

НПО УЧЕБНОЙ ТЕХНИКИ «ТУЛАНАУЧПРИБОР»

МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО ПО ВЫПОЛНЕНИЮ  
ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ



**ФКЛ-7**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ВОЗБУЖДЕНИЯ И  
ИОНИЗАЦИИ АТОМОВ ИНЕРТНОГО ГАЗА МЕТОДОМ  
ЭЛЕКТРОННОГО УДАРА.  
МОДЕЛЬ НА БАЗЕ МИКРОЭВМ TSD-8 ДЛЯ  
ЭКСПЛУАТАЦИИ С ОСЦИЛЛОГРАФОМ**

Тула, 2014 г.

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ВОЗБУЖДЕНИЯ И ИОНИЗАЦИИ АТОМОВ ИНЕРТНОГО ГАЗА МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННОГО УДАРА.

Цель работы: изучение неупругих столкновений электронов с атомами. Определение потенциала ионизации атома инертного газа и потенциала возбуждения атомов инертного газа методом электронного удара.

### ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ.

#### Энергетические состояния атомов.

Согласно современным теоретическим представлениям атомные системы могут находиться только в некоторых определенных состояниях, называемых *стационарными*. Каждому стационарному состоянию соответствует свое фиксированное значение энергии. Спектр допустимых значений энергий атомов является дискретным. Состояние с наименьшим допустимым значением энергии атома называется основным состоянием. Часто при взаимодействиях атома с внешними системами изменяется состояние только валентного (внешнего) электрона. Поэтому в данной работе мы будем считать, что энергия атома эквивалентна энергии валентного электрона, а состояние атома и состояние валентного электрона будем считать синонимами. Значения энергии разрешенного состояния называют энергетическими уровнями. На энергетических диаграммах энергетические уровни обозначают черточками.

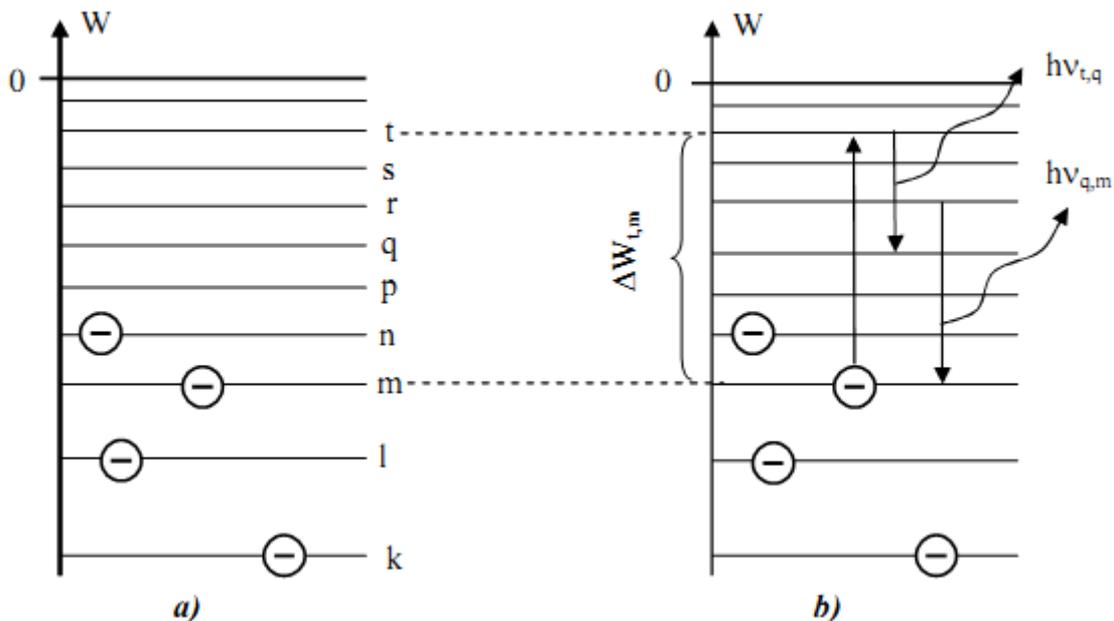


Рис. 1.1. Энергетическая диаграмма атома и некоторые возможные переходы.

Если атом находится в основном состоянии, то все энергетические уровни, расположенные ниже энергетического уровня валентного электрона, заняты электронами, а все вышележащие уровни – свободны, см. рисунок 1.1(а). В

случае внешних воздействий атом, т. е., как правило, один из его валентных электронов может получить дополнительную энергию  $\Delta W$  и перейти в какое-либо из разрешенных состояний с большей энергией, рисунок 1.1(б). Такое состояние атома называется возбужденным. В возбужденном состоянии атом долго находиться не может. Очень быстро он спонтанно (самопроизвольно) возвращается непосредственно в основное состояние или переходит в одно из возбужденных состояний с меньшей энергией, например с уровня  $t$  на уровень  $q$  на рисунке 1.1(б).

Переход атомной системы из состояния с большей энергией  $W_k$  в состояние с меньшей энергией  $W_n$  сопровождается выделением энергии:

$$\Delta W = W_k - W_n, \quad (1.1)$$

которая излучается в виде кванта электромагнитного излучения  $h\nu$ , так что:

$$h\nu = W_k - W_n \quad (1.2)$$

Соотношение (2) называется правилом частот.

Энергию возбуждения часто характеризуют потенциалом возбуждения. При этом под потенциалом возбуждения понимают ту разность потенциалов, которую должен пройти свободный электрон, чтобы приобрести энергию, равную данной энергии возбуждения. Потенциал возбуждения равен той разности потенциалов, которую должен пройти электрон, чтобы приобрести энергию, равную энергии возбуждения данного энергетического уровня атома.

Если подведенная извне энергия превысит модуль энергии основного состояния валентного электрона, то валентный электрон, получив эту энергию, выйдет за пределы атома и станет свободным. Такой процесс называется ионизацией атома. В результате ионизации, нейтральный атом превращается в положительно заряженный ион и, кроме того, появляется свободный электрон.

Минимальная энергия, при которой возникает ионизация атомов, называется энергией ионизации  $W_i$ . Энергия ионизации атомов зависит от структуры атомов и характеризуется потенциалом ионизации. Потенциал ионизации равен той разности потенциалов, которую должен пройти электрон, чтобы приобрести энергию, равную энергии ионизации атома.

### Краткая теория строения атома Бора.

Нильс Бор в период 1913 – 1920 гг. сформулировал два постулата, которые легли в основу квантовой теории атома.

1. Атомная система устойчива только для определённой совокупности состояний, «стационарных состояний», которая в общем случае соответствует дискретной последовательности значений энергии атома  $E_1, E_2, E_3, \dots$ . Каждое изменение этой энергии связано с полным «переходом» атома из одного стационарного состояния в другое.

2. Способность атома поглощать и испускать излучение подчиняется закону, по которому излучение, связанное с переходом, должно быть монохроматическим и иметь частоту  $\nu_{nm}$ , определяемую соотношением:

$$h\nu_{nm} = E_n - E_m. \quad (2.1)$$

Исходя из постулатов Бора, можно построить диаграмму уровней энергии атома (рис.2.1). Обычно уровни энергии откладывают в линейном масштабе. Для атома типичные расстояния между уровнями имеют порядок электронвольта.

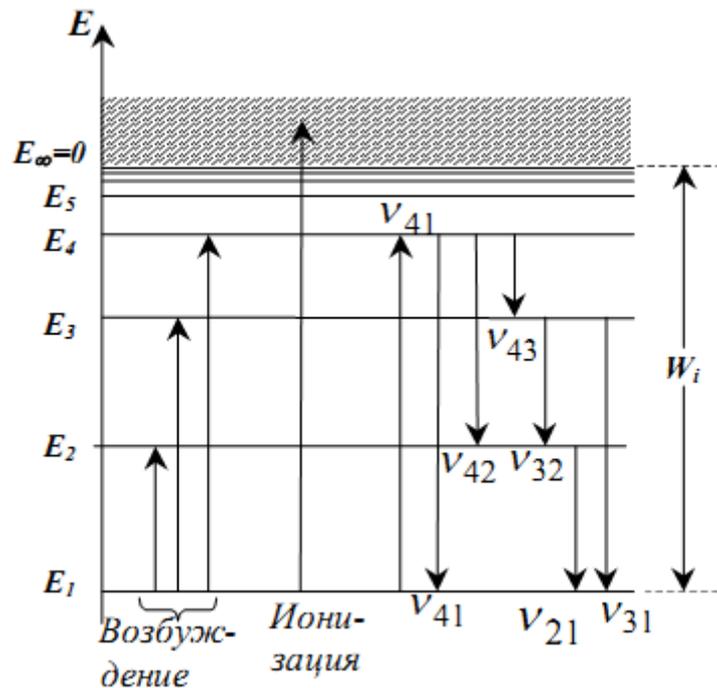


Рис. 2.1. Построение энергетической диаграммы атома с возбуждением и ионизацией.

В основном состоянии, которому отвечает минимальная энергия  $E_1$ , атом может находиться сколь угодно долго. Процесс перехода атома в состояние с большей энергией называется *возбуждением*. В возбуждённом состоянии атом обычно задерживается на сравнительно короткое время  $\tau$  порядка  $10^{-8}$  с. Однако по атомным масштабам это время чрезвычайно велико. Оптическим

фотонам отвечает частота порядка  $10^{14} \text{ с}^{-1}$ , что соответствует  $10^6$  колебаний для типичного случая  $\tau \approx 10^{-8} \text{ с}$ . Из возбуждённого состояния атом переходит в основное состояние либо непосредственно, либо поэтапно через промежуточные возбуждённые состояния рис. 1.1 б). Каждой наблюдаемой спектральной линии отвечает переход между двумя уровнями энергии. На диаграмме (рис. 2.1) возможные переходы отмечены вертикальными стрелками, направления которых для случаев поглощения и испускания света противоположны. Частоты переходов определяются по формуле (2.1).

Начало отсчёта энергии атома обычно выбирается таким образом, чтобы все дискретные значения энергии  $E_1, E_2, E_3, \dots$ , отвечающие связанным состояниям, были отрицательными. При положительных значениях энергии ( $E > 0$ ) состояния атома не являются связанными – атом распадается на положительный ион и электрон. Процесс удаления электрона из атома называется *ионизацией*. Поскольку для ионизованных состояний движения иона и электрона являются независимыми, их суммарная энергия  $E$  может принимать любые значения, т. е. не квантуется. *Энергией ионизации*, как было сказано выше  $W_i$  называется минимальная энергия, которую нужно сообщить атому, находящемуся в основном состоянии, для его ионизации. Из диаграммы Рис.2.1 видно, что (при указанном выборе начала отсчета энергии) энергия ионизации равна по абсолютной величине энергии основного состояния атома:

$$W_i = 0 - E_1 = |E_1| \quad (2.2)$$

Энергию ионизации обычно выражают в электронвольтах. В этом случае для неё употребляется термин *потенциал ионизации*.

Следует иметь в виду, что в различных стационарных состояниях атом имеет и разную структуру (размеры и форму электронной оболочки, состояния движения электронов). Таким образом, переход атома из одного стационарного состояния в другое сопровождается изменением его структуры. Наиболее существенные структурные изменения происходят при ионизации атома, когда атом вообще лишается электрона.

Атом может быть ионизован в результате поглощения фотона с энергией  $h\nu$ , превышающей энергию ионизации  $W_i$ , т.е. при  $h\nu \geq W_i$ . Этот процесс носит название *фотоионизации*. Вырванный из атома электрон будет иметь кинетическую энергию  $h\nu - W_i$ . Процессом, обратным фотоионизации, является *радиационная рекомбинация*. В результате радиационной рекомбинации ион и электрон образуют атом в одном из связанных стационарных состояний, а освободившаяся энергия передается одному или нескольким фотонам.

Энергия, необходимая для возбуждения или ионизации атомов, может быть сообщена им не только путём облучения светом определённой частоты, но также при неупругих столкновениях с другими частицами, когда кинетическая

энергия последних превышает некоторую пороговую величину.

В частности, нагревание газа всегда сопровождается возбуждением (ионизацией) атомов при неупругих столкновениях с другими достаточно быстрыми атомами (а также электронами, которые появляются в газе в результате ионизации). В этом случае говорят о *термическом возбуждении (ионизации)*. По мере увеличения температуры  $T$  быстро возрастает число атомов в каждом из возбуждённых состояний. *Населённость*  $N_k$  данного возбуждённого уровня энергии, т. е. число атомов, имеющих энергию  $E_k$ , определяется распределением Больцмана:

$$\frac{N_k}{N_1} = \frac{g_k}{g_1} e^{-\frac{E_k - E_1}{kT}} \quad (2.3)$$

где  $N_1$  - число атомов в основном состоянии,  $k$  - постоянная Больцмана, а коэффициенты  $g_k$  и  $g_1$  - кратности вырождения уровней  $E_k$  и  $E_1$ . *Кратность вырождения уровня* - это количество стационарных состояний с одинаковой энергией. Для нижних уровней энергии атома кратность вырождения  $g_i$  обычно порядка  $1 \div 10$ . При комнатной температуре, для которой  $kT \approx 1/40$  эВ, отношение  $N_k / N_1$  пренебрежимо мало. Поэтому холодный газ не испускает видимого света, если его атомы не возбуждены каким-либо другим способом. Малостью отношения  $N_k / N_1$  объясняется также и то, что в спектре поглощения холодного газа присутствуют только линии с частотами  $\nu_{21}, \nu_{31}, \nu_{41}, \nu_{51}$  и т.д., соответствующие переходам из основного состояния.

### Упругие и неупругие столкновения электронов с атомами.

В различных физических процессах (в частности, плазменных) важную роль играют столкновения электронов с атомами. Различают столкновения упругие и неупругие.

При *упругом столкновении* квантовое состояние атома, его структура и, следовательно, его внутренняя энергия  $E_n$  не изменяются. Атом, однако, приобретает некоторую кинетическую энергию  $K_a$ . Оценим эту энергию для наиболее простого случая «лобового» столкновения, в результате которого электрон, обладающий импульсом  $p_e$  и кинетической энергией  $K_e = \frac{p_e^2}{2m}$ , отскакивает назад. Вследствие огромной разницы в массах сталкивающихся частиц абсолютная величина импульса электрона практически не изменяется, а атом приобретает импульс  $p_a \approx 2 \cdot p_e$  и приходит в движение. Приобретённая атомом кинетическая энергия равна:

$$K_a = \frac{p_a^2}{2M} \approx 4 \frac{p_e^2}{2M} \quad (2.4)$$

и составляет лишь небольшую долю энергии электрона:

$$\frac{K_a}{K_e} \approx 4 \frac{m}{M} \quad (2.5)$$

Здесь  $m$  – масса электрона, а  $M$  – масса атома. Для «нелобовых» упругих столкновений, которые преобладают, передача энергии еще меньше и зависит от угла разлёта частиц.

В результате *неупругого столкновения* структура атома изменяется. Он переходит в иное квантовое состояние. Если до столкновения атом находился в основном состоянии, то он либо возбуждается, либо ионизируется. В соответствии с этим, неупругие столкновения электронов с атомами можно подразделить на две разновидности. Следует иметь в виду, что при неупругом столкновении наряду с изменением внутренней энергии  $E_n - E_m$  атом приобретает также и кинетическую энергию – того же порядка величины, что и при упругом столкновении. Если начальная кинетическая энергия электрона не слишком велика, то приобретаемая атомом кинетическая энергия пренебрежимо мала по сравнению с величиной  $E_n - E_m$ .

Из первого постулата Бора следует, что для перевода атома из основного в некоторое возбуждённое стационарное состояние ему надо сообщить энергию не менее чем  $E_n - E_1$ . Очевидно, такие неупругие столкновения оказываются возможными только в том случае, если начальная кинетическая энергия электрона  $K_e$  превысит пороговое значение  $K_{nop} = E_n - E_1$ . А сам факт наличия энергетического порога для неупругих столкновений является прямым указанием на квантование внутренней энергии атома. Не следует, однако,

думать, что при достаточном энергетическом обеспечении столкновение обязательно будет неупругим. Даже в случае превышения энергетического порога имеется конечная вероятность и чисто упругого столкновения.

Измерение потенциалов возбуждения и ионизации можно провести на лабораторной установке, схема которой приведена на рис. 2.2.

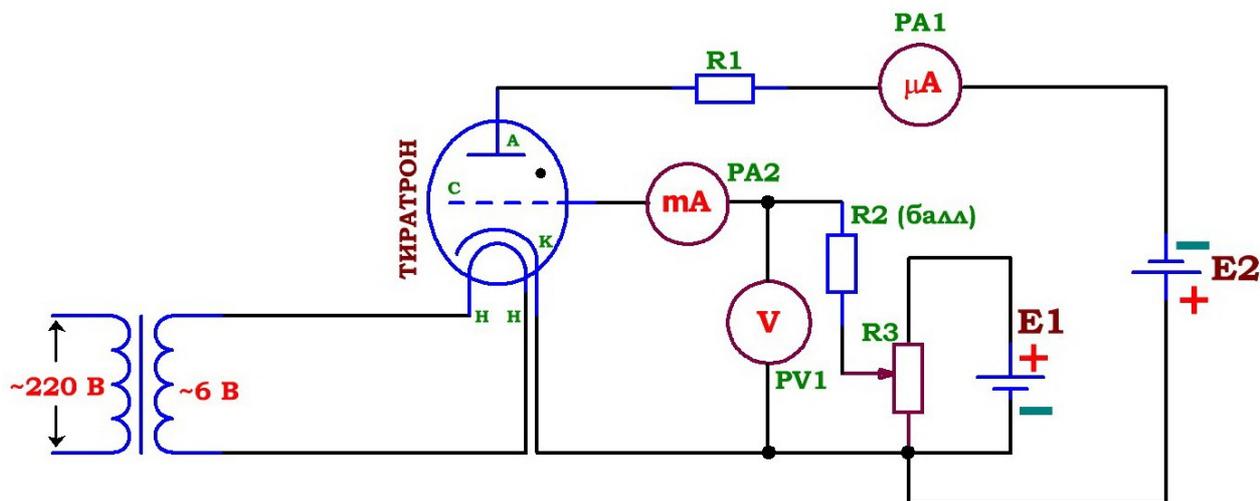


Рис. 2.2. Схема установки для измерения потенциалов возбуждения и ионизации.

Ускоряющее напряжение в пространстве сетка - катод создается источником E1 (как правило это выпрямитель с цифровой установкой выходного напряжения) и регулируется переменным резистором R3. Анод тиратрона находится под отрицательным напряжением относительно катода, отрицательное напряжение создается источником E2 и составляет как правило величину порядка 1 — 3 Вольта. Поэтому электроны не могут попасть на анод и собираются сеткой; сеточный ток измеряют миллиамперметром PA2.

Возбужденные атомы, возвращаясь в основное состояние, излучают кванты света. Попадая на анод тиратрона, эти кванты вызывают фото — эффект. Фотоэлектронный ток анода (теперь этот электрод следовало бы называть фотокатодом) измеряют чувствительным гальванометром PA1 (предел измерений 0,1 мкА) или цифровым микроамперметром. При достижении потенциала ионизации положительные ионы нейтрализуют пространственный заряд у катода, что приводит к резкому возрастанию тока сетки. Чтобы не испортить тиратрон или миллиамперметр, нужно установить на источнике ускоряющего напряжения предельный ток 30-40 мА либо ввести в цепь сетки балластный резистор R2. Таким образом, потенциалы возбуждения и ионизации четко фиксируются на зависимостях сеточного и анодного токов тиратрона от напряжения между сеткой и катодом (рис. 2.3); погрешность определения их связана в основном с контактной разностью потенциалов между катодом и сеткой.

Таким образом, величина ускоряющего напряжения при которой возникает ток в аноде (фототок), определяет потенциал возбуждения  $\varphi_b$ . Величина ускоряющего напряжения при которой атомы превращаются в положительные заряженные ионы, которые нейтрализуют отрицательный пространственный заряд, созданный у поверхности катода определяет потенциал ионизации  $\varphi_i$ . При этом происходит срыв (резкое возрастание) тока в цепи сетки рис. 2.3.

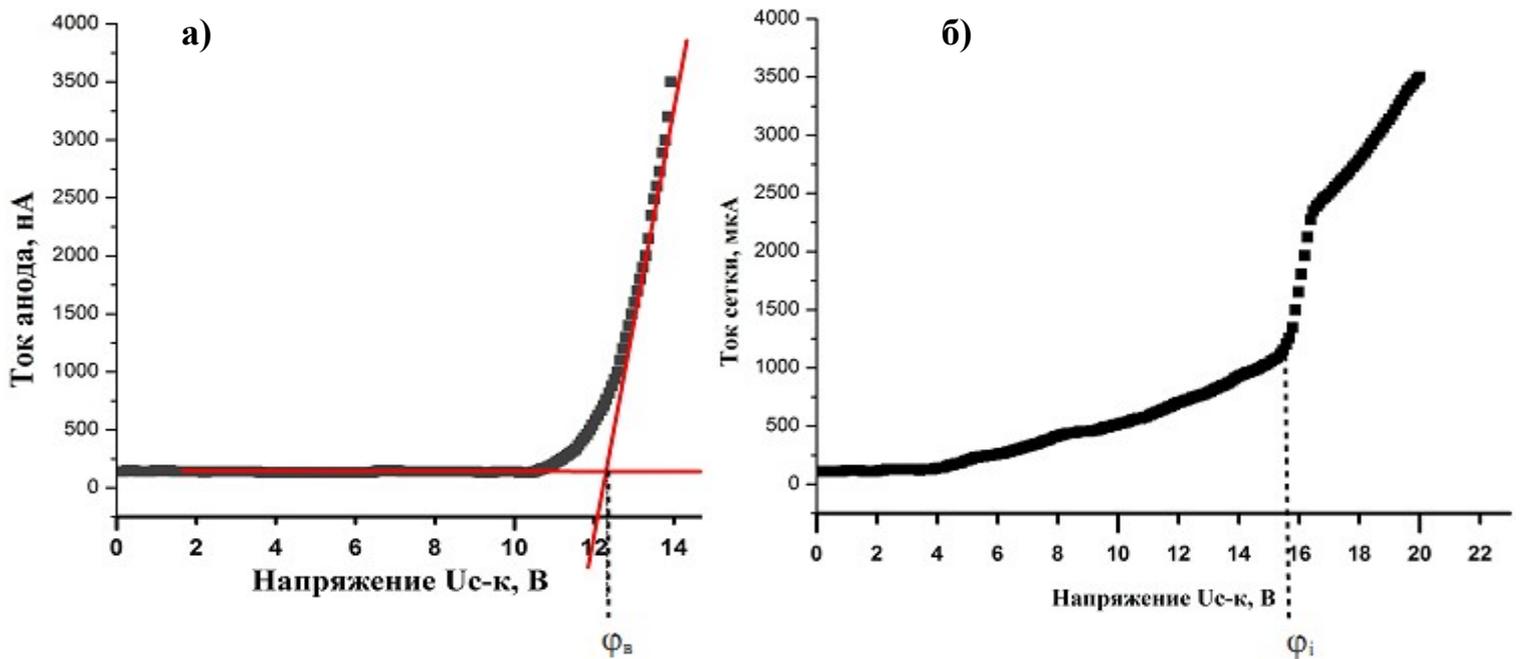


Рис. 2.3. Графическое определение потенциалов возбуждения  $\varphi_b$  (график а) и ионизации  $\varphi_i$  (график б) из анодных и сеточных характеристик тиратрона, наполненного аргоном.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.

### Методика проведения эксперимента.

В данной работе определение потенциалов возбуждения и ионизации атомов проводится с помощью тиратрона ТГЗ-0,1/1,3, заполненного ксеноном при низком давлении и газонаполненного триода (тиратрона) ТГ1-0.1/0.3, наполненного аргоном. Конструктивно в тиратроне ТГЗ-0,1/1,3 (рис. 3.1) первая сетка выполнена в виде коробки (1), внутри которой размещены катод (2), имеющий нитевидную структуру, и анод (6), выполненный в виде прямоугольной вытянутой пластинки, расположенной параллельно катоду. В коробке имеются две перегородки, в которых проделаны щели (3) и (5), параллельные катоду и аноду. Между этими двумя перегородками со щелевыми отверстиями расположена вторая сетка (4), представляющая собой две параллельные пластины. Если обе сетки соединить между собой, между катодом и соединенными сетками приложить ускоряющее напряжение, а потенциал анода сделать отрицательным относительно катода (схема рис. 2.2), то изменяя ускоряющее напряжение, можно по точкам построить сеточные (зависимость тока сетки от напряжения сетка-катод) и анодные (зависимость тока анода от напряжения сетка-катод) вольтамперные характеристики тиратрона, приведенные на рис. 2.3.

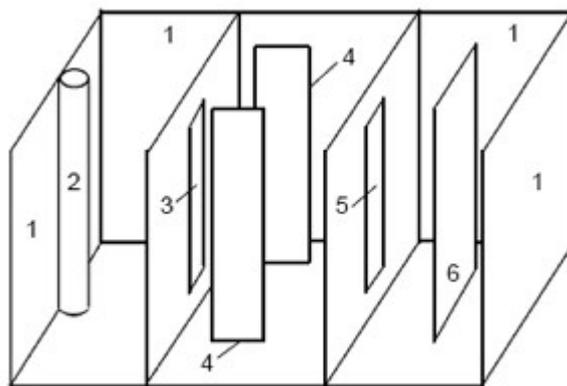
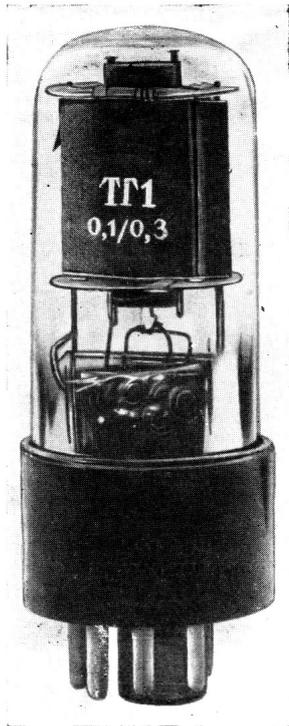


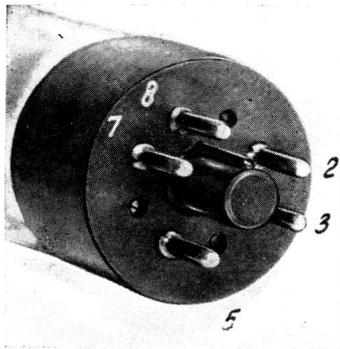
Рис. 3.1. Конструкция тиратрона

Тиратрон ТГ1-0.1/0.3 имеет аналогичную конструкцию с той лишь разницей, что в нем имеется лишь одна сетка и электроны, ускоренные ей, испытывают на своем пути столкновения с газом-наполнителем тиратрона – аргоном.

Основные технические данные тиратронов приведены на рис 3.2-3.3.



Внешний вид лампы ТГ1-0,1/0,3



Вид на лампу ТГ1-0,1/0,3 снизу

Цифры соответствуют нумерации штырьков, принятой на схеме их соединения с электродами лампы.

### Основные данные

Напряжение накала . . . . .	6,3 в
Ток накала . . . . .	0,66 а
Амплитуда обратного напряжения между анодом и катодом . . . . .	300 в
Выпрямленный ток . . . . .	75 ма
Амплитуда тока анода . . . . .	0,3 а
Высота . . . . .	97 мм
Диаметр . . . . .	34,8 мм

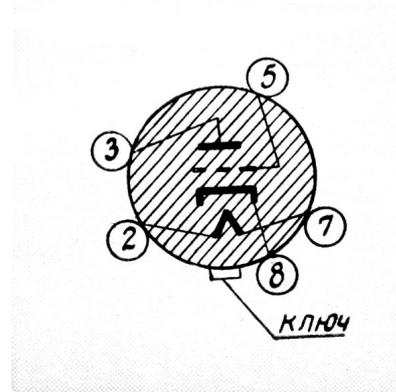


Схема соединения штырьков с электродами лампы:

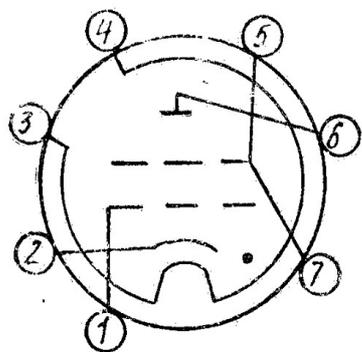
2 — подогреватель; 3 — анод; 5 — сетка;  
7 — подогреватель; 8 — катод.

Рис. 3.2. Технические характеристики и параметры тиратрона ТГ1-0,1/0,3.

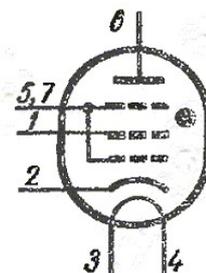
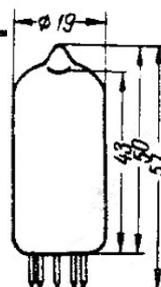
Основные электрические параметры		
Наименование параметра, единица измерения	Норма	
	не менее	не более
Напряжение первой сетки критическое (при сопротивлении в цепи сетки 0,1 МОм), В	минус 4,5	минус 2,9
Напряжение первой сетки критическое (при сопротивлении в цепи сетки 10 МОм), В	минус 7	—
Напряжение зажигания, В	—	30
Падение напряжения анод-катод, В	—	11
Напряжение анода, обратное (амплитудное значение), В	1300	—
Ток накала, А	0,54	0,66
Ток утечки катод-подогреватель, мкА	—	20
Время готовности, с	—	30



Схема соединения электродов с выводами



Обозначение выводов	Наименование электродов
1	сетка первая
2	катод
3	подогреватель
4	подогреватель
5	сетка вторая
6	анод
7	сетка вторая



Расположение штырьков

РШ 4 ГОСТ 7812-71

Рис. 3.3. Технические характеристики и параметры тиратрона ТГЗ-0,1/1,3.

Тиратрон ТГЗ-0,1/1,3 с подогревным катодом. Предназначен для работы в преобразовательных и релейных схемах. А также в устройствах с высокой скоростью нарастания обратного напряжения. Выпускается в стеклянном миниатюрном оформлении. Масса не более 20 г. Баллон наполнен ксеноном. Катод оксидный, косвенного накала. Время разогрева 30 сек. Работает в любом положении. Температура окружающей среды от  $-60$  до  $+70^{\circ}$  С. Охлаждение естественное.

### Аппаратная часть. Приборы и оборудование.

Определение потенциалов возбуждения и ионизации атомов инертного газа проводится на учебной установке ФКЛ-7 в модификации «МИКРОЭВМ TSD-8», предназначенной для работы со стандартным VGA монитором для вывода измеренных значений токов и напряжений и электронным осциллографом для визуализации сеточных и анодных характеристик ламп. В установке имеется возможность выбора режима исследования кнопкой управления: 1) Определение потенциала возбуждения атома аргона 2) Определение потенциала ионизации атома аргона с помощью сеточной характеристики тиратрона 3) Определение потенциала возбуждения атома ксенона 4) Определение потенциала ионизации атома ксенона.

Исследования проводятся по схеме аналогичной рис. 2.2 с той лишь разницей, что вместо источника постоянного напряжения  $E_1$  (выпрямителя) на промежуток сетка-катод лампы подается пилообразное развертывающее напряжение от специального цифрового генератора развертки  $G$ .

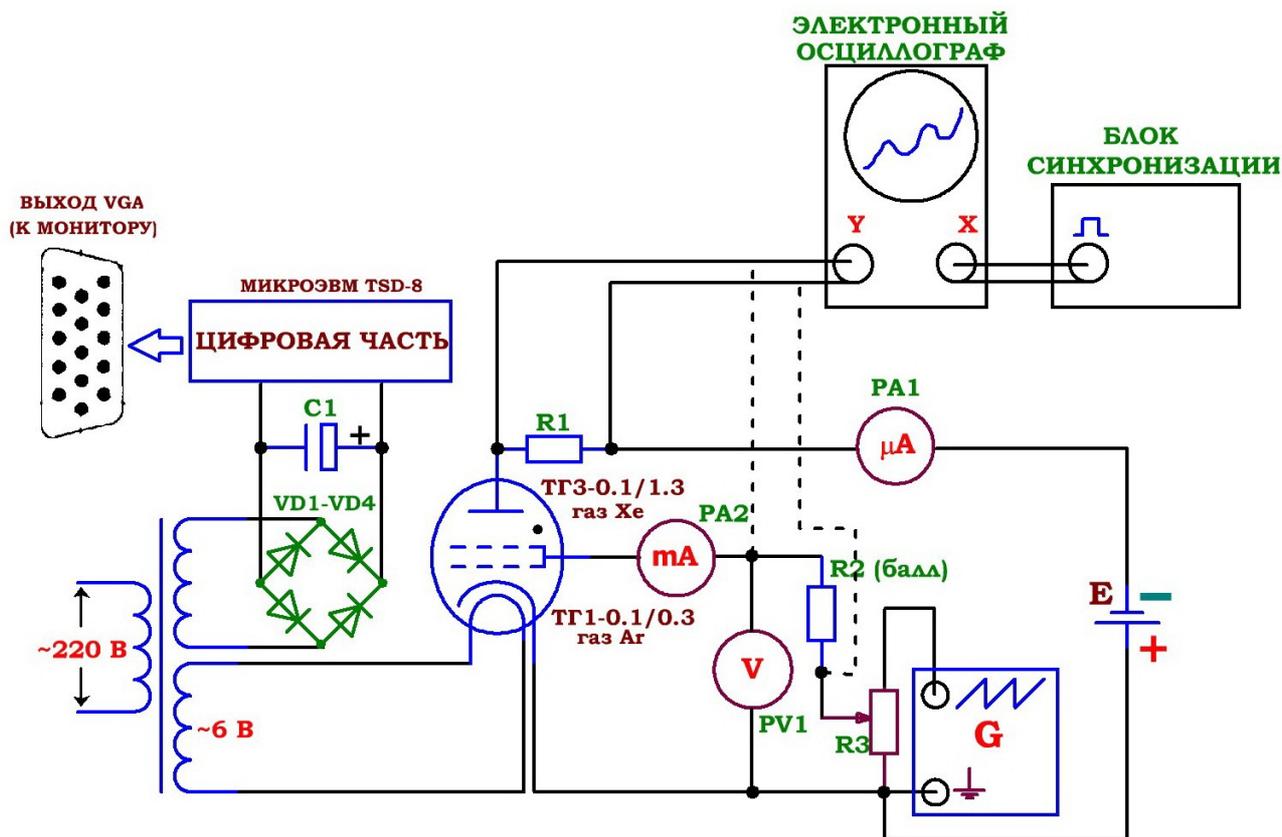


Рис. 3.4. Принципиальная электрическая схема учебной установки ФКЛ-7.

Сигнал, снимаемый с резистора  $R_1$ , находящегося в цепи анода или  $R_2$ , находящегося в цепи сетки, пропорционален соответственно току анода (сетки) лампы. В результате получаем зависимость тока анода (сетки) от времени  $I=I(t)$ . А так как пилообразное напряжение развертки пропорционально времени

$U \sim k \cdot t \rightarrow t \sim \frac{1}{k} \cdot U$  в итоге на экране осциллографа наблюдается кривая,

повторяющая в некотором масштабе вольтамперную характеристику тиратрона

$$I = I(t) = I\left(\frac{1}{k} \cdot U\right) \sim I(U) .$$

Напряжения, соответствующие потенциалам возбуждения и ионизации, измеряются с помощью специального электронного блока, который вырабатывает короткий импульс (метку), накладываемый на осциллограмму. Путем изменения напряжения смещения импульс выводят на нужную точку осциллограммы. Напряжение смещения при этом в точности совпадает с напряжением данной точки вольтамперной характеристики, и его измеряют с помощью вольтметра. Ток лампы в данной точке измеряется высокочувствительным электронным микроамперметром либо миллиамперметром. Таким образом, каждой точке осциллограммы визуальной наблюдаемой на электронном осциллографе мы можем сопоставить соответствующие ей значения тока и напряжения. Для изменения напряжения смещения предназначена ручка «УСТАНОВКА  $U_{\text{сетки}}$ » на передней панели прибора. Для визуального наблюдения объектов исследования служат смотровые окошки. На экране электронно-лучевого осциллографа метка на осциллограмме отображается в виде несимметричного острого пика из-за наличия емкости у входа  $Y$  осциллографа. Положение пика определяет значение тока и напряжения в данной точке ВАХ. Все показания выводятся на цифровой ЖКД LCD – индикатор. Установка снабжена микропроцессорной системой управления и контроля необходимых параметров.

В качестве объектов исследования используется тиратрон ТГЗ-0,1/1,3, заполненный ксеноном (3 и 4 эксперименты) либо тиратрон ТГ1-0,1/0,3, заполненный аргоном (1 и 2 эксперименты). Подключение исследуемого тиратрона в схему, а также коммутация выхода на электронный осциллограф в зависимости от выбранного эксперимента происходит автоматически при нажатии на кнопку «УПРАВЛЕНИЕ».

Для переключения режима работы прибора и выбора эксперимента предназначена кнопка «УПРАВЛЕНИЕ».

Следует помнить, что осциллографический метод исследования нагляден, однако получаемые результаты скорее являются оценочными, погрешность опыта может достигать 15-20 %.

**Программная часть.  
МикроЭВМ «TSD-8».**

В учебной установке применяется однокристалльная микроЭВМ с собственной оригинальной архитектурой TSD8 на базе микропроцессора STM32 Cortex M3, работающая под управлением Операционной Системы "Красная Звезда" («Red Star»). Операционная система была специально разработана для данной конкретной реализации данной микроЭВМ. Ядро TSD8 встраивается в учебный прибор, что позволяет учебному прибору успешно работать с периферией. В данной реализации вывод информации и измеренные значения параметров выводятся на стандартный монитор стандарта VGA, подключаемый к выводу VGA учебной установки.

VGA (англ. Video Graphics Array)— компонентный видеоинтерфейс, используемый в мониторах и видеоадаптерах. Выпущен IBM в 1987 году для компьютеров PS/2 Model 50 и более старших. VGA являлся последним стандартом, которому следовало большинство производителей видеоадаптеров.

Видеоадаптер VGA, в отличие от предыдущих видеоадаптеров IBM (MDA, CGA, EGA), использует аналоговый сигнал для передачи цветовой информации. Переход на аналоговый сигнал был обусловлен необходимостью сокращения числа проводов в кабеле. Также аналоговый сигнал давал возможность использовать VGA-мониторы с последующими видеоадаптерами, которые могут выводить большее количество цветов.

Официальным последователем VGA стал стандарт IBM XGA, фактически же он был замещен различными расширениями к VGA, известными как «Super VGA» (SVGA).

Термин VGA также часто используется для обозначения разрешения 640×480 независимо от аппаратного обеспечения для вывода изображения, хотя это не совсем верно (так, режим 640×480 с 16-, 24- и 32-битной глубиной цвета не поддерживаются адаптерами VGA, но могут быть сформированы на мониторе, предназначенном для работы с адаптером VGA, при помощи SVGA-адаптеров). Также этот термин используется для обозначения 15-контактного разъёма VGA для передачи аналоговых видеосигналов при различных разрешениях.

### Порядок выполнения.

1. Перед включением установки в сеть проверить целостность всех соединительных сигнальных и сетевых проводов. Разобраться с принципиальными блок-схемами опытов, в назначении кнопок, переключателей и ручек прибора. **Все соединительные провода и контрольные точки использовать следует только по назначению, запрещается замыкать выходы контрольных точек, которые не предназначены для этого в данной работе!**
2. Подключить выход «VGA» учебной установки к соответствующему входу на стандартном мониторе VGA кабелем из комплекта.
3. Включить учебную установку, монитор и электронный осциллограф в сеть ~220 В с помощью прилагаемых силовых сетевых кабелей евро-стандарта. Поставить переключатель «СЕТЬ» на панели учебного модуля, монитора и осциллографа в положение «ВКЛ», при этом должен загореться сигнальный индикатор «СЕТЬ».
4. Через несколько секунд произойдет загрузка встроенной в учебный прибор операционной системы и на экране монитора должно появиться изображение с информацией об эксперименте.
5. **Перед началом эксперимента настоятельно рекомендуется ознакомиться с инструкцией по эксплуатации применяемого в работе учебного осциллографа.**
6. Подключить выход Y учебной установки соединительным проводом типа «тюльпан — BNC» ко входу Y электронного осциллографа. На некоторых экземплярах учебных осциллографов входы имеют номера «КАНАЛ 1», «КАНАЛ 2», в этом случае сигнал можно подать на любой из каналов, предварительно включив его соответствующим переключателем либо кнопкой (CH1, CH2, КАН1, КАН2) рис. 4.1, рис. 4.2.

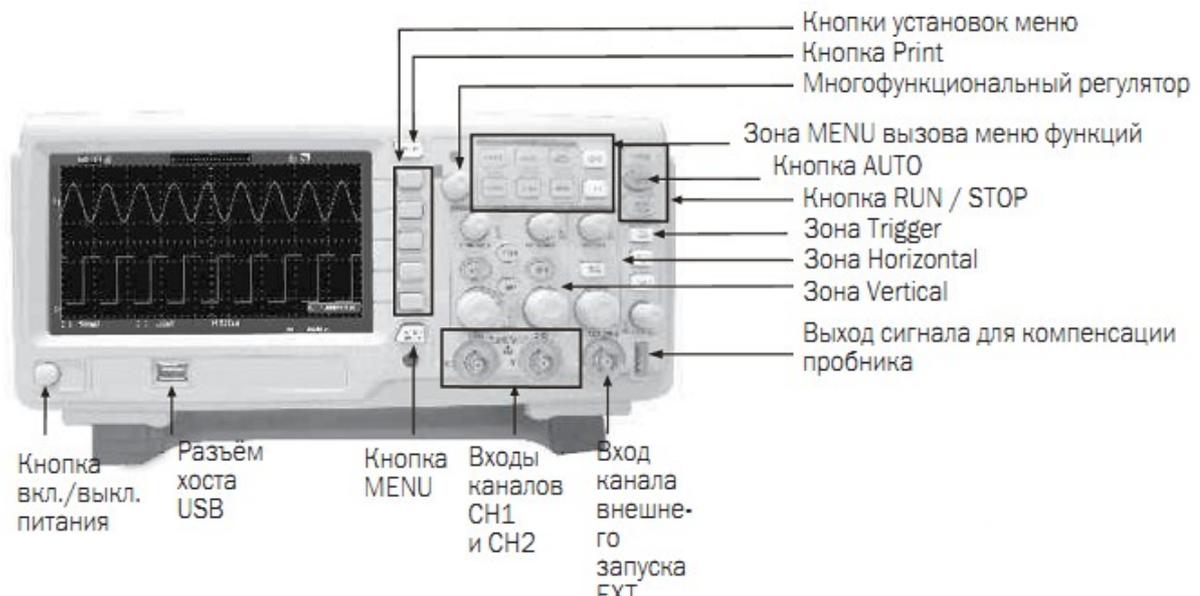


Рис. 4.1. Элементы управления передней панели ЖКД осциллографа

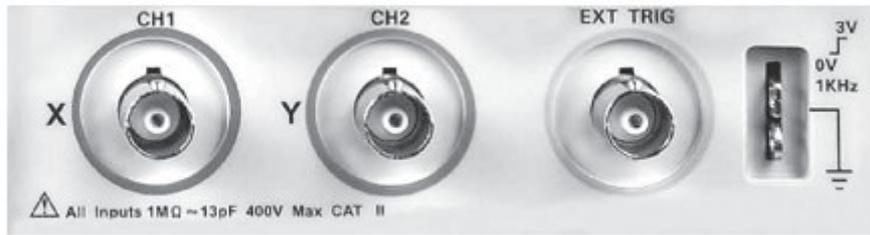


Рис. 4.2. Разъемы передней панели осциллографа. CH1, CH2: входные разъемы каналов 1 и 2 для подключения исследуемых сигналов; EXT TRIG: входной разъем для подключения источника пускового сигнала внешней синхронизации.

7. Подключить выход X (синхронизация) учебной установки соединительным проводом типа «тюльпан — BNC» ко входу ВНЕШ. СИНХР. электронного осциллографа.
8. Установить ручку управления «УСТАНОВКА  $U_{\text{сетки}}$ » на передней панели учебного прибора в максимально возможное положение, вращая её до упора по часовой стрелке.

9. Вращением ручек VOLTS/DIV и TIME/DIV (ВОЛЬТ/ДЕЛ, ВЕРТ и ВРЕМЯ/ДЕЛ, ГОР.) и ручек POSITION осей X и Y («СМЕЩЕНИЕ») на осциллографе добиться визуально наиболее удобного изображения сигнала. Для дополнительной синхронизации можно использовать ручку LEVEL («УРОВЕНЬ»). Нажатием кнопки «МЕНЮ СИНХР» установить режим внешней синхронизации, т. е. синхронизации внешними синхроимпульсами (за подробностями следует обратиться к инструкции по работе с осциллографом данного типа). Зайти в меню настроек каналов, вызываемое нажатием кнопок КАН1 либо КАН2. Для каждого канала установить режим **DC** — **открытый вход**: блокировка входа по постоянному току и ослабление сигналов фильтром с частотой среза 10 Гц.

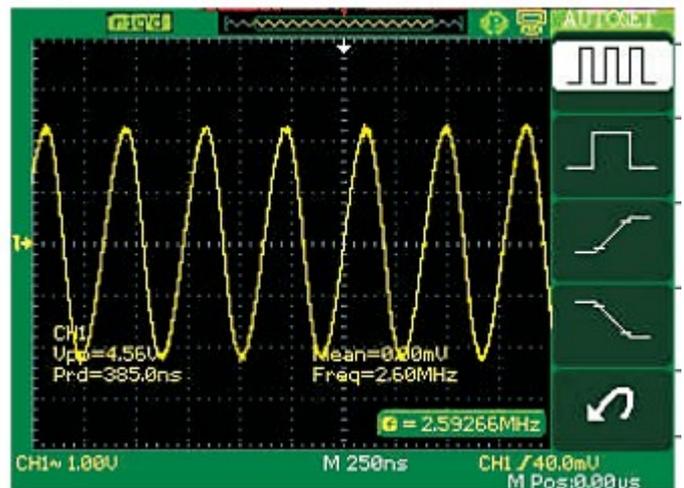


Рис. 4.3. Вид осциллограммы сигналов (пример синусоидального сигнала), получаемых на ЖКД осциллографе.

10. Текущие установленные масштабы и другая информация для каждого из входных сигналов отображается внизу осциллограммы рис. 4.3 (CH1=1.00 V – означает, что для канала 1 установлен масштаб по оси Y с коэффициентом 1V/клетка; M 2.50 mS означает, что для двух каналов установлен масштаб по оси X-время с коэффициентом развертки 2,5 мсек/клетка).

11. Нажатием кнопки «УПРАВЛЕНИЕ» на учебной установке выбрать первый эксперимент «Ar excitation potential» - Определение потенциала возбуждения Аргона.
12. Получить анодную вольтамперную характеристику тиратрона на экране электронного осциллографа. Вид характеристики должен соответствовать рис. 2.3 а).
13. Срисовать полученную характеристику тиратрона с экрана осциллографа на миллиметровую бумагу по клеткам.
14. Перемещая метку по экрану осциллографа с помощью ручки «УСТАНОВКА  $U_{\text{сетки}}$ » учебного модуля, снять анодную характеристику тиратрона по точкам, т. е. получить зависимость  $I_a = I_a(U_{\text{с-к}})$
15. Найти характерную точку  $\varphi_b$  на анодной характеристике лампы, соответствующую потенциалу возбуждения (см. рис. 2.3 а). Напряжение излома вольтамперной характеристики тиратрона, определенное по методике рис. 2.3, а дает нам потенциал возбуждения атомов.
16. Нажатием кнопки «УПРАВЛЕНИЕ» на учебной установке выбрать второй эксперимент «Ar ionization potential» - Определение потенциала ионизации Аргона.
17. Получить сеточную вольтамперную характеристику тиратрона на экране электронного осциллографа. Вид характеристики должен соответствовать рис. 2.3 б).
18. Срисовать полученную характеристику тиратрона с экрана осциллографа на миллиметровую бумагу по клеткам.
19. Перемещая метку по экрану осциллографа с помощью ручки «УСТАНОВКА  $U_{\text{сетки}}$ » учебного модуля, снять сеточную характеристику тиратрона по точкам, т. е. получить зависимость  $I_c = I_c(U_{\text{с-к}})$  .
20. Найти характерную точку  $\varphi_i$  на сеточной характеристике лампы, соответствующую потенциалу ионизации газа (см. рис. 2.3 б). Напряжение «срыва» сеточной вольтамперной характеристики тиратрона, определенное по методике рис. 2.3, б дает нам потенциал ионизации атомов.
21. Используя кнопку «УПРАВЛЕНИЕ» для выбора эксперимента, повторить действия пп. 11 — 20 для второго тиратрона, наполненного ксеноном (Xe).
22. По формуле  $E_n = e \cdot \varphi_n$  , где  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл — модуль заряда электрона, определить величины энергий возбуждения  $E_b$  и ионизации  $E_i$  исследуемых газов в Джоулях, подставляя в формулу найденные экспериментальные значения  $\varphi_b$  и  $\varphi_i$ .
23. Сравнить полученные Вами значения потенциалов возбуждения и ионизации атомов газов с табличными данными табл. 1.
24. По окончании работы отключить учебную установку, монитор и осциллограф от сети, поставив переключатели «СЕТЬ» на панели установки и осциллографа в положение «ВЫКЛ» и вынуть сетевые вилки из розеток.

Таблица 1

**ПОТЕНЦИАЛЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ И ИОНИЗАЦИИ НЕКОТОРЫХ ГАЗОВ**

Газ	H <sub>2</sub>	Hg	He	Ne	Ar	Kr	Xe
$\varphi_{\text{в}}$	11,2	4,9	21,2	16,7	11,6	10,0	8,5
$\varphi_{\text{i}}$	15,4	10,4	24,5	21,5	15,7	14,0	12,1

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. При каком значении потенциала между катодом и сеткой будет наблюдаться резкое увеличение анодного тока, если баллон заполнить атомарным водородом?
2. Какую ускоряющую разность потенциалов должны пройти ионы водорода, чтобы вызвать ионизацию азота? Потенциал ионизации азота 14,5 В.
3. Определите первый потенциал возбуждения и энергию ионизации однозарядного иона гелия, находящегося в основном состоянии.
4. Энергия ионизации гелия равна 24,5 эВ, неона - 21,5 эВ, криптона - 14 эВ и ксенона - 12,1 эВ. Постройте график зависимости потенциала ионизации от порядкового номера в таблице Менделеева. По графику вычислите энергию ионизации аргона.
5. Какой наименьшей скоростью должен обладать электрон, чтобы ионизировать атом гелия? Энергия ионизации атома гелия равна 24,5 эВ. Какую разность потенциалов должен пройти этот электрон?
6. Электрон, прошедший разность потенциалов, равную 15 В, сталкивается с атомом водорода и ионизирует его. Определите, с какой скоростью движется электрон после столкновения.
7. Почему при ускоряющем потенциале, превышающем потенциал возбуждения и ионизации, резко возрастает сила тока?
8. Объясните схему эксперимента рис. 2.2, рис. 3.4. В чем отличие этих схем?
9. Дать определение понятий: упругий удар, неупругий удар, абсолютно неупругий удар.
10. Какую часть энергии может передать электрон атому при упругом столкновении? При абсолютно неупругом?
11. Сформулировать постулаты Бора. Как долго атом находится в возбужденном состоянии?
12. Перечислить и кратко охарактеризовать возможные способы возбуждения и ионизации атомов.
13. Почему для экспериментального определения уровней энергии атома вещество переводится в газообразное состояние?
14. Как распределены атомы по уровням энергии при термическом возбуждении? Что такое кратность вырождения уровня?

**РЕКОМЕНДУЕМАЯ 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.

ДЛЯ СВОБОДНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ  
НПО УЧЕБНОЙ ТЕХНИКИ «ТУЛАНАУЧПРИБОР»