

**МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ ПЛАНКА  
МЕТОДОМ ЗАДЕРЖИВАЮЩЕГО ПОТЕНЦИАЛА**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
лабораторной работе № 80  
по курсу общей физики**

**Уфа 2000**

**Министерство общего и профессионального образования  
российской федерации  
УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
Кафедра общей физики**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ ПЛАНКА  
МЕТОДОМ ЗАДЕРЖИВАЮЩЕГО ПОТЕНЦИАЛА**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**лабораторной работе № 80**

**по курсу общей физики**

**Уфа 2000**

УДК 535.215

Составитель: Г.П. Михайлов

Определение постоянной Планка методом задерживающего потенциала:  
Методические указания к лабораторной работе № 80 по курсу общей  
физики /Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост.: Г. П. Михайлов. - Уфа, 1998, -  
11 с.

Методические указания знакомят студентов с уравнением Эйнштейна для фотоэффекта и с методом задерживающего потенциала, позволяющего определять постоянную Планка.

Студентам предлагается экспериментально получить график зависимости задерживающего потенциала от частоты падающего на фотокатод света и вычислить постоянную Планка и работу выхода.

Предназначены студентам, изучающим курс общей физики.

Ил. 4., Библиогр. : 3 назв.

Рецензенты: А. С. Краузе  
М. П. Иванов

## Содержание

1	Цель работы.....	4
2	Теоретическая часть .....	4
3	Требования к технике безопасности.....	8
4	Экспериментальная часть .....	8
4.1	Приборы и принадлежности.....	8
4.2	Описание установки .....	9
4.3	Выполнение работы.....	10
5	Контрольные вопросы.....	10
	Список рекомендуемых источников.....	11

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 80

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ ПЛАНКА МЕТОДОМ ЗАДЕРЖИВАЮЩЕГО ПОТЕНЦИАЛА

#### 1 Цель работы

- 1.1 Исследовать зависимость задерживающего потенциала от частоты падающего на фотокатод света.
- 1.2 Определить постоянную Планка и работу выхода.

#### 2 Теоретическая часть

Фотоэффектом называется испускание электронов веществом под действием электромагнитного излучения. 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 поглощается веществом отдельными порциями (квантами), энергия которых равна  $h\nu$ . Кванты электромагнитного излучения получили название фотонов.

Энергетический баланс при элементарном акте взаимодействия фотона с электроном в металле в пренебрежении энергообменом с решеткой описывается уравнением Эйнштейна

$$h\nu = A_{\text{ВЫХ}} + \frac{m \vartheta_{\text{max}}^2}{2} \quad (2.1)$$

где  $\nu$  — частота падающего света;

$\vartheta_{\text{max}}$  — максимальная скорость вылетевшего электрона;

$A_{\text{ВЫХ}}$  — работа выхода.

Энергия электронов, вылетающих из фотокатода, оказывается неодинаковой. Электроны в веществе обладают разной энергией, располагаясь по уровням разрешенных зон. Под работой выхода понимают энергию, необходимую для удаления электрона с самых верхних заполненных уровней. Энергия, которую нужно затратить, чтобы удалить электрон с ниже расположенных уровней, превосходит  $A_{\text{ВЫХ}}$  и кинетическая энергия таких электронов оказывается меньше. Кроме того электроны могут терять часть

своей энергии на пути к поверхности фотокатода. Соотношение (2.1) определяет поэтому кинетическую энергию не всех, а только наиболее быстрых фотоэлектронов. При уменьшении частоты  $\nu$  наступает момент, когда электроны, получившие энергию  $h\nu$ , в состоянии совершить только работу выхода. Соответствующая частота  $\nu_{кр}$ , определяющая красную границу фотоэффекта, находится из условия

$$h \nu_{кр} = A_{вых},$$

при котором  $\mathcal{E}_{вых} = 0$ . Очевидно, что при  $h\nu < A_{вых}$  фотоэффект невозможен.

Вообще говоря возможны еще многофотонные процессы. Например, если  $h\nu < A_{вых}$ , но  $2h\nu > A_{вых}$ , то возможен двухфотонный фотоэффект, при котором два кванта с энергией  $2h\nu$  совместным действием выбивают один фототон. Однако вероятность многофотонных процессов весьма мала, так что граница однофотонного фотоэффекта  $h \nu_{кр} = A_{вых}$  выражена достаточно отчетливо.

Фотоэффект и работа выхода в сильной степени зависит от состояния поверхности металла (в частности, от находящихся на ней окислов и адсорбированных веществ). Поэтому долгое время не удавалось проверить уравнение Эйнштейна с достаточной точностью. В 1916 году Милликен создал прибор, в котором исследуемые поверхности подвергались очистке в вакууме, после чего измерялась работа выхода и исследовалась зависимость максимальной кинетической энергии фотоэлектронов от частоты света (эта энергия определялась путем измерения задерживающего потенциала  $U_3$ ). Результаты оказались в полном согласии с формулой (2.1). Подставив в формулу (2.1) измеренные значения  $A_{вых}$  и  $[(m\nu_{max}^2)/2]$  Милликен определил значение постоянной Планка  $h$ . Метод задерживающего потенциала позволяет определить  $h$  без значения работы выхода  $A_{вых}$ , что существенно упрощает проведение эксперимента.

Рассмотрим подробнее сущность этого метода. Вольт-амперная характеристика освещенного вакуумного фотоэлемента имеет вид, изображенный на рисунке 2.1..

При отрицательном напряжении на анод попадают только достаточно быстрые электроны, так как электрическое поле между анодом и катодом оказывает тормозящее действие. Сила тока тем меньше, чем больше модуль задерживающего потенциала. Максимальная кинетическая энергия электронов связана с задерживающим потенциалом  $U_3$ , при котором прекращается ток, соотношением

$$\frac{m\vartheta_{\max}^2}{2} = eU_3 \quad (2.2)$$

где  $U_3$  — модуль напряжения;  
 $e$  — заряд электрона.

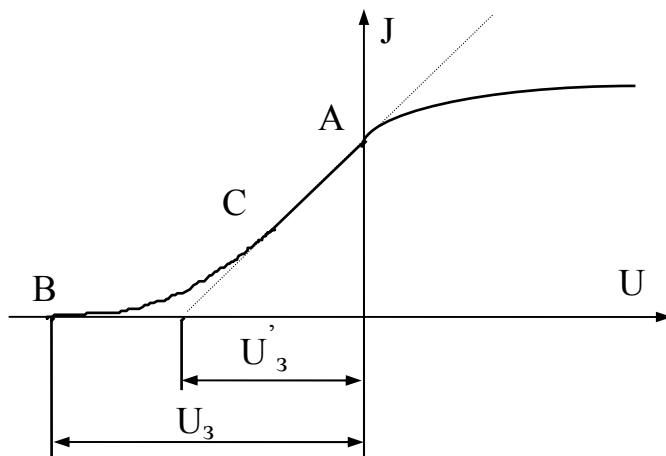


Рисунок 2.1

Подставляя (2.2) в уравнение Эйнштейна получим

$$U_3 = \frac{h\nu}{e} - \frac{A_{\text{ВЫХ}}}{e} \quad (2.3)$$

График зависимости задерживающего потенциала  $U_3$  от частоты  $\nu$  падающего на фотокатод света представлен на рисунке 2.2.

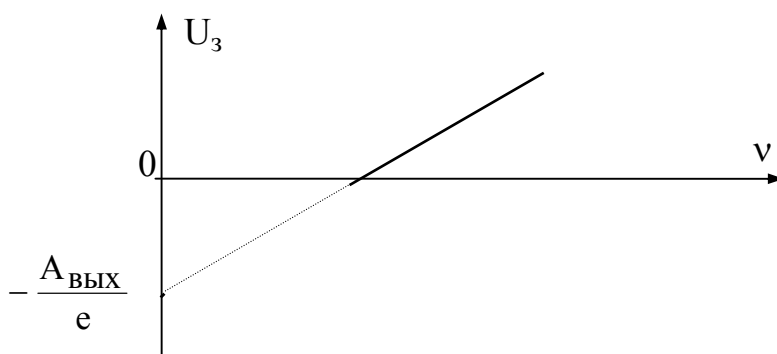


Рисунок 2.2

Запишем соотношение (2.3) для частот  $\nu_1$  и  $\nu_2$  :

$$U_1 = \frac{h}{e} \nu_1 - \frac{A_{\text{ВЫХ}}}{e} , \quad (2.4)$$

$$U_2 = \frac{h}{e} \nu_2 - \frac{A_{\text{ВЫХ}}}{e} . \quad (2.5)$$

При известных значениях  $\nu_1$  и  $\nu_2$  и измеренных значений потенциалов  $U_1$  и  $U_2$  из уравнений (2.4) и (2.5) можно вычислить постоянную Планка

$$h = e \frac{U_2 - U_1}{\nu_2 - \nu_1} , \quad (2.6)$$

и работу выхода

$$A_{\text{ВЫХ}} = e \frac{U_2 \nu_1 - U_1 \nu_2}{\nu_2 - \nu_1} . \quad (2.7)$$

На опыте обычно изучается зависимость тока в фотоэлементе от величины задерживающего потенциала. Форма кривой зависит от материала, толщины фотослоя, формы электродов и от условий освещения. Интерес представляет не сама кривая, а лишь точка В пересечения кривой с осью  $J=0$ , определяющая потенциал запирающий  $U_3$  (рисунок 2.1). Точное измерение этого потенциала наталкивается на целый ряд трудностей. Как показывает опыт кривая  $J(U)$  подходит к оси абсцисс под небольшим углом, а в некоторых случаях даже заходит в область отрицательных значений  $J$ . Значение запирающего потенциала становится при этом несколько неопределенным. Такой ход кривой, помимо рассмотренных выше причин, связан с наличием обратного фотоэффекта ( то есть фотоэффекта с анода ) и с ионными токами в фотоэлементе. В подобных случаях для определения запирающего потенциала используют касательную к кривой, взятую на прямолинейном участке  $J' = J(U)$  (рисунок 2.3). Точность эксперимента при этом составляет 10-15%.

При выполнении точных экспериментов по определению постоянной Планка применяют фотоэлементы, имеющие вид сферического конденсатора с фотокатодом на внутренней сфере (оптимальная форма электродов). В фотоэлементе создается высокий вакуум, и принимаются специальные меры для исключения контактных разностей потенциалов. В нашей установке используется обычный серийный фотоэлемент Ф-25.



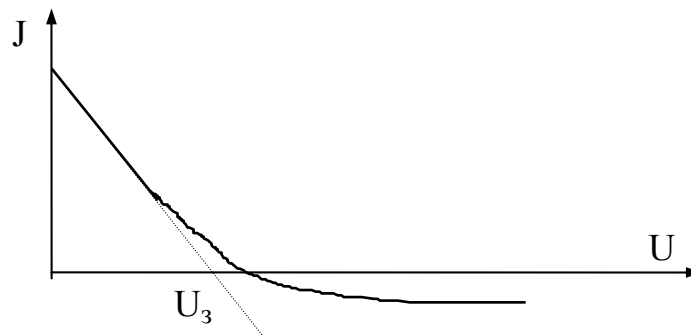


Рисунок 2.3

### 3 Требования к технике безопасности

Для электропитания экспериментальной установки используется напряжение 220 В, подводимое к розетке, расположенной на стене. Все токоведущие части установки закрыты, что исключает их возможное касание. Вся установка заземлена.

При выполнении работы необходимо:

- 1) внимательно ознакомиться с заданием и оборудованием;
- 2) проверить заземление лабораторной установки и изоляцию токоведущих проводов. Немедленно сообщить преподавателю или лаборанту о замеченных неисправностях;
- 3) не оставлять без присмотра лабораторную установку;
- 4) по окончании работы вынуть вилку из розетки и привести в порядок свое рабочее место.

### 4 Экспериментальная часть

#### 4.1 Приборы и принадлежности:

- 1) источник излучения;
- 2) блок питания;
- 3) монохроматор универсальный мологабаритный (МУМ);
- 4) приемник излучения;
- 5) микровольтнаноамперметр Ф136;
- 6) источник питания постоянного тока Б5-49.

## 4.2 Описание установки

Структурная схема установки приведена на рисунке 2.4.

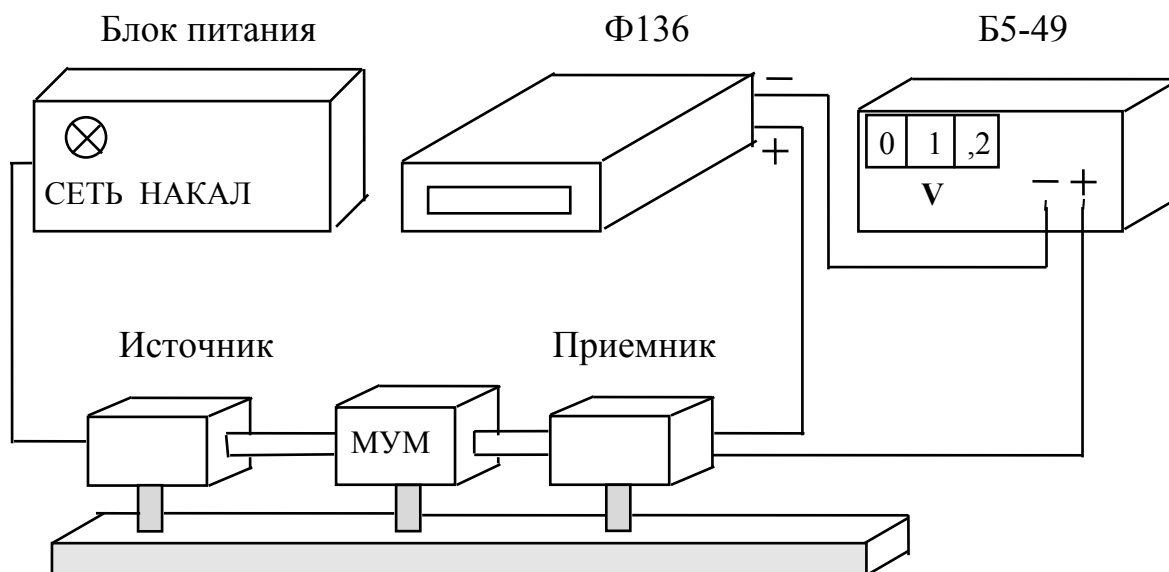


Рисунок 2.4.

В работе в качестве источника излучения используется галогенная лампа накаливания типа КГМ/12-100. Источник излучения размещен в закрытом кожухе. Световой поток выводится через конденсор, встроенный в стенку кожуха. Монохроматор предназначен для выделения монохроматического излучения в области спектра 200-800нм. В монохроматоре применена дифракционная решетка с переменным шагом нарезки и криволинейными штрихами, что дает возможность значительно скомпенсировать расфокусировку. Движение решетки обеспечивается синусным механизмом, в котором для перемещения опорной поверхности служит винт. Системой зубчатых передач синусный механизм связан с решеткой рукояткой, расположенной на торцевой стенке монохроматора, и цифровым механическим счетчиком, вмонтированным в корпус монохроматора, с помощью которого осуществляется непосредственный отсчет длин волн с точностью  $\pm 0,2$  нм. Блок питания обеспечивает питание источника излучения. Схемой предусмотрено изменение накала лампы источника излучения переключателем «Накал-недонакал». Приемник излучения состоит из фотоэлемента типа Ф-25. Фотоэлемент принимает излучение, падающее на катод. С анодной нагрузки фотоэлемента сигнал подается на вход микровольтнаноамперметра постоянного тока Ф136, который представляет

собой электроизмерительный прибор для измерений малых величин постоянного тока и напряжений. В качестве источника запирающего напряжения используется источник типа Б5-49, позволяющий регулировать тормозящий потенциал на фотоэлементе.

### 4.3 Выполнение работы

4.3.1 Подключить блок питания источника излучения, микровольтнаноамперметр и источник задерживающего напряжения к сети.

4.3.2 Включить тумблер «СЕТЬ» на передней панели блока питания. Тумблер «НАКАЛ - НЕДОНАКАЛ» установить в положение «НАКАЛ».

4.3.3 На лицевой панели микровольтнаноамперметра нажмите переключатель единиц измерения «пА» (единица измерения  $1\text{пА}=10^{-9}\text{А}$ ) и установите галетный переключатель диапазонов измерений в положение «100» (предельное значение тока равно 100 пА). Отчет значений производится с помощью светового указателя. Если световой указатель «уходит за пределы» шкалы, то необходимо перейти на более высокий предел измерений.

4.3.4 Установить на монохроматоре длину волны излучения, равную 400 нм.

4.3.5 Изменяя на источнике тока Б5-49 величину задерживающего напряжения от нуля до 1,5 В снять зависимость  $J(U_3)$ . Результаты изобразить на миллиметровке графически и по графику определить значение запирающего потенциала  $U_3$ . Провести аналогичные измерения для  $\lambda=500\text{нм}$ ,  $\lambda=600\text{нм}$ . При измерениях на новой длине волны возможен переход на другой диапазон измерений микровольтнаноамперметра.

4.3.6 Построить график зависимости  $U_3(\nu)$  (смотри рисунок 2.2), предварительно совершив переход от длин волн к частотам по формуле  $\nu = \frac{c}{\lambda}$ , где  $c=3\cdot 10^8\text{ м/с}$ , и из графика для двух значений частот по формулам (2.6), (2.7) вычислить постоянную Планка и работу выхода.

## 5 Контрольные вопросы

- 1 Объяснить из закона сохранения энергии уравнение Эйнштейна для фотоэффекта.
- 2 Что называется красной границей фотоэффекта и от чего зависит ее значение?
- 3 Как определить работу выхода путем измерений красной границы фотоэффекта?

- 4 Объяснить вольт-амперную характеристику вакуумного фотоэлемента.
- 5 В чем заключается сущность многофотонного фотоэффекта ?
- 6 Как определяется постоянная Планка по методу задерживающего потенциала ?
- 7 Почему для определения задерживающего потенциала целесообразно использовать только прямолинейный участок характеристики ?

### **Список рекомендуемых источников**

- 1 И.В. Савельев. Курс физики. Т.3. - М.: Наука, 1989.
- 2 Т.И. Трофимова. Курс физики. - М.: Высшая школа, 1994.
- 3 Лабораторный практикум по общей физике. - М.: Просвещение, 1985.

МИХАЙЛОВ Геннадий Петрович

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ ПЛАНКА  
МЕТОДОМ ЗАДЕРЖИВАЮЩЕГО ПОТЕНЦИАЛА**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
лабораторной работе № 80  
по курсу общей физики

Редактор  
ЛБ №

Подписано к печати . Формат 80 x 64 1/16.  
Бумага оберточная. Печать плоская. Усл. печ. л. 2,5.  
Усл.-кр.-отт. . Уч-изд.л. . Тираж экз.  
Заказ № .

Уфимский государственный авиационный технический университет  
Уфимская типография № 2 Министерства печати и массовой информации  
Республики Башкортостан

450000, Уфа-центр, ул. К.Маркса, 12