2 у двох місцях зоревого спектру для довжин хвиль λ_1 і λ_2, то легко находимо з (I) відношення:

$$\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)^5 \frac{e^{\frac{c}{\lambda_2 T}} - 1}{e^{\frac{c}{\lambda_1 T}} - 1} \quad . . . . . (II).$$

З цього відношення і визначаємо температуру T, бо c находимо способом досліду із спостережень над випромінюванням абсолютно чорного тіла.

У дальшій табличці подано температуру зір різних кляс. Звичайно, ці температури належать лише до поверхневих шарів зір. В глибині зорі температура має доходити багатьох мільйонів градусів, і її можна обчислити лише на підставі теоретичних міркувань про внутрішню будову зір.

Температура зір різних спектральних кляс:

O — 20 000	*G* — 6 000
B — 15 000	*K* — 4 500
A — 10 000	*M* — 3 000
F — 7 000	

Подвійні зорі

Подвійною зорею ми звемо таку зорю, що для голого ока видається, як одна зоря, а для дуже гострого ока, озброєного біноклем або більш-менш потужною астрономічною трубою, поділяється на дві.

Подвійні зорі бувають двох типів — так звані оптичні і фізичні; у перших обидва компоненти не зв'язані між собою. Тут ми маємо діло просто з наслідком перспективи. Одна з цих зір стоїть ближче до нас, а друга—ззаду, але, що вони лежать майже на одній лінії, проведеної до них з Землі, то нам здається, ніби вони дуже близькі одна до одної.

Навпаки, у фізичній подвійній зорі хоч зорі і далеко лежать одна від одної, та проте далеко ближче, ніж в оптичній парі. Тут одна зоря — Сонце обертається довкола другої зорі — Сонця, так само, як Місяць довкола Землі або Земля довкола Сонця.

Крім подвійних зір є ще потрійні, четвірні і т. д.

Число відомих нам подвійних зір доходить тепер 20 000. Видима віддаль між зорями, що становлять подвійну систему, не більша звичайно за кілька секунд дуги, а здебільшого навіть менша за одну секунду.

Обертання в таких зоревих системах дуже повільне. Здебільшого періоди обігів доходять сотень або й тисяч років; далеко рідше трапляються коротші періоди обігів, менші за 20 років. Найкоротший період з усіх відомих— близько 6 років.

Коли відома віддаль подвійної зорі від нас—тоді можна визначити розміри орбіт її компонентів, а також і масу їх. Тепер визначено вже доволі багато орбіт подвійних зір. Вивчення їх показало, що здебільшого у подвійних системах маси обох компонентів мало відрізняються одна від одної, а цього не має у нашій сонцевій системі, де маса центрального тіла Сонця в 700 раз більша за суму мас усіх плянет, разом узятих. Компоненти у подвійній системі обертаються в загальнім випадку довкола їхнього центра ваги, описуючи подібні формою, але різні величиною витягнені еліпси, і при цім центр ваги, що довкола нього обертаються обидві зорі, часто лежить далеко від головного компонента системи. Використовуючи третій Кеплерів закон у його виправленій формі, знаючи велику піввісь орбіти супутника подвійної зорі довкола головного компонента і час обігу довкола нього, легко можна визначити загальну масу системи проти Сонця. Припустімо, що A і T — це велика піввісь супутникової орбіти, і час його обігу в якійнебудь подвійній системі

M_1 і M_2 маси головної зорі та супутника. Нехай далі a і t — велика піввісь земної орбіти і час обігу Землі довкола Сонця. M і m — маси Сонця й Землі. Тоді на підставі третього Кеплерового закону ми можемо написати таке відношення: $\frac{a^3}{t^2(M+m)} = \frac{A^3}{T^2(M_1+M_2)}$. Маса Землі дуже мала проти маси Сонця, а тому ми можемо взяти, що $m = O$, $t = 1$ = одному рокові, а $a = 1$ = одній астрономічній одиниці. Підставивши ці величини в попередню формулу, матимемо:

$$\frac{1}{M} = \frac{A^3}{T^2(M_1+M_2)}$$

або

$$\frac{M_1+M_2}{M} = \frac{A^3}{T^2}$$

В цій формулі T має бути дане на роки і A — на астрономічні одиниці.

Визначання мас подвійних зір показало, що ці маси, загалом того самого порядку, як і маса Сонця,— менші за неї або більші лише в кілька разів.

Спектрально-подвійні зорі.

Є, проте, цілий ряд таких щільних подвійних зір, що сучасні, навіть найпотужніші астрономічні інструменти, не можуть показати їх нарізно. Що ми маємо тут подвійну зорю—це може довести тільки спектроскоп. Зорі, що їх подвійність виявляється спектральною аналізою, звуть *спектрально-подвійні* зорі.

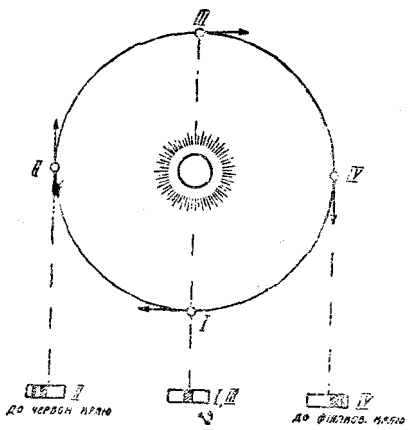


Рис. 114. Відбіг спектральних ліній у спектрально-подвійній зорі.

Припустімо, що ми маємо подвійну зорю, де компоненти обертаються по орбітах, розміщених у площині, що збігається з променем зору. Тоді, очевидно, (див. рис. 114), що в той час, коли зорі проходять або найближчі, або найдальші частини своїх орбіт, вони, рухаючись перпендикулярно до променя зору, не віддаляються від нас і не наближаються до нас. Очевидно, що в цих положеннях швидкість руху зір не впливає на положення спектральних ліній. Ефекту Доплера-Фізо ми спостерігати не будемо — лінії не будуть зсунені.

Інше можна буде спостерігати, якщо розглядатимемо спектр спектрально-подвійної зорі в інших частинах її орбіти. В них зорі або наближатимуться до нас, або віддалятимуться від нас (положення II, IV, рис. 114). Тимто в тій частині орбіти, де зоря наближається до нас, її спектральні лінії будуть зсунені до фіялкового кінця спектру, а в тих, де вона віддаляється від нас — до червоного. На підставі величини цього відбігу можна визначити променеву швидкість зорі в кожній точці її орбіти, побудувати так звану *криву швидкостей* і обчислити саму орбіту.

Коли будемо розглядати відбіги ліній у спектрах спектрально-подвійних зір, перед нами може бути два випадки: перший—це той, коли ми маємо спектр лише одного компонента системи; сяйво другої зорі таке бліде, що його спектр непомітний. Тоді лінії відбігають то до червоного, то до фіялкового кінця спектру, відносно певного середнього положення. Коли ж сяйво другої зорі не дуже бліде, то ми маємо спектри обох компонентів, накладені один на один. Обидві зорі в подвійній системі рухаються так, що коли одна зоря наближається до нас, то друга віддаляється; тимто ми можемо тут, якщо спектри обох зір однакові, спостерігати періодичне роздвоювання спектральних ліній. Вимірюючи величину цього роздвоєння, можна визначити променеві швидкості обох зір і, діставши криві їх променевих швидкостей, обчислити орбіту.

Досі відкрито близько 1000 спектрально-подвійних зір. Є підстави гадати, що загалом кажучи, більша частина зір, які ми бачимо, — спектрально-подвійні. Періоди їх обігів дуже невеликі. Найбільші періоди не більші за кілька років. Здебільшого вони дорівнюють кільком дням або годинам. В цім разі обидві зорі, що становлять подвійну систему, мають бути так наближені одна до одної, що поверхні їх майже дотуляються одна до одної. Спектральна аналіза дала змогу визначити, що одинокі зорі, так само, як і наше Сонце, теж обертаються довкола своїх осей.

Змінні зорі.

Є зорі, і з кожним роком їх відкривають дедалі більше, що змінюють силу свого блиску, то зменшуючи її, то збільшуючи Деякі з цих зір змінюють силу свого блиску через правильні, цілком певні періоди часу. Яскравість інших змінюється неправильно. Зорі, що змінюють силу свого блиску, звуть змінні зорі. Тепер відомо вже багато тисяч змінних зір. Здебільшого це бліді зорі, голому оку неприступні. Їх можна досліджувати тільки в більш-менш потужний телескоп або через фотографії.

Щоб мати змогу зв'язати зміни блиску змінних зір з причинами цього явища, їх звичайно поділяють на окремі групи або типи, поділені на дрібніші підтипи, відповідно до тих кривих зміни блиску, що характеристичні для даної підгрупи.

На підставі великого спостереженого матеріялу, що його уже тепер маємо, можна визначити такий поділ змінних зір.

I. Червоні, здебільшого періодично змінні.

а) Довгоперіодичні змінні. Характеристичний представник цього підтипу — зоря *o* Кита (Міра).

б) Змінні, що в них у кривих зміни блиску спостерігають подвійні хвилі. За характеристичну зорю цього підтипу можна вважати зорю *RV* Бика. Спектри цих змінних від *9* до *M*.

с) Неправильні змінні, що блиск їх змінюється так, як це спостерігається у зорі μ Цефея. В цій підгрупі переважають спектри кляс *M* і *N*.

II. Неперіодичні змінні.

а) Зорі, що в них можна запідозріти хоч якунебудь періодичність у зміні блиску. Характеристичний представник *u* Близнят. Очевидно, найчастіше трапляється спектральна кляса *F*.

б) Зовсім неперіодичні змінні, що в їхніх кривих немає і натяку на періодичність. Тип—*R* Корони. Тут, очевидно, переважають спектральні кляси *F* і *G*.

III. Цефеїди.

а) Періодичні змінні з періодами тривалістю кілька день. Тип δ Цефея; переважають спектральні кляси від *F* до *G*.

б) Короткоперіодичні змінні, часто з періодом кілька годин. Характеристичний представник *R R* Ліри; найчастіше трапляються спектральні кляси від *A* до *F*.

IV. Затьмові змінні.

а) Спектрально-подвійні зорі з блідими супутниками. Тип Альголя. Спектри від *B* до *A*.

б) Спектрально-подвійні зорі з ясними супутниками. Тип — β Ліри.

Новітній поділ змінних зір, визначений на Ґарвардській обсерваторії, такий:

1. тимчасові зорі (нові), 2. довгоперіодичні змінні, 3. неправильні змінні, 4. цефеїди, 5. затьмові змінні, 6. бліді зорі Оріонового типу, 7. невідомі типи, 8. змінні в зоряних роях.

Поговоримо тепер про те, чим характеризуються деякі з наведених типів змінних зір і якими причинами пояснюється зміну блиску змінних того чи того типу (про нові зорі див. окремий розділ „Нові зорі“).

Довгоперіодичні змінні.

Період зміни яскравости їх буває, пересічно, між 90 і 900 днями. Амплітуда змін дуже велика і охоплює, звичайно, кілька зоревих величин. Так, наприкад, сама Міра, типовий представник цієї кляси змінних у максимумі доходить майже 2-ої величини,

а в мінімумі спускається майже до 9-ої. Можна спостерігати також і зміни в спектрі. Причина змін блиску цих зір, мабуть,— внутрішні процеси, що відбуваються в глибині розжарених газових мас. Можлива річ, що тут ми маємо діло з періодичним стисканням та розширенням цих газових шарів. Проте, це питання не можна ще вважати за остаточно розв'язане.

Неправильні змінні

Крива цих зір не дає змоги помітити будьякої закономірности у зміні блиску. Причина зміни блиску у цих зір — це, мабуть, так само внутрішні процеси, що відбуваються в їхніх надрах.

Цефеїди

Ці змінні мають дуже правильний період зміни яскравостей. Яскравість цих зір змінюється протягом усього періоду зміни блиску. Проте, у однієї відміни їх, у так званих антальґолів, ми помічаємо, що яскравість, лишаючись протягом певного часу сталою, раптом швидко і на малий час збільшується, а потім знову повертається до своєї попередньої величини.

Абсолютна величина цих зір дуже велика і доходить іноді— 4,2 зоревої величини, тобто така зоря майже в 4800 раз яскравіша за Сонце. Спектр цефеїд так само мінливий і свідчить, що температури цих зір змінюються разом із блиском на багато сотень градусів. Зміну блиску цефеїд найкраще пояснювати, як це зробили Шеплі та Еддінгтон, так само внутрішніми процесами, що відбуваються в зорі і спричиняють так звані *пульсації*

Згадані вчені припустили, що газовий шар зорі періодично пульсує, то розширюючись, то стискаючись. При такому процесі має змінюватись температура і яскравість зорі. Цілий ряд спостережень, що їх ми тут не розглядатимемо, потверджує цю теорію. Цефеїди належать до великих розмірами з дуже невеликою густиною зір, так званих велетнів; за них ми говоритимемо далі. Причин пульсації покищо не з'ясовано.

Затьмові змінні (зорі типу Альґоля).

До цієї кляси належать зорі, що швидко й правильно змінюють свою яскравість. Протягом кількох день сила їхнього сяйва лишається стала і тільки протягом небагатьох годин змінюється. Найвідоміша зоря цього типу—Альґоль—β у сузір'ї Персея. Зоря протягом двох діб та 11 годин зберігає ту саму силу блиску, близько 2,3 величини, потім блиск починає зменшуватись і протягом $4^1/_2$ годин доходить своєї найменшої величини 3,5. Протягом того самого часу яскравість зорі збільшується і знову доходить величини звичайної. Тривалість періоду цілковитої зміни блиску цієї зорі становить 2 доби і 20 годин. У деяких зір цього типу

можна спостерігати протягом періоду два мінімуми, і при цім вторинний мінімум багато менший за головний. Найдовший період зміни блиску має зоря ε Візника; тут він становить 27 років. Останнього часу зір типу Альголя відомо близько 200.

Різними дослідами, робленими над зорями типу Альголя, і фотометричними, і спектроскопічними категорично встановлено, що тут ми маємо діло з подвійними зорями, що їх ми не можемо поділити користаючи з наших інструментів. Змінні зорі типу Альголя разом з тим є і спектрально-подвійні зорі.

Яскравість їхня змінюється через те, що темніший супутник, обертаючись довкола головної зорі, періодично заслоняє головну зорю і сам заслоняється за нею. В першім випадку ми спостерігаємо головний мінімум, а в другім — вторинний. У більшої частини цих зір супутник помітно темніший від головної зорі і тому, коли його закриває головна зоря, загальна яскравість змінюється дуже мало, і вторинний мінімум буває майже непомітний. Якщо обидва мінімуми майже однакові величиною, то поверхні обох зір мають приблизно ту саму яскравість.

З фотометричних та спектроскопічних спостережень над зорями типу Альголя можна визначити орбіту, що нею вони ходять. Можна також обчислити розміри цих зір, їхні маси і пересічну густину їх. Виявляється, що густина цих зір дуже мала, і в багатьох з них густина у сотні тисяч раз менша проти густини нашого повітря. Віддаль між компонентами в цих системах того самого порядку, що й у звичайних спектрально-подвійних зір, де супутник проходить то вище, то нижче від головної зорі, і не спричиняється до затемнення. Віддалі між зорями в деяких із цих систем такі невеликі, що обидва компоненти, обертаючись, майже торкаються один одного.

Дуже цікавих наслідків дійшов німецький астроном Ґутнік, що застосовував дуже чутливий до змін яскравостей фотоелектричний фотометр, досліджуючи незмінні для звичайних інструментів зорі. Досліди довели, що багато з цих сталих зір теж змінні з дуже малими амплітудами.

Тимчасові (нові) зорі.

Іноді або в самій Молочній дорозі, або недалеко від неї загоряються нові, дуже яскраві зорі, на тім місці, де раніш голим оком не можна було бачити жодної зорі. Це так звані ***тимчасові***, або ***нові*** зорі. Ще 60 років тому появ нової зорі вважали за дуже рідке явище. Проте, тепер зареєстровано уже доволі таких випадків. Іноді протягом одного року можна спостерігати кілька таких зір. Можна сказати, що, починаючи з 1572 р. і кінчаючи 1927 р. з'явилася 31 нова зоря; всі вони були в максимумі не менші за 7-му величину. Пізніші досліди свідчать що на тім місці, де з'являється нова зоря, до того була дуже бліда зірочка і, отже, ми буваємо свідками не того, що з'явля-

ється нова зоря, а що колосально збільшується яскравість однієї з блідих зір.

Приміром, нова зоря, що загорілася у сузір'ї Орла 1918 р. була до того зірочкою лише 11-ої величини, а в момент максимального блиску досягла блиску зорі 1-ої величини, 8-го червня. Потім яскравість її почала дуже швидко спадати. На 1-е липня вона зійшла вже на 4-у величину. В листопаді вона була 6-ої величини. До 1923 р. вона знову дійшла 11-ої величини і лишається такою досі з невеличкими змінами туди чи туди.

Таке швидке збільшення блиску протягом кількох день, ба навіть годин, і потім повільніше, протягом кількох місяців або тижнів, зменшення яскравости до границь видимости голим оком можна спостерігати в усіх нових зір. Яскравість нових зір змінюється колосально. Наприклад, нова зоря в Орлі в момент максимальної яскравости була майже в 60000 разів яскравіша ніж до свого запалення. Нова зоря 1572 р. ще більше посилила свою яскравість, а саме—більше, як в 1000000 разів. Всі роблені досі визначення паралакс нових зір свідчать за те, що вони лежать від нас на величезній віддалі. Абсолютна яскравість після спалаху дуже велика, і розміри стають дуже великі, тим часом, як до запалення абсолютна яскравість і розміри цих зір мало чим відрізняються від абсолютної яскравости та розмірів нашого Сонця.

Спектри нових зір так само зазнають великих і цікавих змін.

Спочатку спектр нової зорі здається нам суцільчим типу *A* з темними лініями. Особливо широкі бувають лінії водню, магнезію та силіцію. В цей період ясних ліній випромінювання у нових зір ще спостерігати не можна. Потім темні лінії та суцільний спектр дедалі слабшають, і виходять ясні лінії випромінювання водню, гелію, а так само лінія, характеристична для газових туманностей, тобто спектр нової зорі перетворюється на спектр зірок типу *O* та плянетарних туманностей.

Спектральні лінії кількох елементів і, особливо, водню бувають дуже зсунені до фіялкового кінця. Виміри свідчать про швидкості від 1000 до 2000 км на секунду. З такими швидкостями, очевидно, наближаються до спостерігача газові маси, викинені з надр нової зорі. Дуже цікавий й показовий той факт, що до того часу, коли спектр нової зорі переходить у спектр плянетарної туманности, довкола неї з'являється справді туманна оболонка, що дедалі ширшає і збільшується.

Приміром, туманність довкола нової зорі Орла 1918 р. останніх років так збільшилася в діяметрі, що він дійшов майже 6000 астрономічних одиниць.

Щоб пояснити, чому загоряються нові зорі, висловлено кілька гіпотез; наприклад—сутичка двох зір, сутичка зорі з туманністю тощо. Проте, всі ці гіпотези недосить угрунтовані, і їх не можна вважати за прийнятні. Найімовірніша гіпотеза—це гіпотеза про внутрішній вибух.

Мабуть, причина цього явища не інше що, як раптовий, подібний до вибуху, розпад зоревих атомів, коли виділяється величезна кількість енергії. Цей вибух викидає зсередини зорі маси розрідженої матерії, що летить з величезною швидкістю від зорі і утворює довкола неї туманність, спостерігану нашими телескопами. При такім процесі, подібнім до розкладу радіоактивних речовин, тільки набагато швидшім, мають виділятись величезні кількості світла і тепла. Ця теорія може досить точно пояснити спостерігані в нових зір зміни.

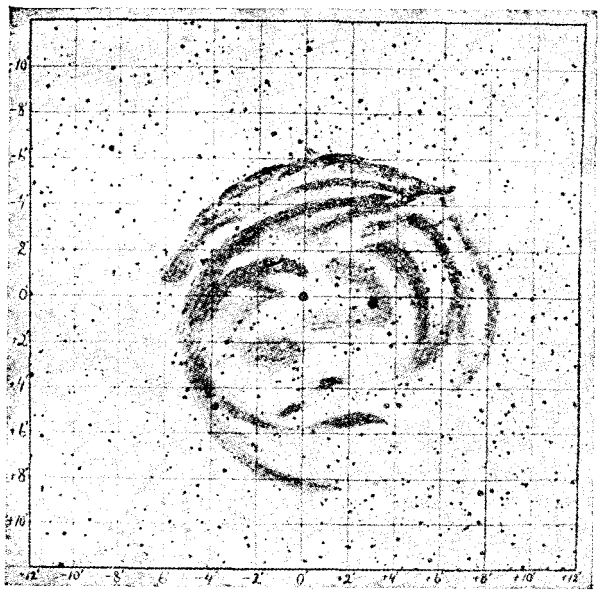


Рис. 115. Туманність коло нової зорі.

Розміри зір. Зорі-велетні і зорі-карлики.

Ми вже бачили, що температура зір ступнево зменшується, переходячи від спектральної кляси *O* до *M*, тобто що білі зорі куди більше нагріті, ніж червоні. Цей факт дав багатьом дослідникам право думати, що температура, отже й спектральна кляса зорі — це показник її віку. Спочатку думали, що наймолодші — це найгарячіші білі зорі, що, поволі витрачаючи своє тепло, через випромінювання, поволі охолоджуються, переходячи спочатку до розряду червоних зір, а потім перетворюючись на темні і непомітні з Землі тіла. Такий погляд визначає, що зоря, власне, починає своє життя від стадії найбільш нагрітого тіла і потім поволі згасає. Проте, коли проаналізувати його глибше, то наразимось на моменти, що будуть для нас не зовсім зрозу-

мілі і потребуватимуть дальших пояснень. Наприклад, як пояснити той факт, що зоря починає існувати з стадії найбільш нагрітого тіла? Як вона доходить цього стану? Тобто, чи справді біла зоря є наймолодша, чи до цієї стадії вона була зорею з нижчою температурою? Тепер опрацьовано нову теорію розвитку зорі; за нею червоні, отже й найхолодніші зорі можуть бути двох відмін. До однієї належать молоді зорі, що лише розгоряються, а до другої — що вже згасають.

За Лок'єровою теорією, що її опрацювали та доповнили Рессель і Герцшпрунґ останнього часу, треба уявляти собі процес розвитку зорі саме так. Цю теорію потверджують і Еддінґтонові досліди.

Виходить, що є дві галузки у кривій зоревої еволюції. На першій зоря з малонагрітої червоної, ступнево розгоряючись, перетворюється на найбільш нагріту, білу. На другій — з білої ступнево простигаючи, знову перетворюється на червону й, малонагріту.

Такий погляд спричинився до величезного перевороту в наших уявленнях про природу та розвиток зір. Ця, суттю, революційна теорія, дала думці нові путі, що ними розум людини просуваючися далі й далі в глиб віків, доходить до джерел розвитку зоряного світу.

Ще відомий голляндський астроном Герцшпрунґ визначив, що яскраві червоні та жовтогарячі зорі, як от Арктур — головна зоря в сузір'ї Волопаса, Бетейґейзе — в сузір'ї Оріона і Антарес головна зоря в сузір'ї Скорпіона — мають дуже малі паралакси. Інакше, вони надто далекі від нас, але все таки нам здається, що вони надзвичайно яскраві. Це свідчить за те, що абсолютні яскравості Арктура, Бетейґейзе і Антареса мають бути дуже великі.

Загалом, червона зоря, що має набагато нижчу температуру, ніж біла, має випускати і менше світла та тепла, коли розміри її однакові. А як перелічені червоні зорі, порівняно мало нагріті, з тієї величезної віддалі, де вони лежать, дають далеко більше світла та тепла, ніж білі зорі, що лежать від нас майже на такій саме віддалі, — то, отже, згадані зорі мають бути величезні розміром. Цей висновок потверджують теоретичні й статистичні досліди, а останнього часу і безпосередні спостереження.

Після того, як Герцшпрунґ визначив абсолютні яскравості Арктура, Бетейґейзе і Антареса, американський астроном Рессель 1912 р. обчислив ще 300 абсолютних яскравостей різних зір і побудував діяграму, що її ми тут подаємо (рис. 11б). На цій діяграмі в горизонтальнім напрямі відкладено спектральні типи зір, позначені згори літерами, а у вертикальнім напрямі — абсолютні яскравості цих зір. Розглядаючи цю діяграму, ми можемо на підставі числа точок, що є на ній, визначити, скільки зір з відзначених 300 належать до тієї чи тієї спектральної кляси. До кляси *F* належать лише дві зорі, і абсолютні яскравості їхні

лежать між +2 і +4. Потім ми робимо висновок так само, що серед цих 300 зірок немає жодної спектральних кляс *B* і *A*, що їх абсолютні яскравості були б менші за *O*. Для червоних зір ми не маємо жодної зорі з середньою абсолютною яскравістю, бо для спектральних кляс *K* і *M* точки групуються або близько дуже великих абсолютних яскравостей, або близько дуже малих. Відси виходить, що зорі спектральних типів *B*, *A* і *F* мають бути середні та великі розміром, бо точки, відповідні їм, згруповані близько великих та середніх абсолютних яскравостей. Щождо зір спектральних типів *K* і *M*, то вони мають бути або дуже великі, або дуже малі розміром. Перші звуть „*зорі - велетні*", а другі — „*зорі - карлики*".

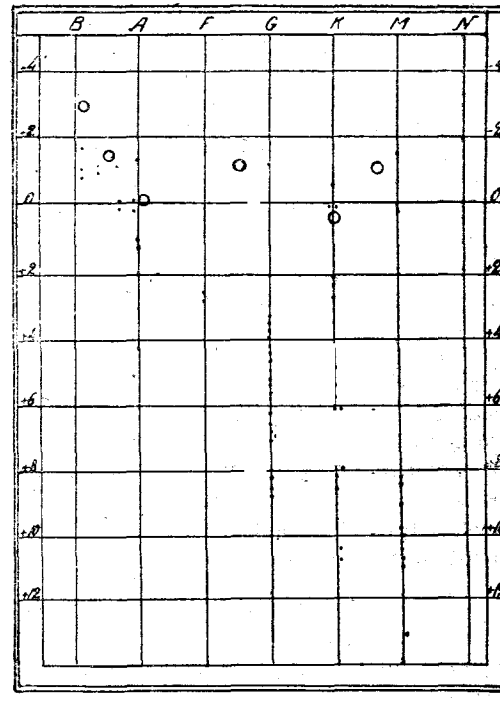


Рис. 116. Ресселівська діяграма.

Видима річ, що зорі-велетні, хоч і мають однакову температуру з зорями - карликами тієї самої спектральної кляси, але абсолютні яскравості їх дуже відмінні. Цей факт можна пояснити лише тим, що яскравіша зоря-велетень має набагато більшу поверхню, ніж зоря - карлик. Наприклад, Бетейґейзе, що її абсолютна яскравість у 1500 разів більша від абсолютної яскравости Сонця, має діяметр у 270 разів більший за сонцевий.

Маси зір взагалі лише мало чим відрізняються від маси Сонця (досі не найдено жодної зорі, що її маса перебільшувала б масу Сонця більше, як у кілька десятків разів, і то це малий виняток, і жодної маси, що становила б менше, як $^1/_{10}$ маси Сонця); тимто пересічна густина зір має бути дуже відмінна для карликів і для велетнів.

Тим часом, як пересічна густина звичайних зір-карликів трохи відрізняється від густини Сонця (1,4 густини води), у велетня вона приблизно в 1000000 менша за густину води і в 1000 разів менша за густину повітря біля земної поверхні.

Що зорі - велетні існують — це блискуче потверджують виміри діяметрів деяких зір, зроблені за інтерферометром, що його сконструював відомий американський фізик Майкелсон і при-

ладнав до величезних американських телескопів. Точність і чутливість інтерференційної методи величезна, а втім виміри вдалися тільки для деяких зір, що мають доволі великі видимі діяметри. Для більшої ж частини зір цей прилад вийшов недосить потужний. Тепер роблять новий, що дасть змогу визначати діяметри у зір, із меншими видимими розмірами. Зроблені вже виміри дали, що діяметр Бетейгейзе в 300 разів більший, ніж у Сонця, а у Антареса — більший в 450 разів, тобто якби Антарес стояв на місці нашого Сонця, то він зайняв би простір далеко більший, ніж Марсова орбіта.

Останнього часу відкрито ще зорі особливого типу, так звані *білі карлики*. Вони характеризуються невеликими розмірами і дуже великою густиною речовини, що належить до їхнього складу. Хоч вони мають високу температуру, характеристичну для всіх білих зір, — густина речовини в однім з таких білих карликів, а саме у Сіріюсового супутника, майже у 2500 разів більша за густину плятини.

Дуже важко уявити собі стан розжареного газу, що має таку велику густину. Найбільш правдоподібне пояснення величезної густини білих карликів таке: вони складені не з якоїнебудь спеціяльної невідомої нам матерії, а до складу їх належать ті самі речовини, що є і на інших зорях. Тільки через високу температуру білих карликів їх матерія дуже йонізована і більшість електронів відірвані від своїх ядер. Йонізована система кожного атома має займати менше місця, ніж нейонізована. Тому тиск всередині цих зір може більше наблизити між собою окремі ядра атомів, бо довкола них немає тих електронів, що, обертаючись довкола ядра, стають на перешкоді до цього наближення. Такими міркуваннями можна пояснити малий розмір і велику густину білих карликів.

Обертання зір довкола осей.

Є всі підстави гадати, що зорі, подібно до нашого Сонця, обертаються довкола своїх осей. Це питання можна певною мірою висвітлити через спектральні спостереження. Справді, якщо зоря обертається довкола своєї осі, то лінії в її спектрі мають здаватися нам розширеними. Це буде наслідком того, що на щілину спектроскопа трапляє світло від усієї поверхні зорі, бо видимий діяметр зорі дуже малий, і не можна, як ми робимо це з Сонцем або плянетами, скеровувати щілину на окремі ділянки її поверхні, щоб спостерігати *відбіги спектральних ліній*, що при тім бувають. Спостерігаючи зорю, ми бачимо спектральну лінію, утворену від усієї поверхні, де різні її частини обертаються з різною швидкістю і в різних напрямах. Наслідком цього й буває *розширення спектральної лінії*, а не *відбіг її*.

Зроблені спостереження над обертанням зір дали вже цікаві наслідки й довели, що найшвидше обертаються гарячі білі зорі.

У пізніших спектральних типів, тобто у холодніших зір, спектральні лінії багато менше розширені.

Це стосується, переважно, до зір - велетнів, бо зорі - карлики надто бліді і не дають змоги робити досить точні досліди.

Крім того, дуже цікаво, що досі ще не виявлено жодної зорі з швидкістю обертання більшою, ніж 300 км/сек. Для Альтаїра спостереження дають швидкість, рівну 250 км/сек., а для яскравої Веги вона зовсім непомітна.

Що згадану методу можна застосовувати — це виявляється, наприклад, коли порівнювати наслідки від спостерігання змінної і разом з тим спектрально-подвійної зорі Альголя.

Тут швидкості, добуті фотометричним способом і допіру згадані, майже збігаються.

Слід відзначити, що розглянена метода визначати швидкість обертання зір довкола осей, потребує ще дальшого уважного розроблення, і тільки після цього можна сподіватись на цілком надійні від неї наслідки.

Зорева еволюція.

На підставі усього попереднього можна змалювати чітку й виразну картину зоревої еволюції. Спочатку зоря — це величезна газова куля, дуже велика об'ємом і з дуже малою густиною; це певніше якась туманна маса, ніж справжня зоря. Вона мало нагріта і має температуру всього близько 2000 — 3000°. Це велетень з дуже великим об'ємом і поверхнею. Тому він здається нам, як зоря з великою абсолютною яскравістю, червоняста на колір.

Ступнево ця велетенська зоря дедалі більше стискається й згущується. Видима річ, що в процесі цього стискання зоря чимраз більше розігріватиметься, і температура її більшатиме. Колір з червоного перетворюється на білий, проходячи через жовтогарячий і жовтий. В цей період розігрівання зорі її абсолютна яскравість лишається майже незмінна, бо хоч поверхня зорі і зменшується, проте температура її збільшується; отже, кожна частка поверхні дає більше світла та тепла проти попередньої стадії. Проте, настає момент, коли густина зорі так збільшується, що процес стискання починає загаювати. Тоді доплив тепла, через стиск усередині зорі, не може вже компенсувати того тепла, що його зоря випускає в простір. Зоря починає простигати, температура її зменшується, і блиск ступнево згасає.

Отже, еволюцію зорі можна подати у формі кривої, показаної на рис. 117, де відзначено, в якій послідовності зоря проходить через усі спектральні кляси і як при тім змінюється її температура. Розглядаючи криву, ми бачимо, що зоря двічі проходить через ту саму спектральну клясу і тому двічі під час свого розвитку має однакову температуру, — один раз на висхідній стадії свого розвитку, а другий — на нисхідній. Слід відзначити, що

не всяка зоря може дійти найвищої температури білих зір. Якщо маса зорі недосить велика, то тепла, що вилучається в процесі стискання, буває недосить, щоб компенсувати його втрати, і тому зоря не доходить вершка кривої еволюції. Вона може, наприклад, дійти лише стадії жовтої зорі, коли витрата тепла уже не може компенсуватись його допливом у наслідок стиску, і зоря починає простигати. Видима річ, що згадані тут процеси відбуваються надто повільно — мільярди років. Очевидно, охолодження зорі — ще не кінець її еволюції. Під впливом середатомових сил зоря може вибухнути й засяяти, як відома вже нам *нова зоря,* оточивши себе величезною туманністю.

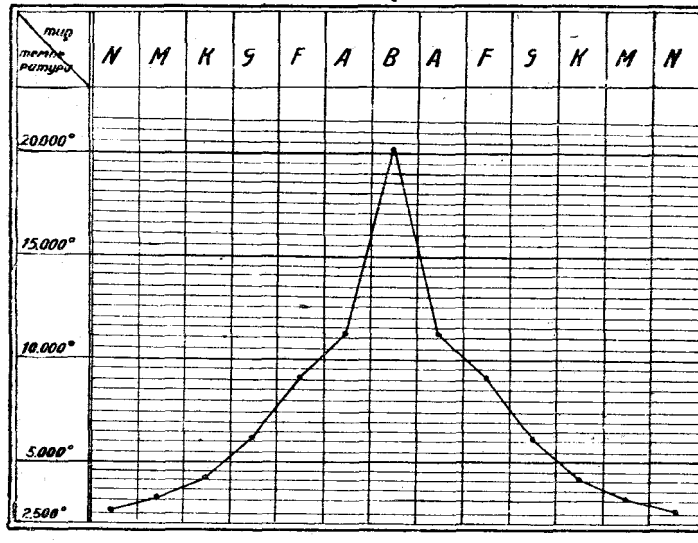


Рис. 117. Крива зоревої еволюції.

Зоряні рої.

У деяких частинах неба можна спостерігати велике згущення зір. Вони, сказати б, тут більше скупчені, і видимі віддалі між ними дуже малі. Це так звані *зоряні рої.* За приклад такого зоряного роя, що його добре видно голим оком і можна розкласти на окремі зорі без будь якої труби, може бути відома всім зоряна група Плеяд у сузір'ї Бика. Рої в сузір'ях Рака, Лева та Близнят видаються голому оку ніби туманні плями. Зоряні рої — це цілі зореві системи, складені з багатьох сонць, що мають, очевидно, спільну історію розвитку.

Зоряні рої поділяються на розсіяні (або відкриті) і кулясті. Нам відомо досі близько 200 розсіяних зоряних роїв. Всі вони характеризуються тим, що мають неправильну форму і складені з

кількох сотень зір різної яскравости. Типовий представник цієї відміни зоряних роїв і найближчий до нас — це відомі вже нам Плеяди. Паралакса Плеяд становить 0″,02, а відповідна їй віддаль — 200 світлових років.

Усі розсіяні рої містяться всередині тієї зоревої системи, що до неї належить і наше Сонце. Вони лежать або всередині Молочної Дороги, або, принаймні, недалеко її.

Кулясті зоряні рої.

Кулясті зоряні рої, при невеликім збільшенні на вигляд, як туманні плями, яскравіші у напрямі до середини. Форма їх або правильна, або обертовий еліпсоїд. Як дивитись у досить потужну трубу, то кулясті зоряні рої розкладені на сотні тисяч блідих зірочок. Це цілі величезні зоряні системи, що обертаються, очевидно, довкола своїх осей. Віддалі кулястих зоряних роїв від нас дуже великі, і визначити їх звичайними способами не можна. Проте, американському астрономові Шеплі пощастило надумати посередній спосіб, що дав змогу обчислити віддалі до кулястих зоряних роїв і визначити справжні розміри цих віддалей. Він припустив, що змінні цефеїди, що їх так багато є у кулястих зоряних роях, мають ту саму абсолютну яскравість, як і ті, що є в нашій зоревій системі. Порівнявши цю абсолютну величину з видимою зоревою величиною цефеїд кулястих зоряних роїв, він дістав віддаль до зоряних роїв. Якщо, наприклад, взяти, що абсолютна зорева величина цефеїд у кулястім рої дорівнює M, а видима m, то не важко на підставі різниці $m-M$ обчислити за відомою вже нам формулою $m = M = 5 + 5 \lg p$, паралаксу p, а знаючи паралаксу p, найти саму віддаль.

Визначаючи абсолютну величину цефеїд, що належать до складу кулястих роїв, використовують також і відношення між тривалістю періоду зміни блиску цефеїд та їх абсолютною яскравістю, що щільно зв'язані одна з одною. Наводимо тут табличку, де показано цю залежність.

Період зміни блиску цефеїди:	Абсолютна яскравість:
< 1 дня	—0,4 зор. вел.
2 „	—1,2
5 „	—2,1
10 „	—3,2
20 „	—4,2

Отже, знайшовши період зміни блиску цефеїд у якімнебудь зорянім рої з безпосередніх фотометричних спостережень, ми легко, даних попередньої таблички, найдемо їхню абсолютну зореву величину, отже й паралаксу, і, нарешті, саму віддаль від нас. Знаючи віддаль до зоряного роя та його видиму кутову величину, легко найдемо і справжні розміри (справжній радіюс R)

з прямокутнього трикутника, де один з катетів є радіюс зоряного роя, а прилежний до нього кут d — видима кутова величина радіюса нашого роя (див. рис. 118).

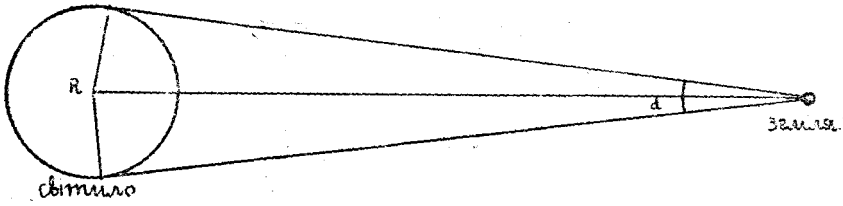


Рис. 118. Визначання справжніх розмірів з видимих.

Виявилося, що розміри кулястих роїв величезні. Світло пробігає від одного краю їх до другого за сотні років, а віддаль від них лежить у границях від 30000 до 300000 світлових років.

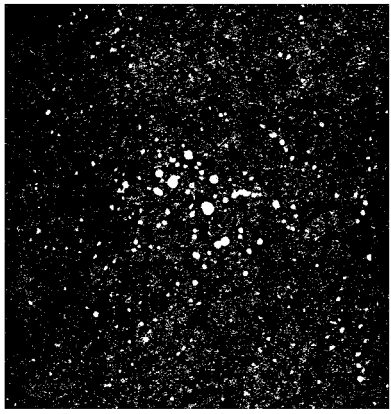


Рис. 119. Плеяди.

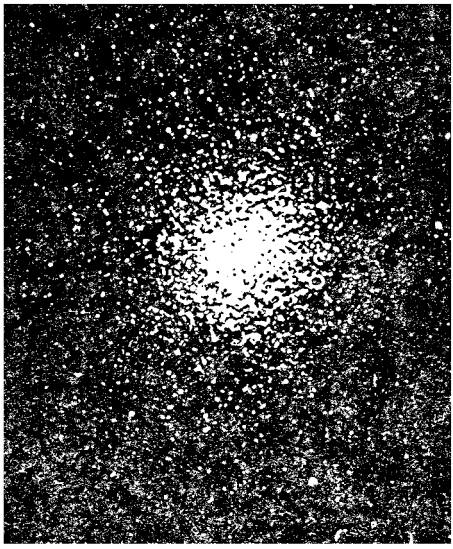


Рис. 120. Куляста купа в сузір'ї Геркулеса.

Цікавий той факт, що кулястих зоряних роїв не буває у ясній смузі нашої Молочної Дороги, а вони розміщені на північ та на південь від неї на великих кутових віддалях.

Розсіяні рої, навпаки, зосереджені в самій площині нашої Молочної Дороги.

Наш зоряний рій — Молочна Дорога.

Кожен знає Молочну Дорогу, цю світну смугу, що перетинає все небо і так чітко виділяється на темнім тлі неба ясних літніх ночей. Будова Молочної Дороги — дуже складна. У деяких місцях вона набагато яскравіша, ніж в інших. В інших місцях вона розширена, а в інших — навпаки, звужена. Недалеко

Рис. 121. Частина Молочної Дороги з вугільним мішком.

сузір'я Лебедя вона поділена на дві галузки, що йдуть відси окремо і знову сходяться лише в південній півкулі неба коло сузір'я Південний Хрест. У телескоп Молочна Дорога розкладається на безліч окремих зірочок; отже, це не інше що, як величезний зоряний рій, складений з мільйонів окремих зір. Сонце — одна з зір Молочної Дороги, що лежить недалеко від його середини. Очевидно, Молочна Дорога формою являє величезний зоряний рій, на форму, як сплющений сфероїд — сочка. Діяметр Молочної Дороги становить близько 100000 світлових років.

Крім сили числа зір, що належать до складу Молочної Дороги, в ній зосереджено багато блідих газових туманностей і цілі хмари темних; вони в деяких місцях, заслоняючи собою зорі, справляють враження темних проривів, так званих *вугільних мішків.*

Туманності

Деяких туманних плям, видних в різних місцях небесної сфери, не можна розкласти на окремі зорі навіть потужними сучасними телескопами. Вони лишаються, як суцільні туманні плями і в цих умовах. Їхні спектри також дуже відрізняються від зоревих і показують ясні лінії випромінювання, характеристичні для світних газів. Це, так звані, туманності. Першу згадку за туманності ми бачимо у стародавнього грецького астронома Птоломея, що налічує всього п'ять туманностей; дві з них, проте, як виявилося потім,— це зоряні рої.

Галлей найшов у північній та південній півкулях ще шість туманностей, що їх не пощастило розкласти на окремі зорі. Перший почав систематично шукати туманностей астроном Лякайль; він, роблячи спостереження на розі Доброї Надії, відкрив майже сорок зоряних роїв і туманностей. Між 1771 і 1784 р. р. Месьє опублікував список, де є вже близько 100 таких туманностей. 1878 р. їх налічували вже майже 7840. 1885 р. прибавилося ще 1529 нововідкритих туманностей та зоряних роїв. Тепер їх відомо багато тисяч.

Туманності, складені з світної речовини, мають різні форми й обриси. Деякі з них мають неправильну форму, і як порвані клапті туманної речовини, а деякі подібні формою до правильних кругів або овалів.

Є також кільцеві туманності, що мають форму порожнього всередині кільця, схожого на кільце диму від цигарки. Є тако ж видовжені туманності, з формою веретен тощо. Крім світних туманностей, слід згадати ще *темні* туманності; їх не видно в астрономічні інструменти, і можна лише догадуватися про них із того, що вони закривають від нас зорі в тій чи тій ділянці неба. Такі самі темні туманності, до речі, є і відомі нам вугільні мішки в Молочній Дорозі.

Іноді в просторі трапляються величезні темні хмари кальцію та стронцію; вони рухаються так повільно, що їх можна вважати за майже нерухомі. Їх виявляє спектроскоп у спектрах деяких зір.

Спостерігаючи зорю, що рухається з певною швидкістю, ми помічаємо, що всі спектральні лінії в її спектрі будуть відхилені до червоного чи до фіялкового кінця спектра залежно від того, чи наближається до нас, чи віддаляється дана зоря.

На основі принципу Доплера — Фізо, ми, вимірюючи величину відбігу ліній, можемо обчислити швидкість зорі. Виявлено, що в спектрах деяких зір з відхиленими відповідним чином лініями, в наслідок руху зорі у просторі в напрямі про-

меня зору, лінії кальцію та стронцію бувають не відхилені. Цей факт пояснюється тим, що в просторі між нами та цією зорею є темна хмара кальцію чи стронцію, майже нерухома. Світло, проходячи крізь ці темні хмари, зазнає вибірного вбирання, і цим і пояснюється постання „нерухомих ліній“ кальцію та стронцію. Тепер доведено, що такі темні хмари простягаються на величезні віддалі.

Щодо фізичних властивостей, туманності можна поділити на такі чотири великі кляси: 1) світні газові туманності, 2) темні газові туманності, 3) хмари космічного пилу і 4) туманності, що складаються з окремих зірок, але що в них іще не вирізнено зір, бо віддаль між нами та ними надто велика. Щодо форми та розміщення в просторі, туманності поділяють звичайно так:

I. Галяктичні (вони належать до нашої системи Молочної Дороги).

А) Плянетарні.

Б) Розмиті дифузні

а) ясні,

б) темні.

II. Не галяктичні (вони не належать до складу системи Молочної Дороги).

А) З однорідною поверхневою структурою:

а) кулясті,

б) з формою еліпс або дуже сплющених дисків (дискуваті).

Б) Спіральні:

а) вузлуваті без виразно виявлених спіралей,

б) з розгорнутими спіралями,

в) спіральні туманності, де спіралі розкладені на окремі зорі.

В) Неправильні на форму.

Плянетарні туманності.

Плянетарні туманності звуть так через те, що коли їх розглядати в астрономічну трубу, вони здаються нам, як доволі чітко окреслені диски, більш-менш правильної форми, тобто зовнішнім виглядом злегка скидаються на плянети, видні в телескопи. Видимі розміри цих туманностей невеликі, вони змінюються від кількох секунд до кількох мінут в діяметрі. В центрі такої туманности здебільшого блищить зірочка, оточена туманною матерією. Пересічна віддаль плянетарних туманностей від Землі становить приблизно 240 світлових років; це свідчить за те, що вони розміщені всередині нашої зоревої системи Молочної Дороги. Тому їх і звуть *галяктичні*.

Розміри цих утворень доволі великі. Звичайно вони набагато більші розмірами від нашої сонцевої системи, а одна з плянетарних туманностей, що є в сузір'ї Водолія, має діяметр навіть у 800 разів більший, ніж діяметр орбіти Нептуна.

Коли ми розглядаємо плянетарні туманності в потужну трубу або коли бачимо добру фотографію,— утворюється враження, що ми маємо тут діло з зорею, закутаною в туманну оболонку.

Кільцювата туманність у Лірі — це, очевидно, так само кулясте утворення; краї його здаються ясніші через велику масу світної речовини, що лежить тут на променя нашого зору.

Світіння плянетарних туманностей є наслідок, мабуть, тієї енергії, що падає на їхні оболонки від гарячої зорі *O* або *B* всередині їх.

Слід відзначити також, що плянетарні туманності, безперечно, обертаються довкола своїх осей; періоди цього обертання, до того ж, дуже великі, й охоплюють тисячоліття. Власний рух у просторі — близько 30 км на секунду. Щодо спектрів плянетарних туманностей, то в них є лінії, що відповідають невідомій ще нам речовині; цю речовину названо „небулій"; крім того до

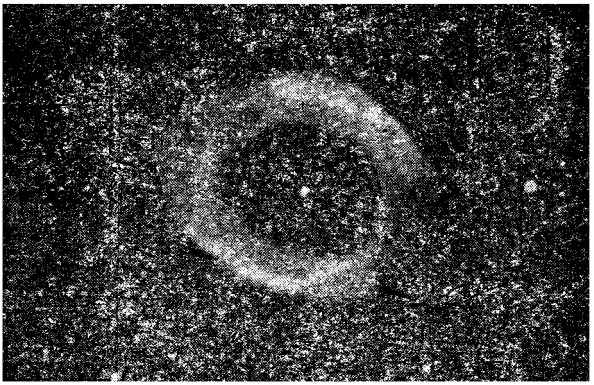


Рис. 122. Кільцева туманність у Лірі.

складу туманностей входять йонізований гелій, водень і, мабуть, азот та кисень. Є підстави гадати, що лінії небулію належать не новій, ще невідомій нам речовині, а якимнебудь сполукам відомих уже речовин,— можливо, навіть, сполукам азоту. Дуже цікаво і важливо відзначити, що плянетарні туманності мають, очевидно, щільний зв'язок з новими тимчасовими зорями. Ядра їхні — зорі типу *O* (Вольфа—Райє) з ясними лініями випромінювання,— мабуть, перероджені нових зір. Тому ми маємо рацію зробити висновок, що плянетарні туманності з їхніми ядрами — це одна з форм розвитку тимчасової зорі.

Розмиті галактичні туманності.

Насамперед тут треба згадати про те, що деякі чималі ділянки неба зайняті цілком туманною речовиною. Такі туманності дуже бліді. Деякі з них темні і не світяться зовсім. Світні туманності виглядом звичайно скидаються на луску або пластівці.

Обриси їх розмиті і невизначні. Розміри такого самого порядку, як і віддалі між окремими зорями. Крім цих туманностей, що доволі рівномірно, але дуже слабо світяться, є ще й такі, що між ними можна примітити окремі яскравіші вузли та згущення. Густина речовини, що з неї складені ці туманності, дуже, мала і, мабуть, в більйони разів менша за густину повітря в трубці, де його розріджено нашими найкращими смоками.

Іноді довкола блідої туманности можна спостерігати темні ділянки, де не видно зір, тим часом як на деякій віддалі зорі

Рис. 123. Туманність Оріона.

добре видно. Це свідчить, що краї туманности не світяться — вони темні, і тому, бувши між зорями та спостерігачем, вони закривають зорі від ока.

До цього типу туманностей належить і відома туманність Оріона, добре видна для голого ока. Її віддаль від Землі — близько 600 світлових років, а діяметр внутрішньої, найяснішої частини, більше за діяметр Нептунової орбіти майже в 600 разів. Спектроскоп відкриває в туманностях ясні емісійні лінії, що відповідають, переважно, небулієві, водневі та гелієві. Пересічна швидкість п'яти

великих розмитих туманностей — 11 км на секунду. Деякі спостереження свідчать про те, що в цих туманностях буває місцеве пересування речовини і можливо, що там є обертовий рух. Чому світяться туманності цього типу — ще досі не з'ясовано як слід.

Найімовірніше пояснення — що енергія гарячих зір *O* і *B*, де багато ультрафіялкової радіяції спричинює в навколишніх туманних масах щось ніби флюоресценцію. Через те туманність і стає видна. Якщо ж у туманності немає дуже нагрітих зір, то вона лишається темна, не видна нам, і її можна розпізнати лише з того, що вона закриває зорі, що лежать за нею.

Позагаляктичні туманності.

Переважна більшість цього типу туманностей — так звані спіральні туманності. Досі їх відкрито сотні тисяч. Усі вони, за небагатьма винятками, являють дуже бліді об'єкти, що їх можна вивчати лише через фотографії. Решта позагаляктичних туманностей — це кулясті, еліптичні, веретенуваті і досить рідко — неправильні.

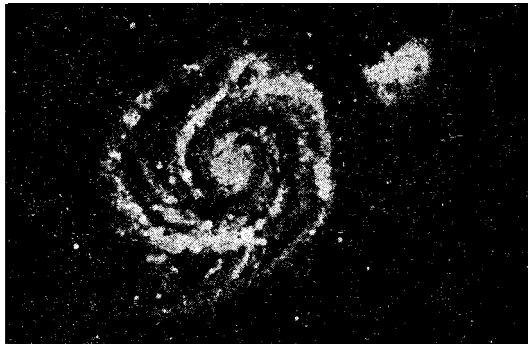


Рис. 124. Спіральна туманність у Гончаках.

Спіральні туманності, що мають більш чи менш чітко виявлену спіральну форму, залежно від закрученості спіралей, а також від положення самої туманности проти променя зору спостерігача, — безперечно чужі нашій зоревій системі. Вони, коли можна так сказати, уникають галяктичної площини (площини Молочної Дороги) і розміщені в ділянках, далеких від цієї площини. Таке дивне розміщення спіральних туманностей — об'єктів, що, безперечно, не належать до Молочної Дороги, — можна пояснити тим, що, бувши розміщені у просторі рівномірно, вони видні лише в напрямі тих ділянок, де великі маси темної матерії не вбирають світила від них. А що темна маса зосереджена, переважно, у Молочній Дорозі, то вона і приховує об'єкти, розміщені в її площині.

Віддалі від спіральних туманностей до нас величезні. Їх визначено на підставі змінних цефеїд, що трапляються в цих туманностях, а також на підставі вивчення нових зір, що доволі часто з'являються в цих утвореннях. Віддалі ці треба вимірювати

багатьма сотнями тисяч і мільйонами світлових років. Справжні розміри їх доходять 15000 — 50000 світлових років. Спектр спіральних туманностей суцільний; це свідчить за те, що то не газові маси, а скупчення великого числа зір.

Деякі спіральні туманності, особливо їх зовнішні частини, тепер користаючи з велетенського сто-цалевого телескопа, пощастило розкласти на дуже бліді зірочки,—наприклад—спіральні туманності у сузір'ях Андромеди та Трикутника. Це остаточно переконує нас, що ці утворення мають зореву структуру.

Деякі спостереження свідчать про те, що в спіральних туманностях переміщуються окремі їхні частини в спіралях. Є також підстави гадати, що спіральні туманності обертаються, і що період цих обертів мають охоплювати тисячоліття.

Променеві швидкості спіральних туманностей, взагалі, дуже великі,—вони в десятки й сотні разів більші за променеві швидкості зір. Останнього часу виявилося, що променева швидкість однієї з спіральних туманностей дорівнює + 11500 км на секунду, але є іще більші.

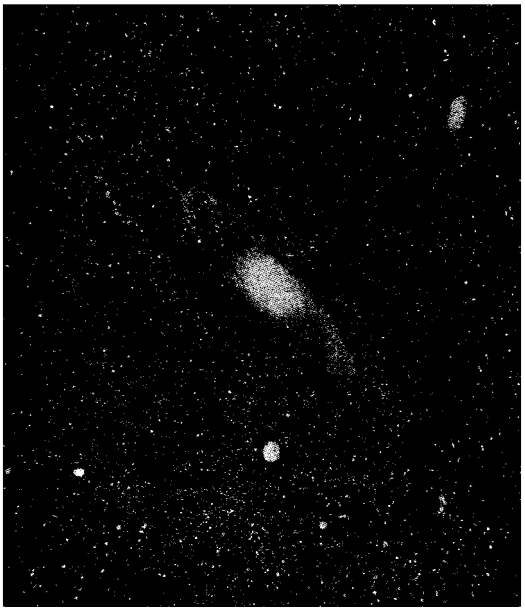


Рис. 125. Спіральна туманність у сузір'ї Андромеди.

Найближчі негаляктичні туманності неправильної форми—це обидві *Маґелланові хмари*, що містяться в південній небесній полусфері. Вони займають дуже велику видиму площу. Більша з них має діяметр 14 видимих місяцевих діяметрів, менша — 8. Яскравість їх така велика, що їх добре видно навіть під повню. Це величезні зореві системи, складені з сотень тисяч блідих зірочок, серед яких розміщені окремі зоряні рої і туманності. Розміри цих зоряних роїв дуже великі. Діяметр більшої Магелланової хмари становить, приблизно, 13000 світлових років, а віддаль від нас 110000 світлових років.

Такі, загальними рисами, наші відомості про зоряні рої та туманності. Слід іще додати, що коли зоряні рої та спіральні

туманності—це величезні зореві системи, то газові туманності треба вважати за величезні маси газу, де відбувається розвиток нових систем.

Рух зір, зоревих систем і туманностей.

Ми відзначили вже, що видима нерухомість зір — це тільки позірне явище. Правда, видимі рухи зір дуже малі, і голим оком їх не можна помітити, навіть протягом сторіч; отже, ті самі зоряні фігури сузір'їв, що їх спостерігав Птоломей, видно й тепер; такі самі будуть вони і протягом майбутніх сторіч. Проте, всі зорі рухаються і, не зважаючи на надзвичайну повільність видимих переміщень зір, точні астрономічні інструменти визначають їх. Найбільший видимий власний рух—близько 10 дугових секунд на рік. Це значить, що така зоря пересувається видимо на величину видимого місяцевого діяметра за 180 років. Відомо ще небагато зір, що мають такий швидкий власний видимий рух; їх звуть звичайно — *летючі зорі*. У інших зір цей рух багато менший і не більший за 0″1 на рік.

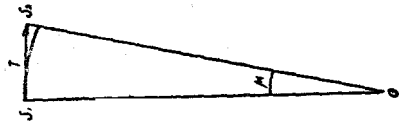


Рис. 126. Швидкість зорі.

Можна сказати, що в усій масі зір швидкий видимий власний рух свідчить про відносну близькість їх до нас, повільний власний рух—про велику віддаленість від нас; проте, серед цього загального правила трапляються, і доволі часто, винятки. Справжні швидкості зір, загалом, мають порядок кількох кілометрів на секунду; а втім, як винятки, трапляються й такі, що їхні швидкості дають кілька сотень кілометрів на секунду.

Розгляньмо, як можна визначити справжню швидкість зорі зі спостережень. Розрізняють дві складові справжньої швидкости зір: 1) тангенціяльну швидкість і 2) швидкість за променем зору.

Перша — це проєкція видимого переміщення зорі, визначена на кілометри, на площину, дотичну до небесної сфери, проведену в тій точці, де міститься досліджувана зоря. Її легко найти, якщо знати віддаль до зорі та її видиме кутове переміщення.

Справді, нехай T—це тангенціяльна швидкість зорі, Δ—її віддаль від нас, визначена на парсеки, а μ—видиме кутове переміщення її небесною сферою, визначене на кутові секунди за один рік. Тоді, як видно з рис. 126, прямокутній трикутник OS_1S_2 дасть нам відношення:

$$T = \Delta \sin \mu \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (I),$$

або, що $\Delta = \frac{R}{\sin \rho}$, де R — велика піввісь земної орбіти, а ρ — паралакса зорі, беручи $R = 1$, найдемо з відношення (I) $T = \frac{\sin \mu}{\sin \rho}$

Але, як кути μ і P дуже малі,— синуси можна вважати за пропорційні їхнім дугам, і тоді ми матимемо:

$$T = \frac{\mu'' \sin I''}{P'' \sin I''} = \frac{\mu''}{P''} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (II).$$

В цім відношенні (II) тангенціяльну швидкість визначено на астрономічні одиниці на рік. Щоб мати її на кілометри на секунду, треба помножити її на число кілометрів в одній астрономічній одиниці, тобто на $149{,}5 \times 10^6$ і поділити на число секунд у році, тобто на $365{,}2 \times 24 \times 60 \times 60$. Частка від ділення $\frac{149{,}5 \times 10^6}{365{,}2 \times 24 \times 60 \times 60} =$ 4,74, а тому T на кілометри матимемо з формули (II), помноживши її чисельника на 4,74, тобто остаточно матимемо:

$$T = \frac{4{,}74\,\mu''}{P''} \text{ км/сек.}$$

Променеву швидкість, як ми вже знаємо, визначають на основі принципу Допплера — Фізо, вимірюючи відбіг спектральних ліній; при тім знак +, поставлений перед вартістю цієї швидкости, показує, що зоря відходить від нас, а знак —, що вона наближається до нас. Променеві швидкості зір, загалом, мало коли бувають більші за 60—70 км і тільки для небагатьох блідих зір визначено колосальні величини—кілька сот кілометрів на секунду.

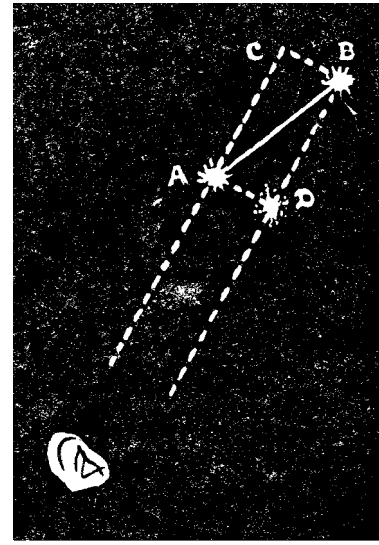


Рис. 127. Справжня швидкість зорі.

$T = CB$ Тангенціяльна швидкість.
$v = BD$ Швидкість за променем зору.
$w = AB$ Справжня швидкість.

Якщо ми знаємо тангенціяльну та променеву швидкості зорі, то неважко найти і справжню її швидкість у просторі; ця швидкість, як легко можна зрозуміти, буде не інше що, як діягоналя паралелограма, побудованого на векторах, що являють дві попередні швидкості. А саме, коли через V позначити швидкість за променем зору, то справжню швидкість зорі W ми визначимо з відношення: $W^2 = V^2 + T^2$.

Рух сонцевої системи в просторі

Визначаючи швидкості зір, ми спостерігаємо їх із Землі, що обертається круг Сонця, а так само рухається разом із Сонцем із усіма іншими плянетами в просторі. Отже, швидкості зір,

визначені з безпосередніх спостережень, треба звільняти і від впливу швидкости руху Землі по її орбіті, і від тієї швидкости, що її вона має, беручи разом із Сонцем участь у його русі в просторі.

Перше роблять дуже просто, бо величина швидкости руху Землі по її орбіті, а так само і напрям цього руху добре відомі для всякого моменту часу. Щождо визначення другого чинника, тобто швидкостей та напряму руху сонцевої системи в просторі, то його відкрив ще Гершель 1783 р. Розгляньмо, як можна його визначити.

Припустімо спочатку, що всі зорі стоять нерухомо, а наша сонцева система рухається в просторі. Тоді, очевидно, що зорі розміщені в тім напрямі, куди рухається наша сонцева система, тобто ті зорі, що до них ми наближаємось, мали б ніби розступатися перед нами, і видимі віддалі між ними—збільшуватись. У протилежнім напрямі—ті зорі, що від них ми віддаляємось, ніби наближатимуться одна до одної. Гершель установив, що нам здається, ніби зорі розходяться перед нами у сузір'ї Геркулеса, отож до цього сузір'я і рухається наша сонцева система. В нім є так званий *апекс* сонцевої системи, тобто точка, куди спрямований її рух. Так було б, якби зорі були нерухомі. Насправді ж цього немає. Тимто доводиться припустити, що власні рухи зір напрямлені в різні боки, тобто, що вони безладні, і тому, коли ґрунтуватися на великім числі зоревих рухів,то вони в сумі мають майже знищитись, бо протилежні напрями в цих рухах мають зустрічатись однаково часто.

Отже, швидкість руху сонцевої системи обчислюємо супроти довколишніх зір. Рух цей спрямований до точки неба, що визначається координатами: $\alpha = 270^0$ і $\delta = +30^0$; величина швидкости— $+20$ км/сек.

Ці величини, як можна бачити на підставі цілого ряду спеціяльних дослідів, дуже близькі до справжніх, але не можна вважати, що їх визначено дуже точно, бо припущення про цілком безладні рухи зір неправильне. Ми побачимо далі, що зорі мають переважні напрями руху, належачи до складу так званих ***зоряних потоків.*** Тому, визначаючи швидкість Сонця та її напрям дуже важливо правильно добрати зорі для того.

Зоряні потоки.

Дуже важливе й цікаве питання про те, як розподіляються зореві рухи.

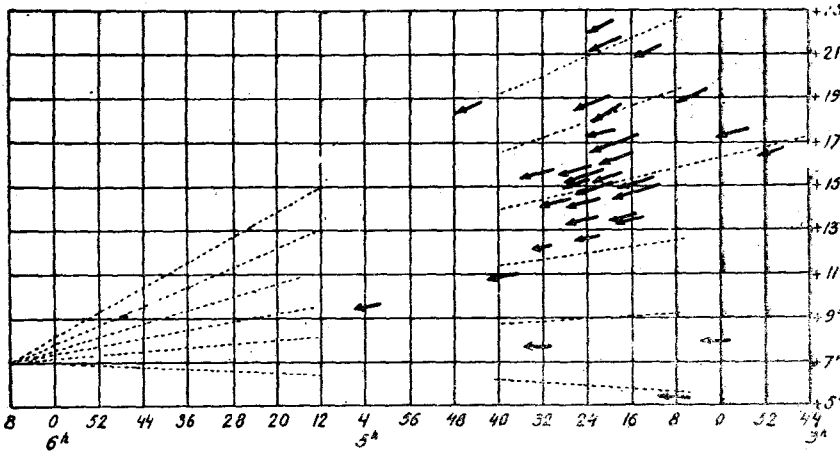
Голляндський астроном Каптайн 1904 р. і німецький Кобольд вперше довели, що в зоревих рухах, загалом, переважають два найбільш помітні напрями, що йдуть паралельно з рухом нашого Сонця в просторі. За даними дальших дослідів, ці два рої рухаються в протилежних один одному напрямах і взаємно проходять один в один. Наше Сонце належить до другого рою.

Точки неба, що до них спрямовані рухи обох згаданих зоряних потоків, або, як то кажуть, *вертекси* їхні, можна визначити такими координатами.

1 потік	$\alpha = 91^0$	$\delta = -15^0$
1 потік	$\alpha = 290^0$	$\delta = -64^0$

Обидві ці точки лежать на Молочній Дорозі.

Крім згаданих уже двох Каптайнових потоків є ще кілька інших (близько 10), менших числом, але відкритих далеко раніше. Наприклад, вже Бесселеві відомо було, що є групи зір з однаковими величинами і спрямованими в той самий бік рухами.



Ри с. 128. Рух у Гіядах.

З цього погляду цікава, наприклад, група з п'яти зір Великої Ведмедиці. До неї належать ще кілька інших (близько 20), що становлять з нею один спільний потік. До речі, до цього потоку можна залучити і Сіріюс, що так яскраво сяє взимку над нашим горизонтом.

У групі зір, що їх звуть — Плеяди, є також рухи, майже паралельні один з одним. Те саме можна сказати і про групу зір, що їх звуть — Гіяди. Левіс Бос, що особливо ретельно вивчав рухи цих зір, дійшов такого висновку про їхні рухи (див. рис. 128). Стрілки, що показують переміщення їх за 10000 років, не паралельні, а сходяться в одній точці, але насправді рухи зір, що належать до цієї групи, паралельні, і видиме наближення їхніх путей пояснюється так само, як і для падних зір, що належать до одного потоку. Виявляється, що Гіяди відходять від нас у скіснім напрямі з швидкістю 40 км/сек.

Детальніше вивчання зоревих рухів дасть нам, безперечно змогу відкрити в майбутнім чимало нових потоків і, отже

докладніше висвітлити картину розподілу зоревих рухів, а це щільно зв'язане з питаннями будови зоряного світу. Щодо швидкости зоряних роїв та туманностей, то про це ми вже говорили у відповідних місцях, і тому, не зупиняючи більше уваги на цім питанні, спробуємо пояснити, який на вигляд зоряний всесвіт за тими даними, що їх ми маємо тепер.

Загальна картина зоряного світу.

Розгляньмо, як можна уявити собі будову зоряного світу, починаючи з найближчих зоряних околів Сонця і кінчаючи найдальшими глибинами простору з тих, що приступні ще нашому дослідженню.

Щоб легше можна було уявити собі будову всесвіту, припустімо, що ми ступнево віддаляємось від нашого Сонця, і подивимось, які об'єкти чи системи небесних об'єктів траплятимуться нам дорогою.

Перше, ніж дійти меж Молочної Дороги, що її радіюс дорівнює 50000 світлових років, нам треба лишити за собою всі ті зорі, що розміщені безпосередньо близько нашого Сонця й утворюють так звану місцеву або льокальну систему.

Ми вже знаємо, що найімовірніша форма Молочної Дороги— це форма величезної сплющеної сочки. Число зір, що належать до складу цієї системи, у кожнім разі не менш, як 30—40 більйонів. Сплющеність цього величезного диску, очевидно, така, що найменша його вісь разів у 4—5 менша за найбільший діяметр. Всередині нашої системи Молочної Дороги розміщені розсіяні зоряні рої, газові та темні туманності, що з ними ми вже обізналися раніше. Спостереження над напрямом руху зір всередині цього величезного диску свідчать, що вся наша галяктична система обертається довкола своєї малої осі.

Центр цього обертання віддалений від нас, приблизно, на 8000 парсеків. Цей центр ми маємо уявити собі, як зоряний рій з дуже великою масою. Довкола цього зоряного ядра розміщені кільця дуже сплющених обертових еліпсоїдів. Час обігу довкола центра зорі, віддаленої від нього на 8000 парсеків, має бути не менший, як 200 мільйонів років. В гіпотезі про це обертання є, проте, деякі труднощі, що їх досі ще не цілком усунено. У цім напрямі працюють тепер чимало видатних учених; вони намагаються з'ясувати це важливе питання в будові нашої зоревої системи — Молочної Дороги, дістати справжню картину рухів, що відбуваються в ній; для того вони старанно збирають, користаючи з щонайпотужніших астрономічних інструментів потрібний спостережний матеріял. І слід сподіватись, що час остаточного розв'язання поставленої проблеми вже недалеко,

Щодо кулястих зоряних роїв, що їх тепер відомо близько сотні, то вони розміщені за межами галяктичної системи, іноді навіть на самій її межі.

Далі на віддалі 100000 світлових років лежать Магелланові хмари—це найближчі до нас інші Молочні Дороги і, нарешті, на неймовірно величезних від нас віддалях лежать найдальші від нас об'єкти — спіральні туманності. Там таки лежать і позагалактичні кулясті, еліптичні та веретенуваті туманності, що являють, очевидно, такі самі диски, як і Молочна Дорога. Спіральні туманності—це цілі острівні всесвіти, розкидані в просторі і ще приступні для спостережень на тих величезних віддалях, куди тільки може досягти гостре око телескопа. Деякі дуже далекі спіральні туманності, мабуть, зв'язані між собою фізично і утворюють цілі системи, що їх звуть—супергаляксії.

Тепер границя, до якої ще доходить телескопічний зір, становить близько 150 мільйонів світлових років. Щоб пройти ще далі, потрібні ще потужніші телескопи. Вони могли б нам показати ще силу нових об'єктів і, на думку прихильників *релятивістської* теорії, перевірити дослідом, чи має рацію припущення про конечність, хоч і безмежність всесвіту, що його висуває теорія відносности.

Розгляньмо, як треба уявляти собі світ з погляду теорії відносности.

Всесвіт з погляду релятивістської теорії.

Дуже часто на питання—чи безмежний світ? ми маємо відповідь: — звичайно, безмежний, бо якби ми навіть уявили собі якінебудь межі, то за ними все таки мало б щонебудь бути. Така відповідь рівнозначна з твердженням: всесвіт нескінченний тому, що необмежений. Не важко довести, проте, що обидва поняття „нескінченність" і „необмеженість" зовсім не те саме. Розгляньмо, в чім тут річ.

Площина у звичайнім Евклідовім просторі нескінченна і необмежена. Поверхня кулі—скінченна, бо її легко виміряти, а втім—вона не обмежена.

Не можна говорити, що світ нескінченний, через те, що необмежений, необмежене може бути і скінченним, і нескінченним. Для площини недосить сказати, що вона скінченна, якщо викривлена. Цього самого недосить, бо кривина може бути різна, наприклад:

1) Еліптична поверхня яйцюватого тіла—поверхня замкнена. Вона скінченна, але необмежена.

2) Параболічна й гіперболічна поверхні—незамкнені; вони нескінченні.

3) Хвиляста поверхня може бути і скінченна, і нескінченна, бо ми можемо уявити собі хвилі і на скінченній кулі, і на нескінченній площині.

Те, що ми встановили оце для поверхні, тобто для двох вимірів, можна спробувати застосувати й до звичайного тривимірного простору. Що правда, ми не можемо уявити собі викривленого

простору, бо оперуємо лише трьома вимірами, а щоб уявити собі викривлений простір, потрібен ще четвертий, так само, як для поверхні з двома вимірами нам потрібний був би третій.

Тому вибирають другий спосіб і пробують з'ясувати, чи немає фактів спостережень, що мали б зумовити існування кривини простору. Повернемося знову до поверхень, бо тут до двох властивих їм вимірів можна прилучити третій, що є у нас в запасі.

Уявімо собі плоскі істоти, що мають лише два виміри й існують на поверхні. Припустімо, що ці істоти, зробивши обчислення, установили, що в їхнім плоскім світі аксіоми Евклідової геометрії не справджуються, — наприклад, що паралельні лінії перетинаються між собою, що сума кутів у трикутнику більша за два прямі і що число π не точне. На підставі такого результату, ці істоти мали б дійти висновку, що їхній світ не плоский, а має певну кривину.

Для нас, що оперуємо трьома вимірами, дуже легко уявити собі сказане раніше, бо такий результат правильний для цілого ряду поверхень, наприклад—для кулястої. Двомірні істоти мають також змогу визначити, яка кривина їхнього простору. Вони можуть зробити це такими трьома способами.

У першім випадку — замкненої еліптичної поверхні — кривина завжди існуватиме і не може стати менша за певний мінімум; для випадку параболічної чи гіперболічної поверхні ця кривина дедалі більше наближається до нуля у віддалених точках поверхні і, нарешті, для хвилястої поверхні в деяких її місцях, де поверхня загинається, кривина дорівнюватиме нулеві, а в інших місцях вона буде. Відси виходить, що для такої хвилястої поверхні Евклідова геометрія справедлива буде лише в тих місцях, де поверхня загинається.

Якби гіпотетичні двомірні істоти виявили, що двох останніх випадків не може бути, а правдивий тільки перший, тобто, що кривина є на всій поверхні і не стає ніде в їхнім плоскім світі менша за певну величину, то вони сказали б цілком певно, що їхній світ скінченний.

Щоб довідатись, чи має наш усесвіт кривину, треба з'ясувати, чи правильна в ньому Евклідова геометрія, чи ні. Ці питання розглядали багато дослідників, зокрема й Айнштайн. На підставі цілого ряду міркувань, взятих із теорії відносности, Айнштайн дійшов висновку, що всесвіт скінченний, але безмежний. Математичні рівнання, що їх добув Айнштайн, зв'язують між собою простір і час, а крім того, матерію та енерґію, що є в цім просторі. Через те вони визначають структуру і розміри світу.

Щоб дійти більш-менш прийнятних з погляду фізики висновків, на ці рівнання накладено деякі обмеження; наприклад, що в першім наближенні матерія та енерґія розподіляються рівномірно у просторі і перебувають у рівновазі. Таким способом добуто два розв'язання: розв'язання Айнштайнове і розв'я-

зання Дезітерове; Айнштайнове приводить до світу *статичного*, а Дезітерове—до світу *порожнього*.

Айнштайнівський світ можна коротко охарактеризувати так: у нім матерія має бути в стані рівноваги, тобто не може бути систематичних рухів матерії, а самі лише безладні. Розміри Айнштайнівського світу щільно зв'язані з кількістю матерії, що є в нім. Розміри світу, його радіюс пропорційні загальній світовій масі.

В гіпотетичнім Дезітерівськім світі, що може існувати і без матерії, — а це безглуздя з погляду наукової практики, отже й діялектичного матеріялізму,— навпаки, систематичні рухи мають бути, якщо матерії в ньому є хоч трохи. Швидкості рухів тіл у цім світі залежать від світового радіюса, а крім того — од віддалі спостерігача до цих тіл.

Уже ґрунтуючись на цім описі, ми маємо визнати, що багато дечого у висновках теорії релятивности, особливо, коли їх прикладати до космогонічних гіпотез, абсурдне. Чи є систематичні рухи взагалі — це можна перевірити лише астрономічним способом, наприклад, на спіральних туманностях.

Після того, як в обсерваторії Моунт Вілсон виміряно радіяльні швидкості спіральних туманностей, виявилося, як ми вже бачили, що ці швидкості надзвичайно великі. Найбільшу швидкість визначив Гумассон у спіральній туманності, що належить до роя Великої Ведмедиці. Ця туманність рухається з швидкістю + 11500 км/сек. Останнього часу відкриті іще більші. Променеві швидкості інших спіральних туманностей змінюються в границях від + 500 до + 8000 км/сек.

Релятивісти припускають, що ці величезні швидкості і є ті систематичні рухи, що мають бути в Дезітерівському світі

Роблено спроби визначити, чи відповідає „порожній" Дезітерівській світ нашому, звичайно, не порожньому всесвітові? Підрахунки, зроблені на підставі розміщення зір та інших об'єктів у просторі, доводять, що пересічна густина матерії у всесвіті в багато більйонів разів менша, ніж у найкращих наших вакуумах. З таким припущенням, як узяти, що світовий радіюс дорівнює 2000 мільйонам світлових років, в нім має бути близько 80000 мільйонів галяктичних систем по 10000 мільйонів сонць у кожній. Якби всю цю матерію, за Дезітеровими обчисленнями, розподілити цілком рівномірно в просторі, то на кожний кубічний метр припало б 10 — 12 атомів водню.

Айнштайн дістав для загальної світової маси з тими самими розмірами вартість лише в 10 разів більшу, ніж подана. Отже, світ — не „порожній", а досить „повний".

Тимто й постає посутня суперечність: насамперед, світ не можна вважати, як це робить Дезітер, за доволі „порожній", а крім того — в нім ніби спостерігається систематичні рухи (спіральних туманностей), що мають бути у Дезітерівськім світі. Відси виходить висновок, що *всесвіт не відповідає світові ні Айнштайнівському, ні Дезітерівському.*

Спробу погодити Айнштайнову теорію з спостеріганими у всесвіті фактами зробив Леметр, гадаючи, що його роботи розв'язують наведену допіру дилему.

Леметр розв'язував Айнштайнові рівнання не для такого всесвіту, що перебуває в стані рівноваги. а для такого, що не має стійкости.

Леметрове розв'язання приводить до висновку, що всесвіт не має радіюса сталої величини, а стискається або розширюється. Леметр уважає, що рухи спіральних туманностей якраз свідчать про таке розширювання. На його думку, всесвіт у надто далекім минулім був статичний, і тільки згодом стан рівноваги всесвіту був якось порушений.

Фогт обчислив на підставі спостеріганих швидкостей спіральних туманностей швидкість розширювання всесвіту, і дійшов висновку, що за час $10^9 - 10^{10}$ років радіюс його мав збільшитись удвоє.

Він твердить, що спіральні туманності мають не тільки рух від нас, а й самі собою мають розширятись, отже матерія, що належить до складу спіральних галузок, має поширюватись на вдвоє більшу віддаль, як числити від центра туманности за час $10^9 - 10^{10}$ років.

Фогт гадає, що обидва ці явища мають якусь спільну причину. Дезітер вважає, що коли світ розширюється чи стискається, то сили тяжіння, що діють між окремими об'єктами, мають лишитися сталі. Він приймає також, щоб пояснити деякі явища, спостерігані в спіральних туманностях, що світ не тільки розширюється, але що під час цього розширювання зменшується кількість маси, що в нім є. Енергія, на його думку, зменшується через те, що вона витрачається на роботу, яка зумовлює розширення світу.

В пізнішій роботі Фогт заводить ще нову силу, що діє між тілами; він зве її „космічне відштовхування". При певнім розміщенні мас у просторі, сили тяжіння та „космічного відштовхування" перебувають, на його думку, в стані рівноваги. Проте, як тільки в якійнебудь ділянці простору станеться перерозподіл мас, як Айнштайнівський світ робиться несталий і починає розширюватись або стискатись. Фогт вважає, що коли сили притягу між двома об'єктами невеликі, бо велика віддаль між ними, то космічне відштовхування стає переважною силою і розганяє ці об'єкти один від одного.

Цими самими силами відштовхування пояснює Фогт типову спіральну форму багатьох позагаляктичних туманностей. Він гадає також, що зовнішні частини Молочної Дороги тепер мають розширюватись.

Такі погляди релятивістської космології. Тут ми щільно підходимо до питань філософського змісту, де, очевидно, мають відбитись індивідуальні погляди дослідників, що працюють коло цих проблем. У переважній частині наведені висновки теорії відносности про будову всесвіту не є наслідок безпосереднього

експерименту, а належать до теоретичних побудов, що суперечать сучасним уявленням про матерію та про властивості простору; тимто треба поставитись до цих поглядів дуже критично поставивши собі завданням старанно перевірити їх на основі діялектично-матеріялістичної методології.

ЗАВДАННЯ ДО РОЗДІЛУ VIII.

1. У скільки разів зоря 1-ої величини яскравіша за зорю 10-ої величини?

2. Скільки світлових років відділяє нас від Веґи, головної зорі в сузір'ї Ліри, якщо її паралакса — 0″,09?

3. Найти абсолютну величину Веґи, якщо її паралакса дорівнює 0″09, а видима зорева величина +0,1.

4. Визначити, у скільки разів сума мас головної зорі та її супутника в подвійній зорі α — Центавра більша чи менша за сонцеву, якщо період обертання супутника — 78,8 років, а велика піввісь його орбіти становить 3 478 400 000 км.

5. Обчислити справжню швидкість зорі в просторі, якщо її паралакса дорівнює 0″50, видимий річний власний рух у просторі 3″0 і променева швидкість + 12 км/сек.

Розв'язання завдань.

1. Беремо відому вже нам формулу $\frac{I_1}{I_2} = 2{,}512^{m_2 - m_1}$, де I_1 і I_2 яскравості 1-ої зорі та 2-ої, а m_1 і m_2 — їх видимі зореві величини. Логаритмуючи і пам'ятаючи, що $\log 2{,}512 = 0{,}4$, маємо $\log \frac{I_1}{I_2} = (m_2 - m_1) \cdot 0{,}4$. Підставивши замість $m_2 + 10$, а замість $m_1 + 1{,}0$, матимемо: $\log \frac{I_1}{I_2} = 0{,}4 \times 9{,}0 = 3{,}60$. Шукаючи число, маємо: $\frac{I_1}{I_2} = 3981$, або зоря 1-ої величини здається нам у 3981 раз яскравіша за зорю 10-ої величини.

2. Як ми вже знаємо, формула, що визначає віддаль зорі від нас на світлові роки, така: $\triangle = \frac{3{,}26}{P''}$, а тому для Веґи, що її паралакса 0″09, матимемо: $\triangle = \frac{3{,}26}{0{,}09}$ або 36,2 світлового року.

3. Коли ми говорили про абсолютні величини зір, то виснували таку формулу, що зв'язує абсолютну видиму величину зорі її паралаксою:

$$M = m + 5 + 5 \log P;$$

тут M — абсолютна величина, m — видима, а P — паралакса. Підставивши, находимо:

$$M = 0{,}1 + 5 + 5 \log 0{,}09 \text{ або } M = -0{,}1.$$

Невеличку різницю, що утворюється між видимою і абсолютною величиною Веґи, пояснюється тим, що її паралакса майже 0″1, і вона лежить майже на тій віддалі, до якої належать усі абсолютні величини зір.

4. Обчислюючи загальну масу подвійної зорі, ми мали формулу, добуту з 3-го Кеплерового закону:

$$\frac{M_1 + M_2}{M} = \frac{A^3}{T^2},$$

де $M_1 + M_2$ — сума мас головної зорі та її супутника у подвійній системі, T — час обігу цього супутника довкола головної зорі на роки, а A — велика піввісь його орбіти на астрономічні одиниці. Нам треба розв'язати це завдання для α Центавра, що в нього період обігу супутника становить 78,8 років, а велика піввісь 13478400000 км. Насамперед визначимо велику піввісь не на кілометри, а на астрономічні одиниці. Для того розділимо попередню величину на 149 500 000 і матимемо 23,2 астрономічних одиниці.

Вставивши ці цифри в нашу формулу, матимемо: $\frac{M_1 + M_2}{M} = \frac{(23,2)^3}{(78,8)^2} = 2,01$ або сума мас головної зорі та її супутника-подвійної зорі α Центавра майже вдвоє більша за масу Сонця.

5. Тангенціяльну швидкість зорі, як ми вже знаємо, можна визначити з формули: $T = \frac{4,74\mu}{p}$, де T — тангенціяльна швидкість, μ — власний рух на секунди на рік, а p — паралакса.

Підставивши дані для зорі, що її ми взяли, матимемо:

$$T = \frac{4,74 \times 3,0}{0,5} = 7,1 \text{ км/сек.}$$

Щоб найти загальну швидкість, треба взяти добре зрозуміле без дальших пояснень відношення: $W = + \sqrt{(7,1)^2 + (12)^2} + 13,8$ км/сек, тобто зоря рухається в просторі з швидкістю 13,8 км на секунду.

IX. ЕВОЛЮЦІЯ ВСЕСВІТУ.

Питання про те, відки постав світ, цікавило людей ще за найдавніших часів. Розглядаючи космогонічні легенди різних народів, починаючи з наївних казок африканських негрів, і кінчаючи складними космогонічними теоріями античних народів, ми можемо простежити хід людської думки, починаючи з сивої минувшини і до нашого часу. Треба сказати, що тепер, озброєні всіма досягненнями науки й культури, ми вже не можемо ставити перед собою так наївно це питання величезної ваги — як постав всесвіт? Для нас матерія — це об'єктивна реальність, що існує поза нашою свідомістю і не може ні нищитись, ні поставати знову. Тому питання в тій поставі, як його ще часто ставлять, а саме, про походження світу — для матеріяліста - діялектика, що тільки й стоїть на правильнім путі до розуміння явищ природи, — *позбавлене будь-якої рації.*

Якщо матерія є об'єктивна реальність, що споконвіку існує в часі та просторі і може лише змінювати свою будову й форму, то ми можемо в своїх космогонічних гіпотезах говорити лише про еволюцію світу, розуміючи слово *еволюція* якнайширше, лучачи сюди і такі суто-революційні процеси, що за свідків їх ми

буваємо, коли на небі цілком несподівано загоряється нова зоря Коли так ставити космогонічну проблему, то можна мати відповідь на питання, зв'язані з змінами, що відбуваються в світі довкола нас, і врятуватися від плутанини, що змушує західньо-европейських учених класти зброю перед розв'язанням важких астрономічних та фізичних завдань і вбачати „кризу" в різних галузях знання там, де ці „кризи" є наслідок неправильної постави проблеми. Радянська наука, що з властивою їй бадьорістю та рішучістю стоїть на базі діялектичного матеріялізму, таких криз не знає і не знатиме, бо завзята праця, відповідно спляновано, порівняно легко розв'язує ті питання, що не до снаги буржуазній науці, де безсилля і виявляється в „кризах".

Якщо ми звернемося навіть до найдавніших космогоній, то побачимо, що стародавня людина теж не ставила питання про походження світу. Вона добре знала з повсякденного досвіду, що ex nihilo nihil fit (з нічого нічого й не буде). В її уяві має існувати об'єктивна реальність в тій чи в тій формі. Калмицька леґенда говорить про те, що були золотаві хмари, що плавали в просторі, і згодом у наслідок різних процесів, що сталися з ними, перетворились на тіла всесвіту, що їх ми тепер бачимо. У найдавніших переказах, не зіпсованих ще церковними нашаруваннями, ми ніде не бачимо ідеї походження світу, а лише саму ідею про його перетворення, еволюцію, що базується на невтратності матерії та енергії.

Релігійні нашарування лише згодом потьмарили цей глибоко матеріялістичний зміст стародавніх космогоній і привели до цілого ряду ускладнень, що на довгий час затримали розвиток справжньої наукової думки.

Сама ідея хаосу, що її так часто подибуємо в стародавніх космогоніях, свідчить нам про те, що там не ставлено питання про походження світу, а якраз про його зміни, бо вже хаос — це щось таке, що існує реально, щось матеріяльне.

Згодом релігійно-настроєні мислителі почали твердити, що навіть та матерія, що існувала, не могла утворити в наслідок звичайних змін того світу, що його ми тепер спостерігаємо. Вони кажуть, що сили, чинні у всесвіті, не могли самі утворити закономірности, спостеріганої тепер у різних явищах природи.

Так твердять вороги матеріялістичного табору. Тепер наука має розв'язати це питання і покласти йому край, базуючись на безпосередніх спостереженнях та висновках діялектично-матеріялістичної методи.

Перейдімо тепер до питань, що висвітлюють нам еволюцію всесвіту. Можна сказати, що ще з часу Ґершеля, коли телескопи дали змогу вивчити різноманітні форми туманностей, ідея про утворення зір з туманностей почала дедалі більше ставати на міцний ґрунт і, нарешті, остаточно зміцніла, давши основу так званим небулярним космогонічним гіпотезам; ці гіпотези твердять, що зорі протягом величезних періодів часу ступнево згущу-

ються з туманностей. Тимто ми разом із Ґершелем можемо вважати, що величезні і бліді туманності неправильної форми — це та речовина у первіснім її стані, що з неї від згущення утворюються небесні світила — зорі, плянети тощо.

Менші розмірами, але яскравіші і густіші туманності — це мабуть утворення на пізнішій стадії їхнього розвитку. Далі йдуть туманності, де є вже певні окремі згущення. Потім зоряні рої, де утворені вже зорі ще перемішані з рештками туманної речовини, що лежить між ними і що її відкривають нам телескопи та фотографія.

Остання ж стадія — це, очевидно, зоряні рої, де немає вже туманної речовини. Не можна, що правда, вмістити всіх відмін туманности в одну загальну схему розвитку. Покищо у нас немає на це даних.

Проте, в майбутнім, коли ми зберемо більше матеріялу, угрунтованого на даних триваліших спостережень — і це складне завдання буде, нарешті, розв'язане.

Не спиняючись на старих і відкинених уже давно теоріях, ми коротенько розглянемо тепер небулярну Ляплясову теорію про походження нашої сонцевої системи.

Небулярна Ляплясова гіпотеза.

Перед Ляплясовою гіпотезою утворення сонцевої системи була ще теорія Кантова, але вона позбулася своєї ваги, і тому ми говорити про неї не будемо; скажемо лише за основні положення Ляплясової гіпотези.

Ляпляс (1796) висловив думку, що плянетна система утворилася з туманности. Ця туманність складалася з густішого центрального ядра, відки пішло наше Сонце, і рідшої частини, що оточувала ядро; цю частину Ляпляс назвав „оболонка" або „атмосфера"

Ця туманність, дуже розжарена, повільно оберталася довкола своєї осі і мала ступнево стискатись, простигати й густішати. В міру такого стискання швидкість окремих частин туманности мала дедалі збільшуватись, бо за законами механіки виходить, що сума мас частинок туманности, помножена на їхні секторіяльні швидкості, має ввесь час лишатися стала. Але як секторіяльна швидкість залежить од віддалі, а віддалі частинок від обертової осі в наслідок стискання мають зменшуватися, то, щоб попередній добуток не змінявся, коли змінюватиметься віддаль, треба, щоб збільшувалася швидкість обертання.

В наслідок збільшення швидкости зростає і відосередкова сила $f = m\frac{v^2}{R}$, бо в чисельник попередньої формули ввіходить швидкість у другім степені.

Через збільшення швидкости обертання туманність мала б чимраз більше змінювати свою форму і набирати форми дуже сплющеної сочки.

Відосередкова сила мала дійти своєї найбільшої вартости вздовж екватора сочки, де швидкість найбільша, а тому якраз тут, з дальшим стисканням і збільшенням швидкости мав настати момент, коли притяг розміщених коло зовнішніх меж туманности частинок дорівнюв би доосередковій силі, що діє в протилежний бік. Через те, починаючи з якогось моменту, зовнішні частини туманності зробились несталі і відокремились у формі кільця. Воно лишилося на якійсь певній віддалі від центральних частин туманности, що, лишивши кільце, стискувалася й далі, увесь час зменшуючись на розміри.

Кільце, відокремившись, не лишається довго незмінне. Притягане густішими частинами, воно розривається на кілька окремих туманних згустків ,що рухаються й далі тією самою орбітою. Згодом, у наслідок взаємного притягу, ці згустки збираються в один, а з нього й утворюється плянета. Так само послідовно, в міру дальшого стискання відокремлюються на певних віддалях від центра нові кільця, що дають початок іншим плянетам, спочатку розжареним газовим кулям — маленьким сонцям, що з бігом часу простигають, беруться твердою кориною і перетворюються, нарешті, на холодні плянети. Легко довести, що в наслідок того самого процесу відділяння кілець, пляне мали набрати і прямого обертового руху довкола своїх осей.

У туманності, отже й в кільці, що відділилося від неї, дальші від центра частини рухалися швидше, ніж ближчі до нього, а тому й після розриву кільця у туманного згустка, що на нього те кільце перетворилося, мала лишитися тенденція до того, щоб дальші його частини випереджали ближчі до центра туманности. Від цього й залежить обертання згустка, а згодом і плянети, що утворилася з нього, довкола її осі.

Якщо туманна маса, в яку зібралося, розірвавшись, те чи те відокремлене кільце, починала надто швидко обертатись довкола осі, то й від неї могли відділятись кільця, що, цілком аналогічно з оце тільки сказаним, утворювали менші туманні згустки, що перетворювалися потім на супутників плянети.

Небулярна Ляплясова гіпотеза в тій формі, як ми її тут подали, без посутніх додатків та змін — незадовільна. Незадовільна вона, поперше, через те, що Ляпляс допустився в своїх міркуваннях різних помилок, а подруге — що відкриті тепер факти суперечать деяким твердженням його теорії. Наприклад, швидкість руху зовнішніх частин туманностей не могла бути більша, ніж швидкість внутрішніх, бо туманність, бувши дуже розріджена, не могла обертатись, як одне ціле, а кожна частинка мала рухати довкола ядра туманности за Кеплеровими законами; отже, що далі вона була б від центра, то швидкість її мала б бути менша. З цієї причини плянети в простім напрямі обертатись не могли б. Проте, Пуанкаре довів, що ці труднощі можна обійти, якщо звернути увагу на припливні явища, що бувають у наслідок сонцевого притягу у плянетних туманностях, що відокремилися. Крім

того, трапляються труднощі, коли треба пояснити переривне відокремлювання кілець від туманностей. Загалом, матерія мала б відокремлюватись безперервно. А ще цілий ряд дослідників казали, що потрібні і величезні періоди часу, щоб кільце, що вже утворилося і розірвалося на окремі частини, могло зібратись в одну масу. Проте, той таки Пуанкаре довів, що це заперечення неправильне, бо взагалі на утворення сонцевої системи потрібні були дуже великі періоди часу.

Отже, з усього сказаного можна зробити висновок, що до Ляплясової гіпотези в її початковій формі не можна пристати, а її треба переробити та доповнити; а втім, дослідники за можливе визнали різними доповненнями та змінами зробити Ляплясову гіпотезу більш-менш придатною пояснити утворення нашої сонцевої системи.

Відзначені раніше дефекти в Ляплясовій теорії були причиною того, що запропоновано ще кілька гіпотез — щоб пояснити і розвиток нашої сонцевої системи, і розвиток величезних зоревих систем.

За деякі з них ми тут і скажемо.

Лігонде, наприклад, висловив думку, що туманність, відки утворилася наша сонцева система, це спочатку була не гаряча розжарена газова туманність. а скупчення маси холодних метеорів. Рухаючись у просторі, вони стикалися між собою, через те вся туманність розігрівалася та поволі перетворилася на газову, де розвиток міг іти хоч би й тією путтю, що за нього ми говорили раніше.

Лігонде поширює свою теорію не тільки на нашу сонцеву систему, а пояснює з нею походження інших плянетних систем довкола зір. В цім велика помилка, бо тоді всі зореві системи мали б бути більш чи менш подібні одна до одної. Через це, а так само ще з деяких міркувань, гіпотезу Лігонде в чистій її формі не можна вважати за цілком уґрунтовану.

Фай вважає, що розсіяна в просторі величезна туманність поділилася на кілька туманностей від руху в її частинах. Ці окремі туманності зберегли поступний рух та більш чи менш швидкий обертовий рух довкола своїх осей і утворили, згущуючись, всі тіла у всесвіті.

Не аналізуючи докладно Фаєвої гіпотези, ми відзначимо лише посутню відміну в розвитку туманностей у Фая і Ляпляса.

Тим часом, як Ляплясові кільця відокремлюються від зовнішніх частин туманности, у Фая вони мають утворюватись всередині її. Ляплясова гіпотеза чудово пояснює малі ексцентриситети і нахили плянетних орбіт. У Фая це пояснення не таке чітке, хоч обидві теорії трактують про те, що плянети утворилися з розірваних кілець, що відокремилися від туманности.

Проти теорій Лігонде і Фая можна висунути серйозні заперечення, бо вони намагаються розв'язати питання про одночасне утворення усього світу з туманности, тобто вважають, що був

момент, коли крім туманности нічого не було, і що самий внутрішній взаємочин між частинками туманности дав початок усьому комплексові небесних тіл. Перевагу слід віддати тим теоріям, що трактують про розвиток систем у деяких частинах всесвіту, тим часом, як у інших уже існують цілком розвинені світи. Цей взаємочин між розвиненими світами, що розпадаються і постають з туманностей, має дуже велику вагу в споконвічнім кругообігу матерії, що ніколи не зникає і не утворюється знов.

Беручи до уваги все, що ми раніше сказали, нам треба спинити увагу ще на гіпотезі Мультона та Чемберлена *(плянетозимальна гіпотеза)*, а також на Джінсовій і сказати ще кілька слів про походження нашого Місяця на підставі гіпотези Дарвінової.

Мультон і Чемберлен вважають, що туманність, відки постала наша система плянет, пішла з самого Сонця в наслідок впливу на нього зорі, що колись пройшла повз нього доволі близько. Через притяг до цієї зорі у двох протилежних точках Сонця знялися величезні припливні хвилі, ніби два протуберанці колосальної висоти.

Піднявшись високо, ці струмини розрідженого газу змінили свій початковий напрям руху по радіюсу і закрутились двома завитками. Отже, матерія, що її викинули ці струмини з Сонця, розмістилася довкола нього туманністю. Ця туманність, спочатку газова, перетворилася згодом на туманність з дрібних твердих частинок, що утворювалися з простиглого газу, викиненого струминами. З цієї речовини туманности й утворилися, за Мультоном та Чемберленом, плянети нашої сонцевої системи.

Джінсова гіпотеза.

Розгляньмо тепер Джінсову гіпотезу, що намагається пояснити, як постали поодинокі зорі, подвійні системи, сонцева система, кулясті, еліптичні, веретенуваті і, нарешті, спіральні туманності.

Коли туманність, що є десь у просторі, не зазнає притяжного впливу доволі близьких до неї тіл і не обертається, або обертається дуже поволі довкола своєї осі, то її розвиток буває в наслідок ступневого стискання й згущування. Вона дедалі зменшується розмірами і густішає. Тоді немає ніяких причин до того, щоб від неї відокремлювалися кільця або згустки туманної речовини. Така туманність має дати початок одинокій зорі — Сонце подвійної зорі, ні системи, що складалася б з кількох тіл, при тім утворитись не може.

Коли ж туманна маса обертається доволі швидко навколо своєї осі, розвиваючи в лику відосередкову силу, то вона має розірватись не на кілька окремих кусків, а на два, і при цім їхні маси не будуть дуже відрізняться одна від одної. В наслідок згущення цих двох мас, що відокремилися, утворюється подвійна зоря, а не

ціла система тіл, де центральне матиме дуже велику масу, а ті, що обертаються довколо нього, матимуть проти нього дуже малу вагу, як це ми маємо в нашій плянетній системі. Подібний до цього випадок стався, очевидно, і з нашим Місяцем, коли загальна туманність, поділившись на дві частини, дала початок двом тілам — Місяцеві та Землі, як ми побачимо далі, розглядаючи походження Місяця за припливною Дарвіновою еволюцією.

Джінс, так само як Мультон та Чемберлен, гадає, що для того, щоб утворилися плянети, треба було втрутитися якійсь силі зовнішній супроти туманности. За цю силу Джінс, так само, як і Мультон, вважає притяг зорі, що пройшла близько нашого Сонця в далекім минулім.

Що, як думає Джінс, зоря пройшла дуже близько і дуже збурила Сонце, на тім боці його, що повернений був до зорі, знявся величезний припливний виступень, що складався не тільки з найбільш розріджених, а й густіших його частин. Стався, сказати б, величезний вибух з надр Сонця в простір у напрямі до згаданої вже зорі. Таке виділювання речовин, як гадає Джінс, могло тривати доволі довго і викинути великі маси матерії. Це тривало поки зоря відійшла від Сонця на таку віддаль, що її притяг дуже зменшився.

Викинені маси рухалися спочатку від Сонця, а згодом закрутились довкола нього і, розбившись на частини, утворили великі згустки матерії, що з них згодом утворились плянети.

За тих далеких часів плянети мали рухатися не коловими майже орбітами, а дуже витягненими еліптичними. Згодом ці орбіти, в наслідок опору від того середовища, де плянети рухались, набрали майже круглої форми.

Походження супутників Джінс пояснює майже так само; тільки за тіло, що збурювало матерію плянет, тут була не зовнішня якась зоря, а саме Сонце. Коли плянети підходили досить близько до Сонця (бож орбіти їх були витягнені), Сонце мало спричиняти в них величезні припливні хвилі. Ці припливні хвилі, відірвані від плянет силою сонцевого притягу, і дали початок плянетним супутникам.

Як утворилися спіральні туманності

Майже так само Джінс пояснює походження спіральних туманностей, отже й зоряних роїв. Річ тільки в маштабі. Тут ми маємо діло з поділом на частини не окремого Сонця, а величезної туманности, де маса досить велика, щоб утворити цілу зореву систему з сотень тисяч сонць. В цієї величезної туманної маси мала бути спочатку куляста форма, в наслідок взаємного притягу між частинками, з яких вона складалася. Обертатись довкола осі вона могла почати через вплив якогось іла, що пролетіло повз неї досить близько. Обертання могло бути таке швидке, що розвинулася велика відосередкова сила, що змусила туманність набути форми сочки, а крім того — в якийсь певний мо-

мент зрівноважився притяг центральних частин туманности близько її периферії. З цього моменту туманність стала нестійка, і досить було невеликого зовнішнього впливу, щоб уздовж екваторіяльної частини її почало відокремлюватись кільце. Джінс доводить, що матерія відділятиметься не кільцями і не по всьому екватору туманности, а лише в двох діяметрально протилежних точках.

Матерія могла б відділятись вздовж усього екватора лише тоді, коли б туманність була зовсім ізольована в просторі і на неї не впливали б зовнішні сили. Проте, цього не може бути. Завжди є таке найближче з навколишніх тіл, що в той момент, коли рівновага вже стала нестійка, змушує матерію ринути в напрямі до нього, а також виділятися з протилежної точки. За таке збудне тіло може бути, наприклад, інша туманність, ціла зорева система тощо.

Туманність обертається, а тому викидані шари матерії закручуються довкола ядра туманности величезними спіралями — утворюється спіральна туманність. Речовина, що належить до складу цих галузок, розпадається на супутників, що перетворюються потім на зорі.

Як утворився Місяць

Важко припустити, щоб Місяць утворився з кільця, подібного до тих, що за них говорив Ляпляс у своїй гіпотезі, бо місяцева маса доволі велика проти земної.

Тут куди ймовірніша та схема, що її подав Джінс, пояснюючи утворення подвійних зір; цю схему Дарвін далеко раніш за Джінса подав, щоб пояснити походження Місяця (див. про Джінсову гіпотезу).

Місяць відокремився від Землі в наслідок того, що розвинулася велика відосередкова сила у тієї, очевидно вже простиглої до вогненного рідкого стану маси, з якої в далекім минулім постали обидва ці тіла.

Маса ця стала нестійка, коли обертання її від стискання прискорилося так, що період обертання її довкола осі зменшився до 3 — 4 годин. Якраз тоді від припливного впливу Сонця, і могла розірватися маса Землі-Місяця на дві частини, а з них потім згустилася наша плянета і її супутник.

Ці припливи, спричиняючи тертя об земну поверхню, помалу мали збільшувати період обертання її довкола осі. Що правда, це зменшення відбувається дуже поволі. Другим наслідком припливного тертя має бути здовження періоду обігу нашого супутника довкола Землі.

Спочатку, коли місяцева маса щойно відокремилася від Землі, припливного тертя ще не було, і обидва тіла оберталися довкола спільного центра ваги за час близько 3 — 4 годин. Потім цю рівність обертання Землі довкола осі і обігу Місяця довкола Землі порушили зовнішні сили, і почався вплив припливного тертя; він збільшив період обертання Землі довкола осі до 24 годин, а для

Місяця, де тертя, як ми вже відзначили, було далеко сильніше, зрівняв період його обігу довкола осі з часом обігу довкола Землі. Цей вплив триватиме й далі і дойде до того, що наша доба і час обігу Місяця довкола Землі знову зрівняються, дійшовши 50 — 60 наших теперішніх діб. Тоді Місяць і Земля обертатимуться довкола спільного їх центра ваги, як одне тіло, тобто так, ніби вони були насаджені на один стрижень.

Отже, ми загальними рисами, дуже коротенько, бо обмежені були місцем, розглянули найголовніші гіпотези про походження небесних тіл. Треба відзначити, що багато в них лишається ще не зовсім зрозумілого. Але загальний напрям думки безперечне правильний, і недалеко вже той час, коли нові факти, добуті о процесі вивчання плянет, зір та туманностей, дадуть змогу зрозуміти всі деталі в утворенні світів і скласти гіпотезу, де не буде більше жодного незрозумілого місця.

ВИСНОВКИ

З попередніх сторінок ми коротенько обізналися з даними сучасної науки про всесвіт.

Спробуймо тепер підсумувати все сказане, щоб накреслити шлях дальшого розвитку астрономії у нас у Радянськім Союзі, беручи до уваги її вагу в соціялістичнім будівництві.

Як і інші науки, астрономія щільно зв'язана з завданнями практичного життя. Вона обслуговує чимало найвідповідальніших ділянок діяльности людини. Календар, час, визначання координат на земній поверхні тощо — все це завдання астрономії.

Ми не зробимо помилки, коли скажемо, що коли б вилучити астрономію з наук, що безпосередньо обслуговують людство з технічного погляду, то це дуже утруднило б і ускладнило його існування. До того ж, не можна забувати про колосальну вагу астрономії для тієї людини, що відмовилася від релігійних забобонів і прагне створити цілком науковий світогляд на основі діялектичного матеріялізму.

Тов. Ярославський у своїй доповіді на Всесоюзній нараді товариств Войовничих матеріялістів-діялектиків підкреслив, що „релігійній людині релігія давала відповідь на багато житьових питань. Вона шукає тепер цих відповідей у нас. Вона хоче, щоб ми дали їй відповідь, де додержано пролетарського погляду“ тобто „треба дати трудящим викінчений діялектично-матеріялістичний світогляд“.

В цій величезній роботі коло перебудови нашого світогляду на засадах діялектичного матеріялізму астрономи мають іти в перших лавах, бо немає іншої науки, що могла б дати відповідь на питання про те, як побудований увесь всесвіт. Лише в глибині астрономічних досягнень переховуються найцінніші для філософа дані про розвиток зір, дані, може ще далеко недостатні, але такі, що до певної міри підіймають завісу над розвитком

усього всесвіту. Але матеріял, що його зібрали астрономи протягом багатьох століть, ще дуже малий для того, щоб, поклавши його в основу, можна було дати вичерпну відповідь на всі питання космогонії. Потрібна ще дальша напружена робота людської думки, озброєної експериментальною технікою, і тоді, крок за кроком, ідучи шляхом марксо-ленінської методології, ми безперечно розв'яжемо ці питання.

Успішно розв'язати цю проблему можна буде лише тоді, коли ми звернемо належну увагу і на завдання, зв'язані з поглибленням теоретичної бази сучасної науки.

Видима річ, певну частину досягнень науки буржуазного світу ми мусимо перенести до себе. Але там, де стоїть справа узагальнення та оформлення експериментальних наслідків, там, де до фактичного матеріялу додається елементи філософії, слід бути обережним, бо ідеалістична концепція буде неправильна, чужа, ворожа, для нас неприйнятна.

Найвидатніші представники сучасної буржуазної науки своєю діяльністю наочно доводять свій органічний зв'язок з капіталістичним світом. За характеристичні приклади можуть бути:стаття відомого фізика Айнштайна, надрукована в німецький газеті „Берлінер тагеблят" у грудні 1930 р. під назвою „В що я вірю", стаття другого німецького фізика Макса Плянка „Наука й віра", стаття теж відомого фізика і астронома Еддінгтона „Кінець світу з погляду математичної фізики", німецький переклад того таки автора „Картина світу фізики". Всі ці твори і багато інших свідчать про те, що ці відомі вчені буржуазного світу до кінця лишаються вірні своїй клясово ворожій нам ідеології.

Таких випадків досить багато, ми подибуємо їх раз-у-раз. Цей поворот до релігії і апеляція до чогось надприродного пояснюється кволістю та безпорадністю сучасної буржуазної науки, що відбиває в собі всі ознаки кризи капіталізму, що уже конає. Тому, засвоюючи разом із технікою і досягнення західньої науки, ми маємо взяти під найсуворішу критику буржуазну спадщину, відкидаючи при цім, як непотрібний мотлох, увесь той ідеологічний багаж, що його в умовах будівництва соціялізму треба віднести до клясово-ворожих нам поглядів.

Але, ставлячи руба питання про реконструкцію науки на базі діялектично-матеріялістичного світогляду, не треба забувати, що це завдання складне й вимагає від людини серйозного вивчання проблеми, бо в противнім разі справу легко перетворити лише на коментування окремих наукових понять з погляду діялектичного матеріялізму, тобто брати ту як раз форму впровадження в науку марксистської методології, проти якої попереджав В. І. Ленін. Навпаки, „треба рішуче боротися з дуже поширеним явищем серед природознавців: формальним визнанням діялектики, механічним склеюванням „діялектичних форм" і конкретного матеріялу природознавства" (з резолюції президії Комакадемії в питанні про розходження на філософськім фронті).

Цілком зрозуміло, що ревізію філософського змісту сучасної науки ми маємо передати до цілком надійних рук.

Говорячи про перебудову наукової думки на засадах марксо-ленінської методології, не можна оминути питання про партійність самої науки. Пролетаріят СРСР в умовах нечуваної в історії людства боротьби кляс успішно докінчив будувати фундамент соціялістичної економіки. Всякі вияви аполітичности треба тепер відкинути, хоч би де вони виявлялися, бо, як говорив Ленін: „непартійність—це байдужість до боротьби партій. Але ця байдужість не є невтральність, утримання від боротьби, бо в клясовій боротьбі не може бути невтральних."

Ще виразніше формулює Ленін проблему партійности в іншім місці такими словами: „непартійність ідея буржуазна. Партійність ідея соціялістична". Звичайно, треба вміти застосовувати цю загальну істину до окремих питань і поодиноких випадків."

Звісно, проблеми науки не можуть бути винятком з цього погляду, бо покладена в основу наукова методологія—діялектичний матеріялізм, за словами Леніна, „включає в себе, так мовити, партійність, зобов'язуючи при всякій оцінці подій згоджуватись з поглядами певної громадської групи"

Ґрунтуючись на цих міркуваннях, ми мусимо визнати, що клясифікація всіх наук, зокрема й астрономії, на науки „чисті" і прикладні не має ніяких підстав, і існування „чистої" науки, коли розуміти під „чистою наукою" безпартійність, безтенденційність і найчистіший об'єктивізм, нищиться ходом історії людства і зв'язаною з нею історією наукових відкриттів.

Кожне велике досягнення науки так чи інак зв'язане з потребами відповідної епохи, і є, отже, результат певного стану продуктивних сил та соціялістичних відносин.

В наслідок цього у внутрішнім змісті науки завжди є елементи, що відбивають інтереси панівної кляси, не кажучи вже про те, що клясовий стан учених великою мірою впливає на остаточні висновки та узагальнення. Але, коли в суспільствознавчих науках клясові ознаки завжди виявляються чітко, то в природознавчих науках вони найчастіше ховаються під ілюзорними твердженнями про аполітичність; тимто й треба серйозно опрацьовувати кожне питання, щоб виявити його клясову природу.

Але, як ми бачили вище, в епоху загальної кризи капіталізму і надзвичайного загострення клясової боротьби, партійність починає досить одверто виявлятись і в галузі природознавчих наук. На попередніх сторінках ми вже навели чимало прикладів, коли астрономію і фізику безпосередньо використовують на користь капіталізмові, підтримуючи його гнилу опору—релігію невдалим використовуванням експериментальних даних.

З усього сказаного виходить, що астрономія разом з іншими науками має бути пройнята ідеєю партійности, маючи за стимул свого розвитку активну боротьбу за генеральну лінію партії

ТЕРМІНОЛОГІЧНИЙ СЛОВНИК.

Баня — купол
Брила — глыба
Бросква — персик

Вартість — значение (мат.)
Вбираність — поглощаемость
Вбирання — поглощение
Вежа — башня
Великий Віз — Большая Медведица
Вершок — вершина
Веселковий — радужный
Вибірковий — избирательный
Виливаний — литой
Вимірний — измерительный
Випар — испарение
Випин — вздутие
Випромінювання — излучение
Висок — отвес (инстр.)
Висхідний — восходящий (астр.)
Відбивати — отражать
Відбивний — отражательный
Відбіг — смещение (о спектральних линиях)
Від'ємний — отрицательный
Відосередковий — центробежный
Відхил — склонение, отклонение
Відхилове (коло) — круг склонения
Відштовхування — отталкивание
Волосожар — Плеяды
Вуглець — углерод
ВуглецьII-оксид — окись углерода
ВуглецьIV-оксид — двуокись углерода

Галузка — ветка
Гарматень — снаряд
Границя — предел
Гранично — в пределе
Густина — плотность

Довільний — произвольный
Догірний — восходящий
Додатній — положительный
Додільний — нисходящий
Доосередковий — центростремительный
Дотична — касательная
Доторканий — соприкасающийся

Жмут — пучок

Заломлення — преломление
Заломність — преломляемость
Запалення — возгорание
Затьмовий — затменный
Західний — заходящий
Збіг — совпадение
Збурний — возмущающий
Зіниця — зрачок
Зложище — залежь
Зокільний — наружный
Зорова (труба) — подзорная (труба)

Імла — дымка

Квадра — четверть
Копалина — ископаемое
Косарі — Орион
Кулястість — шарообразность

Лійка — воронка
Луска — чешуя

Магнезій — магний
Малий Віз — Малая Медведица
Молочна Дорога (див. Чумацький шлях) — Млечный Путь

Навід — наведение
Надим — вздутие
Надмір — излишек
Небесний полюс — полюс мира
Неспільномірний — несоизмеримый
Нисхідний — нисходящий (астр.)
Нітратова (кислота) — азотная

Обернений — обратный (мат.)
Обертова (вісь) — ось вращения
Обіг — оборот (планеты вокруг Солнца или другой планеты)
Оберт — оборот (планеты вокруг своей оси)
Обрис — очертание
Обрісник — лишай
Опівденний — полуденный
Опір — сопротивление

Падний — падающий
Паморозь — иней
Пасмо (гірське) — цепь (горная)
Первісний — первоначальный
Пересічний — средний (мат.)
Перетин — пересечение
Південь — юг
Північ — 1) полночь; 2) север
Піднесення — восхождение
Підняток — под'ем
Пластівці — хлопья
Поділка — деление (на скале)
Позірний — кажущийся
Покрив — покрытие
Полудень — полдень
Посередній — косвенный
Поступний — поступательный
Похит — качание (одно)
Притяг — притяжение
Притяжний — притягивающий
Почепу (точка) — точка привеса
Протиполога — противостояние
Протичин — противодействие
Прочит — отсчет (по скале)
Прямовисний — отвесный
П'ядичевий — плауновый

Рамено — плечо
Рівнання — уравнение
Рівність — равенство
Рівнодення — равноденствие
Рій (зоряний) — скопление, куча
Рухомий — движущийся
Рушійний — движущий

Світіння — свечение
Світний — светящийся

Середовий — внутренний
Силіций — кремний
Синодичний (місяць) — лунный
Складова — составляющая
Смок — насос
Смуга — пояс
Смуговий (час) — поясной
Сонцезворот — сонцестояние
Сочка — линза, чечевица
Спад — падение
Спалах — вспышка
Сполука — соединение
Спостережний — наблюдательный
Сталий — постоянный (мат.)
Стиск — сжатие
Стисність — сжимаемость
Струм — ток
Суходільний — материковый
Східний — восходящий (о звезде)

Течний — жидкий
Тиск — давление
Тягарець — грузик
Тяжіння — тяготение

Утворення — образование

Факля — факел

Чарупка — ячейка
Чин — действие
Чіп — цапфа
Чумацький Шлях — Див. Молочна Дорога

Шар — слой
Шмергелевий — наждачный

ЗМІСТ

Стор

Передмова 3
Вступ 5

I. Земля

Визначання місця на сферичній Землі, географічні координати та основні лінії 12
Земля, як точна сфера 14
Несферична Земля 15
Як виміряти дуги на земній поверхні 15
Як розширюватиметься видимий горизонт, коли підійматись над земною поверхнею 19
Географічна і геоцентрична широта 20
Розміри Землі 22
Маса Землі і принцип визначати маси 23
Як визначати силу притягу в різних точках земної поверхні маятником 26
Неоднаковість сили тяжіння в різних точках земної поверхні, як наслідок обертання Землі довкола осі (коли вважати Землю за кулю) 27
Як впливає на вагу предметів еліпсоїдальність Землі 28
Ґравіметрія (вимірювання сили тяжіння) 29
Внутрішня будова Землі 32
Припливи та відпливи 35
Атмосфера й астрономічні явища в ній 38
Рефракція. 39
Вбирання світла в атмосфері 40
Розсіювання світла в земній атмосфері 41
Миґтіння зір 42
Завдання 43

II Небо і час

Основні уявлення про небесну сферу 45
Горизонтальна система координат 45
Перша система екваторіяльних координат 46
Друга система екваторіяльних координат (як визначати точку весняного рівнодення) 48
Видимий рух Сонця 49
Екліптикальна система координат 53
Картина зоряного неба під різними широтами 54
Обертання Землі довкола осі докази 56
Маятник Фуко 56
Відхил падіних тіл на схід 58
Відосередкова сила 60
Прецесія і нутація 60
Коливання земної осі всередині Землі 62
Зоровий і сонцевий час 62
Різні сонцеві доби і зміни їхньої тривалости 63
Смуговий час 65

Стор.
Лінія змінювання дати 67
Як перечисляти зоревий час на середній і навпаки 68
визначати час 71
Як визначати координати світил 72
Як визначати координати на земній поверхні 72
Спосіб штучних сигналів 73
Календар 74
Григоріянський календар (новий стиль) 75
Завдання 76

III. Інструменти для астрономічних дослідів.

Як збільшує зорова труба 83
Яскравість зображення і поле зору труби 84
Нитковий мікрометр 92
Астрономічна фотографія 93
Астрофотометр 94
Гартманівський мікрофотометр 96
Спектри 98
Спектрогеліоскоп і спектрогеліограф 101
Пасажний інструмент і меридіянний круг 104
Як спостерігати проходження через нитку хронографом 107
Універсальний інструмент 108
Астрономічні годинники і хронометри 109
Завдання 111

IV. Плянетна система

Як за давніх часів пояснювали петлюваті рухи плянет 116
Микола Коперник 119
Йоган Кеплер 124
Перший Кеплерів закон 126
Другий Кеплерів закон 127
Третій Кеплерів закон 128
Ньютон і закон всесвітнього тяжіння 129
Завдання 133

V Сонце

Методи визначати віддаль Сонця від Землі 135
Зверхній вигляд Сонця. Будова Сонця. Плями та грануляція сонцевої поверхні 138
Періодичність плям на Сонці 141
Розміри та масивність Сонця 141
Факлі, хромосфера і протуберанці 142
Сонцева корона і зодіякальне сяйво 144
Температура Сонця. 144
Обертання Сонця довкола осі 145
Спектральні дослідження Сонця 146
Запаси сонцевої енергії 148
Вплив Сонця на Землю 151
Сонцева стала. 152
Електромагнетні впливи Сонця на Землю 154
Завдання 155

VI. Плянети сонцевої системи

Меркурій 157
Венера 158
Марс 159

Стор
Малі плянети (астероїди) 165
Плянета Юпітер 167
Юпітерові супутники 168
Сатурн 169
Сатурнове кільце 170
Сатурнові супутники 171
Уран і Нептун. 172
Плутон 172
Місяць 173
Атмосфера і вода 177
Температура поверхні на Місяці. 179
Походження форм на Місяці 180
Порівняння плянет сонцевої системи 181
Затемнення Сонця 182
Затемнення Місяця 184
Завдання 186

VII. Комети й метеори

Зверхній вигляд комет 189
Видимий і справжній рух комет 190
Періодичні комети. Зміна кометної орбіти 191
Як побудовані комети 193
Як утворюються хвости комет 195
Спектр і хемічний склад комети 197
Як розпадаються комети 198
Походження комет 199
Можливість і наслідки зустрічі комети з Землею 200
Падні зорі 202
Метеорні потоки 202
Зв'язок метеорних потоків з кометами 204
Боліди та метеори 205
Зодіякальне сяйво 207
Завдання 208

VIII. Будова світу

Зоряне небо 209
Сузір'я 210
Віддалі до зір — паралакси 211
Світлова аберація 213
Абсолютна яскравість і величина зір 215
Кольори зір та їхні спектри. 216
Температура зір 218
Подвійні зорі 220
Спектрально-подвійні зорі 221
Змінні зорі 222
Довгоперіодичні змінні 223
Неправильні змінні 224
Цефеїди 224
Затьмові змінні (зор. типу Альґоля) 224
Тимчасові (нові) зорі 225
Розміри зір. Зорі-велетні і зорі-карлики 227
Обертання зір довкола осей 230
Зорева еволюція 231
Зоряні рої 232
Кулясті зорян 233
Наш зоряний рій Молочна Дорога 235
Туманності 236

Плянетарні туманності 237
Розмиті галяктичні туманності 238
Позагаляктичні туманності 240
зір, зоревих систем і туманностей 242
Рух сонцевої системи в просторі 243
Зоряні потоки 244
Загальна картина зоряного світу 246
Всесвіт з погляду релятивістської теорії 247
Завдання 251

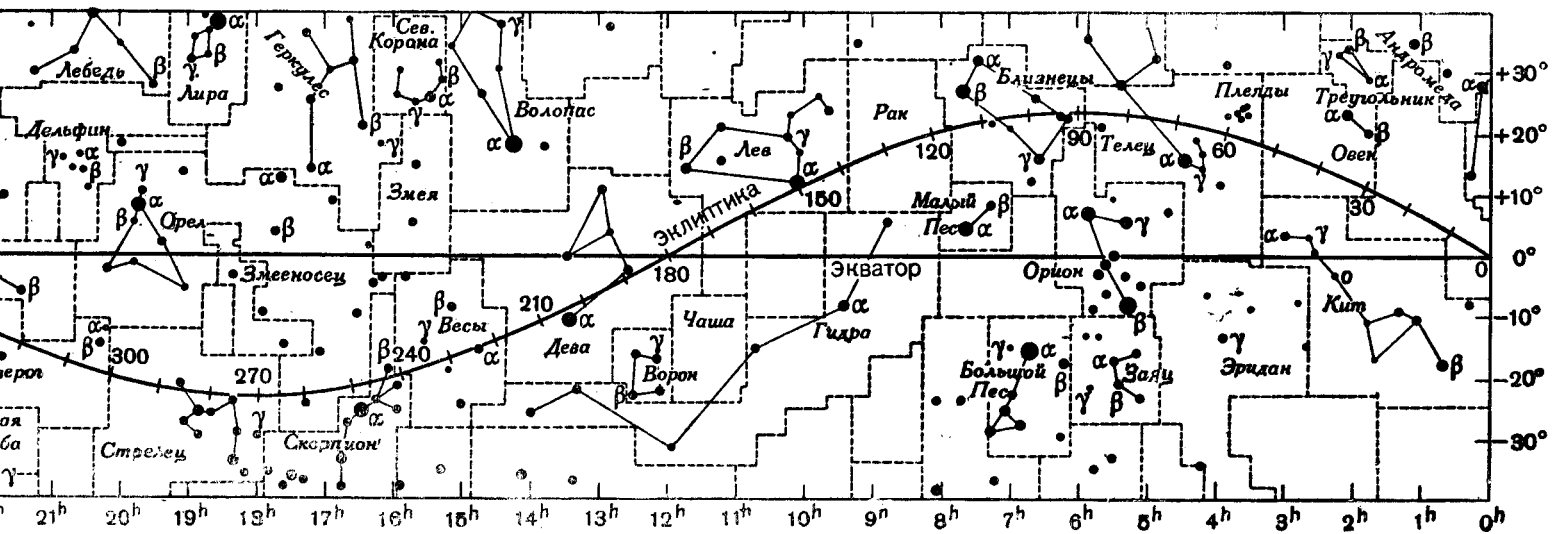
IX. Еволюція всесвіту

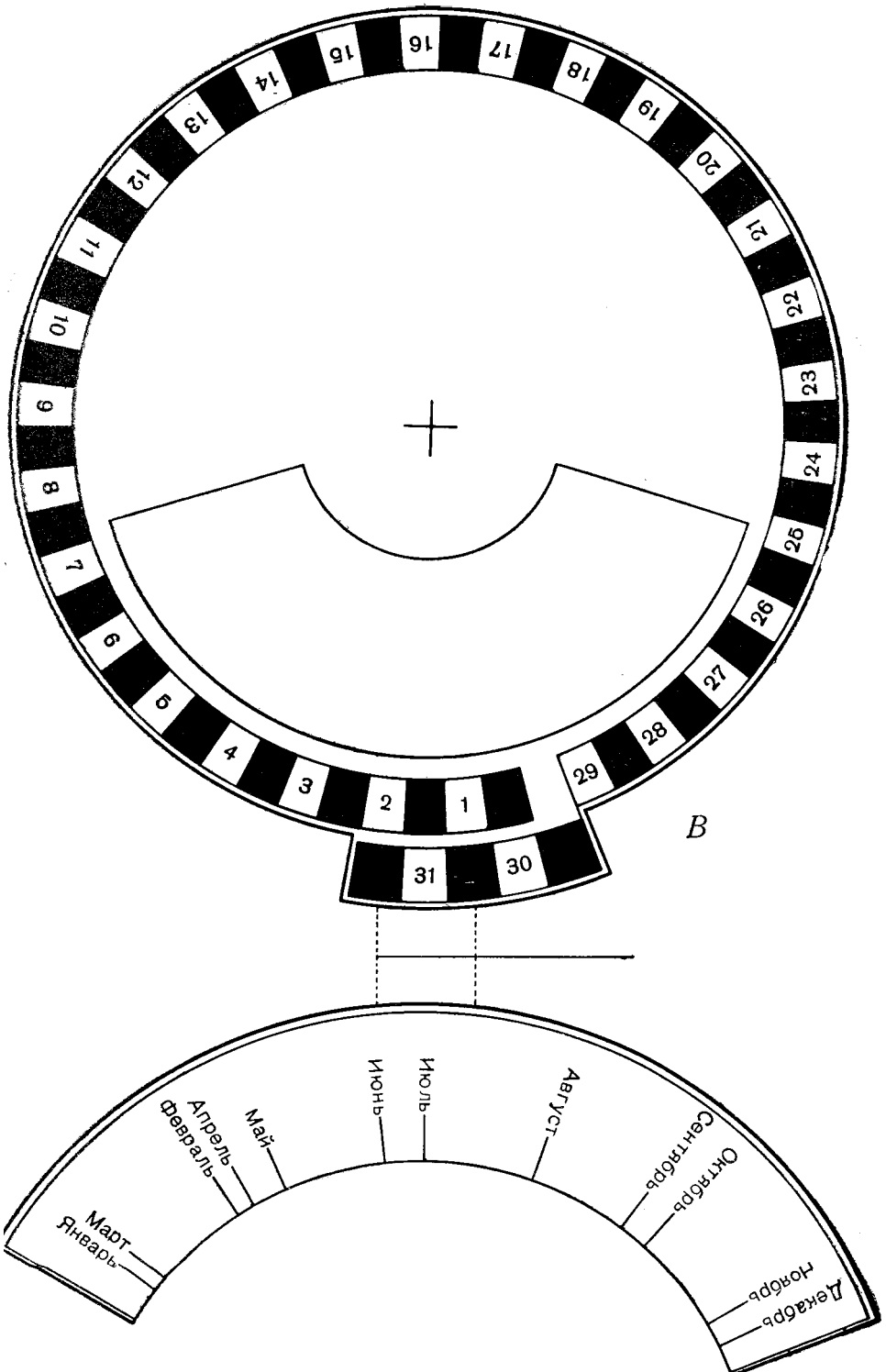
Небулярна Ляплясова гіпотеза 254
Джінсова гіпотеза 257
Як утворилися спіральні туманності 258
Як утворився Місяць 259

Висновки. 260

Термінологічний словник 263

КАРТА ЭКВАТОРИАЛЬНЫХ СОЗВЕЗДИЙ




1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
В
Январь
Март
Февраль
Апрель
Май
Июнь
Июль
Август
Сентябрь
Октябрь
Ноябрь
Декабрь