

Какво означава твърдението “Вселената е плоска”? Част I¹ Д. Кастелвеки

Вселената е тримерна.

Вселената е четиримерна – три пространствени и едно времево измерения.

Вселената има девет, или десет, или единадесет измерения.

Материята изкривява пространство-времето.

Вселената е плоска.

Вселената е безкрайна.

Диаметърът на Вселената е 84 милиарда светлинни години.

Вселената представлява мехур, или глава лук.

Или зала с огледала, имаща форма на футболна топка.

Или форма като в Божествената комедия на Данте.

Подобни на тези твърдения се появяват твърде често в научно-популярните списания и на пръв поглед са в пълно противоречие едно с друго. Всяко от тях обаче е вярно, или поне – приемливо. Как е възможно това?

Коварството се крие в думата “вселена”, която в зависимост от контекста има различно значение. В разговорния английски език думата често означава “всичко, което съществува”. Това интуитивно схващане за вселената изглежда добра отправна точка. Ако следваме тази линия на мисли, първото нещо, което забелязваме е, че сегашното време на глагола “съществувам” неявно предполага, че имаме предвид “всичко, което съществува *сега*”.

Като оставим настрана темата за това, дали “сега” може да има универсално значение, както и още по-неясния онтологичен въпрос какво означава нещо да съществува, има смисъл да разсъждаваме върху целокупността на пространството и цялото негово съдържание в настоящия момент, и да си представяме тази целокупност като един непрекъснат обект.

Пространство или пространство-време?

Ако тръгнем по този път, първо забелязваме, че пространството ни изглежда тримерно. Следователно можем да предположим, че положението на всяка точка във вселената се фиксира с помощта на три декартови координати: в този замразен момент от времето, който наричаме настояще, всеки обект се характеризира с определени x , y и z в нашия тримерен континуум. Така получаваме една естествена представа за вселената: цялото тримерно пространство в настоящия момент. Бихме могли да я наречем *моментна вселена*.

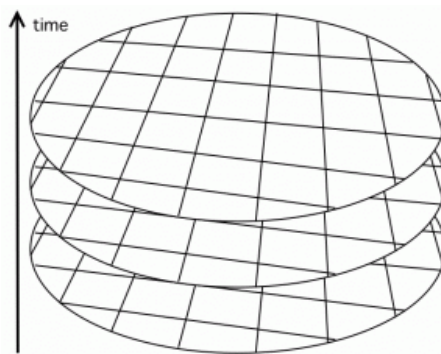
Как стои въпросът с останалите измерения?

Чудновати теоретични конструкции като теорията на струните например, постулират, че фактически съществуват повече измерения от тези, които виждаме, но за сега подобни теории нямат експериментални потвърждения. Ето защо за момента можем просто да се фокусираме върху познатите три измерения.

От друга страна, времето наистина представлява едно допълнително измерение, и заедно с пространството образува един по-голям, четиримерен обект, наречен прост-

¹ Превод със съкр. на два материала от уеб-страницата на *Scientific American* от 25. и 31. юли 2011 г. Многобройните, често противоречащи както един на друг, така и на мнението на автора коментари, могат да бъдат проследени на адреси съответно <http://blogs.scientificamerican.com/degrees-of-freedom/2011/07/25/what-do-you-mean-the-universe-is-flat-part-i/#respond> и <http://blogs.scientificamerican.com/degrees-of-freedom/2011/07/31/what-do-you-mean-the-universe-is-flat-part-ii/#respond>. Материалът би бил интересен за по-любопитните от вашите ученици.

ранство-време. Естествено е да си представяме *моментната вселена* като един 3-D разрез на това 4-D пространство, точно както хоризонталните равнини са 2-D разрези на нашия 3-D свят. Доколкото повечето хора трудно си представят 4-D обекти, един често срещан начин за разсъждаване върху пространство-времето е да си представяме, че пространството има само две измерения. Пространство-времето в този случай би имало по-удобния за разсъждения брой от три измерения. Гледайки на нещата по този начин, *моментната вселена* е само една от многото успоредни равнини, всяка от които представлява вселената в определен момент от нейната история (фиг. 1).



Фиг. 1: В тази схема на пространство-времето най-горният диск представлява пространството в настоящия момент, а дисковете под него – пространството в предишни моменти.

По този начин видимата несъвместимост на твърденията:

Вселената е тримерна.

Вселената е четиримерна – три пространствени и едно времево измерение.

Вселената има девет, или десет, или единадесет измерения.

се оказва просто въпрос на изясняване на езика. Според това, което знаем, пространството е 3-D, пространство-времето е 4-D, а ако теорията на струните се окаже вярна, тогава ще излезе, че пространството е 9-D, а пространство-времето – 10-D.

Между другото, когато космолозите говорят за разширяване на вселената, те имат предвид разширяване на пространството, не на пространство-времето.

Плоско или изкривено?

През последното десетилетие може би сте срещали многократно съобщението, че космолозите са открили убедителни доказателства, че вселената (имайки предвид 3-D пространството) е плоска, или поне – почти плоска.

Точният смисъл на плоско, като противоположност на криво, когато става дума за пространството, заслужава отделно внимание, което ще бъде отделено в Част II. За сега е удобно да си представяме плоско като нашата първична представа за равнинен обект, а повърхността на Земята – като първична представа за изкривен обект. И двата примера са двумерни, но по-долу ще покаже, че има смисъл да се говори за плоскост и за кривина и в пространства с произволен брой измерения.

Това, което искам да изясня тук, е кое всъщност се предполага да бъде плоско.

Когато космолозите казват, че вселената е плоска, те имат предвид пространството, т.е. *моментната вселена* и нейните успоредни предшественици в отминалите моменти. *Пространство-времето не е плоско.* То и не би могло: Айнщайновата обща теория на относителността твърди, че веществото и енергията изкривяват пространство-времето и съществуват достатъчно количество вещество и енергия, за да се осъществи изкривяването. Между другото, ако пространство-времето бе плоско, аз не бих седял

тук, тъй като не би имало гравитация, за да ме удържа върху стола. Казано накратко: пространството може да бъде плоско, дори когато пространство-времето не е такова.

Нещо повече, когато казват, че пространството е плоско, космолозите имат предвид крупномащабните свойства на вселената. Когато включите “zoom”-а и разглеждате нещата в по-малки от космичните мащаби, например Слънчевата система, пространството – не пространство-времето – *определено* не е плоско. Наскоро получено забележително доказателство за този факт дава най-дълго повежданият експеримент на НАСА, експериментът [Gravity Probe B](#). Той пряко измерва кривината на пространството около Земята. (Предполага се, че най-екстремните случаи на изкривяване на пространството се осъществяват зад хоризонта на събитията на една черна дупка, но това е друга история.)

В космически мащаб обаче, кривината на пространството, създадена от звезди, черни дупки, прахови облаци, галактики и т.н., представлява просто съвкупност от малки подутини върху пространството, което е, общо казано, отегчително плоско.

По такъв начин привидното противоречие:

Материята изкривява пространството. Вселената е плоска.

се изяснява също лесно: пространство-времето е изкривено, изкривено е и пространството, но погледнато крупномащабно, като цяло пространството е плоско.

Крайна или безкрайна?

Ако всяка точка в *моментната вселена* се характеризира със своите x , y и z , естествено е да приемем, че на тези координати можем да придадем всяка стойност, независимо колко голяма е тя. Един космически кораб, летящ “по x -оста” би могъл да се движи вечно. В края на краищата, какво би могло да го спре? Би трябвало пространството да има някаква граница, но повечето космолози смятат, че такава не съществува.

Фактът, че можете да се движите в една посока вечно обаче не означава, че пространството е безкрайно. Представете си двумерната сфера, върху която живеем – повърхността на Земята. Ако се качите на един самолет и летите над екватора, можете да продължавате да си летите – никога няма да стигнете до “края на Земята”. След известно време обаче (предполагайки, че разполагате с достатъчно гориво), вие бихте се върнали на мястото, от което сте тръгнали. По принцип нещо подобно би могло да се случи и в нашата вселена: един космически кораб, който е летял в една посока, след много време може да се появи от обратната посока.

Но може и да не може. Изглежда космолозите вярват, че вселената се простира безкрайно и по-специално – размерите на пространството са безкрайни. Когато бъдат притиснати обаче, повечето космолози също така признават, че фактически няма указание дали пространството е крайно или безкрайно.

По принцип вселената би могла да бъде крайна и без граница – точно като повърхността на Земята, но с едно измерение повече – в три измерения. Фактически, когато Айнщайн формулира своите космологични възгледи, основани на неговата теория на гравитацията, той постулира, че вселената е крайна. Айнщайновият светоглед има корените си в неговото дълбоко, почти мистично чувство за естетика; най-симетричната, естетически перфектна триизмерна форма е тази на тримерната сфера. (Някои предполагат, че начинът, по който Данте описва вселената в неговата *Божествена комедия* има нещо общо също с една 3-D сфера.) В по-близкото минало някои космолози приеха тази възможност съвсем сериозно и опитваха да проверят дали пространството би могло да представлява 3-D сфера или възможно по-сложно 3-D пространство, което по същество представлява сфера, обгърната от себе си (вж. “[Is Space Finite?](#)” от Glenn D. Starkman, [Jean-Pierre Luminet](#) и Jeffrey R. Weeks; *Scientific American*, април 1999).

Причината, поради която не знаем дали пространството е крайно или безкрайно е, че изглежда нямаме възможност да правим наблюдения зад един ограничен хоризонт. Вселената е на 13,7 милиарда години, а тъй като нищо не може да се движи по-бързо от светлината, ние нямаме никаква информация относно събитията, случили се по-далеч от определено разстояние. По причини, сложността на които не позволява тук да се впускате в обсъждането им, максималното разстояние всъщност не е 13,7 милиарда светлинни години.)

Наблюдаемата вселена

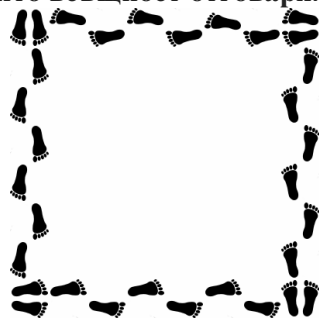
И така, едно от нещата, които знаем, е какво не можем да знаем: вселената, която можем да наблюдаваме, има ограничени размери. Космолозите често говорят за нея като за наблюдаема вселена.

Колко голяма е наблюдаемата вселена? Това е един изненадващо труден въпрос, който ще бъде предмет на по-нататъшно разглеждане. За сега просто ще отбележим, че най-далечните галактики, светлина от които сме регистрирали, са излъчили тази светлина преди около 13,2 милиарда години. Тъй като вселената (в смисъл пространството) през това време се е разширявала, днес тези галактики са на много по-голямо разстояние – примерно на 26 милиарда светлинни години от нас.

Още по-далеч от най-далечните галактики, най-далечният обект, който можем да наблюдаваме – плазмата, съществувала в ерата на рекомбинацията, е съществувала преди приблизително 13,7 милиарда години, някакви жалки 400 хиляди години след Големия взрив. Светлината, идваща от нея, е пътувала 13,7 милиарда години. Веществото, което “виждаме” в тази плазма, за това време също се е отдалечавало: оценява се, че това вещество днес се намира от нас на 42 милиарда светлинни години. Именно това имат предвид космолозите, когато казват, че наблюдаемата вселена има радиус 42 милиарда светлинни години. (Разбира се, отговорът трябва да бъде 42^2 .)

Странният факт, свързан с *наблюдаемата вселена*, обаче се състои в това, че тя не е част от *моментната вселена*. Тъй като на светлината от далечните галактики са необходими милиони години, за да достигне до нас, това, което виждаме е в миналото, не в настоящия момент, и колкото по-отдалечен е наблюдавания обект, толкова по-стар е той. Щом обаче наблюдаемата вселена не е част от моментната вселена, как бихме могли да я изобразим? Къде в пространство-времето трябва да я разположим?

Какво означава твърдението “Вселената е плоска”? Част II: в която всъщност отговаряме на въпроса



Фиг. 2.

² Намек за известната научно-фантастична книга на Дъглас Адамс *Пътеводител на галактическия стопанджия*, в която един суперкомпютър търси "Отговор на Въпроса за Живота, Вселената и Всичко останало". След многогодишни пресмятания резултатът се оказва точно числото 42. След което започва търсенето смисъла на самия отговор.

Застанете прави.

Направете 10 крачки напред.

Обърнете се на 90 градуса наляво.

Направете още 10 крачки.

Отново се обърнете на 90 градуса в същата посока.

Направете същото трети път: вървете, после се обърнете наляво.

Когато след това направите 10 крачки, вие ще очертаете четвъртата и последна страна на един квадрат и ще се окажете в точката, от която сте тръгнали (фиг. 2). Ако се завъртите на 90 градуса за четвърти път, ще гледате в началната посока, в която сте тръгнали.

Интуитивно всичко това изглежда очевидно, даже тавтологично – нещо като “ако начертаете на земята един квадрат, вие чертаете на земята квадрат”. Всъщност обаче става дума за един опитен факт. И той е важен, така че аз искам да го подчертая: **Няма *априорна* причина, поради която изминавайки четири еднакви отсечки и завъртайки се на четири прави ъгъла вие да се окажете в отправната си точка. Това е чисто емпиричен факт, следствие от всекидневния ни житейски опит.**

Всъщност, строго погледнато, това обаче не е вярно. Неуспехът да се върнете в точно същата точка – да затворите точно квадрата – е едно от най-важните явления, наблюдавани някога в историята на науката. То лежи в основата на всичко. То показва начина, по който работи гравитацията, така, както я разбираше Айнщайн. То казва как се образуват черните дупки и защо светлината не може да ги напусне. И казва дали и как трябва да се разширява вселената.

Според нашата интуиция всеки квадрат трябва да бъде затворен. Светът обаче е много по-странен от това, в което ни кара да вярваме интуицията.

В Част I на този материал обещах, че в Част II ще обясня какво означава вселената да е плоска. В тази втора част ще говоря за понятието – не, за *явлението* – изкривено пространство, което по същество се състои в това, че страните на квадрата отказват да се затворят, и за това, защо тъкмо в плоското пространство всички страни на квадрати се затварят.

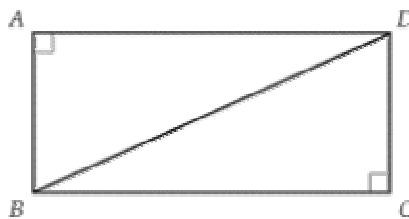
Евклид е добре проверен

Дотук аз умишлено поставях ударение върху физичната природа на явлението, наречено кривина на пространството. Мнозина автори, когато пишат по този въпрос, следват различен подход: те започват с историята.

Математиците достигат до идеята за кривината – като логически непротиворечиво, но абстрактно понятие – много преди някой да покаже, че то е съществено за действителността. Наистина, на практика измерването на кривината на пространството е изключително трудно, така че е възможно никой да не се бе опитал да я измерва, ако математиците не ни бяха казали предварително, че си струва въпросът поне да бъде разгледан.

Математиката, необходима за пълното осмисляне на кривината, бе разработена в средата на 19. век от Георг Бернард Риман, и по същество е твърде сложна. Но изкривеното пространство е факт от живота. По принцип, вие можете да го установите ходейки в стаята си, без да са ви необходими математици, физици или философи, които първо да разработят абстрактното понятие.

Евклид, великият геометър на елинистична Александрия, ясно е осъзнавал факта, че затварянето на страните на квадрата не е априори задължително. Евклид би могъл да изрази това по следния начин: сумата от вътрешните ъгли на квадрата (или на правоъгълника, или при случай, на успоредника) е 360 градуса. Движението в квадрат изисква четири завъртания от по 90 градуса.

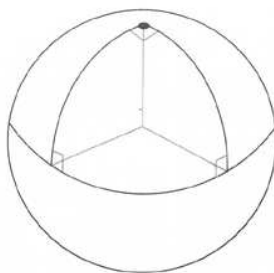


фиг. 3.

Друг начин, по който Евклид би могъл да изрази това, е да заяви, че сумата от вътрешните ъгли в един триъгълник е винаги 180 градуса. Разрежете който и да е правоъгълник на две части по диагонала, и ще видите защо: вашите четири прави ъгъла се разделят на шест ъгъла, но сумата им е все същата (фиг. 3).

Геометрията обаче не е длъжна да следва този път. Когато го следва, тя се нарича евклидова геометрия. А в огромния брой случаи, когато горните твърдения не са верни, тя се нарича неевклидова геометрия.

Най-често, когато авторите въвеждат идеята за неевклидова геометрия, те използват примери за това, какво се случва, когато вместо върху равнина, чертаем триъгълници върху крива повърхност – например върху повърхността на Земята.



Фиг. 4.

Започнете от произволна точка на Екватора и се насочете към Северния полюс (фиг. 4). Когато го достигнете, вие сте изминали една четвърт от обиколката на глобуса, т.е. около 10 000 километра. Завъртете се сега наляво с 90 градуса и отново тръгнете, този път на юг. След 10 000 километра вие ще стигнете отново Екватора. Вие обаче няма да сте на мястото, от което тръгнахте. Вместо това, вие ще се намерите на 10 000 километра западно от отправната точка. Завъртете се на 90 градуса така, че да гледате на изток, и отново изминете 10 000 километра: ще се окажете там, от където тръгнахте.

По този начин вие изчертахте върху земната повърхност един триъгълник, всичките вътрешни ъгли на който са по 90 градуса, така че сумата им е 270 градуса, а не 180.

Отбележете, че вие направихте само три части от описаното в началото пътешествие. Ако следвате инструкциите от началото на Част II, вие би следвало да се завъртите на още 90 градуса и да извървите още 10 000 километра. В този случай неуспехът в затварянето на квадрата е особено впечатляващ: вместо да пристигнете обратно в отправната точка от Екватора, вие ще трябва да завършите пътешествието си на Северния полюс.

Чертаенето на квадрати със страни от по 10 000 километра е, разбира се, екстремен случай. Ако вместо това трябваше да проведете подобен експеримент със страни примерно от по 10 километра, грешката би била много по-малка, но все още очевидна. А ако опитате да повторите опита със страни от по 10 крачки, вие не бихте забелязали нищо неправилно: за вас светът би изглеждал перфектно евклидов. В този случай би било простено да мислите, че Земята е плоска.

Сферата е напълно законен пример за неевклидова геометрия, но също така може да се окаже и неясен. Вие може да кажете “О.К. – земната повърхност е изкривена, но какво ни говори този факт за кривината на пространството?”.

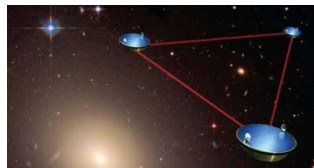
“Какво ще стане, ако аз прокопая прави тунели в Земята, които свързват двете точки от Екватора със Северния полюс? Заедно, трите тунела ще образуват равностраниен триъгълник. След това мога да си представя, че свързвам в триъгълник трите точки, като насочвам лазерни лъчи по осите на тунелите. Този триъгълник със сигурност ще има ъгли, сумата от които е 180 градуса.”

Пространството в космическото пространство

Ето тук ние достигаем до основния факт, за който говорих в началото – за кривината на самото пространство.

За да избегнем каквото и да е объркване, свързано със Земята, нека предприемем едно пътуване в космоса. Можете да си мислите за един космически кораб, който, пътувайки в космоса, описва триъгълник или квадрат. Случаят обаче не е идеален, защото той повдига най-различни неудобни въпроси, свързани с това, какво точно означава космически кораб да се движи праволинейно, или за прави завой от 90 градуса наляво.

Вместо това, нека вие и двама ваши приятели имате по един комически кораб, и всеки от вас тримата отпътува да някоя точка от близката вселена. Щом се окажете по местата си, вие насочвате лазери един срещу друг и образувате триъгълник от лъчите им (фиг. 5). Сега всеки от вас може да измери ъгъла между двата лъча, които влизат или излизат от неговия кораб.



Фиг. 5.

Фактът е: сумата от тези три ъгъла не винаги ще бъде 180 градуса. Вие можете да направите съответните пресмятания и да установите, че този факт е следствие от общата теория на относителността на Айнщайн. Или бихте могли да не вярвате нито на математиката, нито на физиката, и да отидете в космическото пространство, за да проверите сам.

Грубо казано, това се разбира, когато казваме, че пространството е изкривено. Всеки път, когато вземете три точки в пространството, свържете ги с лазерни лъчи, и установите, че сумата от ъглите на получения триъгълник не е 180 градуса, това означава, че пространството е изкривено.

А, когато независимо от това, къде се намират трите космически кораба, сумата от ъглите е 180 градуса – това е случаят, в който казваме, че пространството е плоско.

Математичният апарат на римановата геометрия отива много по-далеч и всъщност дава възможност да се дефинират и пресметнат числени стойности за кривината – а не просто да се установи дали я има или я няма.

Съществуват два важни типа изкривено пространство. Ако в определена област от пространството, независимо от това в кои нейни точки се намират трите космически кораба, сумата от трите ъгъла, образувани от тях, е по-голяма от 180 градуса, тогава в тази област кривината на пространството е положителна. Когато сумата от ъглите е по-малка от 180 градуса, това означава, че в тази област пространството е с отрицателна кривина. В плоския случай тя е точно нула.