

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

Цель работы: исследовать зависимость фототока от величины приложенного к фотоэлементу напряжения; исследовать зависимость фототока от освещенности фотокатода.

Приборы и принадлежности: вертикальный штатив, источник света, фотоэлемент, микроамперметр, измерительная линейка, реостат, вольтметр, выпрямитель.

Введение

Фотоэлектрическим эффектом называется совокупность явлений наблюдаемых при взаимодействии света с веществом и заключающихся в изменении электропроводности этого вещества, либо в выходе электронов за его пределы. Различают внешний и внутренний фотоэффекты. При внутреннем фотоэффекте изменяется электропроводность облучаемого вещества. При внешнем фотоэффекте электроны выходят за пределы облучаемого вещества. В настоящей работе изучается внешний фотоэффект.

Фотоэффект был обнаружен в 1887 году Генрихом Герцем и детально изучен А.Г Столетовым.

Если составить цепь из батареи, амперметра и двух металлических дисков - сплошного в качестве катода и сетки в качестве анода (рис. 1), и сквозь сетку поверхность металла осветить, в цепи потечет электрический ток, называемый фототоком. При поглощении света из поверхности катода вырываются электроны: они и переносят заряды между электродами, замыкая цепь. Если опыт ставится в воздухе, фотоэлектроны могут ионизировать молекулы газа, и ионы примут участие в образовании тока.

Зависимость фототока от напряжения на электродах показана на рис. 2. Из графика видно, что при некотором $U > 0$ сила фототока достигает максимального значения. Этот ток называется током насыщения $I_{\text{н}}$. При этом все электроны, покинувшие катод достигают анода. Фототок может наблюдаться и при $V = 0$. Электроны в момент выхода из металла уже

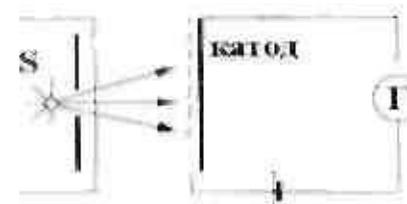


Рис. 1б Схема наблюдения фототока

имеют скорость, за счет которой и могут достигать анода без ускоряющей внешней поля. Если это объяснение справедливо, то прекратить фототок можно, лишь наложив на сетчатый электрод отрицательный потенциал (рис. 2). Теперь электрическое поле между электродами будет замедлять электроны и ток прекратится, если работа перемещения электрона от катода до сетки равна кинетической энергии, с которой электрон выходит из катода, т. е.

$$\frac{mV_0^2}{2} = eV_z \quad (30)$$

Здесь V_z - разность потенциалов между электродами в момент прекращения фототока (задерживающий потенциал), e - заряд электрона, m масса электрона, V_0 - максимальная скорость, с которой электроны выходят из металла.

Закономерности фотоэффекта установлены экспериментально А.Г. Столетовым.

1. Фототок насыщения пропорционален падающему на катод световому потоку Φ .
2. Существует минимальная частота {или максимальная длина волны света γ_0 }, ниже которой фототока нет при любом значении светового потока. Эта частота или длина волны γ_0 называется "красной границей" фотоэффекта. Если длина волны света γ короче γ_0 , то уже слабые световые потоки вызывают появление фототока. Но вели $\gamma > \gamma_0$, то даже самые мощные световые потоки фотоэффекта не вызывают.

Для большинства чистых металлических поверхностей красная граница фотоэффекта лежит в области ультрафиолетовых лучей; например, для серебра $\gamma_0 = 0,261$ мкм, у щелочных металлов - в видимой области спектра, например, для натрия $\gamma_0 = 0,540$ мкм. Граничная частота

некоторых полупроводников лежит в инфракрасной области.

3. Максимальная энергия фотоэлектронов, **вылетающих** из катода.

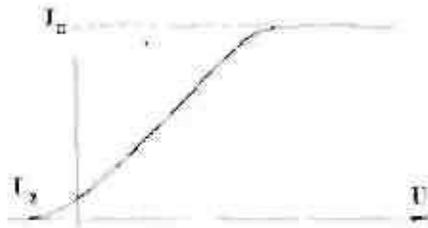


Рис. 17: Вольт-амперная характеристика фотоэлемента.

линейно возрастает с частотой падающего света и не зависит от его интенсивности

Закономерности фотоэффект не могут быть объяснены волновой теорией света. Так, нельзя понять, почему мощные световые потоки с частотой ниже красной границы фотоэффекта не вырывают электроны, в то время как слабые световые потоки с частотой выше красной границы вызывают появление фототока.

Основные закономерности фотоэффекта получают полное объяснение в квантовой теории света, развитой в 1903 году А. Эйнштейном. Основные положения этой теории заключаются в следующем:

1. **Излученный**, согласно гипотезе М. Планка, квант света с энергией $h\nu$ сохраняет свою индивидуальность в процессе распространения света и, попадая в вещество, передает свою энергию электрону.

2. За счет поглощенной энергии кванта электрон способен совершить работу против сил, удерживающих его в веществе (работу выхода A) и вылететь за пределы фотокатода.

На основании закона сохранения энергии вылетающий электрон обладает остаточной кинетической энергией

$$\frac{mV_0^2}{2} = h\nu - A \quad (31)$$

Где v_0 - максимальная скорость электронов. Откуда, следует

$$h\nu = \frac{mV_0^2}{2} + A \quad (32)$$

уравнение Эйнштейна для фотоэффекта: энергия фотона расходуется на работу выхода и на сообщение электрону кинетической энергии.

Развигая Эйнштейном теория полностью объясняет все закономерности фотоэффекта.

1. Первый закон Столетова - пропорциональность тока насыщения [т.е. числа фотоэлектронов) световому потоку объясняется тем, что энергия светового потока равна числу квантов в потоке света. Следовательно, с увеличением числа падающих на поверхность катода квантов увеличиваем и число выбитых ими электронов.

2. Зависимость кинетической энергии электронов от частоты падающего света следует из формулы (2).

Из формулы (2) следует- также, что при частоте света $\nu = \nu_0$ при которой энергия фотона равна работе выхода A , кинетическая энергия электрона станет равной нулю и фотоэффект наблюдаться не будет.

Частота ν_0 и соответствующая ей длина волны $\lambda_0 = c/\nu_0$, есть красная граница фотоэффекта для данного вещества. Для ее вычисления в формуле (2) надо положить $mV_0^2/2 = 0$. Тогда $\nu_0 = A/h$ или $\lambda_0 = hc/A$.

Приборы и методы измерений

В данной работе изучается внешний фотоэффект с помощью фотоэлемента.

фотоэлемент - стеклянный баллон (рис. 3), внутри которого два электрода: анод в виде проволочной петли и катод - серебряная пленка на стекле, покрывающая с внутренней стороны светочувствительным слоем. В баллоне - вакуум. При падении света в цепи течет фототок.

Фотоэлемент применяется для преобразования световых сигналов в электрические в автоматике, телемеханике, в звуковом кино, в лабораторной практике, при фотометрических и других измерениях, при исследовании космических и ядерных излучений и т.н.

Красная граница фотоэффекта чистых металлов лежит в ультрафиолетовой области спектра и лишь у щелочных и щелочноземельных металлов - в видимой области спектра. Можно подобрать полупроводники, чувствительные ко всему видимому спектру и к инфракрасным лучам- Поэтому светочувствительный слой делают из полупроводников, например, из соединения сурьмы и цезия. Красная граница сурьмяноцезиевого фотоэлемента лежит около $\lambda_0 = 0,68 \mu\text{м}$, максимум чувствительности приходится на зеленые лучи, чувствительность к белому свету от 50 до 150 микроампер на люмен.

Кроме вакуумных применяют также газонаполненные фотоэлементы, чувствительность которых в 10 раз больше вакуумных. Баллон

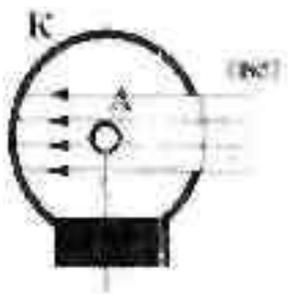


Рис 18: устройство фотоэлемента.

наполняется газом аргоном при давлении от 0,01 до 0,1 мм. рт. ст. Электрический ток в цепи усиливается за счет ионизации газа фотоэлектронами.

Второй способ усиления фототока - использование вторичной электронной эмиссии. Фотоэлектроны электрическим полем направляются на специальный электрод, из которого они освобождают вторичные электроны, направляемые на анод. Усиление получается потому, что при надлежащем выборе материала электрода число вторичных электронов больше, чем фотоэлектронов. Подобные приборы называют однокаскадными фотоэлектронными умножителями (ФЭУ). Изготавливают также многокаскадные ФЭУ. Их чувствительность доходит до 10 ампер на люмен и более.

Работа выполняется при помощи специальной установки, на которой закреплен фотоэлемент, источник света, а также микроамперметр. Чтобы устранить влияние рассеянного света, фотоэлемент вделан в цилиндрическую оправу. Оправка имеет крышку, которую следует снимать только при измерениях.

Порядок выполнения работы

1. Проверить установку приборов: ось оправы фотоэлемента и нить лампочки должны лежать на одной вертикальной оси. При передвижении фотоэлемента на его чувствительную поверхность не должно падать никаких теней.

2. Собрать цепь по схеме (рис. 4).

3. Последовательно устанавливая расстояния $r_1 = 50$ см, $r_2 = 45$ см, $r_3 = 40$ см от источника света до фотоэлемента, снять зависимость фототока от величины приложенного напряжения. Меняя напряжение через 25 В. достигнуть максимального значения фототока I_n , который соответствует току насыщения. Результаты записать в таблицу №1.

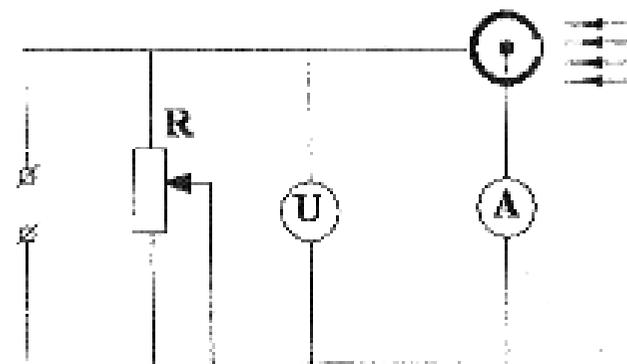


Рис.19; Схема установки.

Обработка результатов измерений

1. По данным таблицы 1 построить семейство вольт-амперных характеристик фотоэлемента, откладывая V по горизонтальной оси.
2. Используя формулу

$$\Phi = I_c S / r^2,$$

где S - площадь фотокатода ($S = 10 \text{ см}^2$), I_c - сила света источника ($I_c = 100 \text{ кд}$), определить величину светового потока Φ , соответствующего различным установкам r . Используя данные таблицы 2, построить зависимость фототока насыщения I_n от величины светового потока Φ .

4. Подсчитать интегральную чувствительность фотоэлемента $\gamma = I_n / \Phi$ [А/лм.]

ТАБЛИЦА 1

$$r_1 = 50 \text{ см}$$

$$\Phi_1 =$$

U	0	5	10	15	20	25	30	35
I								

$$r_2 = 45 \text{ см}$$

$$\Phi_2 =$$

U	0	5	10	15	20	25	30	35
I								

$$r_3 = 40 \text{ см}$$

$$\Phi_3 =$$

U	0	5	10	15	20	25	30	35
I								

ТАБЛИЦА 2

Γ (см)	50	50	45	40
Φ (лм)				
I_{λ} (мкА)				

Вопросы

1. Что называется фотоэффектом?
2. Какие законы фотоэффекта установлены А. Г. Столетовым?
3. Как объяснил сущность фотоэффекта А- Эйнштейн?
4. Что такие красная или длинноволновая граница фотоэффекта?
5. Как фотоэффект подтверждает квантовую природу света?
6. Что представляет собой вакуумный фотоэлемент?
7. Что такое ФЭУ?
8. Что такое внешний и внутренний фотоэффект?

Литература

1. И.В. Савельев. Курс общей физики, т. 3, 1968. § 9.
2. Т. И. Трофимова, Курс физики, 1985. § 202-2СИ.
4. Н. П. Калашников, М. А. Смондырев, Основы физики, т. 2. 2003, § 28.2.