**КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ СВЕТА**

**СОДЕРЖАНИЕ**

[ВВЕДЕНИЕ 2](#_Toc197279146)

[1. Развитие представлений о свете 4](#_Toc197279147)

[2. Квантовые свойства света: фотоэффект. Эффект Комтона 8](#_Toc197279148)

[3. Квантовая теория Планка 17](#_Toc197279149)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 19](#_Toc197279150)

[СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 21](#_Toc197279151)

# ВВЕДЕНИЕ

Не так давно, в декабре 2000 года мировая научная общественность отмечала столетний юбилей возникновения новой науки – квантовой физики и открытие новой фундаментальной физической константы – постоянной Планка.

Заслуга в этом принадлежит выдающемуся немецкому физику Максу Планку. Событие это осталось практически незамеченным. Между тем, историческая дата 14 декабря 1900 г., когда на заседании Берлинского физического общества Макс Планк впервые произнес слово «квант», имеет все основания стать одним из самых значительных событий в истории человечества. С этого дня начинается отсчет того кардинального переворота в научной мысли, который к настоящему времени привел к качественно новым фундаментальным научным достижениям квантовой теории. В результате, к настоящему времени оказалась заложенной основа тем грядущим масштабным и глубоким изменениям во всех сферах общества, которые ожидают нас в недалеком будущем.

Планку удалось решить проблему спектрального распределения света, излучаемого нагретыми телами, проблему, перед которой классическая физика оказалась бессильной. Планк первым высказал гипотезу о квантовании энергии осциллятора, несовместимую с принципами классической физики. Именно эта гипотеза, развитая впоследствии трудами многих выдающихся физиков, дала толчок процессу пересмотра и ломки старых понятий, который завершился созданием квантовой физики, что и обусловило **актуальность** нашего исследования.

**Цель** работы – проанализировать квантовую теорию света.

В соответствии с поставленными целью решались следующие **основные задачи**:

- рассмотреть развитие представление о природе света;

- изучить квантовые свойства света: фотоэффект и эффект Комтона;

- проанализировать квантовую теорию Планка.

**Методы исследования:**

-обработка, анализ научных источников;

-анализ научной литературы, учебников и пособий по исследуемой проблеме.

**Объект исследования –** квантовая теория света

# 1. Развитие представлений о свете

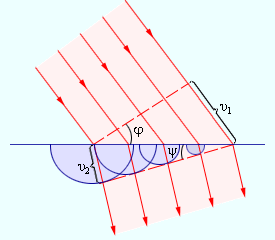
Первые представления о природе света возникли у древних греков и египтян. По мере изобретения и совершенствования различных оптических приборов (параболических зеркал, микроскопа, зрительной трубы) эти представления развивались и трансформировались. В конце XVII века возникли две теории света: корпускулярная (И. Ньютон) и волновая (Р. Гук и Х. Гюйгенс).

Согласно корпускулярной теории, свет представляет собой поток частиц (корпускул), испускаемых светящимися телами. Ньютон считал, что движение световых корпускул подчиняется законам механики. Так, отражение света понималось аналогично отражению упругого шарика от плоскости. Преломление света объяснялось изменением скорости корпускул при переходе из одной среды в другую. Для случая преломления света на границе вакуум–среда корпускулярная теория приводила к следующему виду закона преломления:



где c – скорость света в вакууме, υ – скорость распространения света в среде. Так как n > 1, из корпускулярной теории следовало, что скорость света в средах должна быть больше скорости света в вакууме. Ньютон пытался также объяснить появление интерференционных полос, допуская определенную периодичность световых процессов. Таким образом, корпускулярная теория Ньютона содержала в себе элементы волновых представлений[[1]](#footnote-1).

Волновая теория, в отличие от корпускулярной, рассматривала свет как волновой процесс, подобный механическим волнам. В основу волновой теории был положен принцип Гюйгенса, согласно которому каждая точка, до которой доходит волна, становится центром вторичных волн, а огибающая этих волн дает положение волнового фронта в следующий момент времени. С помощью принципа Гюйгенса были объяснены законы отражения и преломления. Рис. 1 дает представление о построениях Гюйгенса для определения направления распространения волны, преломленной на границе двух прозрачных сред.



**Рис. 1. Построения Гюйгенса для определения направления преломленной волны.**

Для случая преломления света на границе вакуум–среда волновая теория приводит к следующему выводу:



Закон преломления, полученный из волновой теории, оказался в противоречии с формулой Ньютона. Волновая теория приводит к выводу: υ < c, тогда как согласно корпускулярной теории υ > c.

Таким образом, к началу XVIII века существовало два противоположных подхода к объяснению природы света: корпускулярная теория Ньютона и волновая теория Гюйгенса. Обе теории объясняли прямолинейное распространение света, законы отражения и преломления. Весь XVIII век стал веком борьбы этих теорий. Однако в начале XIX столетия ситуация коренным образом изменилась. Корпускулярная теория была отвергнута и восторжествовала волновая теория. Большая заслуга в этом принадлежит английскому физику Т. Юнгу и французскому физику О. Френелю, исследовавшим явления интерференции и дифракции. Исчерпывающее объяснение этих явлений могло быть дано только на основе волновой теории. Важное экспериментальное подтверждение справедливости волновой теории было получено в 1851 году, когда Ж. Фуко (и независимо от него А. Физо) измерил скорость распространения света в воде и получил значение υ < c.

Хотя к середине XIX века волновая теория была общепризнана, вопрос о природе световых волн оставался нерешенным.

В 60-е годы XIX века Максвеллом были установлены общие законы электромагнитного поля, которые привели его к заключению, что свет – это электромагнитные волны. Важным подтверждением такой точки зрения послужило совпадение скорости света в вакууме с электродинамической постоянной Электромагнитная природа света получила признание после опытов Г. Герца (1887–1888 гг.) по исследованию электромагнитных волн. В начале XX века после опытов П. Н. Лебедева по измерению светового давления (1901 г.) электромагнитная теория света превратилась в твердо установленный факт[[2]](#footnote-2).

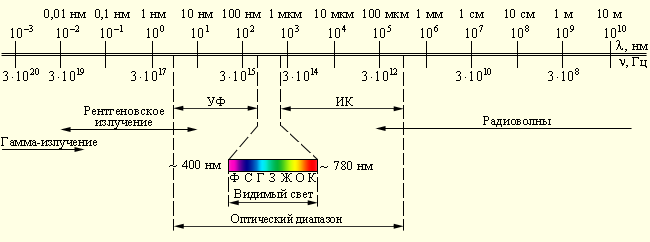


Важнейшую роль в выяснении природы света сыграло опытное определение его скорости. Начиная с конца XVII века предпринимались неоднократные попытки измерения скорости света различными методами (астрономический метод А. Физо, метод А. Майкельсона). Современная лазерная техника позволяет измерять скорость света с очень высокой точностью на основе независимых измерений длины волны λ и частоты света ν (c = λ · ν). Таким путем было найдено значение



превосходящее по точности все ранее полученные значения более чем на два порядка.

Свет играет чрезвычайно важную роль в нашей жизни. Подавляющее количество информации об окружающем мире человек получает с помощью света. Однако, в оптике как разделе физике под светом понимают не только видимый свет, но и примыкающие к нему широкие диапазоны спектра электромагнитного излучения – инфракрасный ИК и ультрафиолетовый УФ. По своим физическим свойством свет принципиально неотличим от электромагнитного излучения других диапазонов – различные участки спектра отличаются друг от друга только длиной волны λ и частотой ν. Рис. 2. дает представление о шкале электромагнитных волн.



**Рис. 2. Шкала электромагнитных волн. Границы между различными диапазонами условны**

Для измерения длин волн в оптическом диапазоне используются единицы длины 1 нанометр (нм) и 1 микрометр (мкм):

1 нм = 10–9 м = 10–7 см = 10–3 мкм.

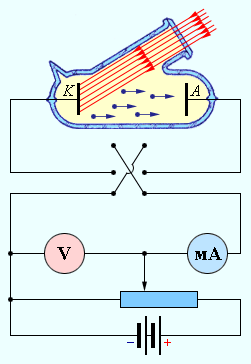
Видимый свет занимает диапазон приблизительно от 400 нм до 780 нм или от 0,40 мкм до 0,78 мкм[[3]](#footnote-3).

Электромагнитная теория света позволила объяснить многие оптические явления, такие как интерференция, дифракция, поляризация и т. д. Однако, эта теория не завершила понимание природы света. Уже в начале XX века выяснилось, что эта теория недостаточна для истолкования явлений атомного масштаба, возникающих при взаимодействии света с веществом. Для объяснения таких явлений, как излучение черного тела, фотоэффект, эффект Комптона и др. потребовалось введение квантовых представлений

# 2. Квантовые свойства света: фотоэффект. Эффект Комтона

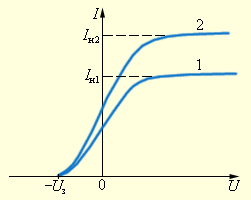
Фотоэлектрический эффект был открыт в 1887 году немецким физиком Г. Герцем и в 1888–1890 годах экспериментально исследован А. Г. Столетовым. Наиболее полное исследование явления фотоэффекта было выполнено Ф. Ленардом в 1900 г. К этому времени уже был открыт электрон (Д. Томсон, 1897 г.), и стало ясно, что фотоэффект (или точнее – внешний фотоэффект) состоит в вырывании электронов из вещества под действием падающего на него света.

Схема экспериментальной установки для исследования фотоэффекта изображена на рис. 3.



**Рис. 3. Схема экспериментальной установки для изучения фотоэффекта**

В экспериментах использовался стеклянный вакуумный баллон с двумя металлическими электродами, поверхность которых была тщательно очищена. К электродам прикладывалось некоторое напряжение U, полярность которого можно было изменять с помощью двойного ключа. Один из электродов (катод K) через кварцевое окошко освещался монохроматическим светом некоторой длины волны λ, и при неизменном световом потоке снималась зависимость силы фототока I от приложенного напряжения[[4]](#footnote-4). На рис. 4 изображены типичные кривые такой зависимости, полученные при двух значениях интенсивности светового потока, падающего на катод.

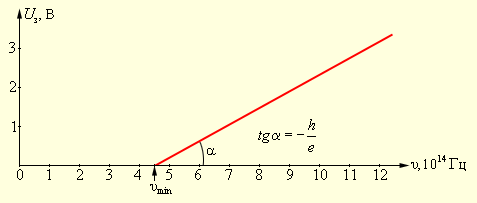


**Рис. 4.Зависимость силы фототока от приложенного напряжения. Кривая 2 соответствует большей интенсивности светового потока. Iн1 и Iн2 – токи насыщения, Uз – запирающий потенциал.**

Кривые показывают, что при достаточно больших положительных напряжениях на аноде A фототок достигает насыщения, так как все электроны, вырванные светом из катода, достигают анода. Тщательные измерения показали, что ток насыщения Iн прямо пропорционален интенсивности падающего света. Когда напряжение на аноде отрицательно, электрическое поле между катодом и анодом тормозит электроны. Анода могут достичь только те электроны, кинетическая энергия которых превышает |eU|. Если напряжение на аноде меньше, чем –Uз, фототок прекращается. Измеряя Uз, можно определить максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов:



К удивлению ученых, величина Uз оказалась не зависящей от интенсивности падающего светового потока. Тщательные измерения показали, что запирающий потенциал линейно возрастает с увеличением частоты ν света (рис. 5).



**Рис. 5. Зависимость запирающего потенциала Uз от частоты ν падающего света.**

Многочисленными экспериментаторами были установлены следующие основные закономерности фотоэффекта:

1) Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с увеличением частоты света ν и не зависит от его интенсивности.

2) Для каждого вещества существует так называемая красная граница фотоэффекта, т. е. наименьшая частота νmin, при которой еще возможен внешний фотоэффект.

3) Число фотоэлектронов, вырываемых светом из катода за 1 с, прямо пропорционально интенсивности света.

4) Фотоэффект практически безинерционен, фототок возникает мгновенно после начала освещения катода при условии, что частота света ν > νmin.

Все эти закономерности фотоэффекта в корне противоречили представлениям классической физики о взаимодействии света с веществом. Согласно волновым представлениям электрон при взаимодействии с электромагнитной световой волной должен был бы постепенно накапливать энергию, и потребовалось бы значительное время, зависящее от интенсивности света, чтобы электрон накопил достаточно энергии для того, чтобы вылететь из катода. Как показывают расчеты, это время должно было бы исчисляться минутами или часами. Однако, опыт показывает, что фотоэлектроны появляются немедленно после начала освещения катода. В этой модели невозможно было также понять существование красной границы фотоэффекта. Волновая теория света не могла объяснить независимость энергии фотоэлектронов от интенсивности светового потока, пропорциональность максимальной кинетической энергии частоте света[[5]](#footnote-5).

Таким образом, электромагнитная теория света оказалась неспособной объяснить эти закономерности.

Выход был найден А. Эйнштейном в 1905 г. Теоретическое объяснение наблюдаемых закономерностей фотоэффекта было дано Эйнштейном на основе гипотезы М. Планка о том, что свет излучается и поглощается определенными порциями, причем энергия каждой такой порции определяется формулой E = hν, где h – постоянная Планка Эйнштейн сделал следующий шаг в развитии квантовых представлений. Он пришел к выводу, что и свет имеет прерывистую дискретную структуру. Электромагнитная волна состоит из отдельных порций – квантов, впоследствии названных фотонами. При взаимодействии с веществом фотон целиком передает всю свою энергию hν одному электрону. Часть этой энергии электрон может рассеять при столкновениях с атомами вещества. Кроме того, часть энергии электрона затрачивается на преодоление потенциального барьера на границе металл–вакуум. Для этого электрон должен совершить работу выхода A, зависящую от свойств материала катода. Наибольшая кинетическая энергия, которую может иметь вылетевший из катода фотоэлектрон, определяется законом сохранения энергии:



Эту формулу принято называть уравнением Эйнштейна для фотоэффекта.

С помощью уравнения Эйнштейна можно объяснить все закономерности внешнего фотоэффекта. Из уравнения Эйнштейна следуют линейная зависимость максимальной кинетической энергии от частоты и независимость от интенсивности света, существование красной границы, безынерционность фотоэффекта. Общее число фотоэлектронов, покидающих за 1 с поверхность катода, должно быть пропорционально числу фотонов, падающих за то же время на поверхность. Из этого следует, что ток насыщения должен быть прямо пропорционален интенсивности светового потока.

Как следует из уравнения Эйнштейна, тангенс угла наклона прямой, выражающей зависимость запирающего потенциала Uз от частоты ν (рис. 5), равен отношению постоянной Планка h к заряду электрона e:



Это позволяет экспериментально определить значение постоянной Планка. Такие измерения были выполнены Р. Милликеном (1914 г.) и дали хорошее согласие со значением, найденным Планком. Эти измерения позволили также определить работу выхода A:



где c – скорость света, λкр – длина волны, соответствующая красной границе фотоэффекта. У большинства металлов работа выхода A составляет несколько электрон-вольт (1 эВ = 1,602·10–19 Дж). В квантовой физике часто используется электрон-вольт в качестве энергетической единицы измерения. Значение постоянной Планка, выраженное в электрон–вольтах в секунду, равно

h = 4,136·10–15 эВ·с

Среди металлов наименьшей работой выхода обладают щелочные металлы. Например, у натрия A = 1,9 эВ, что соответствует красной границе фотоэффекта λкр ≈ 680 нм. Поэтому соединения щелочных металлов используют для создания катодов в фотоэлементах, предназначенных для регистрации видимого света[[6]](#footnote-6).

Итак, законы фотоэффекта свидетельствуют, что свет при испускании и поглощении ведет себя подобно потоку частиц, получивших название фотонов или световых квантов.

Энергия фотонов равна

E = hν.

Фотон движется в вакууме со скоростью c. Фотон не имеет массы, m = 0. Из общего соотношения специальной теории относительности, связывающего энергию, импульс и массу любой частицы,

E2 = m2c4 + p2c2,

следует, что фотон обладает импульсом



Таким образом, учение о свете, совершив виток длительностью в два столетия, вновь возвратилось к представлениям о световых частицах – корпускулах.

Но это не был механический возврат к корпускулярной теории Ньютона. В начале XX века стало ясно, что свет обладает двойственной природой. При распространении света проявляются его волновые свойства (интерференция, дифракция, поляризация), а при взаимодействии с веществом – корпускулярные (фотоэффект). Эта двойственная природа света получила название корпускулярно-волнового дуализма. Позже двойственная природа была открыта у электронов и других элементарных частиц. Классическая физика не может дать наглядной модели сочетания волновых и корпускулярных свойств у микрообъектов. Движением микрообъектов управляют не законы классической механики Ньютона, а законы квантовой механики. Теория излучения абсолютно черного тела, развитая М. Планком, и квантовая теория фотоэлектрического эффекта Эйнштейна лежат в основании этой современной науки.

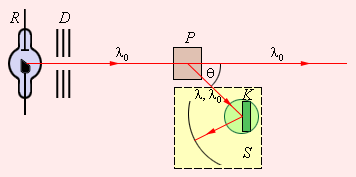
***Эффект Комптона***

Концепция фотонов, предложенная А. Эйнштейном в 1905 г. для объяснения фотоэффекта, получила экспериментальное подтверждение в опытах американского физика А. Комптона (1922 г.). Комптон исследовал упругое рассеяние коротковолнового рентгеновского излучения на свободных (или слабо связанных с атомами) электронах вещества. Открытый им эффект увеличения длины волны рассеянного излучения, названный впоследствии эффектом Комптона, не укладывается в рамки волновой теории, согласно которой длина волны излучения не должна изменяться при рассеянии. Согласно волновой теории, электрон под действием периодического поля световой волны совершает вынужденные колебания на частоте волны и поэтому излучает рассеянные волны той же частоты[[7]](#footnote-7).

Схема Комптона представлена на рис. 6. Монохроматическое рентгеновское излучение с длиной волны λ0, исходящее из рентгеновской трубки R, проходит через свинцовые диафрагмы и в виде узкого пучка направляется на рассеивающее вещество-мишень P (графит, алюминий). Излучение, рассеянное под некоторым углом θ, анализируется с помощью спектрографа рентгеновских лучей S, в котором роль дифракционной решетки играет кристалл K, закрепленный на поворотном столике. Опыт показал, что в рассеянном излучении наблюдается увеличение длины волны Δλ, зависящее от угла рассеяния θ:

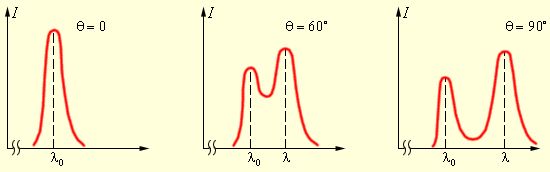
Δλ = λ - λ0 = 2Λ sin2 θ / 2,

где Λ = 2,43·10–3 нм – так называемая комптоновская длина волны, не зависящая от свойств рассеивающего вещества. В рассеянном излучении наряду со спектральной линией с длиной волны λ наблюдается несмещенная линия с длиной волны λ0. Соотношение интенсивностей смещенной и несмещенной линий зависит от рода рассеивающего вещества.



**Рис.6. Схема эксперимента Комптона**

На рис.7 представлены кривые распределения интенсивности в спектре излучения, рассеянного под некоторыми углами.



**Рис. 7. Спектры рассеянного излучения**

Объяснение эффекта Комптона было дано в 1923 году А. Комптоном и П. Дебаем (независимо) на основе квантовых представлений о природе излучения. Если принять, что излучение представляет собой поток фотонов, то эффект Комптона есть результат упругого столкновения рентгеновских фотонов со свободными электронами вещества. У легких атомов рассеивающих веществ электроны слабо связаны с ядрами атомов, поэтому их можно считать свободными. В процессе столкновения фотон передает электрону часть своей энергии и импульса в соответствии с законами сохранения[[8]](#footnote-8).

Рассмотрим упругое столкновение двух частиц – налетающего фотона, обладающего энергией E0 = hν0 и импульсом p0 = hν0 / c, с покоящимся электроном, энергия покоя которого равна Фотон, столкнувшись с электроном, изменяет направление движения (рассеивается). Импульс фотона после рассеяния становится равным p = hν / c, а его энергия E = hν < E0. Уменьшение энергии фотона означает увеличение длины волны. Энергия электрона после столкновения в соответствии с релятивистской формулой (см. § 7.5) становится равной где pe – приобретенный импульс электрона. Закон сохранения записывается в виде



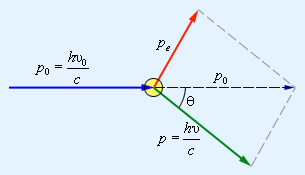
или



Закон сохранения импульса



можно переписать в скалярной форме, если воспользоваться теоремой косинусов (см. диаграмму импульсов, рис. 8):



**Рис. 8.Диаграмма импульсов при упругом рассеянии фотона на покоящемся электроне.**

Из двух соотношений, выражающих законы сохранения энергии и импульса, после несложных преобразований и исключения величины pe можно получить

mc2(ν0 – ν) = hν0ν(1 – cos θ).

Переход от частот к длинам волн приводит к выражению, которое совпадает с формулой Комптона, полученной из эксперимента:



Таким образом, теоретический расчет, выполненный на основе квантовых представлений дал исчерпывающее объяснение эффекту Комптона и позволил выразить комптоновскую длину волны Λ через фундаментальные константы h, c и m:



Как показывает опыт, в рассеянном излучении наряду со смещенной линией с длиной волны λ наблюдается и несмещенная линия с первоначальной длиной волны λ0. Это объясняется взаимодействием части фотонов с электронами, сильно связанными с атомами. В этом случае фотон обменивается энергией и импульсом с атомом в целом. Из-за большой массы атома по сравнению с массой электрона атому передается лишь ничтожная часть энергии фотона, поэтому длина волны λ рассеянного излучения практически не отличается от длины волны λ0 падающего излучения[[9]](#footnote-9).

# 3. Квантовая теория Планка

В 1900 г. Планк выдвинул гипотезу о квантованности излучаемой энергии.

Планк пришел к выводу, что процессы излучения и поглощения нагретым телом электромагнитной энергии, происходят не непрерывно, как это принимала классическая физика, а конечными порциями – квантами. Квант – это минимальная порция энергии, излучаемой или поглощаемой телом. По теории Планка, энергия кванта E прямо пропорциональна частоте света:

E = hν

где h – так называемая постоянная Планка, равная h = 6,626·10–34 Дж·с. Постоянная Планка – это универсальная константа, которая в квантовой физике играет ту же роль, что и скорость света в СТО.

На основе гипотезы о прерывистом характере процессов излучения и поглощения телами электромагнитного излучения Планк получил формулу для спектральной светимости абсолютно черного тела. Формулу Планка удобно записывать в форме, выражающей распределение энергии в спектре излучения абсолютно черного тела по частотам ν, а не по длинам волн λ.



Здесь c – скорость света, h – постоянная Планка, k – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура.

Формула Планка хорошо описывает спектральное распределение излучения черного тела при любых частотах. Она прекрасно согласуется с экспериментальными данными.

Решение проблемы излучения черного тела ознаменовало начало новой эры в физике. Нелегко было примириться с отказом от классических представлений, и сам Планк, совершив великое открытие, в течение нескольких лет безуспешно пытался понять квантование энергии с позиции классической физики

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, первые представления о природе света возникли у древних греков и египтян. По мере изобретения и совершенствования различных оптических приборов эти представления развивались и трансформировались. В конце XVII века возникли две теории света: корпускулярная И. Ньютона и волновая Р. Гука и Х. Гюйгенса.

Фотоэлектрический эффект был открыт в 1887 году немецким физиком Г. Герцем и в 1888–1890 годах экспериментально исследован А. Г. Столетовым. Наиболее полное исследование явления фотоэффекта было выполнено Ф. Ленардом в 1900 г. К этому времени уже был открыт электрон, и стало ясно, что фотоэффект (или точнее – внешний фотоэффект) состоит в вырывании электронов из вещества под действием падающего на него света.

В результате, многочисленными экспериментаторами были установлены следующие основные закономерности фотоэффекта:

1) Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с увеличением частоты света ν и не зависит от его интенсивности.

2) Для каждого вещества существует так называемая красная граница фотоэффекта, т. е. наименьшая частота νmin, при которой еще возможен внешний фотоэффект.

3) Число фотоэлектронов, вырываемых светом из катода за 1 с, прямо пропорционально интенсивности света.

4) Фотоэффект практически безинерционен, фототок возникает мгновенно после начала освещения катода при условии, что частота света ν > νmin.

Концепция фотонов, предложенная А. Эйнштейном в 1905 г. для объяснения фотоэффекта, получила экспериментальное подтверждение в опытах американского физика А. Комптона (1922 г.). Комптон исследовал упругое рассеяние коротковолнового рентгеновского излучения на свободных (или слабо связанных с атомами) электронах вещества. Открытый им эффект увеличения длины волны рассеянного излучения, названный впоследствии эффектом Комптона, не укладывается в рамки волновой теории, согласно которой длина волны излучения не должна изменяться при рассеянии.

В 1900 г. Планк выдвинул гипотезу о квантованности излучаемой энергии.

Формула Планка хорошо описывает спектральное распределение излучения черного тела при любых частотах. Она прекрасно согласуется с экспериментальными данными.

Идея квантования является одной из величайших физических идей. Оказалось, что многие величины считавшиеся непрерывными, имеют дискретный ряд значений. На базе этой идеи возникла квантовая механика, описывающая законы поведения микрочастиц

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусейханов, М.К.  Концепции современного естествознания: - М. : Дашков и К, 2005. - 692 с.
2. Дубнищева, Т.Я. Концепции современного естествознания. Основной курс в вопросах и ответах: Учеб. пособие для вузов / Т.Я. Дубнищева. - Новосибирск : Сибирское унив. изд-во, 2003. - 407 с.
3. Концепции современного естествознания: учеб. для вузов / Под ред. В.Н. Лавриненко, В.П. Ратникова.- 3-е изд., перераб. и доп. - М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2003. - 317 с.
4. Лебедев С.А. Концепции современного естествознания. – М.: 2007
5. Покровский, А.К. Концепции современного естествознания: Учеб. для вузов / А.К. Покровский, Л.Б. Миротин; под ред. Л.Б. Миротина. - М.: Экзамен, 2005. - 480 с
6. Рузавин, Г.И. Концепции современного естествознания: Учеб. для вузов / Г.И. Рузавин. - М. : Юнити, 2005. - 287 с.
7. Суханов А.Д., Голубева О.Н. Концепции современного естествознания. М., 2004
8. Торосян, В.Г. Концепции современного естествознания  : учеб. пособие для вузов / В.Г. Торосян. - М. : Высш. шк., 2003. - 208 с.

1. Гусейханов, М.К.  Концепции современного естествознания: - М. : Дашков и К, 2005. - 692 с. [↑](#footnote-ref-1)
2. Концепции современного естествознания: учеб. для вузов / Под ред. В.Н. Лавриненко, В.П. Ратникова.- 3-е изд., перераб. и доп. - М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2003. - 317 с.  [↑](#footnote-ref-2)
3. Торосян, В.Г. Концепции современного естествознания  : учеб. пособие для вузов / В.Г. Торосян. - М. : Высш. шк., 2003. - 208 с.  [↑](#footnote-ref-3)
4. Рузавин, Г.И. Концепции современного естествознания: Учеб. для вузов / Г.И. Рузавин. - М. : Юнити, 2005. - 287 с.  [↑](#footnote-ref-4)
5. Дубнищева, Т.Я. Концепции современного естествознания. Основной курс в вопросах и ответах: Учеб. пособие для вузов / Т.Я. Дубнищева. - Новосибирск : Сибирское унив. изд-во, 2003. - 407 с. [↑](#footnote-ref-5)
6. Лебедев С.А. Концепции современного естествознания. – М.: 2007 [↑](#footnote-ref-6)
7. Гусейханов, М.К.  Концепции современного естествознания: - М. : Дашков и К, 2005. - 692 с. [↑](#footnote-ref-7)
8. Суханов А.Д., Голубева О.Н. Концепции современного естествознания. М., 2004 [↑](#footnote-ref-8)
9. Торосян, В.Г. Концепции современного естествознания  : учеб. пособие для вузов / В.Г. Торосян. - М. : Высш. шк., 2003. - 208 с.  [↑](#footnote-ref-9)