

§ 16. Еволюція Всесвіту

Вивчивши цей параграф, ми:

- дізнаємося про Великий Вибух, з якого почалося розширення Всесвіту;
- побачимо, чи можуть існувати паралельні світи;
- довідаємося про можливі сценарії еволюції Всесвіту в майбутньому.

1 Великий Вибух та вік Всесвіту

Астрономічні дослідження, що проводились у ХХ ст., допомогли астрономам злагодити розлітання галактик, яке свідчить про те, що сам Всесвіт не залишається сталим у часі — він змінює свої параметри. Якщо відстань між галактиками зараз збільшується, то раніше вони розташовувались більше одна до одної. За допомогою сталої Габблі можна підрахувати, коли всі галактики до початку розширення могли перебувати в одній точці. Моментом початку розширення Всесвіту є *Великий Вибух*, який пов'язаний із віком $T=1/H$.

За сучасними даними стала Габблі $H \approx 70 \text{ км}/(\text{с} \cdot \text{Мпк})$, тобто Великий Вибух міг відбутися приблизно 15 млрд років тому. Якщо врахувати, що вік нашої Галактики не може бути більшим за вік найстаріших кулястих зоряних скupщень, що існують уже понад 13 млрд років, то цю цифру можна також вважати за нижню межу віку нашого Всесвіту.

На перший погляд здається, що для побудови теорії еволюції Всесвіту велике значення має визначення місця Великого Вибуху. Якби Великий Вибух був процесом, який нагадує вибух бомби, то можна було б визначити місце цієї події. Насправді розширення Всесвіту включає не тільки розлітання самих галактик відносно космічного простору, але й зміну параметрів самого Всесвіту. Іншими словами, галактики не летять відносно решти Всесвіту, бо сам Всесвіт теж розширюється. Таким чином, конкретного місця, де стався Великий Вибух, у Всесвіті не існує, так само, як немає центра, від якого віддаляються галактики.

2 Головні ери в історії Всесвіту

Всесвіт на початку існування мав настільки маленькі розміри, що тоді не було ні галактик, ні зір і навіть ще не існували елементарні частинки. Густота та температура новонародженого Всесвіту

досягали таких фантастичних значень, що вчені навіть не можуть визначити, у якому стані при цьому перебувала матерія. Цей початковий момент народження Всесвіту називають сингулярністю (від лат.— *єдиний*). Потім густина і температура Всесвіту почали знижуватись і стали утворюватися елементарні частинки, атоми і галактики.

Усю історію нашого Всесвіту можна розділити на чотири ери — *адронна, лептонна, випромінювання та речовини* (див. таблицю).

Сингулярність — початковий момент при зародженні Всесвіту, коли густина і температура матерії сягали надзвичайно великих значень

Ера Всесвіту	Вік Всесвіту, років	Фази еволюції	Температура, К	Густина, кг/м ³
Речовини	$1,5 \cdot 10^{10}$	Сучасна епоха	2,7	$5 \cdot 10^{-27}$
	$1,2 \cdot 10^{10}$	Виникнення на Землі життя		
	10^{10}	Формування Сонячної системи		
	$6 \cdot 10^9$	Утворення перших зір		
	$5 \cdot 10^9$	Утворення нашої Галактики		10^{-26}
	10^9	Квазари		
	$3 \cdot 10^8$	Поява хмар водню та гелію		
	10^8	Утворюються атоми Гідрогену та Гелію		10^{-13}
	$3 \cdot 10^6$	Формування речовини. Всесвіт стає нейтральним і темним	3	10^{-10}
Випромінювання	300 с	Кінець ери випромінювання	10	
	10 с	Утворюються ядра Дейтерію та Гелію	10^4	10^{16}
Лептонна	10^{-4} с	Електрони і позитрони в стані теплової рівноваги з випромінюванням	10^{10}	
Адронна	10^{-7} с	Розділення електромагнітної та слабкої взаємодії	10^{15}	
	10^{-10} с	Утворення нейтронів і протонів	10^{27}	
	10^{-32} с	Відділення сильної взаємодії		
	10^{-43} с	Відділення сил гравітації	10^{32}	10^{95}
Сингулярність	0	Усі чотири фундаментальні сили об'єднані в єдину. Розміри Всесвіту наближаються до нуля		



Для допитливих =

Із філософської точки зору між елементарними частинками та електромагнітними хвилями немає суттєвої різниці, бо все суще в природі є матерією. Але з фізичної точки зору принципова різниця між цими видами матерії полягає в тому, що швидкість елементарних частинок (електронів, протонів, нейтронів), з яких утворені зорі, планети і, нарешті, ми з вами, ніколи не може досягти швидкості світла, у той час як кванти електромагнітних хвиль ніколи не можуть мати швидкість меншу, ніж швидкість світла.

3 Реліктове фонове випромінювання

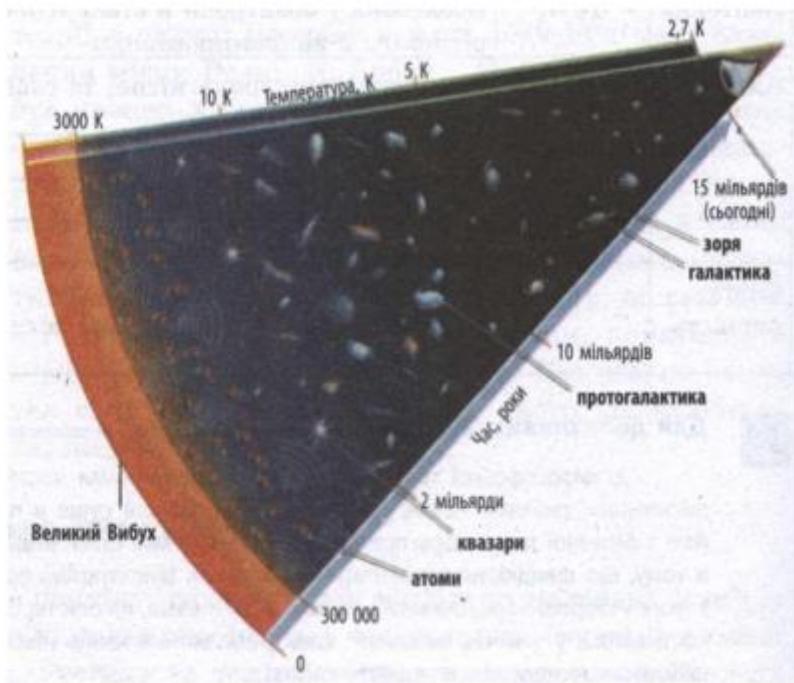
Ті кванти електромагнітного випромінювання, що відірвалися від елементарних частинок в еру випромінювання, доходять до нас

Реліктове випромінювання — кванти світла, що утворилися 15 млрд років тому. Вони відділилися від елементарних частинок і почали самостійне поширення у Всесвіті. За допомогою цього випромінювання вимірюють середню температуру Всесвіту 2,7 К

з усіх боків і відповідають електромагнітному випромінюванню чорного тіла з температурою 2,7 К (рис. 16.1). На початку існування кванти мали велику енергію, тому випромінювання відбувалося у високочастотній частині спектра електромагнітних хвиль у *гамма-діапазоні*. Із часом гамма-кванти втрачали енергію, тому довжина електромагнітних хвиль збільшувалася, і через 10^8 років після Великого Вибуху максимум випромінювання припадав уже на видиму частину спектра — тоді *молодий Всесвіт* справді мав вигляд яскравої вогняної кулі й був подібний до вибуху ядерної бомби. Через 10 млн років максимум випромінювання вже розташувався в *інфрачервоній* частині спектра, а через 14 млрд років середня температура Всесвіту зменшилася до 2,7 К, тому зараз максимум випромінювання розташовується в *радіодіапазоні* на хвилі завдовжки 1 мм. Таке випромінювання надходить до Землі звідусіль, його інтенсивність і частота не залежать від напрямку, і це свідчить про те, що середня температура Всесвіту повсюди однакова. Цікаво, що передбачив існування гарячого раннього Всесвіту ще 60 років тому уродженець міста Одеси Г. Гамов (США), але зареєстрували ці реліктові електромагнітні хвилі тільки в 1965 р.

раз максимум випромінювання розташовується в *радіодіапазоні* на хвилі завдовжки 1 мм. Таке випромінювання надходить до Землі звідусіль, його інтенсивність і частота не залежать від напрямку, і це свідчить про те, що середня температура Всесвіту повсюди однакова. Цікаво, що передбачив існування гарячого раннього Всесвіту ще 60 років тому уродженець міста Одеси Г. Гамов (США), але зареєстрували ці реліктові електромагнітні хвилі тільки в 1965 р.

Рис. 16.1. Чим далі від Землі розміщується космічний об'єкт, тим молодшим ми його бачимо, бо світло від нього досягає поверхні Землі через мільярди років. На межі видимої частини Всесвіту з відстані 10 млрд св. років надходить випромінювання, яке утворилося за часів Великого Вибуху. На відстані 5 млрд св. років ми бачимо квазари, з яких пізніше формуються галактики



4 Майбутнє Всесвіту

Гравітаційна взаємодія речовини в майбутньому може зменшити швидкість розширення Всесвіту. Виявляється, якщо середня густина Всесвіту мас критичне значення $5 \cdot 10^{-27}$ кг/м³, а стала Габбла $H \approx 70$ км/(с·Мпк), розширення може відбуватися вічно. Розрахунки показують, що майбутня доля нашого Всесвіту залежить від значення справжньої середньої густини щодо критичної густини ρ_0 . Можуть бути три сценарії майбутнього розвитку подій:

- 1) $\rho < \rho_0$;
- 2) $\rho > \rho_0$;
- 3) $\rho = \rho_0$.

Розглянемо ці моделі можливої еволюції нашого світу:

1. Якщо середня густина Всесвіту $\rho < \rho_0$, то галактики будуть розлітатися вічно, і в майбутньому температура фонового випромінювання поступово буде знижуватись, наближуючись до абсолютноного нуля, а максимум випромінювання з часом буде зміщуватись у сантиметровий і метровий діапазони електромагнітних хвиль (рис. 16.2). Такий Всесвіт називають відкритим, він не має межі у просторі й може існувати вічно, поступово перетворюючись на пішо.

2. Якщо в космосі виявиться значна прихованна маса і середня густина буде $\rho > \rho_0$, тоді розширення Всесвіту через деякий час припиниться. Такий Всесвіт називають закритим — він не має межі у просторі, але має початок і кінець у часі (рис. 16.3).

Через кілька мільярдів років розлітання галактик може зупинитися, а потім почнеться стиснення Всесвіту, бо гравітаційна сила змусить галактики зближуватись. Зближення галактик призведе до тра-

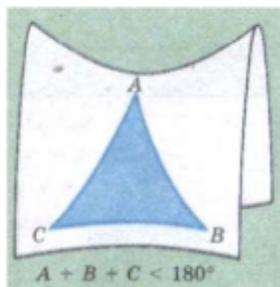


Рис. 16.2. У відкритому Всесвіті справедлива неевклідова геометрія, коли сума кутів у трикутнику менша від 180°

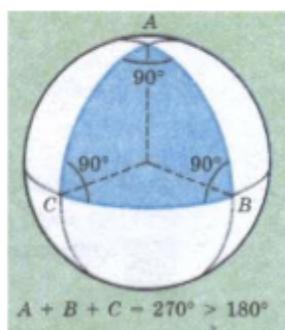


Рис. 16.3. Для закритого Всесвіту є правильною неевклідова геометрія, коли сума кутів у трикутнику більша за 180°



Рис. 16.4. Еволюція за-критого Всесвіту. Такий світ збільшується до певних максимальних розмірів, після чого галактики почнуть зближуватись. Початок і кінець такого Всесвіту мають нескінчено велику температуру і густину

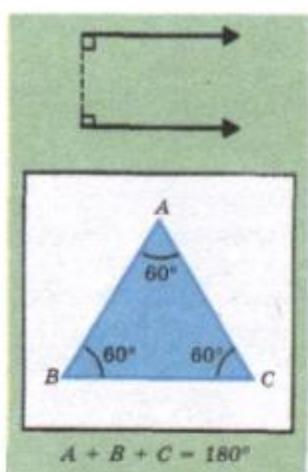


Рис. 16.5. У геометрії Евкліда паралельні прямі не перетинаються, а сума кутів у трикутнику дорівнює 180°

гічних наслідків для живих організмів, бо енергія фотового випромінювання і температура Всесвіту будуть зростати (рис. 16.4). Небо почне світитися спочатку червоним кольором, а потім стане синім. Температура зросте настільки, що всі живі істоти загинуть, потім зникнуть зорі, планети, елементарні частинки, і Всесвіт знову перетвориться на речовину з надзвичайно великою густинною.

3. Існує також імовірність того, що середня густина Всесвіту дорівнює критичній густині $\rho = \rho^0$. У цьому випадку безмежний та нескінчений Всесвіт має нульову кривизну, і для нього справедлива геометрія Евкліда (рис. 16.5). Галактики будуть розлітатися вічно, температура Всесвіту буде вічно наблизуватися до абсолютноного нуля... Цей спенарій еволюції цікавий ще й тим, що при ньому загальна енергія Всесвіту залишається рівною нулю: $E_k + E_n = 0$. Тобто якщо вважати потенціальну енергію тяжіння негативною, а кінетичну енергію руху — позитивною, то Всесвіт міг виникнути з нічого у фізичному вакуумі як дивовижне збурення, тому з часом він теж може перетворитися на нішо.



Для допитливих

Сучасні спостереження підтверджують існування у Всесвіті прихованої маси (так звана темна матерія), яка зосереджена в тілах, що випромінюють незначну енергію у вигляді електромагнітних хвиль — чорні діри, пульсари, нейтринне випромінювання, гравітаційні хвилі тощо. Астрономи, які займаються проблемами космології, запропонували гіпотезу щодо існування нового класу елементарних частинок, яким дали таку умовну назву — *Слабко взаємодіючі масивні частинки (СВМЧ)*. Якщо ці гіпотези про приховану масу підтвердяться, то середня густина Всесвіту може бути більша за критичну, і майбутня еволюція Всесвіту відбудеться за сценарієм, який викладено у п. 2 (рис. 16.3, 16.4)). Такий Всесвіт нагадує казкову птицю Фенікс, яка періодично спалається, а потім із попелу відроджується молодою,

Останні дослідження руху зір у галактиках підтверджують гіпотезу про існування класу елементарних частинок із прихованою масою, які отримали назву *темна матерія*. Крім того виявлено, що в міжгалактичному просторі існують сильні поля невідомої природи, які астрономи назвали *темна енергія*. Повітні гіпотези припускають, що в наш час за допомогою телескопів ми спостерігаємо тільки 5 % матерії Всесвіту, а 95 % припадає на загадкові поля темної енергії та темної матерії, яка не випромінює електромагнітні хвилі.



Висновки

Еволюція Всесвіту почалася з Великого Вибуху надзвичайно щільної матерії 13–20 млрд років тому, коли сталося загадкове розширення космічного простору. Про це свідчить розлітання галактик, яке триває до цього часу, і вміст Гелію (25%) та Гідрогену (75%) у речовині. Надзвичайно високу температуру молодого Всесвіту підтверджує реліктове електромагнітне випромінювання.

Майбутнє Всесвіту залежить від середньої густини речовини, яка взаємодіє згідно із законом всесвітнього тяжіння. Можливо, що Всесвіт є відкритим і нескінченим, і його розширення буде тривати вічно. Але якщо середня густина речовини у Всесвіті більша ніж деяка критична величина, то такий Всесвіт може періодично розширюватися, а потім стискатися.



Тести

- Що означає в астрономії термін **Великий Вибух**?
 - Вибух нової зорі.
 - Вибух ядра галактики.
 - Зіткнення галактик.
 - Момент, коли почалося розширення космічного простору.
 - Момент, коли утворилися галактики.
- Коли стався **Великий Вибух**?
 - 10 років тому.
 - 2003 роки тому.
 - 1 000 000 років до нашої ери.
 - 1 млрд років до нашої ери.
 - 15 000 000 000 років до нашої ери.
- Коли утворилася Сонячна система?
 - 6000 років до н. е.
 - 100 000 років до н. е.
 - 1 000 000 років до н. е.
 - 5 млрд років до н. е.
 - 15 млрд років до н. е.
- У якому місці космосу стався **Великий Вибух**?
 - У центрі Всесвіту.
 - У ядрі нашої Галактики.
 - У скопченні галактик у сузір'ї Діви.
 - Скрізь, бо галактики не летять відносно решти Всесвіту, адже сам простір теж розширюється.
 - В іншому вимірі за межами нашого Всесвіту.
- Чому дорівнює середня температура Всесвіту?
 - 0 °C.
 - 0 K.
 - 270 °C.
 - 2,7 K.
 - 300 °C.
 - 300 K.
- Яка доля закритого Всесвіту?
- Що чекає в майбутньому відкритий Всесвіт?
- З якої події почалося розширення Всесвіту?
- Про що свідчить реліктове випромінювання Всесвіту?
- Галактика перебуває на відстані 100 млн пк. Обчисліть, скільки років летить світло від неї до Землі.
- З якою швидкістю віддаляється від нас галактика, яка розташовується на відстані 10' св. років від Землі?



Завдання для спостережень

- Чи можна за допомогою шкільного телескопа побачити, що галактики від нас віддаляються?



Ключові поняття і терміни:

Великий Вибух, відкритий Всесвіт, закритий Всесвіт, паралельні світи, пульсуючий Всесвіт, реліктове фонове випромінювання, сингулярність.