

І.А. Климишин, Ю.М. Пунжин

АСТРОНОМІЯ – КЛАСИЧНА І НОБЕЛІАНСЬКА



І.А. Климишин, Ю.М. Пунжин

**АСТРОНОМІЯ –
КЛАСИЧНА
І НОБЕЛІАНСЬКА**

Івано-Франківськ
«Симфонія форте»
2014

Климишин І. А.

К 49 Астрономія – класична і нобеліанська / І. А. Климишин, Ю. М. Пунжин. – Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2014. – 48 с.

Здійснено спробу підкреслити тісний зв'язок фізики та астрономії (точніше – *«усього лише, образно кажучи, поставити кілька десятків 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 вже досягнуто межі 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 реалізовується, зокрема, і при дослідженнях з поверхні Землі (хто б подумав, де – «в Антарктиді»).

ББК 22.6

Зміст

Вступ	5
Від Сократа до Нобеля	9
Нобеліанський розмай – «на грані століть»	22
До зір – через атом!	26
Зорі: джерела енергії й проблеми еволюції	33
Космічно-космологічний коктейль	39
Замість післямови	46

Передмова

Сьогодні здивувати кого б то не було якимось «новими, популярними» текстами «від атомів до Всесвіту» неможливо. Бо ж є злива публікацій в Інтернеті. Автори цієї книжечки усе ж зважилися глянути на історію астрономії попередніх 3000 років, але і, зокрема, ХХ ст. також і «*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 2013 р. включно Нобелівські премії з фізики вручено 107 разів, їх отримали 196 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», див. ж. «Світ фізики», № 4, 2006 р.).

Нобелівські премії – це відображення конкретних досягнень, проривів у певному напрямі, які здебільшого неспеціалісту збагнути важко. Тож ж тут ми лише «*ставимо знаки оклику!*» Ракурс, може, незвичний. Але це – для легшого сприйняття здобутку Лауреата. Водночас ... утримуємося від згадки про наявні ідеї *об'єднання чотирьох взаємодій*, про *теорії суперструн* – усього того, що «розігрується» в *11-вимірному просторі-часі*. Про все це Читач може дізнатися з книги **Лі Смоліна** «Неприємності з фізикою: зліт теорії струн..» (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»...

Опрацьовуючи багатющий матеріал Інтернету, автори уважно 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, – «щороку на сотні кілометрів (??)», відділяючи нас від розуміння того, що ж все таки діється «там» – в отому неосязному 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».

Сформувалося 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*. 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 фізиків, адекватно з'ясувати.

Але ... 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 так 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 ре-

альної 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 тут 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 з усієї багатопланової 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. 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 у книгах з астрономії. Буде вона і тут...

Отже, в наступному підрозділі цієї книжечки ми оглянемося на попередні понад 2 тисячі років. Узявши за орієнтир 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 «під таким кутом зору». Бо ж видатний грецький філософ **Сократ** (469–399 до н.е.) чітко окреслив тодішній стан науки: «*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 розмірковуй». 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 жахіття 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, 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, Демокрит, V–IV ст. до н.е.).

Проведені упродовж століть спостереження видимого руху Сонця й Місяця, також п'ятьох «блукуючих 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 Пто-

лемею 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, «*нареши*», **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 бідою» для астрономів упродовж 15-ти століть було незнання справжніх відстаней – від Землі до Сонця, до інших планет, зрештою – і до «кришталеві 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 кришталеві 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» (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 невпорядковане нагромадження

безглузких 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?»...

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 кутовимірних 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!

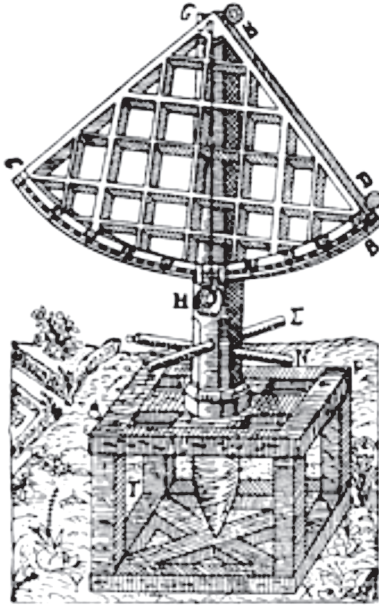


Рис.1. Квадрант часів Тихо Браге.

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.

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). Але 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, www.lib.if.ua).

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) уже заявив: «усе, що стверджував Аристотель, – брехливе». Пройшли 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 однофунтове. Він встановив їх на краю вежі пустив 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 опинилася...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 покайній одежі, стоячи на колінах, зрікався...»), сприймаємо і сказане Галілею (його у минулому – другом?)

Папою **Урбаном VIII**: «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 «розтросив 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 в розпочатому Коперником («усвідомленого до основ, у ті часи, чи й ні?») **звільненні від антропоцентризму** (погляду, ніби то людина – у 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 птолемеєвими, 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 співставляти 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 (**електромагнітна**) 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*. Передусім **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 навіть 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.

Розв'язки ці актуальні й тепер. Передусім, якщо йдеться про «розташування» певної космічної лабораторії за межами земної атмосфери: в системі Земля – Місяць, «між ними», є точка L_1 – на відстані 57 600 км від нього, з протилежного боку така ж (рис. 2). Аналогічні точки є у системі Сонце-Земля. Особливо «корисною», для розташування дослідницьких лабораторій, стала точка L_2 що на відстані 1,5 млн км від Землі. Звідти і передавав КА «Планк» інформацію «про небо» – про «ситуацію, яка була у Всесвіті за 14 млрд. років до нашого народження».

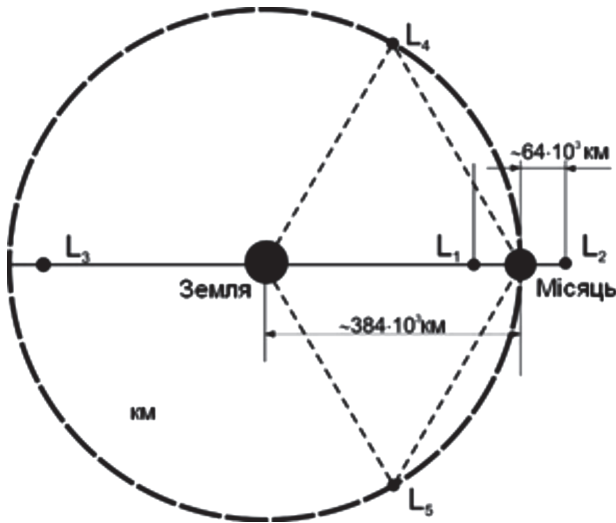


Рис. 2. Точки Лагранжа в системі Земля – Місяць.

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 і утворює в перерізі вісімку (рис. 3).

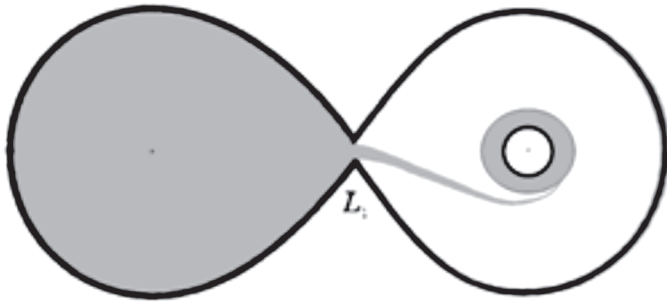


Рис.3. Перетікання речовини від зорі-гіганта в бік білого карлика через внутрішню точку Лагранжа L_1 .

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 та «осідає» на його поверхні. Внаслідок подальшого розігріву цієї речовини в ній розпочинаються термоядерні реакції і, як наслідок, настає спалах – явище *Наднової «типу Ia»*. Виявлення їх у найдальших галактиках допомогло (майже 20 років тому) зробити висновок: «на найбільших космічних відстанях Всесвіт розширюється з прискоренням». Так виявляє себе якась «темна енергія».

З 17-го ст. у фізику поступово входить поняття *енергії* як міри руху. В середині ХІХ ст. було сформульовано *закон збереження енергії* – як *перше начало термодинаміки*. Введено поняття *ентропії* як міри якісного знецінення активності енергії. Адже 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.Айнштайн, 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: *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*.

Нобеліанський розмай – «на грані століть»

Про те, що буде *саме така Премія* (та ще й «у якомусь там значному еквіваленті»), наприкінці ХІХ 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 ХІХ 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 «найпотаємніших 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 Зеeman (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).

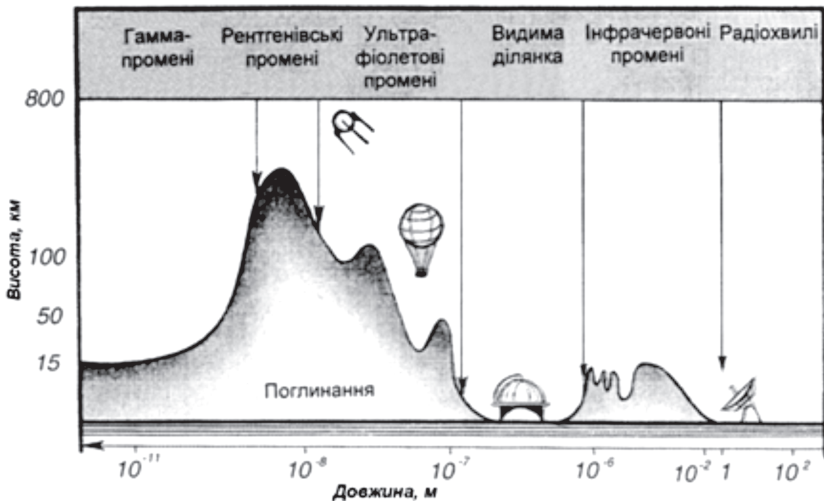


Рис. 4. Шкала електромагнітних хвиль та умови їх проходження через земну атмосферу.

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 заряду»)

Неможливо уявити розвиток астрономії/астрофізики без знання *трьох ефектів* – Доплера, Зеемана 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 Зеемана... 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 згадуймо 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 XIX ст. фізики уже якнайсерйозніше «перейнялися таємницями атома». Вчасно! Бо перед їхніми колегами-астрономами уже «на весь ріст» 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 істотно відрізнитися 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.

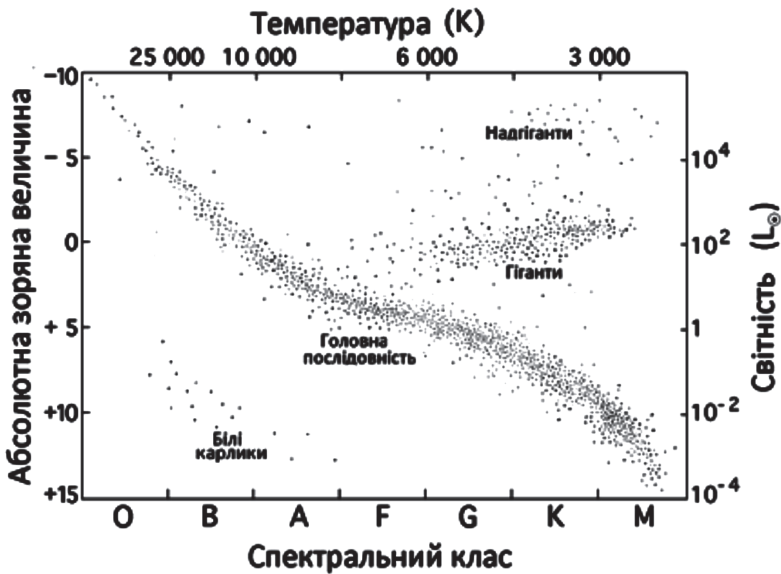


Рис. 5. Діаграма спектр-світність (Герцшпрунга – Рессела).

Шахмати... Чудова гра! Але неможливо уявити її без шахматної 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 $T = 6000\text{К}$, колір таких зір жовтий (тут і наше Сонце). Справа $T = 3000\text{К}$, 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 встановлювання 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.) він «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 Δv_x і Δx чи ΔE і Δt . Самі ж співвідношення невизначеностей мають вигляд (m – маса частинки, h – стала Планка): $\Delta x \cdot \Delta v_x \geq h/m$, $\Delta t \cdot \Delta E \geq h$. **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). Сформульовано 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, в якій доведено можливість переносу взаємодії частинками, що мають масу спокою (йшлося про обмінний характер ядерних сил).

Було сформульовано 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* (*пі-они*) 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 методикку 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.XII). **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 **Рікардо Джаконі** (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. Джаконі** очолював наукові програми орбітальних рентгенівських обсерваторій «Ухуру» та «Айнштайн» (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. **Марген Шмідт** (нідерл., 1929 р.н.), досліджуючи спектр об'єкта 3С273, 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 «поява» 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 симпозіуми/колоквіуми 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 дозорної 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 «видаєність 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 приду-

мають! Зокрема, **Фаулер** та його сучасники (див. нижче). «А що від вісмуту до урану «мляві» процеси занадто неефективні, то я, твоя Матінка-Природа, придумаю *нейтрино*, потоки яких миттєво будуть виносити геть оту звільнювану гравітаційну енергію. А різке зменшення 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 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, як зауважували його ж колеги, підіймаючи великі питання і пропонуючи правдоподібні відповіді на них, він не опрацьовував деталей (інакше: «в нього була багата уява, але його числові результати породжували підозріння»).

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».

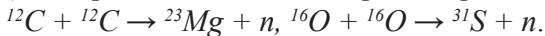
Спочатку Бете дослідив «шестиступеневий» вуглецево-азотний цикл (*CNO*-цикл) формування ядер гелію з 4-х протонів, в якому вуглець, азот і кисень відіграють роль каталізаторів. Наступного року він (і незалежно від нього **К. Вейцекер**) опрацював схему протон-протонного (*p-p*) циклу. Перший «працює» 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. В 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 **Уільям 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 ядрах 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}Bi). Джерелами вільних нейтронів є реакції типу



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 He^4 , He^3 і 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 «розпорошити», 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: $M_{\text{кр}} = 1,44 M_{\odot}$ при радіусі $R = 0,01 R_{\odot}$, 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 $M_{\text{кр}}$. 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 БК 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 Надгової 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^{14} г/см³), 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 °/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 гравіта-

ційних 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.

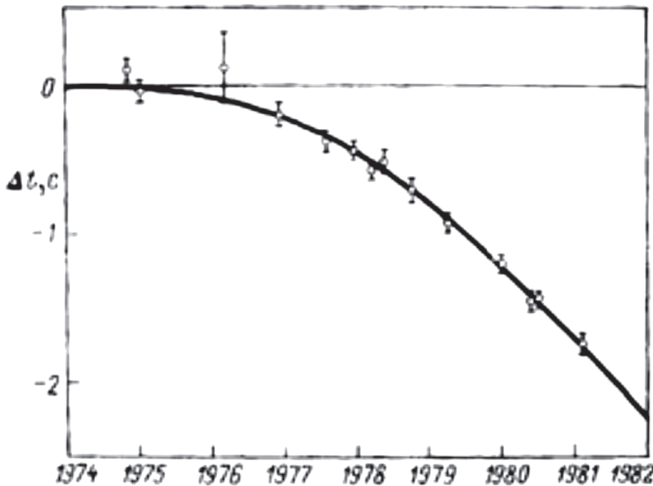


Рис. 6. Випередження в проходженні пульсара PSR 1913–16 через периастр порівняно з обчисленим, що відповідає сталому періоду обертання системи навколо центра мас

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 *космофі-*

зична 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 – формулювання 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 це – 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 сугубо 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 $T < 4,2$ К, в розрахунку на прийом сигналів на довжині хвилі близько 7 см). Розроблено метод виділення «корисного» сигналу із шуму локальних джерел.

«Надлишкове випромінювання» з ефективною температурою 3,5 К 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 труднощі досліджень, але й триумфу 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 переконання 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 СОБЕ (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 визначати лише з якою швидкістю зменшується її блиск: чим повільніше він зменшується, тим яскравішою була зоря у максимумі (це виявив Марк Філіпс). 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 розтягання» простору? Поки що висновок такий: очевидно, так виявляє себе *вакуум*, дія якого все ще слабко усвідомлювана. Важливим поки що є те, що цей ефект можна оцінити/встановити *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 СБІ. «Підсумкові результати усього цього» – нижче.

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 1/2, 1/4, 1/4).

Упродовж 50-ти років знаємо/чуємо: Стандартна Модель фізики елементарних частинок (ФЕЧ) «завалиться», якщо не буде відкритим *бозон Гіггса*, бо завдяки взаємодії цієї частинки з усіма іншими «ці інші» набувають масу.

І ось **Пітер Гігс** (1929 р.н.) та **Франсуа Енглерт** (1932 р. н.) лауреати *Нобелівської Премії 2013 р.:* «За теоретичне відкриття механізму, що допомагає нашому розумінню походження маси субатомних частинок і недавно підтвердженого виявленням передбаченої фундаментальної частинки експериментами на Великому Адронному Колайдері в ЦЕРНі»

В далекому вже 1964 р. одночасно і незалежно шотландець Пітер Гігс та бельгієць Франсуа Енглерт (цей другий опублікував статтю у серпні, перший – у жовтні) «сформулювали теорію про існування субатомної частинки, яка забезпечує походження мас усіх інших частинок». Заради справедливості слід сказати: Гігс передав свою статтю редакції одного фізичного журналу значно раніше, однак її було відхилено як таку, що «не має очевидного відношення до фізики»... А воно ж згодом «знавці» скажуть: «це заключний фрагмент головоломки, відомої як Стандартна Модель ФЕЧ».

Результат отримано у липні 2012 р. «Відтворено умови, які існували крихітну частку секунди після Великого вибуху».

Над проектом працювали 2000 фізиків. Обійшовся він «світовій спільноті учених» в 10 млрд доларів. Це був один із найдорожчих експериментів, коли-небудь проведених. Бозон Гіггса назвали Святим Граалем фізики. Нобеліант Леон Ледерман назвав його *частинкою Бога*, бо він матиме фундаментальне значення для «Теорії Усього».

Нобелівський Комітет відзначив: «Ідеї були висловлені одночасно і заслуговують однакової честі». Прозвучали «в кулуарах» зауваження: ім'я Лауреатів оголошено із годинним запізненням, проігноровано заслуги ще декількох теоретиків, не відмічено заслуги учених, які відкрили бозон на Колайдері.

Можна згадати, що П. Гігс принагідно висловив і таке: «Хоч я і невіруючий, проте скажу: немає суперечностей між Богом-

Творцем і тим, що вже відкрито нами у Всесвіті, цілком можна бути релігійною людиною і вченим водночас».

На жаль, дотепер не відзначений Нобелівською Премією, хоча, безумовно, заслуговує її, **Ераст Глінер** (євр., 1923 р. н.), зокрема, за статтю «Алгебраїчні властивості тензора енергії-імпульсу і вакуумоподібний стан речовини» (1965 р.). Як цю статтю, так і її аналіз Читач легко знайде в Інтернеті. Тут обмежимося декількома запозиченими з цих матеріалів фразами: «За Глінером, спочатку у Всесвіті був вакуум, описуваний космологічною сталою. Із первинного вакууму породжувалася речовина і вона розширювалася під дією антигравітації вакууму. Так виникло спостережуване космологічне розширення». І далі: «З початку 1980-х років, після праць Алана Гута та Андрея Лінде, захоплення цією ідеєю поступово набуло масового характеру і в підсумку виник та продовжує розростатися дотепер широкий напрям у космології, який отримав назву «інфляція»... Теоретиками інфляції запропоновані сотні, а то й тисячі, різних космологічних сценаріїв, тобто еволюційних схем, в рамках яких могла б, у принципі, реалізовуватися картина, вперше накреслена в зальних рисах Глінером».

Не може не зворушувати й особиста доля Е.Глінера Проживаючи в Ленінграді, з початком війни важко захворів (страшна дистрофія), Але в 1942 р. пішов в армію добровольцем, у 1944 р. при третьому важкому пораненні втратив праву руку. У березні 45-го його арештували й засудили на 10 років «за участь в діяльності антирадянської групи» (хоча це був усього лише студентський літературний гурток). Звільнений у квітні 54-го, продовжив навчання, згодом, як уже співробітник Фізтеху, опублікував декілька статей з релятивістської фізики й космології. На їх основі підготував кандидатську дисертацію, яку академіки А.Сахаров і В.Фок оцінили як докторську і взялися бути опонентами. Керівництво Фізтеху, однак, поставило умову: знімеш ім'я Сахарова як опонента, захищаєш дисертацію (можливо, як докторську), ні – то не захищасш навіть як кандидатську. Е. Глінер вибрав друге. А все ж ... йому допомогли захистити кандидатську у Тарту. А далі?: .. «Теоретик зі світовим ім'ям, фронтвик, батько сім'ї, він

перебував в інституті на посаді молодшого наукового співробітника». А в 1979 р. звільнився «за власним бажанням» і через рік виїхав у США.

На думку багатьох, «на наших очах у чергу за Нобелівською премією» стала група учених, які реалізують «Експеримент VISCER2, який підтверджує найважливіше передбачення теорії космічної інфляції». Використовуючи спеціалізований 26-см телескоп, який (при температурному режимі приймача 0,27К) працює на Південному полюсі (Антарктида..), тут вимірюють поляризацію реліктового радіовипромінювання. І, здається, таки досягли успіху! Нам розповіли уже (озвучено 17.03.2014), що «на ранній стадії розвитку Всесвіту у ньому гуляли сильні гравітаційні хвилі, які можуть виникнути лише на стадії інфляції». Стежмо за матеріалами Інтернету!

Залишається додати: 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 Хаббла $H = 68 \pm 9$ км/с/Мпк, реалізується модель евклідового простору ($\kappa = 1$).

Замість післямови

«Змонтованому із дерева квадрантові часів Тихо Браге» (рис.1, с. 14) маємо змогу протиставити сучасні телескопи «нових, новіших і найновіших поколінь» (рис. 7). Є «наземні» телескопи з діаметрами дзеркал 8–11 м, які здебільшого працюють «у режимі інтерферометрів», вони встановлені в основному на гірських вершинах островів Гавайї, Ла Пальма, також в Андах (Чилі). Реальними, напевне, є плани побудови 30-ти і 40-ка, а подальшому навіть 100-метрових гігантів...



Рис. 7. Інтерферометр із 4-х Дуже Великих Телескопів Європейської Південної обсерваторії, розташованої на горі Серро Параналь (Чилі, висота 2635 м). Діаметр дзеркала кожного телескопа – 8,3 м. За роздільною здатністю цей інтерферометр еквівалентний дзеркалу діаметром 130 м.

Уже «відпрацювали своє», в різних діапазонах довжин хвиль понад 20 «космічних телескопів» (їх перелік є в Інтернеті). Серед них, зокрема, прославився «ветеран праці» – 2,4-м телескоп імені Габбла (запуск у квітні 1990 р.). Невдовзі його замінять (у 2018 р.?) космічним телескопом ім. Джеймса Вебба, діаметр дзеркала якого – 6,5 м, захисний сонячний щит матиме розміри тенісного корту. Як дзеркало, так і згаданий щит будуть «розібрані та

щільно упаковані» відповідно до розмірів ракети-носія. Телескоп виведуть у точку Лагранжа L_2 на відстань 1,5 млн. км від Землі і там автоматично, за командами з Землі, змонтують...

Інформацію про конструкції та оптичні системи «наземних і позаатмосферних гігантів» можна отримати, зокрема, з книги В.Ю. Терєбіжа «Современные оптические телескопы» (М., 2005), як також – з Інтернету.

«А воно ж.» сто років тому Агнеса Кларк у своїй «Загальнодоступній історії астрономії у ХІХ ст.» (1913 р.), описуючи рефлектор із діаметром дзеркала 1,22 м, написала таке: «Можна сумніватися, чи буде коли-небудь збудоване таке ж дзеркало»... Тож будьмо обережними, складаючи ті чи інші прогнози!

Обговорюючи план цієї книжечки, автори мали (не до кінця продуманий зрештою) намір: подати наприкінці також певну добірку текстів під назвою «Боротьба ідей в астрофізиці, космогонії та космології» (це мали би бути розповіді про зіткнення суперечливих поглядів учених на певне, ще мало вивчене явище чи об'єкт). Невдовзі, однак, стало очевидним: це вимагає багатьох років скрупульозних досліджень, аж до перегляду архівних матеріалів.

Тож обмежуємось усього лише декількома запитаннями для «астрономічної вікторини» (в них частково «приховане те, що ми планували дати «відкритим текстом»). А згаданий намір, сподіваємось, реалізує хтось із Читачів.

Отже: Хто «відкрив канали» на Марсі? Хто «вкрив його поверхню буйною рослинністю»? Хто та в яких напрямках визначав на діаграмі спектр-світність еволюцію зір? Хто твердив, що атом – видумка фармацевтів? Хто висловив твердження, що сила – це геометрія? В чому суть «трьох правил Фарадея»? Хто і що відстоював у «Великій суперечці» та де і коли вона відбулася? Де сьогодні розташована Гринвіцька обсерваторія?

Запрошуємо продовжити цю добірку...

Науково-популярне видання

**Климишин Іван Антонович
Пунжин Юрій Миколайович**

Астрономія – класична і нобеліанська

Підп. до друку 8.05.2014. Формат 60x84/16
Папір офс. Друк цифровий. Гарн. Times New Roman.
Умовн. др. арк. 2,79. Наклад 100 прим.

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

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

