

ВНЕШНИЙ ФОТОЭФФЕКТ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ ПЛАНКА

Цель работы: изучение законов внешнего фотоэффекта. Анализ процессов взаимодействия потока света с фотокатодом. Определение постоянной Планка.

I. Внешний фотоэффект – это испускание электронов веществом под действием электромагнитного излучения. Фотоэффект – квантовое явление. Классическая волновая теория света не может объяснить всех закономерностей фотоэффекта. Опытным путем были установлены следующие основные законы фотоэффекта (законы А.Г. Столетова).

1. Максимальная начальная скорость фотоэлектронов определяется частотой света и не зависит от его интенсивности.
2. Число фотоэлектронов n , вырываемых из фотокатода за единицу времени, пропорциональна интенсивности света.
3. Для каждого вещества существует минимальная частота света ν_0 , при которой ещё возможен фотоэффект. Величина ν_0 зависит от химической природы вещества и состояния поверхностного слоя.

Теоретическое объяснение законов фотоэффекта на основе квантовой оптики было дано А. Эйнштейном в 1905 году. Энергетический баланс взаимодействия фотонов с веществом записывается следующим соотношением:

$$h\nu = A + E_{\max},$$

где $h\nu$ - энергия поглощенного фотона, A - работа выхода электрона, E_{\max} - максимальная кинетическая энергия вылетевшего фотоэлектрона

Следует обратить внимание на то, что даже при монохроматическом освещении энергия электронов, вылетающих из материала, оказывается не одинаковой. Это связано с тем, что акт взаимодействия, результатом которого является испускание электронов, происходит не только на поверхности, но и внутри материала, и, следовательно, часть энергии электроном может быть потеряна. Распределение по энергиям фотоэлектронов, вышедших из материала фотокатода, приведено на рис. 1.

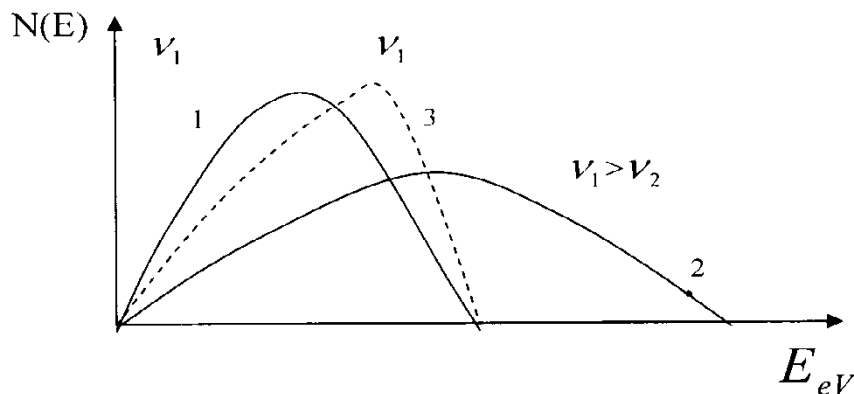


Рис. 1. Распределение фотоэлектронов по энергиям

Кривые 1 и 2 для случая «толстого» слоя материала («объёмный фотоэффект»), кривая 3 – для случая «тонкого» слоя материала («поверхностный фотоэффект»).

II. Принципиальная схема опыта приведена на рис. 2, а, б.

Поток света от источника S падает на катод K фотоэлемента Φ . В качестве источника света служат светодиоды с повышенной яркостью. Длины волн излучения $\lambda_1=624$ нм, $\lambda_2=522$ нм, $\lambda_3=469$ нм. Светодиоды включаются поочередно. Стабильность работы фотоэлемента, включая его спектральные характеристики, определяется как типом фотокатода, так и многими его конструктивными особенностями (материалом подложки, вакуумом, темновыми токами, временем работы и т.д.).

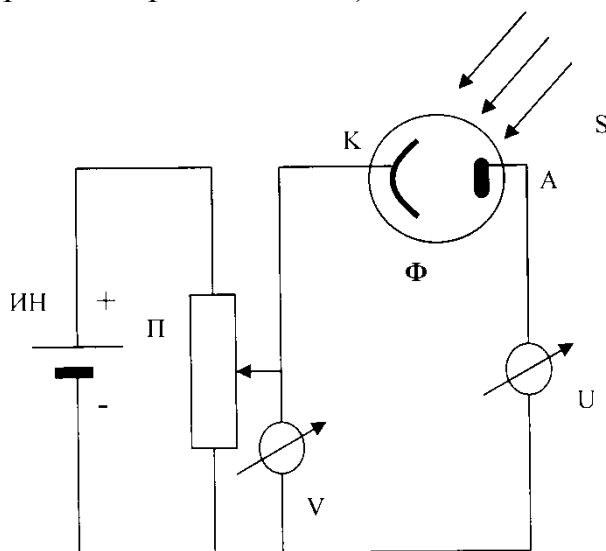


Рис. 2а. Принципиальная схема установки: Φ – вакуумный фотоэлемент, K – катод фотоэлемента; A – анод фотоэлемента; S – источник света; P – потенциометр; $ИН$ – источник напряжения; V и U – вольтметры

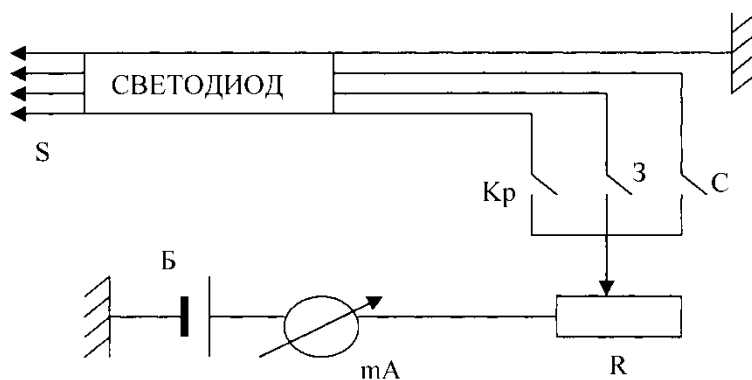


Рис. 2б. Принципиальная схема установки: S – светодиод; R – реостат; mA – миллиамперметр; B – источник питания светодиода (батарея)

Величина фотопотока в фотоэлементе зависит от интенсивности света, падающего на катод, и от приложенного напряжения между анодом и катодом. При $V = 0$ фотопоток отличен от 0, т.к. электроны покидают катод с некоторой

скоростью. Чтобы не было фотопотока («задержать» электроны), надо приложить между анодом и катодом задерживающее отрицательное напряжение («задерживающий потенциал»)¹. Напряжение на фотоанодерегулируется потенциометром П, а его значение определяется по показателям вольтметра V.

Наличие фототока в цепи фотоэлемента и его величина регистрируется вольтметром $U(I_{\text{ф. (отн. ед.)}} \sim V)$.

Электрическая схема установки смонтирована в специальном блоке (рис. 2б).

III. Измерения. Опыт 1. Проверка законов Столетова

Выполнение измерений проводится в следующем порядке. После проверки правильности собранной схемы и подключения электрического блока установки к сети нажать кнопку «Кр». В этом случае будет включен «Красный источник света» с $\lambda_1 = 624$ нм. По миллиамперметру «mA» реостатом R установить ток через светодиод 20 мА. Изменяя потенциометром П напряжение V на катоде фотоэлемента, снять зависимость $I_{\text{ф. (отн. ед.)}} = f(V)$. Результаты измерений занести в таблицу.

Таблица

Зависимость фототока от напряжения катода для разных длин волн

λ , нм	$I_{\text{светодиода}}$, мА							V_3 , В
		V, В						
624	20	$I_{\text{ф. (отн. ед.)}}$						
522	5	V, В						
		$I_{\text{ф. (отн. ед.)}}$						
469	5	V, В						
		$I_{\text{ф. (отн. ед.)}}$						

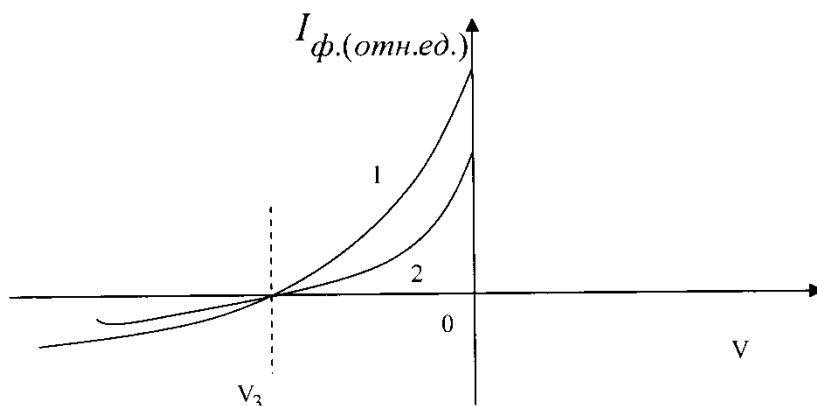


Рис. 3. Зависимость фототока от напряжения. $\lambda = 624$ нм. Кривая 1 получена при $i_{\text{светодиода}} = 30$ мА, кривая 2 получена при $i_{\text{светодиода}} = 20$ мА

¹ Отрицательное напряжение между анодом и катодом

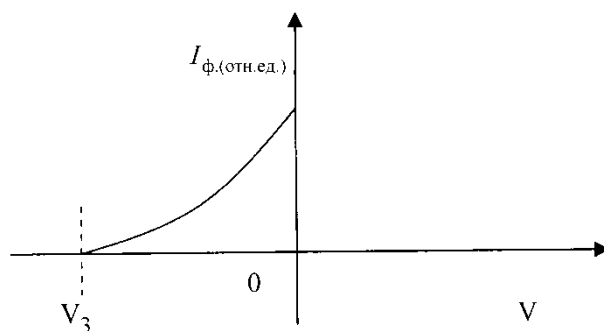


Рис. 3. Зависимость фототока от напряжения. $\lambda = 522 \text{ нм}$.

То же проделать и при токе через светодиод 20 мА. Аналогичные измерения (поочередно) проделать и для зеленого света (кнопка «З») и синего света (кнопка «С»). Значения тока в этих случаях установить равным $\approx 3 \text{ мА}$. При значениях $V = V_3$ величины фототока $I_{\phi, (отн. ед.)} \approx 0$ (показания вольтметра $U \approx 0$). Наличие отрицательного фототока связано с темновыми токами.

По результатам измерений построить соответствующие графики (рис. 3, 4, 5).

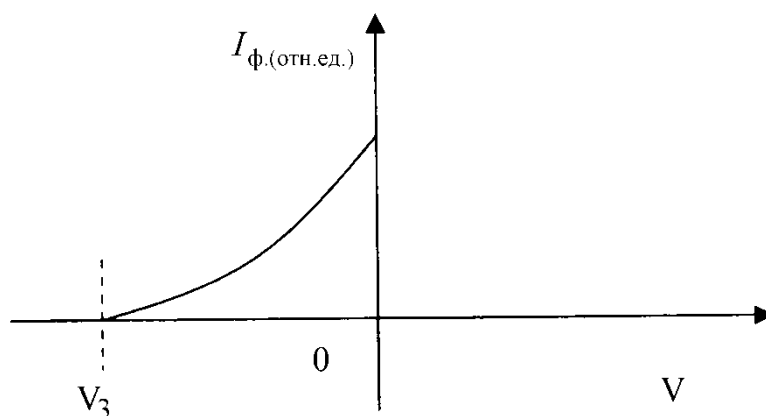


Рис. 5. Зависимость фототока от напряжения. $\lambda = 469 \text{ нм}$.

Опыт 2. Определение (оценка) постоянной Планка

Максимальная кинетическая энергия E_{\max} фотоэлектронов связана с задерживающим потенциалом V_3 следующим соотношением:

$$E_{\max, e} = eV.$$

Используя результаты измерений,, полученные в опыте 1, построить график зависимости $E_{\max} = f(V)$ (рис. 6). При проведении экспериментальных измерений использовать метод наименьших квадратов.

Постоянную Планка определить из соотношения

$$h = \frac{dE_{\max}}{d\nu}.$$

Работу выхода электрона из материала фотокатода определить по частоте ν_0 (красная граница фотоэффекта)².

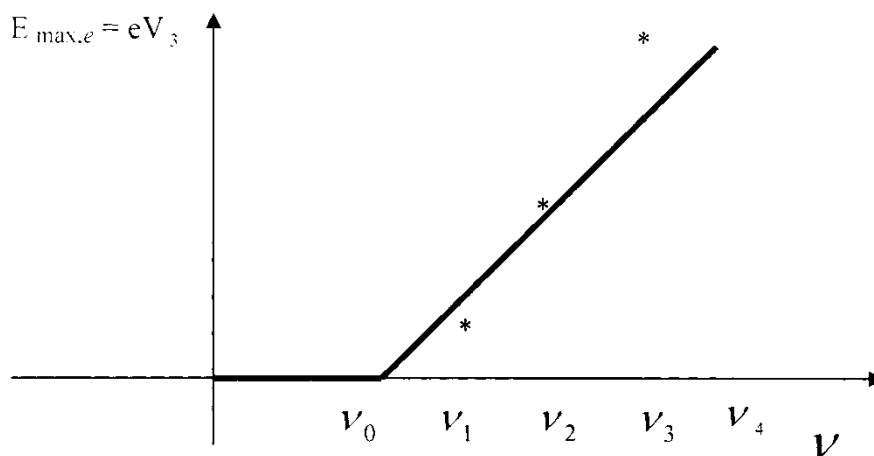


Рис. 6. Зависимость максимальной энергии фотоэлектрона от частоты фотонов.

$$A = h\nu_0, \quad \lambda = \frac{c}{\nu_0}.$$

Контрольные вопросы

1. Корпускулярные свойства света.
2. Внешний фотоэффект. Основные закономерности.
3. Фотоэффект и законы сохранения энергии и импульса.
4. Объяснить работу экспериментальной установки.
5. Провести анализ погрешностей при измерении постоянной Планка.

Список рекомендуемой литературы

1. Савельев И.В. Курс общей физики. М.:Астрель, 2008., т.3, гл.2.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Атомная и ядерная физика. ч.1, М.:Физматлит, 2013, гл.1.

² Для уточнения значения постоянной Планка предлагается самостоятельно провести анализ полученных результатов с учетом темнового тока и распределения по энергиям фотоэлектронов. (Эта часть не обязательна.)

