

Вступ. Предмет астрономії. Її розвиток і значення в житті суспільства.

1 Предмет астрономії

Астрономія — наука про фізичну будову, рух, походження і еволюцію небесних тіл, їх систем і Всесвіту в цілому. Сама назва "астрономія" походить від грецьких слів: "*астрон*" — світло і "*номос*" — закон. Сукупність досліджуваних астрономією об'єктів складає Всесвіт.

Традиційними об'єктами дослідження є Сонце, зорі, планети і їх супутники, метеорні тіла, туманності, зоряні системи і Всесвіт в цілому. З прогресом науки зв'язано відкриття нових об'єктів — пульсарів, квазарів (*квазізоряних радіо джерел*), космічних променів (*частинок високих енергій*), пошук теоретично передбачуваних "*чорних дір*" і гравітаційних хвиль.

Сучасна астрономія — широко розгалужена наука. Розділи астрономії тісно пов'язані між собою і можна виділити 6 основних.

1. **Астрометрія.** Розробляє теоретичні методи, техніку вимірів на небесній сфері і способи математичної обробки. До астрометрії входить: служба часу, календар, побудова географічних координат пунктів на земній поверхні. Підрозділи астрометрії:

а) **сферична астрономія** - розробляє математичні методи визначення видимих положень і руху небесних світил, а також системи лічби часу;

б) **практична астрономія** - розробляє способи спостереження і методи їх обробки, теорія астрономічних приладів. Практична астрономія використовується в морській, супутниковій, авіаційній навігації і в геодезії.

2. **Небесна механіка** — наука про просторовий рух небесних тіл і їх систем під дією сил взаємного тяжіння або іншої фізичної природи. Обчислення видимих положень (*ефемерид*) і визначення орбіт небесних тіл складає основу даного розділу (*носить назву теоретичної астрономії*).

3. **Астрофізика.** Завдання полягає у вивченні фізичних станів і процесів, що відбуваються на поверхні і в надрах небесних тіл, їх хімічного складу, властивостей середовища між небесними тілами.

а) **теоретична** — займається поясненням фізичних процесів і явищ, що відбуваються на небесних тілах на основі теоретичної фізики.

б) **практична** — розробляє способи астрофізичних спостережень і їх обробки, займається теорією і практичним використанням астрофізичних інструментів.

Розвиток техніки приводить до виникнення нових розділів астрофізики. Наприклад, радіоастрономія (*досліджує небесні тіла через радіолокацію*). До найновіших розділів відносимо: інфрачервона і рентгенівська астрономія, g-астрономія, нейтринна астрономія.

4. **Зоряна астрономія.** Дослідження руху і розподілу в просторі зір, газопилових туманностей і зоряних систем, їх структура і еволюція, проблема стабільності. Найбільшим розділом є позагалактична астрономія, яка вивчає властивості і розподіл зоряних систем-галактик, які знаходяться за межами нашої зоряної системи.

5. **Космологія** — розробляє проблеми походження і еволюції небесних тіл і їх систем, зокрема проблему походження Сонячної системи. Займається проблемою зоре-утворення. Допомогає зрозуміти сучасні геофізичні і геологічні процеси, що проходять в надрах Землі.

6. **Космологія** — вивчення Всесвіту як єдиного цілого, виявлення геометричної структури Всесвіту, його еволюції та походження всіх об'єктів, що заповнюють його.

2 Розвиток астрономії

Початок астрономія бере в глибині віків. **Перші** астрономічні відомості про зміну пір року, періодичність сонячних і місячних затемнень відомі ще більше 4 тисячоліть назад в Стародавньому Китаї. В цей же час астрономія дістає розвитку в країнах Близького Сходу і Єгипті. **Астрономія** в більшості розвивається завдяки потребам людської практики: сільськогосподарські роботи, розливи рік, прокладка караванних шляхів, мореплавання і ін.

Розвиток **математики**, особливо геометрії, приводить до розвитку астрономії. Давньогрецькими астрономами на базі геоцентричної системи світу розроблена теорія видимого руху планет, Місяця, Сонця (*великий внесок Гіппархом II ст. до н. е., найбільш повна теорія — Птоломей II ст. н. е.*).

В пору середньовіччя астрономія, як і решта наук в Європі **занепала**, лише арабські і середньоазіатські вчені змогли добитись незначних успіхів. Коректуванням і переобчисленням таблиць видимих планетних рухів займались **середньоазіатські** вчені Беруні (973 - 1048), Улугбек (1394 -1449) та інші.

Величезним внеском була опублікована в 1543р. праця польського вченого Миколи **Коперніка** (1473 - 1543). Він відмовився від геоцентричної системи і в основу теорії поклав геліоцентричну систему, в якій центром світу було Сонце. Використовуючи геліоцентричну систему Коперніка і багаторічні дослідження планет датського астронома Тихо Браге (1546 - 1601), Іоганн **Кеплер** (1571 - 1630) встановив 3 закони планетних рухів.

З відкриття Ісаком Ньютоном (1643 - 1727) аксіом динаміки і закону тяжіння бурхливий розвиток отримала небесна механіка. Французькі математики Лагранж (1736 - 1813) і Лаплас (1749 - 1827) заклали основи сучасній **теорії руху** великих планет і Місяця. Повним підтвердженням теорії було відкриття в 1846р. на основі математичних розрахунків планети Нептун французьким вченим У. Левер'є (1811 - 1877).

Паралельно з небесною механікою розвивалося і спостереження. Свій початок воно бере з **Галілея**(1564 - 1642), який вперше використав підзорну трубу в якості телескопа (1610), чим започаткував астрономічне приладобудування. Галілеєм досліджено ряд нових явищ: **відкриття** супутників Юпітера, дослідження поверхні Місяця, відшукування фаз Венери, розклад Молочного Шляху на окремі зірки.

Багато цінних спостережень виконано на межі 18 і 19 століть. Удосконалення **телескопів** (*зростає роздільна здатність і якість зображення*) дає можливість проникнути в середину Всесвіту (*англ. астроном Гершель (1738 - 1822)*). **Відкрито** і досліджено зоряні скупчення і туманності, кратні і змінні зорі.

З застосуванням фотографії і спектрального аналізу в середині 19 ст. зародилась **астрофізика**. До середини 20 ст. виянилось, що зорі входять в склад грандіозної зоряної системи — Галактики, а спіральні туманності зображають аналогічні зоряні системи, що знаходяться за межами Галактики. **Виявлено** явище розходження галактик, що вказувало на розширення видимої частини Всесвіту — Метагалактики.

В 40-х роках дослідження поширено на **радіодіапазон**. Виник розділ астрономії — радіоастрономія. Знайдено незвичайні класи небесних тіл —кварзари, пульсари, фонове **реліктове** випромінювання (*подібно до випромінювання абсолютно чорного тіла з температурою 3К*).

1957р. новий етап розвитку в астрономії. Запуск перших штучних **супутників** (*перетворення астрономії з науки теоретичної в практичну*).

Посадка космічних **апаратів** на Місяць, доставка місячного ґрунту на Землю, перша висадка людей на Місяць, посадка літаючих апаратів на поверхні Венери і Марса, польоти космічних апаратів поблизу Юпітера, Сатурна і їх супутників — те нове, що було досягнуто в останнє двадцятиріччя.

Геодезична служба служить **базою** картографії. В математичних методах вона спирається на сферичну астрономію, в методах визначення географічних координат — на практичну астрономію.

Без **астрономічної** служби часу неможливе визначення географічної довготи, а отже побудови географічних і топографічних карт, які мають важливе народногосподарське значення. Визначення потенціалу гравітаційного поля Землі астрономічними методами (*наприклад, за рухом штучного супутника Землі*) **важливо** не лише для геодезії, а й для геологічної розвідки корисних копалин.

Астрономічна **служба часу** слідує за відповідністю календаря явищам, зв'язаним з обертанням Землі навколо Сонця.

Астрономічні **методи** використовують в морській і авіаційній навігації, особливо в полярних районах, де радіонавігація може вийти з ладу із-за магнітних вихрів.

Астрономія своїми досягненнями **допомагає** космонавтиці, яка орієнтована на активну допомогу народному господарству: оптимальний вибір і точний розрахунок орбіт штучних супутників методами небесної механіки. Астрономія і **космонавтика** приймають участь в дослідженнях корисних копалин, в охороні природи, раціональній організації

сільськогосподарського виробництва. Розрахунок активності Сонця дозволяє збільшити **безпеку** космічних польотів, забезпечити радіаційну безпеку космонавтів і апаратури.

Зоряне небо

1 Сузір'я — ділянки зоряного неба

У темну, безмісячну і безхмарну ніч на небі видно безліч зірок. Здається, важко розібратися в цій величній картині зоряного неба, про яку натхненно писав наш великий співвітчизник М. В. Ломоносов (1711—1765): «Відкрилася безодня зірок повна, Зіркам числа нема, безодні — дна».

Ще важче представляється задача перерахувати усі видимі на небі зірки. Але важка на перший погляд, вона стає цілком розв'язною, якщо застосувати правильні способи її рішення. Ці способи створювалися не відразу, а десятиліттями і століттями, і перші з них ідуть своїми коренями в глибоку стародавність. Саме на зорі людського суспільства, коли уперше виникло примітивне виробництво, уже кочовим племенам необхідно було орієнтуватися при переходах з місця на місце для того, щоб відшукати шлях до колишніх місць стоянок. На більш високій ступіні розвитку людського суспільства, при виникненні землеробства, з'явилася необхідність вести, хоча б і грубий, рахунок часу для регулювання сільськогосподарських робіт.

Який же вихід бачили з положення, що створилося, древні народи, що не мали у своєму розпорядженні навіть самих елементарних початків сучасних нам наук? Єдино, що було завжди перед ними, а вірніше, над ними, — це зоряне небо, по якому древні народи стали поступово учитися орієнтуватися на місцевості і вести лік часу. Практична необхідність вивчення зоряного неба привела до зародження науки, що одержала згодом у Древній Греції назва астрономії, що відбулося від двох грецьких слів *астрон* — зірка і *номос* — закон.

Але сама назва зовсім не є доказом зародження і розвитку цієї науки тільки в Древній Греції. Астрономія виникла і самостійно розвивалася буквально у всіх народів, але ступінь її розвитку, природно, знаходилася в прямої залежності від рівня розвитку продуктивних сил і культури народів.

Але як же можна орієнтуватися по зірках, якщо їх видно на небі безліч? Здавалося б, легко заплутатися в цьому достатку зірок. От для цього і потрібно було насамперед згрупувати яскраві зірки (яким на небі не так насамперед згрупувати яскраві зірки (яким на небі не так уже багато) у фігури, що добре запам'ятовуються своїми контурами. Такі зоряні фігури — сполучення зірок, чи сузір'я — були виділені, а пізніше до них віднесли і більш слабкі зірки, розташовані в районі сузір'їв. Цілком природно, що різні народи створювали своєю уявою різні сузір'я, а якщо випадково контури сузір'їв і збігалися, те вони іменувалися по-різному. Джерелами назв сузір'їв, як правило, служили міфи про богів, сказання про легендарних героїв і зв'язаних з ними подіях, різні тварини і, нарешті, знаряддя виробництва, використовувані народами в повсякденному житті.

Так, відому групу із семи яскравих зірок, що нагадує обрис ковша, древні греки називали Великою Ведмедицею. Якщо до цієї групи зірок приєднати слабкі зірки, розташовані поблизу ковша, то при достатній фантазії можна провести границі цього сузір'я так, що вони будуть нагадувати обрису якогось великого звіра.

Грецький міф розповідає про те, що німфа Каллісто була перетворена ревнивою дружиною Зевса Герой у ведмедицю, що зацькував на полюванні собаками її власний син Аркад (Волопас). Зевс дав Каллісто безсмертя, помістивши її на небі у виді сузір'я Великої Ведмедиці. Поруч з Великою Ведмедицею розташовані і її переслідувачі — Волопас і Гончі Пси, але сузір'я Гончих Псів з'явилося на небі лише в XVII в., коли давньогрецький міф був доповнений супутниками мисливця. У Древній Греції сузір'я Великої Ведмедиці називалося також Колісницею, про що згадує Гомер у «Одісеї».

У Древній Русі це ж сузір'я мало різні назви — Віз, Колісниця, Каstrуля, Ківш; народи, що населяли територію України, називали його Возом; у Заволжя воно звалось Великим Ковшем, а в Сибіру — Лосем. І дотепер у деяких областях нашої країни збереглися ці назви.

За аналогією іншу групу із семи, але більш слабких зірок, розташованих поблизу Великої Ведмедиці і також нагадує обрис ковша древні греки називали сузір'ям Малої Ведмедиці. Ця ж група зірок була найменована сибіряками Малим Ковшем, а народи, що

населляли узбережжя Льодовитого океану, бачили в ній білого ведмеда з задертою нагору головою, на носі якого красувалася Полярна зірка, розташована в самому кінці ручки ковша.

Дуже оригінальна назва цих двох сузір'їв у народів, що населяли територію нинішньої Казахської республіки. Спостерігаючи зоряне небо, вони, як і інші народи, звернули увагу на нерухомість Полярної зірки, що у будь-який час доби незмінно займає те саме положення над обрієм. Цілком природно, що ці народи, основним джерелом існування яких були табуни коней, називали Полярну зірку «залізним цвяхом» («Темир-Казик»), убитим у небо, а в інших зірках Малої Ведмедиці бачили прив'язаний до цього «цвяху» аркан, надягнутий на шию Коня (сузір'я Великої Ведмедиці). Протягом доби Кінь обігав свій шлях навколо «цвяха». Таким чином, древні казахи поєднували сузір'я Великої і Малої Ведмедиці в одне.

Якщо середню зірку хвоста Великої Ведмедиці думкою з'єднати прямою лінією з Полярною зіркою і продовжити цю лінію далі, те ми побачимо далі, те ми побачимо сузір'я Кассіопеї, обрис якого нагадує перевернену і трохи розтягнуту букву «М» (чи латинську «Ш»). Це сузір'я древніми греками було названо на честь міфічної цариці Кассіопеї: в обрисах цього сузір'я вони бачили трон із сидячою на ньому царицею. Білоруський народ бачив у цьому сузір'ї двох косарів, що косять траву.

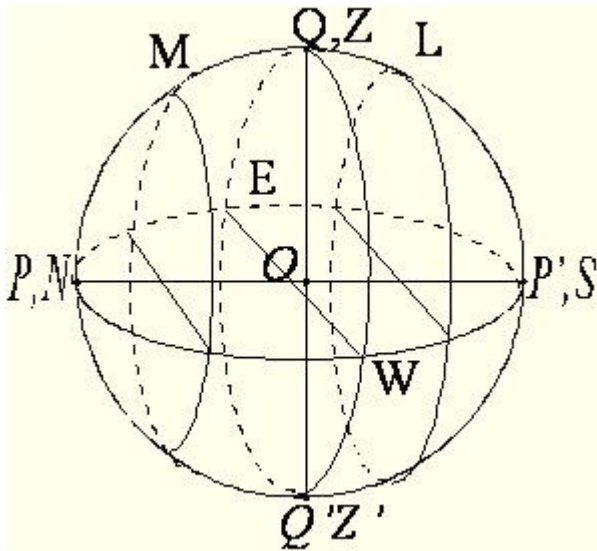
Зимовими вечорами над південною стороною обрію красується найефектніше сузір'я неба — сузір'я Оріона, що кидається в очі своїми сьома яскравими зірками, з яких розташування чотирьох нагадує гігантську букву Х, а три інші, витягнуті в ряд, перекреслюють цю букву посередині. Праворуч від верхніх яскравих зірок, а також лівіше і вище них видно дві дуги зі слабких зірок, звернені увігнутістю до яскравих зірок. Древні греки називали це сузір'я ім'ям міфічного велетня, мисливця Оріона, і представляли його щитом, що прикривається, з левиної шкіри (права дуга слабких зірок) і замахуючимся палицею, тобто дрюком (ліва верхня дуга слабких зірок), на, що біжить до нього праворуч Біка (Тельця). Три середні яскраві зірки відображали мисливський пояс, до якого привішений меч — ряд слабких зірок, розташованих донизу від пояса. Сучасна астрономія теж часто користується цими термінами — пояс і меч Оріона.

У III в. до нашої ери грецькі (олександрійські) астрономи звели назви сузір'їв у єдину систему, що згодом запозичала європейська наука і зберегла її до наших днів, особливо назви сузір'їв північної півкулі неба. У південній же півкулі, вивчення якої європейцями почалося, присуті, лише в XVIII і XIX ст., сузір'я одержали більш сучасні назви: Телескоп, Годинник, Насос і інші.

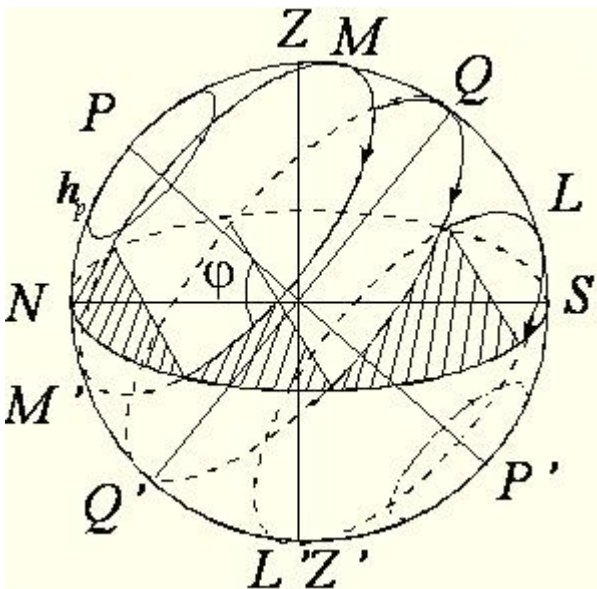
В даний час під сузір'ями мають на увазі не виділяються групи зірок, а ділянки зоряного неба, так що всі зірки (як яскраві, так і слабкі) прилічені до сузір'їв. Сучасні границі і назви сузір'їв затверджені в 1922 р. на I з'їзді Міжнародного астрономічного союзу (МАС). Усе небо розділене на 88 сузір'їв, з яких 31 знаходиться в північній небесній півкулі, а 48 — у південному. Інші 9 сузір'їв (Риби, Кит, Оріон, Єдиноріг, Секстант, Діва, Змія, Змієносець і Орел) розташовані в обох небесних півкулях, по обох сторони від уявлюваного на небі великого кола, називаного небесним екватором, що латинською мовою означає «урівнювач», тому що він поділяє все небо на дві рівних півкулі.

2 Вигляд зоряного неба на різних географічних широтах

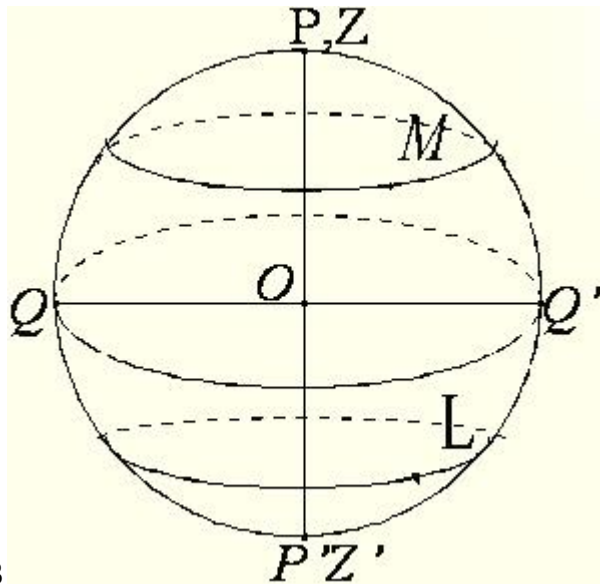
Так як Земля має форму кулі, вигляд зоряного неба в місцевостях з різними географічними широтами (φ) **різний** і визначається теоремою про висоту полюса світу ($h_p = \varphi$).



1. На **земному екваторі** ($\varphi=0^\circ$), $h_p=0^\circ$, тому вісь світу PP' лежить в площині істинного горизонту і співпадає з полуденною лінією NS , N суміщається з P , а P' з точкою півдня S , небесний екватор QQ' проходить через зеніт (Z) і надир (Z'). Площини всіх небесних паралелей перпендикулярні до площини істинного горизонту. Вони діляться нею пополам. Всі світила сходять і заходять перпендикулярно до горизонту, і їх видно півдобу. Світила північної півсфери ($\delta > \varphi = 0^\circ$, т.М) перетинають небесний меридіан на північ до зеніту, світила південної півсфери ($\delta < \varphi = 0^\circ$, т.Л) – на південь від зеніту. Полярну зірку видно поблизу точки півночі, вона регулярно заходить за горизонт.



2. У **довільній точці** при переміщенні спостерігача по земній поверхні в сторону географічного полюса. Полюс світу P піднімається над горизонтом. Небесний екватор наближається до істинного горизонту, збільшуються круги світил, що не заходять і не сходять.



3. Напівнічному полюсі Землі : $\varphi = +90^\circ$, $h_P = +90^\circ$, вісь PP' співпадає з ZZ' , північний полюс світу P з Z (зенітом), небесний екватор (QQ') співпадає з істинним горизонтом, тому немає точок півдня, сходу, заходу, півночі, ні небесного меридіану, ні полуденної лінії. У добовому русі неба зорі рухаються паралельно горизонту і не міняють своєї висоти. Поняття кульмінації відсутнє. Світила M північної півкулі не заходять, світила L південної півкулі не сходять. Полярна зірка майже в зеніті. На південному полюсі Землі картина аналогічна, тільки з зенітом співпадає південний полюс світу.

Сузір'я. Небесна сфера і добовий рух світил

1 Зодіакальні сузір'я

Екліптика проходить по 12 сузір'ям (за числом місяців у році), з яких 11 мають назви живих істот (реальних або містичних) і тому всі 12 сузір'їв іменуються **зодіакальними** (від грецького слова "зодіакос" – звір). Їх назви і прийняті позначення: Риби (і), Овен (^), Телець(_), Близнята ('), Рак (а), Лев (b), Діва (с), Ваги (d), Скорпіон (е), Стрілець (f), Козеріг (g) і Водолій (h).

Між сузір'ями Скорпіона і Стрільця Сонце переміщується на ділянці Змієносія, а так як в році 12 місяців і більшість зір розміщені далеко від екліптики, тому воно **не** зараховується до зодіакальних.

Основні точки зараз розміщені в наступних сузір'ях: т. **весняного рівнодення** ^ – в сузір'ї Риб, т. **літнього сонцестояння** а – в сузір'ї Близнят, т. **осіннього рівнодення** d – в сузір'ї Діви і т. **зимового сонцестояння** g – в сузір'ї Стрільця.

Весь пояс зодіакальних сузір'їв називається **Зодіаком**. Протяжність зодіакальних сузір'їв вздовж екліптики різна: найбільша (40°) у Тельця, Діви, Скорпіона; по сузір'ю Скорпіона (5°). Тому для вигоди екліптика поділена на 12 рівних дуг по 30°.

Відлік знаків зодіаку починається з т. весіннього рівнодення. Весною Сонце послідовно проходить по сузір'ям Риби, Овен, Телець; літом – Близнюки, Рак, Лев; восени – Діва, Ваги, Скорпіон (також Змієносія); а зимою – Стрілець, Козеріг, Водолій.

2 Сузір'я

Сузір'я — будь-яка з 88 ділянок, на які поділена небесна сфера. У менш формальному контексті термін використовується для назви групи зірок, взаємне розташування яких складає якусь фігуру чи контур.

Деякі відомі сузір'я містять добре помітні фігури, складені яскравими зірками, які легко впізнати, наприклад, Велика Ведмедиця (контур ковша), Оріон (фігура мисливця), Лев (контур лежачого лева), Скорпіон. Інші сузір'я не мають таких визначних контурів і містять менш яскраві зірки.

Зірки у сузір'ї рідко мають якийсь зв'язок одна з одною і лише випадково опиняються поруч, якщо їх розглядати саме з Землі. Насправді вони розташовані у космосі в багатьох світлових роках одна від одної. Цікавий виняток з цього правила становить група зірок з сузір'я Великої Ведмедиці.

Розподіл зірок по сузір'ях цілком довільний, і різні культури виділяють на небі різні сузір'я. Однак декілька найпомітніших контурів, складених яскравими зірками, виділяються більшістю культур, хоча, звичайно, отримують різні назви; такими є сузір'я Оріона і Скорпіона.

За грецькими поглядами небо складалося з сузір'їв і темних місць проміж ними. До того ж, деякі обриси, що їх виділяли давні греки, могли перетинатися, і деякі зірки належали до двох сузір'їв, а інші, що не складали характерних контурів, взагалі не відносили ні до якого сузір'я. Протягом часу у астрономів з'явилася потреба однозначного визначення розташування зірок на небі.

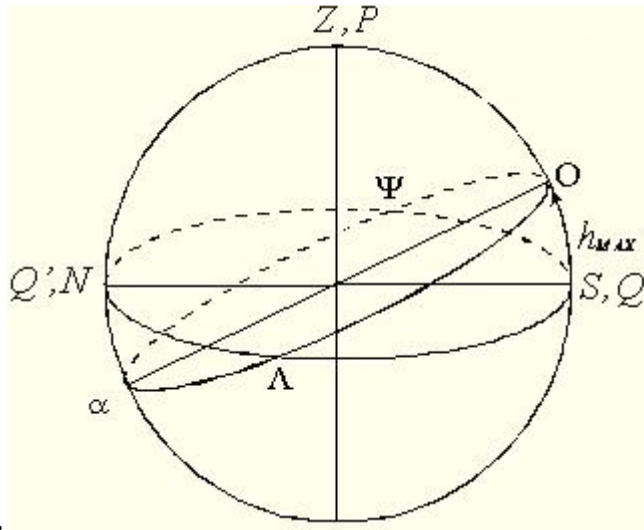
Міжнародний Астрономічний союз поділяє небесну сферу на 88 ділянок з точними межами між ними, завдяки чому будь-який напрямок (чи місце) на небі попадає в межі якогось єдиного сузір'я. В північній півкулі неба ці ділянки в основному слідують сузір'ям, які виділяли на небі давні греки та середньовічні астрономи, а також традиційним знакам зодіаку.

Межі сузір'їв були проведені Еженом Дельпортом 1930 року; він провів їх удовж кіл небесних координат — прямого сходження та схилення. Однак він зробив це в координатах епохи B1875.0. Внаслідок прецесії точки весняного рівнодення межі сузір'їв на сучасних

зоряних картах (епохи J2000) вже трохи скісні і не є достеменно вертикальними та горизонтальними.

3 Добовий рух світил

Розглянемо рух Сонця



1.

 $\varphi=90^\circ$.

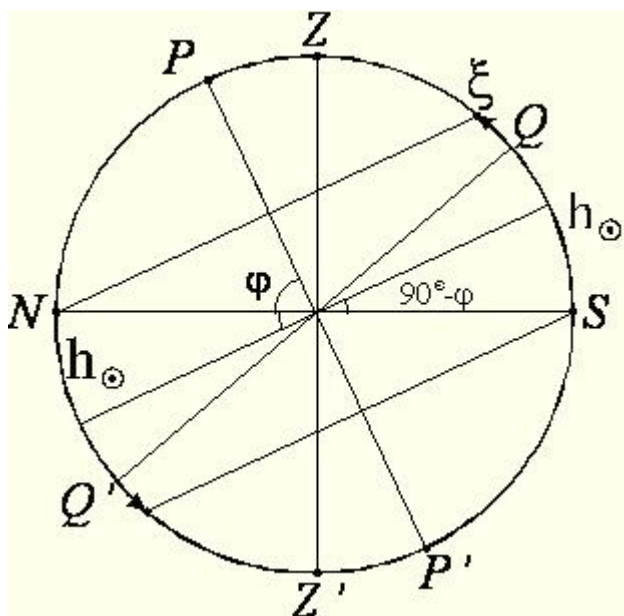
Спостерігач на північному полюсі Землі.

не заходять світила, у яких $\delta_{\square} \geq 0^{\circ}$ (з 21 березня $\square$ по 23 вересня $\square$);

не сходять світила, у яких $\delta_{\square} < 0^{\circ}$ (з 23 вересня $\square$ по 21 березня $\square$);

Починаючи з 21 березня Сонце не заходить і в наслідок добового руху небесної сфери описує кола майже паралельні до горизонту, піднімаючись все вище і вище; в день літнього сонцестояння ($\square$ - 22 липня) $h_{\max}=23^{\circ}27'$.

23 серпня Сонце заходить під горизонт і починається ніч, яка триває півроку. Описуючи майже паралельні кола опускається під горизонт все нижче. В день зимового сонцестояння ($\square$ - 22 грудня) воно опускається під горизонт на висоту $h_{\min} = -23^{\circ}27'$, а потім знову наближається до горизонту.



2.

 $\varphi = +66^{\circ}33'$.

Спостерігач на **північному** **полярному** **колі**.

не заходять світила, у яких $\delta \geq 23^\circ 27'$;

не сходять світила, у яких $\delta < -23^\circ 27'$.

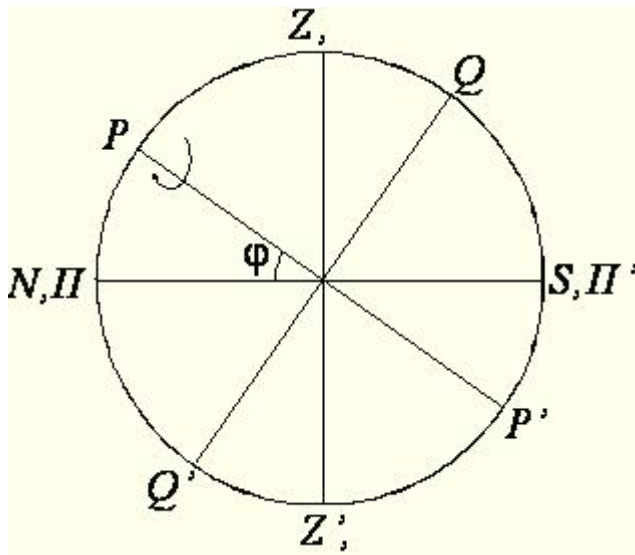
Тут Сонце не заходить в день літнього сонцестояння і не сходить в день зимового сонцестояння. В решта днів Сонце на цій широті і сходить і заходить, причому $h_{\square \max} = +46^\circ 54'$ в день літнього сонцестояння. На південному полярному колі ($\varphi = 66^\circ 33'$) Сонце не заходить в день зимового сонцестояння і не сходить в день літнього сонцестояння.

Північний і південний **полярні кола** є теоретичними границями між границями тих географічних широт, де можливі полярні дні і ночі (*дні і ночі, що тривають > 24 годин*).

У місцях, що лежать **за полярними колами** Сонце буває тим більше не заходить, чим ближче місце до географічних полюсів.

Не заходять світила, у яких $\delta \geq 66^\circ 33'$.

Не сходять світила, у яких $\delta \leq -66^\circ 33'$.



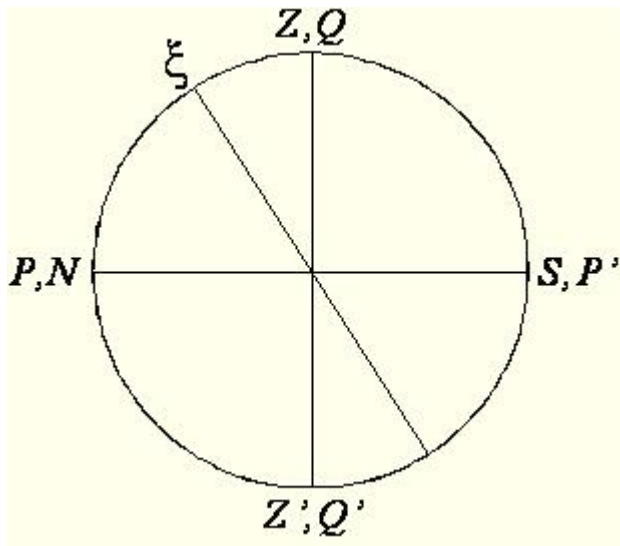
3. Спостерігач на **північному тропіку**. $\varphi = +23^\circ 27'$.

Сонце завжди сходить і заходить. В день літнього сонцестояння досягає опівдні максимальної висоти $h_{\square \max} = 90^\circ$, проходить через зеніт. В решта днів року Сонце опівдні кульмінує на південь від зеніту. У день зимового сонцестояння його полуденна мінімальна висота $h_{\square \min} = 43^\circ 06'$.

21.03 в т. $\square$ Сонце рухається по екватору QQ' $h_{\square} = 90^\circ - \varphi = 66^\circ 33'$.

21.06 в т. $\square$ Сонце буде в ϵ , опівдні в зеніті $h_{\square \max} = 90^\circ$.

22.12 в т. $\square$ Сонце буде в т. ϵ' , тобто Z' , $h_{\square \min} = 90^\circ - \varphi - 23^\circ 27' = 43^\circ 06'$.



4. Для спостерігача, що знаходиться **на екваторі** Землі ($\varphi=0^\circ$).

Всі світила, як і Сонце, як сходять, так і заходять. При цьому світила 12 годин знаходяться над горизонтом і 12 годин – під ним. День дорівнює ночі.

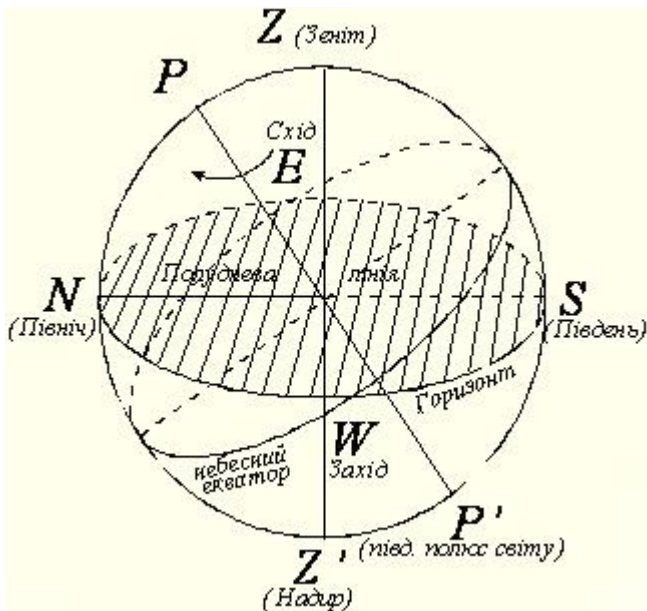
Два рази на рік Сонце о півдні проходить в зеніт (*21 березня, 23 вересня*), $h_{\max}=90^\circ$.

З 21.03 по 23.09 Сонце на екваторі кульмінує опівдні на північ від зеніту, а з 23.09 по 21.03 – на південь від зеніту. $h_{\min}=90^\circ-23^\circ27'=66^\circ33'$ (*це буде 22.06 і 22.12*)

Небесна сфера. Відносно земного спостерігача зорі розміщені на різних відстанях. Причому ці відстані настільки великі, що для людського ока вони здаються розміщеними на однаковій віддалі.

Зоряним небом називається сукупність небесних тіл, що розташовані в космічному просторі. Для розв'язку багатьох задач астрономії відстань до небесних тіл немає значення, а має значення лише їх розміщення на небі.

Тому розглядають **допоміжну небесну сферу** - уявну сферу довільного радіусу (*переважно приймається умовно рівний одиниці*), з центром, що співпадає з початком (*центром*) даної системи відліку. В якості центра системи може бути вибрана люба точка, напр. положення спостерігача, його око [*топографічна система*], центр мас Землі [*геоцентрична*], барицентр сонячної системи [*барицентрична або геліоцентрична*], центр галактики [*галактоцентрична*] і т. д. На небесній сфері можна фіксувати видимі кутові відстані між небесними світилами, вивчати видиме переміщення проєкцій небесних світил, не знаючи їх розміщення в просторі.



Прямовисна лінія. Основний напрямок,

зв'язаний з спостерігачем дає вертикальна, або прямовисна лінія, проведена через центр, яка збігається з напрямом сили тяжіння в пункті спостереження.

Зеніт і надир. Точка, що знаходиться над головою спостерігача і визначається як точка перетину прямовисної лінії, що проходить через око спостерігача з небесною сферою називається зенітом (z). Точка діаметрально протилежна зеніту називається надиром (z').

Математичний горизонт. Площина перпендикулярна до прямовисної лінії і проходить через центр небесної сфери називається площиною математичного горизонту, а лінія її перетину з небесною сферою називається математичним горизонтом. Ця площина приблизно співпадає з дотичною площиною до сферичної поверхні Землі.

Великим колом називається переріз сфери площиною, що проходить через її центр. Всі решта кола на сфері називаються малими колами, їх радіуси менші.

Фізичний горизонт (реальний) - замкнута неправильна лінія, яка обмежує видиму частину земної поверхні, що в рівнинній місцевості і на морі здається плоскою. В рівнинній місцевості висота спостерігача над поверхнею мала в порівнянні з R, то різниця між математичним та фізичним горизонтами мала.

Вісь і полюси світу. Основний напрямок, який пов'язаний з небесною сферою є вісь світу – пряма паралельна до земної осі і проходить через центр небесної сфери. Перетин осі світу з небесною сферою дає дві точки, одна з яких розміщена біля Полярної зорі (кутова віддаль 52° - ближче до зеніту) називається **північним** полюсом світу (P). Діаметрально протилежна точка – **південним** полюсом світу (P').

Небесний екватор – велике коло, площина якого проходить через центр допоміжної сфери перпендикулярно до осі світу. Він поділяє поверхню допоміжної сфери на дві **півкулі** : північну та південну. **Небесний меридіан** – велике коло, що проходить через зеніт, надир, північний та південний полюси світу. Він поділяє допоміжну небесну сферу на дві півкулі: східну і західну.

Північ, південь, схід, захід. Полуднева лінія. Перетин небесного меридіану з математичним горизонтом дає дві точки: ближча до північного полюсу світу називається точкою півночі N, протилежна - точка півдня S. Пряма, що з'єднує точки півночі і півдня називається полудневою лінією. Математичний горизонт перетинається з небесним екватором в точці сходу E і точці заходу W. В точці сходу світило розміщене на екваторі виходить при своєму русі з-за горизонту.

Вертикал (коло висоти) – півколо великого кола, що проходить через зеніт і надир. Зокрема ZWZ'EZ перпендикулярне до небесного меридіана – перший вертикал.

Час та календар

1 Вимірювання часу

В основу визначення одиниці часу покладено періодичне явище в природі — **добу** — проміжок часу, протягом якого Земля робить повний оберт навколо своєї осі. Добове обертання Землі, визначаючи закономірність зміни дня та ночі, циклічність багатьох процесів на Землі, розпорядок життя та діяльності людей, є найбільш доцільною і зручною основою для вимірювання часу, яка дана самою природою, і якою споконвіку користується людство. Тривалість доби можна визначити за допомогою світила або точки, фіксуючи моменти двох послідовних кульмінацій, якщо відомі їх положення на зоряному небі.

Проте визначення доби пов'язано з практичними труднощами, які викликані суперечливістю вимог до вибору одиниці часу. Для **визначення доби** в наш час користуються трьома допоміжними точками, а саме: точкою весняного рівнодення, центром справжнього Сонця, точкою середнього Сонця. Тривалість доби, що визначена допомогою кожної з трьох точок, — різна, і тому доводиться вживати всі три одиниці часу — зоряну добу, справжню сонячну добу і середню сонячну добу. Вимірюваний ними час називається відповідно **зоряним, справжнім сонячним і середнім сонячним** часом. Сукупність цих способів визначення доби ускладнює деякі обчислювальні роботи, але забезпечує повну відповідність обчислення часу практиці життя людства і велику точність вимірювання часу астрономічними методами.

Доба і її частки служать для вимірювання коротких проміжків часу, а для тривалих проміжків часу використовують поняття року. Проміжок часу між двома послідовними проходженнями справжнього Сонця через точку весняного рівнодення (^) називається **тропічним роком**.

$T_{\wedge}=365^d,2422$ с.д.д. (середньої сонячної доби).

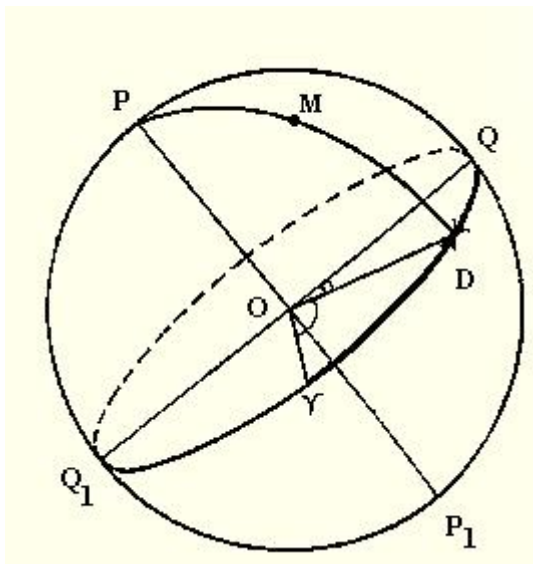
Внаслідок прецесії земної осі точка весняного рівнодення повільно рухається назустріч Сонцю, тому Сонце приходить в одну і ту саму ділянку неба не через тропічний рік, а через **зоряний рік (сидеричний період)**.

Проміжок часу за який Земля зробить один повний оберт навколо Сонця відносно нерухомих зір називається **зоряним роком**.

$T=365^d,2568$ с.д.д.

За останні три десятиріччя **точність визначення** тривалості доби з астрономічних спостережень зір підвищена на цілий порядок і досягає $0,001$ за добу; так само підвищена точність астрономічних маятникових і кварцових годинників. Створені годинники нових типів — **молекулярні та атомні**, які зберігають час з точністю до $5 \cdot 10^{-8}$ с за добу, задовольняючи найскладніші вимоги деяких наукових закладів.

2 Зоряна доба і зоряний час



Визначення зоряної доби впливає з видимого обертання навколо Землі точки весняного рівнодення. Верхня кульмінація цієї точки береться за початок доби. Проміжок часу між двома послідовними верхніми кульмінаціями, точки весняного рівнодення на тому самому меридіані називається **зоряною добою**.

Зоряну добу поділяють на 24 зоряні години, зоряну годину — на 60 зоряних хвилин, зоряну хвилину — на 60 зоряних секунд. Час, що проходить від моменту верхньої кульмінації точки весняного рівнодення до її положення в певний момент, виражений у частках зоряної доби, називається **зоряним часом**. Позначається латинською буквою s .

Годинний кут точки весняного рівнодення, виражений годинною мірою, чисельно дорівнює зоряному часу в даний момент. Час, що пройшов від початку доби, дорівнює **годинному** куту точки весняного рівнодення. Для його визначення користуються зорями з точно визначеними координатами.

Якщо визначено годинний, кут будь-якої зорі M (рис.1), то зоряний час (дуга iQ) дорівнює сумі двох дуг: дуги iD (пряме сходження зорі) та дуги DQ (годинний кут зорі). Отже, $s = \alpha + t$ (1) де α — пряме сходження, а t — годинний кут. При спостереженні зорі в момент верхньої кульмінації годинний кут дорівнює нулю і тоді $s = \alpha$ (1a)

Цією залежністю користуються для визначення зоряного часу з спостережень моментів кульмінації зір за допомогою пасажного інструменту. Зоряним часом зручно користуватися в наукових і деяких інженерних роботах, але повсякденно життя пов'язане з сонячною добою, яка більша від зоряної, тому введено **сонячний час**.

3 Справжня сонячна доба і справжній сонячний час

Справжню сонячну добу визначають за допомогою центра Сонця. Проміжок часу між двома послідовними нижніми кульмінаціями центра сонячного диска на тому самому меридіані називається **справжньою сонячною добою**.

Отже, початок сонячної доби, на відміну від зоряної, віднесено на нічну пору, тому весь день належить до однієї календарної дати.

Час, що пройшов від нижньої кульмінації центра Сонця до його положення в даний момент, виражений у частках справжньої сонячної доби, називається **справжнім сонячним часом**. Позначають його буквою $T.$. Вимірюють його годинним кутом центра Сонця.

Годинний кут $t.$ відлічується від південної точки екватора, а тому його збільшують на 12^h , що минули від нижньої до верхньої кульмінацій. Отже, $T. = t. + 12^h$ (2)

Сонце завжди кульмінує (у верхній кульмінації) о 12^h справжнього часу, тому $t. = 0$. Тривалість справжньої сонячної доби нестала, тому введено **середню сонячну добу**. Середня сонячна доба і середній сонячний час

Нерівномірність справжнього часу зумовлена нерівномірністю видимого річного руху Сонця по екліптиці і нахилом екліптики до площини небесного екватора. **Перша** причина зумовлена тим, що Земля рухається навколо Сонця по еліптичній орбіті, а такий рух, за другим законом Кеплера, відбувається з різними швидкостями. З 21 березня до 23 вересня Сонце переміщується повільніше, ніж у період з 23 вересня до 21 березня. **Друга** причина — нахил екліптики. На рис. 2а дуги АВ і ВС зображують по екліптиці поблизуточок **рівнодень**

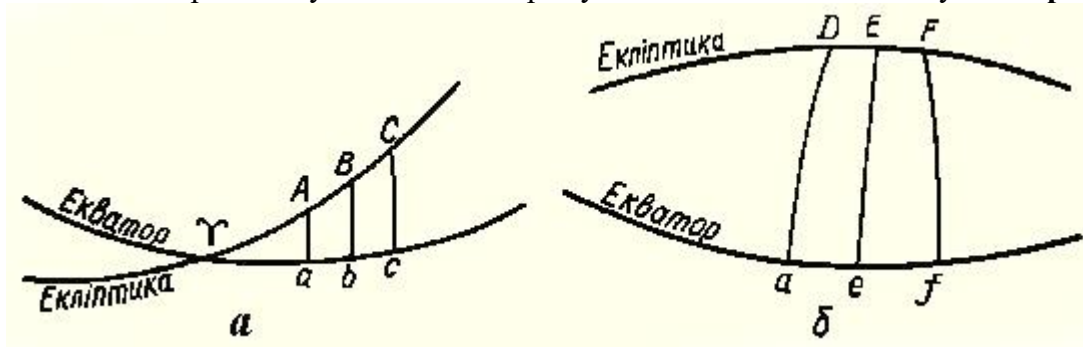


Рис 2. До визначення тривалості справжньої сонячної доби.

А їх проекції ab, bc на екваторі визначають зміну прямих сходжень Сонця. Ці проекції менші за відповідні відрізки екліптики, тобто $ab < AB$ і $bc < BC$. Поблизу точок сонцестоянь (рис. 2б) проекції добових відрізків екліптики на екватор, навпаки, довші за самі відрізки, тобто $de > DE$ і $ef > EF$. Отже, положення Сонця на екліптиці не може служити мірою часу тому, що екліптика нахилена до екватора.

Внаслідок обох причин справжня доба взимку довша, ніж влітку. **Найдовша** справжня доба 23 грудня — $24^{\text{h}}0^{\text{m}}30^{\text{s}}$; **найкоротша** 16 вересня — $23^{\text{h}}59^{\text{m}}39^{\text{s}}$. Максимальна різниця їх у тривалості 51^{s} .

Середню сонячну добу визначають за допомогою фіктивної точки, що рівномірно рухається по екватору. **Середнє екліптичне Сонце** — фіктивна точка, яка рівномірно рухається по екліптиці з швидкістю, що дорівнює середній швидкості руху справжнього руху Сонця і зустрічається з ним 3 січня та 4 липня. **Середнє екваторіальне Сонце** — фіктивна точка, яка рівномірно рухається по екватору і одночасно з середнім екліптичним Сонцем проходить точку весняного рівнодення. Середнє екваторіальне Сонце називають середнім Сонцем. Проміжок часу між двома послідовними, нижніми кульмінаціями середнього Сонця на тому самому меридіані називається **середньою сонячною добою**. Цю добу поділяють на 24 середні сонячні години, годину — на 60 хвилин, хвилину — на 60 секунд, сонячна доба протягом року стала.

Час, що минає від нижньої кульмінації середнього Сонця до його положення в цей момент, виражений у середніх одиницях часу, називається **середнім сонячним часом**, або просто середнім часом. Позначають його буквою T_m .

Середнє Сонце спостерігати неможливо, а тому, з спостережень визначають годинний кут справжнього Сонця, додають η — рівняння часу і дістають середній сонячний час

$$T_m = 12^{\text{h}} + t_{\odot} + \eta \quad (3)$$

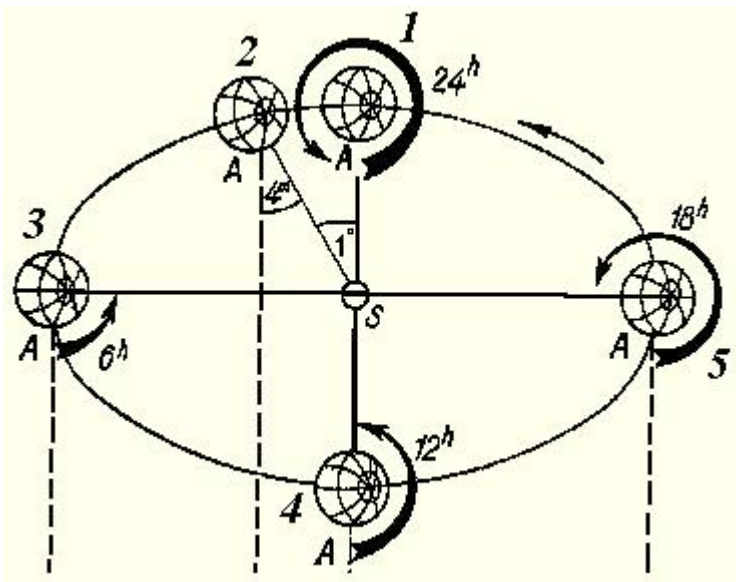
Середній сонячний час на даному меридіані дорівнює годинному куту справжнього Сонця плюс 12^{h} і плюс рівняння часу з його знаком.

Рівнянням часу називається різниця годинних кутів середнього і справжнього Сонця. Воно показує, наскільки середнє Сонце обігнало справжнє Сонце або відстало від нього

$$\eta = t_m - t_{\odot}, \text{ тобто } \eta = T_m - T_{\odot} \quad (4)$$

Значення рівняння часу на кожний день дається в "Астрономічному календарі" на поточний рік, у графі 7 ефемерид Сонця; можна побудувати і графік рівняння часу.

Покажемо, що тривалість сонячної доби перевищує зоряну в середньому на $3^{\text{m}}56^{\text{s}}$, що зумовлено рухом Землі навколо Сонця.



Припустимо, що середнє Сонце

збігається із справжнім Сонцем S . Нехай у положенні 1 для спостерігача A середнє Сонце і точка $\wedge$ одночасно проходять верхню кульмінацію. Якби Земля не переміщалася по орбіті, то після одного її оберту навколо осі середнє Сонце і точка $\wedge$ були б у верхній кульмінації одночасно, а середня сонячна доба дорівнювала б зоряній. Але Земля за один оберт навколо осі перемістилася по орбіті на $0,986^\circ$ (майже на 1°) у положення 2. Тоді для того самого спостерігача зоряна доба вже закінчилась, оскільки точка $\wedge$ прийшла на меридіан (напряма на $\wedge$ вказують пунктирні лінії), але Сонце ще не дійшло до меридіана пункту спостереження і утворюватиме з ним кут, теж близький до 1° . Кульмінація Сонця настане тоді, коли Земля повертається навколо своєї осі на вказаний кут. Цей поворот вона закінчує в середньому за 3^m56^s (це можливо 23 вересня).

Отже, 23 вересня показання годинників, що йдуть за середнім і зоряним часом, на початку доби збігатимуться; в кінці доби зоряний годинник опівночі вже випереджатиме середній годинник майже на 4м. У наступну добу вказаний кут збільшиться в 2 рази і Сонце кульмінуватиме після точки весняного рівнодення з запізненням майже в 8м. Через три місяці (положення 3) зоряний час вже випереджатиме середній сонячний на 6^h , у положенні 4 — на 12^h , у положенні 5 — на 18^h а у положенні 1 — на 24^h . Таким чином, зоряний час протягом тропічного року **випередить** середній на 24^h , тобто на цілу зоряну добу. Іншими словами, протягом тропічного року — за 365,2422 середньої або справжньої сонячної доби — Земля зробить 366,2422 обертів навколо осі.

4 Системи лічби часу: *всесвітній, поясний і декретний час*

Різні обставини життя і діяльності людей примушували не тільки користуватися різними одиницями часу, але спонукали ввести і різні системи лічби часу.

Всесвітнім, або **світовим**, часом називається місцевий середній час грінвічського меридіану. Позначається він через T_0 . Ним користуються для обчислення моментів початку і закінчення важливих астрономічних явищ і даних, які потрібні в астрономічній практиці, геодезії, мореплавстві та авіації. Вони публікуються в астрономічних календарях, астрономічних щорічниках і довідниках.

Місцевий час зв'язаний з всесвітнім часом формулою

$$T_M = T_0 + \lambda \quad (5),$$

де λ - довгота, визначена відносно грінвічського меридіану.

Поясний час. Життя багатьох держав у XIX ст. характеризувалось посиленням різних форм економічних, політичних та культурних зв'язків між населенням великих національних областей і сусідніх держав. У цих умовах виявилось, що користування місцевим часом супроводжується численними непорозуміннями.

У 1885 р. Міжнародна конференція 26 держав прийняла систему поясного часу. За нею всю земну кулю було поділено на 24 годинні пояси з нумерацією від нуля до XXIII. Годинний пояс простягається по довготі на 15^0 . Місцевий час середнього меридіана поясу, яким користуються в усьому поясі, називається **поясним часом**. Межі поясів проходять по державних кордонах, по межах великих адміністративних областей та з урахуванням фізико-географічних об'єктів (*гірських хребтів, великих рік і т.п.*).

Нульовий пояс простягається по довготі на $7^0,5$ на захід і стільки ж на схід від грінвічського меридіана. Перший пояс лежить в межах $7^0,5-22^0,5$, а другий – у межах $22^0,5-37^0,5$ і т. д., різниця між поясами і місцевим часом в межах поясу не перевищує півгодини.

Центральний меридіан першого поясу проходить на 15^0 на схід від Гринвіча ($\lambda=15^0=1^h$), другий – на 30^0 ($\lambda=30^0=2^h$) і т. д. Отже, N – номер поясу – **збігається із значенням довготи середнього поясного меридіана, що виражена в годинах**, і тим самим спрощуються розрахунки. Позначають поясний час буквою T . Він дорівнює:

$$T_{\Pi} = T_0 + N \quad (6)$$

Літній час був введений з метою раціональної організації виробничого і суспільного життя великих індустріальних і адміністративних центрів, рівномірного використання потужностей електростанцій протягом доби, денного освітлення для роботи і т. п. 16 червня 1930 р. Декретом Ради Народних Комісарів стрілки годинників в усіх годинних поясах СРСР були переведенні на одну годину вперед. Зв'язок декретного часу із всесвітнім виражається співвідношенням $T_{\text{Д}} = T_0 + N + 1^h$, а також .

$$T_{\text{Д}} = T_{\text{М}} - (\lambda - N - 1^h) \quad (7)$$

За декретним часом третього (*московського*) поясу діяли в СРСР всі види транспорту, засоби зв'язку і т. п.

5 Ефемеридний час

У середині XIX ст. були помічені **відхилення** в русі Місяця від розрахованого його положення. У XX столітті відхилення спостерігались також у русі Меркурія та Венери. Це було пояснено нерівномірністю обертання Землі навколо осі. Зараз ми маємо багато доказів нерівномірного руху Землі навколо осі. Внаслідок нерівномірного обертання Землі середня сонячна доба та зоряна доба — величини також **несталі**. Тому в астрономії використовують дві системи лічби часу: нерівномірний час та рівномірний, який має ще назву **ефемеридний час**.

Ефемеридний час використовують в теоретичних розрахунках руху Місяця та планет, тому він по своїй суті є рівномірний. На підставі законів небесної механіки по елементах орбіти для Місяця або планет складають спеціальні таблиці — **ефемериди**. В ефемеридах дають α і δ цих об'єктів на моменти рівномірного часу $t_1, t_2, \dots, t_n$.

Наприклад: $t_1 - \alpha_1 \delta_1$; $t_2 - \alpha_2 \delta_2$; ...; $t_n - \alpha_n \delta_n$.

Час $t_1, t_2, \dots, t_n$ - ефемеридний час.

Спостереження над Місяцем та планетами дають можливість точно визначити величину розбіжності між, наприклад, всесвітнім та ефемеридним часом в момент спостереження. Суть методики полягає в наступному. По ефемериді в момент t_1 Місяць чи планета повинні мати координати $\alpha_1 \delta_1$. Але за всесвітнім часом об'єкт буде мати ці координати в якийсь інший момент t . Різниця $t_1 - t = \Delta t$ є різницею між ефемеридним та всесвітнім часом. Цілком ясно, що цю різницю можна одержати тільки на минулі моменти часу. Так, у 1965 р. $\Delta t = 33^s,95$; у 1985 р. — $\Delta t = 35^s,56$; у 2000 р. — $\Delta t = 41^s,43$. Отже, додаючи до всесвітнього часу поправки, можна одержати рівномірний — **ефемеридний час**.

У зв'язку з використанням ефемеридного часу в астрономії введена нова одиниця часу — секунда. Раніше секунда визначалась як $1/86400$ частина середньої сонячної доби. У 1956 р. секунда визначалася як $1/31556925,9747$ частина тропічного 1900 року. Ця секунда має назву **ефемеридної секунди**.

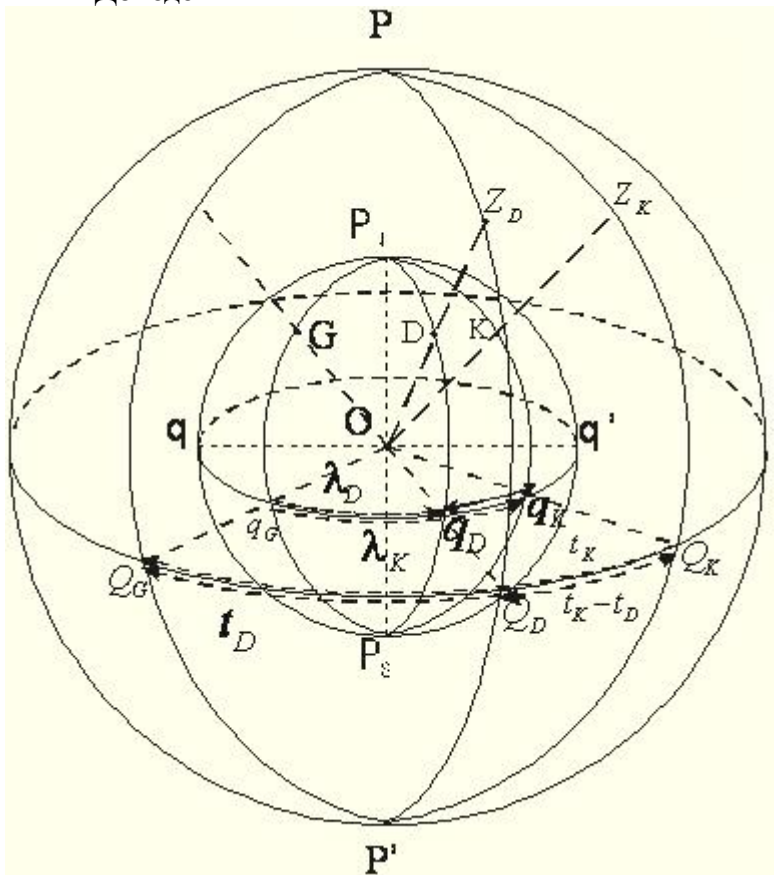
6 Місцевий час і географічна довгота

Кульмінації будь-якого світила внаслідок обертання Землі в різних географічних пунктах настають у різні моменти часу – спочатку у східних, а потім у пунктах з меншими географічними довготами. В пунктах, що розташовані на одному меридіані кульмінацію зорі, або середнього Сонця, або справжнього Сонця визначають одночасно і тому вважають, що і справжній, і середній сонячний і зоряний час є місцевим часом. Час виміряний на даному географічному меридіані називається **місцевим часом**.

Доведемо наступне твердження.

Теорема: Різниця місцевого часу двох меридіанів в один і той же фізичний момент дорівнює різниці довгот цих меридіанів, що виражені в годинній мірі.

Доведення



Зобразимо Землю у вигляді сфери:

$P_N P_S$ – вісь обертання, qq' – земний екватор.

Виберемо на Земній поверхні два пункти спостереження (наприклад, Дрогобич (D) та Київ (K) та зобразимо Гринвіч (G)).

Введемо допоміжні необхідні **позначення**:

- OD , OK – прямовисні лінії відповідно Дрогобича та Києва;
- тоді, згідно означення $P_N D P_S$, $P_N K P_S$, $P_N G P_S$ – меридіани відповідно Дрогобича, Києва та Гринвіча;
- λ_D , λ_K – географічна довгота Києва та Дрогобича; причому різниця $\lambda_K - \lambda_D$ спирається на центральний кут $q_D O q_K$.

Побудуємо допоміжну сферу (*небесну сферу*) з центром у центрі Землі (O), довільного радіуса і виконаємо ряд добудов:

- продовжимо прямовисні лінії до перетину з небесною сферою, отримаємо Z_D , Z_K – зеніт Дрогобича та Києва;
- проведемо небесні меридіани $P D P'$, $P K P'$, $P G P'$, які в перетині з небесним екватором дають точки Q_D , Q_K , Q_G ;
- зобразимо (згідно означення) годинний кут Гринвіча відносно Дрогобича t_D , t_K та Києва та їх різницю $t_K - t_D$, яка спирається на центральний кут $Q_D O Q_K$.

Точки D, Z_D, q_D, Q_D та K, Z_K, q_K, Q_K лежать в одній площині (згідно побудови), а дуги $q_D q_K$ і $Q_D Q_K$ спираються на один і той же центральний кут, а отже є рівними. Отже $\lambda_K - \lambda_D = t_K - t_D$.

Такі самі міркування приводять до висновку:

$$\lambda_1 - \lambda_2 = T_{m1} - T_{m2}; \quad \lambda_1 - \lambda_2 = s_1 - s_2; \quad \lambda_1 - \lambda_2 = T_{o1} - T_{o2}.$$

7 Календар

Система відліку великих проміжків часу (*літочислення*) з поділом на окремі періоди — роки, місяці і доби — називається **календарем**. За основу календарних одиниць лічби часу взято природні одиниці часу: сонячний рік, синодичний місяць і сонячну добу.

Ці одиниці часу між собою несумірні, а тому узгодження їх ускладнювало побудову календарів і породжувало плутанину в літочисленні різних народів, усуненню якої астрономи приділяли великої уваги.

Незалежність основних одиниць часу зумовлювала існування **трьох типів** календарів: сонячний, місячний і місячно-сонячний. У **сонячному** календарі основною одиницею часу є тривалість тропічного року (*365,2422 середньої доби*). Сучасний календар належить до сонячних. В основу **місячного** календаря покладено тривалість синодичного місяця (*29,5 доби*). Рік у ньому дорівнює 354 або 355 середнім сонячним добам, тобто 12 місяцям по 29,5 доби. **Місячно-сонячний** календар — це комбінація сонячного і місячного календаря.

Порядкові номери років у календарях ведуться від умовного початку, що називається **ерою**. Відомо понад 200 різних ер. Єгиптяни рахували ери по рокам початку правління фараонів, китайці — початки правління фараонів, римляни, наприклад, лічили спочатку за іменами консулів, далі — "від заснування Риму" (відповідає 753 р. до н. е.). У християнській релігії введено початок від "створення світу" (5508 р. до н. е.), але в VI ст. прийнято нову еру — від народження Христа, якою користуються у багатьох країнах.

Сучасний календар складається з основних елементів сонячного римського календаря, який був розроблений олександрійським астрономом Созігеном і введений в 45 р. до н. е. Юлієм Цезарем. Рік у ньому становив 365,25 сонячної доби, причому для зручності лічби запропоновано вважати три роки по 365 діб, а кожний четвертий рік по 366 діб. Роки з 365 добами названо **простими**, а з 366 — **високосними**. Всі роки, номери яких діляться на 4, вважались високосними.

Рік складався з 12 місяців, тривалість і назви яких зберігалися в європейському і російському календарях; в тому числі і назви — "июль" та "август" на честь Юлія Цезаря і імператора Августа. Дійшов до нашого часу і вавілонський семиденний тиждень.

У юліанському календарі різниця між календарним і тропічним роком дорівнює 0,0078 доби або $11^m 14s$; за 128 років вона збільшується до 1 доби. На кінець XVI ст., відставання становило вже 10 діб. Італійський професор математики Луїджі Ліліо Гараллі запропонував проект нового календаря, який і був затверджений папою римським Григорієм XIII у 1582р.

Новий календар став називатися **григоріанським**, або "*новим стилем*", на відміну від **юліанського** календаря, або "*старого стилю*". У папській буллі наказувалось вважати наступний після 4 жовтня 1582 р. день не 5, а 15 жовтня. Так було ліквідовано 10 днів відставання. Щоб надалі не допускати відставання, домовились з кожних 400 років вважати високосними не 100, як в юліанському календарі, а 97 років і вважати простими ті вікові роки, в яких число сотень не ділиться на 4 без остачі, наприклад 1700, 1800, 1900. У Радянській Росії щоб ліквідувати відставання в 13 діб, день після 31 січня 1918 р. стали вважати не 1, а 14 лютого.

Час **Паски** з року в рік припадає на різні дати. Нижче наведено приклад визначення дати настання Паски, де через N позначено номер року, для якого визначаємо дату святкування, а $\{ \}$ позначено остачу від ділення.

$$a = \left\{ \frac{N}{4} \right\} \quad a = \left\{ \frac{2009}{4} \right\} = 1$$

$$b = \left\{ \frac{N}{7} \right\} \quad b = \left\{ \frac{2009}{7} \right\} = 0$$

$$c = \left\{ \frac{N}{19} \right\} \quad c = \left\{ \frac{2009}{19} \right\} = 14$$

$$d = \left\{ \frac{19c + 15}{30} \right\} \quad d = \left\{ \frac{19 \cdot 14 + 15}{30} \right\} = 11$$

$$e = \left\{ \frac{2a + 4b + 6d + 6}{7} \right\} \quad e = \left\{ \frac{2 \cdot 1 + 4 \cdot 0 + 6 \cdot 11 + 6}{7} \right\} = 1$$

$$4.04 + d + e = ? \quad 4.04 + 11 + 1 = 16.04$$

8 Всесвітній календар

Григоріанський календар має ряд недоліків: неоднакова тривалість місяців, різна кількість робочих днів на місяць, дні тижня припадають з року в рік на різні числа місяця. Вони породжують незручності в житті людей, ведуть до великих невиправданих витрат, тому що ускладнюють обчислення процентів по банківських операціях, по страхових розрахунках, по виплатах робітникам і службовцям з фондів соціального страхування і т.п.

Новий проект під назвою **Всесвітнього календаря** було схвалено лише у 1954 р. Економічною і Соціальною радою ООН. Структура Всесвітнього календаря така: у році 12 місяців з тими самими назвами; тиждень залишається семиденний; рік поділено на 4 квартали по 91 дню; кожний квартал складається з трьох місяців; перший місяць має 31 день, два наступних — по 30 днів; 1 січня завжди припадає на неділю; квартали починаються з неділі і закінчуються суботами. Кількість робочих днів на місяць — 26.

Отже, 4 квартали у Всесвітньому календарі мають **364 дні**, тобто на один день менше від простого року у григоріанському календарі. Цей день рекомендовано вважати міжнародним святом — Днем миру і дружби народів, або днем Нового року. Встановлюється він між 30 грудня і 1 січня. У високосному році слід додати ще один неробочий день поза датами місяця — (після 30 червня) — День високосного року.

Проект Всесвітнього календаря, схвалений більшістю країн, проте **не прийнятий**, бо США і Англія не погодились з ним "з політичних і релігійних міркувань". Переваги Всесвітнього календаря очевидні. Прогресивні суспільні сили продовжують роботу з метою введення Всесвітнього календаря.

9 Атомний час

Швидкий розвиток науки і техніки з середини XX ст. привів до створення принципово нових методів обчислення часу. З цією метою створені прилади, в яких проходять автономні коливальні процеси високої стабільності. В усіх приладах, що часто називають **стандарти частоти**, вимірювання часу базується на підрахунку числа коливань, що виникають в системі приладу.

Так, в **кварцових** годинниках відбуваються високочастотні коливання кварцової пластинки під дією змінного електричного струму, що забезпечує обчислення часу з точністю до 10^{-6} с. В **атомних** годинниках використовується строго визначена частота електромагнітних коливань, що випромінює атом при квантовому переході між енергетичними рівнями, причому точність часу підвищена до 10^{-11} – 10^{-12} секунди.

Застосування цих приладів дало можливість помітити невелике відхилення у рівномірності обертання Землі, що відбувається через

1. **гравітаційну** дію Місяця і Сонця (*період обертання Землі повільно збільшується на $0^s,0014$ за 100 років*);
2. **сезонний** перерозподіл повітряних та водяних мас на Землі (*змінює тривалість доби на $\pm 0^s,001$*);
3. несподівані і нерегулярні **порушення** рівномірності обертання Землі, причини, яких ще не з'ясовано (*змінює тривалість доби на $\pm 0^s,004$*).

І хоча нерівномірність обертання Землі дуже мала, все ж тривалість сонячної доби не строго стала, і ця одиниця часу з її похідними вже не може служити еталоном в тих наукових дослідженнях, де необхідно знати час з точністю не нижче $0^s,000001$.

Тому була розроблена система виміру часу, що базується на надстабільному еталоні частоти, де використовуються електромагнітні коливання, які випромінюють атоми ізотопу металу цезію-133 (^{133}Cs). Час, виміряний в цій системі, отримав назву **атомного часу**. За одиницю часу прийнято **атомну секунду**, що рівна тривалості 9 192 631 770 коливань, що відповідає резонансній частоті квантового переходу надтонкої структури основного стану атома $^{133}\text{Cs}^*$. Атомна секунда прийнята за одиницю часу в Міжнародній системі одиниць вимірів.

Невеликі аперіодичні нерівномірності в обертанні Землі приводять до незначних розбіжностей між астрономічним середнім часом і атомним часом. Тому регулярно 31 грудня в кінці доби вноситься **поправка**, яку добавляють до закінчення року, або виключають її.

Закони руху небесних тіл

Двома найбільш значними успіхами класичного природознавства, заснованого на механіці Ньютона, були практично вичерпне опис спостережуваного руху небесних тіл і пояснення відомих з експерименту законів ідеального газу.

Закони Кеплера.

Спочатку вважалося, що Земля нерухома, а рух небесних тел здавався дуже складним. Галілей одним з перших висловив припущення про те, що наша планета не є виключенням і теж рухається навколо Сонця. Ця концепція була зустрінута досить вороже. Тихо Браге вирішив не брати участі у дискусіях, а зайнятися безпосереднім вимірами координат тіл на небесній сфері. Він присвятив цьому все своє життя, але не тільки не зробив жодних висновків із своїх спостережень, але навіть не опублікував результатів. Пізніше дані Тихо потрапили до Кеплеру, який знайшов просте пояснення спостережуваних складним траєкторіями, сформулювавши три законів руху планет (і Землі) навколо Сонця :

1. Планети рухаються по еліптичних орбітах, в одному з фокусів яких знаходиться Сонце.
2. Швидкість руху планети змінюється таким чином, що площі, замітає її радіус-вектором за рівні проміжки часу, виявляються рівними.
3. Періоди Сонячної звернення планет однієї системи і великі півосі їх орбіт пов'язані співвідношенням:

Складне рух планет на "небесній сфері", що спостерігається з Землі, згідно Кеплеру, виникало внаслідок складання цих планет по еліптичних орбітах з рухом спостерігача, що здійснює разом із Землею орбітальний рух навколо сонця і добове обертання навколо осі планети.

ряним доказом добового обертання Землі був експеримент, поставлений Фуко, в якому площину коливань маятника поверталася щодо поверхні Землі обертається.

Закон Всесвітнього тяжіння.

Закони Кеплера прекрасно описували спостережуваний рух планет, але не розкривали причин, що призводять до такого руху (напр. цілком можна було вважати, що причиною руху тіл по кеплеровим орбітах була воля якого-небудь істоти чи прагнення самих небесних тіл до гармонії). Теорія гравітації Ньютона вказала причину, зумовили рух космічних тіл за законами Кеплера, правильно передбачила і пояснила особливості їх руху в більш складних випадках, дозволила в одних термінах описати багато явищ космічного і земного масштабів (рух зірок в галактичному скупченні і падіння яблука на поверхню Землі).

Ньютон знайшов правильне вираз для гравітаційної сили, що виникає при взаємодії двох точкових тіл (тел, розміри яких малі в порівняно з відстанню між ними): яке спільно з другим законом у випадку, якщо маса планети m багато менше маси зірки M , призводило до диференціальних рівнянь допускає аналітичне рішення. Чи не залучаючи будь-яких додаткових фізичних ідей, чисто математичними методами модно показати, що при відповідних початкових умовах (достатньо малі початкові відстань до зірки та швидкість планети) космічне тіло буде здійснювати обертання за замкнутої, стійкої еліптичній орбіті в повній згоді з законами Кеплера (зокрема другий закон Кеплера є прямим наслідком закону збереження моменту імпульсу, що виконується при гравітаційних взаємодіях, оскільки момент сили (2) щодо масивного центру завжди дорівнює нулю). При досить високою початковою швидкістю (її значення залежить від маси зірки і початкового положення) космічне тіло рухається по гіперболічній траєкторії, врешті-решт ідучи від зірки на нескінченно велику відстань.

Важливою властивістю закону гравітації (2) є збереження його математичної форми у разі гравітаційної взаємодії неточечних тіл в випадку сферично-симетричного розподілу їх мас за обсягом. При цьому роль R відіграє відстань між центрами цих тіл.

Рух небесних тіл при наявності збурень. Строго кажучи, закони Кеплера виконуються точно лише в разі руху лише одного тіла поблизу іншого, що володіє значно більшою масою, за умови сферичності цих тел. При незначних відступи від сферичної форми (напр. через обертання

зірки вона може трохи "сплюснутися") орбіта планети перестає бути замкнутою і являє собою прецесуючий навколо зірки еліпс.

Іншим часто зустрічається обуренням є гравітаційне вплив планет однієї зоряної системи один на одного. Кеплерови орбіти є стійкими щодо слабких збурень, тобто, випробувавши вплив від близько пролітає сусіда, планета прагне повернутися на вихідну траєкторію. При наявності сильних збурень (проліт масивного тіла на невеликій відстані) задача про рух істотно ускладнюється і не може бути вирішена аналітично. чисельні розрахунки показують, що в цьому випадку траєкторії планет перестають бути еліпсами і являють собою незамкнуті криві.

Згідно з третім законом Ньютона існує сила, яка діє на зірку з боку планет. У разі $M \gg m$ прискорення зірки пренебрежимо мало і її можна вважати нерухомою. За наявності двох тіл сумірних мас, притягаються один до одного, можливо їх стійке спільне рух по еліптичних орбітах навколо спільного центру мас. Очевидно, що більш масивне тіло здійснює рух по орбіті меншого радіусу. У разі руху планет навколо зірки зазначений ефект малопомітний, проте в космосі були виявлені системи, які вчиняють описане рух - подвійні зірки. Чисельний розрахунок руху планет в системі подвійної зірки показує, що їх орбіти істотно нестационарних, відстань від планети до зірок швидко змінюється в досить широких межах. Неминучі при цьому швидкі зміни клімату на планетах робить там досить проблематичною можливість біологічної еволюції. Ще менш ймовірно виникнення технічних цивілізацій на планетах систем подвійних зірок, оскільки складне неперіодичне рух планет приводить до важко розшифровуємо що спостерігається руху тіл на "небесній сфері", істотно утруднюючи формулювання законів Кеплера і, як наслідок, розвиток класичної механіки (рис. 6_2).

Добре відомо, що основна маса Сонячної системи (близько 99.8%) припадає на її єдину зірку - Сонце. Сумарна маса планет становить лише 0.13% від загальної. На решту тіла системи (комети, супутники планет, астероїди і метеоритне речовина) припадає тільки 0.0003% маси. З наведених цифр випливає, що закони Кеплера для руху планет в нашій системі повинні виконуватися дуже добре. Істотні відхилення від еліптичних орбіт можуть виникати лише у разі близького (у порівнянні з від відстані до Сонця) прольоту повз одну з планет: Меркурія, Венери, Землі, Марса, Юпітера, Сатурна, Урана, Нептуна або Плутона (особливо це стосується наймасивнішою з планет - Юпітера). Саме спостереження обурення орбіти Нептуна дозволили передбачити, а потім і виявити Плутон - найвіддаленішу з відомих планет нашої системи. ньютонівської закон гравітації і закони Кеплера дозволяють зв'язати розміри планет з періодами обертання, але не дозволяють розраховувати самі орбіти. Ще в 18 столітті була запропонована емпірична формула для радіусів орбіт планет сонячної системи: де - радіус орбіти Землі. У відміну від законів Кеплера співвідношення (4) ніяк не впливає з законів Ньютона і до цих пір не отримало теоретичного обґрунтування, хоча орбіти всіх відомих на сьогоднішній день планет задовільно описуються цією формулою. Виняток становить лише значення $n = 3$, для якого на розрахованій орбіті планети не існує. Замість неї був виявлений пояс астероїдів - невеликих за планетних масштабами тел неправильної форми. Емпіричні закони, не підтверджені наявною теорією, можуть відігравати позитивну роль у дослідженнях, оскільки теж відображають об'єктивну реальність (можливо в несовсем точному і навіть у дещо спотвореному вигляді).

Привабливою здавалася гіпотеза про раніше існуючої п'ятій планеті - Фаетоні, зруйнованої на шматки гігантським гравітаційним тяжінням її масивного сусіда - Юпітера, проте кількісний аналіз руху планети -- гіганта показав неспроможність цього припущення. Мабуть згадана проблема може бути вирішена лише на основі закінченої теорії виникнення і еволюції планет Сонячної системи, поки що неіснуючої. Вельми приваблива теорія спільного походження сонця і планет з єдиного газової хмари, зіщулена під дією гравітаційних сил, виявляється в суперечності з контрольоване нерівномірним розподілом обертального моменту (моменту імпульсу) між зіркою і планетами. Обговорюються моделі походження планет в результаті гравітаційного захоплення Сонцем тіл, що прилітають з далекого космосу, ефекти, викликані вибухом над-нових. У більшості "сценаріїв" розвитку сонячної системи існування поясу астероїдів так чи інакше зв'язується з його близьким сусідством з наймасивнішою планетою системи.

Відомі на сьогоднішній день властивості планет Сонячної системи дозволяють розділити їх на дві групи. Перші чотири планети земної групи характеризуються порівняно малими масами і великими щільностями що складають їх речовин. Вони складаються з розплавленого залізного ядра, оточеного силікатної оболонкою - корою. Планети володіють газовими атмосферами. Їх температури головним чином визначаються відстанню до Сонця і зменшуються з його збільшенням. Що починається з Юпітера група планет - гігантів в основному складена з легких елементів (водню та гелію), тиск яких у внутрішніх шарах зростає до величезних величин, внаслідок гравітаційного стиснення. У результаті за пере наближення до центру газу поступово переходять у рідкий і, можливо, в твердотільний стану. Передбачається, що в центральних областях тиску настільки велике, що водень існує в металевій фазі, поки не що спостерігалася на Землі навіть у лабораторних умовах. Планети другої групи володіють великою кількістю супутників. У Сатурна їх число таке велике, що при недостатньому збільшенні планета здається оперезаною системою безперервних кілець (рис. 6_3).

Проблема існування життя на інших планетах до цих пір викликає підвищений інтерес в навколонаукових сферах. В даний час можна з достатнім ступенем вірогідності можна стверджувати, що в звичних для сучасного природознавства білкових формах життя на планетах Сонячної системи (зрозуміло, за винятком Землі) не існує. Причиною цьому перш за все є трохи фізико-хімічного діапазон умов, що допускають можливості існування органічних молекул і протікання життєво важливих хімічних реакцій за їх участю (не занадто високі та низькі температури, вузький інтервал тисків, наявність кисню і т.д.). Єдиною, крім Землі, планетою, умови на якій явно не суперечать можливості існування білкової життя, є Марс. Однак досить детальні дослідження його поверхні за допомогою міжпланетних станцій "Марс", "Маріонер" і "Вікінг" показали, що життя на цих планетах не існує навіть у вигляді мікроорганізмів (рис. 6_4).

Що ж до питання про існування небілкових форм позаземної життя, його серйозного обговорення повинна передшествувати суворо формулювання самого узагальненого поняття життя, але ця проблема до цих пір не отримала загальновизнаного задовільного рішення. (Заснувати враження, що відкриття форм життя, що істотно відрізняються від звичних для нашого уяви, взагалі може не викликати скільки-небудь помітного інтересу в ненауковій громадськості. Не дуже важко уявити собі створення комп'ютерних вірусів, здатні розмножуватися в мережах і здатних еволюціонувати, набагато важче уявити реакцію на це в суспільстві, яка відрізняється від досади користувачів, які втратили програми).

Про природу гравітаційних сил. Сформульований Ньютоном закон всесвітнього тяжіння відноситься до фундаментальних законів класичного природознавства. Методологічною слабкістю концепції Ньютона був його відмова обговорювати механізми, що приводять до виникнення гравітаційних сил ("Я гіпотез НЕ вигадував "). Після Ньютона неодноразово робилися спроби створення теорії гравітації. Переважна більшість підходів пов'язане з так званими гідродинамічними моделями гравітації, які намагаються пояснити виникнення сил тяжіння механічними взаємодіями масивних тіл з проміжною субстанцією, якій приписується той або інший назву: "ефір", "потік Гравітон ", " вакуум " і т.д. Тяжіння між тілами виникає внаслідок розрядження Середовища, що виникає або при її поглинанні масивними тілами, або при екранування ними її потоків. Всі ці теорії мають загальний істотний недолік: правильно пророкуючи залежність сили від відстані (2), вони неминуче призводять до ще одного неспостережний ефекту: гальмування тіл, рухомих щодо введеної субстанції.

Істотно новий крок у розвитку концепції гравітаційного взаємодії був зроблений А. Ейнштейном, який створив загальну теорію відносності.

Засоби астрономічних досліджень

1 Оптичні спостереження

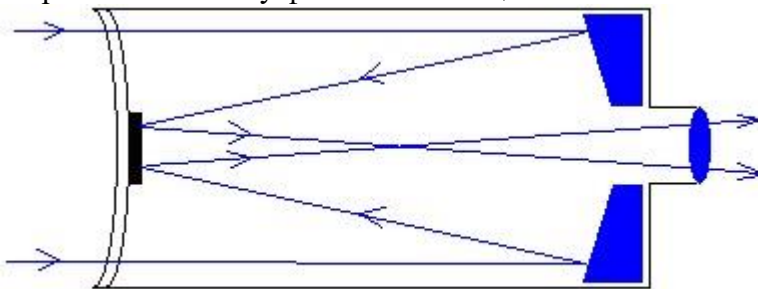
Людському оку доступна вузька область довжин хвиль електромагнітного спектра випромінювання - від 0,39 до 0,65 мкм. Це дуже невелика щілина, крізь яку люди протягом тисячоліть заглядали у Всесвіт. Але скільки відкриттів принесли ці спостереження!

Протягом декількох тисячоріч астрономи обмежувалися визначенням положень світил на небесній сфері й оцінкою їхнього блиску неозброєним оком. Нині в їхньому розпорядженні потужні прилади, що дозволяють уловлювати буквально окремі кванти світла, що йдуть від далеких зоряних систем.

Якийсь час найбільшими з астрономічних телескопів були 250-сантиметровий рефлектор обсерваторії Маунт Вільсон й 500-сантиметровий рефлектор Паламарської обсерваторії в США.

Сьогодні найбільшим у Європі є телескоп-рефлектор з діаметром дзеркала 600 див. Він установлений на Північному Кавказі, поблизу станиці Зеленчукська. От деякі його технічні характеристики: вага дзеркала близько 40т, фокусна відстань - 24 м, вага інструмента разом з монтуванням - понад 850 т. Телескоп обертається навколо горизонтальної й вертикальної осей. Комп'ютер перераховує координати світила з екваторіальної в горизонтальну систему координат і подає відповідні команди на керуючу механічну систему, що обертає інструмент слідом за цим світилом.

До останнього часу найпоширенішою оптичною системою телескопів була система Кассегрена. В такому телескопі головне дзеркало має форму параболоїда. Відбившись від нього, світлові промені повертаються збіжним пучком назад, попадають на менше опукле гіперболічне дзеркало, знову змінюють напрямок свого руху й, пройшовши через отвір у головному дзеркалі, збираються за ним у фокальній площині.



Кілька років назад у США (обсерваторія Китт-Пик), а потім в Австралії (обсерваторія Сайдинг-Спринг) уведено в дію телескопи системи Річі-Кретьєна з діаметрами дзеркал 400 див. У цій системі як головне, так і допоміжне дзеркала мають гіперболічну форму. Це значно зменшує довжину труби телескопа, полегшує його монтування, а діаметр поля зору збільшується в 5-10 разів. Аналогічний телескоп установлений у Канаді на горі Кобау. У Чилі американські вчені встановлюють телескоп цієї ж системи з діаметром головного дзеркала 400 див, а на так називаній Об'єднаній Європейській обсерваторії (там же) установлюється телескоп з діаметром 360 див.

2 Спектральний аналіз небесних тіл

Могутньою зброєю в дослідженні Всесвіту став для астрономів спектральний аналіз - вивчення інтенсивності випромінювання в окремих спектральних лініях, в окремих ділянках спектра. Спектральний аналіз є найважливішим засобом для дослідження всесвіту. Спектральний аналіз є методом, за допомогою якого визначається хімічний склад небесних тіл, їхня температура, розміри, будова, відстань до них і швидкість їхнього руху. Спектральний аналіз проводиться з використанням приладів спектрографа й спектроскопа. За допомогою спектрального аналізу визначили хімічний склад зірок, комет, галактик і тіл сонячної системи, тому що в спектрі кожна лінія або їхня сукупність характерна для певного елемента. По інтенсивності спектра можна визначити температуру зірок й інших тел.

По спектру зірки відносять до того або іншого спектрального класу. По спектральній діаграмі можна визначити видиму зоряну величину зірки, а далі користуючись формулами знайти абсолютну зоряну величину, світність, а значить і розмір зірки.

Але у своєму прагненні пояснити природу небесних тіл астрономи не зрушилися б з місця ні на крок, якби вони не знали як виникають у світових просторах електромагнітні хвилі тієї або іншої частоти. Сьогодні вже відомо багато зовсім різних механізмів генерування електромагнітного випромінювання. Один з них пов'язаний з рухом електронів у полі атомних ядер - це тепловий механізм. Тут інтенсивність випромінювання визначається температурою часток і їхньою концентрацією в одиниці об'єму. Синхротронне випромінювання виникає при гальмуванні в магнітному полі релятивістських електронів, тобто електронів, швидкості руху яких близькі до швидкості світла. Електромагнітні хвилі виникають і при загасанні механічних коливань неоднорідної плазми (іонізованого газу), і при переході швидких часток через границю двох середовищ.

3 Зародження та розвиток радіоастрономії

Грудень 1931 року... В одній з американських лабораторій її співробітник Карл Янський вивчає атмосферні перешкоди радіоприйманню. Нормальний хід радіопередачі на хвилі 14,7 м порушений шумами, інтенсивність яких не залишається постійною.

Поступово з'ясовується загадкова періодичність - кожні 23 години 56 хвилин перешкоди стають особливо сильними. І так день у день, з місяця на місяць.

Втім, загадка швидко знаходить своє рішення. Дивний період у точності дорівнює тривалості зоряної доби в одиницях сонячного часу. Ясніше говорячи, через кожні 23 години 56 хвилин по звичайних годинниках, що відраховують сонячний час, земна куля робить повний оберт навколо осі, і всі зірки знову повертаються в попереднє положення щодо обрію будь-якого пункту Землі.

Звідси Янський робить природний висновок: прикрі перешкоди мають космічне походження. Якесь таємнича космічна «радіостанція» раз у добу займає таке положення на небі, що її радіопередача досягає найбільшої інтенсивності.

Янський намагається відшукати об'єкт, що викликає радіоперешкоди. Й, незважаючи на недосконалість приймальної радіоапаратури, винуватець знайдений. Радіохвилі виходять із сузір'я Стрільця, того самого, у напрямку якого перебуває ядро нашої зоряної системи - Галактики.

Так народилася радіоастрономія - одна з найбільш захоплюючих галузей сучасної астрономії.

Перші п'ятнадцять років радіоастрономія майже не розвивалася. Багатьом було ще не ясно, чи принесуть радіопошуки яку-небудь істотну користь астрономії.

Друга Світова війна привела до стрімкого зростання радіотехніки. Радіолокатори були прийняті на озброєння всіх армій. Їх удосконалювали, усіляко прагнули підвищити чутливість, зовсім не припускаючи, звичайно, використати радіолокатори для дослідження небесних тіл.

Радянські вчені академіки Л.И. Мандельштам і Н.Д. Папалекси теоретично обґрунтували можливість радіолокації Місяця ще в 1943 році.

Це було перше радіоастрономічне дослідження в Радянському Союзі. Два роки потому (в 1946 році) воно було перевірено на практиці спочатку в США, а потім в Угорщині. Радіохвилі, послані людиною, досягли поверхні Місяця й, відбившись від її, повернулися на Землю, де були вловлені чутливим радіоприймачем.

Наступні десятиліття - це період надзвичайно швидкого прогресу радіоастрономії. Його можна назвати тріумфальним, тому що щорічно радіохвилі приносять із космосу дивні відомості про природу небесних тіл. За порівняно короткий інтервал часу, починаючи з 50-х рр., у радіоастрономії досягнуто великого прогресу. Розпізнавання від 1-10 кут. хв. дійшло до 0.1 тис. кут. сек. і значно перевершує можливості оптичної астрономії. Чутливість від 1-10 Ян підвищилася до 1 мкян. Спостереження проводяться в діапазоні від 0.01 до 300-400 Ггц. Одночасно прийнята смуга частот від 100-200 кгц доведена до 1-10 Ггц. Радіоастрономія має

схожі, а по деяких проблемах і більші в порівнянні з оптикою, можливості проникнення в глибини Всесвіту.

5 Інші методи спостережень

Про усім, що відбувається навколо нас, про далекі зоряні й галактичні світи розповідають нам світлові промені. Але в наш час візуальні спостереження небесних світил проводяться дуже рідко. Більш ефективними виявилися фотографічні й фотоелектричні методи спостережень. Можливості фотографічного методу дійсно казкові: адже при тривалому фотографуванні кількість квантів, поглинених фотоемульсією, зростає. Зокрема, за допомогою 6-метрового телескопа можна одержати зображення зірок до 20^m при експозиції всього 10 хвилин. До того ж на одній пластинці фіксуються зображення багатьох тисяч об'єктів, кожний з яких у свій час може стати чимсь цікавим.

В останні роки усе більше використовується фотоелектричний метод реєстрації слабких світлових потоків. У цьому випадку пучок світла направляється не на фотопластинку, а на фотокатод (металеву пластинку, вмонтовану в скляний балон). Для астрономічних спостережень сьогодні використовуються дуже чутливі фотопомножувачі, здатні реєструвати дуже слабкі світлові потоки. Так, сучасні фотопомножувачі, установлені на 5-метровому телескопі, реєструють швидкі зміни яскравості об'єктів до 24-ї видимої величини.

Величезний вигреш у часі фотографування слабких об'єктів дають електронно-оптичні перетворювачі (ЕОП). Дуже перспективним виявився телевізійний метод.

5 Проект космічного телескопа імені Хаббла

У двадцятому столітті астрономи зробили багато кроків у вивченні всесвіту. Ці кроки були б неможливі без використання більших і складних телескопів, розташованих на високогірних лабораторіях і керованих великою кількістю кваліфікованих фахівців. З виводом на орбіту ТЕЛЕСКОПА ІМЕНІ ХАББЛА (HUBBLE SPACE TELESCOPE - HST), астрономія зробила гігантський ривок уперед. Будучи розташованим за межами земної атмосфери, HST може фіксувати такі об'єкти і явища, які не можуть бути зафіксовані приладами на землі. Проект HST був розроблений у НАСА при участі Європейського Космічного Агенства (ESA). Цей телескоп-рефлектор, діаметром 2,4 м (94,5 дюйма), виводиться на низьку (610 кілометрів або 330 морських миль) орбіту за допомогою американського корабля СПЕЙС ШАТТЛ (SPACE SHUTTLE). Проект передбачає періодичне технічне обслуговування й заміну встаткування на борті телескопа. Проектний строк експлуатації телескопа - 15 і більше років.

Узагальнені характеристики стаціонарних зір

1 Як народжуються зорі. Проблема зореутворення - одна з центральних у сучасній астрофізиці. Зорі - найпоширеніші у Всесвіті об'єкти, з них складаються більші структурні утворення - галактики. І питання про те, чому в різних регіонах Всесвіту речовина переважно формується саме в зорі, за яких умов і яким чином це звершується, не може не хвилювати астрономів. Тим більше, що явища, які відбуваються в процесі утворення і вмирання зір, мабуть, тісно пов'язані з найглибшими проблемами будови і еволюції матерії, зокрема з явищами, що відбуваються у світі елементарних частинок.

У сучасній астрофізиці є дві основні концепції походження зір. Одна з них, яка дістала назву "класичної", виходить з того, що зорі утворюються в процесі конденсації газу в холодних газопилових комплексах, гігантських безформних клоччастих утвореннях розмірами в багато десятків і сотень світлових років, що складаються головним чином з молекул водню. Що ж до пилинок, то вони являють собою дрібні тверді утворення, що розсіяні в космічному просторі і мають досить складну структуру, їх центральну частину становить тугоплавке силікатне чи графітове ядро, на яке намерзли забруднені льоди. Як показують спостереження міжзоряного поглинання світла, розміри таких пилинок невеликі - від 0,1 до 1 мкм.

Формування зір починається з того, що в газопиловій хмарі або в якійсь її частині розвивається так звана гравітаційна нестійкість. Іншими словами, у хмарі відбувається процес наростання збурень густини і швидкості руху речовини, невеликих відхилень цих фізичних величин від їхніх середніх значень для даної хмари. З теорії виходить, що однорідний розподіл речовини за наявності сил тяжіння не може бути стійким. Речовина повинна розпадатися на окремі згустки. За одним з основних законів фізики будь-яка фізична система завжди прагне до такого стану, при якому її потенціальна енергія є мінімальною. При утворенні згустків і їх стисненні гравітаційна енергія переходить у кінетичну енергію речовини, що стискується, яка в свою чергу може переходити в теплову енергію і випромінюватися. Таким чином, внаслідок процесу фрагментації та утворення згустків зменшується потенціальна енергія.

Крім гравітаційної нестійкості, в процесі фрагментації газових хмар певну роль відіграє так звана термохімічна нестійкість, яка виникає внаслідок того, що швидкість утворення молекул усередині газопилового комплексу і швидкість охолодження газу за рахунок випромінювання цих молекул у радіодіапазоні відрізняються одна від одної.

У подальшому утворенні фрагменти в свою чергу діляться на ще дрібніші згустки і так доти, доки в результаті гравітаційного стиснення густина цих згустків зростає настільки, що в їх центральних частинах утворюються зорепоподібні ядра - протозорі, оточені масивними оболонками, які продовжують стискатися.

Як показують розрахунки, у тих випадках, коли маса згустка перевершує три маси Сонця, речовина оболонки вільно падає на ядро. Завдяки цьому, маса таких про- тозір швидко збільшується, зростає їх світність. У якийсь момент випромінювання протозорі стає настільки сильним, що в результаті нагрівання оболонки і дії світлового тиску оболонка розсіюється в просторі.

Вивільнені від оболонок ядра деякий час ще продовжують стискатися і випромінювати досить значну кількість енергії, яка виділяється за рахунок гравітаційного стиснення. Температура в надрах протозорі зростає і, нарешті, стає достатньою для виникнення термоядерної реакції. Протозоря стає зорею.

Такою, якщо не вдаватися в деталі, найбільш популярною в сучасній астрофізиці є схема утворення зір з холодного газу в газопилових комплексах. Чи підтверджується вона астрономічними спостереженнями? Оскільки оболонки навколо протозір, що формуються, містять велику кількість пилу, наскрізь вони не проглядаються і це набагато утруднює спостереження початкової стадії формування зір.

Проте з розвитком радіо- і інфрачервоної астрономії з'явилася деяка можливість "зазирнути" в таємничі "зоряні колиски", оскільки пил і газ прозорі для цих електромагнітних випромінювань. У ряді районів виявлено компактні зони радіо- і інфрачервоного

випромінювання, які витлумачуються прихильниками класичної концепції як зони, де містяться надзвичайно молоді зорі, яких в оптичному діапазоні спостерігати ще не можна.

Конденсаційної концепції додержують більшість сучасних астрономів. Проте ця обставина сама по собі ще не може бути остаточним доказом її справедливості. Тим більше, що таких спостережних даних, які підтверджували б її однозначно, поки що не існує. Ще Галілео Галілей зазначав, що в науці думка одного може виявитися правильнішою за думку тисячі. Тому зараз не можна скидати з рахунку й інші точки зору.

У всякому випадку в сучасній астрофізиці існує ще одна концепція зореутворення, яку протягом ряду років розробляє школа академіка В. А. Амбарцумяна. За назвою обсерваторії, директором якої він є, ця концепція дістала найменування *бюраканської*. Її прихильники вважають, що зорі утворюються внаслідок розпаду на частини більш щільних, а можливо і надщільних об'єктів. Ці об'єкти можуть бути залишками тієї "первісної" речовини, з якої утворився наш Всесвіт.

На відміну од класичної концепції бюраканську у фізичному й математичному плані розроблено не так детально. Однак академік Амбарцумян вважає, що-така розробка завчасна, оскільки тут ідеться про найпотаємніші космічні процеси, щодо яких у нас ще дуже мало фактів. У спорі цих двох концепцій ідеться по суті не тільки про шлях формування зір, а й про спрямованість еволюційних процесів у Всесвіті взагалі: чи йдуть вони від розріджених станів до щільніших чи, навпаки, - від щільніших до розріджених?

Методичні міркування. Розрізняються і ті дослідницькі програми, яких додержують прихильники опонуючих концепцій. Тоді як "класики" вважають, що в основі розробки астрофізичної теорії має лежати метод побудови математичних і фізичних моделей, навіть за відсутності необхідної повноти спостережних даних, "бюраканці" вважають, що теорія повинна будуватися тільки на основі фактів, а до створення конкретних теоретичних моделей слід приступати лише тоді, коли дані спостережень дають змогу при побудові теорії обійтись практично без довільних додаткових припущень.

Слід зазначити, що виникнення різних, інколи протилежних напрямів у науці при розв'язанні складних фундаментальних проблем і гострих дискусій між їхніми прихильниками - цілком нормальне явище. На жаль, гострота полеміки змушує опонуючі сторони повністю відкидати концепції, що протистоять їм. Проте тільки подальші дослідження можуть показати, яка точка зору ближча до істини. І дискусія про шляхи еволюційних процесів у Всесвіті не є винятком. До того ж не виключено, що в нескінченній різноманітності Всесвіту за одних умов формування нових космічних об'єктів може відбуватися конденсаційним шляхом, а за інших - бути наслідком розпаду.

Як було вже сказано, основна частина життя переважної більшості зір - це період, коли в їхніх надрах відбувається термоядерна реакція синтезу більш важких елементів з більш легких. На цьому етапі рівновага зорі підтримується рівновагою між тиском розпеченого газу в її надрах, який прагне розширити зорю, і силами тяжіння, що прагнуть її стиснути.

При цьому, якщо термоядерні реакції в надрах зорі чомусь прискорюються, надходження тепла з її глибин до поверхні перевищує тепловіддачу в світовий простір, то температура в надрах зорі підвищується, тиск газу зростає і зоря починає розширятися. Центральна зона охолоджується, і термоядерна реакція приходить до норми. Навпаки, якщо тепловіддача в навколишній простір виявляється вищою, ніж енерговиділення, то зоря починає охолоджуватись, тиск у її надрах падає і сили тяжіння починають стискати зорю. Завдяки цьому надра зорі розігріваються, термоядерна реакція прискорюється і тепла рівновага, а водночас і баланс сил усередині зорі приходять до норми. Отже, зорі - це саморегульовані системи, створені самою природою.

Новий, по суті заключний, період в існуванні зорі настає тоді, коли її основне ядерне паливо - водень - повністю вичерпується. У процесі термоядерної реакції в центральній частині зорі утворюється гелієве ядро. Потім це ядро починає стискатися, а зовнішні шари - оболонка зорі - розширятися. Зоря переходить у стадію червоного гіганта. У її надрах в міру дальшого стискання одні термоядерні реакції заступають інші за участю дедалі важчих елементів. І відбувається це доти, доки не будуть вичерпані всі термоядерні джерела енергії.

Подальша доля вмираючої зорі залежить від її маси. Зорі, маса яких близька до сонячної або трохи перевищує її, перетворюються у так звані білі карлики, тобто в зорі з радіусами в сотні разів меншими від радіуса Сонця. Густина речовини таких зір набагато перевищує густину сонячної речовини. У кожному кубічному сантиметрі простору білих карликів вміщуються десятки й сотні тонн речовини.

2 Білий карлик - стає утворення. Його рівновага підтримується, проте, внутрішнім тиском не звичайного, а електронного газу, який утворений великою кількістю вільних електронів. Густина цього газу цілком достатня для того, щоб припинити гравітаційне стискання зорі. В такому гаві істотно проявляються квантові ефекти, і фізики навивають його "виродженням". З цієї причини і білих карликів нерідко навивають "виродженими зорями".

Температура поверхні найбільш гарячих вироджених карликів може досягати 50-100 тис. кельвінів. Під тонкою атмосферою такої зорі розташована щільна маса, що мав до самого центра однакову температуру. Втрати енергії на випромінювання у білих карликів порівняно невеликі, тому такі зорі охолоджуються надзвичайно повільно.

Типовим прикладом виродженого карлика є супутник найяскравішої зорі земного неба - Сіріуса - Сіріус В. До речі, Сіріус В став першим представником класу вироджених зір, виявленим астрономами...

Отже, зорі з масою, що не перевершує 1,4 маси Сонця, після вигорання водню перетворюються на білих карликів. Якщо ж маса зорі, яка завершує свій життєвий шлях, більша за 1,4 маси Сонця, то стиснення на стадії виродженого карлика не зупиняється, під дією сил тяжіння воно триває далі. Виникає так званий гравітаційний колапс - невідстримне падіння речовини зорі до її центра.

3 Нейтронна зоря На цьому етапі може статися потужний вибух зорі - вже відомий нам спалах наднової. При цьому залишок зорі, що вибухнула, може утворити об'єкт, у надрах якого під дією колосального тиску електрони виявляються "вдрукованими" у протони. Протони перетворюються у нейтрони. *Нейтронна зоря* - компактне, надзвичайно щільне тіло діаметром усього близько 15-20 км. Середня густина речовини таких зір досягає дивовижної величини - 10 м грамів у кубічному сантиметрі. Це густина ядерної речовини. Нейтронна зоря - це ніби збільшене в багато разів атомне ядро.

Цікаво, що існування нейтронних зір було теоретично передбачене ще в довоєнні роки видатним радянським ученим академіком Л. Д. Ландау. Але виявити їх удалося тільки в 1967 р. за незвичним імпульсним випромінюванням.

З'ясувалося, що генераторами цього випромінювання є нейтронні зорі, які швидко обертаються. Якщо нейтронна зоря випромінює в радіодіапазоні, то породжений нею радіопромінь описуватиме періодичні кола в просторі, наче промінь маяка, що обертається. І кожне проходження такого променя через антену радіотелескопа буде зареєстровано як окремий імпульс...

4 чорна діра. Повернемося, проте, до еволюції вмираючої зорі. У тих випадках, коли маса нейтронного залишка перевищує 3-4 маси Сонця, теорія стверджує, що гравітаційне стиснення повинне тривати далі. І в результаті колапсу утворюється *чорна діра*.

Методичні міркування. Тепер відомо кілька космічних об'єктів, які згодне ототожнюються з чорними дірами подібного типу. Однак повної впевненості в цьому поки що немає, оскільки фізичні явища, пов'язані з "підозрюваними" об'єктами, можуть мати й інші пояснення. На думку деяких учених, утворення чорних дір внаслідок вмирання масивних зір, якщо й відбувається, то в усякому разі досить рідко.

"Зоря,- пише академік В. Л. Гінзбург,- може закінчити свій життєвий шлях одним з чотирьох способів: вибухнути до останку, перетворитися у білий карлик або у нейтронну зорю і, нарешті, стати чорною дірою. Можливо, і деякі відомі з літератури розрахунки підкріплюють це припущення, що кінцевий стан у формі чорної діри досягається лише за рідким збігом умов і параметрів".

Спалах наднової. Серед явищ, що відбуваються у зоряних світах, одним з найграндіозніших є так звані спалахи наднових зір.

Згідно з сучасними теоретичними уявленнями подібні спалахи виникають на завершальному етапі існування досить масивної зорі при переході від стадії білого карлика до стадії нейтронної зорі чи чорної діри.

У 1758 році французький астроном Шарль Мессьє, що займався пошуками комет, виявив у сузір'ї Тельця туманну світну пляму, яку він прийняв за невідому комету. Однак пізніше з'ясувалося, що на відміну од комет, які переміщуються серед зір, ця туманність продовжує залишатися на одному і тому самому місці. З появою більш потужних телескопів вдалося роздивитись її детальніше. Виявилось, що туманність має досить чудернацьку форму, яка чимось нагадує гігантського фантастичного краба з численними клешнями. У зв'язку з цим туманність дістала назву Крабовидної.

Пізніше з'ясувалося, що гази, які входять до складу Крабовидної туманності, розлітаються по радіальних напрямках від певного центра із швидкістю приблизно 100 км/с. Це означало, що близько 900 років тому вся речовина Крабовидної туманності була сконцентрована в одному місці. Що ж сталося в цьому районі неба на початку другого тисячоліття нашої ери? Відповідь на це запитання було знайдено в китайських хроніках тих часів. Як з'ясувалося, у 1054 році в сузір'ї Тельця спалахнула надзвичайно яскрава зоря. Вона світила так сильно, що протягом трьох тижнів її було добре видно на денному небі при світлі Сонця. Потім зоря згасла, а на місці спалаху утворилася газова туманність, що й дістала згодом назву Крабовидної.

5 Наднові зорі. З цього видно, що йдеться саме про спалах наднової зорі. Правда, ця назва не зовсім точно відображав суть справи, оскільки "спалахують" зорі, які існували і до цього, але мали настільки низьку світність, що їх не можна було спостерігати тими засобами, які у минулі часи були в розпорядженні астрономів. У результаті ж спалаху вони ставали добре помітними навіть неозброєним оком. Мимоволі створювалося враження, що з'явилася нова зоря.

Спалахи наднових розвиваються порівняно швидко - у середньому протягом 10 днів, після чого блиск починає поступово зменшуватись. Виділяється величезна кількість енергії: від 1049 до 1051 ерг. Таку кількість енергії Сонце випромінює за мільярди років. А в максимумі блиску "наднова" зірка світить як кілька мільярдів Сонць! Як показують спостереження й розрахунки, під час такого спалаху значна частина маси зорі розлітається у різних напрямках із швидкістю до 20 000 км/с. Центральна ж частина "наднової" стискується і перетворюється на дуже маленьку нейтронну зорю, що має колосальну густину.

Що ж до фізичного механізму, який спричинює спалахи "наднових" зір, то він поки що залишається неясним. Подібні спалахи - досить рідкісне явище, тому їх важко вивчати. Наприклад, у нашій Галактиці нараховується всього лише 300 залишків "наднових" зір. Як показали розрахунки, зроблені астрономами, в середньому в кожній галактиці один спалах "наднової" відбувається приблизно один раз у 360 років. Але фактично такі спалахи можуть відбуватися і частіше. Так, встановлено, що за останню тисячу років у нашій Галактиці сталося приблизно 5 подібних спалахів.

І все ж явище це - досить рідкісне. Ось чому таку пильну увагу астрономів привернув спалах наднової, виявленої канадським астрономом Я. Шелтаном 24 лютого 1987 р. Спалах цей стався в одній з найближчих до нас галактик - Великій Магеллановій Хмарі, розташований від нас на відстані близько 180 тис. світлових років (відстань за космічними масштабами порівняно невелика). Незадовго до відкриття наднової в оптичному діапазоні нейтринові детектори, розташовані у різних пунктах земної кулі зареєстрували помітне посилення потоку нейтрино, що надходять на нашу планету з космічного простору.

У наступні дні, тижні й місяці астрофізики мали унікальну можливість послідовно спостерігати розвиток цього рідкісного космічного явища. Спостереження проводились не тільки наземними обсерваторіями, а й за допомогою апаратури, встановленої на астрофізичному модулі "Квант", пристикованому до радянської орбітальної станції "Мир".

Здобуті дані становлять величезну наукову цінність. Вони дають можливість порівняти теоретичні уявлення про фізичний "механізм" спалахів наднових зір з фактичним розвитком цього явища. У перспективі обробка результатів проведених спостережень і їх аналіз дозволять уточнити існуючу теоретичну модель подібних спалахів.

Подвійні нестационарні зорі

1. Цефеїди. Як ви вже знаєте, зміни видимої яскравості в системах алголів спричинені не зміною світності самих зір, а їх періодично повторюваними затемненнями. Разом з тим у наш час відомі десятки тисяч фізичних змінних зір, у яких реально змінюється їхня світність. Причому в одних вона змінюється строго періодично, а в інших — з часто порушеною періодичністю або навіть безсистемно).

Отже, зміна розміру й температури спричиняє зміну світності зір. Тому для всіх фізичних змінних зір типово, що разом із зміною світності відбуваються ті чи інші зміни в спектрі, тобто в стані їх атмосфери.

З періодичних змінних зір особливий інтерес становлять *ц е ф е ї д ї*. Це білі або жовтуваті зорі. Свою назву вони дістали за типовим представником — зорею β Цефея. Період її змінності 5,37 доби й амплітуда зміни яскравості від 4,6 до 3,7 зоряної величини. Амплітуди зміни яскравості цефеїд становлять не більш як 1,5 зоряної величини при періодах від десятків хвилин до кількох десятків діб. Цей період у них багато років незмінний з точністю до часток секунди.

Па малюнку подано зміни яскравості та супровідні зміни температури і променевої швидкості цефеїд.

Із зміною температури дещо змінюється й спектральний клас цефеїд. Причина цього в тому, що цефеїди — пульсуючі зорі. Вони періодично розширюються і стискаються. Стискання зовнішніх шарів спричиняє їх нагрівання.

Цефеїди поділяють на дві групи: короткоперіодичні, інакше зорі типу КК Ліри, з періодами, меншими за 1 добу, і класичні з періодами, більшими за 2 доби. Перші з них гарячіші й мають однакову абсолютну величину $M = 0,5$.

Класичні цефеїди холодніші й мають незвичайну особливість. Це надгіганти, і їхня світність тим вища, чим більший період зорі. Цефеїди, які найповільніше змінюються, найяскравіші. При періоді близько 50 діб їхня світність в 10000 раз більша, ніж у Сонця. Встановивши світність цефеїди за періодом зміни її яскравості, що легко визначається безпосередніми спостереженнями навіть у найслабших цефеїд, можна обчислити абсолютну зоряну величину M і, порівнявши її з видимою зоряною величиною m , визначити відстань до зорі за формулою

$$\text{Lg } D = 0,2 (m - M) + 1$$
, що впливає з формули.

Тому залежність світності від періоду цефеїд надзвичайно важлива для визначення відстаней і розмірів нашої зоряної системи.

Яскраві цефеїди-гіганти нам видно, як маяки Всесвіту, здалеку. По них ми й намічаємо контури нашої зоряної системи.

2. Нові зорі. Назва «нові зорі» збереглася з давніх часів за зорями, які вважалися справді новими. Зібрані колекції фотографій показали, що так звана нова зоря насправді існувала й раніше, але раптом спалахнула, внаслідок чого її яскравість за короткий час збільшилася в десятки тисяч разів. Після спалаху зоря поступово повернулася до попереднього стану. Амплітуда зміни яскравості нових зір — від 7 до 14 зоряних величин, тобто їх світність може змінюватися в 400000 раз. У максимумі вони бувають від -6 до -9 абсолютних зоряних величин. Можливо, тних зоряних величин. Можливо, що в нових зір спалахи повторюються з проміжками в тисячі років. Яскраві нові зорі, які в максимумі досягали першої зоряної величини, спостерігалися рідко, наприклад у 1901, 1918, 1925 рр.

Через несподіваність таких спалахів нові зорі відкривають випадково, їх відкривають переважно любителі астрономії, іноді школярі. Для цього треба частіше оглядати сузір'я поблизу Молочного Шляху. Але не сплутайте планету з новою зорею!

Спалах нової зорі відбувається звичайно за кілька днів — катастрофічна, а повернення до попередньої світності триває роками й супроводиться коливаннями яскравості.

Зміни в спектрі нової зорі показали: яскравість зорі збільшується тому, що роздувається фотосфера — зростає її поверхня. У момент максимуму світності діаметр нової

зорі більший з-а діаметр земної орбіти. У момент найбільшої яскравості із зорі зривається зовнішній шар і з швидкістю близько 1000 км/с, розширюючись, рине в простір.

Як нові спалахують лише деякі дуже гарячі зорі помірних світностей, причому всі нові зорі, очевидно, є подвійними, отже, нашому Сонцю спалах не загрожує.

3. Наднові зорі. Деякі особливі зорі, невидимі раніше, несподівано спалахують і згасають подібно до нових зір.

Проте в максимумі світності вони бувають у тисячі разів яскравішими, ніж нові зорі, їх називають надновими зорями. Швидкість викидання газів з них також у багато разів більша, ніж у звичайних нових зір.

Внаслідок колосальної світності, яка в максимумі перевищує в десятки тисяч разів світність найяскравіших звичайних зір, ми бачимо наднові зорі на величезних відстанях від нас, в інших зоряних системах. Для оцінки цих відстаней вимірюють яскравість наднових зір. Спалахи наднових зір відбуваються надзвичайно рідко — у середньому один спалах за кілька десятиліть або століть у системі, де налічуються мільярди зір.

Ще до винайдення телескопа в нашій зоряній системі спостерігалось кілька зір, які безсумнівно були надновими. На місці, де одна з них спалахнула в 1054 р. в сузір'ї Тельця, знаходиться особлива, слабо світна туманність, названа Крабоподібною. Вона містить іонізований газ у вигляді прожилок, які пронизують її основну аморфну масу. Порівнявши фотографії різних років, з'ясували, що туманність розширюється зі швидкістю « 1 000 км/с, її розширення почалося з моменту спалаху надгової зорі. Газ, що утворив туманність, вона викинула під час спалаху. Пізніше виявилось, що Крабоподібна туманність — одне з найпотужніших джерел радіовипромінювання. Воно спричинене тим, що магнітне поле туманності гальмує породжені під час вибуху зорі електрони, які рухаються зі швидкістю, близькою до швидкості світла. Таке радіовипромінювання електронів у магнітному полі називається нетепловим, або синхротронним. Крабоподібна туманність виявилася також одним з найпотужніших космічних джерел рентгенівських променів.

На місці спалахів інших «близьких» наднових зір також виявлено туманності, що випромінюють радіохвилі й розширюються.

Спалахи наднових зір — найграндіозніші й найрідкісніші з катастроф, що наднових зір — найграндіозніші й найрідкісніші з катастроф, що відбуваються з небесними тілами.

Вивчення всіх змінних і нових зір дуже важливе для розуміння природи та еволюції зір взагалі, бо змінні й особливо нові зорі перебувають на поворотних етапах свого розвитку. Крім того, зміни в цих зір легко спостерігати, а в звичайних зір — ні, бо їхні зміни надто повільні.

Сонце як зоря

1 Характеристики Сонця

Сонце — центральне тіло нашої планетної системи. Розміри і маса його величезні порівняно навіть з найбільшими з планет, тому його притягання є головною силою, що керує рухом тіл Сонячної системи. З другого боку, Сонце являє собою колосальне джерело енергії, що безперервно посилає у всіх напрямках величезні кількості тепла і світла. У Всесвіті Сонце — просто зоря, така сама, як мільйони інших.

Середня відстань Сонця від Землі, так звана **астрономічна одиниця**, становить $1 \text{ а.о.} = 149,5 \cdot 10^6 \text{ км}$. Радіус Сонця можна визначити за формулою:

$$R_{\odot} = R_A \cdot r_{\odot} / p_{\odot},$$

де R_A - радіус Землі, $p_{\odot} = 8'', 794$ – паралакс Сонця (*внаслідок еліптичності земної орбіти в перигелії (в січні) ця відстань буває на $2,5 \cdot 10^6 \text{ км}$ меншою, а в афелії (в липні) – на стільки ж більшою*). $r_{\odot}$ - середній видимий радіус Сонця.

$$\text{Отже} \quad R_{\odot} = 109,1 \cdot R_A = 6,96 \cdot 10^8 \text{ м.}$$

Знаючи масу Землі ($m_3 = 5,98 \cdot 10^{24} \text{ кг}$) і використовуючи уточнений 3-й закон Кеплера

$$\left(\frac{(M_0 + m) T^2}{(M_0 + m_1) T_1^2} = \frac{a^3}{a_1^3} \right)$$

обчислимо **масу** Сонця $M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30} \text{ кг}$, що дає можливість обчислити середню густину його речовини

$$\bar{\rho}_{\odot} = \frac{M_{\odot}}{\frac{4}{3} \pi R_{\odot}^3} = 141 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

Прискорення сили тяжіння на поверхні Сонця можна визначити за формулою:

$$\frac{g_{\odot}}{g_{\oplus}} = \frac{M_{\odot}}{M_{\oplus}} \frac{R_{\oplus}^2}{R_{\odot}^2} = f \frac{M_{\odot}}{R_{\odot}^2} = 272 \frac{\text{м}}{\text{с}^2},$$

у 28 раз більше ніж на поверхні Землі; **параболічна** швидкість:

$$g_{\kappa} = \sqrt{\frac{2fM_{\odot}}{R_{\odot}}} = 618 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$

Сонце **обертається** навколо своєї осі. Сонячні плями переміщуються з сходу на захід. Отже напрям обертання Сонця такий самий, як і Землі. Спостереження за рухом плям показало, що період їх обертання різний на різній віддалі від сонячного екватора. Кутова швидкість зменшується з віддаленням від екватора. Для точок екватора **сидеричний** період $25^{\text{д}}$, а поблизу полюсів - $30^{\text{д}}$. **Синодичні** періоди відповідно $27^{\text{д}}$ та $32^{\text{д}}$.

Однією з найважливіших характеристик Сонця є його **світність** $L_{\odot}$ - повний потік енергії з усієї поверхні Сонця за одну секунду. Ця величина характеризується **сонячною сталою** (q)- енергія, що надходить від Сонця на одиницю поверхні за одиницю часу за межами земної атмосфери:

$$q = 1,97 \text{ кал}/(\text{хв} \cdot \text{см}^2) = 1,37 \cdot 10^6 \text{ ерг}/\text{сек} \cdot \text{см}^2 = 1,37 \cdot 10^3 \text{ Вт}/\text{м}^2.$$

Уся ж енергія, яка проходить через сферу радіусом $a = 149,6 \cdot 10^9 \text{ м}$, яка є світністю Сонця $L_{\odot} = 4\pi a^2 q$. (*Земля отримує 1/2 млрд частину*). **Кількість енергії**, що випромінює Сонце з одиниці своєї поверхні за секунду:

$$\epsilon_{\odot} = \frac{L_{\odot}}{4\pi R_{\odot}^2} = 6,3 \times 10^7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

Якщо вважати Сонце **абсолютно чорним тілом**, тоді за законом Стефана-Больцмана: $\varepsilon = \sigma T^4$, а температура наз. **ефективною**:

$$T_{\text{эф}} = \sqrt[4]{\frac{\varepsilon_0}{\sigma}}, \quad \sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}^4}, \quad T_{\text{эф}} \approx 5770 \text{ К.}$$

2 Спектр і хімічний склад

Спектр Сонця неперервний з великою кількістю темних ліній, які називаються **фраунгоферовими**. Ці лінії виникають у нижчих шарах атмосфери завдяки поглинанню та розсіюванню атомами різних елементів. Значна кількість ліній, особливо в інфрачервоній області, це **телуричні** (*tellus* - Земля) - утворені внаслідок поглинання світла Сонця молекулами газів земної атмосфери.

Починаючи з $\lambda = 168 \cdot 10^{-9} \text{ м}$, у бік коротких довжин хвиль спектр Сонця стає слабким, фраунгоферів спектр зникає. Найбільшої **інтенсивності** спектр досягає в області $430\text{--}550 \cdot 10^{-9} \text{ м}$, до червоного кінця спостерігається спад інтенсивності.

Усього в спектрі Сонця на сьогодні ототожнено лінії 72 хімічних елементів. Найбільш інтенсивними лініями в оптичній області сонячного спектра є лінії, позначені Фраунгофером буквами H і K і належать іонізованому **кальцію** (*CaII*). Друге місце за інтенсивністю займають лінії H α , H β , H γ бальмерівської серії водню, а потім уже лінії нейтральних атомів металів натрію, магнію, заліза і титана. Кількісний хімічний склад атмосфери Сонця можна встановити, якщо визначити еквівалентні ширини спектральних ліній.

Переважаючим елементом є еквівалентні ширини спектральних ліній **водню**. Він становить 63% маси Сонця. Потім йде **гелій** (36%) і на решту елементів припадає 1%.

3 Фотосфера. Будова атмосфери Сонця і утворення в ній

Центральна область Сонця ($0.3 R_{\odot}$) містить джерела енергії Сонця. Температура і тиск такі, що може відбуватись протон-протонна реакція і вуглецевий цикл.

($0.3\text{--}0.9 R_{\odot}$) - зона **перенесення енергії** з внутрішніх частин до більш зовнішніх (зона *променистої рівноваги*). У довільному об'ємі такої зони кількості набутого і втраченого випромінювання рівні. Особливістю є те, що речовина не є простим її передавачем, але і перевипромінювачем. Окремі кванти світла можуть повністю загубитись, а енергія йде на поповнення кінетичної енергії атомів.

($0.9\text{--}1 R_{\odot}$) - крім променевого переносу значну роль відіграє **конвекція** - перенесення енергії внаслідок переміщення самої речовини.

Зовнішні шари Сонця, випромінювання яких можна спостерігати, називається **атмосферою Сонця**. Сонячна атмосфера за фізичними характеристиками поділяється на три шари: фотосферу, хромосферу та корону.

1) **Фотосфера** - сліпучо-яскрава оболонка, яку ми безпосередньо бачимо як диск Сонця і розміри якої приймаємо за розміри Сонця. Поверхня фотосфери не однорідна. На поверхні спостерігаються **гранули** - утворення округлої форми (як *рисові зерна*) більш світлі у порівнянні з фоном. Лінійні розміри 1500 км. Термін життя - декілька хвилин (2-3 хв). Виникають внаслідок конвекційних потоків.

Темні плями є найпомітнішими утвореннями на фотосфері. Розвинена пляма складається з темного центрального ядра, або тіні, приблизно круглої форми і більш

світлої облямівки навколо нього, так звані **півтіні**. Температура плям нижча від температури навколишньої фотосфери на 100^0 - 1500^0 С. Тому за контрастом ядра плям здаються зовсім чорними. Плями то з'являються, то зникають, причому групами. Утворення групи починається з появи у фотосфері маленьких темних точок - "**пори**". З цих "**пор**" потім розвиваються дві великі основні плями - групи з великою кількістю дрібніших плям. **Час** існування плями в середньому 2-3 місяці (*від 1 дня до року і більше*). **Розміри** різноманітні: іноді 100 000 км. у поперек. **Розподіл** плям по поверхні: вони з'являються тільки в екваторіальній смузі між 30^0 південної і північної широти; 30^0 - 45^0 рідко, а за 45^0 паралеллю майже зовсім не з'являються.

У 1908 р. було встановлено існування сильного **магнітного** поля плям (*напруженість від 100-4500 гаус*), яке виявляється з розчеплення ліній у спектрах плям. Подвійна пляма зображає собою ніби магніт з двома полюсами.

Біля країв сонячного диска, де фотосфера темніша, часто видно так звані **факели** - області більшої яскравості, ніж навколишня поверхня фотосфери. Факели завжди оточують групи плям. Факели завжди оточують групи плям. Факели зустрічаються не лише в екваторіальних, а і в полярних областях. $T_{\text{факелів}}$ більша на 150^0 ніж $T_{\text{фотосфери}}$. Яскравість факелів порівняно з фоном пояснюється тим, що вони трохи підвищуються над фотосферою і в той же час температура їх вища.

2) Над фотосферою, без відокремлення різкою межею, лежить **хромосфера**, тобто "*забарвлена сфера*". Під час повних затемнень її видно як облямівку блідо червоного кольору. Ця облямівка складається з незліченних язиків "*полум'я*", що постійно перебувають у русі. В окремих місцях хромосфери маси розжареної матерії піднімаються значно вище від її середнього рівня. Ці виступи називаються **протуберанці**. Перші спостерігачі протуберанців поділяють їх на два класи: хмароподібні і вивержені (*еруптивні*). Перші спокійні і мало мінливі, другі - справжні вогняні фонтани, що швидко змінюють зовнішній вигляд.

Тепер запропонована **нова класифікація** за типом рухів:

I) **Еруптивні** - характеризуються раптовим вибухом раніше спокійної хмари.

II) Рух речовини **електромагнітних** протуберанців відбувається ніби по невидимих лініях, подібних до магнітних силових ліній.

III) У **хаотичних** протуберанців рух і зміна досить складні, не мають загальних закономірностей, нагадує хмари земної атмосфери.

До загальних характеристик хромосфери відносимо:

- а) хромосфера, як і фотосфера, має зернисту будову. Окремі зерна називаються **флокули**;
- б) хромосферні **спалахи** з'являються на короткий час поблизу сонячних плям;
- в) серед світлих довгих флокул існують довгі криві темні смуги - **волокна**.

3) Над хромосферою розміщена найбільш розріджена оболонка Сонця - **сонячна корона**, яку видно повністю під час повних затемнень, бо її яскравість майже в млн. раз менша, ніж яскравість фотосфери.

Вигляд сонячної корони залежить від сонячної активності. В момент мінімуму сонячних плям корона витягнута вздовж екваторіальної площини. В момент максимуму сонячних плям корона рівномірно оточує Сонце. Корону звичайно розділяють на дві **зони** - зовнішню і внутрішню. Основна ознака такого розділу - наявність емісійних ліній у спектрі внутрішньої зони і відсутність у спектрі зовнішньої зони.

4 Обертання Сонця і його магнітне поле

Поряд з магнітним полем плям існує загальне **магнітне поле** Сонця. Форма сонячної корони, форма і рух протуберанців, магнетизм сонячних плям вказує, що Сонце являє собою великий магніт. Але виміри напруженості поля вказують, що воно слабе і має "склоподібний" і нестійкий характер. На полюсах магнітне поле майже однорідне і має напруженість, що відповідає напруженості магнітного поля Землі. Рух іонізованого газу при наявності магнітного поля Сонця супроводжується **радіовипромінюванням**.

Спостереження за положенням плям на поверхні Сонця показують, що плями зміщуються від східного краю до західного. Це є свідченням того, що Сонце **обертається** навколо своєї осі у напрямі руху планет навколо нього, тобто проти годинникової стрілки, якщо розглядати цей рух з боку Північного полюса світу. Площина сонячного екватора нахилена до площини екліптики під кутом $7^{\circ}15'$. Тому положення осі обертання Сонця в різні місяці є неоднаковим.

Як виявилось, Сонце обертається не як тверде тіло, його кутова швидкість **зменшується** в міру віддалення від екватора. Лінійна швидкість обертання на екваторі близька до 2 км/с. Кутова швидкість $\omega = 14,4^{\circ} - 2,7^{\circ} \cdot \sin^2 B$, де B — географічна широта. У цілому період обертання Сонця змінюється від 25 діб на екваторі, до 30 діб поблизу полюсів. Ці числа вказують **сидеричні періоди**. Для спостерігача, який разом з Землею рухається навколо Сонця, вони відповідно 27 і 33 доби.

5 Внутрішня будова Сонця

Уявлення про внутрішню будову Сонця можна скласти за допомогою теоретичних розрахунків, що ґрунтуються на фізичних законах. У кожній внутрішній точці Сонця виконується умова гідростатичної рівноваги. Це означає, що різниця тисків, який діє на будь-який шар, **зрівноважується** гравітаційним притяганням всіх глибших шарів.

Розглянемо шар товщиною H . Температуру в ньому вважаємо сталою, тиск на верхній межі позначимо через p_1 , а густину — ρ_1 . Відповідно на нижній межі: p_2 , ρ_2 .

Умова	рівноваги	$p_2 - p_1 = \bar{\rho} g H$, де $\bar{\rho} = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2}$.
З основного рівняння газового стану маємо:		$PV = \frac{m}{\mu} RT$, $\rho = \frac{\mu}{RT} P$.

Тоді
$$p_2 - p_1 = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2} g H = \frac{\mu g}{RT} H \frac{p_1 + p_2}{2} \quad (1)$$

Вираз $RT/\mu g$ має розмірність довжини і називають **шкалою висоти**, або висотою однорідної сфери. Ця величина відповідає товщині шару, в якому тиск і густина змінюються в три рази. Для Сонця $H=600$ км.

Щоб уявити фізичні умови у внутрішніх шарах Сонця, припустимо, що речовина в Сонці розподілена рівномірно. Нехай $\rho=1,4\text{г/см}^3$, $H=R_{\odot}/2$ (тиск в середній точці дорівнює вазі радіального стовпця речовини перерізом 1см^2 і висотою $R_{\odot}/2$). Беручи $p=0$ (поверхня Сонця) матимемо:

$$p = \rho g R_{\odot}/2 \quad (3)$$

Прискорення g у середній точці можна знайти з формули ($g=m/R^2$):

$$g_{\odot} = f \frac{\frac{1}{8} M_{\odot}}{\left(\frac{R_{\odot}}{2}\right)^2} = \frac{1}{2} f \frac{M_{\odot}}{R_{\odot}^2} \quad (4)$$

(Врахуємо, що в однорідній сфері радіусом $r/2$ зосереджена $1/8$ частина маси).

Остаточно з (4) $g_{\odot}=137 \cdot 10^4 \text{ см/с}^2$, а $p_{\odot}=6,6 \cdot 10^4 \text{ дин/см}^2$ — тиск посередині радіуса. З рівняння газowego стану відшукаємо температуру $T=\mu p/R\rho$; $T=2,8 \cdot 10^6 \text{ К}$.

Ці приблизні розрахунки добре відображають процеси, фізичні умови на Сонці на глибині, що дорівнює $R_{\odot}/2$. Величини, визначені точними методами з врахуванням неоднорідного розподілення мас, **близькі** до наведених вище значень.

Теоретичні розрахунки показують, що температура в центрі Сонця 14 млн. градусів, густина речовини 132 г/см^3 , тиск $\approx 10^{11} \text{ атм}$.

6 Сонячна активність

На сонячній поверхні спостерігаються деякі явища, що в сукупності своїй характеризують міру сонячної активності. До них належать уже розглянуті нами сонячні плями, факели, протуберанці, спалахи. Місця, де їх спостерігають, називають **активними зонами**.

Головним проявом сонячної активності є **плями**. Статистичний аналіз їх кількості від року до року дає змогу скласти певні уявлення щодо існування окремих циклів сонячної активності. За міру плямотворної діяльності Сонця прийнято **число Вольфа** $W=10g+f$ (1), де g - кількість груп плям, $f=\sum f_i$ - загальна кількість усіх плям, які є в цей момент на диску Сонця, f_i - кількість їх у конкретній i -й групі, якщо на Сонці немає жодної плями, то $W=0$; коли одна, то $W=11$. Такі обчислення проводять на кожний день, після чого, усереднюють, знаходять середньомісячне, середнє за рік число Вольфа.

Показано, що кількість плям на Сонці **змінюється** середньому з періодом 11,1 роки, проте проміжок між двома максимумами коливається в межах від 7,5 років до 16. Тому передбачати настання конкретного максимуму нелегко.

Для зручності при характеристиках того, чи іншого циклу введено їхню умовну нумерацію. **Першим** названо той цикл, який розпочався в 1755 р. У 1985 р. закінчився 21-й і розпочався 22-й цикл.

У кожному 11-річному циклі головні плями у всіх груп мають магнітне поле однієї полярності, а наступні за ними — протилежної. Через 11 років картина розподілу полярності магнітного поля змінюється на протилежну. Тому часто говорять про 22 - річний **цикл Хейла**.

Зіставлення числа Вольфа у різних максимумах сонячної активності вказує на існування **вікового циклу**— певної повторюваності найбільших максимумів через 100 років. Підозрюють, що є і **тисячолітній** цикл сонячної активності з періодом близько 1800 років.

7 Сонячно-земні зв'язки

Багато процесів, що відбуваються на Землі, виявляють тісний зв'язок з періодичною діяльністю Сонця. До таких **явищ** належать: земний магнетизм, полярні сніга та втрата радіозв'язку на коротких і середніх хвилях.

Спостереження показали, що через 1-2 доби після проходження великих плям або їхніх груп через центральний меридіан Сонця виникають особливо сильні неправильні коливання величини магнітного поля Землі — **магнітні бурі**. Це вказує на те, що магнітні збурення викликає не світлова радіація, а корпускулярна, тобто потоки заряджених частинок, що йдуть з активних областей Сонця.

Ще в минулому столітті виявлено, що багато магнітних бур супроводжується **Полярними саявами**. Стан магнітного поля Землі тісно пов'язаний з частотою появи і яскравістю Полярних саяв. У спектрі Полярних саяв виявлено світлі лінії і смуги, які належать атомарному кисню, молекулярному азоту, натрію. Все це свідчить, що молекули і атоми газів атмосфери перебувають у стані сильного збудження (*причиною є корпускулярні потоки від Сонця*). Електрично заряджені частинки, проходячи відстань від Сонця до Землі, захоплюються магнітним полем. Оскільки магнітні силові лінії сходяться біля магнітних полюсів Землі (*які віддалені на 110 від географічних*). Тому ми спостерігаємо в полярних областях Земної кулі явище — **Полярне саяво**.

Безпосередньо під час спалахів відбувається **порушення радіозв'язку**, особливо на довжинах від 15 до 60 м. Вони зумовлені різким зростанням іонізації в іоносфері Землі під дією підвищеного випромінювання Сонця в ультрафіолетовому та рентгенівському діапазоні.

Встановлено, що чим більше число Вольфа, тим меншою є середня концентрація соляної кислоти у шлунку. У максимумі активності здатність крові розчиняти тромби, сторонні частинки і мікроби приблизно на 30 % менше, ніж у мінімумі. Тому й **знижується бар'єр**, яким організм захищає себе від хвороботворних мікробів.

Влітаючи в земну атмосферу, як **рентгенівське** (*через 8,5 хв*), так і **корпускулярне** (*через 2 доби*) випромінювання спричиняють у ній появу додаткових електричних зарядів і тим самим — **збурення** магнітного поля Землі, яке передається на людський організм. Настає спазм кровоносних судин, підвищується тиск, а звідси інфаркти та інсульти.

З метою вивчення процесів, що відбуваються на Сонці, створено всесвітню службу Сонця.

Утворення та еволюція зір

1 Зорі, їх утворення, розвиток і види

Як народжуються зорі. Проблема зореутворення — одна з центральних у сучасній астрофізиці. Зорі — найпоширеніші у Всесвіті об'єкти, з них складаються більші структурні утворення — галактики. І питання про те, чому в різних регіонах Всесвіту речовина переважно формується саме в зорі, за яких умов і яким чином це звершується, не може не хвилювати астрономів. Тим більше, що явища, які відбуваються в процесі утворення і вмирання зір, мабуть, тісно пов'язані з найглибшими проблемами будови і еволюції матерії, зокрема з явищами, що відбуваються у світі елементарних частинок.

У сучасній астрофізиці є дві основні концепції походження зір. Одна з них, яка дістала назву «класичної», виходить з того, що зорі утворюються в процесі конденсації газу в холодних газопилових комплексах, гігантських безформних клоччастих утвореннях розмірами в багато десятків і сотень світлових років, що складаються головним чином з молекул водню. Що ж до пилинок, то вони являють собою дрібні тверді утворення, що розсіяні в космічному просторі і мають досить складну структуру, їх центральну частину становить тугоплавке силікатне чи графітове ядро, на яке намерзли забруднені льоди. Як показують спостереження міжзоряного поглинання світла, розміри таких пилинок невеликі — від 0,1 до 1 мкм.

Формування зір починається з того, що в газопиловій хмарі або в якійсь її частині розвивається так звана гравітаційна нестійкість. Іншими словами, у хмарі відбувається процес наростання збурень густини і швидкості руху речовини, невеликих відхилень цих фізичних величин від їхніх середніх значень для даної хмари. З теорії виходить, що однорідний розподіл речовини за наявності сил тяжіння не може бути стійким. Речовина повинна розпадатися на окремі згустки. За одним з основних законів фізики будь-яка фізична система завжди прагне до такого стану, при якому її потенціальна енергія є мінімальною. При утворенні згустків і їх стисненні гравітаційна енергія переходить у кінетичну енергію речовини, що стискується, яка в свою чергу може переходити в теплову енергію і випромінюватися. Таким чином, внаслідок процесу фрагментації та утворення згустків зменшується потенціальна енергія.

Крім гравітаційної нестійкості, в процесі фрагментації газових хмар певну роль відіграє так звана термохімічна нестійкість, яка виникає внаслідок того, що швидкість утворення молекул усередині газопилового комплексу і швидкість охолодження газу за рахунок випромінювання цих молекул у радіодіапазоні відрізняються одна від одної.

У подальшому утворенні фрагменти в свою чергу діляться на ще дрібніші згустки і так доти, доки в результаті гравітаційного стиснення густина цих згустків зростає настільки, що в їх центральних частинах утворюються зореподобні ядра — протозорі, оточені масивними оболонками, які продовжують стискатися.

Як показують розрахунки, у тих випадках, коли маса згустка перевершує три маси Сонця, речовина оболонки вільно падає на ядро. Завдяки цьому, маса таких протозірів швидко збільшується, зростає їх світність. У якийсь момент випромінювання протозорі стає настільки сильним, що в результаті нагрівання оболонки і дії світлового тиску оболонка розсіюється в просторі.

Вивільнені від оболонок ядра деякий час ще продовжують стискатися і випромінювати досить значну кількість енергії, яка виділяється за рахунок гравітаційного стиснення. Температура в надрах протозорі зростає і, нарешті, стає достатньою для виникнення термоядерної реакції. Протозоря стає зорею.

Такою, якщо не вдаватися в деталі, найбільш популярною в сучасній астрофізиці є схема утворення зір з холодного газу в газопилових комплексах. Чи підтверджується вона астрономічними спостереженнями? Оскільки оболонки навколо протозірів, що формуються, містять велику кількість пилу, наскрізь вони не проглядаються і це набагато утруднює спостереження початкової стадії формування зір.

Проте з розвитком радіо- і інфрачервоної астрономії з'явилася деяка можливість «зазирнути» в таємничі «зоряні колиски», оскільки пил і газ прозорі для цих електромагнітних випромінювань. У ряді районів виявлено компактні зони радіо- і

інфрачервоного випромінювання, які витлумачуються прихильниками класичної концепції як зони, де містяться надзвичайно молоді зорі, яких в оптичному діапазоні спостерігати ще не можна.

Конденсаційної концепції додержують більшість сучасних астрономів. Проте ця обставина сама по собі ще не може бути остаточним доказом її справедливості. Тим більше, що таких спостережних даних, які підтверджували б її однозначно, поки що не існує. Ще Галілео Галілей зазначав, що в науці думка одного може виявитися правильнішою за думку тисячі. Тому зараз не можна скидати з рахунку й інші точки зору.

У всякому випадку в сучасній астрофізиці існує ще одна концепція зореутворення, яку протягом ряду років розробляє школа академіка В. А. Амбарцумяна. За назвою обсерваторії, директором якої він є, ця концепція дістала найменування бюраканської. Її прихильники вважають, що зорі утворюються внаслідок розпаду на частини більш щільних, а можливо і надщільних об'єктів. Ці об'єкти можуть бути залишками тієї «первісної» речовини, з якої утворився наш Всесвіт.

На відміну од класичної концепції бюраканську у фізичному й математичному плані розроблено не так детально. Однак академік Амбарцумян вважає, що-така розробка завчасна, оскільки тут ідеться про найпотаємніші космічні процеси, щодо яких у нас ще дуже мало фактів.

У спорі цих двох концепцій ідеться по суті не тільки про шлях формування зір, а й про спрямованість еволюційних процесів у Всесвіті взагалі: чи йдуть вони від розріджених станів до щільніших чи, навпаки, — від щільніших до розріджених?

Методичні міркування. Розрізняються і ті дослідницькі програми, яких додержують прихильники протиборствуючих концепцій. Тоді як «класики» вважають, що в основі розробки астрофізичної теорії має лежати метод побудови математичних і фізичних моделей, навіть за відсутності необхідної повноти спостережних даних, «бюраканці» вважають, що теорія повинна будуватися тільки на основі фактів, а до створення конкретних теоретичних моделей слід приступати лише тоді, коли дані спостережень дають змогу при побудові теорії обійтись практично без довільних додаткових припущень.

Слід зазначити, що виникнення різних, інколи протилежних напрямів у науці при розв'язанні складних фундаментальних проблем і гострих дискусій між їхніми прихильниками — цілком нормальне явище. На жаль, гострота полеміки змушує протиборствуючі сторони повністю відкидати концепції, що протистоять їм. Проте тільки подальші дослідження можуть показати, яка точка зору ближча до істини. І дискусія про шляхи еволюційних процесів у Всесвіті не є винятком. До того ж не виключено, що в нескінченній різноманітності Всесвіту за одних умов формування нових космічних об'єктів може відбуватися конденсаційним шляхом, а за інших — бути наслідком розпаду.

Як було вже сказано, основна частина життя переважної більшості зір — це період, коли в їхніх надрах відбувається термоядерна реакція синтезу більш важких елементів з більш легких. На цьому етапі рівновага зорі підтримується рівновагою між тиском розпеченого газу в її надрах, який прагне розширити зорю, і силами тяжіння, що прагнуть її стиснути.

При цьому, якщо термоядерні реакції в надрах зорі чомусь прискорюються[^] надходження тепла з її глибин до поверхні перевищує тепловіддачу в світовий простір, то температура в надрах зорі підвищується, тиск газу зростає і зоря починає розширятися. Центральна зона охолоджується, і термоядерна реакція приходить до норми. Навпаки, якщо тепловіддача в навколишній простір виявляється вищою, ніж енерговиділення, то зоря починає охолоджуватись, тиск у її надрах падає і сили тяжіння починають стискати зорю. Завдяки цьому надра зорі розігріваються, термоядерна реакція прискорюється і тепла рівновага, а водночас і баланс сил усередині зорі приходять до норми. Отже, зорі — це саморегульовані системи, створені самою природою.

Новий, по суті заключний, період в існуванні зорі настає тоді, коли її основне ядерне паливо — водень повністю вичерпується. У процесі термоядерної реакції в центральній частині зорі утворюється гелієве ядро. Потім це ядро починає стискатися, а зовнішні шари — оболонка зорі — розширятися. Зоря переходить у стадію червоного гіганта. У її надрах в

міру дальшого стискання одні термоядерні реакції заступають інші за участю дедалі важчих елементів. І відбувається це доти, доки не будуть вичерпані всі термоядерні джерела енергії.

Подальша доля вмираючої зорі залежить від її маси. Зорі, маса яких близька до сонячної або трохи перевищує її, перетворюються у так звані білі карлики, тобто в зорі з радіусами в сотні разів меншими від радіуса Сонця. Густина речовини таких зір набагато перевищує густину сонячної речовини. У кожному кубічному сантиметрі простору білих карликів вміщуються десятки й сотні тонн речовини.

Білий карлик — стає утворення. Його рівновага підтримується, проте, внутрішнім тиском не звичайного, а електронного газу, який утворений великою кількістю вільних електронів. Густина цього газу цілком достатня для того, щоб припинити гравітаційне стискання зорі. В такому гаві істотно проявляються квантові ефекти, і фізики навівають його «виродженням». З цієї причини і білих карликів нерідко навівають «виродженими зорями».

Температура поверхні найбільш гарячих вироджених карликів може досягати 50—100 тис. кельвінів. Під тонкою атмосферою такої зорі розташована щільна маса, що мав до самого центра однакову температуру. Втрати енергії на випромінювання у білих карликів порівняно невеликі, тому такі зорі охолоджуються надзвичайно повільно.

Типовим прикладом виродженого карлика є супутник найяскравішої зорі земного неба — Сіріуса — Сіріус В. До речі, Сіріус В став першим представником класу вироджених зір, виявленим астрономами...

Отже, зорі з масою, що не перевершує 1,4 маси Сонця, після вигорання водню перетворюються на білих карликів. Якщо ж маса зорі, яка завершує свій життєвий шлях, більша за 1,4 маси Сонця, то стиснення на стадії виродженого карлика не зупиняється, під дією сил тяжіння воно триває далі. Виникає так званий гравітаційний колапс — невтримне падіння речовини зорі до її центра.

На цьому етапі може статися потужний вибух зорі — вже відомий нам спалах наднові. При цьому залишок зорі, що вибухнула, може утворити об'єкт, у надрах якого під дією колосального тиску електрони виявляються «вдрукованими» у протони. Протони перетворюються у нейтрони.

Нейтронна зоря — компактне, надзвичайно щільне тіло діаметром усього близько 15—20 км. Середня густина речовини таких зір досягає дивовижної величини — 10м грамів у кубічному сантиметрі. Це густина ядерної речовини. Нейтронна зоря — це ніби збільшене в багато разів атомне ядро.

Цікаво, що існування нейтронних зір було теоретично передбачене ще в довоєнні роки видатним радянським ученим академіком Л. Д. Ландау. Але виявити їх удалося тільки в 1967 р. за незвичним імпульсним випромінюванням.

З'ясувалося, що генераторами цього випромінювання є нейтронні зорі, які швидко обертаються. Якщо нейтронна зоря випромінює в радіодіапазоні, то породжений нею радіопромінь описуватиме періодичні кола в просторі, наче промінь маяка, що обертається. І кожне проходження такого променя через антену радіотелескопа буде зареєстровано як окремий імпульс...

Повернемося, проте, до еволюції вмираючої зорі. У тих випадках, коли маса нейтронного задишка перевищує 3—4 маси Сонця, теорія стверджує, що гравітаційне стиснення повинне тривати далі. І в результаті колапсу утворюється чорна діра.

Методичні міркування. Тепер відомо кілька космічних об'єктів, які здогадне ототожнюються з чорними дірами подібного типу. Однак повної впевненості в цьому поки що немає, оскільки фізичні явища, пов'язані з «підозрюваними» об'єктами, можуть мати й інші пояснення. На думку деяких учених, утворення чорних дір внаслідок вмирання масивних зір, якщо й відбувається, то в усякому разі досить рідко.

«Зоря,— пише академік В. Л. Гінзбург,— може закінчити свій життєвий шлях одним з чотирьох способів: вибухнути до останку, перетворитися у білий карлик або у нейтронну зорю і, нарешті, стати чорною дірою. Можливо, і деякі відомі з літератури розрахунки підкріплюють це припущення, що кінцевий стан у формі чорної діри досягається лише за рідким збігом умов і параметрів»¹.

Спалах наднової. Серед явищ, що відбуваються у зоряних світах, одним з найграндіозніших є так звані спалахи наднових зір.

Згідно з сучасними теоретичними уявленнями подібні спалахи виникають на завершальному етапі існування досить масивної зорі при переході від стадії білого карлика до стадії нейтронної зорі чи чорної діри.

У 1758 році французький астроном Шарль Мессьє, що займався пошуками комет, виявив у сузір'ї Тельця туманну світну пляму, яку він прийняв за невідому комету. Однак пізніше з'ясувалося, що на відміну од комет, які переміщуються серед зір, ця туманність продовжує залишатися на одному і тому самому місці. З появою більш потужних телескопів вдалося роздивитись її детальніше. Виявилось, що туманність має досить чудернацьку форму, яка чимось нагадує гігантського фантастичного краба з численними клешнями. У зв'язку з цим туманність дістала назву Крабовидної.

Пізніше з'ясувалося, що газ, які входять до складу Крабовидної туманності, розлітаються по радіальних напрямках від певного центра із швидкістю приблизно 100 км/с. Це означало, що близько 900 років тому вся речовина Крабовидної туманності була сконцентрована в одному місці. Що ж сталося в цьому районі неба на початку другого тисячоліття нашої ери?

Відповідь на це запитання було знайдено в китайських хроніках тих часів. Як з'ясувалося, у 1054 році в сузір'ї Тельця спалахнула надзвичайно яскрава зоря. Вона світила так сильно, що протягом трьох тижнів її було добре видно на денному небі при світлі Сонця. Потім зоря згасла, а на місці спалаху утворилася газова туманність, що й дістала згодом назву Крабовидної.

З цього видно, що йдеться саме про спалах наднової зорі. Правда, ця назва не зовсім точно відображав суть справи, оскільки «спалахують» зорі, які існували і до цього, але мали настільки низьку світність, що їх не можна було спостерігати тими засобами, які у минулі часи були в розпорядженні астрономів. У результаті ж спалаху вони ставали добре помітними навіть неозброєним оком. Мимоволі створювалося враження, що з'явилася нова зоря.

Спалахи наднових розвиваються порівняно швидко — у середньому протягом 10 днів, після чого блиск починав поступово зменшуватись. Виділяється величезна кількість енергії: від 1049 до 1051 ерг. Таку кількість енергії Сонце випромінює за мільярди років. А в максимумі блиску «наднова» зірка світить як кілька мільярдів Сонць! Як показують спостереження й розрахунки, під час такого спалаху значна частина маси зорі розлітається у різних напрямках із швидкістю до 20 000 км/с. Центральна ж частина «наднової» стискується і перетворюється на дуже маленьку нейтронну зорю, що має колосальну густину.

Що ж до фізичного механізму, який спричинює спалахи «наднових» зір, то він поки що залишається неясним. Подібні спалахи — досить рідкісне явище, тому їх важко вивчати. Наприклад, у нашій Галактиці нараховується всього лише 300 залишків «наднових» зір. Як показали розрахунки, зроблені астрономами, в середньому в кожній галактиці один спалах «наднової» відбувається приблизно один раз у 360 років. Але фактично такі спалахи можуть відбуватися і частіше. Так, встановлено, що за останню тисячу років у нашій Галактиці сталося приблизно 5 подібних спалахів.

І все ж явище це — досить рідкісне. Ось чому таку пильну увагу астрономів привернув спалах наднової, виявленої канадським астрономом Я. Шелтаном 24 лютого 1987 р. Спалах цей стався в одній з найближчих до нас галактик — Великій Магеллановій Хмарі, розташованій від нас на відстані близько 180 тис. світлових років (відстань за космічними масштабами порівняно невелика).

Незадовго до відкриття наднової в оптичному діапазоні нейтринові детектори, розташовані у різних пунктах земної кулі зареєстрували помітне посилення потоку нейтрино, що надходять на нашу планету з космічного простору.

У наступні дні, тижні й місяці астрофізики мали унікальну можливість послідовно спостерігати розвиток цього рідкісного космічного явища. Спостереження проводились не тільки наземними обсерваторіями, а й за допомогою апаратури, встановленої на астрофізичному модулі «Квант», пристикованому до радянської орбітальної станції «Мир».

Здобуті дані становлять величезну наукову цінність. Вони дають можливість порівняти теоретичні уявлення про фізичний «механізм» спалахів наднових зір з фактичним розвитком цього явища. У перспективі обробка результатів проведених спостережень і їх аналіз дозволять уточнити існуючу теоретичну модель подібних спалахів.

2 Еволюція зір.

2.1. Стадія протозорі та головної послідовності. Як показують дослідження, в міжзоряному середовищі є протяжні газово-пилові комплекси з масами в тисячі й десятки тисяч мас Сонця, розмірами 10-100 пк (30-300 св.р.) і температурою кілька десятків кельвінів. Такі комплекси гравітаційно нестійкі і з часом дробляться на окремі фрагменти. Саме з таких фрагментів внаслідок гравітаційного стиснення утворюються протозорі.

На початку процесу формування протозорі пилові частинки і газові молекули падають до центра хмари, потенціальна енергія гравітації переходить у кінетичну, а кінетична, внаслідок зіткнень частинок, - у теплову. Таким чином, значна частина гравітаційної енергії стискування витрачається на нагрівання речовини. Газ і пилинки швидко трансформують цю енергію в інфрачервоне випромінювання, яке вільно залишає газово-пиловий комплекс. Тому протозорі є потужними джерелами інфрачервоного випромінювання.

В процесі формування ядра зі значно більшою густиною, ніж у навколишній хмарі, протозоря стає непрозорою для власного інфрачервоного випромінювання, і температура її надр починає стрімко зростати. Енергія від центральних до зовнішніх зон переноситься шляхом конвекції.

Коли температура ядра досягає кількох мільйонів кельвінів, включаються перші термоядерні реакції «вигорання» літію, берилію, бору. Але газового тиску, який існує при таких температурах, недостатньо для припинення стискування.

І тільки через сотні мільйонів років для майбутніх карликових зір, коли температура в центрі в процесі подальшого стискування досягає приблизно 10 млн. К, починаються термоядерні реакції перетворення водню на гелій з виділенням величезної кількості енергії. Відтепер сила газового тиску, що підтримується високою температурою, зрівноважує сили гравітації, і стискування припиняється. Протозоря досягає стану гравітаційної рівноваги і перетворюється на молоду зорю, яка відповідно до своєї маси і світності займає певне місце на головній послідовності діаграми спектр-світність.

Що більша маса новонародженої зорі, то вища температура в її надрах (а отже, і на поверхні), більша її світність і тим вище вона розташовується на головній послідовності. Зоря перебуває на ній доти, доки весь водень у центральних її частинах не перетвориться на гелій і не утвориться гелієве ядро. Для Сонця цей процес триває 10 млрд. років, а для зорі масою M

$$t = \frac{10^{10}}{M^3} \text{ років}$$

Наприклад, для блакитного гіганта з масою в 17 разів більшою за сонячну і температурою на поверхні 28 000 К час перебування на головній послідовності дорівнює 8 млн. років, а для червоного карлика з масою 0,5 сонячної і температурою поверхні 3 000 К - 80 млрд. років.

Таким чином, на головній послідовності зоря проводить основну частину свого «життя», строк якого визначається її початковою масою. Масивна блакитна зоря з великими запасами водневого палива живе набагато менше часу, ніж маленький червоний карлик з його мізерними запасами. Адже інтенсивність термоядерних реакцій у надрах масивної зорі набагато вища, ніж у холодного червоного карлика.

2.2. Відхід зорі від головної послідовності. Як уже відомо, після вигорання водню в центрі зорі навколо гелієвого ядра утворюється тонкий сферичний енерговиділяючий шар. Він поділяє зорю на дві зони - вигоріле ядро і зовнішню оболонку. Фізичні процеси у двох зонах зорі розгортаються по-різному.

У міру вичерпання водню цей прошарок щораз далі відсувається від центральної зони, збільшуючи розміри і масу ядра.

Червоні гіганти. В дуже товстій оболонці зорі енергія шляхом конвекції

переноситься до поверхневих шарів. Потужні конвективні течії виносять в атмосферу продукти згорання (зокрема вуглець та інші), які, переходячи в молекулярний стан, інтенсивно поглинають випромінювання з глибин, через що атмосфера стає непрозорою. Під дією значного тиску випромінювання зсередини оболонка починає розбухати, досягаючи сотень і навіть тисяч радіусів Сонця завтовшки. Для зорі з масою Сонця такий процес починається, коли маса гелієвого ядра досягає $0,4M_{\odot}$.

Через велетенські розміри поверхні температура зорі поступово знижується, і вона, пересуваючись праворуч уперек головної послідовності, поступово зміщується у правий верхній кут діаграми спектр-світність. При цьому зорі-гіганти класу B4-O з масою понад $10M_{\odot}$ перетворюються у надгігантів, зорі класів A5-B5 з масою $2,5-10M_{\odot}$ стають гігантами, а зорі пізніших спектральних класів і меншої маси (наприклад, Сонце) стають субгігантами.

Та врешті-решт шар енерговиділення відсувається так далеко від ядра, що через низьку температуру водневі реакції значно зменшують свою інтенсивність. Тепер температура і тиск у ядрі не можуть підтримуватись на рівні, необхідному для протидії силі гравітації, воно починає стискатись, а температура в ньому за рахунок енергії гравітаційного стиснення зростає. У центрі утворюється дуже щільна гаряча область із гелію з невеликими домішками важчих елементів. Подальший розвиток подій залежить від початкової маси зорі.

Маломасивні зорі (з масою $< 1,4M_{\odot}$), як наше Сонце і менші за нього, утворюють вуглецево-кисневе ядро, яке знаходиться всередині червоного гіганта. Протяжна оболонка гіганта гравітаційно дуже слабо пов'язана з ядром. Під дією тиску випромінювання зсередини вона або поступово стікає у простір, або через 10-20 тис. років відділяється від ядра у вигляді планетарної туманності, розширюючись зі швидкістю до 20 км/с. Гаряче гелійове ядро, що залишилося, стає білим карликом - компактним об'єктом із розмірами, які залежно від маси можуть бути навіть меншими від розмірів Землі в десятки разів. Його речовина перебуває в особливому стані, що має назву виродженого газу і має цілу низку цікавих властивостей, однією з яких є незалежність тиску від температури. Тиск залишиться високим, навіть якщо температура речовини впаде до абсолютного нуля. Білий карлик перебуває у стані гравітаційної рівноваги, оскільки тиск виродженого газу зрівноважує сили гравітації. Густина речовини білих карликів може становити від 1 кг/см^3 до 100 т/см^3 . На діаграмі спектр—світність білі карлики займають лівий нижній кут, де розміщені зорі дуже малої світності та з високою температурою на поверхні.

Таким чином, діаграма спектр-світність набуває глибокого фізичного змісту, бо, демонструючи залежність зоряних характеристик (температура на поверхні та в ядрі, світність, час життя) від початкової маси зорі, дає можливість прослідкувати весь її життєвий шлях від «народження» до «смерті».

По-іншому проходить заключний етап еволюції масивних зір. В залежності від кінцевої маси ядра, яке утворюється після вичерпання всіх можливих видів термоядерного палива, вони можуть закінчити свій життєвий шлях або у вигляді нейтронної зорі, або спалахом наднової зорі, або у вигляді чорної діри.

Будова Сонячної системи

Планети Сонячної системи

Сонячна система являє собою групу небесних тіл, вельми різних за своїми розмірами і фізичній будові. До цієї групи входять: Сонце, Дев'ять великих планет, разом з 61 супутником, більше 100000 планет (астероїдів), порядку десяти комет, а також незліченна кількість метеорних тіл рухомих як роями так і у вигляді окремих частинок.

Всі ці тіла об'єднані в одну систему завдяки силі тяжіння центрального тіла - Сонця. Маса сонця приблизно в 750 разів перевершує масу всіх інших тіл, що входять в цю систему. Гравітаційне тяжіння зірки є головною силою, що визначає рух усіх обертаються навколо нього тіл Сонячної системи. Середня відстань від сонця до самої далекої від нього планети Плутон 39,5 а.е., що дуже мало в порівнянні з відстанню до найближчих зірок. Тільки деякі комети віддаляються від сонця на 105 а.е. і піддаються впливу притягання зірок.

У Сонячній системі спостерігається величезний діапазон мас, особливе якщо врахувати наявність в міжпланетному просторі космічного пилу. Відмінність в масах між сонцем і який-небудь пилинкою у тисячну частку міліграма становитиме близько 40 порядків (інакше кажучи, відношення їх мас буде виражатися числом з 40 нулями.).

При ознайомленні з планетами впадає в око різкий поділ їх на дві групи як за масою і іншим фізичним ознаками, так і за відстаней від сонця ці групи: планети гіганти і планети земної групи. До першої групи належать Юпітер, Сатурн, Уран, Нептун і Плутон, до другої Меркурій, Венера, Земля і Марс.

1 Меркурій.

Меркурій, Найближча до Сонця планета Сонячної системи, була для астрономів тривалий час повної загадкою не був точно відомий період її обертання навколо осі. З - за відсутності супутників не була точно відома маса. Близькість до сонця заважала проводити спостереження поверхонь. У той час як спектри планети говорили про відсутність у неї атмосфери, деякі спостерігачі помічали часом якісь "тумани", приховували конфігурацію темних і світлих плям, насилу спостерігаються на його диску. Поляриметричними спостереження О. Дольфюсу в 1950 році дали вказівки на наявність дуже слабкої атмосфери, в 300 разів розріджені земний. Але повної впевненості в цьому не було. Тільки в 1965 році, завдяки застосуванню радіолокації було виміряно період обертання Меркурія навколо осі, що виявився рівним 58,65 доби, тобто рівно 2/3 періоди обертання навколо сонця. Ще в 1882 році Дж. Скіапареллі з візуальних спостережень зробив висновок, що Меркурій, розташований на відстані 58000000 кілометрів від сонця повний оборот навколо нього робить за 88 діб. Звідси був зроблений висновок, що сонячні добу на Меркурії тривають 176 днів. Вісь обертання Меркурія виявилася майже перпендикулярної до площини його орбіти.

Відбивна здатність Меркурія (альbedo) дуже мала - близько 0.07. Як показали радіоспостереження, температура соняшникової точки планети (тобто в пункті де сонце знаходиться в зеніті) досягає 620 К. Температура нічного півкулі Меркурія близько 110 К. За допомогою радіоспостережень вдалося визначити теплові властивості зовнішнього покриву планети, які виявилися близькими до властивостей тонко роздроблених порід і місячного регаліта. Причиною такого стану порід є, по Мабуть, безперервні ударів дрібних метеоритів, майже не послаблює вельми розрідженою атмосферою Меркурія.

Фотографування поверхні Меркурія Американським космічним апаратом "Маринер 10" в 1974 -1975 роках показала, що по виду планета нагадує Місяць. Поверхня покрита кратерами різних розмірів, причому їх розподіл за величиною діаметра аналогічно розподілу кратерів Місяця. Це говорить про те, що вони теж утворилися в результаті інтенсивного метеоритного бомбардування мільярди років тому на перших

етапах еволюції планети. Зустрічаються кратери зі світлими променями, з центральними горами і без них, з темним і світлим дном, з різкими контурами валів (молоді) та напівзруйновані (древні). Виявлено долини, що нагадують відому долину Альп на Місяці, гладенькі округлі рівнини, що одержали назви басейнів (найбільші з них - Калоріс - має діаметр 1300 км.), а також круті уступи висотою до декількох кілометрів.

Наявність темної речовини в басейнах і заповнених лавою кратерах свідчить, що в початковий період початкової історії планета зазнала сильне внутрішнє розігрівання, за яким послідувала один або кілька епох інтенсивного вулканізму.

Атмосфера Меркурія дуже розряджена в порівнянні з Земною атмосферою. Заданими отриманими за допомогою "Марінеро10", її густина не перевершує щільність Земної атмосфери на висоті 620 км. У складі атмосфери виявлено невелика кількість водню, гелію і кисню, присутні і деякі інертні гази, наприклад аргон і неон. Такі гази могли виділитися в результаті розпаду радіоактивних елементів, що входять до складу ґрунту планети. Виявлено слабке магнітне поле, напруженість якого менше, ніж у Землі, і більше ніж у Марса. Міжпланетний магнітне поле, взаємодіючи з ядром Меркурія, може створювати в ньому електричні струми. Ці струми, а також переміщення зарядів в іоносфері, яка в Меркурія слабкіше в порівнянні з Земною, можуть підтримувати магнітне поле планети. Взаємодіючи з сонячним вітром, воно створює магнітосферу. Середня густина Меркурія значно вище місячної (5,45 г/см³), тобто Майже дорівнює середньої щільності Землі. Висловлюється гіпотеза про те, що Меркурій має потужну силікатна оболонку (500 - 600 км), а що залишилися 50% обсягу займає залізонікеліве ядро. В загальному діаметр планети становить 4 879 км. Життя на Меркурії через дуже високої денної температури і відсутності рідкої води не може існувати.

2 Венера.

Венера, як і Меркурій, розкрилася перед нами в основному за останні 30 років. Тривалий час ми не знали ні тиску атмосфери у поверхні планети ні її радіусу. Астрономічні спостереження давали лише радіус хмарного шару, навколишнього планету в межах від 6100 до 6200 км. Перше впевнене визначення діаметра планети було зроблено в 1965 році з радіоастрономічних спостережень за допомогою радіоінтерферометрії Оуєіс Веллірадянським вченим А.Д. Кузьм'їним і Американським вченим Б.Дж. Кларком. Кузьмін і Кларк отримали значення 12114 км. Потім пішла велика серія радіолокаційних вимірювань в СРСР і США, в ході яких діаметр Венери все уточнювався. Остаточне його значення 12100 км. (95% діаметра Землі). Маса Венери була уточнена прольотом мимо планети американських космічних апаратів "Мерінер 2", "Мерінер 5" і "Мерінер 10". Вона становить 1:408400 маси сонця або 81,5% маси Землі по масою і розмірами була уточнена середня щільність Венери, 5,2 г/см³ визначено прискорення сили тяжіння на поверхні 8,9 м/с² (91% земної).

Середня відстань від Сонця до Венери 108 млн. Км. Період обертання навколо нього 225 діб. Під час нижніх з'єднань може наближатися до Землі до 40 млн. Км., тобто ближче будь-якої іншої великої планети сонячної системи. Орбітальний період (від одного нижнього з'єднання до іншого) дорівнює 584 добі. Найкращі умови видимості Венери припадає на період елонгації; хоча кутова відстань Венери від Сонця не перевищує 48 градусів, внаслідок чого її видно або після заходу Сонця (вечірня зірка), або незадовго до його сходу (ранкова зірка), Венера - найяскравіше світило на небі після сонця і Місяця - була відома людям ще з глибокої давнини. Період обертання Венери довго не вдавалося визначити через щільну атмосферу й хмари шару, що огортає цю планету. Тільки за допомогою радіолокації було встановлено, що він дорівнює 243,2 діб, причому Венера обертається в зворотну сторону в порівнянні з Землею й іншими планетами. Нахил осі обертання Венери до площини її орбіти дорівнює майже 87 градусів. Із-за незвичайного

поєднання напрямів і періодів обертання і обертання навколо Сонця зміна дня і ночі на Венері відбувається за 117 діб, тому день і ніч там продовжуються по 58,5 діб.

Існування атмосфери Венери було виявлено в 1761 році М.В. Ломоносовим при спостереженнях проходження її по диску Сонця. У XX столітті з допомогою спектральних досліджень в атмосфері Венери знайдений вуглекислий газ, який виявився основним газом її атмосфери. За даними радянських міжпланетних станцій серії "Венера", на частку вуглекислого газу припадає 96,5% усього складу атмосфери Венери. До неї входить також близько 3% азоту і невеликі кількості інертних газів, кисню, окису вуглецю, хлороводню і фтороводень. Крім того, в її атмосфері міститься біля 0,1% водяної пара. Вуглекислий газ і водяна пара створюють в атмосфері Венери парниковий ефект, який призводить до сильного розігрівання поверхні планети. Причина цього полягає в тому, що обидва газу інтенсивно поглинають інфрачервоні (теплові) промені, що випускаються нагрітої поверхнею Венери. Температура її близько 500 °С.

Хмарний шар Венери, що ховає від нас її поверхню як встановлено автоматичними станціями, розташований на висотах 49 - 68 км над поверхнею, по щільності нагадують легкий туман. Але більша протяжність хмарного шару робить його непрозорим для земного спостерігача. З чого ж складається венерианські хмари? Первісне припущення про їх водному складі (тобто про подібність їх земним хмар) довелося відкинути, оскільки за даними поляризаційних спостережень їх показник заломлення дорівнює 1,44, а біля води і льоду він дорівнює 1,31 - 1,33. У 1972 -1973 роках американський вчений Г. Стілл та англійський учений Е. Янг незалежно один від одного за даними спектральних та інших досліджень встановили, що хмари складаються з крапельок водного розчину сірчаної кислоти. Освітленість на поверхні в денний час подібна земній в сірій похмурий день.

З космосу хмари Венери виглядають як система смуг, розташованих звичайно паралельно екватора планети, однак часом вони утворюють деталі, які були помічені ще з Землі, що й дозволило встановити приблизно 4 --добовий період обертання хмарного шару. Це 4-добове обертання планети з швидкістю 100 м/с. Атмосферний тиск біля поверхні Венери складає близько 9 МПа, а щільність майже в 70 разів перевершує щільність земної атмосфери. Кількість вуглекислого газу в атмосфері Венери в 400 тис. раз більше, ніж у земній атмосфері (вуглекислий газ є переважаючим в атмосфері Венери до висоти 150 км.) Причиною цього, ймовірно є інтенсивна в минулому вулканічна діяльність, а крім того, відсутність на Венері двохосновних поглиначів вуглекислого газу - океану з його планктоном і рослинності. Самі верхні шари атмосфери Венери складаються майже цілком з водню. Радіолокація та дослідження за допомогою космічних апаратів дозволили вивчити невидимий з-за хмар рельєф Венери.

На поверхні планети виявлені обширні плоскі рівнини і плато, що охоплюють більше 85% її поверхні, і менш поширені гірські райони. Найбільша висота гір Венери досягає 12 км, але такі вершини зустрічаються рідко. Міжпланетні станції серії "Венера" і американська станція "Піонер - Венера" дозволили виявити багато кратерів діаметром від 10 до 300 км, але сильно згладжених і плоских. Виявлені також вулкани і вулканічні кальдери. Поверхня Венери в цілому більш гладка ніж поверхню Місяця. На фотографіях поверхні Венери, переданих спусковий апарат серії "Венера", видно кам'янисті пустелі з характерними скельними утвореннями. На знімку з "Венери - 9" видно свіжа осип каменів. Зовнішній вигляд каміння та їх аналіз з допомогою гамма - спектрометра говорять про їх магматичної походження. Які Меркурій, Венера Супутників не має.

З Земля.

Земля - це третя за віддаленості від Сонця планета. Вона рухається навколо Сонця по еліптичній орбіті, велика піввісь котрої, (тобто середня відстань між центрами Землі і Сонця) в астрономії прийнята в Як одиниця довжини (астрономічна одиниця) для вимірювання відстаней між небесними тілами в межах Сонячної системи. Відстань від

Землі до Сонця в різних точках орбіти неоднакова, в перигелії (3 січня) воно приблизно на 2,5 млн. км. менше, а в афелії (3 липня) - на стільки ж більше середньої відстані, що становить 149,6 млн. км.

У процесі руху нашої планети по орбіті (зі швидкістю близько 30 км/год) навколо сонця площину земного екватора, нахилена до площини орбіти на кут $23^{\circ}27'$, переміщується паралельно самій собі таким чином, що в одних ділянках орбіти земна куля нахилений до сонця своїм Північним півкулею, а в інших - Південним. Згідно з сучасними космогонічними поданням, Земля утворилася 4,6 млрд. Років тому шляхом гравітаційної конденсації з розсіяного в навколосонячному просторі газопилової речовини, що містив всі відомі в природі хімічні елементи.

Більшу частину поверхні Землі займає Світовий океан (361 млн. км² або 71%) суходіл складає 149 млн. км² (29%). Середня глибина Світового океану - 3900 м. Існування осадових порід, вік яких (за даними радіоізотопного аналізу) перевершує 3,7 млрд. рок, є доказом існування на земній кулі великих водойм вже в ту далеку епоху. На сучасних континентах найбільш поширені рівнини, головним чином не ці, а гори - особливо високі займають незначну частину поверхні планети, так само як і глибоко водні западини на дні океанів. Форма Землі, як відомо, близька до кулястої, при детальних вимірах виявляється дуже складною, навіть якщо змалювати її рівною поверхнею океану (не спотвореного приливами, вітрами і течіями) і умовним продовженням цієї поверхні під континенти. Нерівності підтримуються нерівномірним розподілом маси в надрах Землі. Така поверхня була названа геоїд. Геоїд (з точністю порядку сотень метрів) збігається з еліпсоїдом обертання, екваторіальний радіус якого 6378,140 км, а полярний радіус на 21,385 км менше екваторіального, тобто 6356,755 км. Різниця цих радіусів виникла за рахунок відцентрової сили, створюваної добовим обертанням Землі. Добове обертання земної кулі відбувається з практично постійною кутовою швидкістю з періодом 23 год. 56 хв. 4,1 с. Тобто за одну добу більше, ніж сонячних. Ось добового обертання Землі спрямована своїм кінцем (північним) приблизно на зірку альфа Малої Ведмедиці, Яка тому називається Полярній зіркою. Одна з особливостей Землі як планети - її магнітне поле, завдяки з яким ми можемо користуватися компасом. Під дією вихідного від сонця течії плазми (сонячного вітру) магнітне поле Землі спотворюється і набуває шлейф в напрямку від сонця, який тягнеться на сотні тисяч кілометрів.

Наша планета оточена великою атмосферою. Основними газами, що входять до складу нижніх шарів атмосфери Землі є азот (78%), кисень (21%) і аргон (1%). Інших газів в атмосфері планети дуже мало, наприклад вуглекислого газу близько 0,03%. Атмосферний тиск на рівні поверхні океану складає за нормальних умов приблизно 0,1 МПа. Вважають, що земна атмосфера сильно змінилася в процесі еволюції: збагатилася киснем і набула сучасний склад в результаті тривалого хімічної взаємодії з гірськими породами та за участю біосфери, тобто рослинних і живих організмів.

Маса Землі була знайдена з експериментальних вимірювань фізичної постійної тяжіння і прискорення сили тяжіння (на екваторі прискорення сили тяжкості дорівнює $9,8 \text{ м/с}^2$). Для маси Землі отримано значення $6 \times 10^{24} \text{ кг}$, що відповідає середній щільності речовини $5,51 \text{ г/м}^3$. Визначено, що середня щільність мінералів на поверхні Землі приблизно в двічі менше середньої щільності Землі. З цього випливає, що густина речовини в центральних частинах планети вище середньої для всієї Землі. Отриманий з спостережень момент інерції Землі, що сильно залежить від розподілу щільності речовини уздовж радіуса планети, свідчить також про значне збільшення щільності від поверхні до центру.

Потік тепла з надр, різний в різних ділянках поверхні Землі, в середньому близький до $1,6 \times 10^{-6} \text{ кал} \times \text{см}^{-2} \times \text{с}^{-1}$, що відповідає сумарним виходу енергії 1028 ерг на рік.

Ми живемо на дні повітряного океану - атмосфери. Стовп повітря над одним квадратним сантиметром земної поверхні має масу 1 кг, а маса всієї атмосфери дорівнює $5,16 \times 10^{21}$ Фізичні властивості атмосфери змінюються як по вертикалі так і по

горизонталі. Змінюється від місця до місця і з висотою - Температура, тиск, щільність, склад і електричні властивості повітря, швидкість і напрям вітру і т.п.

Особливо істотно властивості атмосфери змінюються з висотою, Тому, ґрунтуючись на характері зміни тих чи інших параметрів атмосфери з висотою, її ділять на концентричні шари. По складу атмосферу ділять на гомосферу і гетеросферу. При розгляді електричних властивостей атмосфери виділяють іоносферу - шар, в якому повітря сильно іонізована. Найбільш поширене поділ атмосфери за характером зміни температури з висотою. При цьому виділяють тропосферу, стратосферу, мезосферу і термосферу.

Перехідні області між цими шарами називаються відповідно тропопаузою, стратопаузою і мезопаузою.

Тропосфера - це прилегла до земної поверхні область, в якій температура більш-менш рівномірно зменшується з висотою. Середня швидкість падіння температур в тропосфері складає 6,5 °С на 1 км. Верхньою межею тропосфери є Тропопауза за товщиною в середньому 1-2 км.

У тропосфері укладено понад 80% маси атмосфери і практично весь водяний пар. У ній протікають фізичні процеси які, обумовлюють ту чи іншу погоду. У тропосфері здійснюється все перетворення водяної пари. У ній утворюються хмари і формуються опади. Температура в тропосфері сильно змінюється від місця до місця і в часі. Однак вона майже завжди зменшується при русі від екватора до полюсів.

Стратосферу характеризується сталістю або зростанням температури з висотою та виключної сухістю повітря. Верхня межа стратосфери --стратопауза - розташована в середньому на висотах 50-55 км. Температура залишається більш-менш постійній з висотою лише в нижній частині стратосфери. Вище 25 км 0-10 градусів Цельсія. Не дивлячись на сухість повітря, у високих широтах на висоті 22-27 км іноді виникають дуже тонкі перламутрові хмари. Їх можна помітити лише в сутінки коли вони освітлені сонцем, що знаходяться під горизонтом. Погоди у загальноприйнятому розумінні в стратосфері немає.

Мезосфера - шар, що лежить над стратосферою і характеризується падінням температури з висотою. Верхня межа мезосфери – мезопауза збігається з мінімум температури і розташована на висоті близько 85 км. Через падіння температури з висотою в мезосфері можливі конвективні рухи. На реальність таких рухів вказує наявність сріблястих хмар, які іноді спостерігаються під мезопаузою. Вони, як і перламутрові дуже тонкі і видно лише після заходу Сонця.

Термосферу лежить над мезопаузою. Температура в ній швидко зростає від - 90°С на висоті близько 90 км. До +1000 - 2000°С на висоті 400 км. Вище 400 км температура майже не змінюється з висотою. Температура і густина повітря дуже сильно залежать від часу доби і року. З висотою залежність збільшується. За допомогою штучних супутників було встановлено, що щільність повітря вдень більше, ніж вночі: на висоті 200 км. У 1,5 - 2 рази, на висоті 600 км у 6-8 разів. Це пояснюється різким зростанням температури термосфери від ночі до дня. Температура і густина повітря в термосфері сильно залежать від сонячної активності. У роки максимуму її температура і щільність значно вище, ніж у роки мінімуму.

На основі всього комплексу сучасних наукових даних побудована модель внутрішньої будови Землі. Тверду оболонку земної кулі називають літосферою. Верхній шар літосфери - це земна кора, мінерали якої складаються переважно з оксидів кремнію і алюмінію, оксидів заліза і лужних металів. Земна кора має нерівномірну товщину: 35-65 км на континентах і 6-8 під дном океанів. Верхній шар земної кори складається з осадових порід, нижній - з базальтів. Між ними знаходиться шар гранітів, характерний тільки для континентальної кори. Під корою розташована мантія, що має інший хімічний склад і велику щільність. Кордон між корою і мантією називається поверхнею Мохоровича, В ній стрибкоподібно збільшується швидкість поширення сейсмічних хвиль.

На глибині 120 -150 км під материками і 60 - 4 - км. Під океанами залягає шар мантії, званий астеносферою. Тут речовина знаходиться в близькому до плавлення стані, в'язкість його сильно знижена. Нижче астеносфери, починаючи з глибини близько 410 км. "Упаковка" атомів в кристалах мінералів ущільнена під впливом великого тиску. Різкий перехід виявлений сейсмічними методами досліджень на глибині близько 2920 км. Вище цієї позначки щільність речовини складає 5560 кг/м³, а нижче її 10080кг/м³ Тут починається Земне ядро, або точніше зовнішнє ядро, так, як у його центрі знаходиться ще одне - внутрішнє ядро, радіус якого 1250 км. Зовнішнє ядро, очевидно знаходиться в рідкому стані, з яким пов'язують походження магнітного поля; внутрішнє ядро, очевидно, тверде. У нижньої межі мантії тиск сягає 130 ГПа, температура там не вище 5000 К. У центрі Землі температура, можливо піднімається до 10000 К. Місяць - найближче до Землі небесне тіло, природний супутник нашої планети. Вона обертається навколо Землі на відстані близько 400 тис. Км. тобто усього 30поперечників земної кулі. Діаметр Місяця лише в 4 рази менше Земної, він дорівнює 3476 км. На відміну від стислій біля полюсів Землі, Місяць за формою набагато ближче до правильного кулі. Темний куля Місяця видно на небосхилі лише завдяки відбитого світла. Зовнішній вигляд Місяця залежить від взаємного розташування Сонця, Землі і Місяця. За 29,5 доби - період повернення Місяця в початкове положення відносно Землі і Сонця - він зазнає повний цикл змін - зміну місячних фаз. Якщо дивитися з боку Північного полюса, Місяць, як і всі планети і супутники Сонячної системи, обертається навколо Землі в напрямку проти годинникової стрілки. За один оборот навколо Землі вона витрачає 27,3 діб. Час одного обороту її навколо осі. Тому Місяць постійно повернена до Землі однією і тією ж стороною. Припускають, що в ранні періоди своєї історії Місяць оберталася навколо осі трохи швидше і, отже,поверталася до Землі різними частинами своєї поверхні. Але з-за близькості масивної Землі у твердому тілі Місяця виникали значні приливні хвилі. Вони діяли на швидко обертається Місяць. Процес гальмування тривав до тих пір, поки вона не виявилася постійно оберненою до Землі тільки однією стороною. У цілому з Землі можна побачити 59% місячної поверхні. Перша карта зворотного боку Місяця і перший повний місячний глобус були складені вже в XX ст. радянськими астрономами: 7 жовтня 1959 радянська міжпланетна станція "Луна - 3", здійснивши обліт Місяця, сфотографувала її зворотний бік. Це були перші телефотографом, передані зк осмічного простору. За пропозицією радянських астрономів Міжнародний астрономічний союз помістив на першу карту зворотного боку Місяця 18 назв знову відкритих утворень. З'явилися на Місяці Море Москви, кратери Герц, Курчатов, Ломоносов, Максвелл, Менделєєв, Попов, Складовської - Кюрі, Цюлковський та ін Космічні польоти до Місяця зумовили бурхливий розвиток досліджень в області геології, геохімії і геофізики цього небесного тіла. Місяць стала одним зт их небесних тіл, вивчення якої допомагає вченим краще зрозуміти особливості будова планети Земля, на якій ми живемо. 20 червня 1969 На Місяць вперше висадився чоловік.

Що ж являє собою наш супутник? У надрах Місяця виділяють різні за властивостям ядро, мантію і кору. У мантії Місяця залягають вогнища місяцетрясіння,частота яких регулярно змінюється залежно від положення Місяця на орбіті по відношенню до Землі. Місяць повністю позбавлена води; назви "моря", "Миси", "затоки" зберігаються на місячних картах тільки за традицією. Місячні моря зовсім сухі і являють собою великі, залиті колись базальтової лавою, низини. Про це говорять що піднімаються місцями серед морів гребені кільцевих валів - сліди кратерів, похованих під лавовими потоками. Місячні моря вкраплені в материки, які складені гірськими породами, що зазнав довгу і складну еволюцію. В окремих місцях місячної поверхні спостерігаються короткочасні закінчення газів. Проте Місяць у цілому позбавлена атмосфери, і вітри, які руйнують гірські породи на Землі, на Місяці відсутні. Разом з тим із-за відсутності атмосфери незліченні сліди місячної поверхні залишають метеорити. Тому Вся її поверхню на кілька метрів вглиб, немов ватним ковдрою, вкрита шаром дрібного

роздробленого речовини, що утворює як бизлежалася губчасту масу - реголіт. Реголіт служить прекрасним термоізолятор. Взагалі коливання температури на поверхні Місяця дуже великі. На екваторі вони складають + 130°C в місячний Опівдні, до - 170 °C вночі. Однак завдяки шару реголіта зазначені перепади температур поширюються до глибини всього в декілька десятків сантиметрів. Нижче температура місячних порід залишається постійною.

Маса Місяця всього в 81,3 рази менша за масу Землі і дорівнює $7,25 \times 10^{25}$ Це ставить Місяць на особливе місце серед усіх супутників інших планет, які менше за своїх господарів по крайній мірі в тисячі разів. У наслідку цього вчені схильні розглядати систему Земля-Місяць як унікальну "подвійну планету ". Середня щільність Місяця становить 3,34 г/см³, а сила тяжіння на поверхні Місяця в 6 разів менше, ніж на Землі, тобто 1,62 м/с². Спеціальні астрологічні дослідження показали, що в Місяця немає природних супутників

4 Марс

Марс - четверта за відстанню від Сонця планета Сонячної системи, орбіта якого віддалена від сонця на 227 млн. км, Планета періодично підходить до Землі на відстань до 57 млн. км, значно ближче, ніж будь-яка з великих планет, крім Венери, За діаметром Марс майже вдвічі менше Землі і Венери (6749км).

Марс оповитий газовою оболонкою - атмосферою, яка має меншу щільність ніж земна. Навіть в глибоких западинах Марса, де тиск атмосфери найбільше, воно приблизно в 100 разів менше, ніж у поверхні земної кулі, а на рівні марсіанських гірських вершин у 500 -1000 разів менше. Тим не менше в атмосфері Марса спостерігаються хмари і постійно присутні більше або менш щільний серпанок із дрібних часток пилу і з кристалів льоду. Як показали знімки з американських автоматичних посадкових станцій "Вікінг-1" і "Вікінг - 2", Марсіанське небо в ясну погоду має рожевий колір, що пояснюється розсіюванням сонячного світла на порошинки і підсвічуванням димки помаранчевої поверхнею планети. За хімічним складом марсіанська атмосфера відрізняється від земної і містить 95,3% вуглекислого газу з домішкою 2,7% азоту, 7,6% аргону, 0,07% окису вуглецю, всього лише 0,13% кисню і приблизно 0,03% водяної пари, зміст якого змінюється, а також домішки неону, кріптоїд ксенону. При відсутності хмар газова оболонка Марса значно прозорішою, ніж земна, в тому числі і для ультрафіолетових променів, небезпечних для живих організмів.

Швидкість руху Марса по орбіті 24 км. У секунду. Повний оборот навколо сонця він завершує за 687 земних діб - марсіанський рік майже в два рази довше земного. Сонячна доба на Марсі тривають 24 години 37 хвилин 22 секунди - всього на 38 хвилин довше земного. Маса планети майже в 10 разів менше земної, тому сила тяжіння на Марсі в 2,5 рази (3,7 м/с²) менше, ніж на Землі. Значний нахил екватора до площини орбіти (25,2 °) призводить до того, що на одних ділянках орбіти висвітлюються і обігрівуються Сонцем переважно північні широти Марса, а на інших - південні, тобто відбувається зміна сезонів, еліптичності марсіанської орбіти призводить до значних розбіжностей клімату північної та південної півкуль: у середніх південних широтах зима холодніше, а літо тепліше, але коротше, ніж у північних.

Температурні умови на Марсі суворі з точки зору жителя Землі. Найбільш висока температура на поверхні 290 K в так званій соняшниковій точці; найнижча - в полярних районах, де в зимовий сезон вона тримається на позначці близько 150 K. Отримані з спостережень відомості про температуру стали ключем до пояснення природи полярних шапок, які при спостереженнях в телескоп видно як світлі, майже білі плями біля полюсів планети. Коли в північній півкулі Марса настає літо, північна полярна шапка швидко зменшується, але в цей час росте інша --біля південного полюса, де настає зима. Наприкінці X IX початку XX століття, вважали, що полярні шапки Марса - це льодовики і

снігу. За сучасними даними, обидві полярні шапки Марса - північна і південна - складаються з водяного льоду з домішкою мінеральної пилу і з твердої двоокису вуглецю, тобто сухого льоду, що утворюється при замерзанні вуглекислого газу, що входить до складу марсіанської атмосфери. У 1975 році на основі матеріалів телевізійної зйомки всієї поверхні планети з космічних апаратів була складена карта деталей марсіанського рельєфу, багато з яких отримали назви (кратери Ломоносов, Корольов і т.д.) Задача пошуків життя на Марсі була однією з основних в американській програмі "Вікінг" (посадка на Марс в 1976 році і одночасно спостереження з орбітальних апаратів). Однак виявити які - або сліди життя не вдалося. Не виявилось в зразках ґрунту та органічних сполук. Були проведені дослідження елементів, що перебувають у марсіанському ґрунті. Знайдено близьку подібність хімічного складу зразків у двох взаємно віддалених місцях посадки. У досліджених зразках виявлено великий вміст окислів кремнію і заліза. Вміст сірки (ймовірно, у вигляді сульфатів) у десятки разів більше ніж в земній корі.

На знімках Марса знайдені сліди як ударно - метеоритного, так і вулканічної активності, сліди багатьох процесів вивітрювання поверхні, переміщення й відкладення наносів. На деяких ділянках виявлено гірські хребти, вулканічні конуси і куполи. Зустрічаються також хаотичні нагромадження кам'яних уламків. Є на Марсі і гори, щодо вулканічної природи яких немає жодних сумнівів. Найбільша з них -- гора Сніги Олімпу заввишки близько 27 км (ж найвища вершина Землі Еверест не досягає 9 км). Коли в 1971 році на Марсі бушувала сильна пилова буря, то конус "Снігова Олімпу" височів над пиловою пеленою.

Рідкою води на Марсі немає. При фізичних умовах, які існують на цій планеті, вода на її поверхні може знаходитися тільки в твердому стані - у вигляді снігу, льоду або інею. Деякі вчені вважають також, що під поверхнею Марса є шар вічної мерзлоти.

Супутники Марса - Фобос (страх) і Деймос (жах). Ще І. Кеплер, знаменитий сучасник Галілея, вирішивши розшифрувати анаграму останнього, отримав: У перекладі на російську мову це означало:

Розшифрувавши пізніше фразу Галілея, у якій той зашифрував особливості планети Сатурн, про Марс трохи забули. Супутники його були відкриті лише в 1877 році. Вони відрізняються своєю близькістю до планети (Деймос обертається дуже близько до Марсу - 23.500 км, а Фобос ще ближче - всього лише на відстані 9400 км.) Фобос і Деймос мають неправильну форму і в своєму орбітальному русі залишаються повернені до планети завжди однієї і тієї - ж стороною. Розміри Фобоса близько 27 км, а Деймоса близько 15 км. Середня щільність Фобоса складає 2 г/см³, Деймоса 2,3 г/см³.

5 Юпітер.

Юпітер - п'ята по відстані від Сонця і найбільша планета Сонячної системи - відстоїть від Сонця в 5,2 рази довше, ніж Земля, і витрачає на один оберт по орбіті майже 12 років. Екваторіальний діаметр Юпітера - 142600 км. (в 11 разів більше діаметру Землі.) Період обертання Юпітера - найкоротший з усіх планет 9 ч. 50 хв. 30 с. На екваторі і 9 ч. 55 хв. 40 с. У середніх широтах. Через швидке обертання планета має сильне стискування біля полюсів. Маса Юпітера дорівнює 3/8 масам Землі. Середня щільність 1,33 г/см³, що близько до густини Сонця. Вісь обертання Юпітера майже перпендикулярна його орбіті (нахил 87°).

Деталі на поверхні Юпітера постійно змінюють свій вигляд, із стійких деталей відомо Велика червона пляма, що спостерігається вже більше 300 років. Це величезне овальне утворення розмірами 35000 км по довготі і 14000 км по широті. Колір її червонуватий, але зазнає змін. Можна припустити, що червона пляма - це антициклон з тривалим часом життя.

Спектральні дослідження Юпітера показали, що його атмосфера складається з молекулярного водню та його сполук: метану й аміаку. У невеликих кількостях присутні також етан, ацетилен, ФОСФА і водяна пара.

Хмари Юпітера представляють собою тришарову систему, що складається з кристалів і крапельок аміаку, гідросульфиду амонію та водяного льоду. З допомогою американського космічного апарата "Піонер -10" вдалося уточнити вміст гелію в атмосфері Юпітера. Можна вважати встановленим, що атмосфера Юпітера на 74% складається з водню і на 26% з гелію. На частку метану доводиться не більше 0,2%, на частку аміаку - не більше 0,1% складу атмосфери планети (по масі). Враховуючи низьку середню щільність планети можна вважати, що ці два газу (водень і гелій) становлять майже всю масу самої планети. Нижче чисто газового шару в атмосфері Юпітера лежить шар хмар. Шар рідкого молекулярного водню має товщину 24000 км. На цій глибині тиск сягає 300 ГПа, а температура 11000 К, тут водень переходить у рідкий металевий стан. Шар рідкого металевого водню має товщину 42000 км. Всередині нього розташовується невелике залізно - силікатне тверде ядро радіусом 4000 км і масою, що досягає 10 - 20 мас Землі. На кордоні ядра температура досягає 30000 К.

У 1965 році було виявлено радіовипромінювання Юпітера на хвилі 3 см, відповідне тепловому випромінюванню з температурою 145 К. За вимірюваннями в інфрачервоному діапазоні температура самих зовнішніх шарів хмар Юпітера 130 К.

Польоти американських космічних апаратів "Піонер - 10" та "Піонер - 11" дозволили уточнити будову магнітосфери Юпітера (1 мм на рік!) Напруженість магнітного поля в поверхні в полярних областях планети 10 - 15 Ерстед, тобто в 20 разів більше, ніж на Землі. Юпітер має 16 супутників. Перші 4 супутники були відкриті ще Г. Галілеєм (ІВ, Європа, Ганімед, Каллістро) Вони, а також внутрішні супутники Амальтея і відкриті у 1979 - 1980 роках маленькі супутники Метис і Адрастея рухаються в площині екватора планети. Зовнішні супутники обертаються навколо планети за сильно витягнутих орбітах з великими кутами нахилу до екватора (до 30°). Це маленькі тіла - від 10 до 120 км, за - очевидно, неправильної форми. Найкращі зовнішні 4 супутники Юпітера обертаються навколо планети у зворотному напрямі. Крім супутників Юпітер оточений дуже слабо світиться пиловим кільцем. Воно була виявлена на знімках, зроблених "проти світла", тобто коли Сонце світило майже в об'єктив телевізійної камери "Вояджер - 2". Кільце навколо Юпітера - плоске і незвичайно тонке, а його ширина (приблизно 6,4 км) дуже мала у порівнянні з його радіусом по зовнішній межі (125 тис. км.) За своїй ширині і яскравості кільце Юпітера сильно поступається системі кілець Сатурна.

6 Сатурн

Сатурн - друга за величиною і шоста по відстані від Сонця планета Сонячної системи. Його екваторіальний діаметр лише трохи менше, ніж у Юпітера (116000 км), але за масою Сатурн поступається Юпітеру більш ніж втричі.

Середня відстань Сатурна від Сонця 1 млрд. 429,4 млн. км. Період орбітального руху 29,46 років. Період осевого обертання 10,2 доби. (табл. 1). Екваторіальний радіус планети 60390 км. Середня густина — 0,69 г/см³.

За даними спектроскопічних досліджень в атмосфері Сатурна є велика кількість водню, гелію з домішкою метану і аміаку, тобто подібна до юпітерської. Температура поверхні складає близько —1670С, але ця температура мабуть на верхній межі хмар, бо Сатурн очевидно має потужну атмосферу. Атмосфера над екваторіальними районами обертається швидше, ніж в інших частинах планети. Причина цього ще не з'ясована. Хмари Сатурна у верхній частині складаються з кристаликів метану, нижче — аміаку, ще нижче — хмари з льодяних кристаликів і водяних крапель.

Сатурн оточений плоским тонким кільцем. Система кілець ділиться на три основні зони: зовнішню А, зовнішній радіус якої 120000 км, середню найсвітлішу В, що розділені

між собою щілиною Кассіні, шириною біля 5000 км і внутрішню зону С або кріпне кільце, яке помітили ще в 1850 році. Кільця розташовані в площині екватора Сатурна, але їх вид і положення відносно диску планети помітно змінюється. Під час найбільш видимого нахилу кільця мають вид еліпса, в який вписаний диск Сатурна. А коли кільця повернуті до Землі ребром, вони стають майже невидимими. Це тому, що в них мала товщина (20 км). Моменти найбільших появлень і зникнень кілець чергуються через кожні 7,5 років. Встановлено, що кільця складаються із окремих згустків матерії, шматків речовини, розміри яких ще не встановлені. Припускають, що шматки речовини складаються з льоду, або покриті ним. Сатурн має 20 супутників, найбільший з яких Титан, завбільшки як Марс. Період обертання супутників від 0,9 до 350 земних діб в залежності від відстані до планети.

7 Уран

Відстань Урану від Сонця 2 млрд. 870 млн. км, екваторіальний радіус 26200 км, період орбітального руху 84 роки, період осевого обертання 17 год. 18 хв., при чому обертання зворотне. На відміну від інших планет вісь обертання Урану лежить майже в площині його орбіти (97° 52') і тому день і ніч можуть тривати кілька років. Густина 1,15 г/см³ (близька до юпітеріанської). Температура на Урані досягає —2000С. В атмосфері Урану наявний метан, водень, гелій. Переважає гелій і водень з невеликою домішкою метану. Атмосфера досить прозора. Цікаві на планеті пори року. Наприклад, влітку в північній півкулі Сонце роками знаходиться в зеніті над північним полюсом. А з настанням зими північна півкуля занурюється в морок і холод.

Уран має 15 супутників, що обертаються навколо планети в площині майже перпендикулярній до площини орбіти планети. Розміри їх невеликі від 800 до 1450 км у поперечнику.

8 Нептун

Віддаць від Сонця 4 млрд. 497 млн.км. Період орбітального руху 164,8 років. Період осевого обертання 16 год. 6 хв. 36 с. екваторіальний радіус планети 25230 км. Нептун має найбільшу середню густину серед планет-гігантів — 1,55 г/см³ (2,1 г/см³).

Зігель Ф.Ю. вважає, що атмосфера Нептуна складається з молекулярного водню (50%), метану (20%), аміаку (5%), решта 25% припадає на гелій, етан, ацетилен і можливо на воду. Нептун подібний до Урану і за товстою прозорою атмосферою.

Нептун за даними американського космічного апарату "Вояджер-2" виявився голубою планетою. Такий колір надає планеті метан, бо він в товстих шарах поглинає червоні промені. В атмосфері Нептуна спостерігаються сильні вітри. Поблизу екватора видно овальну темну пляму. Це мабуть гігантський циклон діаметром, що дорівнює земному. Наявне магнітне поле, яке слабкіше земного і дивує своєю асиметричністю. Магнітні полюси планети зміщені від географічних на 500 (на Землі — на 11,50). Крім того, центр кулястого магнітного поля не співпадає з центром планети, а зміщений до південної півкулі.

На Нептуні наявні кільця, що мають потовщення. Кілець всього 5. Крім Тритона і Нерейди, відкрито ще 6 супутників (всього їх 8), що розташовані від центра планети на відстані 50-120 тис.км. Всі супутники мають неправильну форму.

Таблиця 1. Характеристика планет Сонячної системи.

Планета	Відстань від Сонця, км	Діаметр, км	Період руху		Орбіталь- на швид- кість,км/с	Маса Зем- ля=1)	Кіль- кість супут- ників
			навколо Сонця	осьового			
Планети земної групи							
Меркурій	57,91	4878	87діб23год.	58діб15год30хв	47,6	0,0533	–
Венера	108,2	12104	224доби 17год	243доби15хв	34,8	0,815	–
Земля	149,6	12752	365діб6год	23год56хв04сек	29,6	1,0000	1
Марс	227,9	6788	686діб18год	24год37хв23сек	24,0	0,1074	2
Планети-гіганти							
Юпітер	778,3	142796	11років325діб	9год55хв30сек	13,0	317,89	16
Сатурн	1429,4	120660	29років167діб	10год39хв22сек	9,6	95,168	20
Уран	2875,0	51108	86років6діб	17год14хв24сек	6,8	14,559	15
Нептун	4504,3	49534	164,8року	16год06хв36сек	5,4	17,239	8
Плутон	5911,8	2300	247,7року	6діб19год17хв	4,7	0,002	1

Малі тіла Сонячної системи

У 1766 році німецький фізик та математик Й.Тиціус (1729-1796) запропонував емпіричне правило, згідно з яким наближено визначались відстані від Сонця до планет. Завдяки працям німецького астронома Й.Боде (1747-1826) ця закономірність стала загальновідомою. Правило Тиціуса — Боде:

$$r = (0,3 \cdot 2^n + 0,4) \text{ а.о.}$$

Для Меркурія $n = \infty$, для Венери $n = 0$, для Землі $n = 1$ і т.д.

1 Комети (від грецького *kometes* — *довговолосий*) — один із класів малих тіл Сонячної системи. Далеко від Сонця у комет нема атмосфери і вони нічим не відрізняються від астероїдів. При наближенні до Сонця, на відстані близько 11 а. о. у них з'являється газова оболонка неправильної форми — кома. Кому разом з ядром комети називають головою комети. На відстанях 3-4 а. о. від Сонця у комети під дією сонячного вітру утворюється хвіст, який стає добре помітним (див. рис. 1).

Є комети, які не належать Сонячній системі. Вони, рухаючись по параболічній траєкторії, пролітають біля Сонця і зникають у міжзоряному просторі. Такі комети називають параболічними.

Комети, що належать Сонячній системі, називають періодичними. Вони рухаються навколо Сонця по еліптичних орбітах із різноманітними ексцентриситетами і нахилами до площини екліптики. Зараз відомо близько 330 таких об'єктів.

На відміну від планет та більшості астероїдів, які мають стабільні еліптичні траєкторії, орбіти більшості комет не є ідеально еліптичними. Гравітація планет, особливо Юпітера і Сатурна, повз які пролітає комета, суттєво змінює її орбіту. Тому реальна траєкторія цих об'єктів у міжпланетному просторі складна, і методи небесної механіки дають можливість встановити тільки середню, наближену орбіту комет.

Залежно від періоду обертання навколо Сонця комети поділяють на дві групи:

- короткоперіодичні (період менший ніж 200 років);
- довгоперіодичні (період більший ніж 200 років).

Усі короткоперіодичні комети є членами кометно-планетних сімей. Найбільшу сім'ю має Юпітер — це комети (їх близько 150), у яких афелійна відстань (найбільше віддалення від Сонця) близька до великої півосі орбіти Юпітера (5,2 а. о.). Найвідоміші комети з цієї сім'ї — Енке, Темпеля-2, Понса -Віннеке, Фая та інші. До речі, комети мають такі назви, бо їх прийнято називати за прізвищами вчених, які відкрили чи досліджували ці об'єкти. Зараз відомо близько 20 комет сім'ї Сатурна (Тутля, Неуйміна-1, Ван-Бісбрука, Гейла та інші), кілька об'єктів сім'ї Урана (Кремеліна, Темпеля-Тутля та інші) і приблизно 10 комет сім'ї Нептуна (Галлея, Ольберса, Понса-Брукса тощо).

З усіх відомих комет найменший період має комета Енке — 3,3 роки.

Найяскравішою частиною комети є ядро, яскравість коми зменшується до периферії, а найменшу яскравість має хвіст. Густина коми і хвоста така мала, що крізь них просвічуються зорі.

Маси комет різноманітні — від кількох тонн до 10¹¹-10¹² тонн. Майже вся маса комет сконцентрована в ядрах, які складаються з водяного льоду, у який вкраплені замерзлі гази, пил, кам'яні та металеві частинки різних розмірів.

Діаметри ядер невеликі — усього кілька кілометрів, іноді десятків кілометрів. Наближаючись до Сонця, ядра нагріваються й інтенсивно сублімують. Утворюється кома, розміри якої можуть сягати 200 000 км (у масивних яскравих комет). Довжина хвоста при цьому сягає 150 000 000 км (1 а. о.). Хвіст комети виникає з коми під дією тиску Сонячного світла і сонячного вітру. Форма кометних хвостів залежить від співвідношення сили гравітації Сонця і сили тиску його світла на частини хвоста. Як правило, хвіст комети направлений від Сонця (див. рис. 2).

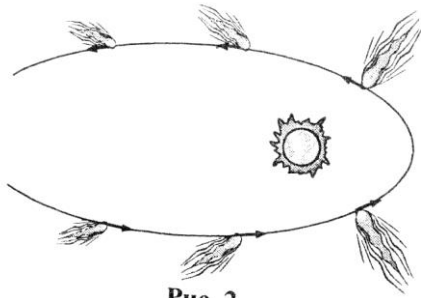


Рис. 2

Іноді комета має **аномальний хвіст**, напрямлений до Сонця. Він складається з відносно великих частинок, пилинок, на яких відштовхування сонячним світлом та вітром не проявляється. У деяких комет одночасно може бути кілька хвостів.

Після проходження перигелію комети летять від Сонця хвостом уперед. Із віддаленням нагрівання ядра слабшає, інтенсивність виходу пилу і газів спадає, хвіст поступово зменшується і деє за орбітою Юпітера комета стає непомітною.

Яскраві комети з'являються на небі доволі рідко (у середньому раз на 20 років). Слабкі ж об'єкти (до 18^m - 19^m) фіксуються часто — по кілька щороку. Першим досліджував комети англійський астроном Е. Галлей (1656-1742) За порадою І. Ньютона він визначив і опублікував у 1705 році елементи орбіт 24 яскравих комет, які з'являлися від 1337 до 1698 року. Виявивши збіг траєкторій комет 1531, 1607 та 1682 років (яку сам спостерігав), учений дійшов висновку, що у ці роки з'являвся один і той же об'єкт. Галлей передбачив, що ця комета з'явиться знову у 1758 році. І справді, 25 грудня 1758 року Г. Паліч виявив її. Відтоді цю яскраву комету, що обертається навколо Сонця з періодом 78 років, називають кометою Галлея. Востаннє вона наближалася до Сонця 1986 року. Чергове повернення комети Галлея в перигелії відбудеться у листопаді 2061 року.

У 1984 році були запущені радянські автоматичні міжпланетні станції «Вега-1» та «Вега-2» (скорочено від **Венера**. — **Галлея**). Вони послідовно у 1985 році досягли Венери, скинули в її атмосферу блоки з науковою апаратурою і попрямували до комети Галлея. До цієї комети були послані ще дві космічні станції — японська «Суїсей» (з японської «комета») та західноєвропейська «Джотто». Першою до комети Галлея наблизилась «Вега-1», пройшовши на відстані 9 000 км від ядра. Через два тижні «Вега-2» наблизилась на 8 000 км до ядра. Дані про рух радянських станцій дозволили скоректувати траєкторію «Джотто» і цей апарат пройшов через голову комети на відстані 600 км від ядра. Апаратура міжпланетних станцій передала надійні дані про комету Галлея.

Про походження комет є кілька гіпотез. Одна з них, запропонована нідерландським астрономом Я. Оортом (1900-1992), полягає у тому, що на околицях Сонячної системи є хмара комет — так звана хмара Оорта. Вони сформувалися з залишків протопланетної хмари. У хмарі Оорта на відстані 100-150 тис. а. о. від Сонця перебувають сотні мільярдів комет. Унаслідок збурень у русі комети покидають хмару і наближаються до Сонця. Одні, промайнувши раз, назавжди покидають Сонячну систему, а інші під дією гравітації великих планет приєднуються до їхніх кометних сімей і періодично обертаються навколо Сонця.

При кожному наближенні до Сонця комети втрачають частину своєї речовини і з часом руйнуються. Наприклад, підраховано, що у момент проходження перигелію з комети Галлея щосекунди випаровується 45 тонн газу та 5-8 тонн пилу. Зараз маса ядра комети близько $6 \cdot 10^{11}$ тонн. Цієї речовини, ймовірно, вистачить ще на 120 000 років, за які комета зробить приблизно 1600 обертів.

Якщо у ядрі є тверда кам'яна брила, то, втративши льодову оболонку, комета, напевно, стає астероїдом (виявлено кілька астероїдів із траєкторіями, схожими на кометні). Коли комета цілком руйнується, то утворюється рій дрібних частинок, розпорошених уздовж кометної орбіти.

2 Метеори. При потраплянні в атмосферу Землі дуже швидкої частинки (11-73 км/с) спостерігається короткочасний спалах — **метеор** (від грецького *meteora* — атмосферні і небесні явища). Безхмарної ночі неозброєним оком можна помітити в

середньому до 10 метеорів за годину, а радіолокаційними методами за добу реєструють близько 1 млн. метеорів.

Переважає більшість метеорних частинок має дуже малу масу (0,01-0,001 г) і руйнується на висотах 80-110 км. Що більша маса і розміри метеорної частинки, то яскравішим є метеорний спалах.

Дуже яскраві метеори (яскравіші — 3^m) називаються болідами (від грецького *bolidos* — *метальна зброя*). Болід виникає при вторгненні в атмосферу метеорної частинки значної маси (понад 100 г). Болід має яскравий хвіст з іонізованих газів і пилових частинок. Політ боліда часто супроводжується гуркотом, свистом, сюрчанням і закінчується падінням метеорита.

3 Метеорити — кам'яні або залізні тіла, що падають на Землю з міжпланетного простору. Метеорити є залишками метеорних тіл, що не повністю зруйнувалися в атмосфері при русі, під час якого їхня поверхня нагрівається до 2500-3000°C, плавиться і випаровується. Дрібні частинки руйнуються повністю, а більші, втративши до 90% маси, падають на поверхню Землі. Дотепер у світі зібрано близько 3000 метеоритів масою від кількох грамів до кількох десятків тонн.

Щороку на поверхню Землі падає близько 500 метеоритів, але в середньому лише 20 із них знаходять. Узагалі більшість метеоритів знайдені випадково. Найбільший залізний метеорит Гоба знайдений у 1920 році на території Намібії (прийнято називати метеорити за назвою населеного пункту, найближчого до місця падіння). Маса цього метеорита 60 тонн, а форма схожа на плиту 3 м х 3 м х 1 м.

Наука, яка вивчає хімічний і мінералогічний склад метеоритів, називається метеоритикою. За її даними, метеорити складаються з таких елементів: Fe, Ni, Si, C, Al, Mg, S, Ca, O тощо.

За хімічним складом метеорити поділяють на три групи:

- кам'яні (їх випадає 92%);
- залізно-кам'яні (2%);
- залізні (6%).

Найчастіше метеорити знаходять в Антарктиді та у сухих кам'янистих пустелях Австралії і Намібії. Винятково рідкісним явищем є падіння гігантських метеоритів масою 10⁵-10⁶ тонн. Маючи величезну кінетичну енергію, ці тіла проходять крізь атмосферу і вибухають, вдарившись у Землю. На місці падіння утворюється метеоритний кратер величезних розмірів — **астроблема**.

Дотепер на Землі виявлено понад 230 великих метеоритних кратерів діаметром до 65 км. Наприклад, діаметр Аризонського метеоритного кратера 1207 м, глибина 174 м, а висота оточуючого валу 40-50 м.

Крім окремих метеорних частинок, навколо Сонця рухаються цілі їх рої. Вони породжені кометами, які руйнуються або вже зруйнувалися. Що старший потік, то більше він розтягнутий по орбіті. Кожен метеорний рій обертається навколо Сонця з періодом, що дорівнює періоду комети, яка його породила. Іноді Земля зустрічається з такими роями. У ці дні кількість метеорів значно зростає, а якщо метеорний рій компактний, то спостерігаються **метеорні**, **абозоряні**, **дощі**. Тоді у невеликій частині неба за хвилину спалахують сотні метеорів і здається, що всі вони вилітають з однієї точки — радіанта. Метеорні потоки називають відповідно до сузір'їв, у яких лежать їхні радіанти. Найпомітнішими потоками є Ліриди (20-24 квітня), Аквариди (1-9 травня), Персеїди (5-18 серпня) (див. рис. 3), Драконіди (10 жовтня), Оріоніди (20-24 жовтня), Леоніди (15-17 листопада), Гемініди (10-16 грудня).

Підраховано, що за добу на Землю випадає близько 100 тонн метеорної речовини.

4 Астероїди

Ці космічні тіла відрізняються від планет перш за все своїми розмірами. Так, найбільша з маленьких планет Церера має поперечнику 995 км; наступна за нею (за розміром): Палада-560 км, Хігея - 380 км, Психея - 240 км і т.д. Для порівняння можна зазначити, що найменша з великих планет Меркурій має діаметр 4878 км, тобто в 5 разів перевершує - Поперечник Церери, а маси їх різняться в багато сотень разів.

Загальна кількість малих планет, доступних спостереженню сучасними телескопами, визначається в 40 тис., але загальна їх маса в 1 тис. разів менше маси Землі.

Рух малих планет навколо Сонця відбувається за еліптичним орбітах, але більш витягнутим (середній ексцентриситет орбіт у них 0,51), ніж у великих планет, а нахил орбітальних площин до екліптики у них більше, ніж у великих планет (середній кут 9,54). Основна маса планет обертається навколо Сонця між орбітами Марса і Юпітера, утворюючи так званий пояс астероїдів. Але є й малі планети, орбіти яких розташовуються ближче до Сонця, ніж орбіта Меркурія. Самі ж далекі знаходяться за Юпітером і навіть за Сатурном.

Дослідники космосу висловлюють різні міркування про причину великої концентрації астероїдів у порівняно вузькому просторі між планетної середовища між орбітами Марса і Юпітера. Однією з найбільш поширених гіпотез походження тіл поясу астероїдів є уявлення про руйнування міфічної планети Фаєтон. Сама по собі ідея про існування планети підтримується багатьма вченими і навіть неначе підкріплена математичними розрахунками. Однак незрозумілою залишається причина руйнування планети. Висловлюються різні припущення. Одні дослідники вважають, що руйнування Фаєтона відбулося внаслідок його зіткнення з якимсь великим тілом. На думку інших, причинами розпаду планети були вибухові процеси в її надрах. В даний час проблема походження тіл астероїдний пояс входить складовим елементом в широкую програму досліджень космосу на міжнародному і національних рівнях.

Серед малих планет виділяється своєрідна група тіл, орбіти яких перетинаються з орбітою Землі, а отже, є потенційна можливість їх зіткнення з нею. Планети цієї групи стали називати Apollo object, або просто Apollo (Wetherill, 1979). Вперше про існування Apollo стало відомо з 30-х років цього століття. У 1932 р. був виявлений астероїд. Його назвали Apollo 1932 НА. Але він не порушив особливого інтересу, хоча його назва стала загальним для всіх астероїдів, що перетинають земну орбіту.

У 1937 р. космічне тіло з поперечником приблизно в 1 км пройшло в 800 тис. км від Землі і в двократному відстані від Місяця. Згодом його назвали Гермес. На сьогоднішній день виявлено 31 таке тіло, і кожне з них отримало власну назву. Розміри їх поперечників коливаються від 1 до 8 км, а нахил орбітальних площин до екліптики бути в межах від 1 до 68. П'ять з них обертаються на орбітах між Землею і Марсом, а інші 26 - між Марсом і Юпітером (Wetherill, 1979). Вважають, що з 40 тис. Малих планет астероїдний пояс з діаметром більше 1 км може виявитися кілька сот Apollo. Тому зіткнення таких небесних тіл з Землею цілком імовірно, але через досить тривалі проміжки часу.

Можна вважати, що раз на століття одне з таких космічних тіл може пройти поблизу Землі на відстані менше, ніж від нас до Місяця, а раз за 250 тис. років може відбутися зіткнення його з нашою планетою. Удар такого тіла виділяє енергію дорівнює 10 тис. водневих бомб кожна потужністю 10 Мт. При цьому повинен утворитися кратер діаметром близько 20 км. Але такі випадки рідкісні і за людську історію невідомі. Гермес відноситься до астероїдів III класу, але ж багато таких тіл і більшого розміру – II та I класів. Удар при зіткненні їх з Землею, природно, буде ще більш значним.

Коли в 1781 р. було відкрито Уран його середня геліоцентрична відстань виявилася відповідним правилом Тіціуса - Боде, то з 1789 почалися пошуки планети, яка, згідно з цим правилом, повинна була знаходитися між орбітами Марса і Юпітера, на середній відстані $a = 2,8$ а.е. від сонця. Але розрізнені огляди неба не приносили успіху, і тому 21 Вересень 1800 декілька німецьких астрономів на чолі з К. Цахом вирішили організувати колективні пошуки. Вони розділили весь пошук зодіакальних сузір'їв на 24 ділянки та розподілили між собою для ретельних досліджень. Але не встигли вони вступити до систематичних розшуків, як 1 --го січня 1801 італійський астроном Дж. Піацці (1746-1826) виявив у телескоп зіркоподібних об'єкт сьомої зоряної величини, повільно переміщаються по сузір'я Тельця. Обчислена К. Гауса (1777-1855) орбіта об'єкта виявилася планетою, що відповідає правилу Тіціуса-Боде: велика піввісь $a = 2,77$ а.е. і ексцентриситет $e = 0,080$. Знову відкрити планету Піацці назвав Церерою.

28 березня 1802 німецький лікар і астроном В. Ольберса (1758-1840) виявив поблизу Церери ще одну планету (8m), названу Паладій ($a = 2,77$ а.е., $e = 0,235$). 2-го вересня 1804 була відкрита третя планета, Юнона ($a = 2,67$ а.е.), а 29 березня 1807 р. - 4, Веста ($a = 2,36$ а.е.). Всі знову відкриті планети мали зіркоподібних вигляд, без дисків, що свідчить про їх невеликих

геометричних розмірах. Тому ці небесні тіла називали малими планетами або, за пропозицією В. Гершеля, астероїдами (від грец. «Астр» - зоряний і «єйдос» - вид).

До 1891 візуальними методами було виявлено близько 320 астероїдів. Наприкінці 1891 німецький астроном М. Вольф (1863-1932) запропонував фотографічний метод пошуків: при 2-3 - годинній експозиції зображення зірок на фотоплатівці виходили точкові, а слід рухається астероїда --у вигляді невеликої рисочки. Фотографічні методи призвели до різкого збільшення відкриттів астероїдів. Особливо інтенсивні дослідження малих планет проводяться зараз в Інституті теоретичної астрономії (в Петербурзі) і в Кримської астрофізичної обсерваторії Академії наук Росії.

Астероїда, орбіти яких надійно визначені, привласнюють ім'я та порядковий номер. Таких астероїдів зараз відомо понад 3500, але в Сонячній системі значно більше.

З вказаного числа відомих астероїдів астрономи Кримської астрофізичної обсерваторії відкрили близько 550, увічнивши в їхніх назвах імена відомих людей.

Переважна більшість (до 98%) відомих астероїдів рухається між орбітами Марса і Юпітера, на середніх відстанях від Сонця від 2,06 до 4,30а.е. (Періоди обертання від 2,96 до 8,92 року). Однак зустрічаються астероїди з унікальними орбітами, і їм присвоюються чоловічі імена, як правило з грецької міфології.

Перші три з цих малих планет рухаються поза поясу астероїдів, причому в перигелії Ікар підходить до Сонця удвічі ближче Меркурія, а Гермес і Адоніс - Ближче Венери. Вони можуть зближуватися з Землею на відстані від 6 млн. до 23млн. км, а Гермес в 1937 р. пройшов поблизу Землі навіть на відстані 580тис. км, тобто всього лише в півтора рази далі за Місяць. Гідальго ж в афелії де за орбіту Сатурна. Але гідальго не є винятком. За останні роки відкрито близько 10 астероїдів, перигелії яких розташовані поблизу орбіт планет земної групи, а афелії - поблизу орбіт Юпітера. Такі орбіти характерні для сімейства комет Юпітера і вказують на можливе загальне походження астероїдів і комет.

У 1977 р. виявлено унікальний астероїд, який обертається навколо Сонця по орбіті з великої півосі $a = 13,70$ а.е. і ексцентриситетом $e = 0,38$, так що в перигелії ($q = 8,49$ а.е.) він заходить всередину орбіти Сатурна, а в афелії ($Q = 18,91$ а.е.) наближається до орбіти Урана. Він названий Хірон. За -Мабуть, існують і інші подібні далекі астероїди, пошуки яких тривають.

Блиск більшості відомих астероїдів під час протистояння від 7мдо 16m, але є і більш слабкі об'єкти. Найяскравішим (до 6m) є Веста.

Поперечники астероїдів обчислюються за їх блиску і відбивної здатності у візуальних та інфрачервоних променях. Виявилося, що великих астероїдів не так вже й багато. Найбільш великі - це Церера (поперечник 1000км), Паллада (610 км), Веста (540 км) і Гігія (450 км). Тільки у 14астероїдів поперечники більше 250 км, а в інших менше, аж до 0,7км. У тіл таких малих розмірів не може бути сфероїдальної форми, і всі астероїди (крім, можливо, найбільш великих) представляють собою безформні брили.

Маси астероїдів вкрай різні: найбільшою, близької до 1,5.10²¹ кг (тобто в 4 тис. разів менше маси землі), має Церера. Сумарна маса всіх астероїдів не перевищує 0,001 маси Землі. Звичайно, всі ці небесні тіла позбавлені атмосфери. У багатьох астероїдів за регулярним зміни їх блиску виявлено осьове обертання.

Зокрема, період обертання Церери дорівнює 9,1 год, а Паллади - 7,9 год.

Швидше за всіх обертається Ікар, за 2ч 16м.

Вивчення відбивної здібності багатьох астероїдів дозволило об'єднати їх у три основні групи: темні, світлі й металеві. Поверхня темних астероїдів відображає всього лише до 5% падаючого на неї сонячного світла і складається з речовин, подібними з чорними базальтовими і вуглисті породами. Ці астероїди часто називають вуглисті. Світлі астероїди відображають від 10% до 25% сонячного світла, що ріднить їх поверхню з кремнієвими сполуками - це кам'яні астероїди. Металеві астероїди (їх абсолютна меншість) теж світлі, але за своїм відбивних властивостях їх поверхня схожа на залізнікелеві сплави. Такий підрозділ астероїдів підтверджується і хімічним складом що випадають на Землю метеоритів. Незначне число вивчених астероїдів не належить ні до однієї з трьох основних груп.

Показово, що в спектрах вуглистих астероїдів виявлена смуга поглинання води ((= 3мкм). Зокрема, поверхню астероїда Церери складається з мінералів, схожих на земні глини і містять близько 10% води.

При невеликих розмірах і масах астероїдів тиск у їхніх надрах невелика: навіть у найбільших астероїдів воно не перевищує 7 10⁵

8 10 5 ГПа (700 - 800 атм) і не може викликати розігріву їх твердих холодних надр. Лише поверхню астероїдів дуже слабо нагрівається далеким від них Сонцем, але і ця незначна енергія випромінюється в міжпланетний простір. Обчислена за законами фізики температура поверхні переважної більшості астероїдів виявилася близькою до 150 - 170 К (- 120 ...- 100 (С)). І тільки у небагатьох астероїдів, які проходять поблизу Сонця, поверхню в такі періоди сильно нагрівається. Так, температура поверхні Ікара підвищується майже до 1000 К (+730 (С)), а при віддаленні від Сонця знову різко знижується.

Орбіти інших астероїдів схильні до значних збурень від гравітаційного впливу великих планет, головним чином Юпітера. Особливо сильні обурення зазнають невеликі астероїди, що призводить до зіткнень цих тіл і їх дроблення на уламки найрізноманітніших розмірів-б від сотень метрів у поперечнику до пороку.

В даний час фізична природа астероїдів вивчається, тому що по ній можна простежити еволюцію (розвиток) речовини, з якої сформувалася Сонячна система.

5 Дрібні уламки.

Навколосонячний простір заповнений дрібними частинками, джерелами яких служать руйнуються ядра комет і зіткнення тіл, в основному, в поясі астероїдів. Найдрібніші частинки поступово наближаються до Сонця внаслідок ефекту Пойнтінга - Робертсона (він полягає в тому, що тиск сонячного світла на рухому частку направлено не точно по лінії Сонце - частинка, а в результаті аберації світла відхилена назад і тому гальмує рух частинки). Падіння дрібних частинок на Сонце компенсується їх постійним відтворенням, так що в площині екліптики завжди існує скупчення пилу, що розсіюють сонячні промені. У найтемніші ночі воно помітно у вигляді зодіакального світла, що тягнеться широкою смугою вздовж екліптики на заході після заходу Сонця і на сході перед його сходом. Поблизу Сонця зодіакальний світло переходить в помилкову корону (F-корона, від false - помилковий), яку видно тільки при повному затемненні. Зі зростанням кутової відстані від Сонця яскравість зодіакального світла швидко падає, але в антисонячній точці екліптики вона знову посилюється, утворюючи протистояння; це викликано тим, що дрібні пилові частки інтенсивно відбивають світло тому.

Час від часу метеороїди потрапляють в атмосферу Землі. Швидкість їхнього руху така велика (в середньому 40 км/с), що майже всі вони, окрім самих дрібних і найбільших, згорають на висоті близько 110 км, залишаючи довгі світяться хвости - метеори, або падаючі зірки. Багато метеороїди пов'язані з орбітами окремих комет, тому метеори спостерігаються частіше, коли Земля у певний час року проходить поблизу таких орбіт. Наприклад, щорічно в районі 12 серпня спостерігається безліч метеорів, оскільки Земля перетинає потік Персеїди, пов'язаний з частками, втраченими кометою 1862 III. Другий потік - Оріоніди - в районі 20 жовтня пов'язаний з пилом від комети Галлея.

Частки розміром менше 30 мкм можуть загальмуватися в атмосфері і впасти на землю, не згорівши, а також вони мікрометеоритів збирають для лабораторного аналізу. Якщо частинки розміром в декілька сантиметрів і більше складаються з досить щільного речовини, то вони також не згорають цілком і випадають на поверхню Землі у вигляді метеоритів. Більше 90% з них каміння; відрізнити їх від земних порід може тільки фахівець. Решта 10% метеоритів залізні (насправді вони складаються із сплаву заліза і нікелю).

Метеорити вважаються осколками астероїдів. Залізні метеорити були колись у складі ядер цих тіл, зруйнованих зіткненні. Можливо, деякі пухкі і багаті летучими речовинами метеорити походять від комет, але це малоймовірно; швидше за все, великі частинки комет згорають у атмосфері, а зберігаються лише дрібні. Враховуючи, як важко досягти Землі комет і астероїдів, ясно, наскільки корисним є вивчення метеоритів,самостійно «прибули» на нашу планету з глибин Сонячної системи.

Наша Галактика

1 Молочний Шлях — світло-срібляста широка смуга, яка перетинає небесну сферу, проходячи, зокрема через сузір'я Близнюків, Тельця, Кассіопеї, Лебеда, Стрільця. Ще в 1609 році Г. Галілей за допомогою телескопа виявив, що Молочний Шлях складається з колосальної кількості дуже слабких зірок. Зусиллями багатьох астрономів, передусім Вільяма Гершеля, його сина Джона Гершеля, В.Я. Струве, встановлено, що зірки небесної сфери належать величезній зоряній системі — Галактиці (від грецького *galaktikos* — молочний). Переважна більшість зір Галактики сконцентрована в Молочному Шляху (в Україні його називають Чумацьким Шляхом). Наше Сонце разом із планетною системою теж входить до складу Галактики.

Уявна площина, яка проходить через середину Молочного Шляху, називається галактичною площиною. Навіть побіжного погляду достатньо, щоб помітити, що з віддаленням від галактичної площини кількість зір на небесній сфері зменшується. Та й у самому Молочному Шляху світила розподілені нерівномірно. У сузір'ях Візничого та Персея яскравість Молочного Шляху незначна, а в сузір'ї Стрільця він так насичений зорями, що вони утворюють гігантські зоряні хмари. Найбільша з них розташована на межі сузір'їв Стрільця та Скорпіона. Подібні спостереження наштовхують на кілька висновків. По-перше, Галактика дуже стиснута. По-друге, у сузір'ї Стрільця спостерігаємо надзвичайно збагачену зорями центральну область Галактики, а в напрямку на сузір'я Візничого і Персея — її периферію. Отже, якщо нам видно і те, й інше, то Сонце розташоване всередині зоряної системи (Галактики), далеко від її центра, але і не на межі.

На осінньому зоряному небі впадає в око тісна красива група зірок у сузір'ї Тельця, схожа на блискучий маленький ківш. Називається вона Плеядами. Неозброєне око розрізняє в цій групі 7-8 зір, а на фотографіях з тривалою експозицією налічується близько 300 слабких зірок. Таке об'єднання зір — Гіади — розташоване поруч з Альдебараном (а Тельця). Ці та аналогічні до них тісні зоряні групи неправильної форми називаються розсіяними зоряними скупченнями. У кожному з них сотні або й тисячі зір, які мають спільне походження, об'єднанні силою всесвітнього тяжіння і разом рухаються у просторі. Діаметри розсіяних зоряних скупчень становлять 10-20 світових років. Більшість розсіяних скупчень складається тільки із зір головної послідовності, а це означає, що вік цих утворень не перевищує 10-100 млн. років, тобто вони доволі «молоді». Зараз відомо близько 1200 розсіяних зоряних скупчень і майже усі вони розташовані у Молочному Шляху чи поблизу нього. Найближче до нас розсіяне зоряне скупчення — Гіади — віддалені всього на 46 пк.

2 Види галактик. Окрім розсіяних, спостерігаються і зоряні скупчення сферичної чи еліпсоїдної форми, які називають **кулястими**. Вони мають величезні розміри (до 300 св. років) і складаються із сотень тисяч зірок. Значна кількість червоних гігантів у кулястих зоряних скупченнях свідчить про поважний вік цих утворень. Найстарші з них існують 13-15 млрд. років. На відміну від розсіяних, кулясті зоряні скупчення сконцентровані біля центра Галактики. Зараз відомо близько 150 кулястих зоряних скупчень, і всі вони надзвичайно віддалені. М22 (читається «Мес'є 22») у сузір'ї Стрільця — єдине кулясте зоряне скупчення, яке можна бачити неозброєним оком у вигляді туманної плямки ($t = 5,1$), розташованої на відстані 2800 пк.

У 1947 році радянський астрофізик В.А.Амбарцумян повідомив про відкриття нового виду зоряних утворень — зоряних асоціацій. Це наймолодші, розсіяні зоряні скупчення, що складаються з дуже молодих зір. Молоді гарячі біло-голубі зорі (класів *O* та *B*) групуються в *O*-асоціації, а молоді зорі типу *T*-Тельця — у *T*-асоціації.

Згідно з астрофізичними даними, 98% маси усієї Галактики сконцентровано у зорях. Решта — 2% речовини припадає на газ і пил. Бони надзвичайно розріджені (1 частинка — на 10 см^3) і розподілені нерівномірно. Уважно придивившись до Молочного Шляху, можна побачити на його світлому фоні темні області з незначною кількістю світил. А від сузір'я Лебеда в напрямі на сузір'я Скорпіона Молочний Шлях складається із двох гілок, розділених так званим Великим Провалом. Ця темна смуга — велетенське скупчення пилу,

сконцентрованого поблизу галактичної площини. Газопилові хмари екранують світло зірок, розташованих у них та за ними. Іноді з пилу і газу формуються туманності.

Величезні згущення пилу та газу, які мають неправильну форму, називаються **дифузними туманностями**. Їхня маса може сягати $10\,000\,M_{\odot}$. Густина туманностей дуже мала — 10-100 частинок в 1 см^3 , але, простягаючись на десятки й сотні парсек, вони стають непрозорими для світла далеких зір.

У дифузних газопилових туманностях виникають і формуються молоді зорі. Дифузні туманності можуть бути темними та світлими. Залежить це від того, є чи нема поблизу яскравої зорі. Наявність значної кількості темних газопилових туманностей у площині Молочного Шляху створює ефект Великого Провалу. Однією з найвідоміших темних дифузних туманностей є туманність Кінська Голова. Якщо в туманності або біля неї є яскрава зоря, то газ і пил відбивають та розсіюють її світло. Туманність при цьому виглядає світлою. Характерним представником таких об'єктів є туманність в Оріоні, розташована трохи нижче від «пояса Оріона». Для неозброєного ока вона виглядає слабенькою зеленуватою плямкою. Загалом відомо понад 150 світлих дифузних туманностей.

Газ туманностей, іонізуючись ультрафіолетом зорі, теж випромінює. Тому в спектрах туманностей, окрім ліній поглинання, є і окремі яскраві лінії випромінювання. За ними визначають хімічний склад туманностей.

Є світлі туманності правильної форми: волокнисті та планетарні. Вважається, що ці об'єкти формуються зі скинутих зорями оболонок на заключних етапах.

Волокнисті туманності (наприклад, Крабоподібна туманність у сузір'ї Тельця), очевидно, є залишками спалаху наднових зір. З оболонок червоних гігантів утворюються планетарні туманності. Вони мають сферичну форму, а в їх центрі розташована зоря білий карлик. На сьогодні відомо понад 1300 планетарних туманностей. Вони розширюються з неабиякою швидкістю (до 40 км/с) і за кілька десятків тисяч років повністю розсіюються у просторі. Отож, зорі нашої Галактики, сформувавшись із газу й пилу в дифузних туманностях, у кінці життя, скидаючи оболонку або вибухаючи, значну частину своєї речовини повертають у міжзоряний простір у вигляді газу волокнистих туманностей.

За сучасними уявленнями, наша Галактика має дві складових — плоску та сферичну див. рис. 1.

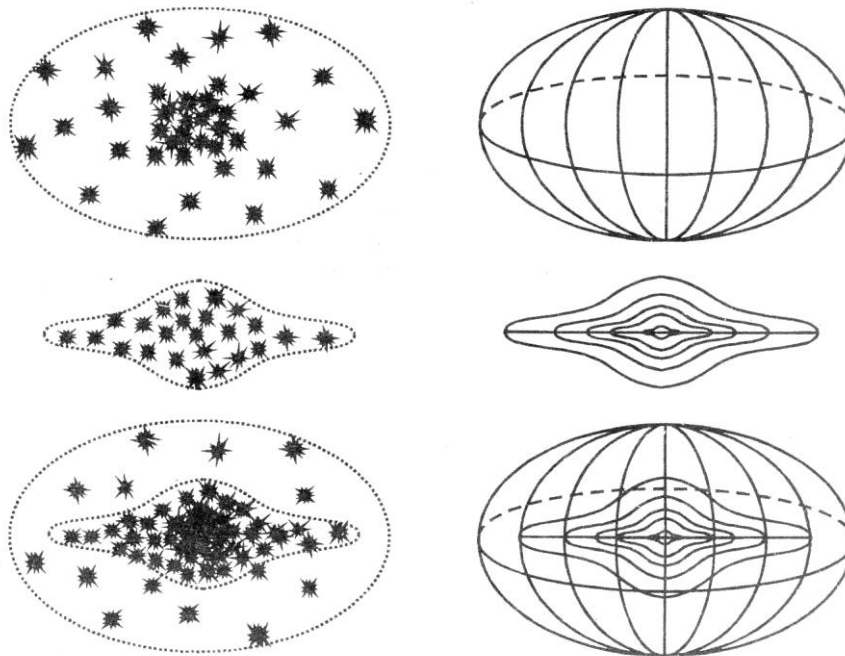


Рис. 1

Вони відрізняються не лише формою, ай, що головне, об'єктами, які їх утворюють.

Сферична підсистема — **гало** чи **корона** — складається з газу, дуже старих неяскарих зір, як правило, згрупованих у величезні кулясті скупчення. Об'єкти гало концентруються до центра Галактики, утворюючи балдж (з англійської bulge — *опуклість*).

Радіус гало, згідно з даними Космічного телескопа ім. Габбла, дорівнює 300 000 св. р. **Плоска підсистема — диск** — складається переважно з газу, молодих зір та їхніх скупчень. Вік більшості об'єктів диска до 1 млрд. років.- Діаметр диска 100 000 св. р., а товщина центральної зони 10 000 св. р. кількість зір у диску сягає 400 млрд., а його маса 150 млрд. М?

У центрі Галактики розташоване **ядро** діаметром 4000 св. р. концентрація зір у ядрі дуже висока, ймовірно, у його центрі є дуже масивна чорна діра. Досліджують ядро Галактики в інфрачервоному діапазоні, бо випромінювання таких частот найменше послаблюється.

Наша Галактика має чітко виражену спіральну структуру. Доведено, що вона має дві спіралі. Їхні гілки сприймаються нами у вигляді Молочного Шляху. Швидкість обертання зір навколо центра Галактики різна. Із віддаленням від центра вона спочатку зростає, в околицях Сонця набуває найбільшого значення — 250 км/с, а далі повільно зменшується. Однією із зір Галактики є Сонце. Воно перебуває на відстані близько 30000 св. р. від її центра. Сонце разом зі своєю планетною системою обертається навколо центра Галактики зі швидкістю 250 км/с і робить повний оберт приблизно за 200 млн. років. Цей час називають **галактичним роком**. Згідно зі спостереженням, наша зоря розташована між двома спіральними рукавами і ніколи не потрапляла в них. Таке розміщення у відносно спокійній частині Галактики є надзвичайно важливою умовою виникнення та існування життя на Землі. Швидка еволюція зір, що відбувається у спіральних рукавах, супроводжується інтенсивним, смертоносним для всього живого випромінюванням. Наприклад, якби на відстані 10 пк від Сонця спалахнула наднова, то через 10 000 років туманність-залишок вибуху сягнула б Сонячної системи і на десятки тисяч років огорнула б її. Висока щільність космічних променів у залишках наднової спричинила б різке підвищення рівня радіації на поверхні Землі. Для багатьох видів живих організмів такі умови є згубними і призводять до швидкого вимирання. До речі, сліди таких катастроф на планеті є. Деякі вчені вважають, що раптове, дуже швидке вимирання динозаврів зумовлене «зоряною» причиною, адже за час існування Сонця (5 млрд років) поблизу (10-20 пк) спалахнуло близько десятка наднових зір.

Метагалактика і всесвіт

Туманність Андромеди входять до Місцевої групи галактик, розміри якої досягають сотень тисяч парсек. Місцева група є порівняно невеликою системою, оскільки існують скупчення, що містять сотні і тисячі галактик. Найближче до нас скупчення галактик знаходиться в сузір'ї Деви і налічує сотні крупних галактик. Відстань до нього близько 20 Мпк, це система діаметром більше 6 Мпк. Крупні скупчення галактик знаходяться в сузір'ях Волосся вероніки, Північна Корона, Геркулес і ін. Дані позагалактичної астрономії указують на те, що можливо, існує Місцеве надскупчення галактик, що налічує приблизно 10 тис. галактик і що мають діаметр близько 50 Мпк. У його центрі розташовано скупчення галактик в сузір'ї Деви. В кінці 70-х рр. в астрономи виявили, що галактики в надскупченнях розподілені не рівномірно, а зосереджені поблизу меж, усередині яких галактик майже немає. Теоретично передбачали можливість такого розподілу галактик, а тому не було несподіваним.

Отже, у великомасштабній структурі Всесвіту не існує яких-небудь особливих, чимось місць, що виділяються, або напрямів, тому у великих масштабах Всесвіт можна вважати не тільки однорідним, але і ізотопним. Вся охоплена сучасними методами астрономічних спостережень частина Всесвіту називається Метагалактикою (або нашому Всесвіту) . У Метагалактиці простір між галактиками заповнений надзвичайно розрідженим міжгалактичним газом, пронизується космічними променями, в ній існують гравітаційні і електромагнітні поля, а можливо, і невидимі маси речовини. І все-таки немає підстав ототожнювати Метагалактику з <всім Всесвітом>. В принципі можливе існування інших, поки невідомих нам Метагалактик. Відстань до цілого ряду галактик були визначені американським астрономом Е. Хабблом. Порівняння відстаней до галактик з швидкостями їх видалення (швидкості були визначені ще Слайфером і іншими астрономами і лише виправлялися за рахунок обліку руху Сонця в Галактиці) дозволило Е. Хабблу встановити в 1929г. чудову закономірність; чим далі галактика, тим більше швидкість її видалення від нас. Виявилось, що існує проста залежність між швидкістю видалення галактик і відстанню до неї: $v=HR$ Коефіцієнт пропорційності H називають тепер постійною Хаббла. Невимірний зростає потужність астрономічних досліджень, і ці дослідження підтвердили закон Хаббла закон пропорційності швидкості видалення галактик їх відстань. Проте виявилось, що величина коефіцієнта пропорційності H була Хаббла сильно завищена. Згідно сучасним оцінкам H майже вдесятеро менше. Це відкриття показувало, що галактики віддаляються від нас на всі боки і швидкість цього видалення прямо пропорційна відстані.

Можна переконатися в тому, що картина розширення, пов'язана із законом Хаббла, представляється однаковою для спостерігача, що знаходиться в будь-якій точці простору. Візьмемо однорідну кулю і потім збільшимо його розміри, скажімо, удвічі, так, щоб ша р залишався як і раніше однорідним. Ясно, що при цьому відстань між будь-якими парами крапок усередині кулі теж збільшиться удвічі, як би ми ці крапки не вибирали усередині кулі. Значить, при роздуванні кулі, де б спостерігач не знаходився усередині нього, він бачитиме однакоку картину видалення від нього всіх крапок усередині кулі. Якщо узяти кулю необмежено великого розміру, то ми і отримаємо картину, описану вище, не залежну від положення спостерігача. Розгін галактик взагалі ніяк не впливає на окремі тіла. Ми бачили, що нескінченна однорідна речовина не створює ніякого тяжіння усередині кульової порожнини, тобто ніяк не впливає на тіла.

Так само як в хмарі газу, що розлітається, окремі молекули не розширюються, точно як же і у Всесвіті, що розширюється, гравітаційно зв'язані тіла-галактики, зірки, Земля - не схильна до космічного розширення. Зрозуміло, вони можуть і розширяться і стискатися, але це викликається внутрішніми причинами - процесами, які відбуваються усередині цих тіл. Розширення Метагалактиці протікає з уповільненням, і для майбутнього є дві можливості. Уповільнення пропорційне щільності речовини в Метагалактиці. З розширенням щільність падає, зменшується уповільнення.

Можлива ситуація, коли при сьогоdnішній швидкості розширення щільність речовини достатньо малу і уповільнення малий. Тоді розширення протікатиме необмежено. Але можливо, що щільність достатньо велика, а значить, велике уповільнення розширення. В результаті розширення припиняється і змінюється стисненням. Отже, для Метагалактиці при нинішній швидкості розширення і при малій щільності характерний необмежене розширення, при великій щільності - розширення, що змінюється стисненням. Існує критична значення щільності речовини Ркріт, що відокремлює один випадок від іншого. Ми бачимо, що від величини фактичної середньої щільності всіх видів матерії в Метагалактиці залежить майбутнє Метагалактики. "Гарячий всесвіт." До цих пір говорили головним чином про "механіку" і "геометрію" Метагалактиці і майже не стосувалися питання про фізичні процеси з Метагалактиці, що розширювалася. Для розрахунків фізичних процесів в першу чергу треба знати, як відбувається розширення Метагалактики. Модель Фрідмана, що описує однорідну, ізотропну Метагалактику, дає закон розширення. Спостереження показують, що в даний час великій точності Метагалактика розширюється ізотропно, і щільність у великих масштабах в середньому однорідна. Теорія "гарячіша за Всесвіт" дає певні прогнози про вміст гелію в дозвездном речовині. На початку, 60-х років радянський фізик Я. Б. Зельдович відмітив, що припущення про "гарячість" речовини зовсім не обов'язково для того, щоб уникнути перетворення всієї речовини на гелій. Можна залишатися в рамках холодної моделі, але вважати, що лептонний заряд не рівний нулю. У цій моделі передбачалося, що речовина на початку космологічного розширення складається з протонів, електронів і нейтрино в рівних кількостях. Лептонний заряд L рівний двом; ентропія S рівна нулю. Рівне число електронів і протонів необхідне з умови електронейтральності речовини. Сенс гіпотези введення нейтрино "холодної" моделі полягає в тому, що при високій щільності в холодній речовині перетворення протонів на нейтрони згідно рівнянню $p + e \rightarrow n + \nu$ не відбувається, якщо вже є нейтрино. Це нейтрино не дозволяють виникати новим нейтрино і процес виявляється забороненим.

Спочатку теорії гарячіше і холодним Всесвітом зв'язувалися із спробами дати повне пояснення поширеності хімічних елементів в дозвездном речовині. Спроби з'ясувати, яка теорія вірна, спочатку прямували в основному по шляху аналізу спостережень поширеності хімічних елементів. Проте такі спостереження і особливо їх аналіз дуже складні і залежать від багатьох припущень. Але теорія "гарячіше за Всесвіт" дає наглядний найважливіший прогноз, який є прямим слідством "гарячості" великій ентропії речовини. Це - прогноз існування в нашу епоху реліктового електромагнітного випромінювання у Всесвіті, що залишився від тієї епохи, коли речовина у минулому була щільною і гарячим. Реліктове випромінювання. Реліктове випромінювання було відкрито абсолютно випадково в 1965 р. співробітниками американської компанії "Bell" Пензіасом і Вільсоном при відладці рупорної радіоантени, створеної для спостереження супутника "ЛУНА". Вони виявили слабкий фоновий радіошум, що приходить з космосу, не залежний від напрямку антени. Дікке, Піблс, Ролл і Вілкенсон відразу ж дали космологічне пояснення зміна Пензіаса і Вілсона, як доказ гарячої моделі всесвітом. Реліктове

випромінювання не виникло в яких - або джерелах подібно до світла зірок або радіохвилі, що народився в радіогалактиках. Реліктове випромінювання існувала з самого початку розширення Метагалактики. Воно було в гарячій речовині Всесвіту, яка розширювалася від сингулярності. Якщо підчитати загальну щільність енергії, яка сьогодні міститься в реліктовому випромінюванні, то вона опиниться в 30 разів більше, ніж щільність енергії у випромінюванні від зірок, радіогалактик і інших джерел разом узятих. Відкриття реліктового випромінювання є грандіозним досягненням сучасної науки. Вона дозволяє сказати, що на ранніх стадіях розширення Метагалактики було гарячішим. Прогноз реліктового випромінювання був зроблений в рамках теорії Метагалактики, що розширювалася, тому його відкриття ще раз показує правильність і плідність для космології шляху, вказаного роботами А. А. Фрідмана.

Утворення та еволюція Всесвіту

Проблема зародження та існування Всесвіту в усі часи займала людство. Небо, яке було доступне для його огляду, дуже його цікавило. Недарма астрономія вважається однією з найдавніших наук. Для вивчення всесвіту в цілому, в астрономії з'явилася нова наука - космологія.

За визначенням А.Л. Зеляманова (1913-1987) космологія – це сукупність накопичених теоретичних положень про будову речовини і структуру Всесвіту, як цілісного об'єкту, так і окремі наукові знання охопленої астрономічними спостереженнями світу як частини Всесвіту.

Висновки космології називаються моделями походження і розвитку Всесвіту. Чому моделями? Справа в тому, що одним з основних принципів сучасного природознавства є можливість проведення керованого експерименту над досліджуваним об'єктом. Тільки якщо можна провести будь-який кількість експериментів і всі вони приводять до одного результату, то на основі цих експериментів роблять висновок про наявність закону, якому підпорядковується функціонування даного об'єкту. Лише в цьому випадку результат вважається достовірним з наукової точки зору.

До Всесвіту це методологічне правило залишається непридатна. Наука формулює універсальні закони, а Всесвіт є унікальною. Це протиріччя, яке вимагає вважати всі висновки про походження та розвиток Всесвіту не законами, а лише моделями, тобто можливими варіантами пояснення.

1 Теорії XX ст. про походження Всесвіту.

Найбільш загальноприйнятою в космології є модель однорідної ізотропної нестационарної гарячої розширюється Всесвіту, побудована на основі загальної теорії відносності та релятивістської теорії тяжіння, створеної Альбертом Ейнштейном в 1916 році. В основі цієї моделі лежать два припущення: 1) властивості Всесвіту однакові у всіх її точках (однорідність) і напрямки (ізотропності); 2) найкращим відомим описом гравітаційного поля є рівняння Ейнштейна. З цього слід так звана кривизна простору і зв'язок, кривизни з щільністю маси. Космологія, заснована на цих постулатах називають релятивістської. Важливим пунктом даної моделі є її нестационарність, це означає, що Всесвіт не може перебувати в статичному, незмінному стані.

Новий етап у розвитку релятивістської космології був пов'язаний з дослідженнями російського вченого А.А. Фрідмана (1888-1925), який математично довів ідею котра саморозвивається Всесвіту. Робота А. А. Фрідмана докорінно змінила основоположні колишнього наукового світогляду. За його твердженням космологічні початкові умови утворення Всесвіту були сингулярними. Роз'яснюючи характер еволюції Всесвіту, що розширюється починаючи з сингулярного стану, Фрідман особливо виділяв два випадки: а) радіус кривизни Всесвіту з часом постійно зростає, починаючи з нульового значення; б) радіус кривизни змінюється періодично: Всесвіт стискається в точку (у ніщо, сингулярні стан), потім знову з точки, доводить свій радіус до деякого значення, далі знову, зменшуючи радіус своєї кривизни, звертається в точку, і т.д.

На цей висновок не було звернуто уваги аж до відкриття американським астрономом Едвіном Хабблом в 1929 році так званого «Червоного зсуву». Вигляд - це зниження часто електромагнітного випромінювання: у видимій частині спектру лінії зміщуються до його червоному кінця. Виявлений раніше ефект Доплера було зазначено, що при видаленні від нас якого-небудь джерела коливань, сприймається вами частота коливань зменшується, а довжина хвилі відповідно збільшується. При випромінюванні відбувається «почервоніння», тобто лінії спектра зсуваються вбік більш довгих червоних хвиль.

Так от, для всіх далеких джерел світла червоне зміщення було зафіксовано, причому, чим далі було джерело, тим більшою ступеня. Вигляд виявилося пропорційно відстані до джерела, що й підтверджує гіпотезу про видалення їх, тобто про розширення Метагалактика - видимої частини Всесвіту.

Складовою частиною моделі розширюється Всесвіту є уявлення про Великого Вибуху, що сталося, десь приблизно 12 -18 млрд. років тому.

Джордж Лемер був першим, хто висунув концепцію «Великого вибуху» з так званого «первісного атома» і подальшого перетворення його осколків в зірки і галактики. Звичайно, з боку сучасного астрофізичного знання дана концепція представляє лише історичний інтерес, але сама ідея первісного вибухонебезпечного руху космічної матерії та її подальшого еволюційного розвитку невід'ємною частиною увійшла в сучасну наукову картину світу.

Принципово новий етап у розвитку сучасної еволюційної космології пов'язаний з ім'ям американського фізика Г. А. Гамова (1904-1968), завдяки якому в науку увійшло поняття гарячого Всесвіту. Згідно запропонованої їм моделі «початку» еволюціонує Всесвіту «первоатом» Леметра складався з сильно стиснутих нейтронів, щільність яких досягала дивовижної величини - один кубічний сантиметр первинної речовини важив мільярд тонн. В результаті вибуху цього «первоатома» на думку Г. А. Гамова утворився всеоформлений космологічний котел з температурою близько треймільярдів градусів, де і стався природний синтез хімічних елементів. Осколки первинного яйця - окремі нейтрони потім розпалися на електрони і протони, які, у свою чергу, з'єднавшись з нерозпавшимися нейтронами, утворили ядра майбутніх атомів. Все це відбулося в перші 30хвилин після «Великого Вибуху».

Гаряча модель являла собою конкретну астрофізичну гіпотезу, що вказує шляхи дослідної перевірки своїх наслідків. Гамов передбачив існування в даний час залишків теплового випромінювання первинної гарячої плазми, а його співробітники Дльфер і Герман ще в 1948 р. досить точно розрахували величину температури цього залишкового випромінювання вже сучасної Всесвіту. Однак Гамову і його співробітникам не вдалося дати задовільне пояснення природному освітленню та розповсюдженню важких хімічних елементів у Всесвіті, що стало причиною скептичне ставлення до його теорії з боку фахівців. Як виявилося, запропонований механізм ядерного синтезу не міг забезпечити виникнення спостережуваного нині кількості цих елементів.

Учені стали шукати інші фізичні моделі «початку». В 1961 році академік Я.Б. Зельдович висунув альтернативну холодну модель, згідно з якої первісна плазма складалася із суміші холодних (з температурою нижче абсолютного нуля) вироджених частинок - протонів, електронів і нейтрино. Три роки по тому астрофізики І.Д. Новиков та А.Г. Дорошкевич провели

порівняльний аналіз двох протилежних моделей космологічних початкових умов - гарячої і холодної і вказали шлях дослідної перевірки і вибір однієї з них. Було запропоновано за допомогою вивчення спектра випромінювань зірок і космічних радіоджерела спробувати виявити залишки первинного випромінювання. Відкриття залишків первинного випромінювання підтверджувало б правильність гарячої моделі, а якщо вони не існують, то це буде свідчити на користь холодної моделі.

Наприкінці 60-х років група американських вчених на чолі з Р. Дікке приступила до спроб виявити реліктове випромінювання. Але їх випередили Л. Пепзіас і Р. Вільсон, що отримали в 1978 р. Нобелівську премію за відкриття мікрохвильового фону (це офіційна назва реліктового випромінювання) на хвилі 7,35 см.

Примітно, що майбутні лауреати Нобелівської премії не шукали реліктове випромінювання, а в основному займалися налагодженням радіоантени, для роботи за програмою супутникового зв'язку. З липня 1964 по квітень 1965 р. вони при різних положеннях антени реєстрували космічне випромінювання, природа якого спочатку була їм не ясна. Цим випромінюванням і виявилось реліктове випромінювання.

Таким чином, в результаті астрономічних спостережень останнього часу вдалося однозначно вирішити принципове питання про характер фізичних умов, що панували на ранніх стадіях космічної еволюції: найбільш адекватною виявилася гаряча модель «початку». Сказане, однак, не означає, що підтвердилися всі теоретичні затвердження і висновки космологічної концепції Гамова. З двох вихідних гіпотез теорії --про нейтронному складі «космічного яйця» і гарячому стані молодий Всесвіту - перевірку часом «витримала» тільки «остання, яка вказує на кількісне переважання випромінювання над речовиною біля витоків нині спостережуваного космологічного розширення.

2 Сучасна наука про походження Всесвіту.

На нинішній стадії розвитку фізичної космології на передній план висунулася завдання створення теплової історії Всесвіту, особливо сценарію освіти великомасштабної структури Всесвіту. Останні теоретичні дослідження фізиків велися у напрямку наступної фундаментальної ідеї: в основі всіх відомих типів фізичних взаємодій лежить одне універсальне взаємодію; електромагнітну, слабка, сильна і гравітаційне взаємодії є різними гранями єдиного взаємодії, що розщеплює у міру зниження рівня енергії відповідних фізичних процесів. Інакше кажучи, при дуже високих температурах (що перевищують визначені критичні значення) різні типи фізичних взаємодій починають об'єднуватися, а на межі всі чотири типи взаємодії зводяться до одного єдиного протозв'язку, званому «Великим синтезом».

Згідно квантової теорії те, що залишається після видалення часток матерії (наприклад, з будь-якого закритого судини за допомогою вакуумного насоса), зовсім не є порожнім в буквальному розумінні слова, як це вважала класична фізика. Хоча вакуум не містить звичайних частинок, він насичений «напівживим», так званими віртуальними тільцями. Щоб їх перетворити на справжні частки матерії, досить порушити вакуум, наприклад, впливати на нього електромагнітним полем, що створюється внесеними до нього зарядженими частинками.

Але що ж все таки стало причиною «Великого Вибуху»? Судячи з даними астрономії фізична величина космологічної постійної, фігурує в ейнштейнівській рівняннях тяжіння, дуже мала, можливо близька до нуля. Але навіть будучи таким нікчемним, вона може викликати дуже великі космологічні наслідки. Розвиток квантової теорії поля призвело до ще більш цікавих висновків. Виявилося, що космологічна постійна є функцією від енергії, зокрема залежить від температури. При надвисоких температурах, що панували на самих ранніх фазах розвитку космічної матерії, космологічна постійна могла бути дуже великий, а головне, позитивною по знаку. Говорячи іншими словами, у далекому минулому вакуум міг перебувати в надзвичайно незвичайному фізичний стан, що характеризується наявністю потужних сил відштовхування. Саме ці сили і послужили фізичною причиною «Великого Вибуху» і подальшого швидкого розширення Всесвіту.

Розгляд причин та наслідків космологічного «Великого Вибуху» було б не повним без ще одного фізичного поняття. Мова йде про так званому фазовому переході (перетворення), тобто якісному перетворення речовини, що супроводжується різкою зміною одного його стану іншим. Радянські вчені-фізики Д.А. Кіржніц і А.Д. Лінде першими звернули увагу на те, що в початковій фазі становлення Всесвіту, коли космічна матерія знаходилася в сверхгорячем, але вже заохололому стані, могли відбуватися аналогічні фізичні процеси (фазові переходи).

Подальше вивчення космологічних наслідків фазових переходів з порушеною симетрією призвело до нових відкриттів і теоретичним узагальнень. Серед них виявлення раніше невідомої епохи в саморозвитку Всесвіту. Виявилося, що в ході космологічного фазового переходу вона могла досягти стану надзвичайно швидкого розширення, при якому її розміри збільшилися у багато разів, а щільність речовини залишалася практично незмінною. Вихідним же станом, який дав початок роздувається Всесвіту, вважається гравітаційний вакуум. Різкі зміни, супутні процесу космологічного розширення простору характеризуються фантастичними цифрами. Так передбачається, що вся спостережувана Всесвіт виник з єдиного вакуумного міхура розміром менше 10 в мінус 33 ступені см! Вакуумний міхур, з якого утворилася наш Всесвіт, мав масою, яка дорівнює всього-на-всього однієї стотисячній частку грама.

В даний час ще немає всебічно перевіреної і визнаної всіма теорії походження великомасштабної структури Всесвіту, хоча вчені значно просунулися в розумінні природних шляхів її формування та еволюції. З 1981 року почалася розробка фізичної теорії роздувається (інфляційної) Всесвіту. До теперішнього часу фізиками запропоновано кілька варіантів даної теорії. Передбачається, що еволюція Всесвіту, що почалася з грандіозного общекосміческого катаклізму, що назване «Великим Вибухом», в подальшому супроводжувалася неодноразовою зміною режиму розширення.

Згідно з припущеннями вчених, через 10 в мінус сорок третій ступеня секунд після «Великого Вибуху» щільність сверхгорячей космічної матерії була дуже висока (10 в 94 ступені грам/см кубічний). Висока була і щільність вакууму, хоча по порядку величини вона була значно менше щільності звичайної матерії, а тому гравітаційний ефект первісної фізичної «порожнечі» був непомітний. Однак в ході розширення Всесвіту щільність і температура речовини падали, тоді як щільність вакууму залишалася незмінною. Ця обставина привела до різкої зміни фізичної ситуації вже через 10 у мінус 35 ступені секунди після «Великого

Вибуху». Щільність вакууму спочатку порівнюється, а потім, через кілька свехмгновеній космічного часу, стає більше її. Тоді і дає про себе знати гравітаційний ефект вакууму - його сили відштовхування знову беруть верх над силами тяжіння звичайної матерії, після чого Всесвіт починає розширюватися в надзвичайно швидкому темпі (роздувається) і за нескінченно малу частку секунди досягає величезних розмірів. Однак цей процес обмежений у часі і просторі. Всесвіт, подібно будь-якому розширюється газу, спочатку швидко охолоджується і вже в районі 10 в мінус 33 ступеня секунди після Великого Вибуху «сильно переохолоджується. У Внаслідок цього общевселенческого «похолодання» Всесвіт від однієї фази переходить в іншу. Мова йде про фазовому переході першого роду --стрибоподібному зміні внутрішньої структури космічної матерії і всіх пов'язаних з нею фізичних властивостей і характеристик. На завершальній стадії цього космічного фазового переходу весь енергетичний запас вакууму перетворюється на теплову енергію звичайної матерії, а в підсумку вселенческая плазма знову підігрівається до початкової температури, і відповідно відбувається зміна режиму її розширення. Не менш цікавий, а в глобальній перспективі важливіший інший результат новітніх теоретичних досліджень – принципова можливість уникнення початковій сингулярності в її фізичному сенсі. Мова йде про абсолютно новий фізичному погляді на проблему походження Всесвіту.

Виявилось, що всупереч деякими недавніми теоретичним прогнозами (Про те, що початкову сингулярність не вдасться уникнути і при квантовому узагальненні загальної теорії відносності) існують певні мікрофізичні фактори, які можуть перешкоджати безмежного стисненню речовини під дією сил тяжіння. Ще в кінці тридцятих років було теоретично виявлено, що зірки з масою, що перевищує масу Сонця більш ніж у три рази, на останньому етапі своєї еволюції нестримно стискаються до сингуляторного стану. Остання на відміну від сингулярності космологічного типу, що іменується фрідмановской, називається шварцшільдовскім (за ім'ям німецького астронома, вперше розглянуло астрофізичні сліdstва енштейновской теорії тяжіння). Але з чисто фізичної точки зору обидва типи сингулярності ідентичні. Формально вони відрізняються тим, що перший сингулярність є початковим станом еволюції речовини, тоді як друга - кінцевим.

Згідно з недавнім теоретичним уявленням гравітаційний колапс має завершитися стиском речовини буквально «в точку» - достану нескінченної щільності. За новітнім ж фізичним уявленням колапс можна зупинити десь в районі планковской величини щільності, тобто на рубежі 10 в 94 ступені грам/див кубічний. Це означає, що Всесвіт відновлює своє розширення не з нуля, а маючи геометрично певний (мінімальний) обсяг і фізично прийнятне, регулярне стан.

Академік М.А. Марков висунув цікавий варіант пульсуючою Всесвіту. У логічної рамці цієї космологічної моделі старі теоретичні труднощі, якщо не вирішуються остаточно, то, по крайній мірі, висвітлюються під новим перспективним кутом зору. Модель заснована на гіпотезі згідно з якою при різкому зменшенні відстані константи всіх фізичних взаємодій прагнуть до нуля. Дане припущення --наслідок іншого припущення, згідно з яким константа гравітаційного взаємодії залежить від ступеня щільності речовини.

Відповідно до теорії Маркова, кожного разу, коли Всесвіт з фрідмановської стадії (кінцеве стиск) переходить у стадію десіттеровську (початкове розширення), її фізико-геометричні характеристики виявляються одними й тими ж. Марков вважає, що умови цього цілком достатньо для подолання класичного труднощі на шляху фізичної реалізації вічно осцилюючі Всесвіту.

Що ж очікує наш Всесвіт в майбутньому, якщо вона буде необмежено розширюватися? Про процес продовжується розширення нашої Всесвіту свідків майже всі дані спостережень. У міру розширення простору матерія, стає все більше розрідження, галактики та їх скупчення все більше віддаляються один від одного, а температура фонового випромінювання наближається до абсолютного нуля. З часом всі зірки завершать свій життєвий цикл і перетворяться або в білих карликів, остигає достану холодних чорних карликів, або в нейтронні зірки або чорні дірки. Ера що світиться речовини закінчиться, і темні маси речовини, елементарні частинки і холодне випромінювання будуть безглуздо розлітатися в безперервно розряджаються порожнечі.

Втім, чорні дірки не залишаться без роботи. Маючи на те досить часу, чорні діри поглинуть величезна кількість речовини всесвіту.

Якщо теорія Хокінга вірна, то чорні дірки будуть продовжувати випускати випромінювання, але чорних дірок (з масою рівною масі Сонця) буде потрібно дуже тривалий час, перш ніж це помітно змінить щось. Фонове випромінювання охолоне набагато раніше, ніж чорні дірки почнуть випромінювати більше, ніж вони будуть поглинати з цього фонового випромінювання. Такий момент настане тоді, коли вік Всесвіту стане приблизно в десять мільйонів разів більше передбачуваного на сьогодні. Має пройти близько 10⁶⁶ років, перш ніж чорні дірки сонячної маси почнуть вибухати, викидаючи потоки часток і випромінювання.

Дж. Берроу з Оксфордського університету і Ф. Тіплер з Каліфорнійського університету в своїх роботах намалювали картину віддаленого майбутнього необмежено розширюється Всесвіту. Навіть всередині старої нейтронної зірки зберігається ще достатньо енергії, щоб час від часу повідомляти частинок, що знаходяться поблизу її поверхні, швидкість, яка перевищує швидкість тікання. Передбачається, що в результаті цього через досить тривалий час вся речовина нейтронної зірки повинно випаруватися. Розпадуться і чорні дірки, викликавши народження (у рівних пропорціях) частинок і античастинок. На думку Берроу і Тіплера, якщо запас енергії у Всесвіті достатній лише для того, щоб забезпечити її необмежене розширення, то ефект електричного тяжіння в електронно-позитронних парах переважить і гравітаційне тяжіння і загальне розширення Всесвіту як цілого. За певний кінцевий час всі електрони проаннігілюють з всіма позитронами. У кінцевому підсумку останній стадії еволюції матерії виявляється не розлітаються холодні темні тіла і чорні дірки, а безбереге море розрідженого випромінювання, остигаючого до кінцевої, всюди однакової, температури.

Другий закон термодинаміки показує, що кінець еволюції Всесвіту настане, коли вирівняється температура її речовини. Так як тепло передається від більш теплих тіл до більш холодних, відмінність їх температур з часом згладжується, здійснення подальшої роботи стає неможливим. Ця думка про «теплову смерть» Всесвіту була висловлена ще в 1854 р. Г. Гельмгольцем (1821-1894). Цікаво, що наше сучасне уявлення про необмежено розширюється

Всесвіту разом з концепцією квантового випромінювання чорних дір, яка заснована на аналогії між гравітацією і термодинаміки, призвели до тих самих висновків, що зробив Гельмгольц. Ми НЕ можемо знати точно, який буде результат протиборства розширення селищ і гравітаційного тяжіння її речовини. Якщо переможе тяжіння, то Всесвіт коли-небудь склапсірует в процесі Великого стиснення, яке може виявився кінцем її існування, або прелюдією до нового розширення. Якщо ж сили тяжіння програють «бій», то розширення буде тривати необмежено довго, але тяжіння буде продовжувати грати істотну роль у визначенні остаточного стану речовини. Речовина може перетворитися на безмежне море однорідного випромінювання, або продовжиться розсіювання темних холодних мас. У неясному далекому майбутньому минула епоха зоряної активності може виявитися лише найкоротшим миттю в нескінченній житті Всесвіту.