

## МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЕ ПОСТОЯННОГО ПЛАНКА

**Х.К. Абдрахманова**, канд. физ.-мат. наук

**П.А. Саидахметов**, канд. физ.-мат. наук

**Б.С. Уалиханова**, PhD-доктор

**А.А. Сатыбалды**, магистрант

**Южно-Казахстанский государственный университет имени М.Ауезова**  
(Казахстан, г. Шымкент)

***Аннотация.** В данной работе дается краткая характеристика фундаментальных взаимодействий, указывается на то, что взаимодействие между физическими объектами осуществляется при помощи обмена переносчиков взаимодействия. Авторы статьи показывают, что каждое фундаментальное взаимодействие определяет какое-то явление. Возникновение квантовых представлений в физике связано с теоретическим анализом законов теплового излучения. Исторически эти представления в первую очередь касались свойств вещества, а не поля излучения.*

***Ключевые слова:** обучение физике, фотоэффект, постоянная Планка, рентгеновское излучение.*

Возникновение квантовых представлений в физике связано с теоретическим анализом законов теплового излучения. Исторически эти представления в первую очередь касались свойств вещества, а не поля излучения. Моделируя излучающее тело набором гармонических осцилляторов, Планк выдвинул гипотезу, согласно которой осциллятор вещества может обладать только дискретным набором энергий и в процессе взаимодействия с полем излучения может менять свою энергию порциями, равными  $h\nu$ . Постоянная величина, введенная Планком и носящая его имя, играет роль одной из фундаментальных постоянных наряду с такими, как заряд и масса электрона, скорость света, постоянная Больцмана. Как показало последующее развитие квантовой физики, все механические моменты атомов, молекул, электронов и ядер выражений в единицах. Кроме того, постоянная Планка входит в ряд соотношений, играющих принципиальную роль в квантовой физике и определяющих дискретность состояний микрочастиц и корпускулярно-волновую двойственность их свойств.

Методы измерения постоянной Планка. Постоянная Планка может быть определена тремя способами:

- Тепловое излучение;
- Фотоэффект;

· Анализ спектра тормозного рентгеновского излучения.

Формула Планка — выражение для спектральной плотности мощности излучения абсолютно чёрного тела, которое было получено Максом Планком для равновесной плотности излучения  $u(\omega, T)$ . Формула Планка была получена после того, как стало ясно, что формула Рэля — Джинса удовлетворительно описывает излучение только в области длинных волн. В 1900 году Планк предложил формулу с постоянной (впоследствии названной постоянной Планка), которая хорошо согласовывалась с экспериментальными данными. При этом Планк полагал, что данная формула является всего лишь удачным математическим трюком, но не имеет физического смысла. То есть Планк не предполагал, что электромагнитное излучение испускается в виде отдельных порций энергии (квантов), величина которых связана с частотой излучения выражением:

$$\varepsilon = \hbar\omega$$

Коэффициент пропорциональности  $\hbar$  впоследствии назвали постоянной Планка,  $\hbar = 1.054 \cdot 10^{-34}$  Дж·с.

Фотоэффект — это испускание электронов веществом под действием света (и, вообще говоря, любого электромагнитного излучения). В конденсирован-

ных веществах (твёрдых и жидких) выделяют внешний и внутренний фотоэффект.

При данном способе измерения постоянной Планка используется закон Эйнштейна для фотоэффекта:

$$K_{max} = hv - A,$$

где  $K_{max}$  — максимальная кинетическая энергия вылетевших с катода фотоэлектронов,

$v$  — частота падающего света,

$A$  — т. н. работа выхода электрона.

Суть формулы заключается в том, что энергия фотона расходуется на ионизацию атома вещества и на работу, необходимую для «вырывания» электрона, а остаток переходит в кинетическую энергию электрона.

Измерение проводится так. Сначала катод фотоэлемента облучают монохроматическим светом с частотой  $\nu_1$ , при этом на фотоэлемент подают запирающее напряжение, так, чтобы ток через фотоэлемент прекратился. При этом имеет место следующее соотношение, непосредственно вытекающее из закона Эйнштейна:

$h\nu_1 = A + eU_1$ , где  $e$  — заряд электрона.

Затем тот же фотоэлемент облучают монохроматическим светом с частотой  $\nu_2$  и точно также запирают его с помощью напряжения  $U_2$ :

$$h\nu_2 = A + eU_2$$

Почленно вычитая второе выражение из первого, получаем

$$h(\nu_1 - \nu_2) = e(U_1 - U_2),$$

откуда следует

$$h = \frac{e(U_1 - U_2)}{(\nu_1 - \nu_2)}$$

*Анализ спектра тормозного рентгеновского излучения.*

Этот способ считается самым точным из существующих. Используется тот факт, что частотный спектр тормозного рентгеновского излучения имеет точную верхнюю границу, называемую фиолетовой границей. Её существование вытекает из квантовых свойств

электромагнитного излучения и закона сохранения энергии. Действительно,

$$h \frac{c}{\lambda} = eU$$

где  $c$  — скорость света,

$\lambda$  — длина волны рентгеновского излучения,

$e$  — заряд электрона,

$U$  — ускоряющее напряжение между электродами рентгеновской трубки.

Тогда постоянная Планка равна

$$h = \frac{\lambda e U}{c}.$$

Самый точный метод измерения постоянной Планка. Сплошной рентгеновский спектр часто называют тормозным излучением, и это название отражает физическую причину его возникновения. При удалении от бантика (антикатода) анод рентгеновской трубки электроны резко тормозятся, а по законам классической электродинамики любая заряженная частица, испытывающая ускорение (в данном случае — отрицательное), излучает электромагнитные волны. Так как электроны в различных точках антикатада тормозятся по-разному, то образуется целый спектр рентгеновского излучения.

На рисунке представлен ряд кривых распределений интенсивности всплывания рентгеновского спектра, значения при различных значениях ускоряющего потенциала, приложенного к аноду. Характерной особенностью этих кривых является их резкий обрыв со стороны коротких длин волн ( $\lambda_{min}$ ). Экспериментально был установлен закон, согласно которому объемная длина волны на ускоряющий потенциал есть постоянная для всех кривых:

$$\lambda_{1min} V_1 = \lambda_{2min} V_2 = \dots = const.$$

Теоретически этот закон может быть объяснен, исходя из предположения, что электрон, обладающий кинетической энергией  $eV$ , в момент торможения может полностью компенсировать ее на излучение, причем частота такого излучения не может быть больше той, которая зависит от закона сохранения энергии  $eV = h\nu_{max}$ .

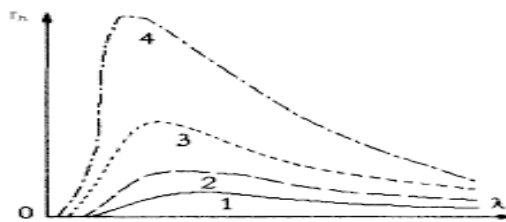


Рис. 1. Распределение энергии излучения в сплошном рентгеновском спектре.

Отсюда следует выше уровня экспериментального соотношения:

$$\lambda_{min} V = \frac{hc}{e} \text{ или } \lambda_{min} = c/v_{max}$$

Если известны  $\lambda_{min}$  и  $V$  рентгеновских спектров, то зная заряд электрона и скорость света, можно из этого уравнения найти  $h$ . Определенная таким об-

разом величина  $h$  была равна  $6,624 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ . Отличительной особенностью измерений  $h$  по рентгеновским спектрам является их высокая точность. Это объясняется тем, что спад интенсивности при  $\lambda_{min}$  очень резок, а значения напряжений на трубке при величине их пульсации 0,1 В устанавливаются с точностью  $10^{-4}\%$ .



Определение постоянного Планка с помощью лабораторной работы. *Цель:* определение постоянной Планка на основе измерения напряжения включения полупроводникового лазера и длины волны излучаемого лазером света.

*Оборудование:* Платформа с лазером и схемой питания, дифракционная решетка, цифровой (стрелочный) вольтметр, линейка, метр демонстрационный (из набора по квантовой физике L – микро)

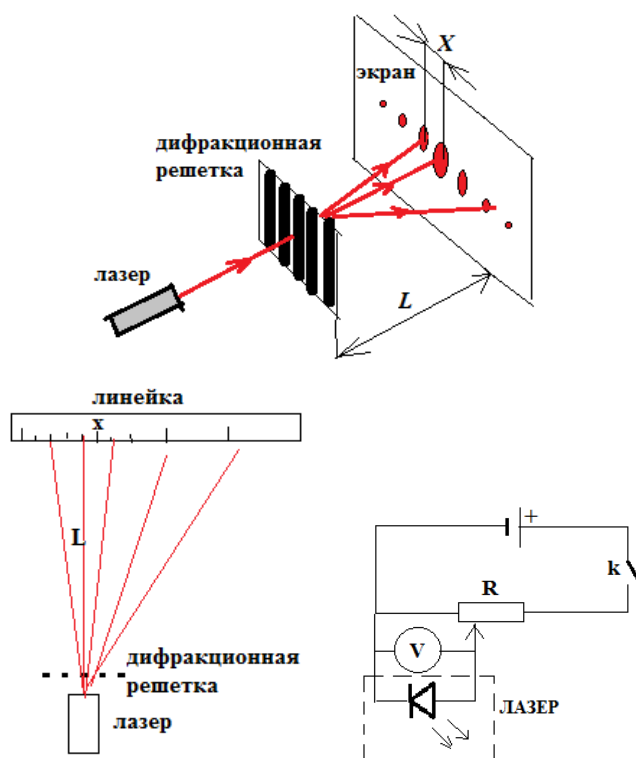
Теоретическая часть

Существуют несколько способов определения константы Планка, например, по измерению задерживающего потенциала в опытах по фотоэффекту. В данной работе предлагается определение постоянной Планка по измерению напряжения, котором начинается стабильная генерация лазерного света на

установке, предложенной лабораторией L-микро. В кристаллических телах вместо разрешенных энергетических уровней, как в изолированных атомах, возникают энергетические зоны (полосы) разрешенных значений энергии, которые отделены друг от друга запрещенными значениями энергии (зонами). В большей степени это характерно для внешних, валентных электронов. Электроны в кристаллах могут переходить из одной разрешенной зоны в другую. В примесных полупроводниках такой переход возможен под воздействием электрического поля. При переходе электрона из валентной зоны в зону проводимости приводит к появлению дырки в ранее заполненной зоне. Недостаток в данном месте одного электрона эквивалентно наличию равного по величине избыточного положительного заряда.

Однако, возможен и обратный переход электрона из зоны электрической проводимости в валентную зону. Такой переход может сопровождаться излучением фотона. Излучение света при переходе электрона из состояния с более высокой энергией в состояние с меньшей энергией лежит в основе работы полупроводниковых лазеров. Для того, чтобы электрон мог перейти в более высокое энергетическое состояние, необходимо электрическому полю совершить над ним работу  $eU$ . Эта работа приблизительно равна ширине запрещенной зоны. Энергия фотона, излучаемого при обратном переходе электрона, также равна энергии запрещен-

ной зоны. Имеем  $eU = h\nu$ , где  $h$  – константа Планка,  $e$  – заряд электрона,  $\nu$  – частота излучения света,  $U$  – приложенное напряжение (например, к  $p-n$  переходу). Таким образом, необходимо определить частоту или длину волны излучаемого света. для этого воспользуемся явлением дифракции для определения длины волны излучения  $\lambda$  из соотношения:  $d \sin \varphi_k = k\lambda$ . Здесь  $k$  – порядок дифракции,  $\varphi_k$  – угол дифракции,  $d = 150 \frac{1}{\text{мм}}$  – период дифракционной решетки. Так как  $\sin \varphi_k \approx \tan \varphi_k \approx \frac{x}{L}$ , для малых углов дифракции, то  $\lambda = \frac{d \cdot x}{L}$ .



#### Экспериментальная часть

Электрическая схема представлена на рисунке. В качестве источника тока желательно использовать пальчиковые элементы (батарейки). Потенциометром  $R$  можно менять напряжение питания лазера, а само напряжение измерять либо электронным вольтметром (погрешность 0,1 В), либо стрелочным (погрешность равна цене деления). Соберите оптическую схему установки. Схему можно собирать как на плоскости, так и на магнитной доске с верти-

кальной геометрией с помощью магнитных держателей. Все элементы комплекта, входящие в набор определения константы Планка, снабжены магнитами, с помощью которых они крепятся на магнитной доске. Луч лазера необходимо направить на линейку. Оптическая схема приведена на рисунке. С помощью линейки определяют положение первого максимума относительно нулевого ( $x$ ). Измеряют расстояние от дифракционной решетки до линейки ( $L$ ). Длину волны определяем по формуле

$\lambda = \frac{d \cdot x}{L}$ . Затем убираем дифракционную решетку и наблюдаем за пятном от луча лазера на линейке. При плавном уменьшении напряжения с помощью потенциометра добиваемся, чтобы пятно было едва заметно. Показания вольтметра  $U_0$  при этом будет равно пороговому напряжению включения генерации луча лазером. Из соотношения  $\frac{hc}{\lambda} = eU_0$  находим константу Планка.

Определим погрешность определения константы Планка. Так как  $h = \frac{eU_0 x d}{cL}$ . Прологарифмируем это выражение.

$$\ln h = \ln e + \ln U_0 + \ln x + \ln d - \ln c - \ln L.$$

Продифференцируем полученное выражение (считая постоянными  $e, d, c$ ):

$\delta h = \frac{\Delta U_0}{U_0} + \frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta L}{L}$ . Абсолютные погрешности измеряемых величин можно принять равными (у вас могут быть другими):  $\Delta x = \pm 1 \text{ мм}, \Delta L = \pm 5 \text{ мм}, \Delta U_0 \pm 0,1 \text{ В}$ . Абсолютная погрешность константы планка определится по формуле  $\Delta h = \pm \delta h \cdot h$ . Округляем до первой значащей цифры и записываем ответ  $h = (h \pm \Delta h)$  при  $\delta h = \%$ .

Данные можно занести в таблицу. Отметим, что если увеличить  $L$ , то точность повысится (увеличится  $x$ ).

Таблица 1.

$U_0, \text{В}$	$x, \text{м}$	$L, \text{м}$	$d, \frac{1}{\text{м}}$	$\lambda, \text{м}$	$h, \text{Дж} \cdot \text{с}$

#### Библиографический список

1. Аустов И.В. Концепции современного естествознания. – М., 2005, 208 с.
2. Карпенков С. Х. Концепции современного естествознания: Учебник для вузов. – Издательство Академический Проект, 2000.
3. Туякбаев С.Т. Физика: Учеб. для 11 кл. естеств.-мат. направления общеобразоват. шк. – Алматы: Мектеп, 2011, 408с.

#### METHODOLOGY MEASURING A CONSTANT PLAN

**Kh.K. Abdrakhmanova**, candidate of physico-mathematical sciences

**P.A. Saidakhmetov**, candidate of physico-mathematical sciences

**B.S. Ualikhanova**, PhD

**A.A. Satypaldy**, graduate student

**South Kazakhstan state university named after M. Auezov**

(Kazakhstan, Shymkent)

**Abstract.** In this paper, a brief description of the fundamental interactions is given, it is pointed out that interaction between physical objects is carried out by means of the exchange of interaction vectors. The authors of the article show that each fundamental interaction determines a certain phenomenon. The emergence of quantum concepts in physics is associated with a theoretical analysis of the laws of thermal radiation. Historically, these representations primarily concerned the properties of matter, and not the radiation field.

**Keywords:** physics training, photoelectric effect, Planck constant, X-ray radiation.