

## Дълбочината на небесата: вярвания и познание през 2500 години<sup>1</sup>

Ерик Хог

Ние виждаме Слънцето, Луната и звездите на небето като че ли са поставени върху една сфера. Но дори и първите хора са имали идеи за разстоянията до тези небесни обекти. Живелият преди 2500 години гръцки философ Анаксагор казва, че Слънцето представлява огромна огнена скала, по-голяма от целия полуостров Пелопонес. Това предполага едно разстояние до Слънцето, по-голямо от 20 000 km. Анаксагор обаче бил обвинен в богохулство и по тази причина принуден да напусне Атина. Неговите съвременници вярвали, че богът на Слънцето Хелиос през деня препуска със своята огнена карета със Слънцето през небесата, а нощем се връща да спи на своя кораб.

Какво има в небесата? През цялата човешка история хората са наблюдавали на небето Луната, Слънцето, планетите и звездите. Християните от първите векове на Новата ера и през средновековието вярвали, че в небесата живеят също Бог, ангелите и светците. Днешните астрономи, разбира се, наблюдават Луната, Слънцето, планетите и звездите в небесата, но наред с тях и звездни купове, галактики, прах, газ, бели джуджета, неутронни звезди, черни дупки и квазари и, освен това, невидима тъмна материя, чиято истинска физична същност е голяма мистерия за тях, тъй като не е съставена от атоми или нещо подобно.

Ние обаче ще се занимаваме най-вече с онези вярвания на човечеството през вековете, които са свързани с разстоянията до Луната, Слънцето, планетите и звездите. Последното столетие с галактиките и Големия взрив ще бъдат споменати само в края.

### Вселената на Данте Алигиери

Преди да се върнем към старите гърци, първо ще скочим назад във времето със 700 години – в епохата на прочутата Божествена комедия на Данте. Преди няколко години започнах да препрочитам класиците. Казах си: “сега му е времето да ги прочетеш, докато си още в твоето шесто десетилетие и главата ти е ясна”. Данте броди през Ада, Чистилицето и Рая и аз бях поразен колко често той споменава астрономични обекти. Той е добре запознат със знанията на своето време, които е изучавал в университетите на Флоренция и Болоня. Очевидно за него е било важно да облекче тези астрономични и физични аспекти в поетични дрехи.

Таблица: Исторически и съвременни разстояния

Разстояние до	Птолемей (~150 г. пр. Хр.) Данте и Тихо Брахе	Истинско разстояние
Центъра на Земята	1 радиус на Земята = ~6000 км	1 радиус на Земята = 6370 км
Луната	33 – 34 земни радиуса	60 земни радиуса
Слънцето	1210 земни радиуса	25 000 земни радиуса от 1700 г.
Звездите	20 000 земни радиуса радиуса = 0,000 014 св. год.	Над 10 св. год. от 1838 г.
На-далечните звезди в Млечния път	-	30 000 св. год. от 1900 г.
Най-далечните галактики, наблюдавани	-	2 млрд. св. г. през 1960 г.

<sup>1</sup> Превод със съкращения от Europhysics News.

от 1960 г.		
Най-голямото разстояние до обект във видимата Вселена	Звезди: 20 000 земни радиуса = 0,000 014 св. год.	13,7 млрд. св. год. през 2003 г.
Бог и ангелите	-	-

От Таблицата се вижда, че видимата Вселена е милион милиарди пъти по-голяма, отколкото е вярвал Тихо Брахе. Птолемей далеч не е първият, който указва разстоянията до планетите и звездите, но дадените от него стойности придобиват статута на най-достоверен източник през следващите 1500 години. Сведенията за радиуса на Земята и за разстоянието до Луната и Слънцето той взема от астрономите, работещи в периода от годините 300 и 100 пр. Хр.. Тяхната стойност за Слънцето е 20 пъти по-малка от действителното, но даже Тихо Брахе не е познавал по-добра. Съмненията възникват след него, за пръв път у Йоханес Кеплер през 1617 г.. Но трябва да изминат още цели 150 години, преди разстоянието до Слънцето да бъде определено достоверно от наблюденията на пасажа на Венера пред диска на Слънцето.

Сопред описанието на Данте най-долу в Ада стои гигантът Луцифер със своите гениталии в центъра на Земята. Това се вижда от възпроизведената рисунка на Сандро Ботичели (1444 – 1510). Данте трябва да премине през Луцифер, за да влезе в тунела, който води през Земята до планината на Чистилището от другата страна на Земята. Данте е трябвало да “язди” на гърба на своя водач, римския поет Вергилий, който храбро се е вкопчил в дебелата козина на Луцифер и пълзи надолу. Когато достига центъра на Земята, той трябва да се завърти и да продължи, като главата му вече е в противоположна на началната посока. Тук ние срещаме физиката на Аристотел (384 – 322 пр. Хр.), според когото телата се стремят към своето “естествено място”, което тук означава центъра на Земята<sup>2</sup>. За Аристотел привличането на едно тяло към центъра на Земята е константа, докато Нютон 400 години по-късно предсказа, че гравитацията там е нула.

Докато стои върху планината на Чистилището и наблюдава изгряващото Слънце, Данте забелязва, че то ще мине над лявото му рамо. Вергилий веднага му обяснява, че това е следствие от факта, че се намират вече в южното полукълбо на Земята<sup>3</sup>.

Бих могъл да продължа с примери от Данте. Неговите описания са толкова ясни, че е възможно от тях да се обрисова картината, виждана от Данте и през цялото Средновековие: Вселената със Земята в нейния център, заобиколена от сферите на огъня, Луната, Меркурий, Венера, Слънцето, Марс, Юпитер, Сатурн, неподвижните звезди, кристалната сфера и най-горната (най-висшата) Империя със светци, ангели и Бог. Тази наивна и много популярна представа за космоса през Средновековието със Земята и Бог в двете крайни точки не се споделя от теолозите, според които Бог е вездесъщ по всяко време.

Дантевата картина на света със Земята и Бог в двата края е подходяща за нашата таблица, в която представяме разстоянията във видимата Вселена, най-напред дадени от Птолемей и после – истинските разстояния, които стават известни с течение на времето. Несъмнено Данте е познавал разстоянията, дадени от прочутия гръцки

<sup>2</sup> Според Аристотел към центъра на Земята се стремят **тежките** тела. “Естественото място” на леките тела (огън, дим и т. н.) са небесата, затова те се стремят нагоре. (Бел. прев.)

<sup>3</sup> Ако на нашите географски широчини наблюдаваме изгряващото Слънце видимият му път по небето минава над нашето **дясно** рамо – факт, на който като че ли не се обръща достатъчно внимание в часовете по природознание. В южното полукълбо положението е обратното. А задавали ли сте си въпроса какво е то, ако се намирате на Екватора? (Бел. прев.)

астроном Птолемей около 150 г. сл. Хр., тъй като тези разстояния са възприето и добре известни на целия образован свят, както християнски, така и мюсюлмански.

### **Умозрителни идеи**

Възгледите на гърците върху системата на природата процъфтяват в източното Средиземноморие от Архимед в Сиракуза на о. Сицилия до Ератостен и Птолемей в Александрия и са активни през един много дълъг период, обхващащ годините от 600 г. пр.Хр. до 200 г. сл. Хр.. Разбира се, само една изключително малка част от обществото се интересува от подобни въпроси, но техните размишления са пренесени във времето от римляните и арабите чак до Средновековието.

Гръцките философи търсят обяснения чрез природни закони, докато останалата част на обществото вярва, че събитията са резултат от намесата на понякога твърде човекоподобните им богове. Поради демократичната структура на гръцкото общество подобно пренебрегване на боговете обикновено не води до политическо преследване.

По това време в други общества, където управниците или наричат себе си богове, или твърдят, че са в близки родствени връзки с боговете, подобни мисли биха били разглеждани като атака срещу социалния ред и биха предизвикали опасност за живота на онези, които търсят рационални обяснения. Фактът, че Анаксагор в Атина е обвинен в богохулство, днешните историци разглеждат като резултат от политическата борба, последвала смъртта на Перикъл – близък приятел на Анаксагор.

Гръцките мислители искат да разберат цялата Вселена чрез рационални обяснения. Около 400 г. пр. Хр. те формират възгледа, че всичко се състои от четири елемента: огън, въздух, вода и земя, които от своя страна не са съставени от по-малки елементи. Този възглед е основа на цялата наука до времето на Бойл и Лавоазие (около 1700 г.), а дори и днес го срещаме по ТВ и популярните списания. В това отношение китайската традиция съдържа пет елемента – същите четири, като в Европа, плюс дървото като пети елемент.

Вероятно много читатели ще се съгласят, че от научна гледна точка подобен възглед е погрешен. Той представлява една умозрителна постройка, която не се опира на задълбочени физико-химични наблюдения. Умозрителни възгледи не значи чисти догадки, а в най-добрия случай – мисли относно природните принципи, имащи само съвсем слаба връзка с опита. Ние не би следвало просто укорително да клатим глава, когато става дума за древните мислители. Трябва да отчитаме, че истината е нещо, което се постига много трудно, така че дори и ние днес живеем с редица погрешни представи. Но в математиката и природните науки е възможно чрез разсъждения и опит да се постигне такава степен на достоверност, която оставя твърде малко основания за съмнения.

Ние срещаме умозрителни възгледи у повечето от древните мислители, което не означава, че се намалява историческата роля например на Платон и Аристотел, но в това отношение Архимед (~287 – 212 г. пр. Хр.) заема уникално положение. Неговите методи и резултати са валидни вечно – например правилото за равновесие на лостове и за изтласкващата сила на потопените във вода тела, които са получени опитно и математически. Архимед заслужава да бъде наречен баща на съвременната наука.

Всички умозрителни идеи са породени от неудържимото желание на човек да осигурява обяснение за всичко, което вижда и преживява, например за истинската същност на Слънцето и причината за цикличната смяна на дните и нощите, за създаването на света и на човека, за живота след смъртта и за вътрешните мотиви на политиците. Човек възприема тези обяснения отчасти въз основа на собствен опит, отчасти вярвайки на (древни) авторитети или на харизматични лидери. Само критичната мисъл и усърдната работа обаче могат да доведат постепенно до обяснения

(физикът би казал – теоретични описания), които са вътрешно самосъгласувани и в съгласие с най-важните наблюдения.

### **Теория и наблюдения на гърците**

В астрономията гърците въвеждат теорията, за да могат да предсказват положенията на планетите и затъмненията на Слънцето и Луната. Те предлагат редица различни възможни системи за устройството на Вселената, докато авторитетът на Птолемей не затъмнява всичко останало. Около 600 г. пр. Хр. Анаксимен от Милет твърди, че Земята е цилиндър, три пъти по-широк, отколкото висок, и, че той е заобиколен от три концентрични пръстена, които носят Луната, Слънцето и неподвижните звезди. Диаметрите на пръстените са съответно девет, единадесет и двадесет и седем пъти по-големи от диаметъра на Земята. По същото време Питагор осъзнава, че Земята е кълбо – отчасти от математични и умозрителни съображения (за него кълбото е идеалната форма за едно тяло), отчасти поради кръглата форма на сянката, която Земята хвърля върху Луната по време на лунно затъмнение.

Около 400 г. пр. Хр. Филолаус учи, че Земята обикаля около Слънцето за едно денонощие. Около 350 г. пр. Хр. Аристотел поставя Земята в центъра, а около нея разполага концентричните сфери на водата, въздуха и огъня, следвани от сферите на небесните тела. На тази система е съдено да стане основа на космологията и физиката за повечето от следващите 2000 години.

Около 280 г. пр. Хр. Аристарх предлага много интересната идея, че Земята обикаля около Слънцето за една година, като същевременно се върти около оста си за едно денонощие. По онова време обаче тази идея не намира широк прием. Трябва да изминат още 1800 години, докато Николай Коперник (1473 – 1543) прави същото предложение, измествайки центъра на Вселената от Земята в Слънцето.

Древните гърци определят размера на Земята коректно. Те забелязват, че на всяка дата по пладне Слънцето се намира на по-голяма височина над хоризонта, когато го наблюдаваме от южните широчини, отколкото при наблюдение от места, които са по-на север. Като предполага, че Слънцето е много далече, от измерената в градуси разлика на тези височини, и от разстоянието между двете точки от земната повърхност, от които са направени наблюденията, около 250 г. пр. Хр. Ератостен пресмята обиколката на Земята.

Определено е и разстоянието до Луната. Това извършва около 120 г. пр. Хр. Хипарх, бащата на астрономията, като използва данните от слънчевото затъмнение, станало на 14 март 189 г. пр. Хр.. От описанията на това явление той знаел, че за наблюдателите от Хелеспонт Луната покрива целия слънчев диск, докато за наблюдателите от Александрия се закриват само 4/5 от диска. Той правилно приема, че разстоянието до Слънцето е много по-голямо от разстоянието до Луната и лесно пресмята разстоянието до Луната.

По този начин за измерване на разстоянието до Луната е използвано ъгловото отместване на Луната по отношение на Слънцето между наблюденията от две точки на земната повърхност. Подобен метод на ъгловото отместване се прилага и днес за измерване на разстояния до звезди. Ъгълът между посоките към една близка звезда и една, която е по-далече, се изменя с времето. Разглеждат се две наблюдения, направени през интервал от половин година – времето, за което Земята се премества от другата страна на Слънцето, т. е. на 300 млн. км, защото за това време въпросният ъгъл се изменя максимално. Пресмятанията се усложняват от собственото движение на звездите в пространството. Затова елиминирането на влиянието на тези собствени движения при определяне на разстоянието до по-далечната звезда изисква наблюдения в течение на няколко години.

### **Музика на сферите**

В античния свят няма единно мнение по отношение на последователността на планетите и размерите на космоса. Така например срещаме последователности от рода: Земя, Луна, Слънце, планети; както и: Земя, Луна, Венера, Меркурий, Слънце; и: Земя, Луна, Слънце, Венера, Меркурий. Съгласие се постига едва с появата на Коперник, който поставя в центъра Слънцето: Слънце, Меркурий, Венера, Земя, като само Луната запазва мястото си на най-близка до Земята.

За определяне размерите на планетните орбити се използва теорията на музиката, тъй като естествените интервали между музикалните тонове се смятат за определящи в системата на света. Хармонията на сферите е важно понятие през цялото време от Питагор до Кеплеровата Космография през 1596 г.. Днес знаем, че тя е напълно погрешна, без никаква връзка с природните закони в астрономията, което е и обяснението за твърде различаващите се резултати, получавани от различни древни учени.

Като средство в астрономията музикалната теория става напълно безсмислена и излишна с изясняване на законите на механиката, изложени в излязлата през 1687 г. прочута книга на Нютон Математични принципи на натурфилософията –книга върху съвременната физика, която предизвика революционни промени в разбирането за света.

Нютон описва природните закони математически с помощта на величини като скорост, ускорение, сила, маса, абсолютно време, абсолютно пространство и гравитация – понятия, които до него са или непознати, или нямат точно определение.

Нютон извежда своите закони от законите на Кеплер за движенията на планетите, изведени от своя страна въз основа на данните от измерванията на Тихо Брахе. Нютоновите закони обаче са валидни навсякъде, в цялата Вселена. Оттогава те се прилагат за описание на всички природни явления – и за движенията на планетите, и за строежа на атомите. Те се използват в цялата съвременна техника: за конструиране на мостове и телескопи, мотори, ракети и т. н..

### **Средновековие**

Приносът на Средновековието не трябва да се забравя. Християнските мислители се занимават много с понятията време, вечност и пространство, защото християнският Бог е вечен и вездесъщ. Те създават един философски език, на който по тези въпроси може да се разсъждава смислено. През античността и средновековието християнските учители (мисионери и свещеници) се борят с астрологията и суеверията, които обаче все още имат силно влияние и сред съвременните хора. Суеверието обаче е съвсем чуждо на християнската вяра в един подреден свят, свят и Вселена, подредени в хармония от вечния Бог, Бог, който не се намесва във всекидневието. Бог е само архитект на Вселената, създава я според принципите на геометрията и хармонията. Според Кеплер търсенето на тези принципи е търсене на Бога и преклонение пред него. Вярата в чудеса трудно се съгласува с такава представа за Бог.

В сравнение с древна Гърция, в християнска Европа по-голяма част от обществото постепенно получава теоретично образование. През 16. век все по-широко се разпространява мнението, че е позволено да се търсят природни закони с единствена цел – откриването на тези закони. Преди това подобни търсения винаги трябва да се съпровождат със и да завършват с възхвала на всемогъщия Бог. За кратко време и Тихо Брахе, и Галилей се възползват от тази свобода на изследванията, но и двамата са принудени да страдат, когато консервативните теолози отново печелят сила.

### Светлината от Големия взрив

Внимателният читател трябва да е забелязал, че по отношение на разстоянията астрономите често са променяли мнението си – понякога бавно, понякога много бързо. Те са се придържали към Птолемеевите разстояния чак до Тихо Брахе. Днес обаче видимата Вселена е един милион милиарда пъти по-голяма от вселената на Тихо Брахе, и тя “порасна” най-бързо през последните 100 години – според Таблицата с един множител от един милион. Читателят би трябвало да запита: Знаем ли ние всъщност нещо определено? Би ли могло и в бъдеще всичко да расте с подобна скорост?

Отговорите са съответно ДА и НЕ.

Инструментите и методите за измерване са основни за нашето знание за Вселената. Описанието на тези въпроси и на методите за интерпретиране на наблюденията обаче би изисквало твърде много място. Аз ще опитам да спечеля доверието на читателите чрез информация от историята. Смя да твърдя, че ние наистина знаем нещо достоверно – например още в 100 г. пр. Хр. размерът на Земята и разстоянието до Луната са били известни приблизително точно. Точното измерване на разстоянието до Слънцето става възможно едва след изобретяване на телескопа и използването му през 1610 г. от Галилей за астрономични наблюдения. Но и тогава астрономите трябва да чакат да настъпи едно много рядко явление – пасажа на Венера пред диска на Слънцето, и да изпратят експедиции в най-екзотични места по Земята, за да осигурят наблюдения, от които да се намери така желаното разстояние до Слънцето. За пръв път това се случва през 1761 г. и методът дава задоволителни резултати. В наше време някои разстояния в Слънчевата система са измерени пряко чрез отражение на изпратени от Земята радарни сигнали – например разстоянията до Луната и Венера.

Напредъкът в измерванията на разстоянията до звездите трябваше да изчака индустриалната революция. Едно от предварителните условия за тази революция бе познаването на природните закони, установени през 1687 г. от Нютон. Откак Коперник писа, че Слънцето се намира в центъра на земната орбита, астрономите опитват да определят разстоянията до звездите чрез годишната промяна на тяхното положение върху небосвода. Но те успяха едва след създаване на добри телескопи и, не на последно място, на добър математически метод за обработка на наблюденията и техните грешки. Математическият метод на “най-малките квадрати” е описан от Гаус през 1802 г. Измерванията и анализът на данните са извършени от Бесел за звездата № 61 от съзвездиято Лебед. Неговият внимателен анализ и публикацията на резултатите през 1838 г. убеждават другите астрономи в реалността на резултата, за разлика от многобройните други публикации на “разстояния до звезди”, нароили се след времето на Коперник. Разстоянието от 11,2 светлинни години е милион пъти по-голямо от Птолемеевото разстояние до звездите.

Измерването на разстояния с помощта на годишното ъглово преместване днес е възможно за звезди, отдалечени от Слънцето на само няколко процента от размерите на нашата Галактика. Така например “Хипарх”, първият астрометричен спътник, има за цел точното определяне на разстоянията до звездите. Той бе изведен в космоса от Европейската астрономическа агенция през 1989 г.. За 3 години “Хипарх” определи разстоянията до 120 000 звезди, намиращи се на разстояния до 1000 св. год. от Слънцето.

Разстоянията до много по-отдалечените звезди – например звездите в другите галактики, могат да бъдат получени от данните за техния блясък. Блясъкът на една звезда намалява с квадрата на разстоянието. Това означава, че блясъкът на звезда, която е два пъти по-далече от близка звезда от същия тип, е четири пъти по-слаб. Типът на една звезда се определя чрез изследване на нейния спектър, чиито цветен състав се детектира с достатъчни подробности.

За наблюдаване спектрите на звездите са необходими големи телескопи. За интерпретиране на спектрите е необходима теория за топлинното излъчване и атомна теория, които бяха развити през 19. и 20. век. Това бе възможно на основата на законите на Нютон, както и на откритите по-късна дълбоки закономерности на квантовата теория и на теорията на относителността.

Чрез методите на радиоастрономията и от наблюденията извън земната атмосфера през последните 50 години стана възможно изследването на електромагнитни лъчения с всевъзможни дължини на вълната, а не само в тясната ивица около видимата светлина, която бе основа на цялата дотогавашна астрономия. До 1960 г. 5-метровият телескоп на Маунт Паломар можеше да регистрира слаби галактики, отдалечени на разстояния до 2 милиарда светлинни години, а днес чрез телескопа “Хъбл” се наблюдават галактики, светлината от които пътува до нас приблизително 13 млрд. св. год. – почти от момента на Големия взрив.

Ние наблюдаваме радиация, излъчена, когато Вселената е била на само 380 000 години, а температурата ѝ е паднала под 3000 градуса. При тази температура газът във Вселената става прозрачен, така че радиацията може да се разпространява безпрепятствено, без да се поглъща обратно, както когато газът е бил по-горещ. Това лъчение бе открито през 1964 г. от Пензиас и Уилсън като микровълново лъчение, достигащо до нас от всички посоки.

Заради разширението на Вселената, това фоново космично лъчение днес има дължина на вълната, много по-голяма от тази по времето, когато е било излъчено, т. е. преди 13,7 млрд. год.. Тази възраст на Вселената бе измерена с точност от 1 % от съвременния сателит WMAP.

Дължината на вълната на съвременното фоново космично лъчение е само 2,726 градуса над абсолютната нула, т. е. над  $-273,15^{\circ}\text{C}$ . Температурата на лъчението е твърде постоянна по цялото небе, променяйки се само с 40 милионни части от градуса. Математичният анализ на тези точно измерени вариации даде решаваща информация за ранното развитие на Вселената.

### **Невидимата Вселена**

Светлината, както и всяка друга наблюдавана днес радиация, не може да е била излъчена преди повече от 13,7 милиарда години, когато е настъпил Големият взрив. Този много дълъг, но все пак краен времеви интервал, определя нашия космически хоризонт, който представлява сфера с център – наблюдателят. Нашата цел дотук бяха разстоянията до обектите във видимата Вселена, т. е. Вселената вътре в космическия хоризонт.

Трябва да подчертаем, че цялата Вселена е много по-голяма, вероятно дори безкрайно голяма. Според данните от сателита WMAP обаче, вероятно Вселената е крайна. Във всеки случай цялата Вселена няма център, за всеки наблюдател в най-крупен мащаб тя изглежда приблизително по един и същ начин. Това се нарича космологичен принцип и той, намирайки се в съгласие с точните наблюдения напр. от WMAP, е основа за цялата съвременна космология.

Тук са необходими няколко думи за времето, пространството и разстоянията. Ние виждаме отдалечените галактики така, както са изглеждали преди милиарди години, когато са излъчили светлината – това е т. нар. “look-back” време на галактиката. Ние дефинираме “look-back” разстоянието до галактиката като произведение от “look-back” времето и скоростта на светлината – 300 000 км/сек.

Ние можем да наблюдаваме ъгловия размер и блясъка на една намираща се на определено разстояние галактика. Ако същият тип галактика се наблюдава на два пъти по-голямо разстояние, очакваме да я видим два пъти по-малка и с четири пъти по-

малък блясък. Тези закономерности са валидни точно само до разстояния от няколко стотици милиона светлинни години, но не и за много милиарди светлинни години. За да опишем нашите наблюдения със същите закони, за такива галактики са необходими друг тип разстояния, различни от “look-back” разстоянията.

Пространството и времето в общата теория на относителността се описват като четиримерно пространство-време и от 1915 г. насам тази теория е предпочитаната математична основа при изследване на Вселената. Тя описва една вселена, която няма център и осигурява нови типове разстояния в една разширяваща се вселена, при което ъгловите размери и яркостта на галактиката могат да се разглеждат съгласувано и при възможно най-големите разстояния.

Всъщност теорията на относителността не предсказва, че Вселената се разширява – тя допуска както разширение, така и свиване. Действителното разширение е открито от Едуин Хъбл през 1929 г., когато той установява, че спектралните линии в спектрите на отдалечените галактики са отместени към червения край на спектъра, свидетелстващо за скорост, насочена навън от нас, при което тази скорост е толкова по-голяма, колкото по-голямо е разстоянието до галактиката. Тъй като скоростта е пропорционална на разстоянието, в съответствие с космологичния принцип един наблюдател, независимо къде се намира във Вселената, ще наблюдава подобни скорости на разширение.

Съвременните наблюдения и теория с голям успех създадоха последователно математично описание на явленията, протичащи и в най-далечните части на видимата Вселена. Един от най-поразителните резултати е, че масата на цялото видимо вещество (т.е. атомите, влизащи в състава на звездите, на праха и на междузвездния газ) е твърде малко, за да обясни наблюдаваните скорости на галактиките и на куповете галактики. Общата гравитация, изисквана от наблюдаваните скорости, се приписва на видимото в атомна форма вещество, плюс някаква форма на тъмна материя, която от 70 години е загадка за астрономите. Днес изглежда, че тъмната материя е десет пъти повече от веществото, организирано в атоми. В действителност, образуването на галактики и галактични купове се доминира изцяло от гравитацията на тъмната материя, докато на практика видимото вещество само ни показва движението на тъмната материя. Друга загадка от същия порядък се основава на още по-новите наблюдения върху много далечните обекти във Вселената. Изглежда, като че ли разширяването на Вселената днес става с по-голяма скорост, отколкото в миналото. Този ефект се приписва на тъмна енергия, която ускорява разширяването.

Тъмна материя и тъмна енергия са само термини, възприети от астрономите когато говорят за големите скорости, наблюдавани в движенията на видимото вещество във Вселената. Разбирането на истинската физична природа на тъмната материя и на тъмната енергия е едно голямо предизвикателство за днешните астрономия и физика.

Накрая, някои заключения. Цялата Вселена вероятно има краен обем, леко изкривен от наличието на видимо вещество и тъмна материя, както и на тъмна енергия. Вероятно Вселената ще се разширява вечно и заради наличието на тъмна енергия това разширяване ще протича все по-бързо и по-бързо.