

Фотоэффект и измерение постоянной Планка

Краснощёкова Дарья

Козлов Александр

8 сентября 2021 г.

1 Теория

В настоящей работе будет исследоваться *внешний фотоэффект*, который заключается в том, что тело эммитирует (испускает) во внешнее по отношению к нему пространство электроны под действием падающего света. При этом используется вакуумный фотоэлемент, имеющий два электрода: катод, испускающий электроны, и анод, их принимающий. Если на последний подать положительное напряжение (разность потенциалов между двумя электродами), то во внешней цепи будет течь ток, называемый *фототоком*.

Основные законы фотоэффекта, заключаются в следующем:

1. Величина фототока в режиме насыщения при фиксированном спектральном составе излучения прямо пропорциональна интенсивности падающего света (*закон Столетова*).
2. Для каждого вещества существует длинноволновая граница фотоэффекта λ_0 , за которой (при $\lambda > \lambda_0$) фотоэмиссия не наблюдается.
3. Максимальная кинетическая энергия электронов W_{max} при фотоэффекте не зависит от интенсивности падающего света и прямопропорциональна частоте падающего света.

Данные законы легко объясняются на основе квантовой теории света и электронной теории света. Свет обладает корпускулярно-волновой дуальностью и может быть излучён либо поглощён отдельными квантами (*фотонами*). Энергия одного фотона $E = h\nu$, где h — постоянная Планка, равная

$$h = 6.6260755(40) \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}.$$

Закон Столетова объясняется следующим образом. Пускай на тело падает N фотонов в единицу времени. С вероятностью P каждый из них может "выбить" электрон. Так как каждый фотон действует на тело независимо, то всего электронов в единицу времени будет выбиваться $n = N \cdot P$. Интенсивность падающего света вычисляется по известному из электродинамики соотношению $I = \omega \cdot v$, где ω — плотность энергии электромагнитного излучения. Она пропорциональна $\omega \propto N \cdot E$, где через E обозначена энергия одного фотона. Таким образом, становится ясно, что фототок во внешней цепи

$$I_{\text{внеш}} = en \propto N \propto \omega \propto I. \quad (1)$$

Существование красной границы фотоэффекта объясняется тем, что электроны находятся в металле в потенциальной яме, заполняя её до некоторого уровня. Чтобы вывести электрон из потенциальной ямы, а, следовательно, и из металла, нужно передать ему некоторую энергию. Наименьшая из таких энергий называется *работой выхода* $A_{\text{вых}} = e\phi$. Наибольшая энергия, которая может быть получена от фотона электроном, равна $h\nu$. Очевидно, что в случае $h\nu < A_{\text{вых}}$ фотоэффект не наблюдается.

Из предыдущих соображений можно восстановить *уравнение Эйнштейна*

$$W_{\text{max}} = h\nu - A_{\text{вых}}. \quad (2)$$

Данное уравнение служит объяснением третьего закона фотоэффекта.

Для определения максимальной кинетической энергии электрона нужно подать на анод отрицательное напряжение V . Оно будет тормозить направляющиеся к аноду электроны. Все электроны, эммитированные с катода и обладающие энергией $W < eV$, не смогут добраться до анода. Уменьшая V до напряжения, называемого *запирающим*, можно добиться того, что ни один из электронов уже не будет обладать достаточно энергией для преодоления потенциального барьера между катодом и анодом. При этом

$$W_{\text{max}} = eV_3. \quad (3)$$

Подставляем данное выражение в уравнение Эйнштейна (2) и получаем следующее линейное соотношение между запирающим напряжением и частотой падающего света:

$$V_3 = \frac{h}{e}\nu - \varphi. \quad (4)$$