

## Реферат

### Применение фотоэффекта

Файзиева З.

#### План

1. Виды фотоэлектрического эффекта. Законы внешнего фотоэффекта
2. Внутренний фотоэффект
3. Вентильный фотоэффект
4. Вольт-Амперная характеристика фотоэффекта
5. Закон Столетова
6. Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта. Экспериментальное подтверждение квантовых свойств света
7. Применение фотоэффекта
8. Масса и импульс фотона. Давление света

#### Список использованной литературы

1. Виды фотоэлектрического эффекта. Законы внешнего фотоэффекта  
Различают фотоэффект внешний внутренний и вентильный. Внешним фотоэлектрическим эффектом (фотоэффектом) называется испускание электронов веществом под действием электромагнитного излучения. Внешний фотоэффект наблюдается в твердых телах (металлах, полупроводниках, диэлектриках), а также в газах и отдельных атомах и молекулах (фото ионизация). Фотоэффект обнаружен (1887 году) Г. Герцем, наблюдавший усиление процесса разряда при облучении искрового промежутка ультрафиолетовым излучением.

Первые фундаментальные исследования фотоэффекта выполнены русским ученым А.Г. Столетовым. Два электрона (катод К из исследуемого металла и анод А в схеме Столетова применялось металлическая сетка) в вакуумной трубке подключены к батарее так, что с помощью потенциометра R можно изменять не только значения, но и знак подаваемого на них напряжения. Ток, возникающий при освещении катода монохроматическим светом (через кварцевое окошко), измеряется включенным в цепь миллиамперметром. Облучая катод светом различных длин волн, Столетов установил следующие закономерности не утратившие свое значения до нашего времени:

1. Наиболее эффективное воздействие оказывает ультрафиолетовое излучение.
2. Под воздействием света вещество теряет только отрицательные заряды.

Дж.Дж. Томас в 1898 г. Измерил удельный заряд испускаемых под воздействием света частиц (по отклонению в электрическом и магнитном полях). Эти измерения показали, что под действием света вырабатываются электроны.

#### 2. Внутренний фотоэффект

Внутренний фотоэффект - это вызванный электромагнитным излучением переходы электронов внутри полупроводника или диэлектрика из связанных состояний свободные без вылета наружу. В результате концентрации носителей тока внутри тела увеличивается, что приводит к возникновению фотопроводимости (по повышению электропроводимости фотопроводника или диэлектрика при его освещении) или возникновению э.д.с.

### 3. Вентильный фотоэффект

Вентильный фотоэффект - возникает э.д.с (фото-э.д.с.) при освещении контакта двух разных полупроводников или полупроводника и металла (при отсутствии внешнего электрического поля). Вентильный фотоэффект открывает, таким образом, пути для прямого преобразования солнечной энергии в электрическую

### 4. Вольт-амперная характеристика фотоэффекта

Вольт-Амперная характеристика фотоэффекта - зависимость фототока  $I$ , образуемого потоком электронов, испускаемых катодом под действием тока от напряжения  $U$  между электродами. Такая зависимость, соответствующая двум различным освещенностям  $E_e$  катода (частота света в обоих случаях одинакова). По мере увеличения  $U$  фототок постепенно возрастает, т.е. все большее число фотоэлектронов достигает анода. Пологий характер кривых показывает, что электроны вылетают из катода с различными скоростями. Максимальное значение тока  $I_{нас}$  - фототок насыщения - определяется таким значением  $U$ , при котором все электроны испускаемые катодом, достигают анода.

Из вольт-амперной характеристики следует, что при  $U=0$  фототок не исчезает. Следовательно, электроны, выбитые светом из катода, обладают некоторой начальной скоростью  $v$ , а значит, и отличной от нуля кинетической энергией и могут достигнуть анода без внешнего поля. Для того что бы фототок стал равным нулю необходимо приложить задерживающее напряжение  $U_0$ . При  $U=U_0$  ни один из электронов даже обладающий при вылете из катода максимальной скоростью  $v_{max}$ , не может преодолеть задерживающего поля и достигнуть анода. Следовательно,  $I_{нас} = en$

Где  $n$  - число электронов испускаемое катодом в 1с.

$$mv^2_{max} / 2 = e U_0$$

т.е. измерив сдерживающиеся напряжение  $U_0$ , можно определить максимальное значения скорости и кинетической энергии фотоэлектронов.

При излучении вольт-амперных характеристик разнообразных материалов (важна частота поверхности, поэтому измерение проводятся в вакууме и на свежих поверхностях) при различных частотах падающего на катод излучения и различных энергетических освещенностях катода и обобщения полученных данных были установлены следующие три закона внешнего фотоэффекта.

### 5. Закон Столетова

I. Закон Столетова: при фиксированной частоте падающего света число фотоэлектронов, вырываемых из катода в единицу времени, пропорционально интенсивности света (сила фототока  $I_{нас}$  пропорциональна энергетической освещенности  $E_e$  катода).

II. Максимальная начальная скорость (максимальная начальная кинетическая энергия) фотоэлектронов не зависит от интенсивности падающего света, а определяется только его частотой  $\nu$ , а именно линейно возрастает с увеличением частоты.

III. Для каждого вещества существует «красная граница» фотоэффекта, т.е.

минимальная частота  $\nu_0$  света (зависящая от химической природы вещества и состояния его поверхности), при которой свет любой интенсивности фотоэффекта не вызывает.

Качественное объяснение фотоэффекта с волновой точки зрения на первый взгляд не должно было бы представлять трудностей. Действительно, под действием поля световой волны в металле возникают вынужденные колебания электронов, амплитуда которых (на пример при резонансе) может быть достаточной для того, чтобы электроны покинули металл; тогда и наблюдается фотоэффект. Кинетическая энергия, с которой электрон вырывается из металла, должна была бы зависеть от интенсивности падающего света, т.к. с увлечением последней электрону передавалось бы большая энергия. Однако, этот вывод противоречит II закону фотоэффекта. Т.к. по волновой теории, энергия, передаваемая электроном пропорциональна интенсивности света, то свет любой частоты, но достаточно большой интенсивности должен был бы вырывать электроны из металла; иными словами, «красные границы» фотоэффекта не должно быть, что противоречит III закону фотоэффекта. Кроме того, волновая теория не смогла объяснить без инерционность фотоэффекта, установленную опытами. Таким образом фотоэффект не объясним с точки зрения волновой теории свет.

6. Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта. Экспериментальное подтверждение квантовых свойств света

А. Эйнштейн в 1905 году показал, что явление фотоэффекта и его закономерности могут быть объяснены на основе предложенной им квантовой теории фотоэффекта. Согласно Эйнштейну, свет частотой  $\nu$  не только испускается, как это предполагал Планк, но и распространяется в пространстве и веществом отдельными порциями (квантами), энергия которых  $h\nu$

Таким образом, распространение света нужно рассматривать не как непрерывный волной процесса, а как поток локализованных в пространстве дискретных световых квантов, движущихся со скоростью с распространение света в вакууме. Эти кванты электромагнитного излучения получили название фотонов.

По Эйнштейну, каждый квант поглощается только одним электроном. Поэтому число вырванных фотоэлектронов должно быть пропорционально известности света (I закон фотоэффекта). Без инерционность фотоэффекта объясняется тем, что передача энергии при столкновении фотона с электроном происходит почти мгновенно.

Энергия падающего фотона расходуется на совершение электрона работы выхода  $A$  из металла и на сообщение вылетевшему фотоэлектрону кинетической энергии  $m\nu^2_{\max}/2$ .

По закону сохранения энергии,  $h\nu = A + m\nu^2_{\max}/2$  это уравнение называется уравнением Эйнштейна для внешнего фотоэффекта.

$$\nu_0 = A/h$$

В 1926 году физики П.И. Ликурский (1894-1954) и С.С. Прилежав для исследования фотоэффекта применили метод вакуумного сферического конденсатора. Анодом в их установке служили посеребренные стенки стеклянного сферического баллона, а катодом - шарик ( $R = 1,5$  см.) из исследуемого металла, помещенный в центре сферы.

Такая форма электродов позволила увеличить наклон вольт-амперных характеристик и тем самым более точно определять задерживающее (а следовательно, и).

Если интенсивность света очень большая, то возможен многофотонный фотоэффект, при котором электрон испускаемый металлом может одновременно получить энергию не от одного а от  $N$  фотонов. Уравнение Эйнштейна для многофотонного фотоэффекта.

$$Nh\nu = A + mv^2 \max / 2$$

Идея Эйнштейна о распространении света о виде потока отдельных фотонов и квантовом характере взаимодействия электромагнитного излучения с веществом подтвержден в 1922 году опытами А.Ф. Иофее и Н.И. Добронравова. В электрическом поле плоского конденсатора уравнивалось заряженная пылинка из висмута. Нижняя обкладка конденсатора изготавливалась из тончайшей алюминиевой фольги, которая являлась одновременно анодом миниатюрной рентгеновской трубки. Анод бомбардировался ускоренными до 12 Кв фотоэлектронами, испускаемыми катодом под действием излучения. Освещенность катода подбиралась столь слабой, чтобы из него в 1 с вырывалось лишь 1000 фотоэлектронов, а следовательно, и число рентгеновских импульсов было 100 в 1с. Опыт показал, что в среднем через каждый 30 мин. Уравновешенная пылинка выходила из равновесия, т.е. рентгеновское излучение освобождало из нее фотоэлектрон, приобретающий энергию согласно уравнению Эйнштейна. Если бы рентгеновское излучение распространялось в виде сферических волн, а не отдельных фотонов, то каждый рентгеновский импульс отдавал бы пылинке очень малую часть своей энергии, которая распределялась бы, в свою очередь, между огромным числом электронов, содержащихся в пылинке. Поэтому при таком механизме трудно вообразить, что один из электронов за такое короткое время, как 30 мин., может накопить энергию достаточную для преодоления работы выхода из пылинки. Напротив, с точки зрения корпускулярной теории это возможно. Так, если рентгеновское излучение распространяется в виде потока дискретных фотонов, то электрон выбивается из пылинки только тогда, когда в нее попадает фотон. Элементарный расчет для выбранных условий дает, что бы в среднем в пылинку попадает один фотон из  $1,8 \times 10^6$ . т.к. в 1 с вылетает 100 фотонов, то в среднем в пылинку будет попадать 1 фотон в 30 мин. Что согласуется с результатами опыта.

Если свет представляет собой поток фотонов, то каждый фотон, попадая в регистрирующий прибор (глаз, фотоэлемент), должен вызывать-то или иное действие независимо от других фотонов. Это же означает, что при регистрации слабых световых потоков должны наблюдаться флуктуации их интенсивности. Эти флуктуации слабых потоков видимого света без действительно наблюдались С.И. Вавиловым. Наблюдения проводились визуально. Глаз, адаптированы к темноте, обладает довольно резким порогом зрительного ощущения, т.е. воспринимать свет, интенсивность которого не менее некоторого порога. Для света с  $\lambda = 525$  нм. Порог зрительного ощущения соответствует у разных людей примерно 100-400 фотона, падающих на сетчатку за 1с С.И. Вавилов наблюдал периодический повторяющийся

вспышки света одинаковой длительности. С уменьшенным светового потока некоторой вспышки уже не воспринимались глазом, причем чем слабее был световой поток, тем больше было пропусков вспышек. Это объясняется вкультуациями интенсивности света, т.е. число фотонов оказывалось по случайным причинам меньше порогового значения.

#### 7. Применение фотоэффекта

На явлений фотоэффекта основано действие фотоэлектронных приборов получивших разнообразное применение в различных областях науки и технике. В настоящее время практически невозможно указать отрасли производства, где бы не использовались фотоэлементы- приемники излучение, работающие на основе фотоэффекта и преобразующие энергию излучения в электрическую.

Простейшим элементом с внешним фотоэффектом является вакуумный фотоэлемент. Он представляя собой откачанный стеклянный баллон, внутренняя поверхность которого (за исключением окошка для доступа излучения) покрытие фото чувствительности слоем, служащим фотокатодом. В качестве анода обычно используется кольцо или сетка, помещаемая в центре баллона. Фотоэлемент включается в цепь батарее э.д.с. которой выбирается такой, что бы обеспечить фототок насыщения. Выбор материала фотокатода определяется в рабочей области спектра для регистрации видимого света и инфракрасного излучения используется кислородное - цезиевый катод, для регистрации ультрафиолетового излучения и коротковолновой части видимого света - суремально-цезурный. Вакуумные фотоэлементы без инерционный, и для них наблюдается строгая пропорциональность фототока интенсивности излучения. Эти свойства позволяют использовать вакуумные фотоэлементы в качестве фотометрических приборов, например фотоэлектрический экспонометр, люксметр (измеритель освещенности) и.т.д.

Для увеличения интегральной чувствительности вакуумных фотоэлементов (фототок насыщения, приходящейся на 1лм. Светового потока) баллон заполняется раздраженным инертным газом. Фототок в таком элементе, называемым газа наполнением усиливается в следствии ударной ионизации молекул газа фотоэлектронами интегральная чувствительность газонаполненных фотоэлементов (1 мА/лм) гораздо выше, чем для вакуумных (20-150 мка/лм), но они обладают по сравнению с последними большей инерционностью (менее строгой пропорциональностью фототока интенсивностью излучения), что приводит к ограничению области их применения.

Для усиления фототока применяются уже рассмотренные выше фотоэлектронные умножители, в которых на ряду с фотоэффектом используется явление вторичной электронной эмиссии. Размеры фотоэлектронных умножителей немного превышают размеры обычной радиолампы, общий коэффициент усиления составляет ? 10<sup>7</sup> (при напряжении питания 1-1,5 кВ) а их интегральная чувствительность может достигать 10А/лм. Поэтому фотоэлементные умножители начинают вытеснять фотоэлементы, правда, их применение, связанное с использованием высоковольтных стабилизированных источников питания, что не сколько не удобно.

Фотоэлементы с внутренним фотоэффектом называемым полупроводником фотоэлементами или фотосопротивлениям (резисторами), обладает гораздо большей интегральной чувствительностью, чем вакуумный. для их изготовления используются Pb, S, Cd, S, Pb, Se, и некоторые другие полупроводники. Если фотокатоды вакуумных фотоэлементов и фотоэлектронных умножителей имеют «красную границу» фотоэффекта не выше 1,1 мкм, по применению фотосопротивления позволяют проводить измерения в далекой инфракрасной области спектра (34 мкм), а также в областях рентгеновского и гамма - излученный. Кроме того, они малогабаритны и имеют низкое напряжение питания недостаток фотосопротивлений - их заметная инерционность поэтому они непригодны для регистрации быстропеременных световых потоков.

Устройства, действие которых основано на использовании фотопроводимости полупроводников, называются фотосопротивлением (фоторезисторами). Их применяют для автоматического управления электрическими цепями с помощью световых сигналов. В отличие от фотоэлементов фотосопротивление можно использовать в цепях переменного тока, поскольку их электрическое сопротивление не зависит от направления тока.

Фотосопротивление состоит из полупроводника, обладающего значительной фото чувствительностью, достаточно большой поверхностью для облучения т.к. полупроводники при комнатной температуре обладает очень малой проводимостью, то в отсутствие освещения в цепи течет слабый (темновой) ток. При освещении полупроводника его сопротивления уменьшается и ток в цепи усиливается, возрастая по мере увеличения освещенности.

Т.к. излучение проникает в полупроводник лишь на не большую глубину и сопротивление изменяется только в тонком поверхностном слое, нет смысла делать сопротивление толстым. При изготовлении фотосопротивлений тонкий слой полупроводника наносится на изолятор с электродами в виде полосок и покрывается пленкой прозрачного лака. В качестве материала для фотосопротивлений используется кремний Si, селен Se, сернистый талий Tl<sub>2</sub>S, сернистый висмут Bi<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, сернистый кадмий CdS и др. каждый из этих материалов имеют свои особенности определяющие область его применения. Например, наибольшая фото чувствительность различных полупроводников падает на различные интервалы длин волн. Очень хорошим фотоэлектрическими свойствами обладает CdS. Он реагирует только на излучение с длиной волны 0,5 мкм, а его сопротивление при освещении может уменьшится миллионы раз.

К достоинствам фотосопротивлений относятся: высокая фото чувствительность, большой срок службы, малые размеры, простота изготовления, возможность выбора фотосопротивления для нужного интервала длин волн, в частности и для инфракрасной области.

К недостаткам относятся: прямой пропорциональности между током в цепи и интенсивностью освещения, влияние на величину сопротивления температуры окружающей среды, инерционности. Последний недостаток объясняется тем, что рекомбинация электронов и дырок после прекращения освещения происходит за

время от одной до сотни микросекунд, поэтому при быстрых изменениях светового потока проводимость полупроводника не успевает следовать за этими изменениями. Фотоэлементы с вентильным фотоэффектом, называемый вентильными фотоэлементами (фотоэлементами с запирающим слоем), обладая, подобным элементам с внешним фотоэффектом, строгой пропорциональностью фототока интенсивности излучения, имеет большую по сравнению с ними интегральную чувствительность (примерно 2-30 мА/лм) и не нуждаются во внешнем источнике э.д.с. К числу вентильных фотоэлементов относятся германиевые, кремниевые, селеновые, купроксные, серисто-серебряные и др.

Кремневые и др. вентильные фотоэлементы применяются для создания солнечных батарей, непосредственно преобразующих световую энергию в электрическую. К.п.д. этих батарей составляет ? 10% и, как показывают теоретические расчеты, может быть доведен до ?22%, что открывает широкие перспективы их использования в качестве источников электроэнергии для бытовых и производственных нужд. Рассмотренные виды фотоэффекта используются также в производстве для контроля, управлений и автоматизации различных процессов, в военной технике для сигнализации и локации невидимым излучением в технике звукового кино, в различных системах связи и т.д.

#### 8. Масса и импульс фотона. Давление света

Согласно гипотезе световых квантов Эйнштейна, свет испускается, поглощается и распространяется дискретными порциями (квантами), названными фотонами. Энергия фотона . Его масса находится из закона взаимосвязи массы и энергии.

$$m = hv/c^2$$

Фотон - элементарная частица, которая всегда (в любой среде!) движется со скоростью света  $c$  и имеет массу покоя, равную нулю. Следовательно, масса фотона отличается от массы таких элементарных частиц, как электрон, протон и нейтрон, которые обладают отличной от нуля массы покоя и могут находиться в состоянии покоя.

Импульс фотона  $P_\gamma$  получим, если в общей формуле (40,7) теорий относительности положим массу покоя фотона  $m_0 = 0$

$$P_\gamma = E/c = hv/c$$

Из приведенных рассуждений следует, что фотон, как любая другая частица, характеризуется энергией, массой и импульсом. Если фотоны обладают импульсом, то падающие на тело, должны оказывать на его давление. С точки зрения квантовой теории, давление света на поверхность обусловлено тем, что каждый фотон при соударении с поверхностью передает ей свой импульс. Рассчитаем с точки зрения квантовой теории световое давление, оказываемое на поверхность тела потоком монохроматического излучения, падающего перпендикулярно поверхности. Если в единицу времени на единицу площади поверхности тела падает  $N$  фотонов, то при коэффициенте отражения  $R$  света от поверхности тела  $pN$  фотонов отразится, а  $(1 - p)N$  - поглотится. Каждый поглощенный фотон передает поверхности импульс  $P_\gamma = hv/c$ , а каждый отраженный  $2 P_\gamma = 2 hv/c$ .

Давление света на поверхность равно импульсу, который передают поверхности  $1/c N$

фотонов:

$$p = N +$$

$N = E_e$  есть энергия всех фотонов падающих на единицу поверхности единицу времени, т.е энергетическая освещенность поверхности,  $E_e/c = \rho$  - объемная плотность энергии излучения. Поэтому давление, производимое светом при нормальном падении на поверхность,

$$P = \rho$$

Давление света успешно объясняется и волновой и квантовыми теориями. Для исключения конвекции и радиометрического эффекта использовалась подвижная система зеркал, позволяющая направлять свет на обе поверхности крылышек. Подвес помещался в откаченный баллон, крылышки подбирались очень тонкими. Значение светового давления на крылышки определялось по углу закручивания нити подвеса и совпадала с теоретически рассчитанным. В частности, оказалась, что давление света на зеркальную поверхность вдвое больше, чем на зачерненную.

фотоэффект эйнштейн квантовый фотон

Список использованной литературы

1. Т.И. Трофимова. Курс физики. Изд.» - Высшая школа» 1990 г.
2. Л.С. Жданов. Физика. - М. «наука» 1987 г.
3. Д.В. Сивухин. Общий курс физики. 2 том. - М. «наука» 1974 г.
4. И.В. Савельев. Курс общей физики. Том 2. - М. «наука» 1982 г.