В современной физике фотон рассматривается как безмассовая элементарная частица.

Энергия и импульс фотона. При испускании и поглощении свет ведёт себя подобно потоку частиц с энергией Е = hv, зависящей от частоты. Порция света оказалась неожиданно очень похожей на то, что принято называть частицей.

Свойства света, обнаруживаемые при его излучении и поглощении, назвали корпускулярными. Сама же световая частица была названа фотоном или квантом электромагнитного излучения.

Фотон, подобно частице, обладает определённой порцией энергии hv. Энергию фотона часто выражают не через частоту V, а через циклическую частоту со = 2лу. При этом в формуле для энергии фотона в качестве коэффициента пропорциональности вместо величины h используют величину Й = т- (читается с чертой), равную, по современным данным, 2тг 1,0545726 ■ 1СГ34 Дж • с (последние два знака в первом сомножителе определены с точностью до +40). Тогда энергия фотона выражается так:

Согласно теории относительности энергия всегда связана с массой соотношением Е = тс2. Так как энергия фотона равна hv, то, следовательно, его масса т получается равной:

У фотона нет массы покоя, он не существует в состоянии покоя и при рождении сразу имеет скорость с. Масса, определяемая формулой (10.5), — это масса движущегося фотона. По известной массе и скорости фотона можно найти его импульс:

Направление импульса фотона совпадает с направлением светового луча.

Чем больше частота V, тем больше энергия Е и импульс р фотона и тем отчётливее проявляются корпускулярные свойства света. Из-за того что постоянная Планка мала, энергия фотонов видимого излучения крайне незначительна. Фотоны, соответствующие зеленому свету, имеют, энергию.

Корпускулярно-волновой дуализм. Законы теплового излучения и фотоэффекта можно объяснить только на основе представления, согласно которому свет — это поток частиц-фотонов. Однако явления интерференции и дифракции света свидетельствуют и о волновых свойствах света. Свет обладает, таким образом, своеобразным дуализмом (двойственностью) свойств. При распространении света проявляются его волновые свойства, а при взаимодействии с веществом (излучении и поглощении) — корпускулярные.

Мы не имеем возможности представлять себе наглядно в полной мере процессы в микромире, так как они совершенно отличны от тех макроскопических явлений, которые люди наблюдали на протяжении миллионов лет и основные законы которых были сформулированы к концу XIX в.

Свет оказался очень сложным явлением. Мы не в силах наглядно представить сочетание волновых и корпускулярных свойств в одном объекте, так как волна и частица имеют разные свойства. Следует просто смириться с тем, что волновые и корпускулярные свойства — это различные стороны природы света, которые мы хотим объяснить на основе известных нам моделей.

Опыты Вавилова. Свет выглядит непрерывным потоком, если интенсивность его достаточно велика. Квантовые свойства света должны проявляться тогда, когда невелики интенсивность и время излучения, т. е. наблюдаются отдельные вспышки.

В 20-е г. XX в. советский физик Сергей Иванович Вавилов провёл интересные эксперименты с целью проверки утверждения о наличии у света квантовых свойств. Группа С. И. Вавилова занималась в то время исследованием поглощения и испускания света элементарными молекулярными системами.

Опыты состояли в следующем. Перед наблюдателем ставили вращающийся диск с маленьким отверстием. За диском размещался молекулярный источник света, интенсивность (яркость) излучения которого можно было регулировать. При ярком свете наблюдатель через отверстие во вращающемся диске каждый раз видел вспышку. При уменьшении интенсивности излучения наблюдатель видел вспышку не каждый раз. Чем меньше была интенсивность, тем меньше вспышек видел наблюдатель.

Это свидетельствовало о том, что свет не является сплошным потоком. Излучение отдельным атомом или молекулой кратковременно. При большой интенсивности число излучаемых частиц света (квантов) велико и растянуто во времени. При снижении интенсивности уменьшается число излучаемых квантов и существует большая вероятность того, что выстреливаемые атомами кванты не пройдут через отверстие.

Гипотеза де Бройля. Если с электромагнитным полем длительное время связывалось представление о материи, непрерывно распределённой в пространстве, то электроны, напротив, представлялись как некоторые крохотные комочки материи. Это подчёркивалось уже самим названием «частица», постоянно присутствующим рядом со словом «электрон».

Не допускаем ли мы здесь ошибки, обратной той, которая была сделана со светом? Может быть, электрон и другие частицы обладают также и волновыми свойствами? Такую необычную мысль высказал в 1923 г. французский учёный Луи де Бройль.

Предположив, что с движением частиц связано распространение некоторых волн, де Бройль сумел найти длину волны этих волн. Связь длины волны с импульсом частицы оказалась точно такой же, как и у фотонов (см. формулу (10.6)). Если длину волны обозначить через X, а импульс — через р, то.

Эта знаменитая формула для длины волны де Бройля — одна из основных в физике микромира.

Предсказанные де Бройлем волновые свойства частиц впоследствии были обнаружены экспериментально. Наблюдалась, в частности, дифракция электронов и других частиц на кристаллах. В этих случаях получалась картина, подобная той, которая характерна для рентгеновских лучей, причём справедливость формулы де Бройля (10.7) была доказана экспериментально.

Принцип неопределённости Гейзенберга. Экспериментально обнаруженная дифракция частиц привела нас к тому же положению, как и при рассмотрении оптических явлений. При определённых условиях частицы проявляют волновые свойства, а раз так, то уже нельзя говорить об определённых траекториях частиц. Вспомним аналогичную ситуацию в оптике, мы наблюдаем нарушение закона прямолинейного распространения света при огибании волной препятствия.

Принцип неопределённости Гейзенберга указывает на то, что невозможно с абсолютной точностью одновременно определить и положение, и импульс частицы.

Чем точнее мы определяем координату частицы, тем больше мы ошибаемся при определении её импульса: где Ах — неопределённость значения координаты х, а Арх — неопределённость значения проекции её импульса.

Данное соотношение справедливо для любой координаты частицы. Попытаемся объяснить его.

Предположим, мы хотим определить положение микрочастицы. Для этого поставим на её пути перпендикулярно скорости щель шириной Дх. Мы знаем, что до щели проекция импульса частицы на ось, перпендикулярную её скорости, равна нулю, но абсолютно не знаем, где она находится. Однако когда мы её обнаруживаем в щели, проекция импульса имеет неопределённые значения вследствие явления дифракции. Чем уже мы сделаем щель, т. е. чем точнее мы определим х, тем больше будет проявляться дифракция и тем менее точно мы будем знать значение проекции импульса.

В дальнейшем подробные вычисления позволили Гейзенбергу получить ещё одно соотношение: сформулировать ещё одно утверждение: энергия микрочастицы может быть определена с точностью в течение промежутка времени.

Эти необычные свойства микрообъектов описываются с помощью квантовой механики — современной теории движения микрочастиц. Механика Ньютона здесь в большинстве случаев неприменима.