

## ГЛАВА 4. КОНЦЕПЦИИ ПРОСТРАНСТВА-ВРЕМЕНИ

### *Основное содержание главы*

Первичные ощущения пространства и времени даны человеку на биологическом уровне сознания, их логически строгое определение является проблемой. В решении этой проблемы естествознание прошло путь от первых геометрических построений античности к теории многомерного пространственно-временного континуума. В современном естествознании происходит геометризация физической картины мира, при которой действующие между телами силы становятся следствием искажений геометрии пространства и времени.

### **4.1. Античные и классические концепции пространства и времени**

*Никакая теория, в которой изначально принимается факт существования пространства и времени, не может объяснить эти понятия.*

Джон А. Уилер,  
американский физик

Движение, пространство и время – самые общие понятия в естествознании и гуманитарной культуре. Мы пользуемся этими понятиями ежедневно, часто не давая себе отчета о их физической сути.

*А если задуматься? Не попадем ли мы в положение сороконожки, которая задумалась, как же она ходит, и замерла?*

Как следует из п. 2.1, биологическое эволюционное развитие аппарата восприятия объективной реальности опережает развитие понятийного (модельного) аппарата сознания. Поэтому человек не всегда может зафиксировать возникающее ощущение как сознательное, т. е. как сравненное (идентифицированное) с уже имеющейся у него базой понятий. Тогда оно остается на уровне подсознания. Так, некоторые люди интуитивно предчувствуют надвигающееся землетрясение или иную опасность. Скорее всего, эти редкие индивиды способны воспринимать некоторые элементы реальности, недоступные (утрачена способность!) большинству. В современной массовой культуре подобных людей называют экстрасенсами, что неточно. Без какой-либо сенсорики (восприятие в ощущениях) никакая информация, даже на уровне подсознания, не появится.

Отчасти способность ощущать пространство и время заложена в человеке генетически. Установлено, что за ориентировку в пространстве и во времени ответственно то полушарие мозга, которое ведает образным мышлением. После рождения эта способность актуализируется, и в нашем сознании начинает формироваться образ пространства через движение рук, ног, головы и другие моторные реакции.

Можно сказать, что образы пространства и времени даны нам на уровне *первичных биологических ощущений*. Так как они исходные, то для их идентификации еще нет понятийного аппарата. Поэтому крайне трудно дать рациональное, логическое определение категориям движения, пространства и времени. Однако это не означает, что мы не можем договориться о способах измерения этих ощущений. Конечно, в физике (как основе классического естествознания) не принято было пользоваться методами, подобными современному методу прямого субъективного шкалирования (см. п. 2.1). Вместо этого для определения интервала пространства использовали такие условные меры, как пядь, локоть, фут, стадия. Но что это, как не продолжение первичных движений рук и ног?

Первое знакомство с пространством, первое ощущение его мы получаем в раннем детстве, когда хотим все потрогать вокруг себя. (И себя самого – это Я). И убеждаемся, что есть что-то *бестелесное, что потрогать никак не удастся, но что отделяет одни предметы от других*. Примем эту фразу за определение пространства!

Выработка рационального понятия пространства идет по цепочке, которую мы привели ранее в п. 2.1.

Сначала опыт:	движение рук позволяет почувствовать пространство как протяженность, затем подключается зрение.
Осознание:	близкое – далекое – перспектива.
Понятие:	интервал пространства как расстояние.
Обобщение:	пространство, в котором находится все.

Правое полушарие нашего мозга вырабатывает понятие интервала пространства, которое чувственно, которое можно измерить в единицах ощущения или в условных, но понятных, мерах (локоть или метр). Левое (рациональное) полушарие вырабатывает логическое понятие абстрактного Пространства как категории философской, математической и физической.

Классическая концепция пространства – это пространство математическое, идеальное. Его истоки лежат в античной натурфилософии. У Демокрита вещество делится на неразрезаемые атомы, но пустота

(пространство) на какие-либо части не делится. Атомы движутся в пустоте, они вечны, и время не имеет ни начала, ни конца.

У Платона *пространство* и *материя* являются фактически синонимами. Пространству свойственно принимать любые оттиски тел, вмещать всякое рождение тел, причем само оно остается лишенным формы. Чтобы полностью вместить все виды тел, пространство должно быть субстратом, субстанцией, совершенно лишенным качества тел, быть бестелесным. Аристотель (ученик Платона), признавая пространство, отвергает существования пустоты. Все пространство у него сплошь занято телами, и они могут двигаться, «уступая место» друг другу.

Понятие «место» играет у Аристотеля весьма важную и самостоятельную роль. Место объемлет предмет, но оно не есть сам предмет и его форма, поскольку оно отделимо от предмета. Важным свойством «места» является наличие у него верха и низа, причем абсолютного верха и низа. В мире существует абсолютный верх и абсолютный низ. Абсолютный верх – это то, куда движется огонь, абсолютный низ – центр Земли. Легкие тела движутся в свойственное им место вверх, тяжелые – вниз. Такова причина «естественного» движения в наблюдаемом мире. Все остальные движения носят насильственный характер, никакого самодвижения видимых тел Аристотель не допускает. Таким образом, место надделено у Аристотеля как бы некоторой силой и служит системой координат [1].

В своем объяснении движения Аристотель столкнулся с явлением сохранения движения тел после воздействия на них какой-либо силы. Что является двигателем камня, летящего горизонтально? Аристотель утверждает, что промежуточным двигателем здесь является воздух, который в момент броска тоже приводится в движение и какое-то время способен двигать камень.

Данное явление он объяснял также принципом «боязни пустоты». По Аристотелю, позади камня образуется пустое пространство, а природа боится пустоты, поэтому воздух стремится туда, где может образоваться пустота, и подталкивает некоторое время камень вперед. Эти положения стали наиболее уязвимыми в системе Аристотеля и были подвергнуты жестокой критике.

Пространство в классической физике Ньютона понятие математическое – это абсолютная пустота, в которой возможно движение тел по инерции, равномерное и прямолинейное. В любом месте пространства можно выбрать систему координат, причем естественного абсолютного верха или низа в пространстве Ньютона нет.

Отметим, что современное понимание пространства более физическое, чем у Ньютона. Идеальный, абсолютный вакуум отсутствует в природе. Даже без стабильного вещества в физическом вакууме непрерывно рождаются и исчезают (аннигилируют) виртуальные микрочастицы. Этот вечный процесс называют виртуальным рождением пар «античастица – частица». Образно говоря, физический вакуум «кипит», «бурлит» микрочастицами. Но на макроуровне флуктуации сглаживаются и непосредственно не ощущаются. Такое понимание ближе к субстанциональной концепции, трактующей пространство как некую «субстанцию» (или среду), вещественную или полевую.

Дать логическое определение времени – задача еще более трудная. Время тоже бестелесно и ощущается на биологическом уровне всем организмом человека, у него нет специального «органа времени». По этому поводу ранее упомянутый религиозный авторитет Августин Аврелий (см. рис. 7) писал: «Я знаю, что такое время, пока не начинаю думать о нем».

Время ощущается на первичном биологическом уровне, знание о нем – интуитивно. Оно связано с опытом: чувственное восприятие вращения Земли, восход и закат Солнца, смена освещенности, температуры и так далее. Как писал Гераклит, «все течет, все изменяется...».



Рис. 41. Аллегория времени

Вновь движение, только теперь не рук, а *внешних объектов*, задает первичный образ времени. В гуманитарной культуре можно найти иллюстрацию характерных свойств времени в виде свернутой в кольцо змеи, кусающей свой хвост, и песочных часов, символизирующих течение времени (рис. 41).

Субъективное восприятие времени зависит от эмоционального состояния человека: то оно тянется мучительно долго в ожидании чего-либо, то пролетает незаметно в интересном занятии. Эффект дисторсии времени особенно часто наблюдается для критических ситуаций катастрофы (смертельной опасности).

В конечном счете вырабатывается устойчивый стереотип мышления: «вчера» – было, «сегодня» – наступило и «завтра» – будет обязательно. Происходит осознание: «теперь» или «сейчас» отделяется от «прошлого» и «будущего». Мысленно мы можем переноситься в прошлое, пытаемся зримо представить себе будущее. В нашем сознании,

как на видеопленке, последовательно зафиксированы события нашей жизни.

Вырабатывается понятие «интервал времени», измеряемый сутками и производными мерами: месяц, год, в физике – секунда. И наконец, мы можем сделать обобщение: абстрактное время – как непрерывность и последовательность, как поток или лента, на которой события оставляют метки (распределяют информацию). Эту последовательность чего-то бестелесного, что отделяет в последовательности одни события от других и существует независимо от нас, мы называем Временем.

Время *разделяет* события, которые могут происходить в одном и том же месте, в одной и той же точке пространства. Таким образом, в классическом естествознании время играет роль пространства, но в чем-то другом, в чем нельзя реально вернуться назад. Этим время принципиально отличается от пространства.

Важно отметить, что у Аристотеля время определяется через движение.

*Время есть не что иное, как число движения по отношению к предыдущему и последующему. Таким образом, время не есть движение, а является им постольку, поскольку движение имеет число. Доказательством служит то, что большее или меньшее мы оцениваем числом, движение же большее или меньшее – временем, следовательно, время есть известное число [1].* Аристотель сомневался в самостоятельности существования времени, приводя следующие доводы.

*Выберем какой-либо конкретный момент времени. По строгой логике рассуждений в любой данный момент бытия прошлого **уже** нет, а будущего **еще** нет. Как может нечто возникать из того, чего нет и переходить в то, чего нет?*

Древнеримский философ и поэт Лукреций Кар писал:

*Время не может существовать само по себе,  
Лишь из движенья вещей получаем мы ощущение времени.  
Никто не ощущает время само по себе,  
Но знает о времени по движению всего прочего.*

Августин Аврелий также утверждал: «Время создается изменением вещей». Понимание сути времени как естественного хода изменения всего окружающего мира является содержанием *реляционной* концепции времени. Явно или неявно признав реляцию (связь) понятия времени с ходом естественных процессов, мы можем использовать их для измерения интервалов времени.

Альтернативой этому пониманию вещей является *субстанциональная* концепция времени. Она выражает классическую модель идеально-

го времени и пространства, которые не зависят от наблюдателя. Смысл концепции в представлении времени и пространства как неких сред (субстанций), в которые тела погружены и где они движутся. При этом время и пространство не зависят друг от друга и не могут влиять друг на друга.

Направленность стрелы времени от прошлого к будущему является необходимым условием возникновения причинно-следственных связей между событиями. Если бы отсутствовала однонаправленность стрелы времени, то никакое структурирование из первоначального хаоса не было бы возможным. При этом следует помнить, что не всегда «позже» гарантирует «вследствие».

Перечислим свойства пространства и времени в соответствии с классической субстанциональной концепцией.

Высокая симметрия свойств пространства-среды	<ul style="list-style-type: none"> <li>• непрерывность</li> <li>• однородность</li> <li>• изотропность</li> <li>• безграничность</li> <li>• трехмерность</li> </ul>
Симметрия свойств времени-среды	<ul style="list-style-type: none"> <li>• непрерывность</li> <li>• однородность</li> <li>• безграничность</li> <li>• одномерность</li> <li>• направленность</li> </ul>

Свойство направленности выражает асимметрию времени.

Как показала теоретически Эми Нетер, из симметрии свойств пространства и времени в классической физике следуют законы сохранения энергии, импульса и момента импульса, сохраняющие свою роль фундаментальных законов природы и в современном естествознании.

Однородность времени (все моменты равноправны, возможен перенос начала отсчета времени)	Закон сохранения энергии
Однородность пространства (все точки пространства равноценны, возможен перенос системы координат)	Закон сохранения импульса
Изотропность пространства (равноценность направлений)	Закон сохранения момента импульса

Современное естествознание использует реляционную концепцию. В ней пространство и время существуют как атрибуты движения материального мира. Без материи нет ни пространства, ни времени, только в связи с движением материи пространство и время имеют смысл. Время создается движением материального мира, хотя нет какого-либо специфического «времяобразующего» движения в его бытовом понимании. Термин «движение» в естествознании понимается как изменение состояния всего мира: нечто не существовавшее становится существующим, тогда как существовавшее переходит в другие формы и состояния или исчезает. Иными словами, от понимания времени как длительности (интервала между событиями) мы переходим к его пониманию как процесса непрерывного становления (от существующего к возникающему).

#### 4.2. Парадоксы движения

По определению, движение является в общем случае процессом любого изменения вообще, независимо от его характера, направления или результата. Аристотель выделял четыре вида движения:

- возникновение и исчезновение сущего;
- количественный рост или уменьшение;
- качественное изменение (вино – уксус);
- перемещение из одного места в другое.

Самое простое движение – механическое. Но и тут не все очевидно. Что движется: объект или состояние? Чтобы пояснить, почему возникает такой вопрос, приведем сначала короткое стихотворение А.С. Пушкина «Движение».

*«Движенья нет!» – сказал мудрец брадатый.*

*Другой смолчал и стал пред ним ходить.*

*Сильнее он не мог бы возразить.*

*Хвалили все ответ замысловатый.*

*Но, господа! Забавный случай сей*

*Другой пример на память мне приводит:*

*Ведь каждый день пред нами Солнце ходит,*

*Однако ж прав упрямый Галилей!*

В стихотворении речь идет о диспуте двух известных мыслителей античности Зенона и Антисфена. Первый утверждал отсутствие движения. В доказательство он приводил следующее логическое рассуждение. Пусть из лука выпущена стрела. При полете она последовательно проходит одну точку своей траектории за другой (см. рис. 42).

Что значит «проходит»? Это значит, что она там находится некоторое, пусть даже малое время в покое. Отсюда следует парадоксальный

вывод: в любой (истинный, мгновенный) момент времени стрела неподвижна. «Движенья – нет».

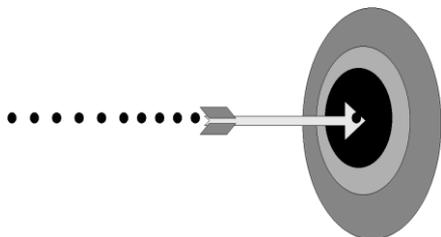
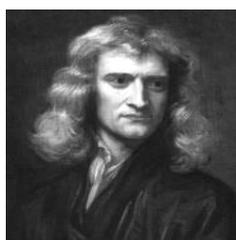


Рис. 42. Полет стрелы

Вообще-то ответ Антисфена был не по правилам научного диспута о высокой материи. Он не стал обращаться к рациональным доводам и аргументам, просто показав, что человек воспринимает движение интуитивно. Движение есть, и это самодостаточный факт. Апория «стрела Зенона» в античности так и не была разрешена.

Ошибка заключается в принятии времени как субстанции, в которой движется стрела. Поскольку время оторвано от самого движения (которое первично!), возникает парадокс.

Движение в классическом естествознании описывается в рамках субстанциональной концепции пространства и времени (рис. 43).



И. Ньютон

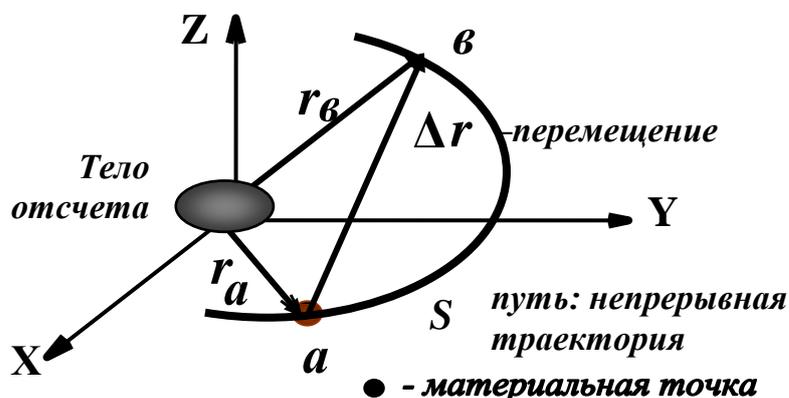


Рис. 43. Схема описания движения материальной точки в классическом естествознании

Вводится система отсчета: тело отсчета и хронометр для измерения интервалов времени. Применяют модель материальной точки – тела, размерами которого можно пренебречь, по сравнению с расстоянием от начала координат до тела. Описание движения – векторное, перемещение, скорость, ускорение и импульс являются векторными величинами, путь по траектории и энергия – скалярные величины.

Современное естествознание предпочитает рассматривать не движение объектов, а изменение их состояния. Для пояснения сути процесса рассмотрим некоторые примеры.

1. В новогоднем стихотворении С.Я. Маршак верно подметил: «Как по лестнице, по елке огоньки взбегают ввысь». Мы наблюдаем движение объекта-огонька по неподвижной гирлянде (см. рис. 44).

Для лестницы характерно определенное расстояние между ступенями. В гирлянде это расстояние между соседними лампочками. Поэтому движение огонька – дискретное. Можно определить среднюю



Рис. 44. Схема движения огонька

скорость движения огонька за время пробега от низа до верха гирлянды. Но можно ли спросить: как движется огонек между соседними лампочками?

2. В электрическом поле по ряду положительно заряженных ионов  $\text{Na}^+$  в кристалле  $\text{NaCl}$  движется вакансия (вакантное для иона место) (рис. 45). Каждый из ионов смещается вправо только до соседнего свободного узла. Вакансия же пробегает в обратном направлении по всему ряду ионов.

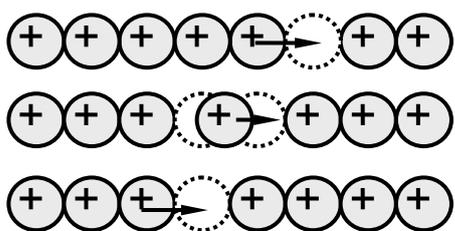


Рис. 45. Схема движения вакансии иона

Объект, движение которого мы наблюдаем, – это вакантное состояние узла решетки. В отличие от первого примера, при смещении ионов пустое место непрерывно «перетекает» по цепочке.

3. Игра «пятнадцать». В этом случае на 16 мест игрового поля одно остается свободным (вакантным). Передвигая в двух направлениях фишки, мы вызываем движение вакансии по всему полю. Каждый ход вызывает изменение состояния всего игрового поля.

Примеры 1–3 иллюстрируют эстафетный механизм движения, когда сигнал (или состояние) проходит весь путь за счет отдельных этапов, подобно движению эстафетной палочки. Аналогичным образом движутся дырки в полупроводниках. (Термин дырка означает вакантное энергетическое состояние.)

4. Все поле экрана монитора компьютера разбито на небольшие клетки-пиксели, координаты которых целочисленные. Чтобы на черном поле экрана высветить один пиксель, необходимо направить в точку с его координатами электронный луч. Последовательность соседних пикселей образует линию. При построении графиков на экране мы наблюдаем переход отдельных пикселей из «выключенного» состояния (не светятся) во включенное. На экране можно отобразить стрелу. Если значения координат каждого пикселя стрелы по горизонтальной оси

возрастут на единицу, то вся фигура сдвинется вправо на один почти незаметный шаг. Задав соответствующую программу, можно показать движение экранной (компьютерной) стрелы.

Механического движения пикселей нет, тем не менее мы наблюдаем движение объекта – стрелы. Для него можно определить среднюю скорость движения по экрану. Чем вызвано перемещение наблюдаемого объекта? Изменением состояния набора пикселей. Поэтому описанию движения стрелы как объекта, имеющего характеристики механического движения – траекторию и скорость, можно дать эквивалентное описание. Оно не будет использовать понятия механики. Вместо этого оно будет описывать изменения во времени состояния экрана компьютера.

5. Волновое движение также является переносом состояния движения (колебательного). Например, можно наблюдать движение максимумов и минимумов по поверхности озера или моря. Для такого движения характерно постоянное значение фазовой скорости волны (скорости переноса состояния колебания, его фазы). Напомним, что при движении волны нет переноса массы по пространству.

Приведенные примеры показывают следующее.

1. Мы можем наблюдать движение не только материальных объектов (точек или тел), но и состояний. Это могут быть активные состояния элементов системы или даже «пустота» – вакансии в пространственном расположении элементов или вакансии в энергетических уровнях системы. В любом случае состояние оказывается информационно-значимым, выделенным.

2. Движение состояний, в отличие от движения материальных точек, может быть дискретным, то есть пространственно или энергетически разделенным.

3. Иногда один и тот же процесс может быть описан двумя способами – и как движение объекта, и как движение состояния (см. пример с экранной стрелой).

Более важный пример дуализма описания движения связан с электромагнитными волнами. Теория Максвелла (классическая электродинамика) показала, что свет может быть представлен моделью синусоидальных волн, распространяющихся в вакууме со скоростью света. В квантовой теории (квантовая механика) свет представляется моделью квантов (фотонов), энергию которых определяет формула Планка:

$$E = h\nu. \quad (15)$$

Здесь  $h$  – постоянная Планка,

$\nu$  – частота световой волны.

Квантовая механика описывает движение электрона в атоме как изменение состояния. При поглощении фотона и переходе электрона с

одного энергетического уровня на другой изменяется состояние атома. Вопрос о том, как движется электрон между уровнями (или между орбитами), равноценен вопросам о движении пикселя между выключенным состоянием и включенном или о движении огонька между лампочками. Подобные вопросы просто не имеют физического содержания.

Иными словами, движение электрона в атоме (то есть связанного с ядром атома) – это движение (эволюция) состояния. Движение же свободного электрона, например в электронно-лучевой трубке, проще и понятнее описывать как движение по траектории объекта с известными значениями массы и заряда, т. е. как движение материальной точки.

Симметричны ли процессы движения?

Многие механические и химические процессы обратимы. Уравнения классической динамики обратимы по отношению к направлению времени. Наряду с ними существуют процессы принципиально необратимые: распад радиоактивных ядер, охлаждение нагретых тел, диффузия примесей в твердых телах, выравнивание концентраций, старение организмов и т. д. Асимметрия процессов движения (необратимых) задает направление стрелы времени.

### **4.3. Концепция четырехмерного пространства-времени**

Важнейшим достижением классического естествознания явилось открытие законов сохранения импульса и энергии. Эти законы остаются в силе и для современного естествознания, так как законы сохранения являются следствием свойств симметрии пространства и времени и не зависят от конкретного вида внутренних сил в замкнутой системе – электрических, механических, магнитных или ядерных. Проверка этих фундаментальных законов природы в области скоростей движения частиц, стремящихся к скорости света, приводит к неожиданным результатам.

Взаимодействием может быть удар двух частиц, например электрона и атома. При этом возможны потери кинетической энергии электрона. Если происходит возбуждение электронной оболочки атома, удар будет неупругим. При соударении двух протонов возбуждения не происходит, и удар является абсолютно упругим. Для таких случаев законы сохранения позволяют найти величины векторов импульсов частиц после удара. Отметим, не приводя вычислений, характерную особенность разлетающихся частиц: сумма углов разлета должна быть равна прямому углу.

Для регистрации столкновений протонов использовали метод ядерных фотоэмульсий, в которых заряженные частицы оставляют автографы – треки. После проявления фотопластинок следы, оставленные ча-

стицами разных энергий, рассматривали при увеличении, производили измерения углов разлета и пробегов рассеянных частиц (см. рис. 46).



Рис.46. Обработка следов микрочастиц

Проведенные в середине XX в. эксперименты показали, что в области скоростей, много меньших скорости света, имеется точное соответствие с предсказаниями классической механики. А вот при высоких энергиях протонов, при которых их скорость сопоставима со скоростью света, угол разлета оказывается заметно меньше девяноста градусов. Наблюдаемые факты можно интерпретировать двумя путями. Первый из них описан в школьном курсе физики. Здесь используют *классическое определение* импульса тела  $P=mV$  и вводится понятие динамической массы частиц, величина которой зависит от скорости движения частицы:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \quad (16)$$

Здесь  $m_0$  обозначает величину массы покоящейся частицы.

В современной физике принят альтернативный вариант, который исходит из закона сохранения импульса во всех инерциальных системах отсчета, в том числе в системах, движущихся со скоростями порядка скорости света. Этот вариант основан на новом, *релятивистском определении* импульса:

$$P = m \frac{V}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}, \quad (17)$$

где  $m$  является инвариантной массой частицы. Такая зависимость импульса от скорости движения частицы полностью согласуется со специальной теорией относительности (далее в тексте СТО) Альберта Эйнштейна.

В основу СТО положены два постулата.

1. Во всех инерциальных системах отсчета скорость света неизменна (является инвариантом) и не зависит от движения источника, приемника или самой системы отсчета:

$$c = inv.$$

В классической механике Галилея – Ньютона величина скорости относительного сближения двух *тел* (например автомобилей) всегда больше скоростей этих тел и зависит как от скорости одного объекта, так и от скорости другого. Невольно мы переносим свойства *тел* на свойства *света*, поэтому нам трудно поверить, что скорость *света* не зависит от скорости его источника, но это научный факт.

2. Согласно принципу относительности Эйнштейна, физические законы не только механики, но и электродинамики, оптики и другие остаются неизменными при переходе из одной инерциальной системы отсчета в другую.

Из этих постулатов следует, что реальное пространство-время образует единый четырехмерный пространственно-временной континуум (сокращенно будем его обозначать ПВК). Поэтому при переходе из одной инерциальной системы в другую сохраняется неизменной величина пространственно-временного интервала между событиями:

$$\Delta S = inv. \quad (18)$$

Величина  $\Delta S$  определяется следующим выражением:

$$\Delta S = \sqrt{c^2 \Delta t^2 - \Delta r^2}, \quad (19)$$

где  $\Delta r$  – пространственный интервал;

$\Delta t$  – временной интервал.

В отличие от динамики Ньютона (см. ниже 4.3.1), в СТО не существует событий *одномоментных во всех* системах отсчета. Здесь два события, одновременные в одной системе отсчета, выглядят разновременными с точки зрения другой, движущейся или покоящейся, системы отсчета.

В качестве иллюстрации приведем пример мысленного эксперимента с «поездом Эйнштейна» (см. рис. 47). Пусть двери вагона открываются при срабатывании фотоэлементов. В центре вагона находится наблюдатель № 1, он зажигает лампочку, свет которой и будет сигналом для появления тока в фотоэлементах и, соответственно этому, для открывания дверей.

Что увидят наблюдатели? Так как в движущейся системе свет от центра до краев вагона проходит *одинаковые* пути с одинаковой скоростью, то для наблюдателя № 1 (он считает свою систему неподвижной, а платформу – движущейся) двери откроются одновременно.

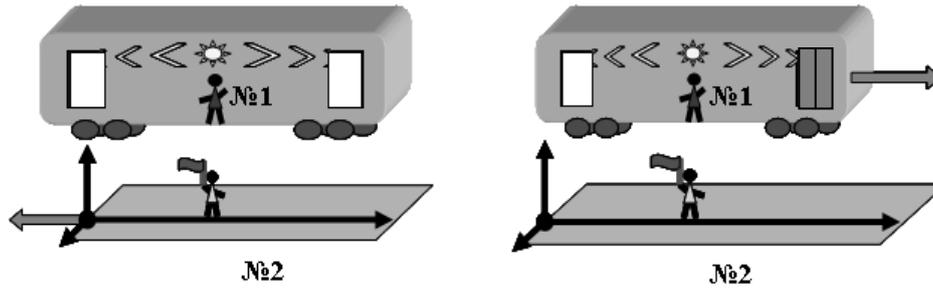


Рис. 47. Мысленный эксперимент с «поездом Эйнштейна»

Для наблюдателя № 2, который находится на платформе, мимо которой мчится «поезд Эйнштейна», задняя дверь приближается навстречу световой волне, а передняя дверь, наоборот, удаляется. С той же скоростью, что и в движущейся системе, свет пройдет до фотоэлементов дверей *разные* расстояния.

Путь до задней двери короче, и она откроется первой, затем откроется передняя дверь. Для неподвижного наблюдателя события будут разновременными. Конечно, рассмотренный пример является мысленным экспериментом, так как скорость реального поезда не может быть сопоставима со скоростью света. Подчеркнем, что мы считали скорость распространения света во всех системах одинаковой. Именно из-за этого возможна разновременность в разных системах отсчета.

#### 4.3.1. Преобразование координат и скоростей в СТО

Напомним, что в классическом естествознании время и координаты, например при движении одной системы отсчета по отношению к другой вдоль оси  $X$ , связаны соотношениями:

$$X^* = X - Ut, \quad t^* = t \quad (\text{время единое для всех систем!}).$$

В СТО пространственные координаты связаны преобразованием Лоренца:

$$X^* = \frac{X - Ut}{\sqrt{1 - \frac{U^2}{c^2}}}. \quad (20)$$

Как мы видим, от классического выражения эта зависимость отличается введением знаменателя, который стремится к единице при уменьшении скорости движения системы отсчета  $U$  (принцип соответствия теорий выполняется). Так как в теории Эйнштейна время и пространственные координаты равноправны, то формулы преобразования должны быть аналогичными по форме и симметричными.

Поэтому формулу для преобразования времени можно записать по аналогии, поменяв местами координаты  $X$  и  $t$ :

$$t^* = \frac{t - UX(?)}{\sqrt{1 - \frac{U^2}{c^2}}}.$$

Знак вопроса в скобках поставлен потому, что от времени можно вычитать только величину с размерностью времени. Чтобы получить необходимую размерность, следует произведение  $UX$  разделить на квадрат скорости (естественно, скорости света!).

Для размерностей будем иметь  $[X/c] = [t]$ , а  $[U/c] = 1$  – безразмерная величина. Тогда получим:

$$t^* = \frac{t - \frac{UX}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{U^2}{c^2}}}. \quad (21)$$

Преобразования, которые мы проделали, не являются *выводом* формулы для преобразования времени. Но они демонстрируют возможности научных методов аналогии и размерностей в естествознании.

Здесь используется то принципиально новое, что появляется в теории Эйнштейна – полное равноправие временной и пространственных координат.

Формулы преобразований Лоренца (20) и (21) позволяют получить ряд неожиданных, на первый взгляд, следствий.

Следствие 1

$$\Delta l^* = \Delta l \sqrt{1 - \frac{U^2}{c^2}} \quad (22)$$

Следствие 2

$$\Delta t^* = \frac{\Delta t}{\sqrt{1 - \frac{U^2}{c^2}}} \quad (23)$$

Следствие 3

$$V^* = \frac{V + U}{1 + \frac{VU}{c^2}} \quad (24)$$

Первое следствие выражает релятивистское сокращение длин отрезков в движущейся системе отсчета по сравнению с их длинами в неподвижной системе. А именно, наблюдатель, движущийся с релятивистской скоростью относительно неподвижного стержня  $\Delta l$ , увидит его более коротким. Второе следствие – это релятивистский эффект увеличения интервалов времени между двумя последовательными, причинно связанными событиями в быстро движущейся системе отсчета по сравнению с соответствующим интервалом в неподвижной системе. Третье следствие определяет закон сложения скоростей тел в СТО. Из него

автоматически получается, что если скорость  $V = c$ , то и  $V^* = c$  при любой скорости движения системы отсчета  $U$ .

Эти следствия совершенно симметричны относительно обоих наблюдателей. Поэтому *размеры* релятивистских объектов в направлении движения, видимые с точки зрения неподвижного наблюдателя, *уменьшаются*, тогда как *длительность* процессов в релятивистских объектах *увеличивается* с точки зрения неподвижного наблюдателя.

Необходимо подчеркнуть, что необычные изменения, вытекающие из приведенных формул, являются чисто кинематическими эффектами и не связаны с действием каких-либо сил природы.

В специальной теории относительности получено следующее выражение для энергии покоящейся частицы:

$$E_0 = mc^2. \quad (25)$$

Это самая известная формула специальной теории относительности. Она показывает, что массе частицы отвечает эквивалентное количество энергии и, наоборот, данному количеству энергии можно поставить в соответствие вполне определенную величину массы. Очевидно, что для этой энергии нет аналога в классическом естествознании, где для неподвижного тела имеется потенциальная энергия взаимодействия частей тела, но она явным образом зависит от расстояния между взаимодействующими частями тела. Можно сказать, что  $E$  – это потенциальная энергия внутренних уровней взаимодействия, которые не могут быть сведены к механическому движению, гравитационному или кулоновскому взаимодействиям.

Полная энергия движущейся частицы, согласно СТО, выражается зависимостью:

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}. \quad (26)$$

В классическом естествознании из однородности пространства следует закон сохранения импульса, а из однородности времени следует сохранение энергии. В СТО сохраняется объединенная величина «энергия-импульс». Таким образом, роль СТО в современном естествознании – это роль объединительной концепции пространства и времени.

#### **4.3.2. Применение СТО в современном естествознании**

Как уже было рассмотрено в п. 3.1, каждая элементарная частица имеет своего двойника, который отличается от нее лишь знаком

электрического заряда. Массы покоя частицы и ее античастицы одинаковы, например электрон и позитрон имеют массы покоя, равные  $0,911 \cdot 10^{-30}$  кг или 0,511 МэВ. В ядерной физике на основании эквивалентности массы и энергии – формула (25) – величину массы элементарных частиц выражают в энергетических единицах – электронвольтах (эВ) и производных единицах мегаэлектронвольтах.

Если частица и античастица встречаются в одной точке пространства, то они взаимно аннигилируют, т.е. исчезают как частицы с отличными от нуля массами покоя. Согласно СТО полная энергия двух частиц переходит в энергию фотонов – частиц электромагнитных излучений. Фотоны имеют нулевое значение массы покоя, поэтому они могут двигаться со скоростью света (неподвижных фотонов не бывает). Источником позитронов в лабораториях обычно служат радиоактивные нуклиды, например ядра изотопа фосфора с массовым числом 31. Другие античастицы образуются в ходе реакций между микрочастицами, разогнанными до высоких скоростей в ускорителях.

Особенностью аннигиляционного электромагнитного излучения является высокая энергия образующихся фотонов, высокая – по сравнению с энергией химических связей атомов в молекулах или электронов с ядрами атомов. Напомним, что для ионизации атома водорода необходимо 13,6 эВ. А энергия фотона при аннигиляции бета-частиц будет равна:

$$W_\gamma = 2m_0c^2 + \frac{m_0V_+^2}{2} + \frac{m_0V_-^2}{2}. \quad (27)$$

В энергию излучения переходит удвоенная энергия-масса покоя частиц и обычно малая кинетическая энергия электрона и позитрона.

Возможна и обратная реакция перехода энергии гамма-квантов в энергию-массу пары «частица – античастица» (рис. 48). Этот процесс более эффективно происходит вблизи тяжелых ядер, где велики искажения пространственно-временного континуума.

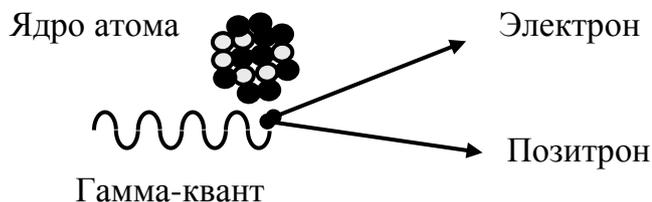


Рис. 48. Схема процесса образования пары частица – античастица

Энергии гамма-кванта должно быть достаточно для появления массы покоя двух частиц и сообщения компонентам образованной пары кинетической энергии (чтобы «близнецы» могли разлететься друг от друга). Образовавшаяся античастица оказывается в чуждом для нее

мире, окруженной многими обычными частицами вещества, и вскоре аннигилирует.

В ядерных реакциях был обнаружен необычный эффект, названный дефектом массы. Рассмотрим, например, реакцию образования одного из трех изотопов водорода – дейтерия (рис. 49). Когда протон и нейтрон сближаются на расстояние действия ядерных сил, происходит образование ядра дейтерия.

При этом выделяется энергия  $W$ , во много раз (в миллионы раз) большая, чем в обычных химических реакциях, например чем в реакции образования молекулы водорода из двух атомов. Согласно выводам теории относительности, выделение и передача во внешнюю среду энергии сопровождается уменьшением полной массы системы.

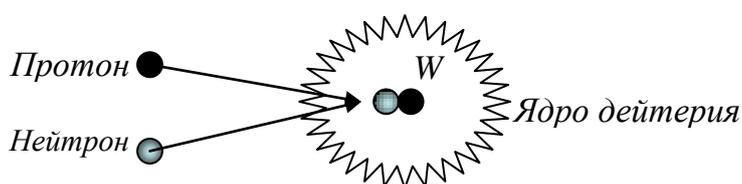


Рис. 49. Схема образования ядра дейтерия

По этой причине экспериментально определяемая масса ядра дейтерия меньше, чем сумма масс свободных протона и нейтрона. Величина разности масс получившегося ядра и исходных частиц получила название дефекта масс:

$$\Delta m = \frac{\Delta W}{c^2}. \quad (28)$$

Подобный эффект сопровождает образование и других ядер. Без понимания возможности эквивалентных изменений энергии и массы нельзя объяснить наличие дефекта масс у ядер всех химических элементов.

Возможен и обратный процесс, в результате которого сумма масс родившихся элементарных частиц будет больше, чем масса покоя исходных частиц. Такого эффекта в классическом естествознании не предполагалось. Он проявляется в тех случаях, когда в реакциях с другими микрочастицами подведенная извне к этим частицам энергия переходит в массу новых образующихся частиц. Закон сохранения энергии-массы не запрещает рождение все более массивных микрочастиц при столкновении микрочастиц на ускорителях (см. рис. 31), была бы достаточной величина подводимой в зону реакции энергии!

До каких пор возможно такое «утяжеление» вновь рождающихся частиц? Фантазируя, некоторые писатели полагают возможным даже рождение новых вселенных в результате каких-то мощных энергетиче-

ских процессов, управляемых разумными существами в других галактиках... Однако это не так. Самая массивная из известных в настоящее время микрочастиц – скалярный  $Z$ -бозон – имеет массу, сравнимую с массой атома серебра. Для микрочастиц это большая величина, но она не сопоставима даже с разновесом в 1 грамм.

Ниже мы рассмотрим, по каким физическим соображениям возрастание массы микрочастиц ограничено некоторым фундаментальным пределом, и поэтому вселенные в известных сейчас взаимодействиях не образуются.

### 4.3.3. Гипотеза частицы-максимона

Наш мир характеризуется набором фундаментальных постоянных, которые входят в самые существенные постулаты, определения, законы. Перечислим те из них, которые характеризуют гравитацию, квантование энергии и скорость распространения физических взаимодействий:

$$\begin{aligned} h & - \text{постоянная Планка, размерность } [h] = \text{Дж}\cdot\text{с} = \text{кг}\cdot\text{м}^2\cdot\text{с}^{-1}, \\ c & - \text{скорость света, } [c] = \text{м}\cdot\text{с}^{-1}, \\ G & - \text{гравитационная постоянная, } [G] = \text{кг}\cdot\text{м}^3\cdot\text{с}^{-2}. \end{aligned}$$

Можно полагать, что комбинация этих мировых постоянных тоже будет иметь физический смысл некоторой фундаментальной величины, особенно если размерность комбинации постоянных будет совпадать с размерностью массы, времени или пространственного интервала.

В частности, вы можете самостоятельно выполнить простые преобразования и убедиться, что с размерностью массы совпадает размерность следующего выражения:

$$\left[ \sqrt{\frac{hc}{G}} \right] = [m].$$

Поскольку имеется однозначное соответствие между уравнениями для физических величин и уравнениями для их размерностей (вспомним обязательную проверку размерностей при решении задач!), то можно записать аналогичное равенство уже для самих постоянных:

$$\sqrt{\frac{hc}{G}} = m_{\text{max}}. \quad (29)$$

В настоящее время полагается, что формула (29) позволяет оценить порядок величины предельной массы элементарной частицы, больше которой не должно быть в нашей Вселенной. Такая гипотетическая частица была названа академиком Марковым «максимонем». Численный расчет, который Вы сами можете проделать по формуле (29), приводит

к значению  $m_{\max} = 3 \cdot 10^{19}$  масс протона, что соответствует примерно пяти сотым грамма. Если оценить затраты энергии, необходимые для рождения максимона по формуле Эйнштейна (25), то она окажется экстремально большой – порядка десяти в двадцать второй степени мегаэлектронвольт. Такая энергия недоступна человеку сейчас и в обозримом будущем.

Использованный нами научный метод соответствия размерностей можно использовать далее для оценки других фундаментальных величин.

#### 4.3.4. Концепция квантования пространства и времени

Полученную выше комбинацию мировых постоянных с размерностью массы можно считать естественной единицей измерения массы, в отличие от принятой по соглашению метрологов единицей 1 кг. Точно так же можно ввести естественную единицу измерения расстояний. Убедимся, что размерность длины соответствует размерности следующего выражения:

$$\left[ \sqrt{\frac{hG}{c^3}} \right] = [l]. \quad (30)$$

Перейдем к формуле для физических величин:

$$\sqrt{\frac{hG}{c^3}} = L_P. \quad (31)$$

Введенную постоянную называют длиной Планка, о чем напоминает ее подстрочный индекс. Если выполнить расчет, то получим для планковской длины величину порядка десяти в минус тридцать пятой степени метра. Полагают, что меньших интервалов пространства не существует. Это как бы предел дискретности, делимости пространства.

Соответствующее планковское время, с минимальной длительностью, можно найти как интервал времени, необходимый свету для прохождения длины Планка:

$$t_P = \frac{L_P}{c}. \quad (32)$$

Порядок величины планковского времени оказывается равен десяти в минус сорок третьей степени секунды.

Несмотря на свою простоту, приведенные оценки играют очень большую роль в современном естествознании. Они служат базой для концепции квантового пространственно-временного континуума. В рамках этой концепции полагают, что пространство и время можно считать непрерывными только до тех пор, пока масштаб расстояний много

больше планковской длины, а масштаб временных интервалов не подходит к рубежу планковского времени. При сопоставимых расстояниях или при сопоставимых временных «отрезках» пространство-время дискретно.

Мысленно вообразите себе кубик, ребро которого равно планковской длине. Это будет самое упрощенное представление о трехмерной проекции «элементарной ячейки» четырехмерного пространственно-временного континуума. Меньших объемов различить будет невозможно.

Движение частицы-объекта в такой модели будет подобно движению состояния-огонька по гирлянде лампочек, о котором мы говорили ранее. Частица-состояние исчезает в одной «ячейке» и появляется, рождается в соседней, делая дискретный шаг в четырехмерном пространстве-времени. С большого, макроскопического расстояния дискретность движения будет неразличима.

Конечно, нам весьма трудно представить себе четырехмерные кубики и процесс движения по таким ячейкам. В какой-то мере здесь можно воспользоваться научным методом аналогии. Попробуем рассмотреть процесс движения частицы в привычном для нас трехмерном пространстве, но с точки зрения двухмерных существ, «плоскатики». (Хорошим примером двухмерного наблюдателя является тень на плоскости от реального наблюдателя – тень не имеет толщины.) Пересечем трехмерный тор (бублик) плоскостью. Она будет областью существования «плоскатики» (рис. 50). Пусть частица с площадки № 1 переходит на площадку № 2 по траектории, показанной на рисунке пунктиром (внутри трехмерного тора). Для нас, трехмерных существ, ничего необычного нет, мы все время видим траекторию движения. А вот для плоскатики будет парадоксом попадание частицы с одной площадки на другую, так как они (площадки) на их плоскости пространственно разнесены.

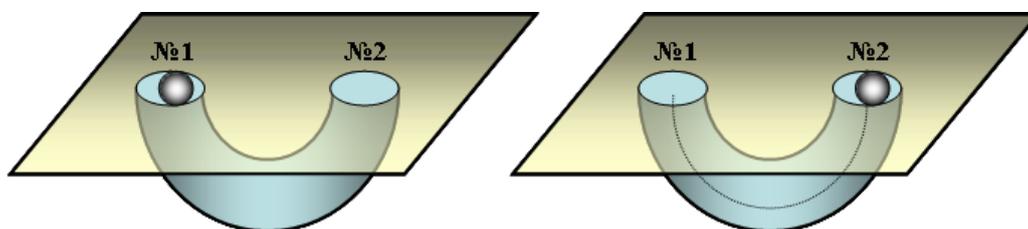


Рис. 50. Связь двух положений в разных измерениях

Для плоских существ будет непонятным, как разделенные участки плоскости могут принадлежать чему-то общему, какому-то трехмерному тору. Ведь чтобы увидеть эту общность, надо выйти за пределы привычной плоскости, стать трехмерными существами.

Приведенная аналогия нужна вот для чего. Реально микрочастица-состояние движется в четырехмерном «объеме». След же ее приборы регистрируют в трехмерном пространстве. Поэтому частица может на какое-то время «исчезать» из трехмерного сечения многомерного континуума, как она уходит из плоского сечения тора на рис. 50. И появляться «внезапно» в другом месте трехмерного сечения.

Геометрические (топологические) свойства таких пространств отвечают за тот спектр масс, зарядов, спинов, которые наблюдаются для элементарных частиц в настоящее время. По последним теориям для описания наблюдаемых значений требуется двенадцатимерное пространство. Высокая размерность становится заметной только на планковских расстояниях, тогда как на больших масштабах проявляется основная размерность, равная четырем.

#### 4.4. Общая теория относительности Эйнштейна

*Вещь, помещенной будучи, как в Аш-два-О,  
в пространство, презирая риск,  
пространство жаждет вытеснить;  
но ваш глаз на полу не замечает  
брызг пространства...*

И. Бродский

Согласно представлениям Эйнштейна, взаимное притяжение вещественных тел друг к другу обусловлено тем действием, которое присутствие вещества оказывает на четырехмерный пространственно-временной континуум (далее в тексте ПВК).

В классическом естествознании априори признается, что материальные тела могут двигаться в пространстве и во времени, не оказывая какого-либо влияния на них. Есть сцена – пространство и время, и есть актеры – вещества во всех формах и проявлениях процессов превращений. Фон или сцена остаются безучастными к развитию действия.

Революционная идея Эйнштейна состояла в своеобразном объединении актеров и сцены, *во влиянии вещества на геометрические характеристики четырехмерного континуума*. Все мы – существа трехмерные, и нам трудно (даже на интуитивном уровне) представить себе континуум четырех измерений. Снова в какой-то мере может помочь аналогия с *плоскатыками*, или тенями на поверхности.

Мы легко будем видеть все процессы как двухмерного мира, так и трехмерного. А для плоскатыков будет весьма трудно представить себе трехмерный мир, так как их понятийный аппарат выработан для

пространства с двумя только измерениями. После такого необходимого вступления разберем один из парадоксов мира плоскатики.

Пусть два массивных, но плоских объекта движутся строго на север по поверхности сферы (рис. 51). Очевидно, что расстояние  $S$  между ними будет непрерывно сокращаться.

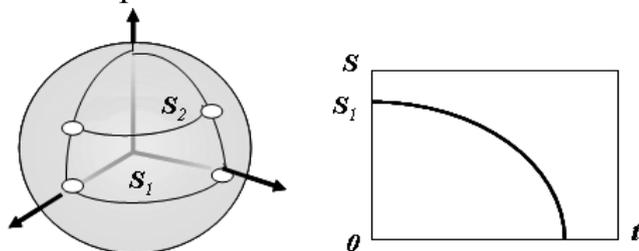


Рис. 51. Схема движения двух плоских объектов по меридианам

При движении каждого объекта по своему меридиану плоскатики замечают взаимное сближение в направлении, которое перпендикулярно направлению их перемещения.<sup>1</sup> В конечном счете чтобы не столкнуться, им придется использовать какую-нибудь силу, например силу тяги плоскомобилей, в которых они путешествуют. Плоскатики будут убеждены, что объективно существует сила их взаимного притяжения. Нам же очевидна иная причина сближения – кривизна поверхности сферы. Мы видим это потому, что находимся в пространстве с большей размерностью.

Таким образом, если считать силой любую причину изменения состояния движения объектов, кривизна пространства играет роль, эквивалентную силе. Общая теория относительности утверждает, что причиной гравитационного притяжения всех тел является кривизна четырехмерного пространства-времени. Математическое описание ОТО дается на языке тензорного исчисления, достаточно сложного для того, чтобы приводить конкретные формулы.

Искажения возникают вследствие самого факта присутствия массы.

По образному выражению одного из американских ученых Дж. Уиллера, «вещество диктует пространству, как ему искривляться, а искривленное пространство указывает веществу, как ему двигаться в нем».

Если огромная масса вещества находится во вращательном движении, то окружающее пространство не только «растягивается», но и закручивается. Такое комплексное искажение пространства-времени особенно заметно вокруг сверхмассивных Черных дыр, которые находятся в центрах многих галактик. Но и вращение Земли сказывается на геометрических характеристиках пространства вокруг нее. В 2007 г. группа

ученых из НАСА (США) обнаружила закручивание пространства по слабым эффектам в движении спутника Земли (см. рис. 52).

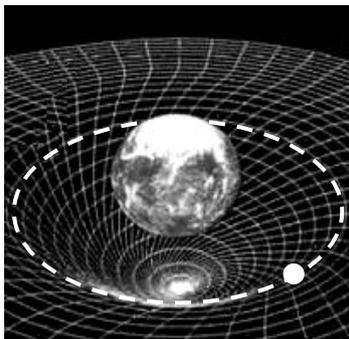


Рис. 52. Деформация пространства Земли

Общая теория относительности (ОТО) Эйнштейна постулирует невозможность отличить движение тела в поле гравитации от движения по инерции. Это означает эквивалентность инерциальной и гравитационной масс, что неявно предполагалось и в динамике Ньютона. Следует отметить, что не все согласны с точкой зрения Эйнштейна на природу тяготения. Так, академик А. Логунов считает, что четырехмерное пространство всегда остается плоским, а силы притяжения возникают как следствие релятивистских эффектов. Причины сомнений, приводимые А. Логуновым, уважительны.

Дело в том, что понятия энергии и импульса важны в связи с законами их сохранения. В классическом естествознании, согласно теореме Нетер, для *плоского* ПВК сохранение энергии определяется однородностью времени, сохранение импульса определяется однородностью пространства, сохранение момента импульса определяется изотропностью пространства. Очевидно, что для *искривленного* пространства-времени нет больше изотропности и однородности, так как кривизна может изменяться от точки к точке. Отсюда возникают сомнения: существуют ли вообще в ОТО законы сохранения энергии-импульса?

Сам А. Эйнштейн допускал несохранение энергии *локально*, но так чтобы в макропределах законы сохранения восстанавливались. Полемика по этому поводу не привела к однозначности, вопрос остается дискуссионным для современного естествознания.

Эмпирические доказательства правильности выводов ОТО:

- отклонение луча света в поле тяготения Солнца;
- смещение перигелия орбиты Меркурия;
- изменение частоты электромагнитной волны в поле тяготения.

Первое из прямых свидетельств в пользу ОТО было получено при наблюдении Эдингтоном одного из очередных полных затмений Солнца в 1919 г. (см. рис. 53). Позднее была установлена прецессия, дополнительное вращение орбиты Меркурия при обращении планеты вокруг Солнца, параметры которой согласовывались с предсказаниями ОТО. Наконец, уже в наши годы были выполнены эксперименты по измерению малых изменений частоты электромагнитных излучений при их распространении вверх, по сравнению со случаем их движения вниз, в гравитационном поле Земли.

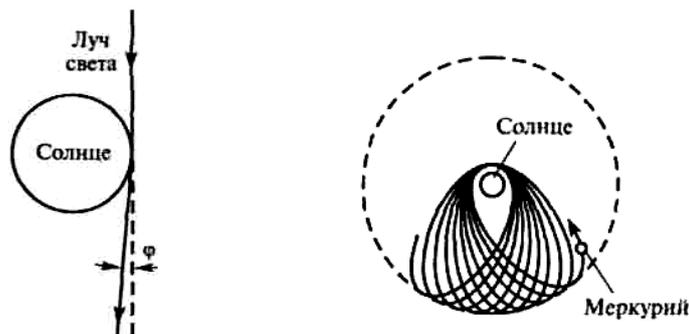


Рис. 53. Смещение луча света и прецессия орбиты Меркурия

Еще один пример. Вследствие быстрого движения спутников глобальной системы *GPS* бортовые часы должны отставать от земных на 7 мкс в сутки. Но меньшая сила земного тяготения на орбите заставляет их уходить вперед на 45 мкс/сутки. В итоге для получения точных *GPS*-данных необходимо вводить в показания бортовых часов поправку на 38 мкс/сутки.

Общая теория относительности оставила след и в гуманитарной культуре. Так, в фильме З. Рыбчински «Четвертое измерение» в динамике показано, как человек мог бы воспринимать искажения пространства массивными телами (кадр слева) и видеть непрямолинейное движение тел, включая самого человека (рис. 54). В таком пространственно искаженном мире все предметы и части тел двигались бы по криволинейным путям.

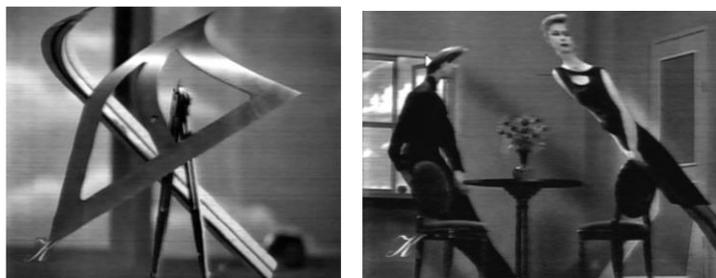


Рис. 54. Кадры из фильма «Четвертое измерение»

Если пространственное распределение массы вещества меняется с течением времени, то должно возникать динамическое гравитационное поле. Как и для поля электромагнитного, более простое математическое описание получается для предельного случая, когда точка наблюдения находится на далеком расстоянии от источника волн. Гравитационные волны – поперечные. Будучи предсказанными А. Эйнштейном в общей теории относительности, они до сих пор *непосредственно* не обнаружены. Однако косвенным образом они были идентифицированы в движении двойных звезд. В течение более десяти лет наблюдали отставание

фазы затмения одного из пульсаров (быстро вращающейся нейтронной звезды) звездой-спутником.

Отставание возникает из-за потерь энергии системы двух звезд на гравитационное излучение. Наблюдаемые данные, приведенные в виде точек на графике, хорошо согласуются с расчетами потерь энергии по теории Эйнштейна (сплошная кривая линия на рис. 56).

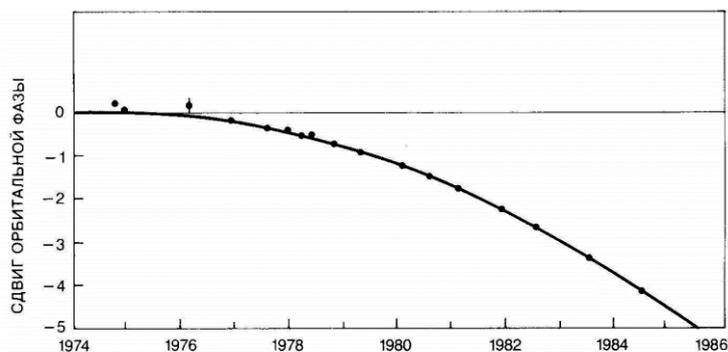


Рис. 56. Результаты наблюдений сдвига фазы

Поэтому существование динамических гравитационных полей особых сомнений у физиков не вызывает, они доверяют надежным косвенным данным. Теперь необходимо прямое экспериментальное наблюдение динамических полей гравитации.

Первая антенна гравитационных волн в виде двух алюминиевых цилиндров была построена в начале 60-х гг. Дж. Вебером в США. Чувствительность их, как и более поздних сапфировых антенн, сделанных в России коллективом физиков МГУ под руководством В.Б. Брагинского, оказалась недостаточной. В настоящее время разработаны инженерные проекты лазерно-интерференционных гравитационных обсерваторий (проекты LIGO, VIRGO, LISA). Аббревиатура LIGO означает в переводе на русский язык «лазерная интерферометрическая гравитационно-волновая обсерватория». Назначение LIGO – наблюдение гравитационных волн космического происхождения. LIGO будет искать гравитационные волны, порожденные процессами взрывов сверхновых звезд, на месте которых образуются нейтронные звезды и черные дыры.

На поиски гравитационного излучения нацелен и спутниковый проект LISA (лазерно-интерферометрическая спутниковая антенна). Космическая антенна будет расположена на той же орбите вокруг Солнца, что и Земля. В ней, как и в антеннах LIGO и VIRGO, будут использованы зеркала (центральный элемент в спутниках) и лазерный интерферометр для измерения их малых относительных колебаний (амплитуда  $10^{-9}$  см при расстоянии между зеркалами в 5 млн км).

В завершении главы 4 отметим несколько важных для современного естествознания моментов.

1. В эволюции естествознания прослеживается сосуществование двух концепций пространства, времени и движения – субстанциональной и реляционной. Классическое естествознание основано на первой из названных. В нем первичны трехмерное пространство и одномерное время, как независимые компоненты. Вещество не влияет на эти однородные и высокосимметричные среды (субстанции). Масса тела является мерой вещества, инертности и гравитационного взаимодействия.
2. Развитием идеи независимости всех процессов движения от выбора системы отсчета явилась специальная теория относительности. В ней показано, что классическое разделение общего пространства-времени при больших скоростях движения не допустимо. Мир оказывается четырехмерным континуумом, в котором время есть равноправная составляющая, *симметричная* пространственным координатам. В этом четырехмерном мире выполняются законы сохранения энергии-импульса, увеличения интервалов времени между причинно-связанными событиями и уменьшения продольных размеров тел.
3. Общая теория относительности вносит еще более значимые концептуальные изменения в понимание связи пространства-времени с движением массивных тел. Обнаруживается единство и самосогласование процесса движения тел и изменений геометрических характеристик (метрик) пространственно-временного континуума. Поскольку искажения ПВК оказывают действие эквивалентное силе классической физики, то можно говорить о геометризации природы гравитационных сил. Возле объектов вселенной с огромной массой (Черных дыр) пространство в максимальной степени искажается и закручивается, а течение времени замедляется.
4. Очевидно, что общая теория относительности ближе к реляционной концепции, связывающей течение (и измерение) времени с общим движением материального мира. Она оказывается созвучной представлениям античных натурфилософов. В частности, напомним о роли «места» пространства у Аристотеля (см. п. 4.1). Он полагал, что оно может оказывать силовое действие на тело. Как и у Платона, в ОТО пространство «материализуется», поскольку на материальные тела действие оказывают только материальные субстраты.
5. Квантовые аспекты теории пространства-времени выражаются в возможности проявления в нашем трехмерном мире некоторых

эффектов, связанных с более высокими пространственными измерениями.

### ***Задания для самостоятельной работы***

1. Приведите в рабочей тетради пример ситуации из Вашей жизни, в которой время «пролетело» незаметно для Вас, и противоположный пример.
2. Приведите пример процесса, который может быть описан и как движение объекта, и как изменение состояния системы с его участием.
3. Проверьте выполнение общеметодического принципа науки о соответствии двух теорий (более общей и частной), получив формулу замедления времени (23) для случая малых скоростей движения ( $U \ll c$ ).
4. При малой скорости движения время жизни пи-плюс-мезона от рождения до распада составляет 26 нс. Рассчитайте по формуле (23), каким будет время жизни этого мезона в составе космических лучей, где скорость мезона составляет  $U = 0,9c$ .