

І.А. Климишин, Ю.М. Пунжин

**АСТРОНОМІЯ – КЛАСИЧНА І  
НОБЕЛІАНСЬКА**

Видання друге, доповнене

Івано-Франківськ  
2020

К 49 **Климишин І.А.**

Астрономія – класична і нобеліанська / І.А. Климишин, Ю.М. Пунжин. Вид. друге, доповнене. – Івано-Франківськ :2020..

Здійснено спробу підкреслити тісний зв'язок фізики та астрономії (точніше – *«усього лише, образно кажучи, поставити кілька знаків оклику»* – згідно з концепцією ЮНЕСКО про сучасну освітню парадигму). Зокрема, у ХХ ст., – крізь призму ідей лауреатів Нобелівської премії з фізики. Констатувати, що в земних фізичних лабораторіях, як виглядає, відкриттям бозона Гігса чи не досягнуто уже якусь межу «експериментально можливого» для розуміння фізики елементарних частинок. І – потішитися з того, що сказане академіком Я.Б. Зельдовичем *«Природа 14 млрд років тому здійснила експеримент, тепер же прийшла пора аналізувати його наслідки фізиками й космологами»* уже реалізується. Як при дослідженнях з поверхні Землі, так і космічними апаратами (КА), за межами нашої планети.. Висловимо своє захоплення і «Теоретиками», які намагаються вкласти в «математичне прокрустове ложе» все розмаїття нюансів, що відображають світ. Але й позаздримо: їхню «езопову мову» мало хто може як слід зрозуміти. Та й – як збагнути «варіанти можливої побудови нашого Всесвіту»: оту їх «одиницю, за якою не то 500, не то 1500 нулів...

Автори дотримуються «Правопису 1929 р.» і тому «правила капетфах» не визнають (як ось, зокрема, все ж «зфотографувати, а не сфотографировать» – «бо пишемо, як чуємо»).

**ББК 22.6**

Климишин І.А., Пунжин Ю.М., 2020 р.

## Зміст

Передмова .....	4
Вступ .....	5
Від Сократа до Нобеля .....	10
Нобеліанський розмай – «на грані століть» .....	23
До зір – через атом.....	28
Зорі: джерела енергії й проблеми еволюції .....	34
Космічно-космологічний коктейль .....	40
«З вершин, із низин і з точок Лагранжа» .....	44
«Оновлені горизонти» .....	62

## Передмова

Сьогодні здивувати кого б то не було якимось «новими, популярними» текстами «від атомів до Всесвіту» неможливо. Бо ж є десятки чудових науково-популярних книг, також – злива публікацій в Інтернеті. Автори цієї книжечки усе ж зважилися глянути на історію астрономії попередніх 3000 років, але й, зокрема, 20-го і початку 21-го століть, тут уже – *«крізь призму ідей»* лауреатів Нобелівської премії.

Знаємо: з астрономії таких Премій нема. Проте понад 30 Лауреатів-фізиків отримали її за з'ясування якраз проблем, які вивчає саме астрономія. Тобто – за дослідження глибинних таємниць Світобудови.

Біографія Альфреда Нобеля (1883–1896), зокрема – історія «запровадження» Нобелівських премій, відомості про її Лауреатів до 1984 р., описані в книжці болгарського історика науки **Валерія Чолакова** «Нобелівські премії. Вчені й відкриття» (Софія, 1985; рос. м. М., МИР. 1987).

Загалом від 1901 р. по 2016 р. включно Нобелівські премії з фізики вручено 110 разів, їх отримали 204 учених, при чому один із них – Джон Бардін – двічі – 1956 і 1972 р. (відповідно «за дослідження напівпровідників та відкриття транзисторного ефекту» і «за створення теорії надпровідності»).

З 2000 року Євросоюз встановив престижну Премію – на честь французького вченого Рене Декарта (1596–1650), яка є певним аналогом Нобелівської – «з невеликою різницею»: Нобелівську присуджують щонайбільше трьом ученим, і тоді ділять «грошовий еквівалент – мільйон доларів» у пропорції 1/2, 1/4, 1/4; Декартівською нагороджують щороку дві-три групи і в кожній з них може налічуватися 10 і більше вчених, «об'єднаних спільною темою». Та й діапазон тут «ширший», бо включено нагородження за з'ясування нових проблем – до екології включно... Так що головне тут – «не гроші, а визнання».

У 2003 р. одним із 15-ти Лауреатів цієї Премії став український астроном академік, наш земляк із Рогатинщини,

Ярослав Яцків. Після сплати податку це становило по близько 10 тис. євро. І ці суми Лауреати передали у фонд допомоги молодим ученим. Про важливість цієї його роботи мова буде в передостанньому розділі.

Обидві Премії – це відображення конкретних досягнень, проривів у певному напрямі, які здебільшого неспеціалісту збагнути важко. Тож тут ми лише *«ставимо знаки оклику»!* Ракурс, може, незвичний. Але це – лише натяк на здобутки Лауреатів, на їх роль в астрономії. Є й «найпотаємніше у Світобудові», як ось ідеї *об'єднання чотирьох взаємодій, теорія суперструн*. Але «камені спотикання» тут занадто великі, про що й писав, зокрема, **Лі Смолін** у книжці «Неприємності з фізикою: зліт теорії струн...» (2006 р., див. російськомовний текст в Інтернеті).

## Вступ

Серед багатьох галузей науки виділяються чотири: астрономія, фізика, хімія та біологія. *Перша* «шукає» місце людини у зоряному (галактичному) світі. *Друга*, фізика, вивчає «особливості взаємодій елементів будівельного матеріалу», з якого *усе* змонтоване. *Третя*, хімія, встановлює якість конфігурацій «цеглинок світобудови» та їх використання при побудові, зокрема, «Світу живих форм». Завдання ж *четвертої*, біології відоме. З гумором скажемо: це, передусім, – уникати «лисенківських» декларацій, як ото: «акуратно поливаючи паросток верби, виростимо вільху»...

Знайомлячись із багатючими матеріалами Інтернету, автори вчитувались у повідомлення типу: «Космологи чесно визнають: розвиток науки привів до виявлення абсолютно непередбачуваних донедавна факторів – «темна матерія», «темна енергія»... Зокрема, у слова видатного російського вченого **Я.А. Смородинського**: «Трагікомізм ситуації полягає в тому, що сам природодослідник не цілком усвідомлює логіку розвитку своєї науки..., люди ж лише з трудом до цього звикають. Часто фізик намагається пояснити те, що він сам не

цілком ясно розуміє. /Ось/ Фейнман навіть твердить: я сміливо можу сказати, що квантову механіку не розуміє ніхто...».

То що ж залишається нам – «людям із вулиці»? Перебуваючи в лабіринті, перегородки якого «ростуть самі собою» наче Велика Китайська стіна (а її довжина – чи не 8000 км), відділяючи нас від розуміння того, що ж все таки діється «там» – в отому неосяжному Всесвіті!

Та все ж – щось таки можемо збагнути! І серця наші (чи розум?) «по при наше обмежене перебування в цьому світі» переповнюються гордістю: **Ми** таки «віднайшли своє тут місце»! **Ми** вже усвідомлюємо, *що таке* безмежність у просторі і *що* – безконечність у часі...

Тож поняття **космос** із 1957 р., «від початку космічної ери», стало звичним для всіх: космос – це «весь Всесвіт». Включно з нашою Сонячною системою.

Віддавна зрозумілим для всіх є поняття **фізика**. Тут і дослідження руху кинутого вверх камінця (*кінематика*), і взаємодія двох тіл, скажімо, Землі і Місяця (*динаміка*). А коли чуємо/читаємо слово **астрофізика**, то розуміємо, що це «розділ астрономії, який вивчає *фізичну* природу і *хімічний* склад небесних тіл, передусім зір, міжзоряного газу та міжгалактичного середовища, а також процеси, що відбуваються в них».

Зформувалося уже і поняття **космофізика**. За тлумачним Словником, це нібито те ж, що й астрофізика. Але тут усе ж «зміщується наголос, *акцент*»! Бо – підкреслюється якнайглибше дослідження фізичної природи і хімічного складу усього розмаїття об'єктів навколишнього Всесвіту і то в їх розвитку упродовж мільярдів років. Тим часом *просто фізика*, як уявляємо, головну увагу в останні сто років приділяє дослідженню **мікросвіту** – світу елементарних частинок та «стосунків (взаємодій) між ними».

В останні три десятиліття відбувається поступове зближення «великого» і «малого» («телескопічного» і «мікроскопічного») – астрономії та фізики: формується нова галузь науки – **космомікрофізика** (суть якої відображена у монографії **М.Ю. Хлопова** «Основы космомикрофизики», М., 2004 р.).

Досягається це вкрай нелегко. Бо ж *світ елементарних частинок* надто розмаїтий, їх же «різних» налічують чи не 400. І фізики-експериментатори докладають неймовірні зусилля для встановлення мас, зарядів і тривалості життя кожної з них. А теоретикам доводиться тут же розробляти і «випробовувати» складні математичні прийоми для їх класифікації та пояснення «що воно і до чого»... Астрономам же необхідно «заглянути якомога дальше в ту зоряну безодню!» «Щось із неї виловити» і, за допомогою сучасних наземних і космічних телескопів, а, головне, – за допомогою фізиків – адекватно з'ясувати.

А «тут»... ось що писав у Передмові до 3-го тому своєї «Історії фізики» (1971 р.) російський вчений-історик фізики (і техніки) проф. **П.С. Кудрявцев** (1904–1975):

«Викласти історію фізики ХХ століття – задача непосильна для однієї людини. Фізика наших днів розрослася й ускладнилася так, що слідкувати навіть за розвитком вузької її галузі стає важкою справою. Спеціалісти ж, які працюють у різних напрямках, часто не розуміють один одного. Тому задача написання історії фізики ХХ ст. може бути вирішена лише великим колективом спеціалістів. Але при цьому виникає трудність у виді реальної можливості за деревами не побачити лісу, тобто усього процесу розвитку фізичної науки. З іншого боку, сучасники не володіють необхідною історичною перспективою, щоб оцінити факти і визначити їхнє історичне значення. Існує дуже поширена і цілком обґрунтована думка, що сучасники не можуть писати історію свого часу, і внаслідок цього необхідно зупинитися на певній межі»...

Доречно нагадати і сказане російським ученим-Нобеліантом (2003 р.) **В.Л. Гінзбургом** (1916–2009): «У наші дні передній фронт фізики... відділений від людини із середньою освітою .. широкою смугою, замінованою величезним фактичним матеріалом і математичними формулами... На здолання цієї смуги потрібно роки праці навіть для людей із великими здібностями»...

Інакше кажучи, сучасна фізика (тим більше – *космофізика*) досягла таких висот, а окремо взяті її творці продираються через

такі хащі математичних конструкцій, що мало хто, крім них самих, це у змозі збагнути...

Ось що, зокрема, записав у своєму щоденнику інший видатний російський учений (також Нобеліант, 1975 р.) **А.Д.Сахаров** (1921–1989): «Я поставив свою задачею вивчити теорію струн і суміжні теорії, а також вивчити теоретичні праці на стику космології і фізики високих енергій. Я не дуже надіюся на особистий творчий успіх..., але розуміти суть того, що, можливо, є черговою революцією у фізиці, – повинен прагнути!!!». А через декілька місяців він записав таке: «У грудні 1985 – травні 1986 р. я посилено займався цим; на жаль, наявність серйозних прогалин у моїх знаннях перешкодила мені досягнути бажаної мети»...

Наприкінці ХХ ст. стало очевидним: учити дітей у школі чи студентів у ВНЗ «старими методами», намагаючись викласти «перед ними, на дошці» весь наявний обсяг знань, неможливо. Тож організація ЮНЕСКО, оголошуючи 21-ше ст. *Століттям освіти*, у новій освітній парадигмі задекларувала: слід добиватися не засвоєння усього готового знання (нині це фізично вже неможливо), а *розвитку мислення*, щоб зробити свідомість учня, студента відкритою до нового й незвичного.

Тож автори цієї книжечки спробували в усій багатоплановій історії астрономії виділити найголовніші, на їх думку, моменти. На досягнуті ж упродовж ХХ ст. успіхи, що стали визначальними для розуміння суті процесів, які відбуваються у космічних просторах, пропонуємо глянути крізь призму здобутків фізиків – лауреатів Нобелівської премії. Сподіваємось, що такий підхід є своєрідним *евристичним прийомом*, завдяки якому виразніше сприймається суть тої чи іншої проблеми. Іноді, можливо, буде незайвим «заглянути» в якийсь підручник (хоча б у «Курс загальної астрономії» С.М. Андрієвського та І.А.Климишина – є в блозі «*Небозвід*», також в «Астрономічний енциклопедичний словник», Льв., 2003 р.), але ще більше – використовуючи все багатство Інтернету...

Річ ясна, відзначаючи внески Нобеліантів, віддаємо тут, належне й астрономам, які у ХХ ст. здійснили прорив у



розкритті таємниць світобудови, але такого визнання не отримали.

Передусім це Харлоу **Шеплі**, який 1918 року започаткував *другу* (після Коперника) *революцію в астрономії*. Адже він «змістив Сонце із центра Галактики та змусив його кружляти навколо цього центра».

Далі – це Едвін **Габбл**, який 1924 року довів, що за межами нашої Галактики є безкрайне море таких же зоряних систем. А це – *третьа революція*, тобто – *третьій крок у звільненні від антропоцентричного погляду на світ!* Він же, Габбл, майже зразу (1929 р.) виявив, що цей *світ галактик розширюється* – «розлітається в усі боки».

Або ж Фріц **Цвіккі**, який 1932 року довів наявність у навколишньому Всесвіті «*прихованої*» маси, завдяки якій галактики утримуються в скупченнях «як у єдиному цілому».

Про Георгія **Гамова** взагалі мова йде не лише в книгах з астрономії (та... «склалось щодо нього таке резюме»: він був «надто легковажний геній» – породжував у своїй голові геніальні ідеї, але «арифметично» їх як слід не обґрунтував). Так, мав бути тричі лауреатом... «За біологічне», напевне, дістав би, – та не дожив «до розгляду Комітетом цієї проблеми».

Спочатку оглянемося на попередні понад 2 тисячі років. За орієнтир візьмемо фрагмент тексту листа Альберта **Айнштайна**, Нобелівського лауреата (1921 р.), до його друга **М. Соловина (30.03.1952)**: «Ну, що ж – апіорі слід очікувати хаотичний світ, який неможливо пізнати за допомогою мислення. Можна (або слід) було б лише очікувати, що цей світ лише тою мірою підкоряється законові, якою ми можемо упорядкувати його своїм розумом. Це було б упорядкування, аналогічне алфавітному упорядкуванню слів якоїсь мови. Навпаки, упорядкування, яке вносить, наприклад, ньютонівська теорія гравітації, є цілком інакшим.

Хоча аксіоми цієї теорії і створені людиною, успіх цього заходу *передбачає істотну впорядкованість об'єктивного світу, очікувати яку апіорі в нас немає жодних підстав. У*

цьому й полягає “чудо”, і чим далі розвиваються наші знання, тим чарівнішою вона здається. Позитивісти і *професійні атеїсти* вбачають у цьому дошкульне місце, бо вони почувають себе щасливими від свідомості, що їм не лише вдалося успішно вигнати Бога з цього світу, а й позбавити цей світ чудес. Цікаво, що *ми повинні задовольнятися визнанням “чуда”*, бо законних шляхів, щоб вийти з положення, у нас немає. Я повинен це особливо підкреслити, щоб ви не подумали, нібито я, ослабнувши під старість, став жертвою попів».

## Від Сократа до Нобеля

Проміжок часу в 3000 років оглянемо саме, «щоб поставити кілька знаків оклику». Згадавши передусім грецького філософа **Сократа** (469–399 до н.е.) з його знаменитим: *«я знаю, що я нічого не знаю»*. За свідченнями Енциклопедій, Сократ – «об’єктивний ідеаліст» – стверджував, що світ створений божественним розумом. І центральне місце у його філософській системі займала *етика* (мораль). Метою ж *філософії* («любові до мудрості»), мовляв, має бути моральне удосконалення людини. Для нього питання «як жити, як діяти кожній людині», стало важливішим від того «як збудований Місяць». Що більше, він твердив: «про те, що в тебе над головою, не розміркуюй». Бо ж «самим богам сумно дивитися, як людина намагається збагнути те, що вони назавжди приховали від неї»...

Як висловився згодом римський філософ **Цицерон** (106–43 до н.е.), Сократ першим опустив філософію на землю і здружив її з моральним життям людей, утверджуючи право кожної людини на самовизначення, бо вона, людина, завдяки своєму розуму здатна (і повинна) виробити моральну оцінку своїх вчинків.

Ім’я Альфреда **Нобеля** (21.10.1833–10.12.1896), стало *символом констатації проривів у визначальних напрямках дослідження Світобудови*. Він, учений-хімік, винахідник ефективних вибухових речовин (динаміту, зокрема) але ... і борець за мир у світі, наприкінці життя висловився аж так: *«Мої*

*відкриття швидше припинять усі війни, ніж ваші конгреси. Коли ворогуючі сторони виявлять, що вони за одну мить можуть знищити одна одну, люди відмовляться від цих жахів і від ведення війни».*

На превеликий жаль, так не сталося. 20-те століття пережило жахиття Першої і Другої світових воєн, Голодоморів і Голокосту. Бо і тепер, і в усі попередні століття, здається, мало хто хотів чути слова св. **Василія Великого** (329–379), архієпископа Кесарійського: «Людина – це звір, якому звелено піднятися до неба», тобто, удосконалюючись морально, зростаючи духовно, – до свого Творця.

Уже від давньогрецьких філософів маємо, зокрема, «як спадщину», уявлення про те, що

*Земля – має кулясту форму* (**Піфагор**, бл. 550 р. до н.е.),

*атом – це «зернина» в будові речовини, яка визначає межу її подільності* (Левкіп, Демокріт, V – IV ст. до н.е.).

Проведені упродовж століть спостереження видимого руху Сонця й Місяця, також п'ятьох «блукаючих світил» – планет на тлі зір змушували розробляти теорії цих рухів. Загалом – будувати моделі світобудови, в центрі яких мала би перебувати Земля (**Евдокс**, **Аристотель** – IV ст. до н.е.). Особливої ж уваги заслуговує праця **Гіппарха** (185–125 до н.е.), якого справедливо названо фундатором астрономії. Він із високою точністю визначив відстань до Місяця (59 радіусів Землі) та його радіус, пояснив причини нерівномірного руху як Сонця, так і Місяця («центри їх колових орбіт не співпадають із центром Землі»).

Майже 1500 років проіснувала *геоцентрична система Птолемея* (бл. 87–165), описана ним у фундаментальній праці «Альмагест». Так, в її основі було хибне уявлення про нерухомість Землі та про її центральне положення у світі. Але Птолемей зумів змодельовати нерівномірний, петлеподібний рух кожної планети «поєднанням двох кіл»: планета рухається зі сталою кутовою швидкістю по малому колу – *епіциклу*, центр якого – «середня планета» – також зі «своєю» сталою кутовою швидкістю по більшому колу – *деференту*. Можна лише

дивуватися з того, як Птоlemeю вдалося з високою точністю (для кожної з п'яти планет) визначити зі спостережень ці пари кутових швидкостей, як також відношення радіусів епіцикл/деферент. Бо ж комбінацією таких рівномірних рухів вдавалося (упродовж століть!) описувати те, що спостерігач реально реєстрував на небі!

Але ще понад тисячу років «довелося чекати» на правильні формулювання питань: що ж все таки є *центром світобудови* і в чому причина спостережуваних рухів небесних світил...

В роки Середньовіччя, *«нарешті»*, **Миколай Кузанський** (1401–1464) у кн. «Про вчене незнання» (1440 р., видана друком у 1488, 1514 і 1565 рр.) на підставі усього лише логічних розмірковувань ствердив, що 1) «Земля не може перебувати у центрі Всесвіту, оскільки Всесвіт має свій центр скрізь, а коло ніде» – тобто він є неосяжним; 2) стосовно речовини, з якої складається Земля і небесні тіла, то «між ними немає жодної різниці», бо 3) «Земля таке ж, як і інші, небесне світило»; далі що 4) «жодна із зоряних ділянок не позбавлена мешканців» і ще 5) «Земля насправді рухається, хоча ми цього не помічаємо».

«Великою бідною» для астрономів упродовж 15-ти століть було незнання справжніх відстаней – від Землі до Сонця, до інших планет, зрештою – і до «кришталевої сфери», до якої зорі були «не то підвішені, не то на ній намальовані». Так, спробу вставити відстань «Земля – Сонце» здійснили ще **Аристарх Самоський** (III ст. до н.е.) й, услід за ним, **Гіппарх**. Але – применшили її... у 20 разів. Відповідно у стільки ж разів «були меншими» і відстані до всіх планет. Радіус же кришталевої сфери нібито був усього в півтора рази більшим за відстань до Сатурна.

Як уже згадано, з появою книги **Миколая Коперника** (1473–1543) «Про обертання небесних сфер» (1543 р.) розпочалася *перша революція* в астрономії. Чітко і стисло про це написано на пам'ятнику йому, встановленому у Торуні: «Він зрушив Землю // зупинив Сонце на небі» (латинською: **NICOLAUS COPERNICUS THORUNENSIS // TERRAE MOTOR SOLIS CAELIQUE STATOR**).

Довгий час залишалося, однак, питання: чому він зволікав із публікацією своєї книги? Ми даємо таку образну відповідь: він чекав на Йоганна Кеплера (1571–1630), з яким однак «розминувся в часі».

Річ у тім, що «встановивши Сонце у центрі світобудови», Коперник, услід за Птолемеєм, зберіг уявлення про рівномірні (зі сталими кутовими швидкостями) рухи планет (Землі також) по колових орбітах, Тож йому доводилося приймати, що планета рухається навколо фіктивної точки і вже та обертається навколо Сонця. Знову ж таки – по коловій орбіті (насправді тих кілець для кожної планети було декілька). Ведучи уже мову про тяжіння, Коперник, як справжній учений, усвідомлював, що його конструкції є, скажемо так, недосконалими. Як згодом зауважив англійський фізик Джеймс **Максвелл**, якраз Кеплер і вимів із неба це «павутиння», встановивши, що насправді планети кружляють навколо Сонця по еліптичних орбітах.

Як виявилось, числові характеристики моделі Птолемея, «перевернуті з голови на ноги», правильно описують масштаби Сонячної системи – з точністю до на цей час ще невідомого коефіцієнта (скажемо так – «масштабного фактора»). Років через 120 стане ясним: усі відстані в Сонячній системі слід збільшити – у 20 разів.

Видумка ж «завзятих атеїстів», нібито Коперник боявся переслідування з боку Церкви, абсолютно безпідставна. Навпаки загальновідомо, що два високі церковні достойники (кардинал Микола Шонберг і єпископ Тідеман Гізе) буквально змушували його опублікувати книгу якнайскоріше. Очевидно, тому, що Католицька Церква готувала реформу календаря, і свіжі астрономічні дані, як ось – про тривалість астрономічного (тропічного) року – були дуже потрібні.

Неминуче тут постає питання про Джордано Бруно, життя якого закінчилося трагічно – нібито за пропаганду геліоцентричної моделі світу Коперника. І тут правди ні на гріш: на судовому процесі про цю «модель світобудови» навіть не згадували. Питання це досконало вивчали учені США **Л.Лернер** та **Е.Госселін** (див. журн. «В мире науки», М., 1987, № 1, с. 80 –

88). І ось їх висновок: Бруно теорії Коперника фактично не знав і відгукувався про неї так: «його праця постає ... як непорядковане нагромадження безглузвих помилок». «Читаймо»!! То що ж було причиною цієї драми?

Кажуть: Дж. Бруно намагався відновити релігійно-містичні уявлення давніх греків і на їхній основі «примирити поміркованих протестантів Англії з поміркованими католиками Франції проти реакційної Іспанії». Додають ще й таке: його, може, б і не спалили, якби він менш різко виступав проти монастирських прибутків і маєтків...

**Тихо Браге, Кеплер, Галілей...** Ці три видатні постаті «на щастя» таки не розминулися в часі. Інакше: «Де загубилися б високоточні, як на той час, спостереження **Тихо Браге** (1546–1601), проведені ним упродовж двадцяти років, якби не Йоганн Кеплер?». З іншого ж боку: «Що зміг би залишити після себе неперевершений у своїй наполегливості Кеплер, якби не ці результати спостережень Браге?» (хіба 800 складених ним гороскопів??)...

Щасливий збіг обставин – і нова *коперниканська* астрономія отримала для свого розвитку перший потужний імпульс та обґрунтування, якого здолати не могла вже ніяка сила.

Отримавши (1576 р.) від короля у своє розпорядження острів Вен (20 км від Копенгагена, площа 750 га) і «більше ніж бочку золота», на той час усього лише 30-річний Браге зразу ж перетворив його на унікальний астрономічний центр світового значення. Було виготовлено близько 20 високоточних кутівимірних приладів – квадрантів і секстантів, армілярних сфер тощо (рис. 1). Допомогали йому у спостереженнях, точність яких (порівняно з до тогочасними) було підвищено у 50 разів, не менше 20 чоловік, з них 10 учнів і помічників, але й механіків та інших спеціалістів. Кажуть таке: «Витривалість самого Тихо, здавалося не мала меж. Хоча цілі ночі він проводив за спостереженнями, вдень він рідко коли спав...».

Після смерті його високого покровителя Браге 1597 р. залишив Данію і, проблукавши по Європі два роки, опинився у Празі, де й помер. Як свідчив Кеплер, що вже тоді співпрацював

з ним, в останні дні свого життя Браге неодноразово шептав «Життя прожито не даремне!»... І це – велика правда!

Високо цінуючи Коперника, Тихо Браге все ж не сприймав його модель світу. Мовляв, «ця груба маса Землі, так мало пристосована до руху, не може, подібно до інших небесних тіл, зміщуватися і рухатися». І далі: «.. Сонце, Місяць і сфера нерухомих зір... мають центром Землю. П'ять планет обертаються навколо Сонця, як свого вождя і короля, а Сонце... в їх супроводі здійснює свій річний рух навколо Землі». Браге зобов'язав Кеплера використати його спостереження планети Марс для побудови саме такої *гео-геліоцентричної* моделі.

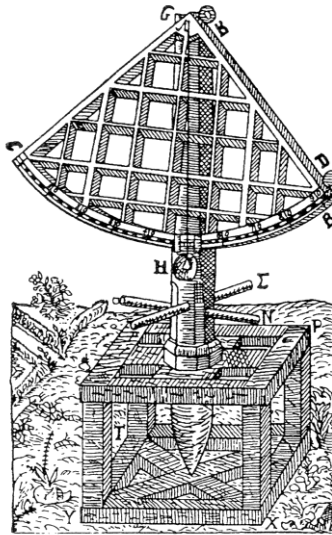


Рис. 1. Квадрант часів Тихо Браге.

**Життя Кеплера** було дуже й дуже важким. Передусім – вкрай слабке здоров'я. Як і гнітюча убогість, відсутність бодай якихось коштів на прожиття – своє і родини (вмирала діти, померла перша, згодом і друга дружина). В одному з листів, маючи на увазі складання гороскопів, він писав: «Краще видавати альманахи з передбаченнями, ніж просити милостиню.

Астрологія – дочка астрономії, хоча й незаконна, і хіба не природно, щоб дочка кормила свою матір, яка інакше могла б померти з голоду...». І склав цих «передбачень» 800...

Після смерті Браге Кеплеру присвоєно звання «імператорського математика» і встановлено плату 500 гульденів на рік (у Браге вона сягала 3000 гульденів). Та за всі 20 років своєї служби Кеплер отримав усього  $\frac{3}{4}$  однорічного окладу... Але це той випадок, коли у слабкому тілі – могутній дух! У тексті «Про себе» він написав, що «безперервно зазнає каяття з приводу втраченого часу». Бо «Бездіяльність – смерть для філософії: так будемо ж жити і працювати...».

Узявшись за опрацювання спостережень Марса, Кеплер сподівався, що зможе «вирішити цю проблему» за 8 днів. Насправді на це затрачено 8 років надсладної праці! Опис його зусиль у встановленні *трьох законів Кеплера* неможливо передати кількома реченнями, усе ним пережите є в кн. «Історія астрономії» (Ів.-Фр, 2006, с. 263–279).

Немаловажне й таке. У Кеплера була уроджена короткозорість і так звана молекулярна поліопія – хвороба, при якій, дивлячись на певний об'єкт (наприклад, на Місяць), він бачив не одне, а декілька його зображень. А все ж якраз він запропонував звичну нам схему телескопа-рефрактора...

**Галілей...** «Прослухавши випадково лекцію з евклідової геометрії, він закинув вивчення медицини», щоб невдовзі стати професором математики й астрономії та отримувати зарплату у 33 разів меншу від професора медицини!

Знаємо: Галілей сконструював телескоп (є свідчення – мікроскоп також) і за його допомогою відкрив гори на Місяці, чотири супутники Юпітера, фази Венери, «роздробив Молочний Шлях на окремі зорі», навіть відкрив плями на Сонці. Це був великий прорив у намаганні збагнути таємниці Світобудови! А найголовнішим було інше. Галілей не сприйняв на віру твердження Аристотеля (яке упродовж 1500 років «бубоніли» у всіх університетах: «ехо діхі – Учитель сказав»): тіла падають на Землю зі швидкостями, які пропорційні їхній вазі (тобто тіло масою 5 кг падає у 5 разів швидше, ніж те, що має масу 1 кг...).



Можливо, він знав, що років 40 до нього французький учений **П'єр Рамус** (1545–1572) вже заявив: «усе, що стверджував Аристотель, – брехливе». Прошли роки. І – ведучи мову про Галілея, англійський фізик **Олівер Лодж** (1851–1940) у кн. «Піонери науки» зазначив: «Він.. вирішив показати факти, якими вони є... В присутності усього університету піднявся на відому падаючу вежу, узявши з собою два ядра: стофунтове та одно фунтове (1 фунт – 0,4095 кг). Він встановив їх на краю вежі і зіштовхнув обидва одночасно. Вони пролетіли разом і разом же діткнулися Землі. Глухий удар падаючих ядер об землю прозвучав як похоронний дзвін над старою системою фізики і провістив народження нової»...

Слід відмітити: і до Галілея було принаймні шість «спроб» заперечити Аристотеля. Але «ніхто не зробив належних висновків та узагальнень». А він це зробив! Хоча й було оте: «У Старому Завіті згадується семисвічник, отже є лише сім планет», «супутники невидні, отже – вони непотрібні, тому не існують». Як і таке: «в голові є сім отворів, також ... існує сім металів,... то планет має бути сім».

Але... «є людина, але й – історична епоха, в якій вона опинилися...зі своїм характером» (що теж немаловажне). Галілей був фундатором експериментальної фізики! Та не для всіх його «інтуїтивних передбачень» можна було віднайти «експериментальні основи», особливо – в астрономії. Аж ніяк не виправдовуючи тодішнє знуцання над ученим («з мотузкою на шиї, в покаяній одежі, стоячи на колінах, зрікався..»), сприймаємо і сказане Галілеєм (його у минулому – другом?) Папою **Урбаном УІІІ**: «Бог може досягати своїх цілей нескінченною кількістю шляхів, тому.. не слід позбавляти Бога вибору» ( в розумінні: Могутній Творець міг влаштувати світ так, щоб світила оберталися навколо Землі, але і так, щоб Земля рухалася навколо Сонця; але доки немає доказів – висловлювання, «з боку науки», мають бути обережними).

Так, Галілей «розтрощив небесну твердь» (!), *логічно* довівши, що «розглядаючи будь-яку ділянку неба, з отої множини зір не знайдете й двох, які були б на однаковій відстані

від нас». Це був величний акорд у розпочатому Коперником («усвідомленого *до основ*, у ті часи, чи й ні?») **звільненні від антропоцентризму** – погляду, ніби то людина перебуває в центрі світобудови.

**Ньютон...** – фундатор теоретичної фізики. Водночас, у тому ж розумінні, й астрономії – **як механіки небесної**. Але, «щоб він з'явився» – (у 1687 р. своєю працею «Математичні основи природознавства») – мало відбутися визначення відстаней до інших планет, тобто – встановлення *масштабів Сонячної системи*. Це якраз і було зроблено у 1672 р. завдяки спостереженням – «в Парижі і Кайєні, яка в Америці» – положення Марса серед зір в його протистоянні із Сонцем («геометрія тут елементарна, а база – діаметр Землі – уже відома!»). І зразу ж тоді «**відстані до планет, порівняно із толемеевими, зросли у 20 разів**».

Це було винятково важливим! До Місяця відстань встановив ще Гіппарх. Так, і рух Місяця, і падіння яблука на голову Ньютона (образне, звичайно) – це вияв одної і тої ж причини! Але для узагальнення, у масштабах Сонячної системи, необхідно знати *реальні* відстані планет від Сонця. Кеплер міг обійтися без них: в його другий і третій закони «входили» усього лише *відносні* відстані, як ось, «відношення кубів великих півосей орбіт», То ж – який завгодно коефіцієнт-множник у чисельнику й знаменнику – тут скорочується! Але зіставляти рух Місяця навколо Землі й Землі навколо Сонця (а тут – різні центри тяжіння!) можна лише у випадку, якщо відомі справжні їх відстані до згаданих центрів!

Щасливо ці відстані було «своєчасно» виміряно. Тож, у підсумку, завдяки Ньютону, і маємо **закон всесвітнього тяжіння!** А це – вияв одної із чотирьох **взаємодій**, завдяки яким наш Світ *є таким, яким є*.

У ті часи вже засвідчила про себе й інша (**електро-магнітна**) взаємодія – у формі світлових потоків, передусім від Сонця. Вона згодом «виявила себе» в одному із розділів фізики – в **оптиці**. І цим питанням Ньютон приділив велику увагу, що не обійшлося без («нікчемної, побутової») трагедії: випадкової

пожежі, коли то згорів чорновик його «Оптики», внаслідок чого він «кілька місяців був зовсім не при своєму розумі» (за кн. **П.С.Кудрявцева** «Історія фізики», т. 1, с. 182, 1951 р.).

Подальший розвиток «знання про весь навколишній світ», упродовж 250 років, відбувався «спокійно», однак – у все стрімкішому темпі. Віддзеркаленням цього є хронологічні таблиці в курсах фізики й астрономії. Тут і «створення першого електричного конденсатора» (1746 р.), і встановлення закону збереження електричного заряду (1750 р.), залежності тиску від температури (1787 р.), встановлення закону електричної взаємодії («закон Кулона», 1785 р.), магнітної дії електричного струму (**Х.Ерстед**, 1820 р.), відкриття **М.Фарадея** явища електромагнітної індукції (1831 р.)...

Головним же у цей період було формулювання *закону збереження енергії*. Як також – її *перетворення з одного виду (форми) в інший..* Серед багатьох трудівників цієї ниви виділяється передусім постать **Ю. Майєра**...

В астрономії тоді ж **Дж. Брайлей** відкрив явище аберації (1727 р.), що стало *першим доказом* правильності теорії Коперника. Згодом (1781 р.) **Вільям Гершель** відкрив нову планету Сонячної системи – Уран. У 1802 р. **Вільям Волластон** (Англія) виявив у сонячному спектрі сім тонких темних ліній. І майже зразу (1814 р.) **Йозеф Фраунгофер** (Німеччина) дослідив та описав їх уже 574!

Тоді ж «у рамках небесної механіки» здійснено всебічний аналіз *задачі трьох тіл*. Своєчасно (!) **Леонард Ейлер** (1707 – 1783) у своїй «Механіці» (1736 р.) виклав «геометричну математику» Ньютона звичною для нас мовою диференціального й інтегрального числення. Він же виявив, що у *задачі трьох тіл рух «може бути стійким і зберігатися подібним до себе»*. Якщо ці тіла в початковий момент, за умови певних відстаней і певних швидкостей, перебували на одній прямій (це випадок трьох *колінеарних точок*).

Цю задачу згодом детальніше розглянув французький математик **Жозеф Лагранж** (1736–1813): рух трьох тіл буде стійким і в тому випадку, якщо вони в початковий момент

розташовані у вершинах рівностороннього трикутника і якщо вони мають певні за величиною і напрямом швидкості. Цей трикутник періодично пульсує, обертаючись навколо центра згаданих трьох гравітуючих точок.

*Ці розв'язки особливо актуальні тепер. Передусім, якщо йдеться про «розташування» космічних лабораторій (телескопів) за межами земної атмосфери!*

Так, у системі Земля – Місяць є точка  $L_1$  – на відстані 57 600 км від Місяця, з протилежного боку така ж (рис. 2). Аналогічні точки є у системі Сонце-Земля (див. с. 53).

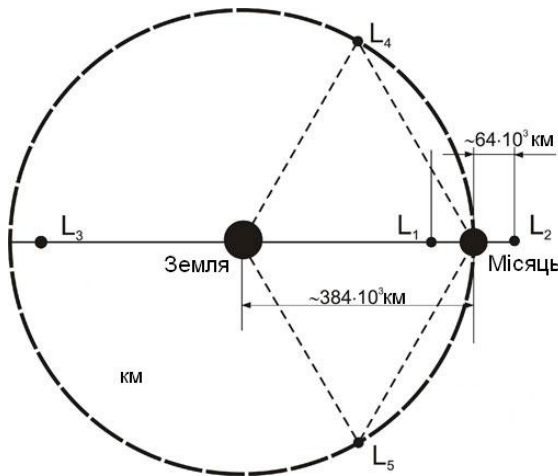


Рис. 2. Точки Лагранжа в системі Земля – Місяць.

Детальніше теорію руху частинок у системі з двома центрами тяжіння розробив французький учений Едуард Рош (1820–1883). Невдовзі складено уявлення про *поверхню Роша*, як також – про *порожнину Роша*, яку ця поверхня охоплює. Йдеться про *поверхню рівного потенціалу*, що охоплює обидві маси у вигляді пісочного годинника й «утворює в перерізі вісімку».

Ці поняття отримали належну оцінку в середині ХХ ст., коли було встановлено: як тільки процесі еволюції подвійної

системи масивніша зоря заповнює свою *порожнину Роша*, через *внутрішню точку Лагранжа  $L_1$*  речовина цієї зорі «перепливає» до її супутника (рис. 3) та «осідає» на його поверхні. Внаслідок подальшого розігріву цієї речовини в ній розпочинаються термоядерні реакції і, як наслідок, настає спалах – явище *Наднової «типу 1a»*. Виявлення їх у найдалших галактиках допомогло (майже 25 років тому) зробити висновок: «на найбільших космічних відстанях Всесвіт розширюється з прискоренням». Так виявляє себе *якась «темна енергія»*.

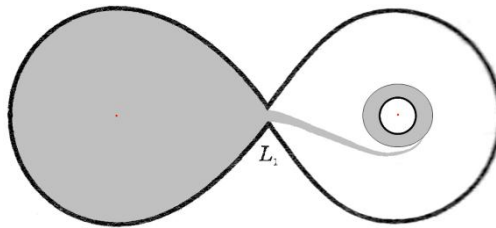


Рис. 3. Перетікання речовини від зорі-гіганта в бік білого карлика через внутрішню точку Лагранжа  $L_1$ .

З 17-го ст. у фізику поступово входить поняття *енергії* як міри руху. У середині XIX ст. було зформульовано *закон збереження енергії* – як *перше начало термодинаміки*. Введено поняття *ентронії* як міри якісного знецінення активності енергії. Адаже у фізичних системах, ізольованих від зовнішніх впливів, теплові явища розвиваються у напрямі вирівнювання температури. У цьому суть *другого закону термодинаміки*. Це породило *«термодинамічний парадокс»*: унаслідок вирівнювання температури будь-які зміни в стані речовини ставали б неможливими, тож загалом мала б настати *теплова смерть Всесвіту*. Оскільки ж її «ще нема» то це одзначає, що «з моменту його формування пройшло не так вже й багато часу».

У XIX ст. поступово відбулося об'єднання розуміння суті електричних і магнітних явищ. Вирішальними тут були праці англійського фізика **Майкла Фарадея** (1791–1867), який,

зокрема, у 30-х роках увів поняття *поля*, що, як висловився А.Айнштейн, стало найважливішим відкриттям від часів Ньютона. Фарадей увів поняття про електричні та магнітні силові лінії, висловив ідею про електромагнітну природу світла, також (у 1840 р.) – думку про єдність сил природи та взаємне перетворення різних видів енергії. Математичне обґрунтування теорії електромагнітного поля здійснив у 1855 р. англійський фізик **Джеймс Максвелл** (1831–1879), який також відкрив закон розподілу молекул за швидкостями.

Ще, конспективно, – про інші здобутки XIX ст. У 1843 р. Генріх **Швабе** (Німеччина) відкрив періодичність (бл. 11 років) у появі плям на Сонці. У 1846 р. на підставі обчислень Урбена **Левєр'є** Йоганн **Галле** відкрив восьму планету Сонячної системи – Нептун. 1851 р. в Парижі встановлено *маятник Фуко* – прилад для демонстрації обертання Землі навколо своєї осі. 1854 р. – Герман **Гельмгольц** (Німеччина) висловив думку, за якою енергія Сонця звільняється внаслідок його неперервного стискування. У 1859 р. Роберт **Бунзен** і Густав **Кірхгоф** (Німеччина) встановили, що за особливостями спектрів зір можна вивчати їхній хімічний склад. У 1868 р. Джозеф **Лок'єр** (Англія) виявив у спектрі Сонця лінію раніше невідомого хімічного елемента – *гелію* (на Землі його відкрито у 1895 р.).

Уважніше дослідження випромінювання лабораторних джерел і небесних тіл привело до встановлення **Й. Стефаном** і зразу ж, загальніше (1879–1884), **Л. Больцманом** закону: енергія випромінювання чорного тіла пропорційна четвертому степеневі його абсолютної температури. Згодом (1891 р.) **В. Він** довів, що максимум випромінювання чорного тіла зі збільшенням температури зміщується в бік коротких хвиль. Між тим у 1885 р., **Й. Бальмер** виявив, що довжини хвиль чотирьох тоді відомих ліній водню у спектрах зір пов'язані простим співвідношенням, утворюючи *серію Бальмера*. Це стало поштовхом для пошуку інших серій і, врешті-решт, привело до уявлення про енергетичні рівні атома водню та ін.

«З того часу» й розпочався уже *Нобеліанський етап розвитку фізики...* І, напевне, саме тут доречно пригадати оте

влучно зформульоване уже сто років тому: *астрономія тримається на трьох китах: Перший* – потужна спостережувальна техніка (телескопи й приймачі енергії), *другий* – *сукупність усіх законів і висновків фізики* (експериментальної і теоретичної). *І третій* – сучасні надпотужні обчислювальні машини. Тому й *Нобеліантів-фізиків*, особливо теоретиків, можна б звати *космофізиками, точніше – космомікрофізиками....*

## Нобеліанський розмай – «на грані століть»

Про те, що буде *саме така Премія* (та ще й «у якомусь там грошовому еквіваленті»), наприкінці XIX ст., річ ясна, ніхто й не підозрівав. Десятки, сотні учених у різних країнах світу (тоді – передусім у Європі) просиджували ночами, тижнями, місяцями у своїх лабораторіях у намаганні («бо така вже людська природа») з'ясувати «бодай щось» зі сказаного кимсь мудрим: «іди туди, не знаю куди, і візьми те, не знаю що».

І ось наприкінці XIX ст., саме завдяки їхній допитливості й спостережливості, були здійснені відкриття, відзначені згодом цією Премією. Бо якраз тоді «стало в чергу» виявлення (можна сказати – формування) різних напрямів у розкритті «найпо-таємніших таємниць Світобудови».

**Ось вони, ці відкриття**, що були невдовзі 12 разів відзначені *цією Премією*:

**1895 р.** – Вільгельм **Рентген** (нім. вч., 1845–1923) відкрив *X-промені* (названі *Пулюєм рентгенівськими*). **Премія 1901 р.**

**1893 – 1896 рр.** Вільгельм **Він** (нім., 1864 – 1928) 1) встановив, що максимум випромінювання у спектрі чорного тіла зі збільшенням температури зміщується в бік коротших хвиль, і 2) вивів закон розподілу енергії в короткохвильовій частині спектра. **Премія 1911 р.**

**1896 р.** – Антуан **Беккерель** (фр. вч., 1852–1908) – природну *радіоактивність урану*. **Премія 1903 р.**

**1897 р.** – Джозеф Джон **Томсон** (англ. вч., 1856–1940) – відкрив

*електрон. Премія 1906 р.*

**1898 р.** – **Марія Склодовська-Кюрі** (польськ., 1867–1934) і **П'єр Кюрі** (фр., 1859–1906) – дослідження радіоактивного випромінювання, зокрема – відкриття полонію і радію, введення поняття періоду піврозпаду. **Премія 1903 р.** (з **А.Беккерелем**).

**1899 р.** – **Ернест Резерфорд** (англ., 1871–1937) – відкрив і дослідив *альфа* і *бета* промені. **Премія** (з хімії) **1908 р.**

**1900 р.** – **Джон Релей** (англ., 1842–1919) вивів закон розподілу енергії у довгохвильовій ділянці спектра (а ще став співвідкривачем аргону). **Премія 1904 р.**

**1900 р.** (4.XII) – **Макс Планк** (нім., 1858–1947) встановив: «осцилятори» випромінюють енергію *порціями*, він же увів поняття «кванта дії», вивів формулу *розподілу енергії у спектрі чорного тіла*. **Премія 1928 р.**

**1901 р.** – **Жан Перрен** (фр., 1870–1942) – розробив – одним із перших, *планетарну модель атома*, дослідив структуру речовини та довів реальність молекул. **Премія 1926 р.**

**1896–1902 рр.** – **Пітер Зеєман** (нідерл., 1865–1943). Відкрив явище розщеплення спектральних ліній під впливом магнітного поля. **Премія 1902 р.**

**1896–1904 рр.** – **Хендрик Лоренц** (нідерл., 1853–1928) – розробив теорію розщеплення ліній за наявності магнітного поля, згодом (1904 р.) вивів формули, які пов'язують просторово-часові співвідношення у двох різних інерціальних системах відліку. **Премія 1902 р.**

**1905 р.** – **Альберт Айнштайн** (нім./євр., 1879–1955) ввів уявлення про *дискретну структуру світлового випромінювання*, тобто про *кванти* (що їх можна назвати *фотонами*, здогадався у 1929 р. **Г.Льюїс**), вивів *закон фотоефекту*, згодом створив *спеціальну* (1905 р.) і *загальну* (1915 р.) *теорії відносності*. **Премія 1921 р.**

Саме в ці роки, «зокрема й передусім» завдяки згаданим ученим, формувалися («треба ж так») нові напрями розвитку фізики/астрономії.



Так, **В.Він** з'ясував тонкощі розподілу енергії у спектрах «світних об'єктів» «зліва» (з боку менших довжин хвиль), **Дж. Релей** – «справа». Намагання ж «розширити» одне чи друге вело до «ультрафіолетової катастрофи». І тут, «з'явився» **М. Планк**, який після шести років зусиль усе це «поєднав» відомою елегантною формулою. І «можна запитати»: кому вона найбільше потрібна? Без сумніву – астрономам, астрофізикам, космофізикам!

Певним же доповненням тут (але у 1895 р. хто про таке здогадувався?..) якраз стало відкриття отих «X», але ми звемо їх *рентгенівськими*, променів. Ми знаємо уже, що крім видимих променів світла (тих, що в оптичному діапазоні) «з одного боку» є *інфрачервоні*, до 0,01 см, і далі *радіохвилі* – до 1000 км. З другого – *ультрафіолет*, тоді ці «X», тобто *рентгенівські*, за ними – *гамма-випромінювання* (рис. 4).

І одною з найбільших загадок в астрономії сьогодні є «природа» якраз імпульсного гамма-випромінювання. Що це? Наслідок зударень зір у далеких галактиках? Чи інші якісь катастрофи космічного масштабу?

Отже – «на порозі ХХ ст.» відкрито електрон, уже є формула Планка, Айнштайн доводить, що світло є потоком квантів. І повільно, «але невпинно» відбувається з'ясування «кожного з цих об'єктів зокрема, але – і в поєднанні». **Роберт Міллікен** (ам., 1868–1953) у 1910 р. визначив заряд електрона (*Премія 1923 р.*).

Зразу ж **Лоренц**, узявши до уваги доробок **Максвелла** (тобто ідеї *електродинаміки*), завершив побудову *електронної теорії*: «атоми складаються з електронів і додатньо заряджених частинок, які їх нейтралізують; при русі ж цих зарядів виникають електричні та магнітні поля». Формується поняття *електромагнітної взаємодії* (поглинання і перевипромінювання квантів світла), тобто взаємодії «*власників*» електричних зарядів, яка здійснюється обміном фотонів (*носіями* взаємодії).

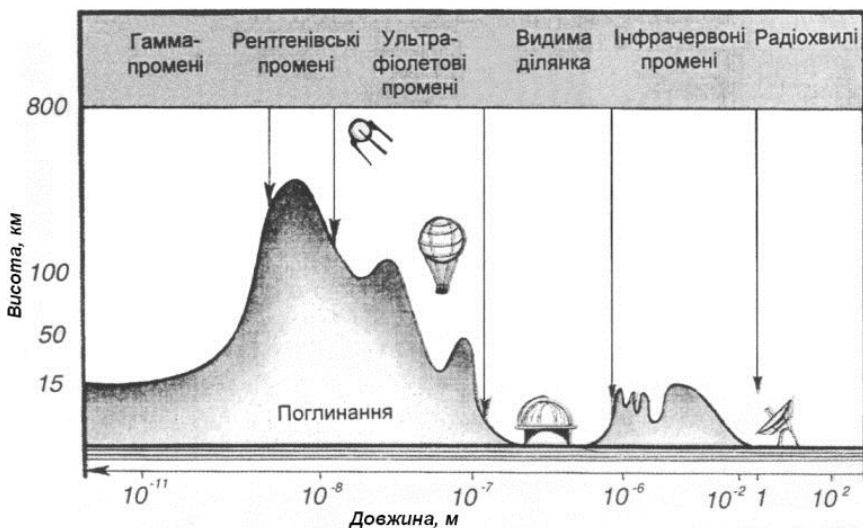


Рис. 4. Шкала електромагнітних хвиль та умови їх проходження через земну атмосферу.

Неможливо уявити розвиток астрономії/астрофізики без знання *трьох ефектів* – Доплера, Зеємана і Штарка.

Християн **Доплер** (австр., 1803–1853) у 1842 р. з'ясував «залежність частоти звукових і світлових коливань від швидкості джерела відносно спостерігача», обґрунтовану через шість років **Арманом Фізо** (фр., 1819–1896). Наскільки недолугим було би наше знання про світ галактик без цього *ефекту Доплера...* Зрештою – і про рухи зір у нашій Галактиці, і про зміщення згустків речовини в атмосферах окремих зір!

*Ефект Зеємана...* Якби астрономи не знали про нього (як теоретичне передбачення!!) – що могли б вони сказати про роль магнітних полів в атмосферах зір, конкретно – Сонця? Звідки вони могли б отримати інформацію про те, що це якраз при анігіляції (руйнуванні) магнітних полів протилежної полярності на поверхні Сонця відбуваються спалахи і що при кожному з них виділяється енергія, еквівалентна мільйону водневих бомб?... А таких вибухів у максимумі сонячної активності (через кожні 11 років) буває до десяти за добу!...

**Ефект Штарка.** Йоган Штарк (нім., 1874–1957) виявив (1913 р.) і пояснив явище розщеплення спектральних ліній в електричному полі, як також зсуву рівнів енергії атомів і молекул під дією цього поля (*Нобелівська премія 1919 р.*). Виміри зумовленого цим ефектом розширення спектральних ліній дали змогу визначати концентрацію заряджених частинок в атмосферах зір.

Сказаним тут віддаємо данину ученим, які започаткували з'ясування можливостей вивчення Всесвіту завдяки реєстрації електромагнітного випромінювання. Сходження вверх цією стежкою було дуже й дуже нелегким. Адже доводилося удосконалювати методи досліджень, розробляти технологію будови все більших телескопів (від однометрових дзеркал до, тепер, 11-метрових). Від реєстрації потоків на фотоемульсію з ефективністю («коефіцієнтом корисної дії») 1% до теперішніх Приладів Зарядового Зв'язку (ПЗЗ) із «ефективністю» до 90%. І – досягнуте ними ілюструють числом: такий же, певний ефект фотографічним методом можна б досягнути за допомогою телескопа діаметром дзеркала 30 м...

Від отої *грані століть*, «від Беккереля», простяглася чи не найважливіша доріжка: *пошуку відповіді на питання, «що таке атом»?* (у давніх греків «томе» – ділити, «а» – заперечний префікс. Особливо коли йдеться про атоми, важчі від водню. З урахуванням уявлення, висловленого 1815 р. англійцем **Проутом:** «усі складніші елементи складаються з водню».

Тож «мав бути» **Ернест Резерфорд**, один із великих творців сучасної фізики/космофізики. І – з гумором згадуємо оте його про молодих ентузіастів: «який із нього фізик, якщо він не може отримати науковий результат, узявши жмут дроту і півжмені сургучу!».

## **До зір – через атом!**

«За щасливим збігом обставин» наприкінці ХІХ ст. фізики уже якнайсерйозніше «перейнялися таємницями атома».

Вчасно! Бо перед їхніми колегами-астрономами уже «на весь рiст» постали питання: чому  $N_1$  кількість атомів формує зорю типу Сонця, тоді як, коли їх  $N_2$ , – зоря є гігантом чи аж надгігантом, із радіусом у 100 чи й 10 000 разів більшим від сонячного! Або карликом...

Тоді, в останній чверті столітті група астрономів здійснила каторжну роботу з класифікації багатьох сотень зір за особливостями їх спектрів (тобто фактично визначили поверхневі температури зір). Завершилася ця робота побудовою **діаграми спектр-світність** чи, інакше, **діаграми Герцшпрунга-Рессела** (рис. 5). В її назві увічнено шану двом провідним тогочасним астрономам. **Ейнар Герцшпрунг** (дан., 1873–1967) у 1905–1907 рр. відкрив існування зір-гігантів і зір-карликів (порівняно із Сонцем). Він довів, що зорі, які «в основному» мають однакові спектри (тобто однакову поверхневу температуру), можуть

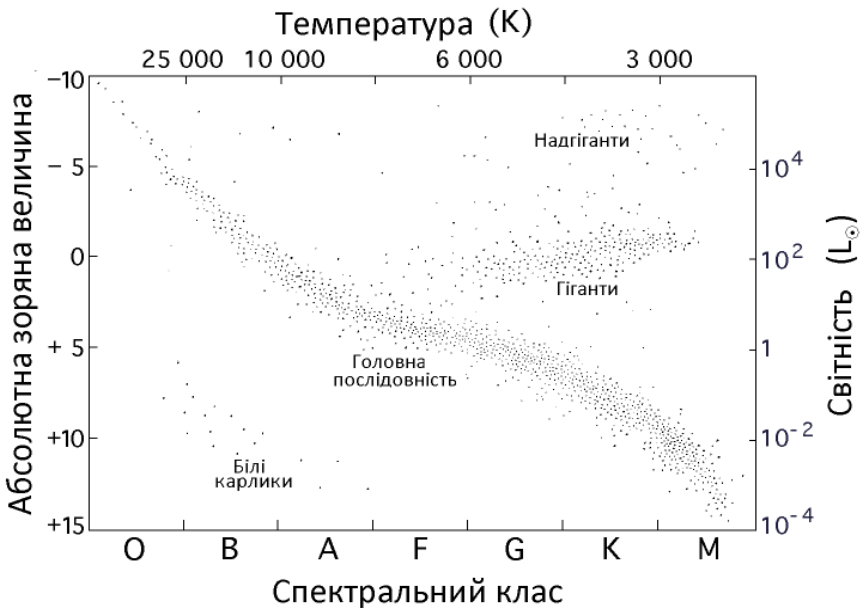


Рис. 5. Діаграма спектр-світність (Герцшпрунга – Рессела).

істотно відрізнятися за своєю потужністю. **Генрі Рессел** (ам., 1877–1957) крім «добудови» цієї діаграми розробив концепцію

еволюції зір, за якою головним джерелом енергії зір є гравітаційне стискування.

Шахи... Чудова гра! Але неможливо уявити її без шахової дошки! Аналогічно важко уявити будь-які розмірковування про будову й джерела енергії зір, особливо ж – про їх еволюцію без діаграми спектр-світність. Стисло про неї можна сказати таке. По горизонталі на ній відкладають «поверхневу» температуру зорі  $T$  або спектральний клас чи просто вказують колір зорі. Зліва біло-голубий, тут температура близька до 30000 К. посередині шкали  $T = 6000\text{K}$ , колір таких зір жовтий (тут і наше Сонце). Зправа  $T = 3000\text{K}$ , сюди «вкладаються» червоні зорі. По вертикалі відкладають потужності – світності зір  $L$  – в одиницях світності Сонця.

І тут виявляє себе дивовижна річ. Якби між згаданими характеристиками зір не було певної залежності, то сотні чи й тисячі зір розподілялися б «на полі» діаграми рівномірно. Тимчасом 90% з них вкладається на вузьку смугу, що перетинає це поле зліва направо і – зверху вниз. Близько 10% займає лівий нижній кут, це білі карлики. Справа зверху є гіганти, ще вище – надгіганти. Їхні радіуси відповідно у сотні і тисячі разів перевищують сонячний.

Найважливішою характеристикою зорі є її маса. У зір червоних карликів вона не перевищує 0,1, у білих гігантів сягає 100 мас Сонця. І – дуже визначальне: чим більша маса зорі, тим вище місце вона займає на головній послідовності.

Усі ці «статистичні дані», повторимось, були отримані на початку ХХ ст., коли невідомим ще був вік Землі як планети, ще необхідно було дати відповідь на питання «що таке атом?»

Завдяки здобуткам Нобеліантів Беккереля, Марії і П'єра Кюрі, також Резерфорда і **Фредеріка Содді** (англ., 1877 – 1956, *Премія з хімії 1921 р.*), почавши із досліджень ними радіоактивного розпаду урану (і ін.), було розроблено засоби встановлення віку Землі, метеоритів, згодом – доставлених із Місяця зразків його «грунту». Обмежимося зауваженням: з 1 кг урану в конкретному зразку через 100 млн років виділяється 13 г, через 2 млрд років – 225 г свинцю.

У 1911 р. Резерфорд запропонував *модель атома* із щільним, вкрай малих розмірів ядром, яке має додатній електричний заряд (згодом, у 1920 р., він же передбачив існування нейтрона і дейтрона). Зразу ж, у 1913 р., застосувавши ідею Планка про квантування енергії, на основі цієї моделі **Нільс Бор** (дан., 1885–1962), прийнявши уявлення про дискретність енергетичних станів в атомі, створив «планетарну» *модель атома*. Основою тут були два відомі постулати: 1) всупереч законам електродинаміки електрон може перебувати на певному енергетичному рівні («на стаціонарній орбіті»), не випромінюючи енергію, і 2) він випромінює (чи поглинає) квант світла при переході на інший рівень («на іншу орбіту»). Ці постулати Бора було сприйнято навіть вороже, як ось: «Якщо це правильне, то воно означає кінець фізики як науки» (А. Айнштейн). А Х. Лоренц взагалі пожалкував, що не помер п'ятьма роками раніше, «коли у фізиці все ще зберігалася відносна ясність»... А **Нобелівська Премія** була – **1922 р!**

Згодом (1927 р.) Бор «здивував» усіх своїм *принципом доповнювальності*: кожне істинно глибоке явище природи не може бути визначене за допомогою слів нашої мови і потребує для свого визначення принаймні двох додаткових понять, що взаємно виключають одне одного. Інакше: наші визначення явищ природи бувають однозначні, але при цьому не повні; коли ж вони повні, то неоднозначні, бо включають в себе додаткові поняття, що є несумісними в рамках формальної логіки.

Але, щоб «аж до такого дійшло», **Луї де Бройль** (фр., 1892–1987) мав показати, що всі тіла у природі мають водночас і хвильові, і корпускулярні властивості. Ця ідея була блискуче підтверджена дифракцією електронів у кристалах, вона відзначена **Премією 1929 р.**

Цю ідею використав (1926 р.) **Ервін Шредінгер** (австр., 1887–1961) при створенні основ *хвильової механіки*, рівняння якої подібне до рівняння коливання струни. Однак там функція задає *форму струни* в певний момент часу, тут же хвильова функція визначає імовірність перебування частинки у певному елементі об'єму. Тож, якщо у класичній фізиці розв'язком задачі

про рух частинки є *траєкторія*, то в мікросвіті є лише *імовірність* для кожного моменту часу. **Премія 1933 р.**

Дещо раніше (1925 р.) **Вернер Гайзенберг** (нім., 1901–1976) цю ж задачу розв’язав інакше – використавши апарат матриць. Він же (1926 р.) постулював *співвідношення невизначеностей*: у мікросвіті неможливо водночас точно визначити швидкість частинки  $v$  та її координату  $r$  (чи  $x$ ), як також її енергію  $E$  на певний момент часу  $t$ . І одне і друге знаходять із певними похибками  $\Delta v_x$  і  $\Delta x$  чи  $\Delta E$  і  $\Delta t$ . Самі ж співвідношення невизначеностей мають вигляд ( $m$  – маса частинки,  $h$  – стала Планка і  $\hbar = h/2\pi$ ):  $\Delta x \cdot \Delta v_x \geq \hbar/m$ ;  $\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar$ . **Премія 1932 р.**

І ще один подвижник 20-х років ХХ ст. – **Вольфганг Паулі** (австр., 1900–1958). Розглядаючи особливості роздвоєння спектральних ліній деяких елементів, він зробив висновок, що електрон має двозначність квантових властивостей, яку «неможливо описати класично», Тож введено поняття *спіна як характеристики внутрішнього стану електрона* –  $+\frac{1}{2}$  і  $-\frac{1}{2}$  (в одиницях  $h$ ). Зформульовано було *принцип Паулі*: дві тотожні частинки з півцілими спінами в одиничному фазовому просторі не можуть перебувати в одному стані. Тому то в атомі гелію на «орбіті» з номером  $n = 1$  є два електрони, але й у всіх інших, «важчих» елементів на цій «орбіті» їх також по два. Один ніби «крутиться навколо осі» *за*, інший *проти* годинникової стрілки. У 1931 р. Паулі висловив гіпотезу про існування *нейтрино*. **Премія 1945 р.**

\Особливо плідною у справі розробки математичного апарату квантової механіки була тоді ж праця **Поля Дірака** (англ., 1902–1984). Згодом (1931 р.) він передбачив існування *античастинок* (зокрема, *позитрона*), народження й *анігіляцію* електрон-позитронних пар, висунув ідею про існування елементарного магнітного заряду (монополь Дірака). **Премія 1933 р.**

Наявність у природі нейтронів, як електрично нейтральних частинок, довів 1932 р. **Джеймс Чедвік** (англ., 1891–1974). **Премія 1935 р.**

Зразу ж **Дмитро Іваненко** (укр., 1904–1994) розробив

моделі ядер із протонів і нейтронів. У співавторстві з **Ігорем Таммом** (рос., 1895–1971, *Нобелівська Премія 1958 р.*) опрацював одну з перших теорій ядерних сил, у якій доведено можливість переносу взаємодії частинками, що мають масу спокою (йшлося про обмінний характер ядерних сил).

Було зформульовано поняття *сильної взаємодії*. І в 1935 р. **Хіджі Юкава** (яп., 1907–1981) висловив ідею про існування мезонів – частинок з масою близько 200 мас електрона, які реалізують взаємодію протонів і нейтронів у ядрі. Передбачені *пі-мезони (піони)* відкрито в 1947 р. *Премія 1949 р.*

У 1932 р. **Карл Андерсон** (ам., 1905–1991) виявив у *космічних променях позитрони*. Він же у 1938 р. (у співавторстві) відкрив *мюони* та визначив їх масу. *Премія 1936 р.* Тоді ж **Патрік Блекетт** (англ., 1897–1974) розробив методику реєстрації та дослідження космічних променів. І в 1933 р. підтвердив відкриття позитрона, також – довів існування злив  $e^-e^+$ . Він же розвинув концепцію породження пар  $e^-e^+$  за рахунок гамма-випромінювання, також експериментально довів наявність зворотного процесу – *анігіляції*. *Премія 1948 р.*

Багатоплановими й успішними були дослідження **Енріко Фермі** (італ., 1901–1954). Після відкриття позитрона ( $e^+$ ) невдовзі встановлено, що *маса нейтрона більша, ніж протона*, і, отже, може здійснюватися його *розпад за схемою*  $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$ . Е.Фермі у 1933-34 рр. створив кількісну теорію цього *бета-розпаду*. Цим було закладено основи теорії *слабкої взаємодії*. У 1942 р. Фермі збудував перший ядерний реактор і здійснив його запуск (2.ХП). *Премія 1938 р.*

Окремого розгляду заслуговувало питання про так звані *космічні промені*. Їх вивчення розпочалося орієнтовно у 1900 р. з дослідження іонізації газу в закритій посудині. У пошуку факторів, що обумовлюють цю іонізацію, були організовані польоти на повітряних кулях. Переконливим став результат австрійського фізика **Віктора Гесса** (1883–1964) у 1912 р, коли він на висоті 5 км зареєстрував у декілька разів більшу іонізацію, ніж на березі моря. В рік відзначення його *Нобелівською Премією (1936 р.)* було остаточно доведено, що первинні космічні



промені є зарядженими частинками, у 1939–1941 рр. – що це в основному протони, у 1948 р. – що в складі первинних космічних променів є ядра різних хімічних елементів.

Два астрономи – **Бруно Россі** (іт./амер., 1905–1993) і **Ріккардо Джакконі** (іт./амер., 1931 р.н.) наприкінці 50-х років стали піонерами в царині ракетних фізичних експериментів, побудови рентгенівських телескопів і виявлення джерел рентгенівського випромінювання за межами Сонячної системи. Зокрема, **Р.Джакконі** очолював наукові програми орбітальних *рентгенівських обсерваторій «Ухуру» та «Айништайн»* (запуски 1970 і 1978 відповідно). *Премія 2002 р.*

**Мартін Райл** (англ., 1918–1984) отримав *Премію 1974 р.* «за піонерські дослідження в царині радіофізики». При нагородженні було відмічено: «Радіоастрономія дає унікальну можливість дослідити те, що відбувається, а фактично відбувалося дуже давно, на дуже великих відстанях від Землі... Це відкриття проклало шлях для нових методів дослідження речовини в екстремальних фізичних умовах». М.Райл один із перших розпочав спостереження дискретних джерел радіовипромінювання, зокрема, на Сонці. За допомогою розробленого ним методу *апертурного синтезу* здійснив зі своїми співробітниками декілька радіооглядів північного неба та складання Кембриджських каталогів «3С», «4С», «5С». У 1963 р. **Мартен Шмідт** (нідерл., 1929 р.н.), досліджуючи спектр об'єкта 3C273, започаткував вивчення *квazarів*.

Переглядаючи ці кілька сторінок, переконаємось: слова **Роберта Емдена** (швейц., 1862–1940) – «Дорога до пізнання зір пролягає через атом» – були і залишаються дуже влучними. Водночас усвідомлюємо: дуже своєчасною була «пооява» для нас отого «третього кита» – усього розмаїття ідей сучасної теоретичної фізики, щоб учені змогли адекватно осмислювати результати спостережень, проведених «на землі і під водою (про це далі)», але й, за допомогою космічних апаратів, – за тисячі і мільйони кілометрів поза нашою планетою. На той час таємниці атома значною мірою вже були з'ясовані і розкриті (згодом навіть будуть кварки як «трискладові» протона чи нейтрона).

Прийшла пора з'ясувати: «чому світяться зорі?».

## **Зорі: джерела енергії й проблеми еволюції**

«Для початку» можна б згадати, що **В. Гершель** у 1795 р. уявляв, нібито Сонце – темна, тверда і холодна куля, поверхня якої, можливо, заселена живими істотами, що навколо Сонця є два шари хмар: зовнішній (гарячий) і внутрішній – темний та холодний, та що сонячні плями – це дірки у хмарах, крізь які проглядає ота холодна сонячна поверхня. Згадаємо тут і слова «про таємниці Сонця» нашого земляка, директора Пулковської обсерваторії **Бориса Герасимовича** (1889–1937): «Перед нами – одна з найвеличніших проблем, які коли-небудь природа ставила перед людиною. Ця проблема ще дуже далека від свого вирішення. По-суті, ми лише тепер домоглися її правильної постановки – її розв'язок є справою майбутніх поколінь».

Насправді вона нібито була розв'язана уже через три роки. Але кажемо «нібито». Бо інакше як пояснити той факт, що на тему еволюції зір (що неминуче включає в себе і проблеми як енергії, так і хімічної еволюції речовини в надрах зір, передусім Сонця) в заключні 30 років ХХ ст. щорічно публікувалось до 5000 статей. Щорічно проводили по одному-два симпозиуми /колоквиуми на ці теми. Тобто: головний механізм виділення енергії в надрах зір з'ясовано. Це – реакції синтезу ядер все складніших хімічних елементів. Але щоб пояснити їх поширеність у Всесвіті, доводиться «використовувати» вісім варіантів реакцій (плюс ще декілька «із дозоряної стадії»).

Основою тут є формула Айнштейна  $E = mc^2$ , точніше, наявна завдяки **ефекту упаковки** різниця маси чотирьох нуклонів і маси ядра гелію, помножена на  $c^2$ . Вона і дає вихід енергії при синтезі одного ядра гелію:  $E = 4,3 \cdot 10^{-12}$  Дж. За тою ж схемою оцінюється і «видаїність енергії» усіма наступними реакціями. З одним «але»: реакції синтезу все важчих ядер аж до заліза включно є **екзотермічними**, тобто супроводжуються виділенням енергії, усі ж подальші, аж до формування ядер урану, – **ендотермічні**. Тут уже виявляє себе «мудрість космічної кузні»: «стискайся, зіронько,

і віддавай частину звільнюваної гравітаційної енергії на kleпання все важчих ядер», схему реакцій фізики згодом придумують! Зокрема, **У.Фаулер** та його сучасники (див. нижче). «А що від вісмуту до урану «мляві» процеси занадто неефективні, то я, твоя Матінка-Природа, придумую *нейтрино*, потоки яких миттєво будуть виносити геть оту звільнювану гравітаційну енергію. А різке зменшування тиску в околі центра зорі приведе до катастрофи – *колапсу*. І ото якраз за ті лічені хвилини/секунди і буде склепано увесь заключний ланцюжок ядер до урану включно. Бомбу матимеш, ну, й електрику»...

Чи не першим, хто «запідозрив» ще в 1920 р., що Сонце висвічує енергію внаслідок «ядерного горіння водню при його перетворюванні в гелій», був англійський астроном **Артур Еддінгтон** (1882–1944). Згодом, наприкінці 20-х років осмислити перебіг можливих реакцій ядерного синтезу в надрах зір намагався **Г. Гамов** – вчений, як уже згадано вище, широкого профілю і з тонким відчуттям суті тої чи іншої проблеми – від походження планет, «народження і смерті Сонця», походження хімічних елементів і аж до «триплетної системи інформаційного коду білкової молекули ДНК» – запису літер генетичного коду у світі живих форм. Але, підіймаючи великі питання і пропонуючи правдоподібні відповіді на них, він не опрацьовував деталей...

Тож перший ґрунтовний аналіз термоядерних процесів, які відбуваються в надрах зір, здійснив у 1938 р. **Ганс Бете** (нім., 1906–2005). Він відкрив цикли термоядерних реакцій, що є джерелом енергії зір головної послідовності. **Нобелівська Премія 1967 р.** При нагородженні зазначено: ця праця «є одним із найважливіших використань фундаментальної фізики у наш час і веде до поглиблення наших знань про Всесвіт».

Спочатку Бете дослідив «шестиступеневий» вуглецево-азотний цикл (*CNO*-цикл) формування ядер гелію з 4-х протонів, в якому вуглець, азот і кисень відіграють роль каталізаторів. Наступного року він (і незалежно від нього **К.Вайцекер**) опрацював схему протон-протонного (*p-p*) циклу. Перший «працює» в надрах зір, маси яких більші від сонячної. Відмінність між ними полягає в тому, що для *p-p* –циклу середній

час реакції становить 14 млрд років, тоді як для CNO-циклу 320 млн років. Тому й вік Сонця вимірюємо мільярдами років, тоді як зорі верхньої частини головної послідовності перебувають на ній кілька сотень мільйонів років.

А ось деякі штрихи з біографії Бете. У дитинстві він мав слабе здоров'я (зокрема, у віці 10 років захворів туберкульозом), тож довго навчався приватно. Але в подальшому відзначався винятковою працьовитістю: просиджував по декілька днів-ночей за обчисленнями, щоб обґрунтувати ті чи інші емпіричні дані. Під його керівництвом захистили дисертації понад 80 аспірантів...

**Важливий внесок у розуміння процесів, завдяки яким формується наявне співвідношення вмісту різних хімічних елементів в атмосферах зір та в міжзоряному середовищі, здійснив Уїльям Фаулер (ам., 1911–1995). Премія 1983 р.**

В 1957 р. він довів, що синтез важких елементів відбувається внаслідок захоплення вільних нейтронів унаслідок *s*- або *r*-процесів. Передусім: *s*-процес (від англійського *slow* – повільний) – це процес повільного захоплення нейтронів у ядра зір із  $M \geq 1,5M_{\odot}$  на пізньому етапі їхньої еволюції. Потрапляючи в ядро, нейтрон перетворюється в протон раніше, ніж це ядро захопить ще один нейтрон і стане стійким ізотопом. Так утворюються ядра все важчих (після заліза) хімічних елементів аж до вісмуту ( $^{209}\text{Bi}$ ). Джерелами вільних нейтронів є реакції типу  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C} \rightarrow ^{23}\text{Mg} + n$ ,  $^{16}\text{O} + ^{16}\text{O} \rightarrow ^{31}\text{S} + n$ .

У свою чергу *r*-процес (від слова *rapid* – швидкий) – це процес захоплення нейтронів атомними ядрами, який відбувається у надрах Наднової під час спалаху упродовж усього близько 100 с, тоді саме утворюються ядра елементів з атомною масою до  $A \approx 270$  (зокрема урану і торію).

За рахунок *s*-процесів утворюються «надлишки» ядер поблизу атомних мас  $A \approx 86, 130$  і  $196$ , за рахунок *r*-процесів – при  $A \approx 90, 140$  і  $210$ .

Як зауважив У. Фаулер у своїй Нобелівській лекції, «повний хід синтезу елементів у зорях описано у статті Дж. і М. Бербіджів, У. Фаулера та Ф. Хойла (1956 р.)». Але вичерпне опрацювання теорії *s*-процесу належить саме йому. Згодом

(1965 р.) він здійснив ще й детальний аналіз задачі про формування ядер  $\text{He}^4$ ,  $\text{He}^3$  і  $\text{D}$  упродовж перших трьох хвилин розширення Всесвіту.

«Історія існування будь-якої зорі – це справді титанічна боротьба між силою гравітації, яка намагається її необмежено стиснути, і силою газового тиску, котра прагне її «розпошити», розсіяти в навколишньому міжзоряному просторі. Багато мільйонів і мільйонів років триває та «боротьба». Протягом цих дивовижно великих строків сили рівні. Та врешті-решт... перемога буде за гравітацією. Такою є драма еволюції будь-якої зорі».

Цими словами **Й.С.Шкловський** (1916–1985) охарактеризував причину, яка призводить до утворення білих карликів, нейтронних зір або ж чорних дір: на певному етапі розвитку зорі її рівновага порушується і настає повільний або ж катастрофічний стиск речовини зорі. Аналіз цих умов і конкретних об'єктів, що є прикінцевими стадіями розвитку зір різних мас, привернув увагу Нобелівського комітету...

Першою тут була праця **Субраманьяна Чандрасекара** (інд./ам., 1910–1995). Він (1935 р.) розробив теорію внутрішньої будови зір білих карликів (*БК*), встановив *верхню, критичну межу маси БК*:  $M_{кр} = 1,44 M_{\odot}$  при радіусі  $R = 0,01R_{\odot}$ , як також залежність радіуса від маси *БК*. Загалом – дослідив фізичний стан речовини у надрах *БК*: вона є електронно-ядерною плазмою. При цьому йдеться про вироджений електронний газ, тиск якого і забезпечує рівновагу зорі. Згодом (разом із **Маріо Шонбергом**) виявив критичне значення маси ізотермічного ядра зорі (*межа Шонберга-Чандрасекара*), при досягненні якої ядерні джерела її енергії концентруються у тонкому сферичному шарі між ізотермічним ядром і зовнішньою оболонкою (це стало основою моделей зір червоних гігантів). **Нобелівська премія 1983 р.**

Межа Чандрасекара визначає особливості спалахів Наднових типу *Ia* (*SN Ia*). Йдеться про подвійні системи зір, в яких один компонент – білий карлик із масою, меншою від  $M_{кр}$ . І як тільки, в процесі еволюції, другий компонент системи заповнює свою *порожнину Роша*, «його» речовина через *внутрішню точку Лагранжа* (див. рис. 3 на с. 20) перетікає до першого та

осідає на його поверхню. Тут відбувається поступовий її розігрів, і як тільки маса  $BK$  досягне  $M_{кр}$ , настає вибух  $SN$  типу  $Ia$ . Визначальним є те, що ці  $SN$  «калібровані» за величиною своєї маси *межею Чандрасекара*, тому і величина звільненої внаслідок вибуху енергії також «калібрована», *наперед відома для спостерігача*. Тому  $SN Ia$  можуть відігравати роль «*стандартної свічки*», тобто бути використаними для визначення відстаней до далеких галактик (див. нижче).

Як зазначено, рівновага зорі може «забезпечуватися» тиском «звичного нам» *ідеального* газу (звичайні зорі) чи тиском *виродженого електронного* газу (тут крива розподілу частинок за швидкостями істотно відрізняється від максвеллівського і при більших густинах перетворюється в прямокутник, головну ж роль тут відіграє принцип заборони Паулі). Цим визначається структура білих карликів.

Але у 1934 р., відділивши Наднові зорі від Нових, **Вальтер Бааде** (1893–1960) і **Фріц Цвіккі** (1898–1974) висловили припущення, за яким внаслідок спалаху Наднової утворюється *надщільна* вироджена зоря, що складається з нейтронів. Отже, встановлено: є «третій варіант» – *нейтронні зорі*, маси яких не можуть перевищувати  $3M_{\odot}$ , їх орієнтовні радіуси – 12 км і густина співмірна з густиною атомного ядра ( $10^{17}$  кг/м<sup>3</sup>), їхня рівновага забезпечується тиском виродженого газу нейтронів. І виявляють вони себе як *пульсари*.

*Нобелівську Премію 1974 р.* за їх відкриття отримав **Ентоні Хюїш** (англ., 1924 р.н.). Е.Хюїш у 1954 р. передбачив ефект мерехтіння випромінювання радіоджерел, що мають малі кутові розміри, обумовлений наявністю у космічному просторі речовини зі змінною густиною (зокрема, у сонячному вітрі). У 1967 р. завершено будівництво спроектованого ним радіотелескопа для досліджень впливу сонячної корони на випромінювання далеких точкових радіоджерел. Аспірантка Хюїша **Джоселін Белл** почала на цьому телескопі пошук радіоджерел зі швидко і помітно змінною амплітудою сигналу. Після двох місяців (6.08.1967 р.) вдалося виявити таке радіоджерело із дуже стабільним періодом. Згодом ще три такі ж. Хюїш зразу ж висловив припущення, що це можуть бути послання від

позаземних цивілізацій, тому й позначено ці об'єкти так: *LGM 1*, *LGM 2*, *LGM 3*, *LGM 4* – від *Little Green Men* – «маленькі зелені чоловічки».

Згодом він припустив, що тут йдеться про високочастотні пульсації збуджених білих карликів або нейтронних зір. Але тоді ж, у 1968 р., англійський астроном **Томас Голд** висловив твердження (тепер загальноприйняте), що *пульсари – це нейтронні зорі*, які дуже швидко обертаються навколо своїх осей, які мають надпотужні магнітні поля, осі яких не співпадають з осями обертання. У такій моделі інтервал між імпульсами відповідає періодові обертання нейтронної зорі навколо своєї осі – це так звана *модель маяка*. Спостерігач зауважує сигнал лише в момент, коли вузький пучок енергії від гарячої плями, що є над магнітним полюсом, спрямований на нього.

Уже відомо близько 900 пульсарів. Періоди  $P$  більшості з них близькі до 0,75 с. У першого з відкритих  $P = 1,337301101$  с.

**Нобелівську Премію 1993 р.** отримали американські вчені **Джеф Тейлор** мол. (1941 р.н.) і **Рассел Халс** (1950 р.н.): за відкриття у 1974 р. на 305-м РТ в Аресібо «нового типу пульсарів, що дало нові можливості у вивченні гравітації». Цим першим був подвійний радіопульсар *PSR 1913+16* (в сузір'ї Орла), який виявився «справжньою лабораторією з дослідження релятивістських ефектів». Очевидно, вона складається з двох нейтронних зір, одна з яких і є пульсаром. Орбітальний період пульсара 6,75 год, ексцентриситет орбіти 0,6, орбітальна швидкість 200 км/с, період пульсації 0,059 с оцінено з точністю 15 знаків після коми. Обертання великої осі 4,2266  $^{\circ}$ /рік – у 36000 разів більше, ніж зміщення перигелію Меркурія. Це дало змогу оцінити сумарну масу системи:  $M = 2,8275 M_{\odot}$ . За встановленим гравітаційним червоним зміщенням оцінено масу самого пульсара – 1,4411  $M_{\odot}$ .

Після 15-річних спостережень пульсара *PSR 1913+16* можна було впевнено сказати: непряме підтвердження існування гравітаційних хвиль вже є. Очевидно, вона складається з двох нейтронних зір, одна з яких і є пульсаром. Як виявилось, період обертання пульсара навколо центра мас системи зменшується, а це значить, що пульсар *PSR 1913+16* втрачає свою орбітальну

енергію, тобто що обидві зорі поступово зближаються, рухаючись по спіралях. Інакше кажучи, пульсар проходить через периастр із випередженням (рис. 6). Теорія передбачила тут зменшення орбітального періоду на 75,8 мкс/рік, а спостереження дали значення 76,3 мкс /рік. Аналогічно досліджують ще близько десяти таких же систем. В усіх випадках зменшення періоду практично збігається з передбаченнями ЗТВ.

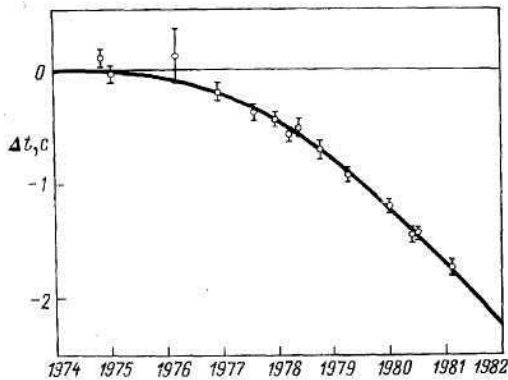


Рис. 6. Випередження в проходженні пульсара PSR 1913+16 через периастр порівняно з обчисленим, що відповідає сталому періоду обертання системи навколо центра мас

## Космічно-космологічний коктейль

Астрономія сьогодні – наука багатопланова. Премій же, як бачимо, обмаль. І праці, про які ще тут згадаємо, тематично різні. Тому й назву цьому підрозділу даємо: «коктейль». «Удома» це означає хмільний напій із суміші усіляких наливок і соків. Але для аматора астрономії кожна обговорювана тут *космофізична* тема п’янить – від передчуття нових проривів у незвідані космічні далі.

Ось перша «із цього циклу»: **Нобелівська Премія 1970 р.** Її отримав **Ганнес Альвен** (шв., 1908–1995) «за внесок і фундаментальні відкриття у магнітній гідродинаміці та плідні застосування у різних галузях фізики плазми». Це – форму-



лювання Комітету, який саме від неї і почав визнавати, що «астрофізики її варті». У 1937 р. Альвен висловив ідею про існування галактичного магнітного поля (що *не було тоді сприйняте...*), запропонував механізм прискорення космічних променів цими полями. У 1942 р. відкрив існування поперечних *магнітогідродинамічних хвиль*, які поширюються в плазмі уздовж магнітних силових ліній і швидкість яких визначається лише напруженістю магнітного поля та густиною плазми (їх згодом названо *альвенівськими*). Реальність їх зразу ж підтвердив Енріко Фермі. Поєднавши гідродинаміку й електромагнітну теорію, Альвен розробив основоположні принципи нової галузі науки – *магнітогідродинаміки*. А ще – висловив свою гіпотезу походження Сонячної системи.

**Премію 1978 р.** отримали **Арно Пензіас** (євр./нім., 1933 р.н.) і **Роберт Вілсон** (ам., 1936 р.н.) «за відкриття мікрохвильового реліктового випромінювання». Зразу підкреслено, що це – «одне із найважливіших відкриттів в історії світу, значний прорив у розумінні походження Всесвіту».

Ще раз згадаємо **Гамова**. У 1946 р. він запропонував модель гарячого Всесвіту, але таку, в якій температура «миттєво і різко» зменшується – щоб не було стану рівноваги, щоб те, яке вже «склепалося», не встигало «розвалитися». Але в рівновазі «із тим суцільно матеріальним» були й кванти «світла», для них був «певний Планк» – розподіл енергії за частотами. І він ото внаслідок розширення «деформувався та зміщувався в бік усе довших хвиль», його ж максимум у наш час мав би бути десь у сантиметрових радіохвилях, що відповідало б температурі 5К.

Пензіас і Вілсон використали збудований у 1960 р. рупорний рефлектор – для прийому сигналів, відбитих від ШСЗ «Ехо», який після 1963 р. вже став непотрібним. Вони внесли зміни для роботи в радіопазоні (встановлено мікрохвильовий посилювач – рубіновий мазер біжучої хвилі, охолоджуваний до  $T < 4,2 K$ , в розрахунку на прийом сигналів на довжині хвилі близько 7 см). Розроблено метод виділення «корисного» сигналу із шуму локальних джерел.

«Надлишкове випромінювання» з ефективною темпера-

турою 3,5  $K$  було зареєстровано, воно надходило з усіх точок небесної сфери. Повідомлення про це у супроводі (скажемо так – цілком адекватної) інтерпретації теоретиків (Р. Дікке та ін.) опубліковане в одному і тому ж журналі. І це стало поштовхом до нових пошуків... Як тут не згадати: спочатку йшлося усього лише про вивчення розподілу дискретних джерел радіовипромінювання й дифузного газу в Молочному Шляху, а ще – «якогось там гало» навколо нашої Галактики! А – «розверзлася безодня»...

Відзначенням трудності досліджень, але й тріумфу у цьому напрямку була **Премія 2006 р.** «за відкриття ... анізотропії космічного мікрохвильового фонового випромінювання... за роботу, що дозволяє прослідкувати розвиток Всесвіту і зрозуміти процес виникнення космосу, зір та галактик». Її отримали **Джон Мезер** (ам., 1946 р.н.) та **Джордж Смут** (ам., 1945 р.н.). Зразу ж прозвучало: «це відкриття відкрило нову еру в космології, поклавши початок перетворенню її з міфу та спекуляцій на повноцінний науковий напрямок». А ще «реліктове радіовипромінювання може бути використане як могутній засіб для дослідження динаміки та геометрії Всесвіту». Як також «від Стівена Хокінга»: «Результати цих досліджень – це найважливіше відкриття століття, якщо не всіх часів». Бо... вони заглянули за 5-й знак після коми.

А з чого починалося у 1972 р.? На висотному літаку У-2, на аеростатах, на супутниках. Було понад 120 проектів, була група близько 1000 чоловік. Задумано: винести телескоп за межі атмосфери за допомогою КА «Шатл» у 1988 р. («на переко-нування у доцільності таких досліджень було затрачено шість років»). Але після катастрофи «Челенджера» (28.01.1986 р.) пішла мова про запуск телескопа за допомогою ракети Дельта. Отже – три подальші роки затрачено на зменшення параметрів супутника **COBE** (**Cosmic Background Explorer Satellite**) до розмірів: діаметр 2,5 м, довжина 5,5 м, маса – 2,5 т. Запуск проведено 18.11.1989 р. на висоту 900 км – двох детекторів, охолоджуваних рідким гелієм до 2К. Після опрацювання результатів – доповідь 23.04.1992 р. про виявлені флуктуації

реліктового радіовипромінювання. Тоді Дж. Смут сказав: «Це як для віруючої людини побачити обличчя Бога».

Вище вже згадано про Наднові типу *Ia*, світності яких у максимумі блиску «калібровані», тобто фактично однакові завдяки «*межі Чандрасекара*» для їхньої маси:  $L = 4 \cdot 10^9 L_{\odot}$ . Однак відстань до зорі наперед не відома, можна визначити лише з якою швидкістю зменшується її блиск: чим повільніше він зменшується, тим яскравішою була зоря у максимумі (це виявив Марк Філліпс). Це дає змогу врешті-решт визначити відстань до конкретної Наднової у тій чи іншій галактиці.

У травні 1998 р. відбулася знаменна астрономічна конференція, де було розглянуто особливості розширення Всесвіту. Заслухано результати, отримані двома групами (керівник першої **С. Перлмуттер**, другої **А. Рісс** у співавторстві з **Б.Шмідтом**), перша з них опрацювала дані спостережень 35 Наднових типу *Ia*, друга 42-х. Незалежно було проведено співставлення видимих зоряних величин і червоних зміщень цих Наднових. «Більшістю голосів – 40 із 60» стверджено: почавши від червоних зміщень  $z = 0,5$  розширення є прискореним! Це відкриття започаткувало нову революцію в космології.

1 – постало питання: що є причиною цього «додаткового розтягування» простору? Поки що висновок такий: очевидно, так виявляє себе *вакуум*, дія якого все ще слабо усвідомлювана. Важливим поки що є те, що цей ефект вдалося оцінити *кількісно* за допомогою супутників типу **COBE**, в подальшому – **WMAP** (*Wilkinson Microwave Anisotropy Probe*, 2001 р.) і «**Планк**», (2009 р.). Використано також стратосферні апарати **BOOMERANG**, **MAXIMA**, **ACBAR** і наземний **CBI**.

Загалом же на підставі даних супутників **COBE**, **WMAP** і «**Планк**» найбільш адекватною, що узгоджується з результатами спостережень, виявляється така добірка параметрів «нашого Всесвіту»: звичної для нас баріонної речовини – 5% (з цього щоправда лише 0,5% «світної»), темної матерії (невідомої все ще природи) – 25%, «темної енергії» – 70%, *стала Габбла*  $H = 68 \pm 9$  км/с/Мпк, реалізовується модель евклідового простору.

**Сол Перлмуттер** (ам., 1959 р.н.), **Брайян Шмідт** (ам./австр., 1967 р.н.) та **Адам Рісс** (ам., 1969 р.н.) отримали **Нобелівську Премію 2011 р.** («у співвідношенні  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{4}$ ).

На с.10 ми згадали Сократа, не надто дивуючись з його песимізму щодо можливості людини дізнатися бодай щонебудь «про те, що вище над головою». Але... те ж, через дві тисячі років, повторив французький філософ **Огюст Конт** (1798–1857): «Ми нічого не зможемо дізнатися про зорі, крім того, що вони існують. Навіть їхня температура назавжди залишиться невизначеною...». Тому заняття астрономією – це «марна трата часу, яка не може дати ні корисних, ні цікавих результатів».

«І вір філософам після такого»... Бо ж усе, сказане нами вище, свідчить: мешканці маленької планети Земля (а це ми!) таки здатні – нехай не все зразу, а поступово – розкривати, одну за одною, таємниці отого «неохопного Всесвіту»!

### «3 вершин, із низин і з точок Лагранжа»

На *шкалі електромагнітних хвиль* (с. 26, рис. 4) відображено поступовий перехід від найкоротших (*гамма*-випромінювання –  $\gamma$ ) «через» *рентгенівське (X)*, *ультрафіолетове (УФ)*, *видимий діапазон* до *інфрачервоного (ІЧ)* та *радіодіапазону (РД)*. Тож доводиться, для проведення досліджень «виносити телескопи» за межі земної атмосфери.

Тож телескоп стає штучним супутником Землі або його встановлюють (відносно Землі або Сонця) у *точці Лагранжа*.

**Наземні, оптичні.** Телескопи були «опорою» розвитку Астрономічних обсерваторій (АО) як науково-дослідних державних установ (передусім – «для вдосконалення мистецтва навігації»). Першими з них були: Паризька (заснована у 1671 р.) і Гринвіцька (1675 р.) АО. В наш час у світі налічують близько 400 АО. В Україні провідною є Головна астрономічна обсерваторія НАН України (1944 р.), певні традиції досліджень і спостережень зберігають АО Львівського (1769 р.), Харківського (1898 р.), Київського (1845 р.) та Одеського (1871 р.)

університетів.

З початком ХХ ст. АО почали розташовувати на гірських вершинах. Найвідомішими сьогодні є: АО, введена в дію 1990 р. на вершині вулканічної *гори Мауна-Кеа* (4205 м, о. Гавайї), тут встановлено телескопи «Кек» (9,8 м х 2), «Джеміні» (8,1 м) і «Субару» (8,2 м). Це також англійська АО на *о. Ла-Пальма* (2327 м, 1986 р., телескоп ім. В.Гершеля – 4,2 м), американська АО *Лас-Кампанас* (2280 м, ) у Чилі, де вставлені «два Магеллани» – по 6,2 м.

У переліку 40 найбільших телескопів світу (Б.Силкін, ж. «Звездочет» № 7, 2000 р.) є 17 – з діаметрами дзеркал від 9,8 м до 4,0 м, 15 – від 3,9 до 3,0 м і 8 – від 2,7 до 2,5 м. Там же описано «певні мрії» – проекти побудови «вкрай великих» 35-ти, 50-ти і навіть 100-метрового «Приголомшливо великого телескопа» (його вже названо «Совою»), вартість якого мала би становити «усього» 900 млн доларів (Таблиця 2).

Паралельно реалізуються інші, «значно дешевші варіанти» – системи, в режимі інтерферометрів, із декількох істотно менших дзеркал. «Прототипом» можна вважати 4-дзеркальний (діаметр кожного дзеркала «усього лише» 8,2 м) телескоп (рис. 7), встановлений на горі *Серро-Паранал* (Чилі, пустеля Атакама, висота 2635 м, 1998 – 2001 рр.).

Цей телескоп оснащений багатьма приладами для спостережень в усіх діапазонах хвиль, що доходять до земної поверхні, – від близьких УФ до середніх ІЧ, причому завдяки системам адаптивної оптики (для усунення ефектів турбулентності атмосфери) зображення – в чотири рази кращі, ніж у телескопа «Габбл»!... Чотири допоміжні 1,8-метрові телескопи пересуваються по сітці рейок навколо основних телескопів, які, у свою чергу можуть об'єднуватися між собою і допоміжними телескопами, утворюючи інтерферометр з базою до 130 м.

**Таблиця 1. Найбільші діючі дзеркальні телескопи**

Назва телескопа	Місце знаходження	Діаметр дзеркала, м	Рік спорудження
<u>Гігантський південно-африканський телескоп, ALT</u>	<u>Сатерленд, ПАР</u>	11	2005
<u>Великий Канарський телескоп</u>	Пальма, Канарські острови	10,4	2002
<u>Телескопи Кек</u>	Мауна-Кеа, Гавайї	9,82 × 2	1993, 1996
Телескоп Хоббі-Еберлі, НЕТ	<u>Джефф-Девіс, Техас</u>	9,2	1997
<u>Великий бінокулярний телескоп, LBT</u>	<u>гора Грехем, Аризона</u>	8,4 × 2	2004
<u>Дуже великий телескоп, ESO VLT</u>	<u>Серро Параналь, Чилі</u>	8,2 × 4	1998, 2001
<u>Телескоп Субару</u>	<u>Мауна-Кеа, Гавайї</u>	8,2	1999
Телескоп Північний Джеміні, GNT	<u>Мауна-Кеа, Гавайї</u>	8,1	2000
Телескоп Південний Джеміні, GST	<u>Серро Пашон, Чилі</u>	8,1	2001
<u>Мультидзеркальний телескоп, MMT</u>	<u>гора Хопкінс, Аризона</u>	6,5	2000
Магелланові телескопи	<u>Лас Кампанас, Чилі</u>	6,5 × 2	2002
<u>Великий телескоп азимутальний, БТА</u>	<u>гора Пастухова, Росія</u>	6,0	1975
<u>Великий зенітний телескоп, LZT</u>	<u>Мейпл Ридж, Канада</u>	6,0	2001
<u>Телескоп Хейла, MMT</u>	<u>гора Паломар, Каліфорнія</u>	5,08	1948

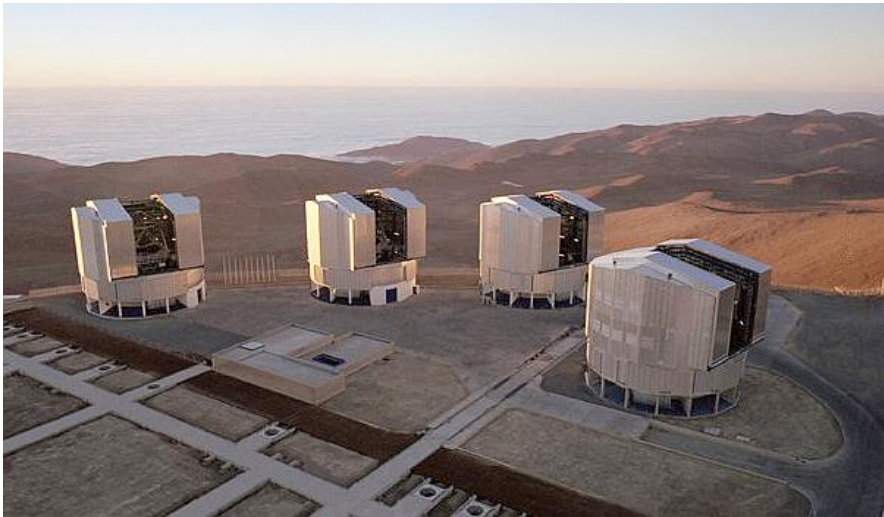


Рис. 7. Інтерферометр із 4-х Дуже Великих Телекопів Європейської Південної обсерваторії – (ESO Very Large Telescope Interferometer), за роздільною здатністю цей інтерферометр еквівалентний дзеркалу діаметром 130 м.

**Телескопи інфрачервоного діапазону.** Інтервал хвиль від 0,74 мкм до 1 мм (інколи до 2 мм) названо інфрачервоною частиною спектра. Його розділено на три окремі ділянки – близьку (0,74–2,50 мкм), середню (2,5–50,0 мкм) і далеку (50–1000 мкм). Інтервал 0,3–1 мм названо субміліметровою ділянкою спектра і часто відносять до радіодіапазону.

При дослідженнях у близькій і середній інфрачервоних ділянках використовують звичайні телескопічні системи – рефрактори і рефлектори. Однак об'єктиви виготовляють зі спеціальних сортів скла, до зміщуватися в усіх напрямках для отримання найкращого зображення...

Земна атмосфера істотно поглинає інфрачервоні промені, так що в шести ділянках прозорість сягає 70–80%. Тому для спостережень, зокрема в діапазонах з  $\lambda > 13$  мкм, інструменти підіймають у верхні шари атмосфери за допомогою балонів або виводять за її межі ракетно-космічною технікою.

**Таблиця 2. Великі телескопи майбутнього**

Назва телескопа	Діаметр (м)	Головне дзеркало	Висота м	Початок роботи
Європейський надзвичайно великий телескоп E-ELT	39	798×1,45 м сегментів	3060	2024 рік
Тридцятиметровий телескоп TMT	30	492×1,45 м сегментів	4050	2022 рік
Гігантський Магелланів телескоп GMT	24,5	7 × 8,4 м	2516	2021 рік

Труднощі тут ще й у тому, що більшість приймачів ІЧ-випромінювання працює при температурі зрідженого Гелію (4,2 К). Це є необхідним для того, щоб теплове випромінювання матеріалу самого приймача не заважало реєстрації слабкого сигналу від космічного інфрачервоного джерела.

В різних високогірних АО вже працюють декілька великих ІЧ-телескопів. Проте найкращі результати одержують, встановлюючи телескопи на орбітальних станціях. Перший космічний ІЧ телескоп (діаметр дзеркала 0,57 м, станція **IRAS**) розпочав свою роботу на навколоземній орбіті у 1983 р. Починаючи з 1995 р., упродовж двох років такі спостереження проводили за допомогою європейської космічної обсерваторії **ISO** (діаметр дзеркала 0,6 м). У 2003 році на орбіту виведено КТ **Spitzer** (діаметр дзеркала 0,85 м), у 2009 році – телескоп **Herschel** (діаметр дзеркала – 3,5 м).

Приймачі ІЧ-випромінювання прийнято ділити на дві групи: *теплові* (термопары, болометри) і *фотонні* або *квантові* приймачі (їх основою є явище фотоелектричного ефекту).

Чутливість теплових приймачів в 10–100 разів менша, ніж фотонних, проте вони зручніші в експлуатації. Більшість фотонних приймачів може функціонувати лише в умовах глибокого охолодження (до 70 К і навіть до 4,2 К). Безпосереднє



зображення окремих ділянок неба в інфрачервоних променях отримують за допомогою ЕОП (електронно-оптичних перетворювачів).

У субміліметровому діапазоні використовують *піроелектричні приймачі*. Їх головною частиною є тонкі пластинки з піроелектричних кристалів (тригліцинсульфату,  $\text{BaTiO}_3$ ), на яких з двох боків напилені металеві шари. Випромінювання поглинається металом з одного (робочого) боку пластинки, яка внаслідок цього нагрівається. При нагріванні ж змінюється електрична поляризація кристала і, врешті-решт, напруга на його обкладинках, яку й вимірюють.

Довгохвильову частину субміліметрового діапазону реєструють також за допомогою звичайних для радіоастрономії приймачів.

**Радіотелескопи.** За допомогою сучасних радіотелескопів (РТ) досліджують космічні радіохвилі в довжинах від одного міліметра до декількох десятків метрів.

Складовими частинами типового радіотелескопа є антена і чутливий приймач. Антени РТ – це найчастіше параболічні відбивачі, подібні до дзеркал звичайних оптичних рефлекторів. У фокусі параболоїда встановлюється опромінювач – пристрій, який збирає радіовипромінювання, направлене на нього дзеркалом. Після підсилення сигнал реєструється на стрічці самописного електричного приладу. Сучасні підсилювачі дають змогу виявляти (розрізняти) радіосигнали, що виникають при змінах температури всього на 0,001 К.

Свого часу (1963 р.) найбільшу радіоастрономічну антену (діаметр 305 м, площа – 48 га) було встановлено у кратері згаслого вулкана Аресібо на острові Пуерто-Ріко. Завдяки добовому обертанню Землі і можливості зміщувати опромінювач більша частина небесної сфери була доступною для спостережень.

Радіотелескопи з параболічною антеною було також встановлено: в Радіоастрономічному інституті ім. М. Планка (Еффельсберг, ФРН) – діаметр антени 100 м, і ще – в обсерваторії Грін Бенк у штаті Вірджинія (США) – антена 110x100 м, також

76-метровий РТ в обсерваторії Джодрел Бенк (Англія), 64-метровий РТ в Паркській обсерваторії (Австралія).

Радіотелескопи дуже великих розмірів можуть бути побудовані з великої кількості окремих дзеркал, що фокусують випромінювання на один опромінювач. Прикладом є РАТАН-600, встановлений поблизу станиці Зеленчук на Північному Кавказі. Це – замкнене кільце діаметром 600 м: 900 плоских дзеркал  $2 \times 7,4$  м, що утворюють сегмент параболоїда. У такому РТ може працювати як усе кільце, так і його частина.

На довжинах хвиль від кількох метрів і більше параболічна антена не застосовується, замість неї використовують системи з великої кількості плоских дипольних антен, електричний зв'язок між якими забезпечує необхідну для РТ спрямованість прийому. Саме за таким принципом побудовано найбільший у світі радіотелескоп декаметрового діапазону УТР-2, розташований під Харковом.

Об'єднуючи декілька РТ, будують *радіоінтерферометри* (PI). На сьогодні найвідомішим PI є введений у дію 1980 р. РТ *VLA* («Very Large Array – «Дуже велика ґратка»), який встановлено в пустельній місцевості штату Нью-Мексико (США). Цей РТ складається з 27 повноповоротних 25-метрових параболічних антен, розміщених у формі літери Y з довжиною двох плечей по 21 км, а третього – 19 км. У цьому і аналогічних випадках антени пов'язані між собою електричними (фідерними) лініями.

Розроблено також методи *наддалекої радіоінтерферометрії*, коли використовують попарно великі антени, розташовані на відстанях до 12 000 км. За допомогою таких систем в радіоастрономії вдалось отримати кутове розділення дуже тісних об'єктів, набагато краще, ніж його дають оптичні телескопи. Це, зокрема, дає змогу вивчати структуру далеких радіоджерел.

На грані фантастики став проект побудови (за участю 20-ти країн – від Канади і США до ПАР та Австралії) надпотужного радіоінтерферометра – «масиву антен» SKA: «антенної ґратки площею в квадратний кілометр», «щоб отримати відповіді на

фундаментальні питання щодо походження та еволюції Всесвіту – від початку формування перших зір і галактик». Заплановано початок спостережень на 2019 р., а вихід на повну потужність – до 2024 р.

«Слідкуймо» і за успіхами в побудованого китайського «Ока неба». Тут багато обіцяє його 500-м сферичне дзеркало, складене з 4450 алюмінієвих панелей, приймач підвішено над ним на висоті 140 м, а це – висота 45-поверхового будинку...

**Перші космічні обсерваторії.** Оскільки земна атмосфера затримує електромагнітні хвилі, коротші за 300 нм, приймачі **ультрафіолетових, рентгенівських та гамма-променів** доводиться виносити за її межі. Значну частину досліджень в ультрафіолеті від 300 нм до 120 нм здійснено за допомогою звичайних телескопів із дзеркалами, покритими алюмінієм. Для ще коротших хвиль використовують дзеркала, вкриті тонким шаром фтористого магнію. Також – *лічильники Гейгера-Мюллера*.

Рентгенівський телескоп (за одним із трьох варіантів, запропонованих у 1952 р. німецьким фізиком **Гансом Вольтером**) є поєднанням двох дзеркал – параболоїда обертання і гіперболоїда обертання, відбивні поверхні яких покриті шаром хрому і нікелю. Промінь відбивається від першого дзеркала під кутом лише 1° до відбивної поверхні, потрапляє на друге дзеркало, а після цього – у фокальну площину, де й будується зображення (скажімо, Сонця). Усі ж інші промені, що йдуть ближче до головної осі дзеркала, затримуються діафрагмою (непрозорим екраном).

Про перші успіхи в дослідженні об'єктів Галактики за допомогою **рентгенівських телескопів** уже була мова (с.32), згадано про дві космічні обсерваторії – «Ухуру» (1970 р.) та «Айнітайн» (1978 р.) і про Нобеліанта 2002 р. – **Р. Джакконі**, який, як загальноновизнано, заклав основи рентгенівської астрономії. Він довів, що у Всесвіті є фонове X-випромінювання, але й зареєстрував космічні X-джерела, в яких, як тепер вважають, є чорні діри.

Але «в такому варіанті» телескоп кружляє навколо Землі і його можливості спостерігати конкретний об'єкт не завжди сприятливі.

Уточнимо дещо про вже згадані космічні апарати, які досліджують в *гамма-діапазоні*

1. **Fermi** (Gamma-ray Space Telescope NASA, 11.06.2008), земна орбіта (555 км).
2. **INTEGRAL** (International Gamma Ray Astrophysics Laboratory, ESA, 17.10.2002), земна орбіта (639-153000 км).
3. **Swift** (Gamma Ray Burst Explorer, NASA, 20.11.2004) Земна орбіта (585–604 км)— орбітальна обсерваторія, спільний проект США, Італії та Великобританії. Призначена для реєстрації та спостереження космічних гамма-сплесків.

**Орбітальні (фіксовані) лабораторії.** «З превеликої ласки Природи» нам дані, в системах двох тіл, *точки Лагранжа*» (рис. 2 на с. 20 і тут – рис. 8).

Особливо «корисною», для розташування дослідницьких лабораторій, є точка  $L_2$ , що на відстані 1,5 млн км від Землі – з протилежного щодо Сонця боку. Найвідоміших КТ – три: Габбл, Гіппаркос і Гершель. КТ «Габбл» (англ. Hubble Space Telescope – **HST**, запуск 1990 р.) – спільний проект NASA і Європейського космічного агентства (ЄКА). Телескоп названо на честь Едвіна Габбла.

Телескоп було запущено на орбіту із дефектом головного дзеркала, однак завдяки чотирьом космічним експедиціям до нього – космічних кораблів багаторазового використання «Спейс Шатл» – дефект вдалося усунути. Також було здійснено інші вдосконалення (встановлювалися точніші і надійніші системи орієнтації, нові, чутливіші оптоелектронні і спектрографічні прилади і т.д.). У результаті, телескоп Габбла став найважливішим інструментом в руках міжнародної астрономічної спільноти.

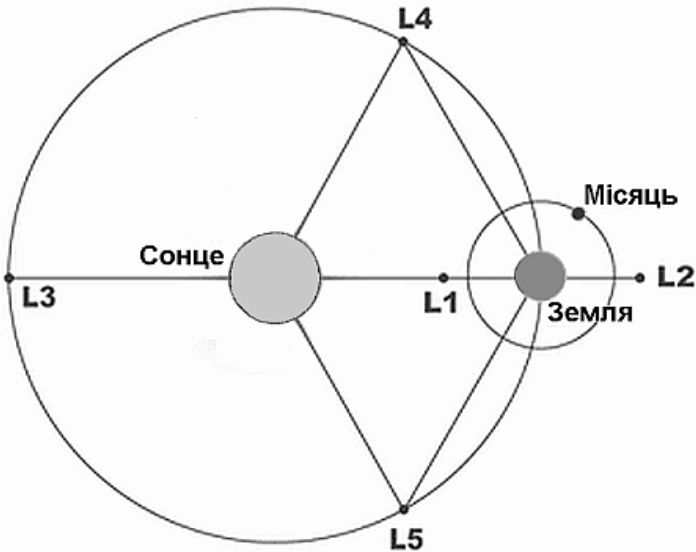


Рис. 8. Положення точок Лагранжа  $L_1$  та  $L_2$  в системі Сонце – Земля; відстань від Сонця до Землі – 150 млн км. Відстані від Землі до точок  $L_1$  і  $L_2$  – близько 1,5 млн км.

За 15 років роботи «Габбл» отримав 700 тисяч зображень 22 тисяч небесних об'єктів – зір, туманностей, галактик, планет... Близько 4000 астрономів дістали можливість застосовувати його для спостережень, опубліковано близько 4000 статей у наукових журналах.

**Гіппаркос (Hipparcos)** – акронім від англ. High Precision Parallax Collecting Satellite – супутник для вимірювання високоточних паралаксів (запуск у серпні 1989 р., функціонував до березня 1993 р.). Цей КТ ЄКА був призначений для вимірювання координат, паралаксів та власних рухів світил і відстаней до них... Упродовж 37 місяців роботи було зібрано інформацію щодо більше ніж мільйона зір. Успіх програми дозволив збільшити точність вимірів в астрономії в 10, для багатьох об'єктів – у 100 разів.

КТ «**Гершель**» (Herschel Space Observatory, ЄКА). Запуск відбувся 14. 05. 2009 р. з космодрому Куру. Місія названа на

честь Вільяма Гершеля, першого дослідника інфрачервоного спектру. Супутник розміщений на геліоцентричній орбіті поблизу другої точки Лагранжа ( $L_2$ ) системи Земля – Сонце, тобто весь час перебуває над нічною стороною Землі. Разом із телескопом «Гершель» цією ж ракетою-носієм був виведений на орбіту астрономічний супутник «Планк». Вартість проекту (з вартістю об'єднаного запуску) становила приблизно 1,9 мільярда євро. Як знаємо, КА «Планк» передав на Землю дані про «ситуацію, що була у Всесвіті за майже 14 млрд років до нашого народження».

**КТ Gaia** (Gaia Space Observatory, ЄКА) – запуск у грудні 2013 р., встановлений у точці Лагранжа  $L_2$  системи Земля – Сонце. Результати роботи цієї обсерваторії будуть мати дуже важливий вплив на розвиток астрономії. Програма: збір *астрометричної* та астрофізичної інформації про «далекі і наддалекі об'єкти Всесвіту». Зокрема, очікують, що вдасться відкрити близько 10000 нових екзопланет.

На 2018 рік заплановано запуск КТ «Джеймс Вебб», який буде найпотужнішим космічним телескопом, здатним «бачити» галактики, що з'явилися першими після Великого вибуху. Телескоп спостерігатиме Всесвіт в інфрачервоному діапазоні.. Це світло збиратимуть із 18 шестикутних дзеркал, виготовлених із легкого берилію і покритих шаром золота.

**Рентгенівські телескопи. Chandra X-ray Observatory** – Космічна рентгенівська обсерваторія «Чандра» (космічний телескоп «Чандра») – космічна обсерваторія, запущена НАСА 23.07.1999 для дослідження космосу в рентгенівському діапазоні. Названа на честь уже згаданого Нобеліанта Чандра-секара.

**XMM-Newton**, також відомий як Місія Рентгено-спектроскопії Високої Пропускної Здатності (High Throughput X-ray Spectroscopy Mission) і Рентгенівський Багатодзеркальний Монітор (X-ray Multi-Mirror Mission), – космічна рентгенівська обсерваторія, запущена Європейським космічним агентством в грудні 1999 року. Це друга місія **Horizon** програми ЄКА 2000. Названий по імені І. Ньютона.

**Suzaku** (2005 р.) – японський космічний рентгенівський і гамма-телескоп – для вивчення чорних дір і наднових зір.

Європейське космічне агентство (ESA) планує вивести на орбіту Землі космічний телескоп – **Athena** (Advanced Telescope for High-Energy Astrophysics). Апарат стане найбільшою за всю історію орбітальною рентгенівською обсерваторією, яка буде вивчати рентгенівські спалахи, випромінювані чорними дірами, та інші явища в цьому діапазоні. Запуск телескопа Athena, вартість якого складе близько 1 мільярда євро, призначений на 2028 рік.

Загалом, *почавши від 1962 р. для астрономічних досліджень «за межі» земної атмосфери запущено майже сто ШСЗ та АМС.* «Там» уже «працюють» десятки інфрачервоних, ультрафіолетових, рентгенівських та гамма-обсерваторій, які досліджують небо у всіх діапазонах електромагнітних хвиль. І, відповідно, маємо «зливу» наукових публікацій з астрономії. Тож – слідкуймо за найновішими даними в Інтернеті!

**В гамма – діапазоні** пристроями для реєстрації квантів слугують також *детектори* (з лат. – «той, що виявляє»), які встановлюють у глибоких (до 1500 м) шахтах, в тунелях, прокладених у надрах гір (як от, Ельбрус, Монблан), на дні великих озер, щоб істотно зменшити побічні ефекти.

**Нейтринні «телескопи».** Існування нейтрино було передбачене у 1930 р. Вольфгангом **Паулі**, ім'я цієї частинці дав у 1933 р. Енріко **Фермі**, зареєстрував її через 23 роки **Фредерік Рейнес**.

Неважко обчислити: при відомій світності Сонця в його надрах формується  $1,8 \times 10^{38}$  нейтрино/с. І до Землі їх приходиться 100 млрд/см<sup>2</sup>·с. При цьому, обчислено, що атоми людського тіла захоплюють одне нейтрино за 70 років.

У 1946 р. **Б.М. Понтекорво** (1913–1993) для реєстрації сонячних нейтрино запропонував реакцію, в якій внаслідок взаємодії нейтрино з ізотопом хлору <sup>37</sup>Cl утворюється радіоактивний ізотоп аргону <sup>37</sup>Ar. Його ядро зразу ж розпадається за схемою:  $^{37}\text{Ar} \rightarrow ^{37}\text{Cl} + e^+ + \nu_e$  (період піврозпаду – 34 доби). Анігіляція позитрона з електроном призводить до утворення двох-трьох квантів світла, які і можна зареєструвати.

Піонером у пошуку нової частинки – нейтрино ( $\nu$ ), а отже і фундатором нейтринної астрономії, був Реймонд Дейвіс (1914 – 2006) лауреат Нобелівської премії 2002 р. Драматичним було те, що при її врученні він уже мало що усвідомлював – ні де він, ні навіть його «сюди» привезли...

У 1967 р. у штаті Південна Дакота в шахті на глибині 1455 м змонтували установку (горизонтальний циліндричний бак довжиною близько 14,4 м і діаметром 6 м), що містив 400 000 л (615 т) чотирихлористого карбону  $C_2Cl_4$ . У такій сполуці кожен четвертий атом хлору є ізотопом  $^{37}Cl$ . Порядок спостережень на цьому «телескопі» такий: після кожних 100 днів роботи через бак пропускали 20 000 л газоподібного гелію, що здатний захопити з собою атоми ізотопу аргону  $^{37}Ar$ , які там утворилися. Їх, за обчисленнями, у кожний момент часу має бути кілька десятків. Суміш газу (гелій з поодинокими атомами аргону) пропускали через вугільні фільтри, охолоджені до 77 К. Тут атоми аргону поглинаються. Їх розпад і реєстрували за допомогою лічильників світлових квантів. Результати вимірювань такі: за кожні 2–3 доби утворюється один атом ізотопу  $^{37}Ar$ .

Інший варіант нейтринного «телескопа» – галієвий, або літєвий детектор, де використовуються реакції:  $^{71}Ga + \nu_e \rightarrow ^{71}Ge + e^-$ ,  $^7Li + \nu_e \rightarrow ^7Be + e^-$ , причому період піврозпаду ізотопу германію  $^{71}Ge$  – близько 11, а  $^7Be$  – 53 доби. Труднощі полягають у тому, що для отримання надійних результатів детектор має містити десятки тонн галію, або літію, тоді як видобуток цих металів у світі дуже малий.

Детектори на галії працюють, зокрема, в Італійських Альпах під горою Монблан та в надрах гори Андирчі поблизу Ельбруса (Північний Кавказ).

У даний час основними детекторами є **водяні детектори** нейтрино, в яких використовують звичайну воду  $H_2O$  або чистий лід. Оптична система детектора реєструє черенковське випромінювання мюонів високої енергії. Ці мюони можуть народжуватися лише при взаємодії з мюонними нейтрино, що пройшли знизу крізь Землю, з електронами і нуклонами води



або льоду. За описаним вище принципом сьогодні діють нейтринні телескопи **IceCube** (США) і **KM3NeT** (ЄС). IceCube побудований на антарктичній станції Амундсен-Скотт. На глибині від 1450 до 2450 метрів розміщені оптичні детектори (фотопомножувачі). IceCube, який розміщено на Південному полюсі фіксує нейтрино, які приходять з Північної півсфери. Об'єм льоду, охопленого оптичними детекторами складає приблизно 1 км<sup>3</sup>. Нейтринний телескоп KM3NeT розміщений в товщі води Середземного моря. Він фіксує електронні нейтрино в основному з Південної півсфери.

І як тут жартома не згадати сказане «якось» Паулі: «Я вчинив тяжкий гріх – спрогнозував існування частинки, яку неможливо виявити експериментально». Бо ж – можливо уже!

**Детектори гравітаційних хвиль.** У 1916 р. було з'ясовано, що в природі можуть існувати слабкі збурення гравітаційного поля, які, як і електромагнітні хвилі, є поперечними і також поширюються зі швидкістю світла. Під дією гравітаційної хвилі розподіл пробних зарядів (тобто пробних масових часток) періодично зазнає певної деформації, яка залежить від енергії хвилі.

Отже, гравітаційна хвиля, проходячи через певний розподіл мас, формує в ньому збурення сили тяжіння. Тому найпростішим детектором гравітаційних хвиль можуть бути дві кулі, з'єднані пружиною. Якщо на них перпендикулярно до осі, що з'єднує центри куль, падає гравітаційна хвиля, відстань між кулями буде позмінно збільшуватися і зменшуватися.

Джерелом гравітаційних хвиль є будь-який асиметричний рух речовини. Це може бути зоря, якщо вона здійснює так звані квадрупольні пульсації, тобто стискається і розтягується, наприклад, уздовж осі її обертання. Джерелами гравітаційних хвиль є подвійні зорі, а також зоря, яка зазнає різкого стискання – колапсу, якщо лише внаслідок дії певних причин (обертання, дія магнітних сил) цей колапс не є сферично-симетричним.

З 1958 р. **Дж. Вебер** (1919–2000, США) намагався зареєструвати гравітаційні хвилі. Його детектор – алюмінієвий

циліндр довжиною 1,54 м, діаметром 0,6 м і масою 1,5 т, підвішений на спеціальній тонкій нитці в рамі зі сталевих блоків і поміщений у вакуумну камеру, оточену чутливими акустичними фільтрами. Розтяг і стиск циліндра під дією гравітаційних хвиль датчики можуть реєструвати з величезною точністю.

Щоб уникнути похибок, пов'язаних, наприклад, із коливанням земної кори або електричним розрядом в атмосфері, Вебер встановив два аналогічні детектори на відстані 1000 км. Система реєструє лише ті сигнали, початки яких співпадають з точністю до 0,2 с. Ці детектори і справді упродовж багатьох місяців реєстрували в середньому один імпульс на кожні п'ять діб. Однак дотепер жодна інша лабораторія цього не підтвердила, і питання про природу зареєстрованих Вебером сигналів залишається нез'ясованим.

Нині продовжують розробляти методи реєстрації гравітаційних хвиль, зокрема, за допомогою гетеродинних антен, подібних на велику гантель, яка обертається з частотою  $\nu_0$  навколо осі, що проходить через її центр. Якщо на таку гантель паралельно її осі падає гравітаційна хвиля, частота якої удвічі більша за  $\nu_0$ , то обертання гантелі буде прискорюватися. Уже розроблені твердотільні гравітаційні антени другого покоління, в яких п'ятитонні алюмінієві циліндри охолоджуються до 2 К і датчики яких здатні реєструвати амплітуди коливань до  $2 \cdot 10^{-19}$  м.

У США введено в дію велику лазерно-інтерференційну гравітаційно-хвильову обсерваторію *LIGO* (спільний проект США та Австралії), один інтерферометр якої з базою 4 км встановлено у штаті Луїзіана, другий з такою ж базою – у штаті Вашингтон. Інструменти об'єднані за допомогою електронно-обчислювальної техніки. Великі інтерферометри для цієї ж мети є і в інших країнах (гравітаційні детектори *GEO 600*, *TAMA-300*, *VIRGO*). Існують плани встановлення супутникових гравітаційних антен, в яких база сягала б сотень мільйонів кілометрів.

**Супутникові. 1).** *GLAST* (англ. *Gamma-ray Large Area Space Telescope*) – орбітальна гамма-обсерваторія Американського космічного агентства NASA. Ця назва була згодом змінена на

«Фермі». Запуск – у червні 2008 р. Телескоп «Гласт» покликаний було стати гідною заміною попередньої гамма-обсерваторії «Комптон», яка, виробивши свій ресурс, була затоплена в Тихому океані в червні 2000 року.

Апаратура «Гласта» в 50 разів чутливіша за прилади попередника. Телескоп масою майже п'ять тонн, перебуваючи на орбіті на висоті 552 кілометри, здатний за три години (два оберти навколо Землі) «охопити» все небо, тоді як у 17-тонного «Комптона» на вирішення аналогічної задачі витрачалося 15 місяців. Телескоп «Комптон» бездоганно пропрацював на орбіті дев'ять років, справно передаючи на Землю дані про «найжорсткіші» випромінювання електромагнітного спектру у Всесвіті. За його допомогою розгадувано таємниці далеких космічних вибухів, що породжують могутні сплески гамма-випромінювання – феномен «чорних дір». Космічна обсерваторія встигла зафіксувати в цілому 2,5 тисячі подібних сплесків, тоді як за всю попередню історію спостережень їх було зареєстровано близько трьохсот.

Створення нового телескопа обійшлося в 690 мільйонів доларів (з них 600 млн внесли США). Передбачається, що його місія продовжиться 5-10 років. У проєкті «Гласт» взяли участь також Німеччина, Італія, Франція, Швеція і Японія.

За допомогою космічного телескопа *GLAST* у листопаді 2010 р. Дагом **Фінкбейнером** (англ. *Doug Finkbeiner*), Мен Су (англ. *Meng Su*) та Трейсі **Слейтер** (англ. *Tracy Slatyer*) з Гарвардського університету, завдяки аналізу даних про гамма-випромінювання небесної сфери, і було відкрито гігантську ділянку гамма-випромінювання в нашій Галактиці. Йдеться про дві гігантські сфери-бульбашки, що формують «вісімку» з дотиканням сфер у центрі Чумацького шляху і які простягаються на 25000 св. р. кожна перпендикулярно до площини нашої Галактики. Ці дві сфери, симетрично розташовані відносно центру Галактики, є джерелом значно підвищеного потоку гамма-випромінювання, який, можливо, продукують релятивістські частинки, викинуті з надмасивної чорної діри, розташованої в центрі Чумацького шляху.

**SOHO** – *Solar and Heliospheric Observatory* (СОГО – Сонячна та Геліосферична Обсерваторія, НАСА та ЄКА) – космічний апарат для спостереження за Сонцем. Виведений на орбіту у грудні 1995, приступив до роботи у травні 1996 р. Найбільший за цією функцією на початку ХХІ ст.

**SOHO** розташована в точці Лагранжа  $L_1$  між Землею та Сонцем, вона передає зображення Сонця в різних діапазонах довжин хвиль. Крім основної задачі – дослідження Сонця – **SOHO** збрала інформацію про велику кількість комет, в основному дуже малих.

**IBEX** – *Interstellar Boundary Explorer* (Дослідник міжзоряних меж) – космічний апарат НАСА для вивчення фізики кордонів Сонячної системи. Запуск цього ШСЗ для дистанційного вивчення меж Сонячної системи. здійснено у жовтні 2008 р. з борту літака над Тихим океаном за допомогою ракети-носія Pegasus. На висоті близько 100 кілометрів від Землі включився власний розгінний блок апарату, який вивів його на сильно витягнуту еліптичну орбіту з апогеєм понад 300 тисяч кілометрів.

Завдання супутника – вивчення (упродовж двох років) і «картографування» межі Сонячної системи – геліосфери, де сонячний вітер стикається з міжзоряним газом. Частинки, що летять від Сонця, спочатку зповільнюються, а потім і змінюють напрям свого руху на протилежний. Детектори IBEX збирали дані про енергетичні нейтральні атоми – частинки, які утворюються при зіткненні сонячного вітру з атомами міжзоряного простору, уловлювали як взаємодіючі з міжзоряним середовищем частинки сонячного вітру, так і атоми безпосередньо міжзоряного середовища, що змогли проникнути в Сонячну систему.

За енергією цих частинок, а також за напрямом, з якого вони прилетіли, можна зробити висновки про форму і властивості межі Сонячної системи. Адже про те, що відбувається в цій ділянці, віддаленій від Сонця на понад 12 мільярдів кілометрів, було відомо дуже мало. За всю історію космічних досліджень геліосферу перетнули лише два космічні

апарати – «Вояджер-1» і «Вояджер-2», запущені ще в 1977 році. Вони перетнули геліосферу всього у двох точках. Щоправда і це дозволило підтвердити припущення про її сплюснуту форму. IBEX дав змогу визначити, як саме виглядає межа Сонячної системи в цілому.

Щоправда, поблизу Землі дистанційне вивчення меж Сонячної системи сильно утруднене магнітним полем нашої планети, з яким взаємодіє сонячний вітер. Однак за межами магнітосфери є лише два джерела частинок: Сонце і межа системи. Саме тому IBEX потрібно було вивести на таку витягнуту орбіту. Повільне обертання апарату дозволяло за півроку оглянути всю небесну сферу і «накреслити повну карту» геліосфери.

**Гравітаційні хвилі «вловлено»!** 11 лютого 2016 року було оголошено про експериментальне відкриття гравітаційних хвиль колабораціями *LIGO* та *VIRGO*. Сигнал злиття двох чорних дір був зареєстрований 14 вересня 2015 року в 9:51 UTC двома детекторами *LIGO* в Хенфорді та Лівінгстоні (США) через 7 мілісекунд один від одного. В діапазоні максимальної амплітуди сигналу (0,2 секунди) комбіноване відношення сигнал-шум склало 24:1. Форма сигналу збігається з передбаченою загальною теорією відносності для злиття двох чорних дір з масами 36 та 29 сонячних, утворена чорна діра має масу 62 сонячних. Відстань до джерела оцінили як близько 1,3 мільярда світлових років, енергія, вивільнена за десяти частки секунди при злитті компонентів, еквівалентно близька до 3 мас Сонця.

Вдруге гравітаційні хвилі були зафіксовані детекторами *LIGO* 15 грудня 2015 року о 3 годині 38 хвилин 53 секунди за всесвітнім часом. На цей раз злилися дві менш масивні чорні діри – 14 та 8 мас Сонця відповідно і – утворилася чорна діра масою 21 мас Сонця. Ще близько однієї маси Сонця перейшло в енергію (за формулою  $E=mc^2$  це є еквівалентом  $1.8 \cdot 10^{47}$  Дж). Інформацію про цю подію опубліковано 15 червня 2016 року. За оцінками вчених, це відбулося близько 1,4 мільярдів років тому. Зафіксоване ж було лише тепер... через скінченність швидкості світла.

Загалом, найімовірніше, і частими, і найпотужнішими джерелами гравітаційних хвиль є саме катастрофи у найближчих галактиках, пов'язані з колапсами подвійних систем із надмасивних чорних дір. Очікується, що в найближчому майбутньому на вдосконалених гравітаційних детекторах щороку стане можливим реєструвати кілька таких подій, що викривляють метрику простору-часу в околиці Землі на  $10^{-21}$ – $10^{-23}$  (усього лише!)

## «Оновлені горизонти»

Порівнюючи з не так уже й далеким ХІХ ст., знаємо «такі дещо більше». Бо ж і нинішня «математика» – це не арифметика церковно-приходської школи, де «головним засобом» щось обчислити були десять пальців. ... А все ж, оте нерозуміння: «хто ми тут, навіщо і як надовго?» не зменшується ...

Політ фантазії, типовий для багатьох, не може не захоплювати! Як ось – при читанні книги відомого японського вченого **Мічіо Кайку** «ГІПЕРПРОСТІР: наукова одісея крізь паралельні світи, викривлений простір-час і десятий вимір» (Львів, 2005). У ній – вміле поєднання уявлень про інші (до 10) вимірів нашого Світу, крім звичних для нас  $3 + 1$ , і аж до твердження (с. 14): «Якщо ж у якийсь момент усесвіт перестане розширюватися і почне стискатися, то колись він загине у вогняному катаклізмі, ... і все розумне життя випарується від неймовірної спеки. Проте дехто з фізиків припускає, що гіперпростір може стати для розумного життя єдиною надією на порятунок. В останні миті існування нашого всесвіту розумне життя може втекти в гіперпростір». А що – «може й справді зможемо, за найдальші галактики»?...

Пофантазувавши, погляньмо, яких же висот уже досягнуто...

«**В найближчих околицях**». Передусім уточнено кількість *малих планет (МП)* – астероїдів, які кружляють навколо Сонця (деякі з них мають власних супутників), також комет і дрібніших «пилинок», яких поблизу Землі є чимало. Щоправда,

усього цього «в сумі» – лише чи не 1/20 маси Місяця –  $3,5 \times 10^{21}$  кг. До речі, тепер прийнято називати *астероїдами* об'єкти, діаметри яких перевищують 30 м, усе менше – *метеороїдами*.

Наприкінці XIX ст. *МП* було відомо 400, наприкінці XX ст. – («пронумерованих» і з відомими вже елементами орбіт) 9709. На початок 2015 р. вже їх налічували 422 636. Встановлено, що 97% з них рухаються між Марсом і Юпітером. Близько ста – зближуються з орбітою Землі, деякі навіть «заходять» всередину орбіти Меркурія. Як вважають, у Сонячній системі можна налічити до 2 млн об'єктів, розміри яких перевищують 1 км.

Зазвичай тут окремо ведуть мову про «крижані брили» (кометні ядра), незліченна кількість яких в сукупності утворює відкритий у 1992 р. *пояс Койпера (ПК)*, що простягнувся, у площині екліптики, від орбіти Нептуна (30 а.о.) до декількох сотень астрономічних одиниць від Сонця (до 55 а.о.). Вже відомо понад 1000 таких об'єктів. Передбачається, що їх, ще не виявлених, з діаметром понад 100 км є тут більше 70 000.

Ще далі, від 5000 до 100 000 а.о. простяглася сферична (!) *хмара Оорта*. Кожне тут кометне тіло (а їх там – чи не сто мільярдів!) рухається по майже коловій орбіті, здійснюючи оберт навколо Сонця за мільйони років.

Виявлено десятки «астроблем» – *ран*, залишених на поверхні Землі від її зустрічі з уламками комет, з астероїдами, обговорюється проблема «астероїдної загрози»... Тут обмежимося зауваженням, що «за деякими обчисленнями» серйозне зіткнення із Землею стається через кожні 100–1000 років.

Вважають, що всі більші об'єкти з поясу астероїдів вже виявлено і що імовірність зустрічі Землі з ними передбачувана. Складніше з тими, що в хмарі Оорта. У наш час «у масштабі планети» вже організовано *службу сталого моніторингу* – систему спостережень і контролю за всіма об'єктами неба, зокрема, на великих обсерваторіях – за допомогою телескопів-роботів. З'ясовано, що об'єкти з діаметрами 1–10 м, можна

виявити на відстані близько 1 мільйона км від Землі – утричі далі, ніж Місяць. Ті ж, розміри яких сягають десятків і сотень метрів, – значно далі. Аналізують і способи захисту, зокрема, за допомогою ракет, які зближаться з об'єктом, щоб роздробити його або ж змінити його орбіту.

За останні 30 років межі Сонячної системи розширились у декілька разів.

Можливо, вже в найближчі роки (чи все ж десятиліття?) будуть здійснені пілотовані польоти до Марса. Тому особливої уваги заслуговують праці уже згаданих Лауреатів Декартівської Премії, серед яких і наш Земляк **Я. Яцків**. Цінність роботи групи, і Я. Яцківа зокрема, зрозуміла з його ж слів: «Для розвитку космонавтики важливо якнайточніше знати кут нахилу осі, навколо якої обертається Земля (і який) безперервно змінюється. У 1960-ті роки похибки при розрахунках були дуже великі... і супутник міг бути на сто метрів вище або нижче від запланованої орбіти, а міжпланетний апарат, який летів, скажімо, до Венери, відхилявся від курсу на тисячі кілометрів. Щоб цього уникати, слід було точніше обчислювати 19-річні цикли зміни кута земної осі – так звану нутацію. Упродовж 70-х років цією проблемою займалось уже третє покоління київських астрономів... Створенням нової теорії нутації зайнялась і міжнародна наукова група. Необхідно було врахувати вплив на вісь обертання планети океанських течій, рухи розжареного ядра планети, пружності земної кори. /І.../ тепер наша міжнародна група... розробила досконалу теорію, що дає змогу обчислювати кут земної осі у тисячу разів точніше, ніж це було 40 років тому при зародженні космонавтики».

«У нашій Галактиці». З 1988 р. розпочалася епоха відкриття планет біля окремих зір – **екзопланет**. Першими були канадці **Б.К. Кемпбелл**, **Г. Уолкер** та **С. Янг**, які виявили планету біля оранжевого субгіганта  $\gamma$  *Sep A*. Сьогодні цих екзопланет відомо вже понад 5000 (зокрема КА «Кеплер» їх виявив більше 4700).

У 1996–1997 рр. відкрито новий клас небесних тіл – **коричневі карлики**, маси яких – у межах від 0,0013 до 0,08 маси



Сонця. Очевидно, що джерелом випромінюваної ними енергії є гравітаційне стискування. Саме тому довелося «продовжити вправо» горизонтальну шкалу діаграми спектр-світність (рис. 5, с. 28). Тобто – ввести нові спектральні класи –  $L$ ,  $T$ ,  $Y$ .

Налічено вже понад 125 000 кратних зоряних систем, у деяких із них є до 20 компонентів. Виявлено понад 70 000 візуально-подвійних систем, вже відомо понад 6 000 затемнювано-подвійних зір із періодами зміни блиску від кількох хвилин до десятків років. Спектрально-подвійних зір також – близько тисячі. Пульсарів – майже 2 000. Налічено понад 2100 розсіяних зоряних скупчень і близько 160 – кулястих.

Власні рухи виміряно для понад 100 млн зір, променеві швидкості – для десятків тисяч (співставимо: завдяки реалізації космічної місії ОТ «Гайя» їх буде відомо до 150 млн!). Однак поки що маси зір надійно встановлено (як компонентів подвійних систем) лише для 200.

На всій небесній сфері (а це 41 253 кв. градуси) галактик до  $20^m$  налічено 5,4 млн, а до  $28^m$  – 350 млрд. Стільки було доступних для вже наявних оптичних телескопів. Як уже згадано вище, спостереження зза меж земної атмосфери стають справді фантастичними...

Незайвим, мабуть, буде згадка про діапазон потужностей (світностей) уже вивчених зір. Так, світність  $L$  зорі *HD 93 129 A* в комплексі Кіля  $L = 3,2 \times 10^6$  сонячної –  $L_C$ , тоді як світність найближчої до нас зорі Проксими Кентавра  $L = 0,000055 L_C$ . Вже встановлено, що з 35 найближчих до нас зір лише в трьох  $L$  більше  $1 L_C$ , у 6 – більша 0,1, в 16 – менша 0,01  $L_C$ . Найпотужніша зоря R136a1 у Великій Магелановій Хмарі має світність  $L=8,7 \times 10^6$  сонячної –  $L_C$ .

**За межами Галактики.** Ось декілька найважливіших відкриттів, що істотно доповнили/змінювали наші уявлення про світобудову.

У 1992 році відкрито просторові флуктуації *реліктового радіовипромінювання*, що дало змогу з'ясувати, зокрема, стан речовини у доступному для нас Всесвіті «через 400 000 років з моменту його народження» (Нобелівська премія 2006 р.)

У 1998 р. виявлено: *розширення Всесвіту відбувається з прискоренням*. А це свідчить про потужну дію в ньому якоїсь «темної енергії» з властивостями антигравітації. Зміцнено уявлення про те, що «навколо нас» є і «темна, невідомої природи, маса».

У 1999 р., мабуть, уже розгадана таємниця космічних гамма-сплесків: принаймні частина з них уже ототожнена з фантастично потужними вибухами масивних зір, які, поєднуючись, формують чорні діри.

У 1997 – 2002 рр. за допомогою нейтринних детекторів доведено факт *осциляцій нейтрино*: перетворення сонячного електронного нейтрино в інші його «варіанти» – мюонне і тау. Тож було доведено, що нейтрино має масу спокою, що теорія внутрішньої будови зір правильна і що слід уточнювати/корегувати теорію елементарних частинок.

У 2004–2006 рр. введено в дію ефективні детектори *гравітаційних хвиль*. І, зокрема, у 2015 р. зареєстровано гравітаційні хвилі, які виникли при злитті чорних дір із масами, що в десятки разів перевищують масу Сонця.

**Про космологію.** Сучасна космологія базується на всіх здобутках теоретичної фізики (про *три кити* як гарантію успіхів мова вже була). В додатку «Література» перераховано деякі найновіші книги- монографії, в яких вичерпно висвітлені окремо взяті питання/проблеми. Ці книги є в Інтернеті.

Основою космології нині є розроблена А.Айнштайном загальна теорія відносності (ЗТВ). В найдоступнішій формі її викладено в книжці одного з авторів (І.К.) «Релятивістська астрономія» (К., «Наук. думка», 1980; Ів.-Фр., Гостинець, 2007; рос. м.: М., «Наука», 1983 і перевидана там же, 1989), конкретно ж питання космології – у кн. «Фрагменти космології» (Ів.-Фр, в-во «Третяк», 2012) Обидві – є в Інтернеті, зокрема у блозі «Небозвід». Тож тут, обмежимося лише окремими її аспектами – згаданими вище *знаками оклику*.

Отже, *космологія* вивчає найзагальніші властивості навколишнього Всесвіту (мегасвіту) в цілому і є сьогодні найцікавішим розділом астрономії. Тут передусім мають на увазі

тривалість існування («вічність Всесвіту в часі» або, навпаки, «народження  $T_e$  років тому»), його протяжність у просторі («безконечність у просторі» чи, навпаки, «обмеженість» у той чи інший спосіб, як ось, за уявленнями давніх греків, – кришталевою сферою), особливості розподілу в ньому речовини – галактик та їх скупчень – і зміни з часом відстаней між ними.

Як згадано, для пояснення будови й особливостей розвитку мегасвіту використовують фізичні закони, встановлені в земних лабораторіях (у масштабах *макро- і мікросвіту*). Тому завжди було і є актуальним питання щодо правомірності їх екстраполяції на весь Всесвіт і на всі етапи його розвитку. Бо ж наслідком цього були «в минулому» **космологічні парадокси** – фотометричний, гравітаційний, а також термодинамічний (теорія «теплової смерті» Всесвіту).

**Фотометричний парадокс:** якби простір був нескінченний і рівномірно заповнений зорями, то небо було б сліпучо-яскраве, як Місяць у повню. **Гравітаційний парадокс:** якщо у нескінченному просторі густина речовини не нескінченно мала, а кожні дві частинки притягуються за законом Ньютона, то сила тяжіння, що діє на будь яке тіло, могла б бути як завгодно великою. Тому й прискорення, отримані під дією цієї сили, були нескінченно великі.

Найпридатнішою здавалася **модель острівного Всесвіту**, за якою речовина розподілена у Всесвіті «ієрархічно»: системи першого порядку об'єднані в системи другого порядку і т. д., причому відстані між системами мали б істотно (орієнтовно – у десять разів) перевищувати їхні розміри.

Обидва згадані тут парадокси заперечували концепцію *нескінченності простору*. Теорія ж «теплової смерті» заперечувала ідею *вічності* Всесвіту. Адже якщо світ існує вічно, то в ньому вже давно настало б вирівнювання температури: тепло повинно б розподілитися між усіма тілами рівномірно і будь які процеси стали б неможливими...

Зазначимо: у ЗТВ немає місця ні для фотометричного, ні для гравітаційного парадоксів (перший із них усувається, якщо

взяти до уваги розширення Всесвіту). Що ж стосується «теплової смерті», то з аналізу даних, отриманих Космічною орбітальною обсерваторією «Планк», випливає, що для розуміння еволюції «раннього Всесвіту» (з урахуванням квантових ефектів) необхідні будуть зусилля ще багатьох поколінь дослідників...

З 1912 р. **Весто Слайфером** було започатковане дослідження *червоного зміщення у спектрах* «туманностей» – галактик. За даними для близько 30 об'єктів майже всі вказували на "розбігання". Але для належного осмислення цього факту *червоного зміщення* в їх спектрах необхідно було знати відстані до них. І ось у 1924 р. **Едвін Габбл** виявив декілька десятків змінних зір – *цефеїд* у туманності Андромеди. Обчисливши відстань до цієї «туманності», він довів, що вона насправді є такою ж, як і наша, велетенською зоряною системою. З того часу розпочався розвиток *позагалактичної астрономії*. Кажемо й так: розпочалася *третя* (після Коперника, 1543 р., і Х. Шеплі, 1918 р.) *революція в астрономії* – черговий етап звільнення від *антропоцентризму*.

Упродовж наступних п'яти років Габблом, а особливо його помічником **Мілтоном Х'юмасоном**, на найбільшому тоді 2,5-м телескопі отримано спектри 46 галактик та визначено відстані до них (найdaleша мала швидкість 3800 км/с). Це і дало змогу скласти співвідношення  $v = Hr$ : чим більша відстань до галактики  $r$ , тим більша її швидкість  $v$ .

Сьогодні факт червоного зміщення у спектрах галактик інтерпретують не як рух галактик у просторі, а як *розширення самого простору*. Аналогією тут є гумова нитка, на якій пов'язано вузлики: при розтягуванні нитки відстані між вузликами зростають не тому, що «вони пересуваються по ній», а тому що розтягується нитка. Екстраполюючи дані спостережень у минуле, можна б сказати:  $T_B$  років тому стався *вибух*, унаслідок якого речовина галактик розлітається в усіх напрямках дотепер. Тобто триває розширення простору, тоді як кожна галактика (точніше – їхні скупчення) займає у ньому «своє» місце.

Тож уведено поняття *космічного (космологічного) часу  $t$* , який і використовують при обговоренні проблем еволюції об'єктів у різних ділянках Всесвіту. Відлічують його від згаданого *моменту вибуху*.

Уявлення, за яким Всесвіт внаслідок *Великого Вибуху* розширюється від початкового стану надвисоких температур, сьогодні загальноприйняте. Правильність цієї теорії *гарячого Всесвіту* підтвердили два передбачення Георгія Гамова:

*Тест перший: Лише за умови надвисокої температури і водночас її різкого знижування в первинній протон-нейтронній суміші відбувається синтез наявних у навколишньому світі ядер гелію:* 19/20 їх кількості формується на «дозоряній стадії» і лише 1/20 – в надрах зір внаслідок перебігу там термоядерних реакцій.

За Гамовим (1946 р.),  $t_H$  років тому вся речовина галактик, перед початком розльоту, була у певному щільному стані і температура там сягала мільярдів градусів. При розширенні цієї первинної дозоряної речовини і мали б утворюватися водень, гелій та всі інші хімічні елементи. Невдовзі однак він переконався в тому, що за цих умов з уже наявних протонів і нейтронів утворюються лише ядра гелію. Зі спостережень випливає, що гелію в природі близько 30%, водню – близько 70%, на всі ж інші хімічні елементи припадає менше 1% маси речовини. Однак ця кількість гелію не могла утворитися внаслідок термоядерних реакцій у надрах зір: при сталій світності Галактики  $10^{37}$  Вт упродовж  $14 \cdot 10^9$  років (від початку розширення Всесвіту) унаслідок термоядерних реакцій в зорях виділилася енергія близько  $4 \cdot 10^{54}$  Дж. При утворенні одного ядра гелію звільнюється енергія  $2,5 \cdot 10^{-12}$  Дж. Тож за час існування Галактики, маса якої  $4 \cdot 10^{41}$  кг, у ній утворилося  $10^{66}$  ядер атомів гелію, або  $7,6 \cdot 10^{39}$  кг. Таким чином, за рахунок термоядерних реакцій у Галактиці могло утворитися близько 2% гелію за масою (тобто згадана 1/20). Отже, *основна маса гелію вже була в речовині, з якої формувалися зорі Галактики*.

**Тест другий: Інформацію про бувший у минулому стан надвисокої температури зберігає до сьогодні космічний мікрохвильовий фон – реліктове радіовипромінювання).**

Момент початку розширення Гамов назвав **Великим Вибухом**: температура у Всесвіті тоді мала б сягати мільярдів градусів. Тобто, на ранній стадії розширення Всесвіт мав би бути гарячим, а отже, заповненим квантами високих енергій. Внаслідок розширення енергія кожного фотона зменшується. Тому, як це передбачив Гамов (1958 р.), у наш час спектральний розподіл енергії цих квантів повинен відповідати випромінюванню чорного тіла, нагрітого до температури 3 К, і шукати його треба у сантиметровому діапазоні радіохвиль. Як знаємо, Нобелівську премію за це відкриття (1965 р.) отримали у 1978 р. американські вчені **Арно Пензіас** і **Роберт Вільсон**. **Реліктовим** його назвав Й.С. Шкловський. Обчислення показують, що у Всесвіті на кожен нуклон припадає близько 1 млрд фотонів. Їхня ж маса, на чотири порядки менша за середню густину речовини у Всесвіті. Це означає, що в наш час реліктове випромінювання зовсім не впливає на особливості розширення Всесвіту.

Згадаємо ще раз про «**Наднові Ia як стандартні свічки**» (с. 38) – подвійні системи, в яких один із компонентів є білим карликом. У процесі еволюції другого компонента його оболонка, розширюючись, заповнює свою порожнину Роша і тоді через внутрішню точку Лагранжа речовина перетікає в напрямку до першого (рис. 3 на с. 21), осідає на його поверхню та поступово розігрівається. І як тільки маса білого карлика досягне критичної межі Чандрасекара ( а це 1,44 маси Сонця), він спалахує як Наднова Ia.

І дослідник спалаху *SN Ia* з'ясовує три різні параметри. Перший – його яскравість, другий – зміщення ліній у спектрі і третій – тривалість перебування у фазі максимуму блиску. Бо ж тут враховується згаданий вище ефект *СТВ* про відносність тривалості проміжків часу у різних системах координат, які рухаються одна відносно одної..

Загалом було встановлено, що у близьких до нас галактиках згадана фаза максимуму блиску *SN Ia* триває два тижні. Коли ж Наднова рухається від нас і її червоне зміщення  $z \approx 0,5$ , тривалість максимуму блиску становить три тижні, при  $z \approx 1$  – чотири тижні. Це і стало підставою зробити висновок: навколишній Всесвіт розширюється з прискоренням! «Якийсь ще невідомий фактор його розпирає в усі боки!» Так, мовляв, виявляє себе якась всюди присутня **темна енергія**.

*Докази ж того, що Всесвіт взагалі розширюється, – необхідні.* Бо хоча співвідношення Габбла відоме з 1929 р., дехто цей факт дотепер заперечує, а наявне червоне зміщення намагається пояснити іншими ефектами (як ось «старінням квантів» чи зміною з часом швидкості світла). У 1997 р. Алан **Сендидж** запропонував три тести на підтвердження реальності розширення Всесвіту. Один із них, може, найефектніший, звучить так:

Здійснити вимірювання **ефекту сповільнення часу** в об'єкті, який рухається зі швидкістю  $v$  відносно Землі. Його реалізовано з аналізу кривих блиску Наднових Ia, які вдалося виявити в далеких галактиках. За даними про декілька десятків цих явищ знайдено: тривалість спаду яскравості об'єкта зростає в  $(1 + z)$  разів – у цілковитій згоді з теорією. Адже як впливає зі Спеціальної теорії відносності, тривалість певної події (тут – від моменту спалаху Наднової до її згасання) є найменшою у тій системі відліку, в якій вона відбувається. Це – інтервал *власного часу*  $\Delta\tau$ . Ми ж вимірюємо інтервал *координатного часу*  $\Delta t$ . Пов'язані вони співвідношенням

$$\Delta t = \Delta\tau / \sqrt{1 - \beta^2}, \quad \beta = v/c.$$

Ще раз пригадаємо (с.43) отриманий у 1998 р. вкрай важливий у космології висновок: почавши від червоних зміщень  $z = 0,5$ , розширення світу галактик є прискореним! Відтоді в космологію увійшло поняття **темна енергія**.

Програму реєстрації спалахів *SN Ia* реалізовано, почавши з 2002 р., на орбітальному телескопі “Габбл” камерою для дослідження далеких Наднових – Advanced Camera for Surveys. У

подальшому на 2-метровому орбітальному телескопі (програма *IDEM* – Joint Dark Energy Mission) за допомогою ширококутних камер виявлятимуть у далеких галактиках не десятки (як дотепер), а тисячі *SNIa*.

**Про «роздування Всесвіту».** Будову й закономірності розвитку *Всесвіту* досліджують, аналізуючи певні математичні конструкції – *космологічні моделі*. Основні їх рівняння отримують, виходячи із ЗТВ – загальної теорії відносності за умови, що властивості Всесвіту для кожного заданого моменту часу однакові в усіх його точках і в усіх напрямках. Цей *космологічний принцип однорідності й ізотропності* Всесвіту підтверджували, як здавалося, спостереження в масштабах, більших за 300 Мпк. Можна було вважати, що, зокрема, густина в ньому є функцією лише космологічного часу:  $\rho = \rho(t)$ .

Побудувати ж *модель Всесвіту* – означає виявити, як змінюються з часом  $t$  його параметри: густина, температура і відстані між довільно взятими галактиками. З цією метою вводять поняття *масштабного фактора  $R(t)$* . І відстань між двома вибраними галактиками (точніше їх скупченнями, однак зазвичай кажуть «між галактиками») записують у вигляді  $r(t) = r_0 R(t)$ , де  $r_0$  – відстань між ними на момент спостереження  $t_0$  (який співпадає з віком Всесвіту  $T_B$ ). Приймають також, що  $R(t_0) = 1$ . Здебільшого, кажучи про модель Всесвіту, мають на увазі якраз залежність від часу  $t$  масштабного фактора  $R(t)$ , яким визначаються особливості розширення Всесвіту. Формально таких моделей «побудовано» близько 20.

Наприкінці ХХ ст. теорія «Всесвіту, який розширюється», зіткнулася із рядом проблем, які вдалося усунути за допомогою моделі роздувного, інакше – інфляційного Всесвіту. Ось найважливіші з них.

1. *Проблема ентропії*: чому у Всесвіті число фотонів реліктового радіовипромінювання в одиниці об'єму  $N_\gamma$  приблизно в  $10^9$  разів перевищує концентрацію важких частинок  $N_B$ ? Також – чому ядра атомів мають додатний електричний заряд, тоді як електрони від'ємний?



2. **Проблема горизонту** (або кривини): чому Всесвіт у великих масштабах однорідний та ізотропний, так що інтенсивність реліктового радіовипромінювання практично не залежить від напрямку?

3. **Проблема евклідовості геометрії** (плоского простору Всесвіту): чому густина матерії у Всесвіті дуже близька до її «критичного» значення ( $\rho = \rho_{кр}$ ), а геометричні властивості простору такі близькі до властивостей плоского евклідового простору.

4. **Проблема однорідності і первинних флуктуацій** (утворення галактик): чому в дуже великих масштабах Всесвіт однорідний, а в менших спостерігаються порожнечі (войди)? І як у Всесвіті виникають неоднорідності, з яких надалі утворюються галактики?

5. І, нарешті (або – передусім), – найбільшою проблемою теорії розширеного Всесвіту, було **питання про сингулярність**: чи справді Всесвіт народився у стані з нескінченною густиною?

**До теорії Всього.** У ХХ ст. збудовано елегантну за своєю математичною досконалістю і глибинною сутністю Стандартну теорію ФЕЧ – фізики елементарних частинок, в рамках якої здійснювано важливі передбачення – аж щодо величини маси очікуваної частинки. Вершиною цих успіхів стало відкриття (2012 р.) бозона Гігса.

Однак один із важливих недоліків *СТ ФЕЧ* є те, що 19 числових значень її сталих доводиться привносити ззовні (як ось, швидкість світла). Тож, усвідомлюючи подальші труднощі, видатний учений ХХ ст. Яків Зельдович (1914–1987) звернув увагу на очевидне : навіщо помножувати зусилля, якщо Природа подарувала нам безплатний ланч: адже вона «уже провела Великий Експеримент», залишилось лише осмислити його результати. Йдеться, зокрема, про потоки «до нас» космічних променів.

Тут доречно згадати окремі досягнення ФЕЧ, без яких немислима сучасна астрономія, а особливо космологія. Це передусім знання про два типи частинок – ферміони і бозони.

Перші мають спіні  $s = 1/2$ , їх в одиничному об'ємі може бути не більше двох, у других спіні цілочисельний – 0, 1, може бути й  $s = 2$ , їхнє число в одиниці об'єму не обмежується. Далі, розглядаючи проблему *взаємодії* електричних зарядів, фізики дійшли висновку, що *вона здійснюється обміном фотонів*. Отже, є частинка – «*власник заряду*», її спіні  $1/2$ , але є *носії взаємодії* і його спіні – парний, точніше – цілочисельний (для фотона  $s = 1$ ). Звідси було зроблено важливий висновок: *теорії різних взаємодій можуть бути збудовані за єдиним зразком*. Пригадаємо: цих взаємодій – чотири.

*Електромагнітна взаємодія* регулює, зокрема, взаємодію додатньо заряджених ядер і від'ємно заряджених електронів у молекулах і атомах.

*Слабка взаємодія* «керує» розпадом важких частинок на легші (приклад:  $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$ ).

*Сильна взаємодія* створює міцний зв'язок нуклонів в атомних ядрах.

*Гравітаційна* – керує рухом небесних тіл.

З теорії «Всесвіту, який розширюється», випливає, що чим ближче «до початку», тим вища його температура. Цей результат одержаний астрономами. Зі свого боку, фізики, збільшуючи енергію (тобто «температуру») частинок, які стикаються в прискорювачах, зробили висновки про зміну властивостей речовини у міру зростання енергії частинок, що її становлять. Інакше кажучи, вони крок за кроком наближаються до «Великого об'єднання» і «супероб'єднання» наявних у природі взаємодій – електромагнітної, слабкої, сильної і гравітаційної.

Упродовж 40-х – 60-х років ХХ ст., завдяки побудовам *прискорювачів* елементарних частинок, стало очевидним, що в природі на вкрай малі частки секунди при зудареннях вже відомих, з'являються такі ж або й значно важчі частинки. Сьогодні їх загалом відомо близько 400! Виникла нагальна потреба їх систематизації, поєднання у певні групи. Так у фізику увійшли ідеї *симетрії* – від переконання, що результати експериментів не залежать від місця і часу їх проведення,

оскільки закони фізики однакові у всьому Всесвіті і не змінюються з часом.

З'ясовано, що як протон, так і нейтрон не є насправді елементарними частинками. Вони, як це довів **М. Гелл-Манн** (1964 р.) складаються з **кварків**. Їх – шість:  $u$ ,  $d$ ,  $s$ ,  $c$ ,  $b$ , і  $t$ , їхні електричні заряди *дробові*, відповідно  $+2/3$ ,  $-1/3$ ,  $-1/3$ ,  $+2/3$ ,  $-1/3$ ,  $+2/3$  (протон – це комбінація  $uud$ , нейтрон –  $udd$ ). Кожна з цих частинок має свою античастинку (як  $e^-$  і  $e^+$ ). В усіх спін (це важливе!) рівний  $1/2$ .

Дещо навіть раніше Гелл-Манн (незалежно і деякі інші теоретики) запропонував метод об'єднання відкритих у середині ХХ ст. частинок в окремі *групи*, що задовільняють певним **принципам симетрії**. Для системи протон-нейтрон визначальним є поворот у *просторі ізоспіна* на  $180^\circ$ , для кварків – на  $60^\circ$ . Довелося прийняти, що кожен кварк може перебувати у трьох станах. Не маючи кращих аналогій, уявляють, що кожен кварк може набувати один із трьох кольорів і має здатність їх змінювати. Це – червоний колір  $R$ , зелений  $G$  і голубий  $B$ .

Приймається, що протон, нейтрон та інші частинки є стійкими, бо кварки-носії заряду обмінюються безмасовими частинками – **глюонами** (їхній спін  $s = 1$ ). Усього це вісім глюонів, які мають ті ж кольори. Глюони (від слова “клей”) “зв'язують” кварки тим, що “викрадають” у кварка його колір і переносять його до іншого. Кажуть інакше: червоний кварк випромінює червоно-зелений глюон і перетворюється в зелений кварк і т.п. Усі ці процеси вивчає *квантова хромодинаміка*.

«Штурм» проблеми об'єднання взаємодій продовжено головним чином теоретиками. Адже «Велике об'єднання» електромагнітної, слабкої і сильної взаємодій реалізується при енергіях  $10^{14}$  ГеВ (що відповідає температурі  $10^{27}$  К), а вони в прискорювачах навряд чи будуть досягнуті. Процеси ж усіх чотирьох взаємодій стають нерозрізнюваними при ще більших енергіях – при  $10^{19}$  ГеВ ( $10^{32}$  К).

А ще – «набір» усіляких частинок в теорії суперсиметрії можна об'єднати «усього лише поворотами на певні кути в

уявному гіперпросторі. «З гравітацією справа зовсім інакша». Тут йдеться про *реальне* зміщення частинки в просторі. І поєднання (об'єднання, як хтось зауважив, на одній доріжці «їжачка і черепахи») виявилось можливим (для математиків), якщо просторових координат принаймні 9, ще краще – 10. Тоді у групі частинок є перетворення одна в іншу, «для гравітації» ж перетворення «квантів простору у кванти часу і навпаки». Але арифметика спільна, єдина!...

Важливим було питання щодо уявлення про елементарну частинку як точковий об'єкт. Ось слова **Річарда Фейнмана** (1918–1988): «Виникає питання: з якою силою електрон діє сам на себе?... кількість енергії, яка оточує точковий заряд, рівна безконечності; [а] якщо маємо справу із зарядженою сферою, то оскільки електричні сили взаємно відштовхуються, електрон має саморуйнуватися... Ми не знаємо, як... побудувати самоузгоджену теорію...». Вихід знайдено в уявленні, що насправді *електрон* (але і кожна інша елементарна частинка!) є *протяжним об'єктом типу струни*.

Водночас (і далі чи не упродовж 40 років) розпочато аналіз ідеї *суперсиметрії* (*SS* – «*SuSi*») – *уявлення, за яким частинки з дробовим і цілочисельним спінами – ферміони і бозони – стають однією сім'єю*. Бо ж, у Стандартній моделі *ФЕЧ*, ферміони є «представниками» *речовини*, «власниками» зарядів, тоді як бозони – «обслуговуючий персонал», *носії взаємодії*. Тут – чітка асиметрія, можна б сказати – драма. Адже в рамках теорій, що описують ці взаємодії, неможливо визначити величини певних характеристик (як ось масу тої чи іншої частинки, швидкість світла тощо). Зусилля у здійсненні об'єднання двох, трьох і, нарешті, усіх чотирьох – згаданих вище – взаємодій не обіцяли дати рецепти для визначення цих параметрів.

Тож фізики майже півстоліття роблять спроби збудувати *Теорію Вищого Рівня*, в якій, як тут згадано, ферміони і бозони були б «рівноправними». А це, річ ясна, стане можливим, *якщо кожна частинка матиме свого суперпартнера із протилежним спіном*. Так, кварки, електрон і нейтрино мали б «доповнення» – *скварки, селектрон, снейтрино* зі спінами

$s = 0$ . І, навпаки, фотони, глюони,  $W^\pm$  і  $Z^0$  бозони мали б “свої” – **фотіно, глюіно, віно і зіно** зі спіном  $s = 1/2$ . Усе це розігрується в 11-вимірному просторі-часі, при чому з 10 просторових вимірів сім **компактифікуються** – «згортаються». Так, як «зникають» ширина і товщина стовпа електромережі: зі збільшенням відстані до нього, залишається лише один вимір – висота.

Першими про вакуумоподібний стан речовини у 1965 р. повели мову **Андрей Сахаров і Ераст Глінер**: «Спочатку у Всесвіті був вакуум, описуваний космологічною сталою, в якому і породжувалася речовина, що розширювалася під дією антигравітації» (це впливає з аналізу тензора імпульсу-енергії). Як ото – є океан, з якого «вискакують дельфіни».

З початку 80-х років, після праць **Алана Гута (США) і Андрея Лінде (Росія)**, захоплення ідеєю інфляції набуло масового характеру, уже запропоновано безліч різних космологічних сценаріїв.

Отже, за сучасними уявленнями, **вакуум** – найфундаментальніший із відомих тип фізичної реальності. Він є основою і передумовою існування безлічі фізичних явищ. Потенційно (віртуально) вакуум містить усілякі частинки і стани, які можуть з нього породитися за відповідних умов, але водночас актуально в ньому нічого немає. Відомо, проте, як можна «вивудити» пару «частинка–античастинка» з вакуумної безодні: для цього потрібно «мати» силове поле, завдяки енергії якого згадана пара одержує свої реальні маси.

Проблему вакууму і «реалізації його можливостей» у породженні різних типів елементарних частинок розпочинають з обговорення «визначальних одиниць виміру», а це – **планківські одиниці довжини  $l_{pl}$ , часу  $t_{pl}$ , маси  $m_{pl}$  і густини  $\rho_{pl}$** . Їх отримано «уже всім відомими» комбінаціями трьох фундаментальних фізичних сталих – швидкості світла  $c$ , гравітації  $G$  і сталої Планка  $\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34}$  Дж·с ( $\hbar = h/2\pi$ ):

$l_{pl} \approx 1,6 \cdot 10^{-33}$  см,  $t_{pl} \approx 5,3 \cdot 10^{-44}$  с,  $m_{pl} \approx 2,2 \cdot 10^{-5}$  г,  $\rho_{pl} \approx 5 \cdot 10^{93}$  г/см<sup>3</sup>. І первісною «коміркою», яка, за сучасними уявленнями, роздуваючись, стає Всесвітом, є об'єм усього лише  $l_{pl}^3$ . Загалом сценарій тут такий:

1. Частинки матерії на початку не мають мас.
2. У вакуумі стану, тобто в «резервуарі» віртуальних частинок і полів, прихована потенціальна енергія,
3. Завдяки роздуванню Всесвіту температура стрімко зменшується, тоді як густина вакууму до певного часу залишається незмінною.

Будь-яке інфляційне розширення починається з планківських розмірів і часів, від яких сучасні закони фізики починають адекватно описувати процеси, що відбуваються в цей момент.

Обговорення загальної картини розширення Всесвіту у ХХ ст. розпочинали з деякого мінімального часу  $t_{\min} \approx 10^{-6}$  с, дотримуючись погляду, що за допомогою наявної фізичної теорії неможливо описати явища, які відбувалися при  $t < t_{\min}$ . Всю подальшу історію розвитку Всесвіту, залежно від процесів, які відігравали головну роль, прийнято поділяти на чотири стадії: адронну еру, лептонну еру, еру фотонної плазми та після-рекомбінаційну еру.

**Суть космомікрофізики.** Космомікрофізика – галузь науки, завданням якої є встановлення взаємозв'язку між мега – і мікросвітом. Тобто, йдеться про всебічне поєднання (навіть злиття) ідей, законів і взаємозалежностей, встановлених при вивченні світу елементарних частинок, із сучасними уявленнями про Всесвіт з усіма спостережуваними даними, що вже є в розпорядженні астрономів.

Розмаїття матеріальних структур у нашому Всесвіті сформувалося і підтримується завдяки вже обговореним вище чотирьом типам взаємодій між його окремими «частинками». Першою була усвідомлена *гравітаційна* взаємодія, тобто взаємне притягання, завдяки якому «маємо» планети й зорі. «Носієм» взаємодії тут є (поки що гіпотетичний) *гравітон*. Значною мірою теоретичні передбачення стали можливими завдяки двом концепціям: **1)** фізичного поля і **2)** симетрії з її вершиною – суперсиметрією.

Фізичне поле – система із безконечним числом ступенів свободи, що змінюється у просторі і часі. Будь-які силові впливи

частинок одна на одну при зміні їхнього положення можуть передаватися лише у формі збурень поля, які поширюються зі скінченною швидкістю від одної точки до іншої. Поле є носієм енергії й імпульсу (Л.Б. Окунь, 2005). Завдяки взаємодії двох полів елементарні частинки «набувають» масу – кожна у свій час, на певному етапі зміни параметрів системи.

Головна ідея «нинішнього дня»: елементарна частинка є насправді *струною* – маленьким числом  $l_{pl}$ . Саме таке уявлення дає змогу «пройти вперед у розумінні таємниць світобудови», може – «аж на світлові роки вперед»!

Повторюючись, скажемо: з 1968 р. фізики здійснюють спробу розглядати елементарну частинку як об'єкт протяжністю  $l_{pl}$ . Тобто – у фізику введено новий (і несподіваний!) принцип: на найменшому, мікроскопічному рівні все складається з вібруючих волокон. І – вже немає мови про різні частинки, а йдеться про різні ноти, які звучать на фундаментальній струні. А різні моди коливань породжують різні маси і константи взаємодії. Чим більша амплітуда і менша довжина хвилі, тим більша енергія, а нею і визначається маса елементарної частинки.

Ще – про струни і Теорію всього. Теорія струн стосується найглибших питань світобудови і є найбільше розробленою сучасною спробою відповіді на питання про природу фундаментальних взаємодій. Однак, «незважаючи на великий інтерес до теорії і пречудові досягнення, слід сказати, що основні проблеми тут залишаються відкритими....».

Математичне узгодження рівнянь теорії струн досягають, якщо коливання струни відбувається в 11-вимірному просторі-часі: тут 10 просторових, з них сім компактифікуються – згортаються в кільця розміром  $l_{pl}$ . Щоправда, є теорії, в яких деякі з цих додаткових вимірів можуть простягатися на нескінченність. Ми їх, однак, не сприймаємо, бо «приковані до своєї 3-вимірної гіперповерхні». Теорія ж суперструн є частиною грандіозного синтезу, що має назву *М-теорії* (хтось каже – від слова «мембрана», інші – «містерія»).

Слово Нобеліанту **С. Вайнбергу**: «Це буде єдина фундаментальна теорія. Але поки що ніхто не знає, як записати

рівняння цієї теорії. А головне – невідомо, які фізичні принципи керують такою фундаментальною теорією».

Не виключене, що теорію струн не будуть формулювати «в рамках простору-часу». Так. С. Вайнберг також говорить про необхідність змін наших уявлень про матерію, простір і час. Аналогічно висловився й **Е. Віттен**: «Поняття “час-простір” приречене, від нього, очевидно, доведеться відмовитися».

Песимістичні висновки також зробив відомий американсько-канадський фізик **Лі Смолін** у кн. «Неприємності з фізикою: зліт теорії струн. Занепад науки і що з цього випливає» (2006 р). Ось його головні зауваження: 1) за 20 років, по при всі зусилля, теорія не зробила нових передбачень, які можна б перевірити, 2) число струнних теорій, які явно не суперечать спостереженням, сягає  $10^{500}$  (а це – одиниця і 500 нулів за нею!), критеріїв вибору практично нема, немає нашого розуміння більшості з цих теорій, 3) теорія струн базується на декількох ключових припущеннях, для яких є основи, але немає доказів. Загалом «не знаємо, які фундаментальні принципи лежать в основі теорії, не знаємо, якою мовою це буде описане».

Смолін наводить слова однодумців, як ось **Герарда т' Хоофта**: «Теорія струн – це хіба передчуття...», Нобеліанта **Девіда Гросса**: «Ми не знаємо, про що говоримо...». І – резюмує: очевидно, альтернатив теорії струн нема, але як ми це можемо сказати, якщо точно не відомо, що вона собою являє?. Принаймні можемо сказати: ця теорія постулює, що насправді наш світ фундаментально відрізняється від світу, який ми знаємо. І якщо її ідеї правильні, то вимірів у нього більше трьох, а тому значно більше сил та частинок. Цей світ набагато більш безкрайній, ніж думали, і ми бачимо значно менше, ніж наші пращури бачили з печери.

Завершити ж сказане можна словами **Роберта Опенгеймера**: «Мої колеги... притримуються принаймні одного переконання... ..ми не розуміємо природи матерії, законів, які керують нею, і мови, якою вона може бути описана».

**Дещо про антропний принцип.** Для багатьох філософів осмислення явищ навколишнього світу, щоденна практична



діяльність вели до висновку: все, що навколо, виникло з волі Творця, Майстра. У давніх греків ці висновки сформульовано як аргументи – *космологічний* і *телеологічний*. Перший із них філософ **Платон** (+347 до н.е.) подав у вигляді: **«Усе, що виникло, вимагає певної причини»**. Тобто, перед нами Всесвіт (космос) і має бути причина його появи, яка мала би бути поза ним. Телеологічний аргумент (гр. *τέλεος* – мета) формулюється так: **у навколишньому світі проявляється надзвичайно тонке допасування окремих параметрів та їхніх систем, і це знову ж таки не могло статися інакше, як за задумом Творця**.

Наприкінці 20-го століття (березень 1998 р.), відзначивши успіхи у з'ясуванні таємниць мікро- і мегасвіту, Президент Російської Академії наук академік **Ю.С. Осипов** зазначив: «...сама наукова космологія ставить проблеми, які співвідносяться з обговорюваними у традиційній теології питаннями походження Всесвіту. Як мовиться, коло замкнулося і дуже сильно. Не випадково численні природодослідники і математики, почавши свої дослідження як люди невіруючі, кожен своїм шляхом, по-різному, але приходили врешті-решт до віри, бо створення будь-якої стрункої наукової системи неминуче веде до думки про існування, як кажуть у нашому середовищі, Абсолютного Буття».

У цьому – суть *антропного принципу* – наукового принципу, який стверджує, що *існування життя на Землі істотно залежить від найзагальніших властивостей Всесвіту*. Суть його з'ясовують ще й так: наявність життя, представником якого ми є, накладає на властивості Всесвіту низку сильних обмежень. Зокрема, **Пол Девіс** висловився так: **«Здається, що для створення Всесвіту хтось привів усі кількісні параметри у взаємну відповідність... Усе це створює грандіозне враження задуму»**.

Як відомо, головним *будівельним матеріалом* живих організмів є *білки*, *інформація ж «про все» записана у хромосомах*, точніше – в *молекулі ДНК*. Білки збудовані із 20 амінокислот (АК), хоча їх загалом у природі є близько 200. І як доведено вже з розгляду можливих варіантів (які Природа мала

би перебирати!), ні про яке «монтування білків всліпу» не може бути й мови. Тому й сказав **Фред Хойл**: «Та не мучилася природа всліпу. Бо від початку Надінтелект дав їй програму»!

Ще фантастичніші числа отримують, розглядаючи «випадкове монтування» молекули ДНК. Тут варіантів – одиниця і за нею шість мільярдів нулів!

Тож зрозуміло, що як молекули білка, так і ДНК (це особливо, бо йдеться про фантастичну концентрацію інформації в мікроскопічному об'ємі!) не могли б утворитися внаслідок (випадкового!) «монтування самих себе».

Здається, найкраще про це сказав **Стівен Мейєр (США)**, відомий природодослідник і філософ: «Упродовж усього ХІХ століття вчені вважали, що існують два основні фактори – матерія та енергія. На початку ХХ століття з'явився третій наріжний камінь, з яким повинна рахуватися наука, – це *інформація*. Коли ми маємо справу з біологією століття інформації, виникає й міцнішає розуміння того, що *молекула ДНК є реальним доказом розуму, реальним доказом інтелекту*. Це те, що може бути поясненим лише за допомогою уявлень про розумний задум».

І ще: «Відомо, що розумні істоти можуть створювати інформаційно насичені системи. *Наші* (взагалі людські) *докази ґрунтуються не на тому, чого ми не знаємо, але на тому, що ми знаємо* про причинно-наслідкову структуру світу. *Нам невідомі природні причини появи інформації*. Цей процес не можна пояснити з матеріалістичної точки зору, – у всякому разі, це не природній добір, не процеси самоорганізації і не випадковість. Нам, однак, *відомий один фактор, справді здатний породжувати інформацію, й цей фактор – розум*. Тому, коли люди з наявної інформації в ДНК роблять висновок про наявність задуму, вони, з погляду історичної науки, доходять правильного й очевидного висновку. Коли ми знаходимо інформаційно насичену систему в клітині, точніше, в молекулі ДНК, ми можемо зробити висновок, що вирішальну роль у появі такої системи відіграв розум».

## **Література – із багатьох десятків, що є в Інтернеті.**

**Вайнберг Стивен.** Мечты об окончательной теории. – М.: УРСС, 2004. – 256 с.

**Вайнберг Стивен.** Космология. – М.: УРСС, 2013. – 608 с.

**Грин Брайан** Элегантная Вселенная. – М.: УРСС, 2004. – 288 с.

**КИП С. ТОРН.** Черные дыры и складки времени. – М.: Изд-во ФМЛ, 2007. – 616 с.

**Рубин С.Г.** Устройство нашей Вселенной. – Фрязино: Век 2, 2006. – 312 с.

**Каку Мичио.** Параллельные миры. – М.: ООО Издательство «София», 2008. – 416 с.

**Пиковер К.** Великая физика. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 551 с.

**Сурдин В.Г.** Астрономия : век XXI. – Фрязино: Век – 2, 2007. – 608 с.

**Яу Ш., Надис С.** Теория струн и скрытые измерения Вселенной. – СПб., 2013. – 400 с.

Науково-популярне видання

**Климишин Іван Антонович  
Пунжин Юрій Миколайович**

**Астрономія  
класична і нобеліанська**

Видання друге, доповнене

Підп. до друку 12.04.2017. Формат 60x84/16.  
Папір офс. Друк цифровий. Гарн. Times New Roman.  
Умовн. др. арк. 4,88. Наклад 30.

Видавець та виготівник «Симфонія форте»  
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Крайківського, 2  
тел. (0342) 77-98-92

Виготівник – ФОП Семко Я.Ю.  
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Крайківського, 2  
тел. +38-067-342-56-46

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців та виготівників видавничої продукції: серія ДК № 3312 від 12.11.2008 р.

