

2.1. Опыт Франка-Герца

Дополнительное описание

Одним из простых опытов, подтверждающих существование дискретных уровней энергии атомов, является эксперимент, известный под названием опыта Франка и Герца. Схема опыта изображена на рис. 1.

Разреженный одноатомный газ (в нашем случае — гелий) заполняет трёхэлектродную лампу. Электроны, испускаемые разогретым катодом, ускоряются в постоянном электрическом поле, созданном между катодом и сетчатым анодом лампы. Передвигаясь от катода к аноду, электроны сталкиваются с атомами гелия. Если энергия электрона, налетающего на атом, недостаточна для того, чтобы перевести его в возбуждённое состояние (или ионизовать), то возможны только упругие соударения, при которых электроны почти не теряют энергии, так как их масса в тысячи раз меньше массы атомов.

По мере увеличения разности потенциалов между анодом и катодом энергия электронов увеличивается и, в конце концов, оказывается достаточной для возбуждения атомов. При таких — неупругих — столкновениях кинетическая энергия налетающего электрона передаётся одному из атомных электронов, вызывая его переход на свободный энергетический уровень (возбуждение) или совсем отрывая его от атома (ионизация).

Третьим электродом лампы является коллектор. Между ним и анодом поддерживается небольшое задерживающее напряжение (потенциал коллектора меньше потенциала анода). Ток коллектора, пропорциональный числу попадающих на него за секунду электронов, измеряется микроамперметром.

При увеличении потенциала анода ток в лампе вначале растёт, подобно тому как это происходит в вакуумном диоде (рис. 2). Однако, когда энергия электронов становится достаточной для возбуждения атомов, ток коллектора резко уменьшается. Это происходит потому, что при неупругих соударениях с атомами электроны почти полностью теряют свою энергию и не могут преодолеть задерживающего потенциала (около 1 В) между анодом и коллектором. При дальнейшем увеличении потенциала анода ток коллектора вновь возрастает: электроны, испытавшие неупругие соударения, при дальнейшем движении к аноду успевают набрать энергию, достаточную для преодоления задерживающего потенциала.

Следующее замедление роста тока происходит в момент, когда часть электронов неупруго сталкивается с атомами два раза: первый раз посередине пути, второй — у анода, и т.д. Таким образом, на кривой зависимости тока коллектора от напряжения анода имеется ряд максимумов и минимумов, отстоящих

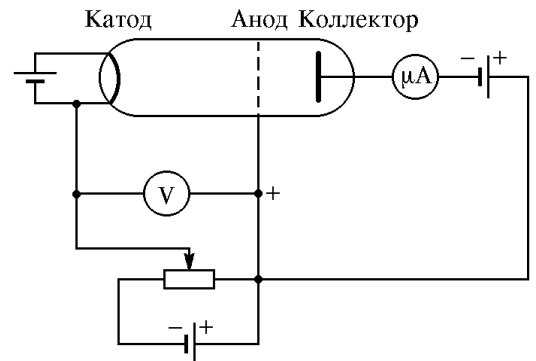


Рис. 1. Принципиальная схема опыта Франка и Герца

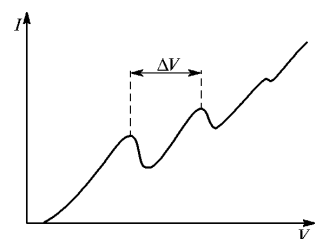


Рис. 2. Зависимость тока коллектора от напряжения на аноде

друг от друга на равные расстояния ΔV ; эти расстояния равны энергии первого возбуждённого состояния (рис. 2).

При тщательной постановке опыта можно увидеть и тонкую структуру кривой спада тока, содержащую ряд минимумов, соответствующих возбуждению других уровней и ионизации атома гелия. Для этого нужны лампы специальной конструкции. В нашей постановке опыта эта тонкая структура не видна.

Экспериментальная установка. Схема экспериментальной установки изображена на рис. 3. Для опыта используется серийная лампа ионизационного манометра ЛМ-2, заполненная гелием до давления ~ 1 Торр. Источником электронов является вольфрамовый катод, нагреваемый переменным током. Напряжение накала подаётся от стабилизируемого источника питания С. Ток накала контролируется амперметром А.

В качестве анода используется двойная спираль, окружающая катод. Роль коллектора играет полый металлический цилиндр, соосный с катодом и анодом.

Ускоряющее напряжение подаётся на анод от выпрямителя В. Величина этого напряжения регулируется потенциометром Π_3 и измеряется вольтметром V_1 .

Источник задерживающего напряжения — батарея 4,5 В; величина напряжения регулируется потенциометром Π_2 и измеряется вольтметром V_2 . Ток в цепи коллектора регистрируется микроамперметром.

Схему можно переключать из статического режима измерений в динамический режим с помощью ключа K_3 . На рис. 3 две части сдвоенного ключа K_3 изображены отдельно. При динамическом режиме работы ускоряющий потенциал подаётся с понижающего трансформатора T (220/50 В), а ток коллектора регистрируется осциллографом, подключённым к нагрузочному резистору R .

При определении энергии электронов по разности потенциалов между анодом и катодом следует иметь в виду, что из-за контактной разности потенциалов между катодом и анодом первый максимум не соответствует потенциалу первого возбуждённого уровня. Однако контактная разность потенциалов сдвигает все максимумы одинаково, так что расстояние между ними не меняется.

Схема экспериментальной установки, изображённой на рис. 3, в нашей работе конструктивно осуществлена следующим образом. Наполненная гелием лампа ЛМ-2 расположена непосредственно на корпусе блока источников питания

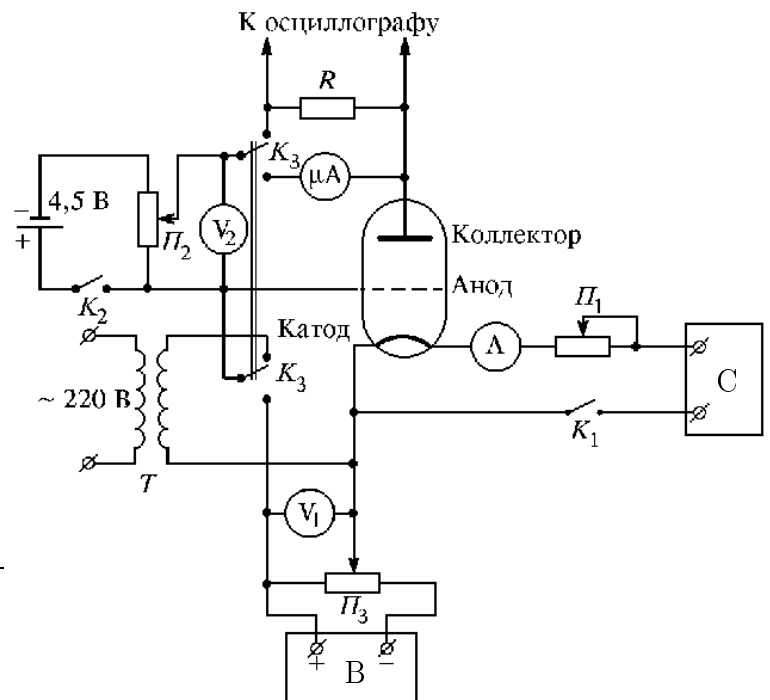


Рис. 3. Схема экспериментальной установки

(БИП). Напряжение к электродам лампы подводится от источников питания, находящихся в корпусе прибора. Регулировка напряжения и выбор режима работы производится при помощи ручек управления, выведенных на лицевую панель БИП (рис. 4). Включение всех источников питания осуществляется включением БИП в сеть.

В статическом режиме напряжение V_a между анодом и катодом измеряется цифровым вольтметром В7-22А, подключённым к клеммам «Вольтметр» прибора. Ток коллектора I_k измеряется микроамперметром, вся шкала которого соответствует току 100 мкА.

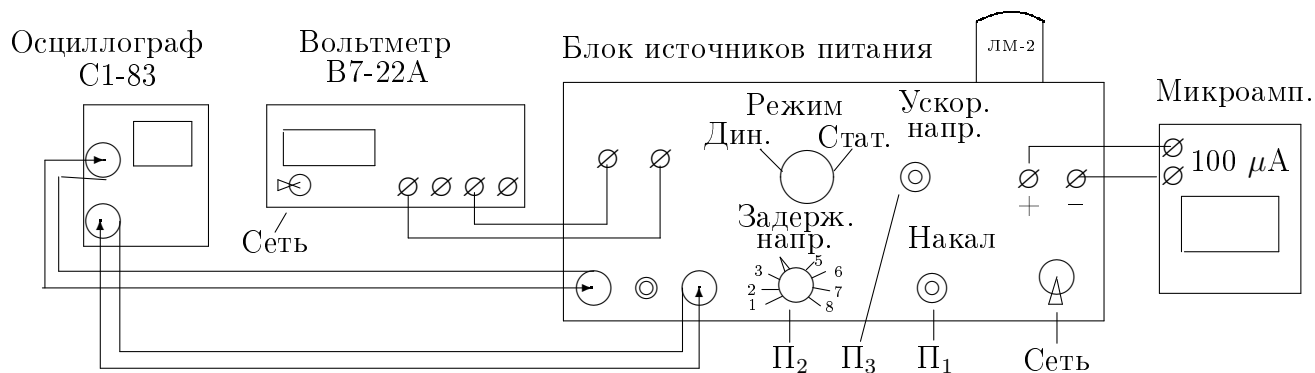


Рис. 4. Блок-схема экспериментальной установки

ЗАДАНИЕ

I. Подготовка приборов к работе

1. Установите все ручки на источнике питания в крайнее левое положение и включите прибор в сеть.
2. Включите электронный осциллограф (ЭО) в сеть: ручку «Питание» — на себя.
3. На канале I (ось X), измеряющем анодное напряжение лампы, установите ступенчатый переключатель в положение 1 V/дел, утопите соседнюю кнопку $\times 10$, ручку плавного усиления поверните по часовой стрелке до щелчка. В этом случае цена горизонтального деления на экране составляет 10 В.
4. На канале II (ось Y), измеряющем напряжение, пропорциональное току коллектора лампы, установите переключатель в положение 2 mV/дел, кнопку $\times 10$ вытянуть на себя, плавную регулировку — до щелчка.
5. Утопите клавиши «x — y» слева и справа от экрана осциллографа.
6. Установите переключатели « \perp » в положение (\sim) на обоих каналах.
7. Ручками « \leftrightarrow » (вверху, справа от экрана) и « \updownarrow » (II канал) установите луч несколько правее от центра экрана.

II. Получение вольт-амперной характеристики $I_k = f(V_a)$ на экране осциллографа С1-83.

1. Поставьте переключатель «Режим» в положение «Динамич».

2. Установите ручку «Задержив. напряж.» в положение 4 В (цифры возле делений соответствуют величине напряжения в вольтах).
3. Установите ручку «Накал» на максимум.
4. Проследите за ходом вольт-амперной характеристики на экране ЭО при увеличении ускоряющего напряжения. Имейте в виду, что развёртка вольт-амперной характеристики на экране осциллографа производится справа налево. Ручкой «Фаза» (на БИП) можно свести прямой и обратный ход характеристик.
5. Перемещая сигнал ручками « \leftrightarrow » и « \updownarrow » и меняя чувствительность канала Y , добейтесь размещения картины в центре экрана.
6. При макс. ускоряющем напряжении измерьте на экране расстояния между максимумами и между минимумами осциллограммы (ΔV в вольтах при установке ручки плавной регулировки на макс. — до щелчка).
7. Зарисуйте на кальку осциллограмму, оси X и Y , деления на оси X и запишите чувствительность канала X в $V/\text{дел}$ (1 дел. = 1,25 см).
8. Проведите измерения при 3-х значениях задерж. напряжения: 4, 6 и 8 В.
9. Прежде, чем перейти к измерениям в статическом режиме, выключите ЭО и верните все ручки регулировки УИП на min.

III. Получение вольт-амперной характеристики $I_k = f(V_a)$ в статическом режиме измерений

1. Переведите переключатель «Режим» в положение «Статич.».
2. Установите максимальный накал.
3. Установите задерживающее напряжение на 4 В.
4. Включите в сеть подсветку микроамперметра (вилкой) и вольтметр (тумблером). Выберите на вольтметре шкалу 200 В, напряжение постоянное.
5. Плавно увеличивая ускоряющее напряжение V_a между анодом и катодом, проследите за показаниями микроамперметра. Если микроамперметр зашкаливает — уменьшите напряжение накала.
6. Снимите зависимость коллекторного тока от анодного напряжения [$I_k = f(V_a)$] для 3-х различных значений задерживающего напряжения $V_2 = 4, 6, 8$ В. Особенно тщательно (медленно) проводите измерения в тех областях характеристики, где наблюдаются максимумы и минимумы тока I_k .
7. Закончив работу, установите регуляторы УИП на min и отключите все приборы.

IV. Обработка результатов

1. По расстоянию между соседними максимумами на осциллограммах определите энергию возбуждения первого уровня атома гелия в электрон-вольтах.
2. Постройте графики $I_k = f(V_a)$ при $V_2 = \text{const}$. По графикам определите энергию возбуждения первого уровня атома гелия.
3. Оцените ошибку измерения. Сравните результаты измерений, полученные при динамическом и статическом методах измерений.
4. Оцените достоверность полученных результатов (сравните с табличными данными).

Исправлено 26-VI-2011