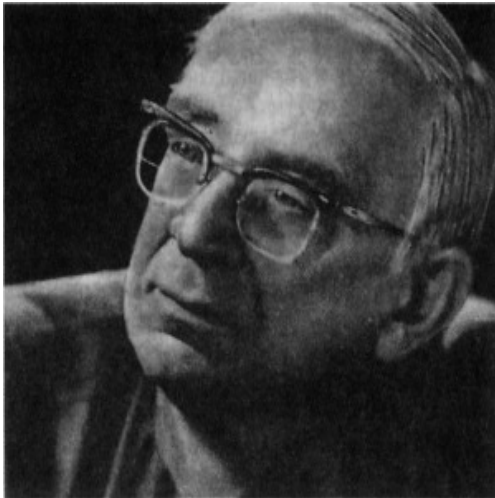


О.Ю. Колтачихіна

Г.А. Гамов: від астрофізики до космології

Докладно проаналізовано науковий внесок фізика-теоретика українського походження Г.А. Гамова в розвиток астрофізики та космології. Вперше в україномовній історико-науковій літературі розглянуто його праці, що заклали основи моделі гарячого Всесвіту. Проаналізовано теоретичні дослідження Г.А. Гамова, Р. Альфера та Р. Хермана, у яких передбачено реліктове випромінювання та його сучасну температуру. Показано роль Г.А. Гамова в подальших космологічних дослідженнях.



Г.А. Гамов

Георгій Антонович Гамов – видатний фізик-теоретик, учений-універсал, який охоплював широке коло сучасного наукового знання та висував новаторські ідеї у фундаментальних його галузях – ядерній фізиці, астрофізиці, космології та генетиці. Кілька його результатів є справді нобелівського рівня – теорія α -розпаду на основі тунельного ефекту, передбачення реліктового випромінювання та обчислення його температури, розшифровка генетичного коду. У 2014 р. наукова спільнота

України та Росії відзначатиме 110-річчя від дня його народження: він є вихідцем з України (народився в Одесі), а сформувався як учений у Росії. Тому актуальним є докладне висвітлення життя та наукового доробку Г.А. Гамова. У статті розглянуто його біографію та проаналізовано теоретичні дослідження з астрофізики та космології.

Георгій Антонович Гамов народився 20 лютого (4 березня) 1904 р. в Одесі. Життя в рідному місті він описав у своїй автобіографічній праці «Моя світова лінія: неформальна автобіографія» [1]. У 1989 р. цей же період висвітлили його перший біограф Ю.І. Лісневський [2] та В.Я. Френкель і А.Д. Чернін [3], а у 2011 р. – І.Е. Рикун [4].

Батько Г.А. Гамова викладав російську мову та літературу, мати – історію та географію. Коли Георгію було 9 років, його мати померла і вихованням сина займався батько. Упродовж 1913–1920 рр. Г.А. Гамов навчався в Реальному училищі в Одесі. У цей період він зацікавився астрономією та фізикою. «У мене почали проявлятися успіхи в мистецтві та науках..., я все більше й більше став цікавитися астрономією та фізикою», – зазначав він у «неформальній автобіографії» [5, с. 17–18].

У 1920 р. Георгій Антонович поступив на математичне відділення Фізико-математичного інституту в Одесі, який через рік було ліквідовано, а студентів переведено в Інститут народної освіти. Про студентські роки Георгія Антоновича дізнаємося із спогадів Т.М. Кастеріної, дочки професора М.П. Кастеріна: «Почала я навчатися на фізико-математичному факультеті Новоросійського університету в одній групі з Гамовим... Постійно чудив, був оригіналом. Пам'ять мав незвичайну» [5, с. 162].

Упродовж 1921–1922 рр. Г.А. Гамов був також співробітником обчислювального бюро Одеської астрономічної обсерваторії, про що можна довідатися зі звітів про діяльність Одеського відділення Російського товариства аматорів світознавства на сторінках журналу «Мироведение» (№2 за 1921 р.) та із спогадів директора обсерваторії В.П. Цесевича [6]. Провчившись рік в Одесі, Г.А. Гамов прийняв рішення про переведення до Петрограда. З 1922 р. до жовтня 1933 р. він навчався та працював у Ленінграді. Цей етап діяльності вченого висвітлено в науковій літературі [7–10]. Упродовж 1922–1924 рр. він навчався на фізико-математичному факультеті Петроградського університету та працював метрологом-спостерігачем на метеостанції в Лісовому інституті. У 1924 р. Георгій Антонович був співробітником Державного оптичного інституту, а в 1925 р. його прийнято до аспірантури Ленінградського університету. Тоді ж він прослухав курс лекцій О.О.Фрідмана «Математичні основи теорії відносності»: «Предметом, який більш за все зачаровував мене з ранніх студентських днів, була спеціальна та, особливо, загальна теорія відносності Ейнштейна» [5, с. 40]. Рання смерть О.О. Фрідмана зруйнувала тоді плани вченого працювати в релятивістській космології, до питань якої він повернувся тільки через двадцять років.

У 1928 р. Г.А. Гамова відрядили до Геттінгена, який був тоді одним із центрів квантової механіки. Тут він ознайомився зі статтею Е. Резерфорда, у якій обговорювалася ядерна реакція, що виникає при бомбардуванні урану швидкими α -частинками. Ключовим у публікації було питання: чому ці частинки, які мають енергію приблизно вдвічі більшу, ніж α -частинки, що випускаються при розпаді урану, не можуть проникнути в ядро? «Повернувшись у свою кімнату з бібліотеки, я взяв олівець і папір та написав просту формулу для ймовірності такого хвиле-механічного проникнення», – писав Г.А. Гамов [5, с. 54]. Свій результат він доповів на семінарі М. Борна, а 29 липня надіслав статтю у журнал «Zeitschrift für Physik» [11], у якій описав теорію α -розпаду на основі уявлень про підбар'єрний «вихід» α -частинки з ядра (нині відомий як тунельний ефект). Докладний огляд розвитку фізики ядра до 1928 р. та історію написання статті Г.А.Гамова вперше зробив Р. Стюер, який писав: «Георгій Гамов увірвався в європейське товариство фізиків подібно метеору з навколишнього простору» [12, с. 185].

У своїй публікації Георгій Антонович розв'язав квантово-механічну задачу про рух частинки в полі ядра та показав, що ймовірність її проходження крізь цю область відмінна від нуля. Він отримав формулу для коефіцієнта прозорості та константи розпаду:

$$\lambda = \frac{4hk \sin^2 \theta}{\pi m \left[1 + \left(\frac{k'}{k^0} \right)^2 \right]} \cdot e^{-\frac{4\pi l \sqrt{2m}}{h} \sqrt{U_0 - E}}$$

«Ця формула дає залежність константи розпаду від енергії розпаду для нашої простої моделі ядра», – писав Г.А. Гамов [11, с. 7]. Таким чином, він пояснив α -розпад, увівши уявлення про тунельний механізм цього явища. Крім того, він підрахував радіус ядра

та отримав формулу, що теоретично підтверджувала емпіричний закон Гейзера-Неттола (експериментально встановлений 1911 р. Х. Гейгером і Дж. Неттолом), за допомогою якого можна визначити період напіврозпаду ядер Незалежно від Г.А. Гамова ідею про тунельний механізм α -розпаду висловили Р. Герні та Е. Кондон у тому ж 1928 р.; вони відправили свою статтю до журналу «Nature» на один день пізніше – 30 липня [13].

Закінчивши стажування у Геттінгені, Георгій Антонович прийняв пропозицію Н. Бора залишитись у Копенгагені на рік. У цей період він відвідав провідні наукові центри сучасної фізики. Зокрема, в січні 1929 р. у Лейдені Г.А. Гамов обговорював із П. Ернфестом модель ядра як рідкої краплі. Георгій Антонович запропонував ідею розглядати атомні ядра як крапельки рідини, що мають поверхневий натяг і здатні зазнавати «капілярні коливання»: ядра можуть випускати γ -промені, «скидаючи» при цьому енергію своїх коливань [14]. З цього випливалася можливість поділу ядра – цей висновок було отримано пізніше в працях Я.І. Френкеля, Н.Бора, Дж. Уілера [15, 16]. «Я й сам міг би тоді передбачити поділ ядер, якби був розумніший», – говорив Г.А. Гамов у своєму інтерв'ю Ч. Вайнеру 25 квітня 1968 р. [17].

У 1929 р. Георгій Антонович повернувся до Ленінграда відомим ученим, а восени того ж року знову поїхав до Європи як стипендіат фонду Рокфеллера. У статті «Радянські фізики-стипендіати рокфеллерівського фонду» містяться характеристики Г.А. Гамова, дані відомими ученими. Е. Резерфорд вважав його «людиною великої оригінальності, з добрими математичними здібностями» [18, с. 127], а на думку Р. Фаулера, дослідження молодого фізика-теоретика характеризуються «дивовижною здібністю проникати в суть речей» [18, с. 128]. Для по-

вноти картини надамо характеристику Г.А. Гамова П. Діраком, опубліковану в 1987 р. у статті «Спогади про незвичайну епоху»: «Гамов. Він, як дитина, завжди прагнув до гри і в усі ситуації вносив частку легкого гумору... Йому належали чудові ідеї, розвиток яких згодом привів до важливих подій у квантовій теорії» [19, с. 126].

Упродовж року Г.А. Гамов працював у Данії та Англії. Він став одним із найвідоміших фізиків-теоретиків СРСР у Європі. У 1931 р. учений повернувся до Ленінграда, де продовжив дослідження з фізики ядра. Він отримав запрошення і почав працювати в Радієвому інституті, Фізико-математичному інституті, Ленінградському університеті. У тому ж році Г. А. Гамов нетривалий час був консультантом у Українському фізико-технічному інституті. Історик науки Ю.М. Ранюк, опрацювавши листи дружини К.Д. Синельникова Едни Купер [20], які вона писала до своєї сестри в Англію в серпні 1931 р., документально виявив факт про зарахування Георгія Антоновича на посаду консультанта УФТІ в 1931 р. [21, 22]. За ініціативою Г.А. Гамова було розпочато досліди з розщеплення атомного ядра в Кембриджі та Харкові. Про той факт у 1934 р. А.Ф. Йоффе говорив: «Теорія Гамова відкрила шлях для проникнення в ядро» [23, с. 31].

10 грудня 1931 р. Президія Державного радієвого інституту у складі В.І. Вернадського, В.Г. Хлопіна та Л.В. Мисовського постановила висунути Г.А. Гамова у члени-кореспонденти АН СРСР. Його кандидатуру підтримали директори Радієвого інституту В.І.Вернадський і Фізико-математичного інституту ім. В.А. Стеклова О. М. Крилов. 29 лютого 1932 р. Георгій Антонович став наймолодшим членом-кореспондентом АН СРСР.

9 жовтня 1933 р. Г.А. Гамов виїздить на Сольвєєвський конгрес з фізики ядра, після якого він до Росії не повернувся. Я.І. Френкель у своїй статті

підкреслив: «Світова лінія Гамова восени 1933 р. назавжди вийшла за межі Радянського Союзу» [8, с. 865].

З жовтня до літа 1934 р. Георгій Антонович викладав у різних містах Європи, зокрема в Парижі, Кембриджі та Копенгагені. З осені 1934 р. до 1956 р. він працював в Університеті Дж. Вашингтона [24]. Тут він організував щорічні конференції з теоретичної фізики, у яких брали участь відомі фізики, зокрема Н. Бор, Е. Фермі, Г. Бете, С. Чандрасекар. У 1940 р. Г.А.Гамов отримав громадянство США. 1951 р. його обрано почесним членом Датської академії наук, 1953 р. – Національної академії наук США. З 1956 р. і до своєї смерті 1968 р. учений був професором Колорадського університету. Звання члена АН СРСР йому відновлено (посмертно) 22 березня 1990 р.

Тематика наукових праць Георгія Антоновича в Америці – це астрофізика, космологія, генетика та популяризація науки. «Робота над правилом відбору Гамова-Теллера була моїм останнім істотним внеском у галузь «чистої» ядерної фізики, – згадував учений, – оскільки я все більше цікавився застосуванням ядерної фізики до астрофізичних явищ» [5, с. 113]. У лекції в Університеті Огайо 1935 р. Георгій Антонович торкнувся питання поширення хімічних елементів у Всесвіті [25]. «Я відчував, що настав час переглянути ранні спроби Хоутерманса та Аткінсона в поясненні джерела енергії на Сонці та інших зорях термоядерними реакціями, викликаними дуже високими температурами, – відмічав Г.А. Гамов. – Тому ми з Теллером вирішили, що весною 1938 р. на конференції з теоретичної фізики, яку щорічно організовує Університет Дж. Вашингтона та Інститут Карнегі у Вашингтоні, мають бути розглянуті проблеми термоядерних джерел енергії в зорях» [5, с. 113].

Під впливом роботи Г.А. Гамова з тунельного ефекту при α -розпаді

Ф. Хоутерманс і Р. Аткінсон у 1929 р. у статті «До питання про можливість утворення елементів у надрах зір» приступили, що джерелом енергії зір є реакція перетворення водню в гелій [26]. Ознайомившись із теорією Гамова при бесіді з ним у Копенгагені, вони перенесли, за аналогією, тунельний ефект частинок з атомної фізики в астрофізику. Їх праця стала основою теорії термоядерних реакцій. Весною 1938 р. на конференції з теоретичної фізики в Університеті Дж.Вашингтона, яку проводив Г.А. Гамов, був присутній Г. Бете: «який тоді нічого не знав про внутрішню будову зір, але все – про ядро. Конференція була дуже цікавою, просто захоплюючою, і по її завершенні Бете виступив із можливою схемою ядерних реакцій, що включають водень і вуглець, які могли б «виробляти» достатньо енергії для пояснення спостережуваного випромінювання Сонця» [5, с.113]. 11 липня К. фон Вайцеккер [27] і 7 вересня 1938 р. Г. Бете [28] подали статті, у яких було викладено вуглецевий цикл ядерного джерела енергії в зорях головної послідовності.

23 червня 1938 р. Х. Бете та аспірант Г.А. Гамова Ч. Критчфілд подали для опублікування статтю «Формування дейтрон-протонної комбінації», у якій містився протон-протонний (водневий) цикл [29]. Він відповідає за енергію в Сонці та у зорях, менших за нього. Упродовж 1937–1940 рр. Г.А. Гамов побудував першу послідовну теорію еволюції зір із термоядерним джерелом енергії [30, 31]. У 1940–1941 рр. він разом зі своїм учнем М. Шьонбергом вивчив роль нейтрино в катастрофічних процесах, що відбуваються при спалахах нових і наднових зір [32, 33].

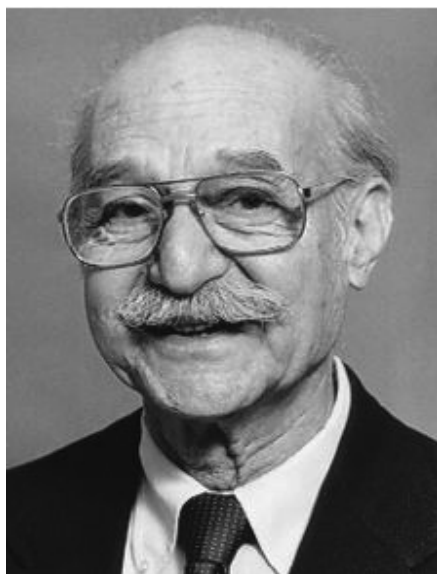
У пошуках відповіді на питання про універсальність хімічного складу Всесвіту Г.А. Гамов упродовж 1946–1948 рр. опублікував низку статей, у яких запропонував і закрив основи моделі гарячого Всесвіту, відповідно до якої ранній Всесвіт мав високі значен-



Р. Альфер

ня густини та температури. Вперше ідею про виникнення Всесвіту з розширення з надщільного стану висловив Ж. Леметр у 1931 р. у статті «Початок Всесвіту з точки зору квантової теорії» [34]. У ній початковий стан являє собою космологічну сингулярність і еволюція Всесвіту починається з моменту, коли вся маса простору сконцентрована в Первинному атомі: «Ми могли б уявити собі початок Всесвіту у вигляді єдиного атому, атомна вага якого дорівнює загальній масі Всесвіту. Вкрай нестабільний атом розділювався б на все менші і менші атоми під дією свого роду над-радіоактивного процесу» [34].

У 1946 р. Г.А. Гамов, застосувавши термодинаміку та ядерну фізику до космології, припустив, що хімічний склад Всесвіту пояснюється процесами, які відбувалися в перші секунди його розширення з надщільного гарячого стану [35]. Згідно з його теорією, початкова матерія Всесвіту складалася тільки з нейтронів. «Повертаючись до нашої проблеми формування елементів, ми бачимо, — зазначав Г.А. Га-



Р. Херман

мов, — що необхідні умови для швидких ядерних реакцій існували тільки дуже короткий час» [35, с. 573].

У 1948 р. Георгій Антонович продовжив дослідження утворення хімічних елементів у ранньому Всесвіті. Спільно зі своїм учнем Р. Альфером у статті «Походження хімічних елементів» він розглянув поведінку розширення Всесвіту на ранніх стадіях його існування [36]. Ім'я Х. Бете як одного з авторів статті Г.А. Гамов вписав із поміткою «заочно» після її завершення, таким чином виникла відома $\alpha\beta\gamma$ -теорія. Г.А. Гамов і Р. Альфер, знаючи ймовірність захоплення нейтрона різними ядрами, підраховували поширеність атомних видів і порівняли отримані дані зі спостережними. «Відповідно до цієї картини, — писали вони, — ми повинні уявити собі ранню стадію матерії як сильно стиснений нейтронний газ (перегріта нейтральна ядерна рідина), що почав розпадатися на протони і електрони, коли тиск газу падав унаслідок загального розширення» [36, с. 803]. У статті передбачалося, що Всесвіт складався зі стану з одними нейтро-

нами, які згодом перетворювались у протони завдяки процесу радіоактивного розпаду. У якийсь час розширення стало достатньо прохолодним для того, щоб із нейтронів і протонів могли будуватися ядра важких елементів шляхом швидкої послідовності нейтронних захоплень.

Розглядаючи поведінку Всесвіту на ранніх етапах його розширення, Г.А.Гамов спільно зі своїми учнями Р.Альфером і Р. Херманом зробили висновок про існування фону випромінювання (нині відомого як мікрохвильове фонове, або реліктове випромінювання), що залишилось від раннього Всесвіту [37]. «Важливим висновком є те, що в той час розширення Всесвіту повністю визначалося випромінюванням, а не матерією», – зазначив Г.А. Гамов [38, с. 681]. Густина випромінювання повинна була бути більшою за об'єднану масу всіх матеріальних частинок, з чого було виведено закон для зміни температури Всесвіту.

Слід зазначити, що перші підрахунки Г.А. Гамова, Р. Альфера та Р. Хермана не були зовсім вірними, оскільки Всесвіт стартував не з нейтронного стану, а, ймовірно, з однаковою кількістю нейтронів і протонів. Крім того, перетворення нейтронів у протони (і навпаки), було можливим завдяки їх зіткненню з електронами, позитронами, нейтрино та антинейтрино, а не шляхом радіоактивного розпаду нейтронів. Це було уточнено в 1950 р. К. Хаяші та в 1953 р. Р. Альфером, Р.Херманом і Дж. Фолліном [39].

У 1948 р. Р. Альфер і Р. Херман, ґрунтуючись на підрахунках первинного космологічного нуклеосинтезу, оцінили сучасне значення реліктового випромінювання в 5 К [40]. «Це значення температури Всесвіту – писали вони – слід інтерпретувати як температуру фону, який є результатом універсального розширення» [40, с. 1093].

Модель Гамова зустріла певний скептицизм з боку наукового товариства. Нобелівський лауреат С. Вайнберг описав ставлення до космології в той період: «Я згадую, що коли я був студентом, а потім у 50-ті роки розпочав свої власні дослідження (з інших проблем), то вважалося, що вивчення раннього Всесвіту – це не те завдання, якому повинен присвячувати свій час поважуючий себе вчений» [41, с. 12].

У нобелівській лекції з фізики 1978 р. А.Пензіас наводить фрагмент листа 1948 р. Г.А. Гамова до Р. Альфера, з якого стає зрозумілим, що вже тоді Георгій Антонович правильно оцінював сучасну температуру реліктового випромінювання: «Температура космічного простору, що дорівнює ~5 К, пояснюється сучасним випромінюванням зір (С-цикли). Єдине, що ми можемо говорити, що температура, яка залишилась від початкового тепла, не вища за 5 К» [42, с. 590].

У 1950 р. у науково-популярній статті «Півгодини створення» Г.А. Гамов передбачив температуру реліктового випромінювання, що дорівнює 3 К [43]. «У сучасну епоху, коли густина матерії Всесвіту – приблизно 10^{-30} г/см³, а температура становить тільки близько 3 К, густина випромінювання (відповідно до закону Стефана–Больцмана) дорівнює $7 \cdot 10^{-14} \cdot (3)^4 \cong 6 \cdot 10^{-12}$ ерг/см³ $\cong 6 \cdot 10^{-32}$ г/см³», – писав він [43, с. 18]. Це була найточніша оцінка в низці публікацій з даного питання, що вийшли протягом 40–50-х рр. ХХ ст.

У 1953 р. виходить стаття Г.А. Гамова «Всесвіт, що розширюється, та утворення галактик» [44]. Докладний фізичний аналіз цієї праці провів у 1994 р. російський астрофізик та історик науки А.Д. Чернін [45]. Він назвав три причини, чому це дослідження Г.А. Гамова є цінним: «По-перше, це дуже легка праця. По-друге, у ній є певна загадка, яка досі здатна ди-

увати та ставити у глухий кут. Нараешті, по-третє, вона, безсумнівно, є повчальною як в історичному, так і, особливо, у методичному відношенні» [45, с. 890]. У цій статті Георгій Антонович, використовуючи лише вік Всесвіту та середню густину речовини у ньому, підрахував температуру реліктового випромінювання, отримавши її значення в 7 К. У його розрахунках немає помилок, якщо врахувати, що він використовував значення віку та температури Всесвіту, які були відомі в середині ХХ ст. Якщо у формули Г.А. Гамова підставити відомі на сьогодні вік (13,7 млрд років) та значення густини Всесвіту, а також врахувати вплив нейтрино на ранньому етапі розширення, то отримаємо температуру 2–5 К, тобто інтервал, який збігається з сучасними експериментальними даними.

У цілому робота з обчислення сучасної температури реліктового випромінювання тривала впродовж десяти років. У низці публікацій початкова теорія вдосконалювалась і розроблялась з урахуванням зауважень та уточнених спостережуваних астрономічних даних про хімічний склад Всесвіту. Космологічний нуклеосинтез вивчали Г.А. Гамов, Р. Альфер, Р. Херман, Дж. Фоллін, Я.Б. Зельдович, В.М. Якубов, Ф. Хойл, Дж. Піблс. У результаті багаторічних досліджень, ініційованих Г.А. Гамовим, було з'ясовано космічну розповсюдженість хімічних елементів і межі сучасної температури реліктового випромінювання.

Однак, всі праці на той час були суто теоретичні. У листі до П. Піблса від 23 червня 1967 р. Г.А. Гамов писав, що вони не розглядали можливість детектування космічного випромінювання, яке залишилось від ранніх етапів розширення Всесвіту [41, с.122]. С.Вайнберг вказав на три причини, чому більшість науковців не розуміла важливості цих досліджень: «По-перше, слід усвідомлювати, що Гамов,

Альфер, Херман, Фоллін та інші працювали в межах більш загальної космогонічної теорії. В їх моделі «Великого вибуху» передбачалося, що всі без винятку складні ядра, а не тільки гелій, є утвореними в ранньому Всесвіті внаслідок процесу швидкого додавання нейтронів. Однак, хоч ця теорія правильно передбачала розповсюдженість низки важких елементів, вона стикалася з труднощами в поясненні того, чому взагалі з'явилися важкі елементи! ... По-друге, це був класичний приклад розриву зв'язку між теоретиками та експериментаторами. Більшість теоретиків ніколи не усвідомлювала, що ізотропний триградусний фон випромінювання може бути колись виявлено... оскільки радіоастрономія була ще в дитячому стані. По-третє, і мені здається, що це найголовніше, теорія «Великого вибуху» не привела до пошуку триградусного мікрохвильового фону тому, що фізикам було надзвичайно важко серйозно сприйняти будь-яку теорію раннього Всесвіту» [41, с. 120–123].

Спочатку теорія Гамова називалася «динамічною моделлю, що еволюціонує». Уперше термін «Великий вибух» використав Ф. Хойл у своїй промові в 1949 р.: «Ця теорія ґрунтується на припущенні, що Всесвіт виник у процесі одного єдиного потужного вибуху і тому існує лише кінцевий час... Ця ідея Великого вибуху здається мені цілком незадовільною» [46, с. 567].

В інтерв'ю 1968 р. Г.А. Гамов підкреслював, що не використовує термін «Великий вибух». «Це свого роду кліше, – говорив він. – Винайдене, як мені здається, космологами-прихильниками стаціонарної моделі Всесвіту» [17].

Результати Георгія Антоновича широко не обговорювались до 60-х рр. ХХ ст. Вперше про можливість спостереження реліктового випромінювання писали в 1964 р. А.Г. Дорошкевич і І.Д. Новіков у статті «Середня густина випромінювання в Метагалактиці та деякі проблеми релятивістської космо-

логії» [47]. Вже через рік група дослідників із Принстона розпочала роботи з побудови пристрою та експерименти з виявлення мікрохвильового фону, що залишився від Великого вибуху. Перш ніж вони завершили дослідження, реліктове випромінювання було випадково відкрито А. Пензіасом і Р. Вільсоном при вивченні фонових шумів радіотелескопа [48]. За своє відкриття вони отримали в 1978 р. Нобелівську премію з фізики.

Зауважимо, що космічне випромінювання спостерігалось ще понад двадцять років до відкриття А. Пензіаса та Р. Вільсона. 1941 р. канадський астроном Е. Мак-Келлар спостерігав збуджений стан молекул міжзоряного ціану [49]. Температура збудження дорівнювала 2,3 К. Це було сигналом про наявність у космічному просторі відповідного випромінювання. Пояснення цього ефекту було дано вже після відкриття А. Пензіаса та Р. Вільсона. Більш того, у 1956 р. аспірант-радіоастроном із Пулковської обсерваторії Т.А. Шамонов зареєстрував радіовипромінювання космічного фону: «Виявилось, що абсолютна величина ефективної температури радіовипромінювання фону ... дорівнює 4 ± 3 К» [50, с. 86]. Він зазначив і незалежність інтенсивності випромінювання від напрямку у просторі та від часу. Оскільки стаття була опублікована в маловідомому журналі, вона залишилась непоміченою.

Після спостереження реліктового випромінювання космологія стала наукою респектабельною. С. Вайнберг писав: «Гамов, Альфер і Херман заслуговують колосальної поваги, крім усього іншого, за те, що вони захотіли серйозно сприйняти ранній Всесвіт і дослідити те, що повинні сказати фізичні закони про перші три хвилини» [41, с. 123]. Дослідженнями з виникнення та еволюції

Всесвіту протягом другої половини ХХ ст. займалися космологи, астрофізики, фізики-теоретики та астрономи. Результатом спільних зусиль наприкінці ХХ ст. стала ґрунтовна космологічна концепція – Λ CDM-модель (лямбда Cold Dark Matter), у якій розвинуто ідеї Г. А. Гамова. Нині вивчення мікрохвильового фону дає розуміння про великомасштабну структуру Всесвіту та його еволюцію. У 1992 р. Дж. Мазером і Дж. Смутом було відкрито анізотропію реліктового випромінювання [51], що було відзначено Нобелівською премією з фізики 2006 р.

Хімічний склад Всесвіту також є предметом досліджень. Зокрема, в Україні над цим питанням працює завідувач відділу Головної астрономічної обсерваторії НАН України академік НАН України Ю.І. Ізотов. Його дослідження змісту легких елементів D, 4He і 7Li довели, що стандартна однорідна та ізотопна космологічна модель з трьома відомими типами релятивістських нейтрино описує нуклеосинтез у речовині в перші 1000 секунд еволюції Всесвіту [52]. Крім того, результати його досліджень свідчать, що баріонна матерія у Всесвіті складає лише 4–5 % від його загального маси.

Відповідно до даних космологічного проекту WMAP нині відомо, що вік Всесвіту – $(13.73 \pm 0.12) \times 10^9$ років; він складається на 4% зі звичайної речовини, на 23% – з так званої темної матерії та на 73% – з темної енергії, що відповідає за прискорене розширення Всесвіту. Місія Європейського космічного агентства «Planck», запуск якої відбувся 14 травня 2009 р., повинна уточнити результати WMAP.

Авторка щиро вдячна зав. відділу історії науки і техніки ЦДПІН ім. Г.М.Доброва НАН України, д-ру фіз.-мат. наук, професору Ю.О. Храмову за ідею статті, увагу до роботи та її обговорення.

1. *Gamow G.* My world line: An informal autobiography / G. Gamow. – New York: The Viking press, 1970. – 178 p.
2. *Лисневский Ю.И.* Георгий Антонович Гамов. Жизнь в России и СССР / Ю.И. Лисневский. – Ч.1 // Вопросы истории естествознания и техники. – 1989. – Вып.1. – С. 48–62; Ч. 2. // Вопросы истории естествознания и техники. – 1989. – Вып.2. – С. 97–107.
3. *Френкель В.Я., Чернин А.Д.* Возвращается Г.А. Гамов // Природа. – 1989. – № 9. – С.82–102.
4. *Рикун И.Э.* Одесские страницы биографии Г. А. Гамова / И.Э. Рикун // *Odessa Astronomical Publications.* – 2011. – V. 24. – Pp. 8–13.
5. *Гамов Дж.* Моя мировая линия: Неформальная автобиография / Дж. Гамов: Пер. с англ. – М.: Наука, 1994. – 304 с.
6. *Цесевич В.П.* О времени и о себе : воспоминания и документы / В. П. Цесевич, сост. : Н.И.Кошкин, Т.В. Мишенина. – Одесса : Астропринт, 2007. – 80 с.
7. *Лисневский Ю.И., Чернин А.Д.* Георгий Гамов – выдающийся соотечественник // Историко-астрономические исследования. – 1994. – Вып. XXIV. – С. 295–330.
8. *Френкель В.Я.* Георгий Гамов: линия жизни 1904–1933 (К 90–летию со дня рождения Г.А. Гамова) / В.Я. Френкель // УФН. – 1994. – Т. 164, № 8. – С. 845–866.
9. *Горелик Г.Е.* Предыстория ФИАН и Г.А. Гамов / Г.Е. Горелик. – М., 1990. – 30 с. (препринт № 41).
10. *Hufbauer K.* George Gamow 1904–1968. A biographical Memoir / K. Hufbauer – National Academy of Sciences, Washington, 2009. – 39 p.
11. *Gamow G.* Zur Quantentheorie des Atomkernes / G. Gamow // *Zeitschrift für Physik.* – 1928. – Bd. 51. – N. 3–4. – S. 204–212.
12. *Stuewer R.* Gamow's Theory of Alpha-Decay / R. Stuewer / *The Kaleidoscope of Science: The Israel Colloquium: Studies in History, Philosophy, and Sociology of Science.* V. I. – Reidel Publ. Co., 1986. – Pp. 147–186.
13. *Gurney R.W., Condon E.U.* Wave Mechanics and Radioactive Disintegration // *Nature.* – 1928. – V. 122, N. 3073. – Pp. 439.
14. *Gamow G.* Über die Struktur des Atomkerns / G. Gamow // *Physikalische Zeitschrift.* – 1929. – Bd. 30. – S. 717–720.
15. *Френкель Я.И.* Электрокапиллярная теория расщепления тяжелых ядер медленными нейтронами / Я.И. Френкель // ЖЭТФ. – 1939. – Т. 9, вып. 6. – С. 641–653.
16. *Bohr N., Wheeler J.* The Mechanism of Nuclear Fission // *Physical Review.* – 1939. – V. 56, N. 5. – Pp. 426–450.
17. *Interview with George Gamow by Charles Weiner at Professor Gamow's home in Boulder, Colorado.* – April 25, 1968 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.aip.org/history/ohilist/4325.html>.
18. *Френкель В.Я., Джосефсон П.* Советские физики – стипендиаты рокфеллеровского фонда // УФН. – 1990. – Т. 160, № 11. – С. 103–134.
19. *Дирак П.А.М.* Воспоминания о необычной эпохе / П. Дирак // УФН. – 1987. – Т. 153, № 1. – С. 105–134.
20. *I married a Russian.* Letters from Kharkiv edited by Lucie Street. – London: George Allen & Unwin Ltd. – 1946. – 340 p.
21. *Ranyuk Yu., Josephson P.* Yang Gamov and his kharkiv friends and colleges // Вопросы атомной науки и техники. – 2004. – № 5. – С. 5–8.
22. *Ранюк Ю.М.* Георгій Гамов і розщеплення атомного ядра: До 100-річчя від дня народження Г.А.Гамова / Ю.М. Ранюк // Наука та наукознавство. – 2004. – № 3. – С.167–171
23. *Йоффе А.Ф.* Атомное ядро сегодня. Лекция, читанная 19 февраля 1934 г. в клубе 1 МГУ / А.Ф.Йоффе. – М.–Л. – 1934.
24. *Чернин А.Д.* Гамов в Америке: 1934–1968 (К 90–летию со дня рождения Г.А. Гамова) / А.Д.Чернин // УФН. – 1994. – Т. 164, № 8. – С. 867–878.
25. *Gamow G.* Nuclear transformations and the origin of the chemical elements / G. Gamow // *Ohio Journal of Science.* – 1935. – V. 35. – Is. 5. – Pp. 406–414.
26. *Atkinson R., Houtermans F.* Aufbaumöglichkeit in Sternen // *Zeitschrift für Physik.* – 1929. – V. 54. – Pp. 656–665.
27. *Weizsäcker C.-F. von.* Über Elementumwandlungen im Innern der Sterne II / C.-F. von Weizsäcker // *Physikalische Zeitschrift.* – 1938. – V. 39. – N. 17/18. – S. 633–646.
28. *Bethe H. A.* Energy Production in Stars / H.A. Bethe // *Physical Review.* – 1939. – V. 55. – Pp. 434–456.
29. *Bethe H.A., Critchfield C.L.* The Formation of Deuterons by Proton Combination // *Physical Review.* – 1938. – V. 54. – Iss. 4. – Pp. 248–254.
30. *Gamow G., Teller E.* Energy production in Red Giants // *Physical Review.* – 1939. – V. 55, Iss. 8. – P. 791
31. *Gamow G., Teller E.* The expanding universe and the origin of the great nebulae // *Nature.* – 1939. – V. 143. – Pp. 116–117.

32. *Gamow G., Schoenberg M.* The Possible Role of Neutrinos in Stellar Evolution // *Physical Review*. – 1940. – V. 48. – P. 1117.
33. *Gamow G., Schoenberg M.* Neutrino Theory of Stellar Collapse // *Physical Review*. – 1941. – V. 59. – Pp. 539–547.
34. *Lemaître G.A.* The Beginning of the World from the Point of View of Quantum Theory /G.A. Lemaître // *Nature*. – 1931. – V. 127. – N. 3210. – P. 706.
35. *Gamow G.* Expanding Universe and the origin of elements / G.Gamow // *Physical Review*. – 1946. – V. 70, Oct. 1. – P. 572 – 573.
36. *Alpher R., Bethe H., Gamow G.* The origin of chemical elements // *Physical Review*. – 1948. – V. 73, N. 7. – Pp. 803–804.
37. *Gamow G., Alpher R., Herman R.* Themonuclear Reactions in the Expanding Universe // *Physical Review*. – 1948. – V. 74, iss. 9. – Pp. 1198–1199.
38. *Gamow G.* The Evolution of the Universe / G. Gamow // *Nature*. – 1948. – V. 162., N. 4122. October 30. – Pp. 680–682.
39. *Alpher R., Follin J., Herman R.* Physical Conditions in the initial stages of the Expanding Universe // *Physical Review*. – 1953. – V. 92, N. 6. – Pp. 1347–1361.
40. *Alpher R., Herman R.* Remarks on the Evolution of the Expanding Universe // *Physical Review*. – 1949. – V. 75, N. 7. – P. 1089–1095.
41. *Вайнберг С.* Первые три минуты: Современный взгляд на происхождение Вселенной / С. Вайнберг. – М.: Энергоиздат, 1981. – 208 с.
42. *Пензиас А.* Происхождение элементов (Нобелевские лекции по физике 1978 года) / А. Пензиас // *УФН*. – 1979. – Т. 129, вып. 4. – С. 581–593.
43. *Gamow G.* Half an hour of creation ... / G. Gamow // *Physics Today*. – 1950. – V. 3, Is. 8. – P. 16–21
44. *Gamow G.* Expanding Universe and the origin of galaxies / G.Gamow // *Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab. Matemetisk–fysiske Meddelelser*. – 1953. – Bind 27, nr. 27. – 15 p.
45. *Чернин А.Д.* Как Гамов вычислил температуру реликтового излучения, или немного об искусстве теоретической физики /А.Д. Чернин // *УФН*. – 1994. – Т. 164, № 8. – С. 889–896
46. *Hoyle F.* Continuous creation / F. Hoyle // *The Listener*. – 1949. – V. 41. – Pp. 567–568.
47. *Дорошкевич А.Г., Новиков И.Д.* Средняя плотность излучения в Метагалактике и некоторые вопросы релятивистской космологии // *ДАН СССР*. – 1964. – Т. 154, № 4. – С. 809–811.
48. *Penzias A., Wilson R.* A Measurement of Excess Antenna Temperature at 4080 Mc/s // *Astrophysical Journal*. – 1965. – V. 142. – P. 419–421.
49. *McKellar A., Kan-Mitchell J., Conti P.* Molecular Lines from the Lowest States of Diatomic Molecules Composed of Atoms Probably Present in Interstellar Space // *Publications of the Dominion Astrophysical Observatory (Victoria, BC)*. – 1941. – V. 7 (6). – P. 251–272.
50. *Шмаонов Т.А.* Методика абсолютных измерений эффективной температуры радиоизлучения с низкой эквивалентной температурой / Т.А. Шмаонов // *Приборы и техника эксперимента*. – 1957. – № 1. – С. 83–86.
51. *Smoot G., Mather J. and others.* Structure in the COBE differential microwave radiometer first-year maps // *The Astrophysical Journal. Part 2. Letters*. – 1992. – V. 396, no. 1, Sept. 1. – P. L1–L5.
52. *Изотов Ю.И.* Химические процессы в первичном веществе Вселенной / Ю.И.Изотов. – К.: ИТФ, 1983. – 38 с.

Одержано 20.10.2013

О.Ю. Колтачихіна

Г.А. Гамов: від астрофізики до космології

Детально проанализирован научный вклад физика-теоретика украинского происхождения Г.А. Гамова в развитие астрофизики и космологии. Впервые в украинской историко-научной литературе рассмотрены его труды, заложившие основы модели горячей Вселенной. Проанализированы теоретические исследования Г.А. Гамова, Р. Альфера и Р. Хермана, в которых предусматривалось существование реликтового излучения и его современная температура. Показана роль Г. А. Гамова в последующих космологических исследованиях.