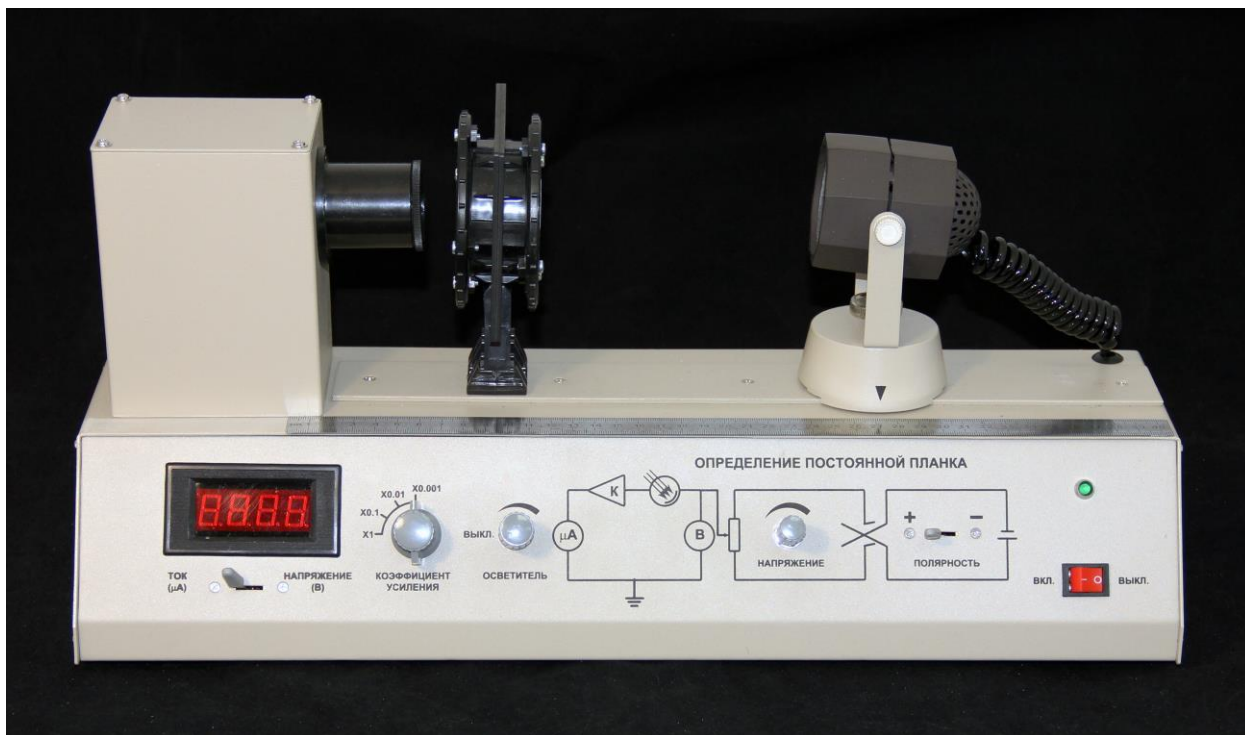


Лабораторная работа 46.1



Изучение законов фотоэффекта и определение постоянной Планка

Методическое руководство

Москва 2014 г.

Изучение законов фотоэффекта и определение постоянной Планка

1. Цель лабораторной работы

Целью лабораторной работы является экспериментальное изучение явления фотоэффекта.

2. Задачи лабораторной работы

Задачи лабораторной работы – получение вольтамперной характеристики вакуумного фотоэлемента, и изучение зависимости фототока насыщения фотоэлемента от величины светового потока, а также экспериментальное получение постоянной Планка.

3. Экспериментальное оборудование, приборы и принадлежности

Лабораторная установка (рис. 1) состоит из металлического корпуса 1, на котором установлен объектив 2 фотоэлемента и осветитель 3. Лампа осветителя установлена на подвижной каретке, которая может перемещаться вдоль установки. За счёт этого можно изменять расстояние от источника света до линзы фотоприёмника. Это расстояние измеряется по линейке 4. Для фиксации осветителя в определённой позиции служит зажимный винт 6. Имеется комплект из пяти светофильтров, которые устанавливаются на фотоприёмник. Перед фотоприёмником может быть установлена стойка 5 с вращающимися поляроидами, которые служат для ослабления светового потока, падающего на фотоэлемент.

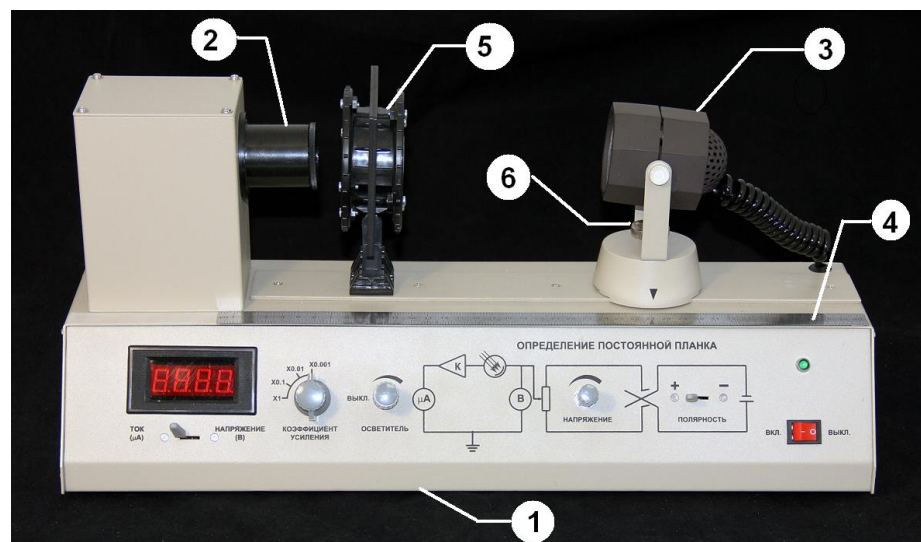


Рис. 1

Внутри металлического корпуса 1 расположен вакуумный фотоэлемент, блоки питания установки, а также встроенный датчик тока и напряжения, который служит для измерения фототока и катод-анодного напряжения фотоэлемента. Датчик имеет USB-разъем для подключения к компьютеру.

К приборам и принадлежностям относятся также компьютер с необходимым программным обеспечением.

4. Теоретическая часть

Понятие фотоэффекта

Внешним фотоэффектом (или фотоэлектронной эмиссией) называют явление вырывания электронов с поверхности твёрдых или жидких веществ под действием электромагнитного излучения.

К внутреннему фотоэффекту относятся: изменение электропроводности (фотопроводимость), возникновение электродвижущей силы, изменение диэлектрической проницаемости (фотодиэлектрический эффект).

Впервые внешний фотоэффект обнаружил Г. Герц в 1887 г. В 1888-1890 гг. его тщательно исследовал профессор московского Университете А. Г. Столетов, а в 1905 г. теоретически объяснил А. Эйнштейн.

Теория фотоэффекта

Фотоны, падая на поверхность металла, понижают на очень короткое расстояние в металл и поглощаются нацело отдельными его электронами проводимости. Они сразу же увеличивают свою энергию до значения, достаточного, чтобы преодолеть потенциальный барьер вблизи поверхности металла, и вылетают наружу.

Закон сохранения энергии позволяет написать простое соотношение, связывающее скорость фотоэлектронов с частотой поглощаемого света.

Энергия фотона после поглощения его, с одной стороны, расходуется на преодоление потенциального барьера (эта часть энергии называется работой выхода электрона из металла), а с другой стороны, частично сохраняется у электрона вне металла в виде кинетической энергии. Таким образом, соотношение для энергии таково:

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv^2}{2} \quad (1)$$

где $A_{\text{вых}}$ - работа выхода электрона, m и v - его масса и скорость соответственно, ν - частота излучения, h - постоянная Планка ($h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с).

Уравнение (1) называется соотношением Эйнштейна. Оно в частности показывает, что энергия фотоэлектронов, действительно, никак не зависит от интенсивности света, а линейно зависит от частоты света. При достаточно низкой частоте света фотоэффект не наблюдается: энергии фотона не хватает на преодоление потенциального барьера. Та критическая частота, при которой прекращается фотоэффект, называется красной границей фотоэффекта. Красная граница фотоэффекта определяется работой выхода:

$$h\nu_{\text{кр}} = A_{\text{вых}} \quad (2)$$

У различных металлов красная граница фотоэффекта различна.

Вольтамперная характеристика фотоэлемента

Построим вольтамперную характеристику фотоэлемента. Он представляет собой небольшой баллон, в котором создан вакуум и в центре которого находится положительный электрод (анод) (рис. 2). На часть внутренней поверхности баллона нанесен тонкий слой металла, представляющий отрицательный электрод (катод).

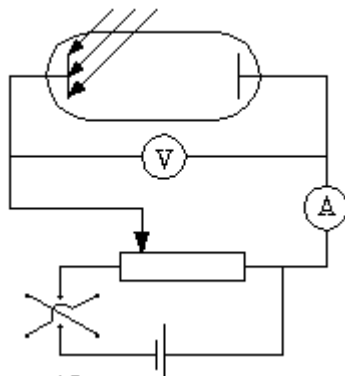


Рис. 2

Допустим, что фотоэлемент включен в цепь, изображенную на рисунке 2. Передвигая движок потенциометра и снимая показания приборов, можно найти вольтамперную зависимость фотоэлемента. При $U = 0$ через элемент проходит небольшой ток (рис. 3). Под действием света из катода вырываются электроны, и он заряжается положительно. Вырванные электроны вблизи катода создают отрицательно заряженное облако, из которого большая часть электронов попадает обратно на катод (катод при $U = 0$ притягивает электроны), а часть электронов из облака попадает на анод. Они и создают небольшой ток. Для прекращения фототока необходимо приложить обратное по знаку напряжение U_3 , которое называют задерживающим напряжением. Если увеличивать напряжение, то по мере роста все большее число электронов за секунду попадает на анод. Облако из электронов вблизи катода редет, а ток через фотоэлемент растет. При достаточно сильном поле облако из электронов вблизи катода полностью исчезнет. Все электроны,

вымываемые из металла катода, будут попадать на анод - наступит насыщение: дальнейшее усиление поля в баллоне фотоэлемента не приведет к увеличению тока. Ток насыщения $I_{\text{нас}}$ определяется тем количеством электронов, которые вырываются в секунду из металла.

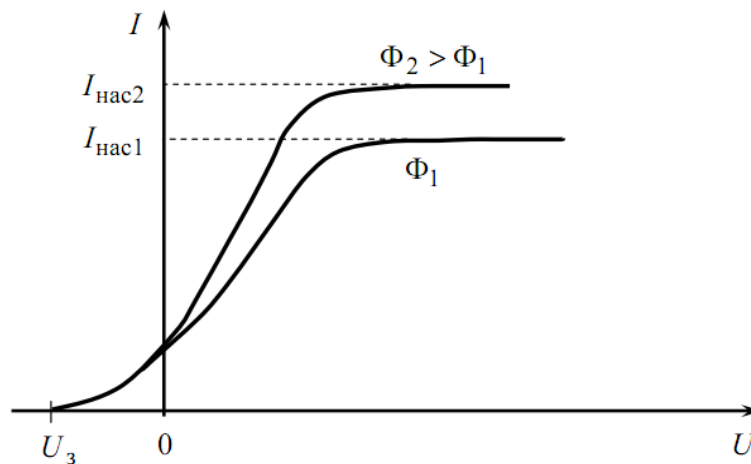


Рис. 3

Фототок насыщения зависит от падающего на фотоэлемент светового потока Φ . Он будет тем больше, чем больше число фотонов в секунду падает на катод. Очевидно, зависимость $I_{\text{нас}}(\Phi)$ должна быть прямо пропорциональная. По этой причине вакуумные фотоэлементы могут служить точными фотометрами, позволяющими измерять световые потоки. Следует отметить, что при достаточно больших световых потоках ток насыщения перестаёт увеличиваться пропорционально световому потоку – наступает насыщение фотоэлемента по световому потоку.

Если световой поток, падающий на фотоэлемент, создаётся точечным источником, то его величина обратно пропорциональна квадрату расстояния R от источника до фотоэлемента:

$$\Phi \propto \frac{1}{R^2}. \quad (3)$$

Определение постоянной Планка

С помощью уравнения Эйнштейна (1) для фотоэффекта, можно экспериментально получить значение постоянной Планка. Для этого необходимо измерить величину запирающего напряжения при различных частотах падающего на фотоэлемент света. При установлении запирающего напряжения отрицательная работа внешнего поля над электронами равна кинетической энергии электрона при вылете из катода:

$$eU_3 = \frac{mv^2}{2}. \quad (4)$$

С учётом формулы (4) уравнение (1) можно переписать в виде:

$$h\nu = A_{\text{вых}} + eU_3, \quad (5)$$

или окончательно:

$$U_3 = h \frac{\nu}{e} - \frac{A_{\text{вых}}}{e}. \quad (6)$$


Из последнего уравнения видно, что если строить график зависимости $U_3(\frac{\nu}{e})$ по экспериментальным точкам, то должна получиться прямая. Тангенс угла наклона этой прямой к оси x равен h .

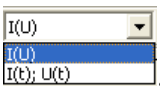


5. Порядок проведения лабораторной работы


Внимание! Замену светофильтров рекомендуется производить при большом отрицательном напряжении (полярность «-») на фотоэлементе.

Для записи экспериментальных данных откройте свою папку на диске C: - Лабораторный практикум – Студентам. Все данные сохраняйте только в этой папке.

Получение вольтамперной характеристики фотоэлемента

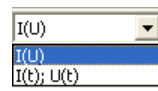
1. Запустите программу практикума по физике и выберите сценарий «Изучение внешнего фотоэффекта» - «Определение постоянной Планка» (кнопка )
2. Включите питание установки, дайте ей прогреться в течение 5 минут, передвиньте источник света на отметку 25см. Поляроиды при этом следует извлечь из оправки.
3. Установите максимальную интенсивность света, полярность напряжения переключите на «-». Переключатель «Коэффициент усиления» установите в положение «х0.01».
4. Поверните ручку «напряжение» по часовой стрелке до упора. Установите синий светофильтр в объектив фотоприёмника.
5. Для построения вольтамперной характеристики фотоэлемента


выберите из выпадающего списка зависимость $I(U)$ . Запустите измерения, нажав кнопку . Плавное вращение ручки «напряжение» против часовой стрелки до упора, уменьшая тем самым задерживающее напряжение до 0. Переключите полярность на «+» и плавно вращайте ручку «напряжение» по часовой стрелке до упора, увеличивая тем самым ускоряющее напряжение. Остановите измерения, нажав кнопку . По полученному графику вольтамперной характеристики определите значение



задерживающего напряжения. Для этого установите жёлтый вертикальный маркер (левая кнопка мыши) в соответствующую точку графика. Сохраните полученный график, пользуясь кнопкой . Можно данные измерений (график) сразу внести в отчет. Для этого, используя кнопку «Сформировать отчет по работе» откройте отчет, установите курсор в нужную точку отчета, выбрав «данные» (правая кнопка мыши)

6. Повторите описанные в пунктах 3-5 действия, устанавливая на объектив фотоэлемента другие светофильтры. **Замену светофильтров рекомендуется производить при большом отрицательном напряжении на фотоэлементе.**
7. По полученным экспериментальным данным постройте вольтамперные характеристики фотоэффекта при различных частотах на одной координатной плоскости. Сделайте вывод.



Определение постоянной Планка






1. Выберите из выпадающего списка зависимости $I(t); U(t)$
2. Установите максимальную интенсивность света, полярность напряжения переключите на «-». Переключатель «Коэффициент усиления» установите в положение «х0.001». Амплитуда сигнала тока на экране при этом увеличится в 10 раз, что позволит более точно определить величину запирающего напряжения.
3. Установите красный светофильтр в объектив фотоприёмника. Выставьте нулевое значение напряжения при отрицательной полярности. Запустите измерения. Изменяя напряжение, добейтесь падения фототока до нуля, контролируя его величину по показаниям цифрового индикатора в левом нижнем углу экрана. Остановите измерения. Зафиксируйте минимальное значение запирающего напряжения U_3 . Установите вертикальный жёлтый маркер в точку графика $I(t)$, в которой $I=0$, и нажмите кнопку . Откроется таблица «Обработка», в четвёртом столбце которой отображается измеренное запирающее напряжение. Внесите в ячейку первого столбца таблицы значение длины волны света, указанное на светофильтре. Во втором и третьем столбцах таблицы автоматически вычисляются значения частоты света ν и отношение $\frac{\nu}{e}$.
8. Повторите действия, описанные в предыдущем пункте, для всех имеющихся в комплекте светофильтров, постепенно уменьшая длину волны излучения. **Замену светофильтров рекомендуется производить при большом отрицательном напряжении на фотоэлементе.**

4. По окончании измерений перейдите на вкладку «график», в которой по экспериментальным точкам строится график зависимости $U_3 = U_3 \left(\frac{V}{e} \right)$. Для аппроксимации этой зависимости линейной функцией вида $Y = Ax + B$ нажмите кнопку . В верхнем левом углу окна появится соответствующее уравнение аппроксимирующей прямой. Определите по его угловому коэффициенту значение постоянной Планка. Сравните полученное значение постоянной Планка с табличным значением. Сохраните полученный график, пользуясь кнопкой . Полученный график можно сразу внести в отчет. Для этого надо открыть отчет (кнопка «Сформировать отчет по работе»), установить курсор в нужную точку отчета, выбрав «Обработка» - «График $U_3 \left(\frac{V}{e} \right)$ » (правая кнопка мыши).
5. Сохраните отчет.

Изучение зависимости фототока от светового потока.

1. Нажмите кнопку  и выберите сценарий «Зависимость фототока от светового потока».
2. Установите источник света на отметке 15 см (или наиболее близкое положение к оправке поляризаторов). Установите максимальную интенсивность света, полярность напряжения переключите на «+». Переключатель «Коэффициент усиления» установите в положение «x0.001». Обратите внимание, что реальные значения фототока при этом будут в 10 раз ниже тех, которые отображаются на экране.
3. Установите синий светофильтр в объектив фотоприёмника. Повернув ручку «напряжение» по часовой стрелке до упора установите максимальное ускоряющее напряжение (фотоэлемент будет работать при этом в режиме близком к насыщению).
4. Запустите измерения. Поверните один из поляризаторов на такой угол, при котором фототок минимален. Остановите измерения. Установите жёлтый маркер (левая кнопка мыши) на участке графика с зарегистрированным минимальным током и с помощью кнопки  добавьте это значение в таблицу обработки. В первый столбец открывшейся таблицы внесите текущую координату осветителя в см. То же значение координаты внесите в пункт таблицы «исходные данные».
5. Передвиньте осветитель в следующую точку (например, на отметку «20 см»). Нажмите кнопку запуска измерений и отклоните предложение программы очистить таблицу накопленных данных. Измерьте ток и заполните очередную строку таблицы обработки.

6. Повторите действия, описанные в предыдущем пункте, и получите еще 3 точки в таблице при удалении осветителя вплоть до 36 см.
7. По окончании измерений перейдите на вкладку «график», в которой по экспериментальным точкам строится график $I(\Phi)$. Для аппроксимации этой зависимости функцией вида $Y=Ax$ выберите эту функцию и нажмите кнопку . Сохраните полученный график, пользуясь кнопкой  или сразу внесите его отчет.
8. Теперь снимите аналогичную зависимость фототока от светового потока, но в условиях более сильного светового потока. Для этого выньте поляроиды из оправки и установите переключатель «Коэффициент усиления» в положение «x0.01». Запустите измерения и согласитесь с предложением программы очистить таблицу накопленных данных. Проведите вновь измерение фототока, устанавливая осветитель последовательно в 4 - 5 позиций и заполняя таблицу обработки. Наименьшее расстояние между фотоэлементом и осветителем выбирается исходя из максимальной величины тока 20 мкА и вводится в таблицу (исходные данные). В этом случае полученная в этом случае зависимость $I(\Phi)$ уже не является прямо пропорциональной. Сохраните полученный график, пользуясь кнопкой  или сразу внесите его в отчет.
9. По окончании работы составьте отчет (если полученные данные сохранены в виде рисунков), пользуясь кнопкой «Сформировать отчет». В отчет внесите все рисунки, сохраненные в Вашей папке.

6. Контрольные вопросы

1. В чем заключается явление фотоэффекта? (внешний и внутренний)?
2. Как объясняется явление фотоэффекта с квантовой точки зрения?
3. Что в фотоэффекте не смогла объяснить волновая теория света?
4. Что такое фотоны и каковы их свойства?
5. Охарактеризуйте физическое содержание уравнения Эйнштейна для фотоэффекта.
6. Перечислите основные закономерности внешнего фотоэффекта и объясните их с точки зрения квантовых представлений о свете.
7. Что такое «красная граница» фотоэффекта? Почему ее наличие не могла объяснить волновая теория света?
8. Что такое задерживающее (запирающее) напряжение при фотоэффекте? Как и почему оно зависит от частоты света?
9. Что такое фототок насыщения? Как и почему он зависит от светового потока?
10. Что такое вольтамперная характеристика фотоэффекта? Объясните ее особенности.
11. Что такое фотоэлемент? Каковы его основные характеристики?