

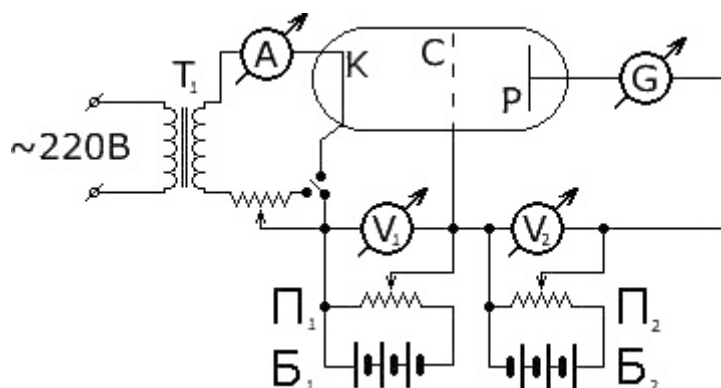
## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №60

### ОПЫТ ФРАНКА-ГЕРЦА

Поляков Даниил, 19.Б23-фз

**Цель работы:** экспериментально определить потенциалы возбуждения ртути методом Франка-Герца.

#### Схема установки



- $T_1$  — понижающий трансформатор;
- $A$  — амперметр, измеряющий ток накала на катоде  $K$ ;
- $B_1$  — батарея, подающая положительный потенциал на сетку  $C$ , измеряемый вольтметром  $V_1$  и регулируемый потенциометром  $\Pi_1$ ;
- $B_2$  — батарея, подающая отрицательный потенциал на коллектор  $P$ , измеряемый вольтметром  $V_2$  и регулируемый потенциометром  $\Pi_2$ ;
- $G$  — амперметр, измеряющий ток на коллекторе  $P$ .

#### Расчётные формулы

- Формулы для вычисления погрешностей:

- Абсолютная погрешность прямых измерений:

$$\Delta_{\bar{x}} = \sqrt{t^2 \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)} + (\Delta_{x, \text{сист}})^2}$$

$n$  — количество измерений;

$t$  — коэффициент Стьюдента;

$\Delta_{x, \text{сист}}$  — систематическая погрешность.

- Абсолютная погрешность косвенных измерений:

$$\Delta_{f(x_1, x_2, \dots)} = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1} \cdot \Delta_{x_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2} \cdot \Delta_{x_2}\right)^2 + \dots}$$

- $\Delta_{U_{\text{max}, 2} - U_{\text{max}, 1}} = \sqrt{\Delta_{U_{\text{max}, 1}}^2 + \Delta_{U_{\text{max}, 2}}^2}$

## Порядок измерений

1. Измерим зависимость тока на коллекторе от потенциала сетки  $I(U)$  при начальных значениях тока накала  $I_n$  и напряжения на коллекторе  $U_k$ . Увеличивая потенциал сетки  $U$ , снимаем соответствующие значения тока на коллекторе  $I$ . При попадании на максимум или минимум снимаем значения тока и напряжения в момент, когда стрелка амперметра меняет своё направление. Выполняем по 5 измерений для каждого экстремума. Продолжаем измерения до тех пор, пока не пересечём третий максимум.
2. Изменяем тормозящее напряжение на коллекторе  $U_k$  и снова таким же образом измеряем зависимость  $I(U)$ .
3. Устанавливаем первоначальное напряжение на коллекторе  $U_k$  и изменяем тока накала  $I_n$ . Снова измеряем зависимость  $I(U)$ .

## Результаты

Примечание: погрешности прямых измерений рассчитаны с доверительной вероятностью  $P = 95\%$ .

Цена деления электронного вольтметра равна 0.001, но так как происходили небольшие колебания напряжения, его значения указаны в таблице с точностью до 0.01. Соответственно, систематическую погрешность вольтметра оценим как:

$$\Delta_{U, \text{сист}} = 0.005 \text{ В}$$

Цена деления амперметра равна 2 нА. Его приборную погрешность оценим как половину цены деления:

$$\Delta_{I, \text{сист}} = 1 \text{ нА}$$

**Таблица 1. Зависимость тока на коллекторе от потенциала сетки**

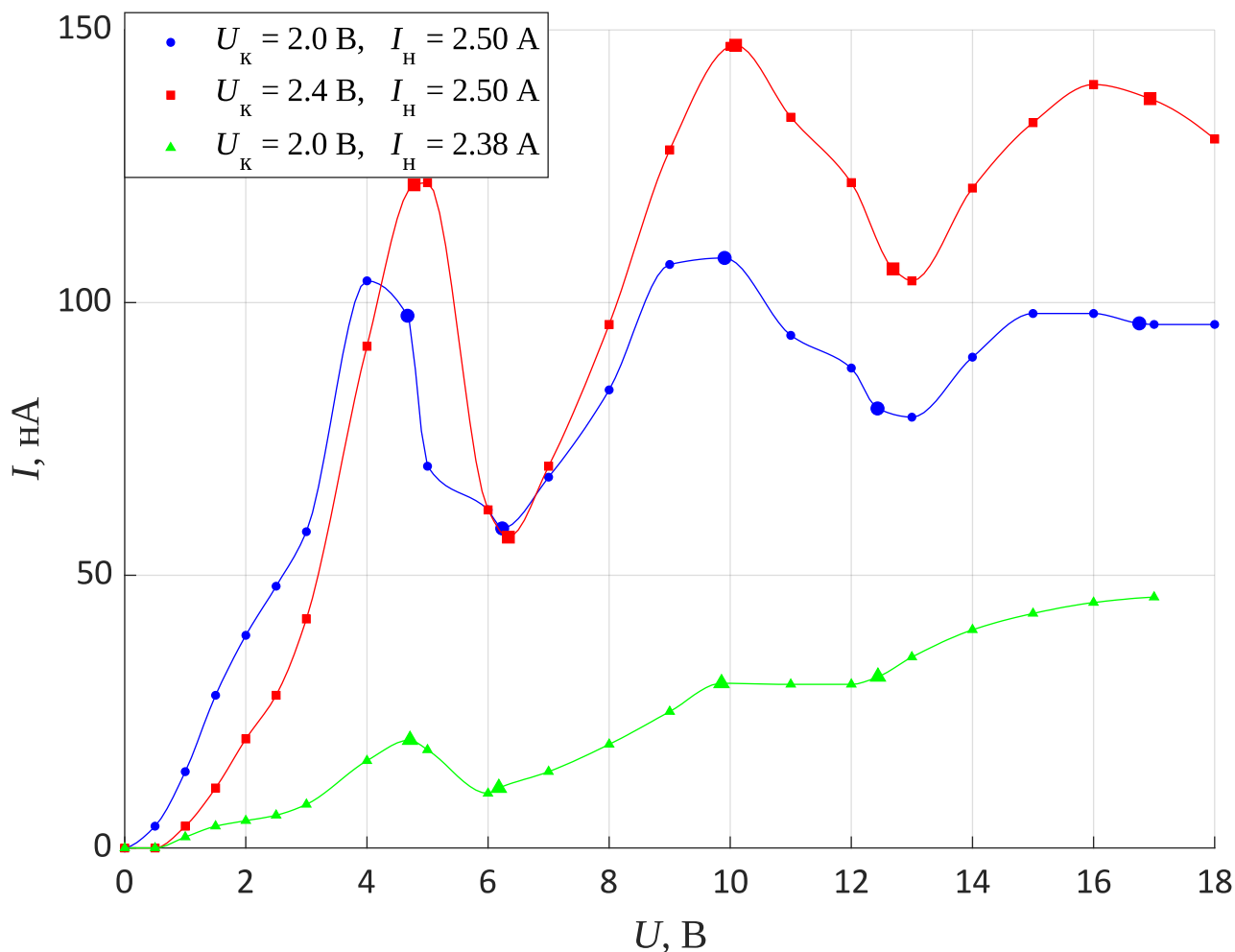
$U_k = 2.0 \text{ В}, I_H = 2.50 \text{ А}$			$U_k = 2.4 \text{ В}, I_H = 2.50 \text{ А}$			$U_k = 2.0 \text{ В}, I_H = 2.38 \text{ А}$		
Участок	$U, \text{ В}$	$I, \text{ нА}$	Участок	$U, \text{ В}$	$I, \text{ нА}$	Участок	$U, \text{ В}$	$I, \text{ нА}$
↗	0.00	0	↗	0.00	0	↗	0.00	0
	0.50	4		0.50	0		0.50	0
	1.00	14		1.00	4		1.00	2
	1.50	28		1.50	11		1.50	4
	2.00	39		2.00	20		2.00	5
	2.50	48		2.50	28		2.50	6
	3.00	58		3.00	42		3.00	8
	4.00	104		4.00	92		4.00	16
max	4.69	98	max	4.79	118	max	4.65	19
	4.67	98		4.80	120		4.68	20
	4.62	97		4.76	122		4.73	20
	4.69	98		4.77	124		4.79	20
	4.68	97		4.77	124		4.71	20
↘	5.00	70	↘	5.00	122	↘	5.00	18
	6.00	62		6.00	62		6.00	10
min	6.25	58	min	6.32	56	min	6.25	10
	6.19	59		6.30	57		6.17	11
	6.26	58		6.31	57		6.11	11
	6.21	59		6.36	57		6.18	11
	6.26	59		6.39	58		6.18	12
↗	7.00	68	↗	7.00	70	↗	7.00	14
	8.00	84		8.00	96		8.00	19
	9.00	107		9.00	128		9.00	25
max	9.92	108	max	10.00	147	max	9.94	29
	9.87	108		10.14	148		9.97	30
	9.99	108		10.10	148		9.81	30
	9.89	109		10.05	148		9.86	30
	9.86	108		10.09	146		9.70	32
↘	11.00	94	↘	10.06	146	↘	11.00	30
	12.00	88		11.00	134		12.00	30
min	12.50	82	min	12.00	122	min	12.30	30
	12.39	81		12.73	108		12.55	31
	12.41	80		12.68	108		12.39	32
	12.47	80		12.71	106		12.40	32
	12.39	80		12.70	105		12.56	32
↗	13.00	79	↗	12.62	104	↗	13.00	35
	14.00	90		13.00	104		14.00	40
	15.00	98		14.00	121		15.00	43
	16.00	98		15.00	133		16.00	45
max	16.63	97	max	16.00	140	—	17.00	46
	17.00	96		16.97	142			
	16.77	96		16.89	140			
	16.60	96		16.93	138			
	16.78	96		16.91	135			
↘	17.00	96	↘	16.97	132			
	18.00	96		18.00	130			

В процессе измерений наблюдался значительный дрейф тока на коллекторе при постоянном потенциале сетки. Именно поэтому был выбран такой способ определения локальных максимумов и минимумов — не по значениям тока, а по значениям потенциала в момент изменения направления стрелки амперметра. Например, рассмотрим две точки при параметрах  $U_k = 2.0$  В,  $I_H = 2.50$  А: (4.00 В, 104 нА) и (4.69 В, 98 нА). Хотя вторая точка соответствует максимуму, первая точка имеет большее значение тока. Так получилось из-за того, что между этими двумя измерениями была сделана пауза, т. е. прошло некоторое время. Исходя из этого наблюдения, можно предположить причину дрейфа значений тока. Ток на коллекторе зависит от частоты столкновений разогнанных электронов с атомами паров ртути в вакуумной лампе. Эта частота зависит от давления паров, а давление контролируется изменением температуры. Для того, чтобы значение тока не изменялось, температура должна поддерживаться постоянной. Вероятно, термостат, использованный в эксперименте, не очень хорошо справлялся со своей задачей. Таким образом, дрейф тока на коллекторе вызван дрейфом температуры в вакуумной лампе.

**Таблица 2.**

*Средние значения тока на коллекторе и потенциала сетки в экстремумах*

$U_k = 2.0$ В, $I_H = 2.50$ А			$U_k = 2.4$ В, $I_H = 2.50$ А			$U_k = 2.0$ В, $I_H = 2.38$ А		
Участок	$U$ , В	$I$ , нА	Участок	$U$ , В	$I$ , нА	Участок	$U$ , В	$I$ , нА
max	4.67 $\pm 0.04$	97.6 $\pm 1.2$	max	4.78 $\pm 0.02$	122 $\pm 3$	max	4.71 $\pm 0.07$	19.8 $\pm 1.1$
min	6.23 $\pm 0.04$	58.6 $\pm 1.2$	min	6.34 $\pm 0.05$	57.0 $\pm 1.3$	min	6.18 $\pm 0.06$	11.0 $\pm 1.3$
max	9.91 $\pm 0.07$	108.2 $\pm 1.1$	max	10.09 $\pm 0.04$	147 $\pm 2$	max	9.86 $\pm 0.13$	30 $\pm 2$
min	12.43 $\pm 0.06$	80.6 $\pm 1.5$	min	12.69 $\pm 0.05$	106 $\pm 2$	min	12.44 $\pm 0.14$	31.4 $\pm 1.5$
max	16.8 $\pm 0.2$	96.2 $\pm 1.1$	max	16.93 $\pm 0.04$	137 $\pm 5$	—		



**График.** Зависимость тока на коллекторе от потенциала сетки

Экспериментальные точки были интерполированы эрмитовым сплайном. Усреднённые точки максимумов и минимумов отмечены на графике увеличенными маркерами.

Получаем, что зависимость и её экстремумы немного сместились в положительную сторону при увеличении тормозного напряжения на коллекторе  $U_k$  (лучше видно из таблицы), т. е. электронам необходимо придать большую кинетическую энергию для преодоления возросшего тормозящего поля. При уменьшении тока накала  $I_h$  на 5% смещения зависимости по напряжению не произошло, но очень сильно упала сила тока на коллекторе. Количество электронов, эмитированных с поверхности катода при таком токе накала, сильно уменьшилось, и поэтому уменьшился ток через объём лампы. Возможно, по этой причине и не удалось обнаружить третий максимум при этих параметрах.

Вычислим первый потенциал возбуждения ртути. Рассчитаем разности между соседними максимумами и минимумами.

**Таблица 3. Разности между соседними максимумами и минимумами**

	$U_k = 2.0 \text{ В},$ $I_H = 2.50 \text{ А}$	$U_k = 2.4 \text{ В},$ $I_H = 2.50 \text{ А}$	$U_k = 2.0 \text{ В},$ $I_H = 2.38 \text{ А}$	Среднее
$U_{\max, 2} - U_{\max, 1}, \text{ В}$	$5.24 \pm 0.07$	$5.31 \pm 0.05$	$5.14 \pm 0.15$	$5.23 \pm 0.06$
$U_{\min, 2} - U_{\min, 1}, \text{ В}$	$6.20 \pm 0.07$	$6.35 \pm 0.07$	$6.3 \pm 0.2$	$6.27 \pm 0.06$
$U_{\max, 3} - U_{\max, 2}, \text{ В}$	$6.8 \pm 0.2$	$6.85 \pm 0.06$	—	$6.85 \pm 0.11$

Во всех случаях наблюдается необычное возрастание расстояния между экстремумами. При этом расстояния совпадают в пределах погрешности при всех рассмотренных параметрах. Теоретически, расстояние между минимумами и максимумами должно сохраняться и быть равным потенциалу возбуждения ртути (4.9 В), чего не наблюдается по результатам эксперимента. К этому значению близки экспериментально полученные значения потенциала в первом максимуме, однако его нельзя принимать за потенциал возбуждения, потому что оно смещается в зависимости от тормозного потенциала. Тогда первым потенциалом возбуждения ртути, полученным по результатам эксперимента, будем считать среднее расстояние между первыми двумя максимумами:

$$U_{\text{возб}} = 5.23 \pm 0.06 \text{ В}$$

## Выводы

Атомы ртути, как и атомы всех веществ, поглощают и излучают энергию порциями. В ходе работы была получена зависимость тока, проходящего через пары ртути, от энергии электронов, которая задавалась с помощью разгонного потенциала на сетке. Полученная зависимость состоит из чередующихся максимумов и минимумов, что подтверждает теорию Бора о строении атомов.

Экспериментально полученное значение первого потенциала возбуждения ртути:

$$U_{\text{возб}} = 5.23 \pm 0.06 \text{ В}$$