## Оглавление

Системы мира 3

Мир по Ньютону 4

Расширяющаяся вселенная 4

Отголоски начала 6

Большой взрыв 8

Микрофизика 10

Новые подходы 13

Неортодоксальные взгляды 15

Будущее Вселенной 15

Список литературы 18

## Системы мира

Путь человечества к познанию окружающего мира длился тысяче­летия. Это был путь временного торжества ложных истин, путь кост­ров и отречений. Но в то же время это была дорога величайших от­крытий, предвидений и прозрений, дорога торжества человеческого гения. Вполне понятно стремление чело­века во все времена создать систему окружающего мира. Разработка таких систем началась в глубокой древности и продолжается по сей день. Если отвлечься от наивных мифологических систем, то, бесспор­но, первой внутренне логичной и всесторонне продуманной стала си­стема мира Аристотеля. Недаром усиленная и подкрепленная впослед­ствии трудами греческого астронома Птолемея, она просуществовала почти две тысячи лет.

Согласно этой системе Земля — центр Вселенной, а так как все тяжелые частицы стремятся к цент­ру, то именно здесь и образовалось твердое тело нашей планеты. Легкие элементы — воздух и огонь — под­нимаются в высокие слои, там они загораются, и тогда люди видят ко­меты и падающие звезды. Вечно движение небесных тел по сферам, окружающим неподвижную Землю, а Вселенная сферична и конечна.

Стоит заметить, что за несколько столетий до Аристотеля знаменитый математик Пифагор Самосский вы­сказал мысль о том, что Земля имеет шарообразную форму и обращается вокруг собственной оси. Более того, он считал, что и Солнце, и Земля, и Луна вращаются вокруг некото­рого общего гипотетического цент­ра, который он назвал центральным огнем. Это движение планет и Солн­ца создает гармонию небесных сфер. Ученики Пифагора утверждали, что только их великий учитель был спо­собен ощущать эту гармонию.

Нетрудно заметить, что в миро­ощущении Пифагора просматрива­ются основные принципы гелиоцент­рической системы мира. И все же созданная легендарным Пифагором картина мира просуществовала не­долго. На смену ей пришла геоцент­рическая система Аристотеля.

Не следует думать, что у древних идея Аристотеля не вызывала ника­ких возражений. Она, к примеру, не могла объяс­нить очевидных изменений яркости планет при движении их по небесно­му своду. А ведь как легко это можно было сделать, предположив, что пла­неты то приближаются к Земле, то удаляются от нее.

Самый смелый шаг был сделан греческим математиком Аристархом Самосским вскоре после смерти Аристотеля. Он первым из греческих мыслителей расположил Солнце в центре мира, а Землю заставил вра­щаться вокруг Солнца. Этот факт доподлинно установлен, поскольку Архимед упоминает о нем в своем труде “Исчисление песчинок”. Гипотеза Аристарха Самосского не нашла единомышленников, по­скольку астрономия в то время обла­дала небольшим количеством на­блюдательных фактов. Потребова­лось более полутора тысяч лет, чтобы она возродилась в знаменитой книге Коперника “О вращениях небесных сфер”.

По всей видимости, начиная с 1515 года Коперник систематически разра­батывал новую систему мира и одно­временно наблюдал движение небес­ных светил. Очень кратко основные положения, тезисы новой теории он изложил на двенадцати страницах рукописи, которую сейчас принято называть “Малым комментарием”. Сам Коперник называл эти тезисы аксиомами. Первые аксиомы гласили, что “не существует одного центра для всех небесных орбит или сфер, ...центр Земли не является центром мира. Все сферы движутся вокруг Солнца. Так что около Солнца находится центр мира”.

В “Малом комментарии” нет каких-либо математических выкладок. Это была философская квинтэссенция последующего гениального произве­дения “О вращении небесных сфер”.

Джордано Бруно свои взгляды изложил в трех книгах, написанных в форме диало­гов: “Пир на пепле”, “О причине начала и едином” и “О бесконечности вселенной и мирах”. Именно здесь он и сформулировал новое научное миропонимание. Нельзя считать, что Бруно лишь развил учение Коперника или обосновал его философски. Бру­но — творец нового научного миро­воззрения. Гениальное предвидение о бесконечности миров, “которые носятся в эфирном океане, подобно нашему миру”, возрождение атоми­стической теории, создание новой картины космоса выдвигают Джорда­но Бруно в первые ряды величайших мыслителей. Казнь Бруно была пирровой побе­дой церкви. Учение Аристотеля аго­низировало, и эта агония была не­обратимой. Но триумф идей Копер­ника бесспорно не состоялся бы еще многие годы, если бы вскоре после гибели Бруно в Европе не появились телескопы. Именно наблюдательные данные великого Галилея, его точная и последовательная интерпретация этих данных с позиций коперникианства, несмотря на драму отречения, нанесли окончательный удар по си­стеме мира Аристотеля. Одним из творцов астрономии нового времени был также И. Кеплер, открывший законы движения планет по эллипти­ческим орбитам. Только благодаря работам Галилея и Кеплера система мира Коперника стала одним из крае­угольных камней фундамента науки.

## Мир по Ньютону

В 1642 году умер великий Галилей. В этом же году 25 декабря (по старо­му стилю) километрах в десяти южнее городка Грэнтэм, в деревне Вульсторп, недалеко от восточного побережья Англии родился Исаак Ньютон. И до Ньютона многие ученые говорили о силе притяжения между различными телами. Еще Коперник пытался объяснить шарообразную форму Земли взаимным притяжени­ем слагающих ее частиц.

Романтический, а порой и ударяв­шийся в мистику Кеплер писал: “Если бы Земля не мешала притягивать воды, то вся морская вода притяну­лась бы к Луне и улетела”.

В знаменитой книге Ньютона “Математические начала натуральной философии” дан последовательный, общий принцип решения любых задач физики и астрономии. Именно после выхода в свет этой книги и возникла классическая физика.

Система мира Ньютона владела умами людей более двухсот лет, и поэтому она не могла не оказать самого серьезного влияния на мышление и мировоззрение мно­гих поколений.

Итак, прежде всего Вселенная по Ньютону бесконечна, и, кроме того, выражаясь языком современного фи­зика, она стационарна, вечна. Дви­жение тел в ней описывается закона­ми Ньютона. Не следует забывать о том, что Ньютон был человеком глу­боко религиозным. Сама идея вечно­сти Вселенной с эстетической и фило­софской точек зрения весьма привле­кательна, и многие крупные ученые соглашались платить весьма большую цену, чтобы сохранить стационарную, вечную Все­ленную.

Гениальный Ньютон, конечно же, не мог не ставить перед собой вопро­са о происхождении мира. Но для него решение этого вопроса было простым. В своих “Началах” он писал:

“Изящнейшее соединение Солнца, планет и комет не могло произойти иначе, как по намерению и по власти могущественного и премудрого существа”. Ньютон отстаивал акт пер­вичного сотворения и полагал, что ему удалось лишь открыть основные принципы, управляющие миром.

Ньютон не мог не понимать, что открытые им законы должны приво­дить к некоторым следствиям, не укладывающимся в наблюдаемую астрономами картину мира. Напри­мер, он сам, затрагивая космологи­ческие вопросы, приходил к мнению, что в бесконечном пространстве должны быть лишь бесчисленные подобные друг другу сферы. В силу закона всемирного тяготения они должны двигаться с бесконечной скоростью.

Разнообразие небесных объектов, хорошо известное уже в XVII веке, ученый объяснял с теологических позиций. Философия Ньютона, его система мира долгое время устраи­вала всех. Это был тот редкий случай, когда научная теория (именно теория, система, а не догма) не вызывала возражений со стороны церкви: веч­ный и безграничный мир был создан Творцом. Правда, одна неприятность со Все­ленной Ньютона обнаружилась до­вольно скоро. Эта неприятность назы­вается парадоксом Ольберса. Бременский врач с большой практикой и в то же время астроном-любитель Г.Ольберс (1758—1840) среди про­фессиональных астрономов своего времени пользовался непререкае­мым авторитетом.

Суть парадокса Ольберса состоит в следующем. Пусть мы живем в бес­конечной Вселенной Ньютона. Попробуем провести мысленный эксперимент. Окружим нашу Землю воображаемой сферой достаточно большого радиуса. Тогда внутри этой сферы окажется какое-то число звезд (для нас сейчас абсолют­но неважно, какое именно), которые дадут определенный вклад в яркость нашей сферы. Удвоим теперь радиус сферы. Если предположить, что все звезды одина­ковы по своей яркости и равномерно распределены в пространстве, при операции удвоения радиуса долж­на увеличиться и яркость ночного неба. Действительно, хотя при такой опе­рации яркость самых далеких звезд уменьшится в 4 раза, так как она зависит от расстояния как 1/г2, но количество звезд внутри сферы пря­мо пропорционально ее объему, то есть г , и поэтому общая яркость ноч­ного неба возрастет. В конце концов мы получим такую картину: ночное небо должно быть таким же ярким, как наше Солнце! Сам Ольберс пытался спасти поло­жение, “вводя” в космическое прост­ранство поглощающую свет среду, но на самом деле в этом случае погло­щающий газ должен был бы нагре­ваться до высокой температуры и излучал бы почти столько же энергии, сколько поглощал. Парадокс оставал­ся неразрешимым.

## Расширяющаяся вселенная

Заглянуть глубже в тайны миро­здания, чем это сделал Ньютон, дол­гое время казалось невозможным. Лишь в начале нашего века в 1915 го­ду появилась работа А. Эйнштейна, которая в конце концов заставила пересмотреть систему мира Ньютона, и, заметим, самым радикальным образом.

Знаменитые уравнения Эйнштей­на — основа общей теории относительности — были опубликованы в 1916 году. Они подарили нам новый мир, существенно отличающийся от мира Ньютона. Как образно сказал один из крупнейших современных физиков, Дж. Уилер, в общей теории относительности пространство “гово­рит” материи, как ей двигаться, а материя “указывает” пространству, как ему искривляться.

Общая Теория Относительности (ОТО) име­ет дело с четырехмерным простран­ством, где одной из координат является время. Трудность состоит в том, что четы­рехмерный мир нельзя представить себе наглядно. Для нас число “нагляд­ных” измерений не превышает трех. Четырехмерный мир Эйнштейна, конечно же, не абстракция. Дело в том, что мы живем геометрически в трехмерном пространстве, но все физические процессы в этом мире связаны со временем, а сам ход вре­мени для наблюдателя зависит от свойств пространства, от скорости процессов. Поэтому время связано в мире Эйнштейна с геометрией, а геометрия со временем. Неда­ром Уилер предложил называть теорию Эйнштейна геометродинамикой.

Геометродинамика, ОТО предска­зывает удивительные явления, кото­рые должны происходить в нашем ми­ре: изменение темпа течения време­ни, искривление лучей света в силь­ных полях тяготения и многое другое.

Итак, пространство не абсолютно, оно динамично, оно живет. И самым важным свойством уравнений Эйн­штейна, по крайней мере для космо­логии, является то, что они позво­ляют представить себе, как жила, живет и будет жить в дальнейшем наша Вселенная. Нельзя не подчеркнуть, что Эйнштейн на первых порах намеренно искал такое решение своих уравнений, которое “давало” бы однородную и статичную Вселенную. То есть сначала и Эйн­штейн, так же как и Ньютон, оказался в плену идеи, если так можно выра­зиться, “статичной вечности”.

Первым человеком, которому уда­лось на основании уравнений Эйн­штейна получить принципиально но­вые выводы о структуре нашей Все­ленной, был советский математик А. Фридман.

Он выполнил интересные работы в области метеорологии и гидромеханики. Но имя свое ученый обессмертил работами по космоло­гии. Первая статья 1922 года, где он нашел новое космологическое реше­ние уравнений ОТО, говорила о том, что наш мир, наша Вселенная неста­ционарна. Она замкнута и непрерыв­но расширяется. Эйнштейн отреаги­ровал на эту статью отрицательно, немедленно опубликовав “Замеча­ние”, в котором содержалось опро­вержение выводов Фридмана. Но великий Эйнштейн оказался неправ. Он признал это в 1923 году: “Я счи­таю результаты г. Фридмана правиль­ными и проливающими новый свет...”

Сегодня в научной литературе прочно утвердился термин “Вселен­ные Фридмана”. Что же это такое?

Фридман нашел два решения урав­нений Эйнштейна, каждое из которых зависит от средней плотности мате­рии во Вселенной. Если средняя плот­ность **ρ** меньше некоторой величины **ρ**кр или равна ей, то Вселенная может быть пространственно как бесконеч­ной, так и конечной, но расширение ее будет продолжаться всегда. Если же значение средней плотности боль­ше критической (**ρ**>**ρ**кр), неизбежно получается замкнутая (но безгранич­ная!) Вселенная. Силы гравитации в этом случае должны в конце концов остановить расширение Вселенной, и она рано или поздно начнет сжимать­ся.

Попробуем пояснить, как совмеща­ются понятия конечности и безгра­ничности. Наглядный пример здесь достаточно прост. Возьмем поверх­ность резинового надувного шарика. Она конечна, как бы мы этот шар ни раздували. Но в то же время она и безгранична, так как, путешествуя по этой поверхности, мы никогда не доберемся до границы. В крайнем случае вернемся туда, откуда начали свой путь.

Итак, на сцене появились динами­ческие модели Вселенной. И сразу же возникло множество вопросов. Ведь модели Фридмана — его Все­ленные — построены пером теорети­ка (да и вообще все, что мы до сих пор обсуждали, было гениальными теоретическими построениями), и только данные наблюдательной астрономии могли подтвердить или опровергнуть эти модели — модели расширяющейся Вселенной. О чем же они свидетельствовали в то время?

Еще в 1914—1917 годах астрономы выяснили поразительный факт, кото­рому, к сожалению, сначала не прида­ли значения: большинство далеких галактик разбегаются от нашей Галактики с довольно большими скоростя­ми, причем самые далекие из них с самыми большими скоростями.

На последнее обстоятельство обра­тил внимание еще в 1919 году амери­канский астроном X. Шепли, но не сумел объяснить его (“Вселенные Фридмана” еще не были созданы!). И лишь в 1929 году американский астроном Э. Хаббл вывел свой зна­менитый закон, гласящий, что *ско­рость разлета галактик, прямо про­порциональна расстоянию от нашей Галактики.* V == Нг, где V — скорость галактики, г — расстояние, Н — так называемая постоянная Хаббла. За­кон Хаббла — один из краеугольных камней современной космологии.

Астрономы наблюдали спектры далеких туманностей и установили, что хорошо известные линии, напри­мер, ионизированного кальция или водорода, находятся “не на своих местах”, сдвинуты далеко в красную сторону спектра. Так был обнаружен факт разлета галактик, и вскоре в науке появился знаменитый термин “красное смещение”. Закон Хаббла был установлен в 1929 году, и модели расширяющейся Вселенной получи­ли таким образом первое надеж­ное экспериментальное подтвержде­ние.

Нужно сказать о том, что закон Хаббла и красное смещение разреша­ют и знаменитый парадокс Ольберса.

Закон Всемир­ного тяготения Ньютона легко выво­дится из ОТО. Но не это самое инте­ресное. В 30-х годах было показано, что из закона Всемирного тяготения можно получить законы расширения и сжатия Вселенной, и ОТО для этого в принципе не нужна!

Это поистине поразительный факт, свидетельствующий лишний раз о том, насколько притягательна идея вечной и стационарной Вселенной. Нам трудно себе представить, что модели расширяющегося мира в принципе могли быть получены за­долго до рождения Эйнштейна, к при­меру, еще во времена Ньютона. И не построены были эти модели по чисто психологическим причинам.

Для самого Ньютона не существо­вал вопрос о начале мира, для него непреложным фактом было сотворение мира Творцом. Человечество не было еще готово к постановке подобного вопроса на научной осно­ве. Прошло два столетия со дня смер­ти Ньютона, и уже великий Эйнштейн не хочет говорить с аббатом Леметром о вопросе начала: “Это слишком похоже на акт творения. Сразу видно, что Вы священник”. А ведь аббат Леметр, будущий президент папской Академии в Ватикане, был одним из тех, кто наряду с Фридманом иссле­довал решения ОТО. Термин “вселен­ные Леметра” прочно вошел в науч­ную литературу. Именно он ввел понятие первичного атома, при взры­ве которого и образовался наш мир.

Парадокс, а может быть, и не­что большее, чем парадокс, состо­ял в том, что и Эйнштейн, и многие другие ученые в течение нескольких лет после выхода в свет работ Фрид­мана (а затем и Леметра) не рас­сматривали всерьез космологические решения ОТО, зависящие от времени. Переворот в сознании и соответст­вующая переоценка произошли лишь после открытия Хаббла.

Закон Хаббла утверждает, что чем дальше от нас находится какая-нибудь галактика, тем с большей скоростью она от нас удаляется. При этом долж­на возрастать величина красного смещения. В конце концов оно станет настолько большим, что мы не смо­жем увидеть источник света. Как говорят в космологии, красное сме­щение создает “горизонт” видимости, за который наш взгляд не может про­никнуть. К тому же расширение Вселенной происходит достаточно быстро. Ну а поскольку свет от объектов, лежащих за горизонтом, мы не можем воспринять, а внутри горизонта число звезд по астроно­мическим масштабам невелико — ≈ 1025, парадокс Ольберса, основан­ный на введении бесконечного числа источников света и бесконечной Все­ленной, разрешается просто в рамках моделей расширяющейся Вселенной.

При анализе закона Хаббла возни­кает еще один вопрос. Если все на­блюдаемые галактики разлетаются от нас, то не находимся ли мы, земные наблюдатели, в центре мира?

Казалось бы на первый взгляд, что наше положение “привилегирован­но”.

Вернемся снова к аналогии с по­верхностью резинового надувного шара. Предположим, что это и есть наша Вселенная (мы не можем поки­нуть поверхность или проникнуть внутрь шара). Нанесем на поверх­ность шара точки и будем считать каждую точку галактикой. Начнем надувать шар от радиуса R до радиуса 2R (модель расширяющейся Вселен­ной!). Все точки (галактики) естест­венно останутся на поверхности шара, расстояние между ними также увели­чится в два раза. Но вот что самое интересное! В какую бы “галактику” на нашей сфере мы ни поместили наблюдателя (А или В), ему будет казаться, что все осталь­ные галактики от него удаляются, и именно он находится в центре мира.

Таким образом, наша Вселенная не имеет выделенного центра. Но давай­те пойдем назад — начнем выпускать воздух из нашего шарика и предполо­жим, что он сожмется в точку. Конечно, с реальным воздушным шариком этого не произойдет, но в качестве мысленного эксперимента подобная операция не вызывает труд­ностей. Тогда мы увидим, что при стремлении радиуса шара к 0 поверх­ность его также стремится к 0, и, естественно, расстояния между точ­ками его поверхности (галактиками) беспредельно уменьшаются.

Именно здесь мы и подходим к одному из основных вопросов космо­логии: что было вначале? Вопрос вполне правомочный. Ведь если Все­ленная расширяется, то когда-то этот процесс должен был начаться. И здесь физика — наука, претендую­щая на то, что она может объяснить любое явление в окружающем нас мире,— обязана была сказать свое слово.

## Отголоски начала

Одним из первых физиков, подо­шедших вплотную к этому вопросу, был Г. Гамов. Произошло это, кстати говоря, несколько неожиданно, по­скольку он занимался задачей космологической распространенности раз­личных элементов и изотопов.

Известно, что в природе преобла­дают элементы с избытком нейтро­нов. Гамов хотел “получить” все элементы простым способом: после­довательным присоединением сво­бодных нейтронов к ядру. Но для этого нужны очень высокие темпера­туры, и Гамов пришел к идее горя­чего начала.

Парадоксальным здесь является тот факт, что в целом теория Гамова о синтезе элементов неверна, а вывод о горячем начале Вселенной абсолют­но верен. Более того, Гамов указал, что “отголоски” горячего начала должны быть видны сегодня в виде так называемого “реликтового излу­чения” (термин, предложенный из­вестным советским астрофизиком И. Шкловским). Гамов даже оценил в 1956 году температуру этого излу­чения и получил цифру 5—6 К. Не правда ли, очень низкая температура? Но если взглянуть в прошлое, то тем­пература этого излучения была выше, Вселенная была плотнее и горячее...

В 1964 году в лаборатории фирмы “Белл телефон” была создана новая рупорная антенна. Она предназнача­лась для работы со спутником связи “Эхо”. Но технические характеристи­ки антенны, в частности очень низкий уровень шумов, сразу привлекли к ней внимание радиоастрономов. Пер­выми начали с ней работать А. Пензиас и Р. Вильсон, один из них был радиофизиком, другой радиоастроно­мом. Они решили мерить интенсив­ность радиоизлучения от нашей Га­лактики. Эта задача отнюдь не проста, так как, если вы измеряете радиосиг­налы от какого-то конкретного источ­ника, например, от звезды, то изба­виться от помех, шума довольно прос­то. Для этого надо лишь отклонить антенну от звезды, померить сигнал, а затем снова направить ее точно на звезду и опять провести измерения. Разница между двумя сигналами и будет сигналом от объекта. Но у Пензиаса и Вильсона объектом было фак­тически все небо!

Именно поэтому им необходимо было уменьшить до предела то, что в сегодняшней радиотехнике называет­ся собственным шумом радиоприем­ного устройства. Кроме того, им, ко­нечно, мешали так называемые атмо­сферные шумы. Короче говоря, прежде чем приступить к непосред­ственным экспериментам, они прове­ли огромную подготовительную работу.

Эксперименты были начаты на коротких волнах (около 7,5 сантимет­ра), поскольку считалось, что в этом диапазоне шум должен быть прене­брежимо мал. Это была своего рода проверка качества антенны и прием­ных цепей. Но в первых же прове­денных опытах исследователями был зарегистрирован радиошум в этом диапазоне. Причем интенсивность сигнала не зависела от направления. Это очень существенный факт, и самое естественное его объяснение состояло в том, что шумит сама антенна или цепи радиоприемного устройства. Проверялось абсолютно все. На подозрение была взята даже парочка голубей, которая облюбовала рупор антенны и за время подготовительных работ угнездилась в нем. В 1965 году эксперименты начались снова и снова дали тот же результат. Небо давало микроволновый фон, шум, и величина сигнала не зависела от направления. Откуда же этот шум мог появиться, если всевозмож­ные помехи были учтены и устра­нены?

Пензиас и Вильсон не могли отве­тить на этот вопрос. Для начала они попытались определить характери­стики обнаруженного ими шума и в первую очередь его интенсивность. А интенсивность теплового радиошума очень удобно описывать, пользуясь понятием обычной температуры. Действительно, любое тело “шумит” в радиодиапазоне за счет теплового движения электронов внутри тела. Грубо говоря, чем выше температура, тем выше интенсивность теплового шума. Поэтому в радиотехнике используется понятие “эквивалентной температуры” радиоизлучения. Итак, оказалось, что шум, открытый Пензиасом и Вильсоном, имел температуру около 3,5 К. (Здесь нельзя не сказать о том, что за год до открытия Пензи­аса и Вильсона советские астрофизики А. Дорошкевич и И. Новиков теоре­тически предсказали возможность обнаружения реликтового излучения в сантиметровом диапазоне. Но, к сожалению, на эту работу не обра­тили тогда должного внимания экспе­риментаторы.)

Случай играет не последнюю роль в науке. Ведь Пензиас и Вильсон понятия не имели о том, что такое реликтовое излучение. Они просто натолкнулись на него. А практически в то же время всего в нескольких десятках километров от антенны фир­мы “Белл” группа Р. Дикке, крупного американского астрофизика, строила специальную антенну для поиска отголосков Большого Взрыва.

Дикке знал о работах Гамова и придавал им большое значение. Именно поэтому, когда астрофизики узнали о результатах Пензиаса и Вильсона, Дикке мгновенно объяснил их, и соответствующие публикации в журнале “Nature” появились одновре­менно, но с экспериментальными результатами Дикке опоздал пример­но на полгода. 20 лет размышлял Нобелевский комитет, кому прису­дить премию — счастливчикам Пензиасу и Вильсону или Р. Дикке. Как мы знаем, выиграли счастливчики.

Конечно же, это открытие могло быть сделано и раньше. Ведь о Боль­шом Взрыве говорили и до 1965 года. Но, как указал лауреат Нобелевской премии по физике Е. Вигнер, теория Большого Взрыва не привела к поиску реликтового излучения потому, что физикам было трудно серьезно вос­принять *любую* теорию ранней Все­ленной: “Это открытие заставило всех нас всерьез отнестись к мысли, что ранняя Вселенная *была”.*

## Большой взрыв

О Большом Взрыве ежегодно публику­ется огромное число статей и в науч­ной и в научно-популярной печати. Но самое-то интересное заключается в том, что взрыва в обычном понимании этого слова не было! Справедливо ли применять слово “взрыв” к начальным стадиям расши­рения Вселенной? Другими словами, можно ли сказать, что огромное дав­ление сжатой в точку Вселенной яви­лось причиной ее расширения (взрыв бомбы)?

Нет! При взрыве расширение про­исходит из-за разности между боль­шим давлением продуктов взрыва и малым давлением окружающего их атмосферного воздуха. Но когда мы рассматриваем раннюю Вселенную, понятия “снаружи” и “внутри” теряют смысл, а давление в однородной Вселенной распределено равномер­но. Между различными частями Все­ленной нет разности давления, а зна­чит, нет и силы, вызывающей расши­рение.

В чем же дело? Почему Вселенная начала расширяться? На этот вопрос сегодня нет общепринятого ответа.

Очень трудно говорить о тех време­нах, когда вся видимая сегодня Все­ленная была величиной с маковое зернышко. Но предполагается, что она действительно миллиарды лет тому на­зад была именно таких размеров (и даже меньше) и действительно стала расширяться.

Сегодня космология еще не в со­стоянии ответить на ряд принципиаль­ных вопросов. Среди них основные: что было до начала наблюдаемого расширения? Будет ли Вселенная веч­но расширяться или опять сожмется в точку (как говорят физики, образует­ся ли снова сингулярность — состоя­ние вещества с бесконечной плотно­стью) ? Мы надеемся, что ответы на эти вопросы будут получены в близ­ком будущем.

Но отсутствие ответов сейчас, се­годня, не мешает физикам рассмат­ривать самые ранние стадии расшире­ния Вселенной. Некоторые теории оперируют с временами 10-35 секун­ды от начала. Это, по выражению ака­демика Я. Зельдовича, “очень-очень ранняя Вселенная”. Есть теории, кото­рые “заглядывают” в еще более ран­ние моменты времени. Термин “Боль­шой Взрыв” сейчас общепринят, и мы его будем использовать. Тем более что скорости процессов, происходя­щих при “рождении” нашего Мира, в неизмеримое число раз превышают скорости любых известных сегодня взрывных процессов. Поэтому-то рас­ширение Вселенной действительно можно уподобить “сверхвзрыву”, Большому Взрыву.

Почему для нас так важны началь­ные этапы развития Вселенной, поче­му космологи пытаются проанализировать самые ранние моменты, загля­нуть как можно глубже в прошлое на­шего мира? Да потому, что никакая космологическая модель, никакая теория невозможна без достаточно полного понимания начальных этапов развития Вселенной — ведь именно тогда закладывалось ее будущее, все последующие стадии ее формирова­ния. И эти стадии нельзя понять, не зная, какой была ранняя, горячая Все­ленная. Чтобы представить себе раз­витие Вселенной, следует прежде все­го постараться понять, что представ­ляло собой вещество Вселенной, мате­рия на разных этапах ее существова­ния.

Важность постановки такой задачи очевидна. Ведь решения уравнений ОТО, полученные Фридманом, гово­рят о том, что Вселенная расширяет­ся из точки, из сингулярности. Но ре­шения эти, с другой стороны, ничего не говорят о состоянии и поведении вещества вблизи сингулярности, а для нас сейчас, когда мы начинаем рас­сматривать ранние стадии Вселенной, именно это и является самым глав­ным.

До сих пор мы говорили лишь об ОТО, которая описывает процессы расширения и сжатия мира. Но совер­шенно ясно, что сейчас для рассказа о поведении вещества мы должны об­ратиться к другим физическим тео­риям.

Вопросы, рассматриваемые нами, исключительно сложны, а очень мно­гие их аспекты еще ждут своего реше­ния: Но именно эти задачи и являются на сегодня наиболее “горячими точка­ми” современной физики и космоло­гии. Какими же теоретическими “ин­струментами” пользуются современ­ные ученые?

Самая красивая из физических тео­рий — ОТО представляет собой типич­ный пример классической теории. Что это значит? В уравнения ОТО не вво­дится никаких новых фундаменталь­ных физических постоянных. В них присутствуют лишь скорость света и гравитационная постоянная Ньютона.

Другим примером классической теории является электродинамика, со­зданная более ста лет назад Д. Макс­веллом. Всего 80 лет назад большинст­во физиков свято верило, что в приро­де существует лишь два вида фунда­ментальных взаимодействий — гра­витация и электромагнетизм. Они имеют неограниченный радиус дейст­вия и могут быть не только измерены с помощью приборов, но хорошо из­вестны “в быту”: если, например, кир­пич упадет на голову, можно не со­мневаться в том, что вы на практике столкнулись с гравитацией. Электро­магнитные взаимодействия также хо­рошо знакомы каждому человеку, по­скольку самые разнообразные физи­ческие, химические, биологические явления зависят от электромагнетиз­ма.

Однако более 80 лет назад из ми­кромира поступили тревожные сиг­налы о том, что классическая физика не в состоянии описать явления, про­исходящие в масштабах отдельных атомов. Хорошо известно, что соглас­но классической теории электромаг­нетизма электрон в атоме должен “упасть” в конце концов на атомное ядро из-за непрерывного излучения энергии. С этим и другими парадокса­ми оказалась в состоянии справиться лишь квантовая теория поля.

Суть квантовой теории (а именно она вызывала неприятие у Эйнштей­на) состоит в том, что, располагая да­же максимальной информацией о фи­зической системе, квантомеханический подход определяет лишь вероят­ность того или иного события в микро­мире и не предсказывает точного поведения системы.

“Бог в кости не играет”,— говорил Эйнштейн, отрицая вероятностный подход квантовой физики к описанию физических явлений. В течение послед­них лет своей жизни Эйнштейн пытал­ся создать единую теорию поля, об­щую классическую теорию, классиче­скую в том смысле, что физические яв­ления в ней должны полностью описы­ваться, если известны значения всех рассматриваемых физических пере­менных. Мы знаем, что на этом пути Эйнштейн потерпел неудачу. Однако вернемся к ОТО. Как уже го­ворилось о том, что эффекты ОТО наибо­лее заметно проявляются в сильных гравитационных полях. Так почему же мы заговорили о границах ее приме­нимости? “Узкое место” здесь — син­гулярность, начало расширения Все­ленной.

Совершенно ясно, что если считать сингулярность точкой, математиче­ской абстракцией, то нечего вообще говорить ни о каких физических зако­нах в этой точке. Но дело в том, что Вселенная материальна; грубо гово­ря, мы знаем, что она имеет вес. Именно поэтому реальное вещество, материя всегда будет занимать ка­кой-то конечный, отличный от нуля объем.

Поскольку поведение Вселенной во времени описывается уравнениями ОТО, то вопрос о границах примени­мости этих уравнений на ранних ста­диях Вселенной в условиях экстре­мально малых размеров и экстремаль­но больших плотностей вполне право­мочен. Пространство — время чудо­вищно искривлены, и, поскольку мы стремимся к сингулярности, речь идет уже не о маковом зернышке, а о гораздо меньших объемах. Не могут ли здесь играть роль квантовые эф­фекты?

Когда теоретики начали исследо­вать этот вопрос, то оказалось, что “ответ” на него был дан в конце про­шлого века, то есть когда ОТО еще не была создана. “Ответ” был дан М. Планком, одним из творцов кван­товой физики. Планк ввел свою знаменитую постоянную *h* в теорию излучения в 1899 году и тогда же, добавив к ней скорость света с и постоянную тяготения *G,* показал, что из этих констант можно составить ве­личины любой размерности, например плотность, длину.

Очень интересно отношение само­го Планка к этим постоянным. Он, как, впрочем, и любой другой великий физик, считал, что цель физики — объяснение устройства мира. Планк глубоко верил, что наука не должна нести в себе отголоски индивидуаль­ного мышления, физические законы должны быть абсолютны во всей Все­ленной.

Глубокие идеи Планка не потеряли своего значения и сегодня, спустя бо­лее 80 лет. Планковские константы се­годня считаются предельными в фи­зике величинами. Именно на планковской длине перестает “рабо­тать” ОТО. На этом масштабе плот­ность вещества чудовищна. Она неиз­меримо превышает плотность атом­ного ядра. Эти величины очень труд­но представить себе наглядно. Дейст­вительно, ядерная плотность равна примерно 1014 г/см3. Другими слова­ми, один кубический сантиметр атом­ных ядер весил бы сто миллио­нов тонн. А планковская плот­ность вещества превышает ядерную на 80 порядков! Единица с 80 ну­лями!

И здесь в сверхсильных гравита­ционных полях начинают возникать квантовые эффекты. Отметим, что когда речь идет о квантовых эффек­тах в условиях сильной гравитации, то, быть может, сами понятия “прост­ранство” и “время” теряют привыч­ный для них смысл. Как хорошо ска­зано в книге Я. Зельдовича и И. Нови­кова “Строение и эволюция Вселен­ной”: “Насколько легко найти область, где важны квантовые явления, на­столько же трудно выяснить, что про­исходит в этой области. Здесь стано­вится трудно даже сформулировать проблему”.

Действительно, задача о ранней, “планковской”. Вселенной исключи­тельно сложна. Мы просто не знаем, как ведет себя вещество, что оно со­бой представляет в этих бесконечно малых масштабах длин, сочетающих­ся с бесконечно большими плотностями и температурами.

Экспериментаторы “добрались” пока до длин порядка лишь 10-16 см. Это мир элементарных частиц, сверх­высоких энергий, и именно поэтому физика ранней Вселенной теснейшим образом смыкается с физикой микро­космоса. К сожалению, как сказал лауреат Нобелевской премии по фи­зике С. Вайнберг, “незнание микро­скопической физики стоит как пелена, застилающая взор при взгляде на са­мое начало”.

Космология оперирует с еще мень­шими расстояниями и большими энер­гиями, чем те, что привычны для фи­зики элементарных частиц. Ведь рас­сматривая самые ранние этапы, мы неизбежно приходим к какому-то моменту времени (порядка планковского), когда классическая ОТО не­применима. Здесь предстоит еще огромная работа.

## Микрофизика

Согласно бурно развивающейся в последние годы кварковой теории все адроны состоят из “более” эле­ментарных частиц — кварков. Если эта теория верна (а она получает сей­час убедительные доказательства в различных экспериментах), то при тем­пературе около нескольких тысяч миллиардов градусов Кельвина адро­ны, по-видимому, уже не могут су­ществовать, они разбиваются на со­ставляющие их кварки, точно так же, как атомы при нескольких тысячах градусов распадаются на ядра и электроны, а ядра, в свою очередь, при миллиарде градусов — на прото­ны и нейтроны.

Итак, все адроны состоят из квар­ков. И возникает естественный во­прос: где же предел элементарности частиц? Ведь сравнительно недавно круг элементарных частиц был огра­ничен нейтронами, протонами, элект­ронами и фотонами. А сейчас, мало того” что одних адронов порядка сот­ни, оказалось, они неэлементарны, со­стоят из кварков, антикварков. Неуже­ли в микромире работает принцип “русской матрешки”?

Мы опять не можем ответить на этот вопрос. Физике неизвестна се­годня модель праматерии.

Подходы к этой общей теории, ко­торая должна в конечном итоге свя­зать микро- и макромиры, в центре внимания и физики элементарных ча­стиц, и космологии. Почему?

Мы уже говорили о гравитационном и электромагнитном взаимодействии в физике. Но сегодня известно еще два типа взаимодействий. Это уже упоминавшееся сильное и так назы­ваемое слабое взаимодействия. Сла­бые силы взаимодействия названы так потому, что на масштабах длин по­рядка размеров ядер они слабее не только сильных (ядерных), но и элект­ромагнитных. Тем не менее роль их в природе огромна. Не будь слабых взаимодействий, были бы невозмож­ны процессы, лежащие в основе тер­моядерных реакций, происходящих в недрах Солнца. Другими словами, если бы не было слабых взаимодейст­вий, погасло бы Солнце! Поистине мал золотник, да дорог!

Эти два типа взаимодействия обла­дают очень малым радиусом дейст­вия: сильное работает на расстоянии порядка 10-13 сантиметра, а радиус действия слабого по порядку величи­ны составляет около 10-16 сантиметра. Сейчас на повестке дня с особой остротой стоит проблема создания единой основополагающей теории, объединяющей все известные силы. Пока удалось объединить электромаг­нитные и слабые силы. Возникла мо­дель так называемых электрослабых взаимодействий. На очереди — моде­ли великого объединения, или, как их еще называют, гранд-модели. Совер­шенно ясно, что законченная гранд-теория должна с единых позиций объяснить действие всех сил в микро­мире.

Это очень многообещающее на­правление в физике. Гранд-модели предсказывают массу удивительных вещей и, в частности, распад протона. Сейчас экспериментаторы пытаются обнаружить это явление, осуществить, как считают многие физики, экспери­мент века.

Физика микромира, так же как и физика макромира, имеет дело с ог­ромными энергиями. Недаром в раз­ных странах мира: в СССР, в США, Швейцарии, Германии — построены уско­рители, на которых удается исследо­вать частицы с энергиями порядка со­тен ГЭВ. Эта энергия соответствует температурам в миллион миллиардов градусов. Может ли современная экс­периментальная физика подняться еще выше по шкале энергии?

Тридцать с лишним лет назад Э. Ферми выдвинул идею ускорителя-гиганта, опоясывающего весь земной шар. Такой ускоритель представлял бы собой расположенное в космосе огромное кольцо вокруг Земли с ра­диусом около 7 тысяч километров. Это дало бы возможность достигнуть энергий в 107—108 ГЭВ, или 1020—1021 К. Ясно, что постройку та­кого ускорителя нельзя назвать делом ближайшего будущего.

Попытки разработки гранд-моде­лей, где при еще более высоких энер­гиях объединяются и электрослабые, и сильные взаимодействия, требуют энергии порядка 1014—1016 ГЭВ (1026—1028 К!). Для получения таких энергий нужно было бы построить кольцевой ускоритель порядка раз­меров Солнечной системы. Это уже чересчур не только для физики обо­зримого будущего, но и для научной фантастики. Ведь пока диаметр само­го большого кольцевого ускорите­ля — “всего” 2,2 километра.

При переходе к высоким энергиям порядка 1014 ГЭВ мир элементарных частиц должен стать в известном смы­сле проще. Ярмарочное обилие их должно “испариться” и число частиц существенно уменьшиться.

Здесь уместна следующая анало­гия. Число минералов на Земле исчис­ляется несколькими тысячами. Но да­вайте начнем увеличивать темпера­туру Земли. Стоит нам достичь двух-трех тысяч градусов, когда плавятся самые тугоплавкие минералы,— и мы будем иметь достаточно гомогенную жидкость. Это будет расплав, не содержащий ни одного минерала. В нем будут присутствовать лишь эле­менты таблицы Менделеева, а их все­го около сотни. Охладим его, и по ме­ре охлаждения в нем начнут возни­кать множество самых различных ти­пов минеральных зерен. Быть мо­жет, именно так, по мере перехода к неизмеримо более высоким темпе­ратурам происходит некоторое “уп­рощение” системы элементарных частиц.

Но так ли на самом деле оптимистично выглядят перспективы теории элементарных частиц? Объединение электромагнитных и слабых взаимодействий — действительно триумф теоретической физики, причем триумф, увенчанный убедительным экспериментом. Мы знаем теперь, как ведет себя вещество и что оно собой представляет до энергий 100 ГЭВ. Но насколько справедлива экстраполяция на энергии 1014 ГЭВ? Ведь здесь раз­ница в 12 порядков, в тысячу миллиардов раз?

Нам же важно сейчас отметить сле­дующее. В нашем мысленном экспе­рименте мы начали сжимать Вселен­ную для того, чтобы посмотреть, что будет при этом с веществом. Мы до­шли до энергии в сотни ГЭВ. Здесь есть эксперимент, здесь можно с уве­ренностью сказать, что физика дает хорошие прогнозы по интересующе­му нас вопросу. Теперь можно подве­сти некоторые итоги. Этой энергии соответствует темпе­ратура 1015 К. Ясно, что ни атомных ядер, ни протонов, ни нейтронов при такой температуре нет. Есть лишь ча­стицы, претендующие на роль истин­но элементарных: лептоны, фотоны да вырвавшиеся на свободу кварки. Весь этот кварко-лептонный суп находится в состоянии, близком к термодинамическому равновесию. Это означает, что концентрация частиц поддерживается постоянной, скорости их рождения и гибели равны.

Можно, конечно, пойти дальше и пытаться смотреть, что будет с ве­ществом при более высоких энер­гиях. Теоретики выпустили огромное количество работ, посвященных этой теме. Но, во-первых, твердо устано­вившейся теории здесь нет, во-вто­рых, когда мы приближаемся к планковскому порогу, мы волей-неволей должны рассматривать Вселенную, радиус кривизны которой меньше размеров элементарных частиц, с плотностью вещества, достигающей 1094 г/см3. Это, вообще говоря, terra incognita для современной физики, и вряд ли кто-либо возьмется сказать, что представляет собой сверхплотная Вселенная.

При температуре больше 1011К концентрации протонов и нейтронов примерно одинаковы. Но с пониже­нием температуры концентрация про­тонов возрастает. Действительно, ведь масса протона меньше массы нейтрона, и поэтому в указанных вы­ше реакциях образование протона при определенной температуре ста­новится более выгодным энергети­чески. С дальнейшим понижением температуры эти реакции вообще прекращаются, и мы уже имеем дело с “замороженными” концентрациями протонов и нейтронов во Вселенной, когда доля нейтронов составляет лишь около 15%. Здесь возникает естественный во­прос. Ведь во время адронной эры во Вселенной должны присутствовать как частицы, так и античастицы. А речь шла сейчас лишь о протонах. Где же антипротоны? Почему наша Вселен­ная несимметрична в зарядовом отно­шении? Почему в ней есть вещество и почти нет антивещества?

Вопрос этот очень сложный и, нуж­но сказать честно, не имеющий на сегодняшний день окончательного ре­шения. Более того, некоторые ученые, например лауреат Нобелевской пре­мии по физике X. Альвен, считают, что антивещество представлено во Вселенной на паритетных началах с обычным веществом. Большинство ученых находит, что X. Альвен не прав. Но в науке голосование не при­нято, и на поставленные вопросы надо пытаться давать исчерпывающий от­вет. Итак, если изначально число частиц и античастиц было одинаковым, то в принципе все они за какое-то время должны были бы в результате анниги­ляции превратиться в фотоны, в свет, в нейтрино и антинейтрино. Но этого нет, и, по крайней мере, для нашей Галактики твердо установлено отсутст­вие звезд и планет из антивещества.

С другими участками Вселенной, которые можно наблюдать сегодня, дело посложнее. Ведь, наблюдая дру­гие галактики, астрономы имеют дело лишь с квантами электромагнитного излучения, и поэтому, если бы какая-либо удаленная галактика состояла из антивещества, мы не могли бы узнать об этом даже в принципе, по­скольку антивещество излучает фото­ны так же, как и обычная материя. Это, кстати говоря, один из сильных аргументов Альвена и его немного­численных сторонников.

Вещество Вселенной все-таки со­стоит, по всей видимости, из прото­нов. Работами последних лет до­статочно убедительно показано, что в этих реакциях кварков должно рож­даться чуть больше, чем антикварков. Насколько? Ответ таков: на три мил­лиарда антикварков должно родить­ся 3 миллиарда и еще три кварка. Тогда 6 миллиардов кварков и анти­кварков проаннигилируют, а три оставшихся кварка “упадут” со време­нем в адронный “мешок” и образуют протон или нейтрон. Важно отметить, что в результате всех этих процессов во Вселенной на один протон прихо­дится примерно миллиард фотонов и миллиард нейтрино.

Таким образом, вопрос о том, по­чему наша Вселенная состоит из ве­щества, а антивещество отсутствует, находит решение с использованием гранд-моделей.

Процесс синтеза ядер легких эле­ментов продолжался около трех ми­нут после начала Большого Взрыва. С падением температуры синтез ге­лия прекратился, и теперь уже “заморозились”, то есть остались неизмен­ными, относительные концентрации гелия и водорода: ядра водорода составляли 70 процентов вещества Вселенной, ядра атомов гелия — 30. Необходимо заметить, что отноше­ние концентраций ядер гелия и водо­рода друг к другу сильно зависит от темпа расширения и, соответственно, от средней плотности вещества во Вселенной. Поэтому в какой-то мере это отношение может использовать­ся для проверки правильности той или иной космологической модели. Оцен­ки содержания гелия в горячих звез­дах во внешней атмосфере Солнца, в солнечном ветре и т. д. дает доста­точное основание для подтверждения правильности “стандартной” теории (дающей цифру в 30 процентов для гелия).

Нейтрино исключительно слабо взаимодействуют с веществом, для них прозрачен даже наш земной шар. Поэтому примерно через 0,3 секунды после Большого Взрыва нейтрино на­чинают “игнорировать” все вещество Вселенной (включая, конечно, и электроны с позитронами). Их число уже не меняется. Говорят, что про­изошло отделение нейтрино от ве­щества. Этот процесс происходит при температуре больше десяти миллиар­дов градусов.

С понижением температуры про­должает играть роль реакция рож­дения электронов и позитронов из энергичных фотонов, но при пяти мил­лиардах градусов идет уже только реакция аннигиляции. Это приводит к тому, что излучение становится глав­ной, основной частью Вселенной.

Конец лептонной эры уже близок. Ее сменяет эра радиации, или, как ее еще называют, эра фотонной плазмы. Число фотонов в миллиард раз превы­шает к этому моменту число выжив­ших протонов.

Бурная молодость Вселенной закончилась. Она была непродолжи­тельной. Что значат несколько минут по сравнению со многими миллиарда­ми лет? Но именно эти несколько минут оп­ределили весь будущий облик нашего мира. Изменись хоть немного темп расширения Вселенной в эти первые сотни секунд, изменился бы и хими­ческий состав Вселенной. Например, если бы “замораживание” нейтронно-протонного состава произошло рань­ше, чем через одну секунду после Большого Взрыва, то большая часть вещества Вселенной состояла бы не из водорода, а из гелия, и наверняка мы имели бы совершенно другой мир, чем тот, который перед нами сегодня.

Когда прошли процессы ан­нигиляции, главную массу вещества Вселенной составляли фотоны, нейт­рино и примесь высокотемператур­ной нейтральной плазмы, состоящей из протонов, ядер атомов гелия и электронов. Нейтрино, как мы уже го­ворили, с веществом не взаимодейст­вует, а фотоны, наоборот, энергично рассеиваются на электронах, и поэто­му вещество для них непрозрачно. Но с понижением температуры фото­ны постепенно теряли свою энергию и в конце концов, когда “термометр” стал показывать примерно 4000К, начались процессы рекомбинации электронов и ядер атомов гелия.

Энергии фотонов уже недостаточ­но, чтобы ионизировать атомы, и во Вселенной появляются сначала атомы гелия, а затем и водорода, который становится главным элементом мира. Процесс рекомбинации начался, ко­гда Вселенной было около 300 тысяч лет, и закончился еще через 700 ты­сяч лет. Этот период также очень важен для космологии. Фотоны, как мы знаем, взаимодействовали с высокотемпературной плазмой, и она была для них непрозрачной. Но, как только гелий и водород стали нейтральными, фотоны получили возможность рас­пространяться свободно, произошло, как принято говорить в космологии, отделение вещества от излучения. С этого момента Вселенная стала прозрачной для фотонов, а они продол­жали остывать по мере расширения Вселенной. Как мы знаем по температуре ре­ликтового излучения, “остыли” они довольно сильно, от 4000 К до 3 К, то есть температура уменьшилась за это время более чем в тысячу раз. Ну а Вселенная соответственно увеличи­ла свои размеры примерно в тысячу раз.

Итак, мы остановились на моменте времени, когда Вселенная еще моло­да. Ей примерно миллион лет. Она за­полнена фотонами, водородом, ге­лием и нейтрино. Правда, многие фи­зики уверены в том, что есть еще це­лый зоопарк различных таинственных частиц, в частности гравитонов и мо­нополей.

## Новые подходы

Итак, самое начало рождения, планковское время 10-43 секунды. Плот­ность вещества 1094 г/см3. Темпера­тура 1032 К.

В этом случае более удобно (и по­нятно) говорить о том, что Вселенная заполнена самыми различными вида­ми излучения, полями чудовищной плотности. Частиц нет.

Итак, эта смесь различных типов излучений начинает расширяться. По­чему? Неизвестно. Это первая фаза Большого Взрыва. Попытки описать поведение этих самых-самых ранних стадий Вселенной ограничены на се­годняшний день несовершенством физики. Многие физики полагают, что вот-вот будет создана “идеальная” физическая теория, позволяющая объяснить “все”, в частности, такой вопрос: имеет ли время начало, что происходит в допланковскую эпоху?

На эти вопросы нельзя закрывать глаза. Ведь с чисто философской точ­ки зрения планковские константы не должны ограничивать уровень наше­го познания. Сейчас физики думают, что на расстояниях меньше 10-33 сан­тиметра континуум пространства-времени распадается, приобретает структуру, напоминающую мыльную пену, где каждый пузырь появляется за счет квантовых флуктуации грави­тационного поля. К тому же при гигантских энергиях, соответствующих планковским масш­табам, многие частицы, считающиеся сейчас элементарными, например кварки, могут быть вовсе не элемен­тарны. И перед физикой элементарных частиц, и перед космологией стоит, как Эверест, проблема создания еди­ной теории объяснения мира.

Сегодняшняя физика берется объ­яснить все или почти все, что проис­ходило во Вселенной, начиная со вре­мен 0,01—1 секунды от Большого Взрыва. Этому в немалой степени спо­собствует состояние термодинамиче­ского равновесия на самых ранних этапах жизни Вселенной. Огромные температуры обеспечивали это рав­новесие.

Почему равновесие так важно для последующей истории вещества? По­чему мы можем не обращать внима­ния на то, что было в момент времени, скажем 10-20 секунды, а сразу “на­чать” с 10-2 секунды? Да по той про­стой причине, что если вещество на­ходится в состоянии термодинамиче­ского равновесия, оно “не помнит” своей предыстории, ему, веществу, совершенно безразлично, каким пу­тем его “довели” до состояния рав­новесия.

Раз мы знаем, что она в равновесии в момент времени 0,1 секунды, нам, с точки зрения термодинамики, все равно, что с ней было до этого момен­та. Подтверждение удивительной эффективности методов теоретиче­ской физики в космологии мы нахо­дим в многочисленных наблюдатель­ных данных. Здесь и красное смеще­ние далеких галактик, и изотропность реликтового фона, и распространен­ность легких элементов. Но чем даль­ше мы пытаемся заглянуть в глубины времени, тем больше подводных кам­ней возникает на нашем пути.

Стандартная модель Фридмана сталкивается с су­щественными трудностями при по­пытках экстраполяции ее на раннюю эпоху. Например. Почему Вселенная на больших масштабах столь одно­родна и изотропна? Реликтовое излу­чение в любой точке неба имеет с очень высокой точностью одинаковую температуру. Но это означает, что в далеком прошлом разные точки пространства, которые не могли ниче­го “знать” друг о друге, имели одина­ковую температуру. Почему? Эта про­блема имеет название проблемы го­ризонта, так как точки пространства, о которых мы говорили, не могли “ви­деть” друг друга, не могли обме­няться сигналами, одна точка по отно­шению к другой находилась как бы за горизонтом.

Есть и другие трудности в стандарт­ной модели. Для их преодоления не­давно была разработана так называе­мая теория раздувающейся Вселен­ной, в рамках которой решается и проблема горизонта, и целый ряд других трудностей. Эта теория опери­рует с такими удивительными поня­тиями, как “ложный вакуум”, энер­гия которого в процессе раздувания мира переходит в обычную горячую плазму стандартной модели.

Но это еще не все. Согласно этой теории наблюдаемая Вселенная со­ставляет ничтожную часть мира как целого. В мире может быть много “пузырьковых” вселенных, образо­вавшихся из полостей в ложном ва­кууме. Фактически мы подходим здесь к идее, противоречащей на первый взгляд здравому смыслу, к идее рож­дения вселенных “из ничего”. Эта идея, как пишет один из ее сторонни­ков, кажется абсурдной всем, кроме теоретиков.

В этой теории упоминаются домены. Это область пространства, содержащая нашу Вселенную. Модель раздува­ющейся Вселенной по-новому за­ставляет взглянуть на структуру наше­го мира. Так, если на некотором эта­пе раздувания вся наблюдаемая Все­ленная была размером с теннисный мяч, то вся область расширения (до­мен) , в которой она умещалась, могла быть на 10—20 порядков больше. И таких доменов с разными вселенными могло быть много. Вывод состоит в том, что только малая часть про­странства-времени мира в целом в ходе эволюции превращается во Все­ленную.

Сценарий раздувающейся Вселен­ной имеет дело с картиной мира, в корне отличающейся от картины ми­ра Фридмана, в которой между поня­тиями “мир” и “Вселенная” можно было поставить знак тождества. Вме­сто однородной и изотропной Вселен­ной мы получили мир предельно не­однородный и неизотропный, состо­ящий из множества огромных доме­нов размером 1050—10100 сантимет­ров. И лишь в одном из них словно дырка в куске хорошего швейцар­ского сыра сидит наша наблюдаемая Вселенная размером “всего лишь” в 1028 сантиметров. Физические же параметры этой эк­зотической модели (температура, плотность энергии) через 10-30 секун­ды совпадают полностью с парамет­рами Вселенной Фридмана.

Вопрос о множествен­ности вселенных — один из самых волнующих как с физической, так и с философской точки зрения. Этот во­прос очень глубокий и содержит в се­бе массу проблем. Из них главная, бесспорно, следующая. Если сущест­вует ансамбль вселенных, то каковы они? Похожи на нашу или нет? И чем, вообще говоря, определяется сходст­во или различие?

В декабре 1981 года в Таллинне со­стоялся Международный симпозиум “Поиск разумной жизни во Вселен­ной”. Большой интерес вызвал доклад И. Новикова, А. Полнарева и И. Ро-зенталя “Численные значения фунда­ментальных постоянных и антропный принцип”. В этой работе очень на­глядно проявился новый (и очень мод­ный) подход к вопросу, почему Все­ленная именно такая, какой мы ее на­блюдаем. Этот вопрос можно пере­фразировать следующим образом: почему значения фундаментальных физических констант имеют *именно* такие значения, которые наблюдают­ся в нашей Вселенной, а не какие-либо другие? Сторонники антропного принципа дают достаточно простой ответ: “Все­ленная такова, какой мы ее видим, потому, что в ней существуем мы”. Этот залихватский ответ не может, разумеется, доставить чувства удов­летворения. Формулировка ответа са­ма по себе выглядит сомнительной. Действительно, более правильно было бы сказать: “Мы (наблюдатели) су­ществуем потому, что Вселенная именно такая, какой мы ее видим”.

Нельзя не согласиться с С.Хокингом, который говорит о том, что должно быть более глубокое объяс­нение устройства мира, чем то, кото­рое предлагает нам антропный прин­цип. Это объяснение в первую оче­редь должно ответить на вопрос, ко­торый уже был поставлен выше. По­чему скорость света имеет значение 300 тысяч км/сек, а не 500 ты­сяч км/сек? Почему заряд и масса элементарных частиц такие, а не ка­кие-либо другие, и т. д. Современная физика здесь бессильна. Мы можем говорить сейчас лишь о том, что было бы с Вселенной, если изменить чис­ленные значения физических кон­стант. Это очень увлекательная про­блема, и существенный вклад в ее ре­шение внес советский физик И. Розенталь. Следуя сейчас, в частности, его идеям, можно обсудить возможный облик ансамбля вселенных с различ­ными значениями физических “по­стоянных”. Основная мысль здесь со­стоит в том, что даже небольшие их изменения приведут к радикальной перестройке структуры и свойств Вселенной.

Операция варьирования фундамен­тальных констант может показаться сначала и бессмысленной и неправо­мочной. Ведь недаром они называют­ся фундаментальными, неизменными. Но поскольку, с одной стороны, мы подошли к понятию ансамбля вселен­ных, а с другой стороны — сегодня нам неизвестно, в силу каких причин константы физики имеют именно те значения, которые они имеют, подоб­ная операция выглядит достаточно логично. Лишь в том случае, если в любой из возможных вселенных в силу ка­ких-то пока неизвестных причин фи­зические константы такие же, как и в нашем мире, ситуация становится тривиальной: в мегамире есть ан­самбль одинаковых миров.

Вариации различных физических по­стоянных сильно искажают об­лик мира, делая его непригодным для жизни. А что, если попробовать изменить набор констант согласован­но? В докладе И. Новикова и других была поставлена именно такая задача. Оказалось, что есть два “острова устойчивости” для существования сложных стабильных структур, но один из них находится в планковской области, где масса каж­дого объекта порядка планковской массы. В таких вселенных жизнь вряд ли возможна. Наша Вселенная попа­дает в другую область устойчивости. Вывод этой работы состоит в том, что могут быть вселенные с слегка другим *набором* констант, но тем не менее существования жизни в них исключить нельзя. Разумеется, о фор­мах жизни в других вселенных можно строить сейчас лишь совершенно бес­почвенные предположения.

## Неортодоксальные взгляды

В заключение стоит вкратце остановиться на так называемых неортодоксальных точ­ках зрения на эволюцию и происхож­дение нашего мира. Неортодоксаль­ные позиции потому так и названы, что они не находятся в русле гене­рального направления современной космологии.

В 1986 году в солидном научном журнале появи­лась статья X. Альвена — непрере­каемого авторитета в области физики плазмы. Одно из основных положений, ко­торое защищает Альвен, состоит в том, что Вселенная существенно неод­нородна по своей структуре, она имеет клеточное строение. Одна клетка от другой отделяется плазмен­ными стенками, во Вселенной в рав­ных количествах присутствует мате­рия и антиматерия. Вселенная вечна и бесконечна. Альвен делает и более радикальное предположение, отказы­ваясь от ОТО и, считая, что мир может быть вполне объяснен в терминах ньютоновской механики.

С идеями Альвена перекликается и космологическая модель Р. Омнеса, который также “предпочитает” зарядово-симметричную Вселенную. Про­делав соответствующие теоретиче­ские оценки, Омнес сделал вывод об отталкивании нуклонов и антинукло­нов при температуре порядка не­скольких тысяч миллиардов градусов. При этой температуре горячее ве­щество превращается в эмульсию, смесь капель вещества и антивещест­ва. Далее, с понижением температуры происходит их разделение в астроно­мических масштабах. Теория Омнеса вызывает возражения, которые осно­вываются главным образом на наблю­дательных астрономических данных. В то же время эта теория, как отме­чает Я. Зельдович, “красива”, а это, как мы уже говорили, один из важных критериев правильности.

Не один Альвен является привер­женцем вечной и безграничной Все­ленной. Крупные астрофизики Г. Голд, Г. Бонди и Ф. Хойл (один из наиболее известных астрофизиков XX века и ав­тор ряда научно-фантастических рома­нов) еще в 1948 году выдвинули мо­дель так называемого “стационарного состояния”. Эта модель описывает вечно расширяющуюся, безгранич­ную Вселенную. Плотность ее имеет, как это следует из самого названия модели, постоянную величину. Как это может быть, если Вселенная рас­ширяется? Ведь плотность вещества должна в этом случае падать. Авторы модели стационарного со­стояния постулируют непрерывное рождение вещества. Если мы вспом­ним идею о рождении Вселенной из вакуума, то, быть может, рождение частиц, компенсирующих падение плотности из неизвестного с-поля, по­кажется и не столь удивительным. Рождение частиц происходит по все­му пространству, и поэтому теорию стационарной Вселенной называют также теорией непрерывного творе­ния материи. Интересно, как авторы модели об­ходят вопрос о реликтовом излуче­нии. Они предполагают (и это предпо­ложение в известной мере не являет­ся надуманным), что в межзвездном и межгалактическом пространстве могут находиться небольшие частицы графита размерами около 1 милли­метра. Они могут поглощать свет звезд, а затем переизлучать его как раз в форме реликтового фона.

Создание новых моделей имеет под собой очевидную психологиче­скую подоплеку. Теория Большого Взрыва неизбежно сталкивается с проблемой сингулярности, камнем преткновения всей современ­ной физики. Поэтому вполне понятно стремление тем или иным путем обойти эту трудность. Сингулярность как дамоклов меч продолжает угро­жать космологии, и пока физика не разберется с этой проблемой, не бу­дет стройной и законченной теории происхождения мира. Теорию Боль­шого Взрыва нельзя считать неуязви­мой, и поэтому, хотя на сегодняшний день она кажется наиболее правдо­подобной, ей придется “держать уда­ры” по слабым местам. А эти удары бесспорно будут наноситься.

Навязчивая идея стационарности мира порождает и другие попытки объяснения красного смещения — одной из основ моделей расширя­ющейся Вселенной. Очень популярна (среди неспециалистов) мысль о ста­рении фотонов. Суть заключается в том, что кванты света могут терять энергию в пространстве, пока они дойдут до земных наблюдателей. За счет чего происходят подобные потери энергии? Здесь предлагается несколь­ко механизмов. Во-первых, само старе­ние. Но это предположение совер­шенно не укладывается в рамки со­временной физики. Во-вторых, рас­сеяние на пылинках. Но в этом случае красное смещение очевидным обра­зом должно было бы зависеть от дли­ны волны излучения.

## Будущее Вселенной

В космологии есть еще один вопрос, на котором нельзя не остановиться,— будущее нашего ми­ра. Ясно, что проблема эта, кроме всего прочего, имеет глубокий фило­софский смысл.

В какой-то мере проблема даль­нейшей судьбы Вселенной проще, чем проблема начала. Здесь возможны только два (в простейшем случае) варианта. Первый состоит в том, что Вселенная будет постоянно расши­ряться в течение неограниченного времени. Второй обрекает Вселен­ную на грандиозную катастрофу — “коллапс в огненной смерти, когда небо становится все горячее и горя­чее, пока оно наконец не обрушится на нас и не загонит нас в пространст­венно-временную сингулярность с бесконечной температурой” (Дайсон).

Во втором варианте опять на сцене появляется сингулярность, но на этот раз не порождающая, а уничтожа­ющая наш мир. По крайней мере, в этом случае можно с уверенностью сказать, что жизнь во Вселенной (так, как мы ее понимаем и видим сегодня) исчезнет за миллионы лет до того, как мир сожмется в точку. Избежать этого, быть может, удастся, научив­шись путешествиям в другие вселен­ные или предотвращая процесс об­ратного сжатия, но рассуждения на эту тему сегодня еще преждевремен­ны, человечеству угрожает гибель от термоядерной катастрофы в более обозримое время и от более низких температур, чем в сингулярности.

Выбор вариан­тов определяется зна­чением средней плотности вещества во Вселенной. Эта цифра, несмотря на большое число наблюдательных данных, многочисленные теоретиче­ские оценки, известна не с очень вы­сокой точностью. Если учесть только массу галактик, а затем усреднить ее по объему Вселенной, то получится значение средней плотности **ρ**=3\*10-31 г/см3. Но, кроме галак­тик, в космосе есть еще ионизирован­ный газ, черные дыры, потухшие звез­ды и другие виды материи. Значение средней плотности галактик много меньше значений критической плотности (**ρ**кр==10-29 г/см3), при котором фаза расширения обязательно долж­на смениться фазой сжатия.

Однако в астрофизике существует так называемая проблема скрытой массы — трудно наблюдаемых форм вещества в космосе. Эта масса может находиться как в скоплениях галактик, так и в пространстве между скопле­ниями. Оценки скрытой массы под­нимают значение средней плотности вещества Вселенной почти до ее кри­тического значения. К самой серьез­ной переоценке **ρ***кр* (плотности с уче­том скрытой массы) привели резуль­таты экспериментов, проведенных в Советском Союзе группой исследо­вателей под руководством В. Люби­мова. Физика опять столкнулась с си­туацией, когда мир элементарных частиц снова во весь голос заявил о своем прямом воздействии на космо­логию.

В институте экспериментальной и теоретической физики долгое время изучалось поведение нейтрино, кото­рые до последнего времени считались безмассовыми частицами. Но вот в 1980 году группа В. Любимова опубли­ковала поистине ошеломляющий ре­зультат. Масса покоя нейтрино оказа­лась отличной от нуля! Очень малой, но все-таки не нуль! Оценки дали зна­чение массы нейтрино около 5\*10-32 грамма. Нейтрино в 20 тысяч раз лег­че электрона и в 40 миллионов раз легче протона.

На первый взгляд это открытие важ­но лишь для физики элементарных частиц. Но только на первый взгляд. Все дело в том, что нейтрино очень много во Вселенной, не меньше, чем фотонов, а их несколько сот “штук” в одном кубическом сантиметре прост­ранства. Сразу же возникает желание проделать элементарный расчет: умножить вес одного нейтрино на число их в кубическом сантиметре. Результат получается поразительным: **р**нейтр=10-29 г/см3, то есть плотность нейтрино примерно равна критической. А тут еще надо учесть, что мас­са была определена лишь у одного типа нейтрино, а их как минимум че­тыре. Предполагается, что массы остальных типов нейтрино могут быть больше, чем масса электронного нейтрино, определенная физиками из ИТЭФ.

Если учесть все эти соображения, то средняя плотность материи во Все­ленной заведомо больше критиче­ской, и, следовательно, расширение должно обязательно смениться сжа­тием. Чтобы этот вывод не звучал слишком категорично, сделаем ого­ворку, смысл которой состоит в том, что безусловно следует подождать подтверждения экспериментальных результатов группы Любимова. Если они будут подкреплены независимы­ми данными, то окажется, что мы жи­вем в нейтринной Вселенной и очень многие ее свойства определяются присутствием в нашем мире этих частиц. Масса обычного вещества в этой Вселенной составляет лишь 3 процента от массы всех нейтрино.

Тем не менее имеющаяся все-таки на сегодняшний день неопределен­ность в значении средней плотности Вселенной дает нам моральное право рассмотреть альтернативный сцена­рий ее будущего.

Итак, пусть ***p****cp<****p****kp.*

Что случится в этом случае с прост­ранством и веществом? Будущую жизнь мира можно разделить на шесть основных этапов. Первый из них займет примерно 1014 лет. Поче­му?

Хорошо известно, что звезды светят за счет происходящих в них термо­ядерных реакций. Но для прохож­дения этих реакций необходимо топ­ливо. Водород — главное горючее в термоядерных реакциях, а запасы его не беспредельны. Кроме того, чем массивнее звезда, тем быстрее она расходует ядерное горючее. К приме­ру, наше Солнце будет работать ста­бильно, как гигантский термоядерный реактор, еще примерно 10 миллиар­дов лет. Затем наступает очередь выгорания других элементов, более тяжелых, чем водород, и в конце концов звезда умирает, перестает светить. Заметим, что у звезд разной массы этот про­цесс происходит по-разному, но, не вдаваясь сейчас в подробности, еще раз подчеркнем, что через 1014 лет на небе погаснут звезды.

Параллельно этим грустным со­бытиям звезды будут терять планеты из-за возмущений орбит при сближе­нии с другими звездами. Это процесс довольно редкий, но, поскольку мы оперируем сейчас огромными про­межутками времени, его нужно учи­тывать. Это займет про­межуток времени примерно в 1017 лет.

Следующий этап в жизни Вселенной действительно грандиозен, и здесь снова центральную роль играет боль­шая шкала времен, на которой уже необходимо учитывать тесные сбли­жения звезд. При таких сближениях одна звезда может передать свою ки­нетическую энергию другой. В ре­зультате такого “обмена” возможен вылет одного из партнеров за преде­лы Галактики, в то время как другая звезда, потеряв часть своей энергии, приблизится к центру Галактики. Ес­ли каждую звезду уподобить молеку­ле газа, то процесс вылета аналоги­чен испарению, в связи с чем этот этап в жизни Вселенной был назван испарением галактик.

После “испарения” приблизительно 90 процентов массы Галактики гра­витационное поле начнет “подгре­бать” к центру мертвые звезды и вещество с малой кинетической энер­гией. Дело кончится тем, что в резуль­тате может образоваться сверхмассив­ная черная дыра в центре Галактики. Этот период можно назвать периодом уборки Вселенной — все “лишнее” уходит в черные дыры.

Часы показывают 1018 лет. Далее на авансцену опять выступают законы микромира. Мы помним, что теории Великого объединения предсказы­вают нестабильность протона, его рас­пад. Правда, возможное время этого распада очень велико: все протоны во Вселенной должны исчезнуть через 1030-1032 лет.

Если протон действительно нестаби­лен, то вещество звезд, не проглочен­ных сверхмассивными черными ды­рами в центрах галактик, будет слегка подогреваться при протонных распа­дах. Самые массивные мертвые звез­ды будут иметь температуру при­мерно 100К, а менее массивные— всего около 3 К.

Итак, через 1031—1032 лет во Все­ленной не останется протонов. Если на время забыть о существовании черных дыр, то вся Вселенная будет заполнена электрон-позитронным га­зом, нейтрино и фотонами. Их концентрация будет убывать по мере рас­ширения Вселенной. Никаких особен­ных изменений не будет происходить еще примерно 10100 лет.

Заключительный, финальный ак­корд в жизни нашего мира связан с квантовым испарением черных дыр. В 1974 году появилась историческая работа С. Хокинга, в которой было показано, что гравита­ционная могила, черная дыра не веч­на, она очень медленно “испаряется”, теряя свою массу в виде квантов све­та. Но это будет происходить, когда космические часы покажут 10100 лет. Столь огромный срок трудно себе представить.

Неопределенность наших сегод­няшних знаний о значении средней плотности не позволяет сделать точ­ный выбор между двумя вариантами будущей судьбы нашего мира. Оста­ется открытым и вопрос о том, что будет после возможного коллапса Вселенной, произойдут ли повторные Большие Взрывы с последующими повторными Большими Коллап­сами?

## Список литературы

1. Мухин Л.М. “Мир Астрономии: рассказы о Вселенной, звёздах, галактиках”. –М.: Мол. гвардия, 1987.
2. Р.Пенроуз “Структура пространства-времени”. Бибфизмат.