

Космологията на нашите дни¹

И. Л. Розентал

Тази работа съдържа две свързани помежду си твърдения. Много често даже най-големите космолози и физици употребяват понятието “Вселена” в напълно определен смисъл: онази област, която може да се наблюдава с нашите уреди. Нейните размери са от порядъка на 10^{26} m. Първото твърдение е, че това не е вярно. То представлява просто отражение на възможностите на нашите уреди. С времето понятието “Вселена” стана еволюционно. За някои от древните гърци Вселената е била част от Европа. За 2000 години размерите на Вселената нарастват примерно 10^{20} пъти. Нека определим понятието “Вселена” по следния начин: Вселената – това е границата на нашето познание. Сега, към настоящия момент, ние наистина може да наблюдаваме на разстояние 10^{26} m. Това е нашето първо твърдение. Затова по-нататък ще използваме понятието “метagalактика”, което е много по-пригодно за разбиране.

Метagalактиката е тъкмо онова, което наблюдаваме, а Вселената – това е въобще всичко, което съществува на света. Второто твърдение, основано на някои опитни данни, е, че по порядък Вселената е 10^{100} пъти по-голяма от метagalактиката.

На какъв принцип се основават тези разсъждения? Да го наречем принцип на целесъобразността, понякога нещо подобно се нарича антропоен принцип. Неговата същност е в следното. Съществуването на основните елементи на нашата метagalактика, а именно: атоми, ядра, звезди и галактики – е извънредно критично към стойностите на фундаменталните константи. Това е основното твърдение в доклада. А кои са фундаменталните константи? Те са осем. Към тях най-напред принадлежат:

- а) масата на протона (неутрона);
- б) разликата между масите на протона и неутрона;
- в) масата на електрона.

Вземете тези три частици, защото нашия свят се състои от три частици.

Останалите нестабилни частици не играят съществена роля в структурата на нашата вселена. По-нататък имаме четири константи (разбира се, безразмерни) на силите на взаимодействие. Накрая, осмият параметър – това е размерността на пространството – три (или според Минковски – четири). Доказателството се основава върху следното. Променяйки малко константите, ние неизбежно ще разрушим един или няколко от четирите фундаментални елемента на нашата метagalактика. Нека илюстрираме това. Известно е, че атомът на водорода се състои от протон и електрон. Известно е също така, че водородният атом е абсолютно стабилен елемент. Тази стабилност се определя от съотношението между масите на протона, неутрона и електрона: реакцията $p + e \rightarrow n + \nu$ (p – протон, n – неутрон и ν – неутрино) е невъзможна, доколкото масата на електрона е 0,5 MeV и затова водородният атом е абсолютно стабилен. Ако увеличим масата на електрона три пъти (разбира се, мислено) – обикновено така се изследва устойчивостта на структурите, то тогава тази реакция ще бъде възможна и, следователно, няма да съществува стабилен водороден атом. На пръв поглед може да изглежда, че отсъствието на един от елементите не е съществено. Всъщност отсъствието на водороден атом (електронеутрален) би довело до катастрофални последствия. Образоването на галактиките зависи от съществуването на неутрален водород: в противен случай би съществувало твърде силно излъчване. По такъв начин трикратното увеличение на електронната маса би направило невъзможно

¹ Лекция, изнесена през 1999 г. в Дубна пред семинар, посветен на 80-тата годишнина на М. И. Подгорецкий.

съществуването на галактиките, т.е. би довело до отсъствието на един основен структурен елемент.

Да разгледаме по-нататък реакцията $p + p \rightarrow {}^2\text{He} + \gamma$ (γ – фотон). Тази реакция би могла да протича през първите три секунди (според Вайнберг) и да доведе до изгаряне на протоните. Тя обаче не може да се осъществи, тъй като енергията на връзката в ${}^2\text{He}$ е такава, че за малко не достига, за да бъде ${}^2\text{He}$ стабилен елемент. Достатъчно е да се увеличи константата на силната взаимодействие със само 1%, и тази реакция ще стане възможна и ще доведе до изгарянето на протоните. Оказва се – катастрофа. Ето защо на първия етап от развитието на Вселената реакцията на образуване на елементите протича само по слабия канал, а разглежданата реакция включва и фотон и, следователно, трябва да протича посредством електромагнитното взаимодействие, т.е. приблизително на десет порядъка по-бързо. При това положение във Вселената няма да има водород и фактически цялото вещество ще се превърне в ${}^2\text{He}$.

Изключително интересен пример представлява образуването на тежките елементи, т.е. на елементите с маса, по-голяма от 12. Наистина, единственият начин за образуване на тежки елементи е преобразуването на три α -частици във въглерод. Но това е възможно само в условия на резонанс, когато масата на трите α -частици е равна на масата на ядрото на въглерода. В действителност обаче съществува разлика от 7,7 MeV, т.е. $3m_\alpha = m_C + 7,7 \text{ MeV}$. Когато примерно преди 15 години физиците се натъкнаха на проблема за образуването на тежките елементи, то астрономите и особено космолозите настояваха, че непременно трябва да съществува възбудено състояние на ядрото на въглерода с енергия около 7,7 MeV. Астрофизиката предсказа съществуването на това ниво. Нивото наистина бе открито. Това, по-специално, поразило въображението на Файнман (вж. книгата му *Характер на физичните закони*).

Ние приведохме няколко измежду десетките примери за неустойчивост на основните елементи на нашата метagalaktika по отношение на промени на фундаменталните константи.

Да разгледаме сега два въпроса, които изглеждат твърде съществени както от методологична, така и от физична гледна точка. В методологичен смисъл космологията в съвременния ѝ вариант смекчава акцентите на значението на физичните направления. Ако по-рано физиката обясняваше света, то днес тя поставя въпрос: защо физиката е устроена така, че съществува сложен свят, подобен на нашия? Примерно такъв въпрос: защо размерността на пространството е равна на три? Оказва се, че тройката е привилегировано число. Ако размерността на пространството би била повече от три, то равнодействащата сила от типа на кулоново или нютоново привличане би направила невъзможно съществуването на устойчива система от две тела. По такъв начин числото три някак си се оказва съществено привилегировано. Още по-тънък въпрос, свързан с числото три, се появява във връзка със закони на елементарните частици, открити съвсем наскоро. Въпросът е следният: защо във Вселената съществува барионна асиметрия? Защо в нашата метagalaktika има протони, а антипротони на практика няма (те са малко, само в космичните лъчи, от порядъка на 10^{-10})? Както е известно, обяснението принадлежи на А. Д. Сахаров. То се опира на това, че съществува CP -нарушение, CP -неинвариантност. И тогава, ако времето на живот на антипротоните е по-малко от времето на живот на протоните, възниква барионна асиметрия. За времето на съществуване на Вселената антипротоните успяват да се разпаднат. На това място идва въпросът: как е свързано нарушението на CP -инвариантността с броя на фундаменталните частици – бариони и мезони? Когато през 1938 г. Андерсън и Нидермайер открили мюона, то далеч не веднага признали откритието им. Започнала огромна дискусия: за какво е необходим мюонът? Днес към него се добавя и τ -лептонът – за какво е необходима и тази частица? Оказва се, че за да възникне в рамките на

Великото обединение нарушение на CP -инвариантността, са необходими (поне) три лептона (допускат се и повече). А нарушението на CP -инвариантността е необходимо за барионната асиметрия. И тук ние отново се сблъскваме с необходимостта от такова число, което не може да се променя без кардинално преобразуване на нашите структурни елементи.

Въз основа на това може да се направи изводът, че структурата на метагалактиката е изключително неустойчива по отношение на стойностите на фундаменталните константи и че съществуват множество метагалактики, които са устроени много по-просто от нашата. Нашата метагалактика представлява много сложно структурно образование. Друго обяснение не може да се измисли. Нека укажем доколко може да се менят онези физични константи, за които бе споменато (без структурата на нашата метагалактика да се промени съществено – бел.пр.): масата на електрона може да се промени приблизително 2–3 пъти, разликата между масите на протона и неутрона – приблизително 2 пъти, масата на протона – с 10%, фундаменталната константа на фината структура – примерно 1,5 пъти, константата на силното взаимодействие – с 20%, константата на слабото взаимодействие – примерно 10 пъти, на гравитационното – 1000 пъти и, накрая, размерността на пространството изобщо не може да се променя.

Следователно единственият извод, който можем да направим, е: в действителност съществуват множество метагалактики със своя структура, но с други фундаментални константи. Така двукратната промяна на масата на електрона води до кардинална промяна на структурата на метагалактиката. Въпросът е: тази промяна голяма ли е или малка? Понятието за голяма и за малка величина е безсмислено, докато не се уточни спрямо какво: в случая спрямо средната маса. Отношението между средната маса (от порядъка на 1 GeV) към масата на електрона е примерно 1000. Следователно двукратно увеличение е относително малка величина.

Ако се построи крива, изобразяваща логаритъма на масите на стабилните частици и резонансите, ще се види, че точката, съответстваща на логаритъма от отношението между масите на протона и електрона заема изключително място върху кривата.

На пръв поглед казаното дотук демонстрира това, че единственото обяснение за нестабилността на структурата на метагалактиката по отношение на фундаменталните константи е съществуването на множество метагалактики със свои фундаментални константи. И са устроени тези метагалактики по съвсем друг начин: като правило те са много по-прости. Може да се постави въпросът: а колко са тези метагалактики? За да отговорим, ще построим, разполагайки с добри експериментални данни, разпределението на отношенията на масите на елементарните частици към масата на протона в логаритмичен мащаб. Да поставим въпроса така: каква е вероятността за съществуването на електрон, който има толкова малка маса – 1000 пъти по-малка, отколкото останалите частици? Това – от една страна. От друга: оказва се, че за стабилността на конструкцията на нашата метагалактика изключително важна роля играе X -бозонът, който обединява силното, слабото и електромагнитното взаимодействие. Масата на X -бозона е основна константа на Великото обединение и е равна на 10^{10} MeV. В рамките на разпределението на частиците по маси вероятността да съществува такова разпиляване на масите от електрона до X -бозона (т.е. вероятността да съществува толкова голяма и толкова малка маса) е от порядъка на 10^{-100} . Това число (разбира се, то представлява много груба оценка, която се нуждае от доуточняване) твърдо свидетелства, че съществуват $\approx 10^{100}$ метагалактики със свои фундаментални константи, със свой електрон, със свой X -бозон, но имащи свои маси.

Налага се изводът, че светът, т.е. Вселената, е многократно по-голяма от това, което ние наблюдаваме. Това е и основното заключение.