

ИЗМЕРЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ ПЛАНКА СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Пукало Д.А., студент

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Иванов М.А. – канд. физ.-мат. наук, доцент

Описан и реализован спектроскопический метод определения постоянной Планка с использованием спектра поглощения дихромата калия (хромпика). Была экспериментально измерена красная граница полосы поглощения и на основе полученных ее значений произведен расчет постоянной Планка.

Квантовая природа света, постулированная Планком при изучении теплового излучения, особенно ярко проявляется в эффекте Комптона, внешнем фотоэффекте, фотохимических реакциях. Постоянная Планка h является фундаментальной физической константой, которая играет ключевую роль в квантовой механике. Экспериментальное определение этой величины имеет важное значение не только для подтверждения квантовой теории, но и для понимания механизмов взаимодействия света с веществом [1,2]. Целью данной работы является экспериментальное определение значения постоянной Планка спектроскопическим методом [3]. В качестве объекта исследования выступает водный раствор дихромата калия ($K_2Cr_2O_7$).

Согласно квантовой теории атомы, ионы и молекулы не только испускают энергию квантами, но также квантами и поглощают. Энергия кванта излучения и поглощения при определенной частоте ν для определенного вещества одинакова. Под действием света происходит химическое разложение молекул, вызвать которое может только квант света с энергией $h\nu \geq h\nu_{гр}$, достаточной (или большей) для разложения. Рассмотрим водный раствор двуххромового калия. В воде его молекулы диссоциируют на ионы следующим образом:



В процессе реакции в растворе появляются ионы $Cr_2O_7^{2-}$. Если осветить этот раствор белым светом, то под действием поглощенных хромпиком квантов света произойдет распад ионов $Cr_2O_7^{2-}$. При этом каждый ион «захватит» («поглотит») один квант облучающего излучения с энергией $h\nu$. В результате спектр будет иметь полосу поглощения, начало которой соответствует частоте $\nu_{гр}$. Реакцию распада записывают следующим образом:



Энергия этой реакции для одного киломоля хромпика известна из опытов: $E = 2,228 \cdot 10^5$ Дж/моль. Согласно закону Авогадро, каждый моль вещества содержит одинаковое число атомов, равное числу Авогадро, поэтому для распада одного иона требуется энергия

$$E_1 = \frac{E}{N_A}, \quad (3)$$

где $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹ — число Авогадро.

Следовательно, энергия поглощенного светового кванта должна быть больше или равна энергии, необходимой для расщепления одного иона, то есть $h\nu \geq E_1$. С помощью равенства определяют наименьшую частоту кванта, расщепляющего ион:

$$h\nu_{гр} = \frac{E}{N_A}, \quad (4)$$

где $\nu_{гр}$ – красная граница фотохимической реакции.

Используя связь между частотой ν и длиной волны λ , выражение (4) записывают следующим образом:

$$h \frac{c}{\lambda_{гр}} = \frac{E}{N_A}, \quad (5)$$

где c – скорость света в вакууме ($c = 3 \cdot 10^8$ м/с).

Таким образом, измерив $\lambda_{гр}$, соответствующую границе поглощения, и зная энергию, необходимую для активации одного моля вещества (E), можно рассчитать постоянную Планка по формуле:

$$h = \frac{E \cdot \lambda_{гр}}{c \cdot N_A} . \quad (6)$$

Эксперимент был выполнен с использованием стандартного спектрального оборудования. Была изготовлена кювета, заполненная водным раствором хромпика (бихромата калия). Экспериментальная установка состоит из источника света с непрерывным спектром и монохроматора МУМ, перед входной щелью которого установлена кювета с хромпиком. Внешний вид установки представлен на Рис. 1.

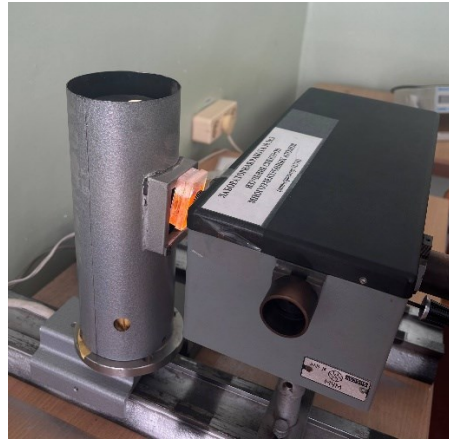


Рисунок 1.– Внешний вид экспериментальной установки

Вращая рукоятку привода дифракционной решетки монохроматора, наблюдают спектр в окуляр. При определенной длине волны спектр резко обрывается, так как все длины волн меньше $\lambda_{гр}$ поглощаются раствором хромпика. Плавное вращение барабана в сторону длинных волн (от синей области к красной), фиксируем границу между темным фоном и появлением света в выходном окне монохроматора. Это положение соответствует искомой красной границе $\lambda_{гр}$. Сняв отсчет по счетчику монохрома, получаем значение $\lambda_{гр}$ в нанометрах. По результатам измерений получено:

$$\lambda_{гр} = \langle \lambda_{гр} \rangle \pm \sigma_\lambda = (535 \pm 2.1) \text{ нм}. \quad (7)$$

При $h = c \lambda_{гр}$ имеем $\sigma_h = c \sigma_\lambda$, то дает для постоянной Планка получим:

$$h_{изм} = \langle h \rangle \pm \sigma_h = (6,6001 \pm 0,0259) \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}. \quad (8)$$

Таким образом, относительная погрешность измерений:

$$\delta\sigma = \left| \frac{\sigma_h}{\langle h \rangle} \right| \cdot 100\% = 0,39\%.$$

Полученное экспериментальное значение постоянной Планка $h_{изм}$ согласуется с табличным значением $h_{табл} = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ в пределах рассчитанной погрешности. Это подтверждает корректность использованной методики и демонстрирует связь между макроскопическими свойствами вещества (окраска, спектр поглощения) и фундаментальными квантовыми константами.

Для повышения точности в дальнейшем можно использовать фотоприемник для измерения спектра света, прошедшего через кювету.

Список использованных источников:

1. Сивухин Д.В. *Общий курс физики. Т. 5. Атомная и ядерная физика.* — М.: Физматлит, 2006.
2. Ландсберг Г.С. *Оптика.* — М.: Наука, 1976.
3. *Методические указания к лабораторной работе «Определение постоянной Планка».*
https://portal.tpu.ru/departments/kafedra/of/methodic/methodic1/lab3/Tab1/3_16_hydrogen_spectrum.doc