

## Лабораторная работа № 5.10

# Опыт Франка Герца с неоном

### Содержание

Введение . . . . .	2
Экспериментальная установка . . . . .	17
Проведение измерений . . . . .	22
Обработка результатов . . . . .	23
Контрольные вопросы . . . . .	24
Список литературы . . . . .	25
Приложение . . . . .	25

## Цели работы

1. Изучение опыта Франка и Герца
2. Ознакомление с методикой измерения ВАХ газоразрядных приборов
3. Экспериментальное определение энергии возбуждения атома неона

## Введение

Построение модели внутренней структуры атома явилось одним из крупнейших достижений физики начала XX века. Это стало возможным только после замены базиса классических представлений физики на квантовые и дало возможность для создания ряда новых направлений в науке, например, таких как физика твердого тела, и на более высокий уровень подняло уже существовавшие научные дисциплины, в частности, химию. Одним из процессов, которые были объяснены с помощью созданной квантовой теории строения атома, явился механизм поглощения и излучения света.

В соответствии с представлениями классической механики и электродинамики система зарядов может излучить монохроматическую электромагнитную волну или, другими словами, спектральную линию определенной частоты, если дипольный момент данной системы меняется во времени по гармоническому закону с данной постоянной частотой. Применительно к атому это означает, что электрон должен быть связан возле положения равновесия квазиупругой силой вида:

$$\vec{F} = -k\vec{r} \quad (1)$$

где  $\vec{r}$  - отклонение от положения равновесия, а коэффици-

ент определяет степень «жесткости» связи. Но сила, действующая между электрически заряженными частицами в соответствии с законом Кулона убывает с увеличением расстояния между ними обратно пропорционально квадрату расстояния.

Возможное разрешение данного противоречия было предложено в 1903 г. Дж. Дж. Томсоном, который описал модель атома, в которой положительный заряд равномерно заполняет сферу радиуса  $R$  и по величине равен суммарному заряду электронов атома. Электроны в модели Томсона представляют собой точечные заряды, размещенные в области  $V$ . Напряженность электрического поля положительного заряда внутри такого атома определяется выражением:

$$\vec{E} = \frac{Ze}{4\pi\epsilon_0 R^3} \vec{r}, \quad (2)$$

где  $Z$  - количество электронов в атоме,  $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ , Кл элементарный заряд,  $\epsilon_0 = 0,885 \cdot 10^{-11}$ , Ф/ м - электрическая постоянная.

В таком атоме на каждый электрон со стороны положительного заряда действует квазиупругая сила:

$$\vec{F} = -e\vec{E} = -\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 R^3} \vec{r}. \quad (3)$$

Электрон в атоме Томсона, будучи выведенным из положения равновесия, совершает колебания с циклической частотой:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m_e}} = \sqrt{\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 m_e R^3}}, \quad (4)$$

где  $m_e = 0.911 \cdot 10^{-30}$ , кг - масса электрона.

Соотношение (4) может быть использовано для оценки раз-

меров атомов. Простейшим из атомов, очевидно, является атом водорода. Еще в XIX веке было отмечен тот факт, что спектральные линии атомарного водорода располагаются в ряд или серию с некоторой простой закономерностью. В 1885 году швейцарский физик Бальмер первым выразил связь между длинами волн ряда в виде общей формулы:

$$\lambda = 364,56 \frac{n^2}{n^2 - m^2}, \text{ нм} \quad (5)$$

в которой  $n$  и  $m$  являются целыми числами ( $m \geq 1, n > m$ ). В частности, для переходов принадлежащих видимой области спектра  $m = 2$ , а  $n = 3, 4, 5, \dots$ . Учитывая, что связь между длиной электромагнитной волны и частотой колебаний электрона имеет вид:

$$\lambda = \frac{2\pi c}{\omega}, \quad (6)$$

где  $c = 2,998 \cdot 10^8$  м/с - скорость света в вакууме, можно записать в "серийную формулу" для водорода в форме, предложенной в 1890 г. Ридбергом:

$$\frac{\omega}{2\pi} = R_y \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right). \quad (7)$$

Коэффициентом пропорциональности в данной формуле является  $R_y = 3,2869 \cdot 10^{15}, \text{ с}^{-1}$  - частота Ридберга.

Положив  $m = 1$ , а  $n = 2$ , (переход, соответствующий  $\lambda = 121,6$  нм) запишем выражение, для оценки радиуса атома в модели Томсона:

$$R = \left( \frac{4}{3} \right)^{2/3} \cdot \left( \frac{e^2}{16\pi^3 \epsilon_0 m_e R_y^2} \right)^{1/3} \quad (8)$$

Подставив в (8) числовые значения физических констант, получим значение  $R \approx 1,02 \cdot 10^{-10}$ , которое по порядку величины весьма близко к размерам атомов, измеренным с помощью газокINETических методов (например, при определении постоянной в уравнении Ван-дер-Ваальса)

Однако в модели Томсона остается невыясненным физический смысл постоянной Ридберга и, фактически, в ее рамках может быть объяснено излучение только лишь одной спектральной линии. Следующий шаг в понимании структуры атома был сделан в 1911 г. Э. Резерфорд с сотрудниками исследовали рассеяние  $\alpha$  частиц (двукратно ионизованных атомов гелия) в тонких металлических фольгах. Обнаружение малой, но статистически достоверной доли  $\alpha$  частиц, испытавших рассеяние на большие (до 150 градусов) углы, позволило сделать вывод о том, что положительный заряд атома сконцентрирован в области с размерами  $10^{-14} \div 10^{-15}$ , что на пять порядков меньше, чем собственный размер атома. В предложенной Резерфордом модели атома электроны движутся вокруг положительного заряда (ядра) по криволинейным траекториям (орбитам). Размер атома есть размер электронной орбиты. Кулоновские силы притяжения играют в атоме для электронов такую же роль, как и гравитационные силы в Солнечной системе для планет. Но в классической электродинамике Максвелла заряды, движущиеся с ускорением, обязаны излучать и, как следствие, терять энергию. Электрон в модели атома Резерфорда за крайне малое время порядка  $10^{-8}$  (при излучении в области оптических частот) должен потерять всю свою энергию и упасть на ядро. Таким образом, предложив правдоподобную пространственную структуру атома, модель Резерфорда не могла объяснить стабильность атома и линейча-

тость оптических спектров излучения и поглощения изолированных атомов. Выход из сложившейся ситуации заключался в отказе от строгого следования законам классической механики и электродинамики. Законы классической физики были сформулированы для описания непрерывных процессов. Между тем, узость спектральных линий, испускаемых отдельными атомами химических элементов, указывает на то, что внутриатомным взаимодействиям присуща дискретность, проявляющаяся, в первую очередь, в конечности числа энергетических состояний атомов. Еще в 1900 г. М. Планк, рассматривая задачу о равновесном излучении абсолютно черного тела, ввел гипотезу о том, что излучение и поглощение света веществом происходит не непрерывно, а отдельными порциями, или «квантами». Развивая идеи Планка, в 1905 г. А. Эйнштейн предположил, что дискретность присуща не только взаимодействию излучения с веществом, но и излучению вообще. На основе идей Эйнштейна и Планка в 1911 г. П. Дебай разработал теорию твердого тела, описывающую колебания кристаллической решетки и обусловленные ими термодинамические свойства твердого тела. В 1913 г. Н. Бор обобщил принцип дискретности энергии на любые атомные системы. Теория Бора стала важным шагом на пути к пониманию внутриатомных явлений. Основные допущения теории были постулированы в виде двух утверждений:

1. Атом (или любая атомная по масштабам система зарядов) может находиться только в некоторых избранных (стационарных) состояниях, характеризующихся определенными дискретными значениями энергии ( $E_1, E_2, \dots, E_N$ ). В этих состояниях система не излучает электромагнитные волны, хотя ее поведение подчиняется законам классической механики.

2. Переход атома из одного стационарного состояния в другое возможен при излучении или поглощении монохроматического излучения, для которого соотношение между частотой  $\omega_{mn}$  и величиной изменения энергии атома определяется в соответствии с теорией Планка:

$$\hbar\omega_{nm} = E_n - E_m, \quad (9)$$

где  $\hbar = 1.054 \cdot 10^{-34}$  Дж.с - фундаментальная физическая величина, носящая название постоянной Планка.

Разумеется, атом может совершить переход с одного уровня на другой не обязательно в результате излучения или поглощения фотона, а, например, в результате столкновения с другой частицей (электроном, другим атомом).

Надежным подтверждением справедливости теории Бора стали данные, полученные в области физики электрон атомных столкновений в результате серии экспериментов, которые провели в 1912-1914 гг. немецкие физики Джеймс Франк (James Franck) и Густав Герц (Gustav Hertz).

Важное следствие из принципа дискретности энергетических состояний атома в теории Бора состоит в том, что передача энергии атому в любом процессе должна происходить также дискретными порциями (квантами), а возможная величина этих квантов должна, по правилу частот Бора, соответствовать атомным спектрам. Экспериментальное доказательство существования стационарных состояний атомов и их связь со спектральными сериями были получены в экспериментах, начатых Д. Франком и Г. Герцем в 1912 г. Одним из возможных механизмов передачи энергии атому является неупругое рассеяние на нем свободного электрона. Вследствие большого отличия масс электрона и ато-

ма, только очень малая доля кинетической энергии налетающего электрона, порядка отношения массы электрона к массе атома, может перейти в кинетическую энергию атома. Таким образом, практически все изменение кинетической энергии электрона связано с изменением внутренней энергии атома.

Первоначальная задача экспериментов Франка и Герца не имела отношения к идеям квантовой физики, а заключалась в проверке теории протекания электрического тока в газах, предложенной Дж. Таунсендом в 1900 г. В этой теории основную роль играет величина  $\alpha$  – число вторичных электронов, которые образует первичный электрон под действием электрического поля, сталкиваясь с молекулами газа, на единице длины пути. Таунсенд измерил эту величину и ее зависимость от давления газа и напряженности электрического поля, а также теоретически связал со средней длиной свободного пробега электрона и энергией ионизации. В теории Таундсенда полагалось, что в каждом, даже не приводящем к ионизации столкновении с молекулой электрон полностью теряет свою энергию. Для проверки данного предположения Франк и Герц провели серию экспериментов по прямому измерению потерь энергии электронов в электрон-атомных столкновениях.

Общая схема одного из вариантов экспериментальной установки приведена на рис.(1). В герметичном стеклянном баллоне в атмосфере исследуемого газа были размещены три электрода: эмитирующий электроны подогреваемый катод  $K$ , коллектор электронов анод  $A$  и максимально приближенная к аноду сетка  $C$ .

Распределение потенциала в межэлектродном пространстве изображено на рис.(2). Электроны, покинувшие поверхность нагрева-



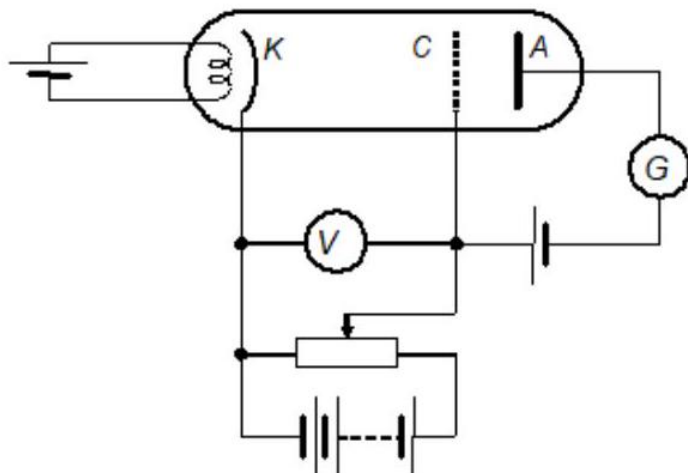


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки опытов Франка и Герца с парами ртути

емого катода в процессе термоэлектронной эмиссии, ускорялись разностью потенциалов между катодом и сеткой. Эту разность потенциалов можно было плавно менять с помощью потенциометра. Между сеткой и анодом создавалось относительно слабое электрическое поле (разность потенциалов  $U_{\text{обр}}$  между сеткой и анодом была около 0,5 В), тормозившее движение электронов к аноду.

Исследовалась зависимость силы анодного тока от напряжения между катодом и сеткой. Измерения производились для ряда различных газов и при разных давлениях, что позволило менять частоту столкновений и длину свободного пробега. Электроны, испытывая неупругие столкновения с атомами, теряют набранную в электрическом поле энергию. Если кинетическая энергия неупруго рассеянного электрона перед сеткой меньше, чем высота потенциального барьера сетка-анод  $U_{\text{обр}}$ , то электрон не

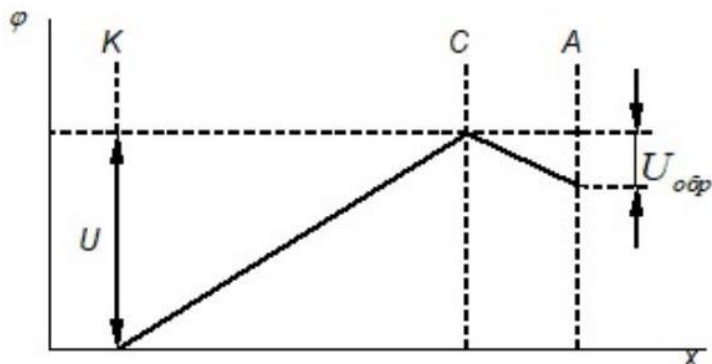


Рис. 2. Распределение электрического потенциала в межэлектродном пространстве

сможет достигнуть поверхности анода, что уменьшит величину тока, регистрируемого гальванометром  $G$ .

Предположение Таундсенда о полной потере энергии электроном в любом соударении не подтвердилось ни в одном газе. Наиболее важный факт был установлен для инертных газов ( $He, Ar$ ): в них вообще не наблюдались потери энергии электрона до тех пор, пока ускоряющее напряжение было меньше некоего определенного критического значения. Отсюда следовало, что невозможно сообщить атому путем соударения с электроном энергию, которая меньше характерного для данного атома значения.

Наиболее интересный экспериментальный результат был получен Франком и Герцем при проведении измерений величины анодного тока в атмосфере паров ртути. Зависимость, полученная в данных опытах представлена на рис. ??.

На кривой виден ряд резких максимумов, расположенных друг от друга на расстоянии примерно 4,9 В. Объяснение немонотонного характера данной зависимости состоит в следующем. Когда

разность потенциалов между катодом и сеткой достигает 4,9 В, то практически каждый электрон, столкнувшись с атомом ртути, будет отдавать ему всю свою энергию. Потеряв скорость, электрон не сможет преодолеть потенциальный барьер сетка-анод и ток в цепи анода резко уменьшится. Это означает, что величина 4,9 эВ является неким энергетическим интервалом, отделяющим нижнее (основное) состояние атома ртути от первого возбужденного и поэтому ее называют первым потенциалом (либо энергией) возбуждения атома. Заметим, что практически все неупругие столкновения при  $U = 4,9$  В будут происходить в непосредственной близости от сетки.

При дальнейшем повышении ускоряющего напряжения  $U$  электроны будут продолжать неупруго сталкиваться с атомами ртути, но количество кинетической энергии, остающейся у электрона после

соударения, будет достаточным для достижения анода. Ток, пройдя некоторое минимальное значение, будет увеличиваться. При этом край зоны неупругих столкновений будет постепенно удаляться от сетки в сторону катода. Когда ускоряющее напряжение достигнет значения  $U = 9,8 = 2 \cdot 4,9$  В, электрон сможет получить от электрического поля энергию, достаточную чтобы дважды претерпеть неупругое соударение с атомами ртути. При этом вся полученная энергия, кратная первому потенциалу возбуждения, снова будет потеряна в неупругих столкновениях и сила тока снова начнет уменьшаться. Зоны неупругих соударений при этом будут находиться в присеточной области и примерно посередине между катодом и сеткой.

При последующем монотонном увеличении ускоряющего напряжения сила анодного тока будет испытывать осцилляции с

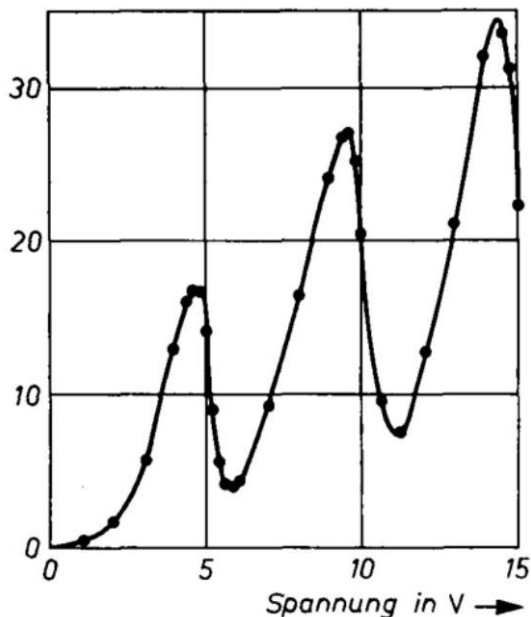


Рис. 3. Зависимость силы тока в цепи анода от напряжения между катодом и сеткой(график из статьи Von J. Franck und G. Hertz "Über Zusammenstoße zwischen Elektronen und den Molekülen des Quecksilberdampfes und die Ionisierungsspannung desselben")

??

периодом, равным первому потенциалу возбуждения атома исследуемого газа. Очевидно, что количество зон неупругих столкновений в меж Электродном пространстве также будет увеличиваться.

Следует иметь в виду, что положение начала первого спада вольт-амперной характеристики (ВАХ) на рис. 3 может отличаться от истинного значения первого потенциала возбуждения из-за наличия контактной разности потенциалов между катодом и сеткой. Влияние систематической погрешности контактной разности потенциалов можно исключить, если определять Энергию

возбуждения по расстоянию между соседними максимумами или соседними минимумами.

Заметим что, для преодоления задерживающего поля имеет значение не модуль скорости электронов, а только продольная (направленная вдоль поля) проекция полной скорости. Очевидно, что величина этой проекции меняется даже в упругих соударениях электронов с атомами. По данной причине каждый провал на ВАХ имеет конечную ширину. Еще один фактор, влияющий на вид ВАХ - пространственный потенциал объемного заряда, создаваемого самими Электронами. Очевидно, что его воздействие будет максимальным в области наибольшей плотности электронов - вблизи катода. Величина отрицательного потенциала, создаваемого облаком электронов в прикатодной области, обусловлена балансом между скоростью термоэмиссии (температурой катода) и скоростью вытяжки электронов (определяется разностью потенциалов катода и сетки).

Кроме того, форма провалов на ВАХ зависит от геометрии электродов, от напряжения  $U_{обр}$  и от давления газа в сосуде.

В последующих экспериментах Франк и Герц, руководствуясь идеей Планка о связи между энергией и частотой, продемонстрировали связь величины полученного кванта энергии с частотой «внутриатомного осциллятора», ответственного за излучение какой-либо спектральной линии атома ртути.

В 1904 - 1905 гг. американский физик Р. В. Вуд провел ряд опытов по возбуждению свечения в газах, в частности в парах ртути. Было показано, что интенсивная линия спектра излучения ртути с Длиной волны  $\lambda = 253,7$  нм в сильной степени поглощается и переизлучается самими парами ртути. Р. В. Вуд назвал данное явление «резонансной флуоресценцией». Франк и

Герц предположили, что частоте именно данной спектральной линии соответствует энергия возбуждения атома ртути электронным ударом. Из формул (6) и (9) следует:

$$\lambda = \frac{2\pi\hbar c}{eU} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1,054 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 4,9} = 253 \cdot 10^{-9} \text{ м} \quad (10)$$

Для проведения собственных оптических измерений Франк и Герц заменили стеклянную колбу кварцевой и использовали ультрафиолетовый спектрограф для регистрации спектра излучения ртутных паров. Результаты показали, что при  $U < 4,9$  В излучение отсутствовало, а при  $U \geq 4,9$  В излучалась исключительно линия 253,7 нм, несмотря на достаточно богатый известный к тому времени спектр излучения ртути. Таким образом, Франком и Герцем было измерено значение величины постоянной Планка, которая оказалась в полном согласии со значением, определенным из спектра теплового излучения самим М. Планком.

Опыты Франка и Герца, благодаря их простоте и наглядности, давно стали классическим подтверждением справедливости квантовой теории. Основные выводы, которые были сделаны:

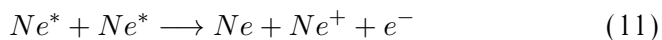
- **столкновение с электроном, обладающим достаточным запасом энергии, может перевести атом в возбужденное состояние;**
- **энергия, передаваемая электроном атому при столкновении, имеет дискретные значения;**
- **положения энергетических уровней атома находятся в согласии с результатами спектроскопических наблюдений.**

Роль опытов Франка и Герца в процессе становления квантовой физики оказалась столь велика, что после признания теории Бора (Нобелевская премия по физике, 1922 г.) Нобелевскую премию в 1925 г. получили и авторы опытов – как было отмечено в сообщении Нобелевского комитета, «за прямое экспериментальное подтверждение существования дискретных энергетических уровней в атоме». В экспериментальной установке лабораторной работы, которой посвящено данное учебное пособие, в отличие от классического варианта опыта Франка-Герца, в качестве исследуемой среды, в которой происходят электрон атомные столкновения, используется инертный газ неон. Выбор неона вместо паров ртути обусловлен рядом причин: очевидные требования техники безопасности для учебной экспериментальной установки, повышение надежности и упрощение эксплуатации и т.п. Кроме того, ряд линий излучения возбужденных атомов неона лежит в видимом диапазоне, что позволяет сделать процесс выполнения работы более наглядным.

Атом неона в основном (невозбужденном) состоянии, как и атом любого инертного газа – элемента восьмой группы, имеет замкнутую валентную электронную оболочку конфигурации  $p^6$ . По этой причине основное состояние атомов инертных газов достаточно далеко отстоит от первого возбужденного. Фрагмент схемы электронных уровней неона приведен на рис. 3. Электронная оболочка нижней группы возбужденных состояний обладает структурой  $2p^53s$ . Данная группа уровней включает в себя четыре состояния с энергией возбуждения от 16,619 до 16,848, различающиеся величиной спинового и полного моментов. Следующая группа возбужденных состояний отстоит от нижней на величину примерно 1,7 эВ и имеет электронную оболочку строения

$2p^53p$ . Энергии десяти уровней этой группы лежат в диапазоне от 18,382 до 18,996 эВ. Спонтанные переходы атомов неона из состояний второй группы в состояния первой группы приводят к появлению излучения ряда узких спектральных линий в видимом  $540 \div 744$  нм диапазоне.

Отметим, что даже в том случае, когда разность потенциалов между ускоряющими электродами меньше энергии ионизации атома неона, в разрядной трубке присутствует определенное количество ионов  $Ne^+$ . Для этого существует целый ряд причин. Во-первых, при столкновении с возбужденным атомом даже низкоэнергетичный электрон может ионизовать его. Во-вторых, энергию достаточную для ионизации электроны могут получить в, так называемых, неупругих процессах второго рода. Сталкиваясь с возбужденными атомами, электроны могут дезактивировать их, отбирая у них энергию. У электронов, испытавших неупругое соударение с возбужденным атомом, запас энергии может оказаться вполне достаточным для последующей прямой ударной ионизации атома. В третьих, возможен следующий механизм ионизации при соударении двух возбужденных атомов:



Разумеется, все сказанное относится не только к процессу ионизации, но и к переходу атомов неона в верхние возбужденные состояния. Эффективность описанных процессов будет зависеть от концентрации и излучательного времени жизни возбужденных атомов.



21,56 эВ – энергия ионизации

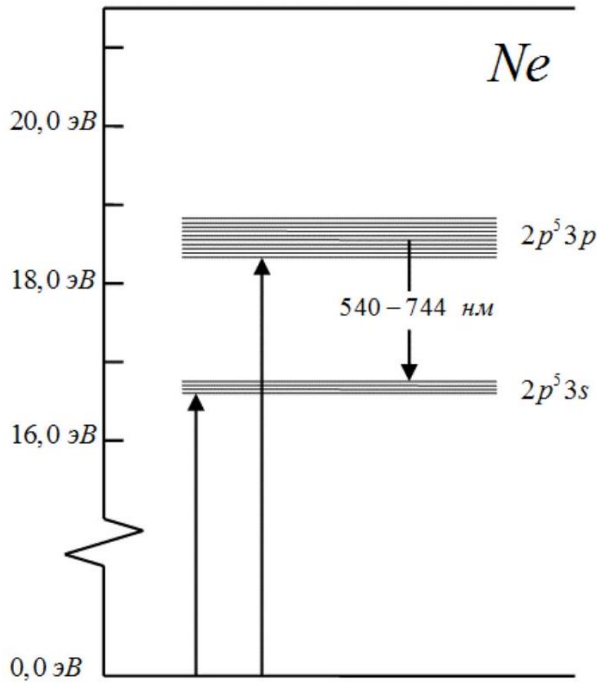
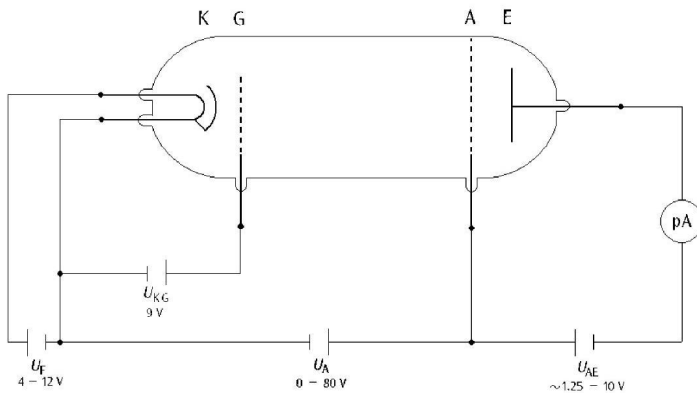


Рис. 4. Схема нижних энергетических уровней атома неона

### Экспериментальная установка



Экспериментальная установка лабораторной работы представляет собой специализированный прибор производства фирмы 3 bScientific (Германия), состоящий из 3 функциональных частей (см. рис. 5,6,): блока управления, осциллографа и разрядной неоновой трубки в защитном корпусе. Принципиальная схема установки представлена на рис. 5. В разрядной трубке, наполненной неоном при давлении около  $10^3$  Па, расположена система четырех плоскопараллельных электродов: оксидированный катод косвенного подогрева  $K$ , два сетчатых электрода  $G$  и  $A$  и анод  $E$ . Напряжение питания подогрева катода  $U_F$  определяет температуру катода и, как следствие, максимальную силу разрядного тока.

Ускоряющая электроны разность потенциалов прикладывается между двумя сетками  $G$  и  $A$ . На анод  $E$  относительно сетки  $A$  подается задерживающее напряжение  $U_{AE}$ . Расстояние между катодом и сеткой  $A$  во много раз больше, чем длина свободного пробега электрона в неооне при данном давлении и температуре, что делает вероятность Электрон атомного столкновения максимально высокой. В свою очередь, расстояние между сеткой  $A$  и анодом  $E$  значительно меньше.

Важное отличие данной установки от классической схемы опыта Франка и Герца заключается в наличии дополнительного электрода - сетки  $G$ , расположенной в непосредственной близости от катода  $K$ . Ее роль состоит в уменьшении влияния пространственного заряда на вид измеряемой ВАХ. Относительно небольшая (порядка единиц вольт ) управляющая разность потенциалов  $U_{KG}$ , прикладываемая между катодом и первой сеткой  $G$ , создает электрическое поле, эффективно удаляющее электроны из прикатодной области. Как следствие, количество электронов, попадающих в меж-сеточную область с ускоряющим полем практически

не зависит от напряжения  $U_A$

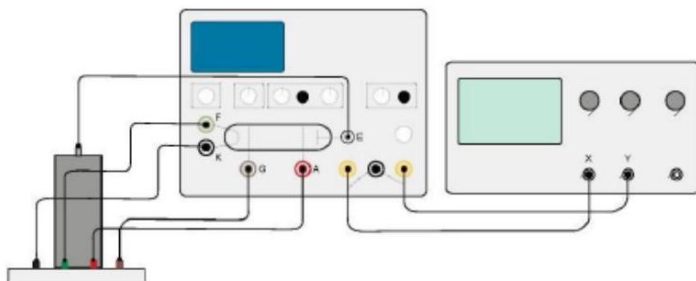


Рис. 5. Схема установки - Трубка Франка-Герца, заполненная неоном

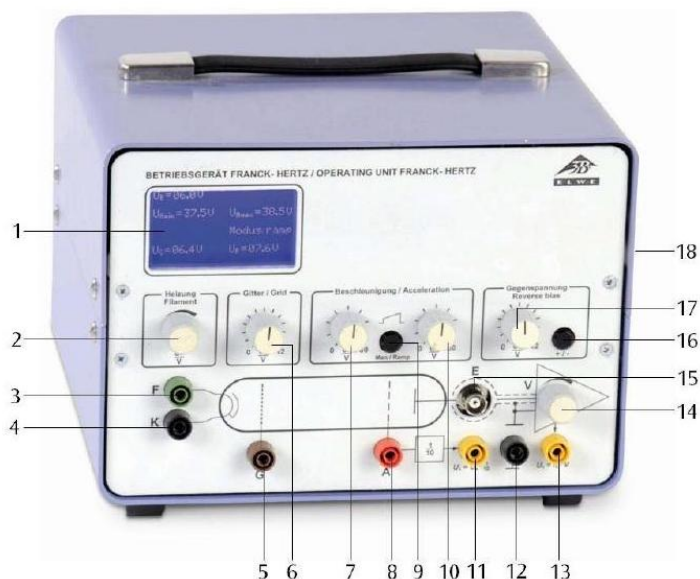
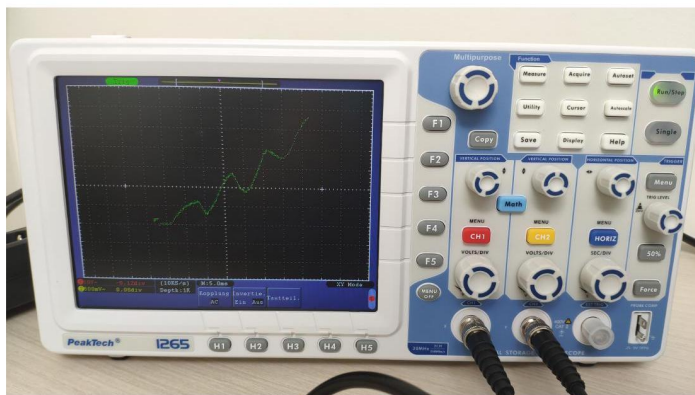


Рис. 6. Схема установки - Блок управления для эксперимента Франка-Герца

Функциональное предназначение элементов лицевой панели блока управления (рис.6) следующее:

1. Дисплей
2. Поворотный регулятор напряжения накала  $U_F$ .
3. Выходное напряжение накала.
4. Катодный выход.
5. Выход управляющей сетки.
6. Поворотный регулятор напряжения сетки  $U_G$ .
7. Поворотный регулятор минимального ускоряющего напряжения  $U_{Amin}$ .
8. Выходное ускоряющее напряжение.
9. Позиционный переключатель Map/Ramp.
10. Поворотный регулятор максимального ускоряющего напряжения  $U_{Amax}$ .
11. Выход "ускоряющее напряжение/10".
12. Разъем с землей.
13. Выход сигнала Франка-Герца.
14. Поворотный регулятор амплитуды сигнала Франка-Герца.
15. Вход сигнала Франка-Герца.
16. Поворотный регулятор «Полярность обратное смещение».
17. Поворотный регулятор напряжения задержки  $U_E$ .
18. Выключатель питания (задняя сторона).

Регистрация ВАХ осуществляется с помощью осциллографа (рис. 8), который подключен к трубке с неоном и блоком управления в режиме ХУ. Регистрируемая характеристика  $I(U)$  имеет вид, аналогичный кривой исходного опыта Франка-Герца с газообразной ртутью, но на этот раз интервалы между минимумами, где ток падает почти до нуля при определенном напряжении  $U$ .



## Проведение измерений

Перед началом эксперимента выключите источник питания и переведите все регуляторы напряжения в крайнее левое положение. **Внимание! Указанные значения напряжений указаны для фиксированного усиления амплитуды выходного сигнала. Ручку регулятора 14 (рис.6) трогать запрещается.**

1. Соберите экспериментальную установку, как показано на Рис. 6.
2. Включите оборудование. Оно запустится в режиме линейного изменения характеристик.
3. Переведите осциллограф в режим  $XY$  с  $X = 10$  В/деление и  $Y = 1$  В/деление. Для этого необходимо нажать кнопку **Display**, а затем под экраном осциллографа нажать клавишу **НЗ**. Масштабы регулируются ручками **Volts/div** под соответствующим каналом.
4. Постепенно увеличивайте напряжение на нагревателе  $U_F$  до 6 В. Затем подождите 30 секунд, чтобы она нагрелась до рабочей температуры.
5. Установите ускоряющее напряжение  $U_{A_{max}}$ , равное 80 В ( $U_{A_{min}} = 0$ ), и напряжение управляющей сетки  $U_G$ , равное 9 В.
6. Постепенно увеличивайте напряжение нагревателя  $U_F$  до 6,5 В.
7. Установите напряжение задержки  $U_E$  в диапазоне от 0 до 4 В.
8. Регулировкой напряжения нагревателя  $U_F$  в пределах 6-7 В добиться появления пиков кривой Франка-Герца на экране осциллографа.
9. Запишите в таблицу 1 напряжения, соответствующие максимумам и минимумам вольт-амперной характеристики.

## Обработка результатов

1. Определите расстояние между минимумами вольт-амперной характеристики.
2. Вычислите энергию возбуждения атома неона как разность между двумя соседними экстремумами ВАХ одного и того же типа. Рассчитайте величину погрешности по формулам обработки результатов прямых многократных измерений.
3. Сравните полученное значение с данными, приведенными в разделе "Электронная структура атома неона". Сформулируйте выводы в соответствии с целями работы.

## Контрольные вопросы

1. Почему для опыта Франка-Герца не используются многоатомные газы?
2. Может ли с точки зрения классической физики атом не может быть устойчивой системой?
3. Сформулируйте постулаты Бора.
4. Какие соударения частиц называются абсолютно упругими, какие – неупругими?
5. Запишите закон сохранения энергии для абсолютно упругого и для неупругого соударения двух тел.
6. При каком условии происходят только упругие столкновения с атомами газа в лампе, и при каком условии возможны неупругие столкновения?
7. Нарисуйте принципиальную электрическую схему измерения вольтамперной характеристики лампы в опыте Франка – Герца в статическом режиме. Объясните назначение элементов схемы и принцип действия установки.
8. Что такое резонансный потенциал возбуждения? Как он определяется в данной работе?
9. Покажите, как по результатам измерения вольтамперной характеристики можно определить контактную разность потенциалов между катодом и ускоряющей сеткой?
10. Что такое первый ионизационный потенциал атома? При каком ускоряющем напряжении в лампе начнут появляться ионы?



## Приложение

Таблица 1: Форма протоколирования результатов лабораторной работы

$U_{Amax} = \dots \text{ В}; U_F = \dots \text{ В}; U_G = \dots \text{ В}; U_E = \dots, \text{ В}$		
№	$U_m, \text{ В}$	$\Delta U_m = U_m - U_{m-1}, \text{ В}$
Максимумы ВАХ		
1		
2		
3		
...		
Минимумы ВАХ		
1		
2		
3		
...		
		$E_{\text{ВОЗБ}} = \langle \Delta U_m \rangle \pm \dots, \text{ эВ}$