

МЕМУАР МАЛЛАНСОНА

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ: ЭФИР

"Давным-давно, еще в Первобытные Времена, жил в 24-м Столетьи один человек по имени Виккор Маллансон. Более всего он известен тем, что ему первому удалось получить Темпоральное Поле, или Поле Времени. Отсюда следует, что он основал Вечность, поскольку Вечность – это всего лишь обширное Темпоральное Поле, в котором Время замкнуто накоротко и на которое не распространяются законы обычного Времени..."

Поле, созданное Маллансоном, имело протяженность всего две секунды от одного конца до другого и было так мало, что едва вмещало спичечную головку, но для него потребовалась энергия атомной электростанции за целый день. Почти сто лет ушло на то, чтобы протянуть тоненькое, как волосок, Поле достаточно далеко в будущее и начать черпать лучистую энергию вспышки Солнца. Лишь после этого удалось создать Поле настолько больших размеров, что в нем смог поместиться человек..."

Айзек Азимов. "Конец Вечности".

До самого конца семнадцатого века в физике господствовала корпускулярная теория света, согласно которой свет представляет собой поток быстро движущихся частиц-корпускул. Одним из сторонников этой теории был Ньютон, что способствовало укреплению ее авторитета. Корпускулярная теория удовлетворительно объясняла такие явления, как преломление и отражение света, но при объяснении дифракции и интерференции света она испытывала трудности. Вполне естественно, что была предложена другая, волновая теория света, объясняющая эти явления с иных позиций.

В этой теории интересно то, что она рассматривает свет как волны в особой всепроникающей среде – *эфире*. Существование в природе эфира логически следует из нашего опыта, согласно которому всякая волна связана с конкретной физической средой, в которой она распространяется. Так, например, звуковые волны, которые мы слышим, не могут распространяться без воздуха; морские волны, которые мы видим, не могут распространяться без воды. Если свет распространяется в виде волн, то их что-то должно переносить. Это "что-то" и есть эфир.

В 1678 году Гюйгенс существенно усовершенствовал волновую теорию света. Механизм распространения света в эфире он представил в виде принципа, который сегодня называется *принципом Гюйгенса*. Согласно этому принципу, свет распространяется в эфире в виде продольных волн.¹ При этом каждая точка эфира становится источником вторичной волны, распространяющейся дальше в виде непрерывно расширяющейся сферы. Фронт результирующей волны является огибающей элементов исходного фронта. С помощью этого принципа Гюйгенс смог объяснить явления преломления и отражения света. Но он не смог объяснить прямолинейное распространение света, которое объясняла корпускулярная теория.

¹ Продольных потому, что колебания частиц эфира в них, как и в звуковых волнах, происходят в направлении распространения.

Долгое время корпускулярная и волновая теории соседствовали в физике, хотя зачастую утверждали обратное. Так, например, корпускулярная теория утверждала, что скорость света больше в той материальной среде, которая имеет большую плотность и, соответственно, больший коэффициент преломления света. Волновая теория утверждала обратное, т.е. то, что скорость света в этой среде не больше, а меньше. Для того чтобы выяснить, кто из них прав, нужен был эксперимент, позволяющий сравнивать скорости света в различных средах. Такой эксперимент в 1850 году поставил Фуко.

Схема эксперимента Фуко заключается в следующем. Луч света от источника направляется на вращающееся зеркало и отражается от него. В двух положениях этого зеркала луч попадает на два неподвижных зеркала, находящихся на одинаковом расстоянии от вращающегося зеркала, а в третьем положении он попадает к наблюдателю. Неподвижные зеркала устанавливаются так, чтобы возвращать световой луч к вращающемуся зеркалу и далее к наблюдателю. Сначала изображение источника регистрируют в неподвижных положениях вращающегося зеркала. При этом добиваются совпадения изображений, приходящих к наблюдателю от неподвижных зеркал. После этого вращающееся зеркало приводится в движение. Изображение источника света при этом сдвигается в сторону – одну и ту же для обоих неподвижных зеркал и на одинаковое расстояние. Величина сдвига зависит от отношения скорости вращения зеркала к скорости света. После этого между вращающимся зеркалом и одним из неподвижных зеркал устанавливается стеклянная труба с водой так, чтобы луч света проходил через нее. Это приводит к дополнительному сдвигу изображения источника света (из-за различия скорости света в воде и в воздухе). Направление этого сдвига позволяет судить – больше или меньше скорость света в воде по сравнению с его скоростью в воздухе. Как показал Фуко, скорость света в воде меньше, чем в воздухе. Тем самым он доказал правоту волновой теории света.²

Но вернемся немного назад во времени. В 1725 году Брэдли, следя за главной звездой созвездия Дракона обнаружил, что первые полгода она непрерывно склонялась к югу, а в следующие полгода вернулась в исходное положение, склоняясь к северу. В течение трех лет Брэдли продолжал наблюдать это явление и в 1728 году понял, что его можно объяснить только конечностью скорости света.³ Поскольку его телескоп был жестко закреплен на земле, то находящаяся в поле зрения звезда изменяла свое положение на небосводе в соответствии с орбитальным движением Земли вокруг Солнца. При этом луч света от звезды распространялся по трубе телескопа не параллельно его оси, а под углом. Это явление получило название *астрономической аберрации света*.

Поначалу считалось, что это явление подтверждает корпускулярную теорию света.⁴ Но в 1804 году Юнг показал, как можно объяснить его с помощью волновой теории света. Световые волны распространяются в неподвижном эфире, движение Земли вокруг Солнца не увлекает эфир за собой. Если на входе в телескоп направление распространения световой волны совпадает с осью телескопа, то на выходе она отклонится от оси, так как за это время телескоп успевает переместиться в пространстве. Обычно это иллюстрируют

² Корпускулярная теория смогла представить такой же убедительный эксперимент только после появления квантовой механики. Но в ней она была уже неотделима от волновой теории, поэтому оспаривать приоритет было не у кого.

³ После Декарта считалось, что скорость света бесконечна.

⁴ Поскольку теория Гюйгенса, как я уже говорил, не могла объяснить прямолинейное распространение света. В 1816 году Френель дал такое объяснение (см. далее).

аналогией со сносом морских волн боковым течением. Чем быстрее течение, тем сильнее сносятся волны. Точно также световые волны сносятся в сторону "эфирным течением", направленным против движения Земли вокруг Солнца.

Как утверждал Юнг, волновая теория буквально вынуждает принять такое объяснение астрономической аберрации света. В то же время он признавал, что это объяснение не согласуется с тем, что преломление света волновая теория объясняет увлечением эфира материей. Причины для такого признания были. Еще в 1766 году Бошкович предлагал проверить, как изменится величина аберрации света при заполнении трубы телескопа водой. Поскольку волновая теория утверждала, что скорость света в воде меньше, чем в воздухе, то заполнение телескопа водой должно было усилить эффект аберрации.⁵ Кроме того, в 1784 году Мичелл предлагал проверить, чем отличается преломление света, испускаемого звездами, от преломления света, испускаемого земными источниками. Если такое различие имело место, то оно должно было оказывать влияние на показатели преломления оптических приборов.

В 1810 году Араго поставил эксперимент, который должен был дать ответ на вопрос Мичелла. Источником света в его эксперименте была звезда. При движении Земли (по орбите вокруг Солнца) к звезде скорость Земли должна была складываться со скоростью света, а при движении Земли от звезды – вычитаться. Волновая теория уже тогда связывала скорость света в веществе с показателем его преломления. Поэтому при движении Земли к звезде угол преломления света в оптическом приборе должен был отличаться от угла преломления света при движении Земли от звезды. Результат эксперимента был отрицательным (т.е. угол преломления света в приборе не изменялся при изменении направления движения Земли).

В 1818 году Френель объяснил этот результат в своей работе, посвященной оптике движущихся тел. Он предположил, что эфир увлекается движущейся материей лишь частично; эта часть эфира обеспечивает только преломление света и не влияет на его аберрацию. Остальная часть эфира свободно проходит сквозь материю, обеспечивая аберрацию и не влияя на преломление света. При этом каждой составляющей спектра света соответствует разное количество поглощенного эфира, поэтому изменение углов его преломления не должно наблюдаться. Исходя из условия непрерывности эфирной среды, Френель теоретически рассчитал степень увлечения эфира материей, а Физо в 1851 году экспериментально подтвердил правильность расчетов Френеля.

Схема эксперимента Физо заключается в следующем. Луч света разделяется призмой на два когерентных луча, которые пропускаются через две стеклянные трубки в противоположных направлениях. Через трубки в разных направлениях прокачиваются разные жидкости и газы. После этого лучи снова сводятся вместе и интерферируют. По зависимости интерференционной картины от движения или покоя жидкостей и газов в трубках, а также от направления их движения, можно судить – увлекается свет данными жидкостями и газами или нет, а также в какой степени он ими увлекается.

Опыт Физо подтвердил гипотезу Френеля о том, что степень увлечения эфира

⁵ В 1871 году предложение Бошковича проверил Эйри. Он заполнил водой большой гринвичский телескоп (рискуя его испортить) и повторил наблюдения Брэдли. Вывод Эйри – вода в телескопе не влияет на астрономическую аберрацию света. Но этот результат уже ничего не решал, поскольку тогда перед волновой теорией света стояли уже другие, гораздо более серьезные вопросы.

материальными средами зависит от направления и скорости их движения. Кроме того, эта степень зависит от показателя преломления света в данных средах. При этом оказалось, что движение материальных сред только тогда заметно влияет на распространение света, когда показатель его преломления в них заметно отличается от единицы, т.е. от показателя его преломления в вакууме. Так, например, движение воздуха практически не влияет на распространение света, поскольку показатель преломления света в нем близок к единице.

Следующий этап в развитии волновой теории света открыла теория электромагнитного поля Максвелла, разработанная им в 1860-65 годах. Эта теория обобщила результаты оптических опытов, опытов по электричеству и магнетизму, проводившихся на протяжении полутора тысячелетий, и оформила их в концепцию электромагнитного поля, в котором объединялись свойства света и электричества, электричества и магнетизма. Световые волны в теории Максвелла становились разновидностью электромагнитных волн. ⁶ В 1888 году Герц экспериментально доказал существование электромагнитных волн, предсказанных Максвеллом.

Электромагнитное поле в теории Максвелла не исключало эфир, но описание его строилось так, чтобы учитывались только наблюдаемые свойства электромагнитных волн, без обращения к эфиру как переносчику этих волн. ⁷ Более того, из теории Максвелла следовало, что скорость распространения электромагнитных волн не зависит от относительного движения источника и наблюдателя. Это противоречило принципу относительности Галилея, согласно которому скорость любого тела и любой волны может быть какой угодно, нужно только найти подходящую систему отсчета, относительно которой эту скорость можно измерить. Все расчеты Френеля, объясняющие результаты оптических опытов увлечением эфира материей, строились на выполнении галилеевского закона сложения скоростей. При этом неизменность показателя преломления света материей объяснялась компенсацией относительного движения источника света и регистрирующего прибора (точнее, преломляющей части этого прибора) увеличением плотности эфира внутри этой материи. Если же скорость света не зависела от относительного движения источника и наблюдателя, то эти расчеты становились ненужными, а вместе с ними и эфир.

Для того чтобы решить эту проблему, нужен был эксперимент, в котором можно было бы непосредственно зарегистрировать "эфирное течение". Или, что равносильно, в котором можно было бы зарегистрировать свободное распространение электромагнитных волн, а не их взаимодействие с материей. Другие возможности (т.е. взаимодействие электромагнитных волн с веществом) давно уже были исследованы и не принесли

⁶ Такой вывод напрашивался уже давно. В 1800 году Гершель открыл инфракрасные лучи. В 1801 году Волластон и Риттер открыли ультрафиолетовые лучи. В 1802 году Никольсон открыл световое действие электрического тока. В 1812 году Берар открыл двойное лучепреломление тепловых лучей. В 1833 году Маттеучи наблюдал интерференцию тепловых лучей. В 1834 году Форбс наблюдал поляризацию тепловых лучей. В 1845 году Фарадей открыл магнитное вращение плоскости поляризации света. В 1846 году он высказал идею электромагнитной природы света. В 1865 году Максвелл высказал эту же идею...

⁷ Но потом (в начале двадцатого века) была установлена атомарная и молекулярная структура материи, а также электронная структура атомов, и эфир стал просто не нужен, поскольку все световые и электрические явления получили исчерпывающее объяснение в механизме взаимодействия электромагнитных волн с материей. Все оказалось просто: электронная структура материи является набором колебательных контуров с разными частотными и другими свойствами, которые под воздействием электромагнитных волн приходят в возбуждение и генерируют вторичные электромагнитные волны, создающие все многообразие оптических и электрических явлений.

результатов (т.е. увеличение плотности эфира внутри материи при относительном движении источника и наблюдателя не поддавалось экспериментальной проверке). Такой эксперимент в 1887 году поставили Майкельсон и Морли.⁸

Установка для их эксперимента представляла собой четырехугольную массивную (каменную) платформу, параллельную поверхности Земли, которую можно было поворачивать в разные стороны. На платформе был смонтирован интерферометр для изучения влияния вращения Земли вокруг своей оси на скорость распространения света в воздухе. При этом луч света в интерферометре разделялся призмой на два когерентных луча, которые обегали в противоположных направлениях зеркала, расположенные в углах платформы, а затем той же призмой направлялись на регистрирующий экран для интерференции. Если бы Земля двигалась относительно эфира, то интерференционная картина для разных углов поворота платформы была бы различной. Результат эксперимента Майкельсона и Морли был отрицательным.

Попытку увязать эксперимент Майкельсона и Морли с гипотезой эфира предпринял Лоренц. В 1904 году он предположил, что плечо интерферометра сокращается в направлении его движения относительно эфира, тогда как плечо, перпендикулярное направлению его движения, остается неизменным. В таком случае результат эксперимента Майкельсона и Морли также должен быть отрицательным, поскольку сокращение плеча интерферометра компенсирует эффект, обусловленный существованием эфира. Основное возражение против гипотезы Лоренца состояло в том, что для укорочения плеча интерферометра на него со стороны эфира должна действовать сила неизвестной природы, требующая своего объяснения.⁹

Разрешить все противоречия в гипотезе эфира удалось только Эйнштейну. В 1905 году он предположил, что свет не нуждается в какой-либо физической среде для своего распространения, в том числе и в эфире, а все загадки его поведения объясняются геометрией самого пространства-времени.¹⁰ Законы этой геометрии Эйнштейн оформил в фундаментальный принцип постоянства скорости света во всех инерциальных системах отсчета, который положил в основу своей *специальной теории относительности*. Такой подход казался ему наиболее приемлемым, поскольку позволял обойтись минимум теоретических предположений при максимальном согласии с экспериментальными данными.

⁸ В 1881 году Майкельсон в одиночку поставил такой эксперимент. Но точности измерений оказалось недостаточно для однозначной интерпретации результатов.

⁹ Были и другие попытки спасти эфир, но все они по разным причинам были отвергнуты. Долше всех продержалась модель Лармора, утверждавшего, что эфир не является материальной средой и не состоит из опознаваемых элементов, занимающих определенное положение в пространстве и времени. Поэтому для описания эфира достаточно одного лишь точного соответствия его динамики наблюдаемым эффектам. Такая позиция позволила модели Лармора выдержать даже ту критику, которая после создания специальной теории относительности разрушила все другие модели эфира.

¹⁰ В этой геометрии преобразования Галилея, описывающие относительное движение тел, заменяются преобразованиями Лоренца (того Лоренца, что предложил укорочение плеча интерферометра для спасения гипотезы эфира), описывающими то же самое движение, но учитывающими особый статус скорости света, утверждаемый теорией Максвелла. С точки зрения этой геометрии, в гипотезе эфира просто неправильно складывались скорости источника света и его наблюдателя. Потому что в преобразованиях Галилея время не изменяется, а в преобразованиях Лоренца оно изменяется вместе с пространственными величинами. Именно эта разница и компенсировалась эфиром для получения согласия с экспериментом.

Но, отказываясь от эфира, Эйнштейн отказался и от физического объяснения провозглашенной им геометрии пространства-времени. Неудивительно, что гипотеза эфира вновь возродилась, только не в классической физике, а в квантовой, и под другим названием – *гипотеза вакуума*. Но эта гипотеза сама опирается на специальную теорию относительности, поэтому унаследовала все недостатки своей прародительницы. В частности, в рамках гипотезы вакуума невозможно объяснить эксперимент Майкельсона и Морли, не прибегая к специальной теории относительности.

Я подойду к этому объяснению, исходя из принципа Гюйгенса. В 1816 году Френель дополнил этот принцип предположением о когерентности вторичных световых волн и их интерференции при наложении друг на друга. Согласно Френелю, все вторичные волны от источника света гасят друг друга в процессе интерференции. При этом остаются лишь те волны, которые распространяются вдоль узкого канала, соединяющего источник света с глазом наблюдателя. Последний может как угодно менять свое положение в пространстве, но в любом случае он будет видеть не ряд расширяющихся сфер, соответствующих вторичным световым волнам, а направленный на него световой луч. Это дополнение Френеля к теории Гюйгенса получило название *принципа Френеля-Гюйгенса*.¹¹

Однако не все в этом принципе так просто и ясно, как кажется на первый взгляд. Дело в том, что в качестве иллюстрации этого принципа обычно приводят световые лучи в материальных средах, что в корне неверно. И не потому, что мы можем наблюдать эти лучи сбоку, тогда как из принципа Френеля-Гюйгенса следует, что мы можем наблюдать их только непосредственно, когда они направлены прямо на нас. В вакууме, к примеру, мы не сможем увидеть световой луч сбоку,¹² хотя принцип Френеля-Гюйгенса не будет выполняться и в этом случае. Главным условием выполнения этого принципа является полная когерентность световых волн, поскольку только такие волны могут гасить друг друга в процессе интерференции. Обычные световые волны не когерентны, а их направленное распространение достигается средствами геометрической оптики, но не изменением положения наблюдателя, как того требует принцип Френеля-Гюйгенса.

Решение этой проблемы подсказывает квантовая механика. В 1859 году Кирхгоф сформулировал закон, согласно которому отношение излучательной способности вещества к его поглотительной способности не зависит от природы этого вещества. Для иллюстрации своего закона Кирхгоф предложил (в 1862 году) математикам задачу о вычислении спектра излучения абсолютно черного тела. Сам Кирхгоф не смог справиться с этой задачей, но подчеркивал, что решение ее чрезвычайно важно для физики, поскольку невыполнение его закона равносильно возможности создания вечного двигателя.

Абсолютно черное тело – это тело, которое поглощает все падающее на него электромагнитное излучение. Абсолютно черное тело является идеализацией, ни одно реальное тело в природе не может считаться абсолютно черным. Наилучшим приближением абсолютно черного тела является замкнутая полость с равномерно нагретыми непрозрачными стенками. Для выхода излучения полость должна иметь

¹¹ Именно принцип Френеля-Гюйгенса позволил в свое время волновой теории объяснить прямолинейное распространение световых волн.

¹² Поскольку в основе этой возможности лежит частичное рассеивание света на молекулах материальной среды, которого в вакууме быть не может. Потому что вакуум, по определению, – это отсутствие какой-либо материи.

небольшое отверстие. Если отверстие достаточно мало, то выходящее из него излучение практически не влияет на тепловое равновесие полости, а спектр этого излучения близок к спектру излучения абсолютно черного тела.

Излучение абсолютно черного тела – это электромагнитное излучение, находящееся в тепловом равновесии с веществом. Из второго закона термодинамики следует, что это равновесие не зависит от природы вещества. В противном случае можно было бы взять две замкнутые полости, сделанные из разного материала, и осуществить между ними теплообмен излучением, соединив их через небольшое отверстие. При этом температура в одной полости возрастала бы, а в другой – уменьшалась до тех пор, пока плотность энергии излучения в них не сравнялась бы. Если же выравнивать эти температуры за счет теплообмена стенок с внешней средой, то перекачивание энергии излучения из одной полости в другую продолжалось бы до бесконечности. Именно такую ситуацию имел в виду Кирхгоф, когда говорил, что невыполнение его закона равносильно возможности создания вечного двигателя.

Все попытки решения задачи Кирхгофа, сделанные в рамках классической физики, оказались безуспешными. Так, в 1893 году Вин предложил половинчатое решение этой проблемы в виде неизвестной функции от частоты и температуры излучения абсолютно черного тела. Функция Вина была получена методами классической термодинамики, и больше из нее ничего получить не удалось. В 1900 году Рэлей, на основе классической электродинамики и классической статистической физики, получил конкретную формулу для излучения абсолютно черного тела, но вычисленный с ее помощью спектр совпадал с экспериментальным только при малых частотах и малых температурах этого излучения. С повышением частоты и температуры энергия излучения в полости абсолютно черного тела стремилась к бесконечности. Этот результат Рэля получил название *ультрафиолетовой катастрофы*.¹³

Но в том же 1900 году Планку удалось найти правильное решение задачи Кирхгофа, хотя и совершенно чуждым классической физике способом. Он обнаружил, что правильное распределение энергии электромагнитного излучения в полости абсолютно черного тела выводится из предположения, что это излучение состоит из частиц, обменивающихся своей энергией с веществом. Иначе говоря, Планк предположил, что электромагнитные волны в полости абсолютно черного тела имеют не сплошной энергетический спектр, а дискретный, и взаимодействуют со стенками не в виде непрерывных волн, а в виде отдельных энергетических порций – *квантов*. Энергия этих квантов, согласно формуле Планка, пропорциональна частоте электромагнитных волн и некоторой постоянной, которую сегодня называют *постоянной Планка*. Сам же квант электромагнитных волн получил название *фотона*.¹⁴

Парадоксальность гипотезы Планка заключается в том, что в классической физике энергия электромагнитного излучения распределяется по частотам произвольным

¹³ В 1905 году Джинс усовершенствовал формулу Рэля, но было поздно – Планк уже решил эту проблему.

¹⁴ Вообще говоря, к гипотезе квантов Планк пришел не столь прямолинейно. Сначала он, чисто интуитивно, нашел такую форму для функции Вина, которая полностью соответствовала экспериментальным данным, и уже потом, анализируя свою формулу, пришел к идее квантов. Сам он долго не соглашался с этим результатом, но, тем не менее, именно Планк сегодня считается родоначальником квантовой физики. Именно благодаря Планку, благодаря тому скрупулезному анализу, которому он подверг свою формулу, пытаясь избавиться ее от квантов, гипотеза квантов сравнительно быстро укоренилась в физике.

образом, поскольку никакой прямой связи между энергией и частотой волны в классической физике нет. Энергия волны в классической физике определяется амплитудой колебаний волновой среды, а частота волны – числом колебаний волновой среды в единицу времени, причем та и другая могут изменяться независимо друг от друга. Поэтому классическая физика допускает существование как высокочастотных волн с малой амплитудой, так и низкочастотных волн с большой амплитудой. Гипотеза же Планка устанавливает прямую связь между энергией и частотой волны, что равносильно провозглашению нового закона природы.

Правда косвенная связь между энергией и частотой волны существует и в классической физике, поскольку энергия волны, помимо амплитуды, зависит еще и от фазовой скорости, которая различна для волн разной частоты. Но это различие проявляется только в материальных средах, обладающих свойством дисперсии, т.е. способностью оказывать сопротивление волновому движению, а по условию задачи Кирхгофа полость абсолютно черного тела заполнена только вакуумом.¹⁵ Поэтому объяснять зависимость энергии электромагнитных волн от их частоты классической зависимостью ее от фазовой скорости в данном случае нет оснований.

Прежде чем двигаться дальше, хочу уточнить зависимость энергии волны от ее фазовой скорости. Дело в том, что в классической физике различают энергию волны и энергию среды, в которой распространяется эта волна. Энергия среды зависит от того, распространяется в ней волна или нет. Именно в эту зависимость входит фазовая скорость данной волны. При этом энергия самой волны оказывается равной разности энергий возмущенной и невозмущенной среды. Тонкость здесь в том, что данная энергия не распространяется вместе с волной, а принадлежит всей среде. Точнее, энергия волны распространяется в среде не с фазовой, а с групповой скоростью, т.е. со скоростью группы волн разной частоты. Только такую группу можно локализовать в среде и проследить за распространением ее энергии. Сами эти волны невозможно локализовать в среде, а значит и проследить за распространением их энергии.

Групповая скорость волн равна их фазовой скорости минус дисперсионная производная этой скорости. Последняя зависит от частоты волн и природы среды, в которой эти волны распространяются. В недиспергирующей среде, например, в вакууме, дисперсионная производная фазовой скорости равна нулю. При этом автоматически исчезает и классическая зависимость энергии волн от их частоты и фазовой скорости. Именно это я и имел в виду, когда говорил, что данная зависимость проявляется только в материальных средах, обладающих свойством дисперсии.

Гипотеза Планка позволила объяснить так называемый *фотоэффект*, открытый Герцем в 1887 году и заключающийся в испускании электронов веществом под воздействием света.¹⁶ В 1888 году Столетов сформулировал три основных закона фотоэффекта: при неизменной частоте света количество испускаемых веществом электронов пропорционально интенсивности света; скорость испускаемых веществом электронов

¹⁵ И, разумеется, самим электромагнитным излучением.

¹⁶ Электрон был открыт Томсоном в катодных лучах в 1895 году при измерении отношения заряда и массы частиц этих лучей. До этого в 1858 году Плюккер обнаружил, что при понижении давления воздуха в разрядной трубке появляются лучи, исходящие от катода и вызывающие флюоресценцию на стенке трубки, противоположной от катода. То есть он наблюдал электроны. В 1911 году Милликен измерил "чистый" электрический заряд электронов.

зависит только от частоты света и не зависит от его интенсивности; для каждого вещества существует *красная граница фотоэффекта*, т.е. минимальная частота света, при которой еще возможен фотоэффект. Второй и третий законы фотоэффекта невозможно объяснить в рамках классической электродинамики, утверждающей, что количество и скорость испускаемых веществом электронов зависят только от интенсивности света.

Объяснение законов фотоэффекта было дано Эйнштейном в 1905 году. Исходя из квантовой гипотезы Планка, он предположил, что свет не только взаимодействует с веществом, но и распространяется в пространстве в виде фотонов. При взаимодействии таких фотонов с подходящим веществом они передают всю свою энергию электронам. Часть этой энергии расходуется на работу выхода электронов из вещества, а оставшаяся часть превращается в кинетическую энергию этих электронов. А поскольку энергия фотонов зависит от их частоты, то отсюда автоматически следуют второй и третий законы фотоэффекта. Первый закон определяется количеством фотонов, поглощаемых веществом.

Объяснение Эйнштейна получило подтверждение в *эффекте Комптона*, открытом в 1922 году и сыгравшим важную роль в признании квантовой гипотезы Планка. Он заключается в изменении частоты рентгеновского излучения при рассеивании его веществом, состоящим из легких атомов. Классическая электродинамика не может объяснить этот эффект, в квантовой электродинамике ему дается следующее объяснение. В легких атомах электроны слабо взаимодействуют с ядром, поэтому их можно считать почти свободными. При столкновении рентгеновского фотона с таким почти свободным электроном он передает последнему часть своей энергии, выбивая его из атома и уменьшая при этом свою частоту. Энергия, передаваемая электрону фотоном, называется *энергией отдачи*. В тяжелых атомах электроны сильно связаны с ядром, поэтому энергия отдачи оказывается незначительной, и частота рассеянного фотона практически не отличается от частоты налетающего фотона.¹⁷

Но вернемся к принципу Френеля-Гюйгенса. Именно гипотеза Планка допускает выполнение в природе принципа Френеля-Гюйгенса. Обычные электромагнитные волны не когерентны, потому что состоят из огромного количества фотонов с разными частотами, импульсами и поляризацией. Сами по себе эти фотоны являются когерентными волнами, которые могут гасить себя в процессе интерференции. Поэтому об отдельных фотонах можно говорить, что они распространяются в виде узкого канала, который соединяет источник света с глазом наблюдателя, и за пределами которого они

¹⁷ В принципе, этот эффект можно зарегистрировать и на полностью свободных электронах, но такие электроны трудно собрать в небольшой области пространства, по крайней мере, достаточно большое их количество. Из-за сильного электростатического отталкивания они разлетаются в разные стороны, уменьшая вероятность своего столкновения с рентгеновскими фотонами. А надежно зарегистрировать в эксперименте мы можем только большие коллективы фотонов. Зато в веществе, состоящем из легких атомов, состояние электронов незначительно отличается от свободного, но их концентрация оказывается достаточной для надежной регистрации эффекта Комптона.

Эффект Комптона можно наблюдать только на рентгеновских и гамма-фотонах, длина волны которых намного меньше длины волны свободных электронов. Длина волны световых, тепловых и радиочастотных фотонов сравнима с длиной волны свободных электронов, поэтому они не могут передавать им энергию и рассеиваются упруго, без энергии отдачи. С другой стороны, свободные электроны не могут поглощать фотоны, поскольку этого не допускают законы сохранения энергии и импульса. Поглощать фотоны могут только связанные электроны (например, электроны в атомах), передающие избыток импульса ядру.

гасят все свои вторичные проявления. Но о больших коллективах фотонов этого говорить нельзя. Обычные электромагнитные волны реальны во всем объеме охватываемого ими пространства, они не гасят свои вторичные проявления в процессе интерференции, по крайней мере, в обычных условиях. Для того чтобы получить интерференцию обычной электромагнитной волны, нужны специальные оптические приборы, разделяющие эту волну на когерентные пучки и сдвигающие фазу одного пучка относительно фазы другого пучка. Принцип же Френеля-Гюйгенса требует, чтобы электромагнитные волны гасили себя без каких-либо оптических приборов.

Невыполнение принципа Френеля-Гюйгенса в случае обычных электромагнитных волн объясняется самой их квантовой структурой, т.е. тем, что составляющие эти волны фотоны имеют конечную энергию, а их излучение и поглощение – конечную длительность. По этой причине обычные электромагнитные волны при движении наблюдателя не смещаются вслед за ним, а остаются на месте. С точки зрения принципа Френеля-Гюйгенса это означает, что если наблюдатель смещается в пространстве вдоль фронта обычной электромагнитной волны, то он видит разные изображения ее источника, поскольку прежние участки фронта при этом остаются на месте, а не следуют за ним.

Для того чтобы электромагнитные волны следовали за движением наблюдателя, составляющие эти волны фотоны должны иметь бесконечную энергию, а излучение и поглощение этих фотонов – бесконечную длительность. В таком случае время свободного пробега фотонов оказывается равным нулю, и они попросту замыкаются между своим источником и наблюдателем в виде непрерывной электромагнитной волны. Именно такую "классическую" ситуацию и предполагает принцип Френеля-Гюйгенса, выведенный в рамках классической физики, в которой квантовая структура электромагнитных волн не учитывается. Но обычные электромагнитные волны имеют развитую квантовую структуру, а потому применять к ним этот принцип следует осторожно.

Что такое квантовая форма принципа Френеля-Гюйгенса, можно показать на примере иллюзии сверхсветового движения. Специальная теория относительности запрещает превышение скорости света частицами, имеющими ненулевую массу покоя, но этот запрет относится только к скорости света в вакууме. В оптически плотной среде свет распространяется с меньшей скоростью, поэтому в ней можно наблюдать относительное сверхсветовое движение частицы со скоростью, меньшей скорости света в вакууме, но большей скорости света в данной среде. Если эта частица обладает электрическим зарядом, то она возбуждает атомы среды, которые становятся источниками излучения вторичных электромагнитных волн. При этом сама частица тормозится до тех пор, пока ее скорость не станет равной скорости света в данной среде.

Этот эффект был открыт Черенковым в 1934 году, поэтому сегодня он называется *эффектом Черенкова*.¹⁸ Его можно обнаружить не только в оптически плотной среде, но

¹⁸ В отличие от обычного тормозного излучения заряженной частицы, являющегося следствием изменения ее скорости, торможение частицы в эффекте Черенкова само является следствием излучения атомов. Так, например, если убыль кинетической энергии черенковской частицы можно было каким-то образом восполнять, и она двигалась в среде с постоянной сверхсветовой скоростью, то излучение Черенкова все равно наблюдалось бы, а тормозного излучения не было бы. Различить их легко, поскольку излучение Черенкова направлено под острым углом к скорости движения частицы, а тормозное излучение – под прямым углом. Фронт черенковского излучения формируется в строгом соответствии с принципом Френеля-Гюйгенса (т.е. его огибающая строится на основе интерференции вторичных волн).

и в вакууме. Впервые на такую возможность указал Хевисайд в 1892 году. Схема его (мысленного) опыта заключается в следующем. Возьмем источник узкого пучка света, который может вращаться в плоскости, параллельной поверхности Земли. Поместим источник в центр металлической сплошной кольцевой стены. Внутренняя поверхность стены является зеркальной. Если стена достаточно удалена от источника, а скорость вращения источника достаточно высока, то световой "зайчик" от пучка света будет обегать стену со скоростью, превышающей скорость света в вакууме. При этом в поверхностном металлическом слое стены будут возбуждаться вторичные колебания, и возникнет черенковское излучение. Если же сделать стену из диэлектрика, то излучение не возникнет.

Данный эффект не противоречит специальной теории относительности, поскольку фронт пучка движется к стене со световой скоростью,¹⁹ и световой зайчик на стене формируется разными участками фронта. А теперь представим, что пучок является когерентным. Тогда он не может разбиваться на отдельные участки фронта (на отдельные некогерентные фотоны), но может деформироваться (закручиваться), искажая изображение источника. Для всех мгновенных положений светового зайчика это будет одно и то же изображение источника, искаженное когерентной деформацией пучка. Это и есть квантовая форма принципа Френеля-Гюйгенса. Для того чтобы получить полное соответствие с исходным принципом, уберем стену и представим, что источник испускает не узкий когерентный пучок, а сферическую когерентную волну, и наблюдатель движется вокруг источника по окружности на том или ином расстоянии. При этом он также будет видеть одно и то же изображение источника, искаженное его движением вдоль фронта волны.²⁰

Другая возможность применения принципа Френеля-Гюйгенса к обычным электромагнитным волнам существует в рамках квантовой неопределенности импульса фотонов, поскольку фотон, как когерентная электромагнитная волна, может быть поглощен в любой точке своего волнового фронта. Пока фотон не поглощен наблюдателем, он представляет собой сферический волновой фронт, у которого есть только одно направление распространения – расширение во все стороны пространства от точки своего излучения. Конкретное направление импульса фотон обретает только в момент своего поглощения, когда образуется тот самый пространственный канал, который соединяет точку излучения данного фотона с точкой его поглощения. Но этот канал может образоваться в любой точке его волнового фронта, в которой возможно его поглощение, поскольку все точки этого фронта равноправны. Назовем это предположение *моей*²¹ моделью эфира.

Но здесь возникает другая проблема – проблема противоречивости самой квантовой механики, связанная с вероятностным характером ее законов. Продемонстрировать это можно на примере дифракции электромагнитных волн соответствующей длины на щелевидном препятствии. Если облучать это препятствие достаточно интенсивным пучком таких волн, то на расположенном за препятствием экране возникнет классическая дифракционная картина, характерная для прохождения волн сквозь препятствие, размеры которого сравнимы с длиной этих волн. Но если интенсивность этого пучка уменьшать до интенсивности одного фотона, то картина на экране окажется точечной, причем точку

¹⁹ Именно с этой скоростью энергия пучка передается частицам стены, генерирующим черенковское излучение.

²⁰ Таким способом можно даже вывернуть наизнанку изображение источника.

²¹ В смысле *моей*, а не *вашей* – Gandalf.

попадания каждого фотона невозможно предугадать заранее. И, наконец, если мы заменим экран фотопластинкой и будем достаточно долго фотографировать на ней отдельные фотоны, проходящие сквозь препятствие, то вновь получим классическую дифракционную картину.

С точки зрения классической физики два последних результата этого опыта просто невероятны. Согласно законам классической электродинамики, при уменьшении интенсивности пучка электромагнитных волн в этом опыте должна уменьшаться только общая интенсивность дифракционной картины на экране. В реальном же опыте при уменьшении интенсивности пучка дифракционная картина на экране начинает флуктуировать, становится неравномерной и в пределе сводится к точечному непредсказуемому поглощению отдельных фотонов.

С вероятностным характером законов квантовой механики не могли смириться многие видные ученые. Наиболее ярким ее противником был Эйнштейн, говоривший по этому поводу, что "Бог не играет в кости". Основным аргументом его было то, что вероятностная интерпретация квантовой механики нарушает классическую причинность, поскольку допускает мгновенную скорость передачи воздействий. Но специальная теория относительности запрещает такие скорости, ограничивая их скоростью света. И если эта теория справедлива, то, следовательно, квантовая механика не учитывает какие-то *скрытые параметры*, позволяющие описывать поведение квантовых объектов, не нарушая классическую причинность.

В качестве иллюстрации этих аргументов Эйнштейна можно привести тот же опыт по дифракции одиночных фотонов на щелевидном препятствии. Согласно законам квантовой механики, каждый из фотонов с равной вероятностью может попасть в любую точку экрана, на которой возможно возникновение дифракционной картины. Пусть это будут две диаметрально противоположные, максимально удаленные друг от друга (в пределах дифракционной картины) точки экрана. Если известно, что какой-то фотон попал в одну из этих точек, то тут же становится ясно, что он не попал в другую точку. Это равносильно тому, что между точками экрана имело место некое мгновенное взаимодействие. Тем самым нарушается запрет специальной теории относительности на сверхсветовые скорости распространения взаимодействий.²²

Аналогичная ситуация возникает и в моей модели эфира при поглощении фотонов наблюдателем, когда они стягивают к нему весь свой волновой фронт. Поскольку это стягивание осуществляется со скоростью поглощения фотонов материей, то ясно, что досветовые скорости в нем возможны только при небольшом диаметре этого фронта. Или, что равносильно, при небольшом удалении этих фотонов от точки своего излучения. Если же они удаляются от точки своего излучения на бесконечное расстояние, то стягивание их волнового фронта к точке поглощения осуществляется мгновенно. И если в квантовой механике еще можно укрыться от этой проблемы за вероятностным характером ее законов, то в моей модели эфира – нет. В моей модели эта проблема требует именно классического объяснения.

Классический смысл запрета специальной теории относительности на мгновенную скорость передачи воздействий заключается в том, что все взаимодействия в природе

²² Сегодня считается, что такие (виртуальные) взаимодействия не связаны с переносом энергии.

передаются контактным способом, т.е. от одного тела к другому, от одной среды к другой. А все тела и среды обладают инерцией, т.е. запаздыванием ответной реакции на то или иное воздействие. Согласно теории упругости, передача волнового воздействия в физической среде зависит от инерции ее частиц и силы взаимодействия их друг с другом. Если частицы обладают инертной массой, то они реагируют на воздействие не мгновенно, а с запаздыванием, величина которого определяется инерцией частиц, дающей в сумме инерцию среды. Наименее инертной физической средой является электромагнитное поле, волновое воздействие в котором передается с максимальной в природе скоростью – скоростью света. В классическую электродинамику последняя так и входит – в виде поправочного инерционного коэффициента к уравнениям электромагнитного поля.

Правда сразу же следует оговориться, что классическая механика не запрещает мгновенную скорость передачи воздействий. Из той же теории упругости следует, что если у частиц отсутствует масса покоя, то любое воздействие в среде, состоящей из этих частиц, передается мгновенно. К такой среде законы специальной теории относительности не применимы, поэтому с ее помощью можно было бы дать классическое истолкование законов квантовой механики, а значит и моей модели эфира. Но среды с такими свойствами пока не известны науке. Точнее, они не известны экспериментальной науке, поскольку в теоретической науке они уже давно обсуждаются.

Дело в том, что формула специальной теории относительности, запрещающая телам с ненулевой массой покоя превышать скорость света (и даже достигать этой скорости!), не применима к фотонам, обладающим нулевой массой покоя, хотя никакой строгой границы между частицами с нулевой и ненулевой массой покоя эта формула не устанавливает. Если эту формулу применять к фотонам, то их энергию приходится считать нулевой, что равносильно несуществованию их в природе. А между тем, фотоны существуют и обладают ненулевой энергией.

Решение этой проблемы сегодня видят в гипотезе *таххионов*. Тахионы – это частицы, обладающие ненулевой мнимой массой и движущиеся со сверхсветовой скоростью. В таком случае фотоны оказываются частицами, промежуточными между тахионами, обладающими мнимой массой, и *брадионами*, т.е. обычными материальными частицами, обладающими вещественной массой. При этом неприменимость к фотонам указанной формулы получает простое объяснение. Она не применима к ним потому, что ее нельзя применять одновременно к частицам с мнимой и вещественной массой, поскольку в таких условиях геометрия пространства-времени не может оставаться прежней.²³

Своими свойствами тахионы сильно отличаются от известных нам материальных частиц. Так, например, тахионы, движущиеся с бесконечной скоростью, энергии не имеют. Полагают, что зарегистрировать подобные тахионы в эксперименте невозможно, в связи с чем их еще называют *трансцендентными тахионами*. Чтобы затормозить трансцендентные тахионы до скорости света, нужно сообщить им бесконечную энергию, и наоборот, увеличивая свою скорость от световой до бесконечной, "обычные" тахионы должны все время излучать фотоны, превращаясь таким образом в трансцендентные тахионы.

²³ Любопытно, что к квантовым объектам, состояние которых описывается комплексной, (т.е. одновременно мнимой и вещественной) волновой функцией, эта формула применяется уже давно. По крайней мере, не менее трех десятков лет после предложения Планком квантовой гипотезы.

Наиболее серьезное возражение против гипотезы тахионов состоит в том, что они нарушают классическую причинность. Чтобы продемонстрировать это, Кауфман предложил следующий мысленный эксперимент.²⁴ Предположим, что у нас имеется ружье, стреляющее тахионными пулями. Тогда наблюдатель, перемещающийся вдоль траектории тахионной пули с досветовой скоростью, обнаружит, что она достигает мишени раньше, чем был произведен выстрел из ружья. А поскольку весь наш опыт свидетельствует о сохранении причинности в физических процессах, то существование тахионов в природе оказывается под сомнением.

Ошибка Кауфмана состоит в том, что он исходит из наглядных представлений о тахионах как о частицах, подобных обычным материальным частицам, и только движущихся с необычной скоростью. Физическая природа тахионов радикально отличается от природы обычных частиц, поэтому если он (Кауфман) объединил их в одном эксперименте,²⁵ то должен был исходить из совершенно иной геометрии пространства-времени, в которой классическая причинность может не сохраняться. Какой именно геометрии – это уже другой вопрос, который я буду рассматривать в следующей части. Но то, что эта геометрия имеет место в природе, доказывают квантовые объекты, нарушающие классическую причинность также, как объекты с комплексной массой покоя.²⁶

Но пока что оставим эту проблему и вернемся к классическому объяснению квантовой гипотезы Планка. Как я уже говорил, возможность такого объяснения существует в рамках классической зависимости между энергией электромагнитной волны и ее фазовой скоростью. Проблема заключается в том, что эта зависимость проявляется только в материальных средах, обладающих свойством дисперсии, тогда как квантование энергии электромагнитных волн проявляется даже в вакууме, не обладающим этим свойством.

Но оказывается, что это препятствие можно обойти, если предположить, что электромагнитные волны не распространяются в пространстве в обычном смысле этого слова, а просто "исчезают" в точке своего излучения, "зависая" на некоторое время (время своего свободного пробега) в пространстве в неопределенном состоянии, и вновь появляются в точке своего поглощения. Определенные основания для такого предположения у меня уже есть, учитывая, что кванты электромагнитных волн как объекты, промежуточные между тахионами и брадионами, нарушают классическую причинность. Осталось только избавить мою модель эфира от последних иллюзий, приписывающих нарушение классической причинности одному лишь моменту поглощения электромагнитных волн.

Нарушение классической причинности происходит в течение всего времени свободного существования электромагнитных волн, начиная с момента их излучения и кончая моментом их поглощения. Наглядно это можно представить себе как то, что в момент излучения вторичные составляющие электромагнитных волн охватывают все пространство нашей Вселенной, мгновенно развертываются из точки своего излучения на весь объем этого пространства. И наоборот, в момент своего поглощения вторичные составляющие электромагнитных волн мгновенно свертываются из бесконечности

²⁴ У. Кауфман "Космические рубежи теории относительности" М: Мир, 1981 г. стр. 55.

²⁵ То есть предполагает, что обычное ружье, сделанное из обычной материи, стреляет необычными пулями, сделанными из тахионной материи.

²⁶ Забегая вперед, хочу сказать, что этот вопрос охватывает симметричную электродинамику, хромодинамику, квантовую гравитацию, Единую теорию поля и т.д. и т.п. . .

пространства в точку своего поглощения. При этом распространение электромагнитных волн в пространстве Вселенной сводится к перераспределению в нем волн вероятности, т.е. точек вероятного излучения и поглощения этих волн.

В предыдущем варианте этой части дальше я стал объяснять, как можно наглядно представить такое распространение. Но сейчас решил не делать этого, поскольку данная модель является предварительной и в следующих частях радикально изменит свое содержание, сохранив только свой нелокальный характер. Скажу только, что в данной модели нужно строго разграничивать ту часть электромагнитных волн, которая взаимодействует с веществом, и ту их часть, которая свободно распространяется в пространстве. Первая – это именно те электромагнитные волны, которые описывает современная физика. Все проявления этих волн – амплитуда, длина волны, фаза, поляризация, квантовые свойства – имеют локальный характер.²⁷ Вторая – это главная особенность моей модели. Все "проявления" этих волн имеют нелокальный характер.²⁸ Некоторые из таких "проявлений" я рассмотрю в этой части, а остальные – в других частях.

Вот тут-то и оказывается, что распространение электромагнитных волн в вакууме нельзя отделять от распространения их в материальных средах, поскольку в момент излучения вторичные составляющие этих волн охватывают весь объем пространства Вселенной, а значит взаимодействуют со всей материей. Поэтому классическая зависимость энергии этих волн от фазовой скорости справедлива как для распространения их в материальных средах, так и для распространения их в вакууме. Другой вопрос, каким образом эта зависимость приводит к квантованию этих волн. Чтобы ответить на этот вопрос, нужно более внимательно приглядеться к явлению дисперсии.

Обычно явление дисперсии демонстрируют на примере прохождения солнечного луча сквозь стеклянную призму. Проходя через эту призму, он разлагается на свои составляющие – красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий и фиолетовый лучи. Это объясняется тем, что лучи разной частоты по-разному преломляются в призме. Чем меньше частота светового луча, тем слабее он преломляется призмой, и наоборот, чем больше эта частота, тем сильнее луч преломляется призмой. Наименьшей частотой в солнечном спектре обладает красный цвет, а наибольшей – фиолетовый. Поэтому если плоскость призмы расположить вертикально, то красный луч в полученном спектре займет верхнее положение, а фиолетовый луч – нижнее положение.

Но такое разложение солнечного спектра возникает только в случае нормальной дисперсии, когда солнечный свет не поглощается материальной средой, а только преломляется в ней. Обычное стекло прозрачно для видимого света, поэтому в данной области частот мы наблюдаем в нем нормальную дисперсию света. Если же материальная среда интенсивно переизлучает электромагнитные волны, то наблюдается явление

²⁷ Локальные проявления сохраняют классическую причинность и, прежде всего, не нарушают запрет специальной теории относительности на превышение скорости света. Поэтому взаимодействие электромагнитных волн с веществом можно представлять так, как это делает современная физика. Единственная оговорка состоит в том, что квантовые свойства электромагнитных волн являются квазилокальными – их локальность нарушается виртуальными взаимодействиями в рамках принципа неопределенностей Гейзенберга.

²⁸ Нелокальные проявления нарушают классическую причинность и, прежде всего, запрет на превышение скорости света. Иллюзия сверхсветового движения не нарушает этот запрет, его нарушают только тахионы.

аномальной дисперсии, в котором спектральные составляющие этих волн располагаются в обратном порядке. В обычном стекле аномальная дисперсия наблюдается в области инфракрасных и ультрафиолетовых частот электромагнитных волн. При этом волны меньших частот преломляются сильнее, чем волны больших частот.

Аномальная дисперсия позволяет рассматривать квантование электромагнитных волн как их солитонизацию при взаимодействии с веществом. В современной физике *солитоны* рассматриваются как макроквантовые объекты, соединяющие в себе свойства волн и частиц. Солитоны возникают в результате взаимодействия нелинейных свойств материальной среды и дисперсии распространяющихся в ней волн. Нелинейность среды – это ее способность неоднозначно откликаться на одно и то же воздействие, а также неоднозначно суммировать различные воздействия. Микроскопический механизм такой нелинейности состоит в том, что каждая ее частица обладает определенными инерционными особенностями. При некоторых макроскопических движениях среды ее внутренняя микродинамика перераспределяется так, что возникает резонанс, и амплитуда колебаний среды начинает неограниченно расти.

Дисперсия – это второе необходимое условие образования солитонов. Дисперсией, как я уже говорил, называют зависимость скорости распространения волн в материальной среде от их частоты. Микроскопический механизм дисперсии состоит в определенном характере взаимодействия между частицами среды. Чем слабее это взаимодействие и чем больше расстояние между частицами среды, тем сильнее в ней затухают высокочастотные волны. Низкочастотные волны распространяются в материальных средах практически без дисперсии.

Действуя порознь, дисперсия и нелинейность приводят к затуханию и разрушению волн, но действуя вместе, они приводят к рождению солитонов. При этом нелинейное взаимодействие волн различной частоты обеспечивает перекачку избыточной энергии от резонирующих волн к затухающим. Дисперсия и нелинейность присущи материальным средам исходно, поэтому рождение солитонов в них определяется теми же возмущениями, которые рождают обычные волны. Возмущение материальной среды – это причина рождения солитона, который продолжает существовать до тех пор, пока другие возмущения не истощат запас его энергии, либо до встречи с другой материальной средой, которая способна его разрушить.

Таким образом, связь между энергией и частотой электромагнитных волн в квантовой гипотезе Планка допускает простое классическое истолкование. Солитонизация электромагнитных волн – это и есть причина квантования их энергии. Солитонизация электромагнитных волн происходит в тех же материальных средах, что и обычная их дисперсия. И если эта солитонизация носит универсальный характер, т.е. наблюдается как при взаимодействии электромагнитных волн с веществом, так и при свободном их распространении, то это означает лишь то, что без материальных сред электромагнитные волны не существуют. Неучет этого факта современной физикой и приводит к тому, что квантовая гипотеза Планка в ней не имеет классического истолкования. В моей модели эфира это истолкование естественным образом следует из особого (нелокального) характера распространения электромагнитных волн.

Современная физика правильно утверждает, что в вакууме отсутствует дисперсия электромагнитных волн, поскольку в вакууме отсутствуют материальные частицы. Но она не учитывает того, что в вакууме электромагнитные волны не распространяются в

обычном смысле этого слова, а просто "зависают" в неопределенном состоянии, охватывая весь объем пространства Вселенной. При этом нет никакой возможности отделить материальные среды от вакуума, поскольку материальные среды – это смесь материальных частиц и того же вакуума.

С другой стороны, одной лишь солитонизации электромагнитных волн еще недостаточно для их квантования, поскольку солитоны даже одного вида могут сильно различаться – энергией, формой и т.д. Квантование же, как разновидность солитонизации, требует, чтобы солитоны одного вида были не просто похожи друг на друга, а тождественны, неразличимы. И этот факт пока что не находит отражения в моей модели.

Решение этой проблемы нашел Эйнштейн. В 1916 году он показал, что состояние термодинамического равновесия между веществом и электромагнитным излучением можно объяснить, если ввести понятия *спонтанного* и *вынужденного* излучения. Спонтанное излучение носит случайный характер и зависит от свойств самого вещества. Но тогда, рассуждал Эйнштейн, разные тела отдавали бы энергию излучения с разной скоростью, и тепловое равновесие между ними было бы невозможно. Это противоречит известному факту, что любые два тела, свободно обменивающиеся теплом, в конце концов, обретают одинаковую температуру.

Чтобы разрешить это противоречие, Эйнштейн ввел понятие вынужденного излучения. Если вблизи возбужденного атома пролетает фотон, энергия которого равна энергии возбужденного атома, то, согласно Эйнштейну, в этом атоме происходит вынужденный переход электрона с возбужденной орбиты на основную, сопровождающийся излучением фотона. При этом новый фотон будет полностью идентичен тому, который спровоцировал его излучение, т.е. будет иметь ту же энергию, тот же импульс и ту же фазу. В спонтанном излучении фотоны излучаются атомами независимо, поэтому их энергии, импульсы и фазы распределяются случайным образом.²⁹

При наличии вынужденного излучения тепловое равновесие между телами выполняется автоматически, поскольку вынужденное излучение уравнивает скорости отдачи ими энергии в спонтанном излучении. Чем интенсивнее спонтанное излучение одного тела, тем интенсивнее вынужденное излучение другого тела, если его спонтанное излучение менее интенсивно, чем у первого тела. Поэтому в условиях теплового равновесия температура обоих тел оказывается одинаковой.

Таким образом, Эйнштейн физически обосновал закон Кирхгофа, согласно которому равновесие электромагнитного излучения с веществом не зависит от природы этого вещества. При этом он показал, что формула Планка для излучения абсолютно черного

²⁹ В моей модели вынужденное излучение объясняется тем, что геометрия пространства-времени свободного фотона не совместима с геометрией пространства-времени когерентного ему поглощенного фотона, поэтому когда первый оказывается возле второго, то происходит согласование пространства-времени обоих фотонов. (В следующей части я объясню, чем различаются эти геометрии). Такое согласование имеет два варианта – либо излучение поглощенного фотона, либо поглощение пролетающего фотона соседним атомом. Первое соответствует вынужденному излучению, второе – накоплению одинаковых фотонов на метастабильных уровнях энергии вещества. При этом само существование метастабильных уровней можно рассматривать как то же вынужденное излучение, в котором излучение метастабильным атомом фотона сопровождается немедленным поглощением его другим метастабильным атомом, излучившим точно такой же фотон, а первый атом при этом немедленно поглощает фотон, когерентный двум предыдущим.

тела только тогда следует из законов термодинамики, когда в переходах электронов с возбужденных орбит на основные орбиты участвует вынуждающий эти переходы фотон. Именно это разграничение спонтанного и вынужденного излучения в полости абсолютно черного тела и предложил в свое время Планк, решая задачу Кирхгофа.

Эта идея Эйнштейна позволяет объяснить, каким образом солитонизация электромагнитных волн приводит к их квантованию на фотоны. Все дело в тепловом равновесии нашей Вселенной. Наша Вселенная – это то же абсолютно черное тело, в полости которого электромагнитное излучение обменивается энергией с веществом. Разница в том, что замкнута в данном случае сама "полость", т.е. пространство нашей Вселенной, а вещество находится внутри него. И находится эта "полость" в тепловом равновесии с незапамятных времен, а точнее с тех пор, когда во Вселенной появились электромагнитное излучение и устойчивая структура материи. При этом автоматически появилась и квантовая структура электромагнитного излучения.

Кроме того, эта идея Эйнштейна позволяет уточнить механизм распространения фотонов в пространстве как перераспределения в нем волн вероятности. Данный механизм – это такое же взаимодействие фотонов с фотонами, как и в эффекте вынужденного излучения. Оба эффекта являются безынерционными – в них отсутствует временная пауза между воздействием одного и откликом другого фотона. Отличие заключается в том, что в вынужденном излучении этот эффект является локальным,³⁰ а при взаимодействии свободных фотонов – нелокальным.³¹ При этом в последнем случае каждый свободный фотон взаимодействует с огромным множеством других таких же фотонов³² и образует так называемые *суперпозиции* – специфические квантовые состояния, в которых после моментов излучения и до моментов поглощения невозможно определить состояния отдельных фотонов. Например, невозможно установить источники их излучения и поглощения.

Вот теперь я могу ответить на вопрос, почему результат эксперимента Майкельсона и Морли невозможно объяснить в рамках современной теории вакуума, без привлечения специальной теории относительности. Вся современная физика, в том числе теория вакуума, построена на идее квантового, т.е. вероятностного характера движения микрочастиц. Но сам вероятностный характер этого движения не имеет в ней классического истолкования, он вводится в нее в виде аксиомы, т.е. недоказуемого (но – экспериментально подтверждаемого) утверждения, на котором строится вся остальная теория. Именно этот факт не позволяет объяснить результат эксперимента Майкельсона и Морли в рамках современной теории вакуума. Такое объяснение требует классического истолкования волн вероятности (поскольку эксперимент Майкельсона и Морли является классическим электродинамическим опытом), а именно это не позволяет сделать современная физика.

Подобное толкование электромагнитного эфира позволяет совершенно по-новому взглянуть на специальную теорию относительности Эйнштейна. В самом деле, если пространство-время нашей Вселенной – это и есть электромагнитный эфир, то ясно, что не только геометрия пространства-времени определяет поведение электромагнитных

³⁰ Поскольку при этом вынуждающий фотон взаимодействует с поглощенным материей фотоном.

³¹ Поскольку при этом свободный фотон взаимодействует с таким же свободным фотоном.

³² В вынужденном излучении вынуждающий фотон также может взаимодействовать с множеством поглощенных фотонов, но все равно локально.

волн, но и наоборот, поведение электромагнитных волн определяет геометрию пространства-времени. Ведь геометрия пространства-времени – это всего лишь другое название процесса измерения физических величин в различных системах отсчета. Результаты этого измерения зависят от свойств пространства-времени, окружающего данные системы отсчета. У Эйнштейна эти свойства не имеют физического объяснения, они вводятся в теорию аксиоматически; в моей модели эфира они полностью определяются поведением электромагнитных волн.

Ранее я уже говорил, что в классической электродинамике Максвелла скорость электромагнитных волн в вакууме возникает в виде поправочного инерционного коэффициента, характеризующего задержку отклика электромагнитного поля на то или иное воздействие. На самом деле это не совсем так, поскольку в уравнениях теории Максвелла фигурирует не скорость света, как таковая, а электрическая и магнитная постоянные, учитывающие взаимодействие электромагнитного поля с веществом. При этом электрическая постоянная попадает в эту теорию из закона Кулона, описывающего взаимодействие электрических зарядов, а магнитная постоянная – из закона Био-Савара-Лапласа, описывающего взаимодействие проводников с током. Отношение этих двух постоянных и отождествляется сегодня со скоростью электромагнитных волн в вакууме.

Поводом к такому отождествлению послужил опыт Вебера, поставленный в 1846 году. В этом опыте сравнивалась величина электрического заряда, измеренного по силе электростатического поля заряженного шара, с величиной этого заряда, измеренного по силе постоянного электрического тока в проводнике. Как установил Вебер, отношение размерностей этих зарядов имеет размерность скорости, а величина этого отношения близка к величине скорости света в вакууме. Дальше этого Вебер не пошел, не отождествил измеренную им величину со скоростью электромагнитных волн в вакууме. Такое отождествление сделал Максвелл. При этом он показал, что в опыте Вебера измерялось именно отношение электрической и магнитной постоянных, и что это отношение не случайно имеет размерность и величину скорости света в вакууме, поскольку световые волны являются частным случаем электромагнитных волн.

Но делая такое отождествление, Максвелл не учел особый характер распространения электромагнитных волн. Отношение электрической и магнитной постоянных действительно характеризует инерцию электромагнитного поля, но эту инерцию нельзя отождествлять с механическим движением материальных тел. Даже с движением материальных сред эту инерцию нужно отождествлять осторожно, поскольку электромагнитные волны не распространяются в пространстве в обычном смысле этого слова. Инерция электромагнитного поля – это задержка его отклика на процессы излучения и поглощения электромагнитных волн материей. С учетом моей гипотезы эфира, такая задержка характеризует инерцию самого пространства-времени.

Именно такую инерцию пространства-времени нашей Вселенной и характеризуют электрическая и магнитная постоянные. Особенно очевидным это становится, когда они характеризуют ее по отдельности, т.е. как фундаментальные постоянные, фигурирующие в законах Кулона и Био-Савара-Лапласа. В такой интерпретации их можно отождествлять только с физическими свойствами пространства, разделяющего взаимодействующие электрические заряды и взаимодействующие проводники с током. А физические свойства пространства, как я уже установил, – это ни что иное, как физические свойства электромагнитного эфира. Отождествление этих постоянных с механическим движением

возникает только при сравнении этих законов, когда свойства движущихся электрических зарядов некритически переносятся на свойства электромагнитного поля.

Известно, что в любых фазовых переходах вещества возникает дефект массы, описываемый знаменитой эйнштейновской формулой $E_0=mc^2$. Эту формулу Эйнштейн получил из сравнения кинетической энергии тела и энергии его электромагнитного излучения, которые оказывались различными при движении этого тела с разными скоростями. Благодаря принципу относительности, оба вида энергии оказались неразрывно связанными. А поскольку потенциальная энергия тела в классической механике может непрерывным образом превращаться в его кинетическую энергию, то отсюда Эйнштейн сделал вывод, что потенциальная энергия тела может напрямую переходить в энергию электромагнитного излучения, уменьшая при этом массу тела.

Этот вывод был настолько необычным, что Эйнштейн поначалу отнесся к нему с недоверием.³³ С появлением концепции дефекта массы³⁴ страсти вокруг этого вывода улеглись, хотя формула $E_0=mc^2$ так и осталась двусмысленной. С одной стороны, ее не рекомендуют толковать как возможность превращения массы в энергию, поскольку она описывает не превращение, а соответствие между массой покоящегося тела и его потенциальной энергией. Превращаться друг в друга могут только разные виды энергии, например, потенциальная энергия тела в его кинетическую энергию. Но с другой стороны, многие люди толкуют эту формулу именно в смысле превращения массы в энергию. Поводом к тому служит возможность превращения всей потенциальной энергии тела в его кинетическую энергию. Например, при аннигиляции электронов и позитронов в фотоны.

Моя модель эфира устраняет двусмысленность этой формулы, поскольку она не применима к фотонам. Точнее, она применима к ним лишь в той мере, в какой мы учитываем особый характер их движения в пространстве. Например, в виде переноса в пространстве части инертной массы частиц, обладающих массой покоя, к другим таким же частицам немеханическим способом, т.е. в виде фотонов, не обладающих массой покоя. Отождествление движения фотонов с механическим движением возникает из-за того, что в обычных условиях инертная масса движется в пространстве только механическим способом. Но движение фотонов – это не обычный способ переноса в пространстве инертной массы, поскольку в нем эта масса "размазывается" по всему пространству нашей Вселенной. Именно поэтому масса фотонов и считается нулевой, несмотря на наличие у них импульса, именно поэтому к ним без оговорок нельзя применять эйнштейновскую формулу $E_0=mc^2$.³⁵

Что касается увлечения эфира материей при преломлении электромагнитных волн и отсутствия такого увлечения при астрономической аберрации этих волн, то здесь я согласен с Лармором (я говорил о нем в 9-й сноске). Для описания эфира не нужно "ломать голову" над его внутренней структурой, достаточно лишь утверждать, что его динамика в точности соответствует наблюдаемым эффектам. В следующей части я представлю такую структуру и покажу, что над ней действительно не стоит "ломать голову", поскольку она не совместима с геометрией пространства-времени нашей Вселенной. А здесь я попытаюсь обосновать позицию Лармора.

³³ Потому что из него следовало, что фотоны имеют массу, поскольку имеют энергию.

³⁴ Понятие дефекта массы ввел в ядерную физику Ланжевэн в 1913 году.

³⁵ При аннигиляции электронов и позитронов в фотоны эта оговорка сводится к немеханическому переносу всей инертной массы этих частиц к другим материальным частицам.

В 1713 году Котс сформулировал принцип,³⁶ согласно которому все положения физической теории, которые не следуют непосредственно из наблюдений, нужно из нее убирать. Объясняется это тем, что физики-теоретики имеют дело с двумя типами событий: наблюдаемыми и ненаблюдаемыми. Существование вторых не утверждается, но подразумевается, поскольку они необходимы для причинного согласования наблюдаемых событий. Наблюдаемые события называются *явлениями*, а ненаблюдаемые – *промежуточными явлениями*. Пример тех и других дает оптика: свет не наблюдаем, пока не взаимодействует с веществом. Взаимодействие света с веществом – это явление. А поскольку скорость света конечна, то имеется промежуток времени между этими взаимодействиями, в течение которого свет продолжает существовать в некоторой гипотетической форме. Если мы соглашаемся с таким существованием, то должны соглашаться и с его статусом промежуточного явления. Согласно Котсу, промежуточные явления не следует брать в расчет, поскольку все необходимые формулы теории можно вывести и без них. Но школа Декарта, к примеру, считала, что понимание промежуточных явлений необходимо и рассматривала это как перенос теории за пределы наблюдаемых явлений, в более глубокие области знания.

Как вы думаете, каким принципом руководствуются сегодняшние физики-теоретики? Если учесть, что современная физика достигла предела абстракции и в разработке новых теорий руководствуется не столько их экспериментальной проверкой, сколько их математической красотой и логической непротиворечивостью, то скорее принципом Декарта. С другой стороны, все эти теории руководствуются и принципом Котса. Возьмем, к примеру, квантовую теорию поля. Понятно, что она опирается на наблюдаемые явления, и это соответствует обоим принципам. Понятно, что она рассматривает промежуточные явления (например, электромагнитное излучение) как существующие, и это больше соответствует принципу Декарта. Но в ней можно указать и такие разделы, которые в отношении промежуточных явлений руководствуются только принципом Котса (например, теорию перенормировки³⁷). Я хочу указать такой раздел, который обосновывает позицию Лармора в гипотезе эфира, – это квантование калибровочных полей.

Сначала рассмотрим формализм *континуального интеграла*. Понятие континуального интеграла было введено Фейнманом в квантовую электродинамику в 1948 году. При этом временная эволюция квантовой системы от момента 0 до момента T представлялась в виде последовательности эволюций в малых промежутках времени t . После этого бралась функция, где наблюдаемой являлась координата q , и представлялась в виде многократного интеграла по возможным значениям координаты q в промежутках времени t . Уменьшая размеры промежутков времени и увеличивая количество интегрирований до бесконечности, получали континуальный интеграл. Этот интеграл можно трактовать как интеграл по всем возможным значениям координат частицы в промежутке времени от 0 до T , т.е. по всем возможным значениям ее траектории в этом интервале. Тем самым интеграл по траекториям представлялся в виде интеграла по всем возможным значениям функции $q(t)$. В квантовой теории поля в роли координат частиц выступают значения полевых функций во всех точках четырехмерного пространства-времени. Поэтому в ней континуальный интеграл можно рассматривать как функциональный интеграл по полевым

³⁶ Он сформулировал этот принцип в предисловии ко второму изданию "Математических начал натуральной философии" Ньютона.

³⁷ Я буду рассматривать ее в следующей части.

функциям.

Поначалу континуальный интеграл использовался только в теории возмущений. Однако вскоре выяснилось, что он обладает свойствами обычного интеграла и допускает замену переменных. По этой причине формализм континуального интеграла оказался удобным методом квантования калибровочных полей, которые, наряду с физическими, содержат нефизические степени свободы. Для исключения нефизических степеней требуется интегрировать не по всем, а только по физическим степеням. Формализм континуального интеграла позволяет простым способом учесть все эти степени и ввести ограничения на нефизические степени свободы. Достигается это введением вспомогательного поля *духов Фаддеева-Попова*,³⁸ с которым взаимодействует основное калибровочное поле. Духи нейтрализуют нефизические степени свободы на промежуточном этапе вычислений и исчезают в конечном результате, в котором остаются только физические степени свободы основного поля.

Более подробно духовые поля я буду рассматривать в следующих частях, а здесь только скажу, что с их помощью в квантовой теории поля также нейтрализуются нефизические компоненты электромагнитного поля.³⁹ Потому что это поле также является калибровочным и у него также имеются нефизические компоненты, которые желательно исключить при его квантовании. Это и есть наглядный пример действия принципа Котса. И это наглядный пример того, как внутренняя динамика эфира может в точности соответствовать наблюдаемым эффектам. Потому что эта динамика проявляется не в физических, а в нефизических (в моей модели – нелокальных) свойствах электромагнитного поля. Свободное состояние этого поля определяется именно такими свойствами, а его физические свойства мы только подразумеваем при этом.

"...Но Виккор Маллансон никак не мог получить Темпоральное поле в 24-м веке. Ни он и никто другой. Тогда еще не существовало необходимой математической базы. Фундаментальные уравнения Лефевра могли быть выведены только после появления в 27-м Столетию работ Жана Вердые..."

После того, как Поле было открыто, потребовалось почти триста лет, чтобы разработать соответствующую теорию, и за это время первоначальная установка Маллансона не претерпела никаких изменений или усовершенствований. Даже при беглом знакомстве с этой установкой становится ясно, что при ее создании были использованы уравнения Лефевра. Но если Маллансон знал о них или вывел их самостоятельно, что совершенно невозможно без работ Вердые, то почему он нигде не говорит об этом?..."

Айзек Азимов. "Конец Вечности".

Продолжение следует...

³⁸ В 1967 году Фаддеев и Попов построили последовательную схему квантования калибровочных полей, отсюда и название вспомогательного поля.

³⁹ Еще могу добавить, что духи возникают из вакуума в том же пространстве-времени, в котором существует электромагнитное поле. На время процедуры квантования пространство-время под воздействием духов обретает необычные (суперсимметричные) свойства. Так утверждает теория. А на самом деле духи всегда находятся в вакууме и всегда связаны с физическими полями.