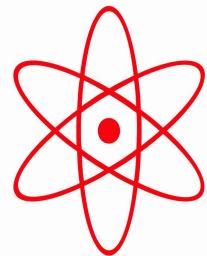


НПО УЧЕБНОЙ ТЕХНИКИ «ТУЛАНАУЧПРИБОР»

МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО ПО ВЫПОЛНЕНИЮ
ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ



ФКЛ-6

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЗОНАНСНОГО ПОТЕНЦИАЛА АТОМА
ИНЕРТНОГО ГАЗА (РТУТИ). ОПЫТ ФРАНКА И ГЕРЦА.**

Тула, 2007 г

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЗОНАНСНОГО ПОТЕНЦИАЛА АТОМА ИНЕРТНОГО ГАЗА (РТУТИ). ОПЫТ ФРАНКА И ГЕРЦА.

Цель работы: изучение процесса возбуждения атомов ртути электронами, измерение первого потенциала возбуждения (резонансного потенциала).

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ.

Уровни энергии атомов. Планетарная модель атома и квантовые постулаты Бора.

Атом построен из тяжелого положительно заряженного ядра и окружающих его электронов. По классической механике такая система может находиться в равновесии лишь при условии, если электроны будут обращаться вокруг ядра по каким-то орбитам. Однако, с точки зрения классической электродинамики, такой атом был бы все же неустойчив, так как при движении с ускорением электроны должны были бы излучать энергию в виде электромагнитных волн и, следовательно, постепенно падать к ядру. Вместе с тем и частота обращения при этих условиях должна была бы непрерывно меняться, и мы получили бы сплошной спектр вместо резких спектральных линий. Тот факт, что этого на самом деле не наблюдается, и атомы испускают резкие спектральные линии, указывает на их замечательную устойчивость, противоречащую классической электродинамике.

Постулат о существовании устойчивых стационарных состояний осцилляторов является необходимой предпосылкой для вывода правильной формулы излучения абсолютно черного тела. Нильсу Бору (1913 г.) принадлежит заслуга отчетливой формулировки этого положения и обобщения его на любые атомные системы. Тем самым впервые с полной ясностью была показана неприменимость классической физики к внутриатомным движениям. Идея о квантах, высказанная Планком в применении к обмену энергией между полем излучения и линейными осцилляторами, приобрела универсальное значение как выражение наиболее характерной особенности процессов внутриатомного мира.

В основу развитой им квантовой теории строения атома Бор положил следующие два постулата:

I. Атомы и атомные системы могут длительно пребывать только в определенных состояниях — стационарных состояниях, — в которых, несмотря на происходящие в них движения заряженных частиц, они не излучают и не поглощают энергию. В этих состояниях атомные системы обладают энергиями, образующими дискретный ряд: E_1, E_2, \dots, E_n . Состояния эти характеризуются своей устойчивостью; всякое изменение энергии в

результате поглощения или испускания электромагнитного излучения или в результате соударения может происходить только при полном переходе (скачком) из одного из этих состояний в другое.

II. При переходе из одного стационарного состояния в другое атомы испускают или поглощают излучение только строго определенной частоты. Излучение, испускаемое или поглощаемое при переходе из состояния E_m в состояние E_n , монохроматично, и его частота ω определяется из условия:

$$E_m - E_n = \hbar\omega \quad (10.1)$$

(условие частот Бора).

Оба эти постулата резко противоречат требованиям классической электродинамики, так как по первому постулату атомы не излучают, несмотря на то, что образующие их электроны совершают ускоренное движение (например, обращение по замкнутым орбитам), а по второму — испускаемые частоты не имеют ничего общего с частотами периодических движений электронов.

Опыты Франка и Герца.

Формулированные в предыдущем пункте квантовые постулаты Бора нашли наиболее непосредственное экспериментальное подтверждение в опытах Дж. Франка и Густава Герца, к описанию этих опытов мы и переходим.

Идея опытов заключается в следующем: атомы или молекулы более или менее разреженного газа обстреливаются медленными электронами; при этом исследуется распределение скоростей электронов до и после соударений. Если соударения происходят упруго, то распределение скоростей в результате соударений не изменяется, и, наоборот, при неупругих соударениях часть электронов теряет свою энергию, отдавая ее атомам, с которыми они испытали соударения, и распределение скоростей меняется.

В результате опытов Франка и Герца оказалось, что:

1. При скоростях электронов, меньших некоторой критической скорости, соударение происходит вполне упруго, т. е. электрон не передает атому своей энергии, но отскакивает от него, изменения лишь направление своей скорости.

2. При скоростях, достигающих критической скорости, удар происходит неупруго, т. е. электрон теряет свою энергию и передает ее атому, который при этом переходит в другое стационарное состояние, характеризуемое большей энергией.

Таким образом, атом или вообще не воспринимает энергию (упругий удар), или воспринимает ее только в количествах, равных разности энергий в двух стационарных состояниях.

Прежде чем переходить к более детальному описанию опытов и их результатов, рассмотрим некоторые вопросы, связанные с осуществлением этих опытов. Основные требования, которым должна удовлетворять экспериментальная установка, предназначенная для изучения соударений медленных электронов с атомами, заключаются в следующем:

1. Источник электронов должен давать достаточно большое число медленных электронов с определенным начальным распределением скоростей.

2. Этим электронам можно сообщить любую, заранее известную скорость путем воздействия приложенного извне ускоряющего поля.

3. Ускоренные электроны должны испытывать соударения с исследуемыми атомами или молекулами в определенном месте аппарата.

Для получения пучков медленных электронов, удовлетворяющих указанным требованиям, пользуются горячими катодами. Электроны, в изобилии получаемые от этих катодов, ускоряются приложенным к катоду потенциалом V , который может меняться по произволу. Скорость v , которую приобретает неподвижный электрон под действием ускоряющего потенциала V вольт, находится из соотношения (закон сохранения энергии):

$$\frac{mv^2}{2} = eV \quad (10.2)$$

Таким образом, при ускоряющем потенциале в 1 В скорость электронов составляет около $6 \cdot 10^7$ см/с. Отсюда видно, что термин «медленные электроны» имеет весьма относительное значение.

Если исследовать зависимость силы тока от ускоряющего напряжения и затем построить график, откладывая по оси абсцисс ускоряющий потенциал, а по оси ординат — соответствующую силу тока, то получается кривая (так называемая вольт-амперная характеристика), типичный вид которой изображен на рис. 1. Отметим, что эта характеристика стандартна для всех вакуумных приборов с эмиссией электронов с катода (термоэлектронная эмиссия у вакуумных ламп, фотоэлектронная эмиссия у фотоэлементов). У этой кривой обращают на себя внимание следующие характерные черты:

1) При некотором потенциале сила тока становится независимой от напряжения; это — «ток насыщения», возникновение которого объясняется тем, что все электроны, освобождаемые в единицу времени при данной

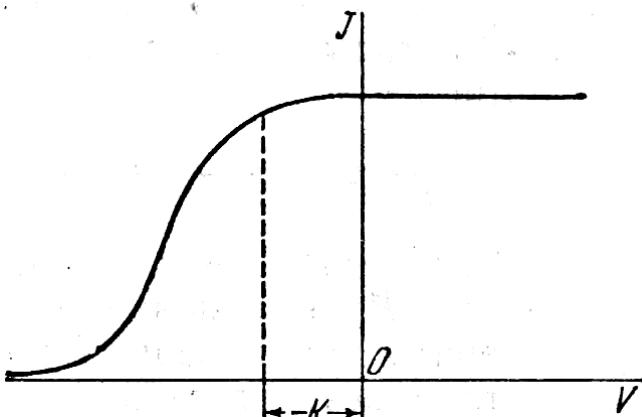


Рис. 1 Вольтамперная характеристика трубки с горячим катодом.

температуре накала из катода, переносятся к аноду.

2) При ускоряющем потенциале, равном нулю, ток не только не падает до нуля, но продолжает оставаться независимым от напряжения также и при потенциалах обратного знака, т. е. при тормозящих потенциалах, вплоть до некоторого потенциала $-K$. При дальнейшем увеличении тормозящего потенциала ток убывает, постепенно спадая к нулю.

Для объяснения этих особенностей следует, прежде всего, принять во внимание, что катод и анод в трубке с горячим катодом всегда бывают сделаны из различных металлов. Поэтому **между катодом и анодом в отсутствии внешнего напряжения обязательно имеется контактная разность потенциалов**. Если теперь внешний ускоряющий потенциал становится равным нулю, то электроны еще подгоняются этой контактной разностью потенциалов. Для компенсации ее необходимо приложить некоторый **тормозящий потенциал K** .

Когда этот потенциал приложен, то сила тока все еще остается отличной от нуля потому, что электроны выходят из катода не с нулевой скоростью, но обладают конечными скоростями, распределенными по закону Максвелла. Только тогда, когда задерживающий потенциал достигает такой величины, что его не могут преодолеть самые быстрые электроны, сила тока становится равной нулю.

Идея опытов, излагаемых в следующих пунктах, как уже было указано, состоит в том, что электронам, получившим определенное ускорение, предоставляется возможность испытывать соударения с атомами газов, вводимых при небольших давлениях в трубку. Для того чтобы установить, каков характер этих соударений, — упругие они или неупругие, очень часто бывает необходимо исследовать после соударений распределение скоростей между электронами. Это осуществляется при помощи метода задерживающего потенциала.

Упругие соударения.

Франк и Герц показали, прежде всего, что если энергия электронов не превосходит некоторой критической величины, то соударения между электронами и атомами происходят вполне упруго. Это значит, что электрон в результате соударения изменяет только направление скорости, не теряя своей энергии. Для доказательства этого было поставлено несколько опытов, из которых мы опишем только один.

В центре металлического диска A (рис. 2) имеется отверстие, в котором помещается нить накала D . Диск подвешен на нитях в пространстве, где может создаваться любое давление газа. При помощи специального приспособления, действующего через шлиф, диск может быть поднят или опущен без нарушения вакуума. В пространстве между вторым диском B и сеткой C может быть создано задерживающее поле, при помощи которого измеряется распределение скоростей между электронами. Давление газа выбирается таким, чтобы в пространстве между сеткой C и воспринимающей

Вероятность,
того, что
энергия эл-
нов равна
eV.

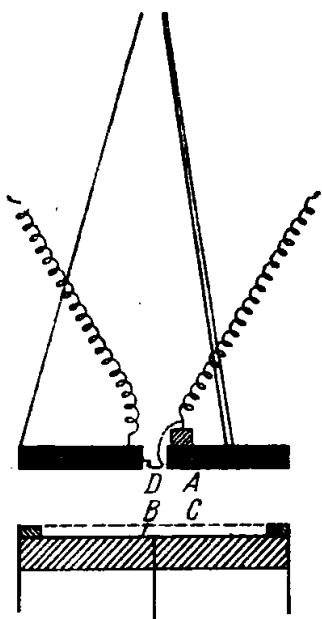


Рис. 2

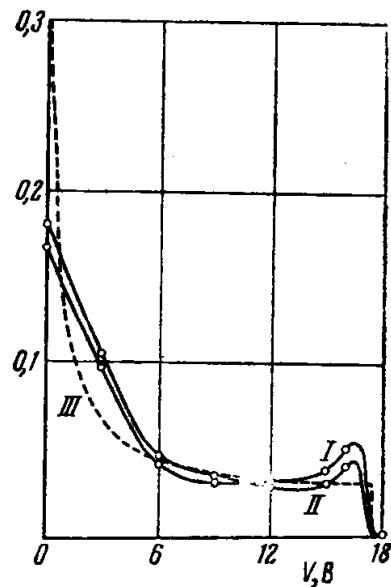


Рис. 3

пластинкой *B* электроны по возможности не испытывали соударений. На рис. 3 представлено распределение энергии электронов в гелии при давлении 1,3 мм и при ускоряющем потенциале 18 В. Кривая I измерена при расстоянии *AC*, равном 4 мм, кривая II — при расстоянии 18 мм. Несмотря на то, что электроны во втором случае испытывают неизмеримо большее число соударений, чем в первом, обе кривые почти точно совпадают. Отсюда следует, что удары между электронами с энергией в 18 эВ и атомами гелия происходят вполне упруго.

Пунктирная кривая III на рис. 2 есть теоретическая кривая, рассчитанная в предположении, что вследствие соударений, скорости электронов меняют свое направление так, что электроны, проходящие сквозь отверстия сетки *C*, имеют всевозможные направления в пределах полусфера. Как видно, эта кривая близко подходит к экспериментальным кривым.

Характер кривых требует дополнительного разъяснения. Обращает на себя внимание тот факт, что функция распределения электронов по энергиям принимает наибольшее значение при энергии, равной нулю. Причина этого — чисто геометрическая. Теоретическая кривая III, как уже сказано, построена в предположении, что электроны результате соударений, не меняя своей скорости *по величине*, имеют в пространстве между сеткой *C* анодом всевозможные направления. Далее, необходимо принять во внимание, что в методе задерживающего потенциала при плоских электродах имеет значение только *нормальная* составляющая скорости.

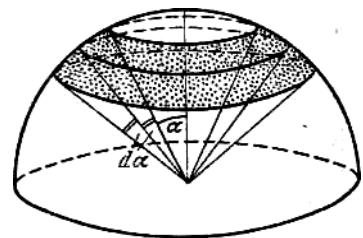


Рис. 4.

При совершенно равномерном распределении скоростей по направлению числа электронов, попадающих внутрь телесного угла $d\Omega = 2\pi \sin \alpha \cdot d\alpha$ (рис. 4), будет:

$$dN = N_0 d\Omega = 2\pi N_0 \sin \alpha \cdot d\alpha.$$

Из этого следует, что наибольшее число электронов приходится на угол α , равный $\pi/2$. Но для таких электронов нормальная составляющая скорости равна нулю. Это и объясняет подъем кривой при переходе к нулевой энергии. Небольшой максимум, имеющийся на экспериментальных кривых при энергии, несколько меньшей 18 эВ, несомненно, обусловлен тем, что распределение по направлениям электронов, проходящих через сетку, не вполне хаотическое: заметная доля электронов сохраняет направление скорости, близкое к нормали.

Неупругие соударения. Критические потенциалы.

Для доказательства существования неупругих соударений Франком и Герцем была использована следующая установка. Электроны от нити накала D (рис. 5) ускорялись отрицательным потенциалом, наложенным на нить D (соответственно, на N ложен положительный потенциал, относительно D). В пространстве между D и N эти электроны испытывали многочисленные соударения и попадали, в конце концов, на воспринимающую пластинку A . Гальванометр G , соединенный с A , измерял ток пластиинки. Сетка N , заряженная слабо положительно относительно A (в большинстве случаев до потенциала +0,5 В, т.о. между N и A создан задерживающий потенциал), помещалась непосредственно перед пластинкой A .

Назначение сетки заключалось в том, чтобы вылавливать электроны, почти полностью потерявшие свою энергию вследствие неупругих соударений. Опыт производился в парах ртути при относительно высоком давлении и состоял в измерении тока пластиинки A в зависимости от ускоряющего потенциала, наложенного на сетку N . При увеличении ускоряющего потенциала от нуля ток первоначально возрастал (рис. 6), причем кривая тока имела обычный вид вольтамперных характеристик термоэлектронных приборов. Но при потенциале около 4,1 В ток внезапно резко падал, а затем вновь начинал возрастать до потенциала 9,0 В, при котором вновь обнаруживалось резкое падение тока и новое его возрастание до потенциала 13,9 В. Таким образом, вся кривая представляла собою ряд острых максимумов, отстоящих друг от друга на расстоянии 4,9 В. Тот факт, что расстояние между двумя соседними максимумами всегда составляло

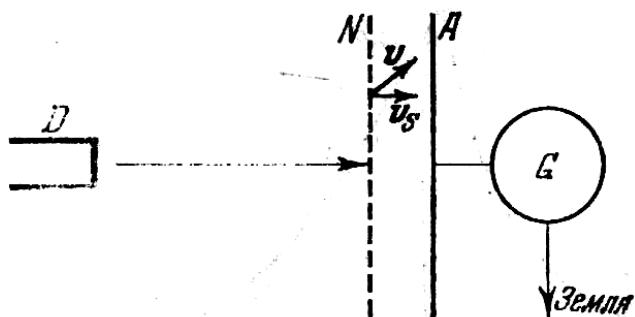


Рис. 5 Схема метода задерживающего потенциала.

(с точностью до 0,1 В) 4,9 В, а первый максимум обнаруживался у 4,1 В, легко объясняется тем, что к наложенному извне ускоряющему потенциалу прибавляется контактная разность потенциалов, которая как бы смещает всю кривую влево, не изменяя расстояния между максимумами.

Истолкование максимумов кривой на основании сказанного выше не представляет затруднений. До тех пор, пока энергия электрона не достигнет 4,9 В, он испытывает с атомами ртути упругие соударения, и ток возрастает с увеличением потенциала по обычному закону. При потенциале 4,9 В удар становится неупругим, электрон отдает при соударении атому ртути всю свою энергию. Эти электроны не попадут на пластинку А, так как они будут выловлены обратно сеткой N , заряженной до +0,5 В, и ток пластиинки резко упадет.

Если энергия электронов заметно превосходит 4,9 В, то такие электроны, потеряв часть своей энергии при неупругом соударении, сохраняют достаточный избыток энергии и потому, несмотря на наличие положительно заряженной сетки, достигают пластиинки А, — ток вновь начинает возрастать.

Мы видим, таким образом, что энергия в 4,9 эВ имеет особое значение для атомов ртути. Меньшую энергию они воспринять не могут, так как при меньшей энергии бомбардирующих их электронов удар происходит вполне упруго; энергию же в 4,9 эВ они воспринимают полностью. Но это и означает в согласии с первым постулатом Бора, что атом ртути может обладать не любыми запасами энергии, а только избранными. Если E_1 будет запас энергии «невозбужденного» атома ртути, то следующее возможное значение энергии атома будет $E_1 + 4,9$ эВ. Ускоряющий потенциал 4,9 В называется «первым критическим потенциалом» или «резонансным потенциалом» атома ртути. Такие же резонансные потенциалы найдены и для других атомов. Например, для калия резонансный потенциал равен 1,63 В, для натрия — 2,12 В, для гелия — 21 В, аргона — 11,6 В и т. д.

Опыты Франка и Герца подтверждают второй постулат Бора — правило частот. При достижении ускоряющего напряжения 4,9 В пары ртути начинают испускать ультрафиолетовое излучение с $\lambda=253,7$ нм. Это излучение связано с переходом атомов ртути из первого основного состояния в основное.

Само собою разумеется, что, кроме энергии, соответствующей первому критическому потенциалу, атомы могут обладать и другими, более высокими ступенями энергии возбуждена. Эти более высокие ступени возбуждения

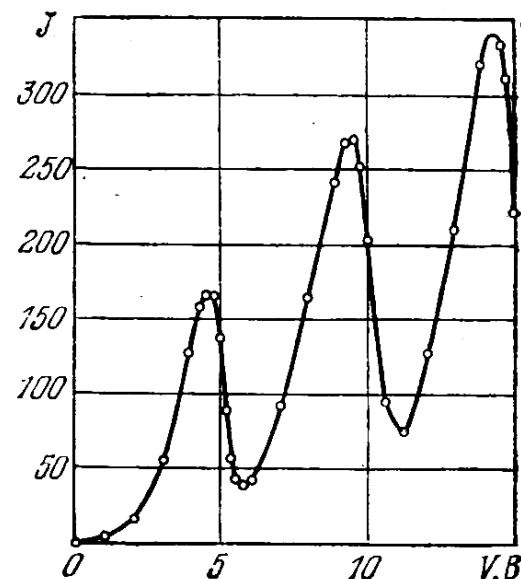


Рис. 6

могут быть также найдены при помощи метода электронных соударений. Однако экспериментальная методика для этой цели должна быть виде изменена и в данной лабораторной работе мы её не рассматриваем. Интересующимся рекомендуем обратиться к списку литературы, в особенности к книге Шпольский Э. В. «Атомная физика», т.1.

Методика эксперимента.

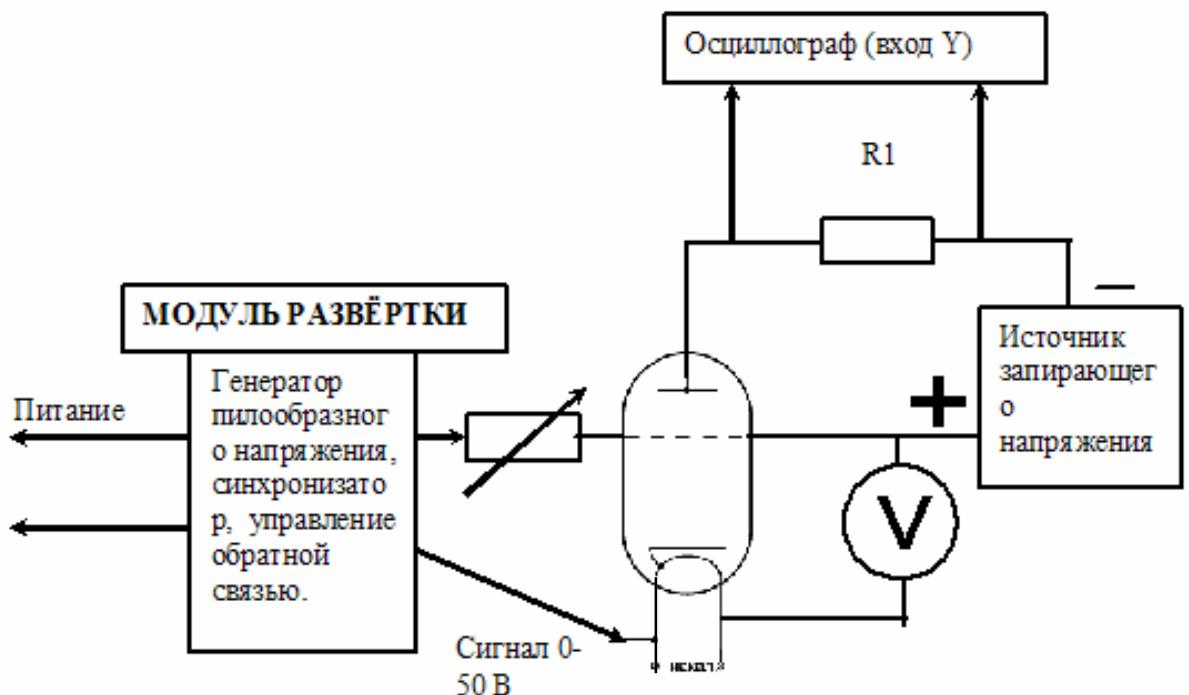


Рис. 7. Блок-схема экспериментальной установки.

В лабораторной установке используется серийная трехэлектродная лампа ТГ1-0.1/0.3 (тиратрон, заполненный инертным газом аргоном) либо ПМИ-2 (лампа, используемая в ионизационном манометре). Вид лампы приведен на рис. 8. Катод и накал лампы соединены и представляют собой единый электрод. Данная конструкция позволяет избежать погрешности, связанной с возможностью появления различных явлений между катодом и нитью накала.

Блок-схема экспериментальной установки изображена на рис.7. Модуль развертки состоит из нескольких модулей, основная задача которых в выработке пилообразного напряжения нужной частоты, формы и длительности, а также синхронизации сигнала (подробные принципиальные

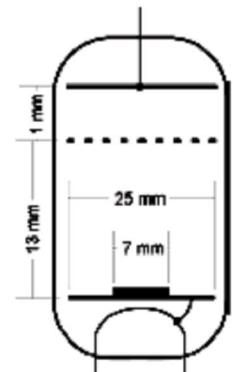


Рис. 8. Лампа газонаполненная трехэлектродная.

схемы см. в паспорте установки). Форма импульсов представлена на рис. 9.

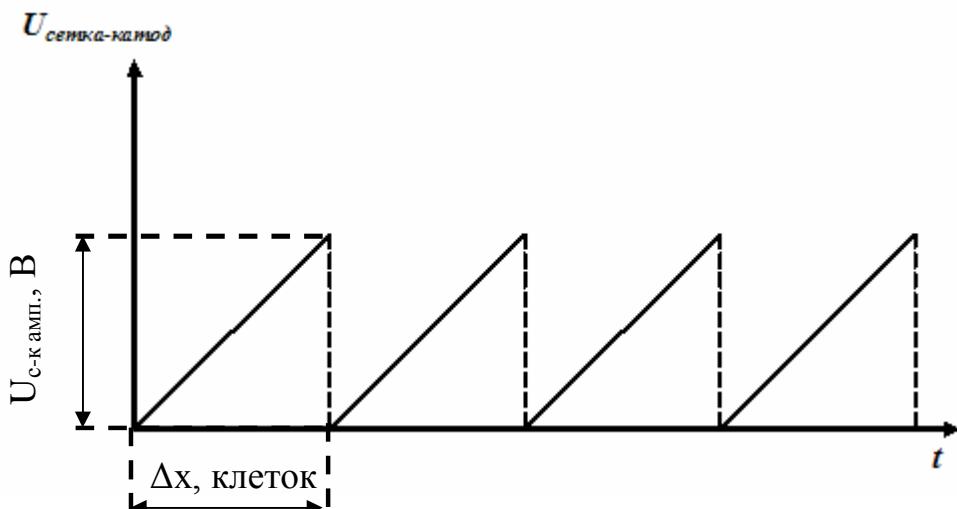


Рис. 9. Форма сигнала, подаваемого на промежуток сетка-катод триода.

Напряжение такой формы подаётся на промежуток сетка-катод триода. Потенциал сетки линейно возрастает относительно неизменного потенциала катода. Таким образом, между сеткой и катодом лампы создаётся ускоряющее напряжение, линейно меняющееся во времени – создается развёртка во времени по оси X осциллографа, а, так как напряжение $U_{\text{сетка-катод}}$ пропорционально времени t ($U_{c-k} \sim kt$), то развертка по времени есть развёртка по напряжению $U_{\text{сетка-катод}}$. С помощью источника запирающего напряжения между сеткой и анодом лампы создан запирающий потенциал. Питание всех устройств осуществляется от стабилизированного источника питания.

С резистора $R1$ снимается сигнал, пропорциональный анодному току $I_{\text{анод}}$ лампы. В результате получаем на экране осциллографа вольт-амперную характеристику лампы, т. е. зависимость тока анода $I_{\text{анод}}$ от ускоряющего напряжения $U_{\text{сетка-катод}}$, имеющей вид, аналогичный рис.6.

Переменным резистором R имеется возможность регулировать значение ускоряющего напряжения подаваемого на сетку-катод лампы. Цифровой измерительный прибор - ЦИП, собранный на базе ЖКД дисплея и микроконтроллера служит для измерения **амплитудного значения** этого напряжения. Величины запирающего напряжения, а также ток накала подобраны наилучшим образом и их регулировка не предусмотрена. Переключатель «РОД РАБОТЫ», расположенный под ручкой R предназначен для переключения между режимами измерения и калибровки осциллографа. При этом текущее состояние переключателя высвечивается на панели ЦИП.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Перед выполнением работы рекомендуется ознакомиться с работой электронного осциллографа.

Блок – схема включения модуля совместно с осциллографом и звуковым генератором приведена на рис.10.

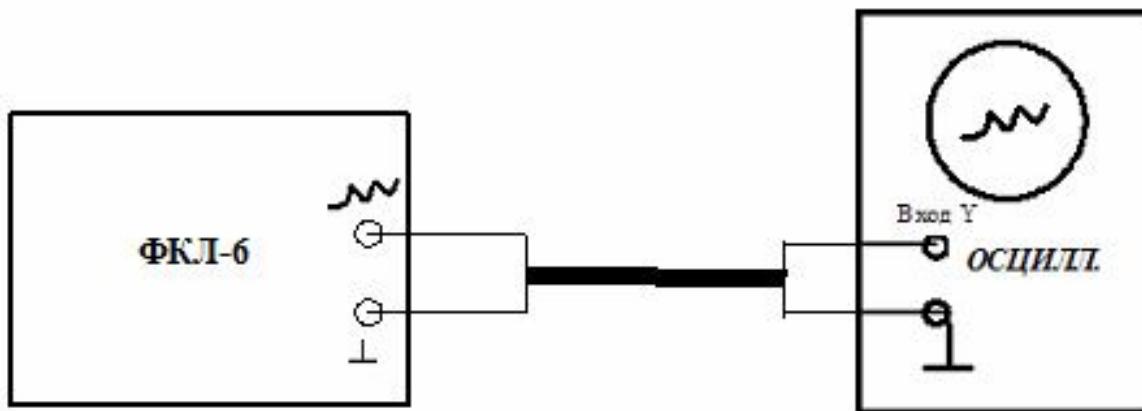
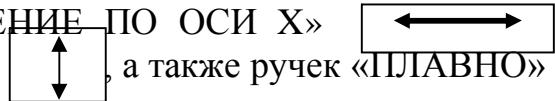


Рис. 10. Блок- схема включения лабораторного модуля ФКЛ-6.

1. Ознакомиться с блок-схемой включения модуля ФКЛ-6, приведенной на рис. 10
2. Включить осциллограф и лабораторную установку в сеть напряжением ~220 В.
3. Поставить кнопку «СЕТЬ» на панели осциллографа во включенное положение. При этом должна загореться сигнальная лампа на панели осциллографа.
4. Поставить переключатель «СЕТЬ» на панели модуля ФКЛ-6 в положение «ВКЛ», при этом должен загореться сигнальный светодиод «СЕТЬ» на панели модуля. На цифровом индикаторе (ЦИП) при этом должно индуцироваться некоторое значение ускоряющего напряжения (прибор ЦИП отградуирован таким образом, что показывает **амплитудное значение пилообразного напряжения** U_{c-k} ампл., подаваемого на сетку-катод лампы - рис. 9). Дать прогреться всем приборам в течение не менее 3 минут.
5. Переключатель «РОД РАБОТЫ», расположенный непосредственно под переменным резистором R , перевести положение, обеспечивающее вывод на экран осциллографа вольт-амперной характеристики триода. При этом на цифровом индикаторе должно высветиться сообщение «Measurement» («Измерение»).
6. Плавным вращением резистора R установить максимально возможное значение ускоряющего напряжения для того, чтобы получить вольт-амперную характеристику с максимально возможным количеством

экстремумов.

7. Установить ручки на панели осциллографа таким образом, чтобы обеспечить развертку всей вольт-амперной характеристики лампы. Рекомендуемые положения ручек: **0.1 ВОЛЬТ/ДЕЛ; 1 МС ВРЕМЯ/ДЕЛ; кнопка «+ -» отжата; кнопка БЛК нажата; ручка УРОВЕНЬ – среднее положение; синхронизация «ВНУТР» (кнопка отжата); синхронизация СЕТЬ, ТВ – кнопки отжаты, режим «АВТО» (кнопка нажата);**
8. Вращением ручек **«СМЕЩЕНИЕ ПО ОСИ X»**  , **«СМЕЩЕНИЕ ПО ОСИ Y»**  , а также ручек **«ПЛАВНО»** для

осей **X** и **Y**, находящихся на передней панели осциллографа, расположить картинку так чтобы вся вольт-амперная характеристика умещалась на экране. Затем, вращением ручки **«СМЕЩЕНИЕ ПО ОСИ X»** и ручкой **«ПЛАВНО»** для оси **X** расположить характеристику таким образом, чтобы расстояние между пиками было равно целому числу клеток, например 2 клетки (для удобства измерения).

9. Срисовать вольт-амперную характеристику с экрана осциллографа в натуральную величину.
10. **Вследствие ограниченного ресурса лампы, вращением резистора R необходимо снизить значение ускоряющего напряжения U_{c-k} до 35,0 В.**
11. Определить расстояние $\Delta x_{n \rightarrow n+1}$, выраженное в клетках (количество клеток, естественно, может быть дробным), между 1-ым и 2-ым; 2-ым и 3-им пиками, т.е. несколькими соседними максимумами а также между соседними минимумами (обычно отчетливо наблюдается не более 3 экстремумов).
12. Далее необходимо определить коэффициент чувствительности оси **X** осциллографа, для чего установить переключатель «РОД РАБОТЫ» в положение **«Calibration»** (**«калибровка»**). В данном положении, ускоряющее напряжение с выхода генератора линейно изменяющееся напряжение (рис. 9) через аттенюатор (резистивный делитель) подается на вход **Y** осциллографа.
13. Вращением ручки **R** установить рекомендуемое для калибровки амплитудное значение этого напряжения с выхода генератора порядка 35 Вольт.
14. Наблюдая на экране осциллографа сигнал по форме рис. 9 (наблюдается какая-либо одна из повторяющихся наклонных полос), срисовать его строго по клеткам на миллиметровую бумагу.
15. Определить коэффициент чувствительности оси **X** как коэффициент наклона прямой $K_{чувств.} = \frac{\Delta U_{c-k \text{ амп}}}{\Delta x} = \left[\frac{\text{вольт}}{\text{клетка}} \right]$, где $\Delta U_{c-k \text{ амп}}$ - установленная амплитуда линейного импульса по показаниям прибора ЦИП.

16. Расстояние между пиками, определенное в п. 11 и выраженное в количестве клеток, перевести в значение потенциала $\Delta\varphi$ по формуле:

$$\Delta\varphi = K_{\text{чувств.}} \cdot \Delta x_{n,n+1}$$

17. Все данные занести в таблицу:

$$K_{\text{чувствительности}} = \dots$$

№ опыта			Значение резонансного потенциала $\Delta\varphi$ ($\Delta x_{n,n+1}$ в вольтах), В.	Среднее значение $\langle\Delta\varphi\rangle$, В
1.	Расстояние $\Delta x_{n,n+1}$ между соседними пиками, в клетках.
		
2.	Расстояние $\Delta x_{n,n+1}$ между соседними минимумами, в клетках.
		

17. При возбуждении резонансной линии атома происходит последующее излучение с длиной волны λ , которую легко можно вычислить, используя закон сохранения энергии. Электрон, проходя ускоряющую разность потенциалов, набирает энергию $e\Delta\varphi$, которую передаёт атому инертного газа (либо ртути в зависимости от наполнения лампы). Атом переходит в возбуждённое состояние, излучая длину волны λ . Таким образом:

$$h \cdot \frac{c}{\lambda} = e \cdot \langle\Delta\varphi\rangle \quad (10.3)$$

Подсчитать длину волны λ , нм с помощью формулы (10.3).

ПОТЕНЦИАЛЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ГАЗОВ

Таблица 1

Газ	H ₂	He	Ne	Ar	Kr	Xe	Hg	Cs
$U_{\text{возб.}}$, В	11,2	20,9	16,6	11,6	10,0	8,5	4,9	1,4

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чём противоречие модели атома Бора с классической электродинамикой? Объясните постулаты Бора.
2. В чём заключается идея опыта, предложенная Франком и Герцом?
3. Каким требованиям должна удовлетворять экспериментальная установка?
4. Какие виды соударений возможны между атомом и налетающим на него с некоторой скоростью электроном? Является ли опыт Франка и Герца доказательством возможности неупругих соударений?
5. Объясните полученную вами на экране осциллографа вольт-амперную характеристику $I_A(U_{сетка-катод})$ лампы. Почему наблюдается четкий ряд пиков и спадов тока на вольт-амперной характеристике лампы?
6. Почему для наблюдения вольт-амперной характеристики на экране осциллографа необходим Генератор Линейно Изменяющегося Напряжения (ГЛИН)?
7. Существуют ли резонансные потенциалы для других газов и веществ?
8. В чём состоят различия между потенциалом возбуждения и ионизационным потенциалом атома?
9. Электрон в электронно-лучевой трубке с накаленным катодом, под действием ускоряющего напряжения +1 кВ, приложенного на анод трубы, преодолел некоторое расстояние между катодом и анодом. С какой скоростью он ударится об анод трубы и какую энергию передаст аноду. Возможно ли нагревание анода?
10. Какие методы можно использовать для определения других стационарных состояний атома? (см приложение).

ПРИЛОЖЕНИЕ

Метод двух сеток

Как уже было сказано, более высокие ступени возбуждения атома также могут быть найдены методом электронных соударений. Здесь мы кратко опишем данный метод.

Для перевода атома в возбужденное состояние требуется энергия равная или большая $\Delta E_{12} = E_2 - E_1$. Здесь E_1 – энергия основного состояния, E_2 – энергия уровня ближайшего к основному (его часто называют резонансным уровнем).

Наименьшие значения величины ΔE_{12} наблюдаются у атомов щелочных металлов, а наибольшие у атомов инертных газов. Например, для натрия она составляет 2,12 эВ, для гелия – 21 эВ, для ртути – 4,9 эВ. Когда кинетическая энергия электрона меньше ΔE_{12} столкновения электрона с атомами будут упругими.

Электрон в несколько тысяч раз легче ядра атома. Поэтому скорость электрона после упругого столкновения с атомом будет меняться не по величине, а только по направлению. В плотных газах электрон сталкивается с атомами очень часто. Но не смотря на это кинетическая энергия электрона, по мере движения к сетке, будет расти. Увеличение кинетической энергии продолжается до тех пор, пока столкновения с атомами будут упругими. Когда энергия электрона достигнет величины равной первому потенциалу возбуждения – ΔE_{12} , атом, в результате столкновения, перейдет в возбужденное состояние. Электрон потеряет энергию движения. Поэтому высшие уровни энергии атома в опыте Франка и Герца практически не возбуждаются.

Идея метода двух сеток состоит в создании ситуации, когда уже на длине L свободного пробега электрон набирает энергию позволяющую перевести атом на более высокие уровни, чем резонансный уровень. Математически это означает, что в экспериментальной установке реализуется неравенство:

$$\frac{dU}{dz} L > \Delta E_{12}, \quad (1)$$

где градиент ускоряющего напряжения U берется вдоль направления эмиттер-сетка, обозначенного как ось z .

Увеличения средней длины свободного пробега можно добиться уменьшением плотности (давления) газа в баллоне лампы. Однако при этом вероятность столкновений электронов с атомами резко падает и амплитуды скачков тока на ВАХ будут мало заметны и сравнимы с шумами. На практике поступают иначе: увеличивают градиент ускоряющего напряжения в зазоре эмиттер-сетка. Одна из схем эксперимента показана на рис.12.

Основное отличие от установки Франка и Герца состоит во введение в прибор двух сеток: C_1 и C_2 . Ускоряющее напряжение U подается на сетку C_1 , которую размещают очень близко к эмиттеру, на расстоянии $d < L$. Поэтому электроны, вылетающие из катода, ускоряются до нужных значений энергии практически не сталкиваясь с атомами газа. Столкновения с атомами происходят в пространстве между сетками. Чтобы на столкновения не влияли электрические поля, сетки C_1 и C_2 замыкают между собой. На практике роль двух сеток может играть “клетка Фарадея”. Таким образом, в методе двух сеток ускорение электронов до нужных значений энергии осуществляют в зазоре эмиттер – первая сетка. Столкновения же с атомами происходят внутри области ограниченной сетками C_1 и C_2 . Электроны, испытавшие столкновения затем вылавливаются коллектором. Метод позволяет разделять уровни возбуждения атома, отстоящие друг от друга на десятые доли эВ.

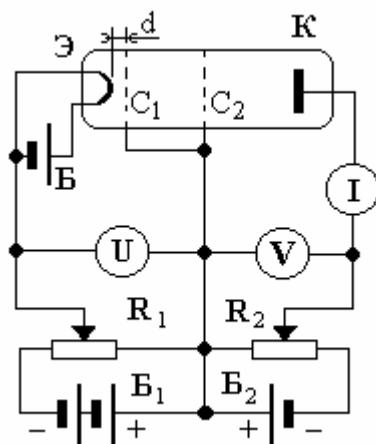


Рис.12. Метод двух сеток

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

При разработке данной лабораторной работы была использована следующая литература:

1. Иродов И. Е., Квантовая физика. Основные законы., М. 2002
2. Савельев И. В. Курс общей физики. М., 1982, т. 3
3. Шпольский Э. В., Атомная физика т.1, т.2
4. Курс физики, под редакцией Лозовского В.Н., С-Пб 2001.
5. Рохлин Г. Н., Разрядные источники света, М., Энергоатомиздат,1991.
6. Лабораторный практикум по физике, под ред. К. А. Барсукова, М. 1988.
7. Принципиальные электрические схемы электронного осциллографа.
8. Физический практикум по атомной и ядерной физике часть 3, учебно-методическое пособие Калининградского Государственного Университета, 2004 г.