

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой общей физики ФТИ

_____ А.М. Лидер

«_____» _____ 2017 г.

**ИЗУЧЕНИЕ ВНЕШНЕГО ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО
ЭФФЕКТА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ ПЛАНКА**

Методические указания к выполнению лабораторной работы
по курсу «Общая физика» для студентов всех направлений и
специальностей

Томск - 2017

УДК 681.787(076.5)
ББК 32.87.я73

Изучение внешнего фотоэлектрического эффекта и определение постоянной Планка: методические указания к работе по курсу «Общей физики» для студентов всех направлений и специальностей / сост. Т.Н. Мельникова, Л.Ю. Немирович-Данченко. Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2017. – 19 с.

ИЗУЧЕНИЕ ВНЕШНЕГО ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ ПЛАНКА

Цель работы: экспериментальная проверка законов внешнего фотоэлектрического эффекта, определение постоянной Планка.

Приборы и принадлежности: фотоэлемент, призмный монохроматор УМ-2, источник света регулируемой яркости, блок питания для источника света, вольтметр и амперметр для измерения напряжения и тока в цепи накала лампы осветителя, конденсорная линза, вольтметр для создания задерживающей и ускоряющей разности потенциалов.

КРАТКОЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Фотоэлектрический эффект был открыт в 1887 году немецким физиком Г. Герцем и в 1888–1890 годах экспериментально исследован А. Г. Столетовым. Наиболее полное исследование явления фотоэффекта было выполнено Ф. Ленардом в 1900 г. К этому времени уже был открыт электрон (1897 г., Дж. Томсон), и стало ясно, что фотоэффект (или точнее – внешний фотоэффект) состоит в вырывании электронов из вещества под действием падающего на него света.

Внешним фотоэлектрическим эффектом называют испускание электронов веществом под действием электромагнитного излучения в диапазоне длин волн от 10^{-5} до 10^{-12} метров. Этот диапазон включает в себя как оптическое, так и рентгеновское излучение. Поток испущенных веществом фотоэлектронов образует фотоэлектрический ток, величина которого может быть измерена.

Внешний фотоэлектрический эффект – это физическое явление, законы которого можно объяснить, рассматривая, согласно А. Эйнштейну, электромагнитное излучение как поток фотонов. При поглощении веществом энергия кванта $h\nu$ тратится в веществе на совершение работы A по вырыванию электрона из вещества ("работы выхода") и сообщение ему дополнительной кинетической энергии

$$E_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2}, \text{ т.е.}$$

$$h\nu = A_{\text{в}} + \frac{mv_{\text{max}}^2}{2}, \quad (1)$$

где $A_{\text{в}}$ – работа выхода электронов из материала катода, $\frac{mv_{\text{max}}^2}{2}$ – максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов. В этом состоит смысл уравнения Эйнштейна.

Среди металлов наименьшей работой выхода обладают щелочные металлы. Например, у натрия $A_B = 1,9$ эВ, что соответствует красной границе фотоэффекта $\lambda_{кр} \approx 680$ нм. Поэтому соединения щелочных металлов используют для создания катодов в фотоэлементах, предназначенных для регистрации видимого света.

Кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с частотой света и не зависит от интенсивности падающего света.

$$\frac{mv_{\max}^2}{2} = eU_3 = h\nu - A_B.$$

Заменяя в приборе материал фотокатода, Столетов установил, что красная граница фотоэффекта является характеристикой данного вещества. Красная граница фотоэффекта определяется формулой

$$\nu_k = \frac{A_B}{h}. \quad (2)$$

Уравнение (1) называется **уравнением Эйнштейна для внешнего фотоэффекта**.

В экспериментах используется стеклянный вакуумный баллон с двумя металлическими электродами, поверхность которых тщательно очищается (рис. 1). К электродам прикладывается некоторое напряжение U , полярность которого можно изменять.

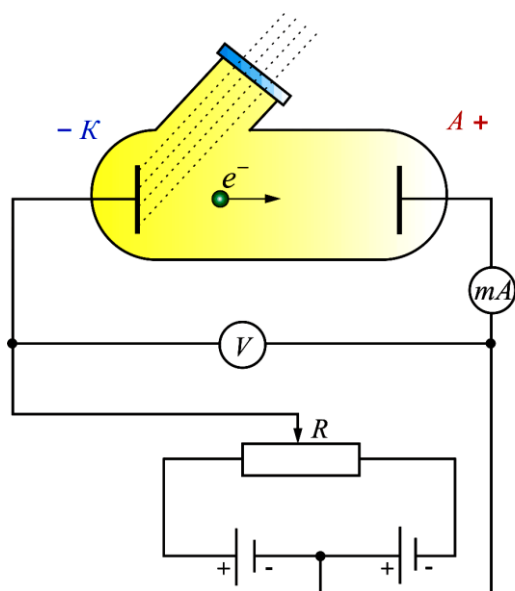


Рис. 1. Схема установки.

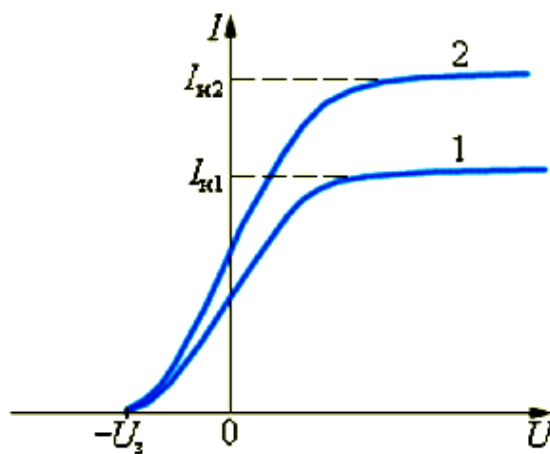


Рис. 2 Вольтамперная характеристика фотодиода.

Один из электродов (катод K) через кварцевое окошко освещается монохроматическим светом некоторой длины волны λ . При

неизменном световом потоке снимается зависимость силы фототока I от приложенного напряжения U .

На рис. 2 изображены типичные кривые зависимости силы фототока от приложенного напряжения. $I_{н1}$ и $I_{н2}$ – токи насыщения, полученные при двух значениях интенсивности светового потока, падающего на катод, U_3 – запирающий (задерживающий) потенциал.

Кривые показывают, что при достаточно больших положительных напряжениях на аноде А фототок достигает насыщения, так как все электроны, вырванные светом из катода, достигают анода. Тщательные измерения показали, что ток насыщения I_n прямо пропорционален интенсивности падающего света. Когда напряжение на аноде отрицательно, электрическое поле между катодом и анодом тормозит электроны. Анода могут достичь только те электроны, кинетическая энергия которых превышает величину $|eU|$.

При $U = U_3$ сила тока в цепи анода равна нулю. При $U > U_3$ в результате облучения электроны, выбитые из электрода, могут достигнуть противоположного электрода и создать некоторый начальный ток.

В реальном фотоэлементе даже при нулевой освещенности катода течет некоторый (очень небольшой) темновой ток I_T , обусловленный отчасти термоэлектронной эмиссией с катода, отчасти разностью работ выхода для катода и анода, отчасти просто утечкой тока между выводами фотоэлемента. Темновой ток – ток в цепи фотоэлемента в отсутствие света.

При разности потенциалов между катодом и анодом, близкой к U_3 , сила тока в цепи анода того же порядка, что и темновой ток. Однако величина темнового тока зависит от множества параметров и в принципе может меняться в ходе опыта.

Из сказанного ясно, что способ экспериментального определения U_3 как напряжения, при котором ток на выходе фотоэлемента равен нулю (или даже предварительно измеренному значению I_T) не вполне надежен. Для получения более достоверного значения U_3 следует увеличивать (по модулю) отрицательное анодное напряжение до тех пор, пока не прекратит уменьшаться анодный ток фотоэлемента.

При положительных значениях анодного напряжения темновой ток составляет незначительную часть полного тока. Поэтому при снятии вольт-амперной характеристики в области $U > 0$ учет темнового тока не требуется.

Если напряжение на аноде меньше, чем U_3 , фототок прекращается. Измеряя U_3 , можно определить максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов:

$$E_{\text{кmax}} = \frac{mv_{\text{max}}^2}{2} = eU_3. \quad (3)$$

Уравнение Эйнштейна для случая, когда кинетическая энергия электрона равна по величине работе сил электрического поля, то есть при задерживающем напряжении:

$$h\nu = A_{\text{в}} + eU_3. \quad (4)$$

Величина U_3 оказалась независимой от интенсивности падающего светового потока. Тщательные измерения показали, что запирающий потенциал линейно возрастает с увеличением частоты ν света (рис. 3).

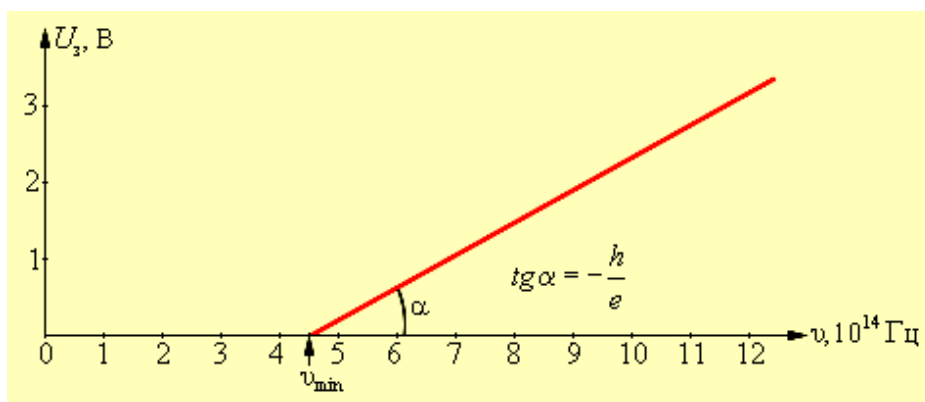


Рис. 3. Зависимость запирающего напряжения от частоты света.

Многочисленными экспериментаторами были установлены следующие основные закономерности фотоэффекта:

1. Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с увеличением частоты света ν и не зависит от его интенсивности.
2. Для каждого вещества существует так называемая красная граница фотоэффекта, т. е. наименьшая частота ν_{min} , при которой еще возможен внешний фотоэффект.
3. Число фотоэлектронов, вырываемых светом из катода за 1 с, прямо пропорционально интенсивности света.
4. Фотоэффект практически безынерционен, фототок возникает мгновенно после начала освещения катода при условии, что частота света $\nu > \nu_{\text{min}}$.

Все эти закономерности фотоэффекта в корне противоречили представлениям классической физики о взаимодействии света с

веществом. Согласно волновым представлениям при взаимодействии с электромагнитной световой волной электрон должен был бы постепенно накапливать энергию, и потребовалось бы значительное время, зависящее от интенсивности света, чтобы электрон накопил достаточно энергии для того, чтобы вылететь из катода. Как показывают расчеты, это время должно было бы исчисляться минутами или часами. Однако, опыт показывает, что фотоэлектроны появляются немедленно после начала освещения катода. В этой модели также было невозможно понять существование красной границы фотоэффекта. Волновая теория света не могла объяснить независимость энергии фотоэлектронов от интенсивности светового потока и пропорциональность максимальной кинетической энергии частоте света.

Таким образом, электромагнитная теория света оказалась неспособной объяснить эти закономерности.

Выход был найден А. Эйнштейном в 1905 г. Теоретическое объяснение наблюдаемых закономерностей фотоэффекта было дано Эйнштейном на основе гипотезы М. Планка о том, что свет излучается и поглощается определенными порциями, причем энергия каждой такой порции определяется формулой

$$E = h\nu,$$

где h – постоянная Планка. Эйнштейн сделал следующий шаг в развитии квантовых представлений. Он пришел к выводу, что свет имеет прерывистую (дискретную) структуру. Электромагнитная волна состоит из отдельных порций – квантов, впоследствии названных фотонами. При взаимодействии с веществом фотон целиком передает всю свою энергию $h\nu$ одному электрону. Часть этой энергии электрон может рассеять при столкновениях с атомами вещества. Кроме того, часть энергии электрона затрачивается на преодоление потенциального барьера на границе металл–вакуум. Для этого электрон должен совершить работу выхода A , зависящую от свойств материала катода.

С помощью уравнения Эйнштейна можно объяснить все закономерности внешнего фотоэффекта. Из уравнения Эйнштейна следуют линейная зависимость максимальной кинетической энергии от частоты и независимость от интенсивности света, существование красной границы, безынерционность фотоэффекта. Общее число фотоэлектронов, покидающих за 1 с поверхность катода, должно быть пропорционально числу фотонов, падающих за то же время на поверхность. Из этого следует, что ток насыщения должен быть прямо пропорционален интенсивности светового потока.

Как следует из уравнения Эйнштейна, тангенс угла наклона прямой, выражающей зависимость запирающего потенциала U_3 от частоты ν (рис. 3), равен отношению постоянной Планка h к заряду электрона e :

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{h}{e}.$$

Это позволяет экспериментально определить значение постоянной Планка. Такие измерения были выполнены в 1914 г. Р. Милликеном и дали хорошее согласие со значением, найденным Планком. Эти измерения позволили также определить работу выхода A :

$$A_{\text{в}} = h\nu_{\text{min}} = \frac{hc}{\lambda_{\text{кр}}},$$

где c – скорость света, $\lambda_{\text{кр}}$ – длина волны, соответствующая красной границе фотоэффекта. У большинства металлов работа выхода A составляет несколько электрон-вольт ($1 \text{ эВ} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$). В квантовой физике электрон-вольт часто используется в качестве энергетической единицы измерения.

Методика экспериментальной проверки законов внешнего фотоэлектрического эффекта и определение постоянной Планка

На рис. 4 представлена принципиальная схема экспериментальной установки, с помощью которой можно проверить законы фотоэффекта и определить численное значение постоянной Планка.

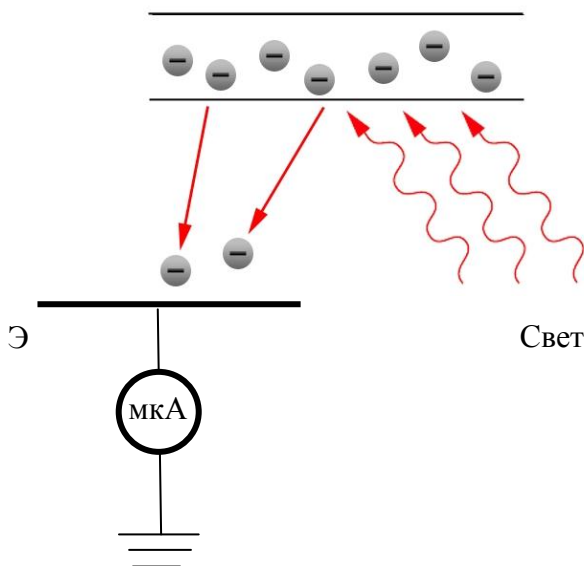


Рис. 4. Принципиальная схема установки.

Пусть монохроматический свет падает на металл и вырывает из него фотоэлектроны. Некоторая часть фотоэлектронов попадает на металлический электрод Э (рис. 4) и создает на нем отрицательный

потенциал относительно "земли". Если электрод Э и "землю" соединить проводником с включенным в него микроамперметром, микроамперметр зарегистрирует электрический ток, обусловленный потоком испущенных веществом фотоэлектронов. Величина электрического тока I_{ϕ} прямо пропорциональна количеству фотоэлектронов n , испущенных веществом в единицу времени:

$$I_{\phi} = ken. \quad (2)$$

Здесь k – коэффициент пропорциональности (он зависит от геометрии измерений и определяется величиной телесного угла, внутри которого все фотоэлектроны из вещества попадут на электрод Э), e – заряд электрона.

Если создать в промежутке между веществом и электродом Э внешнее, регулируемое по величине и по направлению электрическое поле E , можно:

а) все фотоэлектроны из вещества направить к электроду Э и довести величину фотоэлектрического тока до максимального значения, которое называется фототоком насыщения. Очевидно, что фототок насыщения определится как:

$$I_{\text{фнас}} = en; \quad (3)$$

б) затормозить фотоэлектроны и по величине, приложенной при этом задерживающей разности потенциалов U_3 между веществом и электродом Э, определить максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов.

Схема экспериментальной установки для исследования фотоэффекта изображена на рис. 5.

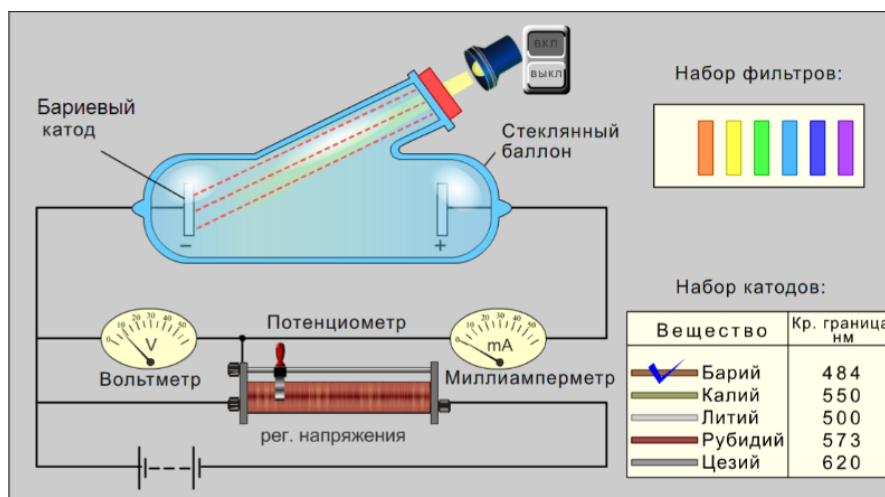


Рис. 5. Схема экспериментальной установки для исследования фотоэффекта.

В лабораторной установке, показанной на рис. 5, в качестве источника света используется лампа накаливания, излучающая линейчатый спектр.

С помощью набора фильтров из излучения лампы накаливания выделяются узкие пучки монохроматического света, которые поочередно направляют на фотоэлемент.

Эксперименты, проводимые на такой установке, дают возможность:

1. Получить зависимость силы тока от напряжения (вольтамперная характеристика – ВАХ) и выяснить физический смысл характерных точек.
2. Исследовать изменение ВАХ при различных значениях светового потока.
3. Исследовать изменение ВАХ при освещении светом различного спектрального состава.
4. Исследовать изменение ВАХ для разного материала катода.

ЗАДАНИЕ

1. Установить светофильтр. Измерить зависимость величины фототока I_{ϕ} от величины ускоряющего фотоэлектроны напряжения $U_{\text{уск}}$ при заданной интенсивности падающего на фотокатод света.
2. Построить график 1 зависимости I_{ϕ} от $U_{\text{уск}}$.
3. Измерить зависимость величины фотоэлектрического тока от величины разности потенциалов, создающей тормозящее электрическое поле в пространстве между фотокатодом и анодом при той же мощности светового потока, что и в п.1.
4. Построить график 2 зависимости величины фотоэлектрического тока I_{ϕ} от величины тормозящей фотоэлектроны разности потенциалов U_3 для заданного значения длины волны света λ . Определить U_3 . Рассчитать максимальную кинетическую энергию, которую приобретает электрон. Результаты записать в отчет.
5. Рассчитать по формуле (3) красную границу фотоэффекта и сравнить с табличным значением.
6. Рассчитать по формуле (4) численное значение постоянной Планка h и сравнить с табличным значением.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

а) Измерение зависимости величины фотоэлектрического тока от ускоряющего напряжения

Измерить зависимость величины фототока I_{ϕ} от величины ускоряющего фотоэлектроны напряжения $U_{\text{уск}}$ при заданной

интенсивности падающего на фотокатод света, т.е. для значения подводимой к лампе накаливания электрической мощности $P = IU$. Светофильтр, мощность и материал катода выбираются в соответствии с номером варианта и записываются в отчет. Результаты проведенных измерений занести в таблицу 1.

Таблица 1

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_{\text{уск}}$	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
$I_{\text{ф}}$										

По данным таблицы 1 построить график 1 зависимости величины фотоэлектрического тока $I_{\text{ф}}$ от величины ускоряющего напряжения $U_{\text{уск}}$.

Провести анализ полученной ВАХ. Ответить на вопросы: Наблюдается ли ток при $U = 0$? Что происходит с силой тока при дальнейшем увеличении напряжения? Определить значение фототока насыщения $I_{\text{фнас}}$. Результат записать в отчет.

б) Измерение зависимости величины фотоэлектрического тока от запирающего напряжения

Измерить зависимость величины фотоэлектрического тока от разности потенциалов U , создающей тормозящее электрическое поле в пространстве между фотокатодом и анодом при той же мощности светового потока, что и в п. а). Результаты измерений занести в таблицу 2.

Таблица 2

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U	0	-0,05	-0,10	-0,15	-0,20	-0,25	-0,30	-0,35	-0,40	-0,45
$I_{\text{ф}}$										

По данным таблицы 2 построить график 2 зависимости величины фотоэлектрического тока $I_{\text{ф}}$ от величины тормозящей фотоэлектронны разности потенциалов U для заданного значения длины волны света λ .

Провести анализ полученной ВАХ. Определить значение запирающего потенциала U_3 , значение силы тока при $U = 0$. Рассчитать максимальную кинетическую энергию $E_{\text{кин.мах}} = eU_3$, которую приобретает электрон. Результаты записать в отчет.

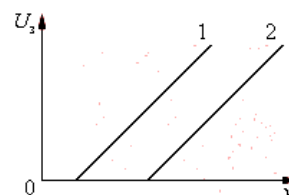
Зная материал катода, найти табличное значение работы выхода $A_{\text{в}}$ и записать его в отчет. Используя формулы (3) и (4) рассчитать постоянную Планка h и "красную границу" вещества фотокатода $\nu_{\text{кр}}$.

Сравнить полученные значения постоянной Планка h и красной границы с табличными значениями.

Сделать выводы о справедливости законов внешнего фотоэлектрического эффекта и о точности измерений постоянной Планка на основе изучения внешнего фотоэлектрического эффекта.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Дайте определение внешнего фотоэлектрического эффекта.
2. Дайте определение фототока насыщения.
3. Дайте формулировку законов внешнего фотоэффекта.
4. Дайте определение "красной границы" фотоэффекта.
5. Запишите формулу Эйнштейна для внешнего фотоэффекта.
6. От чего зависит число фотоэлектронов, вырывааемых в единицу времени с поверхности катода при фотоэффекте?
7. От чего зависит число скорость фотоэлектронов?
8. От чего зависит число величина красной границы фотоэффекта?
9. На разные металлы падают фотоны одинаковой частоты. Одинакова ли скорость фотоэлектронов, вылетевших из металлов?
10. Начертите график зависимости фототока от напряжения между электродами для излучения, соответствующего красной границе фотоэффекта.
11. Начертите график зависимости фототока от напряжения между электродами для излучения, имеющего в два раза большую частоту.
12. На рисунке показаны графики зависимости задерживающего напряжения от частоты света для двух различных материалов фотокатода. Какой из материалов имеет большую работу выхода? Почему зависимость линейная? Чему равен тангенс угла наклона?
13. Почему существование красной границы фотоэффекта говорит в пользу корпускулярной теории света и против волновой?
14. Какое предположение о взаимодействии фотонов с электронами вещества лежит в основе уравнения Эйнштейна?
15. Почему выход фотоэлектронов при возникновении фотоэффекта не зависит от освещенности металла?



16. Как изменяется кинетическая энергия электронов при фотоэффекте, если, не изменяя частоту, увеличить световой поток в 2 раза?
17. Как зависит запирающее напряжение от длины волны освещающего света?
18. Как изменится скорость вылетающих электронов при увеличении частоты освещающего света?
19. Как изменится работа выхода электрона из вещества при уменьшении частоты облучения в 3 раза?
20. Что происходит с током насыщения при изменении светового потока?
21. Что происходит с запирающим напряжением при изменении светового потока?
22. Как меняется число электронов при изменении светового потока?
23. При любой ли длине волны (частоте) падающего света наблюдается фотоэффект?
24. Чему равно запирающее напряжение при минимальной частоте (максимальной длине волны)?
25. Как меняется ток насыщения при увеличении частоты?
26. Что не могла объяснить волновая теория света?

ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.3.—Изд. «Лань», СПб, 2005.
2. Трофимова Т. И. Курс физики: Учеб. пособие для вузов. — 7-е изд., стер. — М.: Высш. шк., 2001. — 542 с.: ил.
3. Квантовая физика. Основные законы : учебное пособие / И. Е. Иродов. — 3-е изд., стер. — Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. — 256 с.: ил. — Общая физика. — Предм. указ.: с. 252-256.
4. Общий курс физики: учебное пособие: в 5 т. / Д. В. Сивухин. — М.: Физматлит, 2008-20013 Т. 4 : Оптика. — 3-е изд., стер. — 2013. — 792 с.
5. Физика. Оптика : учебник / Ю. И. Тюрин, И. П. Чернов, Ю. Ю. Крючков; Томский политехнический университет (ТПУ). — Томск: Изд-во ТПУ, 2009. — 240 с.
6. Элементарный учебник физики: учебное пособие для вузов: в 3 т. / под ред. Г. С. Ландсберга. — 13-е изд.. — М.: Физматлит, 2006 Т. 3: Колебания и волны. Оптика. Атомная и ядерная физика. — 2006. — 656 с.

ГЛОССАРИЙ

1. **Ангстрем** – единица измерения длины, равная 10^{-10} м.
2. **Анод** – электрод некоторого прибора, присоединённый к положительному полюсу источника питания.
3. **Вентильный фотоэффект** – разновидность внутреннего фотоэффекта, – это возникновение ЭДС (фото ЭДС) при освещении контакта двух разных полупроводников или полупроводника и металла (при отсутствии внешнего электрического поля). Вентильный фотоэффект открывает пути для прямого преобразования солнечной энергии в электрическую.
4. **Внешний фотоэффект** – явление вырывания электронов веществом под действием электромагнитного излучения. *Внешний фотоэффект* наблюдается в твердых телах (металлах, полупроводниках, диэлектриках), а также в газах на отдельных атомах и молекулах (фотоионизация).
5. **Внутренний фотоэффект** – это вызванные электромагнитным излучением переходы электронов внутри полупроводника или диэлектрика из связанных состояний в свободные без вылета наружу. В результате концентрация носителей тока внутри тела увеличивается, что приводит к возникновению фотопроводимости (повышению электропроводности полупроводника или диэлектрика при его освещении) или к возникновению электродвижущей силы (ЭДС).
6. **Вольт-амперная характеристика (ВАХ)** — зависимость тока через двухполюсник от напряжения.
7. **Г. Герц** — немецкий физик. Основное достижение — экспериментальное подтверждение электромагнитной теории света Джеймса Максвелла. Герц доказал существование электромагнитных волн. В 1886—87 годах Герц впервые наблюдал и дал описание внешнего фотоэффекта.
8. **Запирающий (задерживающий) потенциал** – минимальное тормозящее напряжение между анодом вакуумной лампы (фотоэлемента) и фотокатодом, при котором отсутствует ток в цепи этой лампы, т.е. фотоэлектроны не долетают до анода. При таком напряжении кинетическая энергия электронов у катода равна потенциальной энергии электронов у анода.
9. **Катод** – электрод некоторого прибора, присоединённый к отрицательному полюсу источника тока.

10. **"Красная граница" фотоэффекта** – минимальная частота ν_{\min} или максимальная длина волны λ_{\max} света, при которой ещё возможен внешний фотоэффект, то есть начальная кинетическая энергия фотоэлектронов больше нуля. Частота ν_{\min} зависит только от работы выхода $A_{\text{вых}}$ электрона:
$$\nu_{\min} = \frac{A_{\text{вых}}}{h}.$$
11. **Конденсорная линза. Конденсор** — линзовая, зеркальная или зеркально-линзовая оптическая система, собирающая лучи от источника света и направляющая их на рассматриваемый или проецируемый предмет. Короткофокусная линза или система линз, используемая в оптическом приборе для освещения рассматриваемого или проецируемого предмета. Конденсор собирает и направляет на предмет лучи от источника света, в том числе и такие, которые в его отсутствие проходят мимо предмета; в результате такого «сгущения» светового потока резко возрастает.
12. **Ленард Ф.** — немецкий физик, автор многих выдающихся работ в области физики твёрдого тела и атомной физики. В 1900 году он продолжил исследовать фотоэлектрический эффект, открытый в 1886 году Герцем и в 1887 году Холваксом, и обнаружил в том же году фундаментальную закономерность: при увеличивающейся интенсивности света число электронов растёт, однако их скорость остаётся постоянной и зависит только от частоты падающего света
13. **Милликен Р.** — американский физик. В 1923 году получил Нобелевскую премию по физике за работы в области фотоэлектрического эффекта.
14. **Многофотонный фотоэффект** возможен, если интенсивность света очень большая (например, при использовании лазерных пучков). При этом электрон, испускаемый металлом, может одновременно получить энергию не от одного, а от нескольких фотонов.
15. **Монохроматор** – прибор для выделения узких интервалов длин волн (частот) оптического излучения.
16. **Оптическое излучение** (видимое) – электромагнитное излучение, воспринимаемое человеческим глазом. В качестве коротковолновой границы спектрального диапазона, занимаемого светом, принят участок с длинами волн в вакууме 380—400 нм

(750—790 ТГц), а в качестве длинноволновой границы — участок 760—780 нм (385—395 ТГц).

17. **Планк Макс** — немецкий физик-теоретик, основоположник квантовой физики. Планк впервые вывел уравнения динамики релятивистской частицы и заложил основы релятивистской термодинамики.
18. **Постоянная Планка** — основная константа квантовой теории, коэффициент, связывающий величину энергии кванта электромагнитного излучения с его частотой.
19. **Работа выхода** – разность между минимальной энергией (обычно измеряемой в электрон-вольтах), которую необходимо сообщить электрону для его «непосредственного» удаления из объёма твёрдого тела, и энергией Ферми.
20. **Световой поток** – физическая величина, характеризующая количество «световой» мощности в соответствующем потоке излучения, где под световой мощностью понимается световая энергия, переносимая излучением через некоторую поверхность за единицу времени
21. **Светофильтр** – оптическое устройство для выделения (подавления) части спектра электромагнитного излучения.
22. **Столетов Александр Григорьевич** — русский физик, заслуженный профессор Московского университета.
23. **Темновой ток** – малый электрический ток, который протекает через фоточувствительный детектор, например, фотодиод, фотоэлектронный умножитель, полупроводниковый детектор гамма-квантов и др. при отсутствии поглощенных фотонов. Физической причиной существования темнового тока являются тепловые генерации электронов и дырок в р-п слое полупроводникового прибора или в толще полупроводника, которые затем начинают упорядоченно двигаться за счет сильного электрического поля. Значения этого тока утечки достигает единиц наноампера.
24. **Ток насыщения** – максимальный ток, когда все электроны, вылетающие с поверхности катода долетают до анода.
25. **Томсон Дж.** — английский физик, лауреат Нобелевской премии по физике 1906 года с формулировкой «за исследования прохождения электричества через газы».

- 26. Фотокатод** – отрицательно заряженный электрод (катод) в светочувствительных устройствах, работающих с использованием внешнего фотоэффекта.
- 27. Фотон** – элементарная частица, **квант** электромагнитного излучения. Это безмассовая частица, способная существовать в вакууме только двигаясь со скоростью света. Электрический заряд фотона также равен нулю.
- 28. Фотоэлектроны** – электроны, эмитированные атомом, молекулой или конденсированной средой под действием квантов электромагнитного излучения – фотонов, а также электроны в конденсированной среде, поглотившие фотоны и обладающие вследствие этого повышенной (относительно равновесной) энергией.
- 29. Фотоэлемент** – электронный прибор, который преобразует энергию фотонов в электрическую энергию.
- 30. Фотоэлектронная эмиссия** (фотоэффект) — явление вырывания электронов под действием света с поверхности твердых или жидких тел.
- 31. Фотоэффект** или **фотоэлектрический эффект** — испускание электронов металлами под действием света или любого другого электромагнитного излучения.
- 32. Эйнштейн А.** — физик-теоретик, один из основателей современной теоретической физики, лауреат Нобелевской премии по физике 1921 года, общественный деятель-гуманист.
- 33. Электрон-вольт** – внесистемная единица энергии, используемая в квантовой физике. Один электрон-вольт равен энергии, необходимой для переноса элементарного заряда в электростатическом поле между точками с разницей потенциалов в 1 В. ($1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$).
- 34. Эмиссия** – явление вырывания электронов с поверхности твердых или жидких тел.

СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

1. $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$

2. Все цвета, которые мы видим — это видимая часть излучения. Невидимая — это радиоволны, инфракрасное (тепловое), ультрафиолетовое, рентгеновское и гамма излучение. Все эти волны — проявления одного и того же явления — электромагнитного излучения,

а отличаются они длиной волн и частотой колебаний. Чем больше длина волн, тем меньше частота их колебаний. Эти параметры определяют свойства того или иного вида излучений.

Весь спектр электромагнитных волн можно последовательно расположить по мере уменьшения длины волны (а соответственно увеличения частоты колебаний) в следующем порядке:

Вид излучения		Длина волны	Частота	Применение
Радиоволны	Длинные, средние, короткие, ультракороткие	1 мм – 10 км	30 кГц – 300 ГГц	Радиосвязь
	Микроволны (поддиапазон ультракоротких волн)	1 мм – 1 м	300 МГц – 300 ГГц	Компьютер, интернет, микроволновая печь
Инфракрасное излучение		1 мм – 780 нм	300 ГГц – 429 ТГц	Отопление, приготовление пищи, стерилизация продуктов
Видимое излучение		780 нм–380 нм	429 ТГц – 750 ТГц	Освещение
Ультрафиолетовое излучение		380 нм – 10 нм	$7,5 \cdot 10^{14}$ Гц– $3 \cdot 10^{16}$ Гц	Лампы для загара, дезинфекция, стерилизация
Рентгеновское излучение		10 нм – 5 пм	$3 \cdot 10^{16}$ Гц– $6 \cdot 10^{19}$ Гц	Рентген
Гамма-лучи		меньше 5 пм	$6 \cdot 10^{19}$ Гц	Лучевая терапия

3. Работа выхода электронов из металла:

Вещество	Формула вещества	Работа выхода электронов (W, эВ)
алюминий	Al	4,20
барий	Ba	2,52
кальций	Ca	2,76

кадмий	Cd	4,04
хром	Cr	4,60
цезий	Cs	1,94
медь	Cu	4,36
железо	Fe	4,40
германий	Ge	4,66
калий	K	2,25
натрий	Na	2,29
свинец	Pb	4,05
кремний	Si	3,59
вольфрам	W	4,54
цинк	Zn	4,20

4. h – постоянная Планка, $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с