

## Пейзаж на теорията на струните

Ф. Куеведо

Айнщайн включва космологичната константа  $\Lambda$  в своите уравнения на общата теория на относителността, защото вярва, че Вселената е стационарна. Изправен обаче пред свидетелството, че всъщност тя се разширява, той премахва този член, като по-късно нарича космологичната константа най-голямата грешка в своя живот. Съвременните наблюдения навеждат на мисълта, че разширението на Вселената е ускоряващо се, което говори за наличие на малка, но ненулева положителна стойност на космологичната константа – от порядъка на  $10^{-120}$  в единици на Планк. Но може би най-сериозната грешка на Айнщайн по отношение на космологичната константа  $\Lambda$  е била във вярата му, че той има право да решава дали да включи или да не включи този член в уравненията. Ако  $\Lambda$  е много малко или нула, това следва да бъде обяснено. Тази вероятно е най-голямата загадка на съвременната теоретична физика.

### Решението на Де Ситер

В отсъствие на космологична константа най-симетричното решение на уравненията на Айнщайн във вакуум е плоско, 4-мерното пространство-време на минковски, с което работи специалната теория на относителността. През 1917 г. холандският астроном Вилхелм Де Ситер намира аналогично решение за случая на ненулева космологична константа. Ако  $\Lambda$  е положително, решението се нарича “пространство на Де Ситер” и  $\Lambda$  представлява енергията на вакуума, която изкривява пространство-времето (отрицателна стойност на  $\Lambda$  съответства на онова, което се нарича анти-Де Ситерово пространство).

Айнщайн веднага отрича решението на Де Ситер, тъй като то противоречи на интуицията – то предполага, че пространство-времето може да бъде изкривено и в отсъствие на материя – макар че в края на краищата след известни дебати той възприема идеята.

В пространството на Де Ситер Вселената се разширява експоненциално, което представлява основа за инфлационния модел на Вселената. Инфлацията описва един извънредно кратък интервал време след Големия взрив, през който се предполага протичането на извънредно бързо разширение. Инфлационният модел решава много космологични проблеми, свързани с модела на Големия взрив, и намери силна поддръжка от последните измервания на космическия микровълнов фон. Освен че описва инфлацията, пространството на Де Ситер осигурява обяснение и за ускоряването на универсалното разширение. В този сценарий една много малка стойност на космологичната константа е “тъмната енергия”, която кара Вселената да се разширява.

По такъв начин получаването на решението на Де Ситер е голямо предизвикателство за теорията на струните, която вече почти 20 години е главен кандидат за фундаментална теория на Вселената. Вярва се, че теорията на струните е единствената теория, която обединява всички частици и сили в природата – включително гравитацията, като ги разглежда като безкрайно малки едномерни струни.

Макар теорията да е единствена, броят на различните вселени, които са решения на нейните уравнения, е извънредно голям. Едно решение, например, е 10-мерно плоско пространство-време на Минковски. Друго решение е вселена, подобна на нашата, която има четири плоски пространствено-времени измерения и в допълнение към тях шест измерения, които са “завити” в изключително малки мащаби. Тези “скрити” размерности съответстват на клас

пространства, известни като пространства на Калаби – Яу. Проблемът на теорията на струните се състои в това, че тези 6-мерни пространства могат да фиксират физичните свойства на наблюдаемия свят – такива като типа и броя на елементарните частици и действащите между тях сили.

Съществуват поне 10 000 различни Калаби – Яу пространства, всяко от които се определя от известен брой параметри, наречени модули, които определят техния размер и форма. Всяка стойност на тези параметри води до различна физика в 4-мерния наблюдаем свят и бедата е в това, че всички стойности представляват еднакво валидни решения. С други думи, всички те водят да една и съща енергия на вакуума ( $\Lambda = 0$ ) в 4-мерното пространство-време.

#### Плосък свят

Ние можем да изобразим този тип решения като един много скучен пейзаж, в който направленията север-юг и изток-запад са стойностите на модулите, а височината е енергията. Доколкото енергията е нула за всяка точка, този пейзаж прилича на един голям, неподвижен, плосък океан. Но в четирите измерения модулите, които следват от общото гравитационно поле в 10-мерното пространство, се проявяват като безмасови частици, наречени модулни полета. Те представляват обаче голям проблем за теорията на струните, тъй като до сега никой не е наблюдавал подобни частици. Нещо повече, модулните полета съответстват на множество наблюдаеми физични величини, такива като силата на електромагнитното взаимодействие, за която ние знаем, че притежава фиксирана стойност.

Следователно едно значително предизвикателство пред теорията на струните е да намери начини да “повдигне” формата на този пейзаж и да фиксира стойността на модулните полета чрез минимизиране на тяхната енергия. Ако тази енергия е положителна, това ще сочи за решение на Де Ситер. Днес Шамит Качру, Рената Калош и Андрей Линде от Станфордския университет в САЩ, както и Сандип Триведи от института Тата в Индия, намериха четири свидетелства за такова решение. Използваните от тях методи са разработени преди това от специалистите по теория на струните, но техният принос е в прилагането на различни техники по един самосъгласуван начин. Една от главните съставки на тяхната конструкция е потоци на полета, които представляват многомерни обобщения на електромагнитното поле.

#### Нестабилни вселени

Това ново решение води до няколко важни заключения. Пространството на Де Ситер е само локален минимум на енергията, докато глобалният минимум съответства на плоско 10-мерно пространство-време. Следователно ние знаем, че минимумът на Де Ситер трябва да бъде нестабилен и, че в края на краищата ще се разпадне до стабилния плосък 10-мерен минимум чрез квантово тунелиране. За щастие, неговото време на живот е много по-голямо от възрастта на Вселената.

Щом веднъж знаем, че има едно решение на Де Ситер, лесно е да се намерят и други просто чрез промяна на стойностите на потоците. С. Ашок и М. Дъглас от университета Роджърс наскоро оцениха, че различните решения са най-малко 10<sup>100</sup>, което говори за извънредно разнообразен пейзаж с много планини, долини, океани и дори вулкани. Всяка точка, в която енергия е минимална, представлява отделна вселена и височината на тази точка е

космологичната константа на тази вселена. Ако гледаме на решенията от тази гледна точка, виждаме, че вероятността космологичната константа за една от тези вселени да бъде толкова малка, колкото сочат съвременните експерименти, в действителност не е нула.

Това указва на един антропоен подход към проблема за космологичната константа: при наличието на огромен брой решения на теорията на струните, които представляват различни вселени, ние сме се случили да живеем тъкмо в една, която допуска нашето съществуване. Това е една идея, която Леонард Сускинд от университета Станфорд нарече “антропоен пейзаж на теорията на струните”. Споменаването на антропоен аргументи във физиката гарантира разгорещени дебати и тази идея не е изключение. В този момент ние не можем да отхвърлим това множество от решения. Най-доброто, което можем да направим, е да се учим от Де Ситер, а не от Айнщайн, и да следваме непредубедено онова, което ни казва теорията.