

Тече ли в други вселени времето назад? С. М. Карол¹

Основни понятия

Основните закони на физиката не се променят при смяна на знака на времето, но въпреки това ние възприемаме неговото течение еднопосочно – в посока към бъдещето. Защо?

За да си отговорим на този въпрос, трябва да се поровим в предисторията на Вселената, във времето, предхождащо Големия взрив². Нашата Вселена може да е част от една много по-голяма мултивселена, която като цяло е симетрична по отношение на времето. В други вселени времето може да тече обратно.

Изглежда, че нещо във Вселената не е наред. Това заявление може да изглежда странно, тъй като космолозите имат твърде малко еталони за сравнение. От къде знаем как би трябвало да изглежда Вселената? Въпреки това, с течение на годините ние сме развили силна интуиция за онова, кое може да се смята “естествено”, а наблюдаваната от нас Вселената не отговаря на изискванията за “естественост”.

Не изпадайте в грешка: космолозите са сглобили една невероятно успешна картина за структурата на Вселената и за нейната еволюция. Приблизително преди 14 млрд години Космосът е бил по-горещ и по-плътен от вътрешността на една звезда, и оттогава насам, с разширяване на пространството, той непрекъснато изстива и става все по-разреден. Тази картина отчита почти всеки наш наблюдателен факт, но все пак известен брой необикновени детайли, по-специално в ранната Вселена, навеждат на мисълта, че в цялата история има още неща, които предстои да бъдат разбрани.

Измежду необикновените страни на Вселената една изпъква особено: асиметрията на времето. Микроскопичните физични закони, които определят поведението на Вселената, не правят разлика между минало и бъдеще, и въпреки това ранната Вселена – гореща, плътна и хомогенна, е съвсем различна от днешната – студена, разредена и “на буци”. Вселената започва като нещо подредено, за да достигне днешното си крайно неподредено състояние. Асиметрията на времето, стрелата, която сочи от минало към бъдеще, играе една безпогрешна роля в нашето всекидневие: тя обяснява защо не можем да превърнем един омлет в яйце, защо разтопените в чаша вода ледени кубчета никога спонтанно не замръзват отново и защо ние си спомняме миналото, но не и бъдещето. И началото на тази асиметрия, която наблюдаваме, може да бъде проследено назад, чак до подредеността на Вселената веднага след Големия взрив. Всеки път, когато чупите едно яйце, вие правите наблюдателна космология.

Безспорно стрелата на времето е най-очевидната особеност на Вселената, за която космолозите нямат абсолютно никакво обяснение. Тази загадка на Вселената обаче все по-настоятелно сочи съществуването на едно много по-голямо времепространство, което ние не наблюдаваме. Тя засилва поддръжката на представата, че ние сме част от една мултивселена, чиято динамика помага да обясним привидно неестествените детайли в нашата местна околност.

Загадката на ентропията

Физиците резюмират представата за стрела на времето в прочутия втори принцип на термодинамиката: ентропията в една затворена система никога не намалява. Грубо казано, ентропията е мярка за безпорядъка на една система. През 19. век австрийският физик

¹ Превод от майската книжка на сп. Scientific American.

² Да припомним ли думите на Стивън Хокинг, че да се пита какво е имало преди Големия взрив е все едно да се пита какво има на север от Северния полюс? Но – разни автори, различни представи! (Бел. прев.)

Людвиг Болцман обясни ентропията чрез разликата между микросъстояние на един обект и неговото макросъстояние. Ако вие трябва да опишете състоянието на чаша кафе, вие най-вероятно ще опишете нейното макросъстояние – нейната температура, налягане и други общи величини. От друга страна, микросъстоянието фиксира точните положения и скорости на всеки отделен атом в течността. Множество различни микросъстояния съответстват на едно единствено макросъстояние: ние можем да местим един атом тук и там, и никой няма да забележи това, наблюдавайки кафето в макроскопичен мащаб.

Ентропията е пропорционална на броя на различните микросъстояния, които съответстват на дадено макросъстояние. (По-точно, тя е пропорционална на броя на цифрите, или на логаритъма на този брой.) Следователно, за едно състояние с по-голяма ентропия съществуват по-голям брой начини, по които можете да подредите определен брой атоми, отколкото за състояние с по-малка ентропия. Представете си, че налеете мляко във вашето кафе. Съществува огромен брой начини да разположите молекулите така, че млякото и кафето да са размесени равномерно, но относително по-малък брой начини за разполагането им така, че млякото да е отделено от заобикалящото го кафе. Така че сместта има по-голяма ентропия.

От тази гледна точка не е изненадващо, че съществува тенденция за нарастване на ентропията с времето. Състоянията с по-голяма ентропия са много повече от тези с малка ентропия; почти всяка промяна в системата ще я привежда в състояние с по-голяма ентропия просто заради по-голямата вероятност за това. Ето защо млякото се размесва с кафето и никога не се отделя от него. Въпреки че физически е възможно всички молекули на млякото спонтанно да се подредят една до друга, статистически това е крайно невероятно. Ако решите да чакате това да се случи от само себе си поради случайните движения на молекулите, ще трябва да чакате много по-дълго от сегашната възраст на наблюдаваната Вселена. Стрелата на времето изразява просто тенденцията на всяка система да преминава в едно от многобройните, естествени състояния с по-голяма ентропия.

Но обяснението защо състоянията с по-малка ентропия еволюират в състояния с по-голяма ентропия не е обяснение защо ентропията в нашата Вселена расте. Остава въпросът: Защо началната ентропия е малка? Това изглежда много неестествено, щом състоянията с малка ентропия се срещат толкова рядко. Дори да допуснем, че ентропията на нашата Вселена днес е средна, това още не обяснява защо в миналото тя е била още по-малка. Измежду всички възможни начални условия, от които би могла да еволюира една вселена като нашата, огромното мнозинство има много по-голяма, а не по-малка ентропия.

С други думи, истинският проблем е не да обясним защо ентропията на Вселената утре ще бъде по-голяма от днешната, а да обясним защо вчера ентропията е била по-малка и още по-малка – онзи ден. Ние можем да проследим тази логика по целия път до началото на времето в нашата наблюдаема Вселена. В края на краищата асиметрията на времето е въпрос, на който трябва да отговори космологията.

Безпорядъкът на пустотата

Ранната Вселена е била забележително място. Всички частици, които съставят днес наблюдаваната Вселена, са били натъпкани в един извънредно горещ, плътен обем. И най-важно – те са били разпределени приблизително равномерно в този нищожен обем. В средно, разликата в плътностите на различни места е била само около едно към 100 000. Постепенно, заедно с разширяването и изстиването на Вселената, гравитационното привличане увеличава тези различия. Областите с малко повече частици образуват звездите и галактиките, а областите с малко по-малко частици се изпразват и образуват празното пространство. Ясно е, че гравитацията е решаваща за еволюцията на Вселената. За нещастие, ние не разбираме достатъчно добре ентропията, когато се отчита и

гравитацията. Гравитацията възниква от формата на времепространството, но ние нямаме изчерпателна теория него – това е целта на една квантова теория на гравитацията. Докато ние можем да свържем ентропията на един флуид с поведението на молекулите, които го съставят, ние не знаем какво съставя пространството, така че не знаем и какви гравитационни микросъстояния съответстват на едно конкретно макросъстояние.

Въпреки това, ние имаме някаква сурова идея относно това, как еволюира ентропията. В ситуацията, в която гравитацията е пренебрежима, както в случая с чашата кафе, едно равномерно разпределение на частиците има голяма ентропия. Това положение е състояние на равновесие. Даже когато частиците се пренареждат, те са вече така съвършено размесени, че на макроскопично равнище изглежда нищо повече не може да се случи. Ако обаче играе роля и гравитацията, а обемът е фиксиран, едно равномерно разпределение вече има относително малка ентропия. В този случай системата е много далеч от равновесие. Гравитацията е причина частиците да се обединяват в звезди и галактики, а ентропията расте забележимо – в съответствие с втория принцип.

Наистина, ако искаме да максимализираме ентропията в даден обем, когато трябва да се отчита и гравитацията, ние знаем какво ще се получи: черна дупка. През 70-те години на миналия век Стивън Хокинг от Университета в Кеймбридж потвърди едно провокиращо предположение на Яков Бекенщайн, който сега е в Университета в Ерусалим: че и черните дупки се подчиняват на втория принцип. Подобно на горещите обекти, за чието описание първоначално бе формулиран този принцип, черните дупки излъчват радиация и имат ентропия – при това в голямо количество. Една отделна черна дупка с маса от порядъка на 100 слънчеви маси, подобна на черната дупка, която “живее” в центъра на нашата Галактика, има 100 пъти по-голяма ентропия от всички обикновени частици в наблюдаемата Вселена.

Накрая, посредством радиацията на Хокинг, даже черните дупки се изпаряват. Една черна дупка няма най-голямата възможна ентропия, а само най-голямата възможна ентропия, която може да се съдържа в определен обем. Обемът на пространството във Вселената, обаче, изглежда расте неограничено. Нещо повече – през 1998 г. астрономите откриха, че разширяването на Вселената се ускорява. Най-прякото обяснение на този факт е съществуването на тъмна енергия, форма на енергия, която съществува даже в празното пространство и чиято плътност, изглежда, не намалява с разширяването на пространството. Това не е единственото възможно обяснение за ускоряването на разширението, но опитите да се постигне това с по-добра идея за сега остават безрезултатни.

Ако плътността на тъмната енергия не намалява, Вселената ще се разширява вечно. Далечните галактики ще изчезнат от ползрението ни (вж. “The End of Cosmology?” от Lawrence M. Krauss и Robert J. Scherrer; Scientific American, март, 2008). Останалите ще колапсират в черни дупки, които от своя страна ще се изпарят в околния мрак със сигурността, с която пресъхва локва в горещ ден. Онова, което ще остане, е една вселена, във всяко отношение празна. Тогава и само тогава Вселената наистина ще достигне максимума на своята ентропия. Вселената ще бъде в равновесие и в нея няма да може да се случи нищо повече.

Може да изглежда странно, че празното пространство има такава огромна ентропия. Това звучи така, както да се каже, че най-безпорядъчното бюро на света е бюрото, на което няма абсолютно нищо. Ентропията изисква микросъстояния, а на пръв поглед в празното пространство няма нито едно такова. В действителност обаче, празното пространство притежава множество микросъстояния – квантово-гравитационните микросъстояния, вградени в структурата на пространството. За сега ние не знаем какво точно представляват тези състояния, освен че те определят ентропията на черните дупки, но знаем, че в ускорено разширяващата се Вселена ентропията вътре в наблюдаемия обем се стреми към една константна стойност, пропорционална на площта на повърхността, заграждаща обема.

Това е наистина едно огромно количество ентропия, много по-голямо от това на веществото вътре в този обем.

Минало против бъдеще

Шокиращата особеност в тази история е заявената разлика между миналото и бъдещето. Вселената започва развитието си от едно състояние с много малка ентропия: частиците са опаковани заедно равномерно. Тя еволюира и минава през състояние със средно голяма ентропия: състоянието, в което веществото е съсредоточено в звездите и галактиките, които днес наблюдаваме около нас. Окончателно тя достига едно състояние с голяма ентропия: почти празно пространство, характеризиращо се със случайно блуждаещи частици с ниски енергии.

Защо миналото и бъдещето са толкова различни? Не е достатъчно просто да постулираме една теория на началните условия – причина за малката ентропия, от която започва развитието на Вселената. Както отбелязва философът от Университета в Сидни Хю Прайс, всички доводи, които се прилагат към началните условия, би трябвало да са приложими и за крайните условия. В противен случай бихме изпаднали в грешката да предположим в началото точно това, което искаме да докажем – че миналото е специално. Ние или трябва да приемем асиметрията на времето като нещо фундаментално, което не се поддава на обяснение, или трябва да търсим обяснението на по-дълбоко равнище, в начина на функциониране на пространството и времето.

Мнозина космолози опитваха да припишат асиметрията на времето на процеса на космологичната инфлация. Инфлацията представлява едно привлекателно обяснение за много особености на Вселената. Според тази идея, много ранната Вселена (или поне част от нея) е била изпълнена не с частици, а по-скоро с преходна форма на тъмна енергия, чиято плътност е невъобразимо по-голяма от тази, която наблюдаваме днес. Тази енергия е причина разширяването на Вселената да се ускори фантастично много, след което тя се разпада на вещество и радиация, оставяйки малкото количество тъмна енергия, което днес отново започва да играе определена роля. Останалата история на Големия взрив от еднородния първичен газ до галактиките и всичко друго, просто следва.

Първоначалният мотив за предлагане на инфлацията бе да осигури ясно обяснение за фината настройка на условията в ранната вселена – в частност, за забележителното равенство на плътността на веществото в различни, много отдалечени една от друга области. Ускорението, предизвикано от преходната тъмна енергия, загладва условията във вселената почти идеално. Щом инфлацията започне, съществуващото преди това разпределение на веществото и енергията се оказва без значение – ускореното разширение премахва всяка следа от предварително съществуващите условия, оставяйки ни една гореща, плътна, хомогенна ранна вселена.

Инфлационната парадигма бе много успешна в редица отношения. Нейните предсказания за малки отклонения от идеалната хомогенност са в съгласие с наблюдаваните различия в плътността в различни области на Вселената. Като обяснение за асиметрията на времето обаче космолозите все повече я смятат до известна степен имамна по причини, изтъкнати от Роджер Пенроуз от Университета в Оксфорд, както и от други учени. Наистина, за да работи процесът както е желателно, свръхплътната тъмна енергия в началото трябва да има много специална конфигурация. В действителност, нейната ентропия трябва да бъде фантастично по-малка от ентропията на горещия, плътен газ, на който се разпада. Фактически това означава, че инфлацията всъщност не обяснява нищо: тя “обяснява” едно състояние с необикновено малка ентропия (горещ, плътен, хомогенен газ), позовавайки се на едно предшестващо състояние с дори още по-малка ентропия (гладък къс пространство, в който доминира свръхплътна тъмна енергия). Това просто отмества загадката крачка назад към въпроса: Защо всъщност се случва инфлацията?

Една от причините, поради които космолозите се обръщат към инфлацията като към обяснение за асиметрията на времето, е, че началната конфигурация на тъмната енергия не изглежда чак толкова невероятна. По времето на инфлацията, размерите на нашата наблюдаема Вселена са били по-малки от сантиметър. Интуитивно ясно е, че една толкова малка област няма много микросъстояния, тъй че не е толкова невероятно вселената да попадне случайно в микросъстояние, което съответства на инфлация.

За съжаление, в случая интуицията е заблуждаваща. Ранната Вселена, даже ако диаметърът ѝ е само сантиметър, има точно същия брой микросъстояния, както цялата днес наблюдаема Вселена. Според правилата на квантовата механика, общият брой на микросъстоянията в една система никога не се променя. (Ентропията расте не защото расте броят на микросъстоянията, а защото системата по естествен начин завършва в най-общото възможно макросъстояние.) В действителност, ранната Вселена е същата физична система, каквато е и късната Вселена. В края на краищата едната еволюира в другата.

Измежду всички различни начини, по които може да се класифицират микросъстоянията на Вселената, само една невероятно малка част съответстват на конфигурация със свръхплътна тъмна енергия, пакетирани в нищожен обем. Условието, необходими за започване на инфлация, са изключително специални и следователно описват конфигурация с много малка ентропия. Ако вие трябва да избирате състоянията на Вселената случайно, би било крайно невероятно да попаднете на точните условия за започване на инфлация. От само себе си инфлацията не обяснява защо ранната Вселена има малка ентропия – тя просто по начало предполага това.

Една симетрична по отношение на времето вселена

И така, инфлацията не обяснява защо миналото е различно от бъдещето. Една дръзка, но проста стратегия е просто да кажем: в края на краищата вероятно много далечното минало не е различно от бъдещето. Вероятно далечното минало, подобно на бъдещето, фактически представлява едно състояние с голяма ентропия. Ако е така, горещото, плътно състояние, което наричаме “ранна Вселена”, всъщност не е истинското начало на Вселената, а по-скоро само едно преходно състояние между етапите в нейната история.

Някои космолози си представят, че Вселената е минала през нещо като “скок”. Преди това събитие пространството се е свивало, но вместо просто да се свие в точка с безкрайна плътност, някакви нови физични принципи – квантова гравитация, допълнителни измерения, теория на струните или други екзотични явления – я “изритват” в последния момент и тя, Вселената, излиза от другата страна в състояние, което днес възприемаме като Голям взрив. Макар и интересни, “подскачащите” космологии не обясняват стрелата на времето. Или когато свиващата се вселена е приближавала критичното състояние ентропията е растяла, и в този случай стрелата на времето се е разтягала безкрайно в миналото, или ентропията е намалявала, при което в средата на историята си (при “скока”) Вселената се е оказала в едно неестествено състояние с малка ентропия. И в двата случая ние отново прехвърляме отговорността върху въпроса защо около онова състояние, което наричаме Голям взрив, ентропията е малка.

Нека вместо това предположим, че Вселената стартира от едно състояние с голяма ентропия, което е най-естественото състояние. Един подходящ кандидат за подобно състояние е празното пространство. Подобно на всяко състояние с голяма ентропия, тенденцията на празното пространство е просто да си остава такова, без да се променя. Така проблемът става: как от това това празно и статично времепространство се получава днешната Вселена? Тайната може би се крие в тъмната енергия.

При наличието на тъмна енергия празното пространство не е съвсем празно. Флуктуациите на квантовите полета пораждаат много ниска температура – чудовищно по-ниска от температурата на днешната Вселена, но въпреки това – не абсолютна нула. В

такава вселена всички квантови полета търпят топлинни флуктуации. Това означава, че тя не е абсолютно статична и, ако чакаме достатъчно дълго, ще дочакаме раждането не само на отделни частици, но и на съществени съвкупности от частици, които ще се разпиляват във вакуума. (Това са реални частици, противно на краткотривните “виртуални” частици, които се раждат в празното пространство дори в отсъствие на тъмна енергия.)

Измежду нещата, които могат да се раждат от флуктуациите, са и малки парчета от свръхплътна тъмна енергия. При подходящи условия подобно парче може да претърпи инфлация и да се “отрони”, образувайки отделна, своя собствена вселена – вселена-бебе. Нашата Вселена може да е потомък на някоя друга вселена. На пръв поглед този сценарий напомня стандартното обяснение на инфлацията. Тук ние също предпоставяме, че парче от свръхплътна тъмна енергия възниква случайно, иницирайки инфлацията. Разликата е в естеството на началните условия. В стандартното обяснение парчето възниква в една бурно флукуираща вселена, в която огромният брой флуктуации не предизвикват нищо, подобно на инфлация. Би изглеждало много по-вероятно вселената, флукуирайки, направо да попадне в един горещ голям взрив, изобщо подминавайки етапа на инфлация. В действителност, що се касае до ентропията, би било даже по-вероятно, флукуирайки вселената да попадне направо в днешното си състояние, давайки “на късо” последните 14 милиарда години космическа еволюция.

В нашия нов сценарий съществуващата предишна вселена никога не е флукуирала случайно, тя е била в едно много специфично състояние – състоянието на празно пространство. Онова, за което претендира тази теория – и което остава да се докаже – е, че най-вероятният начин да се роди вселена като нашата от подобно предходно състояние, е да се премине през период на инфлация, а не чрез пряк флукуационен преход. С други думи нашата Вселена е флукуация, но не случайна.

Emit fo Worra

Този сценарий, предложен през 2004 г. от Дженифър Чен от Чикагския университет и от мен, осигурява едно провокативно решение за произхода на асиметрията на времето в нашата наблюдаема Вселена: ние виждаме само малко парче от една голяма картина, а тази голяма арена е напълно симетрична по отношение на времето. Ентропията може да расте неограничено чрез раждане на нови бебе-вселени.

Най-хубавото е, че тази история може да бъде разказана отзад-напред и отпред-назад. Представете си, че в определен момент започваме с празно пространство и чакаме то да еволюира и в бъдещето, и в миналото. (То се развива в двете посоки, тъй като не предполагаме еднопосочна стрела на времето.) Чрез флукуации се раждат бебе-вселени, в които времето тече в различни посоки, и които се изпразват и раждат свои собствени бебета. В свръхголям мащаб подобна мултивселена би изглеждала статистически симетрична по отношение на времето – както миналото, така и бъдещето биха изобразявали нови вселени, флукуиращи и размножаващи се без ограничение. Всяка от тях би имала своя стрела на времето, но за половината тази стрела ще бъде насочена в посока, противоположна на посоката в другата половина.

Идеята за вселена, в която стрелата на времето е насочена обратно, може да изглежда тревожно. Ако срещнем някого от подобна вселена, той би ли си спомнял бъдещето? За щастие, няма опасност от подобна среща. В описвания от нас сценарий единствените места, където времето изглежда да тече обратно, са далеч назад в нашето минало – много преди нашия Голям взрив. Помежду е едно голямо разширяване на вселената, при което изглежда времето изобщо не е текло; почти не е съществувало вещество и ентропията не се е променяла. Всяко същество, живяло в една от тези две области с обратно насочена стрела на времето, не би било родено старо и не би умряло младо, както и не би се случило нищо друго необикновено. За тях времето би текло по напълно обичаен начин. Нещата

изглеждат необикновени само, когато сравняваме тяхната вселена с нашата – нашето минало е тяхно бъдеще и обратно. Но подобно сравнение е чисто хипотетично, тъй като ние не можем да отидем там, а те не могат да дойдат тук.

За сега съдът не се е произнесъл по нашия модел. Космолозите размишляват върху идеята за бебе-вселени от много години, но ние не разбираме процеса на раждането. Ако квантовите флуктуации могат да родят нови вселени, те биха могли да родят и много други неща – например една цяла галактика. За да обясни Вселената, която наблюдаваме, един сценарий като нашия трябва да предскаже, че повечето галактики възникват като последица от подобно на голям взрив събитие, а не като самотна флуктуация в една иначе празна вселена. В противен случай нашата Вселена би изглеждала крайно неестествена.

Но това, което научаваме в случая, не е някой специфичен сценарий за структурата на времепространството в свръхголеми мащаби. Новото е идеята, че шокиращата особеност на нашия наблюдаем космос – стрелата на времето, произтичаща от много ниското ентропийно състояние на ранната вселена – може да ни осигури указания относно природата на ненаблюдаемата вселена.

Както споменахме в началото на тази статия, приятно е да имаме една картина, която отговаря на всички данни, но космолозите желаят нещо повече от това: ние търсим едно разбиране на природните закони и на нашата специфична Вселена, в която всяко нещо има за нас своя смисъл. Ние не искаме да слезем толкова ниско, че да приемаме странните особености на нашата Вселена като сурови факти. Изглежда, че драматичната асиметрия на времето в нашия наблюдаем космос ни предлага ключ за разгадаване на нещо по-дълбоко – един намек за неразгадаемата структура на пространството и времето. Нашата задача като физици е да използваме този и други ключове, за да ги съберем в една покоряваща картина.

Яко наблюдаемата Вселена обхваща всички съществуващо, би било почти невъзможно да се обясни по естествен начин стрелата на времето. Но ако Вселената около нас е само малка част от една много по-голяма картина, възникват нови възможности. Ние можем да си представим нашето парче от вселената просто като част от един пъзел, част от тенденцията на една по-голяма система да увеличава неограничено ентропията си и в далечното си минало, и в далечното си бъдеще. Перифразирайки физика Едуард Трайън може да кажем, че е по-лесно да разберем Големия взрив не като начало на всичко, а просто като едно от нещата, които се случват от време на време.

Доколкото все повече и повече космолози приемат сериозно проблема, поставен от стрелата на времето, и други учени разработват подобни идеи. Лесно е да се наблюдава тази стрела – достатъчно е да разбъркате малко мляко в кафето си. Докато отпивате от него, вие може да размишлявате как това просто действие може да бъде проследено назад чак до началото на нашата наблюдаема Вселена, а вероятно и отвъд.

Превод: Х. Д.