

Розробка Г.А. Гамовим “Теорії Великого Вибуху”

The Big Bang theory developed by George Gamow

Катерина Сінягіна ¹

[Katerina Sinyagina](mailto:Katerina.Sinyagina@gmail.com)

¹ Одеський Національний політехнічний університет, Одеса, Україна
chappiboo@gmail.com

Ключові слова:

Г.А. Гамов, історія фізики, теорія великого вибуху, реліктове випромінювання.

Анотація: У статті розглядаються ключових ідей, які привели до сучасного наукового розуміння походження та еволюції нашого Всесвіту. Одним з піонерів теорії Великого вибуху був Георгій Антонович (Джордж) Гамов, всесвітньо відомий фізик родом з України (м. Одеса), який зацікавився тим, як виникли хімічні елементи. Він висловив припущення, що у далекому минулому, у моменти, які передують виникненню Всесвіту в результаті «Великого вибуху», Всесвіт мав значно більшу, ніж зараз, щільність матерії і дуже високу температуру. Він перший звернув увагу на унікальні властивості Всесвіту, і передбачив існування реліктового випромінювання. Подальше відкриття цього космічного фонового випромінювання поклало початок сучасній космології.

Key words:

George Gamow, history of physics, the Big Bang theory, CMB.

Abstract— This article considers the key-ideas for modern scientific understanding of the origin and evolution of the Universe. George Gamow is one of the first scientists to create the theory of the Big Bang. Gamow is a famous physicist originally from Odessa (Ukraine) who took interest in origin of chemical elements. He suggested that in the past of the Universe before it was created by the Big Bang, the Universe had much more substantial density and higher temperature than now. He was the first person to focus on unique properties of the Universe and to suggest existence of cosmic microwave background (CMB). The following disclosure of the CMB started the era of modern cosmology.

Георгій Антонович Гамов (Gamow George) (1904-1968) – всесвітньо відомий фізик українського походження, астрофізик, космолог і популяризатор науки. У 1926 році закінчив фізико-математичний факультет Ленінградського університету. З 1932 до 1938 року був членом-кореспондентом АН СРСР (поновлений у 1990 р.). У 1933 році вчений не повернувся у СРСР з закордонного відрядження. У 1934 році Гамов був запрошений на посаду професора в університет Дж. Вашингтона. З ініціативи вченого у Вашингтоні стали проводитися щорічні конференції найбільших фізиків світу. Крім того, в якості найближчого співробітника він запросив Е. Теллера, спільно з яким вони у 1936 році узагальнили теорію бета-розпаду Фермі, сформулювавши правила відбору і ввівши уявлення про так званих «переходах Гамова-Теллера».

Після того, як Гамов залишився за кордоном, його ім'я на півстоліття було вилучено з наукової літератури. Будь які історико-наукові дослідження життя і творчості вченого не проводились.

В основі сучасних уявлень про еволюцію Всесвіту лежить модель гарячого Всесвіту, або «Великого Вибуху», основи якої були закладені в працях Г. А. Гамова і його співробітників у кінці 40-х рр. XX ст. Відповідно до цієї концепції Всесвіт на ранніх стадіях

розширення характеризувався не тільки високою щільністю речовини, але і високою температурою. Ключ до розуміння ранніх етапів еволюції Всесвіту – у гігантській кількості теплоти, що виділилася при Великому Вибуху. У найпростішому варіанті теорії гарячого Всесвіту передбачається, що Всесвіт виник спонтанно в результаті вибуху зі стану з дуже великою щільністю та енергією (стан сингулярності). У міру розширення Всесвіту температура падала – спочатку швидко, а потім все повільніше – від дуже великої до досить низької, що забезпечувала виникнення умов, сприятливих для створення зірок і галактик. Впродовж близько 1 млн. років температура перевищувала кілька тисяч градусів Цельсія, що перешкоджало створенню атомів, і, отже, космічна речовина мала вигляд розігрітої плазми, що складається з іонізованих водню і гелію. Лише коли температура Всесвіту знизилася приблизно до температури поверхні Сонця, виникли перші атоми. Таким чином, атоми – це релікти епохи, що настала через 1 млн. років після Великого Вибуху.

Модель гарячого Всесвіту отримала експериментальне підтвердження після відкриття в 1965 році реліктового випромінювання – мікрохвильового фонового випромінювання з температурою близько 3 К. Опосередкованим підтвердженням цієї моделі є

також велика кількість гелію, що спостерігається, і перевищує 22% по масі, а також виявлений у міжзоряному газі несподівано високий вміст дейтерію, походження якого можна пояснити лише ядерними реакціями синтезу легких елементів у Гарячому Всесвіті. Знаючи сучасну температуру реліктового випромінювання, можна провести екстраполяцію в минуле, використовуючи добре відомі і перевірені закони механіки, термодинаміки, статистичної, атомної та ядерної фізики, фізики елементарних частинок та ін. [1].



Георгій (Джордж) Антонович Гамов (1904-1968)

Гамов зацікавився проблемою космічного народження елементів таблиці Менделєєва незабаром після переїзду до США. Про це говорить його стаття «Ядерні перетворення і походження хімічних елементів», заснована на лекції, прочитаної Гамовим у 1935 році в Університеті Огайо [2].

Ще у 1919 році французький фізик Жан Батист Перрен припускав, що зірки світять за рахунок перетворення водню у гелій. Гамов дійшов однозначного висновку, що ця енергія народжується у зіркових ядрах. Не менш важливим є його припущення про те, що там само виникають і важкі елементи.

Гамов з початку 1940-х років переключився на астрофізику. Спочатку він придумав оболонкову модель зірок із сімейства червоних гігантів (на жаль, невдалу), а потім зайнявся космологією. Добре знаючи і, головне, приймаючи всерйоз результати Фрідмана і Леметра, Гамов вирішив опертися на модель нестационарного Всесвіту для вирішення проблеми виникнення

елементів. Його перша стаття на цю тему була закінчена у вересні 1946 року [3].

Гамов піддав критиці статтю Чандрасекара та Генріха і ще дві роботи, які претендували на пояснення первинного нуклеосинтезу. Він чітко сформулював основну слабкість попередніх спроб – розгляд ядерних реакцій у рівноважних системах. Звідси його ключовий висновок: для отримання даних, що узгоджуються з астрономічними показниками вміст різних елементів у Всесвіті необхідно «припустити наявність якогось нерівноважного процесу, який мав місце протягом обмеженого проміжку часу».

Далі Гамов звернувся до формули, що впливає з моделей Фрідмана і Леметра для швидкості розширення космічного простору – точніше, швидкості зміни масштабного фактора. Як джерело він послався на дуже відому свого часу книгу Річарда Толмена [4], яка, у свою чергу, містить численні посилання на цих вчених. За допомогою цієї формули Гамов прийшов до висновку, що потрібні для нуклеосинтезу надвисокі щільності речовини існували лише протягом дуже короткого часу на самій ранній стадії еволюції Всесвіту. Цей час (яке, згідно Гамову, обчислюється в секундах) незрівнянно менше періоду напіврозпаду вільних нейтронів. Отже, продовжує Гамов, якщо на початку розширення Всесвіту вона містила багато нейтронів, щільність і температура її речовини повинні були впасти нижче межі здійсненності реакцій ядерного синтезу задовго до того, як ці нейтрони встигли б зазнати бета-розпаду і перетворитися в протони (Гамов чомусь не згадує, чи виникають в тих же реакціях електрони і нейтрино). А далі йде ключова гіпотеза: можемо припустити, що нейтрони з цієї відносно холодної хмари поступово об'єднувалися в усі більші нейтральні комплекси, які потім за допомогою процесів бета-розпаду перетворювалися в різні види атомів.

На закінчення Гамов висловив надію, що розвиток ідей, висловлених у його статті, не тільки дозволить зрозуміти спостережувані концентрації різних елементів у космічному просторі, але також дасть цінну інформацію про ранні стадії еволюції Всесвіту. Замітка Гамова містить тільки загальну ідею механізму первинного нуклеосинтезу, не підкріплену розрахунками конкретних ядерних реакцій. Однак цікавіше інше – тут поки немає навіть натяку на майбутню гарячу модель цього синтезу. Як первинну речовину Гамов розглядає одні лише вільні нейтрони, які відштовхуються електричними силами і тому можуть злипатися у результаті ядерної взаємодії при невеликих температурах. Гамов пише про «відносно холодну» нейтронну хмару – його модель потребує високої щільності первинних частинок, але не великої температури.

Для реалізації дослідницької програми Гамова потрібно було детально прорахувати різні каскади ядерних реакцій. Йому був потрібен помічник. І ним став аспірант Ральф Ашер Альфер.

На початку 1948 року Гамов та Альфер підготували короткий опис своїх результатів у рукопису «Походження хімічних елементів» для журналу *Physical*

Review. Однак потім Гамов, не спитавши Альфера, вставив третім автором свого друга Ганса Бете, який в роботі не брав жодної участі. Своєму аспіранту Гамов пояснив, що підписи «Альфер-Бете-Гамов» фонетично близькі до послідовності трьох перших букв грецького алфавіту «альфа-бета-гамма», у чому він вбачає особливу елегантність. Так що стаття вийшла за трьома підписами: R. A. Alpher, H. Bethe and G. Gamov [5].

Автори вважали, що в якості сировини для нуклеосинтезу виступає не «відносно холодна» нейтронна хмара, а сильно стислий і надзвичайно нагрітий нейтронний газ. Коли тиск цього газу у результаті розширення Всесвіту падає нижче певної величини, нейтрони починають розпадатися на протони та електрони (нейтрино, як і раніше, не згадуються). «Радіаційний захват нейтронів, що ще не розпалися новонародженими протонами, повинен привести до утворення ядер дейтерію, в той час як наступне захоплення нейтронів обертається народженням все більш важких ядер». Звідси випливає, що синтез дейтерію міг початися лише після того, як Всесвіт охолов нижче енергії зв'язку його ядер (близько 0,1 MeV, або мільярд кельвінів). У тексті статті немає цього уточнення, але воно було ясно її авторам. Так що ця модель цілком може претендувати на звання гарячої.

Розроблена Гамовим і Альфером модель надала можливість останньому в квітні 1948 захистити дисертацію в Університеті Джорджа Вашингтона. Одним з його опонентів був Ганс Бете. У кінці 1948 року дисертація була опублікована [6].

Важливішим аргументом на користь Гамовської моделі могла б стати реєстрація космічного електромагнітного випромінювання з тими (або приблизно з тими) характеристиками, які передбачили Альфер і Герман. До речі, Гамов науково-популярній статті 1950 року "Half an Hour of Creation" [8] чомусь знизив його температуру до трьох кельвінів, однак, наскільки нам відомо, немає жодних даних, що за цією оцінкою стояли якісь нові обчислення. І він сам, і його помічники намагалися переконати радіоастрономів почати його пошуки, але успіху не мали. У ті часи мало хто з астрономів брав гамовську модель, і ніхто не бажав витрачати сили і час на її підтвердження. До того ж радіоастрономічні методи були ще досить примітивними, тому пошуки передбаченого випромінювання не обіцяли легкого успіху.

Модель Гамова-Альфера могла претендувати тільки на пояснення вже відомих даних про елементний склад Всесвіту. Однак у тому ж 1948 року вже без участі Гамова була виконана робота, яка передбачила дійсно нове явище, ще не відоме астрономам. Вона належала Альферу і його старшому колезі по Лабораторії прикладної фізики Роберту Герману (Robert Herman). Вони дійшли висновку, що космічний простір заповнено ізотропним мікрохвильовим випромінюванням, чий спектр повинен збігатися зі спектром абсолютно чорного тіла, нагрітого до 5 кельвінів. Це передбачення повністю виправдалося, за винятком поправки на температуру випромінювання. Саме в ньому полягає фундаментальний результат, отриманий на межі першої і

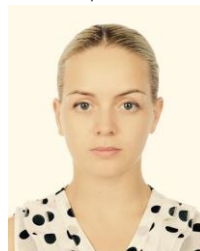
другої половин минулого століття на основі Гамовської гіпотези.

Відкриття мікрохвильового фонового випромінювання відбулося лише 1964 року. Його цілком випадково виявили співробітники беллівської лабораторії Арно Пензіас і Роберт Вільсон, які спочатку взагалі не замислювалися про космологічний сенс отриманих результатів. Молодим американським радіоастрономам пощастило. Вони вимірювали фонове радіовипромінювання нашої Галактики за допомогою 6-метрової рупорної антени супутникового зв'язку і мазера з хвилею, що біжить в якості підсилувача. Пензіас і Вільсон прийшли до висновку, що частотний розподіл залишкового сигналу відповідає спектру випромінювання абсолютно чорного тіла, нагрітого до 3,5 кельвіна. Вони оприлюднили результати своїх досліджень тільки у травні 1965 року. Їх повідомлення обсягом в 600 слів було надруковано [9]. І у 1978 році автори відкриття отримали Нобелівську премію у галузі фізики.

На рубежі 1960-х – 1970-х років гаряча модель народження Всесвіту стала цілком загальноприйнятою парадигмою астрономічної науки. На її основі згодом була розроблена загальна теорія виникнення та еволюції Всесвіту.

Джерела та література:

1. Найдыш В. М. Концепции современного естествознания. Изд. 2-е, перераб. и доп. / В. М. Найдыш. – М.: Альфа-М, ИНФРА-М, 2004. – 622 с.
2. G. Gamov, 1935. Nuclear Transformations and the Origin of Chemical Elements / The Ohio Journal of Science. V35n5 (September, 1935), P. 406-414.
3. Gamov, 1946. Expanding Universe and the Origin of Elements) / G. Gamov, Phys. Rev. **70** 572 – P. 1-3
4. Толман Р. Относительность, термодинамика и космология. Пер. с англ. В. М. Дубровика и В. К. Игнатовича. Под ред. Я.А. Смородинского / Р. Толман. – М.: Наука, 1974. – 520 с.
5. R. A. Alpher, H. Bethe, and G. Gamow The Origin of Chemical Elements Phys. Rev. **73**, 803 – Published 1 April 1948.
6. Alpher R. A. A Neutron-Capture Theory of the Formation and Relative Abundance of the Elements / Phys. Rev. **74**, 1577 – Published 1 December 1948.
7. R. A. Alpher and R. C. Herman, 1948. Evolution of the Universe – Nature **162**: 774-775.
8. Gamow, George. Half an hour of creation[ellipsis (horizontal)] Physics Today, vol. 3, issue 8, p. 16.
9. [Penzias, A. A.](#); [Wilson, R. W.](#) A Measurement of Excess Antenna Temperature at 4080 Mc/s. Astrophysical Journal, 1965. Vol. 142. № 1. P. 419-421.



Сінягіна Катерина Андріївна – аспірантка Одеського Національного політехнічного університету