



Общие вопросы истории и философии науки

УДК: 165.0

DOI: 10.15372/PS20260110

EDN: GVPWWF

В.И. Литвинцев

ФИЛОСОФСКО-ФИЗИЧЕСКАЯ РЕВИЗИЯ ДУАЛИЗМА СВЕТА

В статье рассматривается возникшее с середины XVII в. противостояние корпускулярной теории Ньютона и волновой теории света Гюйгенса. С высоты современных знаний на основе представлений луча света как потока фотонов-корпускул и с использованием общеизвестных законов механики объясняются основные явления и выводятся важные формулы оптики. Это говорит в пользу корпускулярной теории как физической модели света. Волновая теория как абстрактная (условная) модель играет дополнительную роль: она является усредненным математическим инструментом оптики.

Ключевые слова: корпускулы; фотон; волновая теория; отражение; преломление; дифракция; интерференция; движущие среды

V.I. Litvintsev

PHILOSOPHICAL AND PHYSICAL REVISION OF THE DUALISM OF LIGHT

The paper examines the opposition between Newton's corpuscular theory of light and Huygens' wave theory that arose in the mid-seventeenth century. From the height of modern knowledge, based on the concept of a light beam as a stream of photon corpuscles and using well-known laws of mechanics, basic phenomena are explained and important optical formulas are derived. This speaks in favor

of the corpuscular theory as a physical model of light. The wave theory plays an additional role – it is an averaged mathematical tool of optics that serves as an abstract (conditional) model.

Keywords: corpuscles; photon; wave theory; reflection; refraction; diffraction; interference; moving media

Введение

В современной физике корпускулы Ньютона отвергнуты. Теоретики доктринально узаконили объяснение световых явлений только в рамках волновой теории. Простота волновых вычислений устроила инженеров, конструкторов, экспериментаторов. И все же зададимся философскими и физическими вопросами.

1. Как быть со свойством расходимости волны одиночного фотона? Волна расходится, а свойства фотона-кванта одинаковы на расстоянии 1 м и 1 млрд км.
2. Как быть с рассеиванием энергии волны фотона в бесконечное пространство, тем более заполненное веществом?
3. Какой механизм сохраняет энергию кванта волны фотона?
4. Как волна фотона локализуется, соединяясь с одним электроном?
5. Как волны одной длины и волны одной фазы не смешиваются энергетически, а проявляют свою индивидуальность и свои квантовые свойства при взаимодействиях с веществом?

Вопросов много, ответов нет. Логично поставить кардинальный философский вопрос: какой из двух вариантов – корпускулярный или волновой – является более элементарным, основным? И можно ли построить другой вариант из элементов основного?

Сконструировать корпускулу из волны нереально. Например, сконструировать фотон-шар, летящий прямолинейно многие миллиарды лет в целостности и сохранности. А вот континуум корпускул (ансамбль) может сыграть «волновую роль», если наделить его определенной когерентностью, а каждую корпускулу – округлой объемной магнитной «шубой», с помощью которой корпускула будет мягко (не жестко) взаимодействовать с электронами вещества или с другой корпускулой в явлениях дифракции, интерференции, преломления и т.д. Та же звуковая волна распространяется и существует

на континууме-ансамбле молекул, которые взаимодействуют друг с другом (ударяются и отталкиваются) и реализуют волны уплотнения.

Принятый в начале XX в. так называемый дуализм как существование чего-то в двух ипостасях с возможностью переходить из одной в другую и обратно выглядит мистикой, а не физикой.

В пользу корпускулярного варианта приведем следующие доводы.

1. Корпускулярная теория логически вытекает из прямолинейности распространения лучей света.

2. Для многих ученых прошлого корпускулы были синонимом материальности света.

3. В конце XVII в. корпускулярная теория Ньютона удовлетворительно объясняла многие оптические явления.

4. Ньютон до конца был верен эмиссионной (корпускулярной) гипотезе. Зная достоинства волнового представления, Ньютон рассматривал наличие волнового элемента как второстепенного механизма. Он предполагал, что корпускула вызывает в окружающем эфире (носителе света) волну уплотнения, распространяющуюся впереди корпускулы.

5. В XX столетии француз Луи де Бройль выдвинул похожую идею «пилотной волны». В 1952 г. американский физик Дэвид Бом вновь обратился к теории «пилотной волны» и придал ей новое звучание.

6. Немецкий физик-теоретик Макс Борн утверждал: «...При комптоновском рассеянии свет ведет себя как частица с вполне определенной энергией и вполне определенным импульсом. Объяснение описанных опытных данных на основе волновой теории света, по-видимому, абсолютно невозможно» [2, с. 230].

7. Чисто волновая теория света устраивала далеко не всех больших ученых.

8. В 1900 г. на основе анализа процессов излучения появилась гипотеза Планка об излучении света порциями энергии.

9. В статье 1905 г. о фотоэффекте Эйнштейн подтвердил, что свет проявляет свойства частицы, которую он назвал световым квантом (позднее – фотоном).

10. В современной физике фотон – это элементарная частица и основной атрибут квантовой теории.

Попробуем вслед за Ньютоном возродить корпускулярную теорию света. Автор пользовался учебниками физики XX в. и литературой по истории оптики и физики [1–3; 5–8; и др.].

Модель корпускулы света

Мы выведем основные законы оптики на основе понятных физических законов Ньютона и предположения, что корпускулы света (фотоны) – это упругие кольца, вихри токов смещения Максвелла. Приведем аргументы в защиту такого предположения.

1. Корпускулой-кольцом формируется волнообразное движение: точки катящегося кольца вырисовывают периодическую циклоиду, нелинейную функцию от синусоидальной кривой.

2. Примерно в 1630 г. Рене Декарт в «Трактате о свете» высказал предположение о вихревом устройстве материи.

3. В XVIII в. вихревые движения в жидкостях исследовали знаменитые ученые: Эйлер, Лагранж, Коши, Стокс. Изучением кольцеобразных вихрей и построением вихревой теории материи в XIX–XX вв. занимались Кельвин, Джозеф Томсон и др.

4. Гельмгольц в 1858 г. доказал теорему о сохранении вихревого движения в идеальной жидкости, его неуничтожимости.

5. В XIX в. вращательная степень свободы получила право самостоятельности наравне с линейной. Это было особенно важно для молекулярной теории тепловых процессов в веществе.

6. Максвелл в 1861 г. на основе гидродинамических вихревых моделей разработал теорию электромагнитных (ЭМ) волн. Его знаменитые уравнения содержат математическую операцию *rotor* (вихрь).

7. Кольца токов смещения Максвелла можно увидеть на картинках, нарисованных рукой Генриха Герца в 1889 г., когда он описывал свои знаменитые опыты (рис. 1). Эти кольца и есть фотоны (радиодиапазона).

8. На рисунке Герца (см. рис. 1) изображены вихри в *ближней зоне* излучения осциллирующего диполя. На рисунке 2 – цепочка из чередующихся разнонаправлено вращающихся фотонов-колец в *дальней зоне*. Нижняя синусоидальная кривая – это результирующая индукция магнитного поля (МП) от всех колец тока нашей бес-

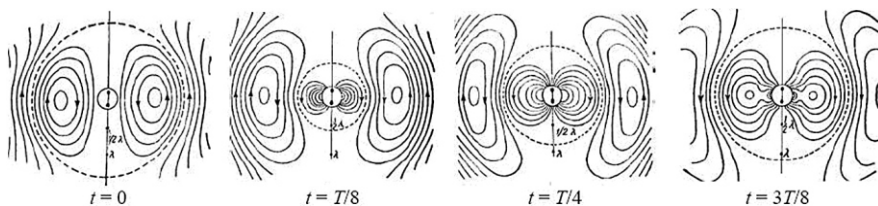


Рис. 1

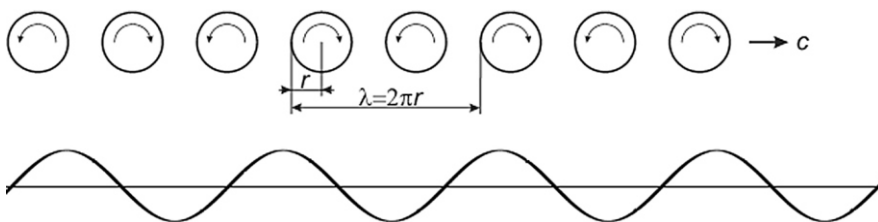


Рис. 2

конечной цепочки. Индукция вычисляется по формуле Био – Савара. Равенство длины волны длине окружности кольца $\lambda = 2 \cdot \pi \cdot r$ – условие получения чистой синусоиды без гармоник. Таким образом, из ансамбля корпускул-колец получается волна Гюйгенса – Максвелла.

9. Модель фотона в виде кольца – единственная, которая одновременно удовлетворяет формуле $E = h \cdot c / \lambda$ для энергии светового кванта Планка и требованию постоянства спина фотона $S = h/2\pi$ независимо от энергии фотона (h – квант действия Планка).

Действительно, кинетическая энергия вращающейся со скоростью света c распределенной по кольцу массы m равняется $mc^2/2$. Кинетическая энергия линейного движения фотона массы m тоже равняется $mc^2/2$. В итоге полная энергия фотона $E = m \cdot c^2$. Тут мы ненароком разгадали секрет знаменитой формулы Эйнштейна (для фотона). Это тоже говорит о том, что мы на верном пути.

С другой стороны, кинетическая энергия вращающегося кольца тока на языке электродинамики – это энергия МП кольца тока, определяемая формулой $E_{\text{mag}} = L \cdot I^2/2$, где $I = e \cdot c / 2 \cdot \pi \cdot r$ – электрический ток кольца (распределенный по длине окружности $2\pi r$ заряд e , движущийся со скоростью света c); $L = \mu_0 \cdot \pi \cdot r / \alpha_0$ – индуктивность кольца.

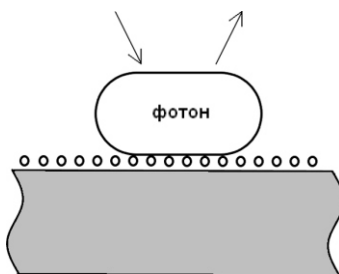


Рис. 3

В итоге получаем $E_{\text{mag}} = h \cdot c / 4 \cdot \pi \cdot r$. Подробно см. в [4].

Приравняем два выражения для энергии вращения фотона: $m \cdot c^2 / 2 = h \cdot c / 4 \cdot \pi \cdot r$. Используя это соотношение для массы m , вычислим спин фотона-кольца – механический момент импульса вращающейся распределенной по кольцу инерционной массы фотона по известной формуле $S = m \cdot c \cdot r$. В итоге получаем $S = h / 2\pi$, верный результат для фотона-кольца любой энергии.

10. В 1957 г. А.А. Абрикосов ввел квантовые (электронные) вихри для объяснения взаимодействия магнитного поля и сверхпроводимости.

11. Не обошлись без привлечения вихрей стандартная модель частиц и бум исследований 2D/3D-топологий в конце XX столетия.

На рисунке 3 показано отражение фотона от зеркальной металлической поверхности. Металл содержит множество свободных электронов зоны проводимости, часть которых «плавает» над поверхностью зеркала, подвижна и заполняет всю поверхность. При соприкосновении фотона с поверхностью эти электроны кратковременно цепляются за переднюю кромку кольца фотона и останавливают его, Упираясь в «решетку» металла. При этом кинетическая энергия фотона переходит в энергию упругости фотона-кольца. Кольцо сжимается и затем упруго отражается от поверхности.

Движение фотона внутри прозрачных тел

Напомним, что все тела в значительной степени пустые. Диаметр ядер атомов – приблизительно 10^{-15} м. Диаметр атомов с учетом внешних электронов – 10^{-10} м. Межатомные расстояния такого же

порядка. Внешние электроны атомов – кольца диаметром 10^{-12} м, что соответствует экспериментам Артура Комптона по рассеиванию рентгеновского излучения на свободных электронах (1923 г.). Здесь и далее отсылаем за деталями к монографии автора [4].

Нахождение фотона в состоянии неподвижности в среде неустойчиво. Фотоны-кольца движутся ребром вперед, они отслоены от колец материнских электронов и выброшены упругими силами магнитных *джетов* атомов (есть еще фотоны, сгенерированные осциллирующими электрическими диполями). Фотоны-кольца вращаются с тангенциальной скоростью, равной скорости света. Им «выгодно» не стоять на месте, а двигаться со скоростью света c . Участки кольца,двигающиеся навстречу движению, имеют скорость $2c$ и поэтому не взаимодействуют со встречным потоком (средой). Противоположные участки имеют со средой нулевую относительную скорость, они «привязаны» к среде. Этой стороной фотоны как бы свободно «качаться по поверхности», и сила воздействия от нее нулевая. А вот поперечными к направлению движения сторонами фотоны непрерывно «продираются» сквозь строй электронов атомов. Они кратко-временно касаются электронных колец и затем упруго отрываются от них. При этом передняя сторона кольца оказывает силовое действие на электроны, например, вправо (удельная сила равна $+E$ – напряженности электрического поля). Задняя сторона – влево (удельная сила равна $-E$). Условно это можно изобразить на рисунке, который наглядно поясняет поперечность света (рис. 4).

«Выгода» движения фотона-кольца со скоростью света – боковые стороны кольца относительно направления движения не взаимодействуют со средой, поперечные стороны взаимодействуют знакопе-

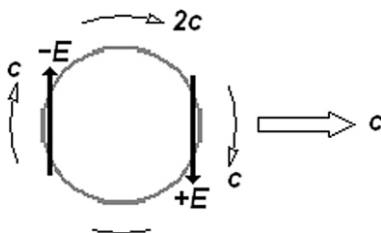


Рис. 4

ременно по времени, т.е. в среднем силовое воздействие на среду нулевое. Корпускула света локальна и нейтральна. Это позволяет корпускуле стабильно сохраняться длительное время. Волна бы рассеялась в неограниченном пространстве очень быстро.

Фотон видимого диапазона энергией 2 эВ имеет диаметр кольца более 10^{-7} м, что в 10^5 больше диаметра электрона ($\sim 10^{-12}$ м). Этот фотон на фоне электрона (511 кэВ) представляет собой очень мягкотелое (не жесткое) кольцо, легко поддающееся деформациям. Двигаясь внутри прозрачного материала, поперечные передние участки фотона вытягиваются к электрону, временно прилипают к кольцу электрона, приостанавливаются, упруго деформируя кольцо фотона. Суммируясь, эти кратковременные соприкосновения замедляют движение фотона и определяют среднюю скорость его распространения внутри тел $v = c/n$. Показатель преломления n (оптическая плотность материала) определяется частотой и временем соприкосновений. Инерционная масса фотона в материале увеличивается за счет присоединенной массы-энергии, включающей энергию взаимодействия с электронами и энергию деформации кольца фотона.

Взаимодействие между фотоном и электронами среды носит инерционно-упругий характер и описывается динамическим уравнением второго порядка в окрестности частот резонанса, связанных с энергиями возбуждений атомов среды. Чем точнее совпадение энергии фотона с энергией возбуждения электрона, тем больше длительность соприкосновения или попытки слияния (10^{-8} с – при совпадении энергий). Это и определяет кривую дисперсии среды (рис. 5).

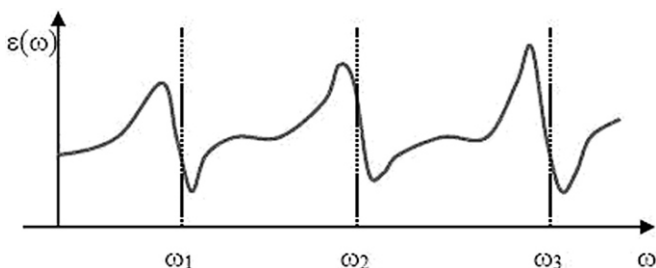


Рис. 5

Преломление света на границе твёрдого прозрачного тела

Одним из аргументов против корпускулярной теории был результат применения Ньютоном в 1685 г. своих законов механики для обоснования эмпирического закона преломления. Преломление света объяснялось изменением скорости корпускул при переходе из одной среды в другую. В то время понятие механической энергии еще не было сформировано, и у Ньютона получилось, что скорость корпускул в веществе больше, чем у падающего луча. Этот вывод Ньютона был опровергнут в 1849 г. опытами Луи Физо по измерению скорости света в разных материалах.

При выводе формул оптики, кроме законов Ньютона, мы будем использовать закон сохранения энергии, открытый немецким естествоиспытателем Юлиусом Майером в 1842 г.

На границе воздух – кристалл фотон начинает погружаться внутрь кристалла (рис. 6). Передняя кромка кольца фотона, встречаясь с электронами атомов, испытывает прилипание и торможение. Под действием инерции кольцо фотона деформируется, кинетическая энергия фотона начинает переходить в энергию упругости фотона-кольца. Если фотону не удалось полностью погрузиться и он остановился, то энергия упругости фотона и суммарная сила отдачи электронов выбрасывают фотон из кристалла – происходит упругое отражение фотона от грани кристалла.

Если же фотон пересилил отдачу поверхностных атомных электронов, то он начинает движение внутри кристалла. При этом направ-

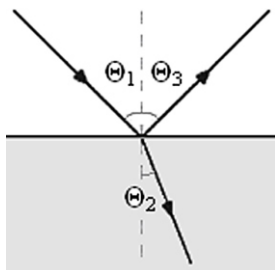


Рис. 6

ление движения фотона определяется решением чисто механической задачи.

Рассмотрим пролет единичного фотона сквозь плоскую прозрачную пластину. Вылетающий с обратной стороны пластины фотон сохраняет первоначальную кинетическую энергию линейного движения $E_{\text{lin}} = m \cdot c^2/2$, где m – инерционная (динамическая) масса фотона. Это значит, что внутри пластины кинетическая энергия фотона тоже сохраняется. Обозначив эффективную инерционную массу фотона внутри пластины как m' , скорость фотона внутри пластины как v , запишем уравнение сохранения энергии при переходе внутрь материала:

$$E_{\text{lin}} = m \cdot c^2/2 = m' \cdot v^2/2. \quad (1)$$

Скорость фотона внутри пластины запишем как $v = c/n$, где n – оптическая плотность кристалла. Из (1) получаем, что эффективная инерционная масса фотона внутри пластины равна

$$m' = m \cdot n^2. \quad (2)$$

Импульс фотона внутри пластины

$$p' = m' \cdot v = m \cdot c \cdot n = p \cdot n, \quad (3)$$

где p – импульс фотона вне пластины. Аналогично момент импульса вращающегося фотона-кольца внутри пластины

$$L' = m' \cdot v \cdot r = m \cdot c \cdot r \cdot n = L \cdot n. \quad (4)$$

Рассмотрим, что происходит при отражении и преломлении с направлением импульса фотона. Поверхность пластины гладкая, поэтому горизонтальная составляющая импульса должна сохраняться. Это согласуется с законом отражения – *угол падения равен углу отражения*:

$$p_x = m \cdot c \cdot \sin\Theta_1 = m \cdot c \cdot \sin\Theta_3, \text{ или } \Theta_1 = \Theta_3. \quad (5)$$

Для преломлении получаем, используя (2),

$$p_x = m \cdot c \cdot \sin\Theta_1 = m' \cdot v \cdot \sin\Theta_2, \text{ или } \sin\Theta_1 = n \cdot \sin\Theta_2. \quad (6)$$

Для общего случая преломления луча света на границе двух сред n_1 и n_2 получаем закон Снеллиуса:

$$n_1 \cdot \sin\Theta_1 = n_2 \cdot \sin\Theta_2. \quad (7)$$

Формулы Френеля для отражения и преломления луча света

После открытия Юнгом в начале XIX в. поперечности световых волн Френель предложил свои знаменитые формулы для интенсивностей света при прохождении границы раздела двух диэлектриков, представив произвольную поперечную плоскую световую волну в виде суперпозиции двух взаимно перпендикулярных линейно поляризованных волн.

Мы выведем формулы Френеля, исходя из представления света как потока большого количества фотонов с разной ориентацией плоскостей колец фотонов. Для этого применим опять механику Ньютона. Кроме используемых ранее законов сохранения энергии и импульса одиночного фотона, будем использовать законы сохранения для порции фотонов – так называемого *сгустка Хевисайда* (элементарного отрезка луча света). В приповерхностном слое исходный сгусток разделяется на два вторичных сгустка: преломленный и отраженный.

Рассмотрим отдельно два варианта взаимно перпендикулярных ориентаций фотонов (рис. 7). Это **||**-фотоны, имеющие поляризацию в плоскости XZ рисунка, и **⊥**-фотоны, имеющие поляризацию вдоль оси Y (перпендикулярно плоскости рисунка). Фотоны при движении внутри кристалла взаимодействуют с электронами атомной решетки среды. Ближайшие к каждому фотону электроны добавляют ему инерционную массу. При движении фотонов одни и те же электроны одновременно взаимодействуют со многими ближайшими фотонами. В приповерхностном слое через эти общие связи фотоны могут обмениваться между собой изменениями (в нашем случае направлением

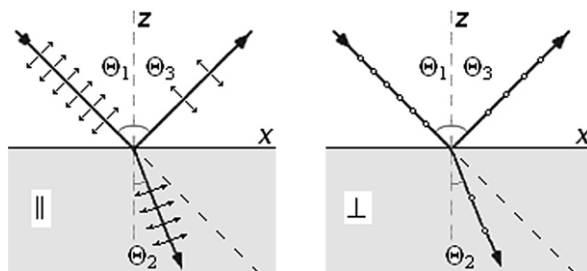


Рис. 7

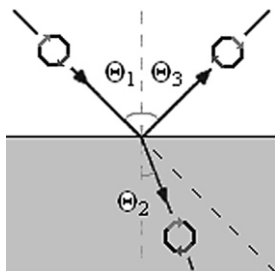


Рис. 8

векторов) силовых векторов E и сил, препятствующих погружению фотона в материал. Моменты последних сил и сил инерции частей кольца фотона могут осуществлять повороты моментов импульса L (плоскости кольца). Поэтому надо применить законы сохранения этих величин для сгустков фотонов. Можно сказать, что в приповерхностном слое работает третий закон Ньютона: силы, осуществляющие повороты векторов E и L в отраженном и преломленном сгустках, взаимно компенсируют друг друга, не задействуя кристаллическую решетку среды. Передние и задние кромки фотонов вторичных сгустков как бы «отталкиваются» друг от друга в разные стороны от пунктирной линии, уравнивая друг друга.

Пусть в исходном сгустке количество фотонов равно N_1 , в преломленном сгустке – N_2 , в отраженном – N_3 . Учитываем, что:

- 1) векторы E и L каждого фотона всегда перпендикулярны направлению луча;
- 2) в точке отражения/преломления направление луча поворачивается вокруг оси Y ;
- 3) отраженный фотон движется задом наперед, передние и задние силовые векторы меняются местами, т.е. вектор E инвертируется (заменяется на $-E$) (рис. 8).

В таблице приведено соответствие поляризации фотонов-колец стандартным обозначением поляризации ЭМ-волн.

Поляризация II. В исходном сгустке момент импульса L каждого фотона направлен вдоль оси поворота Y , поэтому после разделения на части направление векторов L не меняется. Уравнение разделения момента импульса исходного сгустка ΣL на отраженную и прелом-

Поляризация сгустка света		Ориентация вектора E волны света	Ориентация фотона-кольца
	Вектор E лежит в плоскости рисунка		
⊥	Вектор E перпендикулярен плоскости рисунка		

ленную части будет скалярным: $L_1 \cdot N_1 = L_2 \cdot N_2 + L_3 \cdot N_3$, которое с учетом (4) преобразуется в

$$n_1 \cdot (N_1 - N_3) = n_2 \cdot N_2. \quad (8)$$

Силовые векторы фотонов E меняют свое направление в плоскости рисунка, поэтому уравнение разделения каждого силового вектора исходного сгустка ΣE будет векторным $E_1 \cdot N_1 = E_2 \cdot N_2 + E_3 \cdot N_3$. Как ранее для импульса фотона (6), горизонтальная составляющая силового вектора сгустков должна сохраняться. С учетом инверсии E_3 отраженного сгустка получаем

$$E_{1x} \cdot N_1 = E_{2x} \cdot N_2 - E_{3x} \cdot N_3, \text{ или } (N_1 + N_3) \cdot \cos \Theta_1 = N_2 \cdot \cos \Theta_2. \quad (9)$$

Объединяя уравнения (8) и (9), получим формулы Френеля для поляризации ||:

$$\frac{N_2}{N_1} \left| \frac{2n_1 \cos \theta_1}{n_2 \cos \theta_1 + n_1 \cos \theta_2} \right| \text{ и } \frac{N_3}{N_1} \left| \frac{n_2 \cos \theta_1 - n_1 \cos \theta_2}{n_2 \cos \theta_1 + n_1 \cos \theta_2} \right|. \quad (10)$$

Поляризация ⊥. В исходном сгустке передние и задние силовые векторы каждого фотона E направлены вдоль оси поворота Y , поэтому после разделения свое направление они сохраняют (но знак E_3 отраженного сгустка инвертируется). Уравнение разделения силового вектора сгустка ΣE на отраженную и преломленную части будет скалярным: $E_1 \cdot N_1 = E_2 \cdot N_2 - E_3 \cdot N_3$, которое преобразуется в

$$(N_1 + N_3) = N_2. \quad (11)$$

Силы, препятствующие погружению передней кромки фотона в материал, и силы инерции задней кромки образуют совместно момент сил, меняющий направление вектора L фотона в плоскости рисунка. Поэтому уравнение разделения моментов импульсов сгустков будет векторным: $L_1 \cdot N_1 = L_2 \cdot N_2 + L_3 \cdot N_3$. Как ранее для импульса фотона (6), горизонтальная составляющая момента сил и, как следствие, горизонтальная составляющая момента импульса сгустков должны сохраняться. С учетом (4) получаем

$$L_{1x} \cdot N_1 = L_{2x} \cdot N_2 + L_{3x} \cdot N_3, \text{ или } n_1 \cdot (N_1 - N_3) \cdot \cos \Theta_1 = n_2 \cdot N_2 \cdot \cos \Theta_2. \quad (12)$$

Объединяя уравнения (11) и (12), получим формулы Френеля для поляризации $\perp$:

$$\frac{N_2}{N_1} \left| \frac{2n_1 \cos \Theta_1}{n_1 \cos \Theta_1 + n_2 \cos \Theta_2} \right| \text{ и } \frac{N_3}{N_1} \left| \frac{n_1 \cos \Theta_1 - n_2 \cos \Theta_2}{n_1 \cos \Theta_1 + n_2 \cos \Theta_2} \right|. \quad (13)$$

Интенсивность дневного света – около 500 Вт/м^2 , что эквивалентно потоку $3 \cdot 10^{18}$ фотонов зеленого цвета энергией 2,5 эВ через сечение в 1 см^2 каждую секунду. Кроме обмена некоторыми параметрами внутри локального коллектива фотонов (сгустка) через общие связи с материалом среды (отдачу среды), такое огромное количество фотонов в луче объясняет математическую точность разделения интенсивностей света при отражении/преломлении, при делении луча на когерентные друг другу части в экспериментах по интерполяции.

Увлечение света движущейся средой

В начале XIX в. французский физик Франсуа Араго предпринял попытку с помощью лабораторного эксперимента определить, как влияет движение тел на распространение света. Поскольку коэффициент преломления света n связан со скоростью его распространения в веществе, Араго исследовал преломление призмой света, идущего от звезд и от земного источника. В результате оказалось, что само движение призмы вместе с Землей не изменяет параметры преломления света от далекой звезды в условиях земной поверхности. Также Араго провел опыты с телескопом, заполняя его оптический канал

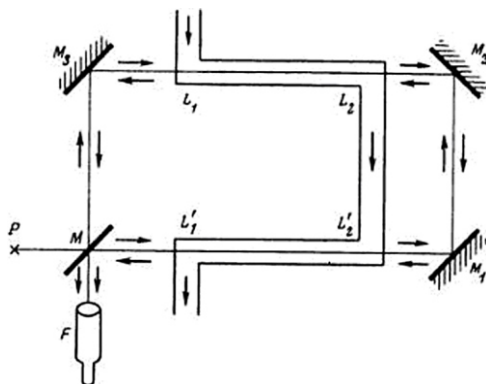


Рис. 9

водой. Дополнительной аберрации (преломления) света не обнаружилось.

В 1818 г., чтобы объяснить результаты опытов Араго, основоположник волновой теории света Френель предположил, что эфир (переносчик света) частично увлекается движением тел, и предложил формулу увлечения, которая впоследствии получила подтверждение, но только не для увлечения эфира, а для увлечения света.

В 1851 г. француз Физо выполнил эксперимент с водой, который показал, что движение среды меняет скорость, с которой свет распространяется внутри этой среды (рис. 9). Численно опыт подтвердил формулу Френеля.

Мы выведем формулу Френеля из законов Ньютона для корпускулы света – фотона. Эффективную инерционную массу (2) фотона в среде распространения запишем в виде

$$m' = m \cdot n^2 = m + m \cdot (n^2 - 1), \quad (14)$$

где первая часть m – это собственная инерционная масса фотона, а вторая часть $m \cdot (n^2 - 1)$ – это присоединенная инерционная масса фотона. Вторая часть массы образована электронами среды и поэтому движется со скоростью среды V . Она добавляет к импульсу фотона в неподвижной среде $p = m' \cdot v$ дополнительный импульс движущейся присоединенной массы. В итоге полный импульс фотона (движение происходит вдоль оси X) равен

$$p' = m' \cdot v' = m' \cdot v + m' \cdot V(n^2 - 1). \quad (15)$$

Откуда результирующая скорость фотонов относительно неподвижного наблюдателя равна

$$v' = c/n + V \cdot 1 - \frac{1}{n^2}. \quad (16)$$

То есть мы получили формулу Френеля без привлечения эфира или искусственно притянутых преобразований специальной теории относительности.

Формулу (16) можно обобщить для любых направлений скоростей света и среды, т.е. рассматривать ее как векторное сложение скоростей (с учетом множителей).

Интерференция на двух щелях

Изменение импульса частицы при взаимодействии с окружением определяется *периферийной* частью магнитного поля частицы, находящейся за *дебройлевским* размером этой частицы. МП электрона или фотона – это кокон из бесконечного числа последовательно навитых

нитей токов смещения $1 \frac{6}{n \cdot 1^n (1 + \alpha \cdot n)}$, где α – постоянная тонкой структуры; знаменатель $n \cdot (1 + \alpha \cdot n)$ характеризует длину каждой нити. Эта конструкция может временно разрушаться: периферийные слои (замкнутые нити) могут отрываться под внешним воздействием и затем снова навиваться на корневой кокон.

Допустим, что фотон натывается на препятствие с двумя щелями (рис. 10). Если центр фотона попадает в контур одной из щелей, то для прохождения щелей фотону необходимо разделиться на две части: сердцевину размером со щель и периферийную часть магнитной «шубы». Сердцевина имеет достаточно жесткую кольцевую форму, а крупноразмерная периферия – очень гибкую, способную удлиняться (расплетаться) и целиком просачиваться через вторую щель. Во время последующего взаимодействия и слияния частей периферия цепляется за край щели и изменяет направление движения фотона – происходит интерференция двух частей фотона. При этом надо учитывать изменения направления и задержки каждой части в процессе

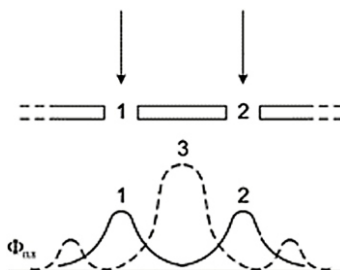


Рис. 10

движения по разным путям (в волновой модели Гюйгенса – Френеля – изменение *фаз*). И понятно, что если ширина щелей и расстояние между ними соразмерны *дебройлевскому* размеру частицы, то наблюдаемый эффект *интерференции* максимален (пунктирная кривая 3). Интерференция на двух щелях наблюдается как одночастичная, так и многочастичная (фотоны или другие частицы должны быть когерентны).

Проиллюстрируем построение вторичных сферических волн Гюйгенса – Френеля (рис. 11). При приближении фотона к щели периферийные нити фотона натыкаются на препятствие первыми и начинают отслаиваться от кокона. Витки такой нити расправляются в один сложенный вдвое длинный гибкий виток, который просачивается в узкую щель. Далее нити начинают расправляться с другой стороны каждой щели и формировать расширяющиеся сферические пузыри из центров этих щелей. Эти периферийные нити взаимодействуют с корневым коконом и определяют направление движения фотона.

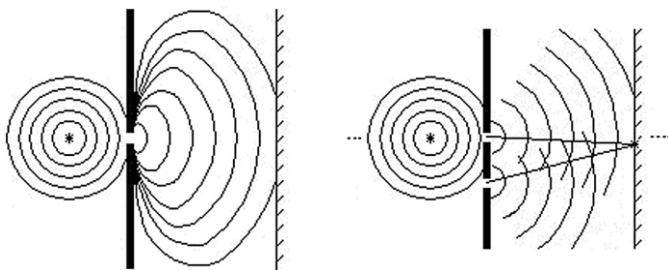


Рис. 11

Дифракция фотона за краем полуплоскости

Встречаясь с краем полуплоскости, фотон периферийной частью своей магнитной шубы проникает на некоторую глубину в материал препятствия (рис. 12). Далее происходят процессы, похожие на процессы отражения и преломления света.

При взаимодействии с краем полуплоскости фотон на короткое время цепляется за электроны атомов, немного тормозится и затем отрывается, возможно, с потерей части периферийного МП (рис. 13). Возникающий при этом момент силы корректирует движение фотона, направляя его либо в светлую область, либо в сторону тени в зависимости от того, как заканчивается процесс отрыва. В первом случае происходит упругое *отражение* в светлую часть. Во втором случае происходит *квазипреломление* – частичное погружение фотона в материал, удерживание фотона за погруженную часть на некоторое время после пролета фотоном края полуплоскости. По инерции фотон вовлекается в темную область. В обоих случаях чем ближе фотон движется к краю полуплоскости, тем больше сила, момент силы и больше отклонение фотона. Поэтому в светлой области фотон, близкий к срезу, отклоняется на больший угол, чем фотон, удаленный от среза на большее расстояние. Далее фотоны, отклоненные на разные углы, встречаются в светлой области экрана и образуют многолучевую интерференционную картину в соответствии с волновой оптикой, формализм которой удивительным образом подошел к свойствам фотонов и их взаимодействию с веществом.

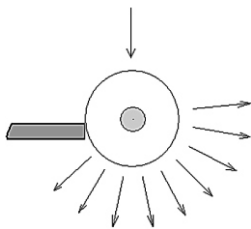


Рис. 12

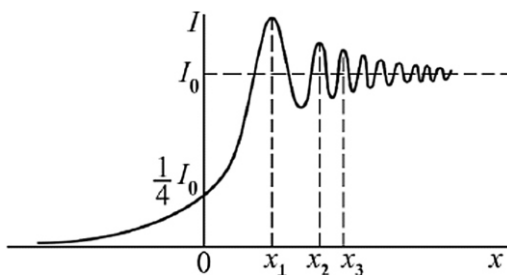


Рис. 13

Полосы интерференции фотонов на экране

Фотоны движутся в пространстве в виде пакетов, сформированных в результате вынужденного излучения возбужденных атомов или тормозного излучения частиц (см. рис. 1). Такой пакет очень похож на волну (рис. 14).

Интерференция световых волн (фотонов) – наблюдаемое перераспределение интенсивности света в результате наложения (суперпозиции) нескольких световых волн (рис. 15). Процесс поглощения (слияния) фотона электроном атома происходит за конечное время, немалое по атомным масштабам ($\sim 10^{-8}$ с). В этот промежуток времени фотон через общие электроны взаимодействует с другими фотонами, приземляющимися по соседству. Если фотон вращается в том же направлении, что и соседний (они находятся в одной фазе), то они не мешают друг другу слиться со своим электроном и активировать конкретный атом. Если фотоны вращаются в противоположных направлениях, то они мешают друг другу соединиться с электронами и оба уходят вглубь материала. В итоге если фотоны когерентны, то мы наблюдаем полосы интерференции, сформированные зарегистрированными фотонами. Светлые полосы – там, где фотоны проявились. И темные промежутки – там, где фотоны не задержались.

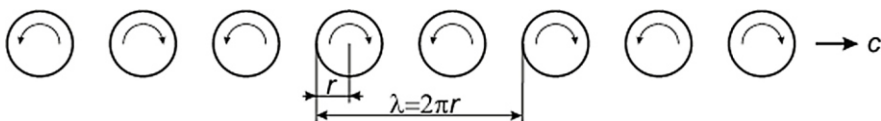


Рис. 14

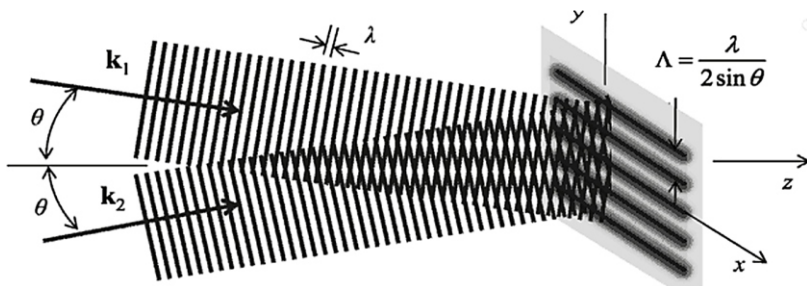


Рис. 15

Преломление рентгеновских фотонов на границе твердого тела

Рентгеновский фотон имеет энергию порядка 1000 эВ и размер $\sim 10^{-10}$ м, значительно меньший по сравнению с оптическим фотоном. Рентгеновский фотон – это жесткое кольцо, корпускула. При соприкосновении с электроном оно не деформируется, а упруго отскакивает. Эксперименты Комптона это подтвердили. Поэтому рентгеновская корпускула практически не взаимодействует с внешними электронами материала. Но любой корпускуле с окружающим ее магнитным полем требуется некоторый собственный объем пространства, свободный от других частиц. Корпускуле для проникновения внутрь материала приходится преодолевать некоторое упругое сопротивление поверхностного слоя и расталкивать атомы вещества. На границе воздух – кристалл корпускула при погружении внутрь тела немного теряет скорость, но приобретает потенциальную энергию поверхностного натяжения материала. При покидании материала кинетическая энергия корпускуле возвращается: тело упруго «выплывает» корпускулу нормально к поверхности (рис. 16).

Если же формально исходить из математического формализма закона Снеллуса, то это выглядит так, как будто материал имеет оптическую плотность меньше единицы. Но это не так. Просто нормальная составляющая скорости фотона уменьшается, а тангенциальная не изменяется. А полная скорость фотона внутри материала становится немного меньше скорости света.

Чтобы объяснить физику процесса, жонглирования групповой и фазовой скоростями нам не потребовалось.

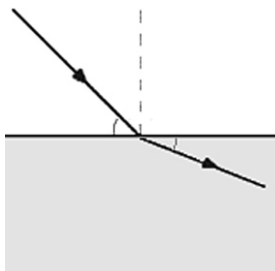


Рис. 16

Заключение

Вывод из изложенного: свет – это корпускулы Ньютона, а волновые свойства – это следствие окружающего каждый фотон магнитного поля. Да, волновой формализм очень удобен на практике. Но полная физическая подмена корпускулы волной – это вынужденная дань математике, и ее надо разумно ограничить.

На основе представлений луча света как потока фотонов-корпускул и с использованием общеизвестных законов механики мы объяснили основные явления и вывели важные формулы оптики. Это говорит в пользу корпускулярной теории света. История физики это тоже подтверждает. В процессе создания классической физики ученые разделили объекты исследований на две категории:

- «весомые», которые можно легко взвесить и осязать;
- «невесомые», т.е. не имеющие веса, неосязаемые, невещественные. Их представляли в виде неких «жидкостей».

Введение категории «невесомых» на начальном этапе становления физики надо оценить положительно. В новой области исследования появлялся единый язык для общения ученых, накопления экспериментальных данных, их сравнения и систематизации.

К «невесомым» отнесли электрические и магнитные «жидкости», «жидкость» горючести – флогистон, тепловую «жидкость» – теплород. Волны света надо тоже отнести к категории «невесомых». В современной физике к «невесомой материи» можно отнести объекты квантовой механики и теории относительности, геометрической теории гравитации, темную материю, темную энергию, кварки, виртуальные и обменные частицы. С развитием физики «невесомая материя» постепенно мигрировала в сторону обычной материи. Электрические и магнитные «жидкости» заменились полями, имеющими энергию. Флогистон заменился выделением энергии при химических реакциях. Теплород – кинетической энергией атомов и молекул.

В XVII в. Ньютон, опередив время, гениально угадал и разработал черновой вариант корпускулярной теории света. В настоящее время необходимо заново признать физические корпускулы Ньютона. А волновую теорию света считать математическим инструментом оптики, весьма удобным и результативным средством для расчета.

Надо сказать, что волновой формализм математически точно описывает оптику континуума фотонов, частично его можно применять даже для одного фотона. Не вникая в параметры каждого фотона, волновая математика позволила вычислять средние и вероятностные параметры, решать многие практические задачи. Так устроена природа, что количественные соотношения в разных областях естествознания могут быть описаны схожим математическим формализмом. Чем проще, элементарнее, фундаментальнее и красивее присущая природе математическая формула, тем чаще она встречается в физике. Математика – это инструмент, за физическую трактовку явлений природы она отвечать не может.

Наша физическая модель фотона-корпускулы дает возможность детализировать взаимодействия и находить скрытые связи. Это позволит получать качественно новые практические результаты как для одиночных фотонов, так и для сверхкоротких и сверхмощных пучков света в области насыщений и нелинейностей. В будущем синергия волновой теории света и корпускулярной теории откроет новые горизонты исследований и приведет к новым открытиям.

Мы считаем, что со временем и в других разделах физики будет происходить такой же дрейф к механицизму, возврат к классической физике, к физическим моделям. Все в природе взаимосвязано и должно быть построено на субматерии одного типа, взаимодействия тоже должны быть однотипны. В каждой точке пространства невозможно представить наличие конвертеров между разного рода энергиями или силовыми воздействиями. Не будем искусственно усложнять фундамент материи.

Литература

1. Арнольд В.И. Гюйгенс и Барроу, Ньютон и Гук. М.: Наука, 1989. 97 с.
2. Борн М. Атомная физика. М.: Мир, 1965. 492 с.
3. Вавилов С.И. Принципы и гипотезы оптики Ньютона // Успехи физических наук. 1927. Т. 7, № 2. С. 87–106.
4. Литвинцев В.И. К истокам физики. Новосибирск: Академпостер, 2024. 136 с.
5. Савельев И.В. Курс общей физики. М.: МФТИ, 1970. Т. 3. 537 с.
6. Творцы физической оптики: Сборник статей / Сост. У.И. Франкфурт. М.: Наука, 1973. 350 с.
7. Филонович С.Р. Лучи. Волны. Кванты. М.: Наука, 1978. 214 с.
8. Франкфурт У.И., Френк А.М. Оптика движущихся тел. М.: Наука, 1972. 212 с.

References

1. *Arnold, V.I.* (1989). Huygens and Barrow, Newton and Hooke. Moscow, Nauka Publ., 97. (In Russ.).
2. *Born, M.* (1965). Atomic Physics. Moscow, Mir Publ., 492. (In Russ.).
3. *Vavilov, S.I.* (1927). Principles and hypotheses of Newton's optics. *Uspekhi fizicheskikh nauk* [Advances in Physical Sciences], Vol. 7, No. 2, 87–106. (In Russ.).
4. *Litvintsev, V.I.* (2024). To the Beginnings of Physics. Novosibirsk, Akadem-poster Publ., 136. (In Russ.).
5. *Saveliev, I.V.* (1970). A Course in General Physics, Vol. 3. Moscow, Moscow Institute of Physics and Technology, 537. (In Russ.).
6. *Creators of Physical Optics: Collection of articles.* (1973). Compiled by U.I. Frankfurt. Moscow, Nauka Publ., 352. (In Russ.).
7. *Filonovich, S.R.* (1978). Rays. Waves. Quanta. Moscow, Nauka Publ., 214. (In Russ.).
8. *Frankfurt, U.I. & A.M. Frenk.* (1972). Optics of Moving Bodies. Moscow, Nauka Publ., 212. (In Russ.).

Информация об авторе

Литвинцев Валентин Игнатьевич – Институт автоматики и электрометрии СО РАН (630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 1).
Ltv@iae.nsk.su

Information about the author

Litvintsev, Valentin Ignatievich – Institute of Automation and Electrometry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (1, Academician Koptug Ave., Novosibirsk, 630090, Russia).
Ltv@iae.nsk.su

Дата поступления 05.06.2025.
Принята к публикации 02.02.2026.