

# **Еволюція Всесвіту**

# План уроку

1. Великий Вибух та вік Всесвіту.
2. Головні ери в історії Всесвіту.
3. Реліктове фонове випромінювання.
4. Майбутнє Всесвіту.

# 1. Великий Вибух та вік Всесвіту

Астрономічні дослідження, що проводились у ХХ ст., допомогли астрономам збагнути 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 ближче одна до одної. За допомогою сталої Габбла 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  $T$  Всесвіту:  $T=1/H$ .

За сучасними даними стала Габбла  $H \approx 70 \text{ км}/(\text{с} \cdot \text{Мпк})$ , 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 скупчень, 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

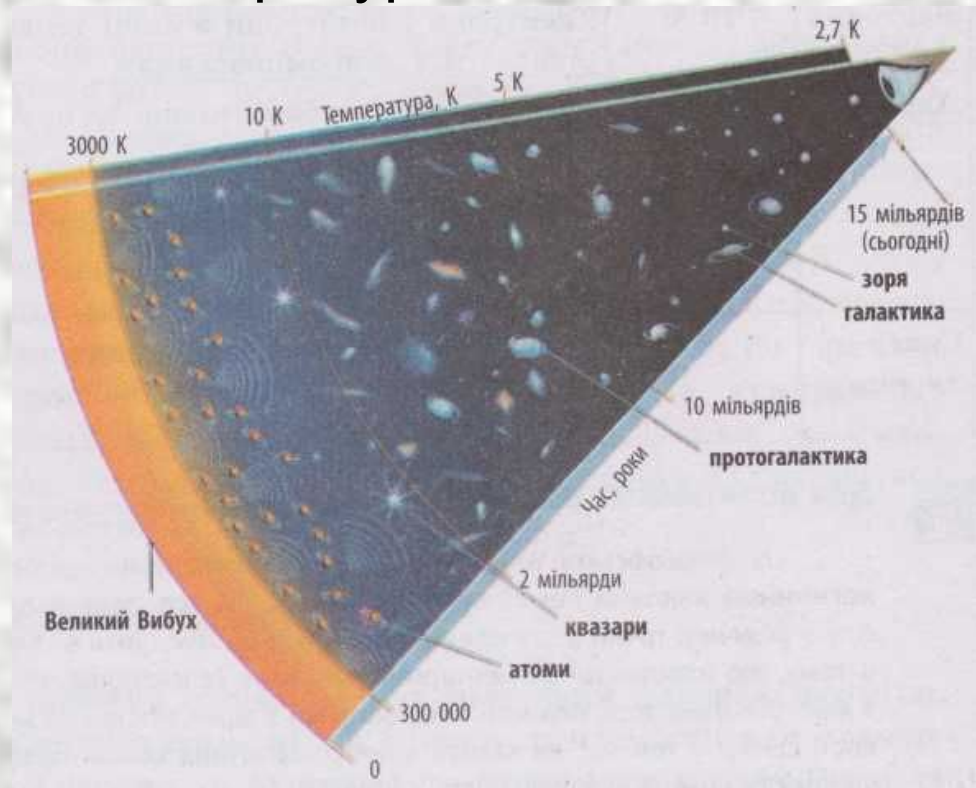
Всесвіт на початку існування мав настільки маленькі розміри, що тоді не було ні галактик, ні зір і навіть ще не існували елементарні частинки. Густина та температура новонародженого Всесвіту досягали таких фантастичних значень, що вчені навіть не можуть визначити, у якому стані при цьому перебувала матерія. 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.

Ера Всесвіту	Вік Всесвіту, років	Фази еволюції	Температура, К	Густина, $\text{кг/м}^3$
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		$10^{-13}$
	$3 \cdot 10^5$	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	$10^{32}$	$10^{95}$
Сингу-		Усі чотири фундаментальні сили		

# 3. Реліктове фонове випромінювання

Ті кванти електромагнітного випромінювання, що відірвалися від елементарних частинок в еру випромінювання, доходять до нас з усіх боків і відповідають електромагнітному випромінюванню чорного тіла з температурою 2,7 К.





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  $10^5$  років після Великого Вибуху максимум випромінювання припадав уже на видиму частину спектра — тоді *молодий Всесвіт* справді мав вигляд яскравої вогняної ядерної бомби.



Через 10 млн. років максимум випромінювання вже розташовувався 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.

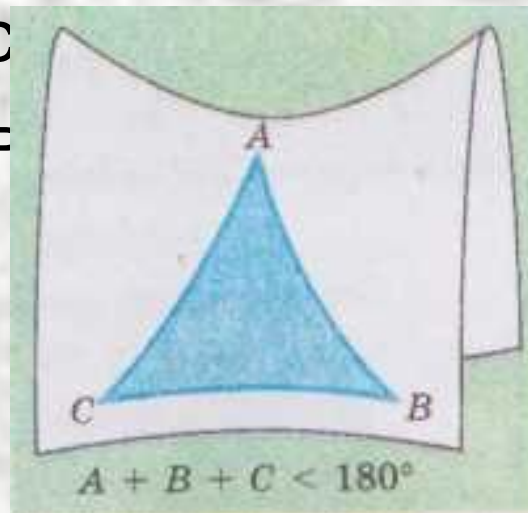
## 4. Майбутнє Всесвіту

Гравітаційна взаємодія речовини в майбутньому може зменшити швидкість розширення Всесвіту. Виявляється, якщо середня густина Всесвіту має критичне значення  $5 \cdot 10^{-27} \text{ кг/м}^3$ , а стала Габбла  $H \approx 70 \text{ км/(с} \cdot \text{Мпк)}$ , розширення може відбуватися вічно. Розрахунки показують, що майбутня доля нашого Всесвіту залежить від значення справжньої середньої густини щодо критичної густини  $\rho_0$ . Можуть бути три сценарії майбутнього розвитку подій:

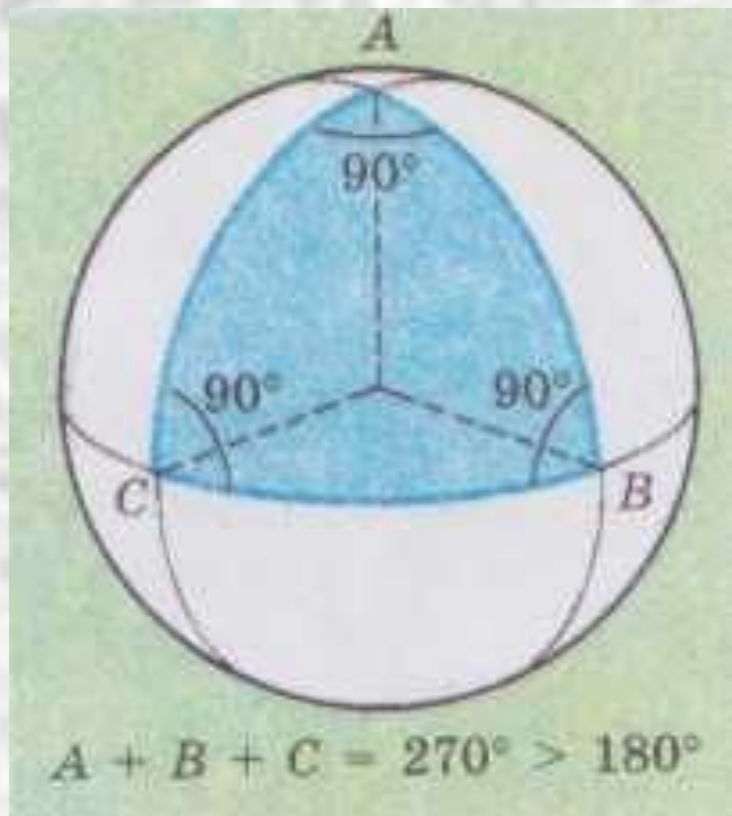
- 1)  $\rho < \rho_0$ ;
- 2)  $\rho > \rho_0$ ;
- 3)  $\rho = \rho_0$ .

Розгляньмо ці моделі можливої еволюції нашого світу:

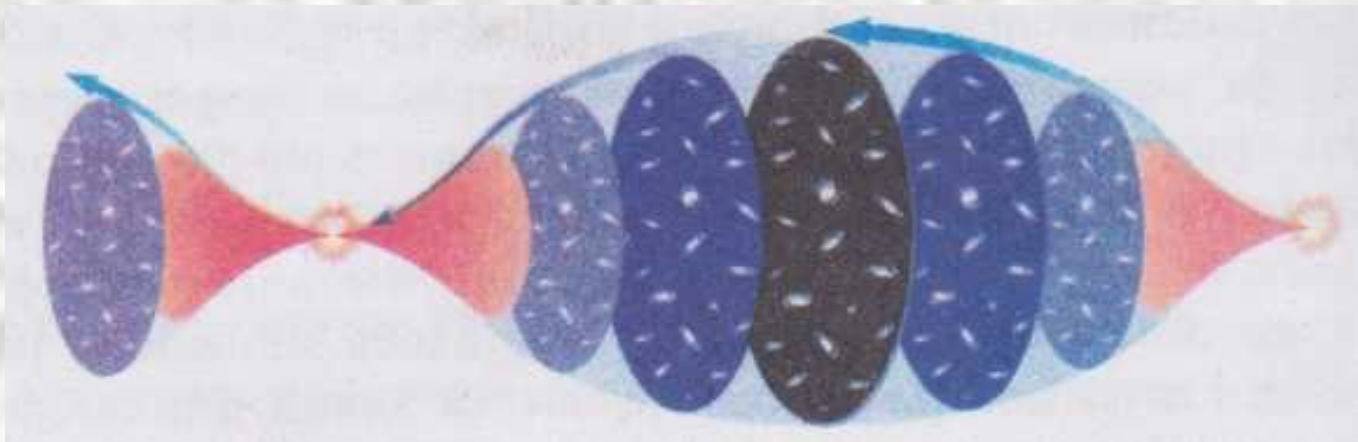
1) Якщо середня густина Всесвіту  $\rho < \rho_0$ , то галактики будуть розлітатися вічно, і в майбутньому температура фонового випромінювання поступово буде знижуватись, наближуючись до абсолютного нуля, а максимум випромінювання з часом буде зміщуватись у сантиметровий і метровий діапазони електромагнітних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



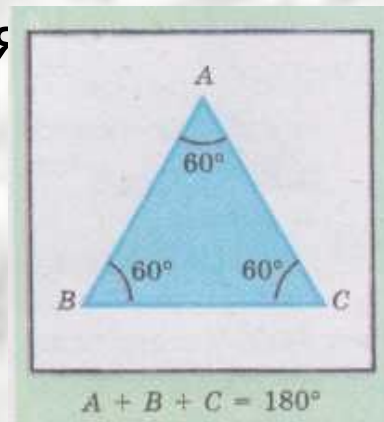
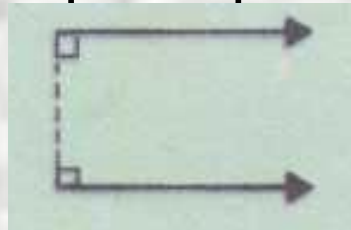
2) Якщо в космосі виявиться значна прихована маса і середня густина буде  $\rho > \rho_0$ , тоді розширення Всесвіту через деякий час припиниться. Такий Всесвіт називають закритим — він не має межі у просторі, але має *початок і кінець у часі*.



Через кілька мільярдів років розлітання галактик може зупинитися, а потім почнеться стиснення Всесвіту, бо гравітаційна сила змусить галактики зближуватись. Зближення галактик призведе до трагічних наслідків для живих організмів, бо енергія фонового випромінювання і температура Всесвіту будуть зростати. 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 густиною.



3) Існує також імовірність того, що середня густина Всесвіту дорівнює критичній густині  $\rho = \rho_0$ . У цьому випадку безмежний та нескінченний Всесвіт має нульову кривизну, і для нього справедлива геометрія Евкліда. Галактики будуть розлітатися вічно, температура Всесвіту буде вічно наближуватися до абсолютного нуля... Цей сценарій еволюції цікавий ще й тим, що при ньому загальна енергія Всесвіту залишається рівною нулю:  $E_k + E_p = 0$ . 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



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*. Новітні 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 нескінченним, 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

1. Що означає в астрономії термін Великий Вибух?

- А. Вибух нової зорі. Б. Вибух ядра галактики. В. Зіткнення галактик. Г. Момент, коли почалося розширення космічного простору. Д. Момент, коли утворилися галактики.

2. Коли стався Великий Вибух?

- А. 10 років тому. Б. 2003 роки тому. В. 1 000000 років до нашої ери. Г. 1 млрд років до нашої ери. Д. 15 000 000 000 років до нашої ери.

3. Коли утворилася Сонячна система?

- А. 6000 років до н. е. Б. 100000 років до н. е. В. 1000000 років до н. е. Г. 5 млрд. років до н. е. Д. 15 млрд. років до н. е.

4. У якому місці космосу стався Великий Вибух?

А. У центрі Всесвіту. Б. У ядрі нашої Галактики. В. У скупченні галактик у сузір'ї Діви. Г. Скрізь, бо галактики не летять відносно решти Всесвіту, адже сам простір теж розширюється. Д. В іншому вимірі за межами нашого Всесвіту.

5. Чому дорівнює середня температура Всесвіту?

А.  $0^{\circ}\text{C}$ . Б.  $0\text{ K}$ . В.  $-270^{\circ}\text{C}$ . Г.  $2,7\text{ K}$ . Д.  $-300^{\circ}\text{C}$ . Е.  $300\text{ K}$ .

6. Яка доля закритого

Всесвіту? Відкритому Всесвіті тільки з речовиною розширення зміниться збіганням галактик — такий світ може пульсувати.

7. Що чекає в майбутньому відкритий Всесвіт?

Відкритий Всесвіт існуватиме завжди, розширюючись, він згодом перетвориться на суміш елементарних частинок.

**8.** З якої події почалося розширення Всесвіту?

Розширення Всесвіту почалося з Великого Вибуху

**9.** Про що свідчить реліктове випромінювання Всесвіту?

Про те, що Всесвіт справді на початку розширення після Великого Вибуху мав дуже високу температуру

**10.** Галактика перебуває на відстані 100 млн. пк. Обчисліть, скільки років летить світло від неї до Землі.

326 млн років

**11.** З якою швидкістю віддаляється від нас галактика, яка розташовується на відстані  $10^9$  св. років від Землі?

20 000 км/с

# Домашнє завдання

1. Опрацювати § 16.
2. Підготувати доповіді на тему:
  - Поняття життя і цивілізації. Пошуки життя у Всесвіті.
  - Позасонячні планети: їх відкриття та властивості.
  - Антропний принцип та еволюційний зв'язок різних форм руху матерії у Всесвіті.