

ТЕОРИИ ВСЕЛЕННОЙ

Откуда Появилась Вселенная?

12+

Данильченко Павел Сергеевич

Павел Сергеевич Данильченко

Теории Вселенной

http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=68440805

SelfPub; 2022

Аннотация

Эта книга познакомит вас с одними из главных теориях нашей Вселенной; объясняет кратко и простым языком, как связано пространство-время, теория относительности, квантовая механика; толкует феномен черных дыр. Эта книга вас научит правильно представлять нашу Вселенную, что в ней состоит... Я конечно не смогу в этой книге вам точно объяснить, откуда появилась Вселенная, что с ней произойдет спустя многие миллионы и миллиарды лет. Но я попытался вам хотя бы дать понять суть нашей Вселенной.

Содержание

ТЕОРИЯ БОЛЬШОГО ВЗРЫВА	4
ТЕОРИЯ ВЕЧНОЙ ИНФЛЯЦИИ	20
ПРОСТРАНСТВО-ВРЕМЯ	46
ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ	64
РОЖДЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ	71
КВАНТОВАЯ ФИЗИКА	89
ТЕОРИЯ ЗАМЕДЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ	93
ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ТЕОРИЯ СВЕТА	99
ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ	114

Павел Данильченко

Теории Вселенной

ТЕОРИЯ БОЛЬШОГО ВЗРЫВА

ГЛАВА 1

Итак, начнем!

Как появилась наша Вселенная? Как она превратилась в кажущееся на первый взгляд бесконечное пространство? И что с ней произойдет спустя многие миллионы и миллиарды лет? Эти вопросы терзали (и продолжают терзать) умы философов и ученых, кажется, еще с начала времен, породив при этом множество интересных и порой даже безумных теорий. Сегодня большинство астрономов и космологов пришли к общему согласию относительно того, что Вселенная, которую мы знаем, появилась в результате гигантского взрыва, породившего не только основную часть материи, но явившегося источником основных физических законов, согласно которым существует тот космос, который нас окружает. Все это называется теорией Большого взрыва

Основы теории Большого взрыва относительно просты.

Если кратко, согласно ей вся существовавшая и существующая сейчас во Вселенной материя появилась в одно и то же время – около 13,8 миллиарда лет назад. В тот момент времени вся материя существовала в виде очень компактного абстрактного шара (или точки) с бесконечной плотностью и температурой. Это состояние носило название сингулярности. Неожиданно сингулярность начала расширяться и породила ту Вселенную, которую мы знаем.

Стоит отметить, что теория Большого Взрыва является лишь одной из многих предложенных гипотез возникновения Вселенной (например, есть еще теория стационарной Вселенной), однако она получила самое широкое признание и популярность. Она не только объясняет источник всей известной материи, законов физики и большую структуру Вселенной, она также описывает причины расширения Вселенной и многие другие аспекты и феномены.

Основываясь на знаниях о нынешнем состоянии Вселенной, ученые предполагают, что все должно было начаться с единственной точки с бесконечной плотностью и конечным временем, которые начали расширяться. После первоначального расширения, как гласит теория, Вселенная прошла фазу охлаждения, которая позволила появиться субатомным частицам и позже простым атомам. Гигантские облака этих древних элементов позже, благодаря гравитации, начали образовывать звезды и галактики.

Все это, по догадкам ученых, началось около 13,8 милли-

арда лет назад, и поэтому эта отправная точка считается возрастом Вселенной. Путем исследования различных теоретических принципов, проведения экспериментов с привлечением ускорителей частиц и высокоэнергетических состояний, а также путем проведения астрономических исследований дальних уголков Вселенной ученые вывели и предложили хронологию событий, которые начались с Большого взрыва и привели Вселенную в конечном итоге к тому состоянию космической эволюции, которое имеет место быть сейчас.

Ученые считают, что самые ранние периоды зарождения Вселенной – продлившиеся от 10^{-43} до 10^{-11} секунды после Большого взрыва, – по-прежнему являются предметом споров и обсуждений. Если учесть, что те законы физики, которые нам сейчас известны, не могли существовать в это время, то очень сложно понять, каким же образом регулировались процессы в этой ранней Вселенной. Кроме того, экспериментов с использованием тех возможных видов энергий, которые могли присутствовать в то время, до сих пор не проводилось. Как бы там ни было, многие теории о возникновении Вселенной в конечном итоге согласны с тем, что в какой-то период времени имелась отправная точка, с которой все началось.

Также известная как планковская эпоха (или планковская эра) принимается за самый ранний из известных периодов эволюции Вселенной. В это время вся материя содержалась в единственной точке бесконечной плотности и температуры.

Во время этого периода, как считают ученые, квантовые эффекты гравитационного взаимодействия доминировали над физическим, и ни одна из физических сил не была равна по силе гравитации.

Планковская эра предположительно длилась от 0 до 10^{-43} секунды и названа она так потому, что измерить ее продолжительность можно только планковским временем. Ввиду экстремальных температур и бесконечной плотности материи состояние Вселенной в этот период времени было крайне нестабильным. После этого произошли периоды расширения и охлаждения, которые привели к возникновению фундаментальных сил физики.

Приблизительно в период с 10^{-43} до 10^{-36} секунды во Вселенной происходил процесс столкновения состояний переходных температур. Считается, что именно в этот момент фундаментальные силы, которые управляют нынешней Вселенной, начали отделяться друг от друга. Первым шагом этого отделения явилось появление гравитационных сил, сильных и слабых ядерных взаимодействий и электромагнетизма.

В период примерно с 10^{-36} до 10^{-32} секунды после Большого взрыва температура Вселенной стала достаточно низкой (1028 К), что привело к разделению электромагнитных сил (сильное взаимодействие) и слабого ядерного взаимодействия (слабого взаимодействия).

С появлением первых фундаментальных сил во Вселенной началась эпоха инфляции, которая продлилась с 10^{-32} секунды по планковскому времени до неизвестной точки во времени. Большинство космологических моделей предполагают, что Вселенная в этот период была равномерно заполнена энергией высокой плотности, а невероятно высокие температура и давление привели к ее быстрому расширению и охлаждению.

Это началось на 10^{-37} секунде, когда за фазой перехода, вызвавшей отделение сил, последовало расширение Вселенной в геометрической прогрессии. В этот же период времени Вселенная находилась в состоянии бариогенезиса, когда температура была настолько высокой, что беспорядочное движение частиц в пространстве происходило с околосветовой скоростью.

На заметку:

Бариогенезис – состояние Вселенной на промежутке времени 10^{-35} - 10^{-32} с момента Большого Взрыва, с момента которого происходило объединение кварков глюонов в адроны (в том числе и в барионы), а также самого процесса такого объединения. После выходы их фазы инфляционного расширения Вселенная сдержала совершенно одинаковые количества материи и антиматерии.

В это время образуются и сразу же сталкиваясь разруша-

ются пары из частиц – античастиц, что, как считается, привело к доминированию материи над антиматерией в современной Вселенной. После прекращения инфляции Вселенная состояла из кварк-глюоновой плазмы и других элементарных частиц. С этого момента Вселенная стала остывать, начала образовываться и соединяться материя.

Со снижением плотности и температуры внутри Вселенной начало происходить и снижение энергии в каждой частице. Это переходное состояние длилось до тех пор, пока фундаментальные силы и элементарные частицы не пришли к своей нынешней форме. Так как энергия частиц опустилась до значений, которые можно сегодня достичь в рамках экспериментов, действительное возможное наличие этого временного периода вызывает у ученых куда меньше споров.

Как думаете, как как космос изменит человечество в будущем?

Например, ученые считают, что на 10^{-11} секунде после Большого взрыва энергия частиц значительно уменьшилась. Примерно на 10^{-6} секунде кварки и глюоны начали образовывать барионы – протоны и нейтроны. Кварки стали преобладать над антикварками, что в свою очередь привело к преобладанию барионов над антибарионами.

Так как температура была уже недостаточно высокой для создания новых протонно-антипротонных пар (или нейтронно-антинейтронных пар), последовало массовое разрушение этих частиц, что привело к остатку только 1/1010 количе-

ства изначальных протонов и нейтронов и полному исчезновению их античастиц. Аналогичный процесс произошел спустя около 1 секунды после Большого взрыва. Только «жертвами» на этот раз стали электроны и позитроны. После массового уничтожения оставшиеся протоны, нейтроны и электроны прекратили свое беспорядочное движение, а энергетическая плотность Вселенной была заполнена фотонами и в меньшей степени нейтронами.

В течение первых минут расширения Вселенной начался период нуклеосинтеза (синтез химических элементов). Благодаря падению температуры до 1 миллиарда кельвинов и снижению плотности энергии примерно до значений, эквивалентных плотности воздуха, нейтроны и протоны начали смешиваться и образовывать первый стабильный изотоп водорода (дейтерий), а также атомы гелия. Тем не менее большинство протонов во Вселенной остались в качестве несвязанных ядер атомов водорода.

Спустя около 379 000 лет электроны объединились с этими ядрами водорода и образовали атомы (опять же преимущественно водорода), в то время как радиация отделилась от материи и продолжила практически беспрепятственно расширяться через пространство. Эту радиацию принято называть реликтовым излучением, и она является самым древнейшим источником света во Вселенной.

С расширением реликтовое излучение постепенно теряло свою плотность и энергию и в настоящий момент его темпе-

ратура составляет $2,7260 \pm 0,0013 \text{ K}$ ($-270,424 \text{ }^\circ\text{C}$), а энергетическая плотность $0,25 \text{ эВ}$ (или $4,005 \times 10^{-14} \text{ Дж/м}^3$; $400\text{--}500 \text{ фотонов/см}^3$). Реликтовое излучение простирается во всех направлениях и на расстояние около 13,8 миллиарда световых лет, однако оценка его фактического распространения говорит примерно о 46 миллиардах световых годах от центра Вселенной.

В последующие несколько миллиардов лет более плотные регионы почти равномерно распределенной во Вселенной материи начали притягиваться друг к другу. В результате этого они стали еще плотнее, начали образовывать облака газа, звезды, галактики и другие астрономические структуры, за которыми мы можем наблюдать в настоящее время. Этот период носит название иерархической эпохи. В это время та Вселенная, которую мы видим сейчас, начала приобретать свою форму. Материя начала объединяться в структуры различных размеров – звезды, планеты, галактики, галактические скопления, а также галактические сверхскопления, разделенные межгалактическими перемичками, содержащими всего лишь несколько галактик.

Детали этого процесса могут быть описаны согласно представлению о количестве и типе материи, распределенной во Вселенной, которая представлена в виде холодной, теплой, горячей темной материи и барионного вещества. Однако современной стандартной космологической моделью Большого взрыва является модель Лямбда-CDM, согласно которой

частицы темной материи движутся медленнее скорости света. Выбрана она была потому, что решает все противоречия, которые появлялись в других космологических моделях.

Согласно этой модели на холодную темную материю приходится около 23 процентов всей материи/энергии во Вселенной. Доля барионного вещества составляет около 4,6 процента. Лямбда-CDM ссылается на так называемую космологическую постоянную: теорию, предложенную Альбертом Эйнштейном, которая характеризует свойства вакуума и показывает соотношение баланса между массой и энергией как постоянную статичную величину. В этом случае она связана с темной энергией, которая служит в качестве акселератора расширения Вселенной и поддерживает гигантские космологические структуры в значительной степени однородными.

Гипотезы относительно того, что эволюция Вселенной обладает отправной точкой, естественным способом подводят ученых к вопросам о возможной конечной точке этого процесса. Если Вселенная начала свою историю из маленькой точки с бесконечной плотностью, которая вдруг начала расширяться, не означает ли это, что расширяться она тоже будет бесконечно? Или же однажды у нее закончится экспансивная сила и начнется обратный процесс сжатия, конечным итогом которого станет все та же бесконечно плотная точка?

Ответы на эти вопросы были основной целью космологов с самого начала споров о том, какая же космологическая мо-

дель Вселенной является верной. С принятием теории Большого Взрыва, но по большей части благодаря наблюдению за темной энергией в 1990-х годах, ученые пришли к согласию в отношении двух наиболее вероятных сценариев эволюции Вселенной.

Согласно первому, получившему название «большое сжатие», Вселенная достигнет своего максимального размера и начнет разрушаться. Такой вариант развития событий будет возможен, если только плотность массы Вселенной станет больше, чем сама критическая плотность. Другими словами, если плотность материи достигнет определенного значения или станет выше этого значения ($1-3 \times 10^{-26}$ кг материи на м^3), Вселенная начнет сжиматься.

Альтернативой служит другой сценарий, который гласит, что если плотность во Вселенной будет равна или ниже значения критической плотности, то ее расширение замедлится, однако никогда не остановится полностью. Согласно этой гипотезе, получившей название «тепловая смерть Вселенной», расширение продолжится до тех пор, пока звездообразования не перестанут потреблять межзвездный газ внутри каждой из окружающих галактик. То есть полностью прекратится передача энергии и материи от одного объекта к другому. Все существующие звезды в этом случае выгорят и превратятся в белых карликов, нейтронные звезды и черные дыры.

Постепенно черные дыры будут сталкиваться с другими черными дырами, что приведет к образованию все более и более крупных. Средняя температура Вселенной приблизится к абсолютному нулю. Черные дыры в итоге «испарятся», выпустив свое последнее излучение Хокинга. В конце концов термодинамическая энтропия во Вселенной станет максимальной. Наступит тепловая смерть.

Современные наблюдения, которые учитывают наличие темной энергии и ее влияние на расширение космоса, натолкнули ученых на вывод, согласно которому со временем все больше и больше пространства Вселенной будет проходить за пределами нашего горизонта событий и станет невидимым для нас. Конечный и логичный результат этого ученым пока не известен, однако «тепловая смерть» вполне может оказаться конечной точкой подобных событий.

Есть и другие гипотезы относительно распределения темной энергии, а точнее, ее возможных видов (например фантомной энергии). Согласно им галактические скопления, звезды, планеты, атомы, ядра атомов и материя сама по себе будут разорваны на части в результате ее бесконечного расширения. Такой сценарий эволюции носит название «большого разрыва». Причиной гибели Вселенной согласно этому сценарию является само расширение.

Самое раннее упоминание Большого Взрыва относится к началу 20-го века и связано с наблюдениями за космосом. В

1912 году американский астроном Весто Слайфер провел серию наблюдений за спиральными галактиками (которые изначально представлялись туманностями) и измерил их доплеровское красное смещение. Почти во всех случаях наблюдения показали, что спиральные галактики отдаляются от нашего Млечного Пути.

В 1922 году выдающийся российский математик и космолог Александр Фридман вывел из уравнений Эйнштейна для общей теории относительности так называемые уравнения Фридмана. Несмотря продвижения Эйнштейном теории в пользу наличия космологической постоянной, работа Фридмана показала, что Вселенная скорее находится в состоянии расширения.

Большой Взрыв, темная материя... Могут ли космологи нас обманывать?

В 1924 году измерения Эдвина Хаббла дистанции до ближайшей спиральной туманности показали, что эти системы на самом деле являются действительно другими галактиками. В то же время Хаббл приступил к разработке ряда показателей для вычета расстояния, используя 2,5-метровый телескоп Хукера в обсерватории Маунт Вилсон. В 1929 году Хаббл обнаружил взаимосвязь между расстоянием и скоростью удаления галактик, что впоследствии стало законом Хаббла.

В 1927 году бельгийский математик, физик и католиче-

ский священник Жорж Леметр независимо пришел к тем же результатам, какие показывали уравнения Фридмана, и первым сформулировал зависимость между расстоянием и скоростью галактик, предложив первую оценку коэффициента этой зависимости. Леметр считал, что в какой-то период времени в прошлом вся масса Вселенной была сосредоточена в одной точке (атоме).

Эти открытия и предположения вызывали много споров между физиками в 20-х и 30-х годах, большинство из которых считало, что Вселенная находится в стационарном состоянии. Согласно устоявшейся в то время модели, новая материя создается наряду с бесконечным расширением Вселенной, равномерно и равнозначно по плотности распределяясь на всей ее протяженности. Среди ученых, поддерживающих ее, идея Большого взрыва казалась больше теологической, нежели научной. В адрес Леметра звучала критика о предвзятости на основе религиозных предубеждений.

Следует отметить, что в то же время существовали и другие теории. Например, модель Вселенной Милна и циклическая модель. Обе основывались на постулатах общей теории относительности Эйнштейна и впоследствии получили поддержку самого ученого. Согласно этим моделям Вселенная существует в бесконечном потоке повторяющихся циклов расширений и коллапсов.

Только представьте, в космосе зафиксирован самый мощный взрыв со времен Большого Взрыва

После Второй мировой войны между сторонниками стационарной модели Вселенной (которая фактически была описана астрономом и физиком Фредом Хойлом) и сторонниками теории Большого Взрыва, быстро набиравшей популярность среди научного сообщества, разгорелись жаркие дебаты. По иронии судьбы, именно Хойл вывел фразу «большой взрыв», впоследствии ставшую названием новой теории. Произошло это в марте 1949 года на британском радио BBC.

В конце концов дальнейшие научные исследования и наблюдения все больше и больше говорили в пользу теории Большого взрыва и все чаще ставили под сомнение модель стационарной Вселенной. Обнаружение и подтверждение реликтового излучения в 1965 году окончательно укрепили Большой взрыв в качестве лучшей теории происхождения и эволюции Вселенной. С конца 60-х годов и вплоть до 1990-х астрономы и космологи провели еще больше исследований вопроса Большого взрыва и нашли решения для многих теоретических проблем, стоящих на пути у данной теории.

Среди этих решений, например, работа Стивена Хокинга и других физиков, которые доказали, что сингулярность являлась неоспоримым начальным состоянием общей относительности и космологической модели Большого взрыва. В 1981 году физик Алан Гут вывел теорию, описывающую период быстрого космического расширения (эпохи инфляции), которая решила множество ранее нерешенных теоре-

тических вопросов и проблем.

В 1990-х наблюдался повышенный интерес к темной энергии, которую рассматривали как ключ к решению многих нерешенных вопросов космологии. Помимо желания найти ответ на вопрос о том, почему Вселенная теряет свою массу наряду с темной материей (гипотеза была предложена еще в 1932 году Яном Оортом), также было необходимо найти объяснение тому, почему Вселенная по-прежнему ускоряется.

Дальнейший прогресс изучения обязан созданию более продвинутых телескопов, спутников и компьютерных моделей, которые позволили астрономам и космологам заглянуть дальше во Вселенной и лучше понять ее истинный возраст. Развитие космических телескопов и появление таких, как, например, Cosmic Background Explorer (или COBE), космический телескоп Хаббла, Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) и космическая обсерватория Планка, тоже внесло бесценный вклад в исследование вопроса.

Сегодня космологи могут с довольно высокой точностью проводить измерения различных параметров и характеристик модели теории Большого взрыва, не говоря уже о более точных вычислениях возраста окружающего нас космоса. А ведь все началось с обычного наблюдения за массивными космическими объектами, расположенными во многих световых годах от нас и медленно продолжающих от нас отдаляться. И несмотря на то, что мы понятия не имеем, чем это все закончится, чтобы выяснить это, по космологическим

меркам на это потребуется не так уж и много времени.

ТЕОРИЯ ВЕЧНОЙ ИНФЛЯЦИИ

ГЛАВА 2

Инфляционная модель Вселенной – научная космологическая теория о законе и состоянии расширения Вселенной на раннем этапе Большого взрыва. В отличие от стандартной модели горячей Вселенной, данная теория предполагает ускоренный период расширения Вселенной на раннем этапе при температуре выше 10^{28} Кельвинов.

Инфляционная модель Вселенной была разработана относительно недавно. Еще в 30-х годах 20 века ученые знали, что наша Вселенная непрерывно расширяется. Важную роль в этом сыграло открытие закона Хаббла, который указывал на данный факт. Ученые поняли, что процессу расширения Вселенной предшествовало свое начало. По этой причине они решили, применяя физико-математические законы, теоретически воссоздать процесс формирования Вселенной и понять, что именно послужило толчком к ее расширению.

Создавая теорию формирования Вселенной, ученые столкнулись с рядом вопросов, например: почему во Вселенной так мало антивещества, если оно должно состоять с веществом в примерно равных пропорциях; как получилось,

что температура всех областей Вселенной примерно одинакова, если отдельные ее части никак не могли контактировать друг с другом; почему Вселенная обладает именно такой массой и энергией, которая способна замедлить хаббловское расширение и многое другое. Занимаясь поиском ответов на эти вопросы, ученые вывели стандартную модель горячей Вселенной, которая гласит, что в самом начале своего зарождения Вселенная была очень плотной и горячей, и в ней существовало единое поле взаимодействия между всеми частицами. Впоследствии, когда Вселенная расширилась и остыла, это поле распалось на электромагнитное, гравитационное, сильное и слабое взаимодействие, которое позволили частицам, из которых состояла первобытная Вселенная, объединяться в атомы и другие сложные структуры.

В 1981 году американский ученый Алан Гут понял, что выделение сильных взаимодействий из единого поля, а также фазовый переход первобытного вещества Вселенной из одного состояния в другое произошел примерно через 10–35 секунды после рождения Вселенной. Этот период можно условно назвать «первоначальной кристаллизацией Вселенной» или «экстренным расширением Вселенной». В чем-то этот процесс напоминает процедуру замерзания воды и превращения ее в лед. Всем известно, что вода при замерзании расширяется. Алану Гут предположил, что на самом начальном этапе формирования Вселенной произошло ее скачкообразное расширение, благодаря которому Вселенная

за крохотные доли секунды расширилась в 50 раз. Свою теорию ученый назвал инфляционной моделью Вселенной (инфляция от англ. Inflate – раздувать, накачивать). При помощи этой модели можно объяснить, почему Вселенная обладает такой массой и энергией, которая позволяет замедлить хаббловское расширение, а также, почему температура всех областей нашей Вселенной примерно одинакова. Хаббловское расстояние совпадает с размерами наблюдаемой нами Вселенной. Это говорит нам о том, что из-за конечности возраста нашей Вселенной и скорости света можно наблюдать сейчас только те области Вселенной, которые находятся на равном или меньшем расстоянии горизонта наблюдений. В планковскую эпоху Большого взрыва (самая ранняя стадия развития Вселенной) в наблюдаемой Вселенной состояло около 10^{90} областей, взаимодействие и причинная связь между которыми отсутствовала. Схожесть начальных условий в таком огромном количестве областей считалась маловероятной. Даже в более поздние периоды Большого взрыва проблема схожести начальных условий в несвязанных причинно областях остается.

Например, в эпоху рекомбинации приходящие к нам с близких направлений фотоны реликтового излучения должны были содействовать с областями первичной плазмы, между которыми за все время их существования не успела установиться причинная связь. Другими словами, можно было рассчитывать на значительную анизотропность реликтового

излучения, но наблюдения показывают, что оно изотропно, причем в достаточно высокой степени.

Согласно последним научным данным, плоскость Вселенной весьма близка к критической плоскости, при которой кривизна пространства равна нулю. Согласно научной гипотезе, отклонение плотности Вселенной от критической плотности должно увеличиваться в процессе течения времени. Для объяснения пространственной кривизны Вселенной в рамках стандартной модели, необходимо принять отклонение ее плотности в планковскую эпоху. Говоря максимально простым языком, стандартная модель горячей Вселенной не способна объяснить плоскость Вселенной, в то время, как инфляционная модель Вселенной позволяет это сделать. Ее постулаты гласят, что неважно насколько сильно было искривлено пространство нашей Вселенной в миг ее инфляционного расширения – по окончании этого расширения ее пространство оказалось почти полностью прямым. Кривизна пространства, согласно общей теории относительности, зависит от количества энергии и материи, которые в нем находятся. По этой причине в нашей Вселенной находится достаточно материи, чтобы уравновесить хаббловское расширение. Для образования такой четкой иерархической структуры из малых флуктуаций плотности, нужна определенная форма спектра и амплитуда первичных возмущений. Все эти параметры приходится принимать в рамках стандартной модели.

Главным критиком инфляционной модели Вселенной выступает английский астрофизик, сэр Роджер Пенроуз. Он утверждает, что хотя инфляционная модель Вселенной является весьма успешной и интересной теорией, однако у нее есть некоторые недостатки. К примеру, данная теория не предлагает никаких веских фундаментальных обоснований того, что на доинфляционной стадии возмущения плотности должны быть настолько малыми, чтобы после инфляции возникла наблюдаемая степень однородности Вселенной.

Еще одно слабое место инфляционной теории, по словам ученого, это ее объяснение пространственной кривизны. Согласно научной гипотезе, во время инфляции пространственная кривизна сильно уменьшается, однако в то же время ничто не мешало пространственной кривизне иметь настолько большое значение, чтобы проявлять себя и на современном этапе развития Вселенной.

Не так давно, в 2014 году был проведен эксперимент, по результатам которого ученым удалось получить косвенные подтверждения инфляционной модели Вселенной. Этим подтверждением в частности послужила поляризация реликтового излучения. Ученые посчитали, что она могла быть вызвана первичными гравитационными колебаниями.

Однако в более позднем опубликованном результате схожего эксперимента от 19 сентября 2014 года, который был проведен коллективом других астрономов при помощи космической обсерватории-спутника «Планк» показал, что ре-

зультат вышеназванного эксперимента можно отнести к влиянию не первичных гравитационных колебаний, а межгалактической пыли. Таким образом, ученым еще предстоит доказать на опыте инфляционную модель Вселенной.

Несмотря на то, что в основе инфляционной модели лежит квантовая физика, ее постулаты были не сразу применены к самому явлению инфляции. Предполагается, что процесс инфляции вызывается так называемым «скалярным полем», интенсивность которого не уменьшается пропорционально расстоянию от источника. Это поле есть всегда и везде. Оно раздвигало нашу Вселенную в каждой точке ее пространства. Но даже это гипотетическое поле «Инфланта», как его еще называют, со всеми предположениями, которые оно в себя неизбежно включает, должно быть квантовым полем.

Если инфляция обладает свойствами квантовых полей, то это немедленно порождает следующие выводы:

- в ее свойствах должны быть неопределенности, присущие квантовым полям;
- поле должно описываться волновой функцией;
- значения поля растягиваются со временем.

В таком случае мы обязательно придем к необычному выводу. Инфляция вовсе не закончилась в далеком прошлом, ее вообще нельзя остановить. Она продолжается по сей день, но в некоторых изолированных областях, не связанных друг с другом, она остановилась. Одной из таких областей и яв-

ляется наша Вселенная.

За границей нашей «спокойной гавани» продолжают буйшевать квантовые силы, растягивающие пространство. Где-то существуют другие области, подобные нашей, где Большой Взрыв в самом разгаре или, наоборот, пространство остыло настолько, что последние звезды потухли, а черным дырам не осталось материала для поглощения. К таким выводам пришел Андрей Линде из Стэнфордского университета.

«Я помню, когда меня здесь проводили на старшего научного сотрудника, вызвали меня и начали меня спрашивать: „А чем вы занимаетесь?“ А я им начал говорить, что вот, занимаюсь я, в частности тем, что в разных частях Вселенной может оказаться так, что законы физики могут быть разные: в части есть, там, электромагнитное взаимодействие, в части – нет... Они мне сказали: „Ну, это уж слишком!“ Но старшего научного все-таки дали», – такую историю рассказывает Линде на своих лекциях.

Но теория также допускает столкновения друг с другом областей на разных стадиях зарождения космоса. Это должно вести к возникновению крайне беспорядочного космоса с сильно разнящейся плотностью вещества и излучения, различной степенью искривления пространства. Эта картина совершенно не похожа на то, что мы видим вокруг.

Однако не так давно Андрей Линде, а чуть позже и Андреас Альбрехт с Полом Стейнхардтом из университета Пен-

силывании смогли изменить уравнение скалярного поля, вызывающего инфляцию. В новой модели разные инфляционные области в процессе развития отдаляются на такие огромные расстояния, что никогда не пересекаются. Отсюда следует, что вся Вселенная, которую мы видим сегодня, возникла всего из одного вакуумного пузыря.

Таким образом, теория инфляции разделилась на старую (порождающую беспорядочную Мультивселенную) и новую теорию Хаотической инфляции, где Космос действительно предстает перед нами таким, каким мы его видим (это тоже Мультивселенная, но более упорядоченная).

Но бесконечная инфляция – это не единственная проблема данной теории. Например, расчеты показывают, что если пузырь (который представляла из себя наша ранняя Вселенная) имеет параметры, отличающиеся от идеала, то процесс инфляции не приводит к образованию Вселенной, подобной нашей. Более того, такие параметры, как были у нас, крайне маловероятны. Видимо, в очередной раз нам «сильно повезло» с параметрами нашего Мира.

Другую проблему представил Роджер Пенроуз из Оксфордского университета в 1980-х годах. Он является одним из ярых противников теории инфляции. Он применил законы термодинамики к расчетам начального состояния Вселенной перед фазой инфляции. Ранее считалось, что начальные параметры не влияют на результаты инфляции. Теперь было показано, что с очень небольшой долей вероятности

инфляция приводит к образованию плоскостной равномерно заполненной Вселенной, потому что начальные параметры влияют значительно, и инфляция дает разный результат.

Роджер Пенроуз с Вахе Гурзадяном из Национальной научной лаборатории имени Артема Алиханьяна считают, что модель инфляции – это «заметание сора под ковер». Вместе они занимались изучением аномально холодных окружностей в картине реликтового излучения в связи с новой и активно развивающейся теорией. Пенроуз высказывает предположение, что данные аномалии являются следами Вселенной, существовавшей до Большого взрыва. Возможно даже, они имеют искусственное происхождение: некие развитые цивилизации были способны оставить сообщение о своей цивилизации для следующей Вселенной внутри реликтового излучения.

Более того, вероятно, что Вселенная получилась такой без инфляции вообще. Хотя и эта вероятность невелика: чаще всего Вселенные рождаются с совсем другими параметрами, нежели наша. К таким же выводам пришел Гэри Гиббонс из Кембриджа и Нейл Турок из института теоретической физики в Онтарио. В 2008 году они провели ряд экспериментов по моделированию ранней Вселенной и получили, что для объяснения сегодняшнего космоса инфляция не обязательна.

В мае 2009 года Европейским космическим агентством был запущен спутник «Планк» для исследования микро-

волнового реликтового излучения. Он снял это излучение с невиданной ранее точностью, что дало много информации для улучшения картины Вселенной. Большая часть этой информации согласуется с теорией инфляции. Но недавно ученые из команды, работающей с данными «Планка», объявили о некоторых крупномасштабных аномалиях реликтового излучения, которые нельзя объяснить в рамках принятой теории.

Одна из таких аномалий – это огромное холодное пятно, которому, как утверждается, соответствует зона высокой плотности. Подобные аномалии могут заставить научное сообщество в будущем в очередной раз пересмотреть теорию зарождения Вселенной.

ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

ГЛАВА 3

Что такое теория относительности? В чем же состоит ее суть?

Теория относительности практически, можно сказать, ликвидировала несостыковки и противоречия физики 20-го века, заставила в корне поменять представление о структуре пространства-времени и экспериментально подтвердилась в многочисленных опытах и исследованиях. Таким образом, теория относительности легла в основу всех современных

фундаментальных физических теорий. По – сути это мама современной физики!))

Для начала следует отметить, что существует две теории относительности:

Специальная теория относительности (СТО) – рассматривает физические процессы в равномерно движущихся объектах.

Общая теория относительности (ОТО) – описывает ускоряющиеся объекты и объясняет происхождение такого явления как гравитация и существование частиц гравитонов.

СТО – иначе говоря, в теории лежит принцип относительности, согласно которому любые законы природы одинаковы относительно неподвижных и движущихся с постоянной скоростью тел. И из такой казалась бы простой мысли следует, что скорость света ($300\,000$ м/с в вакууме) одинакова для всех тел.

Например, представьте, что вам подарили космический корабль из далёкого будущего, который может летать с огромной скоростью. На носу корабля устанавливается лазерная пушка, способная стрелять вперед фотонами.

Относительно корабля такие частицы летят со скоростью света, однако относительно неподвижного наблюдателя они, казались бы, должны лететь быстрее, т.к. обе скорости суммируются.

Однако на самом деле этого не происходит!

Сторонний наблюдатель видит фотоны, летящие $300\,000$

м/с, как будто скорость космического корабля к ним не добавлялась.

Нужно запомнить, что относительно любого тела скорость света будет неизменной величиной, как бы быстро оно не двигалось.

Из этого следуют потрясающие воображение выводы вроде замедления времени, продольном сокращении и зависимости массы тела от скорости. Подробнее об интереснейших следствиях Специальной теории относительности.

Суть общей теории относительности (ОТО)

Чтобы лучше ее понять, нам нужно вновь объединить два факта:

Пространства и время – это проявления одной и той же сущности под названием «пространственно-временной континуум». Это и есть 4-мерное пространство-время с осями координат x , y , z и t .

Мы, люди, не в состоянии воспринимать 4 измерения одинаково. По сути, мы видим только проекции настоящего четырехмерного объекта на пространстве и время.

Когда Эйнштейн упомянул о своем желании решить проблему гравитации, ему было сказано две вещи: первое, – что это просто невозможно сделать, а второе заключается в том, что никто не поверит ему, даже если бы ему удалось сделать это. В ответ он создал свое величайшее творение – *Общую теорию относительности*.

Общая теория относительности сделала для гравитации то, что даже Ньютон не смог сделать, – дала ей объяснение, показала закономерность, благодаря которой вещи падают, вращаются на орбите и искажают время. Фактически, создание общей теории относительности связано с противостоянием с Ньютоном и его представлениями о гравитации, которая им описывалась как таинственная сила, сближающая объекты. Хотя по правде говоря, даже сам Ньютон не понимал, как это работает, поскольку сила притяжения действует через пустое пространство, и горько критиковал свою собственную теорию гравитации.

Тем не менее, несмотря на вопросы, которые остались без ответа, формулы Ньютона для гравитации все еще использовались в течении десятилетий, как основа универсальных законов физики, чтобы точно предсказывать движение планет и даже отправить людей на Луну. Чтобы понять общую теорию относительности, нам нужно кратко взглянуть на ньютоновскую *теорию тяготения* и на то, где она не дотягивает.

Ньютоновская гравитация была сформулирована главным образом для объяснения двух вещей. Первым был вопрос о том, почему объекты разного веса, при отсутствии сопротивления воздуха, падают на землю одновременно. Обратите внимание на слово «падают» а не «брошены». Бросание объектов добавляет дополнительную энергию, которую объект не имел бы, если бы он был просто уронен. Например, если бы не сопротивление воздуха, перо и свинцовый шар при

падении приземлились бы одновременно. Два камня разных размеров и веса также будут приземляться на землю одновременно.

Другой вопрос, который Ньютон попытался решить, проблема ньютоновской гравитации заключается в ее действии на расстоянии. Силы зависят от массы объектов и от расстояния между ними. Проблема с этим в том, что сила не имеет носителя, она действует в пустом пространстве. Также проблема в том, что она нарушает «ограничение скорости» Вселенной: ничто не может двигаться быстрее скорости света. Если объект изменил свое положение во Вселенной, силы притяжения, с которой он действует на другие объекты, мгновенно изменились бы, нарушив это ограничение скорости.

В попытке решить проблему гравитации Эйнштейн впервые придумал Специальную теорию относительности, которая учитывала только объекты, движущиеся по прямой и с постоянной скоростью. Однако она не включала ускорения, и Эйнштейн стремился создать теорию, которая могла бы применяться более широко. Так родился термин *Общая теория относительности*.

В начале 1900-х Эйнштейн провел мысленный эксперимент. Он смотрел в окно и представлял себе человека, падающего с крыши. Когда человек падал, он чувствовал себя невесомым. Но что если бы этот человек был в падающем лифте? Лифт будет двигаться с той же скоростью, что и че-

ловек, который также почувствует себя невесомым.

Именно тогда Эйнштейн понял, что происходит. Вопреки теории Ньютона, не было никакой гравитационной силы, тянущей объекты вниз. Вместо этого пространство вокруг них было изогнуто, подталкивая оба объекта к земле. Оно толкало, а не притягивало, как это считалось в теории притяжения Ньютона. Последствия этого открытия были удивительными. Это означало, что пространство является гибким, его можно складывать и изгибать. Эйнштейн объединил пространство и время в так называемый *пространственно-временной континуум*.

В то время как естественное движение вещей состоит в том, чтобы следовать простейшему пути через пространство-время, масса изгибает окружающее её пространство так, что мы движемся к центрам большей массы. Это и есть сила, которую мы называем гравитацией.

Как это описывает орбиты планет и их лун? Ньютоновская гравитация говорит, что Солнце притягивает нас к себе, но мы не падаем на него, потому что Земля также одновременно движется в сторону по эллиптической орбите. Но согласно общей теории относительности, огромная масса Солнца искажает пространство вокруг себя, и это изогнутое пространство толкает Землю к Солнцу.

Ни одно из этих изображений не является точным относительно того, как на самом деле выглядит кривизна пространства-времени – три измерения пространства, обернутые во-

круг четвертого измерения (времени), – но наши умы не способны представить, как это будет выглядеть на самом деле. Поскольку мы живем в трех измерениях, мы можем представить себе только трехмерные ситуации.

Откуда мы знаем, что общая теория относительности работоспособна? Доказательства этого есть во всей Вселенной. Теория не только объясняет нейтронные звезды и аномалии орбиты Меркурия, но и правильно предсказывает черные дыры и способность гравитации сгибать свет. Звездный свет, например, искривляется, когда проходит вблизи Солнца. Еще один интересный момент со светом заключается в том, что когда он отклоняется вокруг более компактных объектов, это приводит к нескольким изображениям этого объекта. Это обычно наблюдаемое явление называется гравитационным линзированием и помогает подтвердить общую относительность.

Знаете ли вы, что время также может быть искажено? Время замедляется ближе к объектам очень большой массы. Например, для тех, кто живет в высоком небоскребе, время течет быстрее, чем для находящихся на земле. Но, эта разница очень мала, разумеется.

Теория относительности также предсказывает, что в момент зарождения нашей Вселенной она была очень горячей и плотной, что в конечном итоге привело к Большому взрыву. С тех пор мы обнаружили, что наша Вселенная расширяется гораздо быстрее, чем предсказывал Эйнштейн.

Как выразился физик-теоретик Джон Уилер, *«пространство-время говорит материи, как двигаться, а материя говорит пространству-времени, как изгибаться»*.

Что касается опыта с двумя падающими объектами разной массы, теория относительности говорит, что они упали на пол одновременно, потому что на них не действует сила.

Применений общей теории относительности гораздо больше. Это был один из величайших даров Эйнштейна миру, и он продолжает проходить тестирование. Но это действительно рисует довольно странную картину Вселенной – ту, где червоточины могут существовать, и параллельные линии могут в конечном итоге расходиться. Мы до сих пор всё еще обсуждаем эту теорию. Мы продолжаем использовать слово «гравитация», и мы продолжаем думать с точки зрения ньютоновской гравитации, потому что это более понятно для нашего ума, чем изогнутое пространство-время.

Активное изучение законов электромагнетизма началось в XIX веке, хотя и до этого ученые интересовались такими загадочными явлениями, как электричество и магнетизм. Еще в 1790-е годы естествоиспытатель из Франции Шарль Огюстен Кулон открыл закон электростатической силы и изложил его в виде формулы. Современная формулировка закона Кулона выглядит так: сила взаимодействия двух точечных зарядов в вакууме направлена вдоль прямой, соединяющей эти заряды, пропорциональна их величинам и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. Она

является силой притяжения, если знаки зарядов разные, и силой отталкивания, если эти знаки одинаковы.

Приблизительно в это же время итальянец Алессандро Вольта изобрел химическую батарею. Она представляла собой банку с кислотой, в которую были опущены две пластинки, одна из меди, вторая из цинка. Ученый соединил их проволокой, после чего пластина из цинка начала растворяться, а на медной появились газовые пузырьки. Вольта доказал, что по проволоке протекает электрический ток. Позже он усовершенствовал свое изобретение, придав ему форму цилиндра. Эта химическая батарея получила название вольтова столба.

В 1820 году датский физик Ханс Христиан Эрстед сделал очередное впечатляющее открытие, связанное с электричеством: он обнаружил, что ток, пропускаемый через провод, воздействует на стрелку компаса, заставляя ее отклоняться. До этого считалось, что на компас могут воздействовать только магниты. Дальше за дело взялся другой естествоиспытатель,

КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА

ГЛАВА 4

Слово «квант» происходит от латинского *quantum* («сколько, как много») и английско-

по *quantum* («количество, порция, квант»). «Механикой» издавна принято называть науку о движении материи. Соответственно, термин «квантовая механика» означает науку о движении материи порциями (или, выражаясь современным научным языком науку о движении *квантующейся* материи). Термин «квант» ввел в обиход немецкий физик Макс Планк для описания взаимодействия света с атомами.

Квантовая механика часто противоречит нашим понятиям о здравом смысле. А всё потому, что здравый смысл подсказывает нам вещи, которые берутся из повседневного опыта, а в своем повседневном опыте нам приходится иметь дело только с крупными объектами и явлениями макромира, а на атомарном и субатомном уровне материальные частицы ведут себя совсем иначе. [Принцип неопределенности Гейзенберга](#) как раз и очерчивает смысл этих различий. В макромире мы можем достоверно и однозначно определить местонахождение (пространственные координаты) любого объекта (например, этой книги). Не важно, используем ли мы линейку, радар, сонар, фотометрию или любой другой метод измерения, результаты замеров будут объективными и не зависящими от положения книги (конечно, при условии вашей аккуратности в процессе замера). То есть некоторая неопределенность и неточность возможны – но лишь в силу ограниченных возможностей измерительных приборов и погрешностей наблюдения. Чтобы получить более точные и достоверные результаты, нам достаточно взять более точный из-

мерительный прибор и постараться воспользоваться им без ошибок.

Теперь если вместо координат книги нам нужно измерить координаты микрочастицы, например электрона, то мы уже не можем пренебречь взаимодействиями между измерительным прибором и объектом измерения. Сила воздействия линейки или другого измерительного прибора на книгу пренебрежимо мала и не сказывается на результатах измерений, но чтобы измерить пространственные координаты электрона, нам нужно запустить в его направлении фотон, другой электрон или другую элементарную частицу сопоставимых с измеряемым электроном энергий и замерить ее отклонение. Но при этом сам электрон, являющийся объектом измерения, в результате взаимодействия с этой частицей изменит свое положение в пространстве. Таким образом, сам акт замера приводит к изменению положения измеряемого объекта, и неточность измерения обуславливается самим фактом проведения измерения, а не степенью точности используемого измерительного прибора. Вот с какой ситуацией мы вынуждены мириться в микромире. Измерение невозможно без взаимодействия, а взаимодействие – без воздействия на измеряемый объект и, как следствие, искажения результатов измерения.

О результатах этого взаимодействия можно утверждать лишь одно:

неопределенность пространственных координат

нат \times неопределенность скорости частицы $> h/m$,
или, говоря математическим языком:

$$\Delta x \times \Delta v > h/m$$

где Δx и Δv — неопределенность пространственного положения и скорости частицы соответственно, h — постоянная Планка, а m — масса частицы.

Соответственно, неопределенность возникает при определении пространственных координат не только электрона, но и любой субатомной частицы, да и не только координат, но и других свойств частиц – таких как скорость. Аналогичным образом определяется и погрешность измерения любой такой пары взаимно увязанных характеристик частиц (пример другой пары – энергия, излучаемая электроном, и отрезок времени, за который она испускается). То есть если нам, например, удалось с высокой точностью измерить пространственное положение электрона, значит мы *в этот же момент времени* имеем лишь самое смутное представление о его скорости, и наоборот. Естественно, при реальных измерениях до этих двух крайностей не доходит, и ситуация всегда находится где-то посередине. То есть если нам удалось, например, измерить положение электрона с точностью до 10^{-6} м, значит мы одновременно можем измерить его скорость, в лучшем случае, с точностью до 650 м/с.

Из-за принципа неопределенности описание объектов квантового микромира носит иной характер, нежели привычное описание объектов ньютоновского макромира. Вме-

сто пространственных координат и скорости, которыми мы привыкли описывать механическое движение, например шара по бильярдному столу, в квантовой механике объекты описываются так называемой *волновой функцией*. Гребень «волны» соответствует максимальной вероятности нахождения частицы в пространстве в момент измерения. Движение такой волны описывается [уравнением Шрёдингера](#), которое и говорит нам о том, как изменяется со временем состояние квантовой системы.

Картина квантовых событий в микромире, рисуемая уравнением Шрёдингера, такова, что частицы уподобляются отдельным приливному волнам, распространяющимся по поверхности океана-пространства. Со временем гребень волны (соответствующий пику вероятности нахождения частицы, например электрона, в пространстве) перемещается в пространстве в соответствии с волновой функцией, являющейся решением этого дифференциального уравнения. Соответственно, то, что нам традиционно представляется частицей, на квантовом уровне проявляет ряд характеристик, свойственных волнам.

Согласование волновых и корпускулярных свойств объектов микромира стало возможным после того, как физики условились считать объекты квантового мира не частицами и не волнами, а чем-то промежуточным и обладающим как волновыми, так и корпускулярными свойствами; в ньютоновской механике аналогов таким объектам нет. Хотя и при

таком решении парадоксов в квантовой механике всё равно хватает, лучшей модели для описания процессов, происходящих в микромире, никто до сих пор не предложил.

Квантовая механика родилась как необходимость, чтобы объяснить результаты некоторых опытов, которые не могла объяснить классическая теория.

Первое. Возникли трудности с опытом Юнга. Не понятно было, как одна и та же частица может пролезать через две разные щели одновременно. Родился корпускулярно-волновой дуализм, который никому невозможно представить. Все должны просто в это верить и запомнить это. Других опытов, подтверждающих этот дуализм, пока не наблюдается.

Второй казус возник с планетарной моделью атома Резерфорда. Когда он представил свою модель, то мудрецы сразу же выдвинули теорию: электрон, вращается с большой скоростью вокруг ядра в результате чего должен излучать энергию и в конце концов упасть на ядро. А этот электрон никуда не падал и никуда не улетал. Но то ли эти мудрецы забыли или и не знали об опытах Кауфмана и наличие у ядра магнитного поля (может быть тогда об этом никто не знал) так как не учли все это в своих рассуждениях.

Пришлось Бору постулировать: у атома есть такие уровни (орбиты), где электрон летает и ничего не излучает. Все остолбенели и перестали искать силы, которые не позволяют электрону упасть на ядро, а про силы, удерживающие электрон в составе атома, даже и не думали, да и сейчас ученые

и не подозревают, что такие силы существуют в виде обменного фотона.

Если вы думаете, что некоторые вещи из мира науки вас не касаются, вы глубоко ошибаетесь. Даже то, что кажется очень далеким в некотором роде влияет на вашу жизнь. Это относится и к квантовой механике. Она тоже часть нашего мира.

14 декабря 1900 года в мире физике родилась принципиально новая теория, впоследствии выросшая в невероятную для простого обывателя и не менее странную для физиков квантовую механику.

В начале 20 века поняли, что в атоме есть ядро и электрон. И попытались определить свойство электрона, в том числе и его поведение в различных условиях.

Оказалось, что электрон очень хитрая штука, и чтобы описать его поведение (вообще, механика изучает движение тел, но назвать поведение электрона «движением», как-то не могу, все таки это нечто другое, а не движение в общепринятом смысле) нужна особая наука, ее и назвали квантовая механика. С тех пор, более менее изучили взаимодействие с остальным миром только электронов, причем лучше всего в атоме водорода, где он один.

Сейчас, конечно, квантовая механика пытается описывать поведение всех частиц внутри атома, но по сравнению с электроном, с которым еще далеко не все понятно, со всем

остальным, вообще беда! Так что, можно пока еще понимать квантовую механику, как науку о «движении» электронов внутри атома.

А что даст полное понимание квантовой механики...да кто ж это скажет, пока еще не поняли?! Кто бы мог сказать в 19 веке, к чему приведет частичное понимание строения атома? А в 20 веке, еще ничего до конца не поняв, смогли делать атомные реакторы и ядерные и термоядерные бомбы.

Понятно, что квантовая механика рано или поздно приведет к новым источникам энергии, все-таки распад Урана и Плутония, и даже синтез водорода освобождает только малую часть энергии скрытую в атоме.

Наш мир устроен невероятно сложно. Если посмотреть в телескоп, то перед нами откроется целая Вселенная, бесконечная и расширяющаяся все быстрее и быстрее. От одной мысли о том, что в одной лишь наблюдаемой Вселенной существует около 10 триллионов галактик, может закружиться голова. Это невероятно!

Как и многочисленные предположения о существовании Мультивселенной и параллельных реальностей. К слову сказать, современная физика изобилует подобными идеями, но мы с вами остановимся на одной из, по моему скромному мнению, самых интересных из них – многомировой интерпретации квантовой механике или интерпретации Эверетта. В 1954 году, будучи аспирантом Принстонского университета, физик Хью Эверетт пришел к революционной интерпре-

тации нерелятивистской квантовой механике, которую полностью развил за два последующий года.

Однако она не включала ускорения, и Эйнштейн стремился создать теорию, которая могла бы применяться более широко. Так родился термин – *Общая теория относительности*.

ПРОСТРАНСТВО-ВРЕМЯ

ГЛАВА 5

С точки зрения физики, исследуя ничтожно малое пространство, мы увидим, что оно состоит из квантов.

Люди, как правило, воспринимают пространство как нечто само собой разумеющееся. Ну, в самом деле: это просто-напросто пустота, фон для всего остального. Время тоже простая штука: беспрестанно тикает и тикает. Однако, если физики, долгие годы бившиеся над объединением их фундаментальных теорий, и сумели извлечь из этого хоть что-то полезное, так это то, что пространство и время образуют систему такой ошеломляющей сложности, что любые, даже самые отчаянные попытки осмыслить её могут оказаться тщетными.

Альберт Эйнштейн увидел этот назревавший результат уже в ноябре 1916 года. Годом ранее он сформулировал общую теорию относительности, согласно которой гравитация является не силой, действующей в пространстве, а свойством самого пространства-времени. Шар, брошенный высоко вверх, по дуге возвращается к земле, потому что Земля так искажает окружающее его пространство-время, что пути шара и земли снова пересекаются. В письме к другу

Эйнштейн размышлял о проблеме объединения общей теории относительности и его другого детища – зарождавшейся квантовой механики. Получалось, что, если объединение состоится, разговорами о том, что пространство искажается, ограничиться не удастся: придётся вести речь о его демонтаже. Обдумывая математические расчёты, он плохо понимал, с чего следует начать. «Как же я измучил себя на этом пути!» – написал он.

Продвинуться далеко Эйнштейну не удалось. Даже сейчас конкурирующих версий квантовой теории гравитации почти столько же, сколько учёных, работающих над данной темой. В горячих спорах упускают из виду важную истину: все конкурирующие версии говорят о том, что пространство происходит от чего-то более глубокого. Эта идея идёт вразрез с 2500-летним опытом научного и философского осмысления пространства.

Проблему, стоящую перед физиками, прекрасно иллюстрирует обычный магнит. Он легко поднимает с пола скрепку, несмотря на гравитацию целой планеты Земля. Гравитация слабее магнетизма, электрических и ядерных связей. Какими бы ни были квантовые эффекты, они чрезвычайно слабы. Единственное осязаемое свидетельство того, что они всё же существуют, – это пёстрый узор ранней Вселенной, который, как полагают, не мог появиться без участия квантовых флуктуаций гравитационного поля.

Лучше всего исследовать квантовую гравитацию с помо-

щью чёрных дыр. «Они самые подходящие объекты для проведения экспериментов», – говорит Тед Джекобсон из Мэрилендского университета в Колледж-Парке (University of Maryland, College Park). Он и другие теоретики изучают чёрные дыры как теоретические точки опоры. Что произойдёт, если взять уравнения, которые отлично работают в ходе лабораторных исследований, и применить их для чёрной дыры – самого экстремального объекта? Проявится ли какой-нибудь тонкий изъян?

Согласно общей теории относительности, стоит какому-то материальному предмету попасть в центр чёрной дыры – и он окажется бесконечно сжатым. Это математический тупик, называемый сингулярностью. Теоретики не могут экстраполировать траекторию попавшего в чёрную дыру предмета за пределы сингулярности; там пресекается не только траектория, но и линия времени. Даже говорить про «там» проблематично, ибо само пространство-время, определяющее местоположение сингулярности, перестаёт существовать. Исследователи надеются, что квантовой теории удастся выступить в роли микроскопа, дающего возможность разглядеть, что происходит с материальным предметом, попадающим в сингулярность.

На подступах к чёрной дыре материя не настолько сжата и гравитация не настолько сильна, чтобы не работали известные нам законы физики. Однако они, как это ни странно, не работают. Границей чёрной дыры является горизонт

событий, рубеж невозврата: материя, которая сюда попадает, вернуться не может. Спуск в дыру необратим, и это – физическая проблема, ибо все известные ныне законы фундаментальной физики, в том числе квантовой механики в её обычной интерпретации, обратимы. У вас должна быть, по крайней мере, принципиальная возможность обратить вспять движение всех частиц и восстановить то, что у вас было.

Очень похожая проблема встала перед физиками в конце 1800-х годов, когда они исследовали математику «чёрного тела», идеализированная модель которого представляет собой полость, заполненную электромагнитным излучением. Согласно теории электромагнетизма Джеймса Клерка Максвелла, такой объект должен поглощать всё падающее на него излучение и никогда не сможет прийти к равновесию с окружающей средой. «Он поглощает бесконечное количество тепла из резервуара, температура которого остаётся постоянной», – объясняет Рафаэль Соркин из института теоретической физики «Периметр» (Perimeter Institute for Theoretical Physics) в Онтарио. Говоря на языке термодинамики, температура этого объекта фактически равна абсолютному нулю. Данный вывод противоречит результатам наблюдения за реальными чёрными телами. Опираясь на исследования Макса Планка, Эйнштейн показал, что чёрное тело может достичь теплового равновесия, если излучаемую энергию получают дискретные единицы, или кванты.

Над проблемой равновесия чёрных дыр физики-теоре-

тики бьются уже почти полвека. В середине 1970-х годов недавно почивший Стивен Хокинг из Кембриджского университета (University of Cambridge) сделал огромный шаг вперёд: изучая с помощью квантовой теории поле излучения вокруг чёрных дыр, он показал, что температура этих объектов не является нулевой. В таком случае, они не только поглощают, но и излучают энергию. Хотя благодаря Хокингу чёрные дыры прописались в термодинамике, проблема необратимости усугубилась. Излучение чёрной дыры не несёт никакой информации о том, что у неё внутри. Это случайная тепловая энергия. Если, запустив данный процесс в обратном порядке, вы вернёте дыре её энергию, то поглощённая ею материя не выскочит назад; вы просто получите больше тепла. И нет оснований считать, будто попавшие в дыру материальные предметы всего лишь заперты в ней, но продолжают существовать, ибо, излучая, дыра сжимается и, согласно расчётам Хокинга, в конце концов неминуемо исчезает.

Эту проблему называют информационным парадоксом, так как чёрная дыра съедает ту информацию о поглощённых ею частицах, с помощью которой вы могли бы обратить их движение вспять. Если физика чёрных дыр действительно допускает обратимость любого процесса, то что-то должно нести информацию из этих дыр, и, чтобы так оно и было, возможно, нашу концепцию пространства-времени следует изменить.

Тепло – это хаотическое движение микроскопических ча-

стиц, таких как молекулы газа. Поскольку чёрные дыры могут нагреваться и остывать, разумно предполагать, что они включают в себя частицы – в общем, имеют микроскопическую структуру. А поскольку чёрная дыра – это всего-навсего пустое пространство (согласно общей теории относительности, поглощаемая материя проходит через горизонт событий, но не может не исчезнуть), её частицы должны быть частицами самого пространства. Чёрная дыра, простая настолько, насколько может быть простым простор пустого пространства, скрывает в себе беспредельную сложность.

Даже теории, провозглашающие свою приверженность обычному пониманию пространства-времени, в конечном итоге приходят к выводу, что за этим безликим фасадом что-то скрывается. Например, в конце 1970-х годов Стивен Вайнберг (Steven Weinberg), ныне работающий в Техасском университете в Остине (University of Texas at Austin), стремился дать описание гравитации, похожее на описание других сил природы. Однако и он вынужден был отметить, что пространство-время, если брать его в том масштабе, в каком оно проявляет себя максимально ярко, выглядит весьма и весьма необычно.

Первоначально физики изображали микроскопическое пространство в виде мозаики, сложенной из маленьких кусков. Считалось, что взглянув на него в масштабе Планка, то есть имея дело с умопомрачительно малой единицей длины, составляющей 10^{-35} метров, мы увидим нечто вроде шахмат-

ной доски. Однако, на самом деле, картина пространства будет несколько иной. И, прежде всего, следует отметить, что в сетке этой шахматной доски разные направления неравноценны, в результате чего имеют место асимметрии, противоречащие специальной теории относительности. Например, скорость света может зависеть от его цвета – точь-в-точь как в стеклянной призме, расщепляющей свет на цвета радуги. И эти нарушения относительности будут бросаться в глаза, хотя обычно, имея дело с малыми масштабами, трудно наблюдать какие-либо эффекты.

Кроме того, термодинамика чёрных дыр заставляет усомниться в том, что пространство представляет собой простую мозаику. Измеряя тепловое поведение любой системы, вы можете более или менее точно рассчитать число входящих в неё частей. Вбросьте в систему энергию и посмотрите на термометр. Если температура взлетела, вброшенную энергию получило сравнительно небольшое количество молекул. В сущности, то, что вы измеряете, – это энтропия. Она характеризует микроскопическую сложность системы.

Если вы имеете дело с обычной материей, с увеличением изучаемого объёма растёт число молекул. Тут всё закономерно: увеличьте радиус пляжного мяча в 10 раз – и внутри него окажется в 1000 раз больше молекул. Однако, увеличив в 10 раз радиус чёрной дыры, вы получите всего лишь стократное увеличение числа её «молекул». Количество частиц, из которых состоит дыра, пропорционально площади её по-

верхности, а не её объёму. Чёрная дыра выглядит трёхмерной, а ведёт себя, как двухмерная.

Этот странный эффект называют голографическим принципом, потому что он ассоциируется с голограммой. Глядя на голограмму, мы видим трёхмерный объект, хотя, на самом деле, перед нами двухмерный лист плёнки. Если голографический принцип учитывает микроскопические частицы пространства и его содержание, – а с этим согласны многие физики-теоретики, – то для создания пространства мало простого объединения маленьких кусочков.

Во всяком случае, отношение части к целому редко бывает простым. Молекула H_2O – это не просто частица воды. Вспомним известные нам свойства данной жидкости: она течёт, образует капли, рябь и волны, замерзает и кипит. Отдельная молекула H_2O ничего такого не делает: молекул должно быть много. Аналогично, кирпичики пространства могут не быть пространственными. «Атомы пространства не являются мельчайшими частицами пространства, – говорит Даниэле Орити из института гравитационной физики Общества Макса Планка (*нем.* Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik) в Потсдаме, Германия. – Они лишь то, из чего образуется пространство. Геометрические свойства пространства – новые, коллективные, более или менее точные свойства системы, состоящей из многих таких атомов».

Что именно представляют собой эти кирпичики, зависит от теории. В теории петлевой квантовой гравитации это –

кванты объёма, взаимодействующие на основе квантовых принципов. В теории струн это – родственные электромагнитным поля, живущие в плоскости, образуемой движущейся струной – нитью или петлёй энергии. В М-теории, которую можно рассматривать как фундамент теории струн, это – особый тип частиц: мембрана, сжатая в точку. В теории причинностного множества (causal sets theory) это – события, связанные сетью причины и следствия. В теории амплитудэдра и некоторых других теоретических схемах никаких кирпичиков, образующих пространство, нет вообще – по крайней мере, в том смысле, в каком их обычно понимают.

Во всех этих теориях, несмотря на разные принципы их построения, используется так называемый «реляционизм» немецкого философа XVII—XVIII веков Готфрида Лейбница. С точки зрения реляционизма, пространство возникает из определённой структуры корреляций между объектами. Выходит, оно – своеобразный пазл. Вы начинаете с большой кучи кусочков, смотрите, какие между ними связи, и соответственно складываете из этих кусочков какую-то картину. Если два кусочка имеют что-то схожее, например цвет, их, по-видимому, следует разместить рядом; если же они сильно отличаются друг от друга, вы постараетесь разместить их так, чтобы между ними было большое расстояние. Выражаясь языком физики, это – сеть с определённой структурой связности. Отношения здесь задаются законами квантовой теории или другими принципами, и на этой основе образу-

ется пространство.

Ещё одна общая для разных теорий тема – фазовые переходы. Пространство, которое складывается из кирпичиков, можно и разобрать. Затем из его кирпичиков можно создать нечто, совсем непохожее на пространство. «Подобно тому, как вещество имеет разные фазовые состояния, такие как лёд, вода и водяной пар, у атомов пространства, благодаря их способности перенастраиваться, тоже есть разные фазы», – утверждает Тхану Падманабхан из Межуниверситетского центра астрономии и астрофизики (Inter-University Center for Astronomy and Astrophysics) в Индии. С этой точки зрения, чёрные дыры могут быть местами исчезновения пространства в ходе фазового перехода. Привычные теории рушатся, и нужна более фундаментальная теория для описания нового фазового состояния атомов пространства. Физика продолжает работать даже там, где исчезает пространство.

Большой интеллектуальный прогресс последних лет, разрушивший старые границы физических теорий, состоит в осознании того, что изучаемые физикой отношения могут быть связаны с квантовой запутанностью. Будучи сверхмощным типом корреляции, который исследуется в рамках квантовой механики, запутанность, по-видимому, первичнее пространства. К примеру, экспериментатор может сделать так, чтобы две частицы полетели в противоположных направлениях. Если эти частицы запутаны, то, каким бы огромным ни было разделяющее их пространство, между

ними сохранится координация.

Обычно в разговорах о «квантовой» гравитации обсуждали квантовую дискретность, квантовые флуктуации, кучу других квантовых эффектов, но только не квантовую запутанность. Ситуация изменилась, когда в эти разговоры вмешались чёрные дыры. Пока существует чёрная дыра, в неё попадают запутанные частицы. Их партнёры, не поглощённые дырой, с её исчезновением остаются запутанными... ни с чем. «Хокинг назвал бы это проблемой запутанности», – говорит Самир Матур из университета штата Огайо (The Ohio State University).

Даже в вакууме, при отсутствии частиц, электромагнитные и другие поля демонстрируют внутреннюю запутанность. Измеряя поле в двух разных местах, вы увидите, что показания вашего прибора колеблются случайным, но скоррелированным образом. И если вы разделите какую-то область на две части, эти части будут коррелировать друг с другом со степенью корреляции, зависящей от единственной общей для них геометрической величины – площади их контакта. В 1995 году Джекобсон заявил, что запутанность обеспечивает связь между наличием вещества и геометрией пространства-времени, а значит, может объяснить закон гравитации. «Чем больше запутанности, тем слабее гравитация, то есть жёстче пространство-время», – утверждает он.

В настоящее время целый ряд концепций квантовой гравитации – и, прежде всего, теория струн – отводит запутан-

ности решающую роль. Теория струн применяет голографический принцип не только к чёрным дырам, но и ко всей Вселенной. При этом получился рецепт создания пространства – по крайней мере, некоторых его видов. Например, структурированные особым образом поля, пронизывая двумерное пространство, генерируют дополнительное измерение. С появлением третьего измерения исходное двумерное пространство превращается в границу более роскошного царства, известного как объёмное пространство. И то, что объединяет объёмное пространство в сопредельное целое, это – запутанность.

Для обоснования данной гипотезы Марк ван Раамсдонк из университета Британской Колумбии (University of British Columbia) в 2009 году провёл элегантно доказательство. Предположим, что поля на границе не запутаны. Образуя пару некоррелирующих систем, они соответствуют двум автономным Вселенным. Путешествовать из одной в другую невозможно. Когда системы запутываются, между автономными Вселенными возникает нечто похожее на туннель или лаз, благодаря чему космический корабль получает возможность пролететь из одной Вселенной в другую. С усилением запутанности туннель всё короче и короче, Вселенные всё ближе и ближе друг к другу, и, наконец, их сближение достигает такой фазы, на которой говорить о них как о двух Вселенных уже бессмысленно. «Появление большого пространства-времени напрямую связано с запутыванием сте-

пеней свободы, имеющих у полей», – считает Ван Раамсдонк. Наблюдаемые нами корреляции в электромагнитных и других полях являются остатком запутанности, обеспечивающей единство пространства.

По-видимому, запутанность определяет не только сопредельность пространства, но и многие другие его свойства. Ван Раамсдонк и Брайан Свингл, ныне работающий в Мэрилендском университете в Колледж-Парке, объясняют универсальный характер гравитации – то, что она затрагивает все объекты и не поддаётся экранированию, – вездесущностью запутанности. Что касается чёрных дыр, то Леонард Сасскинд из Стэнфордского университета (Stanford University) и Хуан Мальдацена из института перспективных исследований (Institute for Advanced Study) в Принстоне, штат Нью-Джерси, считают, что запутанность между чёрной дырой и её излучением создаёт лаз – чёрный вход в дыру. Возможно, это поможет физике чёрных дыр решить проблему сохранения информации и обратимости.

Данные идеи теории струн работают только в рамках конкретных геометрий и реконструируют только одно измерение пространства. Некоторые исследователи попытались объяснить, как всё пространство может возникнуть с чистого листа. К примеру, Чуньцзюнь Цао, Спиридон Михалакис и Шон М. Кэрролл, все из Калифорнийского технологического института (California Institute of Technology), начинают с минималистского квантового описания системы, введён-

ной без прямой ссылки на пространство-время и даже на материю. Если система имеет правильную структуру корреляций, её можно расщепить на составные части, которые могут быть идентифицированы как разные области пространства-времени. В этой модели степень запутанности определяет понятие пространственного расстояния.

Не только в физике, но и в других естественных науках пространство и время – основа всех теорий. Однако мы не можем наблюдать пространство-время непосредственно. Мы выводим его существование из нашего повседневного опыта. Мы предполагаем, что некий механизм, действующий в пространстве-времени, – это наиболее экономичное объяснение наблюдаемых нами явлений. Но главный урок, который следует извлечь из теории квантовой гравитации, состоит в следующем: не все явления аккуратно вписываются в пространство-время. Физикам нужно найти какой-то новый фундамент, и, найдя его, они смогут завершить революцию, начатую чуть более века назад Альбертом Эйнштейном.

ВСЕЛЕННАЯ РАСШИРЯЕТСЯ

ГЛАВА 6

Я думаю многие слышали о том, что Вселенная расширяется. У моих читателей возникает множество вопросов свя-

занных с этим. В этой книге я постарался ответить на наиболее типичные из них.

Как работает расширение Вселенной?

Когда мы смотрим на отдаленные объекты, мы можем заметить, что они отдаляются от нас, при этом чем дальше от нас находится объект, тем быстрее он отдаляется. К примеру объекты находящиеся от нас на расстоянии 13.8 миллиардов световых лет (*сфера Хаббла*) отдаляются от нас со скоростью света, а объекты находящиеся еще дальше – отдаляются быстрее скорости света!

Казалось бы происходит нарушение теории относительности, которая запрещает сверхсветовое движение, но на самом деле это не так. Так отдаленные галактики отдаляются от нас не за счет собственного движения, а за счет того, что между нами и ними пространство расширяется настолько быстро, что расстояние увеличивается быстрее скорости света.

Почему отдаленные галактики удаляются быстрее?

Потому, что пространство расширяется везде и повсеместно равномерно во всех точках. К примеру если во Вселенной каждый метр пространства увеличится на 1 сантиметр за 1 секунду, то тогда объекты расположенные на расстоянии 1 километр друг от друга отдалятся за 1 секунду друг от друга на 10 метров. А на расстоянии 100 километров – на 1000 метров. А на расстоянии 1000 километров – на 10 000 метров и так далее – чем больше расстояние между объ-

ектами, тем больше пространства между ними возникает за единицу времени.

Почему все галактики удаляется от нас? Значит ли это, что мы находимся в центре расширения? В центре Вселенной? Нет, не значит. Так как пространство расширяется повсеместно и равномерно то какую бы Галактику вы не выбрали, как точку обзора, из нее все будет выглядеть так, как будто это она находится в центре расширения, но по сути никакого центра расширения просто нет.

На расстоянии примерно 46.5 миллиардов световых лет находится граница наблюдаемой Вселенной. Все что находится за ней мы никогда не сможем увидеть. Просто потому, что фотоны испущенные объектами находящимися за границей наблюдаемой Вселенной никогда не достигнут нас – пространство между ними и нами будет возникать быстрее, чем фотоны будут успевать преодолевать его. Это расстояние еще называют *горизонтом частиц*.

Куда расширяется Вселенная?

Теперь возникает следующий вопрос – куда же расширяется Вселенная? Никуда! Все дело в том, что Вселенная бесконечна и не имеет границ. Более того Вселенная всегда была бесконечна, даже в момент Большого Взрыва. Когда физик или астроном говорит, что в момент Большого Взрыва Вселенная была сжата до микроскопического размера речь идет о размерах наблюдаемой Вселенной, а не всей Вселенной.

Расширение Вселенной таким образом является внутренним процессом, а не внешним. Во Вселенной увеличиваются расстояния между объектами, но сама Вселенная, как была так и остается бесконечной. Вселенной не нужно никакое внешнее пространство в которое она бы расширилась.

Почему случаются столкновения Галактик?

Если мы расширяемся, почему тогда наша Галактика столкнется с Галактикой Андромеда через 4 с небольшим миллиарда лет, да и другие Галактики сталкиваются – тому есть подтверждения? Все просто – чем ближе друг к другу объекты – тем меньше пространства между ними возникает в ходе расширения.

Расстояние между некоторыми близкими Галактиками достаточно мало, чтобы за счет сил гравитационного притяжения они приближались друг к другу быстрее, чем успевает расширяться пространство между ними.

Так что, так и будет расширяться бесконечно?

В целом да, но возможно три допустимых финала: большое схлопывание, большой разрыв и большое замерзание (тепловая смерть Вселенной).

Если верна *теория большого схлопывания*, то в какой-то момент силы гравитации материи остановят расширение Вселенной и начнется ее сжатие обратно в сингулярность. Затем последует новый Большой Взрыв и новое расширение – так Вселенная и существует постоянно то расширяясь, то сжимаясь.

Второй сценарий – большой разрыв состоит в том, что ускоренное расширение Вселенной приведет к тому, что расстояние между элементарными частицами увеличится настолько, что станут невозможными какие-либо виды взаимодействий между ними. Это может случиться примерно через 22 миллиарда лет.

ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ

ГЛАВА 7

Черная дыра – удивительное явление, встречающееся во Вселенной. Оно представляет большой интерес для ученых, однако в процессе его изучения они сталкиваются со многими трудностями. Тем не менее, современные технологии позволяют не только построить теории об устройстве черных дыр, но и проверить их на практике.

Что такое черная дыра?

Это может показаться странным, но черные дыры являются самыми простыми объектами во Вселенной в плане характеристик. У них есть лишь два параметра: скорость вращения и масса. В астрофизике считается, что они являются финальным этапом эволюции звезд. Когда жизненный цикл светила подходит к концу, оно взрывается, а его центр превращается в черную дыру. Поверхность новообразованного небесного тела называется горизонтом событий. Но нужно понимать, что у черной дыры отсутствует физическая оболочка. Под данным термином подразумевается лишь пространство на определенном расстоянии от центра, где закан-

чивается действие силы притяжения. Когда объект или свет пересекает горизонт событий, он уже не может выбраться из черной дыры, поскольку оказывается в сильном гравитационном поле

Интересный факт: чтобы покинуть черную дыру, объект должен двигаться навстречу времени, т.е. перемещаться в прошлое, что в принципе невозможно.

Почему черные дыры так называются?

Изначально данные космические объекты назывались коллапсарами. Однако в XX веке журналисты научных изданий начали использовать словосочетание “черная дыра”. Оно так сильно понравилось физику Джону Уиллеру, что он вывел его на уровень официального обозначения. Черные дыры получили такое название, поскольку полностью поглощают свет, из-за чего их нельзя увидеть. Разглядеть объект можно лишь в том случае, если вокруг горизонта событий находится оболочка из определенного вещества, например, газа. Также черная дыра хорошо заметна, если она впитывает вещество и энергию из расположенной рядом звезды. В противном случае обнаружить ее не удастся, поскольку она будет невидима для человеческого глаза и приборов.

Хоть данные объекты и поглощают свет полностью, никак его не отражая, есть гипотеза, что они могут обладать излучением. Во время своего существования черная дыра способна испускать в пространство разные простейшие части-

цы, большую часть которых составляют фотоны. С физической точки зрения этот процесс напоминает постепенное испарение. На данный момент это явление не доказано, и существует лишь гипотетическая модель. Ученые называют его излучением Хокинга. Видимыми черные дыры становятся, когда сталкиваются друг с другом. От них в пространство начинают исходить заметные гравитационные волны.

Как появляются черные дыры?

Появление черных дыр напрямую зависит от их массы. По этому параметру они разделяются на две категории: околосолнечные – их вес равен нескольким Солнцам, и массивные – у них данный параметр в миллионы раз больше.

Интересный факт: размеры черной дыры пропорциональны ее массе. Чем она больше весит, тем шире горизонт событий.

Исследования показывают, что околосолнечные черные дыры имеют большой возраст и скорее всего появились на ранних этапах формирования Вселенной. Они образовались в результате сжатия звезд, размеры которых в 25-70 раз превышают габариты Солнца. Когда светило прекращало уменьшаться, оно взрывалось, а его центр превращался в черную дыру. Массивные объекты в большинстве случаев образуются из гигантских газовых облаков. Массы последних как раз хватает, чтобы сформировалась черная дыра больших размеров, которая весит в миллионы раз больше Солнца. На территории Млечного Пути существует одна из таких под

названием Стрелец А*. Она находится в 26 тысячах световых лет от Солнечной системы. Эта черная дыра появилась примерно в то же время, что и галактика, и располагается в ее центре. Основным материалом для нее послужило газовое облако, которое сжалось до малых размеров. Также есть версия, что черная дыра в Млечном Пути появилась после взрыва звезды гигантских размеров.

На протяжении своего существования оба вида объектов притягивают из пространства вещества, которые пересекают их горизонт событий. Из-за этого габариты черной дыры постепенно увеличиваются. Более того, если поглощение происходит лишь с одной стороны, она начинает вращаться в определенную сторону.

Какой формы черная дыра?

Все черные дыры вращаются вокруг своей оси. И от скорости напрямую зависит их внешний вид. Если движение происходит медленно, то форма объекта будет сферической. Но когда черная дыра вращается с большой скоростью, ее полюса сплющиваются, из-за чего она становится овальной.

Все черные дыры вращаются вокруг своей оси. И от скорости напрямую зависит их внешний вид. Если движение происходит медленно, то форма объекта будет сферической. Но когда черная дыра вращается с большой скоростью, ее полюса сплющиваются, из-за чего она становится овальной.

На данный момент современных технологий хватает на то, чтобы определить форму объекта. Но ученым до сих пор

не удастся узнать, что находится в центре черной дыры. Известно, что там не действуют физические законы, а кривизна пространства стремится к бесконечности. Пока самым распространенным мнением считается, что внутри черной дыры находится сингулярность.

Учёные считают, что самые маленькие чёрные дыры, размером всего в один атом, могли возникнуть в первые мгновения существования Вселенной. Подобные условия создают на большом адронном коллайдере, и у общественности возникают опасения, что это может привести к возникновению чёрной дыры. Другой вид чёрных дыр называется «звёздным». Их масса может быть в 20 раз больше массы Солнца. В нашей галактике возможно существование множества чёрных дыр звёздной массы. Первое реальное фото тени чёрной дыры, полученное напрямую в радиодиапазоне. Самые большие чёрные дыры называются «сверхмассивными». Они имеют массы, которые составляют более 1 миллиона Солнц. Ученые нашли доказательства того, что каждая большая галактика содержит сверхмассивную черную дыру в своем центре. Такой объект в центре галактики Млечный Путь называется Стрелец А. Она имеет массу, равную примерно 4 миллионам Солнц. Как образуются чёрные дыры? Такие большие объекты, как звёзды, обладают большой гравитацией. Вся материя звезды всегда притягивается к центру, но термоядерные реакции не позволяют ей схлопнуться. То есть с одной стороны работает притяжение, а с другой дав-

ление, которое удерживает форму звезды. Самой популярной считается теория, что чёрная дыра – это конечная стадия жизни звезды с очень большой массой, превышающей как минимум массу 20 Солнц. Когда внутри такой звезды прекращаются термоядерные реакции (заканчивается топливо), то под действием своей огромной гравитации она ускоренно сжимается в нейтронную звезду. В зависимости от своей начальной массы, она может остаться сверхплотной нейтронной звездой либо продолжить сжиматься с такой силой, что даже свет не сможет покинуть её пределы – это и будет чёрная дыра. Существует и другой сценарий, когда все те же процессы происходят с межзвёздным газом, находящимся на стадии превращения в галактику или какое-то скопление. Если внутреннее давление не может компенсировать гравитацию, то вся материя начинает сжиматься, что приводит к образованию чёрной дыры. Как учёные узнают о чёрных дырах? Чёрная дыра не излучает и не отражает свет подобно большинству других объектов во Вселенной. Но ученые могут фиксировать, как сильная гравитация влияет на звёзды и газ вокруг чёрной дыры. По поведению объектов, рядом с которыми есть чёрная дыра, собственно можно доказать её наличие. Звёзды вращаются вокруг центра гравитации. Если в этом месте ничего нет, значит есть вероятность, что это чёрная дыра. Из окружающего пространства чёрная дыра постоянно притягивает материю. Космическая пыль, газ, вещество ближайших звезд – всё это падает на неё по спирали,

образуя аккреционный диск. Испытывая ускорение, частицы порождают излучение в характерном спектре. В области, откуда это излучение пришло, наверняка есть чёрная дыра. Модель пространства вокруг чёрной дыры. Может ли чёрная дыра уничтожить Землю? Чёрные дыры не передвигаются по космосу, поглощая звёзды, луны и планеты. Земля не упадет в чёрную дыру, потому что ни одна из них не находится достаточно близко к Солнечной системе.

Вас также может заинтересовать, что будет, если Земля перестанет вращаться? Даже если бы в центре нашей системы образовалась чёрная дыра той же массы, что Солнце, Землю всё равно бы не затянуло туда. Чёрная дыра будет иметь ту же гравитацию, что и Солнце. Земля и другие планеты будут вращаться вокруг неё, как они вращаются вокруг Солнца. В Солнечной системе мало что изменится, не считая неприятностей на Земле... В любом случае Солнце не такая большая звезда, чтобы когда-то превратиться в чёрную дыру.

РОЖДЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ

ГЛАВА 8

Космология, строение Вселенной, прошлое, настоящее и будущее нашего мира – эти вопросы всегда занимали лучшие умы человечества. Для развития космологии, да и науки в целом, крайне важно понимание Вселенной как единого целого. Особую роль играют экспериментальная проверка абстрактных построений, подтверждение их наблюдательными данными, осмысление и сопоставление результатов исследований, адекватная оценка тех или иных теорий. Сейчас мы находимся на середине пути, который ведет от решения уравнений Эйнштейна к познанию тайны рождения и жизни Вселенной.

Очередной шаг на этом пути сделал создатель теории хаотической инфляции, воспитанник Московского государственного университета, ныне профессор Стэнфордского университета Андрей Дмитриевич Линде, внесший существенный вклад в понимание самой ранней стадии развития Вселенной. Многие годы он проработал в одном из ведущих академических российских институтов – Физическом институте им. Лебедева Академии наук (ФИАН), занимался следствиями современных теорий элементарных частиц, работая

вместе с профессором Давидом Абрамовичем Киржницем.

В 1972 г. Киржниц и Линде пришли к выводу, что в ранней Вселенной происходили своеобразные фазовые переходы, когда различия между разными типами взаимодействий вдруг исчезали: сильные и электрослабые взаимодействия сливались в одну единую силу. (Единая теория слабого и электромагнитного взаимодействий, осуществляемых кварками и лептонами посредством обмена безмассовыми фотонами (электромагнитное взаимодействие) и тяжелыми промежуточными векторными бозонами (слабое взаимодействие), создана в конце 1960-х гг. Стивеном Вайнбергом, Шелдоном Глэшоу и Абдусом Саламом.) В дальнейшем Линде сосредоточился на изучении процессов на еще более ранних стадиях развития Вселенной, в первые 10^{-30} с после ее рождения. Раньше казалось маловероятным, что до нас может дойти эхо событий, происходивших в первые миллисекунды рождения Вселенной. Однако в последние годы современные методы астрономических наблюдений позволили заглянуть в далекое прошлое.

Рассматривая теорию Большого взрыва, исследователи сталкивались с проблемами, ранее воспринимавшимися как метафизические. Однако вопросы неизменно возникали и требовали ответов.

Что было тогда, когда ничего не было? Если Вселенная родилась из сингулярности, значит, когда-то ее не существовало. В «Теоретической физике» Ландау и Лифшица сказа-

но, что решение уравнений Эйнштейна нельзя продолжить в область отрицательного времени, и потому в рамках общей теории относительности вопрос «Что было до рождения Вселенной?» не имеет смысла. Однако вопрос этот продолжает волновать всех нас.

Пересекаются ли параллельные линии? В школе нам говорили, что нет. Однако когда речь заходит о космологии, ответ не столь однозначен. Например, в замкнутой Вселенной, похожей на поверхность сферы, линии, которые были параллельными на экваторе, пересекаются на северном и южном полюсах. Так прав ли Евклид? Почему Вселенная кажется плоской? Была ли она такой с самого начала? Чтобы ответить на эти вопросы, необходимо установить, что представляла собой Вселенная на самом раннем этапе развития.

Почему Вселенная однородна? На самом деле это не совсем так. Существуют галактики, звезды и иные неоднородности. Если посмотреть на ту часть Вселенной, которая находится в пределах видимости современных телескопов, и проанализировать среднюю плотность распределения вещества в космических масштабах, окажется, что она одинакова во всех направлениях с точностью до 10^{-5} . Почему же Вселенная однородна? Почему в разных частях Вселенной действуют одни и те же законы физики? Почему Вселенная такая большая? Откуда взялась энергия нужная для ее возникновения?

Сомнения возникали всегда, и чем больше ученые узна-

вали о строении и истории существования нашего мира, тем больше вопросов оставалось без ответов. Однако люди старались о них не думать, воспринимая большую однородную Вселенную и непересекающиеся параллельные линии как данность, не подлежащую обсуждению. Последней каплей, заставившей физиков пересмотреть отношение к теории ранней Вселенной, явилась проблема реликтовых монополей.

Существование магнитных монополей было предложено в 1931 г. английским физиком-теоретиком Полем Дираком. Если такие частицы действительно существует, то их магнитный заряд должен быть кратен некоторой заданной величине, которая, в свою очередь, определяется фундаментальной величиной электрического заряда. Почти на полвека эта тема была практически забыта, но в 1975 г. было сделано сенсационное заявление о том, что магнитный монополь обнаружен в космических лучах. Информация не подтвердилась, но сообщение вновь пробудило интерес к проблеме и способствовало разработке новой концепции.

Согласно новому классу теорий элементарных частиц, возникшему в 70-е гг., монополи могли появиться в ранней Вселенной в результате фазовых переходов предсказанных Киржницем и Линде. Масса каждого монополя в миллион миллиардов раз больше массы протона. В 1978–1979 гг. Зельдович, Хлопов и Прескилл обнаружили, что таких монополей рождалось довольно много, так что сейчас на каж-

дый протон приходилось бы по монополю, а значит, Вселенная была бы очень тяжелой и должна была быстро сколлапсировать под своим собственным весом. Тот факт, что мы до сих пор существуем, опровергает такую возможность.

Ответ на большую часть перечисленных вопросов удалось получить только после возникновения инфляционной теории.

Инфляционная теория имеет долгую историю. Первую теорию такого типа предложил в 1979 году член-корреспондент РАН Алексей Александрович Старобинский. Его теория была довольно сложной. В отличие от последующих работ, она не пытались объяснить, почему Вселенная большая, плоская, однородная, изотропная. Тем не менее, она имела многие важные черты инфляционной космологии.

В 1980 г. сотрудник Массачусетского технологического института Алан Гус в статье «Раздувающаяся Вселенная: возможное решение проблемы горизонта и плоскостности» изложил интересный сценарий раздувающейся Вселенной. Основным его отличием от традиционной теории Большого взрыва стало описание рождения мироздания в период с 10^{-35} до 10^{-32} с. Гус предположил, что в это время Вселенная была в состоянии так называемого «ложного» вакуума, при котором ее плотность энергии была исключительно велика. Поэтому расширение происходило быстрее, чем по теории Большого Взрыва. Эта стадия экспоненциально быстрого расширения и была названа инфляцией (раздуванием)

Вселенной. Затем ложный вакуум распался, и его энергия переходила в энергию обычной материи.

Теория Гуса была основана на теории фазовых переходов в ранней Вселенной развитой Киржницем и Линде. В отличие от Старобинского, Гус ставил своей целью с помощью одного простого принципа объяснить, почему Вселенная большая, плоская, однородная, изотропная, а также почему монополей нет. Стадия инфляции могла бы решить эти проблемы.

К сожалению, после распада ложного вакуума в модели Гуса Вселенная оказывалась либо очень неоднородной, либо пустой. Дело в том, что распад ложного вакуума, как кипение воды в чайнике, происходил за счет образования пузырьков новой фазы. Для того чтобы выделяемая при этом энергия перешла в тепловую энергию Вселенной, необходимо было столкновение стенок огромных пузырей, а это должно было бы приводить к нарушению однородности и изотропности Вселенной после инфляции, что противоречит поставленной задаче.

Несмотря на то, что модель Гуса не работала, она стимулировала разработку новых сценариев раздувающейся Вселенной.

В середине 1981 г. Линде предложил первый вариант нового сценария раздувающейся Вселенной, основывающийся на более детальном анализе фазовых переходов в моде-

ли Великого объединения. Он пришел к выводу, что в некоторых теориях экспоненциальное расширение не заканчивается сразу после образования пузырьков, так что инфляция может идти не только до фазового перехода с образованием пузырьков, но и после, уже внутри них. В рамках этого сценария наблюдаемая часть Вселенной считается содержащейся внутри одного пузырька.

В новом сценарии Линде показал, что разогрев после раздувания происходит за счет рождения частиц во время колебаний скалярного поля. Таким образом, соударения стенок пузырьков, порождающих неоднородности, стали не нужны, и тем самым была решена проблема крупномасштабной однородности и изотропности Вселенной.

Новый сценарий содержал два ключевых момента: во-первых, свойства физического состояния внутри пузырьков должен меняться медленно, чтобы обеспечивалось раздувание внутри пузырька; во-вторых, на более поздних стадиях должны происходить процессы, обеспечивающие разогрев Вселенной после фазового перехода. Спустя год исследователь пересмотрел свой подход, предложенный в новой инфляционной теории, и пришел к выводу, что фазовые переходы вообще не нужны, равно как переохлаждение и ложный вакуум, с которого начинал Алан Гус. Это был эмоциональный шок, т. к. предстояло отказаться от считавшихся истинными представлений о горячей Вселенной, фазовых переходах и переохлаждении. Необходимо было найти новый спо-

соб решения проблемы. Тогда была выдвинута теория хаотической инфляции.

Идея, лежащая в основе теории хаотической инфляции Линде, очень проста, но для того чтобы ее объяснить, нужно ввести понятие скалярного поля. Существуют направленные поля – электромагнитное, электрическое, магнитное, гравитационное, но может быть по крайней мере еще одно – скалярное, которое никуда не направлено, а представляет собой просто функцию координат.

Самым близким (хотя и не точным) аналогом скалярного поля является электростатический потенциал. Напряжение в электрических сетях США – 110 В, а в России – 220 В. Если бы человек одной рукой держался за американский провод, а другой – за российский, его бы убила разница потенциалов. Если бы напряжение везде было одинаковым, не было бы разницы потенциалов и ток бы не тек. Так вот в постоянном скалярном поле разницы потенциалов нет. Поэтому мы не можем увидеть постоянное скалярное поле: оно выглядит как вакуум, который в некоторых случаях может обладать большой плотностью энергии.

Считается, что без полей такого типа очень трудно создать реалистичную теорию элементарных частиц. В последние годы были обнаружены практически все частицы, предсказанные теорией электрослабых взаимодействий, кроме скалярной. Поиск таких частиц – одна из основных целей огромного ускорителя. Скалярное поле присутствовало практиче-

ски во всех инфляционных сценариях. Гус предложил использовать потенциал с несколькими глубокими минимумами. Новой инфляционной теории Линде требовался потенциал с почти плоской вершиной, но позже, в сценарии хаотической инфляции, оказалось, что достаточно взять обычную параболу, и все срабатывает.

Рассмотрим простейшее скалярное поле, плотность потенциальной энергии которого пропорциональна квадрату его величины, подобно тому как энергия маятника пропорциональна квадрату его отклонения от положения равновесия:

$$V(\phi) = m^2 \phi^2 / 2$$

Маленькое поле ничего не будет знать про Вселенную и станет колебаться вблизи своего минимума. Однако если поле будет достаточно велико, то оно будет скатываться вниз очень медленно, разгоняя Вселенную за счет своей энергии. В свою очередь, скорость движения Вселенной (а не какие-либо частицы) будет затормаживать падение скалярного поля.

Таким образом, большое скалярное поле приводит к большой скорости расширения Вселенной. Большая скорость

расширения Вселенной мешает полю спадать и тем самым не дает плотности потенциальной энергии уменьшаться. А большая плотность энергии продолжает разгонять Вселенную со все большей скоростью. Этот самоподдерживающийся режим и приводит к инфляции, экспоненциально быстрому раздуванию Вселенной.

Чтобы объяснить этот удивительный эффект, необходимо совместно решить уравнение Эйнштейна для масштабного фактора Вселенной:

$$H = \frac{\dot{a}}{a} = \sqrt{\frac{2\pi G}{3}} m\phi$$

и уравнение движения для скалярного поля:

$$\ddot{\phi} + 3H\dot{\phi} = -m^2\phi$$

Здесь H – так называемая постоянная Хаббла, пропорциональная плотности энергии скалярного поля массы m (эта

постоянная на самом деле зависит от времени); G – гравитационная постоянная.

Исследователи уже рассматривали, как скалярное поле будет вести себя в окрестностях черной дыры и во время коллапса Вселенной. Но почему-то режим экспоненциального расширения не был найден. А следовало лишь написать полное уравнение для скалярного поля, которое в стандартном варианте (то есть без учета расширения Вселенной) выглядело как уравнение для маятника:

$$\ddot{\phi} = -m^2 \phi$$

Но вмешался некоторый дополнительный член – сила трения, который был связан с геометрией; его сначала никто не учитывал. Он представляет собой произведение постоянной Хаббла на скорость движения поля:

$$3H\dot{\phi}$$

Когда постоянная Хаббла была большой, трение тоже бы-

ло велико, и скалярное поле уменьшалось очень медленно. Поэтому и постоянная Хаббла, являющаяся функцией скалярного поля, долгое время почти не менялась. Решение уравнения Эйнштейна с медленно меняющейся постоянной Хаббла описывает экспоненциально быстро расширяющуюся Вселенную.

$$a(t) \sim e^{Ht}$$

Эта стадия экспоненциально быстрого расширения Вселенной и называется инфляцией.

Чем отличается этот режим от обычного расширения Вселенной заполненной обычным веществом? Предположим, что Вселенная, заполненная пылью, расширилась в 2 раза. Тогда ее объем вырос в 8 раз. Значит, в 1 см^3 стало в 8 раз меньше пыли. Если решить уравнение Эйнштейна для такой Вселенной, то окажется, что после Большого взрыва плотность вещества быстро падала, а скорость расширения Вселенной быстро уменьшалась.

То же самое было бы и со скалярным полем. Но пока поле оставалось очень большим, оно само себя поддерживало, как барон Мюнхгаузен, вытаскивающий себя из болота за косичку. Это было возможным за счет силы трения, которая была

существенна при больших значениях поля. В соответствии с теориями нового типа Вселенная быстро расширялась, а поле почти не менялось; соответственно, не менялась и плотность энергии. Значит, расширение шло экспоненциально.

Постепенно поле уменьшилось, постоянная Хаббла тоже уменьшилась, трение стало маленьким, и поле начало колебаться, порождая элементарные частицы. Эти частицы сталкивались, обменивались энергией и постепенно пришли в состояние термодинамического равновесия. В результате Вселенная стала горячей.

Раньше считалось, что Вселенная была горячей с самого начала. К этому выводу приходили, изучая микроволновое излучение, которое интерпретировали как следствие Большого взрыва и последующего остывания. Затем стали думать, что сначала Вселенная была горячей, потом произошла инфляция, и после нее Вселенная вновь стала горячей. Однако, в теории хаотической инфляции первая горячая стадия оказалась ненужной. Но зачем нам понадобилась стадия инфляции, если в конце этой стадии Вселенная все равно стала горячей, как и в старой теории Большого взрыва?

Есть три простейшие модели Вселенной: плоская, открытая и замкнутая. Плоская Вселенная похожа на поверхность ровного стола; параллельные линии в такой Вселенной всегда остаются параллельными. Открытая Вселенная похожа на поверхность гиперболоида, а замкнутая Вселенная похожа на поверхность шара. Параллельные линии в такой Все-

ленной пересекаются на ее северном и южном полюсах.

Предположим, что мы живем в замкнутой Вселенной, которая сначала была маленькой как шарик. По теории Большого взрыва, она выростала до порядочных размеров, но все равно оставалась относительно небольшой. А согласно инфляционной теории, крошечный шарик в результате экспоненциального взрыва за очень короткое время стал огромным. Находясь на нем, наблюдатель увидел бы плоскую поверхность.

Представим себе Гималаи, где существует множество различных уступов, расщелин, пропастей, ложбин, каменных глыб, т. е. неоднородностей. Но вдруг кто-то или что-то совершенно невероятным образом увеличил горы до гигантских размеров, или мы уменьшились, как Алиса в Стране чудес. Тогда, находясь на вершине Эвереста, мы увидим, что она совершенно плоская – ее как бы растянули, и неоднородности перестали иметь какое-либо значение. Горы остались, но для того чтобы подняться хотя бы на один метр, нужно уйти невероятно далеко. Таким образом, может быть решена проблема однородности. Этим же объясняется, почему Вселенная плоская, почему параллельные линии не пересекаются и почему не существуют монополи. Параллельные линии могут пересекаться, и монополи могут существовать, но только так далеко от нас, что мы не можем этого увидеть.

Маленькая Вселенная стала колоссальной, и все стало однородным. Но как же быть с галактиками? Оказалось, что

в ходе экспоненциального расширения Вселенной маленькие квантовые флуктуации, существующие всегда, даже в пустом пространстве, из-за квантово-механического принципа неопределенности, растягивались до колоссальных размеров и превращались в галактики. Согласно инфляционной теории, галактики – это результат усиления квантовых флуктуаций, т. е. усиленный и замерзший квантовый шум.

Квантовые флуктуации приводили не только к рождению галактик, но и к возникновению анизотропии реликтового излучения с температурой примерно 2,7 К, приходящего к нам из дальних областей Вселенной.

Исследовать реликтовое излучение ученым помогают современные искусственные спутники Земли. Самые ценные данные удалось получить с помощью космического зонда WMAP (*Wilkinson Microwave Anisotropy Probe*), названного так в честь астрофизика Дэвида Уилкинсона (*David Wilkinson*). Разрешающая способность его аппаратуры в 30 раз больше, чем у его предшественника – космического аппарата COBE.

Ранее считалось, что температура неба всюду равна 2,7 К, однако WMAP смог измерить ее с точностью до 10^{-5} К с высокой угловой разрешающей способностью. Согласно данным, полученным за первые 3 года наблюдений, небо оказалось неоднородным: где-то горячее, а где-то холоднее. Простейшие модели инфляционной теории предсказали рябь на небе. Но пока телескопы не зафиксировали его пятни-

стость, наблюдалось только трехградусное излучение, служившее мощнейшим подтверждением теории горячей Вселенной. Теперь же выяснилось, что теории горячей Вселенной не хватает.

Представим, что Вселенная быстро расширяется, а в каком-то месте скалярное поле, вместо того чтобы катиться к минимуму энергии, из-за квантовых флуктуаций подскакивает вверх (см. выше). В том месте, где поле подскочило, Вселенная расширяется экспоненциально быстрее. Низкорасположенное поле вряд ли подскочит, но чем выше оно будет находиться, тем больше вероятность такого развития событий, а значит, и экспоненциально большего объема новой области. В каждой из таких ровных областей поле тоже может подскочить наверх, что приводит к созданию новых экспоненциально растущих частей Вселенной. В результате этого, вместо того чтобы быть похожей на один огромный растущий шар, наш мир становится похожим на вечно растущее дерево, состоящее из многих таких шаров.

Инфляционная теория дает нам единственное известное сейчас объяснение однородности наблюдаемой части Вселенной. Парадоксальным образом эта же теория предсказывает, что в предельно больших масштабах наша Вселенная абсолютно неоднородна и выглядит как огромный фрактал.

Свойства пространства-времени и законы взаимодействия элементарных частиц друг с другом в разных областях Вселенной могут быть различны, равно как и размерности

пространства, и типы вакуума.

Этот факт заслуживает более детального объяснения. Согласно простейшей теории с одним минимумом потенциальной энергии, скалярное поле катится вниз к этому минимуму. Однако более реалистические версии допускают множество минимумов с разной физикой, что напоминает воду, которая может находиться в разных состояниях: жидком, газообразном и твердом. Разные части Вселенной также могут пребывать в разных фазовых состояниях; это возможно в инфляционной теории даже без учета квантовых флуктуаций.

Следующим шагом, основанным на изучении квантовых флуктуаций, является теория самовосстанавливающейся Вселенной. В этой теории учитывается процесс постоянного воссоздания раздувающихся областей и квантовые скачки из одного вакуумного состояния в другое, перебирающие разные возможности и размерности.

Так Вселенная становится вечной, бесконечной и многообразной. Вся Вселенная никогда не сколлапсирует. Однако это не означает, что отсутствуют сингулярности. Напротив, значительная часть физического объема Вселенной все время находится в состоянии, близком к сингулярному. Но так как различные объемы проходят его в разное время, единого конца пространства-времени, после которого все области исчезают, не существует. И тогда вопрос о множественности миров во времени и в пространстве приобретает совершенно другое звучание: Вселенная может самовоспроизводить-

ся бесконечно во всех своих возможных состояниях.

Это утверждение, в основе которого лежали работы Линде сделанные им в 1986 году, приобрело новое звучание несколько лет назад, когда специалисты по теории струн (лидирующий кандидат на роль теории всех фундаментальных взаимодействий) пришли к выводу что в этой теории возможно 10^{100} – 10^{1000} различных вакуумных состояний. Эти состояния отличаются за счет необычайного разнообразия возможного устройства мира на сверхмалых расстояниях.

В совокупности с теорией самовосстанавливающейся инфляционной Вселенной, это означает, что Вселенная во время инфляции разбивается на бесконечно много частей с невероятно большим количеством разных свойств. Космологи называют этот сценарий теорией вечной инфляционной мультивселенной (*multiverse*), а специалисты по теории струн называют это струнным ландшафтом.

25 лет назад инфляционная космология выглядела как нечто промежуточное между физической теорией и научной фантастикой. За прошедшее время многие предсказания этой теории были проверены, и она постепенно приобрела черты стандартной космологической парадигмы. Но успокаиваться еще рано. Эта теория и сейчас продолжает быстро развиваться и меняться. Основная проблема – разработка моделей инфляционной космологии основанных на реалистических вариантах теории элементарных частиц и теории струн. Этот вопрос может быть темой отдельного доклада.

КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

ГЛАВА 9

Квантовая физика является молодой наукой, что не мешает появлению в ней фантастических гипотез. Перспективы квантовой физики способны поразить любое сознание. Вот лишь несколько примеров: появление квантовой криптографии, основанной на передаче информации отдельными фотонами, и развитие квантового компьютера, который использует квантовую суперпозицию и квантовую запутанность для работы с информацией.

Квантовая гипотеза Планка

$$e = nh,$$

где e – энергия излучения, n – частота излучения, h – постоянная Планка.

Это предположение показывало, что законы классической физики неприменимы к микромиру.

В 1925 году Вернер Гейзенберг сформулировал теорию квантовой механики.

Квантовая механика —раздел квантовой физики, описывающий свойства и строение субатомных частиц и их систем.

Метод Гейзенберга требовал работы с матрицами (математическая таблица, представляющая набор упорядоченных

чисел). Отсюда название – матричная механика. Теория объясняла, как происходят квантовые скачки.

Квантовый скачок – переход квантовой системы (в частности атома) с одного энергетического уровня на другой.

Подход Гейзенберга включал два компонента:

Полный набор частот, на которых излучает атом вследствие квантового скачка;

Вероятности, в соответствии с которыми происходят скачки;

Замысел матричной механики заключался в том, что физические величины, характеризующие частицу, описываются матрицами, изменяющимися во времени.

Если вы любите загадочные словосочетания, то на первом месте среди них наверняка стоит «квантовая физика». Для многих это что-то сродни магии, которая появляется из ниоткуда и уходит в никуда. Вот только на деле все сложнее, но мы постараемся объяснить это простым языком.

Квантовая физика – часть физики, изучающая поведение субатомных частиц на мельчайших расстояниях, где проявляются загадочные квантовые эффекты и перестает работать общая теория относительности. Квантовая физика, несмотря на свою сложность и порой нелогичность, все же считается самым точным и проверенным звеном науки.

Множество предсказанных квантовой механикой явлений

были обнаружены экспериментально и взяты на вооружение: квантовое туннелирование, квантовая запутанность, принцип неопределенности и многое другое «Квантовая физика настолько сложная, что ее никто не понимает», – писал нобелевский лауреат Ричард Фейнман. И это не удивительно, так как даже Альберт Эйнштейн относился к ней настороженно, называя феномен квантовой запутанности «сверхъестественным» и «жутким». В вероятностной природе квантовой механики сомневался ирландский физик-теоретик Джон Белл и другие основоположники этой теории. Но несмотря на споры и разногласия, таинственный мир элементарных частиц стал драйвером современной цивилизации: интернет, компьютеры, смартфоны, лазеры, оптоволоконные сети и атомная энергетика существуют благодаря науке о квантах. Только представьте к чему могут привести дальнейшие открытия, которых с каждым годом становится все больше. Так, в 2022 году лауреатами Нобелевской премии по физике стали сразу трое ученых, которые независимо друг от друга проводили эксперименты с запутанными фотонами, сенсорными технологиями и безопасной передаче информации. К слову, не обошлось без квантовой телепортации, но обо всем по-порядку.

В 2022 году лауреатами Нобелевской премии по физике стали Ален Аспе, Джон Клаузер и Антон Цайлингер. Трое физиков удостоились награды за эксперименты по квантовой запутанности, в основе которых лежат труды таких выда-

ющихся ученых как Нильс Бор, Альберт Эйнштейн и Джон Белл – все они хотели понять природу странного поведения элементарных частиц, способных находиться далеко друг от друга сохраняя между собой связь.

Как отмечают представители Шведской королевской академии наук, в будущем работы Аспе, Клаузера и Цайлинге-ра сыграют важную роль в области квантовых вычислений и безопасной передачи данных, открывая новую главу в истории квантовой механики. Интересно, что исследователи работали независимо друг от друга пытаясь объяснить «жуткий» феномен запутанных элементарных частиц.

ТЕОРИЯ ЗАМЕДЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ

ГЛАВА 10

Прочитал любопытную и забавную «теорию» замедления времени в повседневной жизни. Её автор провел аналогию с известным «парадоксом близнецов» Специальной теории относительности (СТО).

Это не только забавно, но и поучительно. Читайте и делайте выводы сами...

Время, похоже, летит, когда мы говорим с привлекательными для нас людьми или когда мы делаем то, что нам нравится. И оно замедляется, когда мы делаем что-то, что нам кажется скучным.

Возможно, это нечто большее, чем кажется на первый взгляд.

Оказывается, наш повседневный опыт времени согласуется с исследованиями Эйнштейна и его Теорией Относительности.

В частности, он согласуется с явлением, называемым Замедление времени (*Time Dilation*).

Time Dilation

Если вы видели фильм «Интерстеллар» (*Interstellar*), там есть эпизод, в котором три астронавта находятся на большом космическом корабле. Двое из них садятся на меньший десантный корабль, чтобы спуститься на планету с очень сильным гравитационным полем.

Они остаются на поверхности этой планеты в течение всего нескольких минут. В течение этого времени они сталкиваются с огромными волнами и, едва уцелев, возвращаются на своем десантном аппарате на большой космический корабль, который ждет их на орбите. Вернувшись, они обнаруживают, что третий астронавт ждал их уже много лет.

Все астронавты находились в обычном течении времени, но в разных условиях. Астронавт, который подвергнулся меньшей гравитационной силе в более крупном космическом корабле, прожил несколько лет, а те, кто посетил гравитационную планету – несколько минут.

Умопомрачительно! Не так ли?

Почему это происходит?

Для людей, которые подвержены различной силе гравитации, время течет с разной скоростью, хотя, по их собственному опыту, время, похоже, проходит с нормальной скоростью.

Но не только гравитация может вызвать замедление времени. Скорость также может сделать это.

Например, если один из близнецов останется на Земле, а другой какое-то время будет путешествовать на космическом корабле, движущемся с большой скоростью, то по возвращению обнаружится, что оставшийся на Земле брат-близнец прожил больше времени, чем космический путешественник.

Это называется «парадоксом близнецов».

Так что же такое замедление времени?

Согласно теории относительности Эйнштейна, замедление времени (Time Dilation) происходит, если вы попадаете в условия большой гравитации или движетесь на большой скорости, то по возвращению на Землю вы будете относительно моложе, чем тот человек, который там остался.

Когда британский астронавт Тим Пик (*Tim Peake*) отправился на Международную космическую станцию (МКС), на которой находился в течение 6 месяцев, то он испытал замедление времени следующими способами:

Он был в состоянии меньшей гравитации (сила тяжести сильнее, чем ближе к центру Земли), поэтому время для него ускорялось по отношению к тем, кто остался на Земле.

Он двигался очень быстро, так как он вращался вокруг Земли, поэтому время для него замедлялось по отношению к тем, кто остался на Земле.

При суммировании, замедление времени из-за скорости движения по орбите орбиты немного перевесило ускорение времени из-за изменения силы тяжести и поэтому он вернулся относительно моложе людей, оставшихся на Земле.

Какое это имеет отношение к нашему повседневному опыту времени?

Ну, это явление замедления времени похоже на то, как мы переживаем время в повседневной жизни.

Когда мы движемся быстро (с работой или с идеями) или когда мы подвержены притяжению кого-то или чего-то, привлекательного для нас, мы испытываем время относительно медленнее, чем те, кто ничего не делает на Земле.

Неужели?

Чтобы объяснить, что имеется в виду, мы должны выделить конкретные часы, с помощью которых мы измеряем время.

Во-первых, есть часы Земли. Это любые часы на поверхности планеты Земля. Например, часы Биг Бена в Лондоне.

В приведенном выше примере с Тимом Пиком мы сравнивали время на земных часах с временем, измеренным часами на Международной космической станции.

Но теперь предположим, что в голове каждого человека есть воображаемые «головные часы».

Когда вы чувствуете, что время пролетает или медленно тянется, то вы испытываете несоответствие между головными

ми часами и часами Земли.

Время может лететь или тянуться.

Предположим, вы проводите несколько часов, разговаривая с кем-то привлекательным для вас. По мере того, как часы Биг-Бена тикают, ваши головные часы идут сравнительно медленнее, точно так же, как часы возле черной дыры (где большая гравитация) будут идти относительно медленнее, чем Биг-Бен.

Но в вашей собственной голове вы испытываете время, как обычно во время вашего всепоглощающего разговора. Не похоже, что время замедлилось для вас в данный момент.

Но когда вы смотрите вверх на часы Биг Бена, и ваши головные часы чувствуют, что, скажем, прошло 30 минут, то вы вдруг замечаете, что по земному времени прошло, скажем, 2 часа. Время Земли пролетело, пока вы разговаривали с приятным для вас человеком.

И то же самое верно, когда вы полностью поглощены работой или поддались «гравитационному» притяжению сна. Время Земли, кажется, проходит относительно быстро.

Ну и что?

Ну, с одной стороны, можно утверждать, что, делая вещи, которые привлекают нас, и двигаясь быстрее, жизнь пролетит мимо.

И, в долгосрочной перспективе, это может означать, что мы достигнем своего конца, казалось бы, быстрее, потому что мы живем только в течение определенного количества

«земных часов».

Но что, если люди на самом деле должны жить в течение определенного количества «головных часов», а не земных часов?

Предположим, вы собираетесь жить в течение 100 лет по вашему «головным часам». Проводя время вместе с привлекательными (притягательными) людьми, двигаясь быстрее, отдыхая во сне и поглощая себя работой, которая вас интересует, вы будете жить относительно больше лет, измеряемых часами Земли, может быть, 150 лет или около того!

Если вы двигаетесь быстро и к привлекательным вещам, вы можете прожить больше земных часов

Возможно, Тим Пик вернулся с Международной космической станции даже моложе, чем мы думаем, потому что он, вероятно, отлично провел там время.

Если вы делаете следующие вещи...

Проводите больше времени с привлекательными людьми,

Тратите больше времени на то, что вас интересует,

Двигаетесь быстрее (но не спешите!),

Спите больше,

Делаете все остальное, что заставляет время на Земле пролетать быстро,

...тогда вы будете жить дольше, когда вы измерите длину своей жизни по часам Земли (что мы все и делаем).

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ТЕОРИЯ СВЕТА

ГЛАВА 11

Пришла пора поговорить об *электромагнитной теории света*. Мы неоднократно слышали слово «свет», но вот определение того, что же это такое, мы до сих пор не вводили в курсе физики. Светом называется электромагнитное излучение, воспринимаемое человеческим глазом и вызывающее зрительные ощущения.

Хотелось бы заметить, что в этом определении все связано именно с человеческим ощущением, человеческим глазом. Вообще, люди давно задумывались о том, что такое свет. И Пифагор, и Аристотель, и другие древние ученые серьезно подходили к этому вопросу и выдвигали свои теории. Но две основные теории, о которых мы обязаны сегодня поговорить, сложились в конце и начале 18 века.

Корпускулярная и волновая теории.

Создателем первой теории, корпускулярной, является Исаак Ньютон. А родоначальником второй теории, волновой, является голландский ученый Христиан Гюйгенс.

В итоге развития обеих теорий, свет, стали рассматривать,

как объект, обладающий двумя свойствами. И свойствами частиц (корпускул, от латинского слова «корпускулы» – частицы), и свойствами волны.

Волновая теория и корпускулярная теория успешно объясняли некоторые оптические явления: прямолинейное распространение света, преломление света, отражение света, т.е. те самые законы, о которых мы говорили в 8 классе. Объяснение этих явлений, как выяснилось, может быть двойным. В итоге, эти две теории просуществовали довольно долго с переменным успехом. И ученые никак не могли определить, что же такое свет – волна или поток частиц? Точку в этом исследовании, в этих теориях удалось поставить только в середине 19 века. Но все началось в 17 веке.

Итак, посмотрим на этапы познания того, что же такое свет:

1. Датский астроном Олаф Рёмер в 1676 г провел эксперимент по определению скорости света. Этот эксперимент был связан с тем, как определяется скорость света при затмении спутника Юпитера Ио. Результат, который получил Рёмер в

км

своих опытах, составил 285000 $\frac{\text{км}}{\text{с}}$.

2. В 1848 г. французский физик Физо провел эксперимент из которого следовало, что скорость распространения света

км

в вакууме составляет 313000 с .

Однако эти опыты не могли подтвердить, что же такое свет – волна или частица.

3. В 1852 г. английский ученый Максвелл определил скорость распространения электромагнитных волн теоретически. Он установил, что скорость распространения электро-

км

магнитных волн составляет 300000 с .

Как только Максвелл получил значение этой скорости, естественно, он попытался выяснить, а есть ли такие объекты, которые обладают такой скоростью. В результате стало понятно, что такой объект есть и это, конечно, свет. То есть опыты Рёмера и Физо привели к тому, что в сочетании с результатами, полученными Максвеллом, стало ясно, что скорость распространения электромагнитных волн является не чем иным, как скоростью света. И теперь, конечно, остается сделать последний вывод – это то, что свет является не чем иным, как электромагнитной волной.

Казалось бы, после всех этих экспериментов, после всех этих выводов можно было оставить споры о том, что такое свет, и прийти к тому единственному решению, что свет – это электромагнитная волна. Однако хотелось бы отметить, что в дальнейшем, в самом конце 19 века были открыты яв-

ления, которые доказывали, что свет все-таки обладает свойствами частиц.

На сегодняшний день считается следующее: *свет имеет двойную природу. Он одновременно и волна, и частица.* Тогда, когда свет распространяется, т.е. от источника до наблюдателя, он ведет себя как волна. А тогда, когда он взаимодействует с поверхностью, с веществом или тогда, когда он рождается, при рождении света, он ведет себя как частица. Поток специальных частиц, которые составляют свет называется потоком фотонов. Одна частица, соответственно, – фотон.

Приблизительно к 1860 г. трудами Неймана, Вебера, Гельмгольца электродинамика уже считалась наукой окончательно систематизированной. Были созданы теоретические основы практических применений, к которым уже приступили. Но плавный ход развития нарушил молодой шотландский физик Джеймс Клерк Максвелл (1831-1879). В непонятных современникам идеях Фарадея Максвелл увидел мощный метод исследования от общего к частному. Он начал с поляризации диэлектриков и токов смещения.

Вебер, а также Кирхгоф нашли скорость распространения электромагнитной индукции по проводу. Она оказалась близкой к скорости света. Этот вывод был сделан экспериментально и теоретически.

Как и в первой работе 1864 г., Максвелл исходит из своих уравнений и приходит к выводу, что в пустоте попереч-

ные волны токов смещения распространяются с той же скоростью, что и свет. И это является подтверждением электромагнитной природы света.

Следствия теории Максвелла: наличие светового давления, взаимная ортогональность двух поляризованных волн: электрической и магнитной. По Максвеллу, “электромагнитное поле – это та часть пространства, которая содержит в себе и окружает тела, находящиеся в электрическом или магнитном состоянии”. Этой средой является эфир, пронизывающий все тела.

Поскольку впоследствии, в XX в., от гипотезы эфира отказались, а ответа на вопрос о том, что же колеблется в электромагнитных колебаниях, так и не получили, пришлось электромагнитное поле принять в качестве постулата, в качестве отдельной сущности (формы материи).

Основная гипотеза Максвелла при выводе уравнений – это гипотеза о токе смещения. Этот ток тоже создает магнитное поле. Над проверкой гипотезы Максвелла много работал Г. Герц. После его работ начали признавать и теорию Максвелла. Основной труд Максвелла – “Трактат об электричестве и магнетизме” (1873). Год выхода этого труда – это также год работы над трансатлантическим кабелем и год открытия фотопроводимости.

Существенным подтверждением электромагнитной теории света были опыты по измерению светового давления П.Н. Лебедева (1866-1912) в лаборатории Московского

университета. К 20-м гг. нашего века был сокращен интервал между инфракрасным светом и радиоволнами: 400 мкм и 1.8 мм соответственно. Предварительное сообщение об измерении светового давления Лебедевым появилось в 1900 г., а публикация – в 1901. По этому поводу В. Томсон (лорд Кельвин) сказал: “Вы, может быть, знаете, что я всю жизнь воевал с Максвеллом, не признавая его светового давления, и вот ваш Лебедев заставил меня сдаться перед его опытами”.

Триумфом теории Максвелла было использование радиоволн для связи. Эта идея была высказана еще Герцем, который открыл электромагнитные волны. Но впервые реализовал радиосвязь А.С.Попов (1859-1906) в 1895-1896 гг. В 1896 г. им была принята первая в мире радиограмма из двух слов: “Генрих Герц” (с расстояния в 250 м). В том же 1896 г. Гульельмо Маркони взял патент на приемо-передающее устройство, работающее на радиоволнах. Впоследствии он получил за это Нобелевскую премию.

Интерференция

Во время борьбы двух теорий, волновой и корпускулярной, естественно, каждый из апологетов той или иной теории искал определенную опору в опытах. Что касается волновой теории, очень важное значение получило явление, которое было открыто Томасом Юнгом в 1802 г., и называется

ся это явление *интерференцией*. Это наложение двух когерентных волн, в результате которого образуется устойчивая картина из максимумов и минимумов. Надо сказать, что интерференция света представляет собой достаточно известную всем картину – это когда чередуются светлые и темные световые полосы. Вам всем известна интерференция в тонких пленках, – когда мы наблюдаем мыльный пузырь в солнечном свете, то видим, как он переливается разноцветными цветами. Это и есть проявление интерференции света.

То же самое происходит летним днем, когда мы наблюдаем поверхность лужи, то можем видеть в тонкой пленке такое же разноцветное чередование полос. Интерференция – это явление волновое, поэтому после опытов Т. Юнга стало ясно, что свет является по большей части, видимо, волной, т.е. это явление доказывало, что свет – это волна.

«В свое время Ньютон был убежден в том, что свет состоит из мельчайших частичек, скорость перемещения которых практически бесконечна, – говорит Т.Редже в предыстории вопроса. – Его современник Гюйгенс, напротив, был сторонником волнового механизма распространения света, подобного процессу распространения звука в воздухе или в любой материальной среде. Непререкаемый авторитет Ньютона не допустил признания гипотезы Гюйгенса.

В 1700 году Юнг, Френель и некоторые другие ученые приступили к исследованию оптических явлений, непонят-

ных с точки зрения представлений Ньютона. Эти явления прямо указывали на волновую природу света. Как ни парадоксально, но среди этих явлений были и кольца Ньютона, хорошо известные фотографам и возникающие, когда диапозитив помещается между стеклянными пластинами. Яркая окраска некоторых насекомых также возникает в результате сложных процессов интерференции световых волн, происходящих в тонких слоях жидких кристаллов, расположенных на поверхности тела насекомых».

Однако, несмотря на очевидные успехи волновой механической теории света во второй половине XIX века, она была подвергнута сомнению по двум причинам. Одна – опыты Фарадея, открывшего действие магнитного поля на свет. Другая – исследования связи между электрическими и магнитными явлениями, которые проводил Максвелл. «Открытие электромагнитной природы света является великолепной иллюстрацией диалектики развития содержания и формы, – пишет П.С. Кудрявцев. – Новое содержание – электромагнитные волны – было выражено в старой форме картезианских вихрей.

Несоответствие нового содержания, появившегося в результате развития электромагнетизма, не только старой форме теории дальнего действия, но и механической теории эфира ощущал уже Фарадей, искавший для выражения этого содержания новую форму. Такую форму он усматривал в силовых линиях, которые следовало рассматривать не статически, а

динамически. Развитию этой мысли посвящены его работы „Мысли о лучевых вибрациях“ (1846) и „О физических линиях магнитной силы“ (1851).

Открытие Фарадеем в 1845 году связи между магнетизмом и светом явилось новым содержанием в учении о свете и вместе с тем еще раз указывало на строгую поперечность световых колебаний. Все это плохо укладывалось в старую форму механического эфира». Фарадей выдвигает идею силовых линий, в которых происходят поперечные колебания. «Нельзя ли, – пишет он, – предположить, что колебания, которые в известной теории (волновой теории света. – Прим. авт.) принимаются за основу излучения и связанных с ним явлений, происходят в линиях сил, соединяющих частицы, а следовательно, массы материи в одно целое. Эта идея, если ее допустить, освободит нас от эфира, являющегося с другой точки зрения той средой, в которой происходят эти колебания».

Ученый указывает, что колебания, происходящие в линиях сил, представляют собой не механический процесс, а новую форму движения, «некий высший тип колебания». Подобные колебания поперечны и потому могут «объяснить чудесные разнообразные явления поляризации». Они не похожи на продольные звуковые волны в жидкостях и газах. Его теория, как он говорит, «пытается устранить эфир, но не колебания». Эти магнитные колебания распространяются с конечной скоростью:

«...Появление изменения в одном конце силы заставляет предполагать последующее изменение на другом. Распространение света, а потому, вероятно, всех лучистых действий, требует времени, и чтобы колебание линий силы могло объяснить явления излучения, необходимо, чтобы такое колебание также занимало время».

Поиски новой формы привели ученого к становлению важной идеи поперечных магнитных колебаний, распространяющихся, как и свет, с конечной скоростью. Но это и есть центральная идея электромагнитной теории света – мысль, возникшая еще в 1832 году.

Максвелл отмечал в записке к В.Бреггу: «Электромагнитная теория света, предложенная им (Фарадеем) в „Мыслях о лучевых вибрациях“ (май, 1846) или „Экспериментальных исследованиях“, – это по существу то же, что я начал развивать в этой статье („Динамическая теория поля“ (май, 1865), за исключением того, что в 1846 году не было данных для вычисления скорости распространения».

Подобное признание, однако, не принижает заслуг в исследовании электромагнитного поля Джеймса Максвелла.

Джеймс Максвелл (1831–1879) родился в Эдинбурге. Вскоре после рождения мальчика родители увезли его в свое имение Гленлэр. Сначала приглашали учителей на дом. Потом решено было отдать Джеймса в новую школу, носившую громкое название Эдинбургской академии. Максвелл окончил академию одним из первых, и перед ним распахнулись

двери Эдинбургского университета.

Будучи студентом, Максвелл выполнил серьезное исследование по теории упругости, получившее высокую оценку специалистов. И теперь перед ним встал вопрос о перспективе его дальнейшей учебы в Кембридже. Объем знаний Максвелла, мощь его интеллекта и самостоятельность мышления позволили ему добиться высокого места в своем выпуске. Он и занял второе место.

Молодой бакалавр был оставлен в Кембридже – Тринити-колледже в качестве преподавателя. Однако его волновали научные проблемы. Помимо его старого увлечения – геометрии и проблемы цветов, которой он начал заниматься еще в 1852 году, Максвелл заинтересовался электричеством.

20 февраля 1854 года Максвелл сообщает Томсону о своем намерении «атаковать электричество». Результат «атаки» – сочинение «О Фарадеевых силовых линиях» – первое из трех основных трудов Максвелла, посвященных изучению электромагнитного поля. Слово «поле» впервые появилось в том самом письме Томсону, но ни в этом, ни в последующем сочинении, посвященном силовым линиям, Максвелл его не употребляет. Это понятие снова появится только в 1864 году в работе «Динамическая теория электромагнитного поля».

Он публикует две основные работы по созданной им теории электромагнитного поля: «О физических силовых линиях» (1861–1862 годы) и «Динамическая теория электромагнитного поля» (1864–1865 годы). За десять лет Максвелл

вырос в крупнейшего ученого, творца фундаментальной теории электромагнитных явлений, ставшей, наряду с механикой, термодинамикой и статистической физикой, одним из столбов классической теоретической физики.

«Трактат по электричеству и магнетизму» – главный труд Максвелла и вершина его научного творчества. В нем он подвел итоги многолетней работы по электромагнетизму, начавшейся еще в начале 1854 года. Предисловие к «Трактату» датировано 1 февраля 1873 года. Девятнадцать лет работал Максвелл над своим основополагающим трудом!

Исследования, произведенные Максвеллом, привели его к выводу, что в природе должны существовать электромагнитные волны, скорость распространения которых в безвоздушном пространстве равна скорости света – 300 000 километров в секунду.

Возникнув, электромагнитное поле распространяется в пространстве со скоростью света, занимая все больший и больший объем. Максвелл утверждал, что волны света имеют ту же природу, что и волны, возникающие вокруг провода, в котором есть переменный электрический ток. Они отличаются друг от друга только длиной. Очень короткие волны и есть видимый свет.

«Предположение Максвелла о том, что изменения электрического поля влекут за собой возникновение потока магнитной индукции, явилось следующим шагом вперед, – пишет А.А. Коробко-Стефанов. – Таким образом, возникшее

переменное электрическое поле вокруг магнитного, в свою очередь, создает переменное магнитное поле, охватывающее электрическое, которое вновь возбуждает электрическое, и т. д.

Быстропеременные электрические и магнитные поля, распространяющиеся со скоростью света, образуют электромагнитное поле. Электромагнитное поле распространяется в пространстве от точки к точке, создавая электромагнитные волны. Электромагнитное поле в каждой точке характеризуется напряженностью электрического и магнитного полей. Напряженность электрического и магнитного полей – величины векторные, так как характеризуются не только величиной, но и направлением. Векторы напряженности полей взаимно перпендикулярны и перпендикулярны к направлению распространения».

Поэтому электромагнитная волна является поперечной.

Из теории Максвелла вытекало, что электромагнитные волны возникают в том случае, если изменения напряженности электрического и магнитного полей будут происходить очень быстро.

Справедливость максвелловских представлений опытным путем доказал Генрих Герц. В восьмидесятые годы девятнадцатого века Герц приступил к изучению электромагнитных явлений, работая в аудитории длиной 14 метров и шириной 12 метров. Он обнаружил, что если расстояние приемника

от вибратора менее одного метра, то характер распределения электрической силы аналогичен полю диполя и убывает обратно пропорционально кубу расстояния. Однако на расстояниях, превышающих 3 метра, поле убывает значительно медленнее и неодинаково в различных направлениях. В направлении оси вибратора действие убывает значительно быстрее, чем в направлении, перпендикулярном оси, и едва заметно на расстоянии 4 метров, тогда как в перпендикулярном направлении оно достигает расстояний, больших 12 метров.

Этот результат противоречит всем законам теории дальнего действия. Герц продолжал исследование в волновой зоне своего вибратора, поле которого он позже рассчитал теоретически. В ряде последующих работ Герц неопровержимо доказал существование электромагнитных волн, распространяющихся с конечной скоростью. «Результаты опытов, поставленных мною над быстрыми электрическими колебаниями, – писал Герц в своей восьмой статье 1888 года, – показали мне, что теория Максвелла обладает преимуществом перед всеми другими теориями электродинамики».

Поле в этой волновой зоне в различные моменты времени Герц изобразил с помощью картины силовых линий. Эти рисунки Герца вошли во все учебники электричества. Расчеты Герца легли в основу теории излучения антенн и классической теории излучения атомов и молекул.

Таким образом, Герц в процессе своих исследований

окончательно и безоговорочно перешел на точку зрения Максвелла, придав удобную форму его уравнениям, дополнил теорию Максвелла теорией электромагнитного излучения. Герц получил экспериментально электромагнитные волны, предсказанные теорией Максвелла, и показал их тождество с волнами света.

В 1889 году Герц прочитал доклад «О соотношении между светом и электричеством» на 62-м съезде немецких естествоиспытателей и врачей.

Здесь он подводит итоги своих опытов в следующих словах: «Все эти опыты очень просты в принципе, но, тем не менее, они влекут за собой важнейшие следствия. Они рушат всякую теорию, которая считает, что электрические силы перепрыгивают пространство мгновенно. Они означают блестящую победу теории Максвелла... Насколько маловероятным казалось ранее ее воззрение на сущность света, настолько трудно теперь не разделить это воззрение».

В 1890 году Герц опубликовал две статьи: «Об основных уравнениях электродинамики в покоящихся телах» и «Об основных уравнениях электродинамики для движущихся тел». Эти статьи содержали исследования о распространении «лучей электрической силы» и, в сущности, давали то каноническое изложение максвелловской теории электрического поля, которое вошло с тех пор в учебники.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

ГЛАВА 12

После открытий Эрстеда и Ампера стало ясно, что электричество обладает магнитной силой. Теперь необходимо было подтвердить влияние магнитных явлений на электрические. Эту задачу блистательно решил Фарадей.

Майкл Фарадей (1791–1867) родился в Лондоне, в одной из беднейших его частей. Его отец был кузнецом, а мать – дочерью земледельца-арендатора. Когда Фарадей достиг школьного возраста, его отдали в начальную школу. Курс, пройденный Фарадеем здесь, был очень узок и ограничивался только обучением чтению, письму и началам счета.

В нескольких шагах от дома, в котором жила семья Фарадеев, находилась книжная лавка, бывшая вместе с тем и переплетным заведением. Сюда-то и попал Фарадей, закончив курс начальной школы, когда возник вопрос о выборе профессии для него. Майклу в это время минуло только 13 лет.

Уже в юношеском возрасте, когда Фарадей только что начинал свое самообразование, он стремился опираться исключительно только на факты и проверять сообщения дру-

гих собственными опытами. Эти стремления доминировали в нем всю жизнь как основные черты его научной деятельности.

Физические и химические опыты Фарадей стал проделывать еще мальчиком при первом же знакомстве с физикой и химией. Однажды Майкл посетил одну из лекций Гэмфри Дэви, великого английского физика. Фарадей сделал подробную запись лекции, переплел ее и отослал Дэви. Тот был настолько поражен, что предложил Фарадею работать с ним в качестве секретаря. Вскоре Дэви отправился в путешествие по Европе и взял с собой Фарадея. За два года они посетили крупнейшие европейские университеты.

Вернувшись в Лондон в 1815 году, Фарадей начал работать ассистентом в одной из лабораторий Королевского института в Лондоне. В то время это была одна из лучших физических лабораторий мира. С 1816 по 1818 год Фарадей напечатал ряд мелких заметок и небольших мемуаров по химии. К 1818 году относится первая работа Фарадея по физике.

Опираясь на опыты своих предшественников и скомбинировав несколько собственных опытов, к сентябрю 1821 года Майкл напечатал «Историю успехов электромагнетизма». Уже в это время он составил вполне правильное понятие о сущности явления отклонения магнитной стрелки под действием тока. Добившись этого успеха, Фарадей на целых десять лет оставляет занятия в области электричества, посвя-

тив себя исследованию целого ряда предметов иного рода.

В 1823 году Фарадеем было произведено одно из важнейших открытий в области физики – он впервые добился сжигания газа, и вместе с тем установил простой, но действительный метод обращения газов в жидкость.

В 1824 году Фарадей сделал несколько открытий в области физики. Среди прочего он установил тот факт, что свет влияет на цвет стекла, изменяя его. В следующем году Фарадей снова обращается от физики к химии, и результатом его работ в этой области является открытие бензина и серно-нафталиновой кислоты.

В 1831 году Фарадей опубликовал трактат «Об особого рода оптическом обмане», послуживший основанием прекрасного и любопытного оптического прибора, именуемого «хромотропом». В том же году вышел еще один трактат ученого «О вибрирующих пластинках».

Многие из этих работ могли сами по себе обессмертить имя их автора. Но наиболее важными из научных работ Фарадея являются его исследования в области электромагнетизма и электрической индукции. Строго говоря, важный отдел физики, трактующий явления электромагнетизма и индукционного электричества, и имеющий в настоящее время такое громадное значение для техники, был создан Фарадеем из ничего.

К тому времени, когда Фарадей окончательно посвятил себя исследованиям в области электричества, было установ-

лено, что при обыкновенных условиях достаточно присутствия наэлектризованного тела, чтобы влияние его возбудило электричество во всяком другом теле. Вместе с тем было известно, что проволока, по которой проходит ток и которая также представляет собою наэлектризованное тело, не оказывает никакого влияния на помещенные рядом другие проволоки. Отчего зависело это исключение? Вот вопрос, который заинтересовал Фарадея и решение которого привело его к важнейшим открытиям в области индукционного электричества.

По своему обыкновению Фарадей начал ряд опытов, долженствовавших выяснить суть дела. На одну и ту же деревянную скалку Фарадей намотал параллельно друг другу две изолированные проволоки. Концы одной проволоки он соединил с батареей из десяти элементов, а концы другой – с чувствительным гальванометром. Когда был пропущен ток через первую проволоку, Фарадей обратил все свое внимание на гальванометр, ожидая заметить по колебаниям его появление тока и во второй проволоке. Однако ничего подобного не было: гальванометр оставался спокойным. Фарадей решил увеличить силу тока и ввел в цепь 120 гальванических элементов. Результат получился тот же. Фарадей повторил этот опыт десятки раз и все с тем же успехом. Всякий другой на его месте оставил бы опыты, убежденный, что ток, проходящий через проволоку, не оказывает никакого действия на соседнюю проволоку. Но Фарадей старался всегда извлечь

из своих опытов и наблюдений все, что они могут дать, и потому, не получив прямого действия на проволоку, соединенную с гальванометром, стал искать побочные явления.

Сразу же он заметил, что гальванометр, оставаясь совершенно спокойным во все время прохождения тока, приходит в колебание при самом замыкании цепи и при размыкании ее. Оказалось, что в тот момент, когда в первую проволоку пропускается ток, а также когда это пропускание прекращается, во второй проволоке также возбуждается ток, имеющий в первом случае противоположное направление с первым током и одинаковое с ним во втором случае и продолжающийся всего одно мгновение. Эти вторичные мгновенные токи, вызываемые влиянием первичных, названы были Фарадеем индуктивными, и это название сохранилось за ними доселе. Будучи мгновенными, моментально исчезая вслед за своим появлением, индуктивные токи не имели бы никакого практического значения, если бы Фарадей не нашел способ при помощи остроумного приспособления (коммутатора) беспрестанно прерывать и снова проводить первичный ток, идущий от батареи по первой проволоке, благодаря чему во второй проволоке непрерывно возбуждаются все новые и новые индуктивные токи, становящиеся, таким образом, постоянными. Так был найден новый источник электрической энергии, помимо ранее известных (трения и химических процессов), – индукция, и новый вид этой энергии – индукционное электричество.

Продолжая свои опыты, Фарадей открыл далее, что достаточно простого приближения проволоки, закрученной в замкнутую кривую, к другой, по которой идет гальванический ток, чтобы в нейтральной проволоке возбудить индуктивный ток направления, обратного гальваническому току, что удаление нейтральной проволоки снова возбуждает в ней индуктивный ток уже одинакового направления с гальваническим, идущим по неподвижной проволоке, и что, наконец, эти индуктивные токи возбуждаются только во время приближения и удаления проволоки к проводнику гальванического тока, а без этого движения токи не возбуждаются, как бы близко друг к другу проволоки ни находились. Таким образом, было открыто новое явление, аналогичное вышеописанному явлению индукции при замыкании и прекращении гальванического тока.

Эти открытия вызвали в свою очередь новые. Если можно вызвать индуктивный ток замыканием и прекращением гальванического тока, то не получится ли тот же результат от намагничивания и размагничивания железа? Работы Эрстеда и Ампера установили уже родство магнетизма и электричества. Было известно, что железо делается магнитом, когда вокруг него обмотана изолированная проволока и по последней проходит гальванический ток, и что магнитные свойства этого железа прекращаются, как только прекращается ток. Исходя из этого, Фарадей придумал такого рода опыт: вокруг железного кольца были обмотаны две изолированные прово-

локи; причем одна проволока была обмотана вокруг одной половины кольца, а другая – вокруг другой. Через одну проволоку пропускался ток от гальванической батареи, а концы другой были соединены с гальванометром. И вот, когда ток замыкался или прекращался и когда, следовательно, железное кольцо намагничивалось или размагничивалось, стрелка гальванометра быстро колебалась и затем быстро останавливалась, то есть в нейтральной проволоке возбуждались все те же мгновенные индуктивные токи – на этот раз: уже под влиянием магнетизма. Таким образом, здесь впервые магнетизм был превращен в электричество.

Получив эти результаты, Фарадей решил разнообразить свои опыты. Вместо железного кольца он стал употреблять железную полосу. Вместо возбуждения в железе магнетизма гальваническим током он намагничивал железо прикосновением его к постоянному стальному магниту. Результат получался тот же: в проволоке, обматывавшей железо, всегда возбуждался ток в момент намагничивания и размагничивания железа. Затем Фарадей вносил в проволочную спираль стальной магнит – приближение и удаление последнего вызывало в проволоке индукционные токи. Словом, магнетизм, в смысле возбуждения индукционных, токов, действовал совершенно так же, как и гальванический ток.

В то время физиков усиленно занимало одно загадочное явление, открытое в 1824 году Араго и не находившее объяснения, несмотря на; то, что этого объяснения усиленно ис-

кали такие выдающиеся ученые того времени, как сам Араго, Ампер, Пуассон, Бабэдж и Гершель. Дело состояло в следующем. Магнитная стрелка, свободно висящая, быстро приходит в состояние покоя, если под нее подвести круг из немагнитного металла; если затем круг привести во вращательное движение, магнитная стрелка начинает двигаться за ним. В спокойном состоянии нельзя было открыть ни малейшего притяжения или отталкивания между кругом и стрелкой, между тем как тот же круг, находившийся в движении, тянул за собою не только легкую стрелку, но и тяжелый магнит. Это поистине чудесное явление казалось ученым того времени таинственной загадкой, чем-то выходящим за пределы естественного. Фарадей, исходя из своих вышеизложенных данных, сделал предположение, что кружок немагнитного металла, под влиянием магнита, во время вращения обегается индуктивными токами, которые оказывают воздействие на магнитную стрелку и влекут ее за магнитом. И действительно, введя край кружка между полюсами большого подковообразного магнита и соединив проволокою центр и край кружка с гальванометром, Фарадей получил при вращении кружка постоянный электрический ток.

Вслед за тем Фарадей остановился на другом вызывавшем тогда общее любопытство явлении. Как известно, если посыпать на магнит железных опилок, они группируются по определенным линиям, называемым магнитными кривыми. Фарадей, обратив внимание на это явление, дал в 1831 году маг-

нитным кривым название «линий магнитной силы», вошедшее затем во всеобщее употребление. Изучение этих «линий» привело Фарадея к новому открытию, оказалось, что для возбуждения индуктивных токов приближение и удаление источника от магнитного полюса необязательны. Для возбуждения токов достаточно пересечь известным образом линии магнитной силы.

Дальнейшие работы Фарадея в упомянутом направлении приобретали, с современной ему точки зрения, характер чего-то совершенно чудесного. В начале 1832 года он демонстрировал прибор, в котором возбуждались индуктивные токи без помощи магнита или гальванического тока. Прибор состоял из железной полосы, помещенной в проволочной катушке. Прибор этот при обыкновенных условиях не давал ни малейшего признака появления в нем токов; но лишь только ему давалось направление, соответствующее направлению магнитной стрелки, в проволоке возбуждался ток. Затем Фарадей давал положение магнитной стрелки одной катушке и потом вводил в нее железную полосу: ток снова возбуждался. Причиной, вызывавшей в этих случаях ток, был земной магнетизм, вызывавший индуктивные токи подобно обыкновенному магниту или гальваническому току. Чтобы нагляднее показать и доказать это, Фарадей предпринял еще один опыт, вполне подтвердивший его соображения. Он рассуждал, что если круг из немагнитного металла, например, из меди, вращаясь в положении, при котором он пересекает ли-

нии магнитной силы соседнего магнита, дает индуктивный ток, то тот же круг, вращаясь в отсутствие магнита, но в положении, при котором круг будет пересекать линии земного магнетизма, тоже должен дать индуктивный ток. И действительно, медный круг, вращаемый в горизонтальной плоскости, дал индуктивный ток, производивший заметное отклонение стрелки гальванометра.

Ряд исследований в области электрической индукции Фарадей закончил открытием, сделанным в 1835 году, «индуктирующего влияния тока на самого себя». Он выяснил, что при замыкании или размыкании гальванического тока в самой проволоке, служащей проводником для этого тока, возбуждаются моментальные индуктивные токи.

Русский физик Эмиль Христович Ленц (1804–1861) дал правило для определения направления индукционного тока.

«Индукционный ток всегда направлен так, что создаваемое им магнитное поле затрудняет или тормозит вызывающее индукцию движение, – отмечает А.А. Коробко-Стефанов в своей статье об электромагнитной индукции. – Например, при приближении катушки к магниту возникающий индукционный ток имеет такое направление, что созданное им магнитное поле будет противоположно магнитному полю магнита. В результате между катушкой и магнитом возникают силы отталкивания.

Правило Ленца вытекает из закона сохранения и превра-

щения энергии. Если бы индукционные токи ускоряли вызывающее их движение, то создавалась бы работа из ничего. Катушка сама собой после небольшого толчка устремлялась бы навстречу магниту, и одновременно индукционный ток выделял бы в ней теплоту. В действительности же индукционный ток создается за счет работы по сближению магнита и катушки.

Почему возникает индукционный ток? Глубокое объяснение явления электромагнитной индукции дал английский физик Джеймс Клерк Максвелл – творец законченной математической теории электромагнитного поля.

Чтобы лучше понять суть дела, рассмотрим очень простой опыт. Пусть катушка состоит из одного витка проволоки и пронизывается переменным магнитным полем, перпендикулярным к плоскости витка. В катушке, естественно, возникает индукционный ток. Исключительно смело и неожиданно истолковал этот эксперимент Максвелл. При изменении магнитного поля в пространстве, по мысли Максвелла, возникает процесс, для которого присутствие проволочного витка не имеет никакого значения. Главное здесь – возникновение замкнутых кольцевых линий электрического поля, охватывающих изменяющееся магнитное поле.

Под действием возникающего электрического поля приходят в движение электроны, и в витке возникает электрический ток. Виток – это просто прибор, позволяющий обнаружить электрическое поле. Сущность же явления электро-

магнитной индукции в том, что переменное магнитное поле всегда порождает в окружающем пространстве электрическое поле с замкнутыми силовыми линиями. Такое поле называется вихревым».

Изыскания в области индукции, производимой земным магнетизмом, дали Фарадею возможность высказать еще в 1832 году идею телеграфа, которая затем и легла в основу этого изобретения.

А вообще открытие электромагнитной индукции недаром относят к наиболее выдающимся открытиям XIX века – на этом явлении основана работа миллионов электродвигателей и генераторов электрического тока во всем мире...