

І. А. Климишин

**ФРАГМЕНТИ
КОСМОЛОГІЇ**

Видання друге, доповнене

Івано-Франківськ
2012

УДК 523.11 (021)

Климишин І.А. **Фрагменти космології**. Видання друге, доповнене. Івано-Франківськ, Видавець Третяк І.Я., 2012. – 124 с.

Навчальний посібник для студентів спеціальності фізика, філософія та релігієзнавство, також – для учителів фізики й астрономії, учнів ЗШ для позакласної роботи.

Рецензенти: **Фреїк Д.М.**, доктор хімічних наук, професор;
Возняк О.М., кандидат фізико-математичних наук, доцент.

© Климишин І.А., 2012

«Що я смертний, я знаю, і що дні мої злічені; але коли я в думці невпинно і жадібно вистежую шляхи сузір'їв, тоді я більше не дотикаюся ногами землі: при столі Зевса втішаюся амброзією, їжею богів».

Клавдій Птолемей

«Не нами вибраний світ, який доводиться вивчати. Маємо визнати, що... наше знання – усього лише маленьке віконце в універсум і що через нестабільність світу нам треба відмовитися навіть від мрії про вичерпне знання,... І навіть якщо можна знати початкові умови, то майбутнє залишається принципово непередбачуваним... Реальність взагалі не контрольована в смислі, що був проголошений попередньою наукою... [І отже] ми були жервами зптвореної картини світу».

Ілля Пригожин

«Межі всіх природничо-наукових методів там, де з'являються питання про походження».

Вольфганг Паулі

«Кожен, хто серйозно займається наукою, переконується в тім, що в законах природи присутній якийсь дух, і цей дух вище людини. З цієї причини заняття наукою приводять людину до релігії».

Альберт Айнштайн

Дотепер все виглядало так, наче було змонтоване за принципом коліщаток всередині коліс і ми шукаємо найпотаємніше коліщатко. Але все може бути зовсім не так.. І так ви шукаєте, не знаючи, що за чортівня вам попадеться.

Річард Фейнман

Я вважаю зовсім неймовірним, що такий гармонійний порядок виник із хаосу. Для існування подібного порядку має бути якийсь організаційний принцип. Бог для мене – це таємниця. Але Він є поясненням чуда буття – чому сталося так, що є світ, а не ніщо.

Алан Сендідж

Не випадково багато природознавців і математиків, почавши свої дослідження як люди невіруючі, кожен своїм шляхом, по своєму, але приходили врешті-решт до віри... Можливо, новий союз науки і християнства... допоможе подолати важкий період екологічної і моральної кризи, в якій опинилася сучасна цивілізація.

**Ю.С.Осипов, академік
Президент Російської Академії Наук**

Зміст

ПЕРЕДМОВА	7
1. ВСТУП: СПОСТЕРЕЖНІ АСПЕКТИ КОСМОЛОГІЇ	9
Наш Всесвіт «як він є»	10
Розширення світу галактик	13
«Космічні каверни» – войди	15
Два здогади Гамова	18
Флуктуації – виявлено!	22
«Темна маса» і «темна енергія»	24
Наднові як «стандартні свічки»	28
2. ВСЕСВІТ У ТЕНЕТАХ МОДЕЛЕЙ	31
Основоположні принципи	31
У рамках класичної теорії	32
Початкова фаза розльоту	36
Про достовірність розширення	38
Становлення сучасної космології	40
Перші кроки в моделюванні	43
Рівняння Фрідмана і нестатичні моделі	44
Є роздування – немає проблем!	50
3. РОЗВИТОК ВСЕСВІТУ: ЧИ Ж – ВІД КОЛИСКИ?	56
Вакуум, поле й бозони Гігса	63
Вибір моделі роздування	68
В епоху розширення	71
Шкала ядерної хронології	75
Інформація – зі спектра флуктуацій (рРВ)	79
Всесвіт як плетиво струн	83
4. ПРОБЛЕМА СТРУКТУРИЗАЦІЇ	88
Від войдів до атракторів	88
У рамках класичної космогонії	89
Варіанти релаксації	91

Фрагментація у розширеному Всесвіті	93
Невизначеність нюансів	97
5. АНТРОПНИЙ ПРИНЦИП	101
Глибинна суть проблеми	101
Слабка і сильна версії	104
Декілька прикладів «допасування»	104
«Всесвітів багато – і Творець зайвий»	108
Фантазії – чи жарти, чи облуда?	112
Космос живих форм на Землі	114
ЗАМІСТЬ ПІСЛЯМОВИ	117
ЛІТЕРАТУРА	120

*Світлій пам'яті
Самуїла Ароновича Каплана,
Віктора Вікторовича Соболева
та Іллі Євгеновича Рахліна*

ПЕРЕДМОВА

Текст цієї невеликої за обсягом книжки є стислим конспектом окремих лекцій із космології, прочитаних у 2006-2011 рр. для студентів фізиків і філософів Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника. З огляду на вміщений у ній аналіз спостережних даних автор вважає її певним доповненням до своєї ж «Релятивістської астрономії» (див. сайт Івано-Франківської обласної Наукової бібліотеки www.lib.if.ua). А головне, – він сподівається невдовзі дізнатись, що вона своєю явною недосконалістю підштовхнула когось із наших молодих учених на створення повноцінного навчального посібника із цього найцікавішого розділу астрономії.

Автору «у свій час» вдалося здолати труднощі розуміння загальної теорії відносності як основи релятивістської космології, а згодом і Стандартної моделі фізики елементарних частинок. Але, заторкуючи питання теорії суперструн (а вона ж, очевидно, стає єдиною можливою основою і фізики усього Сущого, і космології зокрема), він, не соромлячись, повторює, услід за Л. Больцманом, відомі слова із «Фауста» Гете:

So soll ich denn mit saurem schweiss

Euch lehren, was ich selbst nicht weiss

– «Я мушу проливати піт важкий, // Щоб вас навчить того, чого не знаю сам».

Справді, нехай про згадану теорію кажуть що завгодно – що принципи побудови її ще не вдалося збагнути, і рівняння у всій повноті ще не зформульовано, і математичних методів для розв'язку цих рівнянь ще немає! Та все ж – настали «інші, нові часи» і з'ясовувати тонкощі нових теорій мають інші сміливці. Які, зокрема,

не лякаються ситуації, описаної Стівеном Хокінгом: професор, розповідаючи про нову теорію, навіть не підозріває, що, доки вона дійшла до його навчального закладу, її автор від неї вже відмовився...

Автор присвячує цю книжечку світлій пам'яті трьох безперечно видатних постатей – своєму науковому керівникові професору С.А. Каплану, завідувачу кафедри астрофізики Петербурзького університету академіку В.В. Соболеву і багаторічному завідувачому редакції астрономії видавництва «Наука» (Москва) І.Є. Рахліну, які надихали автора на долання усіляких труднощів, зокрема, при створенні декількох книг, що були публіковані видавництвом «Наука» у 1976–1991 рр.

Автор сподівається, що цей стислий конспект буде корисним для студентів, але також і для учителів фізики та астрономії в їх позакласній роботі, можливо, – і певному колу аматорів найцікавішої з наук – науки про небо і про його одвічні таємниці.

1. ВСТУП: СПОСТЕРЕЖНІ АСПЕКТИ КОСМОЛОГІЇ

Космологія – розділ астрономії, що вивчає найзагальніші властивості навколишнього Всесвіту (мегасвіту) в цілому. Тут передусім мають на увазі тривалість його існування (його «вічність у часі» або, навпаки, «народження T_g років тому»), його протяжність («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 (*червоному зміщенню ліній в їх спектрах*).

Космогонія відповідає на питання, як розвивалися конкретні форми речовини – галактики, зорі та планети.

Для пояснення будови й особливостей розвитку мегасвіту використовують фізичні закони, встановлені в земних лабораторіях (у масштабах макросвіту) при деяких «середніх» значеннях фізичних параметрів. Тому завжди є актуальним питання про правомірність екстраполяції цих законів на весь Всесвіт і на всі етапи його розвитку. Адже унаслідок такої їх екстраполяції і виникли *космологічні парадокси* – фотометричний, гравітаційний, а також термодинамічний (теорія «теплової смерті» Всесвіту).

Фотометричний парадокс сформулював у 1744 р. швейцарський астроном **Жан Шезо**: якби простір був нескінченний і рівномірно заповнений зорями, то небо було б сліпучо-яскраве, як Місяць у повню. *Гравітаційний парадокс* детально проаналізував у 1895 р. німецький астроном **Хуго Зелігер**. Його суть така: 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 б нескінченно великі.

Для усунення цих парадоксів висловлювали гіпотези, за якими 1) загальна маса усіх тіл у Всесвіті скінченна, або 2) середня густина речовини у світовому просторі навіть при нескінченно великій масі

близька до нуля, або 3) закон тяжіння Ньютона є неточним. Першу і третю можливості після всебічного аналізу відкинули. Друге – відображає *модель острівного Всесвіту* (запропонував її німецький учений **Йоганн Ламберт** у 1761 р.), 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. Однак з 20-х років ХХ століття стало очевидним, що і цю гіпотезу треба відкинути, оскільки в *середньому* розподіл речовини у просторі є рівномірним.

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 мало б настати вирівнювання температури: тепло мало б розподілитися між усіма тілами рівномірно і будь які процеси вже мали б бути неможливими...

Основи сучасної релятивістської космології було закладено на загальній теорії відносності (ЗТВ), завершеній **А. Айнштайном** у 1916 р. У ній нема місця ні для фотометричного, ні для гравітаційного парадоксів (перший із них усувається, якщо взяти до уваги розширення Всесвіту). Що ж стосується проблеми вирівнювання температури, то, як з'ясувалося, на ранній стадії розвитку Всесвіту вона *вже була однаковою в усіх його точках!*

Однак (див. далі) – лише наскільки це допускали квантово-механічні ефекти на стадії породження Всесвіту з вакууму. У фізичному розумінні – з середовища із дуже складною, ще надто мало вивченою структурою. В подальшому речовина набула звичних для нас складових. І завдяки згаданим квантово-механічним ефектам, як гадають, зформувалися неоднорідності її густини, що й забезпечило згодом хімічну еволюцію речовини.

Наш Всесвіт «як він є»

Астрономія, як наука, існує близько 2500 років. Завдяки зусиллям багатьох поколінь астрономів поступово складалася загальна

картина будови Всесвіту. Однак до початку XIX ст. астрономи вивчали лише Сонячну систему, у XIX ст. – уже нашу Галактику. І лише в XX ст. вони досягли світу інших галактик, який, як виявлено, *розширюється*.

Відповідно добирали масштабні одиниці для вимірювання відстаней. Наприклад, відстань до Місяця вимірювали в милях чи кілометрах. У межах Сонячної системи зручною виявилася *астрономічна одиниця* – відстань від Землі до Сонця ($1 \text{ а.о.} = 149,6 \cdot 10^9 \text{ м}$). При вивченні об'єктів Галактики довелося ввести такі одиниці, як *світловий рік* – відстань, що її світло проходить за один рік ($1 \text{ св. рік} = 63240 \text{ а.о.} = 9,5 \cdot 10^{15} \text{ м}$), і *парсек* – відстань, з якої радіус земної орбіти видно під кутом $1''$ ($1 \text{ пк} = 206\,265 \text{ а.о.} = 3,26 \text{ св. роки} = 3,09 \cdot 10^{16} \text{ м}$).

Сьогодні астрономи зуміли заглибитися у Всесвіт на відстані, звідки світлові промені йдуть до Землі близько 10 млрд. років. Тут уже використовують таку масштабну одиницю, як *мегапарсек* – мільйон парсеків ($1 \text{ Мпк} = 106 \text{ пк}$). У науково-популярній літературі частіше для позначення відстаней вживають мільйони і мільярди світлових років. Саме на відстані близько 10 млрд. св. років і проходить у наш час **горизонт науки. Про все, що знаходиться за цим горизонтом, можна лише здогадуватися.**

Головним об'єктом вивчення астрономії була і залишається наша **Сонячна система**. Її центральним тілом є *Сонце* – розжарена газова куля, радіус якої у 109 разів більший від радіуса Землі. Навколо Сонця на різних відстанях від нього обертаються вісім *великих планет* – Меркурій, Венера, Земля, Марс, Юпітер, Сатурн, Уран і Нептун. Разом із планетами рухаються їхні *супутники*. Крім цих великих планет навколо Сонця обертається багато тисяч *малих планет*, або *астероїдів*, сотні *комет*. Уся ж Сонячна система заповнена *метеорною речовиною* – пиловими частинками, дрібними уламками твердих тіл і нерівномірно розсіяним газом.

Радіус Сонячної системи оцінюють у 60 а. о. Найближча до нас зоря знаходиться в сузір'ї Кентавра, відстань до неї – 4,3 св. роки. Якщо змодельювати будову Сонячної системи так, що відстань

Земля-Сонце дорівнює 1 см, то ця найближча зоря була б на відстані 2 км.

Зорі, як і Сонце, – це велетенські газові кулі, що випромінюють енергію за рахунок синтезу в їх надрах ядер гелію та інших хімічних елементів. Близько 200 млрд. зір об'єднані в гігантську зоряну систему – *Галактику*. Основну частину її зір неозброєним оком бачимо у вигляді *Молочного Шляху*. Усі зорі в Галактиці, як і Сонце, обертаються навколо ядра Галактики, Галактика ж рухається як єдине ціле у просторі.

Серед декількох мільярдів зір, що їх можна спостерігати і вивчати за допомогою сучасних телескопів, виявлено близько 70 000 *змінних зір*, яскравість яких у той чи інший спосіб змінюється. Серед *спалахуючих* зір особливо цікаві *наднові*, яскравість яких упродовж тижня співмірна з яскравістю галактики, в якій цей спалах відбувся. Зорі бувають різних розмірів і потужностей. Є зорі-гіганти, їх радіуси у тисячі разів більші від сонячного, тоді як радіуси *нейтронних зір* становлять усього 15... 20 км. У Галактиці є також велетенські газово-пилові хмари – *туманності*, крім того вся Галактика заповнена розрідженим *міжзоряним газом* і пронизана магнітними полями.

Значна частина зір об'єднана в системи, що складаються з двох, трьох і більше (навіть із шести) компонент. Частина зір Галактики об'єднується у *скупчення* – розсіяні і кулясті, в перших налічують 200-500 зір, у других – їх один-декілька мільйонів.

Наша Галактика має лінзоподібну (точніше – спіральну) форму, її діаметр сягає 100 000 св. років, товщина – 10 000 св. років. За її межами вже виявлено мільярди таких же зоряних систем. Є галактики-гіганти, є галактики-карлики. Вони об'єднуються у *скупчення галактик*.

В середньому відстані між галактиками принаймні на порядок перевищують їх лінійні розміри (тож вони справжні оази в пустелі), їх кількість швидко зростає при переході до об'єктів слабкіших за блиском. Адже галактик, яскравіших 12-ї зоряної величини, відомо близько 250, 15-ї – вже 50000, за допомогою 6-метрового телескопа їх можна спостерігати декілька мільярдів...

Ще фантастичніші результати отримують за допомогою телескопів із діаметром дзеркала 10 м, як і еквівалентного їм 2,5 м орбітального «Габбла». Наприклад, у 2003 – 2004 рр. , із експозицією 10 с \approx 11,6 доби на площі поля 11,5 кв. кут. мін. отримувано зображення декількох тисяч галактик зоряної величини \sim 30. В переобчисленні на 1 кв. градус це становить близько 300 000, а на всю сферу 41 253 кв. градуси – понад 12 млрд. галактик 29 – 30.

За формою галактики дуже різноманітні. Є спіральні, еліптичні і неправильні галактики, є взаємодіючі. Виявлено також *квасари* – об'єкти, що мають вигляд звичайних зір, але є потужними джерелами радіовипромінювання. За сучасними уявленнями – це ядра галактик-гігантів.

Успіхи у вивченні навколишнього Всесвіту вражаючі, і вони стали можливими тому, що, як кажуть, *астрономія тримається на трьох китах*. *Перший* – *потужна спостережувальна техніка*, бо ж діаметри комбінованих телескопічних дзеркал сягають десяти-одинадцяти метрів, радіотелескопів – 100 м. До того ж надзвичайно ефективними є дослідження Всесвіту в «позаоптичному» діапазоні електромагнітних хвиль із борта штучних супутників Землі та автоматичних міжпланетних станцій. *Другий* – *це сукупність усіх законів і висновків теоретичної та експериментальної фізики*. *І третій* – *сучасні надпотужні електронно-обчислювальні машини*.

Розширення світу галактик

У вересні 1912 р. американський астроном **Весто Слайфер** з експозицією майже сім годин на 60-см телескопі зфотографував спектр «туманності Андромеди». Використавши формулу *ефекту Доплера*, він встановив, що вона рухається в бік нашої Галактики зі швидкістю 300 км/с. Невдовзі для іншої туманності з сузір'я Діви він же отримав протилежний результат: об'єкт віддаляється від нас зі швидкістю 1000 км/с. Такі дані упродовж п'яти років отримано для близько 30 об'єктів – за винятком декількох всі вказували на «розширення».

Варто пригадати, що формула *ефекту Доплера* має вигляд:

$$z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c} \quad (1.1)$$

Тут $\Delta\lambda$ – зміщення лінії, що має довжину λ , порівняно з її положенням у спектрі нерухомого (лабораторного) джерела світла, v – радіальна швидкість об'єкта (додатна, коли об'єкт віддаляється), c – швидкість світла. З 1921 р. це відносне зміщення лінії у спектрі об'єкта іменується *червоним зміщенням* z .

У 1924 р. інший американський астроном **Едвін Габбл**, виявивши і дослідивши в туманності Андромеди декілька десятків *змінних зір – цефеїд*, обчислив відстань до неї і довів, що це – насправді інша (як і наша) зоряна система. З того часу розпочався розвиток *позагалактичної астрономії*. Упродовж наступних п'яти років Габбл зі своїм помічником **Мілтоном Х'юмасоном** на найбільшому тоді 2,5-м телескопі отримав спектри 46 галактик і визначив відстані до них (найdaleша мала швидкість 3800 км/с!). Як виявилось, чим більша відстань до галактики r , тим більша її швидкість v , що і було представлено у формі:

$$v = Hr \quad (1.2)$$

Коефіцієнт пропорціональності H отримав згодом назву *стала Габбла* (сам Габбл використав для неї позначення K). Оцінка її величини у 30-х рр. XX ст. давала значення 500 – 560 км/с/Мпк.

Поділивши ліву і праву сторони рівняння (2) на vH , отримаємо

$$t_H = \frac{1}{H} \quad (1.3)$$

– час, упродовж якого триває рух галактик, тобто «вік нашого Всесвіту» (за умови, що розширення є рівномірним). При $H = 500$ км/с/Мпк було: $t_H = 1,9$ млрд. років.

Після введення в дію (1947 р.) 5-м телескопа і отримання надійніших даних для близько 500 галактик стала Габбла «зменшено» до $H = 180$, у 1968 р. – до 75 км/с/Мпк. Так «вік Всесвіту зріс» від 2 до близько 14 млрд. років.

Технічні можливості у вивченні світу галактик у наш час майже фантастичні. Так, за допомогою навіть 4-метрового телескопа *сучасний приймач енергії* дозволяє на площі, яку займає диск Місяця, за 10 хвилин отримати зображення 5000 галактик. Навіть телескоп з діаметром дзеркала 2,5 м дає змогу крізь п'ять різних світлофільтрів отримувати фотографії неба зі швидкістю 20 квадратних градусів за годину, а за одну ніч реєструвати зображення кількох мільйонів об'єктів, зокрема – одночасно до 640 спектрів, сягаючи відстаней до 5 млрд. світлових років! Ось звіт однієї групи дослідників за 2003 р.: «отримано спектри й виміряно червоне зміщення z для 200 000 галактик, є план – для мільйона». Інша група на 4-метровому телескопі має змогу одночасно отримати 400 спектрів, за п'ять років отримано їх для 221 414 галактик.

Розмова про сотні тисяч виміряних червоних зміщень виглядає нині буденною. Але огляньмося на 80 років назад! На отримання спектра відносно недалекої галактики доводилося затратити до 60 годин експозиції. Тобто ввечері спрямувати телескоп на вибраний об'єкт, перед світанком шторку касети закрити, касету на день заховати в темний мішок, ввечері знову... продовжувати нагромадження світлових квантів від цієї ж галактики на те ж місце емульсії. І так – тиждень! Як тут ще раз не згадати **Мілтона Х'юмаса**, який з 1917 по 1957 р. визначив червоні зміщення 620 галактик – більше, ніж на той час усі інші спостерігачі, разом узяті.

І саме завдяки сучасним телескопам в поєднанні з винятково ефективними приймачами енергії стало можливим виявлення спалахів наднових зір на відстанях, для яких $z > 1$ (зокрема, у вересні 2005 р. такий спалах зареєстровано в галактиці «зліва внизу біля Квадрата Пегаса», для якої $z = 6,29$!).

«Космічні каверни» – воюди

Кожен, хто задумується над особливостями будови близької, а отже – найдоступнішої ділянки Всесвіту, зробить очевидний висновок: розподіл речовини в ньому є вкрай неоднорідним. Зокрема, міжпланетний простір можна вважати порожнім, оскільки середня

густина речовини тут нікчемно мала порівняно з густиною планет (те ж скажемо, порівнявши масу планет із загальною масою цієї речовини у Сонячній системі). Аналогічні висновки можна зробити і щодо «зір у Галактиці» та «близьких галактик у міжгалактичному просторі». Структуру Всесвіту у великих масштабах вивчають шляхом масового визначення координат і червоних зміщень галактик у вибраних ділянках. У спектроскопічному огляді 2dF (2 degree Field Galaxy Redshift Survey), який охоплює $\sim 5\%$ неба (близько 2000 кв. градусів) і виконаному на 3,9-метровому телескопі Англо-Австралійської обсерваторії у 1997–2002 рр., були отримані червоні зміщення понад 220 000 галактик із середнім значенням $z = 0,11$ (що орієнтовно відповідає 500 Мпк). Радіальний розподіл галактик у двох протилежних секторах за даними огляду 2dF наведений на рис. 1.1. При переході до масштабів сотень мегапарсеків флуктуації густини згладжуються і розподіл видимої речовини стає більш однорідним. На рисунку чітко видно **великомасштабну структуру Всесвіту**: галактики утворюють своєрідну коміркову структуру із типовим розміром близько 100 Мпк. В середині комірок спостерігається дефіцит галактик – це так зв. порожнечі, або **войди** («Загальна астрофізика» **А.В. Засова і К.О. Постнова** – М., 2006, с. 401).

Однак вивчення будови Всесвіту у *великих масштабах* ведуть до протилежного висновку: якщо навіть у згаданих комірках можливе «павутиння» із об'єктів меншого масштабу (скажімо, з карликових галактик), у великих масштабах Всесвіт є однорідним.

Сучасні телескопи дають змогу розв'язувати цю задачу комплексно. З одного боку, гранично далекі (до $z = 5-6$) галактики і квазари «виловлюють» завдяки наявності у їх спектрах потужних емісійних ліній. З другого ж – за їх особливостями оцінюють густину речовини у міжгалактичному середовищі.

Важливим є ще один фрагмент із книги «Загальна астрофізика» **А.В. Засова і К.О. Постнова**: «Пошук далеких об'єктів зазвичай здійснюють за потужною емісією L_{α} (т. зв. **Лайман-альфа випромінювачі**). Можна також шукати різкий спад інтенсивності

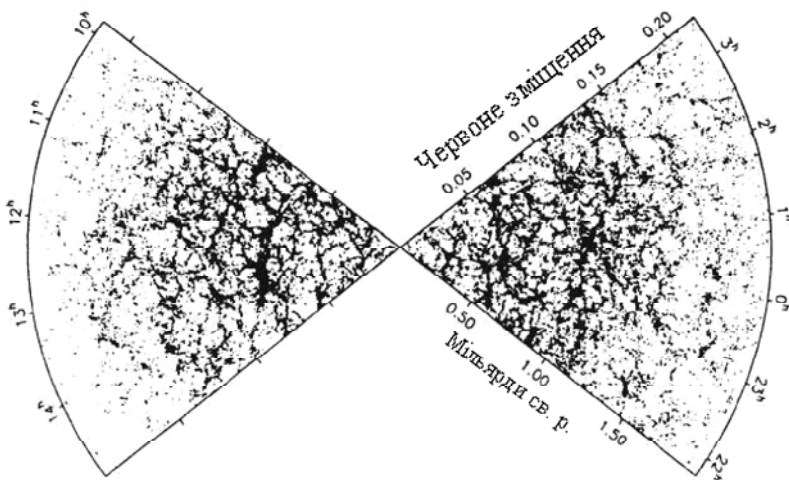


Рис. 1.1. Радіальний розподіл ~ 220000 галактик у двох протилежних секторах неба

(стрибок) у неперервному спектрі об'єктів із великим червоним зміщенням на довжинах хвиль, коротших від лайманівської межі (912 \AA)...

Хмари нейтрального водню, що потрапляють на промінь зору між галактикою і спостерігачем, обумовлюють появу значної кількості ліній поглинання між довжинами хвиль L_α (1216 \AA) і лайманівською межею L_c у формі частоколу окремих вузьких ліній на різних червоних зміщеннях (т.зв. « L_α -ліс»). Випромінювання, початково більш короткохвильове, ніж L_α , на шляху до нас завдяки розширенню Всесвіту збільшує довжину хвилі. Тому воно буде ефективно поглинатися на тій відстані (червоному зміщенні) від нас, де воно за довжиною хвилі зрівняється з L_α .

Фактично йдеться про поглинання світла у широкому інтервалі довжин хвиль, коротших 1216 \AA (в системі відліку, пов'язаній із джерелом. Це явище названо *ефектом Гана-Петерсона*: теоретично його було передбачено у 1965 р., виявлено через 40 років у спектрах квазарів із червоним зміщенням $z > 6$ (рис. 1.2).

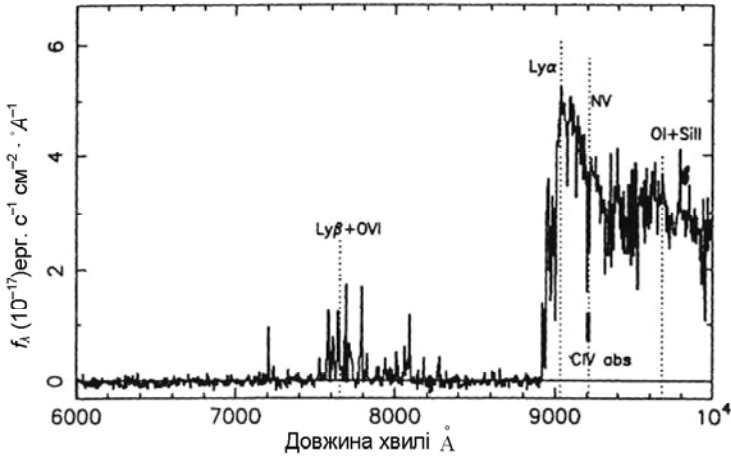


Рис. 1.2. Спектр далекого квазара із червоним зміщенням $z = 6,43$, отриманий на 10-м телескопі ім. Кека. Чітко видно ефект Ганна-Петерсона (придушення континууму при $\lambda < L_{\alpha}$), що свідчить про наявність нейтрального водню в міжгалактичному середовищі навколо квазара.

Два здогади Гамова

Одним із найважливіших у космології є питання: як, завдяки яким процесам стало можливим спостережуване співвідношення у кількості хімічних елементів – від водню до урану. І якщо відбувалися певні процеси їх ускладнення, то за якими схемами, за яких фізичних умов (густин, температур тощо).

Відповіді на ці питання частково зумів дати у 1946 р. **Георгій Гамов** (українець по матері, народився в Одесі, з 1934 р. жив у США). Пригляньмося до цієї ситуації уважніше.

Зі спостережень випливає, що гелію в природі близько 30%, водню – близько 70%, на всі інші хімічні елементи припадає менше 1% маси речовини. Спостережувана кількість гелію не могла утворитися внаслідок термоядерних реакцій. Справді, при сталій світності Галактики, що дорівнює 10^{37} Вт, протягом $14 \cdot 10^9$ років – часу, що минув 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. Як видно, 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. Отже, **основна маса гелію була в речовині, з якої формувалися зорі Галактики, з початку.**

Гамов виходив з уявлення: t_H років тому вся речовина галактик, перед початком розльоту, була у певному щільному стані (для неї запозичено в Аристотеля назву – *ілем*) і температура там сягала мільярдів градусів. При розширенні цієї первинної дозорної речовини і мали б утворюватися водень, гелій та всі інші хімічні елементи. Однак виявилось, що за цих умов з уже наявних протонів і нейтронів утворюються лише ядра гелію, але якраз у кількості, що відповідає спостереженням! Ще – невелика кількість літію.

Для стану на момент початку розширення Гамов придумав вдалу назву – **Великий Вибух**. Повторимось: він прийняв, що температура у Всесвіті в момент «Великого вибуху» сягала мільярдів градусів. Інакше кажучи, *на ранніх стадіях розширення Всесвіт був гарячим*, а отже, заповненим квантами високих енергій. У процесі розширення Всесвіту енергія кожного фотона зменшується. Тому, твердив Гамов (1956 р.), у наш час спектральний розподіл енергії цих квантів повинен відповідати випромінюванню чорного тіла, нагрітого до температури 5-6 К, і шукати його треба у сантиметровому діапазоні радіохвиль.

«З легкої руки» **Й.С. Шкловського**, це випромінювання названо **реліктовим радіовипромінюванням**. Інша його назва – **космічний мікрохвильовий фон** (КМФ). Певні дані щодо реальності існування цього фону отримав 1941 р. канадський учений **Ендрю Мак-Келлар**, у середині 50-х років у Пулкові **Т.А. Шмаонов**, однак ні перший, ні другий тоді ще не знали про теоретичні оцінки **Г. Гамова**, Тож Нобелівську премію 1978 р «За відкриття (у 1965 р.) мікрохвильового реліктового випромінювання» отримали американські вчені **Арно Пензіас** і **Роберт Вільсон**, хоча їх метою було усього лише вивчення радіовипромінювання нашої Галактики. Для цього вони розробили

методику використання радіотелескопа, призначеного спочатку для прийому на довжині хвилі $\lambda = 7,3$ см. сигналів, відбитих від супутника «Ехо». За допомогою спеціального модулятора їхній приймач міг виділяти корисний сигнал на тлі шуму, котрий виникає у кожному приймачі. Інтенсивність шуму тут у 1000 (!) разів перевищувала інтенсивність самого сигналу. Все ж Пензіасу й Вільсону вдалося зареєструвати випромінювання, інтенсивність якого в зеніті відповідала температурі 6,7 К (рис. 1.3). Строгий аналіз привів до висновку, що з цієї величини 2,7 К пов'язано з випромінюванням земної атмосфери, а 0,9 К – з випромінюванням окремих вузлів радіоприймача.

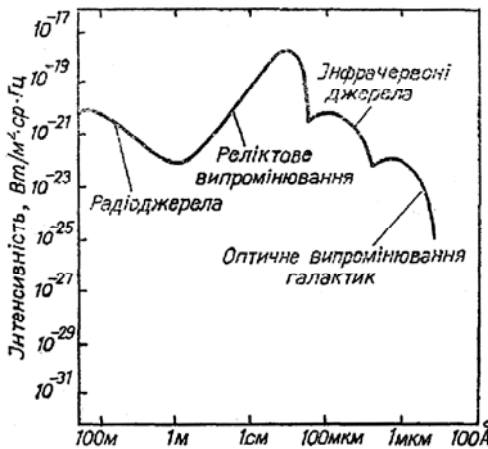


Рис. 1.3. Загальний спектр усередненого випромінювання у доступному для спостережень Всесвіті від окремих джерел і реліктове радіовипромінювання, яке описується планківською кривою при значенні параметра $T = 2,7$ К

Отже, міжгалактичний простір заповнений квантами низької частоти. При температурі $T = 2,725 \pm 0,001$ К густина енергії цих квантів становить $u = a_R T^4 \approx 4 \cdot 10^{-20}$ Дж/см³ (тут $a_R = 7,56 \cdot 10^{-22}$ Дж/см³/К⁴ – стала випромінювання). Середня енергія одного кванта $\bar{\epsilon} \approx 2,7 k T \approx 10^{-22}$ Дж ($k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – стала Больцмана). Таким чином, середнє число квантів в одиниці об'єму $N_\gamma = u / \bar{\epsilon} \approx 400$ см⁻³. Тим часом за сучасної середньої густини речовини у Всесвіті $\rho \approx 10^{-30}$ г/см³ це дає концентрацію частинок $N = \rho / m_H \approx 5 \cdot 10^{-7}$ см⁻³ ($m_H = 1,67 \cdot 10^{-24}$ г –

маса атома водню). Отже, у Всесвіті на кожен нуклон припадає близько 1 млрд. фотонів!

Густину маси, еквівалентної згаданій густині енергії u , знаходимо за формулою спеціальної теорії відносності

$$\rho_{\gamma} = \frac{u}{c^2} = \frac{a_R T^4}{c^2} = 4,5 \cdot 10^{-34} \text{ г/см}^3 \quad (1.4)$$

– таке значення майже на чотири порядки менше від середньої густини речовини у Всесвіті. Це означає, що в наш час реліктове випромінювання зовсім не впливає на особливості розширення Всесвіту.

Також доречно звернути увагу на можливу роль реліктового радіовипромінювання як певної привілейованої системи відліку. Справді, можна уявити, що наша Галактика з її мільярдами зір, зокрема із Сонцем, занурена в море низькочастотних фотонів, які рівномірно з усіх боків пронизують місцезнаходження спостерігача. Коли ж цей спостерігач рухається зі швидкістю v , то реєструватиме надлишкову інтенсивність реліктового випромінювання у напрямі свого руху і меншу – з протилежного боку. Відповідно величина зареєстрованої ним температури становитиме

$$T(\theta) \cong T_0 \left(1 + \frac{v}{c} \cos\theta\right), \quad (1.5)$$

де θ – кут між вектором швидкості руху спостерігача і напрямом осі радіотелескопа. Надлишок інтенсивності, що відповідає надлишковій температурі

$$\frac{\Delta T}{T} \approx (0,40 \pm 0,56) \cdot 10^{-3}$$

і справді виявлено орієнтовно у напрямі на сузір'я Лева. Звідси випливає, що стосовно «фону реліктового випромінювання» (для опису якого вживають ще назву «космічний субстрат» або ще, за аналогією до класичної електродинаміки, «неоефір») Сонячна система рухається зі швидкістю $u \approx 400$ км/с, а центр нашої Галактики – зі швидкістю $V \approx 600$ км/с саме у напрямі на сузір'я Лева.

Це означає також, що з «неоефіром» можна пов'язати систему координат, супутню космічному субстрату, як також – запровадити **всесвітній космологічний час**. І нарешті, високий ступінь ізотропії реліктового радіовипромінювання свідчить, що Всесвіт у великих масштабах однорідний.

Флуктуації – виявлено!

Крім згаданої вище великомасштабної флуктуації інтенсивності РВ, що є відображенням руху Сонця (півсфери неба в бік спостерігача, іншої – від нього) все ж очікувано менш масштабні. Для їх виявлення здійснено запуски декількох космічних апаратів – у СРСР (1984 р.) «Релікт», у США (відповідно в 1989 і 2001 р.) COBE (COsmik Background Explorer), і WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe). Використано також стратосферні апарати BOOMERANG, MAXIMA, ACBAR і наземний СБІ.

В цілому дослідження були успішними (рис. 1.4), про це свідчить і Нобелівська премія 2006 р., присуджена американським вченим **Джону Мазеру і Джорджу Смуту**, керівникам однотисячного колективу учених, інженерів і техніків проекту COBE: «За роботу, що допомагає просунути у вивченні процесу виникнення Всесвіту і розумінню походження галактик і зір».

За даними згаданих спостережень здійснено побудову **кореляційної функції** – залежності усереднених квадратів різниць

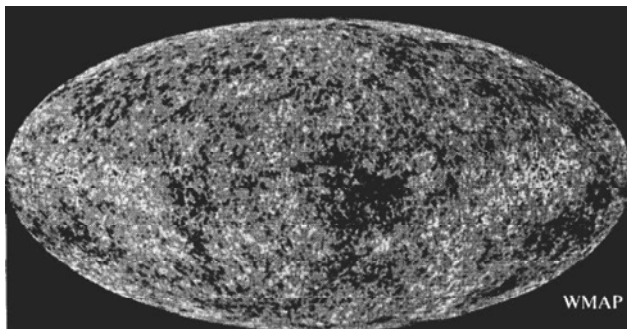


Рис. 1.4. Кутовий розподіл інтенсивності реліктового радіовипромінювання за даними експерименту WMAP (флуктуації $\delta T \approx 0,0002 \text{ K}$)

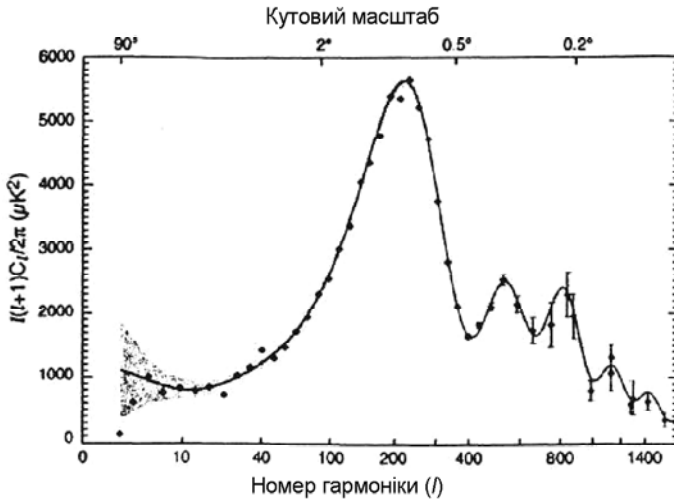


Рис. 1.5. Спектр флуктуацій реліктового випромінювання за даними експериментів: космічного WMAP, наземного СВІ та балонного АСВАР. По горизонталі – номер кутової гармоніки (мультиполя) та відповідний їй кутовий масштаб (зверху), по вертикалі – нормований спектр потужності флуктуацій (тобто відображення флуктуацій температури).

інтенсивностей РВ $(I_2 - I_1)^2$ або ж, що те саме, температур $(T_2 - T_1)^2$ як функції кутової відстані θ між довільно взятими точками «1» і «2» небесної сфери. **Акустичні піки** зайняли на рис.1.5 місце, близьке до передбаченого А.Д. Сахаровим ще 1967 р. – тому і є поняття **сахаровських коливань**. Детальніше про це ще буде мова далі (с. 79–82).

Вже опубліковано попередні результати, отримані Європейською космічною обсерваторією «Планк» (запуск 14.05.2009 р.) з точністю вимірювання температури РВ у 15 разів вищою, ніж у WMAP.

Повідомляючи про них, директор дослідницьких програм Європейського Космічного Агентства (ЄКА) Девід Саутвуд зазначив: «Ми не даємо відповідей, але ми відкриваємо двері в Ельдорадо, де вчені можуть шукати самородки, які допоможуть нам краще зрозуміти, як виник наш Всесвіт і як він працює тепер. І вчені вже можуть розпочати жнива».

Детальний звіт про роботу «Планка» буде опубліковано на початку 2013 р. Але науковий керівник цього проекту в ЄКА **Ян Таубер** сказав, що дані, отримані з «Планка», вже тепер дозволяють підтвердити деякі відкриття, зроблені зондом WMAP.

«Темна маса» і «темна енергія»

В середині 30-х років ХХ ст. астрономів здивувало те, що галактики у скупченнях мають «завеликі» швидкості руху одна відносно одної. Тобто, що їх кінетичні енергії мали б «змусити» галактики розлетітися в міжгалактичний простір, переборовши сили їхнього взаємного притягання. Оскільки ж цього не сталося, то придумано причину: стійкість скупчення забезпечується масою (речовиною), яку ми не бачимо, не реєструємо. А її – чи не в десятки разів більше тієї, яку бачимо! І, отже, вона, ота **темна невидима маса** також керує і «життям» кожної галактики. Зокрема, визначає її форму, як ось, бути їй спіральною чи ні, а якщо так, то з перемичкою чи без неї...

Математика тут нескладна. Як установив 1870 р. німецький фізик **Рудольф Клаузіус**, значення середньої кінетичної енергії E_k системи частинок (зір у галактиці, галактик у скупченні тощо) пов'язане із середнім значенням потенціальної гравітаційної енергії U співвідношенням:

$$2E_k + U = 0 \quad (1.6)$$

Тож якщо M – маса системи, R – її розмір (радіус), G – гравітаційна стала, тоді $U = -\frac{GM^2}{R}$, а $E_k = -\frac{M\overline{v^2}}{2}$ (тут $\overline{v^2}$ – середня квадратична швидкість складових системи). І якщо зі спостережень знайдено $\overline{v^2}$ і R , то із співвідношення (1.6) оцінюють масу галактики (чи відповідно скупчення галактик): $M \approx \frac{R\overline{v^2}}{G}$.

Певний час замість поняття *енергія* вживали *сила* (лат. *vir*). Зокрема, замість *кінетична енергія* – *жива сила*. Тому то співвідношення (1.6) названо *теоремою про віріал*. А що знайдене при вивченні скупчень галактик «занадто велике $\overline{v^2}$ » вимагало (для пояснення стійкості скупчень) істотного збільшення маси M , ця ситуація отримала назву *віріального парадокса*. Усунення ж (пояснення) його якраз і полягало в припущенні, за яким маса скупчення істотно перевищує величину, знайдену зі співвідношення «світність – маса галактики», встановленого для близьких галактик.

Річ ясна, зразу ж виникло питання про «кандидатів» на приховану масу. Передусім, це можуть бути зорі коричневі і білі карлики, планети типу Юпітера. Усе це «баріонна речовина», однак, за оцінками, її усього в сім разів більше, ніж звичайної видимої. Але орієнтовно є **й екзотична темна матерія**, а її чи не в 50 разів більше світної, вона – *невідомої природи* і лише гравітаційно взаємодіє зі згаданими двома іншими. Про це – дещо пізніше.

Ось наглядний приклад наявності в галактиках цієї екзотичної темної матерії.

За останні сто років розроблено надійні методи визначення мас і світностей галактик, кутових і лінійних швидкостей їх обертання. Нерідко вдається навіть встановити особливості хімічного складу зір із центральних зон та з їх периферії. Адже спостереження цих об'єктів у наш час ведуть у всіх електромагнітних хвилях від радіо до рентгенівського і гаммадіапазону.

Отож, важливою характеристикою галактики є відношення сумарної маси її зір M , вираженої у масі Сонця M_{\odot} , до сумарної світності L (в одиницях L_{\odot}), тобто M/L і спочатку було знайдено, що здебільшого $M/L = 2 \div 20$. Невдовзі, однак, «все ускладнилося» – значною мірою завдяки спостереженням у радіодіапазоні. Адже так вдалося вивчати країни галактик, у 3-5 разів дальші від їх центрів, ніж це дозволяли оптичні методи. Йдеться про встановлення залежностей швидкості обертального руху зір від їх відстаней до центра галактик – їх так званих *кривих обертань*.

Бож у випадку, якби до складу галактики входили лише зорі як світна речовина, їхня лінійна швидкість V з відстанню r від центра мала б зменшуватися орієнтовно як $1/\sqrt{r}$ (такою є залежність для колової швидкості без урахування взаємного впливу «сусідніх зір»). Насправді ж спостереження вказують навіть на *істотне зростання* швидкості V з відстанню r . Тому і зроблено висновок: крім видимої (світної) речовини (зір) і вже згаданої «темної, але баріонної» у галактиці є речовина, також темна, невидна, але якась «екзотична» і її – навіть у десятки разів більше! І повторимось: природа цієї речовини, яка лише гравітаційно(!) взаємодіє зі світною, поки що залишається невідомою.

Звернемо увагу: за останні п'ять років ряд украй важливих та інформативних матеріалів, що стосуються темних компонентів Всесвіту, пошуку частинок темної матерії, можливостей Великого Адронного Колайдера, актуальних проблем фізики елементарних частинок в цілому, опубліковані провідними російськими вченими в журналі «Успехи физических наук» (УФН).

Ще складнішою (водночас і цікавішою!) є проблема **темної енергії**. У травні 1998 р. відбулася знаменна астрономічна конференція, де було розглянуто особливості розширення Всесвіту. «Більшістю голосів – 40 із 60» стверджено: почавши від червоних зміщень $z = 0,5$ це розширення є прискореним! Це відкриття започаткувало нову революцію в космології.

Отож дві групи дослідників (керівники відповідно **С. Перлмуттер** та **А. Рісс**, перша з них опрацювала дані спостережень 35 наднових, друга 42) незалежно провели співставлення отриманих ними видимих зоряних величин і червоних зміщень Наднових «типу Ia». 1 – постало питання: що є причиною цього «додаткового розтягування» простору? Про це буде мова далі, тут обмежимося коротким зауваженням: як гадають, так виявляє себе *вакуум*. За виявлення «прискореного розширення Всесвіту шляхом спостережень далеких наднових» **С.Перлмуттер, Б. Шмідт й А. Рісс** отримали Нобелівську премію (2011 р.)

Конкретизуємо сказане так званим **парадоксом Габбла-Сендіджа**, суть якого з'ясовують співставленням двох діаграм Габбла. Накреслена ним 1929 р. діаграма стосується залежності $v(r)$ до відстаней $r_m \approx 20$ Мпк (Габбл помилково приймав $r_m \approx 2$ Мпк). У наш же час її надійно складають за даними про галактики, відстані до яких перевищують 700 Мпк. Там якраз (при $r \geq 100$ див. рис. 1.1) Всесвіт можна вважати однорідним. Отож для такого галактичного світу маємо сталу Габбла $H \approx 73$ км/с/Мпк. Габбл же встановив «залежність $v = Hr$ «у зоні», де розподіл речовини дуже неоднорідний і де дисперсія швидкостей (їх відхилення від середнього значення для заданої відстані) сягає 74 км/с! Питання ось у чому: як же стається так, що, незважаючи на істотну неоднорідність просторового розподілу цих близьких галактик, незважаючи на так великий розкид швидкостей їхнього руху, все ж за даними тепер уже про 145 галактик цього «місцевого об'єму» стала Габбла $H = 64 \pm 10$ км/с/Мпк! **Чітку відповідь** на це питання дали **І.В. Архангельська, І.Л. Розенталь та А.Д. Чернін** у кн. «Космологія і фізичний вакуум» (М. 2006, с. 186-191): «...кінематика галактик у місцевому об'ємі має мало спільного з їх просторовим розподілом, ... за спостережуваною кінематикою стоїть динаміка, яка з розподілом мас галактик фактично не пов'язана». І хоча слід врахувати ще й наявну тут темну матерію, маса якої – у 10 разів більша, дві сили – сила притягання, створювана масою місцевої групи, і сила відштовхування створювана вакуумом, «зрівнюються за абсолютною величиною при $r \approx 2$ Мпк, на більших же відстанях домінує анти-тяжіння вакууму. [А тому] почавши з відстані в декілька мегапарсек, галактики місцевого габблівського потоку рухаються як пробні частинки на ідеально регулярному фоні вакууму, який їх розганяє ...» Бо «головний внесок у космічну густину створює вакуум з його ідеально однорідним розподілом у просторі. За своєю ефективною гравітуючою густиною він перевищує сумарну середню густину майже у п'ять-шість разів».

І висновок такий: «лише з відкриттям космічного вакууму став ясним реальний смисл відкриття **Габбла**: у Місцевому об'ємі він виявив глобальний космологічний феномен».

Наднові як «стандартні свічки»

Першим і найважливішим в астрономії завжди було і є *питання про відстані* до тих чи інших об'єктів. В космології воно – подвійне: 1) Якою, є ця відстань? 2) Як вона змінюється з часом? Бо ж це друге визначає **тип космологічної моделі** (підтверджує або заперечує певну теорію).

На близьких відстанях у нашій Галактиці цілком надійним (і «наглядним») є метод вимірювання *річних паралаксів* об'єктів з використанням простого тригонометричного співвідношення. Тут йдеться про зміщення близької зорі, обумовлене рухом Землі навколо Сонця. Отож до 90-х років ХХ ст. цим методом вдалося визначити відстані до близько 10 000 зір в околі менше 500 св. років – для одної із кожних 15 млн. зір Галактики. Істотно підвищено результат після запуску в 1989 р. *космічної обсерваторії Гіппаркос*: за її допомогою встановлено відстані до 120 000 зір в околі 3000 св. років.

Маючи цю надійну основу, астрономи розробили близько десяти різних методів встановлення відстаней до все дальших об'єктів Всесвіту, серед яких – із використанням *залежності період-світність* для пульсуючих *зір-цефеїд*. А це, у свою чергу, дало змогу обґрунтувати **метод «типового представника»** – об'єкта з певним набором характеристик, зокрема потужності, тобто – світності L , і таким чином вважати його стандартом чи **стандартною свічкою**.

В якості таких свічок виступили найяскравіші, у кожному скупченні галактик, об'єкти – еліптичні галактики, тут беруть до уваги їх «вигляд» і кутові розміри. В якості параметра приймають зміну (дисперсію) швидкості в центральній частині галактики – так звану *залежність Фабера-Джексона*. Однак найпотужнішими стандартними «свічками», які можна спостерігати на відстанях у мільярди світлових років, є **Наднові типу Ia** (SNIa).

Із двох типів спалахуючих «наднових» зір перший виділяється тим, що в спектрах цих зір немає ліній водню; у підгрупі Ia головними лініями у спектрі є лінії заліза, тоді як в Ib – лінії кисню. Усі SNI мають однакові криві блиску (рис. 1.6.), тоді як у наднових типу

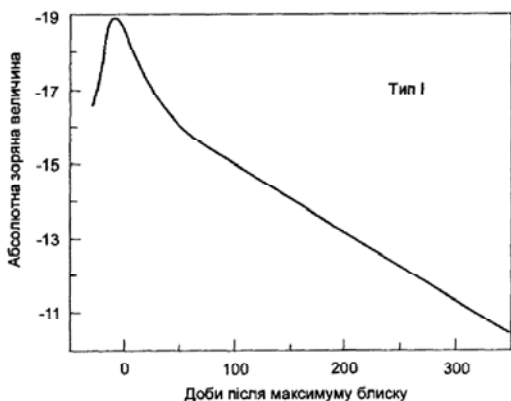


Рис. 1.6. Крива блиску наднової Ia. Абсолютна зоряна величина M (відкладена по вертикалі) пов'язана із потужністю (світністю) зорі L співвідношенням $\lg L = 0,4 (4,72 - M)$ і, отже, при $M = -19$ маємо: $L \approx 3,1 \cdot 10^9 L_{\odot}$ де L_{\odot} – світність Сонця.

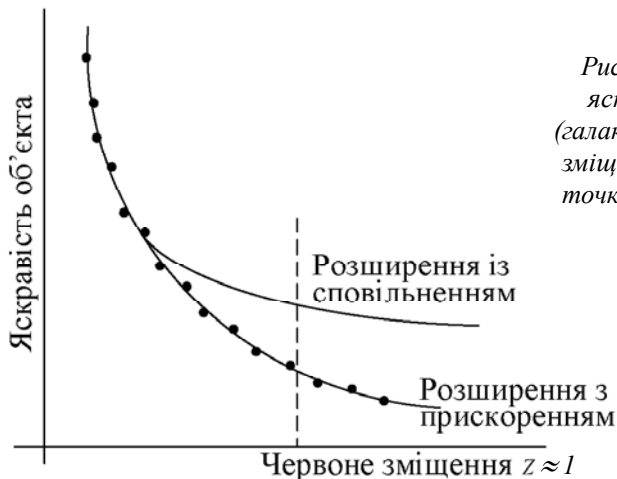
SNII вони «розмаїті». Вважають, що спалах зорі SNI – це термоядерний вибух білого карлика, маса якого сягає 1,5 маси Сонця і який є компонентом подвійної системи, (але можливо – це поодинокі зорі і тоді її маса становить 3 – 8 M_{\odot}). Енергія, що виділяється при такому вибуху, сягає $2 \cdot 10^{47}$ Дж. І цей об'єкт *упродовж тижня* є майже таким яскравим, як уся галактика, де він перебуває.

Якраз важливим є те, що всі наднові типу Ia мають однакові криві блиску і однакові за потужністю. Завдяки цьому їх і використовують в якості «стандартних свічок» при з'ясуванні особливостей розширення Всесвіту, інакше кажучи – для вибору тої чи іншої космологічної моделі.

Тепер звернемо увагу: дослідник такого екзотичного об'єкта з'ясовує три різні параметри. Перший – його яскравість, другий – зміщення ліній у спектрі і третій – тривалість перебування у фазі максимуму блиску. Адже щодо останнього – з урахуванням ефекту СТВ про відносність тривалості проміжків часу у різних системах координат, які рухаються одна відносно одної, – виявляють: це у близьких до нас околицях згадана найбільша яскравість SNIa є *упродовж двох тижнів!*

У випадку ж, коли ця наднова рухається від нас і її $z \approx 0,5$, тривалість отого максимуму блиску вже становитиме три тижні, при $z \approx 1$ – чотири тижні. В цілому всебічне дослідження і дає змогу

побудувати залежність «відносна яскравість SN – її червоне зміщення» (рис.1.7).



З 2002 р. на орбітальному телескопі «Габбл» працює камера для дослідження далеких наднових – Advanced Camera for Surveys. Очікується реалізація нових проєктів, завдяки яким стане можливим виявляти уже не десятки (як дотепер), а тисячі SNIa.

2. ВСЕСВІТ У ТЕНЕТАХ МОДЕЛЕЙ

Основоположні принципи

Як вже знаємо, космологія має завдання з'ясувати геометричну структуру простору і часу, зформулювати закони розвитку Всесвіту як цілого, дати конкретні відповіді на питання, які процеси призвели до формування галактик та їхніх скупчень. **Спостережувальною основою космології є всі дані позагалактичної астрономії, а теоретичним підмурком – загальна теорія відносності, віднедавна ж – у поєднанні з фізикою елементарних частинок.**

Загальні властивості Всесвіту, закономірності його розвитку досліджують шляхом побудови *космологічних моделей*. Основні рівняння тут отримують, виходячи із загальної теорії відносності. При цьому приймають, що властивості Всесвіту для кожного заданого моменту часу однакові в усіх його точках і в усіх напрямках. Цей *космологічний принцип однорідності та ізотропності* Всесвіту підтверджують спостереження: у масштабах, більших від 300 Мпк, у розподілі галактик справді не виявлено істотних відхилень від однорідності та ізотропності, тоді як радіус доступного для спостережень Всесвіту 3000 Мпк (понад 10 млрд. св. років).

Важливим є також факт *червоного зміщення* у спектрах галактик, який інтерпретують не як рух галактик у просторі, а як **розширення самого простору**. Аналогією тут може бути гумова нитка, на якій зав'язано вузлики: під час розтягування нитки відстані між вузликами зростають не тому, що «вони пересуваються уздовж нитки», а тому що нитка розтягується. Екстраполюючи дані спостережень у минуле, можна сказати, що T_B років тому стався грандіозний вибух, унаслідок якого речовина галактик розлітається в усіх напрямках дотепер (точніше триває розширення самого простору, тоді як кожна галактика займає «своє» місце). Таке уявлення дає змогу ввести поняття *космічного, або космологічного часу* t , який і використовують для порівняння еволюції об'єктів у різних ділянках Всесвіту. Відлічують цей час від моменту вибуху, тобто від початку розширення.

Отже, виходячи з припущення про однорідність та ізотропність Всесвіту, можна вважати, що, зокрема, густина в ньому є функцією лише космологічного часу $\rho = \rho(t)$.

Побудувати ж **модель Всесвіту** – значить виявити, **як змінюються з часом t його параметри**: густина, температура і відстані між довільно взятими галактиками. З цією метою вводять поняття **масштабного фактора $R(t)$** , так що відстань між двома вибраними галактиками (точніше їх скупченнями, однак зазвичай кажуть «між галактиками») записують у вигляді

$$r(t) = r_0 R(t) \quad (2.1)$$

де r_0 – відстань між ними на момент спостереження t_0 (який співпадає з віком Всесвіту T_B). Очевидно, що $R(t_0) = 1$. Дуже часто, коли говорять про модель Всесвіту, мають на увазі якраз залежність від часу t масштабного фактора $R(t)$, яким визначаються особливості розширення Всесвіту.

Одним із важливих параметрів задачі є швидкість, з якою змінюються відстані між галактиками. Диференціюючи співвідношення (2.1) по t , виключаючи для узагальнення відстань r_0 , за допомогою цього ж співвідношення, отримуємо вираз для швидкості

$$v = \frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt} r(t), \quad (2.2)$$

тобто *закон Хаббла* (1.3), якщо вважати, що

$$H = H(t) = \frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt}. \quad (2.3)$$

Однак – із тим уточненням, що **стала Хаббла ϵ** (чи може бути) **функцією космологічного часу t** .

У рамках класичної теорії

Обговорення типових рис космологічних моделей зазвичай ведуть, використовуючи рівняння загальної теорії відносності

(див.далі). Однак англійський астроном **Едвард Мілн** у 1935 р., виходячи з елементарних співвідношень ньютонівської теорії тяжіння, отримав рівняння (фактично – закон збереження енергії), з якого наглядно видні істотні проблеми космології. Приглянемося до цих міркувань.

Розглянемо велетенську однорідну хмару, що має густину ρ . На відстані R від центра хмари, скажімо – на поверхні сфери радіуса R , виділимо «пробну частинку» масою m . Як довів **Ньютон**, сила притягання, що діє на цю частинку, визначається масою \mathcal{M} , котра міститься всередині сфери радіуса R :

$$\mathcal{M} = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho. \quad (2.4)$$

Сила тяжіння діє так, ніби вся та маса зконцентрована у центрі хмари. Притягання ж пробної маси з боку окремих елементів зовнішнього шару (коли поза пробною масою ще є речовина) взаємно зрівноважується і ніякої ролі не грає.

Уявімо тепер, що частинка m рухається від хмари зі швидкістю v , причому на заданій відстані R_0 від центра сфери та швидкість була рівна v_0 . У процесі руху повна енергія частинки W , що дорівнює

сумі енергії кінетичної $E_k = \frac{mv^2}{2}$ та потенціальної $U_p = \frac{G\mathcal{M}m}{R}$,

зберігається. Позначимо далі через ε повну енергію в розрахунку на одиницю маси частинки. Тоді закон збереження енергії частинки набуде вигляду:

$$\varepsilon = \frac{v^2}{2} - \frac{G\mathcal{M}}{R} = \frac{v_0^2}{2} - \frac{G\mathcal{M}}{R_0} = const,$$

або

$$v^2 = \frac{2G\mathcal{M}}{R} + 2\varepsilon = \frac{2G\mathcal{M}}{R} + v_0^2 - \frac{2G\mathcal{M}}{R_0}.$$

Узявши до уваги, що $v = \frac{dR}{dt}$ і що маса \mathcal{M} пов'язана з густиною ρ співвідношенням (2.4), знаходимо:

$$\left(\frac{dR}{dt}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3} R^2 \rho + 2\varepsilon, \quad (2.5)$$

або в дещо іншій формі

$$\left(\frac{dR}{dt}\right)^2 = \frac{2G\mathcal{M}}{R} + v_0^2 - \frac{2G\mathcal{M}}{R}. \quad (2.5a)$$

З цього рівняння випливають такі висновки. Якщо кінетична енергія більша від потенціальної (повна енергія $\varepsilon > 0$), то пробна частинка рухатиметься від центра до нескінченності. У протилежному випадку (при $\varepsilon < 0$) на деякій відстані

$$R_m = \frac{G\mathcal{M}}{|\varepsilon|}$$

швидкість частинки стає рівна нулеві.

Поки що тут нічого не говорилося про природу згаданої хмари. Нею може бути й частина світу галактик, доступного для спостережень. Звичайно, у Всесвіті будь-яка точка рівноправна і якогось виділеного «центра» немає. Проте всі спостереження ми проводимо з Землі, з нашої Галактики, відносно якої й визначаємо швидкості інших галактик. Тому опишемо уявно навколо нашої Галактики сферу радіусом R і розглянемо, як буде рухатися «пробна частинка» – галактика, що перебуває на відстані R від Землі. За законом Габбла, вона віддаляється від нас зі швидкістю $v = HR$. Підставляючи це значення швидкості в (2.5), знаходимо

$$\frac{8\pi G}{3} \left(\frac{3H^2}{8\pi G} - \rho \right) R^2 = 2\varepsilon. \quad (2.6)$$

Тут ρ – середня густина речовини у сфері радіуса R Вона дорівнює масі усіх галактик, які перебувають усередині сфери, поділеній на її об'єм $V = (\frac{4}{3})\pi R^3$.

Напрошується висновок про те, що можна ввести деяке «критичне» значення густини:

$$\rho_{кр} = 3H^2 / 8\pi G \cdot \quad (2.7)$$

Введення ж $\rho_{кр}$ дає змогу переписати співвідношення (2.6) у вигляді:

$$\frac{8\pi G}{3}(\rho_{кр} - \rho)R^2 = 2\varepsilon. \quad (2.8)$$

Звідси і випливають три варіанти: $\rho > \rho_{кр}$, $\rho = \rho_{кр}$, $\rho < \rho_{кр}$, якими визначається тип моделі (рис.2.1).

Наприклад, якщо $\rho > \rho_{кр}$, то розширення Всесвіту з часом змінюється стискуванням. У такому Всесвіті властивості простору визначає сферична геометрія (геометрія простору з додатною кривиною). Ця модель називається **закритою** (замкнутою) **моделлю Всесвіту**, її аналогом у двовимірному світі є поверхня сфери. Тут

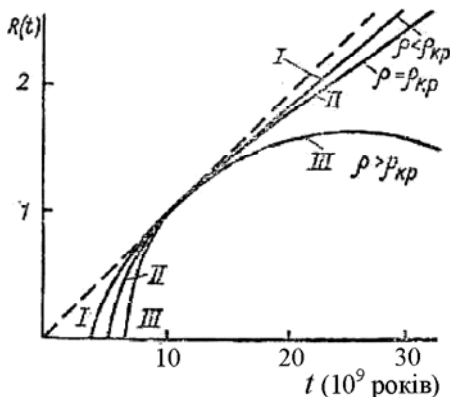


Рис.2.1. Три типи космологічних моделей.

Штрих описує розширення зі сталою швидкістю, точка стику усіх ліній відповідає сучасному моменту t_0

мандрівник, обігнувши її, повернеться у вихідну точку. Водночас потрібно розрізнити *метричні* і *топологічні властивості* такого світу: довжина дуги великого кола має скінченне значення (*метрична* характеристика), але цей простір є безмежним (*топологічна* характеристика).

Якщо $\rho = \rho_{кр}$, *геометрія Всесвіту евклідова* (кривина простору дорівнює нулю). У цьому випадку розширення Всесвіту відбувається необмежено.

Якщо $\rho < \rho_{кр}$, геометрія Всесвіту аналогічна геометрії на поверхні Лобачевського (простір від'ємної кривини), розширення не обмежене в часі.

Початкова фаза розльоту

Тепер звернімо увагу на рівняння (2.5а). Конкретне значення швидкості v_0 відповідає певній відстані R_0 : $v_0 = HR_0$. Тому це співвідношення переписуємо ще й так:

$$\left(\frac{dR}{dt}\right)^2 = \frac{8\pi}{3} \frac{GR_0^3 \rho_0}{R} - \frac{8\pi}{3} GR^2 \left(\rho - \frac{3H^2}{8\pi G}\right). \quad (2.9)$$

Це рівняння, залежно від величини ρ , і визначає тип «класичної» космологічної моделі. Цікаво, що певні характеристики таких моделей можна отримати, й не вдаючись до його розв'язування (яке досягається шляхом інтегрування). Міркуємо так. Спостереження вказують на те, що галактики рухаються «від нас». Отже, відстані

до них з часом зростають: $\frac{dR}{dt} > 0$. У минулому ж відстань до певної

галактики була набагато менша. Але чим менше R , тим більшою буде у формулі (2.9) роль першого доданка. Це означає також, що в

минулому (при $R \approx 0$) величина $\frac{dR}{dt}$ була дуже великою. Формально

знаходимо, що в певний момент часу (цей момент зручно прийняти

за початок відліку часу $t = 0$, а отже, « t_0 секунд тому») при $t = 0$ було таке:

$$R=0, \left. \frac{dR}{dt} \right|_{t=0} = +\infty!$$

Інакше кажучи, розширення почалося раптово, а «ментальні» швидкості руху в той «початковий» момент часу мали б бути нескінченно великими. Через те, річ ясна, виникає безліч запитань. Тому тут доречно зацитувати **Я.Б. Зельдовича** та **І.Д. Новикова** («Строение и эволюция Вселенной». – М.: Наука, 1975, с. 38, публікація «доінфляційної епохи»): «Чи можна говорити про те, що високий тиск є причиною розширення Всесвіту, що дуже стиснена речовина розширюється з тої самої причини, з якої розлітаються гази високого тиску, котрі утворюються під час детонації заряду вибухової речовини? Ні, такий погляд зовсім неправильний. Якісна відмінність полягає в тому, що заряд вибухової речовини оточений повітрям при атмосферному тиску. Розширення обумовлене різницею між колосальним тиском газів (продуктів вибуху) і порівняно слабким тиском навколишнього повітря. Але коли ми розглядаємо тиск в однорідному Всесвіті, то припускається, що тиск розподілений строго однорідно! Отже, **між різними частинками в один і той самий момент немає різниці тиску**, відтак немає й сили, котра могла б вплинути на розширення і тим більше бути причиною розширення. Сам факт розширення в наявній теорії – наслідок початкового розподілу швидкостей. Причина цього початкового розподілу поки що невідома».

А ось те, як змінюється відстань до тої чи іншої галактики в майбутньому, визначається другим доданком правої частини рівняння (2.9). Коли $\rho > \rho_{kp}$, то при деякому $R = R_m$ права частина рівняння стане рівна нулеві, так що матимемо $\frac{dR}{dt} = 0$. Отже, в деякий час $t = t_m$ відстань до галактики досягне найбільшого

значення. Далі вирішальну роль гратиме якраз другий доданок, а оскільки він входить у рівняння з від'ємним знаком, то буде $\frac{dR}{dt} < 0$.

З подальшим зростанням часу t відстань до галактики буде зменшуватися, і врешті-решт матимемо $R = 0!$ Це випадок закритого «*пульсуючого*» Всесвіту.

Коли ж $\rho < \rho_{кр}$, то обидва доданки входять у праву частину рівняння (2.9) з додатнім знаком. При $R \rightarrow \infty$ матимемо $\frac{dR}{dt} = const$ – розширення відбуватиметься необмежено і до того ж зі сталою швидкістю.

Нарешті, можемо знайти конкретну залежність масштабного фактора R від часу t на ранньому етапі розвитку, коли другим доданком рівняння (2.5) (тобто другим і третім у (2.5a)) можна

знехтувати. Інакше кажучи, розв'язати рівняння $\left(\frac{dR}{dt}\right)^2 = \frac{a}{R}$, де $a = GM$. Так знаходимо, що ця залежність має вигляд

$$R(t) \sim t^{2/3}$$

Дещо інакшою вона є у випадку, коли головну роль у динаміці Всесвіту відіграє енергія випромінювання. Про це буде мова нижче.

Про достовірність розширення

Уявлення, за яким наш Всесвіт розширюється від стану надвисоких температур на початковій стадії цього процесу, на сьогодні вже загальноприйняте. Однак *статус* теорії, тут – *теорії Великого Вибуху* і водночас теорії *гарячого Всесвіту*, вимагає підтвердження, ще бажаніше – завчасних передбачень якихось переконливих фактів і явищ.

Отож, згадані вище реліктове радіовипромінювання і сучасний вміст гелію в речовині Космосу – два переконливі

передбачення, що підтвердили правильність теорії гарячого Всесвіту. Як було зазначено, за реєстрацію першого **А. Пензіас** і **Р. Уїлсон** отримали Нобелівську премію. За цикл робіт з проблеми походження хімічних елементів у Всесвіті **У. Фаулер** отримав цю ж премію 1983 р., однак, піонерською була тут праця **Гамова!**

Повторимо ще раз ці два *тести на правильність теорії гарячого Всесвіту.*

Тест перший:

Лише за умови високої температури і водночас її різкого зменшення у первинній протон-нейтронній суміші відбувається синтез ядер гелію.

Тест другий:

Інформацію про згаданий стан надвисокої температури зберігає досьогодні космічний мікрохвильовий фон – реліктове радіовипромінювання.

Тут також доречно зупинитися на *доказах того, що Всесвіт взагалі розширюється!* Бо, як не дивно, хоча співвідношення Габбла відоме з 1929 р., дехто цей факт заперечує, а наявне червоне зміщення намагається пояснити іншими ефектами, як ось зміною з часом швидкості світла. Що ця проблема заслуговує серйозної уваги, підкреслив **А. Сендідж** у 1997 р.! Доповіді 11-ти учасників конференції, проведеної тоді на Канарських островах, були присвячені найактуальнішим питанням сучасної астрономії і опубліковані під назвою «Всесвіт у цілому» (Кембрідж, 1997 р.).

Доповідь А.Сендіджа «Астрономічні задачі на наступні 30 років» включала пункт 15-й (усіх пунктів було 23): «Реальність розширення Всесвіту» – як заклик подати прямі, однозначно пояснювані докази космологічного розширення. **Перший** із трьох запропонованих А. Сендіджом тестів (він і здійснив його перевірку майже зразу) полягав у *вимірюванні поверхневих яскравостей далеких об'єктів, конкретно – еліптичних галактик.*

Було знайдено, що вона зменшується залежно від червоного зміщення z як $(1 + z)^2$. А так і повинно бути у випадку розширення Всесвіту.

Другий тест – вимірювання *ефекту зповільнення часу в далеких об'єктах*, які рухаються відносно Землі, проведено у 2001 р. Придатним для цього виявився аналіз кривих блиску Наднових типу 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** – знову ж таки у цілковитій згоді з теорією.

Нарешті, *третій* тест полягав у вимірюванні *температури реліктового радіовипромінювання в різні епохи розширення Всесвіту*, тобто при різних z . Для стандартної моделі $T_{\text{pe}} \sim (1 + z)$, так що при $z = 2$ ця температура була 8,2 К, і ≈ 11 К при $z = 3$. Ефект підтверджують, досліджуючи спектри далеких галактик і квазарів, виявляючи в них лінії поглинання, збудження яких можливе якраз завдяки цьому додатковому «космічному» джерелу енергії. Конкретні позитивні результати було отримано у 2002 р. Оскільки різні z відповідають різним моментам еволюції Всесвіту, то значення $z = 2$ стосується віку 1/4 від сучасного, $z = 3$ – близько 1/8.

Становлення сучасної космології

Упродовж декількох століть після **Ньютона** астрономи мали найневизначеніше уявлення про будову Всесвіту у великих масштабах. Дехто з них навіть на початку ХХ ст. був переконаний, що за межами нашої Галактики ніяких подібних зоряних систем взагалі не існує. І вже зовсім ніхто не сумнівався, що весь навколишній Всесвіт перебуває у *статичному стані* (тобто його розміри з часом не змінюються).

У полоні таких уявлень перебував і А. Айнштайн, коли, завершивши свою теорію (1916 р.), узявся на її підставі творити загальну картину світу. Праця **А. Айнштайна** «Космологічні міркування до загальної теорії відносності» вийшла 1917 р. і стала першою ластівкою в зусиллях учених створити картину світу, виходячи з *нових уявлень про зв'язок речовини з геометрією*.

Основоположною ідеєю **загальної теорії відносності** А.Айнштайна є те, що *за умови рівності інертної і гравітаційної мас* (перша фігурує у другому законі Ньютона, друга – в законі

всесвітнього тяжіння) *прояв сили тяжіння локально можна звести до розгляду прискореного руху вибраної системи координат* і навпаки. Так, для пасажера космічного корабля можна створити «комфортні земні умови», якщо надати кораблеві сталі прискорення $g = 9,8 \text{ м/с}^2$. З іншого боку, обертання планети навколо Сонця, обумовлене його притяганням, можна розглядати як її вільний рух у певним чином викривленому просторі.

Погляньмо: кинутий горизонтально камінець падає, описуючи криву лінію – параболу. Тут – геометрія, але і фізика! Бо «розхил кривої» визначається числовими значеннями його швидкості і прискорення сили тяжіння. Або ж ще такий приклад. Уявімо горизонтально натягнуту гумову плівку. Легка кулька, маючи певну горизонтальну швидкість, рухатиметься на ній рівномірно і прямолінійно.

Якщо ж на плівку покласти важке тіло, то мембрана прогнеться. І кулька відхилиться від початкового напрямку та навіть опише навколо цього тягаря коло. Тож тут доцільно згадати слова **А. Пуанкаре**: «Досвід не визначає окремо фізику і геометрію. Він підтверджує сумарно фізику і геометрію у їх взаємозв'язку. Але якщо спостереженнями вимірюють лише суму, то кожна складова має певну довільність!» ЗТВ є узагальненням виведеного І.Ньютоном закону всесвітнього тяжіння і *включає його як граничний випадок*, зокрема, коли відносні рухи двох тіл описують швидкостями, значно меншими від швидкості світла.

Дещо наблизитися до розуміння цієї теорії можна, пригадавши слова **Галілея**: «*Природа розмовляє з людиною мовою математики*». В його часи, щоправда, це була мова *геометрії й алгебри*. **Ньютон** для цього розробив основи *диференціального й інтегрального числення*. А ось **А. Айнштайну**, щоб пов'язати характеристики викривленого простору-часу з особливостями розподілу гравітуючої маси, довелося використати ідеї *тензорного числення*. Елементи цього підходу описані, зокрема, в «*Релятивістській астрономії*» автора, яку можна знайти в *мережі Інтернету* на сайті www.lib.if.ua. Тут лише, як «картинку»,

проілюструємо основне рівняння ЗТВ, що поєднує «математичний вимір» – відхилення геометрії від евклідовості (ліва частина рівняння) з густиною, тиском та енергією речовини (права частина):

$$R_{ik} - \frac{1}{2} R g_{ik} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{ik}, \quad (2.10)$$

де g_{ik} (їх для 4-вимірному простору-часу 16, бо $i, k = 4$, насправді ж 10, оскільки $g_{ik} = g_{ki}$) так звані **компоненти фундаментального метричного тензора**: при запису виразу для інтервалу ds^2 (**аналог теореми Піфагора** про квадрат гіпотенузи) компонент g_{ll} стоїть при dx^2 і т.д. Далі R_{ik} – компоненти **тензора Річчі**, що є комбінаціями g_{ik} та їх першої і другої похідних, R – **інваріант кривини** – комбінація складових обох згаданих тут тензорів (їх добуток). Повторимось: усе це – засіб визначити міру викривлення простору-часу. Нарешті, T_{ik} – **тензор імпульсу-енергії**, складений із компонентів швидкостей речовини у 4-просторі, тиску p і густини енергії $E = \rho c^2$. В застосуванні до задач космології, зазвичай (при $p = 0$) рівняння (2.10) зводять до двох незалежних диференціальних рівнянь другого порядку, що визначають зміну з часом густини ρ і масштабного фактора $R(t)$, відображаючи закони збереження маси та енергії.

Отже, Айнштайн, створивши загальну теорію відносності, зробив передусім спробу збудувати на її основі модель Всесвіту в припущенні (загальному тоді переконанні!), що відстані між галактиками з часом не змінюються. Однак він зразу ж виявив, що таку статичну модель із наявних рівнянь отримати неможливо. Так же, як і в ньютонівській теорії тяжіння, є неможливим однорідний статичний Всесвіт: для певної рівноваги стану крім сили тяжіння потрібна ще одна – відцентрова.

Тому А. Айнштайн – **доповнив рівняння (2.10) доданком Λg_{ik}** , причому параметр Λ отримав назву **космологічної сталої**. Рівняння ж (2.10) набуло вигляду

$$R_{ik} - \frac{1}{2} g_{ik} (R - 2\Lambda) = \frac{8\pi G}{c^4} T_{ik}. \quad (2.11)$$

Конструкція рівняння (2.11) така, що $\Lambda > 0$ означає: у Всесвіті крім гравітації діє певна сила відштовхування, при $\Lambda < 0$ – діє додаткова сила притягання.

Перші кроки в моделюванні

Зі складених на той час уявлень про Всесвіт і середню густину речовини в ньому А. Айнштайн отримав для збудованої ним замкнутої моделі такі характеристики – радіуса кривини R , космологічної сталої Λ та повної маси речовини у Всесвіті \mathcal{M} як функції середньої густини речовини ρ :

$$R = \frac{c}{\sqrt{4\pi G\rho}}, \quad \Lambda = \frac{4\pi G\rho}{c^2}, \quad \mathcal{M} = \frac{\sqrt{\pi}c^3}{4\sqrt{G^3\rho}}. \quad (2.12)$$

У той час на підставі астрономічних спостережень було виснувано, що середня густина речовини у Всесвіті $\rho = 10^{-29}$ г/см³. Це привело до таких значень інших параметрів моделі: $R \approx 10^{28}$ см, $\Lambda \approx 10^{-56}$ см², $\mathcal{M} \approx 2 \cdot 10^{56}$ г $\approx 10^{23} \mathcal{M}_\odot$. Отже, у сферичному світі Айнштейна налічувалося б близько 1000 млрд. галактик. «Кругосвітню мандрівку» у такій моделі світловий промінь здійснив би за час близько 70 млрд. років.

На думку Айнштейна, саме така модель мала б цілковито узгоджуватися з *принципом Маха*, за яким *інерція тіла нібито зумовлюється дією усієї речовини Всесвіту*.

Буквально через два місяці після публікації статті Айнштейна в іншому науковому журналі з'явилася праця нідерландського астронома Віллема де Сітгера, в якій було показано, що рівняння (2.11) з Λ -членом допускає ще один розв'язок, а саме $p = 0$ і $\rho = 0$. Йдеться про порожній статичний замкнений (як і в попередньому випадку) Всесвіт. У тій моделі привернули увагу учених три цікаві моменти. Передовсім, «реальна» швидкість світлового сигналу v_c залежить від відстані r фотона до початку координат, де перебуває Спостерігач:

$$v_c = c \left(1 - r^2 / R^2 \right) \quad (2.13)$$

Тут, як і раніше, R – радіус кривини світу, що визначається формулою (2.12). Неважко зорієнтуватися, що – з погляду Спостерігача – світловий промінь з відстані $r = R$ до $r = 0$ рухається нескінченно тривалий час. Звідси випливає: Спостерігач ніколи не зможе отримати інформацію про те, що робиться за відстанню $r \geq R$. Для нього сфера радіусом R буде *горизонтом*.

Далі виявилось також, що довжина хвилі λ , яку реєструє Спостерігач у точці $r = 0$, відрізняється від довжини хвилі λ_0 , яку випромінює джерело світла на відстані r , причому

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - r^2/R^2}}. \quad (2.14)$$

Інакше кажучи, у моделі де Сігтера існує ефект *червоного зміщення*: тут при $r \rightarrow R$, $\lambda \rightarrow \infty$.

І нарешті, коли в таку модель помістити декілька пробних матеріальних частинок, то вони будуть «розбігатися» одна від одної, причому *відстань між ними буде зростати за експоненціальним законом*

$$r = r_0 e^{At}, \quad (2.15)$$

де A – стала величина.

Протягом певного часу **Фред Хойл** (Англія) розробляв *теорію «стаціонарного Всесвіту»*, в якому, незважаючи на розширення за законом (2.15), густина підтримувалася на одному й тому самому рівні за рахунок неперервного «творіння» речовини з особливого «енергетичного поля». Проте ця теорія нині втратила будь-яку популярність. Сама ж модель де Сігтера є «стартовою» у розгляді ранньої стадії еволюції Всесвіту (див. Розділ 3).

Рівняння Фрідмана і нестатичні моделі

Двома своїми статтями (1922 р.) **О.О. Фрідман** започаткував дослідження *нестатичних моделей* Всесвіту. Ці праці були важливим етапом у розвитку релятивістської космології. Тому цілком

закономірне те, що релятивістська теорія однорідного ізотропного Всесвіту, має назву *теорії Фрідмана*.

І майже зразу (у 1923 р.) Айнштайн визнав: «Я вважаю результати пана Фрідмана правильними й вичерпними. Як виявляється, рівняння поля допускають для структури простору поруч із статичними розв'язками і динамічні (тобто такі, що змінюються з часом) центрально-симетричні розв'язки».

У свою чергу бельгійський астроном **Жорж Леметр** упродовж декількох років займався аналізом моделі де Сіттера, зокрема проблемою червоного зміщення. І – у своїй статті (1927 р.) він дійшов висновку: «Бажання відшукати розв'язки, які мали б одночасно позитивні риси світів Айнштайна і де Сіттера, doprowadило нас до аналізу світу Айнштайна зі змінним радіусом простору». Сама стаття Леметра мала характерну назву: «Однорідний Всесвіт зі сталою масою і зростаючим радіусом, що пояснює радіальні швидкості позагалактичних туманностей».

Але якщо радіус світу зростає, то його розширення почалося з моменту, коли речовина була стиснена до величезних густин! Леметр сміливо таке припускає, надаючи станові високої концентрації речовини назву «*первісного атома*». Він писав: «Слово «атом» належить тут розуміти в його первісному, грецькому значенні. Атом є чимось таким простим, що нічого про нього не можна розповісти, ні поставити щодо нього жодного питання. Маємо тут цілком недосяжний початок. Лише коли атом розпався на велику кількість фрагментів, заповнюючи простір малого, але не рівного точно нулеві радіуса, фізичні поняття почали набувати значення».

Питання про вихід Всесвіту із *сингулярного* стану (стану надвисоких густин речовини) далі буде обговорене окремо. А поки що зосередимо увагу на рівняннях, якими описують нестатичні космологічні моделі. Важливим моментом у релятивістській теорії нестатичного Всесвіту є запровадження так званих *супутніх координат*: просторові координати представляють у вигляді сітки, вузли якої пов'язані з частинками речовини (наприклад, із галактиками), і рухаються разом з ними. Далі, задають певну

загальну форму коефіцієнтів метричного тензора, також – параметр k , яким визначають замкненість чи відкритість Всесвіту: якщо $k = 0$, то простір буде *евклідовим*, випадок $k = +1$ відповідає просторові додатньої кривини – *замкнений* Всесвіт, при $k = -1$ реалізується простір *від’ємної кривини*.

Тож на підставі заданої форми для інтервалу та обчислених компонентів тензора Річчі *рівняння Айнштайна (2.11) зводять до системи двох диференціальних рівнянь*, які пов’язують між собою швидкість і прискорення зміни радіуса кривини R залежно від інших параметрів моделі:

$$\frac{\dot{R}^2}{R^2} + \frac{2\ddot{R}}{R} + \frac{8\pi G\rho}{c^2} = -\frac{kc^2}{R^2} + \Lambda c^2, \quad (2.16a)$$

$$\frac{\dot{R}^2}{R^2} - \frac{8\pi G\rho}{3} = -\frac{kc^2}{R^2} + \frac{1}{3}\Lambda c^2. \quad (2.16b)$$

Це й є *рівняння Фрідмана*, тут – із урахуванням Λ . Як згадано вище, можна покласти, що, починаючи з певного етапу в розширенні Всесвіту, тиск $p = 0$. Тоді з системи (2.16) впливають такі співвідношення:

$$\rho = \frac{B}{R^3}, \quad (B = \text{const}), \quad (2.17a)$$

$$\left(\frac{dR}{dt}\right)^2 = \frac{8\pi}{3} \frac{GB}{R} - kc^2 + \frac{1}{3}c^2\Lambda R^2. \quad (2.17b)$$

Останнє рівняння й дає змогу дослідити зміну радіуса кривини моделі з часом.

А ось головні риси деяких нестатичних моделей, що впливають із рівнянь Фрідмана. Передусім зазначимо:

Теоретично на підставі системи рівнянь (2.16) можна побудувати близько двох десятків космологічних моделей. Насправді *в природі «реалізувалася» лише одна* – таке твердження повторювано упродовж кількох десятків років.

Сьогодні можна сказати таке: **сучасна космологія говорить про**

1) **інфляційну стадію розвитку Всесвіту** – і це **модель де Сіттера**,

2) **стадію розширення**, для опису якої, очевидно, можна застосувати **модель Айнштейна–де Сіттера** і

3) **стадію прискореного розширення**, тут, можливо, застосовна «верхня вітка» **моделі Леметра**. Цим якраз віддзеркалюють складність процесів, що відбуваються у Всесвіті, наскільки їх уже вдалося збагнути!

Космологічні моделі «збудовано» інтегруванням системи рівнянь (2.16) або (2.17), зазвичай нехтуючи тиском. При цьому формально задають певне значення густини речовини у Всесвіті ρ на теперішній момент часу t_0 , як також певне значення Λ . Параметр k визначали зі співвідношення між заданим значенням s і теоретично обрахованим $\rho_{кр}$.

Майже у всіх динамічних моделях йшлося про розширення Всесвіту з деякого надщільного стану, коли відстані між фіксованими «матеріальними точками» формально дорівнював нулеві. Як зазначалося, той стан приймають за початок відліку часу ($t = 0$ при $R = 0$). Час, що проминув від моменту, коли $t = 0$, названо «**віком моделі**». Як з'ясувалося, цей вік істотно залежить від того, була речовина в момент надвисокого стиску в холодному (наприклад, у вигляді пилинок) чи в гарячому стані. Як побачимо далі, у Всесвіті реалізувалася друга можливість. Тому (там, де це грає роль) подаємо часові характеристики моделей, виходячи з уявлень про «гарячий» Всесвіт.

Хоча нестатичні моделі названо загалом **моделями Фрідмана**, кожна з них має й свою окрему назву. Ось декілька найосновніших (рис 2.2).

1. Пульсуюча модель. «Реалізується» вона, коли середня густина речовини у Всесвіті ρ більша від критичної $\rho_{кр}$, а космологічна стала $0 \leq \Lambda < \Lambda_E$, де Λ_E визначається співвідношенням (2.12). Пульсуючим буде і Всесвіт відкритий ($k \leq 0$), коли $\Lambda < 0$. У такій моделі масштабний фактор R (радіус кривини) зростає від нуля, досягає

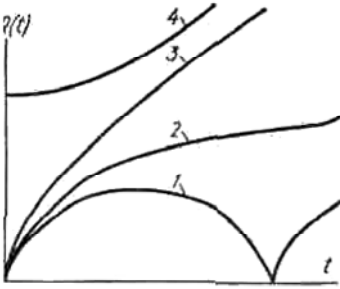


Рис 2.2. Найтипівіші космологічні моделі:
 1) пульсуюча модель, 2) модель Леметра,
 3) модель Айнштайна-де Сіттера,
 4) модель Еддінгтона-Леметра.

максимального значення і знову зменшується до нуля. Тут крива $R(t)$ є циклоїдою.

У випадку, коли $\Omega = \rho/\rho_{кр} > 1$ і $\Lambda = 0$, вік моделі становить

$$t_0 = \frac{1}{H} \frac{1}{\sqrt{\Omega + 1}}. \quad (2.18)$$

Зокрема, при $\Omega = 2$ маємо $t_m - t_0 \approx 3t_n$.

І якщо $t_n \approx 14$ млрд. років, то повний період пульсації моделі становить близько 110 млрд. років.

2. Модель Леметра. Особливістю її є те, що **масштабний фактор $R(t)$ зростає від нуля нескінченно, але протягом деякого часу Δt_0 його значення змінюється неістотно**: Всесвіт тоді наче «застигає». У такій моделі космологічна стала Λ дещо більша її значення Λ_E , яке визначається формулою (2.12) і відповідає статичній моделі Айнштайна, інакше кажучи,

$$\Lambda > \Lambda_E = \frac{c^4}{(4\pi G \rho R^3)^2} = \frac{4\pi G \rho}{c^2}. \quad (2.19)$$

Зокрема, коли $\frac{\Lambda - \Lambda_E}{\Lambda_E} = 2 \cdot 10^{-5}$, тривалість «затримки» у

розширенні Всесвіту становить близько 50 млрд. років, а його вік від початку розширення до наших днів мав би сягати 70 млрд. років. Ця модель була особливо приваблива тоді, коли здавалося, що «вік Всесвіту» $t_0 \sim 2$ млрд. років (за старим значенням сталої Габбла) суперечить вікові Сонячної системи...

Модель Леметра з тривалою затримкою розширення мав цікаву рису: за час, що відповідає затримці, світловий сигнал встигає декілька разів обійти Всесвіт.

3. Модель Айнштайна–де Ситтера. Таку назву має модель, для якої $\rho = \rho_{кр}$ ($k=0$) і $\Lambda = 0$. У цьому випадку існує точний розв’язок рівняння (2.16):

$$R(t) = \sqrt[3]{6\pi G \rho(t_0)} t^{2/3}. \quad (2.20)$$

Розширення, яке розпочалося в момент $t=0$, тут продовжується необмежено, але зі сповільненим рухом. При цьому стала Габбла зменшується обернено пропорціонально до космологічного часу:

$$H = \frac{\dot{R}}{R} = \frac{2}{3t}$$

і вік Всесвіту

$$t_0 = \frac{2}{3H} = \frac{2}{3} t_H. \quad (2.21)$$

Зокрема, при $t_H \approx 20$ млрд. років тут маємо $t_0 \approx 13$ млрд. років. Тут також густина зменшується з часом за законом

$$\rho = \frac{1}{6\pi G t^2} = \frac{8 \cdot 10^5}{t^2} \text{ г/см}^3. \quad (2.22)$$

4. Менш популярні моделі. Елементарним є розв’язок для випадку, коли середня густина речовини ρ у Всесвіті набагато менша критичної ($\rho < \rho_{кр}$). За дуже малих R маємо $R \sim t^{2/3}$. Для опису подальших стадій розширення у рівнянні можна знехтувати доданками з ρ . Так отримуємо, що

$$R = H_0 R_0 t \quad (2.23)$$

– масштабний фактор зростає з часом за лінійним законом.

Описана вище модель Айнштайна виявилася нестійкою: будь-яке невелике збурення густини призводить до її розширення. Крім того, при $\rho > \rho_{кр}$ і $\Lambda = \Lambda_E$ можливі такі варіанти: масштабний фактор має значення $R = R_E$, у нескінченно далекому минулому (при $t = -\infty$)

і необмежено зростає в майбутньому. Це – **модель Еддінгтона–Леметра**.

За тих самих значень ρ і Λ можливе ще й таке: в момент часу $t = 0$ $R(0) = 0$. Далі масштабний фактор зростає і в нескінченно далекому майбутньому ($t = +\infty$) досягає значення $R=R_E$.

За наявності сил відштовхування ($\Lambda > 0$) рівняння (2.16) допускають ще один розв'язок: у минулому (при $t = -\infty$) радіус Всесвіту мав нескінченно велике значення, згодом настало стискування до якогось найменшого R_{min} , після чого стиск змінився розширенням.

Нагадаємо ще раз: в **моделі де Сіттера** масштабний фактор зростає експоненціально:

$$R(t) = R_0 e^{H(t-t_0)} \quad (2.24)$$

Далі. У закритому Всесвіті зв'язок відстані r до галактики з її червоним зміщенням z записується так:

$$r = \frac{c}{H} \frac{z}{1+z}. \quad (2.25)$$

У випадку ж відкритого евклідового простору, залежність ця дещо інакша:

$$r = \frac{2c}{H} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1+z}} \right]. \quad (2.26)$$

Поклавши $z \ll 1$, з (2.25), як також і з (2.26) отримуємо **закон Габбла**.

Є роздування – немає проблем!

Питання «чому Всесвіт розширюється» постало перед природодослідниками вже наприкінці 20-х років ХХ ст. І теорія «Великого вибуху», тобто теорія гарячого Всесвіту відповісти на нього не могла. Як відзначав **Я.Б. Зельдович**, – «в цю теорію розширення закладене від початку. Як висловлюються теоретики, закладено «руками», довільним завданням початкових умов» (Природа, 1984. – № 2).

Тепер покладають, що розширення, яке спостерігається в наш час, – усього лише «відблиск» тих могутніх процесів, що їх пережив Всесвіт у минулому: одним з проявів яких було його роздування. Тобто простому *розищенню передувало «роздування Всесвіту», або «інфляційна фаза»*.

Запишемо тут головні співвідношення, з яких видно, що й справді за умов, типових для вакууму, еволюція Всесвіту відбувається за експоненціальним законом.

Співвідношення, яке дозволяє оцінити масштаб роздування, можна одержати з міркувань, аналогічних використаним при виведенні рівнянь Фрідмана «в рамках класичної теорії». На відстані r від центра однорідної хмари, що має густину ρ , виділимо пробну частинку m . Під дією маси хмари $M = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho$ частинка набуває прискорення

$$a = -\frac{GM}{r^2} = -\frac{4}{3}\pi G\rho \cdot r, \quad (2.27)$$

направлене до центра сфери. Знак мінус означає, що частинка хмарою притягується.

Із загальної теорії відносності випливає, що насправді прискорення частинки a залежить не тільки від густини ρ , але і від тиску p . Відповідна узагальнена формула для a має вигляд

$$a = -\frac{4}{3}\pi G\left(\rho + 3\frac{p}{c^2}\right)r. \quad (2.28)$$

І якщо зв'язок між тиском і густиною визначається співвідношенням (див. далі)

$$\rho_B = \varepsilon_B = -c^2\rho_B, \quad (2.29)$$

то з останньої формули випливає, що

$$a = \frac{8\pi}{3}G\rho_B r = \frac{\Lambda c^2}{3}r, \quad (2.30)$$

де через Λ позначена величина

$$\Lambda = \frac{8\pi G}{c^2}\rho_B. \quad (2.31)$$

Як видно, у вакуумі прискорення a має додатній знак і, отже, ним описується **гравітаційне відштовхування**, величина якого

пропорційна відстані. А оскільки $a = \frac{d^2r}{dt^2}$, то із співвідношення

(2.30) знаходимо формулу, якою визначається зміна відстаней між частинками (а не тільки віддалення пробної частинки від маси M) з часом

$$r = r_0 e^{\sqrt{\Lambda/3}ct}, \quad (2.32)$$

тобто воно справді зростає за експоненціальним законом.

У свою чергу, швидкість $v = \frac{dr}{dt}$, з якою відбувається «розгін» частинок, рівна

$$v = \sqrt{\Lambda/3}cr_0 e^{\sqrt{\Lambda/3}ct} = \sqrt{\Lambda/3}c. \quad (2.33)$$

Зіставляючи це співвідношення із законом Хаббла (1.2), приходимо до висновку, що коефіцієнтом пропорційності у зв'язку швидкості v з відстанню r у формулі (1.1) є стала Хаббла

$$H = \sqrt{\Lambda/3}c \quad (2.34)$$

Нагадавши, що, відповідно до нової традиції число a^m записують у формі $a(m^n)$, проведемо деякі числові оцінки. Густина вакууму приймають рівною $\rho_B = 10^{94}$ г/см³. Тоді з формули (2.30) знаходимо, що $\Lambda = 2 \cdot 10^{67}$ см⁻², а співвідношення (2.32) конкретизується так: $r = r_0 e(7.5 \cdot 10^{43t})$. Звідси випливає, що за час від $t = 10^{-43}$ с до $t = 10^{-35}$ с відстань у Всесвіті збільшиться в $e(7.5 \cdot 10^{43} \cdot 10^{-35}) \approx e(7.5 \cdot 10^8) \approx 10(3 \cdot 10^8)$ разів. Зрозуміло, що зобразити графічно ці зміни масштабу неможливо.

Отже, за проміжок часу $\Delta t = 10^{-35}$ с масштаби Всесвіту збільшилися приблизно в $10(10^8)$ разів, тобто відстані між двома довільно взятими частинками на кінець роздування вже рівні $10^{-33} \cdot 10(10^8)$ см $\approx 10(10^8)$ см (такі закони операцій з гігантськими числами типу

$10(10^8)$). У свою чергу, «середня швидкість» розльоту частинок $v \approx 10(10^8) \text{ см} / 10^{-35} \text{ с} \approx 10(10^8) \text{ см/с}$. Звідси випливає, що у Всесвіті реалізуються умови, за яких швидкості набагато перевищують швидкість світла. Але тут йдеться про властивості самого простору!

Класична теорія розширеного Всесвіту зіткнулася із рядом проблем. Їх якраз і вдалося усунути за допомогою моделі роздувного Всесвіту. Ось найважливіші з них.

1. **Проблема ентропії:** чому у Всесвіті число фотонів реліктового радіовипромінювання в одиниці об'єму N_γ приблизно в 10^9 разів перевищує концентрацію важких частинок N_B ? Інакше кажучи, чому у Всесвіті така висока питома ентропія, коли число фотонів, що припадають на один баріон, характеризує міру нагрітості речовини? З цією проблемою воедино зв'язана проблема зарядової асиметрії речовини у Всесвіті: чому ядра атомів мають додатний електричний заряд, тоді як електрони, що «обертаються» навколо них, – 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 ($\rho = \rho_{кр}$, $\Omega = 1$), а геометричні властивості простору такі близькі до властивостей плоского евклідового простору?

4. **Проблема однорідності і первинних флуктуацій** (утворення галактик): чому в дуже великих масштабах (аж до відстаней близько 5000 Мпк, на яких знаходяться найбільш віддалені з вивчених об'єктів) Всесвіт такий однорідний? Чому в малих масштабах у ньому спостерігаються порожнечі («войди») – зони протяжністю до 100 Мпк, в яких галактики практично відсутні? 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?

Про те, як уявляють розв'язок останньої зі згаданих тут проблем, вже сказано вище: приймається, що Всесвіт начебто виник внаслідок квантового стрибка з «просторово-часової піни». Щодо інших склалося таке уявлення:

1. Проблема **ентронії** і зарядної асиметрії вирішується в теорії Великого об'єднання. При енергіях порядку 10^{15} GeV ефективно народжуються надважкі X -бозони і відповідно в такій же кількості античастки \bar{X} . Кожна з цих частинок може – двома різними каналами і (що дуже важливе) з *децю неоднаковою імовірністю* – розпадатися на кварки й антикварки. Наприклад, X -бозон, який має електричний заряд $+4/3$, розпадається на два u -кварки ($X \rightarrow q_u + q_u$) або ж на антикварк \bar{d} із зарядом $+1/3$ і антилептон (позитрон e^+) з електричним зарядом $+1$ ($X \rightarrow q_{d^-} + e^+$). Розпади X - і \bar{X} -бозонів і відбуваються у роздувному Всесвіті після зниження температури. Тоді ж утворюється певний надлишок кварків над антикварками; після їх об'єднання в протони й антипротони з'являється невеликий надлишок частинок над античастинками, а після їх анігіляції – «залишок», що й спостерігається сьогодні, як «звична» речовина. При цьому, унаслідок процесів анігіляції утворюється, як показали розрахунки, також надлишок фотонів по відношенню до числа баріонів. Існування двох каналів (схем) розпаду X -бозона на кварки або антикварк-антилептон фактично означає, що баріонний заряд не зберігається. Звідси випливає украй важливий висновок: *в природі повинні відбуватися процеси розпаду протонів* ($T_{1/2} \approx 10^{32}$ років).

2. Проблема **горизонту** вирішується таким чином. Точки, з яких ми сьогодні приймаємо сигнали (звідки до нас приходять реліктове радіовипромінювання), «до роздування» перебували дуже близько одна до одної, усередині загального горизонту видимості для того моменту. Між ними, звичайно, відбувався обмін сигналами (квантами енергії) і відповідно відбулося вирівнювання температури.

Пізніше, внаслідок роздування ці точки розійшлися на відстані, істотно більші від відстані до горизонту. Тож ми приймаємо сигнали усього лише з невеликої частини тієї області, де відбулося вирівнювання температури.

3. Проблема **плоского простору** також легко з'ясовується і навіть допускає пояснення за допомогою елементарного прикладу. Якщо в початковий момент t_{PI} кривина двовимірного простору – поверхні кулі (її відхилення від площини) була дуже великою, то після роздування (адже йдеться про фантастичне збільшення масштабів у $10(10^6)$ або навіть в $10(10^{10})$ разів!) геометрія його поверхні стає практично евклідовою (рис. 2.3). Тобто, якщо навіть у Всесвіті при $t = t_{PI}$ густина істотно перевищувала критичну ($\Omega > 1$), то внаслідок роздування відбувається наближення до стану $\Omega \rightarrow 1$.

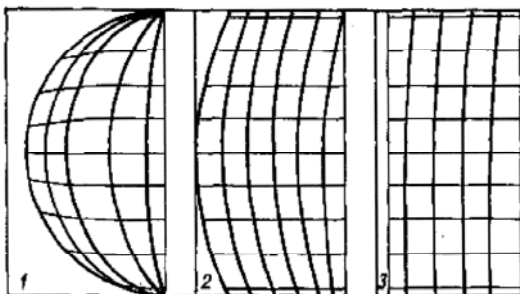


Рис. 2.3. Приклад, який пояснює евклідовість просторової геометрії у спостережуваній частині Всесвіту: при різкому збільшенні розмірів сферичного тіла геометрія його поверхні стає практично евклідовою

Що ж стосується походження первинних збурень, то його пов'язують із уже згаданими *квантовими флуктуаціями скалярного поля*, які виникли через $\sim 10^{-34}$ с після Великого Вибуху (див. далі). Певні «сліди» цих процесів і зберігає «для нас» космічний мікрохвильовий фон (КМФ – реліктове радіовипромінювання), а саме – його анізотропія, тобто «відчутні» флуктуації величини інтенсивності (температури) залежно від кутової відстані точок небесної сфери. Цей факт і був блискуче підтверджений ще в 1992 р. за допомогою супутника COBE і особливо даними космічного апарата WMAP.

3. РОЗВИТОК ВСЕСВІТУ: ЧИ Ж – ВІД КОЛИСКИ?

Фрагменти космомікрофізики

Космомікрофізика – порівняно нова 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.

«Космомікрофізика, що виникла на основі ідей великого синтезу фундаментальних сил природи, за необхідністю поєднує у своїх побудовах аналіз із синтезом... (Вона) – закономірний результат внутрішнього розвитку і фізики елементарних частинок, і космології. Поява цієї науки зумовлена злиттям двох тенденцій – розвитку теорії елементарних частинок, нетривіальні прояви якої розкриваються лише в процесах при надвисоких енергіях, і виникненні уявлень про нові форми матерії, що є необхідні для самоузгодженого опису сукупності спостережуваних явищ у Всесвіті; чітке усвідомлення взаємозв'язку між проблемою структури мікросвіту і проблемою обґрунтування структури макросвіту вивело сумісний розгляд мікро- і макросвіту на новий рівень, на якому ці задачі зливаються, утворюючи нову якість. У космомікрофізиці структура мікросвіту озвучується гармонією небесних сфер» (М.Ю. Хлопов, 2003 р.).

Розмаїття матеріальних структур у нашому Всесвіті зформувалося і підтримується завдяки **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*.

Усі ж теоретичні передбачення (а вони – дивовижні!) стали можливими завдяки «своєчасно прийнятим і належно розробленим» 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.

За особливостями своїх проявів поле може бути скалярним, векторним або ж тензорним. Як ось, у кімнаті, при закритих вікнах і дверях, температура однакова в усіх точках і не залежить від напрямку, і цей стан якраз описують скалярною функцією. У космології «особливо популярним» є скалярне поле, ним, зокрема, описують «стан системи» – *вакуум*.

Оглядаючись на проміжок часу 150 років, бачимо, що дослідження фізичних явищ «навколо нас» привели поступово:

1) до **формування передусім ідеї електромагнітного поля як самостійного фізичного об'єкта**. Щоправда, спочатку, *при «класичному підході»* взаємодію, зокрема, двох електронів описували так: один із них, пролітаючи поблизу іншого, «відчуває» його електричне поле і відхиляється ним. *Квантова ж теорія поля* пояснила це інакше: проходячи на певній відстані один від одного, електрони обмінюються фотонами, і цей обмін обумовлює їх відхилення, це ж стосується і взаємодії електрона з протоном;

2) до **становлення квантової механіки як засобу для опису явищ і законів руху мікрочастинок у заданих зовнішніх полях**. Як наслідок

а) зформульовано **співвідношення невизначеностей Гайзенберга**:

$$\Delta x \cdot \Delta v_x \geq \hbar/m, \Delta t \cdot \Delta E \geq \hbar \quad (3.1)$$

– у мікросвіті неможливо водночас точно визначити швидкість частинки v і її координату x , як також її енергію E на певний момент часу t ! І те, і інше знаходять із похибками – Δv_x , де v_x – проекція

швидкості на вісь x , а також – із похибками ΔE (m – маса частинки, $\hbar = h/2\pi$).

б) введено поняття *спіна* частинки, без якого опис мікросвіту є неможливим. Адже, зокрема, особливості спектрів (роздвоєння спектральних ліній деяких елементів) буквально вимагали уявлення: електрон має двозначність квантових властивостей, яку, за словами **В. Паулі** (1900 – 1958) «неможливо описати класично». Довелося ввести (1925 р.) поняття *спіна* – наче механічного моменту обертання, з обмовкою: «ця характеристика має чисто квантову природу». Отже цей «внутрішній стан електрона» має значення $+1/2$ або $-1/2$ (в одиницях \hbar) – тобто «є дві проекції на виділену вісь». Згаданий учений зформулював і дуже важливий *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 «обертається навколо осі» *за*, інший *проти* годинникової стрілки.

в) *здійснено поділ частинок* на дві принципово різні групи (типи) – *на ферміони і бозони*. Перші мають спін $s = 1/2$, їх в одиничному об'ємі може бути не більше двох, у бозонів спін цілочисельний $s = 1$ (може бути й $s = 2$), їхнє число в одиниці об'єму не обмежене. І – розглядаючи взаємодію електричних зарядів, фізики дійшли висновку: вона здійснюється обміном фотонів. Загалом же зформульовано висновок: *є частинка – власник заряду*, її спін $s = 1/2$, і *є носій взаємодії* зі спіном (конкретно для фотона) $s = 1$, тобто цілочисельний. Невдовзі визріло переконання: напевне, і теорії інших взаємодій можуть бути збудовані за таким же зразком!

г) отримано перші докази (1931 р.) *симетрії*, наявної у світі елементарних частинок. Бо ж позитрон (e^+) відрізняється від електрона (e^-) лише знаком електричного заряду.

У 1932 р. **В. Гайзенберг** увів поняття *ізотопічного спіна*, тоді ще як «формальний математичний прийом». Це дало змогу вважати нейтрон і протон однією частинкою «з маленьким застереженням»:

у певному ізотопічному просторі проєкції спіна (ізоспіна) на вісь зет $I_z = +1$ відповідає протон, проєкції ж $I_z = -1$ – нейтрон.

3) до усвідомлення того, що **принцип найменшої дії**, як головний закон фізики, успішно (і навіть безальтернативно) може бути використаний і при з'ясуванні задач квантової механіки, і особливо – фізики елементарних частинок.

Як відомо, у пошуку розв'язків задачі про рух матеріальної точки

під дією заданої сили $F = ma$, де $a = \frac{d^2 r}{dt^2}$ – прискорення, можна іти двома шляхами. 1-й: безпосередньо розв'язуючи диференціальне

рівняння $\frac{d^2 r}{dt^2} = \frac{F}{m}$, зокрема при $F \sim \frac{1}{r^2}$ отримуючи закони Кеплера.

І 2-й: використовуючи функцію Лагранжа L , точніше – *лагранжіан* $L(x)$ – густину функції Лагранжа (різницю між кінетичною і потенціальною енергією) у конкретній точці простору-часу. Якраз знаючи (задаючи) $L(x)$, знаходять **дію**

$$S = \int L(x) d^4 x, \quad (3.2)$$

тут $x = (ct, \vec{r})$ – координата світової точки. Для реальних процесів, які перебігають у природі, величина дії екстремальна, тобто її варіації (зміни) рівні нулю: $\delta S = 0$. І тут наведемо слова **Л.Б. Окуня**: «Основна велич дії пов'язана не із законами збереження, а з тим, що в дії вміщена вся динаміка взаємодії полів і частинок. І ... побудова теорії елементарних частинок зводиться до знаходження фундаментального лагранжіана, яким описується фізичний світ, і до розв'язку рівнянь руху, які з нього випливають... А в пошуку різних доданків фундаментального лагранжіана провідними зорями є симетрії».

Ефектним стало застосування лагранжіана при з'ясуванні: «окремих граней» слабкої взаємодії. Можна було збудувати (і збудовано) теорію за зразком електромагнітної, і в обох випадках носії взаємодії не мали маси спокою. Але сам факт малого радіуса

дії вів до висновку: носії слабкої взаємодії мають масу! За деталями відсилаємо читача до, зокрема, книги **Г. Кейна** (1990 р.). Тут же, задля дохідливості, зазначимо, що найціннішим ключем досліджень у фізиці елементарних частинок був і є *метод збурень*. Так, щодо Землі сусідня планета є причиною збурення поля тяжіння. І «в нульовому наближенні» у лагранжіані є «стандартне співвідношення» величин, що відображає взаємодію «Сонце – Земля», і ці доданки автоматично усуваються з опису збуреного руху. Залишок же, як відображення збурення поля планетою, вміщує добуток маси Сонця на масу планети.

Теорія дивовижно дає змогу передбачити не лише існування нових частинок, але й оцінити їх масу. Їх і було знайдено, і маси були акурат такими, як передбачено, – зокрема – для носіїв слабкої взаємодії W^\pm та Z^0 . Але ж – за умови, що маса «головної частинки» (маса протона), у прикладі – маса Сонця, відома – «від початку». Отже – те, що названо Стандартною моделлю у фізиці елементарних частинок, не є завершеною, вона потребує якихось узагальнень!

І що важливе: об'єднання електромагнітної і слабкої взаємодій відбулося завдяки розумінню: *носії першої взаємодії*, фотони, маси не мають, ті, *другої*, – саме таку, яку й «передбачила теорія».

4. З'ясовано (теоретично – з 1964 р.), що як протон, так і нейтрон складаються з «елементарних частинок вищого рівня» – із *кварків*. Далі зроблено висновок, що *носіями сильної взаємодії тут є глюони*. А щоб несуперечливо описати поєднання трьох кварків у «бувші елементарні», і довелося ввести додаткове квантово-механічне поняття «кольору», тому й є *хромо-* («кольорова») *динаміка – теорія взаємодії кварків завдяки глюонам*.

5. Розроблено теорію *суперсиметрії*. Підкреслимо ще раз: «дотепер» ферміони були (і є в реальному нашому світі!) «представниками» речовини, «власниками» зарядів, бозони ж – «обслуговуючий персонал», *носії взаємодії*. Тут – чітка асиметрія! Але «в рамках теорій, що описують ці взаємодії», неможливо визначити, встановити величини певних характеристик (як ось масу тої чи тої частинки, зрештою – 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.

Тому то фізики упродовж чи не 30 років робили спроби збудувати *Теорію Вищого Рівня*, в якій, як тут згадано, ферміони і бозони були б «рівноправними». А це, річ ясна, стає можливим, **якщо кожна частинка має свого суперпартнера із протилежним спіном**. Так, кварки, електрон і нейтрино мають «доповнення» – *скварки, селектрон, снейтрино* зі спінами $s = 0$. І, навпаки, для фотонів, глюонів, W^\pm і Z^0 бозонів – це *фотіно, глюїно, віно і зіно* зі спіном $s = 1/2$.

Усе це розігрується в **11-вимірному просторі-часі**, де з 10 просторових вимірів сім *компактифікуються* – «згортаються». Приклад: так же «зникають» ширина і товщина стовпа електромережі і залишається, зі збільшенням відстані до нього, лише один вимір – висота.

Проблема ж вакууму і «реалізації його можливостей» у породженні різних типів елементарних частинок вимагає окремого обговорення. Тут насамкінець зазначимо лише, що важливим «мірилом» при цьому є *планківські одиниці довжини l_{pl} , часу t_{pl} , маси m_{pl} і густини ρ_{pl}* , отримані комбінацією трьох фундаментальних фізичних сталих – швидкості світла c , гравітації G і сталої Планка $\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34}$ Дж·с ($\hbar = h/2\pi$):

$$\begin{aligned}
 l_{pl} &= \sqrt{G\hbar/c^3} \approx 1,6 \cdot 10^{-33} \text{ см}; \\
 t_{pl} &= l_{pl}/c = \sqrt{G\hbar/c^5} \approx 5,3 \cdot 10^{-44} \text{ с}; \\
 m_{pl} &= \sqrt{c\hbar/G} \approx 2,2 \cdot 10^{-5} \text{ г}; \\
 \rho_{pl} &\approx m_{pl}/l_{pl}^3 = c^5/G^2 \hbar \approx 5 \cdot 10^{93} \text{ г/см}^3.
 \end{aligned}
 \tag{3.3}$$

Адже, зокрема, приймають, що первісною «коміркою», яка, роздуваючись, стає Всесвітом, є об'єм усього лише l_{pl}^3 .

Отож із теорії «стандартної моделі» 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 дивні 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. Щоправда, це, напевне, буде реалізовано на «вищому рівні» – в «М-теорії» (див. далі). Можна все ж підсумувати: процеси усіх чотирьох взаємодій стають нерозрізненними при енергіях 10^{19} GeV (рис 3.1)

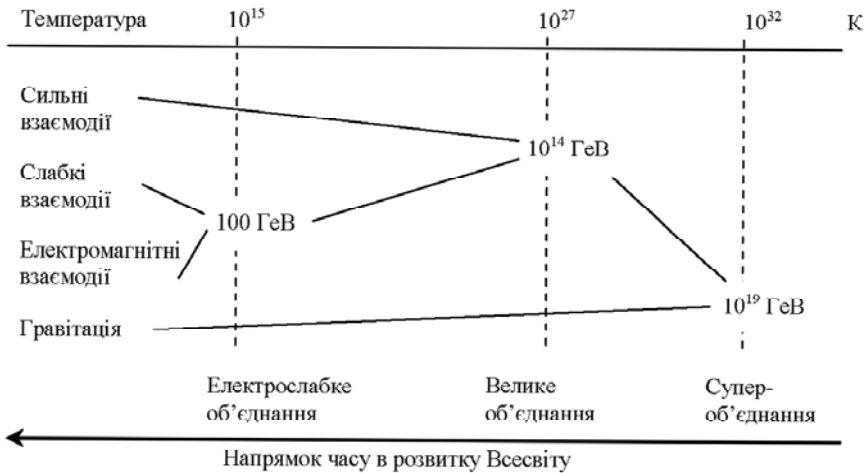


Рис 3.1. Схема об'єднання/роз'єднання взаємодій:
 зправа наліво – як це, можливо, «реалізувала» Природа,
 зліва ж направо – як їх намагаються відтворити космофізики

Отже з початку 80-х років ХХ ст. історію нашого Всесвіту вже почали описувати від моменту $t \approx t_{pl} \approx 10^{-43}$ с і просторового масштабу $l_{pl} \approx 10^{-33}$ см.

Приймалося, зокрема, що при температурі понад 10^{30} К, процеси електромагнітної, слабкої і сильної взаємодій нерозрізнявані між собою. Цей стан має такі особливості:

1. Частинки матерії поки що не мають мас.

2. У вакуумі стану, тобто в «резервуарі» віртуальних частинок і полів, прихована потенціальна енергія, густина якої пов'язана з густиною вакууму ρ_g співвідношенням $\epsilon_B = c^2 \cdot \rho_g$ причому в деяких варіантах теорії приймалося $\rho_g = 10^{74}$ г/см³, в інших $\rho_g = \rho_{Pl} = 10^{94}$ г/см³, так що густина енергії цього псевдовакууму відповідно рівна 10^{88} Дж/см³ або 10^{108} Дж/см³.

3. Завдяки роздуванню Всесвіту температура стрімко зменшується, тоді як густина вакууму до певного часу залишається незмінною.

Вакуум, поле й бозони Гігса

За визначенням, *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.

Є декілька незаперечних даних про дієвість фізичного вакууму як такого. Передусім це *лембівське зміщення лінії у спектрі атома водню*. Як виявили у 1947 р. Уільям Лемб і Роберт Різерфорд (США) стан $2S_{1/2}$ знаходиться вище, ніж $2P_{1/2}$, на величину $\Delta E = 1057,77$ МГц (теоретичне – 1057,19 МГц). Це стало блискучим підтвердженням теорії Дірака про «реальність фону заповнених станів із $E < 0$ » і, отже, впливу флуктуацій цього нульового поля вакууму на електрон в атомі водню (Нобелівська премія 1955 р.).

Другим свідченням є *ефект Казимира*, передбачений у 1948 р. нідерландським ученим Фендриком Казимиром і підтверджений експериментально через десять років. Йдеться про поляризацію

вакууму квантованого поля, що виникає внаслідок зміни спектра нульових коливань при обмеженні об'єму квантування. Тож на одиницю площі двох провідних плоскопаралельних пластин, встановлених у вакуумі на взаємній відстані a , діє сила притягання

$$F = \left(\frac{\pi^2}{240}\right) \cdot (\hbar c / a^4) : \text{оскільки тангенціальна складова електричного}$$

поля на пластинках рівна нулю, тому і змінюється спектр нульових коливань. Конкретно при $S = 1 \text{ см}^2$, $a = 0,5 \text{ мкм}$ $F = 2 \cdot 10^{-6} \text{ Н}$.

Прийнявши факт реальності вакууму, звернемо увагу на таке. Із принципу невизначеності Гайзенберга випливає, що найнижча енергія квантово-механічного осцилятора (на відміну від класичного) не може бути рівною нулю, її найменше значення $\hbar\omega/2$. Інтегрування ж по всіх частотах ω веде до висновку, що енергія тут – безконечно велика. Щоправда, з міркувань фізичної осмисленості її обмежували значенням ε_{pl} .

Питання це, багатократно підсилене наявністю різних класів частинок, і тепер остаточно не з'ясоване. З одного боку, завдяки розвитку ідей суперсиметрії, є твердження, за яким енергія бозонних нульових коливань в точності компенсується від'ємною енергією ферміонних нульових коливань. А отже, енергія вакууму мала б бути рівною нулю. Не виключене однак (див. **А.Д. Долгов** і ін., 1988), що оскільки маси бозонів і ферміонів різні, точного скорочення вакуумної енергії немає.

Із розгляду всіх складових тензора імпульсу-енергії в рамках загальної теорії відносності випливає, що тиск p_g у вакуумному середовищі від'ємний. І пов'язаний він із густиною енергії e_g так:

$$p_g = -\varepsilon_g = -c^2 \rho_g. \quad (3.4)$$

В земних умовах така екзотична ситуація (але в істотно меншому масштабі!) є в розтягнутому твердому тілі, а в рідині – якщо поверхневий натяг і зчеплення зі стінками перешкоджають формуванню міхурців.

Із цього незвичайного зв'язку між тиском і густиною вакууму випливає, що, незважаючи на роздування (!), густина енергії вакууму

залишається незмінною: $\varepsilon_6 = const$. Справді, відповідно до першого закону термодинаміки (закону збереження енергії) кількість переданої системі теплоти dQ витрачається на збільшення її внутрішньої енергії dE і роботу pdV , виконану при зміні об'єму системи V . Ці величини пов'язані співвідношенням $dQ = dE + pdV$. В даному випадку $dQ = 0$.

А оскільки $E = \varepsilon V$, то з (3.4) випливає, що $dE = -pdV$. Тому при $p = -\varepsilon$ маємо $d(\varepsilon V) = \varepsilon(dV) = 0$ і $d\varepsilon = 0$, тобто $\varepsilon = const$.

Еволюція Всесвіту «автоматично» передбачає і розвиток речовини в ньому. І донедавна, як зауважив філософ **М.П. Хван** (2006 р.), його описувано в рамках філософії частинок як точкових об'єктів. Як вже знаємо, фізики зуміли передусім, ідучи «назад», «від холодного до гарячого стану» (див. рис. 3.1), збудувати теорію, що об'єднала електромагнітну і слабку взаємодії. «Введено в дію» три частинки – носії взаємодії, причому завчасно передбачивши їхні маси. Так же триумфально здійснено розбудову квантової хромодинаміки.

Але, якщо «усе з вакууму», то звідки і як частинки отримують масу?

Надіючись отримати відповідь на це питання, звертаємося до фундаментальної книги **Гордона Кейна** (1990 р., за наступні роки ситуація не стала істотно ліпшою). Тут не менше п'яти разів зустрічаємо таке: «Механізм появи ненульових мас... зветься *механізмом Girsca*. Математично він ясний, але фізичний його зміст все ще незрозумілий...» (с. 20). Або ж – «причини появи мас електрослабких частинок ще не з'ясовані» (с. 267). Як також: «Незрозумілою є фізика гігсового механізму в стандартній моделі. Це головна проблема, з якою зіткнулася сучасна фізика елементарних частинок. гігсів механізм входить істотною частиною до стандартної моделі, але пропонуване ним вирішення проблеми мас..., очевидно, найімовірніше, є проміжним етапом на шляху до нової фізичної теорії» (с. 286).

Зтурбованість багатьох фізиків щодо цього висловив недавно **С. Вайнберг** («Світ фізики», 2004, № 4): «Завершити Стандартну

модель вдалося б, підтвердивши існування скалярних полів,... а це означає – зареєструвати бозони Гігса!.. Буде катастрофа, якщо до 2020 р. їх не знайдуть! Бо ж немає ключа до розуміння типових енергій, їх ієрархій».

Напевне, все з'ясується у теорії суперструн. «Та доки цього не зроблено», зупинимося на одному з варіантів опису ролі поля Гігса у породженні надважких X - та Y -бозонів (і відповідних античасти-

нок), що мали б мати дробовий електричний заряд ($+\frac{4}{3}e$, де e – заряд електрона). «Стартовим» є стан Великого Об'єднання (ВО) – нерозрізнянності трьох взаємодій (електромагнітної, слабкої і сильної).

Отже, приймають, що потенціальна енергія взаємодії частинок E_{II} «регулюється» особливим *скалярним полем Гігса* (а точніше, полями Гігса, введеними в квантову теорію поля 1964 р. англійським фізиком **П. Гігсом**). Взаємодіючи з елементарними частинками, поля Гігса і породжують їхню масу, яка тим більша, чим сильніша взаємодія поля з частинкою. Кажуть, що частинки одержують масу, «проковтуючи» *бозони Гігса* – «згустки» полів Гігса. Цей механізм порівнюють із поглинанням чорнила промокаткою, де шматочки паперу – це окремі частинки, а чорнило – енергія поля Гігса. Залежність же потенціальної енергії взаємодії частинок від величини поля ϕ (скажемо умовно – від «напруженості» поля ϕ) зі зменшенням температури змінюється складним чином, як це показано на рис. 3.2. Тим самим скалярні поля Гігса виконують роль «спускових гачків», стимулюючих у певні моменти порушення симетрії фізичних станів, тобто відщеплювання спочатку сильної, а потім слабкої взаємодій.

Отже, у рамках Стандартної моделі було прийнято, що початковим станом еволюції речовини є вакуум, що спочатку температура $T > T_{\text{во}}$ і що в подальшому вона різко зменшується. Знайдено, що при зменшенні температури до $T \sim T_{\text{во}} \sim 10^{30}$ К стійкість системи порушується, її властивості змінюються, з'являється бозе-

конденсат Гігса (реалізується *фазовий перехід*), X - та Y -бозони набувають маси і сильна взаємодія відщеплюється.

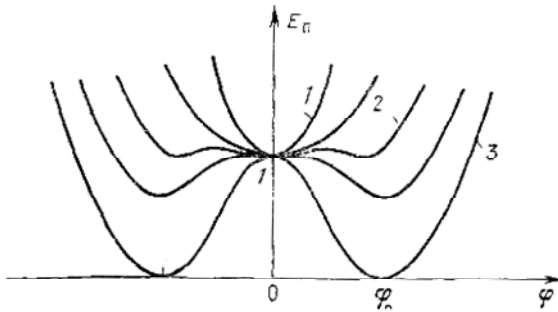


Рис. 3.2. Залежність потенціальної енергії взаємодії частинок від величини поля ϕ із зменшенням температури: 1 – $T \gg T_{\text{во}}$; 2 – $T \approx T_{\text{во}}$; 3 – $T \ll T_{\text{во}}$

Як тільки температура стану зменшиться до величини $T < T_{\text{во}}$, поле Гігса еволюціонує таким чином, що при деякому його значенні ϕ_0 потенціальна енергія взаємодії частинок має якнайменше, близьке до нуля значення, відповідне справжньому вакууму. Перехід системи до цього нового стану супроводжується народженням величезного числа частинок і античастинок (їх переходом з віртуального в актуальний стан), а внаслідок їх анігіляції і розпадів – виділенням величезної кількості енергії.

Другий раз поле Гігса діє як «спусковий гачок», приводячи до порушення симетрії при $t = 10^{-10}$ с (що відповідає температурі $T = 10^{15}$ К). Тепер відбувається розділення слабкої і електромагнітної взаємодій. І знову, «проковтуючи бозони Гігса», тепер уже лептони і кварки набувають своїх мас.

На основі описаного тут сценарію і було розроблено уявлення про зміну фізичного стану, зокрема, – про народження частинок із вакууму на заключній стадії роздування Всесвіту.

Народження частинок із вакууму, що відбувається упродовж фази роздування, і пов'язане з цим звільнення енергії майже повністю компенсує сам ефект роздування, унаслідок якого температура повинна була б різко зменшуватися. Роздування продовжується від

$t = 10^{-43}\text{с}$ до 10^{-35}с . І у всьому цьому інтервалі часу температура системи виявляється майже однаковою. До моменту переходу Всесвіту на режим розширення вона якраз фантастично висока – порядку 10^{27}К : на ранньому етапі свого розвитку тепер уже в рамках стандартної моделі Всесвіт був справді дуже гарячим.

Калейдоскоп процесів, що відбувалися у Всесвіті з моменту його «виходу з піни» представлений на рис. 3.3. Відзначимо, що багато що зі сказаного тут – усього лише «вкрай полегшена схема». Труднощів перед дослідниками тут ще дуже багато. Чого коштує, наприклад, такий вислів **М. Вельтмана**: «...будується яка-небудь витончена теорія, потім в неї включається поле Гігса і вся будова руйнується»...

Ну, і, звичайно, виникає природне питання: «а що-було до моменту часу $t = 10^{-43}\text{с}$?» Поки що фізика відповідає так: «на цьому рубежі безперервний потік часу обривається». Як образно висловився **І.Д. Новиков**, «річка часу дробиться тут на неподільні краплі»...

Фізика процесів, які розгортаються на ранній стадії еволюції, як також проблеми баріосинтезу та баріонної асиметрії Всесвіту детально розглянуті у монографії М.Ю. Хлопова (2004 р.).

Вибір моделі роздування

Як зазначив **А.Д. Лінде** (1990 р.), відсутність цілковитої ясності щодо фізичних процесів, які відбувалися «у перші миті життя» нашого Всесвіту, знаходила відображення і в деталях їх можливого сценарію.

Передусім тут згадують піонерську статтю **Е.Б. Глінера** (1965), головна ідея якої така: *космологічна стала $\Lambda > 0$ насправді описує космічний вакуум*, що заповнює весь світ, має певну енергію густиною ϵ , яка скрізь однакова (в усіх системах відліку!) і не змінюється з часом. **Е.Б. Глінер** «висловив зухвале припущення» (**І.В. Архангельська** та ін., 2006 р.), – мовляв, антитяжіння космічного вакууму, можливо, стало вихідною фізичною причиною космологічного розширення. І ще: речовини спочатку не існувало, її поява – наслідок квантових флуктуацій.

У 70-х роках було поєднано теорію гарячого Всесвіту із теорією фазових переходів у надщільній речовині. Однак ціла низка серйозних проблем (див. далі) спонукала розглянути інший сценарій, за яким Всесвіт упродовж певного часу розширювався експоненціально, тобто – *роздувався*.

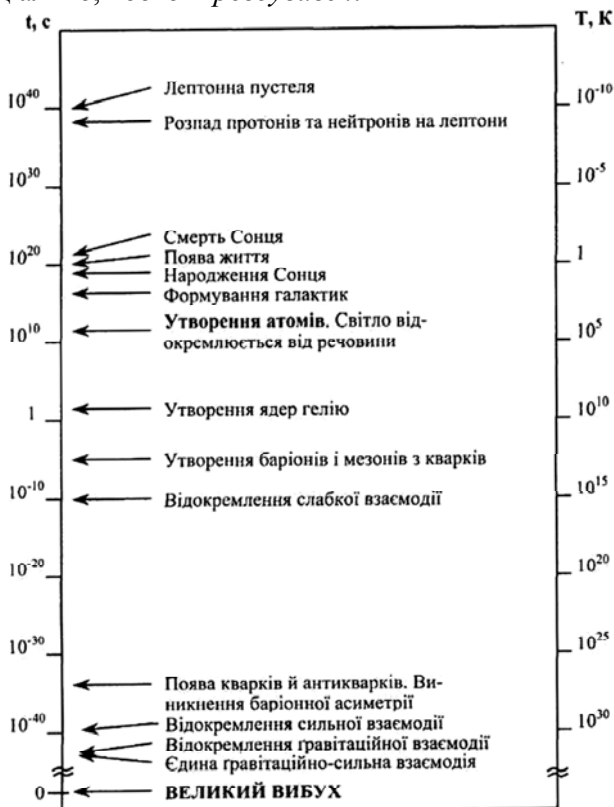


Рис 3.3. Сценарій розвитку процесів у Всесвіті після його народження.

Щоправда, перші два варіанти мали слабкі сторони. Так, у сценарії **Алана Гута** (1981 р.) розігрів Всесвіту мав би настати внаслідок зіткнення стінок пухирців, які формувалися при роздуванні, а це вело до неприйняттого стану неоднорідності Всесвіту. У сценарії **А.Д. Лінде** (1982 р.) інфляція відбувається

завдяки фазовому переходу від переохолодженого стану скалярного поля $\varphi = 0$ до фази $\varphi = \varphi_0$, а розігрів – за рахунок породження частинок полем φ , яке здійснює коливання поблизу мінімуму густини енергії $V(\varphi)$. Однак і тут, і в попередньому сценарії, інфляція мала б розпочатися в час, який на шість порядків перевищує планківський (t_{pl}), що робить неможливим пояснення евклідовості простору.

Тож зразу (1983 р.) А.Д. Лінде запропонував **сценарій хаотичного роздування**, за яким, у найпростіших моделях, роздування триває близько 10^{-37} с і за цей час розмір Всесвіту зростає у $10(10^7) - 10(10^{14})$ разів (нагадаємо: запис $10(n)$ замість 10^n прийнято для полегшення комп'ютерного набору). У процесі еволюції скалярного поля φ це поле коливається поблизу мінімуму і передає свою енергію частинкам, що народжуються завдяки цим коливанням. Внаслідок зіткнень частинок настає розігрів стану, і в подальшому стає реальністю гаряча модель Всесвіту.

Водночас тут є різні варіанти розвитку сценарію, як це відображене на рис. 3.4 і в підписі до нього. До того ж з'явилося

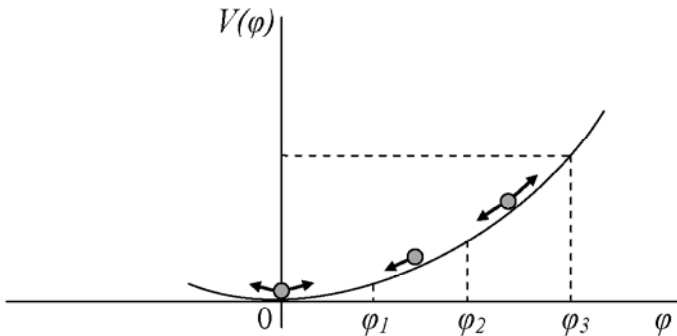


Рис. 3.4. Схема еволюції, за А.Д. Лінде, скалярного поля φ у найпростішій теорії: при $\varphi > \varphi_3$ квантові флуктуації метрики дуже великі, що створює істотні труднощі для розробки моделей; при $\varphi_2 < \varphi < \varphi_3$ амплітуда поля сильно збурюється, що призводить до безконечного народження нових і нових всесвітів; при $\varphi_2 < \varphi < \varphi_3$ флуктуації поля відносно невеликі, однак достатні для формування галактик; при $\varphi < \varphi_1$ поле швидко коливається поблизу точки $\varphi = 0$, породжує пари частинок, і вся енергія поля переходить у теплову

декілька нових ідей щодо «рушіїв» роздування. Це – переповнені таємничістю тахіонне і фантомне поля, а ще – газ Чаплигіна, «більш знайома» квінтесенція і, зрештою, класичний уже Λ -доданок в рівняннях Айнштайна. Поки що, однак, найпопулярнішим залишається описане вище скалярне поле – *інфлатон*.

В епоху розширення

У 60-х – 70-х роках ХХ ст. обговорення загальної картини розширення Всесвіту більшість авторів розпочинала з деякого мінімального часу $t_{\min} \cong 10^{-6}\text{с}$, дотримуючись погляду, що за допомогою наявної фізичної теорії неможливо описати явища, які відбувалися при $t < t_{\min}$, коли густина речовини істотно перевищувала густину атомного ядра. Всю подальшу історію розвитку Всесвіту прийнято поділяти на чотири стадії: адронну еру, лептонну еру, еру фотонної плазми та післярекомбінаційну еру. Ця схема залишається ефективною і тепер.

1. **Адронна ера** ($t_{\min} < t < 10\text{с}$) – ера важких частинок і мезонів. Тут густина $\rho \gtrsim 10^{14}\text{г/см}^3$ і температура $T \gtrsim 10^{12}\text{К}$. Важливою особливістю адронної ери є співіснування частинок (скажімо, протонів) з античастинками (антипротонами). У той час кількість нуклонів (протонів і нейтронів) та антинуклонів в одиниці об'єму була однаковою з кількістю фотонів. Згодом у процесі розширення Всесвіту відбулася анігіляція важких частинок та відповідних їм античастинок. Відтепер важливу роль почала грати та обставина, що у Всесвіті не було повної зарядової симетрії: різниця в кількості нуклонів і антинуклонів в одиниці об'єму становила близько 10^{-8} кількості фотонів. Про це **Я.Б. Зельдович** та **І.Д. Новиков** писали так: «Той невеликий надвишок нуклонів задається як початкова умова для того, щоб після розширення плазми, її охолодження й анігіляції пар дати спостережувану сьогодні картину Всесвіту з реліктовим радіовипромінюванням».

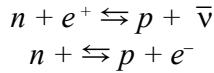
Щоправда, були спроби розглянути випадок цілковитої симетрії заряду, вважаючи, що у Всесвіті є строго однаковою кількість частинок («речовини») і античастинок («антиречовини»). Розглянуто декілька

моделей поділу речовини й антиречовини, зокрема, за допомогою магнітного й гравітаційного полів. Результати таких досліджень були малопереконливі. Отож згадані автори зауважують: «За сукупністю ми покладаємо, що зарядовосиметричний Всесвіт... не узгоджується зі спостереженнями й має бути відкинтий».

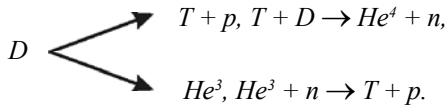
Від адронної ери й аж до нашого часу мали б залишитися реліктові кварки, якщо справді з таких «цеглинок» складаються всі відомі нам елементарні частинки. За обрахунками сьогодні на кожен мільярд звичайних частинок у Всесвіті мав би припадати один кварк. Інакше кажучи, у природі, та й у земній корі, кварки мали б траплятися частіше за атоми золота. Пошуки частинок, типовою ознакою яких мав би бути дробовий заряд ($+2/3$ та $-1/3$ заряду електрона), здійснено як у звичайній речовині, так і в космічних променях та на потужних прискорювачах. Зроблено висновок, що ті частинки були б виявлені, якби навіть їх було в сотні мільярдів разів менше від зазначеної кількості (тобто 10^{-20} від кількості нуклонів). Це дає підставу думати, що таких частинок з дробовим зарядом «у наш час» у вільному стані взагалі не існує.

2. Лептонна ера. За час від $t \approx 10^{-4}$ с до $t \approx 10$ с температура зменшується від 10^{12} до $5 \cdot 10^9$ К, а густина – від 10^{14} до 10^4 г/см³. На початку цього періоду енергія рівномірно розподілялася між фотонами, електронами й позитронами, мюонами, нейтрино та антинейтрино. Останні «народжуються» завдяки реакціям анігіляції електронів і позитронів за схемою $e^- + e^+ \rightarrow \nu + \bar{\nu}$. Обрахунок, проте, свідчить, що в момент $t \approx 0,2$ с взаємодія нейтрино з іншими частинками та між собою припиняється. Нейтрино «відключаються» від інших частинок. Температура нейтрино в той час сягала 10^{10} К і за рахунок розширення Всесвіту зменшувалася аж до 2 К на сучасний момент. Таке розширення «світу нейтрино» відбувалося незалежно від розширення речовини. Тому ці реліктові нейтрино зберегли інформацію про перебіг процесів, які відбувалися у лептонній ері. Зокрема, вони могли б проінформувати про міру однорідності речовини на тій стадії розвитку Всесвіту. Методи вловлювання нейтрино безпосередньо удосконалюються.

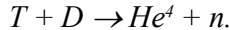
Як показує аналіз, при $t \leq 0,01$ с завдяки наявності в речовині електронів та позитронів, нейтрино й антинейтрино тут відбуваються перетворення нейтронів на протони і навпаки за схемою



Проте зі зниженням температури перебіг цих процесів істотно сповільнюється. Ефективнішими стають процеси з'єднання нейтронів з протонами, за яких утворюються дейтони $D: n + p \rightarrow D + \gamma$ і дальші термоядерні реакції з утворенням тритію або ізотопу гелію He^3 :



Кінцевим продуктом реакції є ядро гелію He^4 :



Теоретичний аналіз привів до висновку, що через 100 с від початку розширення утворюється (за масою) 25% гелію ($Y = 0,25$), останні ж 75% залишаються у формі водню ($X = 0,75$). Результати обчислень практично не залежать від прийнятої густини речовини у Всесвіті (розглядалися випадки від $\Omega = 0,025$ до $\Omega = 5$).

3. Ера фотонної плазми. Протягом періоду від $t \approx 10$ с до $t \approx 10^{13}$ с ≈ 1 млн. років густина зменшується від 10^4 до 10^{-21} г/см³, а температура від 10^{10} до 3000 К. На початку цієї ери закінчується синтез гелію і деякий час тривають ще процеси анігіляції електронів з позитронами. Упродовж цього періоду відбувається інтенсивне розсіювання фотонів на електронах (надлишок яких над позитронами «мусить бути» для забезпечення зарядової нейтральності Всесвіту). Температура випромінювання на той час ще однакова з температурою речовини. При $T \cong 3000$ К енергія квантів зменшується настільки, що вони стають нездатні іонізувати атоми водню, і тому процеси рекомбінації електронів з протонами не зрівноважуються зворотними процесами іонізації. Так настає «відрив» випромінювання від речовини. З того моменту головну роль

у розширенні Всесвіту починає грати не випромінювання, а речовина.

4. *Післярекомбінаційна ера*, або ера речовини. Вона розпочинається з моменту рекомбінацій і триває дотепер. Температура речовини у процесі розширення тут зменшується як R^{-2} , і в наш час вона мала б становити усього 0,01 К. За якогось моменту цієї стадії й розпочалися процеси формування галактик і зір.

Співставляючи цей теоретичний сценарій зі спостереженнями, повторимо сказане у розділі I: *передбачення вмісту гелію у первинній речовині було тріумфом теорії гарячого Всесвіту*. Адже гелію в природі майже у 20 разів більше, ніж це могло б бути, якби він утворювався лише внаслідок термоядерних реакцій у надрах зір! І що головне, спостереження дають число, яке практично збігається зі знайденим теоретично на підставі уявлень про гарячу модель Всесвіту.

Не можна, однак, сказати, що наведені вище обрахунки цілком однозначні. Бо якби у «первісній» речовині Всесвіту існував, скажімо, значний надлишок антинейтрино, то сьогоднішній вміст гелію становив би 100% (весь водень перетворився б на гелій). І навпаки, істотний надвишок нейтрино призвів би до того, що гелію в ній взагалі не буде.

Усупереч згаданим сподіванням Гамова, елементи, важчі за гелій, у процесі розширення Всесвіту утворюватися не можуть. А ось на певну роль «помічника» під час вибору моделі Всесвіту «претендує» ще один ізотоп – дейтерій. Розрахунки показують, що при всіх можливих процесах, які відбуваються у надрах зір, дейтерій незрівнянно швидше витрачається, ніж синтезується. Так ось, аналіз хімічного складу атмосфер зір показує, що ваговий вміст дейтерію тут становить 0,005%. З іншого ж боку, як свідчать обрахунки, вміст «реліктового» дейтерію у Всесвіті істотно залежить від густини речовини в ньому (від співвідношення $\Omega = \rho/\rho_{кр}$). Якби сучасна густина речовини становила 10^{-32} г/см³, то дейтерію мало б бути близько 1%, при 10^{-29} г/см³ його було б менше від 10^{-10} %. Дані спостережень найлегше сумістити з теорією в припущенні, що на

сучасний момент ця середня густина $\rho \approx 3 \cdot 10^{-31}$ г/см³, а це становить усього $0,1 \rho_{кр}$.

Однак існує припущення, за яким дейтерій може утворюватися під час проходження напіврелятивістських альфа-частинок крізь іонізований водень. Такі умови можуть виникати при спалахах нових і наднових зір. А через те більший або менший вміст дейтерію не мав би жодного відношення до типу космологічної моделі нашого Всесвіту! Цей приклад є наглядною ілюстрацією труднощів, з якими стикаються вчені в намаганні побудувати модель Всесвіту.

Шкала ядерної хронології

З деякого моменту у Всесвіті розпочинаються процеси зореутворення і зразу ж у надрах зір відбуваються реакції синтезу ядер все складніших хімічних елементів. Очевидно, спочатку це були масивні догалактичні зоряні об'єкти (інакше важко пояснити той факт, що навіть найстаріші зорі містять хоча й малу, але все-таки цілком визначену кількість металів), які швидко проходили всі етапи еволюції, завершуючи її спалахом наднової. Так речовина, з якої далі формувалися галактики й окремі зорі в них, поповнювалася елементами, важчими від гелію, зокрема їхніми радіоактивними ізотопами.

Отже, починаючи з деякого моменту, у Всесвіті відбуваються процеси синтезу ядер складних хімічних елементів і зворотні їм процеси розпаду окремих ізотопів. Унаслідок цього ізотопний склад речовини Всесвіту – матеріалу, з якого на певному етапі зформувалася і наша Сонячна система, безупинно змінювався.

Аналізуючи вміст окремих радіоактивних ізотопів і продуктів їхнього розпаду в речовині Землі, Місяця і метеоритів, **ядерна космохронологія** прагне відновити хронологічну картину цього процесу утворення ізотопів хімічних елементів у Всесвіті, а за їх відносним змістом – визначити проміжок часу, що відокремлює сучасний момент від початку синтезу. Які ж висновки випливають із зіставлення даних ядерної хронології і теорії розширеного Всесвіту?

Передусім – поширеність хімічних елементів, що є у Всесвіті (рис 3.5), є наслідком перебігу близько десяти різних ядерних процесів. Майже усі вони відбуваються в надрах зір, причому їхні швидкості, та й самі можливості їх «реалізації», істотно залежать від густини і температури в надрах зорі, які на кожному етапі еволюції визначаються її масою. Ось короткий перелік цих реакцій:

1) *H-процес* – перетворення водню в гелій у надрах «звичайних» зір (зокрема і Сонця) при температурі $T \sim 15 \cdot 10^6$ К за схемою $4^1\text{H} \rightarrow ^4\text{He}$.

2) *α -процес* – сукупність реакцій синтезу вуглецю з гелію за схемою $3^4\text{He} \rightarrow ^{12}\text{C}$ і подальших реакцій синтезу ядер кисню, неону, магнію ($^{12}\text{C} + ^4\text{He} \rightarrow ^{16}\text{O}$, $^{16}\text{O} + ^4\text{He} \rightarrow ^{20}\text{Ne}$ і т.д.), що відбуваються при $T_c \geq 5 \cdot 10^8$ К в надрах зір з масою $M \geq 1,5M_\odot$.

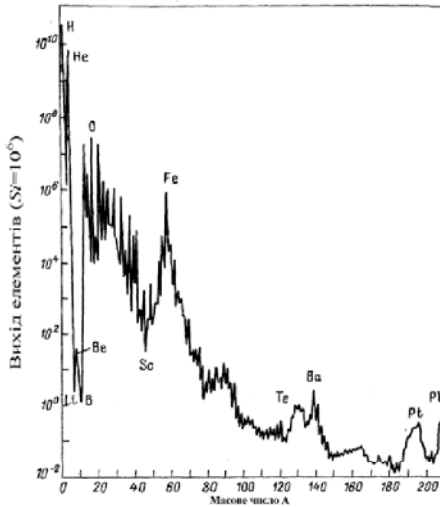


Рис 3.5. Поширеність хімічних елементів у Сонячній системі

3) *e-процес* – утворення ядер елементів групи заліза ($^{16}\text{O} + ^{16}\text{O} \rightarrow ^{28}\text{Si} + ^4\text{He}$, $^{28}\text{Si} + ^{28}\text{Si} \rightarrow ^{56}\text{Ni}$ та ін.) у надрах масивних зір при $T_c \approx 3 \cdot 10^9$ К безпосередньо перед спалахом зорі як наднової.

4) *s-процес* (від англійського slow – повільний) – 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 утворюють-

ся ядра все важчих (після заліза) хімічних елементів аж до вісмуту (^{209}Bi). Джерелами вільних нейтронів є реакції типу $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C} \rightarrow ^{23}\text{Mg} + n$, $^{16}\text{O} + ^{16}\text{O} \rightarrow ^{31}\text{S} + n$.

5) *r-процес* (від слова rapid – швидкий) – 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). Зокрема, 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 .

6) *p-процес* – процес захоплення протонів ядрами окремих важких хімічних елементів, що відбувається в оболонках наднових.

7) *X-процес* – утворення літію, берилію і бору внаслідок процесів зколювання, при яких легка частинка високої енергії зударяється з важким ядром і вибиває з нього легкий осколок. Цей процес, зокрема, міг зіграти важливу роль у зміні ізотопного складу речовини, з якого утворилися планети, завдяки потужному корпускулярному випромінюванню молодого Сонця.

8) *v-процес* – утворення в оболонці наднової ядер деяких хімічних елементів при взаємодії з речовиною оболонки потоків нейтрино, які виходять із надр зорі при колапсі її ядра.

Саме з «попелу» давно згаслих зір, після їх спалаху як наднових, перемішаного з «початковою» речовиною Галактики, і зформувалася наша Сонячна система. Для визначення її віку використано явище радіоактивного розпаду ядер хімічних елементів, період напіврозпаду яких більший за 1 млрд. років. Мова йде головним чином про ізотопи урану і торію, продуктом розпаду яких є свинець: $^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb} + ^8\text{He}$ ($T_{1/2} = 4,5$ млрд. років), $^{235}\text{U} \rightarrow ^{207}\text{Pb} + ^4\text{He}$ (0,7 млрд. років), $^{232}\text{Th} \rightarrow ^{208}\text{Pb} + ^8\text{He}$ (14 млрд. років).

Зіставлення вмісту ізотопів урану, торію і свинцю в метеоритах привело до висновку, що вік планетної системи $\theta_n \approx 4,55$ млрд. років. Нагадаємо, що вік зразків визначають надійно лише у випадку, якщо радіоактивний елемент і кінцевий продукт його розпаду залишаються зв'язаними між собою. Ця умова порушується, якщо зразок розплавлювався, що траплялося на Землі (найдавніші зразки земних порід мають вік 3,6 млрд. років) і частково на Місяці. Цього уникла речовина більшості метеоритів, так званих *хондритів*. «Вкраплені»

у них хондри – крапельки (діаметром до 1 см) містять практично всі хімічні елементи (за невеликими винятком) у тому ж співвідношенні, що й в атмосфері Сонця. Речовина ж, яка оточує хондри, складається зі звичайних силікатних мінералів.

Встановлення віку Галактики методами ядерної космохронології здійснюється з урахуванням а) синтезу ядер хімічних елементів (нуклеосинтезу) у Галактиці до утворення Сонячної системи і одночасного розпаду їх на стадії газоподібних туманностей. Згодом, б) «вільного розпаду» ядер, зокрема ізотопів урану і торію, після конденсації речовини у планети і метеоритні тіла. Узгодженості різних даних досягнуто у припущенні, що в найближчих до нас околицях Галактики безпосередньо перед початком процесу формування Сонячної системи стався сплеск («спайк») нуклеосинтезу (як тут не згадати гіпотезу **Фреда Хойла** про те, що в минулому Сонце було подвійною зорею і що один з компонентів спалахнув як наднова...).

Радіоактивних ізотопів з періодом піврозпаду близько 10^9 років налічується біля десятка. Найбільш надійними для встановлення космохронологічної шкали є згадані ізотопи урану і торію, а також плутонію – 244 (період піврозпаду = 0,08 млрд. років).

Знайдений цим шляхом (незалежно від космічних даних) вік нашого Всесвіту сягає 14 млрд. років.

Детальний аналіз проблем ядерної астрофізики здійснено, зокрема, в монографії «Ядерна астрофізика» (автори – Ф. Хойл та ін., М. 1986), приуроченій 70-річчю видатного дослідника, лауреата Нобелівської премії (1983 р.) **Уільяма Фаулера**.

У ядерній космохронології є ще дуже багато невизначеностей. Досить сказати, що похибки ефективних перерізів деяких реакцій надто великі. Дуже далека ще від розв'язку проблема так званих обійдених ядер (збіднених нейтронами ядер важких елементів). І все ж збіг віку Всесвіту за даними космохронології і теорії його розширення виявляється все ж непоганим.

Інформація – зі спектра флуктуацій (рРВ)

Приглянемо уважніше до наведеного раніше (рис. 1.5) спектра температурних флуктуацій реліктового радіовипромінювання (рРВ). Верхня горизонтальна шкала вказує на кутові відстані між точками неба, на яких виявляють себе відхилення «від середнього» інтенсивності (температури) рРВ. Перший максимум, головний, – при кутовій відстані близько 1° , другий – $0,33^\circ$, третій – $0,2^\circ$.

І – спробуємо дати (надто поверховий, з огляду на математичну складність проблеми) аналіз вже відомої усім тези: *з часу появи цього графіка космологія стала прецизійною наукою*. Щоправда, має все ж бути декілька «рефлексій» на згадану у дужках тему. Вдумаймося в ось ці слова російського академіка лауреата Нобелівської премії **В.Л.Гінзбурга**: «У наші дні передній фронт фізики... відділений від людини із середньою освітою ... широкою смугою, замінованою величезним фактичним матеріалом і математичними формулами... На здоладання цієї смуги потрібні роки праці навіть для людей з великими здібностями»... І його ж в іншому місці (УФН, 2002 р.): «Я повинен із жалем констатувати, що кількісних уявлень про інфляцію і всю інфляційну модель я, як належало би, не розумію...». Категорично про своє неприйняття теорії Великого Вибуху заявили такі видатні астрономи, як **Фред Хойл** і **Джефрі Бербідж**.

Згадаємо й записане у «Спогадах» іншим видатним російським ученим, лауреатом Нобелівської премії миру академіком **А.Д.Сахаровим**: «Я поставив своєю 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!!!» Згодом же читаємо таке: «У грудні 1985 – травні 1986 р. я посилено займався цим; на жаль, наявність серйозних прогалин у моїх знаннях перешкодила мені досягнути бажаної мети».

Спробуємо все ж тут, у край поверхово, проілюструвати «математичне підґрунття» рисунка 1.5. На ньому – віддзеркалення процесів, які відбуваються «на сфері останнього розсіювання – ОР» при

переході від гарячого стану, який «зовні» сфери, до звичного для нас «холодного». Уявляємо: зі зростанням відстані «в той бік» ми могли б «заглибитися» у все більш ранні стадії розвитку Всесвіту. Відстань же «від нас» до сфери OP описуємо величиною червоного зміщення z (яке тим більше, чим далі у просторі перебуває об'єкт, що світиться). У шарі ж сфери OP відбуваються процеси рекомбінацій, тут кванти світла вже «відриваються» від речовини і можуть вільно пронизувати «все, що всередині «нашої» сфери останнього розсіювання. Оскільки ж вона стрімко продовжує розширюватися, то «бувші жорсткі» кванти згодом і стають «рРВ» – *реліктовим радіовипромінюванням*. Ці кванти залишають сферу OP в момент часу t_1 і досягають Спостерігача (нас) в момент t_0 .

Зі співвідношення для зміни з часом температури в інфляційній моделі можна знайти: типове для перебігу процесів рекомбінацій її значення ($T \sim 10\,000\text{K}$) досягається при $t_1 \sim 10^{13}\text{с}$, коли $z \sim 1000$. Протяжність причинно-пов'язаних зон тут сягала значення $D \sim ct_1$. Вік же Всесвіту «для нас», беручи до уваги режим його розширення, $t_0 \sim 3 \cdot 10^{17}\text{с}$, а $z = 0$. Тож відстань d_m до сфери останнього розсіювання – *горизонта частинок* – в космологічній моделі зі степеневим законом зростання масштабного фактора оцінюють величиною $d_m \sim ct_0$. Звідси отримуємо, що очікуваний максимум флуктуацій (перший із *сахаровських піків*) має бути на такому кутовому масштабі, під яким спостерігається згадана вище зона на момент рекомбінацій: $\Theta \approx (1+z)ct_1/ct_0$, що при наведених вище величинах дає положення максимуму флуктуації рРВ при масштабі бл. 1° . Це якраз і відображене на рис. 1.5.

«З практики знаємо»: якщо D – власний розмір об'єкта, що перебуває на відстані d , то його спостережуваний кутовий розмір (в радіанах) $\Theta = D/d$. Але ж «у космології» все складніше! Ось хоча б: доки світловий промінь долає відстань від об'єкта до спостерігача, простір розтягується і то для кожної космологічної моделі по-своєму. Або: відстані часто визначають за величиною світлового потоку, що приходить від об'єкта (тоді її звать *фотометричною*). І тут, скажімо, доводиться вносити дві поправки: на зменшення енергії фотона за рахунок червоного зміщення і за зменшення кількості фотонів, що

реєструють за одиницю часу, якщо їх джерело віддаляється. Встановлення ж *метричної відстані* чи *горизонта частинок* вимагає урахування (знову ж таки залежно від прийнятої космологічної моделі) зміни масштабного фактора за час руху променя світла...

Пригадаймо ще таке. Звучання певного музичного інструмента відрізняється від іншого тембром, тобто «якістю, забарвленням» – сукупністю *обертонів*, що супроводять основний тон найменшої частоти (і якщо частоти обертонів кратні частоті основного тону, їх звуть *гармоніками*). Отже, обговорювану вище сферу останнього розсіювання можна розглядати як своєрідний сферичний барабан – 2-вимірну поверхню. Додаймо «дещо» і про математичний апарат аналізу цих коливних рухів. Коливання струни описують за допомогою *тригонометричних функцій*, круглої мембрани – *бесселевих функцій*. Коливання ж «на сфері» відображають *сферичними функціями*. В кожному випадку йдеться про спільний внесок тонів та обертонів у величину відхилення струни (і ін.) від положення рівноваги. Для опису ж коливань, які здійснює сфера, – 2-вимірних, *сферичних гармонік* Y_{lm} – використовують числа l і m , причому для кожного l ціле число m приймає значення від $-l$ до 0 і далі до $+l$.

Величину l прийнято іменувати *кутовим моментом*, що співвідносний із флуктуаціями кутового масштабу π/l . Вводиться поняття *мультиплета* – комбінації усіх «тонів», що мають однакове l . Для кожного з них можна обчислити відповідну амплітуду C_{lm} , що можливе якраз за допомогою сферичних гармонік. Оскільки ж Всесвіт ізотропний, то фактично залежності згаданої амплітуди від m немає. Тому загалом йдеться про сферичну функцію порядку n як суму $(2n + 1)$ «однорідних поліномів ступеня n » – *поліномів Лежандра*. Врешті-решт і отримують для середньоквадратичної флуктуації температури $\langle (\Delta T)^2 \rangle$ співвідношення

$$\langle (\Delta T)^2 \rangle \approx T^2 \int \frac{l(l+1)}{2\pi} C_l d \ln l. \quad (3.5)$$

Підінтегральна величина якраз визначає потужність, яка припадає на одиничний логарифмічний інтервал l , інакше –

сукупний внесок кутових моментів. Його і відкладено на вертикальній шкалі рис. 1.5. Саму ж величину C_l іменують спектром потужності флуктуацій температури ρ_{PB} .

Що ж до фізичних ефектів, які «упорядковують» на сфері ОР ці флуктуації, то обмежимось усього лише таким зауваженням. Це передусім відомий *ефект Доплера*, а ще, на малих взаємних відстанях точок сфери, – *ефект Сілкі*: з ділянки підвищеної концентрації речовини випромінюється певний надвишок фотонів.

Винятково важливим і математично вкрай нелегким є питання про взаємозв'язок ресстрованих флуктуацій з параметрами (тої чи іншої) космологічної моделі. Адже, «строго кажучи», щоб знайти величину C_l при $l = 200$, треба розглядати сукупність 400 рівнянь... Річ ясна, реалізуються певні спрощення – *аналітичні наближення*, але і розробляються відповідні програми обчислень на потужних ЕОМ.

Аналіз рис. 1.5 передбачає урахування таких параметрів космологічної моделі: густини баріонної речовини ρ_b , густини темної матерії ρ_{tm} , переобчисленої в масу темної енергії – ρ_{TE} , сталої Габбла H , параметра k , що визначає кривину простору, загалом – 11 параметрів моделі. Розв'язки згаданих рівнянь отримують «перебиранням» величин кожного зі згаданих параметрів. Зміна одного чи двох із них веде до зсуву вправо-вліво положення *сахаровських* піків рис. 1.5, до «придушення» чи вивищення того або іншого. Графічне відображення сказаного можна побачити в монографії І.В.Архангельської та ін. (див. додаток Література).

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) – 21%, «темної енергії» – 74%, стала Габбла $H = 68 \pm 9$ км/с/Мпк, реалізується модель евклідового простору ($\kappa = 1$).

Грунтовний аналіз «в цілому і в деталях» є в працях провідного в Україні спеціаліста з цієї проблеми **Б.С.Новосядлого** (див. сайт Астрономічної обсерваторії Львівського університету: <http://astro.franko.lviv.ua>).

Всесвіт як плетиво струн

Дуже ймовірно, що описаний вище сценарій становлення нашого Всесвіту буде істотно змінений. І то – на принципово інших основах, з використанням нових математичних ідей і прийомів. А що математика тут вкрай складна, то за прикладом багатьох інших авторів ухилимося від їх обговорення, обмежившись лише якісною характеристикою цих ідей. Допитливому читачеві радимо переглянути книгу **М. Гріна, Дж. Шварца та Е. Віттена** («Теорія суперструн» у 2-х томах, М., 1990).

Усі згодні з тим, що Стандартна теорія елементарних частинок – «найуспішніша з усіх фізичних теорій», бо, зокрема, «відтворює природу з точністю 10^{-9} ». Однак вона – наче будинок без даху», оскільки не в змозі дати відповіді на ряд надто важливих питань. Тож не випадково, скажімо, **Мічіо Кайку** у своїх книгах (2005, 2007 р.) про неї пише образно як про «поєднання мула, слона і кита» чи, в іншому місці, «африканського мурахойда, кита і жирафи».

Передусім ця теорія нездатна «включити в себе» гравітацію. Далі, вона не пояснює, «навіщо природі» саме три покоління (родини) кварків і лептонів. А ще – вона потребує «введення вручну, ззовні» 19 констант для опису мас окремих елементарних частинок та інтенсивностей їх взаємодій (а це – швидкість світла, стала Планка, гравітаційна стала та ін.).

З гумором (але і з розумінням – «та нехай!») сприймаємо оте «теорія Великого Вибуху є образою здорового глузду» (авторів цього афоризму чимало). Або перлина від Нобелівського лауреата **Х. Альвена** (у кн. «Майбутнє науки» М., 1979, вип.12, с. 64): «Коли вчені борються проти астрологічного безглуздя, варто пригадати, що вони культивують ще гірше безглуздя» (тобто теорію ВВ). Тому то ми вище і розглянули детально «тести» Гамова і Сендіджа!

Наприкінці ХХ ст. фізика, скажемо точніше – *космомікрофізика*, вийшла на якісно вищий рівень опису властивостей матерії – рівень *суперструн*. Найкраще про це написано у Передмові редакторів перекладу «Теорії суперструн» – **І. Ареф'євої та І. Воловича**: «Теорія суперструн – це сучасний варіант єдиної теорії

фундаментальних взаємодій, іноді її навіть звать теорією всього суцього... Струна – це крива у просторі, тому *теорія струн – це теорія кривих, тобто протяжних об'єктів*... Зі зміною часу струна замітає певну поверхню, дія для струни вводиться дуже природно – це якраз площа заметеної поверхні. Взаємодія струн також вводиться дуже природним геометричним чином – вона пов'язана з процесами розриву і злипання струн... В теорії суперструн здійснився синтез різноманітних ідей і методів теоретичної і математичної фізики.

Теорія струн заторкує найглибші питання 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. З фізичної точки зору головна проблема – відсутність експериментальних передбачень... Також залишається нерозв'язаною фундаментальна задача побудови адекватного математичного формулювання в дусі польової теорії струн...»

Самі ж автори завершили 1-й том книги зауваженням: «Насправді хоча нам багато відомо про теорію струн, але головна її суть залишається прихованою. Нам невідомо, які принципи об'єднують всі ті несподівані співпадання, що роблять можливою теорію струн. Відповіді на такі питання можуть прийти з таких напрямків, звідки їх поки що ніхто не чекає».

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.

Як вдалося з'ясувати, заміна точкових елементарних компонентів матерії струнами веде до усунення суперечності між

загальною теорією відносності і квантовою механікою. Як хтось вдало висловився, теорія струн розплутує гордіїв вузол сучасної теоретичної фізики.

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»).

Таким чином, «вперше в історії фізики є єдина теорія, яка може пояснити всі фундаментальні особливості, що є в основі будови Всесвіту» (Б. Грін, 2005). Щоправда, «поки що фізики використовують лише наближені варіанти цих рівнянь, і навіть ці наближені рівняння настільки складні, що дотепер вдається отримати лише часткові розв'язки».

І далі: «Ми не знаємо, якими були початкові умови у Всесвіті. В нас навіть немає ідей, понять і мови, які слід використовувати для їх опису. На наш погляд, безумні початкові умови з безконечною енергією, густиною і температурою у стандартній та інфляційній моделях є ознакою того, що ці моделі неправильні і дають неправильний опис справді тоді бувших початкових умов. Теорія струн дозволяє покращити опис, доказуючи, що такі екстремальні умови можна обійти. Однак ні в кого так і немає відповіді на питання, як усе розпочиналося насправді. Недостача наших знань поширюється навіть на грубший рівень: ми не знаємо, чи можна взагалі ставити питання про визначення початкових умов, або ж чи буде воно назавжди перебувати за межами будь-якої теорії, і ставити його так же безглуздо, як і намагатися за допомогою теорії відносності пролити світло на те, з якою силою кинуто м'яч. Деякі фізики, як ось Гокінг і Джеймс Хартл із Каліфорнійського університету, здійснювали відчайдушні спроби спрямувати питання про початкові космологічні умови в русло теоретичної фізики, однак усі ці спроби

завершувалися плачевно. Сьогодні наш рівень розуміння космології в контексті теорії струн/М-теорії надто примітивний для того, щоб визначити, чи є гідним кандидат на «теорію всього» свого високого призначення і чи визначаються в його рамках початкові космологічні умови, які згодом можуть бути піднесені до рангу фізичних законів. Це – головна тема майбутніх досліджень» (**Б. Грін**, 2005, с. 236).

Але й таке: «Пошук фундаментальних законів Всесвіту – це очевидна людська драма, що укріпила розум і збагатила дух людей... Ми всі, кожен по-своєму, шукачі істини, і ми всі прагнемо відповіді на питання, навіщо ми в цьому світі» (с. 243).

Слово **С. Вайнбергу** (2004 р.): «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».

Справді, скажімо, в основі загальної теорії відносності лежить принцип еквівалентності тяжіння й інерції!

«Ходять чутки», що теорію струн не будуть формулювати «в рамках простору-часу». Так. **С. Вайнберг** 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».

Тож не надто й дивують слова **Ш.Глешоу**: «Ті, хто працює над суперструнами та іншими загальними теоріями, більше не займаються фізикою, тому що їхні розмірковування вийшли далеко за межі будь-якого емпіричного тесту. А отже положення теорій необхідно приймати на віру і, вперше з часів раннього середньовіччя, ми бачимо, як може закінчитися наш благородний пошук, коли віра ще раз замінить науку».

Зринає питання: то що ж робити нам, образно кажучи, людям із вулиці, далеких від отих дивугідних зусиль окремих якнайвище кваліфікованих учених? Очевидно, – «терпеливо очікувати». Пам'ятаючи сказане ще 2000 років тому римським філософом Сенекою: природа не показує одразу всі грані свого єства, більшість істин, на

певний час ще прихованих, вона залишає для майбутніх поколінь допитливих...

І – намагатися збагнути наявну сьогодні ситуацію в космології, вона ж, повторимося, є такою: «Недавні астрофізичні і космологічні вимірювання показали, що звичайна матерія складає менше 5% енергетичного вмісту Всесвіту, тоді як природа решти 95% залишається невідомою. Ситуація що склалась, є черговим прикладом з історії розвитку науки, коли дослідники опиняються перед фактом, який полягає в тому, що відомий світ, щодо якого ми, здавалося б, знаємо все або майже все, насправді складає лише малу частину поки що не дослідженого Всесвіту». Це – зі статті В.А. Рябова, В.А. Царьова і А.М. Цховребова із «Успехов физических наук» (т. 178, №11, 2008). Доступ до УФН в інтернеті – вільний, то ж – із вдячністю – очікуймо найновіших інформацій на сторінках цього поважного джерела!

4. ПРОБЛЕМА СТРУКТУРИЗАЦІЇ

Від войдів до атракторів

Що галактики є основними одиницями великомасштабної структури Всесвіту – твердження очевидне і загальноприйняте. Як і те, що вони об'єднуються у різні системи – від найменших груп (тут декілька десятків галактик) до скупчень (із декількох тисяч їх, причому розміри такої системи сягають 50 св. р.) і надскупчень – систем, в які входять десятки скупчень і сотні груп, утворюючи в сукупності ланцюжки протяжністю в декілька сотень мільйонів світлових років. Як знаємо (див. рис. 1.1.), згадані ланцюжки, у свою чергу, формують плоскі шари, ці ж – велетенські комірки, чи *войди*, речовини в яких начебто практично немає.

Детальніше вивчення згаданих утворів виявило своєрідну ієрархію комірок (М.Б. Сажин, 2002): маленькі комірки, облямовані слабкими карликовими галактиками, вкладені в комірки більших розмірів, ті – в комірки ще більші. Однак усе це, за розмірами, здебільшого сягає 100 – 140 Мпк і лише зрідка 170 Мпк. Як було зазначено у розд. 1, «на широких просторах» Всесвіту реалізує себе космологічний принцип однорідності й ізотропності. Про це, як уже згадано, свідчить високий рівень ізотропності інтенсивності космічного радіовипромінювання.

Є однак інший тест на «спокійність течії», а насправді – відхилення руху галактик від закону Габбла, яке виявляє себе положенням об'єкта вище або нижче лінії $v = Hr$ на діаграмі. Здебільшого йдеться про збурення в русі галактики притяганням близького галактичного скупчення. В одному з відомих випадку йдеться про *Великий Атрактор* (від англ. attract – притягувати).

Найімовірніше – це переплетення декількох надскупчень галактик, що простягнулося над Південним Хрестом від сузір'я Павича до Парусів, ця ділянка неба істотно екранована міжзоряним пилом, що є в Молочному Шляху. І все ж вдалося з'ясувати: у напрямі до цього Атрактора наша Галактика рухається зі швидкістю 620 км/с. Відхиляючись від «належного» їм руху, пов'язаного із космологічним

розширенням, у цей же бік єдиним потоком зміщуються і деякі інші галактики та їх скупчення, зокрема ті, що в сузір'ях Діви і Волосся Вероніки.

Усе тут сказане є предметом серйозного аналізу принаймні на найближче десятиріччя...

У рамках класичної космогонії

Беручи до уваги високий рівень ізотропності РВ, можна покласти, що поява згаданих вище взаємно відокремлених структур (галактик і їх скупчень) обумовлена дією – упродовж певного часового інтервалу – передусім сили тяжіння і деяких «допоміжних» чинників.

Упродовж кількох століть була актуальною і дотепер заслуговує особливої уваги «конденсаційна» точка зору, за якою галактики формувалися внаслідок стиснення (конденсації) речовини.

Цю точку зору висловив ще **Ньютон** в своєму листі **Річарду Бантлі**, ректору Трініті Коледжа в Кембриджі (1692 р.): «Мені здається, що якби речовина нашого Сонця й планет і взагалі вся речовина Всесвіту була рівномірно розподілена по всьому простору небес, а кожна частинка речовини відчувала б природжене тяжіння до всіх інших, і повний об'єм простору, в якому розсіяна ця речовина, був би скінченним, то речовина з країв цього об'єму прагнула б завдяки тяжінню до усієї тої речовини, що в середині, і тому падала б до центра цього простору і вклатася б там у єдину велику сферичну масу. Але якби ця речовина була рівномірно розподілена в нескінченному просторі, вона ніколи не злилася б у єдину масу; якась його частина згущувалася б в одну масу, інша – в іншу, так що виникло б нескінченне число великих мас, розкиданих по всьому цьому нескінченному простору на великій відстані одна від одної. І так могли б утворитися Сонце і нерухомі зорі, якщо припустити ще, що за своєю природою ця речовина світилася. Але яким чином речовина могла б розділитися на дві частини і та, що підходить для цього, злилася в тіло, яке світиться, тоді як інша залишилася темною або перетворилася на темну, коли перша залишилася незмінною, –

це вже, на мій погляд, не можна пояснити одними лише природними причинами і я повинен приписати це думці і діянню, виконаного волею Творця».

Як вже знаємо, у ХХ ст. питання «чому зорі світяться, а планети ні» вирішене, так би мовити, природним шляхом: у надрах зір завдяки достатньо високій температурі і густині «забезпечується» звільнення енергії за рахунок реакцій ядерного синтезу. Ідею ж Ньютона про гравітаційну нестійкість нескінченного однорідного середовища математично обґрунтував (1902 р.) англійський астроном **Джеймс Джинс**. Він встановив **критерій гравітаційної нестійкості**: нескінченно протяжне однорідне середовище, що має густину ρ і температуру T , внаслідок випадкових збурень (скажімо, проходження звукових хвиль) під дією сили тяжіння розпадається на окремі ущільнення з розміром

$$\lambda_J = \sqrt{\frac{\pi a^2}{G\rho}} = \sqrt{\frac{\pi\gamma AT}{\mu G\rho}}. \quad (4.1)$$

Тут a – швидкість звуку, $A = 8,3$ Дж/моль/К – газова стала, γ – відношення питомих теплоємностей, μ – молекулярна маса. Внаслідок цього утворюються фрагменти речовини з початковим об'ємом λ_J^3 і джінсовою масою

$$M_J = \lambda_J^3 \rho, \quad (4.2)$$

де ρ – густина речовини.

Ці співвідношення, з точністю до сталої можна вивести із таких елементарних міркувань. Нехай у середовищі, що має густину ρ і температуру T , випадково з'явилася неоднорідність, в якій – дещо більша густина: $\rho' = \rho + \delta\rho$, тож є потреба розглядати баланс сил. Адже на кожен елемент маси на межі згущення діє спрямована в бік його центра *сила тяжіння*, яка цей згусток намагається стиснути. Але оскільки тиск у згустку вищий, ніж поза ним, *сила пружності*, спрямована назовні, намагається відновити початковий стан. Тобто: коли сила тяжіння «перемагає», речовина, що перебуває всередині сфери радіуса $\rho \approx \lambda$, стискається, стаючи зародком зорі чи ізольованої

хмари, з якої в подальшому і таким же шляхом формуються галактики й окремі зорі. Усе це – здобуток класичної космогонії.

Варіанти релаксації

Природа дивовижна «у своїй винахідливості», для дослідника ж це («її конкретні вибрики») наперед невідоме. А тому певний спостережний факт може стати основою для побудови фальшивих теоретичних конструкцій і навіть серйозних, знову ж таки – фальшивих, узагальнень.

Ось найпростіший приклад. Розподіл інтенсивності випромінювання у спектрах небесних тіл «з боку радіодіапазону» описують формулою Релея-Джинса $I_\nu \sim \nu^2$. Частота ж ν пов'язана із довжиною хвилі λ так: $\nu = c/\lambda$ (c – швидкість світла). Тож маємо очевидне: інтенсивність випромінювання у спектрі певного об'єкта зі збільшенням довжини хвилі зменшується. Так воно і є, зокрема, для Сонця. Але ось для планети Юпітер інтенсивність випромінювання на довжині хвилі 21 см «дає» температуру 3000 К, а при $\lambda = 68$ см $T = 50\,000$ К! На щастя фізики вже знали: у прискорювачах елементарних частинок – *синхротронах*, набувши швидкостей, співмірних зі швидкістю світла, частинки, описуючи колові орбіти завдяки дії потужних магнітних полів, частину своєї енергії висвічують. І тут залежність інтенсивності I_ν випромінювання від частоти ν інакша: $I_\nu \sim 1/\nu$. Тобто якраз те, що й дають спостереження Юпітера, як і ряду інших астрономічних об'єктів. Йдеться про їх *синхротронне випромінювання*.

Річ ясна, тут зразу ж з'являються нові, несподівані питання: а) звідки в космосі беруться «упорядковані» магнітні поля, як також б) звідки беруться там потужні потоки заряджених частинок, що рухаються зі швидкостями, співмірними зі швидкістю світла?

Усе це загалом вже має своє пояснення в курсах загальної астрономії і фізики. Знаємо також, що конкретні спектральні спостереження перевіряють для можливого виявлення *прямого* або *зворотного комптон-ефекту*, а *ще перехідного випромінювання*. Бо ж «Природа – винахідлива»!

Таке ж розмаїття процесів виявляють, розглядаючи задачу про охолодження флуктуацій густини, що формуються на ранньому етапі структуризації речовини у Всесвіті. Передусім необхідно зазначити: майже зразу після відкриття реліктового радіовипромінювання (1965 р.) **Р.К. Сакс** та **А.М. Вольф** (1967 р.) передбачили його флуктуації, що мали б бути обумовлені згаданими збуреннями речовини. Вони ж проаналізували процес, який отримав назву **ефект Сакса-Вольфа: фотони змінюють частоту на поверхні останнього розсіювання, оскільки в середовищі є неоднорідності гравітаційного потенціалу**. Інакше кажучи, фотони, які виходять із зон із більшим потенціалом, ніж його середнє значення, будуть «червонішими», ті ж, що залишають зони розрідження, – «синішими». Виявляє себе цей ефект при кутових відстанях точок небесної сфери $\theta > 10^\circ$.

При менших взаємних кутових відстанях точок небесної сфери ($\theta < 10^\circ$) головну роль у формуванні флуктуацій температури РВ відіграє **ефект Сілкі**. Природним є покласти, що в основному формування флуктуацій густини є наслідком поширення в середовищі збурень типу звукових хвиль, і що це – процес адіабатичний. Тоді при $Q = 0$ із першого закону термодинаміки маємо $PV^\gamma = \text{const}$ і при $\gamma = 4/3$ (ультрарелятивістський газ) знаходимо

$$\rho / T^3 = \text{const} \quad \text{і} \quad \frac{\delta T}{T} = \frac{1}{3} \frac{\delta \rho}{\rho}.$$

Тобто з ділянки підвищеної концентрації речовини буде і надлишковий потік випромінювання.

В окремих випадках, безперечно, важливу роль відіграє **ефект Доплера**. Адже кожен фрагмент речовини, беручи участь в однорідному (космологічному) розширенні, має і певну пекулярну швидкість v . А найактивнішим у цей дорекомбінаційний момент часу є гарячий газ електронів, і якщо τ_T – оптична товщина хмари, в якій відбувається **томсонівське розсіювання фотонів**, то флуктуація температури δT визначиться співвідношенням $\delta T / T \sim v \tau_T$.

Нарешті, певною мірою може вплинути на «чіткість вияву» первинних флуктуацій РВ *ефект Зельдовича-Сюняєва*: якщо в міжгалактичному середовищі (чи й у нашій Галактиці) є протяжні хмари гарячого електронного газу, то реліктові фотони, стикаючись із електронами, отримують додаткову енергію. А це якраз і може привести до істотних змін у спостережуваній картині розподілу флуктуацій РВ.

Фрагментація у розширному Всесвіті

Критерій Джинса одержано в припущенні, що нескінченне однорідне середовище перебуває у спокої. Поведінка ж малих збурень густини в однорідному середовищі, що розширюється, має свої особливості.

Як з'ясував **Є.М. Ліфшиць** (1946 р.), гравітаційна нестійкість у цьому випадку виявляється передусім у тому, що окремі ділянки, густина яких ρ' дещо більша за середню густину середовища ρ_0 , продовжують розширюватися, проте повільніше, ніж середовище в цілому. Відповідно і густина в зоні ущільнення зменшується дещо повільніше. Проте, як і в картині Ньютона (або Джинса), первинне слабке відхилення від середньої густини середовища з часом збільшується. І в певний момент часу сила тяжіння бере верх, «відключаючи» цей фрагмент від загального космологічного розширення.

За порядком величини, як і в попередньому, статичному випадку, межі поділу «ущільнення з початковою протяжністю L – навколишнє середовище» відповідає рівність часу вільного падіння до центра ущільнення $t_G \approx (G\rho_0)^{-1/2}$ і часу поширення звукової хвилі $t_s \approx L/a_s$ (a_s – швидкість звуку). При $t_G < t_s$ флуктуації густини на стаціонарному фоні зростають. Тобто це стається, якщо $L > a_s(G\rho_0)^{-1/2}$. Відповідно збурення густини на тому ж тлі зростають за експоненціальним законом. Однак реально в розширному Всесвіті густина (зокрема при $\rho = \rho_{кр}$) зменшується за законом $\rho \sim t^2$. За Є.М. Ліфшицем, відповідно і відносна величина збурення густини змінюється пропорційно часу: $\delta\rho/\rho \approx t$ до тих пір, доки враховується тиск

ультрарелятивістського газу або випромінювання, коли $p = \varepsilon/3$, також

маємо $\frac{\delta\rho}{\rho} \sim t^{2/3}$ при $p = 0$.

Розрахунок показує, що за час від одної секунди до $t \sim 3 \cdot 10^9$ років відносна величина збурення зросте не більше, ніж у 10^7 разів. А це значить, що при $t \approx 1$ с в догалактичному середовищі вже повинні були бути збурення густини з відносною величиною $\delta\rho/\rho \approx 10^{-17}$, що не так вже й мале. Адже якщо говорити про «звичні» теплові флуктуації в середовищі, то для них $\delta\rho/\rho \sim \frac{1}{\sqrt{N}}$, де N – число частинок у системі. І для Галактики при $N = 10^{68}$ частинок маємо $\delta\rho/\rho \approx 10^{-34}$ тобто на багато порядків менше!

Тому, як відзначали **Л.Е. Гуревич** і **А.Д. Чернін** (1987 р.), «початкові збурення, підсилювані гравітаційною нестійкістю, повинні бути набагато вищі за рівень теплових флуктуацій упродовж фактично усієї еволюції світу, яку взагалі можемо вивчати на підставі встановлених фізичних законів. У цьому значенні можна говорити про ці збурення як про деяку дозоряну, догалактичну структуру, що існувала у Всесвіті задовго до зір і галактик».

Про «збурення як догалактичну структуру» йшлося і в лекціях **Я.Б.Зельдовича** (див. Д.-З.-С., 1988, с.160 і далі): «...ієрархічна структура виникла внаслідок обумовленого гравітаційною нестійкістю зростання певних початково малих збурень густини... Вони неминуче зпричинені фізичними процесами на ранній (інфляційній) стадії розвитку Всесвіту і внаслідок цього їхня величина і типові розміри визначаються фундаментальними сталими фізики мікросвіту».

Пошуки підходу до питання про природу початкової структури ведуться тепер на основі ідей, які об'єднують висновки загальної теорії відносності і квантової теорії. Тож, як гадають, походження первинних збурень, зобов'язане тим же процесам, які обумовили і саме космологічне розширення, – так можна сьогодні переповісти передбачення згаданих авторів!

За однією з тогочасних гіпотез, *формування неоднорідностей типу скупчень галактик, відбувалося на післярекомбінаційній стадії розширення Всесвіту.*

В теорії *адіабатичних збурень* покладають, що частинки речовини і фотони поведуться як єдине середовище. В адіабатичних згущеннях температура і густина вищі, ніж у навколишньому середовищі. І якщо збурення виникло, то зразу ж потоки фотонів переносять тепло із зони згущування, причому тим ефективніше, чим вона менша. Тому розвиток малих неоднорідностей придушиться і до епохи рекомбінації повинні б «виживати» збурення з масами порядку $10^{15} M_{\odot}$.

Особливу увагу привертає питання про *формування спіральних галактик, яким притаманний великомасштабний обертальний момент.* Ним займався вже **Декарт**, висловивши ідею космічних вихорів. Починаючи з 1948 р., німецький фізик **Карл Вейцекер** спробував відтворити картину Всесвіту, виходячи з припущення, що в догалактичному середовищі існували складні вихорові (турбулентні) рухи. Вони нібито забезпечували обертання протогалактик і сприяли їх виділенню із неперервного середовища, яке Вейцекер вважав холодним. Згодом, у 1952 р. **Г. Гамов** підтримав «вихорову космогонію» і припустив, що вихори існують у Всесвіті від початку і мають ту ж природу, що і саме космологічне розширення.

І якщо розвиток галактичної структури обумовлений адіабатичними збуреннями, то вони зпричинили неоднорідності реліктового радіовипромінювання у напрямках, що розрізняються за кутом навіть на декілька хвилин дуги.

Однак у теорії вихорів із закону збереження моменту кількості руху (добуток швидкості руху у вихорі на його розмір і число охоплених ним частинок повинен залишатися незмінним) впливало, що внаслідок космологічного розширення швидкості вихорів повинні зменшуватися. І, навпаки, в ранню епоху ці швидкості мали б бути близькі до швидкості світла (а формально і надсвітловими). Ця суперечність, здавалося, була усунена після відкриття реліктового випромінювання: у фотонному газі з домішкою плазми вихорові швидкості

залишаються незмінними упродовж усієї епохи переважання випромінювання (порядку 3000 км/с). Проте вихори з такою швидкістю створювали б помітні флуктуації в реліктовому фоні.

З цього приводу, однак, **Л.Е. Гуревич** та **А.Д. Чернін** зауважили: «Вихорові рухи в епоху відокремлення протогалактик повинні мати швидкості, що перевищують швидкість звуку в середовищі, і в цьому сенсі догалактична турбулентність повинна бути надзвуковою. У гідродинаміці такий стан середовища залишається невивченим; наскільки відомо, у ній не було і самого поняття надзвукової турбулентності (яке, зрештою, дотепер залишається визначеним не дуже чітко)... Теоретичний аналіз наштовхується тут на серйозні, дотепер не подолані труднощі. Намічена у свій час Вейцекером програма дослідження окремих ключових питань (як ось поширення нестационарного розриву, взаємодія сильних розривів тощо) залишилася невиконаною... Проблема походження догалактичних вихорів не входила в цю програму. Допускалося, що вихори існують у Всесвіті одвічно і мають ту ж природу, що й загальне регулярне розширення середовища (Гамов, 1952)». На думку ж згаданих авторів, «вихори, що дали початок обертанню галактик, справді існували в епоху формування зоряних систем, але не були одвічними, а виникли незадовго до того у надзвукових рухах міжгалактичного середовища». Ця серйозна проблема все ще чекає свого належного аналізу.

Варті уваги і слова **Дж. Джинса** (1928 р.) щодо підозріння, за яким «у спіральних туманностях діють зовсім невідомі нам сили, які, можливо, відображають нові і несподівані метричні властивості простору».

В цілому впевнено та однозначно можна поки що говорити про заключний етап великомасштабної структуризації – про каскадну фрагментацію речовини у відповідності з критерієм Джинса. Однак і тут є нелегкі питання, що стосуються дифузії фотонів через середовище, параметри якого безперервно змінюються. Йдеться про вже згадані вище механізми охолодження та їхню роль у прискоренні або ж, навпаки, сповільненні: процесів структуризації світної

речовини. Значною мірою це з'ясовується тепер їх моделюванням у потужних обчислювальних центрах.

Невизначеність нюансів

При обговоренні сучасних проблем космології часто звучить теза: саме тепер найголовнішим завданням є з'ясувати питання про формування великомасштабної структури Всесвіту. Справді, описана в розділі 1 картина вимагає пояснення – «бо чому все саме таке?». Чому є така ієрархія структур і як вона складалася – чи спочатку «щось наймасивніше і далі поділ на менші згустки» чи, навпаки, – згущення типу скупчень зір, які згодом об'єднувалися у більші системи?

Як уже відомо, певною мірою усе визначає маса частинок m , які є домінуючими, в своїй сукупності, щодо дієвості того ж таки критерію Джинса. На сьогодні складається так, що природа «темної матерії» ще не з'ясована і про неї доводиться, услід за **В.Н. Лукашем** та **Є.В. Михеєвою** (УФН, 2007, 177), повторювати в розмірковуваннях: «принеси те, не знаю що». Все ж: якщо $m > m_p$ (m_p – маса протона), то передусім формуються менші згущення речовини, які згодом об'єднуються у потужнішу ієрархію структур. Зазначимо, що йдеться про частинки із «кошика суперсиметричних», про які нічого не знаємо конкретно, але які «мають бути».

Вже начебто традиційним є ось такий сценарій (**А.Д. Долгов** і ін.): «Спостережувана структура Всесвіту виникла внаслідок розвитку початково невеликих флуктуацій густини. До останнього часу питання про походження цих флуктуацій залишалося відкритим. Було цілком неясно, які фізичні процеси можуть привести до флуктуацій на гігантських, істотних для космології відстанях. І дуже важливу роль зіграла інфляційна модель. Квантові флуктуації, які зазвичай розігруються на мікроскопічних масштабах, в експоненціально розширному Всесвіті гігантським чином збільшують свою довжину хвилі $\lambda \rightarrow \lambda e^{Ht}$, а також (правда, істотно менше) і свою амплітуду та стають космологічно значущими. Внаслідок цього галактики, їх скупчення та інші структури є

макропроявами мікроскопічних, але істотно зрослих квантових флуктуацій».

Звернемо увагу: щоб стати космологічно значущою, довжина хвилі такої флуктуації має зрости у $10^{20} - 10^{25}$ разів!

Теоретично це питання доведене **Є.М. Ліфшицем**. Повторимось – *доведене*. Як твердження типу «дорогою з пункту А в пункт Д може пройти певний мандрівник». Річ лише в тому, чи взагалі мандрівник ще не помер, а якщо живий, – чи має намір кудись мандрувати...

Тут незайма така репліка. Коли в середині 70-х років ще всерйоз обговорювано пульсуючу модель Всесвіту (або ж відкрити, як здавалося, «речовини замало»), автор в «Астрономії вчора й сьогодні» (К., 1976 р., с. 264) висловився так: «логічно висувати, що й справді $\rho = \rho_{кр}$ і що в цьому виявляється певний закон природи». Тоді ж в «Астрономії наших днів» (Наука, 1976, с. 429) те ж зформульовано як запитання: «Не означает ли это, что оба эти параметра в точности равны друг другу и что это условие является одной из важнейших закономерностей развития Вселенной?». Тепер кажемо: це очевидне. Бо «знаємо»: була *фаза інфляції* – «з 1980 р.».

Чимсь подібна ситуація із поясненням флуктуацій релікту. Так, **вони є**. І – є доказом того, що на момент «поголовної рекомбінації» і відриву фотонної компоненти від речовини у цій другій «не було спокою», а навпаки, у формі звукових хвиль виявляли себе якісь «конвульсії» попереднього стану. Відомо, що «західна преса» ейфорично сприйняла (наприкінці квітня 1992 р.) повідомлення **Дж. Смутта** про виявлення анізотропії реліктового радіовипромінювання, мовляв «людство побачило обличчя Господа Бога». З часом, річ ясна, усе це стане так же звичним, як і «електрон біля протона в атомі водню».

В космології саме тепер – перехід від «бувшої традиційної» до нової – *струнної* (чи *бранної*). «Усе недавнє» розробляли, оглядаючись на стандартну модель фізики елементарних частинок, на послідовні відщеплення тої чи іншої взаємодії. За нашим переконанням, струнна модель в обговорюваному випадку виведе

на перший план гравітацію. *А співставивши* два числа (швидкості взаємного віддалення двох точок в інфляційній і розширній моделях) – $10(10^8)$ і 10^3 , неминуче маємо зробити висновок: перехід на стадію розширення був своєрідною катастрофою, потужним *космотрусом*, збуренням метрики, що й породило у тільки що, але вже «народженому» *речовинному* середовищі звукові хвилі. Завдяки їм у подальшому і відбувалася фрагментація речовини та становлення певної ієрархії структур.

Повертаючись, однак, до «реалій нинішнього дня», «в рамки апробованих моделей», наведемо фрагмент тексту із «Загальної астрофізики» **А.В. Засова** і **К.А. Постнова** (2006 р.): «Спостережувана великомасштабна структура не могла зформуватися без участі прихованої маси – невидимої матерії, яка виявляє себе лише своєю гравітаційною взаємодією. Справді, із флуктуацій температури реліктового випромінювання ми знаємо, що флуктуації гус-

тини на момент рекомбінації сягали значень $\frac{\delta\rho}{\rho} \leq 10^{-5}$. Після рекомбінації ці флуктуації зростають пропорційно масштабному фактору, і на момент $z \approx 1$ можуть зрости в ~ 1000 разів, тобто до рівня 10^{-2} , що цілком недостатнє (на два порядки!) для початку розвитку гравітаційної нестійкості й утворення структур, і це – незалежний вагомий аргумент на користь існування невидимої матерії... Саме флуктуації густини темної матерії, які б мали бути на два порядки більшими, ніж флуктуації звичайної (баріонної) речовини в момент рекомбінації, і створили потенціальні «ями». Ці «ями», очевидно, стали центрами конденсації звичайної речовини, з якої згодом стали формуватися галактики і скупчення галактик».

Отож – «взьми те, не знаю що», а це фактично означає заміну одного невідомого (умов структуризації) іншим (чинником, який її забезпечить). **Л. Ксанфомаліті** у дуже інформативній статті під назвою «Темний Всесвіт» (ж. «Наука и жизнь», №5, 2005), заторкуючи також проблему «сингулярності – таємничої точки відліку», зіронізував з цього приводу, мовляв це «як рекомендація у давніх римлян

для лікаря: «Якщо діагноз встановити не можеш, назви це латинським словом – і все обійдеться»...

А ось ще один фрагмент із тої ж книги **А.В. Засова і К.А. Постнова**: «У наш час непогано відомі, принаймні в загальних рисах, характер розширення Всесвіту в сучасну епоху, особливості і загальна спрямованість еволюції галактик і систем галактик. Очевидним виглядає і народження спостережного Всесвіту зі стану надвисоких густин і температур. Однак питання про найбільш ранні етапи розширення Всесвіту, про формування і ріст збурень, про властивості простору, часу, елементарних частинок на планківських масштабах залишаються відкритими і допускають різні варіанти розв'язків фізичної картини, що описує динамічну еволюцію Всесвіту від самого початку його розширення, ще не створено, оскільки наявні фундаментальні фізичні теорії залишаються справедливими лише в обмеженому діапазоні параметрів... Інфляційна теорія раннього Всесвіту, як і теорія гарячого Всесвіту, теорія холодної темної речовини, відповідальної за появу великомасштабної структури або взагалі загадкової «темної енергії», залишаються поки що лише, в кращому випадку, добре аргументованими гіпотезами, їх перевіряють і розвивають, як тільки з'являються нові дані.

Тому відповідь на питання про «народження» Всесвіту не може бути даною у підручнику».

5. АНТРОПНИЙ ПРИНЦИП

Глибинна суть проблеми

Прагнення охопити думкою увесь Всесвіт з'явилося в людини вже тоді, коли вона не знала ще ні розмірів планети, на якій живе, ні відстаней до інших небесних тіл, ні, тим більше, – їхньої фізичної природи. Але як далеко вперед у розкритті таємниць Всесвіту пішло людство порівняно з уявленням про плоску Землю, підтримувану чотирма слонами, які стоять на черепасі!..

Особливо вражаючими є успіхи астрономії за останні 350 років. Адже масштаби світу, який вона вивчає, зросли за цей час у мільйон мільярдів разів. Це вона «завинила» в тому, що людство стало на шлях звільнення від антропоцентризму (гр. *ανθρωπος* – людина) – уявлення, за яким Земля, а отже – і людина, займає у світі центральне місце.

Зокрема, у 1543 р. **М. Коперник** «зрушив Землю»: у «центр світ-обудови» тоді було поставлено Сонце, Земля стала «рядовою» планетою. У 1918 р., **Х. Шеплі** довів, що Сонце перебуває не в центрі Галактики, а на її околиці, і що воно здійснює навколо нього оберт за кожні 200 млн. років. І, нарешті, **Е. Габбл** у 1924 р. виявив, що наша Галактика – лише одна з багатьох подібних до неї зоряних систем.

Осмислення явищ навколишнього світу, щоденна практична діяльність вели до висновку: все навколо виникло з волі Творця, Майстра. У давніх греків ці висновки зформульовано як аргументи – *космологічний* і *телеологічний*. Перший з них філософ **Платон** (427 – 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 б бути поза ним. Телеологічний аргумент (гр. *τελεωζ* – 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.**

Виходячи зі своїх безпосередніх вражень, відчуттів, давні люди склали уявлення, за яким Земля нерухома і перебуває у центрі світобудови. Сонце ж, Місяць і п'ять відомих тоді планет нібито

рухаються навколо Землі, а зорі прикріплені до певної кришталевої сфери, за якою розміщений *емпірей* (як думали давні греки – оселя богів). І відстань до цієї кришталевої сфери нібито усього в півтора рази більша, ніж до Сатурна.

Такий світ був дуже затишним, зрозумілим кожному. Тут легко було уявити, що Творець поруч, завжди коло тебе. Залишався лише крок до того, щоб сказати: це лише я, це лише моя спільнота правильно розуміє увесь Його задум про світ. І тому то «в ім'я єдиної правильної віри», зокрема, підіймалися до неба стовпи диму від вогнищ, на яких спалювали тисячі еретиків. В ім'я Боже творилося зло. Тож як не згадати слова французького вченого **Блеза Паскаля**: «Люди ніколи не чинять зло так ретельно і радісно, як із релігійних переконань». Бо такою була помста тим, хто своїм «іновірством» посилював сумніви, розхитував часто ненадійну рівновагу духа «правовірного».

«Зупинивши Сонце і зрушивши Землю», **Микола Коперник** не захитав «небесної тверді». Тому, зокрема, Католицька Церква сприйняла його модель світу відносно спокійно. Але **Галілео Галілей** своїми логічними розмірковуваннями і вдалим асоціаціями переконливо довів, що «з усієї сукупності зір, які бачимо, не знайдеться й двох, які були б на однаковій відстані від Землі». Внаслідок цього, образно кажучи, кришталева сфера розкришилася на друзки. І людина залишилася віч-на-віч з безкрайнім, холодним, байдужим і навіть ворожим Всесвітом, місце перебування Творця в якому стало неозначеним. Її, людину, охопив переляк, вона відчула себе беззахисною і покинутою.

У цей саме час наставала епоха Просвітництва з її войовничим безбожництвом. Тоді то було проголошено безліч безкомпромісних заяв типу «Релігія заважає людям бачити, тому що вона під страхом вічної кари забороняє їм дивитися» (**Дені Дідро**), «Релігія є в повному значенні цього слова смертю розуму» (**Жозеф Лекіне**). «На одній шостій земної кулі» такі люто-безбожницькі заяви упродовж майже всього ХХ ст. визначали форму і зміст суспільного життя. Ця тенденція в Україні, як виглядає, подекуди домінує і тепер.

Наприкінці 20-го століття (березень 1998 р.), відзначивши неабиякі 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 многи 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».

Під цим кутом зору й розглянемо *антропний принцип* – науковий принцип, 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 дуже сильних обмежень. Або: *Всесвіт не може бути іншим, ніж він є, оскільки ми існуємо*. Ці твердження треба розуміти не як можливість впливу людського інтелекту на Всесвіт, а як неможливість виникнення та існування інтелекту у Всесвіті, властивості якого були б децю іншими.

Одним із перших, у 1974 р., антропний принцип зформулював англійський астроном **Брендон Картер** у формі: «*Ми існуємо, тому що Всесвіт такий, яким він є*». Невдовзі почали його розглядати у двох варіантах (версіях).

Але доречно насамперед ще згадати зауваження американського (але японця за походженням) вченого **Мічіо Кайку** (кн. «Гіперпростір», Льв., 2005, с. 337): «В останнє десятиріччя дехто з космологів із жахом виявив, що антропоморфізм знову закрадається в науку під личиною антропного принципу. І деякі прихильники цього принципу відкрито заявляють, що хотіли б повернути Бога в науку». Тож і дискусії щодо цього слід приділяти певну увагу...

Слабка і сильна версії

За *слабкою версією*, те, що у Всесвіті існує розумне життя (ми), слід сприймати як експериментальний факт, який допомагає нам зрозуміти, чому та чи інша стала (константа) має саме таке, а не інакше значення.

За словами **М.Кайку**, те, що ми є, означає: обов'язково мала відбутися певна складна послідовність подій. Фізичні ж константи (як ось стала тяжіння), можуть мати значення лише в певному діапазоні величин. А ось слова фізика **Фрімана Дайсона**: «Коли ми дивимось на Всесвіт і визначаємо ті багаточисельні випадковості у фізиці та астрономії, які спрацювали разом на нашу користь, то мимоволі складається враження, начебто Всесвіт «знав», що ми маємо з'явитися».

Формулювання *сильного антропного принципу* справді жорсткіше: «усі фізичні константи Всесвіту були точно підібрані (Творцем) так, щоб у нашому Всесвіті було можливим життя». **Пол Девіс** висловився так: «*Здається, що для створення Всесвіту хтось привів усі кількісні параметри у взаємну відповідність... Усе це створює грандіозне враження задуму*». Оксфордський математик **Роджер Пенроуз** оцінив точність «підгонки» деяких фізичних параметрів (констант) і виявив, що вона вимірюється числом 1 до 10^{123} , тобто одиницею, за якою – 123 нулі!

А ось думка лауреата Нобелівської премії з фізики (1978 р.) **Арно Пензіаса**: «Астрономія веде нас до висновку про те, що колись відбулася унікальна подія – створення Всесвіту з нічого, створення світу, унікального з погляду дуже точної рівноваги, необхідної для забезпечення умов існування життя, такого світу, в основі якого покладено (можна сказати «надприродний») задум».

Декілька прикладів «допасування»

Довгий час астрономи (у своїй же царині – фізики, хіміки, геологи) задовольнялися питанням: «Як збудований світ?» Тепер же (зрештою, так ставив питання ще **Ляйбніц**) їх цікавить: «Чому світ

є саме таким?» Бо ж навіть дуже невеликі зміни тих чи інших параметрів системи призвели б до катастрофічних наслідків.

Ось передовсім декілька прикладів, що стосуються умов на нашій планеті:

1. Вісь добового обертання Землі нахилена до площини, в якій планета рухається навколо Сонця, під кутом $66,5^\circ$. Тим самим забезпечується на Землі зміна пір року, істотно злагіднюється клімат планети.
2. Дивовижні властивості має вода, ця головна складова частина усіх живих організмів. Ось одна з них: якщо у всіх тіл при зменшенні температури густина зростає, то для води вона найбільша при температурі плюс чотири градуси. Тому лід, як легша компонента, утримується на поверхні води. Внаслідок цього у водоймах під льодом зберігається температура, яка є достатньою для підтримування рослинного і тваринного життя. Інакше лід випадав би на дно, вся вода вимерзла б і життя в ріках, морях та океанах гинуло б.
3. Атмосфера Землі складається з таких газів і в такому співвідношенні, які найкраще сприяють життю на планеті. Справді, якби концентрація кисню тут була не 20,9% (за об'ємом), а, скажімо, 50%, то все, що може горіти, давно згоріло б. А коли кисню було б менше за 10%, то горіння стало б узагалі неможливим.
4. В атмосфері Землі є усього 0,03% вуглекислого газу і «сліди» (близько 0,23%) водяної пари. Але якраз їхні молекули інтенсивно поглинають інфрачервоне випромінювання земної поверхні і приблизно половину його «переадресовують» назад на неї, де це випромінювання знову поглинається. Внаслідок цього тут виник «парниковий ефект»: середня температура біля земної поверхні досягла $+15^\circ$ Цельсія. Без цього ефекту вона була б на 40° нижчою, тобто усього -25°C . І, річ ясна, вода на Землі легко перетворилася б у сніг і лід. А що сніг відбиває від 45 до 95% енергії сонячних променів, то таке охолодження призвело б до того, що вся наша планета залишилася б безмовною сніговою пустелею.

5. В атмосфері Землі, на висотах від 15 км до 80 км (найбільше – на висоті біля 25 км) є молекули озону (там кисень частково об'єднується в триатомні молекули). Загальна кількість цих молекул нікчемно мала. Так, якби їх зібрати біля поверхні Землі при температурі і тиску, типових для земної атмосфери, то товщина шару озону становила б усього 2,5 міліметра. А проте він відіграє величезну роль у збереженні всього живого на Землі, поглинаючи вбивчі ультрафіолетові промені Сонця.

А ось декілька прикладів того, як «підібрані» параметри нашого світу у «великому масштабі»:

1. Маса електрона у 1840 разів менша за масу нейтрона (у 1836 разів менша від маси протона). Як доведено, коли б вона була усього лише в три рази більша, то електрон не зміг би «кружляти» навколо протона, утворюючи в сукупності атом водню, він мусив би «впасти» на протон. А тоді у Всесвіті протонів (і атомів водню) не було б зовсім. Зорі й галактики склалися б з одних лише нейтронів. Не було б атомів і молекул, не було б усієї багатоманітності навколишнього світу.
2. Приймаючи за одиницю виміру масу електрона, кажемо, що протон має їх 1836 одиниць, тоді як нейтрон 1840. Виникає питання: а що коли б ця різниця мас між нейтроном і протоном була удвічі більша (наприклад, нейтрон 1840, протон – 1830)? Виявляється, у цьому випадку протон не міг би об'єднуватися з нейтроном, щоб утворити дейтрон. А тому не могли б відбуватися реакції синтезу гелію та важчих хімічних елементів. Тоді Всесвіт складався б з одного лише водню, не було б усіх складніших елементів – гелію, а особливо вуглецю, кисню, заліза... Словом, усього того, що є основою для будівництва планет і живих організмів.
3. Ядра гелію та інших елементів утримуються як єдине ціле тому, що між протонами і нейтронами, з яких вони складаються, діють сили, що їх «цементують». Якби ця сила взаємодії між нуклонами (така загальна назва протонів і нейтронів) була хоча б на 5-7% більшою, то протони і нейтрони зразу після їх появи об'єдналися б у гелій. І цей елемент був

- би єдиним у Всесвіті. І навпаки, якби та сила взаємодії була на якихось 5% меншою, то гелій взагалі утворюватися не міг би і Всесвіт був би чисто «водневим».
4. У ядрах протони не лише притягуються взаємно завдяки дії ядерних сил, а й відштовхуються (бо ж це однойменні електричні заряди!). І коли б ця електрична сила відштовхування була дещо більшою, то ядра розвалювалися б. Отже, знову таки, увесь навколишній світ складався б лише із найпростішого елемента – з водню.
 5. У масштабах нашої Сонячної системи і нашої Галактики вирішальною, об'єднуючою є сила тяжіння. Великої сталої гравітації G визначається і температура в надрах Сонця та зір. Як з'ясовано, коли б ця сила тяжіння була, наприклад, у десять разів більшою (а теоретично це не заперечується ніякими вимогами чи міркуваннями), то «запаси пального» в надрах Сонця вичерпалися б не за мільярди років, а всього за декілька мільйонів. І на місці Сонця на сьогодні вже була б дуже слабка зоря білий карлик, промені якої нас аж ніяк не зігріли б. Зрештою, при такій великій силі тяжіння наша планета мала б значно менші розміри, та й умови на ній навряд чи були б привабливі.
 6. Наш простір тривимірний. Чому саме «реалізовано» якраз таке число вимірів, при якому можуть існувати стійкі планетні системи?
 7. Нарешті, привертає факт розширення світу галактик, тривалість якого істотно залежить від середньої густини речовини у Всесвіті. Якби розширення тривало значно менше (тобто якби середня густина речовини була більшою), то не встигли б сформуватися галактики, зорі і планети, бо розширення давно вже змінилося б стискуванням. Якби ж ця середня густина була меншою, то зорі (і Сонце) не змогли б сформуватися...

«Всесвітів багато – і Творець зайвий»

Для багатьох вчених дивовижно високий рівень взаємної допасованості (близько 30 параметрів, якими визначається стабільність усіх рівнів буття Всесвіту), є доказом створення цього Всесвіту Творцем. Про це 200 років тому влучно сказав **Лейбніц**: «Бог є тим розумом, котрий створив наш старанно спланований світ». Далі він підкреслив, що є дивна гармонія між реальним світом і світом математики, цей учений не мав жодного сумніву в тому, що згадана гармонія «пояснюється єдністю реального світу і Бога». Бо «*Cum Deus calculat, fit mundus*» – «Як Господь вираховує, так світ і збудований».

Справді, фундаментальні закони природи формулюються, записуються за допомогою математичних символів. Є наповнене глибоким змістом висловлювання: «Бог розмовляє з людиною мовою математичного символізму». Саме так, зокрема, можна відповісти на зауваження **А. Айнштейна**: «...постає питання, яке хвилювало дослідників усіх часів. Чому є можливою така чудова відповідність математики реальним предметам, якщо сама вона є витвором лише людської думки...?»

У книжці **Д. Гудіна** і **Д. Леннокса** «Світогляд» (т.1, К., 2003, с. 89) є підрозділ, що має назву «Антропний принцип і гіпотеза про множинність світів». Автори розкривають намагання деяких учених за всяку ціну «обійтися без Творця». Читаємо: «... гармонія Всесвіту надає нам справжній доказ тільки двох можливостей. Перша можливість – це реальність Бога. Єдиний спосіб уникнути цього висновку – повірити у так звану гіпотезу «множинності світів...» У ній іде мова про «одночасне існування безлічі – і навіть нескінченної безлічі – паралельних світів, де (майже) все, що теоретично можливе, врешті-решт стає дійсним».

Серед декількох пропобандистів цієї, за своєю суттю – атеїстичної, – ідеї особливо виділяється **Андрій Лінде**. Він – один із творців інфляційної теорії, у свій час закінчив Московський університет, до 1990 р. працював у Фізичному інституті ім. П.М.Лебедева, з 1990 р. є професором фізики Стенфордського університету (Калі-

форнія, США). Модель його «самовідтворюваного інфляційного Всесвіту» описана ним у збірнику статей «Величний Космос» (Льв., «Світ науки», 2, 2001). Мовляв, наш Всесвіт, при його народженні, є чимось, за своєю формою, невпорядкованим, для чого є відповідна назва – *фрактал*, як також створена фрактальна геометрія. Тут типові форми багаторазово повторюються на низхідних рівнях так, що їх частини на будь-якому рівні за формою повторюють ціле (як ось краї хмар знову й знову повторюють той же візерунок, узбережжя моря можна ділити на все дрібніші частини, і в кожній з них будуть виявлятися такі ж обриси берегової лінії). І головна ідея Лінде: «Всесвіт породжує в собі фрактал, що пускає паростки інших інфляційних всесвітів». Тобто, йдеться про «багато куль» які містяться у Всесвіті і які, «роздуваючись, породжують нові кулі, а ті, в свою чергу, – ще більше куль, і так до безмежності».

У цьому – суть розробленого А.Лінде «сценарію хаотичної інфляції», за яким збудовано «теорію вічно існуючого самовідтворюваного інфляційного Всесвіту». Мовляв, «самовідтворюваний Космос має вигляд протяжного розгалуження інфляційних бульбашок». І далі: «Властивості простору в кожній бульбашці не залежать від моменту формування бульбашки. В цьому сенсі Всесвіт як ціле може бути стаціонарним, навіть не зважаючи на те, що внутрішній світ кожної бульбашки може бути описаний теорією Великого Вибуху».

Із певним математичним обґрунтуванням свій сценарій А.Лінде виклав, зокрема, у лекції, прочитаній 2001 р. на конференції, присвяченій 90-річчю **Джона Уїлера**. Ось її фрагменти: «... навіть якщо ми і знайдемо кінцеву Теорію Всього, ми все ж будемо не в змозі однозначно передбачити властивості елементарних частинок у нашому Всесвіті; всесвіт може складатися з різних експоненціально великих частин з різними властивостями елементарних частинок. Це – важливий крок на шляху до обґрунтування антропного принципу».

В іншому місці читаємо: «У відповідності з цим сценарієм ми живемо у чотиривимірній області всесвіту з нашими фізичними законами не тому, що області іншої розмірності або з іншими

законами неможливі чи малоймовірні, а просто тому, що життя типу нашого в них неможливе». Звідси випливає простий доказ слабого антропного принципу, що не піддається звичним проти нього запереченням. Більше не потрібна якась там надприродна причина, яка створює наш всесвіт зі спеціально підібраними для можливості нашого існування параметрами. Інфляційний всесвіт сам собою, без будь-якого зовнішнього втручання, породжує експоненціально великі області з усіма можливими законами фізики... Нові можливості, що заявляються внаслідок відкриття самовідтворення всесвіту, можуть відкрити дорогу тому, що я іменую дарвінівським підходом у космології. Мутації законів фізики можуть вести до формування областей, швидкість розширення яких більша, ці області займуть, річ ясна, більший об'єм у всесвіті і будуть доступні більшому числу спостерігачів».

Але, о диво, він же у «Величному Космосі» пише: «Варто нагадати, що інфляційна модель ґрунтується на теорії елементарних частинок і вона ще не є повністю завершеною. Деякі версії (найбільш крайня – теорія суперструн) не призводять автоматично до інфляції. Відсутність інфляції в теорії суперструн вимагатиме нових радикальних ідей».

Надто ця ситуація типова: «Я не знаю ЯК, але в тебе воно НЕ ТАК», **А. Лінде** ще може колись сказати, що шлях «розгалуження бульбашок» нікуди не привів. Але за цей час встигне захитати віру в Творця в багатьох.

Перегорнімо ще раз книгу «Світогляд», і на її с. 90 прочитаємо: «**Джон Полкінгхорн**, видатний теоретик у галузі квантової фізики..., відкидає цю концепцію: «Давайте розглянемо ці спекуляції як такі. Це не фізика, а, у строгому розумінні слова, метафізика. Не існує суто наукових підстав віри в множинність світів. А як теоретична конструкція ці світи не піддаються вивченню.»... Оксфордський філософ **Річард Суїнберн** погоджується з цією думкою: «Постулювання трильйонів трильйонів інших світів, замість постулювання Одного Бога, аби пояснити впорядкованість нашого світу, видається вершиною ірраціональності»... Фахівець у царині космології **Едуард**

Харрісон міркує аналогічно: «Найважливішим доказом Божественного задуму є гармонія й упорядкованість Всесвіту. Поміркуйте, що вам ближче: сліпий випадок, який потребує безліч світів, чи план, що припускає тільки один світ... Чимало вчених у своїх висновках схиляються до телеологічного аргументу або ідеї задуму».

Вище були наведені два *тести Гамова* щодо правильності теорії гарячого Всесвіту і три *тести Сендіджа* на доказ того, що Всесвіт розширюється. Це, зокрема, і для «деяких креаціоністів», які занадто буквально тлумачать першу сторінку Біблії. Якщо ж глянути на цю проблему ширше, то незайвим буде навести такі розмірковування «з цього приводу». Перше – Міхала Геллера, польського космолога і теолога, лауреата Темплтонівської премії: «Природа Великого вибуху – суто наукова проблема. «Пояснювати» його як наслідок божественного втручання – те ж саме, що приписувати грім на небі поганому настрою Зевса. Як гадаю, справді важливе питання чекає нас в іншому напрямку, а саме, звідки виникли фізичні закони?».

І друге – Жоржа Леметра, одного з фундаторів сучасної космології: «До істини можна було дійти двома шляхами. Я вирішив вибрати обидва. Наука не похитнула моєї релігійної віри, а релігія ніколи не примушувала мене ставити під сумнів висновки, до яких я дійшов науковими методами».

Це – своєрідний вступ до обговорення проблеми флуктуацій у «пограничному шарі» між «звичним для нас станом речовини у Всесвіті» і «тим попереднім», «розжареним», де швидкість звука співмірна зі швидкістю світла! У цьому відносно тонкому шарі є «певні збурення стану», ритмічні «звукові» коливання різних частот. «Чому б їм не бути?». Але один із дослідників цих явищ, невдовзі лауреат Нобелівської премії (2006 р.) Дж.Мазер зразу після «їх оприлюднення» нібито заявив: «Ми побачили обличчя Бога»... Але все ж, напевне, маємо приймати до уваги і слова Томи Аквінського «Посилання на Бога у фізичних питаннях є притулком для невігластва»...

Хтось і десь сказав: «Релігія існує не для того, щоб приховати прогалини в наших наукових знаннях, а бути рушійною силою для наукових пошуків»...

І це певним чином перегукується зі словами Нобелівського лауреата Стівена Вайнберга: «Я достатньо переконаний у тому, що ми відкриємо остаточну теорію, з якої можна буде вивести всі закономірності природи, але я також досить переконаний, що остаточна теорія залишить відкритим одне питання: чому ця теорія саме така, а не якась інакша»...

Фантазії – чи жарти, чи облуда?

Тут передусім звернемо увагу на винятково влучне висловлювання Нобелівського лауреата з фізики (1965 р.) **Джуліана Швінгера**: «Є синдром, що вражає кожне покоління фізиків: нездоланне бажання одержати відповіді на всі фундаментальні питання ще за їхнього життя».

Тим часом **А.Айнштайн** з гумором зауважив: «Природа показує нам лише хвіст лева. Але я не сумніваюся, що лев там є, навіть якщо він не може відразу показатися через свої величезні розміри».

І справді – вдумаймося: внаслідок фантастично стрімкого роздування у перші миті становлення Всесвіту його масштаби сягнула величини $10(10^8)$ см, астрономи ж за допомогою найпотужніших 11-метрових телескопів вивчають його до відстаней 10^{28} см! Співставимо ці нулі: 100 мільйонів проти 28! Як не згадати того Жака, який прожив безвиїзно в Парижі і якоїсь днини видряпався на вершок Ейфелевої вежі (її висота 300 м.) та щасливо закричав: «Я вже побачив увесь світ» – у радіусі всього лише 62 км.. Не побачив він білих ведмедів, акул в океані та пінгвінів, пустелі Сахара й австралійських кенгуру... А лише краєчок хвоста та ще й невідомо якого звіра!

Перегорнімо сторінки книги **Мічіо Кайку** «Візії: як наука змінить XXI сторіччя» (Льв., 2004). Із заключної її частини дізнаємося, що завдяки квантовій теорії, завдяки ідеї «бульбашок, які стають всесвітами», можна домислювати грандіозні аналогії. Читаємо: «Теорія суперструн як повністю скінчена теорія допомагає нам краще зрозуміти еру перед великим вибухом... Квантова космологія ґрунтується на простій ідеї, що треба трактувати всесвіт

як квантовий об'єкт. У квантовій теорії ми вважаємо, що електрон існує в кількох енергетичних станах одночасно... [Бо] згідно з принципом невизначеності Гайзенберга, ніколи не можна точно знати, де перебував електрон. Електрон існує в кількох «паралельних станах» одночасно.

Тепер проведемо аналогію між електроном і всесвітом. Якщо квантувати всесвіт, то він повинен існувати одночасно в кількох «паралельних всесвітах». На основі такого припущення з'являється «мультисвіт». Фактично про це ж говорить і **А. Лінде**. Але продовжимо читання книги **М. Кайку**: (с. 490): «Відповідно до цієї нової приголомшливої картини, спочатку не було нічого... Але був квантовий принцип, який означає, що мусить бути невизначеність, отже навіть Ніщо стало нестабільним і почали формуватися малесенькі частинки Чогось... Ніщо закипіло. Почали утворюватися і швидко рости бульбашки... Оскільки кожна бульбашка означає цілий всесвіт, то ми вживаємо термін «мультисвіт»...

І ті ж, що й у попередньому підрозділі, домисли. Зокрема: «Космолог **Стівен Гокінг** вважає, що наш всесвіт, мабуть, є найімовірнішим з усієї цієї безмежної сукупності всесвітів... Гокінг вважає, що всі всесвіти сполучені між собою безмежною мережею дір...

Стівену Вайнбергу ідея про мультисвіт подобається, [бо] «Важливою є теза, що не було жодного початку; були щораз більші «великі вибухи», отже мультисвіт існував вічно – не варто з'ясовувати, що було перед великим вибухом. [Мультисвіт] просто був тут завжди. Мене така картина цілком влаштовує».

Тут же розглядає **М. Кайку** і проблему «Далеке майбутнє: доля Всесвіту»: «За кожним сценарієм всесвіт, очевидно, мусить вмерти, а з ним і все розумне життя... Однак у цій понурій картині є одна світла плямка... Цивілізація могла б розширити мікроскопічні діри, що постійно з'єднують між собою різні всесвіти, і прослизнути з одного всесвіту в інший».

До цієї теми **М.Кайку** – учений зі світовим ім'ям у галузі теоретичної фізики, професор Нью-Йоркського університету, який «мав рідкісну нагоду протягом десяти років розмовляти з понад 150

науковцями з різних галузей!» повернувся ще раз у книжці «Гіперпростір» (Льв. 2005), де на с. 53 розповідає про роздуми свого колеги з Колумбійського університету **Джеральда Файнберга**. Йдеться про один із варіантів: всесвіт після фази розширення починає стискатися, тож: «Коли в останні миті перед кінцем світу всю матерію буде розчавлено, розумні форми життя зможуть утекти тунелем у вищі виміри чи в якийсь інший всесвіт... А тоді зі свого сховку... матимуть унікальну нагоду спостерігати за тим, як у вогненному катаклізмі помирає всесвіт... Розумні форми життя, перебуваючи в гіперпросторі, стануть очевидцями найрідкіснішого з усіх явищ у науці – створення нового всесвіту й нового місця, де вони відтепер житимуть.

Звичайно, наукова фантастика – річ, варта уваги, що має право на існування. Але тут – «дарвінівський підхід у космології», зрештою – «проскакування крізь чорні діри в інші світи» – надто серйозно (і, визнаймо, – безвідповідально) сказане...

Упродовж близько ста років, від середини XIX ст., небо над фізиками було затьмарене трьома *парадоксами* – фотометричним, гравітаційним і термодинамічним («тепловою смертю»). Врешті-решт усвідомлено: не можна певне знання (закони), отримане (встановлене) у нашому закапелку, поширювати «на весь безконечний Всесвіт»! Як у просторі, так і в часі, так і в обговоренні властивостей-характеристик того, що звемо речовиною, елементарними частинками, взаємодіями, загальніше – можливостями того чи іншого розділу науки, передусім квантової механіки. Усвідомлено, на жаль, не всіма...

Космос живих форм на Землі

Серед незліченної кількості питань, що стосуються «космосу живих форм», особливо важливі чотири: 1) сама *поява життя* на Землі, 2) зростання складності, тобто те, що назване *еволюцією* життя, 3) проблема *архітектурного плану*, за яким «самобудується» конкретний організм, і 4) *місце людини* серед інших істот.

Як відомо, головним *будівельним матеріалом* живих організмів *є білки, інформація «про все» записана у хромосомах*, точніше – в

молекулі ДНК. Білки збудовані із 20 амінокислот (АК), хоча їх загалом у природі є близько 200.

І тут зразу виникає питання. Ті, хто «сповідує» атеїзм, мали б пояснити, як – без Творця, а отже, сліпо-глухо-німа – природа, «всліпу» перебираючи усі можливі (а як інакше?) варіанти, може «змонтувати» для кожного конкретного організму потрібні йому понад сто видів різних білків? Формула для числа варіантів проста: $W = n^N$, тут N – кількість АК, з яких складається молекула білка, $n = 20$ – кількість «цеглинок» – амінокислот, з яких вона «монтується». У найпростішому випадку $N = 100$. Отже число варіантів $W = 20^{100} = 10^{130}$! Найпростіша АК складається із 10 атомів. Отже їх, атомів, потрібно 10^{131} , у всьому ж доступному для спостережень Всесвіті їх налічують усього 10^{80} . Насправді ж, якщо попередньо обчислити варіанти для «монтування» самих АК (і то не 20, а всіх 200!), замість 131 нуля матимемо 300 (якщо обчислюємо лише для 20 АК) і понад 700 у загальному випадку.

Як бачимо, ні про яке «монтування білків всліпу» та «перебирання усіх варіантів» не може бути й мови. Тому й сказав англійський астроном **Фред Хойл** так: «Та не мучилася природа всліпу. Бо від початку Надінтелект дав їй програму»!

Ще страшніші (не побоююся цього слова) числа отримуємо, розглядаючи «випадкове монтування» молекули ДНК. «Літер» («цеглинок») тут усього чотири ($n = 4$), але число їх пар (що є «щаблями» у «драбинці» ДНК) сягає десяти мільярдів: $N = 10^{10}$. Отже, варіантів буде... 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**, 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».

Вдумаймося і в ось ці слова **Карла Поппера**: «Дарвінізм – не наукова теорія, яку можна перевірити, а метафізична програма... Я не думаю, що дарвінізм може пояснити походження життя... Викладати в державних школах одну з протилежних теорію, цілковито відкидаючи іншу, недопустимо в суспільстві плюралістичної демократії. *Учні і студенти повинні бути ознайомлені з обома точками зору, з обома системами аргументації*»

ЗАМІСТЬ ПІСЛЯМОВИ

1. Відстань, з якої за допомогою сучасних телескопів можемо приймати інформацію (де $v = c$) визначається хабблівським радіусом $r_H \approx c/H$ і це $r_H \approx 2 \cdot 10^{28}$ см (при $H = 70$ км/с/Мпк). Тимчасом космомікрофізичний масштаб інфляційного Всесвіту $r_{\text{кмф}} \approx 10(10^8)$ см. Тож так малим ($10(10^{-8})$) є наше знання навіть про наш Всесвіт. Екстраполяції до інших всесвітів, існування яких є наслідком формального розв'язку узятих із певними наближеннями рівнянь і тому все ж непевне, – це, найімовірніше, один із міфів, про які говорив **К. Поппер**.

2. Співвідношення між кількістю «світної», «темної, але баріонної» і «екзотичної, фактично незної» речовини 1:8:46. Тобто на одну запалену свічку припадає 54 темної з фактично незаними якостями. Тож, хоча виявлені за допомогою супутників COBE і WMAP флуктуації інтенсивності (температури) мікрохвильового фону залежно від кутової відстані точок небесної сфери начебто є «підтвердженням реальності квантових флуктуацій скалярного поля на заключній фазі інфляції», їх насправді можна розглядати як доказ наявності «заморожених» акустичних збурень середовища в момент переходу Всесвіту на режим розширення.

3. Вирішальну роль у динаміці Всесвіту відіграє, за прийнятими уявленнями, *квінтесенція*, яка змушує найдальші галактики рухатися з прискоренням. Є, однак, припущення, за яким послаблення гравітаційних зв'язків у нашому Всесвіті може бути обумовлене проковзуванням гравітонів – носіїв взаємодії – в інші виміри.

4. У випадку ДНК дотепер все ще не з'ясоване питання «місцезнаходження архітектурного плану», як і, для кожної клітини, «командного центра», який блокує наявну інформацію про весь організм, а дозволяє клітині реалізовувати лише певну функцію, Аналогічно, в космічних масштабах, якщо елементарні частинки – це вібрації струн, не з'ясовано, як забезпечується «узгоджена мелодія» в масштабах 10^{28} см.

5. Взаємозв'язок тиску й енергії $p = -E$ має аналогію стану у стрижні, який піддають розтягу ззовні. Замінивши уявно стрижень

жорсткою пружиною, можна моделювати, після її відпущення, звільнення енергії. У випадку «вакуумної комірки» вона реалізується розігрівом і породженням елементарних частинок. Однак ця екзотична форма зв'язку тиску й енергії, можливо, є лише відображенням дії певної *зовнішньої* сили – Творчого силового Поля?

6. Період піврозпаду протона оцінено величиною 10^{32} років. З урахуванням досвіду «класичних» парадоксів ледве чи правомірно поширювати звичні для лабораторних експериментів уявлення на так далеке майбутнє і вести мову про подальшу «лептонну пустелю». Тут, напевно, доцільно зайняти позицію **І. Пригожина**: «майбутнє залишається принципово непередбаченим».

7. Вже мало в кого є сумнів щодо того, що саме теорія суперструн стане єдиною теорією Усього, яка пояснить всі фундаментальні особливості, основу будови Всесвіту. Однак, кажучи словами **Брайяна Гріна**, математичний апарат теорії суперструн настільки складний, що сьогодні ніхто навіть не знає точних рівнянь цієї теорії, як і те, коли з'являться математичні прийоми-методи для їх розв'язування. Тож «можуть проминути десятиліття і навіть століття раніше, ніж теорія суперструн буде повністю розроблена і усвідомлена». А отже, ідеалізувати окремі, часткові, наближені розв'язки передчасно.

8. У кожній клітині живого організму закладена – у зашифрованому вигляді – надзвичайно складна інформація. Нам відомий лише один фактор, який є здатним інформацію *породжувати*, – розум. Тож ще раз згадаємо слова Президента РАН **Ю.С. Осипова**: «Не випадково многі природодослідники і математики почавши свої дослідження як люди невіруючі, приходили врешті-решт до віри...»

Завершити ж ці роздуми, напевне, доцільно словами: «Світ дуже складний, і людський розум явно не в змозі повністю збагнути його. Саме тому людина придумала штучний прийом: у складній природі світу звинувачувати те, що прийнято іменувати випадковістю, і, таким чином, змогла виділити царину, яку можна описати за допомогою простих закономірностей. Складнощі отримали назву

початкових умов, а те, що абстраговане від випадкового, – *законів природи*» (**Юджин Вігнер**, Нобелівський лауреат).

«Я мав можливість проконсультуватися із 40 фізиками-теоретиками. Мої колеги, незважаючи на різноманітність їх поглядів, притримуються принаймні одного переконання. Усі визнають, що ми не розуміємо природи матерії, законів, які керують нею, і мови, якою вона може бути описана» (**Роберт Опенгеймер**).

І хоча від часу, коли прозвучали ці слова, минуло близько 50 років, їх актуальність, (з огляду, зокрема, на проблему «темної маси» і «темної енергії») є незмінною!

Загалом же – і нині є актуальними слова французького мислителя **Вольтера**: «Я не тверджу, що цей принцип гравітації – єдина фізична спонука. Цілком імовірно, що існує немало й інших таємниць, які ми ще не вирвали в природи та які беруть участь разом з тяжінням у збереженні порядку у Всесвіті... Все свідчить нам про те, що матерія має набагато більше властивостей, ніж ми знаємо. Поки що ми перебуваємо лише на березі величезного океану. Як багато речей залишається ще відкрити!»

ЛІТЕРАТУРА

- Александров Ю.В. Основы релятивістської космології. – Харк. НУ, Х., 2004. – 134 с.
- Архангельская И.В., Розенталь И.Л., Чернин А.Д. Космология и физический вакуум. – М., УРСС, 2006. – 216 с.
- Белокуров В.В., Ширков Д.В. Теория взаимодействия частиц. – М.: Наука, 1986. – 160 с.
- Бурдюжа В.В. Тёмные компоненты Вселенной. – УФН, **180**, 439, 2010.
- Вакарчук І.О. Лекції з загальної теорії відносності. – В-во Льв.ДУ, Львів, 1990. – 91 с.
- Вайнберг С. Первые три минуты. – М.: Энергоиздат, 1981. – 210 с.
- Гинзбург В.Л. О теории относительности. – М.: Наука, 1979. – 238 с.
- Головин С.Л. у зб. Мировоззренческая обусловленность научного исследования – К., 2003. – 216 с.
- Горбунов Д.С., Рубаков В.А. Введение в теорию ранней Вселенной. – М., Изд-во ЛКИ., 2008. – 522 с.
- Горелов А.А. Концепции современного естествознания, – М.: Астрель, 2003. – 380 с.
- Грин Брайян. Элегантная Вселенная. Суперструны, скрытые размерности и поиски окончательной теории, изд. 2-е; – М. УРСС, 2005. – 288 с.
- Грин М., Шварц Дж., Виттен Э. Теория суперструн. Т.1.– М.: Мир, 1990. – 518 с.
- Гудінг Д., Леннокс Дж. Людина та її світогляд. – Т. 1-3, Львів. – 2008.
- Гуревич Л. Э., Чернин А. Д. Происхождение галактик и звезд. – М.: Наука, 1987. – 192 с.
- Гросс Д.Дж. Майбутні революційні зміни в фундаментальній фізиці. – Львів, Світ фізики. № 2(34), 3, 2006; № 3(35), 3, 2006.
- Девис П. Случайная Вселенная. – М.: Мир, 1985. – 160 с.

- Девис П. Суперсила – М.: Мир, 1989. – 272 с.
- Долгов А.Д., Зельдович Я.Б., Сажин М.В., Космология ранней Вселенной. – М.: Изд. МГУ, 1988. – 199 с.
- Засов А.В., Постнов К.А. Общая астрофизика. – М.: Фразино, 2006. – 454 с.
- Зельдович Я.Б. Избранные труды. Частицы, ядра, Вселенная. – М.: Наука, 1985. – 464 с.
- Зельдович Я.Б., Новиков И.Д. Строение и эволюция Вселенной. – М.: Наука, 1975. – 736 с.
- Кайку Мічію Візії: як наука змінить ХХІ сторіччя. – Л.: Літопис, 2004. – 544 с.
- Кайку Мічію. Гіперпростір – Л., Літопис, 2005, – 458 с.
- Катаева Т. Рождение Вселенной. – ВМН., VII, 2005.
- Кейн Г. Современная физика элементарных частиц. – М.: Мир, 1990. – 360 с.
- Климишин І.А. Релятивістська астрономія. – Івано-Франківськ, 2007 – 208 с.
- Климишин І.А., Климишин О.І. Синиці й журавлі: у пошуках першооснов буття. – Ів-Фр.: Нова Зоря, 2006. – 128 с.
- Крамаровский Я.М., Чечев В.Д. Синтез элементов во Вселенной. – М.: Наука, 1987. – 160 с.
- Латыпов Н.Н., Бейлин В.А., Верешков Г.М. Вакуум, элементарные частицы и Вселенная. – М.: Изд-во Моск. ун-та., 2001. – 226 с.
- Линде А.Д. Физика элементарных частиц и инфляционная космология – М.: Наука, 1990. – 276 с.
- Лукаш В.Н., Михеева Е.В. Темная материя. – УФН, **177**, 1023, 2007.
- Новиков И.Д. Как взорвалась Вселенная. – М.: Наука, 1988. – 168 с.
- Новосядлий Б. Формування великомасштабної структури Всесвіту: теорія і спостереження. – Журн. фіз. досл. **11**, № 2, 226, 2007.
- Окунь Л.Б. Физика элементарных частиц. – М.: Наука, 1988. – 272 с.

Осипов Ю.С. Выступление на Всемирном Русском Народном Соборе. 18.03.1998 г.

Паркер Б. Мечта Эйнштейна: в поисках единой теории. – М.: Наука, 1991. – 202 с.

Пиблс П. Физическая космология. – М.: Мир, 1975. – 312 с.

Розенталь И.Л. Геометрия, динамика, Вселенная. – М.: Наука, 1987. – 144 с.

Рябов В.А., Царёв В.А., Цховребов А.М. Поиски частиц тёмной материи. – УФН, **178**, 1129, 2008.

Рубаков В.А. Космология и Большой адронный коллайдер. – УФН, **181**, 655, 2011.

Сажин М.В. Современная космология в элементарном изложении. М. УРСС, 2002. – 254 с.

Троицкий С.В. Нерешённые проблемы физики элементарных частиц. – УФН, **182**, 77, 2012.

Турсунов А. Человек и мировоззрение. М.:Сов.Россия, 1986. – 208 с.

Хван М.П. Неистовая Вселенная. – М.: УРСС, 2006. – 408 с.

Хлопов М.Ю. Космомикрофизика. – М.: УРСС, 2003. – 110 с.

Хлопов М.Ю. Основы космомикрофизики. – М.: УРСС, 2004. – 368 с.

Хокинг С. От Большого Взрыва до черных дыр. – М.: Мир, 1990. – 168 с.

Чернин А. Д. Физика времени. – М.: Наука, 1987. – 222 с.

Яцків Я.С., Александров О.М., Вавилова І.Б., Жданов В.І., Кудря Ю.М., Парновський С.Л., Федорова О.В., Хміль С.В. ЗТВ: випробування часом. – К., ГАО НАН України, 2005 – 288 с.

Cosmos, Bios, Theos / Ed. H.Margenau, R.A.Varghese. – Chic. 1997, – 285 p.

«Очевидно, можна сказати, що розпочалася нова ера у розвитку науки, в якій астрофізиці буде належати провідне становище».

Лев Арцимович (1909–1973)

«Кожен день я пригадую, що в основі мого зовнішнього і внутрішнього життя – праця тих, хто живе сьогодні і хто вже помер, а отже, я повинен напружити усі свої сили, щоб дати не менше від того, що я вже отримав і отримую».

«Поневолення й експлуатація – найогидніші явища у сфері людських відносин»

«Комфорт і добробут ніколи не були для мене самоціллю. По-моєму, цей етичний базис може бути ідеалом і для свинячого стада. Краса і правда – ось ідеали, які освітлювали мій життєвий шлях, знов і знов відроджуючи у моїй душі радість і мужність».

«Що повинна робити кожна людина, так це подавати приклад чистоти і мати мужність зберігати етичні переконання».

Альберт Айнштейн (1879–1955)

І.А.Климишин

**ФРАГМЕНТИ
КОСМОЛОГІЇ**

Климишин І.А. **Фрагменти космології**. Видання друге, доповнене. Івано-Франківськ, Видавець Третяк І.Я., 2012. – 124 с.

Верстка

Романа Костинюка

Підп. до друку 16.02.2012. Формат 60x84/16.
Папір офсетний. Гарн. Таймс. Друк. офсет. Тираж 300.

Видавець Третяк І.Я.
Св. ІФ № 12 від 29.03.2001,
76006, м.Івано-Франківськ, вул. Короля Данила, 14 «Б»/45
Тел. (03422)731812