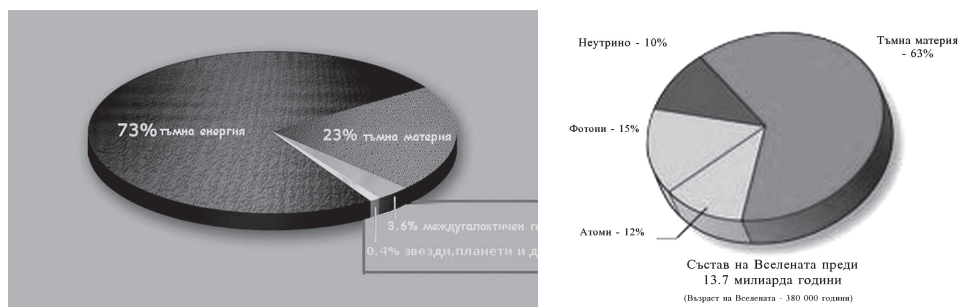


ТЪМНАТА ЕНЕРГИЯ

Георги Петров, Момчил Дечев

Във физическата космология, астрономията и небесната механика, тъмната енергия е хипотетична форма на енергия, която запълва цялото пространство и води до увеличаване на скоростта на разширяване на Вселената. Тъмната енергия е най-популярният начин да се обяснят последните наблюдения и експерименти, които показват, че Вселената се разширява с ускорение.

Обикновената материя и тъмната материя съставляват само 30% от *критичната плътност* — която е необходима, за да съществува познатата ни Вселена. Останалите 70% учените наричат тъмна енергия. Общата теория на относителността изисква допълнителните 70% да бъдат съставени от енергиен компонент с голямо отрицателно налягане.



Фиг.1. Оценка на съотношението между тъмна материя, тъмна енергия и обикновена материя: в ляво — сегашно състояние, в дясно — съотношение след Големия взрив (по Уикипедия).

Откриването на тъмната енергия

В съответствие със закона на Хъбъл, Вселената се разширява приблизително линейно — колкото един обект е по-далеко, толкова неговата скорост е по-голяма. Най-често за определяне на скоростта на обектите се използва *червеното отместване*, което се определя сравнително лесно от астрономите. За да се определи разстоянието до обектите, обаче, се използват т.нар. „стандартни свещи“. Най-често това са астрономически обекти, чиято светимост е достатъчно висока, добре известна и почти постоянна. Именно такива са *свръхновите от тип Ia*, поради тяхната изключително висока и почти еднаква при избухването им яркост. С други думи *свръхновите от тип Ia, които се намират на еднакви разстояния от нас, трябва да имат и една и съща наблюдаема яркост*. Така, сравнявайки наблюдаваните яркости на свръхнови в различни галактики можем да определим разстоянията до тях.

По така калибрираните вече разстояния се определя т. нар. *константа на Хъбъл*^{*}, която дава връзката между скоростта и разстоянието в цитирания по-горе закон на Хъбъл.

През 1998 г. Риис и колегите му от групата за изучаване на свръхнови публикуват наблюденията си на свръхнови от тип Ia, последвано през 1999 г. от резултатите на *космологичния проект „Свръхнови“*. Според тези наблюдения се оказва, че *в далечните галактики свръхновите са с по-ниска яркост* — т. е. разстоянието до тези галактики, определено чрез „стандартна свещ“ е по-голямо, отколкото определеното по закона на Хъбъл. От това следва, че Вселената не просто се разширява, а че *Вселената се разширява с ускорение*.

Впоследствие това твърдение е подкрепено от няколко независими източника — измерванията на *космическия микровълнов фон* (т. нар. реликтов излъчване), ефектите на *гравитационни леци*, образуването на химическите елементи при Големия взрив и др. В по-старите космологични модели се предполага, че разширението на Вселената се забавя вследствие на гравитационното привличане, тъй като преобладаващата маса във Вселената се дължи на материята — видима и невидима (тъмна материя).

За да се обясни ускоряващото се разширение се допуска съществуването на неизвестен вид енергия с отрицателно налягане — вместо да се привличат, обектите се отблъскват. Тази енергия е наречена *тъмна енергия*^{**}. Допускането за съществуване на тъмна енергия решава и проблема със съществуването на тъмната материя. Теорията на Големия взрив обяснява формирането в ранната Вселена на леки химически елементи - хелий, деутерий и литий. Теорията за крупномащабната структура на Вселената обяснява формирането на различните структури във Вселената — звезди, квазари, галактики и купове от галактики. И двете теории показват, че плътността на барионната (наблюдаемата) материя и тъмната материя е около 30% от критичната плътност, необходими за възникването на „затворена“ Вселена. *Критична плътност* е плътността, при която се формира *плоска (Евклидова) Вселена*. Към днешна дата критичната плътност се оценява на приблизително 5 водородни атома на кубичен метър! Измерванията на космическото микровълново фоново лъчение на Вселената при последния спътников експеримент WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) показват, че формата на Вселената действително е много близо до плоска. Вследствие на това някоя неизвестна досега форма на невидимата енергия трябва да допълва липсващите 70% от плътността на Вселената.

Природа на тъмната енергия

Същността на тъмната енергия е предмет на спорове. Известно е, че е равномерно разпределена, има ниска плътност и на практика не взаимодейства

^{*}Законът на Хъбъл $cz = H_0 d$ изразява „разбягването на галактиките“. Константата на Хъбъл по последни данни е около 71 ± 4 (km/s)/Mpc.

^{**}Айнщайн постулира еквивалентност на масата и енергията, изразена с известната формула $E=Mc^2$

чрез известните ни фундаментални типове взаимодействие (електромагнитно, силно и слабо ядрени взаимодействия) с изключение на гравитацията. Тъй като хипотетичната плътност на тъмната енергия не е твърде висока — около 10^{-29} грама на кубически сантиметър — то е малко вероятно тя да бъде открита при лабораторни експерименти. Природата на тази тъмна енергия остава една от най-големите загадки засега. Има два основни модела, които обясняват същността на тъмната енергия — *космологичната константа* и *квинтесенцията*.

Космологичната константа е въведена от Айнщайн. Най-простото обяснение в случая е, че тъмната енергия е просто присъща на пространството, т.е. всеки обем на пространството е свързан с някаква неотменима, присъщи на него енергия. Това понякога се нарича *енергия на вакуума*, тъй като това е енергийната плътност на абсолютния вакуум. По същество това е космологичната константа, наричана още „лямбда член“ (от гръцката буква Λ , с която се отбелязва в уравненията на общата теория на относителността). Въвеждането на космологичната константа в стандартния космологичен модел довежда до съвременния космологичен модел, известен като Ламбда-CDM модел (*Ламбда-Cold Dark Matter*). Този модел добре се съгласува със съществуващите космологични наблюдения. Много физически теории на елементарните частици предсказват съществуването на флуктуации на вакуума — т. е. приписват на вакуума точно този вид енергия. Стойността на космологичната константа е от порядъка на 10^{-29} g/cm³, или около 1 KeV/cm³. Космологичната константа има отрицателно налягане, равно на нейната енергийна плътност. Отрицателно налягане трябва да води до отблъскване, антигравитация и по този начин предизвиква ускорено разширяване на Вселената.

Най-важният нерешен проблем на съвременната физика е, че повечето квантови теории на полето предсказват огромни стойности на космологичната константа — на порядъци над допустимите съгласно съвременните космологични идеи. Това е същността на проблема за космологичната константа в съвременната физика: не е открит начин във физиката на елементарните частици да се получи изключително малката стойност на космологичната константа, както е определена в космологията.

Квинтесенция е един алтернативен подход, основан на допускането, че тъмната енергия е един вид подобно на частица възбуждане в дадено динамични скаларно поле, наречено *квинтесенция*. За разлика от космологичната константа, обаче, плътността на квинтесенцията може да варира в пространството и времето. Квинтесенцията трябва да бъде много лека, за да не може да създаде големи структури по примера на обикновената материя (звезди, галактики и т.н.). За сега няма данни за съществуването на квинтесенция. Хипотезата за квинтесенцията прогнозира малко по-бавно ускорение на Вселената в сравнение с хипотезата за космологичната константа. Някои учени смятат, че най-доброто доказателство за същността на квинтесенцията би представлявало нарушение на принципа за еквивалентност

на Айнщайн и промяна на основните константи в уравненията на времето и пространството.

Последици за съдбата на Вселената

Смята се, че ускоряването на разширяването на Вселената е започнало преди около 5 милиарда години. Предполага се, че преди разширяването е имало забавяне на разширяването заради гравитационното въздействие на тъмната и барионната материя. *Плътността на барионна материя при разширяване на Вселената намалява по-бързо от плътността на тъмната енергия.* В крайна сметка, тъмна енергия започва да доминира. Например, когато обемът на Вселената се удвои, плътността на барионна материя се намалява наполовина, а плътността на тъмната енергия остава почти без промяна (или е постоянна, ако приемем варианта на космологичната константа).

Възниква въпросът за това защо ускорението на Вселената започна точно в даден момент? Ако ускорението на вселената започна по-рано от този момент, звездите и галактиките просто не разполагат с време, за да се формират, а животът няма да има шанс за възникване, поне в известните ни форма и начин. Ако ускоряването на разширяването на Вселената ще продължи до безкрайност, в резултат галактиките отвъд нашия Свръхкуп от галактики Дева рано или късно ще достигнат хоризонта на събитията и ще станат невидими за нас, защото тяхната относителна скорост ще надвишава скоростта на светлината. Това не е нарушение на *Специалната теория на относителността*. Всъщност, ние дори не можем да определим понятието относителна скорост в изкривеното пространство-време. Всяка форма на комуникация отвъд границите на хоризонта на събитията става невъзможно и всякакъв контакт между обектите се губи. При този сценарий Земята, Слънчевата система, Млечният път и нашият Свръхкуп ще продължат да съществуват, докато останалата част от Вселената ще изчезне за нас. С течение на времето и нашият Свръхкуп ще изпадне в състояние на *топлинна смърт* (крайното състояние на всяка затворена термодинамична система, в т. ч. и Вселената) — т. е., ще се реализира сценарий, предсказан за модела на плоска Вселена, доминирана от материята.

Има и по-екзотични хипотези за бъдещето на Вселената. Една от тях показва, че фантомната енергия ще доведе до т. нар. *разривна* експанзия. Това означава, че разширяващата сила на въздействието на тъмната енергия ще продължи да расте безкрайно, докато не надвишава всички други сили във Вселената. При този сценарий, тъмната енергия в крайна сметка ще разруши всички гравитационно свързани структури на Вселената, а след това ще надмине силата на електростатични и ядрените взаимодействия и ще разруши и атомите, ядрата и нуклоните и ще унищожи Вселената — в противоположност на Големия взрива ще има *Голямо разкъсване* (на английски *Big Rip*). Ако този сценарий е верен, голямото разкъсване ще настъпи след 35 милиарда години. При друг сценарий тъмната енергия би могла да се разсее или дори да промени ефекта на отблъскване ефект с привличане. В този случай гравитацията ще

надделее и Вселената ще изчезне в една точка — *Голямото сливане* (на английски *Big Crunch*).

Предполага се и *цикличен модел* на Вселената. Въпреки, че всички тези хипотези все още не са потвърдени от наблюдения, те не са напълно отхвърлени. Решаваща роля при определяне на крайната съдба на Вселената (която сега се развива съгласно теорията за Големия взрив) ще изиграят точните измервания на темпа на ускорение на разширяващата се Вселена.

Подробности за тази, може би най-важна част от нашето познание за Вселената, интересувашите се могат да намерят в специализираните астрономични издания и в Интернет.