

1. Утворення Всесвіту.
2. Народження галактик.
3. Гіпотези про походження Сонячної системи.

Загальна теорія відносності - наріжний камінь моделі Всесвіту. Всі уявлення про будову та виникнення Всесвіту, що з'явилися у людства до 20-х років ХХ ст можна вважати теоретичними міркуваннями, бо спостережні дані були вкрай обмежені. І все ж на основі цих даних повільно вимальовувалася картина «будівлі» Всесвіту. На основі роздумів про світ фізичних явищ, критичного аналізу механіки Галілея та Ньютона народилася теорія відносності Ейнштейна, якій було вготовано провести справжній переворот у фізиці.

Теорія відносності виходить з того факту, що всі вимірювання і зміни у просторі і часі відносні і залежать від конкретного спостерігача. Вони втрачають абсолютне значення, а сама структура простору-часу визначається тим чи іншим розподілом мас у Всесвіті. В різних частинах Всесвіту простір по-різному викривлений, і час протікає з різною швидкістю.

У загальній теорії відносності (ЗТВ) Ейнштейна гравітація - не сила (що дивовижно на перший погляд), а тільки викривлення простору-часу. Тіла рухаються по викривлених траєкторіях не тому, що на них діє сила гравітації, - вони рухаються найкоротшим, «найшвидшим» шляхом у викривленому просторі-часі. А викривляють простір-час матеріальні тіла, подібно до того, як масивна кулька прогинає натягнуту плівку.

Матерія за Ейнштейном не занурена у незалежний від неї простір-час, а нероздільно пов'язана з ним і, більше того, визначає його параметри. Звісно, може так статися, що через деякий час положення ЗТВ будуть відхилені в результаті більш досконалих експериментів, але поки що на рубежі тисячоліть вона є наріжним каменем моделі Всесвіту.

2. На самому початку ... У 1922 році німецький журнал «Цайт-шрифт фюр фізік» надрукував статтю радянського вченого О. Фрідмана, в якій він аналізував космологічну теорію Ейнштейна. На відміну від Ейнштейна, який всупереч власним висновкам із ЗТВ відстоював стаціонарність Всесвіту, на основі уважного аналізу рішення рівнянь Ейнштейна Фрідману вдалося показати, що речовина у Всесвіті не може знаходитися в стаціонарному стані, і Всесвіт з часом змінюється.

За теорією Фрідмана можливі три варіанти розвитку Всесвіту: Всесвіт закритий, відкритий і пульсуючий. Всі ці варіанти мають те спільне, що в якийсь момент часу в минулому (10 чи 20 млрд років тому) відстань між сусідніми об'єктами Всесвіту мусила бути рівною нулю, В цей момент, який називається Великим Вибухом, густина Всесвіту і кривизна простору мали бути нескінченно великими, тобто Всесвіт мав бути точкою, яку математики називають с и н г у л я р н о ю . У сингулярній точці всі сучасні закони фізики втрачають свою дію, а тому цю точку можна розглядати як математичний образ нової фізичної реальності.

В теоретичному плані сингулярність відображає «особливий» фізичний стан, у якому густина речовини, кривизна простору-часу і температура нескінченні: вся надгаряча космічна матерія буквально зібрана в точку.

Процес переходу космічної матерії з цього «точкового» стану на стадію розширення і є Великим Вибухом. Від цієї часової межі починається історія нашого Всесвіту. Що передувало Великому Вибуху - невідомо, бо людський розум поки що безсилий підняти завісу над таємницею початкової сингулярності.

3. Історія дуже раннього Всесвіту Отже, в момент Великого Вибуху розміри Всесвіту були близькими до нуля, менші за 10^{-33} см, а всі чотири фундаментальні сили природи - гравітація (характерна для кожного тіла і залежна від його маси чи енергії), електромагнітна (об'єднує електрично заряджені частинки), слабка (властива для всепроникних нейтрино) і сильна (об'єднує протони і нейтрони в ядрі атома) - були об'єднані.

Відлік часу починається від 10^{-43} с. У цей час, згідно з припущеннями, гравітація відділяється від трьох інших фундаментальних сил, а вони за надзвичайно високої енергії утворюють єдину силу.

Період від 10^{-43} с до 10^{-35} с називається епохою Великого об'єднання.

До кінця цієї епохи, за теоретичними міркуваннями, деякі області Всесвіту переохолодилися і знаходились в особливому стані, який називається псевдовакуумом або «хибним вакуумом».

У звичайному розумінні вакуум - це порожній простір, у якому практично відсутні будь-які частинки. Фізичний, реальний вакуум не порожній. Він заповнений полями та віртуальними частинками, які час від часу матеріалізуються.

Таке поняття вакууму ввів у науку видатний англійський фізик П. Дірак (1902-1984).

Звичайних частинок у такому вакуумі справді немає, але існує велика кількість інших - віртуальних (з англ. - «можливих»). Такі частинки виникають з «нічого», з порожнечі, набуваючи скороминуще буття, перш ніж знову зникнути. І як би ми не намагалися спустошити простір, у ньому завжди буде рій таких частинок.

Таким чином, вакуум постає не безликим і позбавленим життя, а сповненим енергії і нестримного творення. Час життя віртуальних частинок надзвичайно малий (наприклад, для віртуального електрона з масою 10^{-27} г цей час дорівнює 10^{-21} с, а для віртуального протона - 10^{-24} с).

Фізики встановили, що такий вакуум, який називають квантовим, може мати дивовижні властивості. Наприклад, виробляти необмежену кількість енергії або мати від'ємний тиск.

Отже, в першу мить народження Всесвіту гравітаційне відштовхування переважало над гравітаційним тяжінням, під дією антигравітаційних сил вакууму і почалось його розширення.

Воно відбувалось так стрімко, що отримало спеціальну назву - роздування або інфляція. Саме одна з областей вакууму, яка пройшла фазу інфляції і яка спершу була набагато менша протона, а за мить досягла розмірів апельсина, і стала маленьким Всесвітом.

Кожні 10^{-34} с Всесвіт подвоював свої розміри - роздування йшло вибухоподібним чином. А це і є Великий Вибух!

Але стан псевдовакууму нестійкий. Коли подібний стан зникає, закінчується й інфляційне роздування. Миттєво перейшовши до стану звичної для нас гравітаційної взаємодії в момент 10^{-35} с, Всесвіт продовжував розширюватися за інерцією, за рахунок того поштовху, що був наданий у період інфляції.

Величезний запас потенціальної енергії псевдовакууму, величина якої не зменшувалася при роздуванні, під час фазового переходу Всесвіту із переохолодженого стану виділилася у вигляді випромінювання. Температура миттєво зросла до значення 10^{21} К і сильна взаємодія відділилася від слабкої та електромагнітної. Від цього моменту і почалась історія г а р я ч о г о В с е с в і ту. Тоді ж виникла асиметрія у кількості частинок і античастинок. В момент 10^{10} с за температури 10^{15} К почали утворюватись важкі елементарні частинки, такі як протони і нейтрони. При цьому антипротонів і антинейтронів у ранньому Всесвіті виявилось менше, ніж протонів і нейтронів. Цей факт має надзвичайно важливе значення, бо, як відомо, важкі частинки входять до складу атомних ядер хімічних елементів. І якби всіх частинок було порівну, то після їхньої анігіляції жодного атомного ядра не змогло б утворитися, і той Всесвіт, який ми знаємо, не існував би. Деякий час Всесвіт перебував у так званому рівноважному стані. Відбувалось народження та анігіляція частинок з античастинками з виділенням енергії у вигляді квантів світла. Але розширення тривало, температура продовжувала знижуватись, і масивних частинок утворювалось дедалі менше.

Згодом кількість анігіляцій перевищила кількість народжених частинок, всі античастинки знайшли собі пару і анігілювали, перетворившись на кванти світла, а частинки без пари залишилися - одна частинка на мільярд квантів! У Всесвіті залишилась тільки речовина, а антиречовина зникла.

4. Ранній Всесвіт. Нарешті температура знизилася настільки, що пари масивних частинок перестали народжуватися зовсім. Енергії вистачало лише на утворення легких частинок -лептонів. Почалась е р а л е п т о н і в . Через 10^{-4} с Всесвіт став схожим на густий суп, у якому випромінювання (фотони) було змішане з лептонами (в основному електронами, позитронами, нейтрино і антинейтрино) і протонами та нейтронами. У цей період досі зв'язані нейтрино вивільнилися і розлетілися у просторі.

Через 1 секунду після Великого Вибуху, коли температура впала до 10 млрд. К, почалась анігіляція електронів і позитронів з виділенням колосальної кількості фотонів. Цей процес тривав 9 с і через 10 с після початку Великого Вибуху випромінювання вже переважало над речовиною почалась е р а в и п р о м і н ю в а н н я .

Саме на цьому етапі за температури 1 млрд. К почався космологічний нуклеосинтез - утворення ядер гелію, другого після водню за поширеністю у Всесвіті хімічного елемента.

Розрахована теоретично концентрація гелію (25 %) збігається з даними астрофізичних спостережень. Цей процес тривав біля 200 хвилин.

Через 1 млн. років, при подальшому розширенні та охолодженні речовини до температури 3000 К, в результаті об'єднання електронів і протонів утворитись атоми водню - найпростішого і найпоширенішого хімічного елемента у Всесвіті. Випромінювання відділилось від речовини і у вигляді фотонів розлетімося у просторі. Всесвіт став прозорим.

Настала наступна ера в історії Всесвіту - ера р е ч о в и н и , яка триває і дотепер.

5. Реліктове випромінювання. Випромінювання, що виникло на ранніх етапах розвитку Всесвіту, мусить і зараз знаходитися в ньому у вигляді фонового космічного або реліктового випромінювання. От тільки відтоді через триваюче розширення воно значно охолодилось і, за розрахунками, мусить мати температуру біля 3 К. Ще в 40-х роках ХХ ст. Г. Гамов передбачив існування реліктового випромінювання. А 1965 р. А. Пензіас і Р. Вільсон несподівано для себе зареєстрували радіовипромінювання, інтенсивність якого з точністю до 0,1 % не залежана від орієнтації антени радіотелескопа.

Його інтенсивність була однаковою і вдень, і вночі, і впродовж року. Це означало, що джерело випромінювання знаходиться за межами Сонячної системи і навіть за межами Галактики.

Згодом було зроблено висновок, що це радіовипромінювання - не що інше, як реліктове випромінювання, передбачене Гамовим. Його температура виявилася рівною 2,73 К, що близько до передбаченої величини. Максимум у спектрі реліктового випромінювання припадає на міліметрову область радіодіапазону.

Таким чином, гіпотеза «гарячого» Всесвіту отримала спостережне підтвердження.

-2-

Народження галактик. Після того як випромінювання відокремилось від речовини, Всесвіт складався із суміші атомів і випромінювання, тобто був наповнений гарячим газом. Можливо, цей газ не був абсолютно однорідним. Можливо, у ньому були ущільнення і розрідження. Хоча остаточно це питання залишається нез'ясованим. Врахуємо тепер, що зі збільшенням щільності згустка речовини зростає сила гравітації, що діє на нього. А тому будь-яка неоднорідність речовини має тенденцію до нарощування.

З часом такі ущільнені хмари відокремились одна від одної і перестали брати участь у розширенні. Гравітація міцно тримала кожен з них групою, а розширення проявлялось у зростанні відстані між ними.

Велетенські й дуже масивні згустки дробились на менші, кожний з яких продовжував ущільнюватись. З таких згустків через 1 млрд років після Великого Вибуху і утворилися надскупчення, скупчення галактик, окремі галактики, а в галактиках - окремі зорі. Цей сценарій утворення і розвитку Всесвіту підтверджується такими спостережними даними:

- Наявність реліктового випромінювання як своєрідне відлуння моменту відриву випромінювання від речовини.

- Відсотковий вміст гелію у речовині, що відповідає розрахунковому за теорією Великого Вибуху (25 % гелію і 75 % водню в загальній масі).
- Однорідність та ізотропність простору у великих масштабах (1 00 Мпк).
- Наявність неоднорідностей у невеликих масштабах як наслідок флуктуацій щільності речовини на початку Всесвіту.
- Співвідношення між випромінюванням і речовиною (між кількістю фотонів і окремих частинок).

-3-

Згідно сучасним уявленням, формування Сонячної системи почалося близько 4,6 млрд років тому з гравітаційного колапсу невеликої частини гігантського міжзоряного молекулярного хмари. Велика частина речовини опинилася в гравітаційному центрі колапсу з подальшим утворенням зірки - Сонця. Речовина, не потрапило в центр, сформувало обертається навколо нього протопланетний диск, з якого надалі сформувалися планети, їх супутники, астероїди та інші малі тіла Сонячної системи.

Гіпотеза про утворення Сонячної системи з газопилової хмари - небулярная гіпотеза - спочатку була запропонована в XVIII столітті Еммануїлом Сведенборгом, Іммануїлом Кантом і П'єром-Симоном Лапласом. Надалі її розвиток відбувався за участю багатьох наукових дисциплін, у тому числі астрономії, фізики, геології і планетології. З початком космічної ери в 1950-х роках, а також з відкриттям у 1990-х роках планет за межами Сонячної системи (екзопланет), ця модель зазнала багаторазовим перевіркам і поліпшень для пояснення нових даних і спостережень.

Відповідно до загальноприйнятої в даний час гіпотезі, формування Сонячної системи почалося близько 4,6 млрд років тому з гравітаційного колапсу невеликої частини гігантського міжзоряного газопилового хмари. У загальних рисах, цей процес можна описати таким чином:

Спусковим механізмом гравітаційного колапсу стало невелике (спонтанне) ущільнення речовини газопилової хмари (можливими причинами чого могли стати як природна динаміка хмари, так і проходження крізь речовину хмари ударної хвилі від вибуху наднової, тощо), яке стало центром гравітаційного тяжіння для навколишнього речовини - центром гравітаційного колапсу. Хмара вже містило не тільки первинні водень і гелій, а й численні важкі елементи (Металічність), що залишилися після зірок попередніх поколінь. Крім того, колапсуючої хмара володіло деякими початковим кутовим моментом.

В процесі гравітаційного стиснення розміри газопилової хмари зменшувалися і, в силу закону збереження кутового моменту, росла швидкість обертання хмари. Через обертання швидкості стиснення хмари паралельно і перпендикулярно осі обертання розрізнялися, що призвело до сплюснення хмари і формування характерного диска.

Як наслідок стиснення росла щільність і інтенсивність зіткнень один з одним часток речовини, в результаті чого температура речовини безперервно зростала в міру стиснення. Найбільш сильно нагрівалися центральні області диска.

При досягненні температури в кілька тисяч кельвінів, центральна область диска початку світитися - сформувалася протозірка. Речовина хмари продовжувало падати на протозірку, збільшуючи тиск і температуру в центрі. Зовнішні ж області диска залишалися відносно холодними. За рахунок гідродинамічних нестійкостей, в них стали розвиватися окремі ущільнення, що стали локальними гравітаційними центрами формування планет з речовини протопланетного диска.

Коли температура в центрі протозірки досягла мільйонів кельвінів, в центральній області почалася термоядерна реакція горіння водню. Протозірка перетворилася на звичайну зірку головної послідовності. У зовнішній області диска великі згущення утворили планети, що обертаються навколо центрального світила приблизно в одній площині і в одному напрямку.