Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачёва» в г. Белово

Кафедра горного дела и техносферной безопасности

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ВНЕШНЕГО ФОТОЭФФЕКТА

Методические указания по выполнению

лабораторной работы по дисциплине «Физика»

для студентов направлений 21.05.04 «Горное дело»,

20.03.01 «Техносферная безопасность»

Составитель: С.В. Белов

Утверждены на заседании кафедры

Протокол № 5 от 15.01.2020 г.

Рекомендованы к печати

методическим советом филиала

КузГТУ в г. Белово

Протокол № 6 от 22.01.2020 г.

Электронная копия находится в методическом кабинете филиала КузГТУ в г. Белово

### 

*Белово 2020*

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ВНЕШНЕГО ФОТОЭФФЕКТА

**1. Цель работы**: проверить законы внешнего фотоэффекта, освоить экспериментально-аналитический метод определения "красной границы" фотоэффекта, определить постоянную Планка.

**2. Подготовка к работе:** ознакомиться с описанием лабораторной работы, изучить в [1], гл. 36; [2], §§ 202-207; [3], § 8, ответить на контрольные вопросы.

В результате подготовки нужно знать:

а) в чем заключается явление фотоэлектрического эффекта;

б) законы внешнего фотоэффекта;

в) уравнение Эйнштейна для фотоэффекта;

д) методику обработки экспериментальных данных.

# **3. Выполнение работы**

# **3.1. Описание лабораторной установки**

Установка ФПК-10 предназначена для исследования вольт-амперных характеристик фотоэлементов.

Принцип действия установки основан на измерении тока через фотоэлемент при изменении полярности и величины приложенного к нему напряжения и изменения спектрального состава.

Внешний вид установки приведен на рисунке 1.

|  |
| --- |
|  |
| *Рис.1. Внешний вид установки ФПК-10* |

Установка состоит из объекта исследования (1) и измерительного устройства (2), соединяемых между собой кабелем (3). Объект исследования (1) выполнен в виде сборного корпуса (4), в котором установлены осветитель (спектральная ртутная лампа) с источником питания, блок интерференционных светофильтров (5) и устройство регулировки освещенности (6).

Положение “0” блока светофильтров соответствует прохождению света без светофильтров и может применяться для снятия интегральных вольт-амперных характеристик, а положение “5” − перекрывает лампу.

Положениям 1-4 блока светофильтров соответствуют следующие длины волн, пропускаемые светофильтрами: 1 (Фиолетовый) - **407** нм; 2 (Синий) - **435** нм; 3 (Зеленый) - **546** нм; 4 (Желтый) - **578** нм.

К корпусу с помощью кронштейна (7) крепится усилитель фототока (8), на верхнюю крышку которого устанавливаются фотоприемник Ф-13 (9). При установке фотоприемника его приемное окно совмещается с выходным окном осветителя и закрывается при помощи насадки (10).

На передней панели объекта исследования (1) находятся сетевой выключатель с индикатором включения сети (11). На боковой поверхности усилителя (8) фототока расположены регуляторы баланса ГРУБО и ТОЧНО (12).

На передней панели измерительного устройства (2) размещены

- кнопка ПРЯМАЯ - ОБРАТНАЯ (13) с соответствующими индикаторами;

- кнопки "+", "-" (14) и СБРОС (15) - предназначены для регулировки напряжения на фотоэлементе;

- индикаторы В (16) и мкА (17) - предназначены для индикации значений величин напряжения на фотоэлементе и фототока в процессе работы.

**3.2. Теоретические положения**

Взаимодействие фотонов с веществом в диапазоне частот 1014…1020Гц проявляется в фотоэлектрических явлениях, эффекте Комптона и рождении электронно-позитронных пар.

Если энергии поглощенного фотона достаточно для разрыва связи электрона с веществом в конденсированном состоянии и электрон может вылететь в вакуум или другое вещество, то такое явление называют внешним фотоэффектом.

В случае, если электрон выбивается из связанных состояний внутри вещества без эмиссии наружу, то такое явление называют внутренним фотоэффектом. В результате внутреннего фотоэффекта концентрация носителей тока внутри вещества увеличивается, что приводит к повышению электропроводности или к возникновению ЭДС.

Внешний фотоэффект является результатом трех последовательных процессов:

а) поглощение фотона и появление электрона с высокой (по сравнению со средней) энергией;

б) движение электрона к поверхности, причем часть энергии может рассеяться;

в) выход электрона через поверхность раздела в другую   
среду.

Фотоэлектроны, находящиеся вблизи поверхности раздела и вышедшие из вещества в другую среду, обладают наибольшей кинетической энергией.

 – уравнение Эйнштейна, (1)

где  – масса электрона;  – его максимальная скорость;  – постоянная Планка;  – энергия фотона; – его частота;  – работа выхода электрона из вещества, зависящая от его химической природы и состояния поверхности.

Экспериментально установлены следующие законы   
внешнего фотоэффекта, справедливые для любого материала фотоэмиттера.

1. При фиксированной частоте света число электронов, испускаемых за единицу времени, прямо пропорционально энергетической освещенности катода.

2. Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно растет с частотой света и не зависит от его интенсивности.

3. Для каждого вещества при определенном состоянии его поверхности существует "красная граница" фотоэффекта  – минимальная частота падающего на него света, при которой свет любой интенсивности фотоэффекта не вызывает.

Законы внешнего фотоэффекта можно проверить, анализируя зависимость фототока  от напряжения  (рис. 2) между катодом и анодом вакуумного фотоэлемента.

|  |
| --- |
|  |
| *Рис. 2. Вольт-амперная характеристика вакуумного фотоэлемента* |

При отсутствии напряжения между электродами освещенного фотоэлемента часть электронов, имеющих кинетическую энергию , достигает анода, создавая ток .

Увеличение фототока  обеспечивается за счет энергии внешнего электрического поля . При подаче положительного потенциала внешнего электрического поля на анод и отрицательного потенциала на катод все вылетевшие из катода электроны достигают анода, создавая фототок насыщения . Напряжение, при котором достигается этот ток, называется напряжением насыщения . При прочих равных условиях величина фототока насыщения зависит от энергетической освещенности  катода, которую можно изменять, варьируя расстояние  от источника света до катода.

Сила фототока уменьшается до нуля, если подать положительный потенциал внешнего электрического поля на катод и отрицательный – на анод. Напряжение, при котором задерживаются даже самые "быстрые" фотоэлектроны, называется напряжением запирания .

За счет работы кулоновских сил, направленных противоположно скорости движения фотоэлектронов, кинетическая энергия фотоэлектронов  уменьшается до нуля .

, (2)

где  – заряд электрона.

**3.3. Порядок выполнения работы**

**3.3.1. Снятие *ВАХ* фотоэлемента**

1. Установите на объект исследования фотоприемник с исследуемым фотоэлементом и задвиньте бленду осветителя в окно фотоэлемента.

2. Подключите сетевые шнуры устройства измерительного и объекта исследования к сети и включите устройство измерительное выключателем СЕТЬ на его задней панели. При этом должен загореться индикаторы ОБРАТНАЯ, В и мкА устройства измерительного. На индикаторе В должны установиться нули (допускается индикация до значения 2 младшего разряда).

3. Включите объект исследования выключателем СЕТЬ на его передней панели. При этом должен загореться индикатор СЕТЬ объекта исследования.

4. После 15 минутного прогрева поставить положение ручки блока интерференционных светофильтров (5) в положение “5”. Ручками (12) установить нулевое значение на индикаторе (17) (мкА) измерительного устройства (2).

5. С помощью кнопки (13) (ПРЯМАЯ) выбрать построение прямой ветви вольт-амперной характеристики.

6. Установить необходимый светофильтр (2 синий).

7. C помощью регулятора освещенности (6) получить при U=0B максимальное значение силы тока. Занести результат в таблицу 1.

8. Изменяя значения напряжения с помощью кнопок (14) "+" и "-" и считывая показания фототока с индикатора "мкА" получите данные для построения вольтамперной характеристики. Измерения завершить при достижении силы тока насыщения. Данные занесите в табл. 1. После достижения силы тока насыщения нажать кнопку СБРОС (15).

9. С помощью поворота кольца (6), расположенного на выходном окне объекта исследования измените освещенность фотоэлемента.

10. Повторите п. 8 для новой освещенности.

#### *Таблица 1*

*Результаты снятия ВАХ при различных освещенностях*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *U, В* | *I, мкА* | *U, В* | *I, мкА* |
| 0 |  | 0 |  |
| … | … | … | … |

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

**3.3.2. Исследование зависимости максимальной кинетической энергии фотоэлектронов от частоты падающего света**

1. С помощью кнопки (13) ПРЯМАЯ - ОБРАТНАЯ выбрать необходимый режим измерения (ОБРАТНАЯ). С помощью поворота кольца (6), расположенного на выходном окне объекта исследования установите максимальную освещенность фотоэлемента.

2. Равномерно изменяйте значения напряжения с помощью кнопок (14) "+" и "-" и считывая показания фототока с индикатора "мкА", измеряйте фототок  до тех пор, пока его значение не станет равным нулю . Результаты измерения фототока  и напряжения  занесите в табл. 2. Повторите эксперимент для всех светофильтров. (При определении запирающего напряжения фотоэлемента необходимо нулевое значение тока считывать при уменьшении напряжения от нулевого значения до значения запирающего напряжения, а не наоборот. Не рекомендуется также устанавливать значение напряжения ниже запирающего.)

3. По окончании работы выключить питание установки выключателями СЕТЬ.

*Таблица 2*

*Результаты измерений фототока*

*при разной частоте падающего света*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №№ | Номер светофильтра | | | | | | | |
| **1** | | **2** | | **3** | | **4** | |
|  | мкА | U, В | мкА | U, В | мкА | U, В | мкА | U, В |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| … |  |  |  |  |  |  |  |  |

3. Постройте графики обратной зависимости  для разных частот падающего света. Для определения напряжения запирания  необходимо учесть особенности вакуумного фотоэлемента, на сферический катод которого свет падает под разными углами, и освещенность участков его поверхности оказывается неодинаковой. Поэтому напряжение запирания  определяется с помощью касательной, проведенной к верхней части графика этой зависимости до пересечения ее с осью напряжения (рис. 3).

|  |
| --- |
|  |
| *Рис.3. «Обратная» ветвь вольт-амперной характеристики* |

4. По формуле (2) вычислите максимальную кинетическую энергию  фотоэлектронов при разной частоте света, падающего на фотокатод. Результаты занесите в табл. 3. Запишите вывод.

5. Используя формулу (1), рассчитайте работу выхода фотоэлектронов из фотокатода для всех частот падающего на него света в джоулях (Дж) и ее среднее значение в электрон-вольтах (эВ) (1 эВ = 1,602⋅10–19 Дж). Результаты занесите в табл. 3.

6. Постройте график зависимости максимальной кинетической энергии фотоэлектронов от частоты света, падающего на фотокатод . По графику определите "красную границу" фотоэффекта  (точка пересечения линии графика с осью частот).

7. Рассчитайте максимальную длину волны  "красной границы".

,

где = 3⋅108 м/с – скорость света в вакууме. Результаты определения  и  запишите в табл. 4.

*Таблица 3*

*Результаты расчета максимальной кинетической энергии*

*фотоэлектронов и работы выхода электронов из металла*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Цвет  светофильтров |  |  |  |  |  |
| Гц | В | Дж | Дж | эВ |
| Фиолетовый (1) |  |  |  |  |  |
| Синий (2) |  |  |  |  |  |
| Зеленый (3) |  |  |  |  |  |
| Желтый (4) |  |  |  |  |  |

*Таблица 4*

*Результаты определения "красной границы" фотоэффекта*

*и постоянной Планка*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |
| Гц | м | Дж⋅с | Дж⋅с | % |
|  |  |  |  |  |

8. По наклону линии графика  к оси частот определите постоянную Планка :



9. Рассчитайте относительное отклонение результатов эксперимента от теоретического значения постоянной Планка.

.

10. Запишите вывод.

**4. Контрольные вопросы**

1. Каковы основные положения квантовой теории света?

2. Определите частоту, энергию, импульс и массу фотона зеленого света .

3. Вычислите длину волны фотона, энергия которого равна энергии покоя электрона.

4. Определите максимальную скорость электронов, вылетающих из металла под действием -излучения, длина волны которого .

5. Как проявляется взаимодействие фотонов с электронами вещества?

6. Дайте характеристику внутреннего фотоэффекта.

7. Какое явление называется внешним фотоэффектом? Каковы его закономерности?

8. Объясните законы внешнего фотоэффекта с точки зрения квантовой природы света.

9. Каков принцип действия вакуумного фотоэлемента?

10. Проанализируйте вольт-амперную характеристику вакуумного фотоэлемента.

11. Внешний фотоэффект – практически безынерционное явление. Как это доказать?

12. Каково практическое использование явления внешнего фото­эффекта?

**5. Тестовые задания**

**Тест 1**

|  |  |
| --- | --- |
| Свет, падающий на металл, вызывает эммисию электронов из металла. Если интенсивность света уменьшается, а его частота при этом остается неизменной, то… | 1. количество выбитых электронов уменьшается, а их кинетическая энергия остаётся неизменной |
| 2. количество выбитых электронов остаётся неизменным, а их кинетическая энергия уменьшается |
| 3. количество выбитых электронов увеличивается, а их кинетическая энергия уменьшается |
| 4. количество выбитых электронов и их кинетическая энергия увеличивается |
| 5. количество выбитых электронов остаётся неизменным а их кинетическая энергия увеличивается |

**Тест 2**

|  |  |
| --- | --- |
| На рисунке представлены две вольтамперные характеристики вакуумного фотоэлемента. Если *Е* – освещенность фотокатода, а *ν* – частота падающего на него света, то справедливо следующее утверждение…  IMG_13311_1.png | 1: ν1= ν2, E1>E2  2: ν1< ν2, E1=E2  3: ν1> ν2, E1=E2  4: ν1= ν2, E1<E2 |

**Тест 3**

|  |  |
| --- | --- |
| На рисунке представлены две вольтамперные характеристики вакуумного фотоэлемента. Если *Е* – освещенность фотокатода, а *λ* – длина волны падающего на него света, то справедливо следующее утверждение…  IMG_13314_1.png | 1: *λ* 1> *λ* 2, E1>E2  2: *λ* 1< *λ* 2, E1>E2  3: *λ* 1> *λ* 2, E1<E2  4: *λ* 1< *λ* 2, E1<E2 |

**Тест 4**

|  |  |
| --- | --- |
| На графике представлена зависимость кинетической энергии фотоэлектронов от частоты падающего света. Из графика следует, что для частоты *ν*1 энергия падающего фотона равна … | 1. 1 эВ  2. 3 эВ  3. 4 эВ  4. 2 эВ |

**Тест 5**

|  |  |
| --- | --- |
| На рисунке представлены две зависимости задерживающего напряжения *U3* от частоты *ν* падающего света для внешнего фотоэффекта.  IMG_13634_1.png  Укажите верные утверждения. | 1. Зависимости получены для двух различных металлов  2. А2 < А1, где А1 и А2 – значения работы выхода электронов из соответствующего металла  3. С помощью этих зависимостей можно определить значение постоянной Планка |

# **6. Список рекомендуемой литературы**

1. Детлаф, А.А. Курс физики: учеб. пособие для втузов / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. – 4-е изд., стереотип. – М.: Издат. центр «Академия», 2007. – 720 с.

2. Трофимова, Т. И. Курс физики : учеб. пособие для вузов. – Изд. 18-е, испр. – М.: Издат. центр «Академия», 2010. – 560 с.

3. Савельев, И.В. Курс общей физики: учебное пособие: в 3 томах/ И.В. Савельев. — 13-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань,— Том 3: Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц — 2019. — 320 с.

URL: https://e.lanbook.com/book/123463

Составитель

Белов Сергей Викторович

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ВНЕШНЕГО ФОТОЭФФЕКТА

Методические указания по выполнению

лабораторной работы по дисциплине «Физика»

для студентов направлений 21.05.04 «Горное дело»,

20.03.01 «Техносферная безопасность»

Отпечатано на ризографе.

Тираж экз.

Филиал ГУ КузГТУ в г. Белово. 652644, г. Белово, ул. Ильича 32-а