

Дата **18.05.2023.** Группа ТЭК 1/1. Курс 1

Дисциплина: Физика

Тема занятия: Квантовая физика

Цель занятия:

- *методическая* - совершенствование методики проведения лекционного занятия;
- *учебная* – сформировать представление о квантовой физике;
- *воспитательная* – обучать учащихся соотносить полученные знания с наблюдаемыми явлениями.

Вид занятия: Лекция

Межпредметные связи:

Обеспечивающие: Техническая механика, Физика

Рекомендуемая литература

1. Мякишев Г.Я. Физика: учеб. для 10 кл. общеобразоват. организаций: базовый и углубл. уровни / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, Н.Н. Сотский; под ред. Н.А. Парфентьевой. – 9 изд., стер. – М.: Просвещение, 2022. – 432 с.: ил. – (Классический курс)
2. Мякишев Г.Я. Физика: учеб. для 11 кл. общеобразоват. организаций: базовый и углубл. уровни / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, В.М. Чаругин; под ред. Н.А. Парфентьевой. – 10 изд., стер. – М.: Просвещение, 2022. – 432 с.: ил. – (Классический курс)
3. Рымкевич А.П. Задачник: сборник для учащихся общеобразовательных учреждений. – М., «Дрофа» 2008.

Тема: Квантовая физика

1. Гипотеза Планка о квантах

2. Фотоэффект
3. Фотоны

1. Гипотеза Планка о квантах

Величайшая революция в физике совпала с началом XX в. Попытки объяснить наблюдаемые на опытах (см. рис. 10.3) закономерности распределения энергии в спектрах теплового излучения (электромагнитного излучения нагретого тела) оказались несостоятельными. Многократно проверенные законы электромагнетизма Максвелла неожиданно «забастовали», когда их попытались применить к проблеме излучения веществом коротких электромагнитных волн. И это было тем более удивительно, что эти законы превосходно описывали излучение радиоволн антенной и что в свое время само существование электромагнитных волн было предсказано на основе этих законов.

Согласно теории Максвелла, колеблющиеся электрические заряды испускают электромагнитные волны. Тогда излучение нагретых тел может быть объяснено колебаниями электрических зарядов в молекулах вещества. При этом плотность излучаемой энергии должна увеличиваться с частотой. Однако опыт показывает, что при больших частотах плотность энергии становится малой, о чем свидетельствует характер спектра электромагнитного излучения.

В поисках выхода из этого противоречия между теорией и опытом немецкий физик Макс Планк предположил, что атомы испускают электромагнитную энергию не непрерывно, а отдельными порциями — **квантами**. Энергия E каждой порции прямо пропорциональна частоте ν излучения:

$$E = h\nu.$$

Коэффициент пропорциональности h получил название **постоянной Планка**.

Предположение Планка фактически означало, что законы классической физики совершенно неприменимы к явлениям микромира.

Разработанная Планком теория теплового излучения превосходно согласовывалась с экспериментом. По известному из опыта распределению энергии по частотам было определено значение постоянной Планка. Оно оказалось очень малым:

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}.$$

Планк Макс (1858—1947) —

великий немецкий физик-теоретик, основатель квантовой теории — современной теории движения, взаимодействия и взаимных превращений микроскопических частиц. В 1900 г. в работе по исследованию равновесного теплового излучения впервые предположил, что энергия осциллятора (системы, совершающей гармонические колебания) принимает дискретные значения, пропорциональные частоте колебаний; излучается электромагнитная энергия осциллятором отдельными порциями. Большой вклад внес в развитие термодинамики.



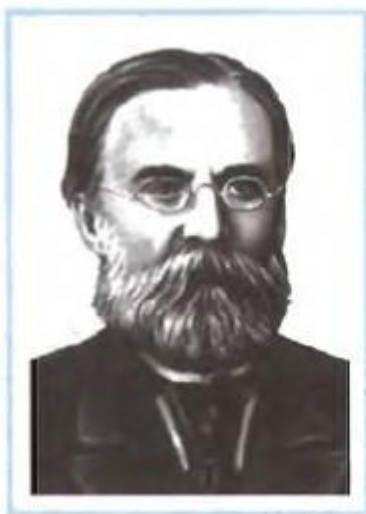
После открытия Планка начала развиваться новая, самая современная и глубокая физическая теория — квантовая теория. Развитие ее не завершено и по сей день.

2. Фотоэффект

Квантовым законам подчиняется поведение всех микрочастиц. Но впервые квантовые свойства материи были обнаружены именно при исследовании излучения и поглощения света.

В развитии представлений о природе света важный шаг был сделан при изучении одного замечательного явления, открытого Г. Герцем и тщательно исследованного выдающимся русским физиком Александром Григорьевичем Столетовым. Явление это получило название фотоэффекта.

Фотоэффект — это испускание электронов из вещества под действием падающего на него света.



Столетов Александр Григорьевич (1839—1896) — русский физик. Исследование фотоэффекта принесло ему мировую известность. Показал также возможность применения фотоэффекта на практике. В докторской диссертации «Исследования о функции намагничивания мягкого железа» разработал метод исследования ферромагнетиков и установил вид кривой намагничивания. Эта работа широко использовалась на практике при конструировании электрических машин. Был инициатором создания Физического института при Московском университете.

Наблюдение фотоэффекта

Для обнаружения фотоэффекта на опыте можно использовать электрометр с присоединенной к нему цинковой пластиной (рис. 11.1). Если зарядить пластину положительно, то ее освещение, например электрической дугой, не влияет на быстроту разрядки электрометра. Но если пластину зарядить отрицательно, то световой пучок от дуги разряжает электрометр очень быстро.

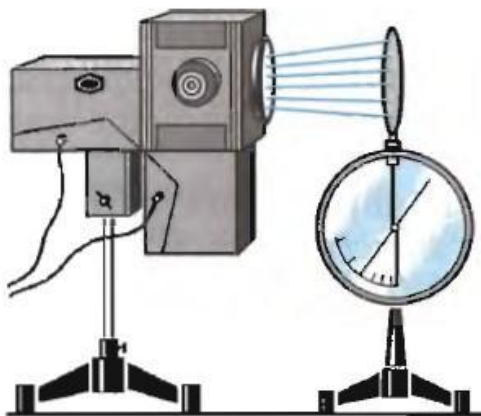


Рис. 11.1

Смотреть видео!

<https://yandex.ru/video/preview/5984096105281584804>

<https://yandex.ru/video/preview/6780334550402582023>

<https://rutube.ru/video/c750debd11f716466248004aaa45c90f/>

Наблюдение фотоэффекта

Объяснить это можно так. Свет вырывает электроны с поверхности пластины. Если пластина заряжена отрицательно, электроны отталкиваются от нее, и электрометр разряжается. При положительном же заряде пластины вырванные светом электроны притягиваются к пластине и снова оседают на ней. Поэтому заряд электрометра в этом случае не изменяется.

Однако, когда на пути света поставлено обыкновенное стекло, отрицательно заряженная пластина уже не теряет электроны, какова бы ни была интенсивность излучения. Так как известно, что стекло поглощает ультрафиолетовые лучи, то из этого опыта можно заключить: именно ультрафиолетовый участок спектра вызывает фотоэффект. Этот простой факт нельзя объяснить на основе волновой теории света. Ведь непонятно, почему световые волны малой частоты не могут вырывать электроны, если даже амплитуда волны велика и, следовательно, велика сила, действующая на электроны.

Законы фотоэффекта

Для того чтобы получить о фотоэффекте более полное представление, нужно было выяснить, от чего зависит число вырванных светом с поверхности вещества электронов (фотоэлектронов) и чем определяется их скорость или кинетическая энергия. С этой целью были продолжены экспериментальные исследования.

В стеклянный баллон, из которого выкачан воздух, помещаются два электрода (рис. 11.2). Внутри баллона на один из электродов поступает свет через кварцевое окошко, прозрачное не только для видимого света, но и для ультрафиолетового излучения. На электроды подается напряжение, которое можно менять с помощью потенциометра и измерять вольтметром. К освещаемому электроду присоединяется отрицательный полюс батареи. Под действием света этот электрод испускает электроны, которые

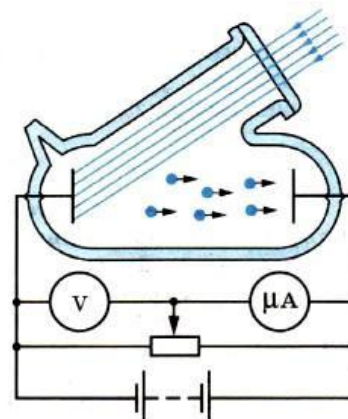


Рис. 11.2

при движении в электрическом поле образуют электрический ток. При малых напряжениях не все вырванные светом электроны достигают другого электрода. Если, не меняя интенсивности излучения, увеличивать разность потенциалов между электродами, то сила тока возрастает. При некотором напряжении она достигает максимального значения, после чего перестает увеличиваться (рис. 11.3). Максимальное значение силы тока I_n называется током насыщения. Сила тока насыщения определяется числом электронов, испускаемых за 1 с освещаемым электродом.

Изменяя в этом опыте интенсивность излучения, удалось установить, что число электронов, вырываемых светом с поверхности металла за 1 с, прямо пропорционально поглощаемой за это время энергии световой волны.

На основании результатов этого опыта можно сформулировать **первый закон фотоэффекта: фототок насыщения прямо пропорционален падающему световому потоку Φ** .

Теперь остановимся на измерении кинетической энергии (или скорости) электронов. Из графика, приведенного на рисунке 11.3, видно, что сила фототока отлична от нуля и при нулевом напряжении. Это означает, что часть вырванных светом электронов достигает правого (см. рис. 11.2) электрода и при отсутствии напряжения. Если изменить полярность батареи, то сила тока уменьшится, и при некотором напряжении U_3 обратной полярности она станет равной нулю.

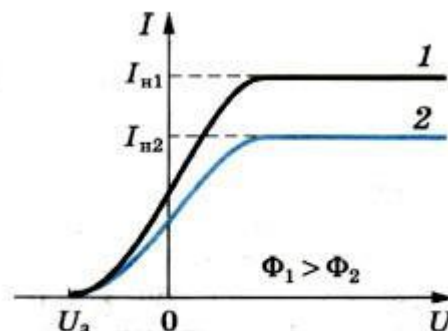


Рис. 11.3

Это значит, что электрическое поле тормозит вырванные электроны до полной остановки, а затем возвращает их на электрод.

Задерживающее напряжение U_3 зависит от максимальной кинетической энергии, которую имеют вырванные светом электроны. Измеряя задерживающее напряжение и применяя теорему о кинетической энергии (см. учебник физики для 10 класса), можно найти максимальное значение кинетической энергии электронов:

$$\frac{mv^2}{2} = eU_3.$$

При изменении интенсивности света (плотности потока излучения) задерживающее напряжение, как показали опыты, не меняется. Значит, не меняется кинетическая энергия электронов. С точки зрения волновой теории света этот факт непонятен. Ведь чем больше интенсивность света, тем большие силы действуют на электроны со стороны электромагнитного поля световой волны и тем большая энергия, казалось бы, должна передаваться электронам.

На опытах было обнаружено, что кинетическая энергия вырываемых светом электронов зависит только от частоты света.

Второй закон фотоэффекта: максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно растет с частотой света и не зависит от его интенсивности.

Если частота света меньше определенной для данного вещества минимальной частоты $\nu_{\min}$, то фотоэффекта не происходит.

3. Фотоны

В современной физике фотон рассматривается как одна из элементарных частиц.

Энергия и импульс фотона

При испускании и поглощении свет ведет себя подобно потоку частиц с энергией $E = h\nu$, 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 определенной порцией энергии $h\nu$. Энергию фотона часто выражают не через частоту ν , а через циклическую частоту $\omega = 2\pi\nu$.

При этом в формуле для энергии фотона в качестве коэффициента пропорциональности вместо величины h используют величину

$$\hbar = \frac{h}{2\pi}$$

(читается: аш с чертой), равную, по современным данным, $\hbar = 1,0545726 \cdot 10^{-34}$ Дж·с (последние два знака определены с точностью до ± 40). Тогда энергия фотона выражается так:

$$E = h\nu = \hbar\omega. \quad (11.4)$$

Согласно теории относительности энергия всегда связана с массой соотношением $E = mc^2$. Так как энергия фотона равна $h\nu$, то, следовательно, его масса m получается равной

$$m = \frac{h\nu}{c^2}. \quad (11.5)$$

У фотона нет собственной массы, он не существует в состоянии покоя и при рождении сразу имеет скорость c . Масса, определяемая формулой (11.5), — это масса движущегося фотона. По известной массе и скорости фотона можно найти его импульс:

$$p = mc = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}. \quad (11.6)$$

Направление импульса фотона совпадает с направлением светового луча.

Чем больше частота ν , тем больше энергия E и импульс p фотона и тем отчетливее проявляются корпускулярные свойства света. Из-за того что постоянная Планка мала, энергия фотонов видимого излучения крайне незначительна. Фотоны, соответствующие зеленому свету, имеют энергию $4 \cdot 10^{-19}$ Дж.

Тем не менее, в своих замечательных опытах С. И. Вавилов установил, что человеческий глаз, этот точнейший из «приборов», способен реагировать на различие освещенностей, измеряемое единичными квантами.

Смотреть видео!

<https://www.youtube.com/watch?v=vI6uPaEyP1A>

Фотоны. Применение фотоэффекта

Контрольные вопросы

1. Чему равна постоянная Планка?
2. В чем состоят основные законы фотоэффекта?
3. Что такое квант?

Задание для самостоятельной работы:

1. Посмотреть видео !!!
2. Ознакомиться с лекционным материалом
3. Письменно ответить на контрольные вопросы
4. Фотографию прислать в личном сообщении ВК <https://vk.com/id139705283>

На фотографии вверху должна быть фамилия, дата выдачи задания, группа, дисциплина. Например: «Иванов И.И, **18.05.2023**, группа ТЭК 1/1 «Физика»