ВСЕСВІТ, ВІДКРИТИЙ ЗАНОВО

За два тисячоліття, що минули від Різдва Христового, історію Всесвіту переписували багато разів. За цей час тривалість існування нашого світу зросла від п'яти тисяч років до п'ятнадцяти мільярдів, розмір Всесвіту — від декількох світлових хвилин до мільярдів світлових років, а його населення — від декількох планет і жменьки намистин-зір до багатьох мільярдів величезних галактик. Тільки за минуле століття наукова картина еволюції Всесвіту зазнала декілька принципових трансформацій. І ось не встигли ми звикнути до Всесвіту Айнштайна-Фрідмана-Габбла, як посипались нові наукові відкриття, що розбивають старі уявлення про світ і віщують про чергову наукову революцію в розумінні Всесвіту. Про те, як змінювалися уявлення про Всесвіт, про великі відкриття, які підтверджували ці уявлення і про сьогоднішні знання про наш світ і йдеться у статті.

Питання про те, яким великим є той зоряний світ, що оточує нас, і коли він виник або був створений, цікавлять людей з незапам'ятних часів. Змінювали одна одну релігії й філософські системи, проте, якщо придивитися уважніше, то, незважаючи на їх відмінності, залишалося незмінним інтуїтивно зрозуміле уявлення про нескінченність світу в просторі та часі. Навіть твердження про те, що світ виник з якогось первинного хаосу або був створений у певний момент часу, неявно припускають, що Хаос і Творець існували ще "до того", а за межами світу, як би далеко вони не простягались, завжди є щось ще, принаймні порожнеча.

Ми не розглядатимемо тут міфологічні уявлення стародавніх народів про будову Всесвіту — ця досить цікава й обширна тема залишиться поза рамками цієї статті.

Айнштайн, Фрідман, Габбл, Гамов та інші

Початок сучасної науки про Всесвіт віддалений від наших днів не більше, ніж на 100 років. Основи цієї науки заклав Альберт Айнштайн, створивши в 1916 р. теорію гравітації, що замінила теорію Ньютона. Коли Айнштайн записав рівняння для рівномірно заповненого зорями Всесвіту, то отримав розв'язок, у якому кривизна простору була такою, що він "замикався" сам на себе. Такий "замкнутий" Всесвіт мав скінчені розміри, хоча меж у нього не було. У моделі, проте, була одна трудність: взаємне тяжіння зір мало би стягнути такий замкнутий Всесвіт у точку. Тому Айнштайну довелося доповнити свої рівняння певним вигаданим полем, яке мало породжувати своєрідну "антигравітаційну" силу, здатну врівноважити гравітацію й утримати Всесвіт від стиснення.

Оскільки в межах Землі або навіть Сонячної системи дію цієї гіпотетичної сили не виявляли, то гадали, що якщо вона й існує, то на малих відстанях дуже мала і проявляє себе лише на відстанях дуже великих (тому і здатна компенсувати гравітацію в масштабах Всесвіту в цілому). Це означало, що, на відміну від гравітації, антигравітаційна сила має бути прямо пропорційна відстані, але коефіцієнт пропорційності (так звана космологічна стала), мабуть, дуже малий. Після введення цієї сили модель Айнштайна стала відповідати "астрономічній реальності" того часу: Всесвіт був не лише статичним, але і здатним існувати в такому стані вічно. "І він подивився на формули, які отримав, і побачив він, що це добре..." Справді, модель Айнштайна усувала два давні надокучливі питання: "Що було до початку Всесвіту?" (нічого, тому що у цієї моделі немає початку) і "Що лежить за межами Всесвіту?" (нічого, тому що у нього немає меж).

Революційну теорію відносності Айнштайна відразу ж сприйняв математик Олександр Фрідман, який належав до Петербурзької математичної школи і був тоді директором Санкт-Петербурзької геофізичної обсерваторії. Він швидко зрозумів, що в рівняннях Айнштайна немає місця для стаціонарного Всесвіту, і в серії статей, опублікованих у 1922–1924 роках, показав, що ці рівняння допускають цілий спектр розв'язків, тільки не статичних, а динамічних, себто фактично показав неминучість розширення Всесвіту. Ба більше, Фрідман був першим, хто висловив думку про те, що колись Всесвіт міг бути стиснутим до неймовірно великої густини. Зараз це поняття, що ґрунтується на результатах науки XX століття, відоме кожному студенту-природничнику. Але як до цієї думки міг прийти Фрідман, коли в його час навіть про існування інших галактик нічого не було відомо? Він писав: "Можливі випадки, коли Всесвіт ▶

стискається в точку (у ніщо), потім знову з точки доводить радіус свій до деякого значення." (Фрідман залишив багато інших цікавих ідей. Йому належать, зокрема, класичні роботи з метеорології. Ймовірно, він міг би зробити набагато більше, але помер у 1925 році в Криму від тифу у віці 37 років).

Айнштайн зустрів роботу Фрідмана в багнети, проте потім визнав свою неправоту і навіть назвав роботу Фрідмана такою, що "прояснює", але не більш того (у чернетці було навіть гірше: "Важко приписати цим розрахункам яке-небудь фізичне значення"). Ще впродовж декількох років Айнштайн наполегливо дотримувався своєї статичної моделі з "космологічною сталою", але потім, коли Габбл довів, що Всесвіт справді розширюється, остаточно відмовився від неї і визнав уведення зазначеної сталої в рівняння тяжіння "найбільшою помилкою свого життя"...

Але повернімося ще раз до ідей Фрідмана. Відкинувши допущення Айнштайна про статичність Всесвіту (а, отже, й "антигравітаційну" силу, що стала непотрібною), Фрідман показав, що в цьому випадку рівняння теорії тяжіння мають аж три типи розв'язків. Якщо середня густина речовини (або поля) у Всесвіті більша за певну критичну величину, то простір такого Всесвіту буде замкнутим, а сам він спочатку розшириться від нульового розміру до деякого максимального радіуса і потім знову стиснеться до нуля. Якщо середня густина Всесвіту буде менша від критичної, відбудеться зворотне — простір буде "відкритим", а сам Всесвіт нескінченно розширюватиметься. Іншими словами, Всесвіт, "замкнутий у просторі" — замкнутий і в часі; Всесвіт, "відкритий у просторі" — відкритий і в часі.

Проміжний, дуже спеціальний випадок становлять розв'язки для густини, строго рівній критичній величині: простір такого Всесвіту — "плоский", тобто евклідовий, а сам Всесвіт розширюється з таким уповільненням, що швидкість його розширення нескінченно наближається до нуля. Таким чином, геометрія Всесвіту визначає його долю, а ця геометрія, у свою чергу, залежить від співвідношення в кожен даний момент двох параметрів — середньої густини речовини Всесвіту і критичної густини. Підраховано, що критична густина, вище і нижче за яку Всесвіт відрізняється від "плоского", не така вже й велика — близько 10 атомів водню на кубометр простору в середньому.

У роботах Фрідмана ще не було підкреслено, що будь-яке розширення Всесвіту має мати "початок". Важливість цього моменту першим усвідомив бельгійський учений, абат Жорж Леметр, який опублікував знамениту роботу "До теорії первинного атома", в якій, незалежно від Фрідмана, знайшов розв'язки рівнянь тяжіння для замкнутого Всесвіту, що розширюється. У початковому стані Всесвіт Леметра був невеликою статичною "кулькою", в якій гравітація була врівноважена космологічною сталою; у якийсь момент ("початок") кулька отримувала якийсь зовнішній поштовх і, оскільки рівновага сил при цьому порушувалась, починала розширюватись. Цю початкову кульку Леметр назвав "первинним атомом".

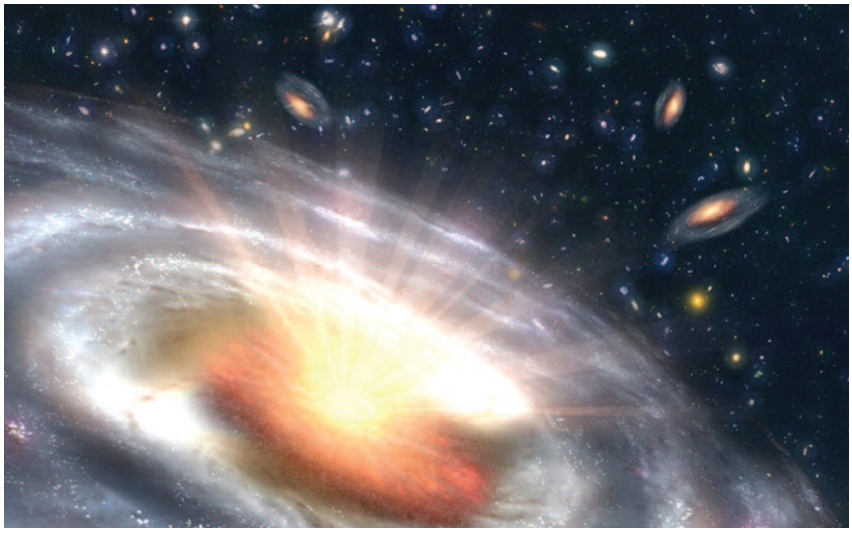
Так виникло перше уявлення про "початок Всесвіту", втім, поки що без назви і навіть без того ефектного вибуху, яким ми уявляємо собі народження Всесвіту сьогодні. Нинішню назву цьому безіменному "початку початків" дав, як не дивно, завзятий супротивник теорії Леметра — знаменитий англійський астрофізик Фред Хойл. ("Чи може теорія бути науковою, — запитував Хойл з лекційних трибун, — якщо її придумав піп, а схвалив Папа римський?!" До речі, Ватикан не просто схвалив теорію, але навіть оголосив її науковим підтвердженням доктрини "створення світу".) Саме Хойл на одній із своїх публічних лекцій обізвав раптове роздування "первинного атома" Біг Бенгом, у перекладі з англійської "Великою Хлопавкою" (у нашій літературі — "Великий Вибух", саме цей термін ми й будемо використовувати надалі — *Авт.*), і це глузливе прізвисько несподівано для автора закріпилося як науковий термін. У Хойла були підстави висміювати "Велику хлопавку". У той час у теорії Великого Вибуху не було інших експериментальних підтверджень, окрім габблівських, а вони тоді були вельми й вельми сумнівні.

Залишимо на деякий час теоретиків і подивимося, що ж у цей час мала в своєму арсеналі спостережна астрофізика. Адже теорії хороші лише тоді, коли підтверджуються експериментом (в астрономії — спостереженнями).

Ще в 1912 році астроном Весто Слайфер з Флагстафської обсерваторії в Аризоні (США), спостерігаючи спектри деяких дивних туманностей, виявив, що лінії в їхніх спектрах сильно зміщені в "червоний" бік. Пізніше це явище назвали червоним зміщенням. (Червоне зміщення — це ефект Доплера, те ж саме, що різке пониження тону сигнала автомобіля або потяга, коли вони проїхали повз вас і віддаляються) Свої результати Слайфер опублікував у 1917 році. Тоді ще не було відомо, що "дивні" туманності — це далекі гігантські зоряні острови, інші галактики, подібні до нашої. Ба більше, про існування інших галактик взагалі ніхто нічого не підозрював. Хороший був час: Галактика приголомшувала своїми розмірами, а з нею ототожнювали й весь Усесвіт. Як не згадати, що й Землю колись сприймали плоскою, тією, що в межах видимого горизонту.

Слайфер продовжував свої спостереження багато років. Потім до нього приєднався Едвін Габбл: у його розпорядженні був найбільший на той час 2,5-метровий телескоп обсерваторії Маунт Вілсон у Каліфорнії (США). У 1927–1929 роках Габбл виконав власні спостереження і прийшов до висновку, що червоне зміщення — це наслідок взаємного віддалення галактик. Залишався всього один крок, щоб зрозуміти, що Всесвіт розширюється, як і передбачав Фрідман.

Габбл виявив, що чим далі перебувають галактики, то з більшою швидкістю вони віддаляються. Виявилось, що швидкість, з якою віддаляється галактика, визначає просте співвідношення: відстань до галактики потрібно помножити на певну сталу величину, яка отримала назву сталої Габбла. ▶



Мал.1. Відкриття Е. Габблом того факту, що галактики розлітаються у космічному просторі стало одним із перших спостережних свідчень на користь ідеї нестаціонарного Всесвіту.

Після відкриття того, що галактики розлітаються у просторі, легко було зрозуміти: екстраполюючи це явище назад, до початкового нульового об'єму, можна оцінити час життя Всесвіту — близько 15–20 мільярдів років.

Тут зробимо маленьке зауваження, гідне окремої великої розмови. Незважаючи на теоретичні і спостережні докази картина обмеженого світу, що розширюється, ще тривалий час викликала сумніви, особливо у радянських філософів: занадто сильно все це нагадувало біблійну легенду про створення світу.

Наступний крок у розвитку теорії Великого Вибуху зробив у 1948 році учень Фрідмана Георгій Гамов, який після 1933 року жив і працював у Європі та США. Будучи фахівцем з фізики елементарних частинок (він навчався у Резерфорда і Бора), Гамов зрозумів, що та величезна густина, яка неминуче мала панувати в "первинному атомі" Леметра, створювала необхідні умови для синтезу атомних ядер з елементарних і легких частинок. Але він усвідомив також, що такий синтез може протікати різними шляхами, залежно від температури Великого Вибуху, тобто від того, був ранній Всесвіт гарячим чи холодним.

У "гарячому" Великому Вибуху, за розрахунками Гамова, зіткнення частинок мали б призводити до утворення ядер водню, потім — через важкий водень, дейтерій, — ядер гелію і частково літію. Але оскільки за високих температур швидкості частинок мали такі значення, що цього було достатньо, щоб призводити до руйнування ядра дейтерію, то й процес утворення гелію припинявся.

У "холодному" Великому Вибуху синтез гелію мав продовжуватись. Гамов був переконаний, що "первинний атом" ("ілем", у його термінології) мав температуру в мільярди градусів, і тому нинішній Всесвіт має складатись на 75 відсотків з водню та дейтерію, лише на 25 відсотків з гелію і якоїсь дуже незначної частки літію. (У нинішньому Всесвіті є ще близько 0,000001 відсотка важчих атомів, але вони утворились пізніше, в "горнилі" так званих наднових зір.)

Пізніше астрономічні спостереження підтвердили повну точність гамовських прогнозів і його моделі "гарячого" раннього Всесвіту. Але в сорокові роки XX ст., коли цю теорію тільки створювали, вона викликала серйозні заперечення перш за все тому, що Гамов услід за Габблом і Леметром приймав абсурдно малий вік Всесвіту. І тоді у пошуках інших підтверджень своєї теорії гарячого Великого Вибуху Гамов висунув нову ідею.

Цього разу він зауважив, що гарячий ранній Всесвіт неминуче мав породжувати щонайпотужніше випромінювання на всіх довжинах хвиль. Фотони цього випромінювання спільно з першими елементарними частинками (тепер ми знаємо, що це були кварки, нейтрино й електрони), що народилися, створювали ту "первинну плазму", яка й була новонародженим Всесвітом. Щільність цієї плазми була така велика, що фотони раз у раз натикалися на частинки і змінювали напрямок польоту. В результаті вони не стільки літали, скільки "повзали" в цій гущавині. (Віддаленою і слабкою аналогією цього "повзання" може бути рух фотона, що виходить з надр нашого Сонця. Хтось підрахував, що через зіткнення з частинками речовини цей фотон витрачає мільйон років (!) на те, щоб дістатися до поверхні Сонця, і лише вісім з гаком хвилин, щоб долетіти звідти до Землі.)

Але оскільки Всесвіт розширювався, він продовжував охолоджуватися, і в якийсь момент (пізніше було підраховано, що це відбулося приблизно через 300 тисяч років після Великого Вибуху) температура плазми впала до 3000–2700 градусів. За такої температури середня енергія фотонів (що знижувалася разом з температурою) раптом стала меншою від кулонівського тяжіння електронів і протонів один до одного, і ці частинки змогли безперешкодно об'єднатися в атоми водню ("рекомбінувати"). Виявившись зв'язаними в атомах, частинки перестали заважати руху фотонів, і Всесвіт умить став "прозорим" для випромінювання: відбулося так зване розщеплення світла й речовини. Випромінювання відокремилося від речовини й у подальшому стало існувати абсолютно незалежно. Воно, звісно, залишилося в тому ж Всесвіті, куди ж йому було подітися, але, починаючи з цього моменту, практично перестало взаємодіяти з речовиною. Таке "залишкове випромінювання", розсудив Гамов, може бути важливим свідоцтвом на користь теорії "гарячого" Великого Вибуху.

Де, проте, шукати сліди того, що відбулося через 300 тисяч років після Великого Вибуху, тобто майже 14 мільярдів років тому? Учні Гамова Альфер і Харманн взялися за це ▶

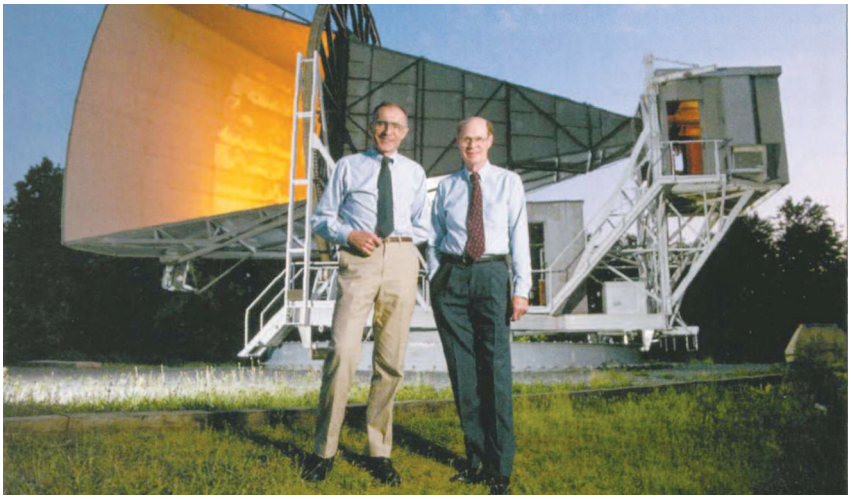
питання і в 1948 році опублікували статтю,в якій стверджували, що сліди цього залишкового випромінювання (яке за 14 мільярдів років мало охолонути, за їх оцінкою, до 10 градусів Кельвіна) можуть і до цього дня зберігатися в космосі й саме там їх і треба шукати. Але, на жаль, вони визнали, що сліди ці дуже слабкі, щоб їх виявити, а тому їхню ідею незабаром забули.

Проте через п'ятнадцять років до цієї ідеї повернулися знову. Її відродив Роберт Дікке, який на початку шестидесятих років минулого століття очолював у Принстоні відділ дослідження гравітації. Дікке незалежно від Гамова своїм шляхом прийшов до гіпотези гарячого раннього Всесвіту і до висновку, що такий Всесвіт мав залишити по собі якесь "залишкове випромінювання". Але, на відміну від Гамова та його учнів, він вирішив пошукати сліди цього випромінювання. Практичну частину завдання він доручив своїм учням, Роллу і Вілкінсону, а теоретичну — Піблзу. Той швидко підрахував, що залишкове випромінювання має бути ізотропним і холодним (він теж оцінив його нинішню температуру приблизно в 10 градусів Кельвіна).

Далі слідує одна дуже цікава історія, про яку ми розповімо детальніше.

Все почалося в 1964 році, коли двох молодих радіоастрономів Арно Пензіаса і Роберта Вілсона взяли на роботу у фірму "Лабораторії Белл" для обслуговування нової радіоантени, призначеної для стеження за американським супутником "Луна". Супутник передавав на сантиметрових хвилях, і антена була найчутливішим на той час детектором хвиль у цьому діапазоні. А розміщувалася вона на пагорбі Голмдил, у штаті Нью-Джерсі, біля Нью-Йорка.

Спостереження за супутником вимагало небагато часу, і молоді вчені виклопотали згоду начальства у вільний час зайнятися дослідженнями за фахом. Існування космічних джерел радіохвиль було відкрито зовсім недавно, і їх вивчення привертало багатьох. Вілсон, наприклад, давно поривався досліджувати радіовипромінювання газового ореолу, що оточував, на його переконання, наш Чумацький Шлях.



Мал.2. Пензіас і Вілсон вибрали для перевірки "порожню" довжину хвилі 7,35 сантиметра, направили свій розтруб у небо і миттєво зрозуміли, що антена не в порядку, тому що вона реєструвала сторонній сигнал.

Насамперед, проте, слід було виключити можливі радіозавади, а для цього перевірити антену на такій довжині хвилі, яку очевидно не випромінюють жодні небесні джерела. Пензіас і Вілсон вибрали для перевірки "порожню" довжину хвилі 7,35 сантиметра, направили свій розтруб у небо і миттєво зрозуміли, що антена не в порядку, тому що вона реєструвала сторонній сигнал. У нього була дуже низька температура, але найдивніше полягало в тому, що його величина не змінювалася навіть під час систематичного огляду всього небосхилу. Сигнал, що йшов від будь-якого космічного джерела, Сонця або Чумацького Шляху, не міг покривати рівномірно все небо. Виглядало так, ніби він приходив від Всесвіту в цілому.

Спроби Пензіаса і Вілсона усунути загадкову перешкоду розтягнулися майже на рік. За цей час незалежно від них відбулося декілька подій. Фізик Джим Піблз, учень видатного експериментатора Дікке, прочитав лекцію в сусідньому Принстонському університеті. Цю лекцію почув радіоастроном з Вашингтона Тернер і розповів про неї своєму колезі Бурку. А цей Бурк випадково виявився приятелем Пензіаса. У підсумку цього ланцюжка випадковостей Бурк, почувши від Пензіаса в телефонній розмові про настирливу перешкоду, порадив йому звернутися по допомогу до Дікке у Принстон, тим паче, що це поряд. Пензіас знав Дікке і його групу, знав навіть, що вони затіяли якийсь радіоастрономічний проект, але який саме, не мав поняття. І добре, що не мав, інакше б не отримав Нобелівську премію.

На той час у Принстоні практично вже була готова установка для пошуку залишкового випромінювання. Говорять, що коли Дікке на дзвінок Пензіаса зняв трубку і почув про "неусувну перешкоду" і її дивні особливості — ізотропність і низьку температуру, він обернувся до своїх учнів, що випадково опинилися в кабінеті, і сказав їм: "Хлопці, нас обскакали". Він миттєво зрозумів, що молодим радіоастрономам на Голмдилі посміхнувся нечуваний успіх: самі того не знаючи, не розуміючи і, по суті, навіть не шукаючи, вони зробили одне з найбільших відкриттів століття — виявили те залишкове випромінювання, в якому відобразилася зовнішність Всесвіту на вогненному початку його довгого життя. Фактично вони "прорубали вікно" в неймовірне вселенське рання, де ховалися таємниці Великого Вибуху.

Дікке з учнями приїхали на Голмдил, переконалися, що їх дійсно "обскакали", і швиденько домовилися: Пензіас і Вілсон пишуть в "Астрофізичний журнал" про своє відкриття, а Дікке з учнями направляють туди ж теоретичну статтю з поясненням ▶

цих результатів. Пензіас і Вілсон були задоволені: вони не хотіли пов'язувати своє відкриття з тим або іншим тлумаченням. Ця обережність пішла їм на користь. Прочитавши статтю Дікке та його учнів, Гамов ошаленів, адже його внесок у цю справу в ній було просто проігноровано. Послідував обмін роз'ясненнями, але це не допомогло. В середовищі фізиків виникло відчуття якоїсь незручності, майже скандалу, тим паче, що Альфер і Харманн незабаром після цього взагалі пішли з фізики. В результаті, коли в 1978 році зайшла мова про Нобелівську премію за відкриття залишкового випромінювання, ніхто із задіяних у скандал теоретиків її не отримав — вона була розділена між Пензіасом і Вілсоном.

Залишкове випромінювання, випущене Всесвітом у віці 300 тисяч років, було свого роду віконцем, що дозволяло "побачити" процес народження Всесвіту. Ученим дуже хочеться зрозуміти, що тоді відбувалося, але вони мають для цього лише теоретичні можливості. Гіпотез багато, а вибрати між ними дозволяють лише експериментальні дані. Відкриття залишкового випромінювання якраз і принесло перші такі дані. Тут зауважимо, що залишкове випромінювання видатний астрофізик І.С. Шкловський назвав "реліктовим випромінюванням" і цей термін широко використовували в публікаціях радянської доби, а на Заході закріпилась назва "мікрохвильове випромінювання" — саме цей термін часто зустрічаємо в публікаціях, присвячених вивченню анізотропії залишкового випромінювання.

Поступово, у міру того як інші вчені услід за Пензіасом і Вілсоном досліджували його на різних міліметрових, сантиметрових і дециметрових хвилях, з'ясувалося, що його спектр (розподіл енергії за різними довжинами хвиль) близький до спектра рівноважного теплового випромінювання, начебто його випромінювало тіло, нагріте приблизно до трьох градусів Кельвіна. І на всіх довжинах хвиль воно демонструвало дивовижну постійність: у будь-якій точці неба його температура була однаковою. Отже, в момент "розщеплення світла з речовиною" всі ділянки Всесвіту, що випромінювали, також мали однакову температуру, тобто перебували, як кажуть, у тепловій рівновазі одна з одною.

Але якщо вдуматися, в цьому прогнозі була якась неув'язка. Якщо Всесвіт був абсолютно однорідним, як могли утворитися ті галактики, які ми бачимо сьогодні? А тим паче той складний просторовий візерунок, який вони утворюють, збираючись у величезні плоскі скупчення на зразок "стінок", що розгороджують космос на "порожні комірки", а також у "струни", що прорізають ці "стіни"?

Теорія Великого Вибуху вирішувала питання про походження галактик, припускаючи, що випадкові згустки речовини, які стали зародками майбутніх галактик, утворилися значно пізніше за "розщеплення світла з речовиною". Але підрахунки теоретиків показали, що у такому разі ці зародки навіть за 15 мільярдів років не могли утворити таку складну просторову структуру, яку спостерігають сьогодні. Проте ті ж підрахунки поступово почали виявляти в стандартній теорії Великого Вибуху й інші суперечності, настійливо вимагаючи рішення. Такі рішення теоретиками було запропоновано, але для їх перевірки потрібний був тонший "щуп", ніж перша груба карта залишкового випромінювання Пензіаса-Вілсона, що дозволяла розрізнити лише деталі більше десяти кутових градусів.

У лабіринті суперечностей

В останню чверть двадцятого століття моделі Фрідмана, що лежали в основі теорії "Великого Вибуху", стали загальноприйнятими й увійшли до підручників. Проте, як мовить французьке прислів'я, диявол ховається в деталях. З часом накопичувалися теоретичні питання, що не мали відповіді, а також нез'ясовні результати астрономічних спостережень.

Наприклад, з формул Фрідмана слідує, що дія гравітаційної сили спричиняє зміну геометрії простору. Проте наш світ плоский, а якщо й існує кривизна, то дуже й дуже слабка. Щоб світ був сьогодні таким, потрібно, щоб густина речовини у початковий період була неймовірно близькою до деякого "критичного значення". Досить перевищити значення густини всього лише на 10^{-57} відсотка, і тоді гравітаційні сили встигли б зупинити розширення і стиснути Всесвіт ще до теперішнього часу. А якби густина речовини у початковий момент існування Всесвіту була на таку ж малу величину менша за критичну, то швидкість розльоту галактик стала б набагато більшою від спостережуваної, стягуючі гравітаційні "ремені" були б дуже слабкими, щоб стримати швидке розширення світу.

Всесвіт міг народитися з будь-якою кривизною, у нього була нескінченна кількість варіантів, але він чомусь з величезною точністю вибрав саме "критичну густину" і плоску геометрію. У теорії Фрідмана на це немає відповіді. Вірогідність випадкового збігу вкрай мала, швидше величезний камінь у результаті броунівського руху складових його частинок сам по собі влетить у вікно другого поверху!

Отже, теорія не пояснює найголовнішого — геометрію Всесвіту.

Не пояснює вона й особливості розподілу речовини у просторі. У молодому розжареному Всесвіті, який стрясали могутні ядерні процеси, розподіл речовини був вельми нерівномірним, а отже, ізольовані одна від одної неоднорідності, що швидко віддалялись унаслідок розширення простору, мали б зберегтися аж до наших днів. Проте середня густина речовини в протилежних частинах небосхилу і властивості реліктового випромінювання, яке йде звідти, практично не розрізняються.

Що ж могло їх зрівняти, якщо швидкий розліт виключав їх перемішування?

Залишалося загадкою, чому акт народження відбувся саме п'ятнадцять — двадцять, а не сто, двісті або ще скількись мільярдів років тому? І що б не говорили, але сам факт спонтанного народження Всесвіту "з нічого" схожий на містичне диво.

Створюється враження, що ми маємо справу лише з фрагментами якоїсь ▶

величезної картини, яку ми ще не розуміємо.

Гус, Лінде і теорія "інфляції"

Теоретики, які розмірковували над парадоксами теорії "Великого Вибуху", поступово прийшли до висновку, що ця теорія чогось не враховує, і вони забили на сполох. Дікке і Піблз (ті принстонські теоретики, які заледве не отримали Нобелівську премію разом з Пензіасом і Вілсоном) стали роз'їжджати з лекціями, на яких сповіщали колег про ситуацію, що склалася. Одну таку лекцію ("Чому наш Всесвіт такий плоский?") Дікке прочитав у Балтиморі, і там одним з його слухачів був молодий теоретик, співробітник Массачусетського технологічного інституту Алан Гус. Йому то й було призначено запропонувати першу чітку відповідь на всі ці питання. Узимку 1979 року (він навіть помітив у щоденнику дату — 6 грудня) йому спало на думку, як можна вирішити парадокси стандартної теорії Великого Вибуху, перелічені в лекції Дікке. Ще близько року в нього пішло на строгу розробку того, що згодом стали називати "новою", або "інфляційною теорією Великого Вибуху". Сьогодні вона є основною в сучасній космології, всі інші теорії й гіпотези так чи інакше відштовхуються від неї.

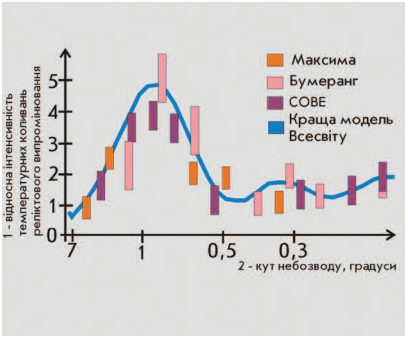
Свій сценарій А. Гус виклав у статті "Всесвіт, що розширюється: можливе рішення проблеми горизонту і плоскої геометрії". Основною його відмінністю від традиційної теорії Великого Вибуху став опис народження Всесвіту в період з 10^{-35} до 10^{-32} с. Гус припустив, що швидкість розширення Всесвіту була високою протягом тривалішого часу, ніж передбачали раніше. Приблизно через 10^{-35} с Всесвіт перейшов у стан псевдовакууму, за якого його енергія винятково велика. Тому розширення (роздування) відбувалося швидше, ніж згідно з теорією Великого Вибуху.

Найцікавішим в історії Алана Гуса є те, що він не був фахівцем з космології, а спеціалізувався у фізиці елементарних частинок, і на той час був зайнятий пошуками рішення іншого парадоксу в своїй галузі, так званого парадоксу магнітних монополів — гіпотетичних частинок, що мають тільки один магнітний полюс. З теорії випливало, що такі монополі повинні мати величезну (для частинки) масу й у Всесвіті їх має бути не менше, ніж протонів або нейтронів. Не помітити їх здавалося неможливим, проте ніхто їх чомусь не міг виявити.

Роздумуючи над щойно прослуханою лекцією Дікке, Гус раптом зрозумів, що всі труднощі можуть бути усунені в один і той же спосіб. Справді, варто допустити, що на самому початку існування Всесвіт пережив період швидкого й величезного, як кажуть — експоненціального розширення ("інфляції"), і ці труднощі зникнуть. За рахунок такого додаткового розширення межі Всесвіту відсунуться так далеко, що в спостережуваній його частині залишиться дуже мало монополів. З іншого боку, це розширення "розтягне" Всесвіт, як надування розтягує повітряну кульку. Поверхня кульки при великому роздуванні стає (на невеликих ділянках) практично плоскою, і простір Всесвіту після інфляції мав стати (у невеликих об'ємах, наприклад, в об'ємі видимої нами частини Всесвіту) також практично "плоским", причому незалежно від початкових умов, не вимагаючи ніякої їх "тонкої підгонки".

Нарешті, якщо Всесвіт за час інфляції дуже збільшився в розмірах, то це означає, що те, що ми бачимо зараз великим, наприклад, видима частина Всесвіту, до інфляції було дуже й дуже маленьким. Всі його ділянки в той час цілком могли обмінятися енергією і прийти в теплову рівновагу; тому немає нічого дивного в тому, що в сьогоднішньому залишковому випромінюванні точки, які перебувають навіть на протилежних краях небосхилу, мають однакову температуру.

Єдиною ще не вирішеною в теорії проблемою було питання про утворення галактик, точніше, їх зародків у ранньому Всесвіті. Щоб відповісти й на це питання, Гус припустив, що в якийсь момент інфляція припинилася так само різко, як і розпочалась. Швидкість розширення Всесвіту різко впала, і, подібно до того, що ▶



Мал. 3. "Відлуння Великого Вибуху": результати вимірювань реліктового випромінювання, проведених телескопами "Бумеранг" і "Максима", а також супутником "СОВЕ", чітко вписуються в модель "плоского Всесвіту": 1 — відносна інтенсивність температурних коливань реліктового випромінювання; 2 — кут небозводу, градуси; 3 — "Максима"; 4 — "Бумеранг"; 5 — "СОВЕ"; 6 — краща модель Всесвіту.

Мал. 4. Такий вигляд міг би мати наш Всесвіт: сферичний, плоский (евклідів) або гіперболічний. Недавні дослідження, проведені з допомогою телескопів "Бумеранг" і "Максима", остаточно довели, що ми живемо у плоскому Всесвіті, який вічно розширюватиметься.

Модель Гуса використовує уявлення про "хибний" вакуум, з якого почалася інфляція Всесвіту. Такий вакуум відрізняється від "істинного" (тобто від стану з найнижчою густиною енергії) тим, що може мати величезну енергію. Порушення принципу енергодомінантності, властиве вакууму, наділяє його від'ємним тиском, який приводить до гравітаційного відштовхування, що забезпечує роздування Всесвіту. Під час розширення хибного вакууму його повна енергія не зменшується, а зростає.

В цілому "хибний" вакуум — симетричний, але енергетично невигідний, нестабільний стан, тобто він прагне до розпаду. Квантовий розпад вакууму і знаменує собою кінець фазового переходу й припинення інфляції. Нова фаза є "справжнім" вакуумом, для якого виконується умова енергодомінантності.

Всесвіт переходить під владу гравітаційного тяжіння, й експоненціальне розширення закінчується. Завдяки первинному імпульсу, отриманому в період інфляції, він продовжує розширюватися, але швидкість з часом зменшується, як у теорії гарячого Всесвіту.

Перехід зі стадії інфляції на стадію, яку описує теорія гарячого Всесвіту, є основною трудністю для моделі Гуса. Річ у тому, що для того, щоб енергія, яка виділяється під час фазового переходу, перейшла в теплову енергію Всесвіту, необхідне зіткнення стінок величезних "бульбашок-всесвітів" за великої густини. Це суперечить малій швидкості їх утворення, необхідній для уповільнення фазового переходу, й, отже, для значного роздування Всесвіту. Окрім того, зіткнення бульбашок мають приводити до порушення однорідності й ізотропності Всесвіту після роздування, що суперечить спостережним даним.

відбувається під час будь-якого різкого гальмування, виділилася величезна енергія, яка негайно, за законом еквівалентності маси й енергії, перетворилася в речовину. Але під час цього перетворення енергії в речовину і назад діють закони квантової фізики, а серед них є відоме співвідношення невизначеності Гейзенберга, яке, грубо кажучи, означає, що енергія, яка виникла в момент закінчення інфляції, не в усіх точках Всесвіту була однаковою, в ній були мікроскопічні, як кажуть, квантові, флуктуації густини! Там, де вона була трохи більшою, щільність речовини, що з'явилась, теж опинилася трохи більшою, і навпаки. Іншими словами, квантові флуктуації енергії привели до мікроскопічних неоднорідностей речовини. Це й були зародки майбутніх галактик.

Виникає питання: чому подальше (постінфляційне) розширення Всесвіту не розірвало ці зародки? Відповідь вражаюча: темпи цього (вже рівномірного, а не експоненціального, як при інфляції) розширення були дуже малі, щоб пересилити стягуючу дію гравітації. Було виконано комп'ютерне моделювання цього процесу й показано, що гравітація в умовах бодай незначного перевищення густини над середньою починає дуже швидко притягати до цього ущільнення навколишню речовину, і це спричиняє до дуже швидкого зростання зародка.

Теорія інфляції передбачає існування й інших процесів, пов'язаних із зародками майбутніх галактик. Коли ці згусточки виникають, вони "розштовхують" навколишню речовину. Від цього поштовху виникає хвиля, яка потім біжить по всьому об'єму, обмеженому "горизонтом" хвилі (вже не світлова, а механічна, звукова). Хвилі, породжені різними флуктуаціями, пронизують весь об'єм, створюючи в ньому систему ущільнень і розріджень речовини. Всесвіт "звучить" — він співає пісню свого творення. Це триває мільйони років. У момент розщеплення світла й речовини звільнене світло (майбутнє залишкове випромінювання) розсіюється на цих вузлах і мікроскупченнях. Там, де речовина трохи густіша, світло має долати сильніше тяжіння цієї речовини — воно втрачає енергію і стає трохи холоднішим.

Як бачимо теоретики передбачили існування анізотропії реліктового випромінювання. Згідно з їх розрахунками, карта залишкового випромінювання має бути поцяткована плямами нижчої температури розміром в один кутовий градус і менше. Карта Пензіаса й Вілсона їх не могла показати, тому що її роздільна здатність була дуже малою. Для того, наприклад, щоб з'ясувати, чи існували зародки галактик вже в ранньому (гарячішому) Всесвіті, потрібна була карта з роздільною здатністю вищою в десять разів.

По всьому тому вирішено було запустити в космос спеціальний супутник, який би "зняв" цю карту без земних перешкод і з допомогою чутливіших приладів. Цей супутник, що отримав назву COBE (Cosmic Background Explorer), був запущений NASA в 1989 році і його прилади були розраховані спеціально на те, щоб знайти або не знайти (що означало б крах інфляційної теорії) неоднорідності в залишковому випромінюванні. Збір даних і їх обробка зажадали такого часу, що результати було оголошено лише в 1992 році. Вони викликали сенсацію. На другій "фотографії минулого", зробленій з роздільною здатністю в один кутовий градус, було виявлено вражаючі деталі, які науковий керівник експерименту Джордж Смут метафорично назвав "зморшками часу" на "обличчі Бога". Його фраза облетіла увесь світ, зробила його знаменитим і принесла йому гонорар в 600 тисяч доларів за книгу про ці "зморшки", а також докори з боку деяких колег.

Саме ці "зморшки часу" й були слідами галактичних "зародків", які виросли за 300 тисяч років з постінфляційних квантових флуктуацій раннього Всесвіту. Виходить, картина народження Всесвіту "по Гусу" виявилася правильною? А інфляційна теорія Великого Вибуху (на відміну від колишньої, "стандартної") — абсолютно вірною?

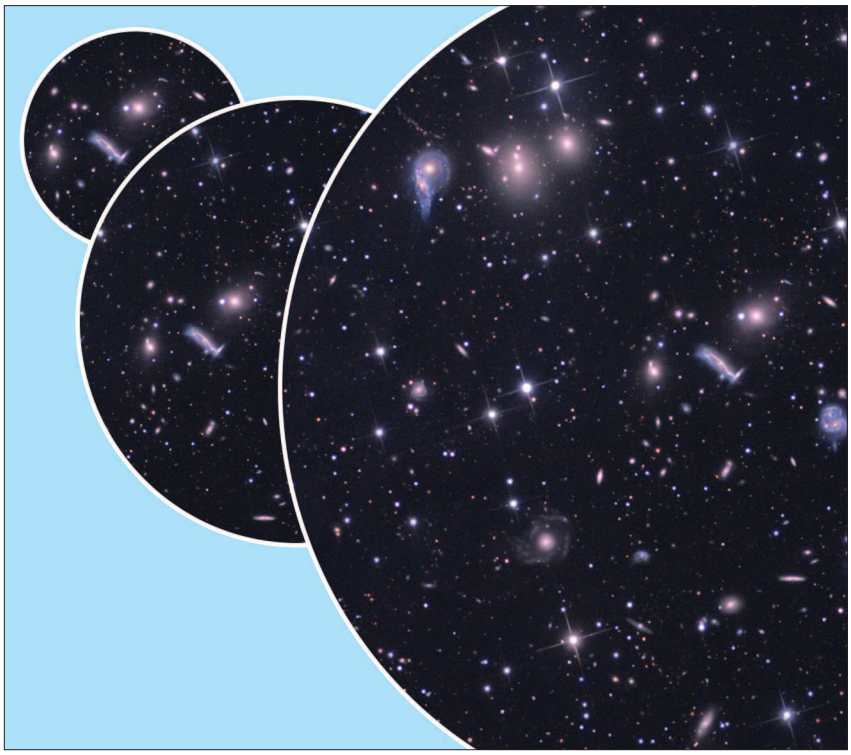
Тут зробимо ще одну обмовку й невелике уточнення. Ідеї, висловлені американцем А. Гусом, практично ▶

в той же час висунув і московський фізик А. Лінде. Фактично А. Гус і А. Лінде повернулися до ідеї нескінченного Всесвіту, безмежного у просторі та часі. Але річ у тім, що абсолютно порожній простір насправді зовсім не порожній. Квантова механіка й досліди фізиків довели, що він заповнений "смогом" величезної кількості частинок, що швидко народжуються й тут же зникають. За час свого швидкоплинного життя вони не встигають вийти за межі мікроскопічних просторових об'ємів, де народилися, і ми їх просто не відчуваємо. На ультрамалих ділянках близько 10^{-33} сантиметра (це в стільки ж разів менше за атом, в скільки звичайна житлова кімната менша за розміри видимої нами частини Всесвіту) можливе спонтанне народження матеріальних "крапельок" величезної щільності. У деяких з них внутрішній тиск такий великий, що "крапелька" почне стрімко розширюватися, перетворюючись на космічно величезний світ.

Заряджений енергією простір, що майже миттєво розширився, схожий на перенасичений розчин, який починає кристалізуватися, перетворюючи енергію вакууму на енергію речовини. При цьому, як завжди буває під час кристалізації (пригадаймо ослаблення морозу при випаданні снігу!), температура різко підвищується, і кожна мала ділянка простору перетворюється на вогненний вибух-фейєрверк. Ось це і є початок фрідманівського розширення. Одночасно співіснує незліченна кількість світів, що народжуються й роздуваються розпухаючим простором до величезних космічних розмірів.

Нескінченна у просторі та часі, багатоповерхова, неймовірно складна структура світів-всесвітів, і серед них фрідманівський світ, у якому ми живемо, лише одна зі сходинок!

Включення дофрідманівської фази практично миттєвого розширення квантової "крапельки" пояснює, чому наш світ такий близький до плоского, а його властивості однакові по всіх напрямах: процес розширення розгладжує його кривизну, а густина речовини в усіх незліченних фрідманівських світах точно відповідає



Мал. 5. Включення дофрідманівської фази практично миттєвого розширення квантової "крапельки" пояснює, чому наш світ такий близький до плоского, а його властивості однакові по всіх напрямах.

плоскому Всесвіту, і її розподіл за різними напрямами виявляється однаковим тому, що вони рівноправні. Речовина встигає переміститись у процесі "випадання в осад" ще в дофрідманівському Всесвіті.

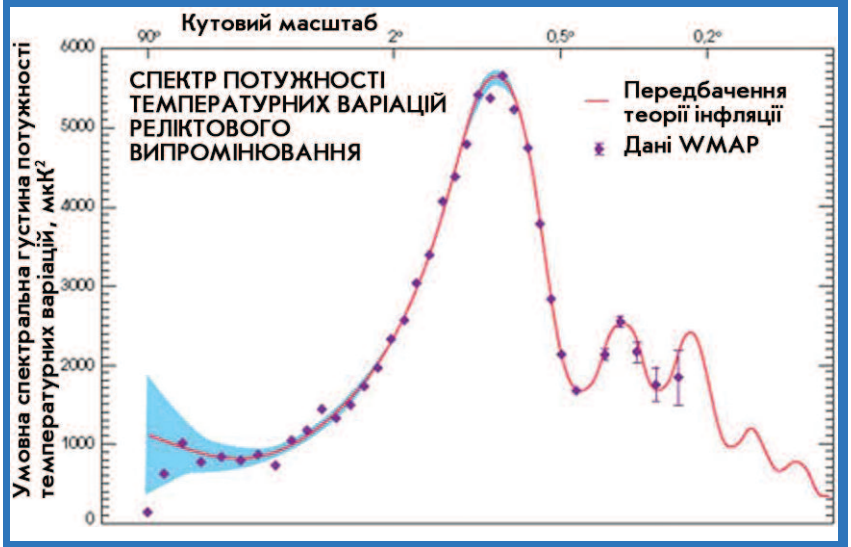
Здавалося б, вдалося ув'язати всі факти. Формули теорії відносності й числові розрахунки міцно скріплюють картину піноподібного Всесвіту. Проте експериментальна техніка вдосконалюється надзвичайно швидко, і незабаром астрономи знову стали виявляти неув'язки в деталях, які наростали, розмиваючи струнку теорію.

За темною масою ховається невідомий Всесвіт?

До 70-х років минулого століття астрофізики наївно припускали існування темної маси тільки в скупченнях галактик. Потім її "допустили" і в нашу Галактику, де на неї припадає приблизно стільки ж маси, скільки й на звичайну матерію. На відміну від баріонної матерії, яка концентрується до центра Галактики, утворюючи класичний диск, темна маса розподілена більш рівномірно в гало, що охоплює Галактику гігантською сферою. У цьому сенсі навколо й усередині нашої зоряної системи є ще одна галактика. Темна маса жодним чином не взаємодіє з випромінюванням будь-яких видів, не світить сама і нічого не поглинає. Але вона підкоряється закону всесвітнього тяжіння і проявляє себе, концентруючись навколо галактик та інших масивних об'єктів.

Втім, напевно, правильніше сказати, що це галактики та інші масивні об'єкти концентруються навколо скупчень таємничої темної маси, якої в 6 разів більше. Власне неоднорідності розподілу темної маси, які виникали на ранніх етапах розвитку Всесвіту, привели до утворення перших протогалактик. Ба більше, аналіз спостережень супутника WMAP (див. мал. на стор. 16) показує, що вона вже існувала в момент Великого Вибуху. Без неї наш світ не міг виникнути. Окрім тяжіння темна маса нічим себе не проявляє. ▶

Небо в цятку



Досліджувати анізотропію реліктового випромінювання ученим допомагають сучасні штучні супутники Землі. Найцінніші дані вдалося отримати з допомогою космічного зонда WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe), названого так на честь астрофізика Девіда Уїлкинсона (David Wilkinson). Роздільна здатність його апаратури у 30 разів вища, ніж у його попередника космічного апарата COBE.

Раніше вважали, що температура неба рівна 2,7 К, проте WMAP зміг виміряти її з точністю до 10^{-5} К з високою кутовою роздільною здатністю. Згідно з даними, отриманим за перший рік спостережень, небо виявилося неоднорідним: десь гарячіше, а десь холодніше. Прості моделі інфляційної теорії передбачили брижі на небі. Але поки телескопи не зафіксували його плямистість, спостерігали лише тригадусне випромінювання, що було найсильнішим доказом теорії гарячого Всесвіту. Тепер же з'ясовано, що теорія гарячого Всесвіту не може пояснити нові дані.

Вдалося отримати фотографії роздутих квантових флуктуацій, які з'явилися через 10^{-30} с після народження Всесвіту і збереглися до наших днів. Дослідники не тільки виявили плямистість неба, але й вивчили спектр плям, тобто інтенсивність сигнала на різних кутових напрямах.

Результати проведених з допомогою WMAP високоточних вимірювань поляризації випромінювання підтвердили теорію розширення Всесвіту й дозволили встановити, коли відбулася іонізація міжгалактичного газу, спричинена найпершими зорями. Отримана з супутника інформація підтвердила положення інфляційної теорії про те, що ми живемо в великому плоскому Всесвіті.

На малюнку (вгорі) лінією показано прогноз інфляційної теорії, а крапки відповідають експериментальним даним WMAP. Якби Всесвіт не був плоским, то пік графіка лежав б правіше або лівіше.

Теорія інфляційної моделі з λ-членом і холодною темною речовиною пояснює багато властивостей Всесвіту. Але під час аналізу деяких спостережних даних у неї з'явилися серйозні проблеми. Наприклад, коли астрономи розділили просторові флуктуації цього реліктового випромінювання на окремі моди, подібно до інструментів в оркестрі, то в рамках цієї аналогії виявилось, що в "небесному оркестрі" контрабас і труба грають не в лад, та ще й дуже тихо.

Дані спостережень можуть бути спотворені, наприклад, присутністю газу біля кордонів Сонячної системи. Але навіть у цьому разі деякі висновки теорії інфляції доводиться ставити під сумнів.

Передбачають, що вона складається з якихось невідомих елементарних частинок з парадоксальними властивостями (для них вже запропонована назва: "нейтраліно"). Вони не тільки не реагують на випромінювання, але й практично не взаємодіють між собою. Багато дослідників вважають, що вони залишалися холодними навіть під час Великого Вибуху, ніяк не реагуючи на його температуру в мільярди градусів. Про них немає жодних, абсолютно ніяких експериментальних даних, окрім гравітації. Зате є дуже наукова назва: "холодна темна матерія". Чи є темна маса прямо тут, поряд з нами, чи, щоб її відчути, потрібна вся Галактика? У наш час звичайна і темна матерії існують по сусідству, але властивості у них різні. Темна матерія розсіяна у сфері, що оточує Галактику, а звичайна сконцентрована в диску й центральних частинах Галактики, хоча це, звісно, не означає, що темної матерії немає навколо й усередині нас.

Але ж яку природу могли б мати гіпотетичні елементарні частинки темної маси? Є тільки припущення теоретиків, причому близько десяти варіантів. По-перше, частинки темної маси мають бути довгоживучими, не повинні шляхом радіоактивного розпаду ділитись щонайменше впродовж 14 000 000 000 років. Оскільки вони залишалися холодними під час Великого Вибуху, то, вони нерелятивістські (повільні) і тому здатні були створити гравітаційні неоднорідності точно в момент вибуху. Кандидатами на роль частинок темної маси називають слабко взаємодіючі масивні частинки (англійська абревіатура WIMPs), яким теоретики приписують цікаві властивості, але які, на жаль, ще не відкрито. Що вже відомо, так це густина темної маси. У міжгалактичному просторі, в кубі зі стороною 170 000 км (половина відстані до Місяця), міститься в середньому лише 1 г звичайної, баріонної (що світиться), речовини і близько 10 г темної маси. Поблизу Землі-Місяця (і взагалі в Сонячній системі) густина звичайної речовини в мільйони разів більша. Але в цілому Всесвіт — це головним чином порожнеча (а краще сказати — вакуум). ▶

У кінці XX століття вважали, що в формуванні Всесвіту брали участь дві гігантські сили. Згідно з цими уявленням, першим був Великий Вибух з неймовірно швидким розширенням на ранній стадії. Потім енергія і маса стали конденсуватися в елементарні частинки, атоми, зорі й галактики, що віддалялися одна від одної з великою швидкістю (мабуть, це й є швидкість розширення самого простору, хоча з цим поняттям виникає плутанина). Але друга сила, їх взаємне тяжіння, поглинала кінетичну енергію розльоту, поступово уповільнюючи рух. З'ясування характеру уповільнення й мало стати відповіддю на пропоновані сценарії подальшого розвитку подій: чи зупиниться воно коли-небудь і піде назад, або тяжіння недостатньо, й розширення, уповільнюючись, продовжуватиметься вічно.

Астрономи сподівались, що вивчення спалахів наднових зір у віддалених на різні відстані галактиках, дозволить нарешті відповісти на поставлене вище питання. І відповіді дійсно були отримані. Тільки не зовсім ті, які очікували. У справу втрутився вакуум, який, очевидно, й визначає долю Всесвіту.

Фізики й раніше вважали, що вакуум космічного простору найскладніший об'єкт природи. Але вже 100 років експериментатори ніяк не можуть до нього підступитися, хоча він у їх розпорядженні в необмеженій кількості. Квантова теорія показує, що вакуум мовби кипить елементарними частинками, які парами частинка-античастка (наприклад, електрон-позитрон) на мить з'являються на його "поверхні" (поверхні чого?) і тут же зникають. Ці пари називають віртуальними; вони всюдисущі. Ними пояснюють навіть деякі особливості спектра водню. За певних умов фізикам вдається їх "зловити".

Відкриття всесвітнього антитяжіння

Поки теоретики билися над немислимою густиною енергії вакууму, техніка експерименту досягла такого стану, який дозволив провести вимірювання яскравості Наднових, що лежать на півдорозі до видимого горизонту Всесвіту.

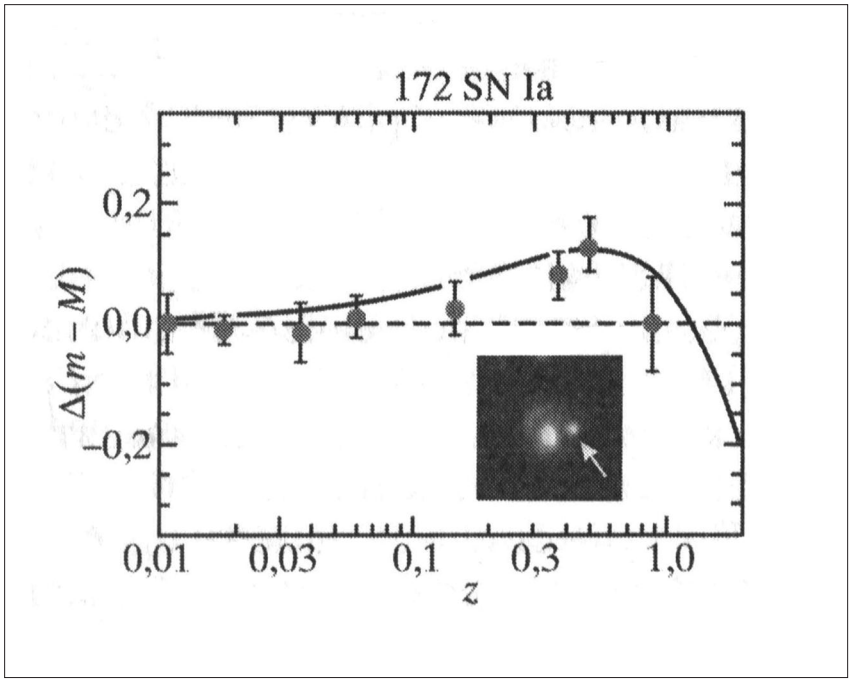
Мал. 6. Астрономи сподівались, що вивчення спалахів наднових зір у віддалених на різні відстані галактиках, дозволить нарешті відповісти на питання щодо темпів розширення Всесвіту.

Вирішальні спостереження розпочали в 1997 році дві дуже численні групи дослідників під керівництвом Адама Райса, Брайана Шмідта і Сола Перлмуттера (США). Не зайве буде нагадати, що спостерігаючи далекі об'єкти, астрономи вимірюють спектр і яскравість світла, яке ті випромінюють. Вивчення спектра дозволяє визначити швидкість об'єкта, а порівняння яскравості різних небесних тіл дозволяє судити про їх віддаленість: якщо спостерігати однакові об'єкти, їх яскравість буде тим меншою, що далі вони лежать від спостерігача.

Варто, проте, мати на увазі, що вимірювання "небесних швидкостей" можуть бути вельми неточними, оскільки яскравість небесного об'єкта може зменшуватись не лише внаслідок його більшої віддаленості, але й завдяки особливостям фізичних процесів, що протікають у ньому. Підібрати ж приблизно однакові за властивостями однотипні об'єкти зовсім не просто.

Найбільш надійно це можна зробити, якщо у якості джерел світла вибрати могутні спалахи, що супроводжують грандіозні вибухи Наднових, і відібрати Наднові особливого типу — зі специфічним характером наростання й подальшого загасання світності. Такі Наднові виникають в результаті ядерних процесів добре вивченого типу. Ясна річ, вибухи навіть таких Наднових дещо відрізняються один від одного, але, спостерігаючи зміну їх світності, можна ввести відповідні поправки й достатньо точно порівняти їх світності. З погляду астрономів, такі Наднові, що піддаються калібруванню, подібно до ліхтарів уздовж шосе, відзначають кілометри в далекому космосі.

Відкриті американськими й австралійськими вченими віддалені об'єкти з незвичайною світністю є якраз ▶



Мал. 7. Спостереження дуже далеких Наднових типу *Ia*. По горизонталі відкладено червоне зміщення z, по вертикалі — різницю між теоретичною яскравістю *m* і реально спостережуваною *M*. На врізці показано далеку галактику та її Наднову, яка світила лише впродовж одного місяця мільярд років назад. Через велике червоне зміщення і Наднова, і сама галактика мають червоний колір.

такими "ліхтарями". Зіставляючи їх властивості з параметрами ближчих "ліхтарів", астрономи виявили, що вони перебувають у просторі значно далі, ніж це мало б бути, рухайся вони з постійною швидкістю або з уповільненням. Інакше кажучи, розширення простору відбувається не рівномірно, як вважали раніше, а з прискоренням — з розгоном. У Всесвіті є якась невідома нам "пружина", яка не лише долає стягуючу дію всесвітнього тяжіння, але й усупереч фрідманівській теорії змушує світ збільшувати свої розміри в наростаючому темпі. Щось подібне до антигравітації, слабкої й непомітної на малих відстанях, але яка визначає крупномасштабну структуру й довгострокову історію Всесвіту.

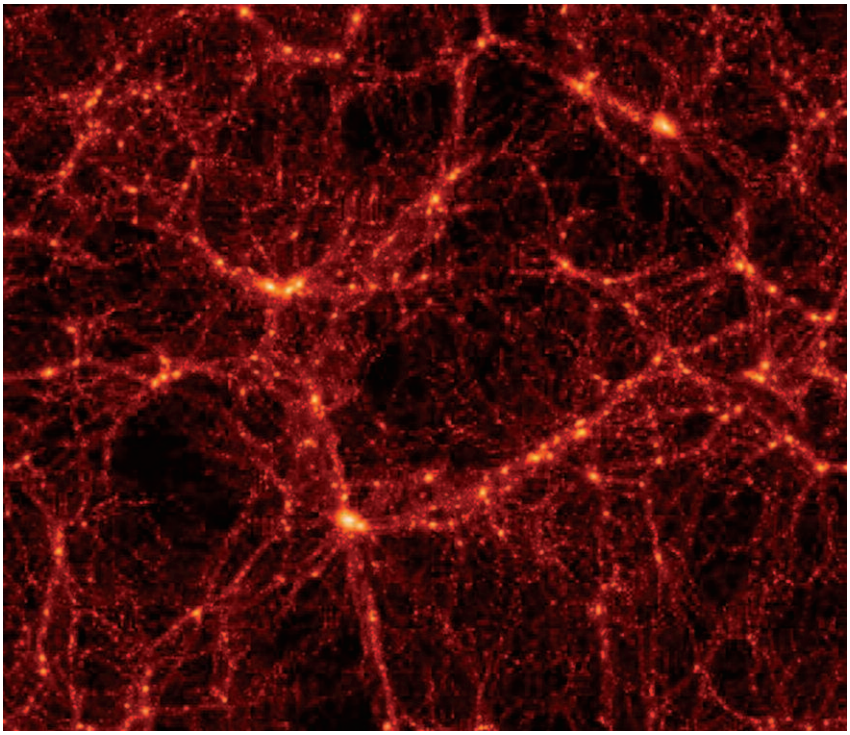
Результати, що привели до таких висновків, було отримано й опубліковано вже в 1998 році. А 20 червня 2003 року вийшов тематичний номер наукового журналу "Science" (№ 5627) з чорною обкладинкою, на якій є ледве помітний напис чорною фарбою "The Dark Side" (Темна сторона). Таке кокетування для журналу "Science" абсолютно незвичне. Журнал подав чотири статті провідних дослідників, які зіставили результати спостережень далеких Наднових, темної матерії й залишкового випромінювання. Перші підсумки виявилися такими: постійна Габбла дорівнює 72±8 км/с на кожен мільйон парсеків. Вік Всесвіту 13,6 ±1,5 мільярда років (ще точніше визначення віку Всесвіту отримано в експерименті на супутнику WMAP 13,7±0,2 мільярда років). Всесвіт на 72% складається з темної енергії і на 28±5% з темної маси. Всі ці поняття останніми роками визріли головним чином у двох галузях науки: в космології і квантовій механіці, яку намагаються об'єднати з теорією гравітації (вона ж загальна теорія відносності).

Наочно результати спостережень дуже далеких Наднових показано на мал. 7. По горизонталі відкладено червоне зміщення z, яке відповідає відносній величині зміщення довжин хвиль спектральних ліній Наднової. Якщо z=0,5, то це відповідає приблизно 1/3 відстані до видимого горизонту Всесвіту; z=1 — Всесвіт у віці 6 мільярдів років; z=6 — молодий Всесвіт, 1 мільярд років. По вертикалі показано різницю між теоретичною яскравістю Наднової в порожньому просторі й реально спостережуваною її яскравістю. Як уже мовилось, далекі галактики ми бачимо такими, якими вони були мільярди років тому. Відповідно такими тоді були і властивості простору, в якому вони перебували. Якщо відтоді розширення сповільнилося, це мало б бути видно з вимірювань. Що ж показав експеримент? Вже при z=0,5 яскравість Наднової виявляється на 25% меншою від теоретичної. Але при z= 1 замість зменшення яскравість зростає. Крива на мал. 7, з якою добре узгоджуються вимірювання, описує теоретичну модель. (У ній співвідношення густини енергії вакууму й речовини становить 0,7 до 0,3.) Висновки є такими. Величина червоного зміщення z=1 — це той час, до якого все йшло приблизно так, як передбачала теорія: швидкість розгону галактик під дією всесвітнього тяжіння поступово сповільнювалася. Аж до віку в 7 мільярдів років рух галактик через гравітацію скеровувала матерія. Але далі в їх русі відбулися зміни. Замість уповільнення галактики стали прискорюватись, причому їх прискорення експоненціально наростає протягом останніх 5 мільярдів років. Всесвітнє тяжіння змінилося всесвітнім відштовхуванням, або антигравітацією! Ми живемо приблизно в середині періоду, коли темна маса (разом зі звичайною речовиною) втратили домінуючу роль і поступилися темній енергії. Коли вік Всесвіту становив 7 мільярдів років, їх відношення було 10:1. Через 14 мільярдів років відношення стане зворотним, 1:10 (або 10:1, але вже на користь темної енергії). Властивості антигравітації дивовижні. Нам видається природним, що мандрівник, який відправився з пункту *А* в пункт *Б*, віддаляючись від *А*, наближається до *Б*. Але мандрівники на міжгалактичному кораблі віддаленого майбутнього зможуть побачити, що антигравітація віддаляє від них всі пункти одночасно. ▶

Як бачимо на існування антигравітації вказують і результати досліджень залишкового випромінювання, і спостереження Наднових. Джерело антигравітації, темна енергія, є незрівнянно більшою загадкою, ніж темна маса. Мабуть, уплив темної енергії існував завжди, але став виявлятися лише тоді, коли сили гравітації Всесвіту стали слабшими через його розширення. Найбільш підходящим кандидатом на роль темної енергії є вакуум. Хоча є й інша гіпотеза: космічне прискорення можна пояснювати ослабленою формою тих страхітливих сил, які порозкидали матерію в момент Великого Вибуху. По суті, це заміна одного невідомого явища іншим, ще більш невідомим, або, можливо, просто заміна назви. Невідомо навіть, чи той вакуум сьогодні править у Всесвіті, що був у момент його народження, і чи той це вакуум, який в лабораторіях вивчають фізики. Учені роздумують, чи стискається темна енергія і чи не змінювалися її властивості в часі. Теоретичні дослідження вказують на абсолютно фантастичну, з погляду здорового глузду, властивість вакууму: він повинен мати відємний тиск, причому густина його енергії під час розширення залишається, як не дивно, постійною, тоді як в газовому середовищі тиск додатній. Варто зазначити, що сьогодні жодна фізична теорія ще не в змозі розрахувати не лише енергію вакууму, але і простіші величини. Наприклад, розраховані маса й електричний заряд електрона теж виходять нескінченними. У квантовій теорії гравітації таких нескінченностей дуже багато. Фізики впевнені, що майбутня теорія усуне труднощі квантової теорії, подібно до того, як остання виправила парадокси старої класичної фізики.

Створення теорії вакууму — одне з найголовніших завдань фізики XXI століття. Хтозна, можливо, сенсаційне відкриття розширення Всесвіту, що прискорюється, якраз і буде тим ключиком, який допоможе відкрити двері в багаті вакуумні підвали Всесвіту.

Є багато свідчень того, що ми стоїмо на порозі істотних змін у наших уявленнях про походження і крупномасштабну структуру Всесвіту. Не виключено, що галактики та їх кластери (об'єднання в групи) — це не останній поверх Всесвіту. Можливо, існують і крупніші структури. До того ж наш світ, мабуть, не завжди був тривимірним, а мав значно більшу кількість вимірів, які "розгубив" у процесі еволюції, але які потрібно обов'язково враховувати під час розгляду його ранньої історії і вивчаючи властивості вакууму в дуже малих об'ємах простору, де ще збереглися сліди багатьох вимірів.



Мал. 8. Є багато свідчень того, що ми стоїмо на порозі істотних змін у наших уявленнях про походження і крупномасштабну структуру Всесвіту. Не виключено, що галактики та їх кластери (об'єднання в групи) — це не останній поверх Всесвіту. Можливо, існують і крупніші структури.

Але можливо, у вимірюваннях є якась помилка, і нез'ясоване теорією збільшення відстаней та відповідне зниження яскравості далеких космічних об'єктів пов'язане з поглинанням світла міжзоряним пилом, викривленням світлових променів проміжними гравітаційними полями й іншими причинами, що не виходять за рамки загальноприйнятої теорії? Проте нічого подібного знайти не вдалося. Результати астрономічних спостережень переконують у тому, що наш світ мчить у майбутнє з розгоном, як санчата з крутої гори!

В оглядовій статті у згадуваному випуску журналу "Science" майбутнє Всесвіту описували вельми драматично. Антигравітація з часом все наростає. Через декілька мільярдів років вона призводить до "Великого розпорювання" тканини Всесвіту. Спочатку руйнуються скупчення галактик, і під дією темної енергії вони "вистрілюються" зі скупчень. В оптимістичному варіанті це відбувається приблизно через 10 мільярдів років. Через декілька сотень мільйонів років після цього наша та інші галактики розлітаються на шматки. Далі події все прискорюються. Розпадаються планетні системи, планети втрачають зв'язок із Сонцем (зорями). Руйнуються зорі і планети. Хімічні сполуки розпадаються на атоми, але й атоми втрачають стабільність: ядра не можуть утримати електрони. Під дією колосального тиску "розпорюються" протони і нейтрони. ▶

Мал. 9. Теорія безлічі всесвітів вирішує загадку, відповідь на яку до цих пір знало лише богослів'я. Внаслідок "створення світу" могли виникнути будь-які всесвіти, адже варіантів була нескінченна множина.

Приблизно такі пристрасті звучали і в деяких науково-популярних статтях та виступах, що викликало у космологів, як було прийнято писати ще недавно, "гнівне обурення". У реальнішому сценарії антигравітація мало що змінює у вже існуючих галактиках, а тим більше в Сонячній та інших планетних системах. Від антигравітації вони захищені своєю масою. Відбувається ж наступне: антигравітація справді наростає, що приводить до взаємного віддалення галактик, яке все прискорюється, і поступового відходу їх за видимий горизонт Всесвіту. У цьому сенсі простір стає все порожнішим і порожнішим. Галактики на небі того далекого часу астрономи рахуватимуть на пальцях. Але відбирати у нас Сонце (якому, до речі, до тієї пори все одно не дожити) ніхто не збирається. Таким є сценарій "Великого розпорювання" виходячи з того, що про властивості темної енергії відомо сьогодні. Але чи остаточний це сценарій?

Підведення проміжних підсумків

На початку Всесвіт був "безвидний і порожній" (Бут., 1, 2), так сказано в Біблії. На початку був вакуум, уточнюють сучасні фізики. Його наповнювала енергія. Час від часу виникали спонтанні спалахи — так звані флуктуації. Вакуум ряснів ними. У ньому панували ті ж закони, що й у світі елементарних частинок, де спокій відсутній.

Раптово одна з флуктуацій стала стрімко розростатися. Виник "лавинний ефект". "Почалася космічна інфляція" — говорять космологи і зокрема А. Лінде, професор Стенфордського університету (США). "Першовсесвіт" був меншим за атомне ядро, але за мільярдні частки секунди він розпух до розмірів справді астрономічних. Неоднорідності, що були в ньому, стали зародками галактик.

Так мікросвіт з'єднався з макросвітом. Космічна інфляція перетворила одну крайність на іншу. Неймовірно великий Всесвіт став збільшеною копією неймовірно малого світу. Дві нескінченності з'єднала одна інфляція.

Але чи було дивом народження нашого Всесвіту? Невже ця подія унікальна й неповторна? Чом би разом з цим Всесвітом не існувати ще й безлічі інших всесвітів?

Закони природи, визнаємо це, не є чимось само собою зрозумілим, чимось абсолютним. Їх не було до появи Всесвіту. Кожен Всесвіт міг би розвиватися абсолютно інакше, і всякий раз у ньому б виникали власні закони природи. Численні всесвіти, які створюють нескінченну "павутину світів", можуть мати абсолютно не такий вигляд, як наш Всесвіт.

Теорія безлічі всесвітів вирішує загадку, відповідь на яку до цих пір знало лише богослів'я. Внаслідок "створення світу" могли виникнути будь-які всесвіти, адже варіантів була нескінченна множина.

Міркуючи про безліч універсумів, тобто про "Мультиверсум", можна допускати найсміливіші теоретичні спекуляції, вважає А. Лінде. Імовірно, в інших світах якщо й виникають якісь форми життя, то зовсім інші, ніж ті, що зародилися в нашій "колисці людства". "Єдина проблема в тому, що ми не здатні зазирнути в інші всесвіти, самим фактом свого народження відгороджені від нас. Ми не можемо спостерігати за ними, і ця неможливість пригнічує будь-якого вченого".

Всі ці універсуми ми не маємо права навіть назвати такими, що "існують по сусідству один з одним" або що "існують в один і той же час" — адже ці поняття припускають наявність хоч якогось взаємозв'язку між ними. Жителі двох різних світів, вважає більшість учених, не здатні виявити один одного. Не простір, що розділяє два різні всесвіти, є непереборним бар'єром. І всяка емпірика тут недоречна.

Як же накажете ставитись до наукової теорії, яку неможливо перевірити? Віднести її до області міфів? "Біда не в тому, що такі теорії помилкові, — говорить один з критиків, — а в тому, що вони недоказові". Між ними й істиною лежить непереборна Порожнеча. Всесвіти, якщо й народжуються, як курчата по весні, то їх від нашого розуму й погляду приховує Ніщо, і зазирнути за це Ніщо, щоб дослідити чужі всесвіти, як свій, нам не дано.

І. Крячко

Статтю підготовлено на основі нижче зазначених Інтернет-джерел:

Р. Нудельман. Нечаянное открытие века.

В. Барашенков, Э. Капусцик. Какова она, наша Вселенная?

Л. Ксанфомалити. Тёмная Вселенная.

А. Грудинкин. Одна, две, миллион?.. Вселенные по вакууму считаю.

Т. Катаева. Рождение Вселенной. По материалам беседы с Андреем Линде.