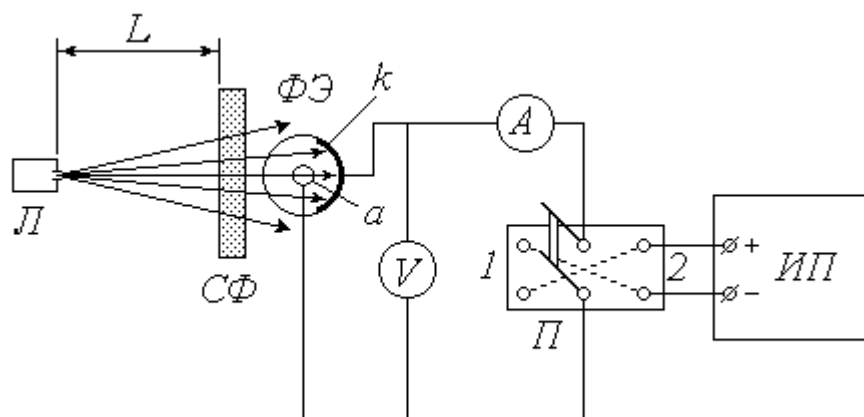




Работа 5.4 Ф О Т О Э Ф Ф Е К Т

Цель работы: 1) снятие вольт-амперной характеристики (ВАХ) вакуумного фотоэлемента;
2) определение работы выхода электронов и красной границы фотоэффекта.



Описание установки и методики измерений

Для исследования явления внешнего фотоэффекта в данной установке используется вакуумный фотоэлемент $\Phi Э$. Фотоэлемент представляет собой откачанный стеклянный баллон, одна половина которого покрыта тонким слоем светочувствительного вещества k , служащего катодом. В центре баллона располагается анод a , выполненный в виде кольца или шарика. Корпус фотоэлемента снабжен специальным карманом, в который помещается светофильтр $СФ$. Расходящийся пучок света от источника (лампы $Л$, помещенной в специальный кожух с отверстием и закрепленной на штативе) проходит через светофильтр, благодаря которому на катод падает практически монохроматическое излучение длиной волны λ . Значение λ определяется цветом выбранного светофильтра. Величину светового потока Φ , падающего на катод, можно регулировать, изменяя расстояние L между источником света и фотоэлементом.

Схема экспериментальной установки

$\Phi Э$ – вакуумный фотоэлемент: k – катод; a – анод;
 $Л$ – источник света; $СФ$ – светофильтр; $ИП$ – источник питания;
 $П$ – переключатель; A – микроамперметр; V – вольтметр

Источник питания *ИП* предназначен для подачи постоянного напряжения U между катодом и анодом; величина U может быть измерена вольтметром V . При замыкании переключателя Π в положение I на катод подается отрицательный потенциал, а на анод – положительный. В этом случае выбитые светом электроны (*фотоэлектроны*) устремляются к аноду, и по цепи течет ток (*фототок*) I , для измерения которого служит микроамперметр A . Зависимость фототока I от напряжения U называется *вольт-амперной характеристикой (ВАХ)* фотоэлемента. Проанализируем вид этой зависимости исходя из теории явления фотоэффекта.

Согласно современным квантовым представлениям, монохроматическую электромагнитную (световую) волну можно рассматривать как поток особых частиц – *фотонов*, энергия каждого из которых ε_ϕ зависит от частоты ν (или от длины волны λ) излучения:

$$\varepsilon_\phi = h\nu = \frac{hc}{\lambda}, \quad (1)$$

где h – постоянная Планка; c – скорость света в вакууме.

Внутри металла, из которого изготовлен катод k фотоэлемента, имеется большое количество свободных электронов. При падении света на катод определенная часть фотонов взаимодействует с этими электронами, отдавая им свою энергию. Получив дополнительную энергию ε_ϕ , электрон может совершить *работу выхода* A_ϕ и покинуть катод. Величина работы выхода постоянна для данного металла, поэтому фотоэффект (выбивание электрона) возможен только при выполнении условия $\varepsilon_\phi > A_\phi$. С учетом (1) это условие принимает вид

$$\frac{hc}{\lambda} \geq A_\phi$$

и позволяет найти максимальную длину волны $\lambda_{кр}$, при которой еще возможен фотоэффект:

$$\boxed{\lambda_{кр} = \frac{hc}{A_\phi}} \quad (2)$$

(значение $\lambda_{кр}$ называют *красной границей* фотоэффекта).

Итак, при выполнении сформулированного выше условия электрон может покинуть металл. Разница между энергией фотона и энергией, затраченной на выход, сохраняется в виде кинетической энергии W_k . Максимальной кинетической энергией обладают те электроны, взаимодействие которых с фотонами произошло непосредственно у поверхности металла. Превращение энергии при фотоэффекте описывается известным *уравнением Эйнштейна*

$$\varepsilon_\phi = A_\phi + (W_k)_{\max}. \quad (3)$$

Множество покинувших катод электронов движутся во всевозможных направлениях, и некоторые из них попадают на анод. Поэтому даже при отсутствии напряжения между катодом и анодом ($U = 0$) в цепи течет малый по величине фототок I_0 (на рис. 42 показан примерный вид вольт-амперной характеристики – ВАХ фотоэлемента).

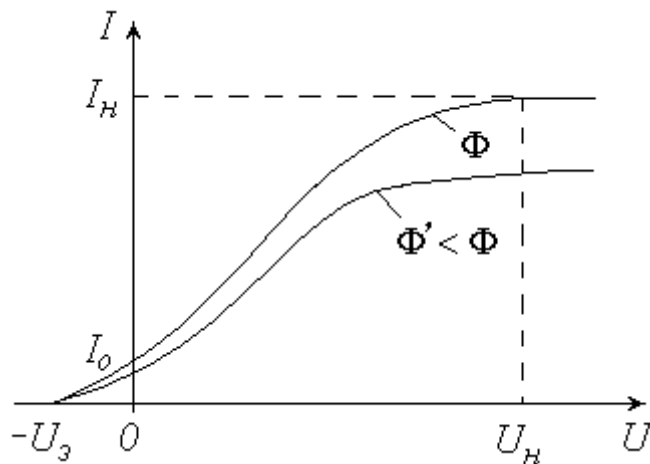


Рис. 42

Уменьшить фототок I_0 можно путем подачи обратного напряжения («-» на анод, «+» на катод), что осуществляется замыканием переключателя Π в положение 2 (см. схему установки). Фототок будет полностью прекращен, если приложенное таким образом электрическое поле будет тормозить («загонять» обратно в катод) самые быстрые электроны. Соответствующее значение *задерживающего (запирающего) напряжения* U_3 можно найти из условия, что работа сил электрического поля при этом полностью затрачивается на «погашение» максимальной кинетической энергии электронов:

$$eU_3 = (W_k)_{\max}, \quad (4)$$

где e – элементарный электрический заряд.

С учетом (4) и (1) уравнение (3) принимает вид

$$\frac{hc}{\lambda} = A_0 + eU_3,$$

откуда можно найти работу выхода электронов из металла A_0 по известным значениям длины волны излучения λ и задерживающего напряжения U_3 :

$$\boxed{A_0 = \frac{hc}{\lambda} - eU_3}. \quad (5)$$

Длина волны излучения λ , как уже отмечалось, определяется цветом используемого светофильтра $СФ$. Для измерения задерживающего напряжения U_3 необходимо замкнуть переключатель Π в положение 2 и увеличивать подаваемое обратное напряжение до тех пор, пока показания

микроамперметра A не обратятся в нуль; соответствующее показание вольтметра V и будет представлять собой величину U_3 .

Продолжим анализ характера зависимости $I(U)$. Подача напряжения в прямом направлении («+» на анод, «-» на катод) путем установки переключателя Π в положение I заставляет фотоэлектроны двигаться к аноду. Увеличение напряжения вовлекает в этот процесс все больше выбитых электронов, вследствие чего ток I возрастает (см. рис. 42). При некотором значении $U = U_n$ все фотоэлектроны попадают на анод, и дальнейшее повышение напряжения не приводит к увеличению фототока (наступает насыщение $ВАХ$). Величина фототока насыщения I_n прямо пропорциональна общему числу выбитых электронов, а следовательно, количеству падающих на катод фотонов. Количество фотонов, в свою очередь, определяется величиной светового потока Φ . Таким образом, квантовая теория объясняет один из экспериментально открытых *А.Г.Столетовым* законов фотоэффекта: фототок насыщения прямо пропорционален освещенности катода. Для проверки справедливости этого закона в данной работе предусмотрено снятие $ВАХ$ при двух значениях светового потока Φ и $\Phi' < \Phi$ (уменьшение освещенности катода осуществляется путем увеличения расстояния L между источником света и фотоэлементом).

Порядок измерений и обработки результатов

Упражнение 1. СНЯТИЕ ВАХ ФОТОЭЛЕМЕНТА

1. Ознакомьтесь с экспериментальной установкой; научитесь пользоваться источником питания и измерительными приборами.

2. Перемещая вдоль оптической скамьи расположенные на ней источник света L и фотоэлемент $\PhiЭ$, установите их на заданном (согласно рекомендациям к работе) расстоянии L друг от друга. Значение L запишите в левую часть табл. 1.

Таблица 1

$L =$ см		$L =$ см	
$U, В$	$I, мкА$	$U, В$	$I, мкА$
0		0	
...

3. Замкните переключатель Π в положение I . Источник питания $ИП$ установите на нуль снимаемого напряжения.

4. Поместите в карман на корпусе фотоэлемента светофильтр $СФ$ в соответствии с рекомендациями.

5. Включите в сеть источник питания $ИП$, цифровой вольтметр V и осветитель L .

6. Увеличивая согласно рекомендациям подаваемое на фотоэлемент напряжение, заносите показания вольтметра (U) и микроамперметра (I) в таблицу до тех пор, пока не будет достигнуто насыщение (при дальнейшем повышении напряжения фототок практически не будет изменяться).

7. Измените в соответствии с рекомендациями расстояние L и запишите его значение в правую часть табл. 1. Установите источник питания на нуль.

8. Повторите п. 6.

9. По результатам проделанных измерений постройте на одном графике обе вольт-амперные характеристики. Сделайте соответствующие выводы.

Упражнение 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОТЫ ВЫХОДА ЭЛЕКТРОНОВ

1. Установите источник питания на нуль снимаемого напряжения. Замокните переключатель в положение 2. Поставьте первый из перечисленных в табл. 2 светофильтров.

2. Увеличивайте подаваемое на фотоэлемент напряжение до тех пор, пока показания микроамперметра не обратятся в нуль. Занесите в таблицу значение задерживающего напряжения U_z . Уменьшите показания вольтметра до нуля.

Таблица 2

Номер опыта	Светофильтр	λ , мкм	U_z , В	A_g , эВ	ΔA_g , эВ	$(\Delta A_g)^2$, эВ ²
1	Синий 1	0,43				
2	Синий 2	0,46				
3	Зеленый	0,50				
4	Желтый	0,51				
5	Оранжевый	0,52				
6	Красный	0,57				

3. Меняя светофильтры в порядке их перечисления в таблице, повторяйте п. 2.

4. Используя справочные материалы и выражая длину волны λ в метрах, по формуле (5) рассчитайте для каждого опыта работу выхода электрона A_g . Переведите полученное значение из джоулей в электрон-вольты и занесите его в соответствующий столбец табл. 2.

5. Вычислите сумму значений A_g и среднее \bar{A}_g . Выполните все расчеты, необходимые для оценки случайной погрешности измерений работы выхода $\Delta_s A_g$. Найдите величину $\Delta_s A_g$, задаваясь доверительной вероятностью $\alpha = 0,95$.

6. Пренебрегая приборными ошибками, запишите окончательный результат определения работы выхода.

7. Используя среднее значение \bar{A}_g , по формуле (2) найдите длину волны красной границы фотоэффекта $\lambda_{кр}$.

Контрольные вопросы

1. Внешний фотоэффект и его основные закономерности. Условие наблюдения фотоэффекта (красная граница).
2. Квантовая теория фотоэффекта. Фотоны. Уравнение Эйнштейна и его физический смысл. Работа выхода.
3. Вольт-амперные характеристики фотоэлемента и их объяснение с позиций квантовой теории.