

# Эксперимент Франка-Герца со ртутной трубкой



Физика

Современная физика

Квантовая физика

Химия

Физическая химия

Структура атома и его свойства



Уровень сложности

легко



Размер группы

1



Время подготовки

10 Минут



Время выполнения

10 Минут



## Общая информация

### Описание



Ртутная трубка Франка-Герца.

Эксперимент Франка-Герца по столкновениям электронов с атомами ртути демонстрирует квантовое поведение атомов и доказывает существование дискретных стационарных энергетических уровней в атомах. Эксперимент ограничивается определением энергии, необходимой для возбуждения первых энергетических уровней атомов ртути.

## Дополнительная информация (1/2)

**PHYWE**  
excellence in science

### предварительные

#### знания



#### Научный принцип



Когда изолированный атом поглощает электрон с нужным количеством энергии, он переходит из основного состояния в состояние с более высокой энергией. Обычно он остается в возбужденном состоянии в течение короткого времени перед тем, как испустить фотон и перейти в состояние с более низкой энергией. Переход электрона между уровнями происходит только в том случае, если количество поглощенной или испускаемой энергии в точности равно разнице энергий между двумя уровнями.

Электроны ускоряются в трубке, заполненной парами ртути. Энергия возбуждения ртути определяется из расстояния между равноудаленными минимумами тока электронов в переменном противоположном электрическом поле.

## Дополнительная информация (2/2)

**PHYWE**  
excellence in science

### Цель обучения



### Задачи



Проверка концепции квантования переноса энергии в неупругих столкновениях электрон-атом.

1. Запишите силу противотока  $I$  в зависимости от анодного напряжения  $U$  в трубке Франка-Герца
2. Определите энергию возбуждения по положениям минимумов или максимумов силы тока при образовании разности.

## Правила техники безопасности

**PHYWE**  
excellence in science

Для этого эксперимента применяются общие инструкции по безопасному проведению экспериментов при преподавании естественных наук.

Убедитесь, что температура трубки не превышает 300 °C, чтобы избежать повреждения трубки из-за неконтролируемого разряда.

## Теория (1/4)

**PHYWE**  
excellence in science

В 1913 году Нильс Бор представил планетарную модель атома: изолированный атом состоит из положительно заряженного ядра, вокруг которого распределены электроны по последовательным орбитам. Он также постулировал, что встречаются только те орбиты, для которых угловой момент электрона является целым кратным, то есть  $h/2\pi$ , где  $n$  - целое число, а  $h$  - постоянная Планка.

Представление Бора об электронах в дискретных состояниях с переходами между этими состояниями, производящими излучение, частота которого определяется разностью энергий между состояниями, может быть получено из квантовой механики, которая пришла на смену классической механике, когда речь идет об объектах размером с атомы.

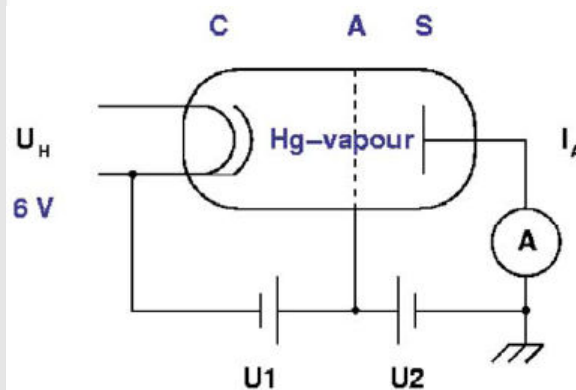
Из модели Бора вытекает, что электроны могут совершать переходы вниз от разрешенных состояний с более высокой энергией к состояниям с более низкой энергией, а также возбуждаться вверх в состояния с более высокой энергией, поглощая количество энергии равное разности между более низкими и более высокими состояниями.

## Теория (2/4)

**PHYWE**  
excellence in science

Джеймс Франк и Густав Герц показали, что это действительно имело место в серии экспериментов, описанных в 1913 году, в том же году, когда Бор представил свою модель. Франк и Герц использовали пучок ускоренных электронов для измерения энергии, необходимой для подъема электронов из основного состояния газа из атомов ртути в первое возбужденное состояние.

Электроны, излучаемые термоэлектронным катодом, ускорялись между катодом С и анодом А в трубке, заполненной парами ртути, и рассеивались при упругом столкновении с атомами ртути. Было найдено, что при анодном напряжении  $U_1$  равном 4.9 В, кинетическая энергия электронов достаточна для перевода валентного электрона ртути на первый уровень возбуждения  $6^3P_1$  при неупругом столкновении.



Принцип измерения

## Теория (3/4)

**PHYWE**  
excellence in science

Из-за сопутствующей потери энергии электрон больше не смог пересекать встречное поле между анодом А и встречным электродом S: сила тока  $I$  снизилась до минимума. Если теперь анодное напряжение увеличить еще больше, кинетической энергии электрона снова будет достаточно, чтобы преодолеть противодействующее поле: сила тока  $I$  увеличивается.

Когда напряжение между анодом и катодом равно  $U_1 = 2 \cdot 4.9\text{В}$ , кинетическая энергия становится настолько высока, что два атома подряд могут возбуждаться одним и тем же электроном: получается второй минимум. Таким образом, график  $I/U_1$ , показывает равноудаленные максимумы и минимумы. Эти минимумы, однако, не очень четко определены из-за начального теплового распределения скоростей электронов.

Напряжение  $U_1$  между анодом и катодом представляет собой

$$U_1 = U + (\Phi_A - \Phi_C)$$

где  $U$  - приложенное напряжение, а  $\Phi_A$  и  $\Phi_C$  - напряжения выхода анода и катода соответственно.

## Теория (4/4)

Поскольку энергия возбуждения  $E$  определяется по разности напряжений в минимумах, напряжения выхода здесь не имеют значения.

Согласно классической теории, энергетические уровни, до которых возбуждаются атомы ртути, могут быть случайными. Однако согласно квантовой теории атому должен быть внезапно присвоен определенный энергетический уровень в элементарном процессе. Ход кривой  $I/U_A$  был впервые объяснен на основе этой точки зрения и, таким образом, представляет собой подтверждение квантовой теории.

Возбужденный атом ртути снова высвобождает поглощенную энергию с испусканием фотона. Когда энергия возбуждения  $E$  составляет 4,9 эВ, длина волны этого фотона:

$$\lambda = \frac{ch}{E} = 253 \text{ нм}$$

где  $c = 2.9979 \cdot 10^8$  м/с и  $h = 4.136 \cdot 10^{-15}$  эВ и, следовательно, находится в ультрафиолетовом диапазоне.

## Материал

Позиция	Материал	Пункт No.	Количество
1	Трубка Франка-Герца, ртутная, на пластине	09105-10	1
2	Блок питания для эксперимента Франка-Герца	09105-99	1
3	Печь Франка-Герца для ртутной трубки	09105-93	1
4	Термопара NiCr-Ni, с микропокрытием -40...1300°C	13615-01	1
5	Соединительный шнур для ртутной трубки Франка-Герца	09105-30	1
6	ПО для эксперимента Франка-Герца	14522-61	1
7	Преобразователь USB - RS232	14602-10	1
8	Кабель передачи данных, штекер/гнездо, 9-контакт.	14602-00	1
9	Кабель с защитным покрытием, BNC, l=750 мм	07542-11	1

**PHYWE**  
excellence in science

## Подготовка и выполнение работы

### Подготовка (1/3)

**PHYWE**  
excellence in science

Экспериментальная установка

Подробнее см. инструкцию по эксплуатации устройства 09105.99. Подключите панель управления к портам COM1, COM2 компьютера или к порту USB (используйте преобразователь переходника USB в RS232 14602.10).



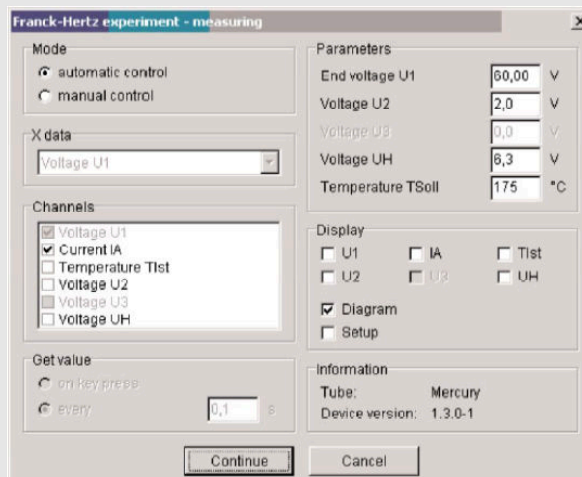
## Подготовка (2/3)

**PHYWE**  
excellence in science

Запустите программу измерений и выберите датчик Cobra3 "Эксперимент Франка-Герца". Появится окно "Эксперимент Франка-Герца - измерение".

Оптимальные параметры для каждой ртутной трубки различны. Конкретные параметры устройства можно найти на листе, который прилагается к упаковке ртутной трубки. Выберите параметры для  $U_1$ ,  $U_2$  и  $U_H$ , как указано на этом листе, и убедитесь, что остальные параметры установлены.

Нажмите кнопку "Продолжить". Теперь печь трубки Франка-Герца будет нагреваться до 175 °C.



Измеряемые параметры

## Подготовка (3/3)

**PHYWE**  
excellence in science

Подождите еще 30 минут перед началом измерения, чтобы убедиться, что внутренняя часть трубки также достигла своей конечной температуры.

При определенном напряжении  $U_1 = U_z$ , зависящем от температуры, между анодом и катодом за счет ионизации возникает тлеющий разряд.

Следовательно, измерения могут быть выполнены только при напряжениях  $U_1 < U_z$ .

Проанализируйте кривую, чтобы получить явные значения максимумов и минимумов кривой.

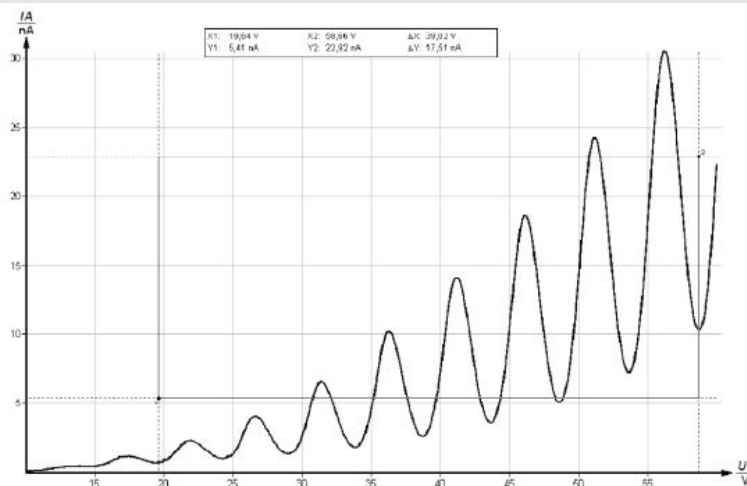
## Выполнение работы

**PHYWE**  
excellence in science

Для оценки определяются минимальные значения напряжения.

Из разницы между этими значениями получается энергия возбуждения  $E$  атома ртути путем усреднения получается:

$$E = (4.86 \pm 0.09) \text{ эВ}$$



Пример кривой Франка-Герца, записанной при температуре  $T = 175^\circ\text{C}$  и  $U_2 = 2\text{В}$

## Задача 1

**PHYWE**  
excellence in science

Заполните пробелы в тексте:

В эксперименте Франка-Герца для ртутных трубок

между минимумами на кривой Франка-Герца

линейно  с числом минимумов за счет

дополнительного  электронов на средней

после достижения энергии возбуждения, но до

того, как произошли неупругие столкновения с атомами.

ускорения

увеличиваются

расстояния

длине свободного пробега

✓ Проверить

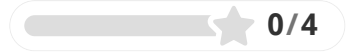
Слайд

Оценка/Всего

Слайд 16: кривая Франка-Герца

0/4

Общий балл



0/4



Показать решения



Вспомнить