

**Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Уфимский государственный авиационный технический университет**

## **ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ВНЕШНЕГО ФОТОЭФФЕКТА**

**Методические указания  
к лабораторной работе № 93  
по дисциплине «Физика»**

**Уфа 2009**

Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Уфимский государственный авиационный технический университет

Кафедра физики

## ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ВНЕШНЕГО ФОТОЭФФЕКТА

Методические указания

к лабораторной работе № 93  
по дисциплине «Физика»

Уфа 2009

Составитель М.А. Климчук

УДК 535.215 (07)

ББК 22.34 (Я7)

Изучение явления внешнего фотоэффекта: Методические указания к лабораторной работе № 93 по дисциплине «Физика» / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост. М.А. Климчук. – Уфа, 2009. – 10 с.

В лабораторной работе изучаются законы фотоэффекта, экспериментально определяется постоянная Планка. Приведены краткая теория, метод измерения, описание лабораторной установки, порядок выполнения работы, требования к оформлению отчета и контрольные вопросы.

Предназначены для студентов технических вузов, выполняющих лабораторный практикум по разделу «Волновая оптика. Квантово - оптические явления» дисциплины «Физика».

Ил. 2. Табл. 2. Библиогр.: 3 назв.

Рецензенты: Иванов М.П.,  
Хайретдинова А.К.

©Уфимский государственный авиационный  
технический университет, 2009

Составитель КЛИМЧУК Маргарита Алексеевна

## ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ВНЕШНЕГО ФОТОЭФФЕКТА

Методические указания

к лабораторной работе № 93  
по дисциплине «Физика»

Подписано в печать 2009. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Nimes New Roman Cyr.

Усл. печ. л. 1,1. Усл.-кр.-отт. 1,1. Уч-изд.л. 0,9.

Тираж 300 экз. Заказ №

ГОУ ВПО Уфимский государственный авиационный технический университет

Центр оперативной полиграфии УГАТУ

450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12

## Содержание

1. Цель работы.....	4
2. Теоретическая часть .....	4
3. Приборы и оборудование .....	8
4. Требования по технике безопасности .....	8
5. Порядок выполнения работы .....	8
6. Контрольные вопросы .....	9
Список литературы .....	10

# Лабораторная работа № 93

## Изучение явления внешнего фотоэффекта

### 1. Цель работы

Снятие вольт-амперной характеристики внешнего фотоэффекта, определение постоянной Планка.

### 2. Теоретическая часть

Явление вырывания электронов из вещества под действием света называется внешним фотоэффектом.

В 1888-1890 г.г. А.Г. Столетов систематически исследовал фотоэффект с помощью следующей установки (рис. 2.1). Конденсатор, образованный проволочной сеткой С и сплошной пластиной К, включен последовательно с гальванометром Г в цепь батареи Б. Свет от дуги Д, проходя через сетку, падает на сплошную пластину, выполняющую роль фотокатода. В результате в цепи возникал ток. На основании опытов А.Г. Столетов пришел к следующим выводам: 1) наибольшее действие оказывают ультрафиолетовые лучи; 2) сила тока возрастает с увеличением освещенности пластины; 3) вырываемые под действием света заряды имеют отрицательный знак.

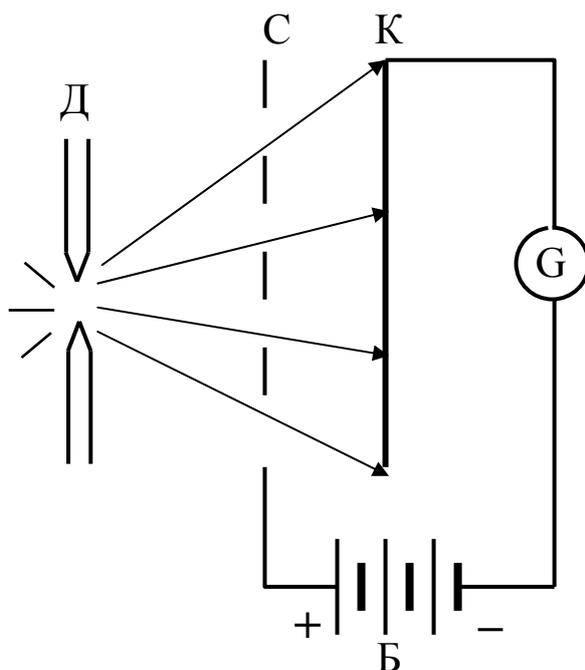


Рис. 2.1

Типичная вольт-амперная характеристика фотоэффекта (т.е. кривая зависимости фототока  $I$  от напряжения между сеткой и пластиной) имеет вид, представленный на рис. 2.2. Кривые приведены для двух различных световых потоков, частоты которых также различны.

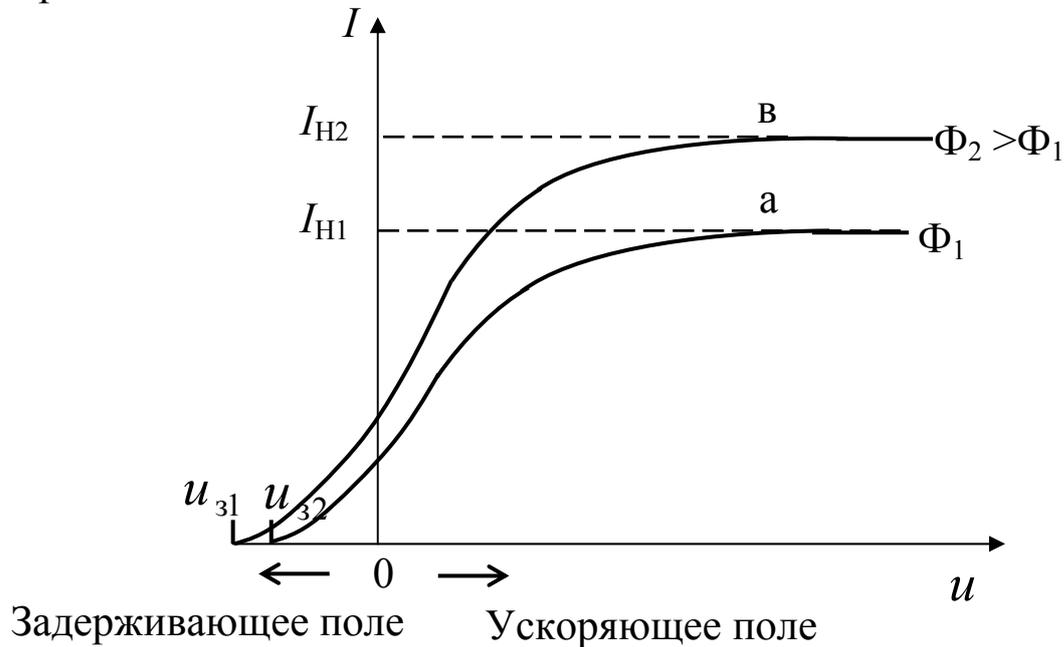


Рис. 2.2

Существование тока в области отрицательных напряжений от  $0$  до  $-u_3$  объясняется тем, что фотоэлектроны, выбитые светом из пластины, обладают отличной от нуля начальной кинетической энергией. За счет уменьшения этой энергии электроны могут совершать работу против сил задерживающего электрического поля между пластиной и сеткой и достигать анода (сетки). Очевидно, что максимальная начальная скорость  $v_{\text{макс}}$  фотоэлектронов связана с задерживающей разностью потенциалов  $u_3$  соотношением

$$\frac{mv_{\text{макс}}^2}{2} = eu_3, \quad (2.1)$$

где  $e$  и  $m$  – заряд и масса электрона.

При  $u = -u_3$  сила фототока  $I = 0$ . А.Г. Столетов экспериментально показал, что задерживающая разность потенциалов  $u_3$  не зависит от интенсивности падающего на фотокатод светового потока, но является линейной функцией частоты падающего света

$$u_3 = k\nu - \nu_0, \quad (2.2)$$

где  $k$  и  $\nu_0$  – константы, зависящие от природы атомов вещества антикатада и состояния его поверхности.

Из соотношений (2.1) и (2.2) следует уравнение

$$\frac{m\nu_{\max}^2}{2} = ek\nu - e\nu_0, \quad (2.3)$$

Это уравнение имеет физический смысл ( $\nu_{\max} \geq 0$ ) при условии:

$ek\nu - e\nu_0 \geq 0$ , при  $ek\nu_0 - e\nu_0 = 0$   $\nu_0 = \frac{\nu_0}{k}$  и  $\nu = 0$ , т.е. фотоэффект

прекращается. Следовательно, частота  $\nu_0$  разграничивает свет электрически фотоактивный от нефотоактивного, т.е. фотоэффекта не вызывающего.

Максимальное значение тока называется фототоком насыщения  $I_H$  и соответствует таким значениям ускоряющей разности потенциалов  $u$ , при которых все электроны, выбитые из катода (К) достигают анода (С)

$$I_H = e \cdot n, \quad (2.4)$$

где  $n$  – число фотоэлектронов, вырываемых из катода за единицу времени.

Таким образом, опытным путем установлены следующие основные законы внешнего фотоэффекта:

1. Число фотоэлектронов  $n$ , вырываемых из катода за единицу времени, пропорционально интенсивности падающего светового потока.

2. Скорость фотоэлектронов не зависит от интенсивности падающего светового потока.

3. Максимальная начальная скорость фотоэлектронов определяется частотой падающего света.

4. Для каждого вещества существует красная граница фотоэффекта, т.е. максимальная длина волны  $\lambda_0$  (или минимальная частота  $\nu_0$ ), при которой фотоэффект еще возможен. Величина  $\lambda_0$  зависит от химической природы вещества и состояния его поверхности

$$\lambda_0 = \frac{c}{\nu_0} = \frac{ck}{\nu_0}. \quad (2.5)$$

При объяснении законов внешнего фотоэффекта волновая электромагнитная теория света встретила с серьезными

трудностями. Согласно этой теории вырывание свободных электронов из металла возникает вследствие вынужденных колебаний электронов под действием поля световой волны. Если амплитуда вынужденных колебаний велика, то электрон может выйти за пределы вещества и кинетическая энергия, которую он приобретает, должна зависеть от амплитуды вынужденных колебаний, а, следовательно, от интенсивности падающего излучения ( $I \sim A^2$ ).

Это противоречит эксперименту: ИК-излучение большой интенсивности фотоэффект не вызывает, а УФ-излучение даже малой интенсивности вызывает существенный фотоэффект. Следовательно, не существует зависимости кинетической энергии, а, следовательно, скорости  $v$  фотоэлектронов от интенсивности падающего светового потока. Скорость зависит от частоты падающего светового потока.

Эти затруднения привели А. Эйнштейна к созданию в 1905 г. квантовой теории света. Согласно этой теории свет не только излучается (гипотеза Планка), но также распространяется в пространстве и поглощается веществом в виде дискретных порций энергии – квантов электромагнитного излучения.

Процесс «поглощения кванта» сводится к передаче его энергии электрону атома или молекулы вещества. В результате поглощения кванта электрон приобретает энергию  $h\nu$ . Для выхода из металла, в котором много свободных электронов, электрон должен совершить работу выхода  $A_{\text{ВЫХ}}$ . Остаток энергии поглощенного фотона переходит в кинетическую энергию фотоэлектрона. Следовательно, в соответствии с законом сохранения энергии можно записать

$$h\nu = A_{\text{ВЫХ}} + \frac{h\nu_{\text{max}}^2}{2}. \quad (2.6)$$

Это уравнение называется уравнением Эйнштейна для фотоэффекта. Внешний фотоэффект возможен в том случае, когда  $h\nu \geq A_{\text{ВЫХ}}$ . При  $h\nu_0 = A_{\text{ВЫХ}}$  частота  $\nu_0$  соответствует красной границе фотоэффекта, т.е., минимальной частоте или максимальной длине волны, при которой фотоэффект еще возможен,

$$\lambda_0 = \frac{c}{\nu_0} = \frac{c h}{A_{\text{ВЫХ}}}. \quad (2.7)$$

### **3. Приборы и оборудование**

Основные блоки установки – блок облучения, содержащий лампу ДРС-50; блок, содержащий фотоэлемент; блок управления и индикации, на передней панели которого размещена кнопка «прям.-обр.» для выбора режима измерения прямой и обратной ветви вольт-амперной характеристики (ВАХ) фотоэлемента; цифровой индикатор значений фототока (мкА) и напряжения (В) фотоэлемента. Интервал регулирования напряжений кнопками «+», «-», «сброс» от 0 до 10 В в прямом режиме и от 0 до 1 В в обратном.

### **4. Требования по технике безопасности**

1. Ознакомиться с устройством экспериментальной установки, ее принципом действия.
2. Убедиться, что установка заземлена.
3. Убедиться в исправности сетевых шнуров.
4. При выполнении эксперимента напряжение менять только в указанных пределах.

### **5. Порядок выполнения работы**

1. Включить тумблер «Сеть» на задней панели блока управления и индикации. При этом должны загореться индикаторы 000.
2. Нажать «Сброс». Установить режим измерения прямой ветви ВАХ.
3. Включить тумблер «Сеть» блока облучения на задней панели, установить светофильтр 5. Регулятором «Установка нуля» установить на цифровом индикаторе значение фототока 0 (мкА).
4. Установить светофильтр 1 и выждать 1 мин. При этом на цифровом индикаторе должно появиться значение тока при  $U = 0$ .
5. С помощью кнопок «+» и «-» изменять подаваемое на анод фотоэлемента напряжение в пределах от 0 до 10 В с шагом 1 В, одновременно считывая значения фототока на блоке индикации.
6. Нажать «Сброс». Установить режим измерения обратной ветви ВАХ.
7. С помощью кнопок «+» и «-» изменять подаваемое напряжение в обратном направлении в пределах от 0 до 1 В с шагом 0,1 В, считывая значения фототока.

8. Повторить п.п. 4-7 для светофильтров 2-4. Результаты измерений для каждого светофильтра занести в табл. 1. Длины волн максимумов пропускания светофильтров 1-4 приведены в табл. 2.

9. Отключить кнопку «Сеть» приборов.

10. Построить ВАХ для всех светофильтров.

11. Найти число фотоэлектронов, выбитых в единицу времени,

$$n = \frac{I_{\text{н}}}{e} \quad (5.1)$$

для каждой ВАХ и результаты занести в табл. 2.

12. Для найденных задерживающих потенциалов  $u_3$ , соответствующих каждому двум значениям  $\lambda$ , оценить постоянную Планка по формуле

$$h = \frac{e(u_{31} - u_{32})}{c \left( \frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right)}, \quad (5.3)$$

где  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с. Сопоставить среднюю величину  $h$  с табличным значением.

13. Оценить погрешность ( $\Delta h$ ).

Таблица 1

$u_{\text{пр. В}}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I_{\text{пр. мкА}}$										
$u_{\text{обр. В}}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$I_{\text{обр. мкА}}$										

Таблица 2

$N$	1	2	3	4
$\lambda$ , нм	407	435	546	578
$n$				

## 6. Контрольные вопросы

1. В чем заключается явление внешнего фотоэффекта?
2. Что называется «красной границей» фотоэффекта?
3. В чем заключаются законы фотоэффекта?
4. Как на основе уравнения Эйнштейна для фотоэффекта объяснить основные законы фотоэффекта?

5. Когда достигается ток насыщения?
6. Почему при  $u = 0$  фототок не равен нулю?
7. В чем заключается физический смысл задерживающей разности потенциалов?

### **Список литературы**

1. *Детлаф А.А., Яворский Б.М.* Курс физики. – М.: Academia, 2007.
2. *Савельев И.В.* Курс общей физики. – М.: Наука, 2007.
3. *Трофимова Т.И.* Курс физики. – М.: Высшая школа, 2007.