ИЗЛУЧЕНИЕ И КВАНТОВАЯ ГИПОТЕЗА ПЛАНКА. РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ОБ ИЗЛУЧЕНИИ

Садофьев И.Д., Филиппов В.А.

г. Коломна, МБОУ «Гимназия №2 «Квантор»», 11 «Г» класс

Руководитель: Дорохова Е.В. МБОУ «Гимназия №2 «Квантор»», учитель физики

Как известно, в природе существует три вида теплопередачи — теплопроводность, конвекция и излучение. Про последнее мы хотели бы рассказать подробнее.

Излучение — это явление испускания телом энергии в окружающую среду. <u>Актуальность темы:</u>

- Изучение механизма возникновения и распространения излучения;
- Экспериментальная проверка различных теорий излучения;
- Применение знаний об излучении на практике: в приборах, при изготовлении материалов;

<u>Постановка проблемы:</u> чтобы разобраться в механизме излучения, ответим на 3 вопроса:

- Как происходит излучение и что оно из себя представляет?
- От чего зависит мощность излучения тела?
- Как распространяется и поглощается энергия излучения?

<u>Цель работы:</u> с помощью школьного курса физики и лабораторного оборудования, а также необходимой информации из Интернета, ответим на поставленные вопросы.

Задачи:

- Выяснить, как происходит излучение;
- Проверить соответствие теоретических выводов и результатов эксперимента;
- Применить теоретические знания на практике;

<u>Личный вклад:</u> обобщение знаний по данной проблеме, что может быть использовано в образовательных целях.

2. Излучение с точки зрения волновой теории

2.1. Механизм излучения

Согласно волновой теории, излучение тела возникает следующим образом. При нагревании атомы тела начинают колебаться с большей амплитудой, вследствие чего сталкиваются друг с другом. Часть из них при этом переходит в возбужденное состояние. Но долго в возбужденном состояние атом находиться не может, а потому переходит в обычное, при этом испуская электромагнитную волну. Таким образом, излучение — это совокупность электромагнитных волн различных частот.

Как распределена энергия среди этих волн?

Для ответа введем несколько физических понятий и величин.

2.2. Абсолютно черное тело

Абсолютно черное тело поглощает всю энергию попадающего на него излучения [1].

Известно, что при любой не разрушающей тело температуре оно сильнее всего излучает и поглощает волны одних и тех же частот (то есть спектр излучения соответствует спектру поглощения). Таким образом, абсолютно черное тело излучает волны всех частот. Пример абсолютно черного тела — отверстие в непрозрачной сфере, очень малое в сравнении с ее радиусом [1].

Так как спектр излучения Солнца почти соответствует спектру излучения абсолютно черного тела такой же температуры, Солнце можно считать абсолютно черным телом [1].

Именно для абсолютно черного тела были выведены все формулы, которые мы рассмотрим ниже.

2.3. Характеристики излучения

Интегральной светимостью тела называется отношение мощности излучения к площади поверхности тела [1]:

$$R = \frac{P}{c}$$

Спектральной светимостью тела называется отношение интегральной светимости в данном диапазоне длин волн к ширине диапазона [1]:

$$r_{\lambda} = \frac{\Delta R}{\Delta \lambda}$$

В 1879 году австрийский физик Иозеф Стефан экспериментально установил, а австрийский физик Людвиг Больцман теоретически доказал, что интегральная светимость абсолютно черного тела прямо пропорциональна четвертой степени его температуры [1]:

$$R = \sigma T^4$$

Коэффициентом пропорциональности является постоянная Стефана-Больцмана [1]:

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\hat{A}\hat{o}}{M^2 \cdot K^4}$$

2.4. Распределение энергии в спектре

Как было указано выше, тело излучает энергию в виде электромагнитных волн, причем энергия распределена по ним неравномерно.

Видно, что распределение энергии в спектре определяется зависимостью спектральной светимости тела от длины излученной волны.

Построить график этой зависимости помогает **болометр** – прибор, измеряющий мощность падающего на него излучения [2].

Принцип работы болометра таков: излучение, попадая на тонкую проволочку, покрытую сажей, вызывает повышение ее температуры (см. рисунок №3 из Приложения 1). Так как сопротивление металла прямо пропорционально его температуре, можно подключить в цепь (см. рисунок №8 Приложения 1), состоящую из проволочки и источника тока, гальванометр, который целесообразнее проградуировать в ваттах. Далее по формулам можно найти спектральную светимость тела, излучение которого улавливалось болометром и построить график искомой зависимости (см. график 1 из Приложения 2) [2].

2.5. Закон сохранения энергии

Возникает новый вопрос: согласуется ли наша теория с законом сохранения энергии?

Для ответа на него необходимо теоретически получить формулу, выражающую зависимость спектральной светимости тела от частоты излучаемой волны, что и сделал в 1900 году английский физик Джон Рэлей на основе волновой теории, а Джеймс Джинс усовершенствовал эту формулу, в итоге она приняла такой вид [3]:

$$r_{v} = kT \frac{2\pi v^2}{c^2}$$

Сравним результаты, полученные по ней, с экспериментальными данными (см. график 2 из Приложения 2). Видно, что при малых частотах закон Рэлея-Джинса справедлив, но при больших дает абсурдный результат — выходит, что абсолютно черное тело излучает в секунду бесконечно большое количество энергии, причем большая часть энергии приходится на волны ультрафиолетового, рентгеновского и гамма-излучений! Этот парадокс назвали ультрафиолетовой катастрофой. Классическая физика зашла в тупик [3].

3. Излучение с точки зрения квантовой теории

3.1. Квантовая гипотеза

Выход нашел в том же 1900 году Макс Планк. Он предположил, что абсолютно черное тело испускает и поглощает энергию не непрерывно, а отдельными порциями – квантами.

Энергия кванта прямо пропорциональна его частоте, а коэффициентом пропорциональности является постоянная Планка [1]:

$$\varepsilon = hv$$

$$h = 6.626 \cdot 10^{-34} \, \text{Дж c}$$

3.2. Формула Планка

На основе своей гипотезы Планк вывел теоретически формулу, устанавливающую зависимость спектральной светимости тела от частоты испускаемых квантов. Эта формула прекрасно согласуется с экспериментальными данными [1] (см. график 3 Приложения 2):

$$r_{v} = \frac{2\pi v^{2}}{c^{2}} * \frac{hv}{e^{hv/kT} - 1}$$

Также выполняется и закон смещения Вина (гласящий, что частота, на которую приходится максимум спектральной светимости, обратно пропорциональна температуре тела) [1]:

$$v_{max}T = const$$

Таким образом, квантовая теория была принята научным сообществом как справедливая.

4. Эксперимент

4.1. Теория работы

Мы провели эксперимент по определению постоянной Планка. Для этого нам потребовался полупроводниковый лазер (см. рисунок №1). Теория работы такова: при замыкании цепи электроны в ней начинают двигаться. Их максимальная кинетическая энергия — произведение заряда на разность потенциалов, создаваемую источником тока. Попадая в полупроводник, электроны возбуждают часть атомов, которые при возвращении в нормальное состояние испускают фотоны (см. рисунок №2 Приложения *I*).

Следовательно, закон сохранения энергии для рассмотренного процесса принимает вид:

$$\frac{hc}{\lambda} = eU$$

На пути луча лазера поставим дифракционную решетку — прибор, изменяющий направление движения луча. Тогда на экране мы получим дифракционную картину — совокупность светящихся точек справа и слева от центрального максимума (места, куда упал бы луч при отсутствии дифракционной решетки, см. рисунок $N \ge 4$ Приложения I).

Для дифракционной решетки справедлива формула:

$$d\sin\varphi = m\lambda$$

где d – период дифракционной решетки (частное от деления ширины решетки на

количество штрихов), ϕ — угол отклонения луча , m — номер максимума, для которого ведутся измерения, λ — длина волны света.

Отсюда выводим выражение для постоянной Планка:

$$h = \frac{eU \cdot d \sin \varphi}{mc}$$

4.2. Ход работы

Теперь перейдем от теории к практике. Измерив расстояние от дифракционной решетки до экрана, переходим к опыту. Заметив положение первого максимума, начинаем уменьшать напряжение до тех пор, пока лазер еще испускает свет. Снимаем показания вольтметра (см. рисунок №5 Приложения I)и сводим все данные в таблицу.

Константы	Измерения						Вычисления	
е, Кл	d, м	с, м/с	U, B	1, мм	X, MM	m	sin φ	h, Дж*c
1,6*10 ⁻¹⁹	6,7*10 ⁻⁶	3*10 ⁸	1,87	870	86	1	?	?

Вычисляем синус ф и определяем постоянную Планка.

$$\sin \varphi = \frac{x}{\sqrt{I^2 + x^2}} = \frac{86}{\sqrt{756900 + 7396}} = 0,0983$$

$$h = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{Kn} \cdot 1,87B \cdot 6,7 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot 0,0983}{1 \cdot 3 \cdot 10^{8} \text{ m/c}} = 6,604 \cdot 10^{-34} \text{Дж} \cdot c$$

Полученный нами результат незначительно отличается от реального, что свидетельствует о погрешностях в измерениях. Относительная погрешность равна:

$$\underline{\varepsilon}_{h} = \frac{\left| h - h_{pean} \right|}{h_{pean}} \cdot 100\% = \frac{6,626 \, \mu \text{m} \cdot c - 6,604 \, \mu \text{m} \cdot c}{6,626 \, \mu \text{m} \cdot c} \cdot 100\% = 0,33\%$$

5. Практическое применение квантовой теории

5.1. Фонарь на солнечных батареях

Вернемся к квантовой теории. Имеет ли она практическое применение? Ответ мы получим, если посмотрим вокруг. Например, возьмем обычный садовый фонарь (см. рисунок №6 Приложения *I*). Он запасает энергию с помощью солнечных батарей, действие которых основано на явлении фотоэффекта, теоретически обоснованного квантовой теорией. Ночью фотореле вследствие отсутствия света замыкает цепь светодиода — фонарь начинает освещать пространство вокруг себя [4].

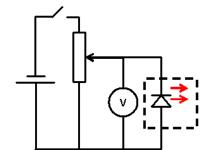
5.2. Светодиоды

Основная часть светодиода — р-п-переход. Состоит он из полупроводников двух типов (в одном основными носителями заряда являются дырки (место, откуда вылетел электрон; условно считаются положительными частицами), а в другом — свободные электроны. При пропускании через переход тока дырки и электроны начинают рекомбинировать (электрон встраивается в дырку), что сопровождается испусканием фотонов, так как энергия электрона уменьшается [4] (см. рисунок №7 Приложения *I*).

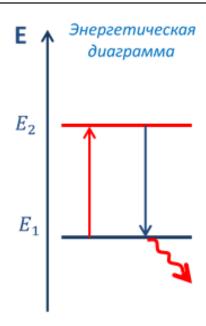
Наряжали ли вы новогоднюю елку? И там вам помогают светодиоды, из которых состоит гирлянда. Заметно, что гирлянда

светится разными цветами. Это происходит из-за различного сопротивления светодиодов (напряжение пропорционально сопротивлению, а длина волны фотонов, в свою очередь, напряжению). С помощью микросхемы задается изменение напряжения с определенной частотой – и огни мигают.

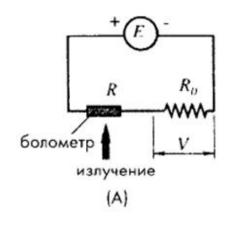
Приложение 1 Рисунки и схемы

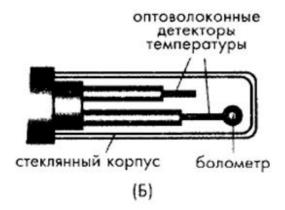


Puc. 1

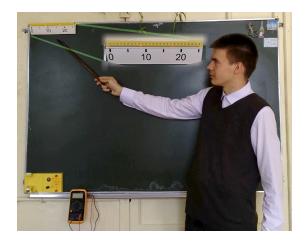


Puc. 2

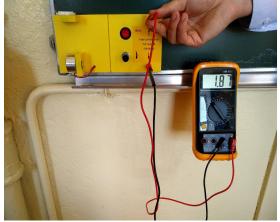




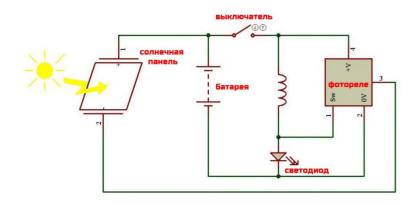
Puc. 3



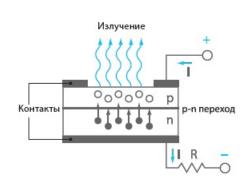




Puc. 5



Puc. 6





Puc. 7

Puc. 8

Приложение 2

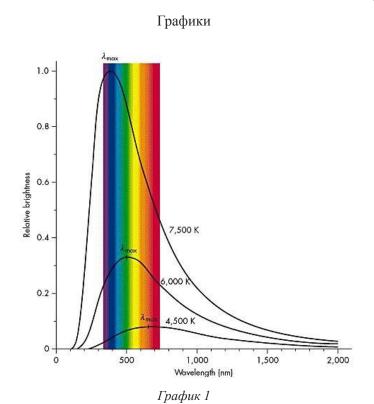




График 2



График 3

Заключение

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- Тела испускают и поглощают энергию не непрерывно, а отдельными порциями – квантами;
- Энергия кванта определяется его частотой и постоянной Планка, значение которой можно вычислить экспериментально, пользуясь установкой не очень высокой сложности;
- Именно на основе квантовой теории были сделаны важнейшие открытия в физике (объяснение фотоэффекта и линейчатых

спектров атомов), разработаны технические приспособления, используемые и сейчас;

– Квантовая гипотеза Планка оказала огромное влияние на дальнейшее развитие физики и технологий, определив, как про-исходит излучение;

Список литературы

- 1. О.Ф. Кабардин, А.Т. Глазунов, В.А. Орлов, А.А. Пинский, А.Н. Малинин «Физика. 11 класс» 15-е изд. М.: Просвещение, 2014.
 - 2. Статья «Болометр»
 - 3. Статья «Формула Рэлея-Джинса»
- 4. Статья «Светодиоды. Устройство. Виды. Работа. Применение»