

# Определение удельного заряда электрона

Выполнил:

Тотров Дмитрий,  
ученик МБОУ лицей  
№38

группа 2  
Научный руководитель:

Учитель физики и  
астрономии

Тукова Надежда Борисовна

Нижний Новгород

2014 г.

Заряд электрона:  
 $e = - 1,6021892 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$

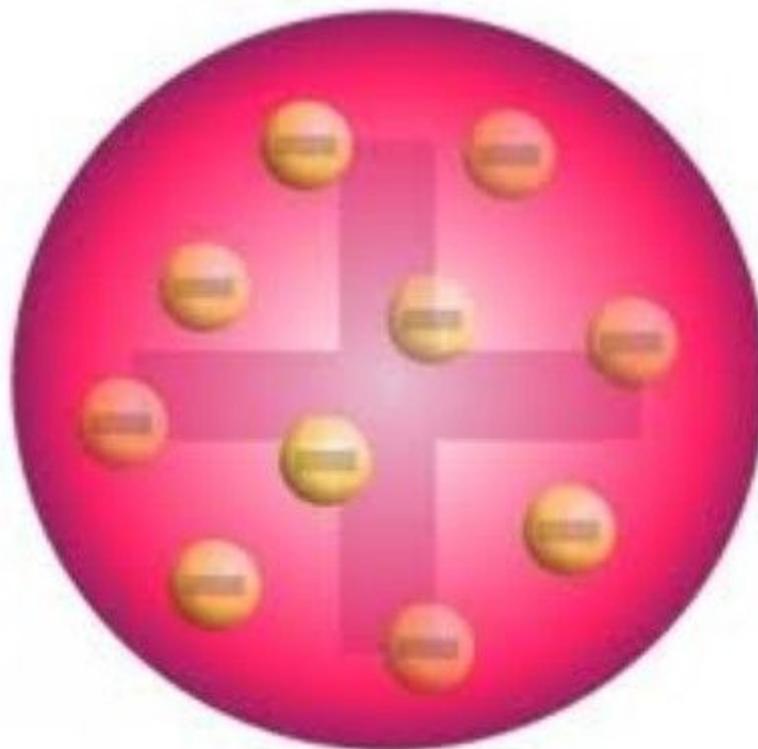
Масса электрона:  
 $m = 9,109534 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$

# История открытия электрона



Джозеф Джон  
Томсон

# История открытия электрона



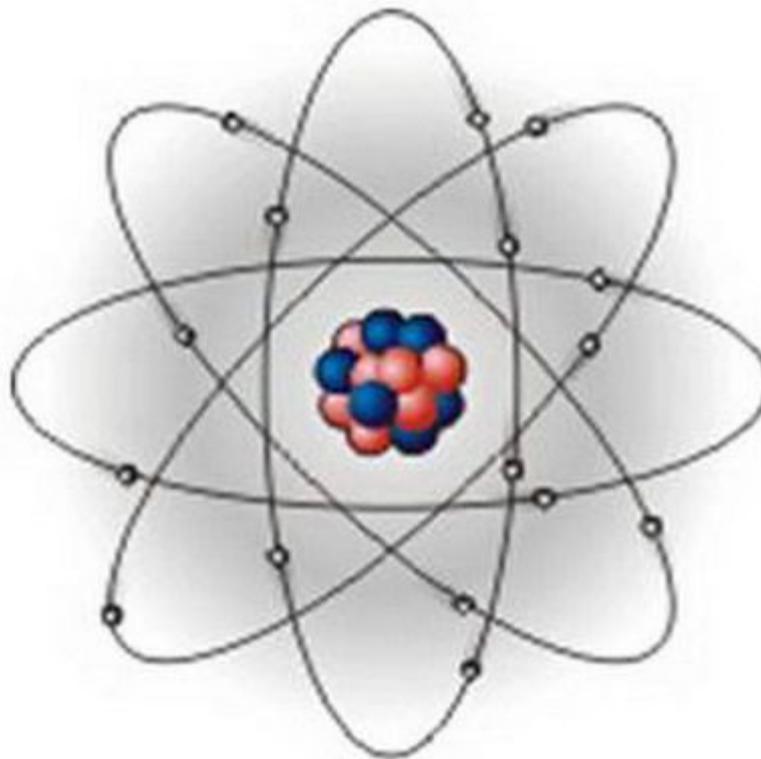
Модель атома  
Томсона

# История открытия электрона



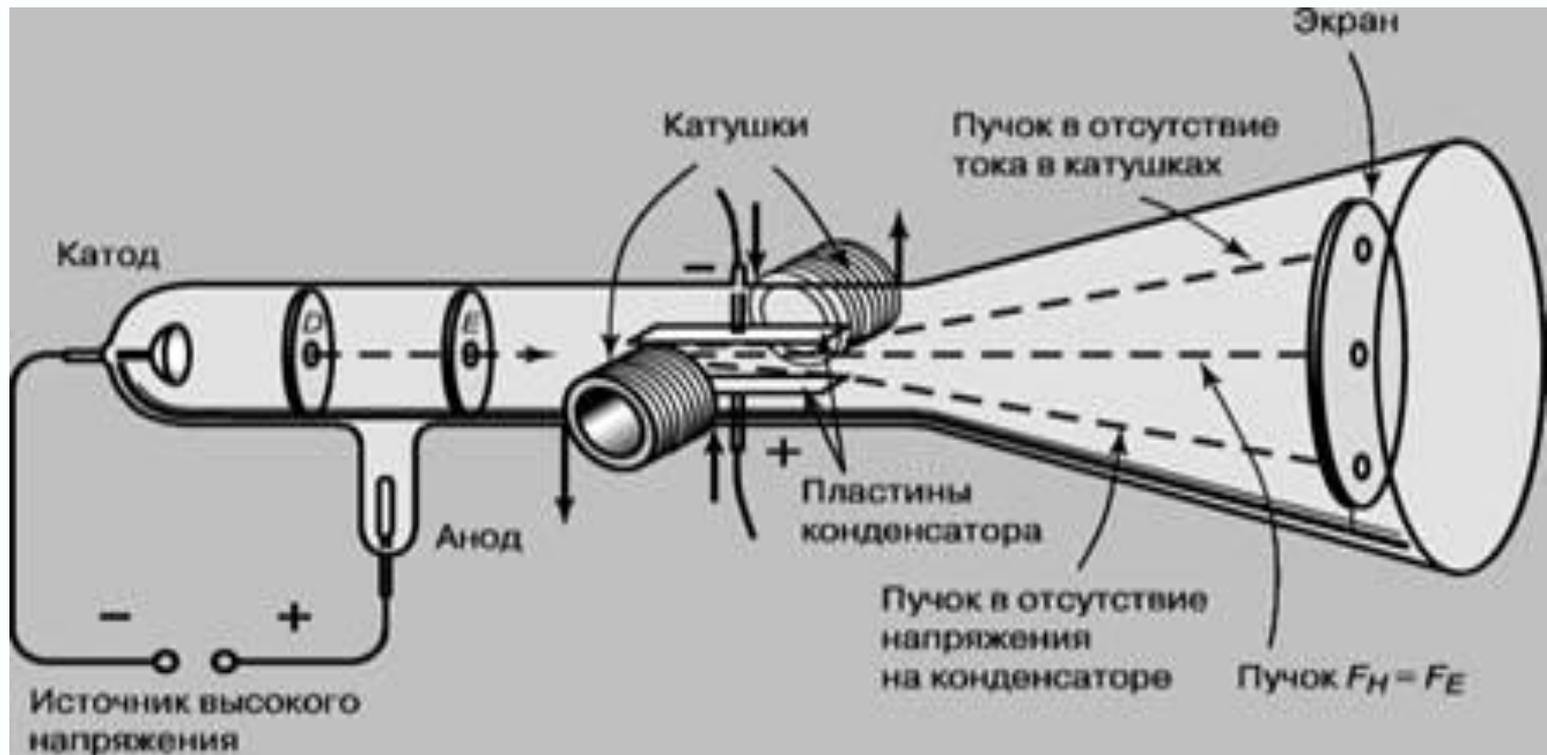
Эрнест  
Резерфорд

# История открытия электрона



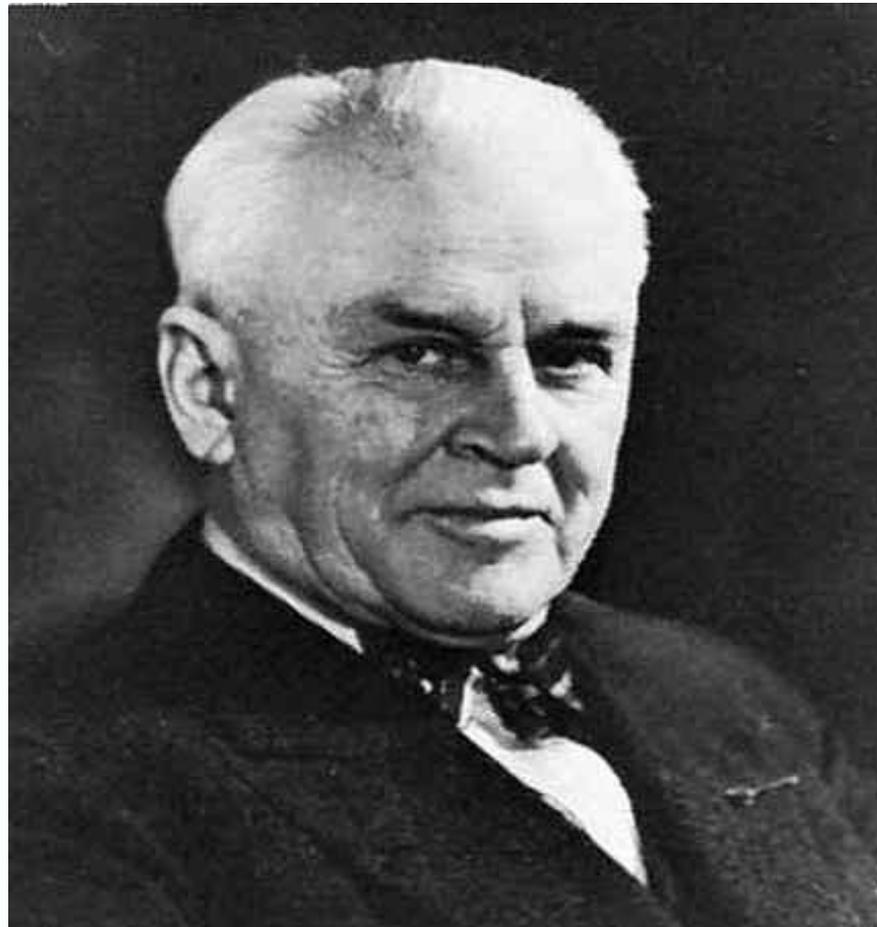
Планетарная модель  
атома

# История открытия электрона



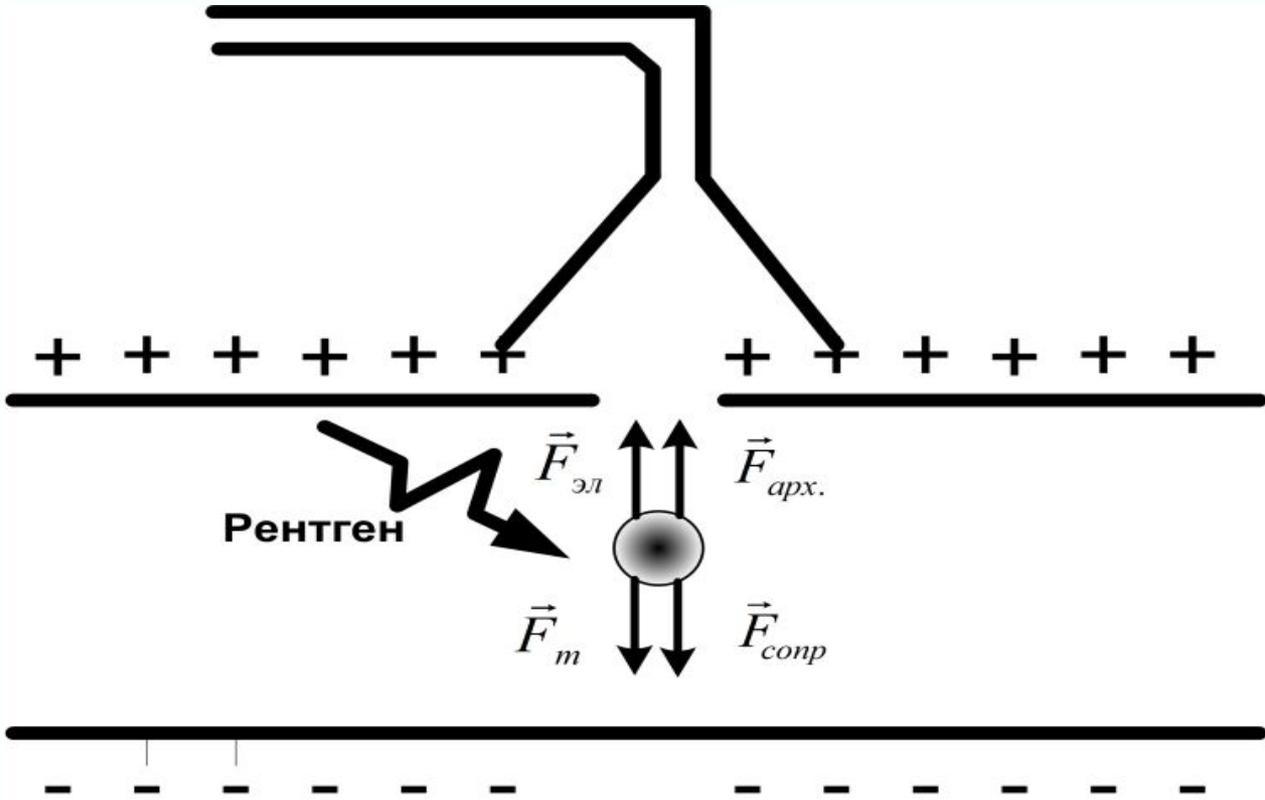
## Опыт Томсона

# История открытия электрона



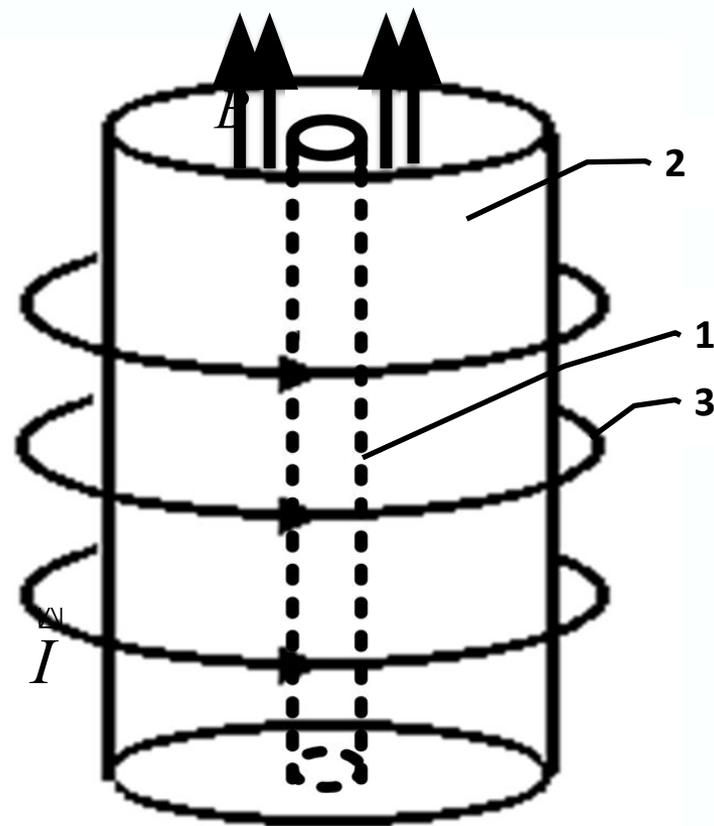
Роберт Эндрюс  
Милликен

# История открытия электрона

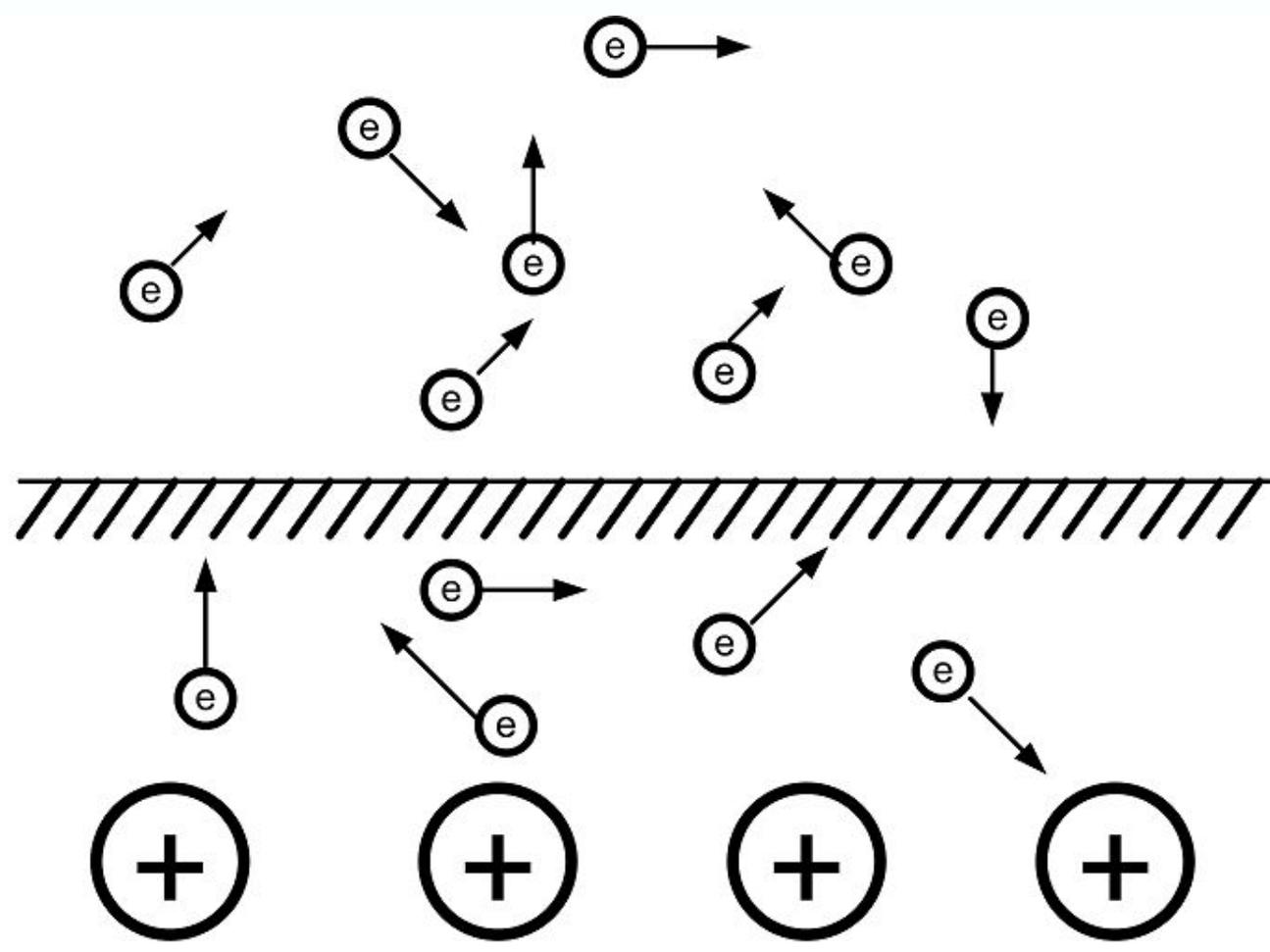


Опыт  
Милликена

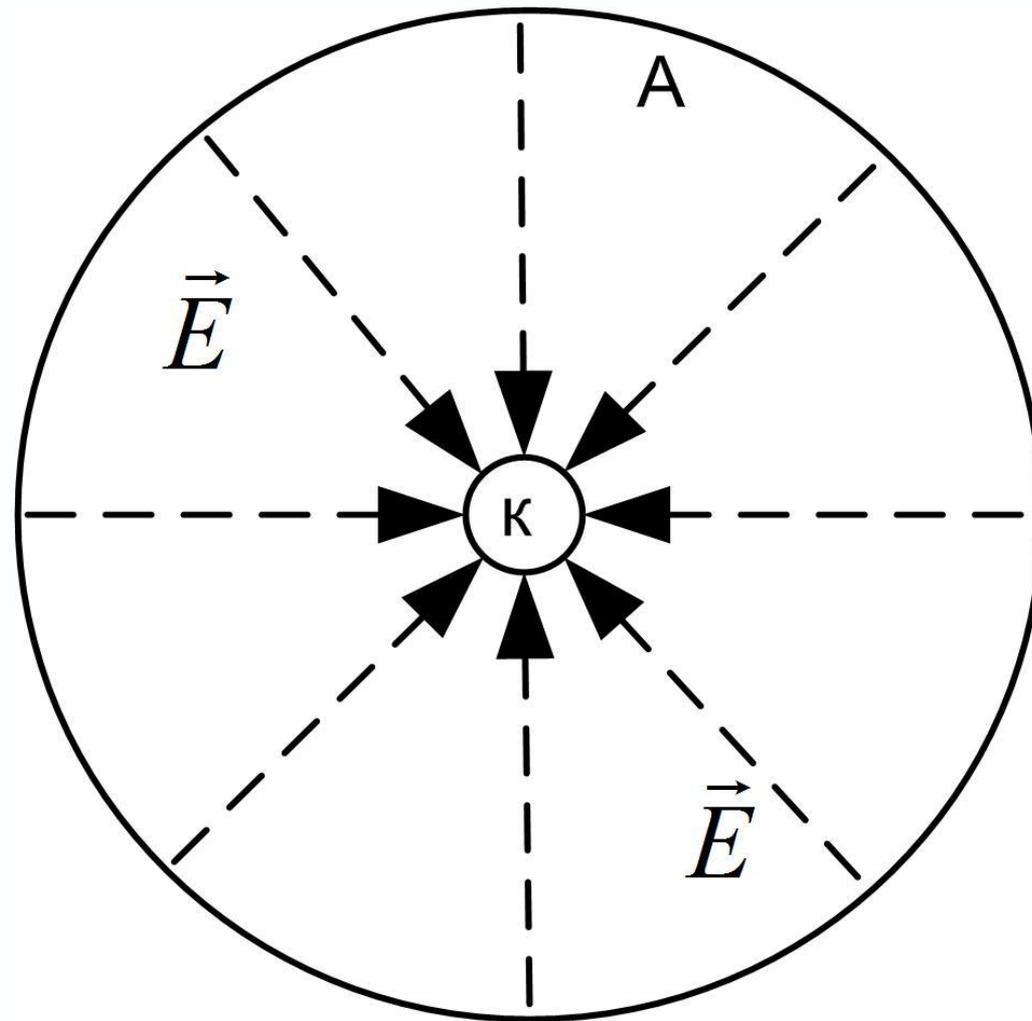
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ  
УДЕЛЬНОГО  
ЗАРЯДА  
ЭЛЕКТРОНА  
МЕТОДОМ  
МАГНЕТРОНА**



Простейший  
магнетрон:  
1- катод  
2-анод  
3-соленоид



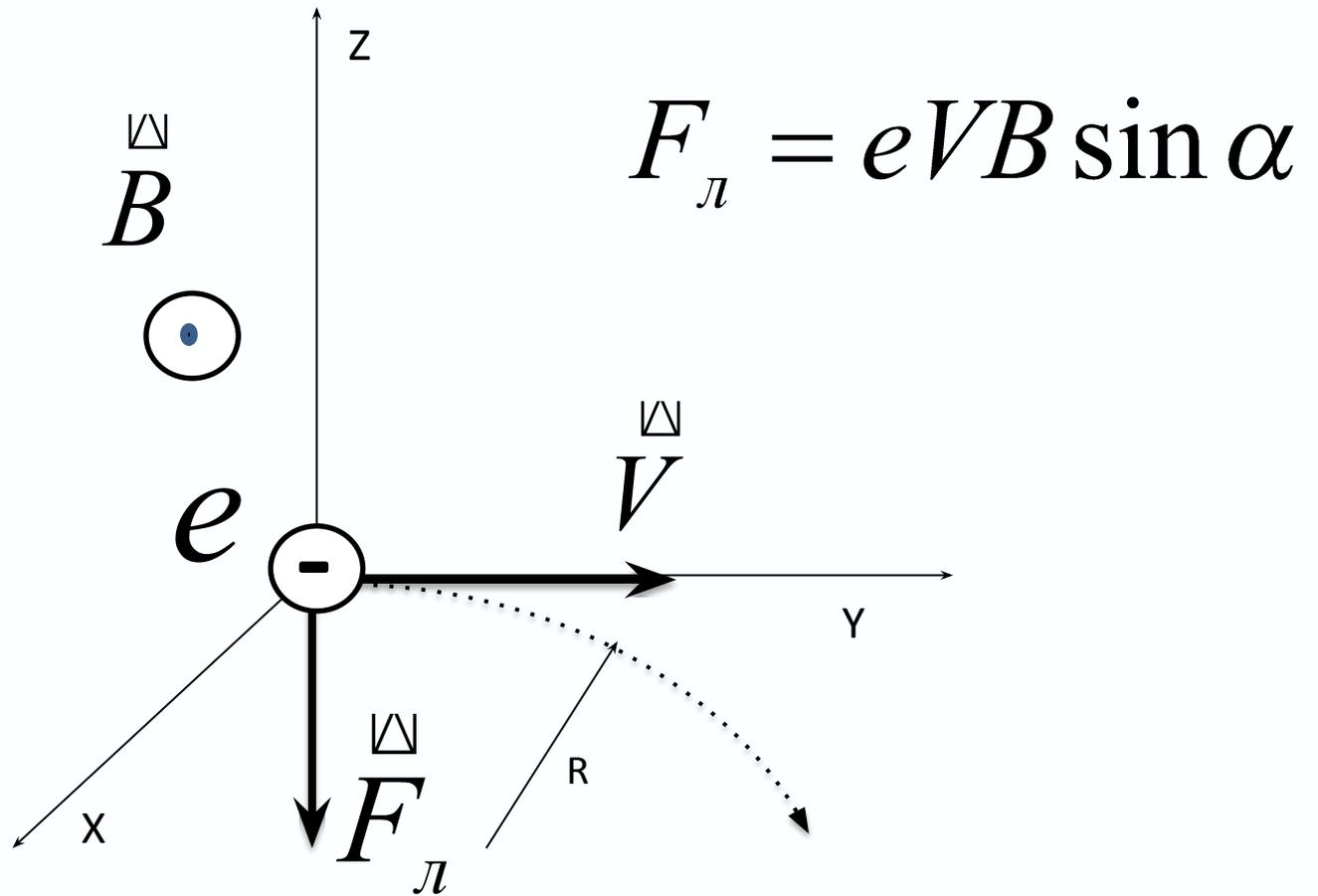
Термоэлектронная  
эмиссия



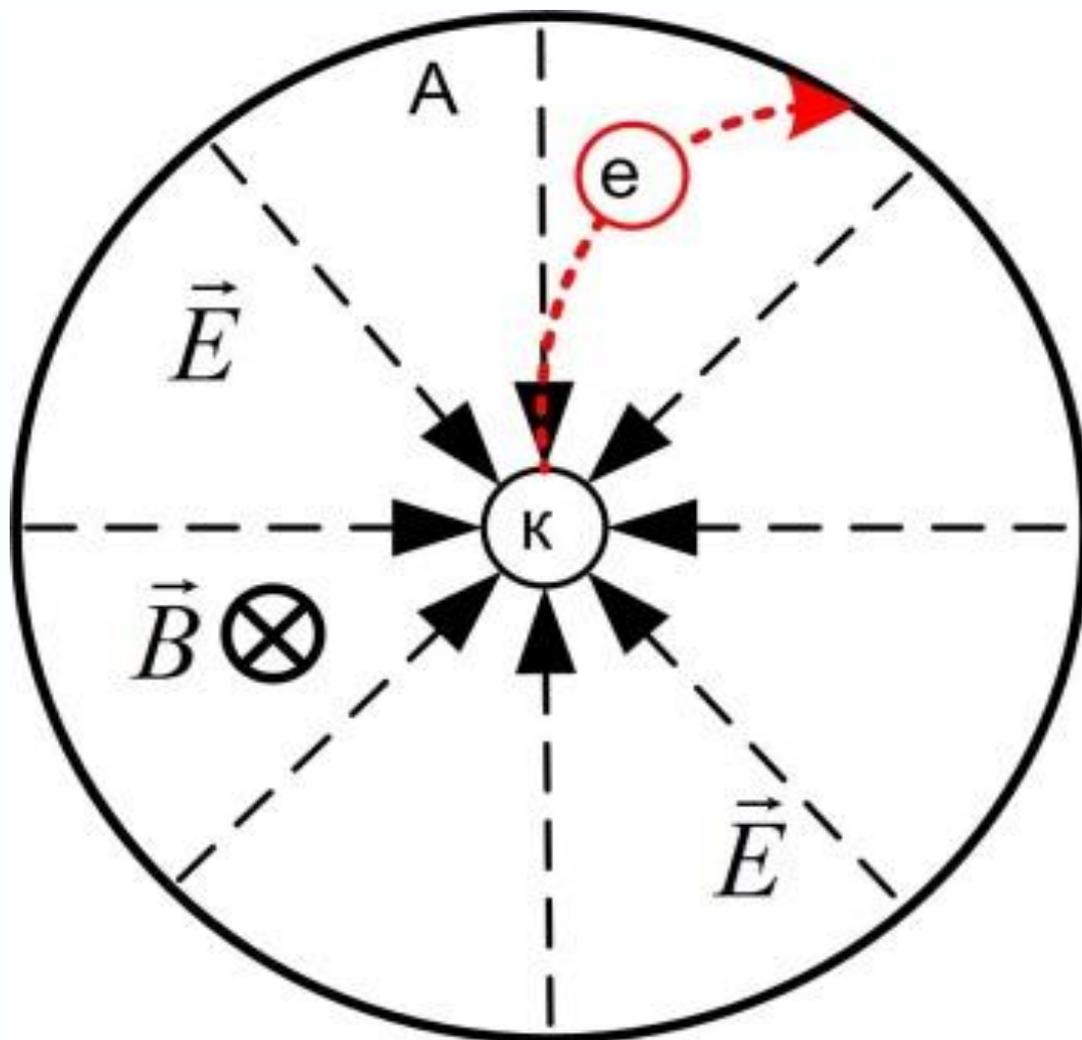
**Радиальное электрическое поле внутри магнетрона**

$$\vec{F} = e\vec{E}$$

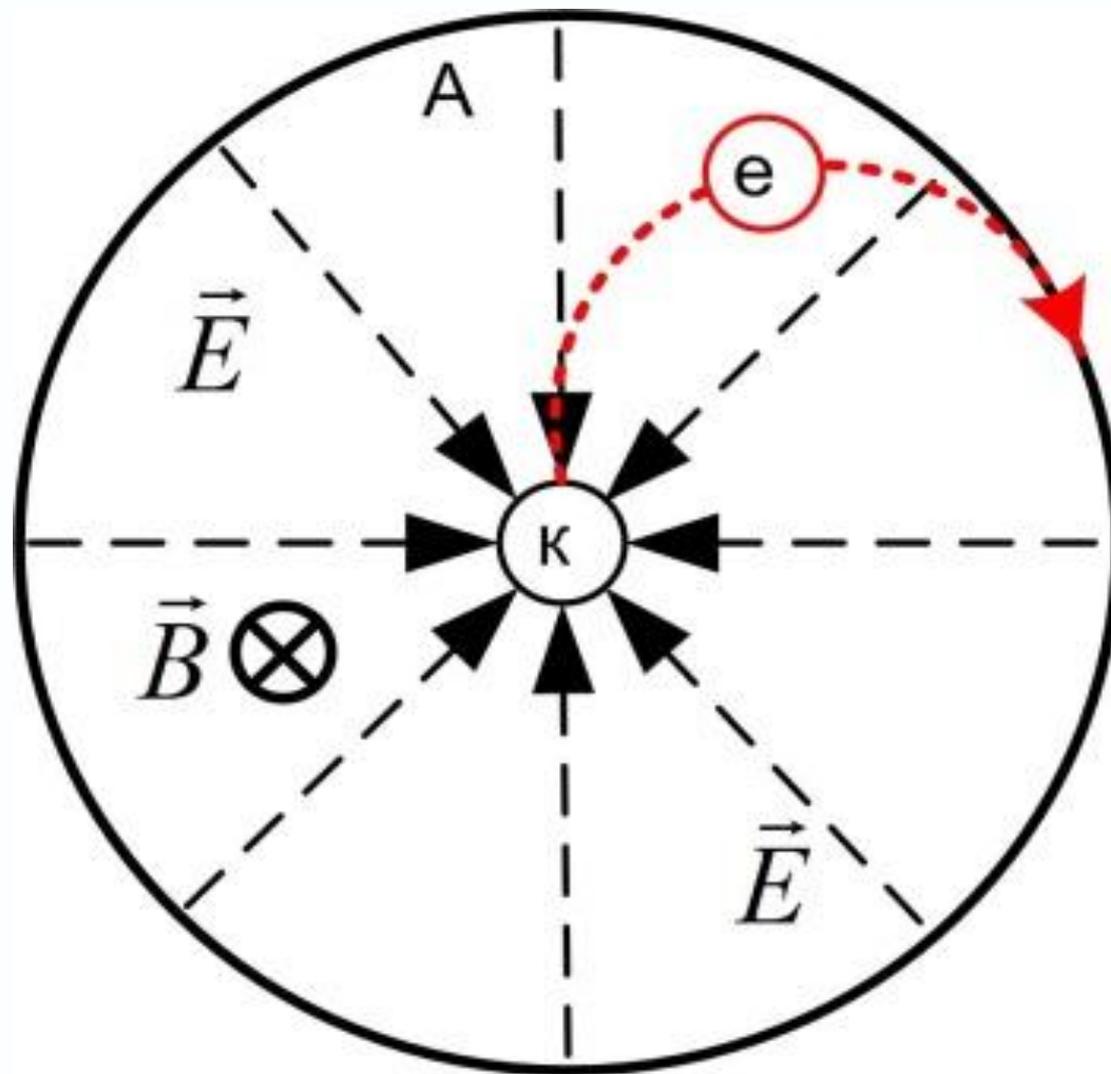
$$A = \Delta E_K$$



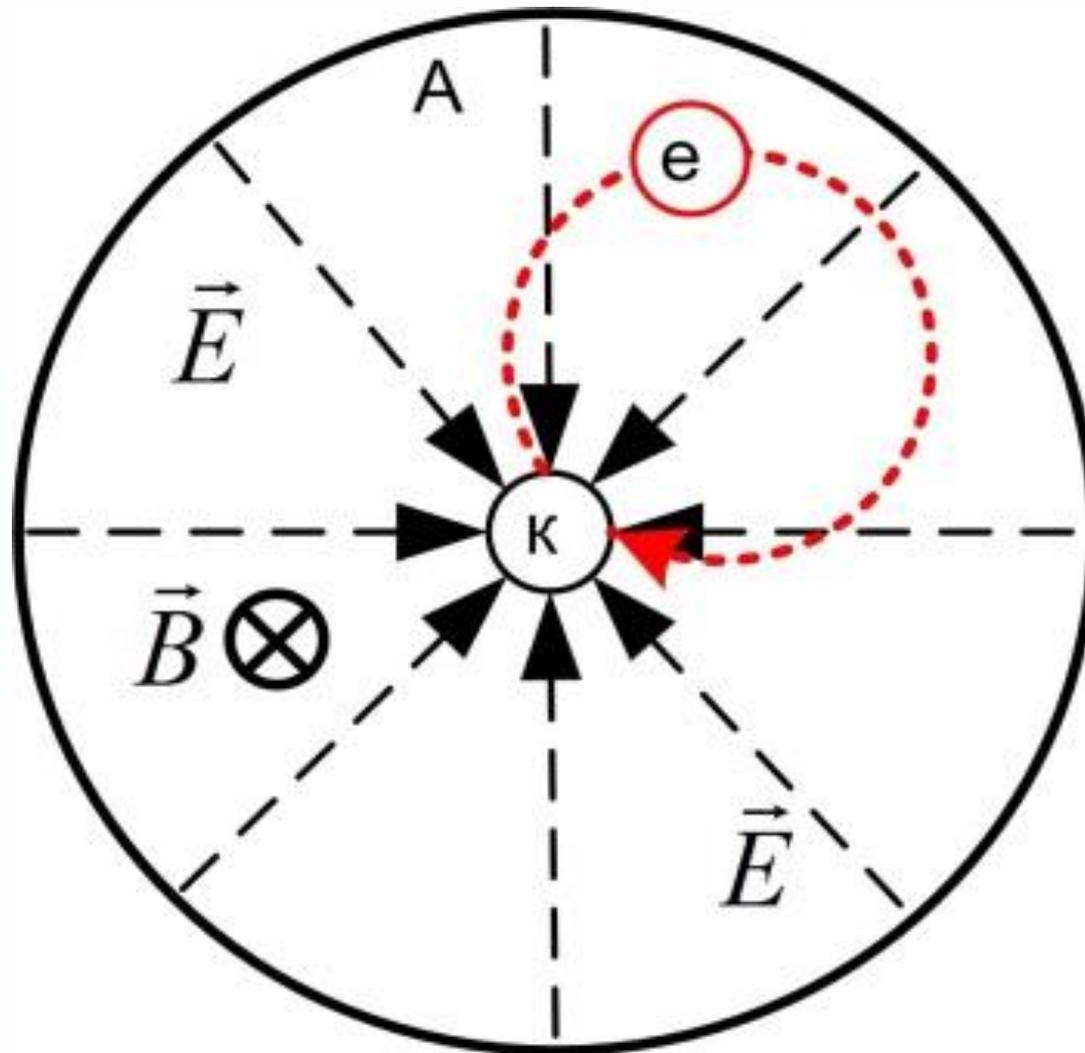
**Движение электрона в скрещенных электрическом и магнитном полях**



**Движение электрона в скрещенных электрическом и магнитном полях**

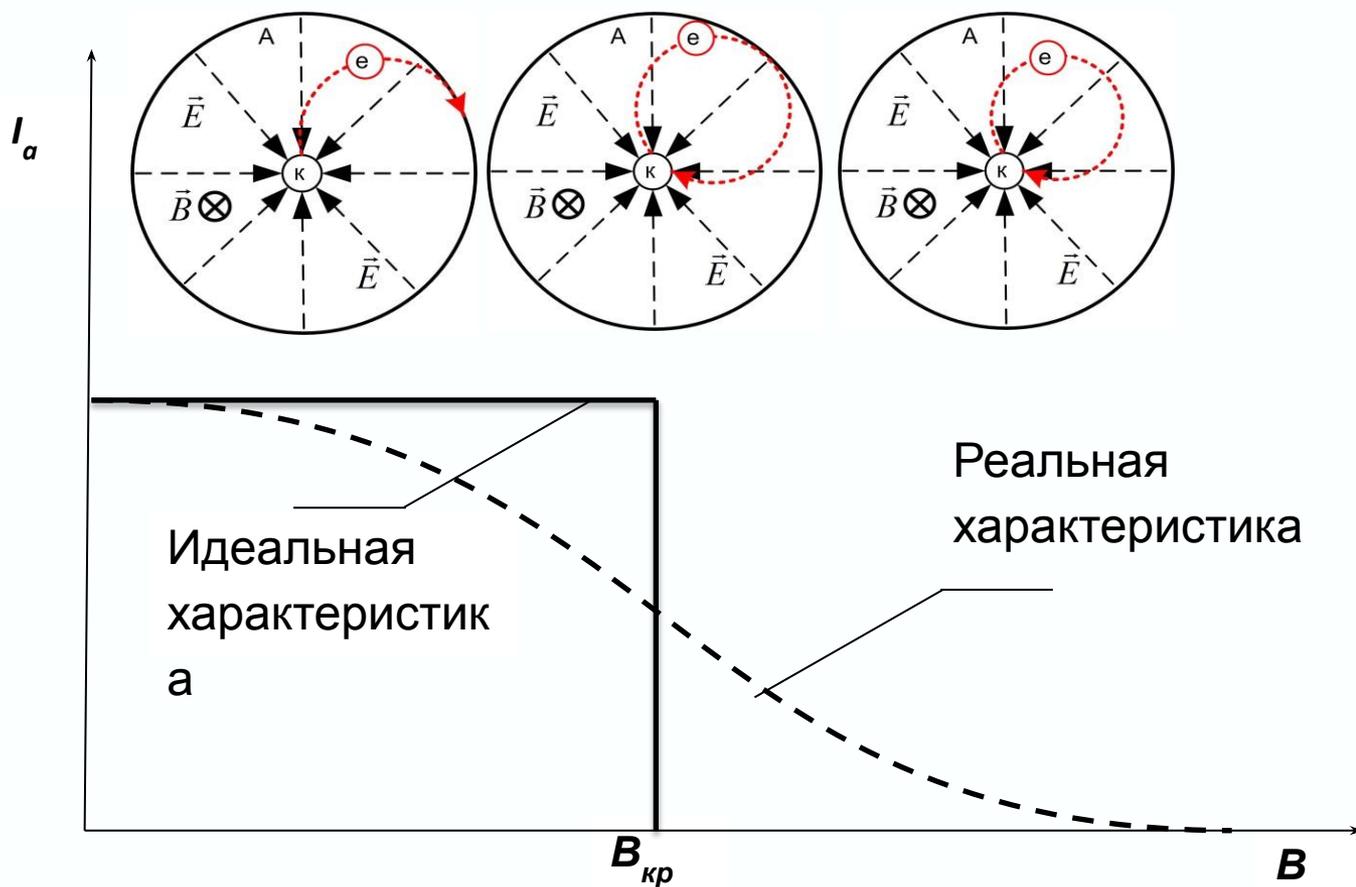


**Движение электрона в скрещенных электрическом и магнитном полях**



**Движение электрона в скрещенных электрическом и магнитном полях**

# Зависимость тока анода от индукции магнитного поля соленоида



$$\vec{a} = \frac{1}{m} (\vec{F}_\text{э} + \vec{F}_\text{л})$$

$$\vec{a} = \frac{e}{m} \left( \vec{E} + \left[ \vec{V} \times \vec{B} \right] \right)$$

**Вывод формулы для определения удельного заряда электрона**

$$\vec{E} \perp \vec{B}$$

$$m \frac{v^2}{r} = evB \sin \alpha = evB$$

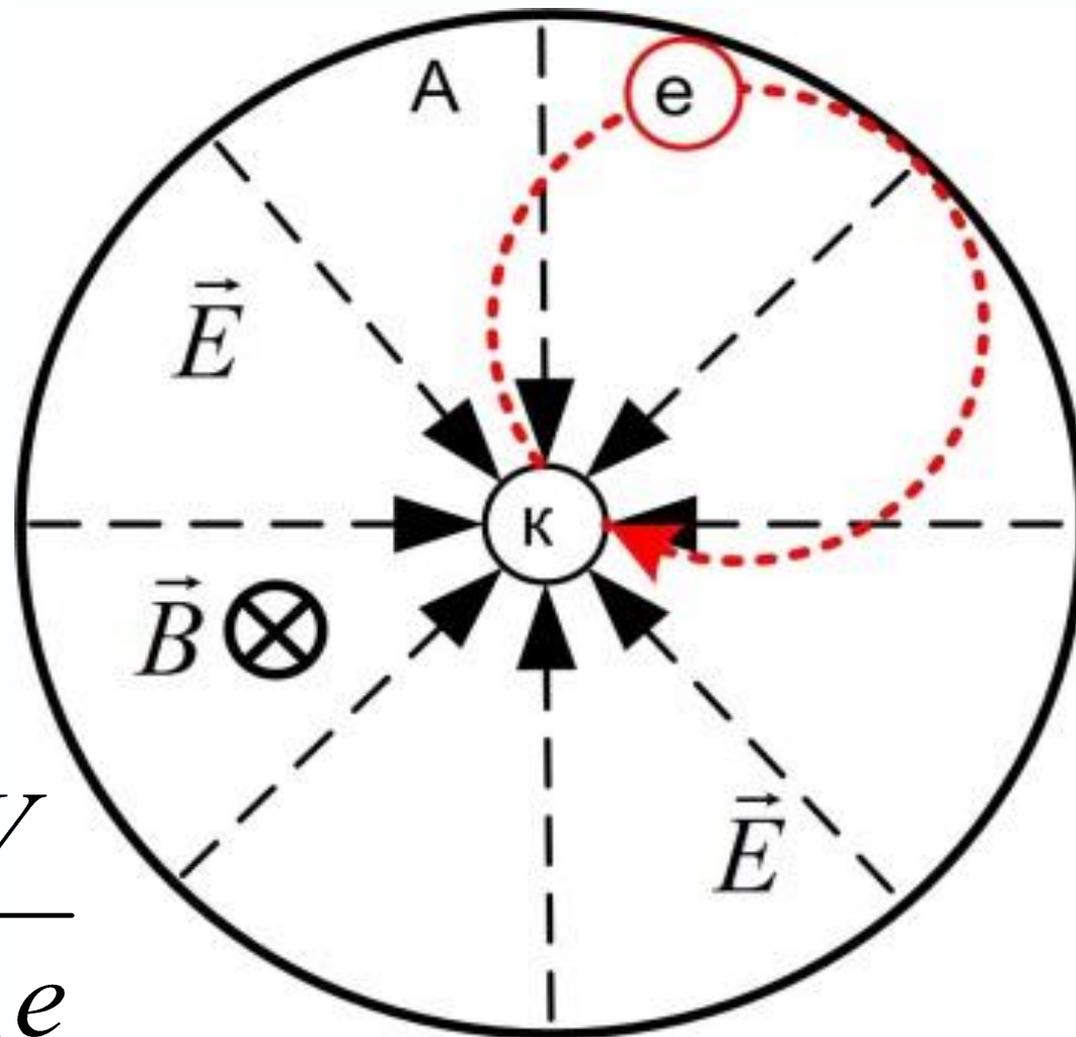
$$r = \frac{mv}{Be}$$

Вывод формулы для определения удельного заряда электрона

$$A = \frac{m}{2} V^2$$

$$eU = \frac{m}{2} V^2$$

**Вывод формулы для определения удельного заряда электрона**



$$\frac{r_a}{2} = \frac{mV}{B_{кр} e}$$

Вывод формулы для определения удельного заряда электрона

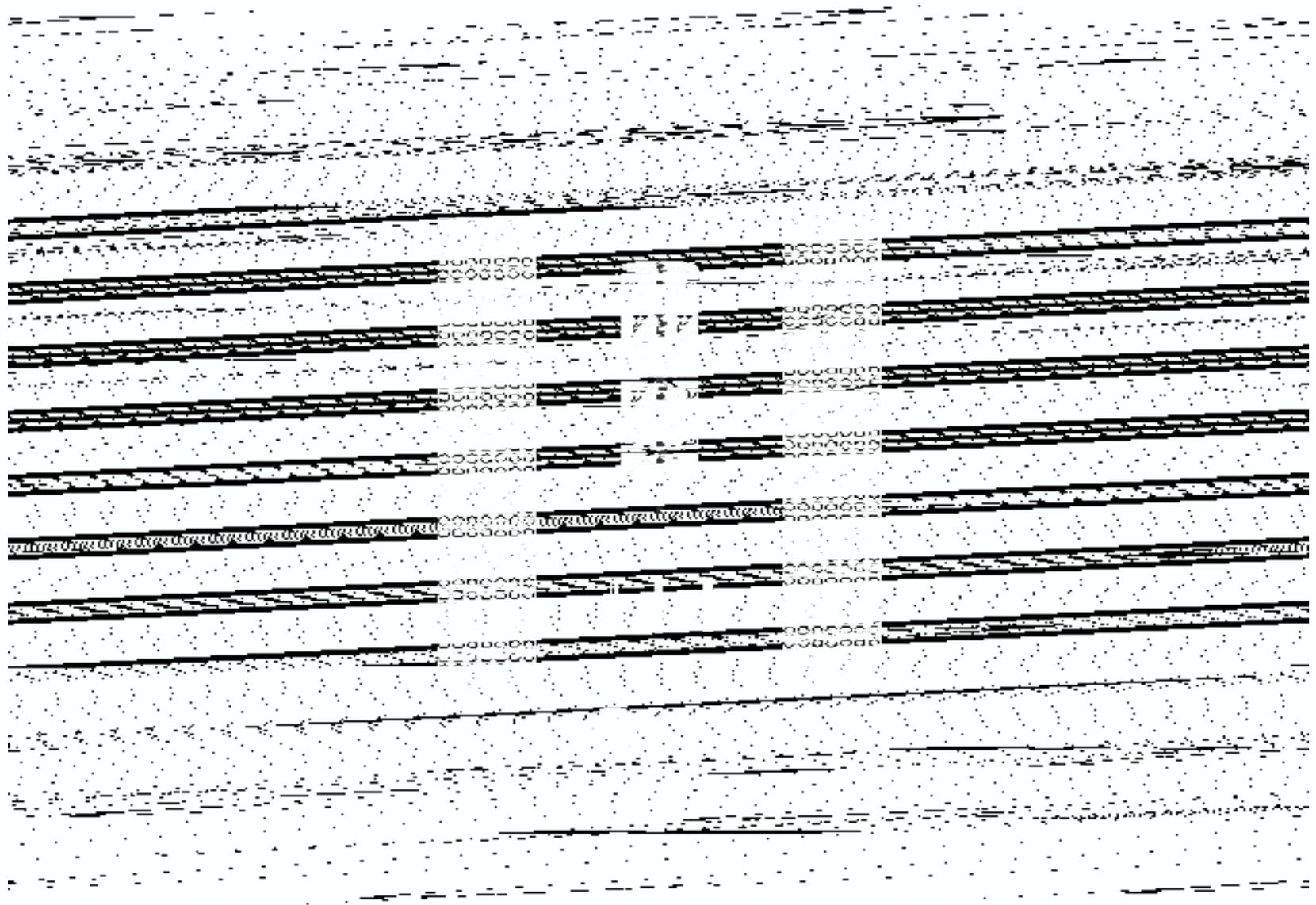
$$eU = \frac{m}{2} V^2$$

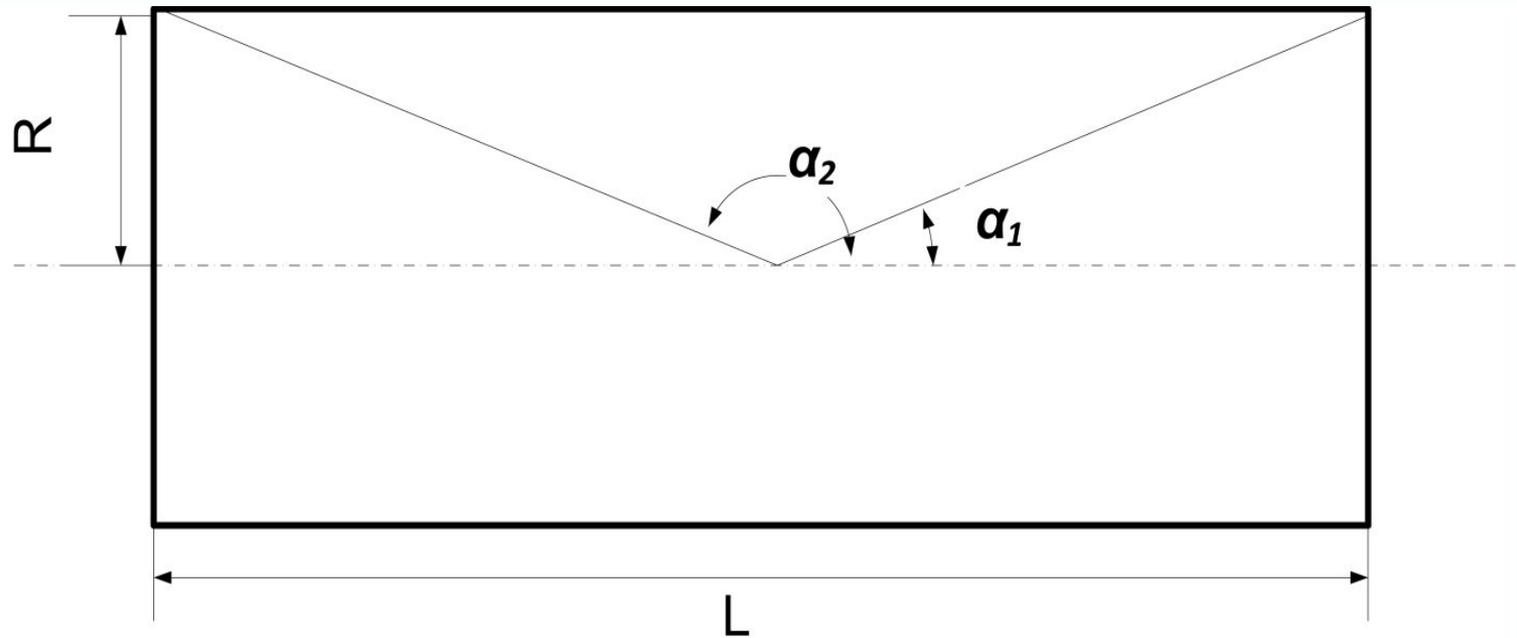
$$V = \sqrt{\frac{2eU_a}{m}}$$

$$\frac{e}{m} = \frac{8U_a}{r_a^2 B_{кр}^2}$$

**Вывод формулы для определения удельного заряда электрона**

## Магнетрон (электронная лампа в центре соленоида)





$$B = \mu_0 \mu n I$$

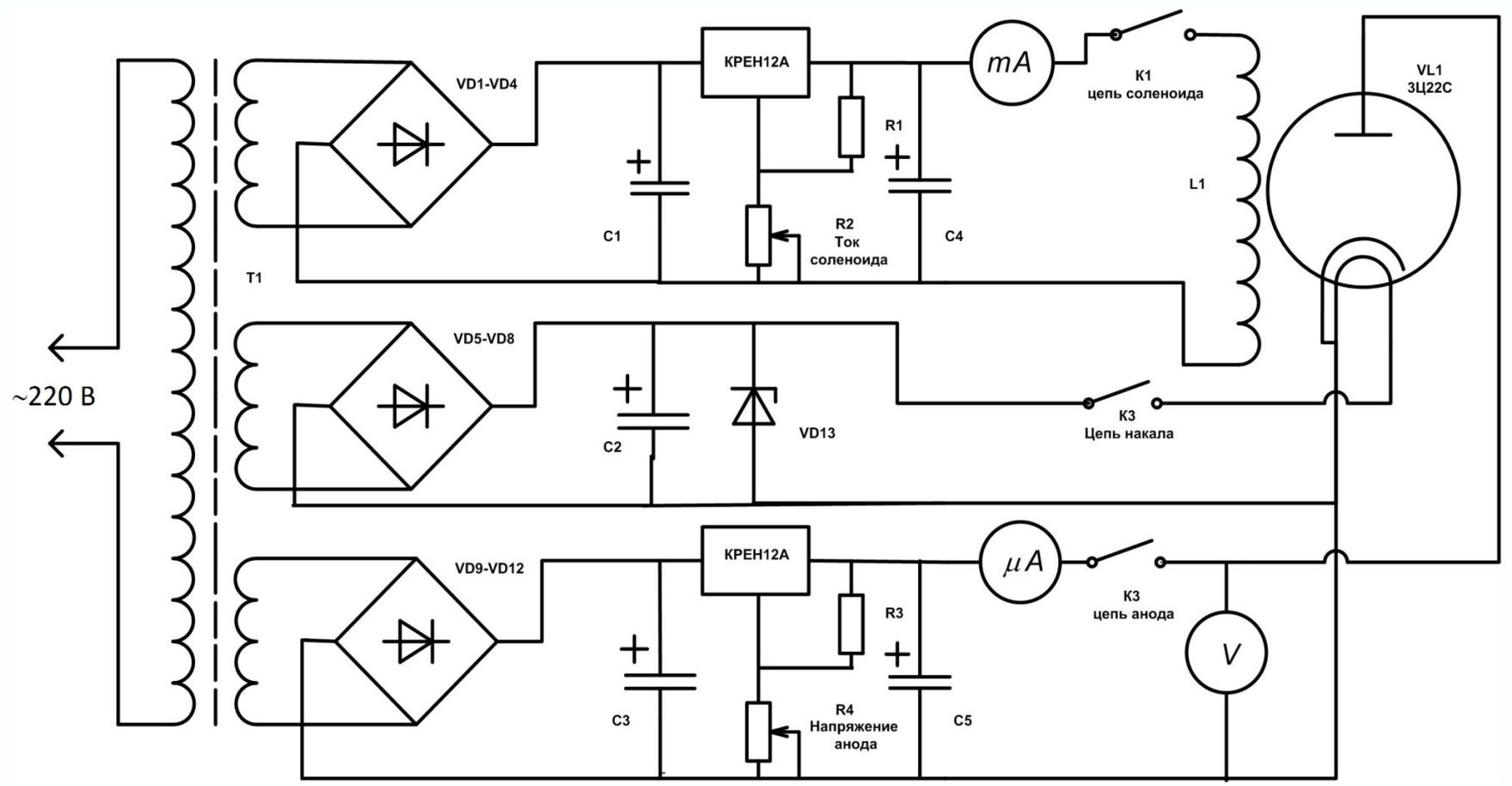
$$B = \frac{\mu_0 I N}{2L} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)$$

$$B_{\max} = \mu_0 \mu n I \frac{L}{\sqrt{4R^2 + L^2}}$$

$$\frac{e}{m} = \frac{8U_a (4R_c^2 + L_c^2)}{r_a^2 \mu^2 \mu_0^2 n^2 I_{kp}^2 L_c^2}$$

$$\frac{e}{m} = \frac{8U_a (4R_c^2 + L_c^2)}{r_a^2 \mu_0^2 N^2 I_{kp}^2}$$

# Принципиальная схема установки



## Экспериментальная часть



Напряжение накала, В: 3,15

Ток накала, мА: 400

Напряжение анода, В: 100

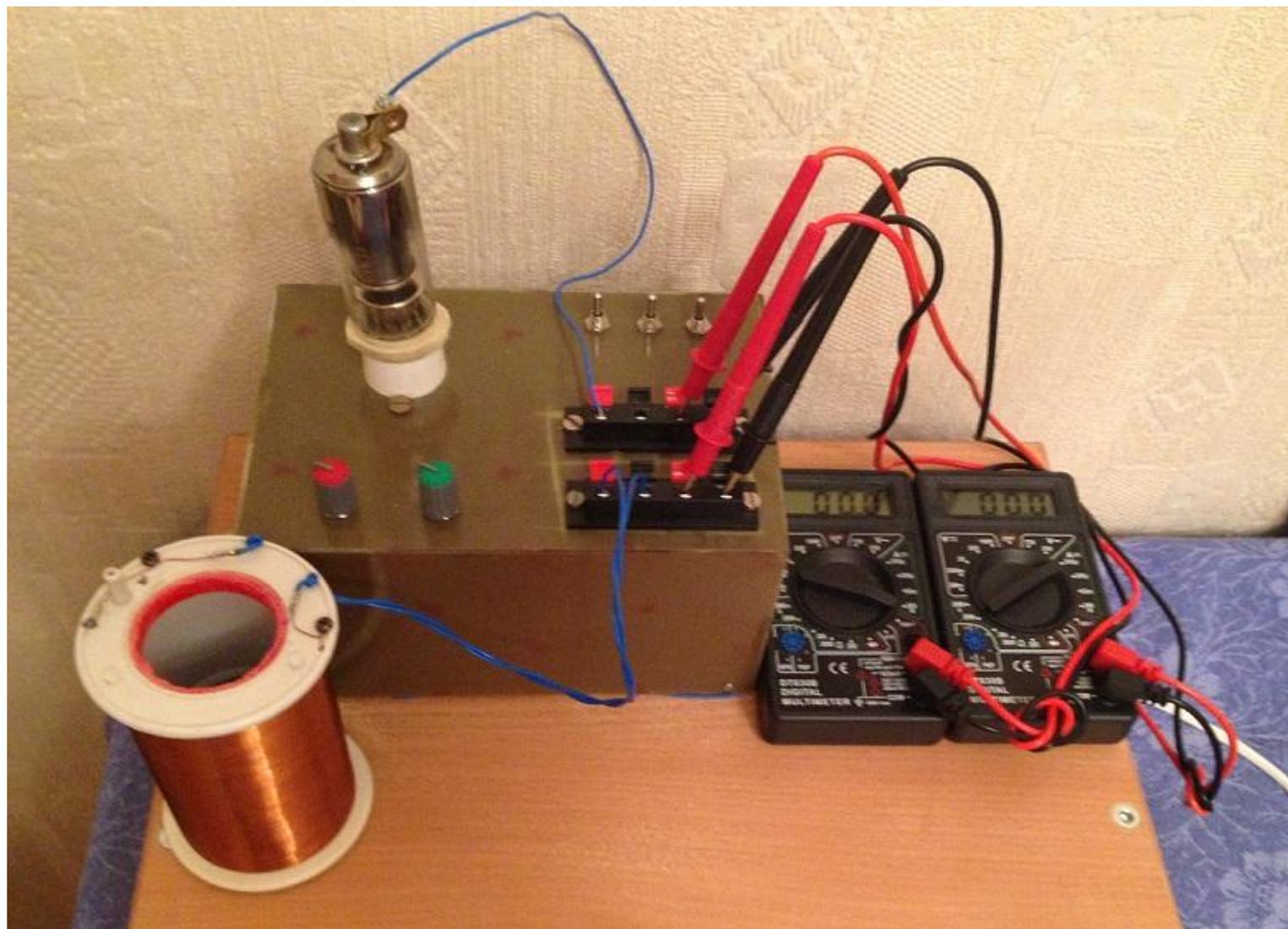
Радиус анода, мм:  $8 \pm 1$

## Экспериментальная часть



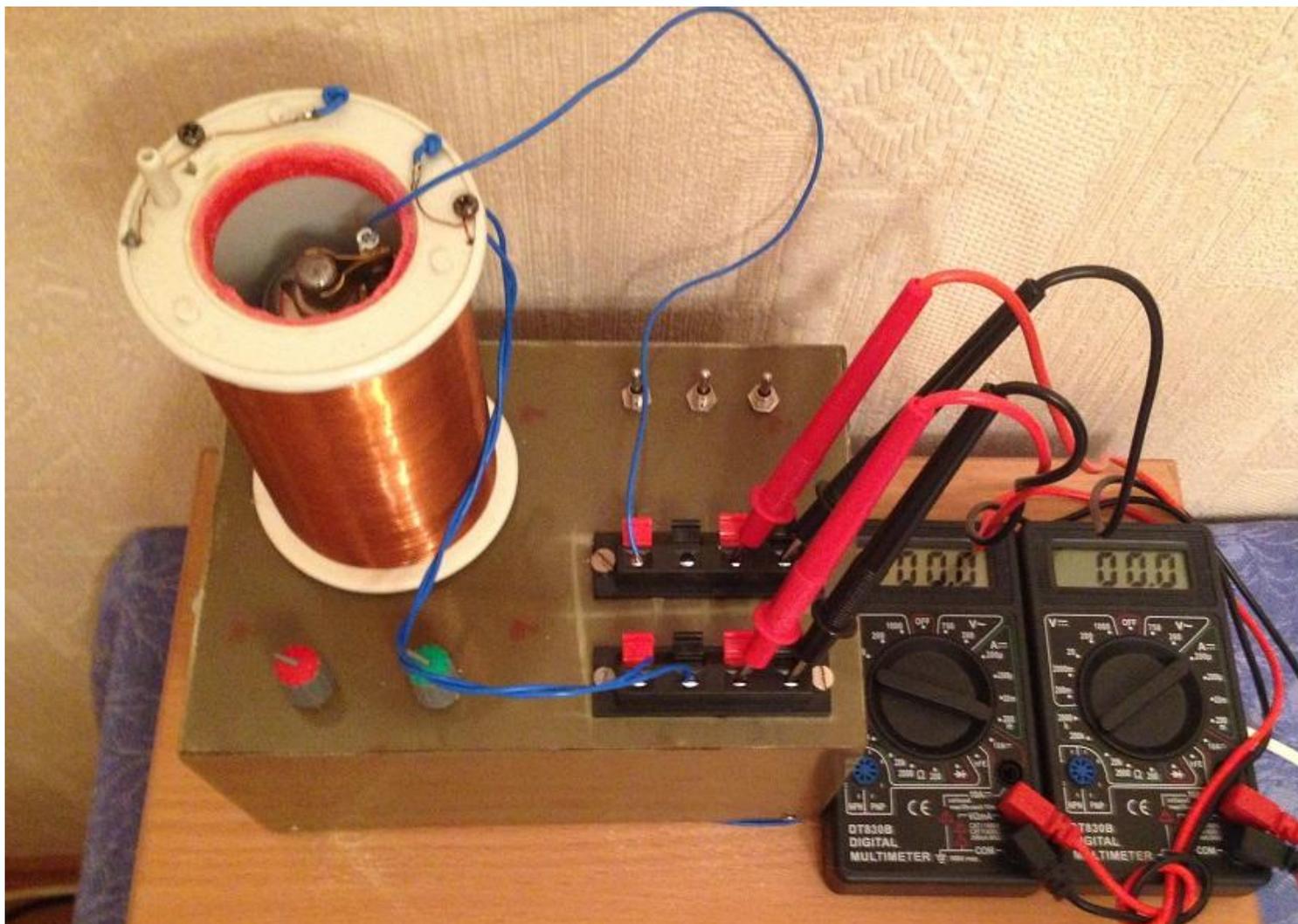
Диаметр провода, мм: 0,45  
Длина соленоида, мм: 110  
Внутренний диаметр, мм : 45  
Внешний диаметр, мм: 65  
Количество витков намотки : 2040

## Экспериментальная часть



Установка в сборе со снятым  
соленоидом

# Экспериментальная часть



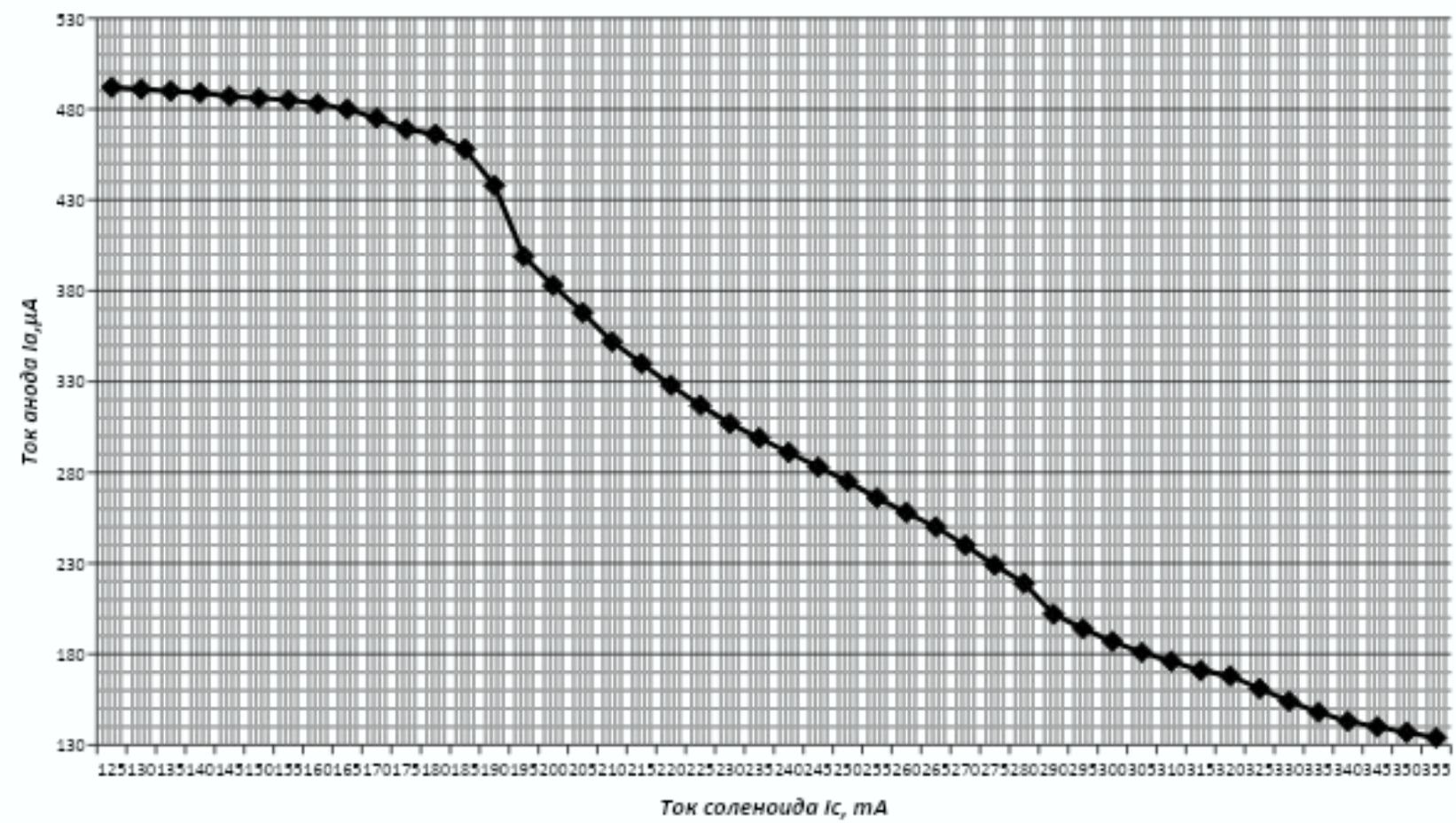
**Установка в сборе с установленным соленоидом**

# Опыт 1. Напряжение на аноде лампы : $U_1=22В$

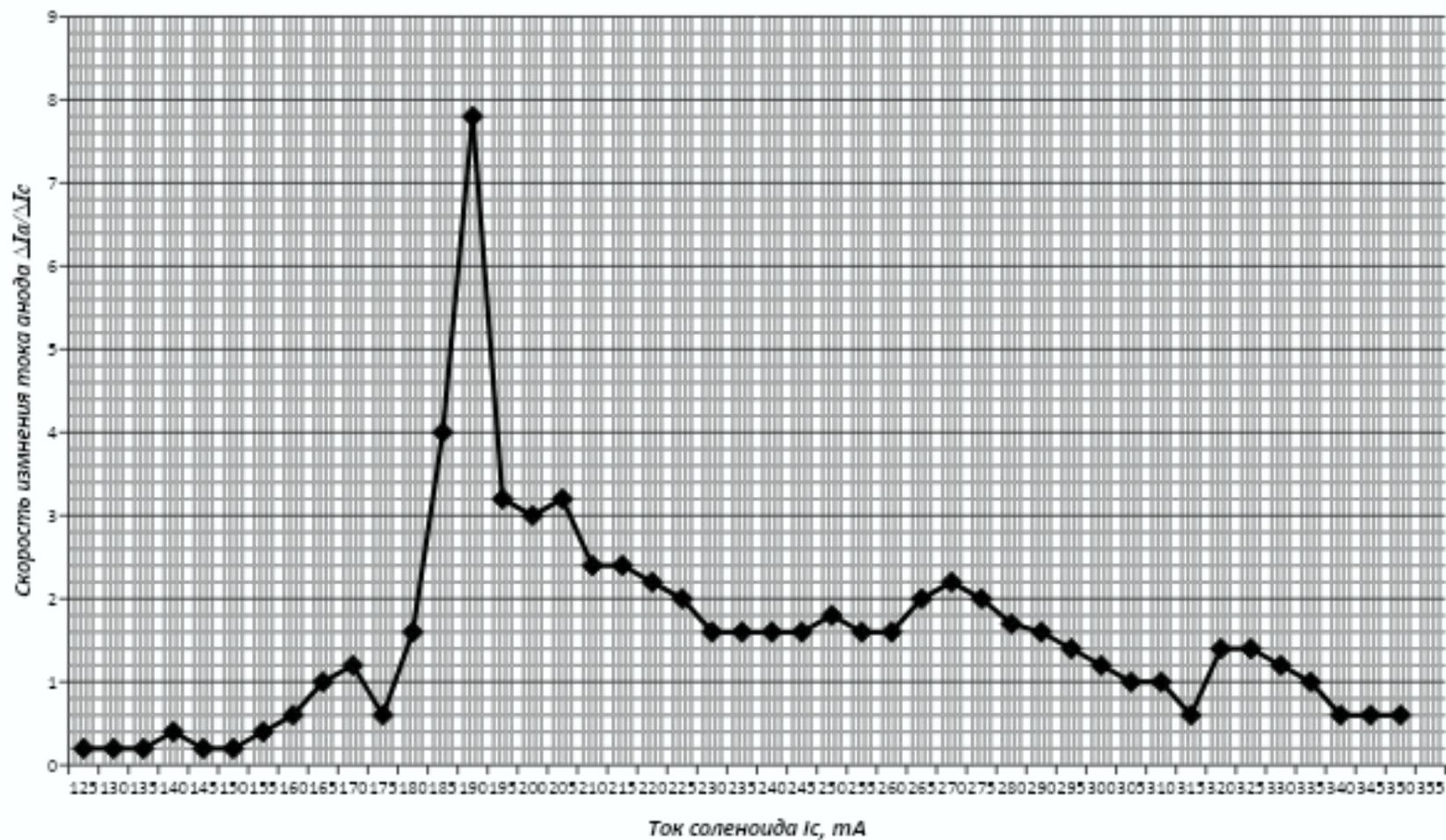
## Полная характеристика

$I_c, \text{ mA}$	$I_a, \mu\text{A}$	$\frac{\Delta I_a}{\Delta I_c}$	$I_c, \text{ mA}$	$I_a, \mu\text{A}$	$\frac{\Delta I_a}{\Delta I_c}$	$I_c, \text{ mA}$	$I_a, \mu\text{A}$	$\frac{\Delta I_a}{\Delta I_c}$
125	492		205	368	3	290	202	1,7
130	491	0,2	210	352	3,2	295	194	1,6
135	490	0,2	215	340	2,4	300	187	1,4
140	489	0,2	220	328	2,4	305	181	1,2
145	487	0,4	225	317	2,2	310	176	1
150	486	0,2	230	307	2	315	171	1
155	485	0,2	235	299	1,6	320	168	0,6
160	483	0,4	240	291	1,6	325	161	1,4
165	480	0,6	245	283	1,6	330	154	1,4
170	475	1	250	275	1,6	335	148	1,2
175	469	1,2	255	266	1,8	340	143	1
180	466	0,6	260	258	1,6	345	140	0,6
185	458	1,6	265	250	1,6	350	137	0,6
190	438	4	270	240	2	355	134	0,6
195	399	7,8	275	229	2,2			
200	383	3,2	280	219	2			

## Зависимость тока анода от тока соленоида



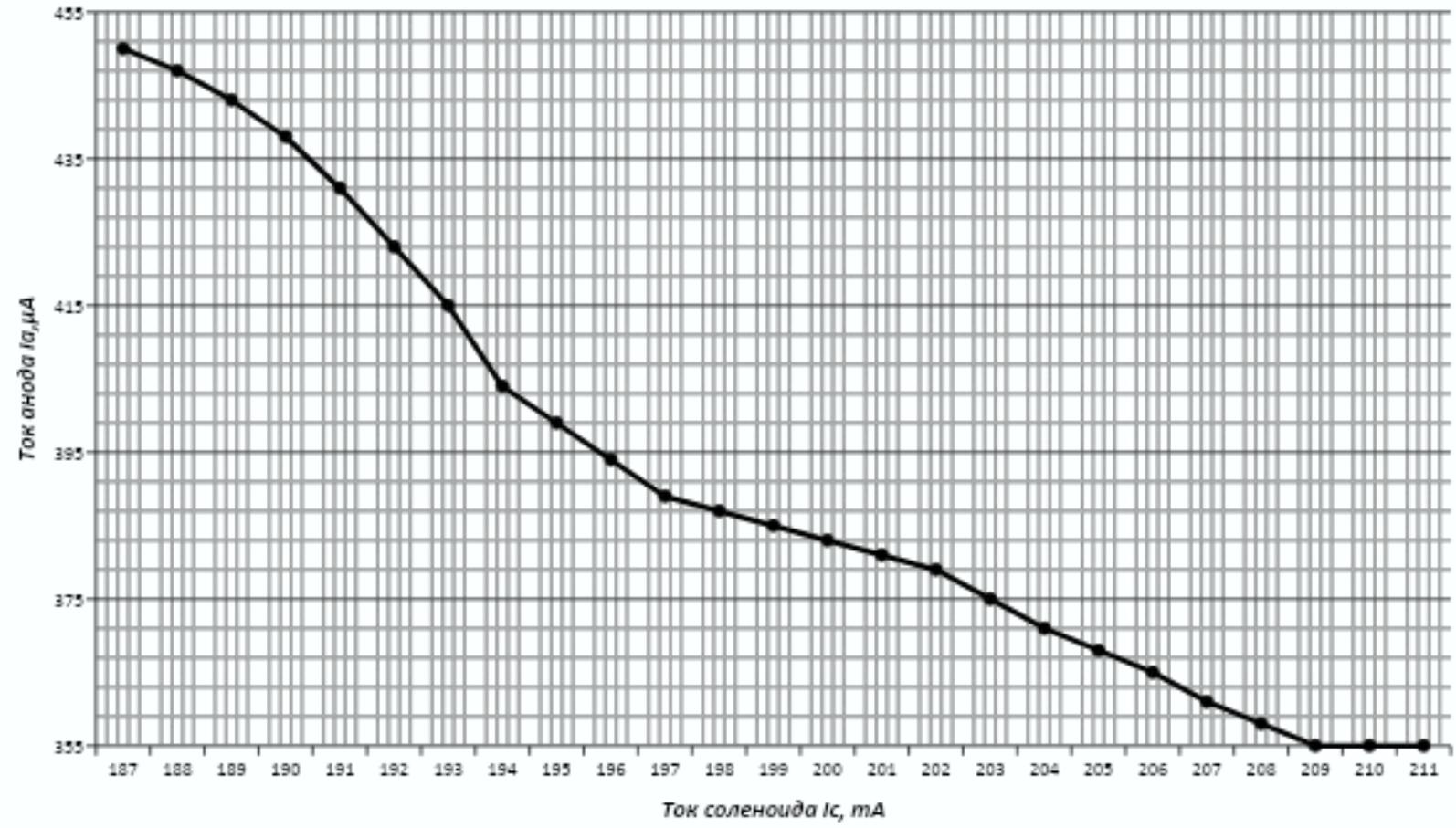
## Скорость изменения тока анода



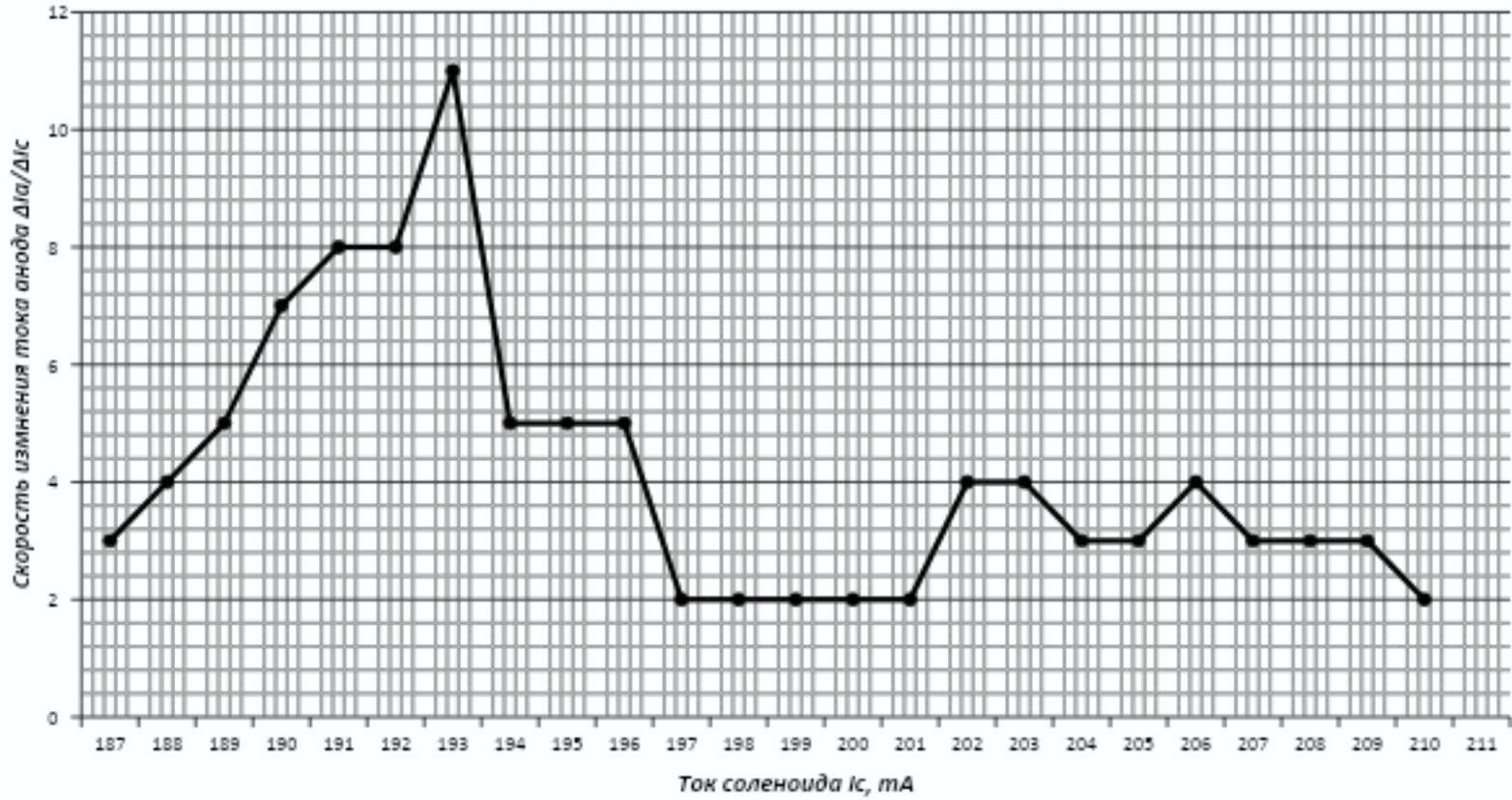
## Точная характеристика на критическом участке

$I_c, \text{mA}$	$I_a, \mu\text{A}$	$\frac{\Delta I_a}{\Delta I_c}$	$I_c, \text{mA}$	$I_a, \mu\text{A}$	$\frac{\Delta I_a}{\Delta I_c}$	$I_c, \text{mA}$	$I_a, \mu\text{A}$	$\frac{\Delta I_a}{\Delta I_c}$
187	450		196	394	5	205	368	3
188	447	3	197	389	5	206	365	3
189	443	4	198	387	2	207	361	4
190	438	5	199	385	2	208	358	3
191	431	7	200	383	2	209	355	3
192	423	8	201	381	2	210	352	3
193	415	8	202	379	2	211	350	2
194	404	11	203	375	4			
195	399	5	204	371	4			

## Зависимость тока анода от тока соленоида на критическом участке



## Скорость изменения тока анода на критическом участке



$I_{кр1} = 193 \text{ mA}$

## Таблица результатов измерений и вычислений

№ опыта	Напряжение анода $U_a, В$	Критический ток соленоида $I_{кр}, А$	Критическая магнитная индукция $B_{кр}, Тл$	Удельный заряд электрона $e/m \cdot 10^{11}, Кл/Кг$	Табличное значение
1	22	0,193	0,00395	1,76342	$1,7588 \cdot 10^{11}$
2	25	0,208	0,00426	1,72529	
3	28	0,216	0,00442	1,79184	
Среднее значение				1,76018	

$$\varepsilon = \sqrt{\left(\frac{\Delta U_a}{U_a}\right)^2 + \left(2 \frac{\Delta L_c}{L_c^2 + R_c^2}\right)^2 + \left(2 \frac{\Delta R_c}{L_c^2 + R_c^2}\right)^2 + \left(2 \frac{\Delta R_a}{R_a}\right)^2 + \left(2 \frac{\Delta I_{кр.}}{I_{кр.}}\right)^2}$$

$$\varepsilon = 20\%$$

Полученное экспериментальным  
путем значение удельного заряда  
электрона:

$$\frac{e}{m} = ((1,760180 \pm 0,352036) \cdot 10^{11}) \text{ Кл/кг}$$

## Вывод

- В процессе работы мы выбрали установку по определению удельного заряда электрона методом магнетрона. В качестве магнетрона мы использовали серийно производимый вакуумный диод (кенотрон). Магнитное поле создавалось изготовленным нами соленоидом .
- Так как лабораторных блоков питания у нас не было (работа делалась в домашних условиях), нам пришлось собрать источники питания цепей анода, соленоида и накала катода лампы самостоятельно. Источники питания мы сознательно делали стабилизированными , для более высокой точности нашего эксперимента.
- В результате эксперимента мы определили удельный заряд электрона. Было проведено три опыта для разных значений напряжения на аноде вакуумного прибора.

# Вывод

## ы

- В качестве измерительных приборов использовались высокоточные цифровые мультиметры .
- Основная погрешность измерений сложилась из следующих факторов:
  - Невысокое качество изготовления соленоида (качество намотки , количество витков, размеры и пр. )
  - Не идеальность самого вакуумного прибора (соосность анода и катода, диаметр анода, конечные размеры катода) .
  - За время снятия характеристики соленоид успевал достаточно сильно нагреваться, что так же влияло на точность измерений.

**Спасибо за  
внимание**