

В истории физики можно выделить, прежде всего, четыре возникшие последовательно в разное время концептуальные системы – физические картины мира: механическую, электромагнитную, релятивистскую и квантовую. Появление очередной физической картины мира открывало новое видение физической реальности, показывало, что физический мир более сложный, чем представлялся до тех пор, обогащало физическое познание мира новыми установками, идеалами. Но не следует думать, что очередная физическая картина мира отменяла предыдущие, отвергала их. Прежние физические картины мира конечно же оставались, но что-то в них устаревало, теряло свою значимость, т. к. противоречило новым физическим знаниям, но что-то важное сохранялось, не утратив своей ценности. Например, механические взгляды со временем были ограничены макромиром и мегамиром, а также скоростями, намного меньшими скорости распространения света в вакууме. Данную мысль можно выразить по-другому: в ходе развития физики происходит не полная замена одной концептуальной системы другой, а наблюдается последовательное ступенчатое усложнение концептуальной системы. Таким образом, современная физическая картина мира закономерно представляет собой иерархию (что-то наподобие слоеного пирога) из, главным образом, четырех концепций физики:

1) механической концепции, не теряющей своей значимости благодаря объективному существованию вещественной формы материи (на макроуровне и мегауровне ее организации) и способности ее к механической форме движения (со скоростями, намного меньшими скорости распространения света в вакууме);

2) электромагнитной концепции, не теряющей своей значимости благодаря объективному существованию специфически движущегося электромагнитного поля (и других видов физических полей) для обеспечения бесконтактного взаимодействия вещественных объектов;

3) релятивистской концепции, не теряющей своей значимости, во-первых, благодаря существованию объективной связи пространственно-временных свойств материальных объектов и их массы со скоростью механического движе-

ния вещественных объектов (но не выше скорости распространения света в вакууме) и близостью тяготеющих масс, связанных с выбором системы отсчета, а во-вторых, благодаря объективному существованию инвариантности скорости распространения света в вакууме и пространственно-временного интервала;

4) квантовой концепции, не теряющей своей значимости благодаря объективному существованию микромира и физического вакуума, где дискретные (прерывные) частицы вещества могут проявлять свойства непрерывности (континуальности), а континуальные (непрерывные) физические поля и физический вакуум могут разделяться на дискретные (прерывные) частицы (порции).

## 1.1. Механическая концепция

- *о вещественных объектах макро- и мегауровня организации вещества, их механическом движении при скоростях, значительно меньших скорости света, и взаимодействии*

*Механические представления о материи и ее движении формировались благодаря научной теории механике, со временем ставшей классической, основы которой были заложены в XVII в., в первую очередь, такими учеными, как итальянский физик, астроном, философ и математик Галил'ео Галил'ей и английско-британский физик, математик и астроном Иса'ак Нь'ютон. Они до сих пор в определенной степени сохраняют свою актуальность и не утратили не только своей научной, но и культурной ценности. Но область их применимости теперь ограничена рамками вещества макромира и мегамира, а также скоростями, значительно меньшими скорости света (намного меньшими без малого 300 тыс. км/с).*

Вещество – это основной вид материи, единицы которой в виде разнообразных вещественных объектов обладают массой покоя. Отсюда, масса характеризует количество вещества в отдельно взятом вещественном объекте. Отдельно взятые вещественные объекты называют телами. Тела состоят из частиц.

Тела макромира организации вещества удалены от наблюдателя или видеокамеры на небольшие расстояния, еще сопоставимые с размерами человеческого тела. Это как раз все те тела, которые можно увидеть, в том числе с помощью увеличительных приборов и средств телевидения, на поверхности и в глубинах суши или воды, а также в воздухе в пределах земного пространства, или же внутри или снаружи космического аппарата (на небольшом удалении от него). А тела мегамира организации вещества удалены на такие расстояния, которые уже никак не сопоставимы с размерами человеческого тела. Это все небесные (космические)

тела. Для их изучения с земной поверхности или околоземной орбиты трудно обойтись без технических ухищрений в виде астрономических приборов и инструментов. Если на какое-либо небесное тело будет доставлен пилотируемый или автоматический космический аппарат, то все тела, которые можно будет увидеть наблюдателю непосредственно или дистанционно с помощью средств телевидения на поверхности этого небесного тела, внутри него или в его окрестностях, следует отнести уже к макромиру.

Механическое движение тел (в том числе их частей) макро- и мегауровня организации вещества сводится к изменению их положения относительно друг друга. Любая точка тела, смещаясь относительно других точек этого же тела или других тел от одного момента времени к другому, образует линию, которую называют траекторией. Траектория должна быть непрерывной. Это значит, что между даже самыми близкими точками траектории всегда можно найти промежуточные точки, соответствующие промежуточным моментам времени. Ведь действительно, не может же тело в какой-то точке траектории (в какой-то момент времени) исчезнуть неизвестно куда или появиться неизвестно откуда.

К простейшим видам механического движения относят поступательное и вращательное движения. При поступательном движении все точки тела смещаются одинаково, и любой отрезок прямой, соединяющей две произвольные точки этого тела, остается параллельным своему положению в любой момент времени. При поступательном движении все точки тела описывают одинаковые траектории, совпадающие при наложении. Если траектории образуют прямые линии, тогда поступательное движение будет прямолинейным, а если не прямые, какой-либо кривизны линии, тогда поступательное движение будет криволинейным. В качестве примера прямолинейного поступательного движения можно привести смещение кабины лифта относительно здания, а криволинейного поступательного движения – смещение кабины колеса обозрения относительно основания этого колеса обозрения. При вращательном движении все точки тела смещаются по окружностям или дугам окружностей, центры которых лежат на прямой, называ-

емой осью вращения. Таким образом, при вращательном движении точки тела могут описывать как одинаковые траектории, совпадающие при наложении, если они находятся на одинаковом расстоянии от оси вращения, так и разные траектории, но в любом случае имеющие вид окружностей или дуг окружностей. При этом окружности или дуги окружностей лежат в параллельных плоскостях, перпендикулярных к оси вращения. Ось вращения может располагаться внутри тела или за его пределами. Примеры вращательного движения, когда ось вращения расположена внутри тела: вращение Земли вокруг собственной оси, вращение карусели. Примеры вращения, когда ось вращения находится за пределами тела: вращение камня, привязанного к веревке, вращение человека на карусели.

В теоретическом описании смещающегося тела, когда многими его свойствами можно пренебречь, используют абстракцию в виде материальной точки, которая обозначается точкой, но в отличие от просто точки материальная точка вещественна и обладает массой.

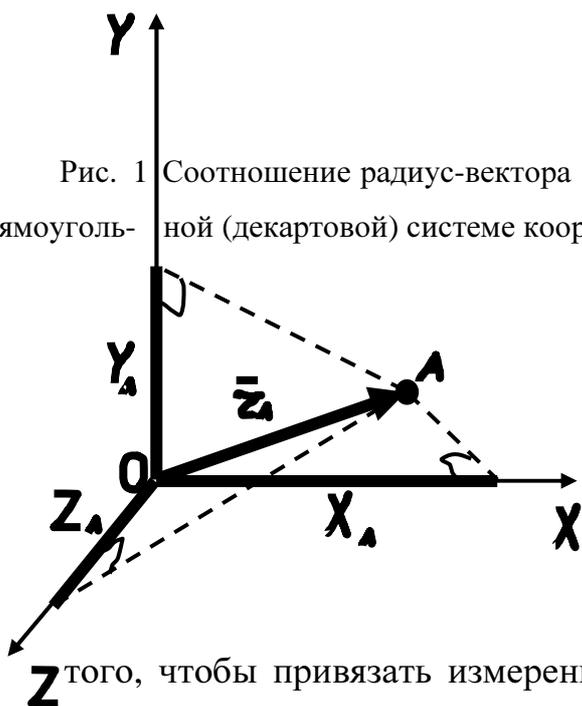
Определенность материального объекта, его индивидуальность, особенность в какой-то конкретный момент времени характеризуется как его состояние. Для удобства изучения состояние материального объекта определяют по ограниченному количеству параметров, наилучшим образом описывающих это состояние. Чтобы количественно описать в какой-то момент времени (какой-то точке траектории) состояние смещающейся материальной точки, достаточно знать два параметра:

- 1) три пространственные координаты или радиус-вектор;
- 2) импульс.

Координаты – это величины, определяющие положение материальной точки в пространстве, определяются в принятой системе отсчета (измерения). Система отсчета представляет собой совокупность тела отсчета, а также связанных с этим телом отсчета системы координат и системы отсчета времени. Тело отсчета представляет собой конкретное тело, относительно которого наблюдается изменение положения материальной точки. Система координат, связанная с телом отсчета,

позволяет определить координаты. Например, простейшая прямоугольная (декартова) система координат образована тремя взаимно перпендикулярными осями координат (осью абсцисс, осью ординат и осью аппликата), пересекающимися в точке, называемой началом координат. Координаты материальной точки (абсцисса, ордината и аппликата) определяются длинами отрезков от начала координат до точек на соответствующих координатных осях, которые получаются при пересечении плоскостей, проведенных через материальную точку параллельно плоскостям, образованным каждой парой осей координат. А радиус-вектор определяется как вектор, идущий из начала координат к материальной точке. При этом проекции радиус-вектора материальной точки на оси координат совпадут с координатами этой материальной точки (рис. 1). Система отсчета времени необходима для

Рис. 1 Соотношение радиус-вектора  $\vec{r}_A$  и координат  $X_A$ ,  $Y_A$  и  $Z_A$  материальной точки  $A$  в прямоугольной (декартовой) системе координат



того, чтобы привязать измеренные координаты или радиус-вектор к тому или иному моменту времени.

Импульс определяется через произведение массы на мгновенную скорость и характеризует количество и направление поступательного движения. При этом мгновенная скорость характеризует минимально возможную быстроту и направление смещения материальной точки в какой-то момент времени.

Смещение материальной точки из одной точки траектории в другую сопро-

вождается изменением ее состояния.

Пока на материальную точку не действуют какие-либо силы, а также когда все действующие на нее силы взаимно уравновешены, она сохраняет свой импульс.

Если импульс имеет нулевое значение, т. е. материальная точка находится в покое, то покой сохраняется в выбранной системе отсчета, а именно полностью сохраняется состояние этой материальной точки: и значение координат или радиус-вектора, и нулевое значение импульса. Но покой относителен в том смысле, что он может измениться при выборе другой системы отсчета. Например, сидящие в автомобиле пассажиры остаются в покое по отношению к автомобилю как системе отсчета, независимо от того смещается автомобиль или нет. Продолжают сохраняться значения их координат и нулевые значения их импульсов. Но эти же пассажиры будут смещаться вместе со смещающимся автомобилем относительно дороги с придорожными предметами как системы отсчета. И в этом случае их сохраняющийся импульс будет не нулевым, а равным импульсу автомобиля, да и их координаты или радиус-вектор будут изменяться.

Если же импульс имеет ненулевое значение, т. е. материальная точка смещается, тогда сохраняется это ненулевое значение импульса, а значения координат или радиус-вектора будут изменяться таким образом, что материальная точка будет продолжать строго прямолинейное и равномерное движение (будут сохраняться и направление смещения, и мгновенная скорость в любой момент времени). При этом мгновенная скорость, а значит и импульс, прямолинейного равномерного движения материальной точки также будут относительными, в смысле изменчивыми, различающимися в зависимости от выбранной системы отсчета. Например, мгновенная скорость прямолинейно и равномерно смещающегося тела, например, человека, в смещающемся прямолинейно и равномерно вагоне, измеренная относительно вагона, будет одной, а измеренная относительно неподвижной железнодорожной платформы, будет другой: большей или меньшей на мгновенную скорость движения вагона, в зависимости от того, смещается человек

в том же направлении, что и вагон, или же в противоположном.

Все инерциальные системы отсчета, т. е. покоящиеся или же смещающиеся прямолинейно и равномерно, совершенно равноправны между собой (неотличимы друг от друга никакими опытами) в отношении протекания механических процессов, среди них нет выделенных или предпочтительных. Или другими словами, механическое движение не зависит от прямолинейного и равномерного смещения или же покоя системы отсчета. Никакими механическими опытами, проведенными в инерциальной системе отсчета, невозможно установить, покоится она или же смещается прямолинейно и равномерно и с какой мгновенной скоростью. Например, находясь внутри закрытого вагона невозможно узнать, не выглядывая наружу, стоит ли вагон на месте или же он смещается с какой-то постоянной мгновенной скоростью строго прямолинейно (конечно же при условии, что рельсы будут без прерываний и строго прямолинейные). Выпущенный из руки камень, например, упадет вертикально вниз (без отклонения) и в стоящем, и в смещающемся прямолинейно и равномерно вагоне.

Такое свойство тела макро- или мегамира организации вещества сохранять покой или прямолинейное равномерное смещение называют его инерцией (инертностью). Инерционные свойства тела определяет его масса как инертная масса. Вот почему состояние смещающегося тела в какой-то момент времени правильнее определять не через его мгновенную скорость, а через его импульс.

Если на вращающуюся материальную точку не действуют внешние силы, то она сохраняет не только свой импульс, но и момент импульса, который определяется через произведение импульса материальной точки на ее радиус вращения (кратчайшее расстояние от материальной точки до оси вращения).

Поступательное или вращательное механическое движение вещественного объекта может сопровождаться изменением мгновенной скорости его точек, а следовательно и импульса или момента импульса, включая смену покоя смещением или смещения покоем. Такое механическое движение будет уже не равномерным, а ускоренным, т. к. быстрота изменения мгновенной скорости материальной

точки характеризуется ускорением. Причиной ускоренного механического движения, а также деформации или разрушения тела является взаимодействие вещественных объектов как процесс взаимного их воздействия друг на друга. Мерой механического воздействия на материальную точку со стороны других вещественных объектов является сила. Она характеризуется абсолютным значением, направлением и точкой приложения. При этом эффект силового воздействия на материальную точку в виде проявления ускорения имеет прямо пропорциональную зависимость с силой и обратно пропорциональную – с инертной массой. Получается, что инертная масса может ослаблять воздействие силы. Например, чтобы сдвинуть с места или остановить тело большей массы, придется приложить большую силу.

Во время близкого взаимодействия в виде столкновения (соударения) двух тел появляются две силы (сила действия и сила противодействия), с которыми два вещественных объекта воздействуют одновременно друг на друга. Силы действия и противодействия всегда появляются парами, являются силами одной природы, равны по величине и направлены в противоположные стороны (рис. 2).

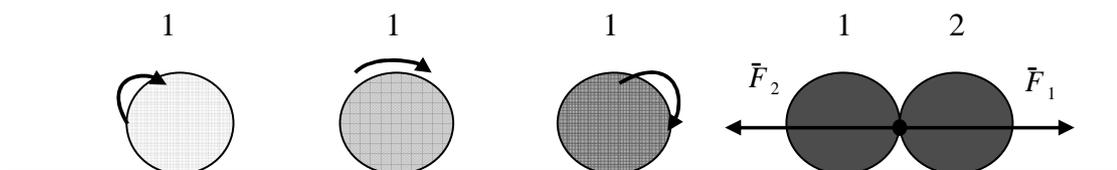


Рис. 2 Появление сил действия ( $\vec{F}_1$ ) и противодействия ( $\vec{F}_2$ ) при близком взаимодействии двух твердых тел 1 и 2

Если определенная совокупность тел взаимодействует, сталкиваясь друг с другом, как одно целое с появлением интегративных (эмерджентных) свойств, не сводимых к свойствам отдельных тел, тогда говорят о механической системе (системе тел). Любая механическая система характеризуется составом в виде совокупности своих единиц (тел), а также структурой, когда учитываются не только

единицы системы, но и их взаимодействия.

В закрытой, т. е. изолированной от внешней среды, механической системе, а если в открытой, то при условии уравнивания всех внешних сил, геометрическая (с учетом направления) сумма импульсов всех элементов этой системы сохраняется, остается величиной постоянной, несмотря на взаимодействия элементов самой системы. В такой механической системе при каждом парном столкновении (соударении) будет происходить перераспределение импульсов этих двух столкнувшихся тел. Но при этом геометрическая сумма их импульсов до столкновения должна остаться такой же и после столкновения (рис. 3). Например, при

$$\bar{p}_1 + \bar{p}_2 = \bar{p}'_1 + \bar{p}'_2$$

$p_1$

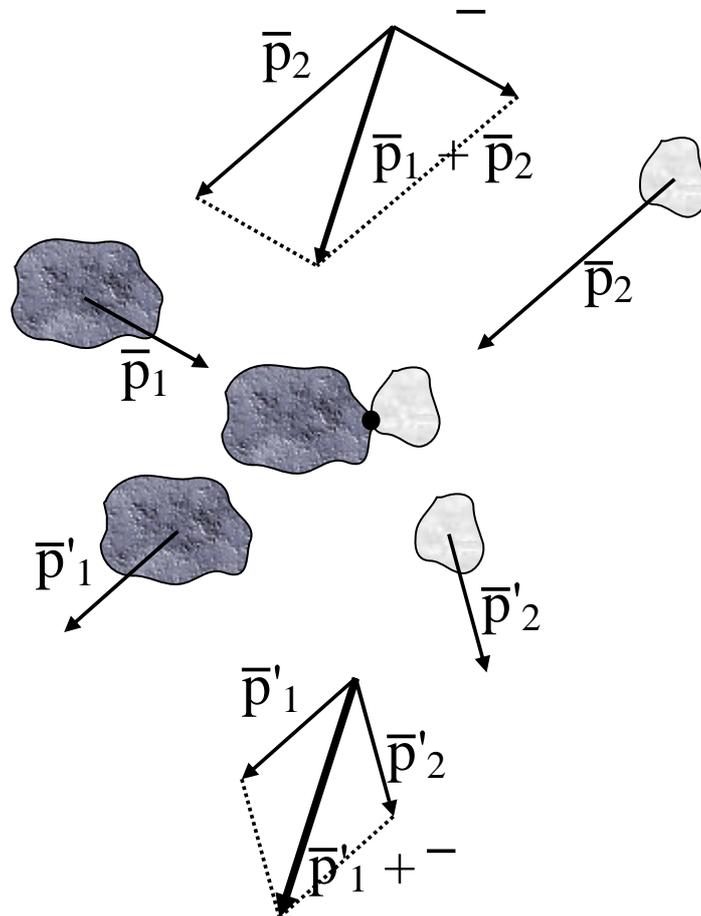


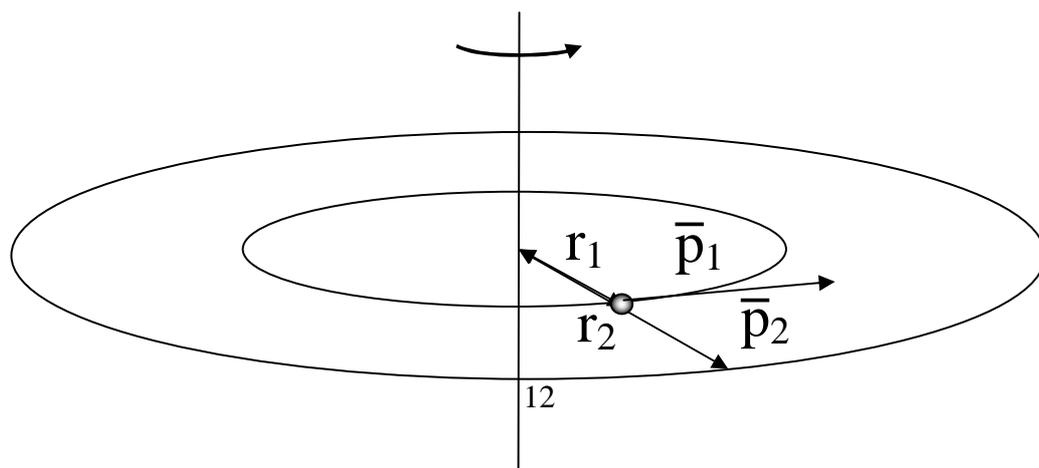
Рис. 3 Перераспределение импульсов двух твердых тел при упругом столкновении (соударении) с сохранением геометрической суммы их импульсов

столкновении двух прямолинейно и равномерно смещающихся на льду камней (при игнорировании сил трения) их геометрическая сумма импульсов до столкновения должна остаться такой же и после столкновения, и если известны их импульсы до столкновения и импульс одного из камней после столкновения, то можно определить и импульс второго камня после столкновения. Такая же закономерность проявляется, например, и в явлении отдачи при выстреле, и в реактивном движении.

При далекодействующем (действующем на расстоянии) взаимодействии – гравитационном взаимодействии – два тела, независимо от их свойств и свойств

среды, в которой они находятся, испытывают взаимное притяжение, сила которого прямо пропорциональна произведению их масс и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. Сила всемирного тяготения определяет падение вещественных объектов на Землю, движение Луны и искусственных спутников вокруг Земли, движение планет, планетоидов, метеороидов, комет вокруг Солнца, звезд в галактике и т. п. Упадет ли тело, например, на Землю, будет вращаться по окружности, эллипсовидной орбите какой-то степени вытянутости или же улетит прочь, будет зависеть от его мгновенной скорости. Чтобы космический аппарат при выключенных двигателях не упал бы на Землю и перешел бы на круговую или эллипсовидную орбиту, становясь искусственным спутником Земли, он должен иметь мгновенную скорость не ниже первой космической скорости (7,9 км/с относительно поверхности Земли). Чтобы космический аппарат при выключенных двигателях покинул бы окрестности Земли, становясь искусственным спутником Солнца, он должен иметь мгновенную скорость не ниже второй космической скорости (11,2 км/с относительно поверхности Земли). Чтобы космический аппарат при выключенных двигателях покинул бы Солнечную систему, он должен иметь мгновенную скорость не ниже третьей космической скорости (от 16,6 до 72,8 км/с относительно Земли в зависимости от использования ее орбитальной скорости).

Изменение под действием внутренних сил радиуса вращения материальной точки вызывает изменение ее импульса, а именно мгновенной скорости, но значение момента импульса при этом сохраняется, остается величиной постоянной (рис. 4). Постоянство момента импульса вращающейся вокруг определенного цен-





$$\overline{M} = \overline{p}_1 \cdot r_1 = \overline{p}_2 \cdot r_2 = \text{Const}$$

Рис. 4 Изменение скорости вращения материальной точки при изменении радиуса ее вращения с сохранением момента импульса

тра материальной точки достигается тем, что увеличение радиуса вращения ведет к уменьшению ее мгновенной скорости, а уменьшение радиуса вращения – соответственно к увеличению ее мгновенной скорости. Отсюда, перераспределение массы вращающейся механической системы приводит к изменению ее скорости вращения. Например, начав медленное вращение на вращающемся стуле, вращающемся диске или на коньках с расставленными в стороны руками, прижатие рук к туловищу приведет к увеличению скорости вращения, а расставление рук вернет медленное вращение.

Колебательное (возвратно-поступательное) перемещение части тела, представляющего собой упругую среду, под воздействием внешней силы может привести к появлению механических волн в виде самоскоординированных колебаний различных участков среды. По отношению к направлению колебаний частиц среды волны могут быть поперечными или продольными. В поперечных волнах частицы среды колеблются перпендикулярно направлению распространения волны, а в продольных – параллельно. Например, поперечные механические волны можно наблюдать на поверхности воды при бросании в нее камня, попеременном опускании в воду и поднятии весла. Продольные механические волны можно создать в воздухе при колебании твердой мембраны, например, диффузора динамика, крыла насекомого.

Волны характеризуются временной периодичностью – частотой, определяемой как число полных циклов колебаний, совершенных за единицу времени, а также пространственной периодичностью – длиной волны, определяемой как рас-

стояние между двумя ближайшими точками волны, колеблющимися с одинаковым состоянием в любой момент времени (с одинаковой фазой колебаний).

Если источник (или приемник) механических волн перемещается, то их частота, а соответственно и их длина, изменяются следующим образом: перед приближающимся источником (или приемником) волн их частота увеличивается (соответственно длина волн уменьшается), а позади удаляющегося источника (или приемника) волн их частота уменьшается (соответственно длина волн увеличивается). Это известно как эффект Доплера. Он легко наблюдается при распространении звуков – продольных механических волн в воздухе. Когда к наблюдателю, стоящему у дороги или на железнодорожной платформе, приближается соответственно автомобиль или поезд, издающие звуковой сигнал, то наблюдатель его услышит более высоким (большей частоты), а когда автомобиль или поезд, проехав мимо, начнут удаляться, то наблюдатель услышит тот же звуковой сигнал более низким (меньшей частоты) по сравнению с тем, как он слышал его в тот момент времени, когда автомобиль или поезд поравнялся с ним, т. е. и не приближался, и не удалялся.

Если в воду опускать и поднимать два весла можно вызвать механические волны на поверхности воды от двух источников, которые при взаимодействии будут интерферировать. Интерференция заключается в том, что взаимное наложение двух волн приводит к усилению или ослаблению колебаний. Необходимое условие интерференции – одинаковость природы волн. Результат интерференции (интерференционная картина) зависит от смещения накладываемых волн (разности фаз), что, в свою очередь, зависит от частоты волн, расстояния между источниками волн и др.

Когда механические волны проходят сквозь отверстие в непроходимом для них материале или когда на их пути попадает небольшое непреодолимое препятствие, наблюдается явление дифракции. Дифракция заключается в том, что волны могут отклоняться от прямолинейного распространения, могут огибать препятствие. Например, поперечные механические волны на поверхности воды

проходят через разрыв в сплошном для них ограждении расходящимся пучком, соединяются за небольшим для них препятствием. При небольшой ширине или высоте дома можно слышать звуки расположенного позади него источника даже если поблизости нет отражающих его предметов.

Измерение физических величин сопровождается погрешностью. Это значит, что в серии измерений получается не одно значение, а множество значений, которые укладываются в определенном диапазоне (интервале). Кроме того, не всегда представляется возможным учесть все силы, воздействующие на тело или частицу. Несмотря на это, в ряде случаев все же удается достаточно точно прогнозировать механическое движение вещественного объекта, например, искусственного спутника Земли, или поведение механической системы, например, системы Земля – Луна – Солнце. Определив начальные условия тела в виде его начального состояния, т. е. состояния в какой-то момент времени, принимаемый за начало отсчета (измерения), а также определив действующие на него силы, можно достаточно точно сказать, где это тело находилось в любой момент прошлого, и где оно будет находиться в любой момент будущего. Таким образом, при заданном начальном состоянии можно продолжить как в будущее, так и в прошлое одну единственно возможную траекторию смещения материальной точки. Получается, что предыдущее состояние тела или системы тел как причина порождает единственно возможное следующее их состояние как следствие.

Но в других случаях точный прогноз невозможен, наблюдается случайность, которая определяется как отсутствие закономерности и, что взаимосвязано, как непредсказуемость соответствующих изменений. Например, любая попытка точно рассчитать траектории молекул газа оказывается безуспешной ввиду чрезвычайной чувствительности результатов расчета к самому ничтожному изменению начальных условий. Полезная информация о поведении такой механической системы сводится к значениям вероятностей тех или иных ее состояний и средним значениям характерных физических величин. Вероятность – это числовая мера случайности, численная мера степени объективной возможности наступления

случайного события. Она характеризует возможность наступления события. Вероятность можно выразить простой дробью, где числитель показывает число всех благоприятных случаев, а знаменатель – число всех равновозможных случаев. Среднее значение величины определяют как среднее из всех возможных значений, которые может случайно принять величина в одних и тех же условиях.

Таким же хаотическим, непредсказуемым поведением могут обладать и механические системы из очень небольшого числа элементов, например, всего лишь трех.

Вот задача, рассмотренная таким ученым, как французский математик и астроном Миш'ель Энон. В систему двух одинаковых звезд, обращающихся вокруг общего центра, влетает метеороид. Требуется вычислить его дальнейшую траекторию. Нетрудно записать уравнения движения метеороида, несложно их решить. Однако дать точный прогноз движению метеороида невозможно: в зависимости от начальных условий метеороид либо вечно кружится в окрестностях одной из звезд, либо время от времени перескакивает от одной звезды к другой, либо, в конце концов, навсегда покидает звездную систему. Переход от одного типа движения к другому может происходить при ничтожном изменении начальных условий. Поскольку же они всегда известны с некоторой погрешностью, это и означает непредсказуемость движения метеороида. Получается парадокс: математически задача полностью определена и решена, а дать точный долгосрочный прогноз поведения механической системы невозможно.

Явление, когда поведение простой механической системы невозможно прогнозировать из-за ее чувствительности к незначительному изменению начальных условий, называется динамическим хаосом. Динамический хаос имеет место не только в академической задаче Энона, но и во многих более насущных ситуациях. Например, установлена хаотичность динамики Солнечной системы: вследствие взаимного притяжения планет друг к другу медленно изменяются параметры их орбит, и невозможно предсказать, каковы они будут через сотни миллионов лет.

Динамический хаос следует отличать от беспорядка. Беспорядочным назы-

вают поведение, определяемое постоянно действующими факторами, которые мы не можем или не хотим учитывать. Так, броуновское движение частицы порошка в жидкости беспорядочно, поскольку полностью обусловлено невидимыми для наблюдателя и не учитываемыми им ударами молекул жидкости по частице порошка. Хаотическое же поведение возникает, когда все определяющие его факторы известны, но из-за чрезвычайной чувствительности расчетов к малым ошибкам, изменению начальных условий выявляется несколько возможных вариантов поведения механической системы в будущем. И точно прогнозировать, какой из них реализуется в будущем, невозможно. Возможен только лишь вероятностный прогноз, когда просчитывается степень (доля) возможности наступления каждого варианта из ряда ожидаемых.

## 1.2. Электромагнитная концепция

*- об электромагнитном поле и его движении;*

*- о полевом механизме взаимодействия вещественных объектов, обеспечивающем близкое действие*

*До сих пор сохраняют свою актуальность и не утратили не только своей научной, но и культурной ценности и электромагнитные представления о материи и ее движении, которые формировались под влиянием научной теории электродинамики, ставшей позже классической, появившейся в XIX в. благодаря трудам, в первую очередь, таких ученых, как британские физик и химик Майкл Фарадей и физик и математик Джеймс Клерк Максвелл.*

Электромагнитное поле – это первое изученное физическое поле, которое в отличие от вещества не обладает массой покоя, распространяется непрерывно во всех направлениях, полностью проницаемо. Электромагнитное поле представляется как единство электрического и магнитного полей. Движение электромагнитного поля понимается как его изменение в виде распространяющихся в пространстве возмущений (колебаний), дающих поперечные электромагнитные волны, каждая из которых включает поперечные же электрическую и магнитную волны. Электромагнитное поле распространяется с конечной скоростью, не превышающей скорости распространения света в вакууме. Параметры состояния электромагнитного поля в какой-то момент времени определяются значениями составляющих его электрического и магнитного полей в каждой точке пространства.

Поскольку в принципе можно достаточно точно определить распределение в пространстве значений электрического и магнитного полей в какой-то момент времени как начальное состояние, а также достаточно точно рассчитать распределение в пространстве значений электрического и магнитного полей в любой будущей или прошедшей момент времени, возможен точный прогноз состояния электромагнитного поля в любой момент времени как будущего, так и прошлого.

Электромагнитное поле формируется вокруг тел или частиц, обладающих электрическим зарядом (положительным или отрицательным). При этом электрический заряд (неподвижный или подвижный) формирует электрическое поле (электрическую составляющую электромагнитного поля), силовые линии которого уходят в бесконечность. А подвижные электрические заряды формируют магнитное поле (магнитную составляющую электромагнитного поля), силовые линии которого замыкаются вокруг подвижных электрических зарядов. При определенных условиях переменные электрическое и магнитное поля могут порождать друг друга, создавая электромагнитные волны. Созданные разными электрически заряженными телами или частицами электромагнитные поля воздействуют друг на друга путем их наложения. Получается, что электрически заряженные вещественные объекты взаимодействуют на расстоянии с помощью материального «посредника» – электромагнитного поля.

Так как электромагнитное поле распространяется с конечной скоростью, на его распространение требуется время. По этой причине, например, на экране телевизора наблюдается ситуация, когда тележурналист в студии обращается к другому тележурналисту, используя спутниковую связь, а он его слышит с запаздыванием.

Таким образом, силовое взаимодействие расположенных на расстоянии вещественных объектов (дальнодействующих) все равно является близкодействием с полевым механизмом передачи взаимодействия. Согласно этому полемому механизму взаимодействие между вещественными объектами осуществляется посредством создаваемых ими тех или иных физических полей (например, электромагнитного), распространяющихся непрерывно, без каких-либо пустот между ними с конечной скоростью, не превышающей скорости распространения света в вакууме. Изменение состояния одного из взаимодействующих тел вызывает возмущение создаваемого им поля. Это возмущение, распространяясь со скоростью не более скорости света (не более немногим 300 тыс. км/с), достигает второго тела, и лишь тогда состояние последнего начинает меняться.

### 1.3. Релятивистская концепция

- *о пространстве и времени и пространственно-временном континууме;*
- *об относительности пространственно-временных свойств материальных объектов и их массы в зависимости от скорости механического движения вещественных объектов;*
- *об относительности пространственно-временных свойств материальных объектов и их массы в зависимости от близости тяготеющих масс;*
- *об ограничении скорости движения скоростью света в вакууме и ее инвариантности;*
- *об инвариантности пространственно-временного интервала*

*Релятивистские представления о материи и ее движении формировались под влиянием научной теории относительности, появившейся в начале XX в. благодаря трудам, в первую очередь, такого ученого, как германско-швейцарско-американский физик-теоретик Альберт Эйнштейн. Они до сих пор сохраняют свою актуальность и не утратили ни своей научной, ни культурной ценности. Релятивистские представления, в отличие от механических, распространяются на любые возможные скорости движения вещества (до скорости распространения света в вакууме – без малого 300 000 км/с).*

Пространство и время неотделимы от материи и ее движения, относятся к числу важнейших ее атрибутов (основных, универсальных свойств, или признаков, качеств). Без пространства и времени (пространственных и временных свойств) невозможно существование движущейся материи, также как и без движущейся материи или вне ее, отдельно от нее, независимо от нее невозможно существование пространства и времени. Таким образом, пространство и время принято считать всеобщими универсальными формами существования и движения материи.

Пространство характеризует протяженность материи. Когда характеризуется протяженность материи или каких-либо ее отдельных материальных объектов, подразумевается их пространственное свойство.

Время характеризует движение (изменение) материи, движение любых материальных объектов в виде последовательности сменяющих друг друга состояний. Представление о времени и само понятие времени имеют смысл лишь постольку, поскольку материя находится в непрекращающемся движении.

Таким образом, любой материальный объект имеет пространственное и временное измерение.

Пространство и время тесным образом связаны не только с движущейся материей, являясь формами ее существования и движения, но и друг с другом. В этом смысле непрерывающаяся никакой пустотой материя, переходящая из одной своей формы в другую, характеризуется единым пространством-временем в виде пространственно-временного континуума, т. е. пространственно-временной непрерывности. Пространство и время, по существу, проявляются как разные стороны или составляющие некоей целостной, единой сущности в виде пространственно-временного континуума. И эта сущность в виде пространственно-временного континуума и есть сама движущаяся материя.

Пространство и время не только неотделимо связаны с материей, но и их свойства зависят от свойств материальных объектов.

Фундаментальные свойства пространства и времени зависят от скорости механического движения вещественных объектов. При этом проявляются релятивистские эффекты в виде относительности (в смысле изменчивости, различия при переходе из одной инерциальной системы отсчета в другую) одновременности событий, пространственных и временных промежутков, а также еще и массы тел.

Относительность одновременности событий проявляется в том, что события, одновременные для одного наблюдателя, находящегося в одной инерциальной системе отсчета, могут быть разновременными для другого, находящегося в другой инерциальной системе отсчета. Проиллюстрируем это утверждение сле-

дующим примером (рис. 5).

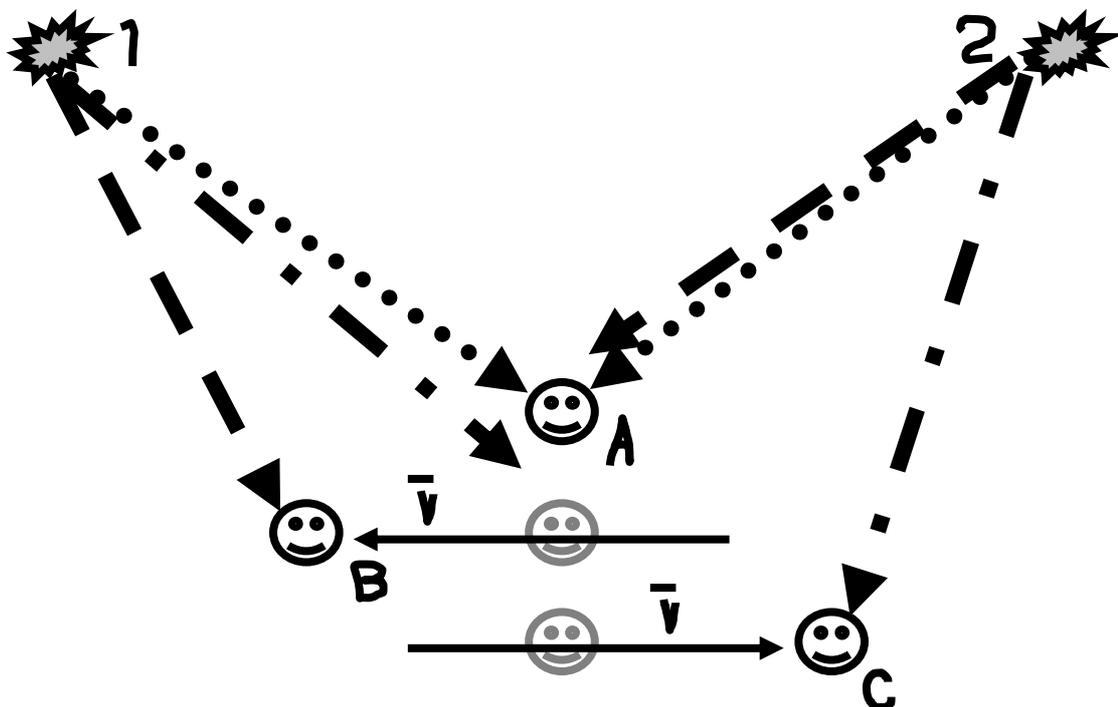


Рис. 5 Иллюстрация относительности одновременности и разновременности событий для разных инерциальных систем отсчета:

1 и 2 – лампочки,

A – неподвижный наблюдатель,

B и C – наблюдатели, смещающиеся прямолинейно и равномерно с мгновенной скоростью  $\bar{v}$ , но в противоположных направлениях

Две лампочки, расположенные друг от друга на каком-то (достаточно большом) расстоянии, включаются одновременно (нажатием одной кнопки, расположенной на равноудаленном от лампочек расстоянии). Неподвижный наблюдатель, находящийся на равном расстоянии от двух лампочек, фиксирует одновременность их засвечивания. В то же время смещающийся в направлении, параллельном линии, соединяющей обе лампочки, на каком-то (достаточно большом) удалении от лампочек прямолинейно и равномерно наблюдатель, для которого лампочки включили, когда он был в точке, равноудаленной от лампочек, будет

утверждать, что одна из лампочек засветилась раньше другой. И действительно, пока свет от лампочек распространялся с конечной скоростью, наблюдатель успел переместиться в точку, расстояние от которой до лампочек уже разное, и свет от одной лампочки должен пройти меньшее расстояние, чем свет от другой лампочки. Причем последовательность засвечивания лампочек для движущегося наблюдателя будет зависеть от направления его прямолинейного равномерного движения.

Бессмысленно спрашивать: а как же на самом деле? И то и другое – на самом деле. Несмотря на то, что картины происходящего для разных наблюдателей различны, они отражают одну и ту же реальность, но, так сказать, с разных сторон, в зависимости от выбранной инерциальной системы отсчета.

Относительность одновременности приводит к относительности пространственных промежутков, т. е. к тому, что для разных наблюдателей (находящихся в разных инерциальных системах отсчета) может быть разным расстояние между одними и теми же телами, а также длина тел. Для наблюдателя, смещающегося с инерциальной системой отсчета с большей скоростью, размеры тел и расстояния между ними по направлению смещения будут меньшими по сравнению с наблюдателем, смещающимся с другой инерциальной системой отсчета, но с меньшей скоростью. Например, для наблюдателя, мчащегося в поезде прямолинейно и равномерно, длина перрона будет короче, чем для наблюдателя, стоящего неподвижно у перрона. Получается, что с увеличением скорости пространство в направлении смещения сжимается. Для привычных нам скоростей релятивистское сокращение длин и расстояний незаметно. Но этот релятивистский эффект сокращения длин и расстояний становится существенным для скоростей, близких к скорости света.

Относительность одновременности приводит к относительности временных промежутков, т. е. к тому, что для разных наблюдателей (находящихся в разных инерциальных системах отсчета) может быть разным темп хода времени (сменяющих друг друга событий в виде состояний материальных тел). Наблюдатель, пе-

перемещающийся с инерциальной системой отсчета с большей скоростью, обнаружит, что временные промежутки между сменяющимися друг друга событиями увеличились, и все процессы протекают медленнее по сравнению с другим наблюдателем, перемещающимся с другой инерциальной системой отсчета, но с меньшей скоростью. Так, например, с точки зрения дежурного по железнодорожной станции, между погасшим желтым и засветившимся зеленым сигналами светофора прошел небольшой временной интервал, а с точки зрения машиниста мчащегося поезда, временной интервал между этими сигналами светофора был более длительным. Это эффект релятивистского замедления времени, становящийся также существенным только для скоростей, близких к скорости света. И опять бессмысленно спрашивать, а как же на самом деле: каждый результат измерения справедлив в той инерциальной системе отсчета, в которой измерение выполнялось. Если можно было бы отправить одного из братьев-близнецов в космическое путешествие на корабле, летящем со скоростью, приближающейся к скорости света, то, вернувшись на Землю, он был бы намного моложе своего брата-близнеца, оставшегося на Земле.

С увеличением скорости связаны не только релятивистские эффекты сжатия пространства и замедления времени, но и релятивистский эффект увеличения массы тел. Для наблюдателя, перемещающегося в инерциальной системе отсчета с большей скоростью, масса тел будет большей, по сравнению с наблюдателем, перемещающимся в другой инерциальной системе отсчета, но с меньшей скоростью. Если бы скорость тела стала бы скоростью света, тогда его масса должна была бы стать бесконечной. Но этого произойти не может. Поэтому вещественные объекты не могут перемещаться со скоростью света. С такой скоростью могут распространяться физические поля с нулевой массой покоя.

Зависимость массы от скорости впервые была установлена в 1901 г. таким ученым, как немецкий физик В'альтер К'ауфман, как совершенно необычное явление зависимости массы электрона от его скорости в экспериментах по измерению заряда электрона и получению отношения этого заряда к массе.

Таким образом, переход из одной инерциальной системы отсчета в другую эквивалентен изменению «направления взгляда» в едином пространственно-временном континууме, а парадоксальные релятивистские эффекты (в т. ч. парадоксальное сокращение длины и замедление времени) не более загадочны, чем изменение вида здания при обходе вокруг него.

Одно лишь присутствие вещественного объекта в виде тяготеющей массы, порождающей гравитацию, приводит к искривлению пространства и времени, и это искривление пространственно-временного континуума проявляется тем сильнее, чем ближе к тяготеющей массе, чем больше ее значение. А искривление пространственно-временного континуума, в свою очередь, определяет характер механического движения тел.

Искривление пространства сводится к изменению его геометрических свойств, например, искривлению прямых направлений, преобразованию плоскости в выпуклость или вогнутость. В искривленном пространстве две параллельные прямые могут стать сходящимися или расходящимися кривыми, сумма внутренних углов треугольника может быть больше или меньше  $180^\circ$ . Искривленное пространство представить можно. Например, поверхность шара и есть искривленное двумерное пространство. Роль прямых играют дуги окружностей, центр которых совпадает с центром шара. В таком пространстве нет параллельных прямых, т. к. любые две дуги пересекаются. Сумма внутренних углов треугольника больше  $180^\circ$ .

Искривленное пространство вокруг тяготеющей массы изменяет характер механического движения тел. Например, искусственный спутник Земли обращается вокруг нее потому, что присутствие Земли искривило окружающее пространство настолько, что траектория свободного («по инерции») перемещения спутника из прямой стала замкнутой окружностью или замкнутым эллипсом определенной степени вытянутости в зависимости от скорости. Или Земля обращается вокруг Солнца потому, что присутствие Солнца искривило окружающее пространство настолько, что траектория свободного («по инерции») движения Земли из

прямой превратилась в замкнутый эллипс. При достижении первой космической скорости (у самой поверхности Земли 7,9 км/с) космический аппарат, оставаясь в «гравитационной яме» Земли, становится ее искусственным спутником – при выключении двигателей он не упадет на Землю, а будет вращаться вокруг нее по круговой орбите. При достижении второй космической скорости (у самой поверхности Земли 11,2 км/с) космический аппарат сможет выбраться из «гравитационной ямы» Земли, но, оставаясь в «гравитационной яме» Солнца, становится его искусственным спутником – при выключении двигателей он будет вращаться вокруг Солнца по круговой орбите. И только достигнув третьей космической скорости (от 16,6 до 72,8 км/с относительно Земли в зависимости от использования ее орбитальной скорости), космический аппарат сможет выбраться из «гравитационной ямы» Солнца – даже при выключении двигателей он покинет пространство Солнечной системы.

Искривление пространства вблизи тяготеющей массы имеет наблюдательное подтверждение. Например, на фотографиях участка неба, полученных во время полного солнечного затмения в 1919 г. таким ученым, как английский астрофизик 'Артур Ст'энли 'Эддингтон, звезды, расположенные вблизи закрытого Лунной Солнца, оказались смещенными в его сторону. И это смещение выражено тем сильнее, чем ближе звезды на фотографии оказались к Солнцу. Такое можно объяснить только тем, что луч света, идущий от далекой звезды прямолинейно, искривляется вблизи массивного Солнца вследствие искривления вокруг него пространства. А чем ближе к Солнцу, тем пространство искривлено сильнее, тем сильнее искривляется луч света от звезды (рис. 6). Кроме того, наблюдаемый еще

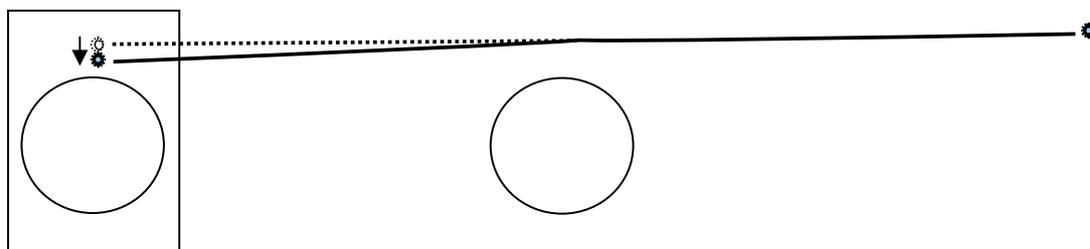


Рис. 6 Смещение изображения звезды на фотографии, сделанной во время полного солнечного затмения, в сторону Солнца вследствие искривления пространства в окрестностях Солнца

в XIX в. таким ученым, как французский астроном Урб'ен Жан Жоз'еф Леверье, поворот эллипсовидной орбиты Меркурия (в т. ч. прецессия, или смещение, ее перигелия – ближайшей к Солнцу точки орбиты) хорошо объясняется тем, что вблизи Солнца пространство сильно искривлено.

Искривление времени сводится к изменению его темпа, причем разному в разных точках пространства. Время может замедляться или ускоряться, соответственно удлиняя или сокращая временные интервалы между состояниями материальных объектов. Искривление времени вблизи тяготеющей массы имеет экспериментальное подтверждение. Например, в опытах таких ученых, как американские физики Роберт В'ивиян Паунд и Глен 'Андерсон Р'ебк, выполненных в 1959 г., было зафиксировано уменьшение частоты гамма-лучей при приближении их всего лишь на 22,5 м к поверхности Земли. А уменьшение частоты с приближением к тяготеющей массе означает увеличение временных интервалов между гребнями волны, а это и есть замедление времени.

Вокруг очень массивного, но компактного тела при очень большой плотности вещества искривление пространства-времени становится настолько большим, что оно как бы «замыкается» локально само на себя, отделяя данное тело от остальной части материи и тем самым образуя «черную дыру», которая безвозвратно поглощает материальные объекты (вещество и поля). Из «черной дыры» даже свет не может вырваться. Падение в «черную дыру» вещества и излучения сопровождается их нагреванием до температур в сотни миллионов градусов и выбросом релятивистских струй рентгеновского и гамма излучения. Существование «черных дыр» подтверждается астрономическими наблюдениями с 70 гг. XX в.

Масса, определяющая инерционные свойства тела, и масса, порождающая гравитационное взаимодействие, это одна и та же масса. Причем ее значение увеличивается не только с увеличением скорости механического движения тела, а и с приближением к другой тяготеющей массе.

Неинерциальные системы отсчета, т. е. смещающиеся с ускорением, могут быть при определенных условиях равноправными (неотличимыми никакими опы-

тами) с инерциальными системами отсчета. Ускоренное движение в гравитационном поле физически полностью эквивалентно (неотлично никакими опытами) с покоем вдали от источников гравитации. Так, находясь внутри воображаемой кабины лифта или космического аппарата невозможно узнать, не выглядывая наружу и не ориентируясь по приборам, падают ли они в гравитационном поле Земли или же находятся в покое вдали от источников гравитации: и в том и в другом случае и наблюдатель, и все незакрепленные предметы, например, будут в состоянии невесомости. А ускоренное движение вдали от источников гравитации физически полностью эквивалентно покою в соответствующем гравитационном поле. Так, находясь внутри воображаемой кабины лифта или космического аппарата невозможно узнать, не выглядывая наружу и не ориентируясь по приборам, движутся ли они вверх с ускорением равным ускорению свободного падения в гравитационном поле Земли, но вдали от него, или же находятся в покое в земном гравитационном поле: и в том и в другом случае и наблюдатель, и все незакрепленные предметы, например, будут стоять на полу, а выпущенный из руки камешек одинаково упадет вертикально вниз (без отклонения). Другие возможные физические эксперименты тоже дадут совершенно одинаковые результаты.

Скорость распространения света в вакууме является предельной скоростью распространения материальных воздействий (без малого 300 000 км/с). Она не может складываться ни с какой другой скоростью, не зависит от скорости движения источника или приемника света, или же наблюдателя, и для всех систем отсчета сохраняется, оказывается постоянной величиной, неизменной, инвариантом.

Независимость скорости света от каких-либо выделенных систем отсчета была доказана, например, в 80-х гг. XIX в. такими учеными, как американские физики Альберт Абрахам Майкельсон и Эдвард Уильямс Морли, которые в серии опытов пытались выявить изменение скорости распространения света в разных направлениях (например, по ходу вращения Земли – параллельно экватору, а также перпендикулярно – в меридиональном направлении).

Другой важнейший инвариант релятивистских представлений о движущей-

ся материи – пространственно-временной интервал между двумя событиями. В зависимости от выбранной системы отсчета расстояние между двумя точками, в которых произошли события, а также промежуток времени между ними по отдельности могут быть разными, но комбинация, в которой они входят в пространственно-временной интервал, имеет одно и то же значение во всех системах отсчета. Если два события связаны времениподобным интервалом, то найдется такая инерциальная система отсчета, в которой оба события произошли в одной и той же точке пространства. Очевидно, такие события могут быть причинно связаны, т. е. одно может быть причиной другого. Причинно связанные события во всех системах отсчета происходят в одной и той же последовательности: от причины к следствию. Если два события связаны пространственноподобным интервалом, то в этом случае найдется такая система отсчета, в которой события произошли одновременно, но в разных точках пространства, как, например, в случае с лампочками. Такие события могут происходить в произвольной последовательности, определяемой выбором той или иной системы отсчета, и, следовательно, не могут быть причинно связаны.

#### 1.4. Квантовая концепция

- о частицах микромира и их корпускулярно-волновом дуализме;
- о соотношении неопределенностей координаты и импульса частицы микромира и бессмысленности траектории в микромире;
- о дополнительности свойств частиц микромира;
- о квантово-полевым механизме гравитационного, электромагнитного, слабого и сильного взаимодействий;
- о физическом вакууме

*Квантовые представления о материи и ее движении начали формироваться под влиянием в первую очередь научных теорий квантовой механики и квантовой электродинамики, появляющихся с начала XX в. благодаря трудам, прежде всего, таких ученых, как германский физик Макс Карл Эрнст Людвиг Планк, французский физик-теоретик Луи Виктор Пьер Раймон де Бройль, австрийский физик-теоретик Эрвин Рудольф Йозеф Александр Шрёдингер, германский физик-теоретик Вернер Карл Гейзенберг, датский физик-теоретик Нильс Хенрик Давид Бор. Они весьма актуальны, имеют не только научную, но и культурную ценность. Квантовые представления, в отличие от механических и релятивистских, уже не ограничены рамками макро- и мегауровня организации вещества, они распространяются и в микромир.*

Микромир представлен такими маленькими частицами, расположенными на таких небольших расстояниях, что никак не сопоставимо с размерами человеческого тела. Это любые элементарные частицы, а также образованные из них атомные ядра и атомы, а из атомов – молекулы. Для их изучения трудно обойтись без технических ухищрений.

Частицы микромира обладают корпускулярно-волновым дуализмом. Это означает, что они обладают не только свойствами частицы (корпускулы), но и

свойствами волны. Например, открытые в 1897 г. отрицательно заряженные электроны английский физик Дж'озеф Джон Т'омсон отнес к частицам вещества (корпускулам), т. к. они обладали массой (позже обнаружилась у электронов и масса покоя). А в 1927 г. американские физики Кл'интон Дж'озеф Д'эвиссон и Л'естер Х'элберт Дж'ермер наблюдали дифракцию электронов. Пучок быстрых электронов, проходя сквозь кристалл никеля, вел себя подобно пучку волн, проходящему мимо малых отверстий или узких щелей. Другими словами, распределение электронов, проходивших через материал и летевших лишь по некоторым избранным направлениям, было таким же, как если бы проходили электромагнитные волны с длиной волны, равной длине волны электрона. И это несмотря на то, что электрон считался частицей. Получается, что электрон имеет двойственную природу частицы и волны.

С другой стороны, физические поля, распространяющиеся в виде волн, могут разделяться на порции, названные квантами, т. е. они могут квантоваться. И эти кванты полей также обладают корпускулярно-волновым дуализмом. Например, свет, распространяясь в виде поперечных электромагнитных волн, дает в экспериментах такие волновые эффекты, как интерференция и дифракция. Впервые интерференцию света наблюдал в 1800 г. английский физик, врач, астроном и востоковед Т'омас Юнг. В его опыте солнечный свет падал на светонепроницаемый листовой материал с узкой щелью. Прошедшие через эту щель расходящимся пучком световые волны падали на другой светонепроницаемый листовой материал с двумя узкими щелями, находящимися недалеко друг от друга. На экране вместо двух ярких полос получалась интерференционная картина в виде серии чередующихся темных и светлых полос как следствие ослабления или усиления колебаний взаимодействующих световых волн, распространяющихся от двух щелей расходящимися пучками с наложением их друг на друга. Впервые дифракцию света наблюдал в 1818 г. французский физик, астроном и политический деятель Домин'ик Франсу'а Жан Араг'о. При определенных условиях вместо четкой тени от непрозрачного диска на пути света наблюдается дифракционная картина, в центре

которой получается светлое пятно, а не тень. Таким образом, свет благодаря своей волновой природе может обходить или огибать непрозрачные препятствия. Вместе с тем, обнаруженное экспериментально в 1887 г. таким ученым, как немецкий физик Г'енрих Р'удольф Герц, явление внешнего фотоэффекта (фотоэлектрического эффекта), заключающееся в том, что при освещении металлической (например, цинковой) пластины с ее поверхности под действием света выбиваются отрицательно заряженные частицы, как позже выяснилось – электроны, а также доказанное экспериментально в 1899 г. таким ученым, как российский физик Пётр Николаевич Лебедев, существование светового давления, оказываемого на твердые тела, можно объяснить только тем, что свет имеет корпускулярную (квантовую) природу. Именно имеющие массу (но не массу покоя) частицы света, названные фотонами, являющиеся конечными порциями (квантами) электромагнитного поля могут выбить из металла электроны, могут оказать на твердые тела давление. Получается, что свет тоже имеет двойственную природу: он представляет собой единство противоположных свойств – корпускулярных (квантовых) и волновых (электромагнитных). Фотон света имеет двойственную природу частицы и волны.

Но не только фотоны или электроны, а любые частицы материи на микроуровне ее организации имеют двойственную природу, обладая корпускулярно-волновым дуализмом. Любую частицу микромира, даже обладающую массой покоя, можно описать, с одной стороны, корпускулярными характеристиками, например, импульсом, а с другой – волновыми характеристиками – частотой или длиной волны.

Таким образом, у частиц микромира имеются такие свойства, которые совершенно не имеют аналогий для тел привычного нам макро- или не очень привычного мегамира. Благодаря корпускулярно-волновому дуализму частицы микромира имеют потенциальные возможности проявить себя либо в виде частицы, либо в виде волны, и действительно проявляют себя в зависимости от внешних условий частицей или волной. Квантовые представления о корпускулярно-волновом дуализме можно распространить и на тела макро- и мегауровня органи-

зации вещества, но из-за огромной массы их волновые свойства не проявляются, не играют никакой роли.

Движение частицы микромира из-за ее корпускулярно-волнового дуализма совершенно не такое, как у тела макро- или мегамира. Если для описания состояния частицы микромира в виде материальной точки применять такие же параметры, как и для описания состояния материальной точки в макро- или мегамире, а именно координаты и импульс, то неизбежно столкнемся с трудностью вот какого рода: невозможно одновременно точно знать и координаты частицы, т. е. ее место в пространстве, и ее импульс, т. е. количество ее поступательного движения. Определяя точно координаты частицы, зафиксировав ее в какой-то момент времени в определенной точке пространства, мы не можем с такой же точностью определить и импульс этой частицы, поскольку импульс частицы может выражаться через длину волны, а длина волны не может определяться в точке. Если точно определяются координаты частицы микромира, то ее импульс становится неопределенным. А определяя точно длину волны в какой-то момент времени для вычисления импульса, мы не сможем с такой же точностью определить координаты, поскольку волна не может находиться в точке пространства. Если точно определяется импульс частицы микромира, то ее координаты становятся неопределенными. Получается непреодолимое соотношение неопределенностей координат и импульса. Частица микромира принципиально не может иметь одновременно точные значения и координат, и импульса: в любой момент времени принципиально невозможно одинаково точно и зафиксировать ее место в пространстве, и оценить количество ее поступательного движения. Кроме того, если не всегда имеется возможность точно определить положение частицы микромира в пространстве, то и невозможно точно определить траекторию ее поступательного движения, которая становится «размытой», неопределенной. В отличие от тел макро- или мегамира, которые поступательно движутся по траекториям, для частиц микромира понятие «траектория» теряет свой смысл. Нельзя говорить о поступательном движении частицы микромира по траектории. Например, электрон

перескакивает из одной атомной орбитали на другую без траектории, мгновенно (рис. 7). Его состояние

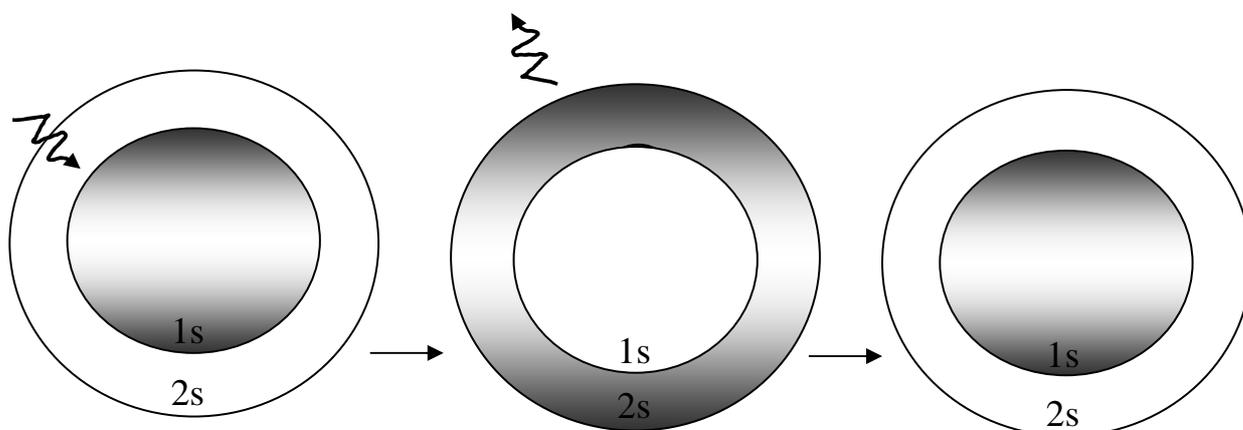


Рис. 7 Перескакивание электрона в атоме водорода с 1s орбитали на 2s орбиталь при его возбуждении фотоном с последующим возвращением на 1s орбиталь с испусканием фотона

изменяется скачком.

Невозможность одновременно точно определить координаты и импульс частицы микромира никак не связана с несовершенством методов измерения или измерительных приборов. Это – следствие специфики частиц микромира, их корпускулярно-волнового дуализма.

В связи с тем, что корпускулярные и волновые свойства частиц микромира, например, координаты и импульс, невозможно точно определить в одних и тех же условиях из-за соотношения неопределенностей, они являются взаимно дополнительными (дополняющими друг друга). Получение экспериментальной информации об одних свойствах (корпускулярных или волновых), характеризующих частицу микромира (элементарную частицу, атомное ядро, атом, молекулу), неизбежно связано с потерей информации о других, дополнительных к ним свойствах (соответственно волновых или корпускулярных). Можно сказать, что материальный мир на микроуровне его организации будет таким, смотря в каких условиях мы его будем изучать, какие технические ухищрения будем для этого применять. У частицы микромира в конкретных условиях, с помощью одних приборов могут

быть выявлены только лишь одни свойства из взаимно дополнительных, а именно или корпускулярные, например, координаты, или волновые, например, частота. Роль прибора в измерениях заключается в «приготовлении» некоторого состояния частиц микромира, когда становится возможным точно измерить одну из дополнительных величин. При этом другая величина из пары дополнительных в результате взаимодействия частиц микромира с прибором претерпевает полностью неконтролируемое изменение и ее значение становится неопределенным. И для полного описания частицы микромира, обладающей корпускулярно-волновым дуализмом, требуются разные подходы, разные технические ухищрения. Полученные в условиях одного эксперимента точные значения корпускулярных свойств, например, координат, должны быть обязательно дополнены точными значениями дополнительных им волновых свойств, например, частоты, но в условиях совершенно другого эксперимента. И наоборот. Полученные в условиях одного эксперимента точные значения волновых свойств, например, частоты, должны быть обязательно дополнены точными значениями дополнительных им корпускулярных свойств, например, координат, но в условиях совершенно другого эксперимента.

Вот и получается, что невозможно отделить микромир от обзирающего его наблюдателя. Познающий субъект всегда оказывается активным, исследование микромира всегда сопровождается его изменением, а результат исследования зависит от того, как оно выполнялось. Полное представление о свойствах какой-либо частицы микромира требует взгляда на нее с несовместимых точек зрения, подобно тому как стереоскопический эффект требует минимум двух изображений одной и той же сцены. Таким образом, корпускулярно-волновой дуализм означает не только двойственную природу (корпускулярную и волновую, или дискретную и континуальную) частиц микромира, но и единство корпускулярного и континуального подходов к описанию материального мира.

Физические поля, обеспечивающие взаимодействие на расстоянии вещественных объектов, распространяются непрерывно в виде виртуальных (возмож-

ных) частиц, а излучаются и поглощаются веществом дискретно, квантовано, т. е. отдельными порциями – квантами, являющимися реальными частицами. Свойства того или иного фундаментального взаимодействия при этом определяются свойствами частиц – переносчиков взаимодействия, т. е. квантами соответствующего поля. Таким образом, взаимодействие вещественных объектов имеет обменную природу, т. к. реализуется в результате обмена фундаментальными частицами – переносчиками взаимодействия.

Переносчиками самого слабого гравитационного взаимодействия, порождаемого массой и проявляющегося на каких угодно больших расстояниях, являются кванты гравитационного поля в виде гипотетических частиц гравитонов.

Переносчиками третьего по силе электромагнитного взаимодействия, порождаемого электрическими зарядами и проявляющегося на каких угодно больших расстояниях, являются кванты электромагнитного поля в виде фотонов.

Переносчиками второго по силе слабого взаимодействия, порождаемого имеющими массу покоя элементарными частицами и проявляющегося на расстояниях намного меньших размеров атомных ядер, являются кванты полей слабого взаимодействия в виде W- и Z-бозонов.

Переносчиками самого сильного сильного взаимодействия, порождаемого адронами (кварками, двухкварковыми мезонами, а также трехкварковыми протонами и нейтронами) и проявляющегося на расстояниях, соизмеримых с размерами атомных ядер, являются кванты глюонных полей в виде глюонов.

Материя проявляется не только в формах вещества и физического поля, но еще и в форме физического вакуума. Физический вакуум – распространенное повсюду особое поле (ничем не порождаемое и вездесущее), очень слабо движущееся и без реальных частиц. В результате случайных колебаний, флуктуаций (отклонений) от среднего нулевого значения (нулевых колебаний) поля могут появляться время от времени виртуальные (возможные) частицы – частицы в промежуточных состояниях, существующие незначительное время (до  $10^{-24}$  –  $10^{-21}$  с). Порождаемые вакуумом виртуальные частицы тут же поглощаются им. Непо-

средственно физический вакуум в экспериментах не наблюдается, т. к. невозможно обнаружить виртуальные частицы за время их такого короткого существования. Но физический вакуум наподобие бурлящей пены появляющихся и тут же исчезающих виртуальных частиц как бы сопровождает, «обволакивает» любые реальные частицы, взаимодействуя с ними, что имеет косвенное экспериментальное подтверждение. Например, в 1947 г. американские физики Уиллис Юджин Лэмб и Роберт Кёртис Ризерфорд в эксперименте обнаружили лэмбовский сдвиг – сдвиг электрона в атоме водорода ближе к ядру – от расчетного значения, обусловленный взаимодействием электрона с виртуальными частицами физического вакуума. А в 1958 г. нидерландский физик Маркус Сп'арней обнаружил силу, притягивающую два очень близко расположенных плоских металлических зеркала, которая зависела от расстояния не так, как если бы она была бы результатом гравитационного или электромагнитного взаимодействия молекул этих двух зеркал. На фотоны электромагнитного поля, переносящие взаимодействие между молекулами двух зеркал, оказывали усиливающее влияние взаимодействующие с ними виртуальные частицы физического вакуума.

Виртуальные частицы – это своеобразные потенциалы различных фундаментальных частиц, появляющиеся фундаментальные частицы, но не появившиеся. Но при значительных флуктуациях физического вакуума, перешедшего в возбужденное состояние, виртуальные частицы могут завершить свое появление, вырываясь из физического вакуума в виде реальных фундаментальных частиц разных типов. Причем, фундаментальные частицы, обладающие электрическим зарядом, появляются, как правило, парами в виде частицы и соответствующей ей античастицы, различающимися только лишь знаком электрического заряда, как например, электрон-позитронная пара (рис. 8). Частица с античастицей способны к аннигиляции с превращением их обратно в поле (рис. 8). Рождение электрон-позитронных пар, а также аннигиляцию электрона и позитрона впервые наблюдали в 1932 г. британский физик-экспериментатор Патрик Мейнард Стюарт Блэккетт

и

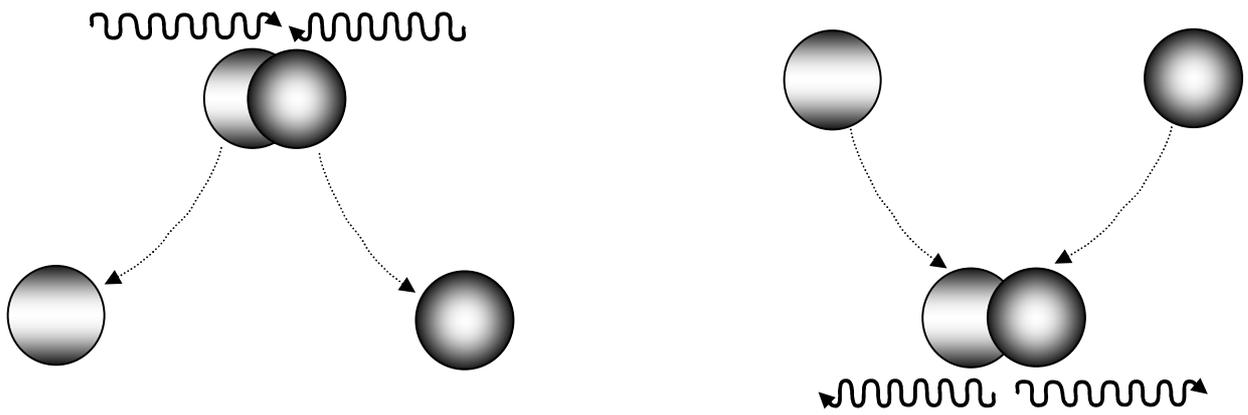


Рис. 8 Рождение электрон-позитронной пары из двух квантов поля (слева) и аннигиляция электрона и позитрона с их превращением в два кванта поля (справа)

итальянский физик Джузеппе Паоло Станислао Оккиал'ини.

Исходя из того, что физический вакуум – динамическая система, обладающая непрекращающимися флуктуациями (случайными отклонениями), изменяющими его состояние, полагают, что физический вакуум может быть источником разнообразных физических полей и вещества.

Общепризнанным становится положение о том, что в ультрамикроскопических масштабах ( $10^{-35}$  м,  $10^{-43}$  с) квантовые флуктуации физического вакуума делают непригодными обычные понятия «до-после», «ближе-дальше», «точка пространства», «момент времени»; образное представление о пространственно-временной ткани (ткани пространственно-временного континуума) в этих масштабах дает распространенное выражение «квантовая пена».

## 1.5. Концепция многоуровневой иерархии физических систем

Совокупности взаимодействующих между собой материальных объектов одного класса образуют физические системы одного и того же уровня. Но эти физические системы, взаимодействуя между собой как единицы, образуют более сложные и масштабные физические системы, образующие выше расположенный уровень. Так формируется иерархический ряд физических систем. Выделяют следующие уровни иерархического ряда физических систем:

1) субмикрорелементарный – уровень флуктуирующего физического вакуума в виде «квантовой пены» появляющихся и взаимодействующих, но быстро растворяющихся в вакууме виртуальных частиц, которые при определенных условиях (возбужденного вакуума) могут стать реальными фундаментальными частицами вещества и физических полей;

2) микроэлементарный – уровень взаимодействия фундаментальных частиц, в результате чего появляются другие частицы, в т. ч. составные (условно) элементарные частицы, как, например, кварки могут объединиться по два в мезоны, по три в нуклоны (протоны и нейтроны);

3) ядерный – уровень взаимодействия нуклонов с образованием и изменением ядер;

4) атомарный – уровень взаимодействия ядер с электронными оболочками с образованием и изменением атомов;

5) молекулярный – уровень взаимодействия атомов с образованием и изменением молекул;

6) уровень взаимодействия молекул с образованием и изменением тела;

7) уровень взаимодействия тел, сопровождающегося их изменением.

## Литература

- Араго, Ф. Избранные статьи : В 2 т. / Ф. Араго. – СПб. , 1866.
- Бор, Н. Избранные научные труды : В 2 т. / Н. Бор. – М. : Наука, 1970, 1971.
- Бройль де, Л. Волны и кванты / Л. де Бройль ; пер. с фр. Н. А. Райской // Успехи физических наук. – 1967. – Т. 93 (9). – С. 178-180.
- Бройль де, Л. Кванты, кинетическая теория газов и принцип Ферма / Л. де Бройль ; пер. с фр. Н. А. Райской // Успехи физических наук. – 1967. – Т. 93 (9). – С. 182-183.
- Бройль де, Л. Кванты света, дифракция и интерференция / Л. де Бройль ; пер. с фр. Н. А. Райской // Успехи физических наук. – 1967. – Т. 93 (9). – С. 180-181.
- Бройль де, Л. Попытка построения теории световых квантов / Л. де Бройль ; пер. с фр. А. М. Бродского // Успехи физических наук. – 1977. – Т. 122 (8). – С. 562-571.
- Галилей, Галилео. Избранные труды в двух томах / Галилео Галилей. – М. : Наука, 1964.
- Гейзенберг, В. Физические принципы квантовой теории / В. Гейзенберг. – М.–Л., 1932.
- Герц, Генрих. О действии ультрафиолетового света на разряд электричества / Генрих Герц // 50 лет волн Герца / Отв. ред. В. К. Аркадьев. – М.–Л. : АН СССР, 1938. – С. 136.
- Лебедев, П. Н. Давление света / П. Н. Лебедев ; под ред. П. П. Лазарева и Т. П. Кравца. – М. : Гостехиздат, 1922.
- Лэмб, У. Е. Тонкая структура водородного атома / У. Е. Лэмб, Р. К. Ризерфорд ; пер. с англ. // Успехи физических наук. – 1951. – Т. 45. – Вып. 12. – С. 553–615.
- Майкельсон, А. А. Об относительном движении Земли и светоносном эфире / А. А. Майкельсон, Э. В. Морли // Эфирный ветер / Под ред. В. А. Ацюковского. – М. : Энергоатомиздат, 1993.
- Максвелл, Дж. К. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля / Дж. К. Максвелл. – М. : ГИТТЛ, 1952.
- Ньютон, Исаак. Математические начала натуральной философии / Исаак Ньютон ; пер. с латинского А. Н. Крылова. – М. : Наука, 1989. – 688 с.
- Планк, М. Термодинамика / М. Планк. – Л.–М., 1925.
- Фарадей, М. Избранные работы по электричеству / М. Фарадей ; пер. с англ. под ред. З. А. Цейтлина. – М. – Л. : ГОНТИ, 1939.
- Цюпка, В. П. К содержанию концепций современного естествознания / В. П. Цюпка // Дошкольник и младший школьник в системе современного естественно-математического образования: сб. докл. межрегион. науч.-практ. Интернет-конф., Белгород, 7–20 нояб. 2006 г. – Белгород: Велес, 2007. – С. 94–101. URL:

<http://www.bsu.edu.ru/files/Resource/InetConfYoungSchool/Tsjupka.zip>

Шрёдингер, Э. Избранные труды по квантовой механике / Э. Шрёдингер. – М. : Наука, 1976.

Эйнштейн, А. Работы по теории относительности / А. Эйнштейн. – М. : Амфора, 2008.

Яндекс. Словари. URL: <http://slovari.yandex.ru/>

Blackett, P. M. S. Photography of Penetrating Corpuscular Radiation / P. M. S. Blackett, G. P. S. Occialini // Nature. – 1932. – Vol. 130. – P. 363.

Davisson, C. J. Diffraction of Electrons by a Crystal of Nickel / C. J. Davisson, L. H. Germer // Physical Review. – 1927. – Vol. 30. – № 6. – P. 705.

Dyson, F. W. A Determination of the Deflection of Light by the Sun's Gravitational Field, from Observations Made at the Solar eclipse of May 29, 1919 / F. W. Dyson, A. S. Eddington, C. R. Davidson // Phil. Trans. Roy. Soc. – 1920. – A 220 (571–581). – P. 291–333.

Hénon M. Generating Families of the Restricted Three-Body Problem. – Berlin etc. : Springer, 1997. – 278 p.

Kaufmann, W. Die magnetische und elektrische Ablenkbarkeit der Bequerelstrahlen und die scheinbare Masse der Elektronen / W. Kaufmann // Göttinger Nachrichten. – 1901. – No. 2. – S. 143–168.

Le Verrier. Theorie DU mouvement de Mercure / Le Verrier, J. Urbain // Annales de l'Observatoire imperial de Paris ; t. 5; Annales de l'Observatoire de Paris. Memoires ; t. 5. – Paris : Mallet-Bachelier, 1859. – 195 p.

Pound, R. V. Gravitational Red-Shift in Nuclear Resonance / R. V. Pound, Jr. G. A. Rebka // Physical Review Letters. – 1959. – 3 (9). – P. 439–441.

Spaarnay, M. J. Measurement OF attractive forces between flat plates / M. J. Spaarnay // Physica. – 1958. – 24. – P. 751.

The Free Encyclopedia Wikipedia. URL: <http://en.wikipedia.org/>

Thomson, J. J. The discharge of electricity through gases / J. J. Thomson. – Westminster : A. Constable, 1898.

Young, Thomas. Experiments and calculations relative to physical optics / Thomas Young. – London : Printed by W. Bulmer & Co. ..., 1804. – 16 p.