

Лабораторная работа 5.1.1

Фотоэффект

Шерхалов Денис Б02-204и
Фаттахов Марат Б02-204кт

26 ноября 2024 г.

В работе: исследовать зависимость фототока от величины задерживающего потенциала и частоты падающего излучения, что позволяет вычислить величину постоянной Планка.

1. Введение

Фотоэффект — явление испускания электронов фотокатодом, облучаемым светом. Это явление хорошо объясняется фотонной теорией света. Взаимодействие монохроматического света с веществом можно описывать как взаимодействие с веществом частиц, называемых фотонами, которые обладают энергией $\hbar\omega$ и импульсом $\hbar\omega/c$. При столкновении фотона с электроном фотокатода энергия фотона полностью передается электрону, и фотон прекращает свое существование. Энергетический баланс этого взаимодействия для вылетающих электронов описывается уравнением

$$\hbar\omega = E_{\text{кин}} + A_{\text{вых}} \quad (1)$$

Здесь $E_{\text{кин}}$ — максимальная кинетическая энергия электрона после выхода из фотокатода, $A_{\text{вых}}$ — работа выхода электрона из катода. Реально энергетический спектр вылетевших из фотокатода электронов непрерывен — он простирается от нуля до $E_{\text{кин}}$.

Для измерения энергии вылетевших фотоэлектронов вблизи фотокатода обычно располагается второй электрод (анод), на который подается задерживающий ($V < 0$) или ускоряющий ($V > 0$) потенциал. При достаточно больших ускоряющих напряжениях фототок достигает насыщения (рис. 1): все испущенные электроны попадают на анод.

При задерживающих потенциалах на анод попадают лишь электроны, обладающие достаточно большой кинетической энергией, в то время как медленно движущиеся электроны заворачиваются полем и возвращаются на катод. При некотором значении $V = -V_0$ (потенциал запираения)

Рис. 1: Зависимость фототока от напряжения на аноде фотоэлемента

даже наиболее быстрые фотоэлектроны не могут достичь анода. Максимальная кинетическая энергия $E_{\text{кин}}$ электронов связана с запирающим потенциалом V_0 очевидным соотношением $E_{\text{кин}} = eV_0$. Тогда (1) примет вид, называемый уравнением Эйнштейна:

$$eV_0 = \hbar\omega - A_{\text{вых}} \quad (2)$$

Чтобы определить величину запирающего напряжения, нам надо правильно экстраполировать получаемую токовую зависимость к нулю, т. е. определить, какова функциональная зависимость $I(V)$. Расчет для простейшей геометрии — плоский катод, освещаемый светом, и параллельный ему анод — приводит к зависимости

$$\sqrt{I} \propto V_0 - V \quad (3)$$

т. е. корень квадратный из фототока линейно зависит от запирающего напряжения. Эта зависимость хорошо описывает экспериментальные данные.

В работе изучается зависимость фототока из фотоэлемента от величины задерживающего потенциала V для различных частот света ω , лежащих в видимой области спектра. С целью экспериментальной проверки уравнения Эйнштейна определяются потенциалы записания V_0 при разных частотах света и строится зависимость $V_0(\omega)$, которая, как это следует из (2), должна иметь вид

$$V_0(\omega) = \frac{\hbar\omega - A_{\text{вых}}}{e}$$

Потенциал записания V_0 для любого катода линейно зависит от частоты света ω . По наклону прямой на графике $V_0(\omega)$ (рис. 2) можно определить постоянную Планка:

$$\frac{dV_0}{d\omega} = \frac{\hbar}{e} \quad (4)$$

Как показывает формула (4), угол наклона прямой $V_0(\omega)$ не зависит от рода вещества, из которого изготовлен фотокатод. От рода вещества, однако, зависит величина фототока, работа выхода W и форма кривой $I(V)$ (рис. 1). Все это определяет выбор пригодных для опыта катодов.

2. Выполнение

Сначала выполним градуировку монохроматора. Проведем серию измерений для линий спектра неона, снимая зависимость длины волны света от параметра θ барабана монохроматора. Результаты занесем в Таблицу 1 и построим график зависимости $\lambda(\theta)$.

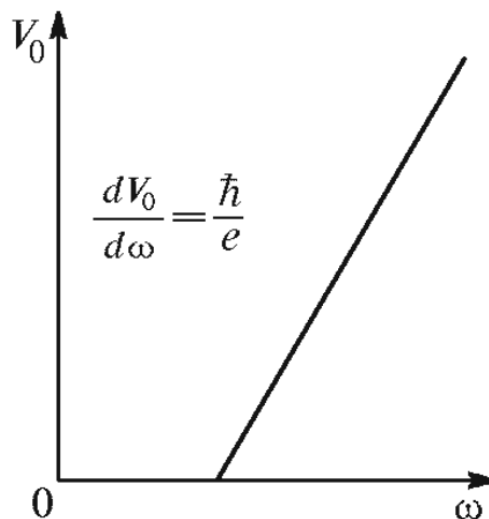


Рис. 2: Зависимость запирающего потенциала от частоты света

Таблица 1: Калибровка

$\theta, ^\circ$	1892	2150	2196	2288	2396	2500
$\lambda, \text{\AA}$	5401	5852	5945	6143	6402	6507

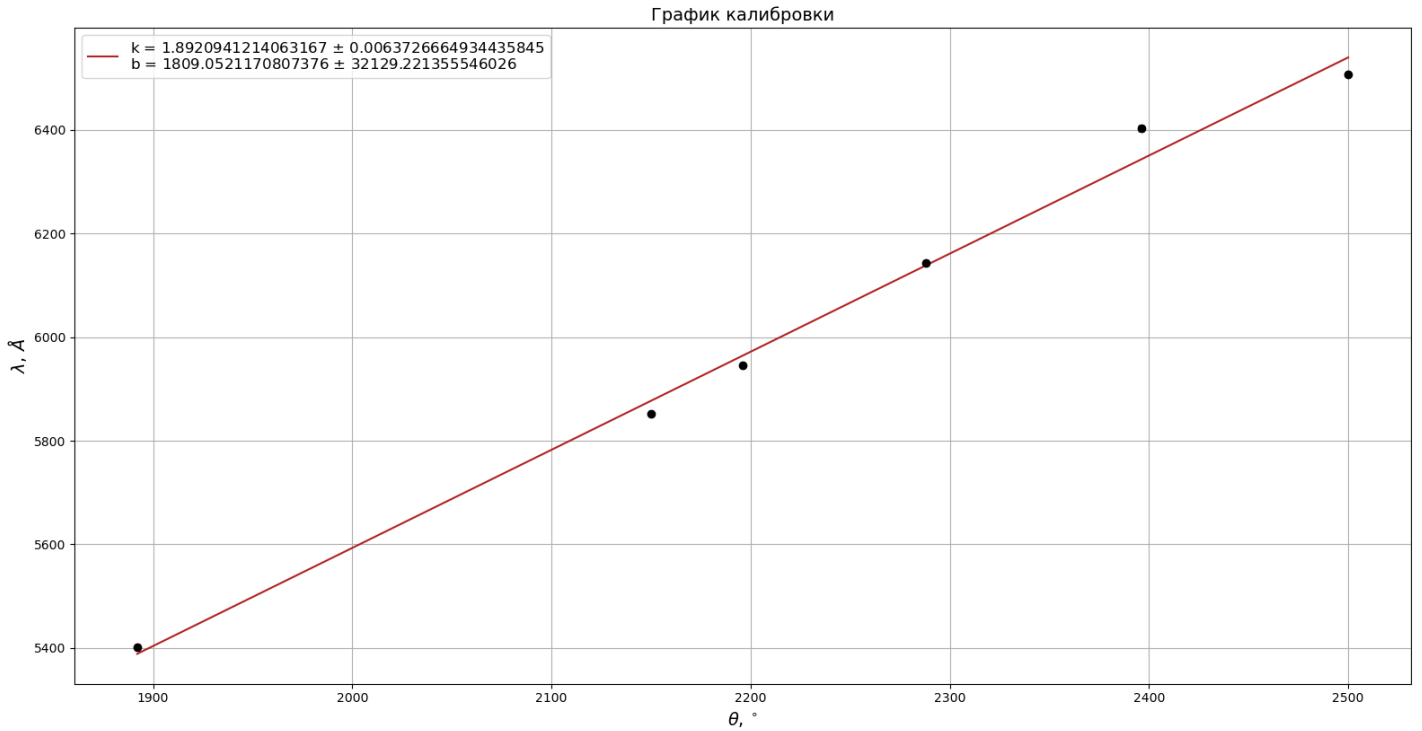


Рис. 3: Калибровка

Теперь проведем 5 серий измерений зависимости фототока от напряжения для разных длин волн падающего света, изменяя на монохроматоре параметр θ и переводя его в длину волны с помощью градуировки. Ток приведен в безразмерных единицах в силу работы установки.

Таблица 2: U_I для соответствующих λ и U

	$\lambda = 1690\text{\AA}$	$\lambda = 1790\text{\AA}$	$\lambda = 1890\text{\AA}$	$\lambda = 1990\text{\AA}$	$\lambda = 2090\text{\AA}$
$U = -0.6$	0.021	0.016	0.000	0.011	0.007
$U = -0.55$	0.039	0.031	0.010	0.027	0.01
$U = -0.5$	0.059	0.052	0.032	0.050	0.029
$U = -0.45$	0.081	0.075	0.059	0.078	0.056
$U = -0.4$	0.107	0.103	0.090	0.112	0.088
$U = -0.35$	0.133	0.134	0.129	0.148	0.122
$U = -0.3$	0.166	0.168	0.172	0.191	0.165
$U = -0.25$	0.199	0.205	0.218	0.236	0.212
$U = -0.2$	0.230	0.242	0.264	0.279	0.263

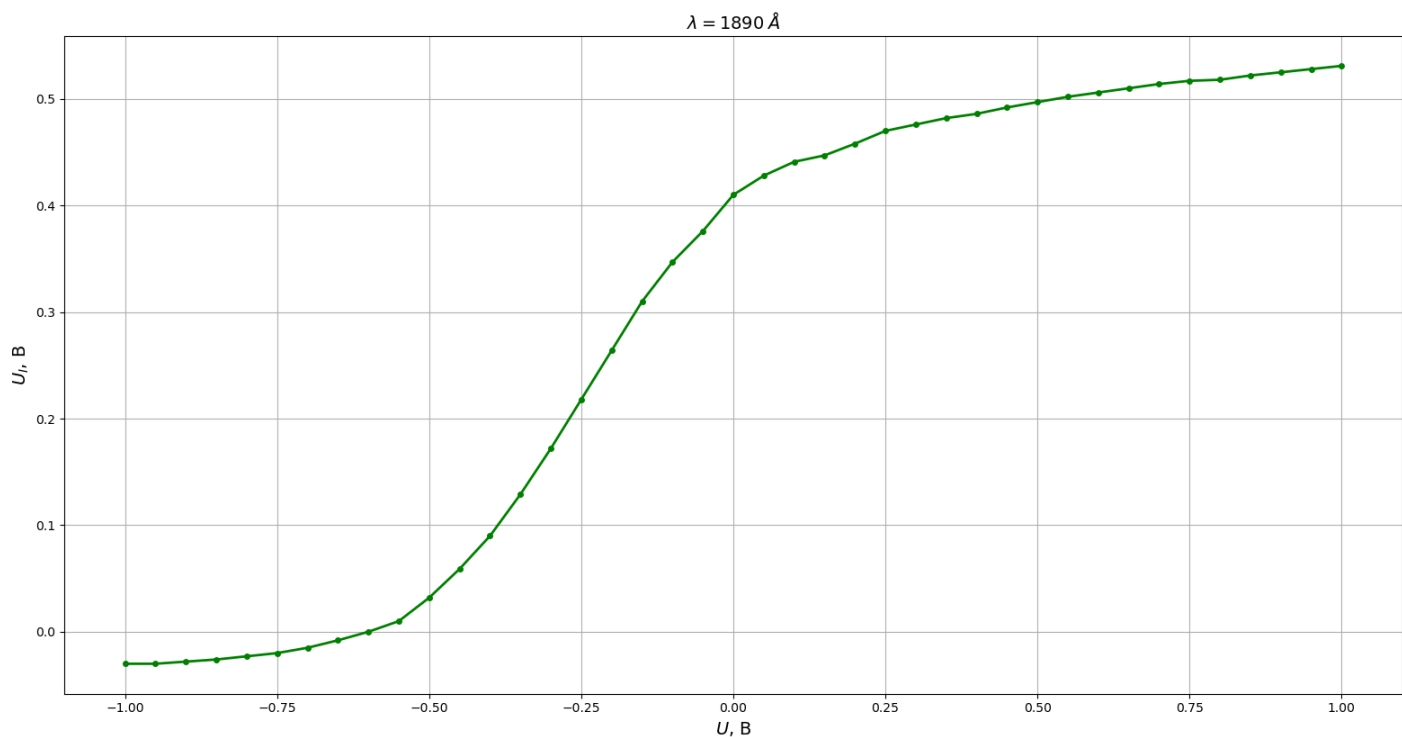


Рис. 4: Зависимость фототока от напряжения для $\lambda = 1890 \text{ \AA}$

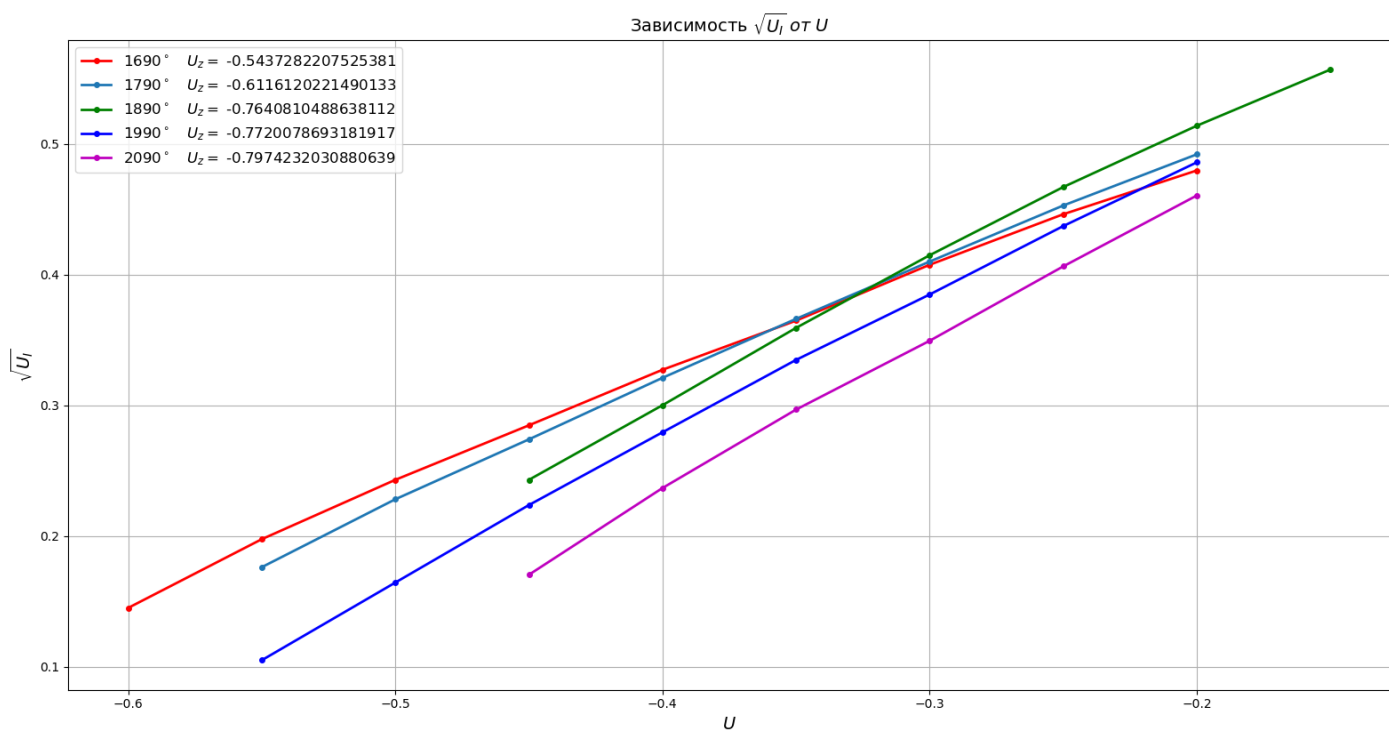


Рис. 5: Корень из зависимости фототока от напряжения

Вблизи потенциала записания, искомая зависимость описывается формулой (3). Согласно этой формуле (3), построим график зависимости в координатах $\sqrt{I}(V)$ и аппроксимируем линейные участки прямой. Экстраполируя прямую к нулю, получим значения потенциала записания для каждой серии измерения (длины волны).

Таблица 3: $U_{\text{зап}}$ для соответствующих λ

$\lambda, \text{\AA}$	1690	1790	1890	1990	2090
U_z	-0.544	-0.612	-0.764	-0.772	-0.797

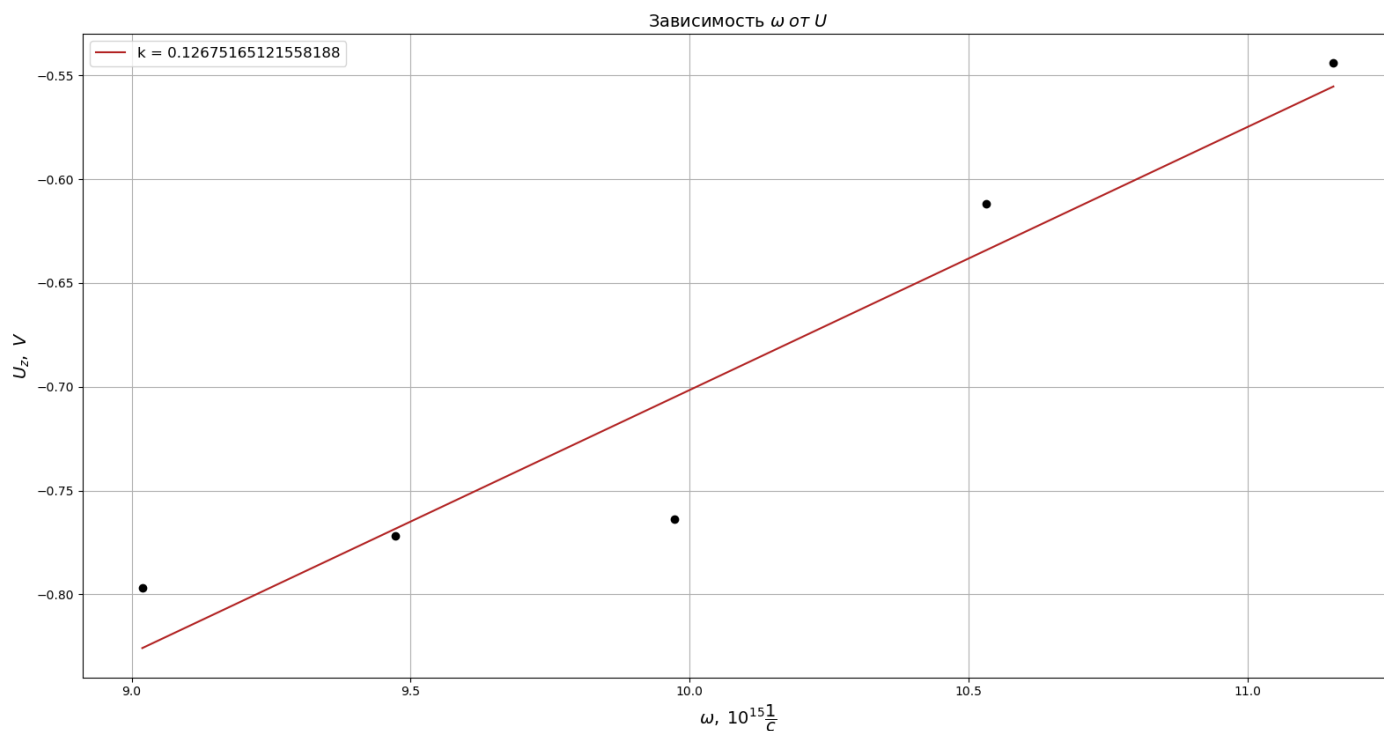


Рис. 6: Зависимость запирающего потенциала от циклической частоты

$$\frac{\hbar}{e} = k = (0.126 \pm 0.005) \cdot 10^{-15} \frac{\text{Дж} \cdot \text{с}}{\text{Кл}}$$

$$\hbar = 0.2 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

По порядку это согласуется с табличным значением $\hbar = 1,054 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$.

3. Вывод

Таким образом, в ходе выполнения работы мы проверили Эйнштейновское описание фотоэффекта и с помощью уравнения последнего измерили постоянную Планка. Результат по порядку соответствуют табличному значению.