

ИОНИЗИРУЮЩИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ

ТЕМА:

РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

1. ПРИРОДА И ВИДЫ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.
2. РЕНТГЕНОВСКАЯ ТРУБКА.
3. МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ И СПЕКТР ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.
4. МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ И СПЕКТР ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.

1. ПРИРОДА И ВИДЫ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

**РЕНТГЕНОВСКОЕ
ИЗЛУЧЕНИЕ –**

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ
коротковолновое**

(80 – 10^{-5} нм)

**НА ШКАЛЕ - МЕЖДУ УФ
И ГАММА-излучением**

КЛАССИФИКАЦИЯ

**1) ПО ДЛИНЕ ВОЛНЫ И
ПРОНИКАЮЩЕЙ
СПОСОБНОСТИ:**

- **МЯГКОЕ –** длина волны больше, проникающая способность меньше, и
- **ЖЕСТКОЕ –** длина волны меньше, проникающая способность больше.

КЛАССИФИКАЦИЯ

2) ПО МЕХАНИЗМУ
ИЗЛУЧЕНИЯ
И СПЕКТРАМ –

- ТОРМОЗНОЕ
И
- ХАРАКТЕРИСТИ-
ЧЕСКОЕ.

Все виды
можно получить
с помощью
рентгеновской трубки.

Это наиболее
распространенный
источник рентгеновского
излучения.

2. РЕНТГЕНОВСКАЯ ТРУБКА

**РЕНТГЕНОВСКАЯ
ТРУБКА –**

**ДВУХЭЛЕКТРОДНЫЙ
ВАКУУМНЫЙ ПРИБОР.**

**В ОСНОВЕ РАБОТЫ -
ЯВЛЕНИЕ
ТЕРМОЭЛЕКТРОННОЙ
ЭМИССИИ.**

**ТЕРМОЭЛЕКТРОННАЯ
ЭМИССИЯ –**

**испускание электронов
нагретым металлом.**

**(При увеличении
температуры
усиливается тепловое
движение свободных
электронов, их
энергия растет,
и они могут выходить
из металла.)**

Рентгеновская трубка

КАТОД нагревается электрическими токами и испускает электроны.

В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ ТРУБКИ ("-" на катоде, "+" на аноде) ЭЛЕКТРОНЫ, УСКОРЯЯСЬ, ЛЕТЯТ К АНОДУ.

В РЕЗУЛЬТАТЕ ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С АТОМАРНЫМ ПОЛЕМ

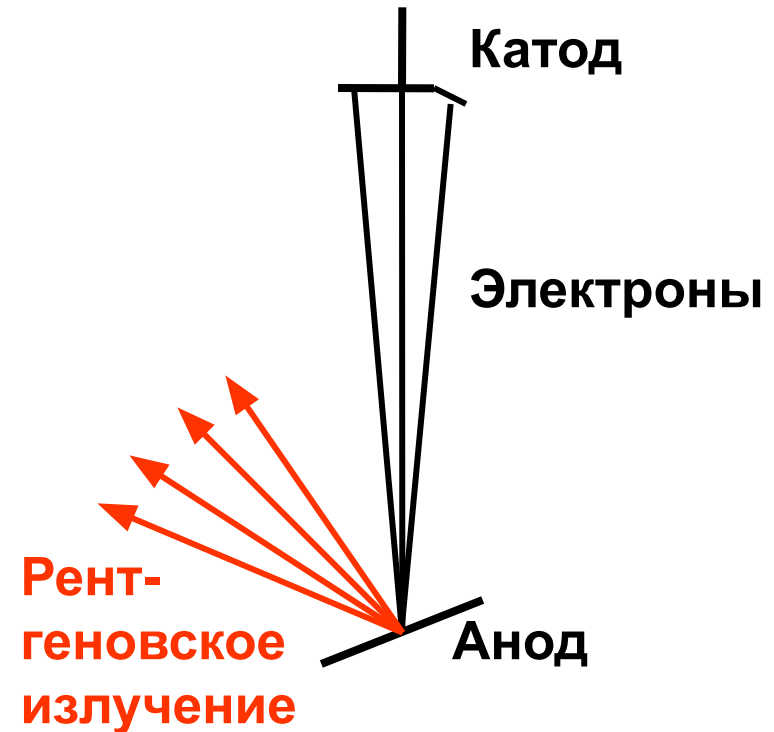
И ВЕЩЕСТВОМ АНОДА

ОБРАЗУЕТСЯ РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ.

Конструктивные особенности

АНОД

(иначе АНТИКАТОД) -
из тугоплавких
теплопроводящих
материалов.
Может быть со
специальной
системой охлаждения
или вращающийся.



3.

ТОРМОЗНОЕ РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

ОБРАЗУЕТСЯ
ПРИ ТОРМОЖЕНИИ
"БЫСТРЫХ"
ЭЛЕКТРОНОВ

АТОМАРНЫМ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ
ПОЛЕМ
АНОДА

(ПОЛЕМ АТОМАРНЫХ
ЭЛЕКТРОНОВ).

ТЕОРИЯ МАКСВЕЛЛА:

- ВОКРУГ ДВИЖУЩИХСЯ ЭЛЕКТРОНОВ - ЭП И МП;
 - ПРИ УМЕНЬШЕНИИ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ –
УМЕНЬШЕНИЕ ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ
- ↓
- ПОРОЖДЕНИЕ В ПРОСТРАНСТВЕ ЦЕПОЧКИ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ЭП И МП,
т.е. *ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ.*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА

**В РАМКАХ ЗАКОНА
СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ:**

**ПРИ ТОРМОЖЕНИИ
КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ
ЭЛЕКТРОНОВ ПЕРЕХОДИТ
В ДРУГИЕ ВИДЫ ЭНЕРГИИ –**

- **ЧАСТИЧНО В ЭНЕРГИЮ
ЭМ ИЗЛУЧЕНИЯ,**
- **ЧАСТИЧНО ВО
ВНУТРЕННЮЮ ЭНЕРГИЮ
АТОМОВ АНОДА,
ВЫЗЫВАЯ ЕГО НАГРЕВАНИЕ**

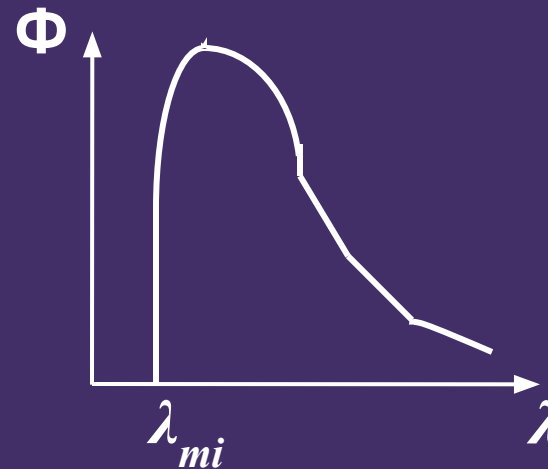
$$eU = h\nu + Q.$$

Здесь
e – заряд электрона,
U – напряжение между
катодом и анодом,
eU – энергия электрона,
 $h\nu$ - квант тормозного
излучения,
Q – тепло.

СПЕКТР ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ
ДВУМЯ СЛАГАЕМЫМИ
СЛУЧАЙНО.
ПОЭТОМУ
ПРИ ТОРМОЖЕНИИ
БОЛЬШОГО ЧИСЛА
ЭЛЕКТРОНОВ
ОБРАЗУЕТСЯ
РЕНТГЕНОВСКОЕ
ИЗЛУЧЕНИЕ
РАЗЛИЧНЫХ ДЛИН
ВОЛН.

СПЕКТР *ТОРМОЗНОГО*
РЕНТГЕНОВСКОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ -
НЕПРЕРЫВНЫЙ
(СПЛОШНОЙ).



СПЕКТР ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

**СПЕКТР РЕНТГЕНОВСКОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ – ГРАФИК
ЗАВИСИМОСТИ
ПОТОКА ИЗЛУЧЕНИЯ
ОТ ЕГО ДЛИНЫ ВОЛНЫ,
 $\Phi(\lambda)$.**

**ПОТОК ИЗЛУЧЕНИЯ –
ЭНЕРГИЯ, ИЗЛУЧАЕМАЯ
ВЕЩЕСТВОМ
В ЕДИНИЦУ ВРЕМЕНИ.**

**СПЕКТР ТОРМОЗНОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ ИМЕЕТ
ЧЕТКУЮ ГРАНИЦУ
СО СТОРОНЫ КОРОТКИХ
ВОЛН.**

Причина:

**Энергия фотона
рентгеновского
излучения
не может быть больше
энергии ускоренного
электрона,**

$$h\nu \leq eU.$$

Коротковолновая граница спектра тормозного излучения

Наибольшая величина
кванта,
а значит,
максимальная частота
и минимальная длина
волны –
при условии,
что вся энергия
ускоренного
электрона перейдет в
энергию фотона:

$$Q = 0;$$

$$eU = h\nu_{\max}$$



$$\nu_{\max} = eU / h;$$

или

$$eU = hc / \lambda_{\min}$$



$$\lambda_{\min} = hc / (eU).$$

ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ (положения коротковолновой границы и величины максимума)

можно получить
ДВУМЯ СПОСОБАМИ:

- 1) ИЗМЕНЕНИЕ
НАПРЯЖЕНИЯ НА
ТРУБКЕ
(МЕЖДУ АНОДОМ И
КАТОДОМ),
- 2) ИЗМЕНЕНИЕ
ТЕМПЕРАТУРЫ НАКАЛА
КАТОДА.

- 1) При УВЕЛИЧЕНИИ
напряжения на трубке
меняются и поток
излучения,
и его спектральный
состав:
 - УВЕЛИЧИВАЕТСЯ
ПОТОК,
 - ВОЗРАСТАЕТ ЖЕСТ-
КОСТЬ ИЗЛУЧЕНИЯ
и коротковолновая
граница спектра
смещается в сторону
МЕНЬШИХ ДЛИН ВОЛН.

Влияние напряжения на трубке

Пояснение

При увеличении
напряжения на трубке

а) увеличиваются
скорость и энергия
электронов



увеличиваются
кванты тормозного
излучения, т.е.

ν растет, λ уменьшается;

б) увеличивается число
электронов
(из электронного облака
вокруг катода),
достигающих анода



увеличивается поток
энергии.

Влияние температуры накала катода

**2) При УВЕЛИЧЕНИИ
температуры накала
катода**

**ПОТОК ИЗЛУЧЕНИЯ
УВЕЛИЧИВАЕТСЯ**

***БЕЗ ИЗМЕНЕНИЯ
СПЕКТРАЛЬНОГО
СОСТАВА.***

Пояснение

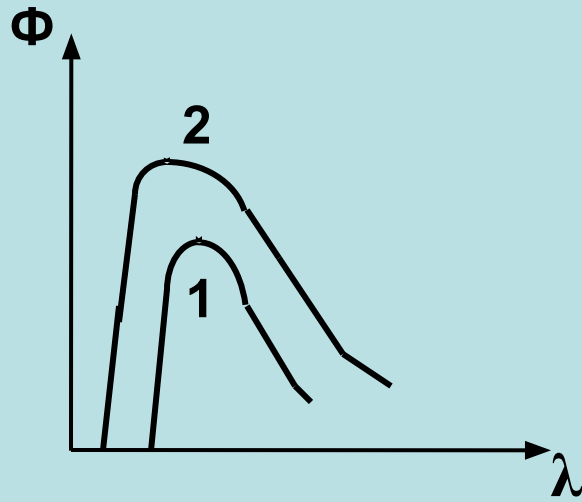
**В этом случае
усиливается эмиссия
электронов;**

**т.к. их больше в облаке,
больше и долетает до
анода.**

**Однако энергия
электронов, а значит, и
величина излученных
квантов не меняются.**

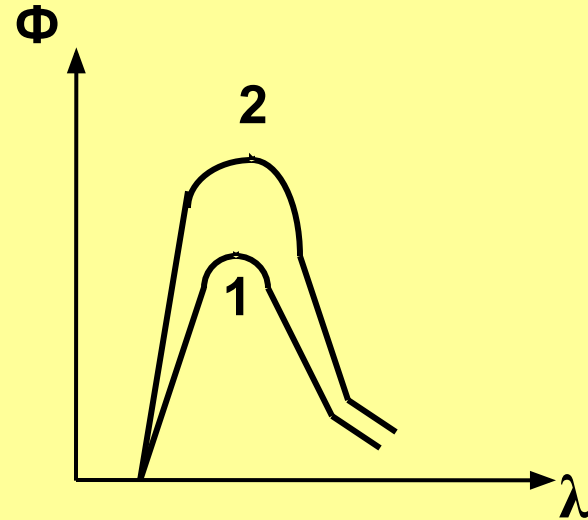
Иллюстрации

ИЗМЕНЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ НА ТРУБКЕ



$$U_2 > U_1$$

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НАКАЛА КАТОДА



$$t_2^\circ > t_1^\circ$$

4. ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОЕ РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Общий механизм

- ВСЕГДА ОБРАЗУЕТСЯ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ СВОБОДНОГО МЕСТА В ОДНОМ ИЗ ВНУТРЕННИХ ЭЛЕКТРОННЫХ СЛОЕВ АТОМА.
 - НА ЭТО МЕСТО ОБЯЗАТЕЛЬНО ПЕРЕХОДИТ ЭЛЕКТРОН ИЗ БОЛЕЕ УДАЛЕННОГО ОТ ЯДРА СЛОЯ.
- ТАК КАК ЭНЕРГИЯ ВНЕШНИХ ЭЛЕКТРОНОВ БОЛЬШЕ, ЧЕМ ВНУТРЕННИХ, ИЗБЫТОК ЭНЕРГИИ ВЫСВЕЧИВАЕТСЯ В ВИДЕ КВАНТА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.

Возникновение в рентгеновской трубке

Причина возникновения электронной вакансии в рентгеновской трубке

- УВЕЛИЧЕНИЕ
НАПРЯЖЕНИЯ
между катодом и анодом



- ЭЛЕКТРОН В ПОЛЕ
ТРУБКИ
СИЛЬНЕЕ УСКОРЯЕТСЯ,
ПРИБРЕТАЕТ
БОЛЬШУЮ ЭНЕРГИЮ



- ЭЛЕКТРОН
ПРЕОДОЛЕВАЕТ
ОТТАЛКИВАНИЕ ПОЛЯ
АТОМАРНЫХ
ЭЛЕКТРОНОВ АНОДА
И ПРОНИКАЕТ ВГЛУБЬ
АТОМА



- ТАМ ОН ВЫБИВАЕТ
ЭЛЕКТРОН
ИЗ ВНУТРЕННЕГО СЛОЯ

Спектр характеристического излучения

РАСПОЛОЖЕНИЕ
ЭЛЕКТРОННЫХ СЛОЕВ
СТРОГО ОПРЕДЕЛЕНО



СПЕКТР
ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ
ДИСКРЕТНЫЙ
(ЛИНЕЙЧАТЫЙ).

Он возникает на фоне
сплошного спектра при
увеличении напряжения
на трубке.

ВНУТРЕННИЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ
СЛОИ АТОМОВ,
КАК ПРАВИЛО, ЗАПОЛНЕННЫ,
т.е., ОДИНАКОВЫ У АТОМОВ
РАЗНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.



ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИЕ
РЕНТГЕНОВСКИЕ
СПЕКТРЫ АТОМОВ

ИМЕЮТ ОСОБЕННОСТИ
В СРАВНЕНИИ

С ОПТИЧЕСКИМИ
АТОМНЫМИ СПЕКТРАМИ.

Особенности характеристических спектров

1) ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ РАЗЛИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ОДНОТИПНЫ ПО ФОРМЕ.

ОНИ ОТЛИЧАЮТСЯ ЛИШЬ ПОЛОЖЕНИЕМ НА ОСИ ДЛИН ВОЛН:

С УВЕЛИЧЕНИЕМ ПОРЯДКОВОГО НОМЕРА ИСПУСКАЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА (В ТРУБКЕ - ВЕЩЕСТВА АНОДА)

СПЕКТРЫ СДВИГАЮТСЯ В СТОРОНУ МЕНЬШИХ ДЛИН ВОЛН (БОЛЬШИХ ЧАСТОТ).

Особенность 1

ПРИЧИНА:

УСИЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ
НА ЭЛЕКТРОННЫЕ
ПЕРЕХОДЫ
ЯДРА АТОМА –

ЗАРЯД ЯДРА
УВЕЛИЧИВАЕТСЯ С
УВЕЛИЧЕНИЕМ
ПОРЯДКОВОГО НОМЕРА
«Z» ЭЛЕМЕНТА.

Эту закономерность
описывает

ЗАКОН МОЗЛИ:
$$\sqrt{\nu} = A (Z - B).$$

Здесь

ν - частота
спектральной линии,
A и B – постоянные
(учитывают взаимное
расположение
электронных слоев
и влияние ближайших к
ядру электронов).

Особенность 2

**2) ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИЙ
СПЕКТР ЭЛЕМЕНТА
НЕ ЗАВИСИТ
ОТ ТОГО,
В КАКОЕ ХИМИЧЕСКОЕ
СОЕДИНЕНИЕ
ОН ВХОДИТ.**

**Отсюда и название
характеристическое,
характерное для данного
элемента.**

**Следующая тема –
радиоактивность,
радиоактивные
излучения.**