

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
ФИЗТЕХ-ШКОЛА РАДИОТЕХНИКИ И КИБЕРНЕТИКИ

Фотоэффект

Работу выполнил:
Шурыгин Антон Алексеевич, группа Б01-909

Долгопрудный, 2021

Содержание

1	Теория	3
2	Экспериментальная установка	5
3	Ход работы и обработка данных	7
4	Вывод	9

Цель работы: проведение измерения температуры оптическим пирометром с исчезающей нитью и термопарой, определение постоянных Планка и Стефана-Больцмана, исследование излучение накаливаемых тел с различной испускательной способностью.

Оборудование: оптический пирометр, модель абсолютно чёрного тела, образцы колец, вольфрамовая лампа, неоновая лампа, блок питания, цифровые вольтметры.

Цель работы: исследовать зависимость фототока от величины задерживающего потенциала и частоты падающего излучения, вычислить величину постоянной Планка.

1 Теория

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

$$\hbar\omega = E_{\max} + Wx \quad (1)$$

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

Для измерения энергии вылетевших фотоэлектронов вблизи фотокатода обычно располагается второй электрод (анод), на который подается задерживающий ($V < 0$) или ускоряющий ($V > 0$) потенциал. При

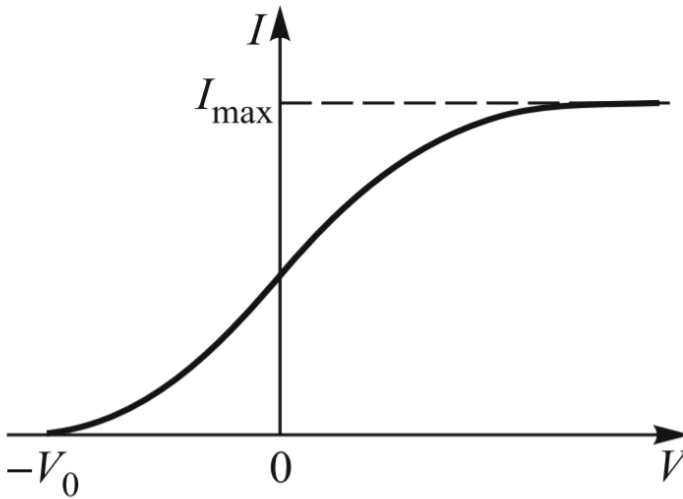


Рис. 1 Зависимость фототока от напряжения на аноде фотоэлемента

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

$$eV_0 = \hbar\omega - W \quad (2)$$

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 запираения V_0 при разных частотах света и строится зависимость $V_0(\omega)$, которая, как это следует из (2), должна иметь вид

$$V_0(\omega) = \frac{\hbar\omega - W}{e} \quad (4)$$

Потенциал запираения 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:

$$\frac{dV_0}{d\omega} = \frac{\hbar}{e} \quad (5)$$

Как показывает формула (5), 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 Экспериментальная установка

Схема установки приведена на рисунке 3. Свет от источника S с помощью конденсора фокусируется на входную щель призматического монохроматора УМ-2, выделяющего узкий спектральный интервал, и попадает на катод фотоэлемента ФЭ.

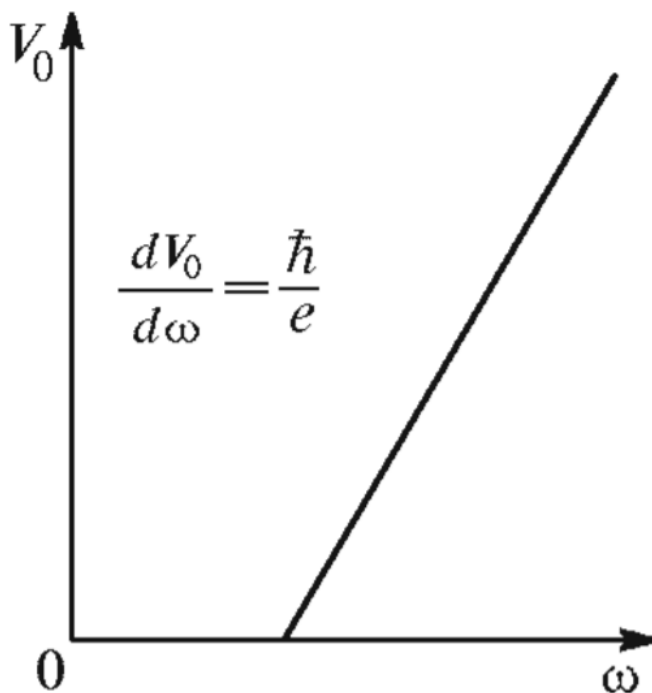


Рис. 2 Зависимость запирающего потенциала от частоты света

Фотоэлемент конструктивно представляет собой откачанный до высокого вакуума стеклянный баллон диаметром 25 мм и высотой 30 мм. Внутри баллона расположены два электрода: фотокатод и анод. Фотокатод представляет собой тонкую пленку металла, легированного элементами Na, K, Sb и C и расположенного на массивной металлической пластине. Анод фотоэлемента выполнен в виде пояска тонкой пленки, осажденной на внутренней части боковой поверхности сверху баллона. Такое расположение фотокатода и анода обеспечивает наиболее полный сбор на аноде электронов, эмитированных фотокатодом. Фотокатод и анод имеют вплавленные в стекло колбы никелевые выводы для подключения к внешней схеме. Такой фотоэлемент обладает спектральной чувствительностью в

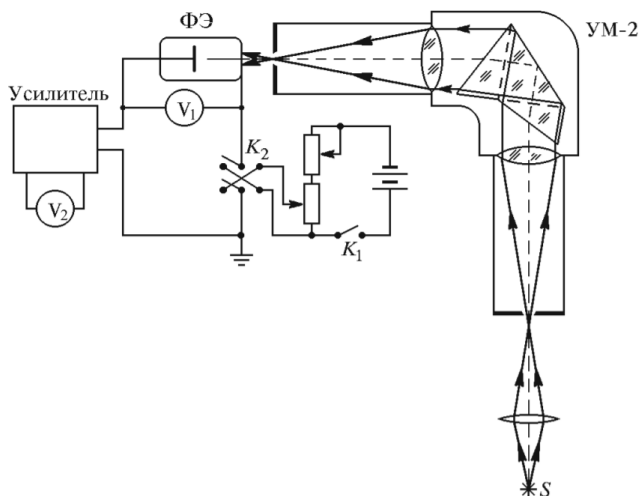


Рис. 3 Принципиальная схема экспериментальной установки

области длин волн от 300 до 850 нм. Наибольшая чувствительность ФЭ лежит в области от 400 до 500 нм.

Фототок, протекающий фотоэлементе, мал, особенно при потенциалах V , близких к V_0 , и не может быть измерен непосредственно. Для его измерения используется усилитель постоянного тока. Для уменьшения погрешностей измерений, обусловленных наводками, усилитель фототока смонтирован в одной корпусе с ФЭ.

3 Ход работы и обработка данных

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 и используем в будущем для измерений.

Теперь проведем 5 серий измерений зависимости фототока от напряжения для разных длин волн падающего света, изменяя на монохро-

λ	$^{\circ}$
7032	2606
6929	2579
6717	2512
6878	2500
6599	2472
6533	2454
6507	2440
6402	2404
6380	2395
6334	2378
6305	2364
6267	2350
6217	2330
6164	2305
6096	2275
6074	2266
6030	2246
5976	2222
5945	2206
5882	2178
5852	2162

Таблица 1 : данные для градуировочной кривой

маторе параметр θ и переводя его в длину волны с помощью градуировки. Результаты измерений сведем в таблицы.

$$\alpha = \frac{\langle xy \rangle - \langle x \rangle \langle y \rangle}{\langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2} \quad (6)$$

$$\sigma_{\alpha} = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\langle y^2 \rangle - \langle y \rangle^2}{\langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2} - \Lambda^2} \quad (7)$$

Зная наклона $\frac{dV_0}{d\omega}$ прямой и рассчитан погрешность МНК, найдем значение постоянной Дирака \Rightarrow постоянной Планка:

$$\hbar = \left(\frac{dV_0}{d\omega} \pm \sigma_{\frac{dV_0}{d\omega}} \right) \cdot e \approx (0,46 \pm 0,056) \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

4 Вывод

Таким образом, в ходе выполнения работы мы убедились в явлении фотоэффекта и с помощью уравнения Эйнштейна измерили постоянную Дирака.

К сожалению измеренное значение постоянной Дирака отличается от табличного значения в пределах погрешности МНК приблизительно в два раза. Причин, объясняющих это, я нашел несколько:

- неточное определение длин волны спектра неона
- недостаточно верная оценка погрешности измеряемых напряжений

$\theta, ^\circ$	$U(I)$	$V_{\Phi\Xi}$	$\sigma_{U(I)}$	$\sigma_{V_{\Phi\Xi}}$
2404	0,036	0,302	0,0004	0,003
	0,032	0,262	0,0004	0,003
	0,027	0,202	0,0004	0,003
	0,02	0,121	0,0004	0,003
	0,016	0,039	0,0004	0,003
	0,009	-0,062	0,0004	0,003
	0,006	-0,162	0,0004	0,003
	0	-0,303	0,0004	0,003

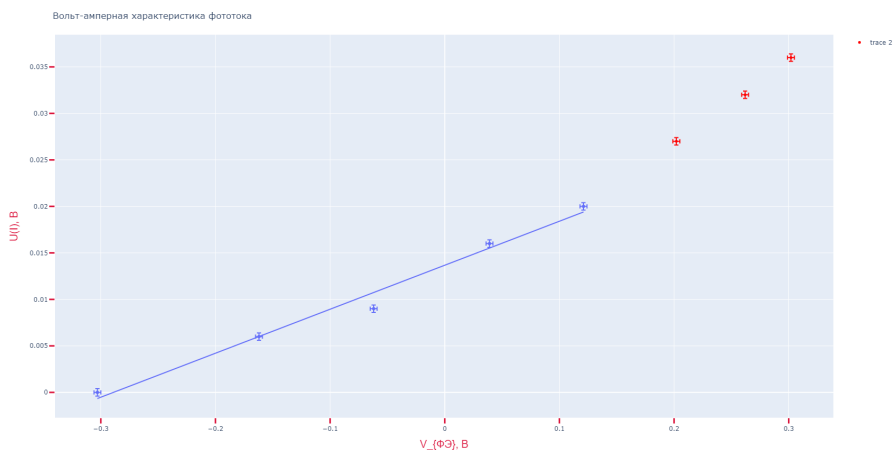
Таблица 2 : данные для ВАХ при $\lambda = 6402 \text{ \AA}$ 

Рис. 4 Вольт-амперная характеристика для таблицы 2

$\theta, ^\circ$	$U(I)$	$V_{\Phi\Xi}$	$\sigma_{U(I)}$	$\sigma_{V_{\Phi\Xi}}$
2275	0,038	0,301	0,0004	0,003
	0,031	0,259	0,0004	0,003
	0,026	0,201	0,0004	0,003
	0,021	0,12	0,0004	0,003
	0,018	0,04	0,0004	0,003
	0,012	-0,061	0,0004	0,003
	0,007	-0,161	0,0004	0,003
	0,003	-0,302	0,0004	0,003

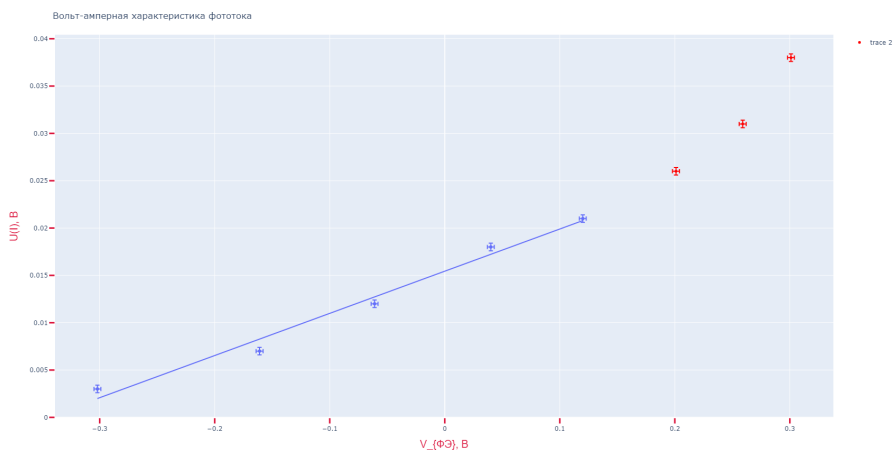
Таблица 3 : данные для ВАХ при $\lambda = 6096 \text{ \AA}$ 

Рис. 5 Вольт-амперная характеристика для таблицы 3

$\theta, ^\circ$	$U(I)$	$V_{ФЭ}$	$\sigma_{U(I)}$	$\sigma_{V_{ФЭ}}$
2162	0,032	0,3	0,0004	0,003
	0,027	0,261	0,0004	0,003
	0,024	0,2	0,0004	0,003
	0,021	0,121	0,0004	0,003
	0,015	0,039	0,0004	0,003
	0,011	-0,06	0,0004	0,003
	0,008	-0,162	0,0004	0,003
	0,004	-0,3	0,0004	0,003
	0,002	-0,351	0,0004	0,003

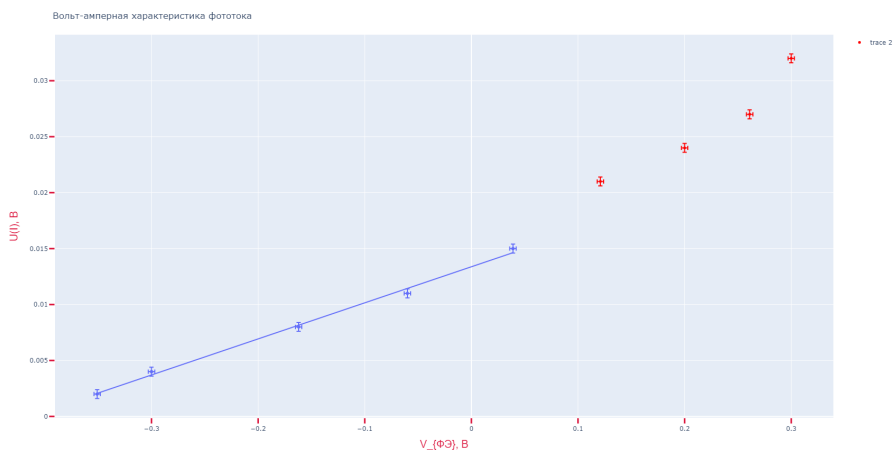
Таблица 4 : данные для ВАХ при $\lambda = 5852 \text{ \AA}$ 

Рис. 6 Вольт-амперная характеристика для таблицы 4

$\theta, ^\circ$	$u(I)$	$V_{\Phi\Xi}$	$\sigma_{u(I)}$	$\sigma_{V_{\Phi\Xi}}$
2500	0,514	7	0,005	0,07
	0,5	5,999	0,005	0,07
	0,48	5	0,005	0,07
	0,472	4,495	0,005	0,07
	0,456	3,999	0,005	0,07
	0,434	3,505	0,005	0,07
	0,406	2,998	0,005	0,07
	0,36	2,5	0,005	0,07
	0,273	1,998	0,005	0,07
	0,165	1,49	0,005	0,07
	0,13	1,25	0,005	0,07
	0,087	1,002	0,005	0,07
	0,06	0,75	0,005	0,07
	0,038	0,5	0,005	0,07
	0,021	0,249	0,005	0,07
	0,013	0,1	0,005	0,07
	0,008	0,009	0,005	0,07
	0,006	-0,05	0,005	0,07
	0,003	-0,1	0,005	0,07
	0,002	-0,15	0,005	0,07
	0,001	-0,2	0,005	0,07
	0	-0,249	0,005	0,07

Таблица 5 : данные для ВАХ при $\lambda = 6678 \text{ \AA}$

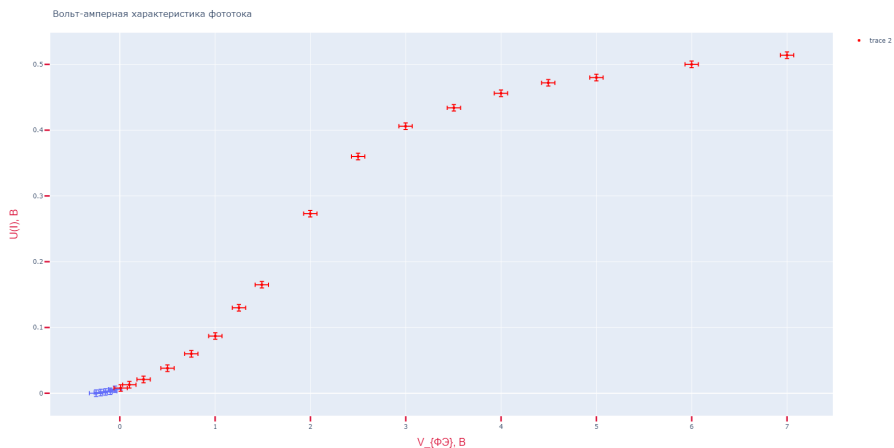


Рис. 7 Вольт-амперная характеристика для таблицы 5

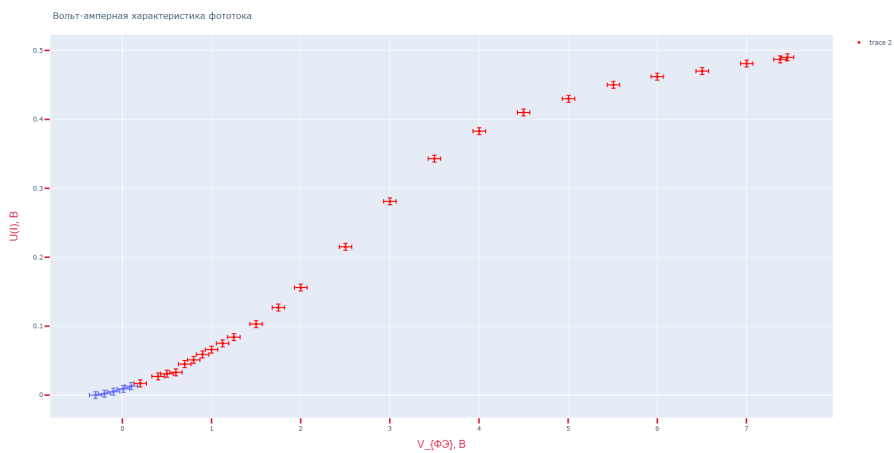


Рис. 8 Вольт-амперная характеристика для таблицы 6

$\theta, ^\circ$	$U(I)$	$V_{ФЭ}$	$\sigma_{U(I)}$	$\sigma_{V_{ФЭ}}$
2162	0,49	7,46	0,005	0,07
	0,487	7,377	0,005	0,07
	0,481	7,003	0,005	0,07
	0,47	6,504	0,005	0,07
	0,462	6	0,005	0,07
	0,45	5,508	0,005	0,07
	0,43	5,005	0,005	0,07
	0,41	4,5	0,005	0,07
	0,383	4,003	0,005	0,07
	0,343	3,5	0,005	0,07
	0,281	3	0,005	0,07
	0,215	2,503	0,005	0,07
	0,156	2,001	0,005	0,07
	0,127	1,75	0,005	0,07
	0,103	1,5	0,005	0,07
	0,084	1,25	0,005	0,07
	0,075	1,125	0,005	0,07
	0,066	1	0,005	0,07
	0,059	0,9	0,005	0,07
	0,051	0,8	0,005	0,07
	0,045	0,7	0,005	0,07
	0,033	0,6	0,005	0,07
	0,031	0,5	0,005	0,07
	0,027	0,4	0,005	0,07
	0,017	0,2	0,005	0,07
	0,013	0,1	0,005	0,07
	0,009	0,01	0,005	0,07
	0,005	-0,1	0,005	0,07
	0,002	-0,2	0,005	0,07
	0	-0,3	0,005	0,07

Таблица 6 : данные для ВАХ при $\lambda = 6507 \text{ \AA}$

$\omega, \text{с}^{-1} \cdot 10^{15}$	a	b	$V_0, \text{В}$	$\sigma_{V_0}, \text{В}$	$\sigma_{\omega} \text{с}^{-1} \cdot 10^{15}$
2,94	0,04731	0,01367	0,28895	0,004	0,02
3,09	0,04454	0,01544	0,34665	0,004	0,02
3,22	0,03223	0,01337	0,41483	0,004	0,02
2,82	0,02812	0,00661	0,23506	0,004	0,02
2,9	0,03264	0,00899	0,27543	0,004	0,02

Таблица 7 : данные построения зависимости запирающего потенциала от частоты света

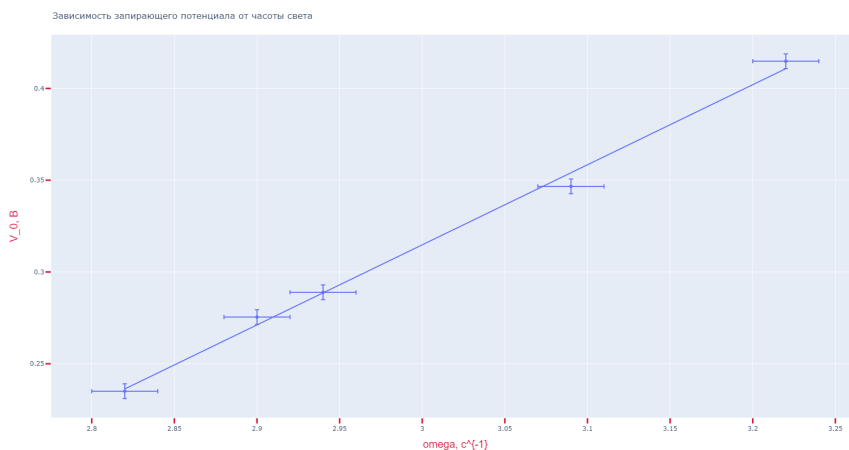


Рис. 9 Вольтамперная характеристика