

# Рентгеновское излучение

1. Исторические аспекты.
2. Получение рентгеновских лучей. Рентгеновская трубка
3. Виды рентгеновского излучения:
  - Тормозное,
  - Характеристическое. Закон Мозли.
4. КПД рентгеновской трубки.
5. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом
6. Ослабление рентгеновского излучения веществом.
7. Физические основы рентгеноскопии и рентгенографии.
8. Рентгеновская компьютерная томография.

**Рентгеновское излучение –  
это электромагнитные волны с**

$$\lambda = 80 - 10^{-4} \text{ нм,}$$

**в медицине применяется**

$$\lambda = 1 - 6 \cdot 10^{-3} \text{ нм.}$$

# Свойства рентгеновских лучей:

1. Рентгеновское излучение обладает свойством электромагнитных волн (отражение, поглощение, дифракция и т. д.).
2. Рентгеновское излучение способно проходить через любые тела и непрозрачные для видимого света.
3. При прохождении через вещество происходит ослабление потока рентгеновского излучения. Степень ослабления зависит от структуры тела, следовательно, изучая картину просвечивания, можно получить информацию о строении.
4. Рентгеновское излучение вызывает почернение фотопленки и свечение некоторых веществ, следовательно, теневую картину можно зафиксировать на пленке.
5. Рентгеновские лучи вызывают ионизацию воздуха.

# История открытия.

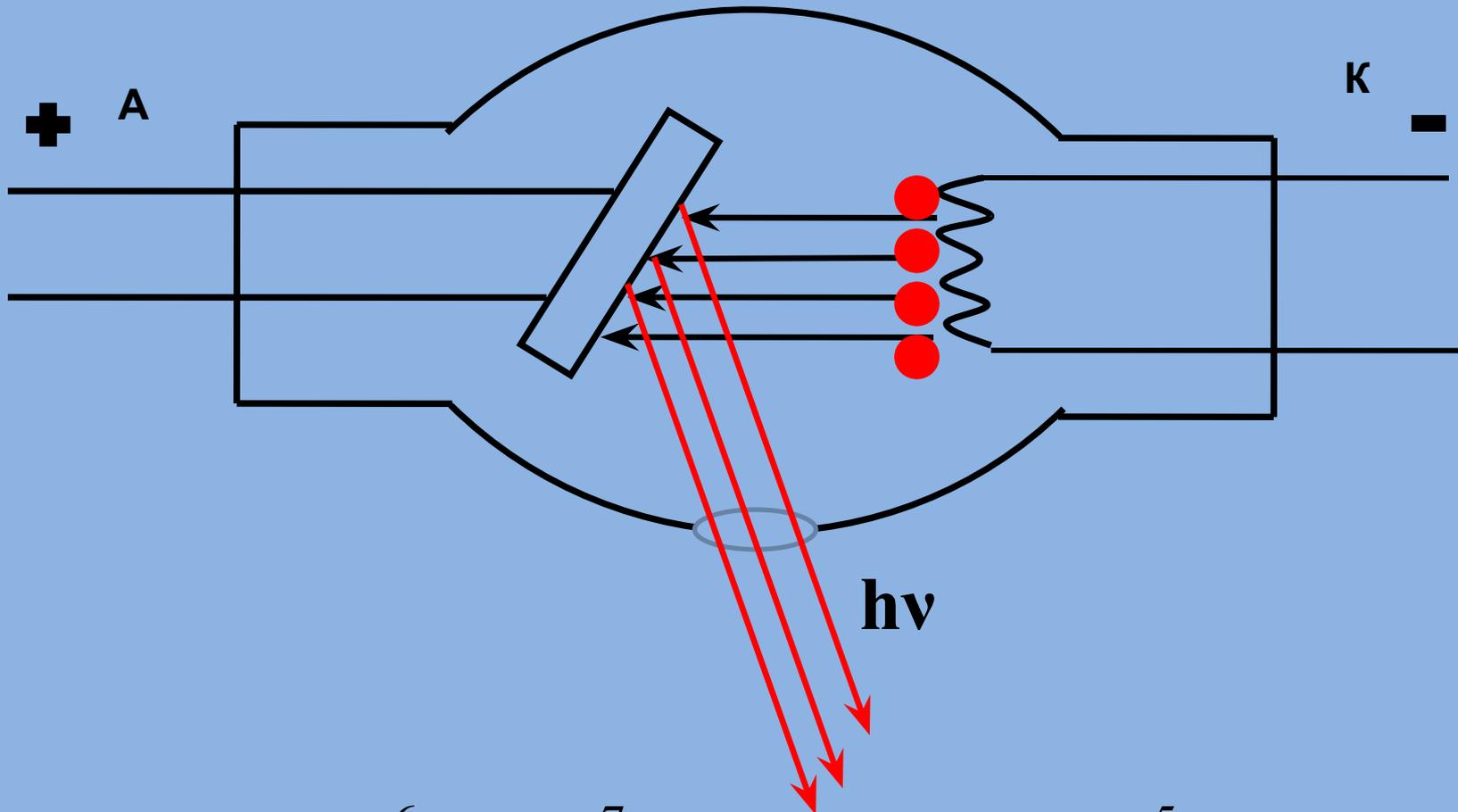
В 1895г. немецкий физик Рентген, изучая прохождение тока через разряженный газ, открыл проникающее излучение.

В 1901г. была присуждена Нобелевская премия за открытие рентгеновских лучей. Это была первая Нобелевская премия по физике.

Волновая природа рентгеновского излучения была установлена в опытах по дифракции в 1912г. ученым Лауэ.



# Рентгеновская трубка – источник рентгеновского излучения.



$P=10^{-6} - 10^{-7}$  мм рт. ст.,  $U=10^5$  ЭВ.

**В основе работы рентгеновской трубки-явление термоэлектронной эмиссии (ТЭ).**

**ТЭ-испускание электронов нагретыми металлами.**

# **Виды рентгеновского излучения:**

**❖ тормозное излучение**

**❖ характеристическое**

# Тормозное излучение

Падающие на мишень электроны испытывают внутреннее торможение в поле атомных ядер.

**Торможение – процесс движения с отрицательным ускорением, но ускоренно движущиеся заряды излучают в окружающее пространство электромагнитные волны. Электроны теряют часть энергии в виде электромагнитного излучения. Оно и представляет собой тормозное рентгеновское излучение. Условия торможения для различных электронов различны, поэтому изучаемые фотоны имеют самую различную энергию и излучение имеет сплошной спектр.**

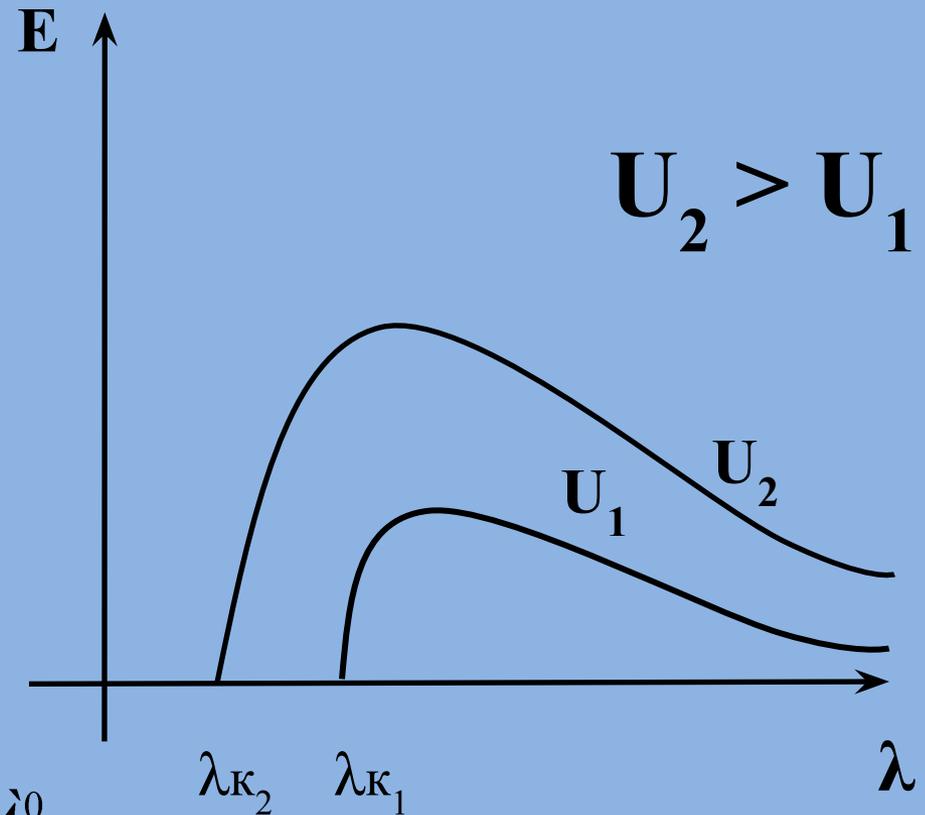
# Спектр тормозного излучения

$E = h\nu$  – энергия кванта  
рентгеновского излучения

$A = eU$  – работа  
электрического поля

$eU = h\nu_{\max}$  – фотон имеет  
максимально возможную  
энергию.

$$\lambda_c = \frac{hc}{eU} = \frac{12,4}{U} \cdot 10^{-10} \text{ м} = \frac{12,4}{U} \text{ \AA}$$



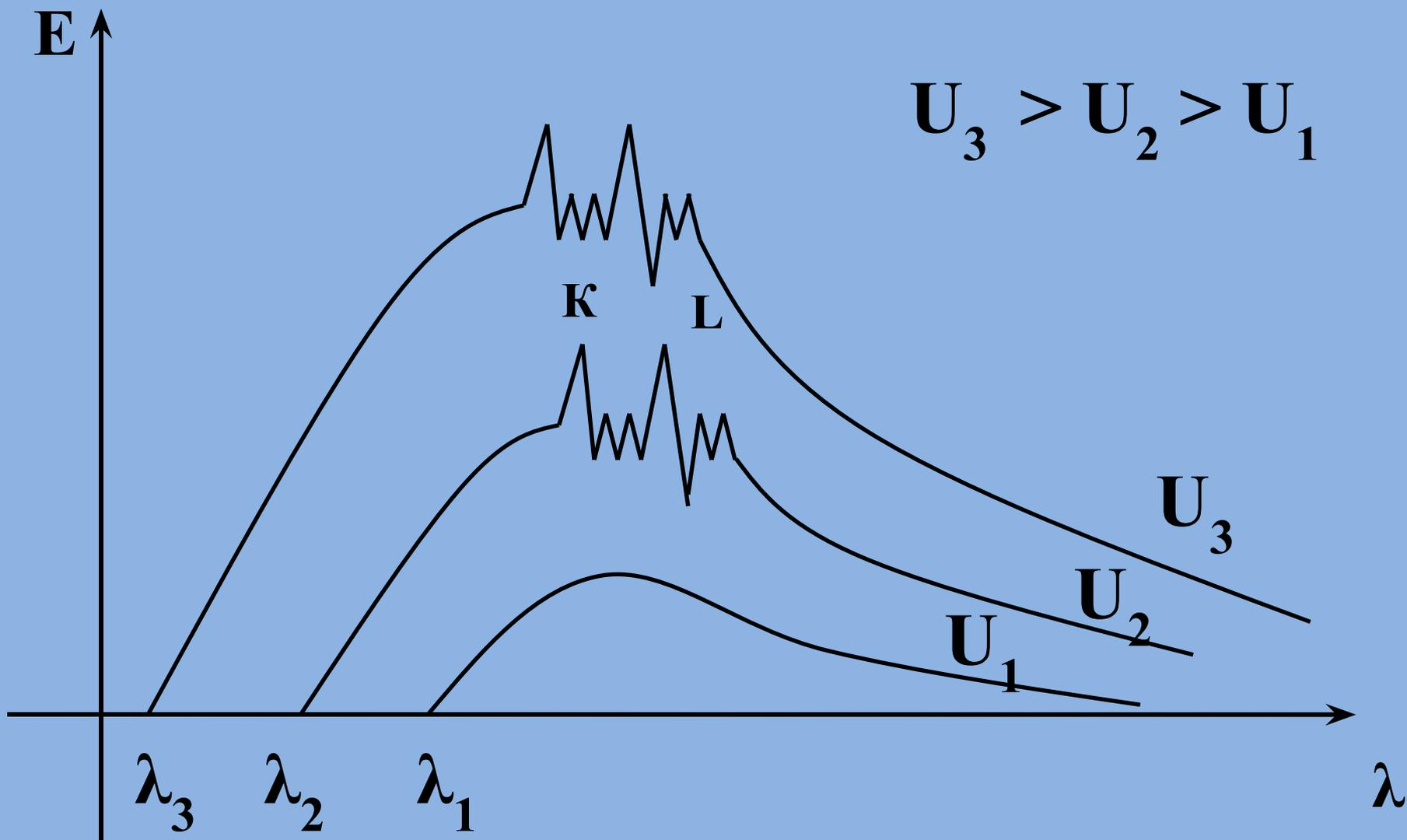
# Характеристическое излучение

Характеристическое излучение возникает в результате взаимодействия ускоренных электронов с внутренними электронами атомов вещества анода.

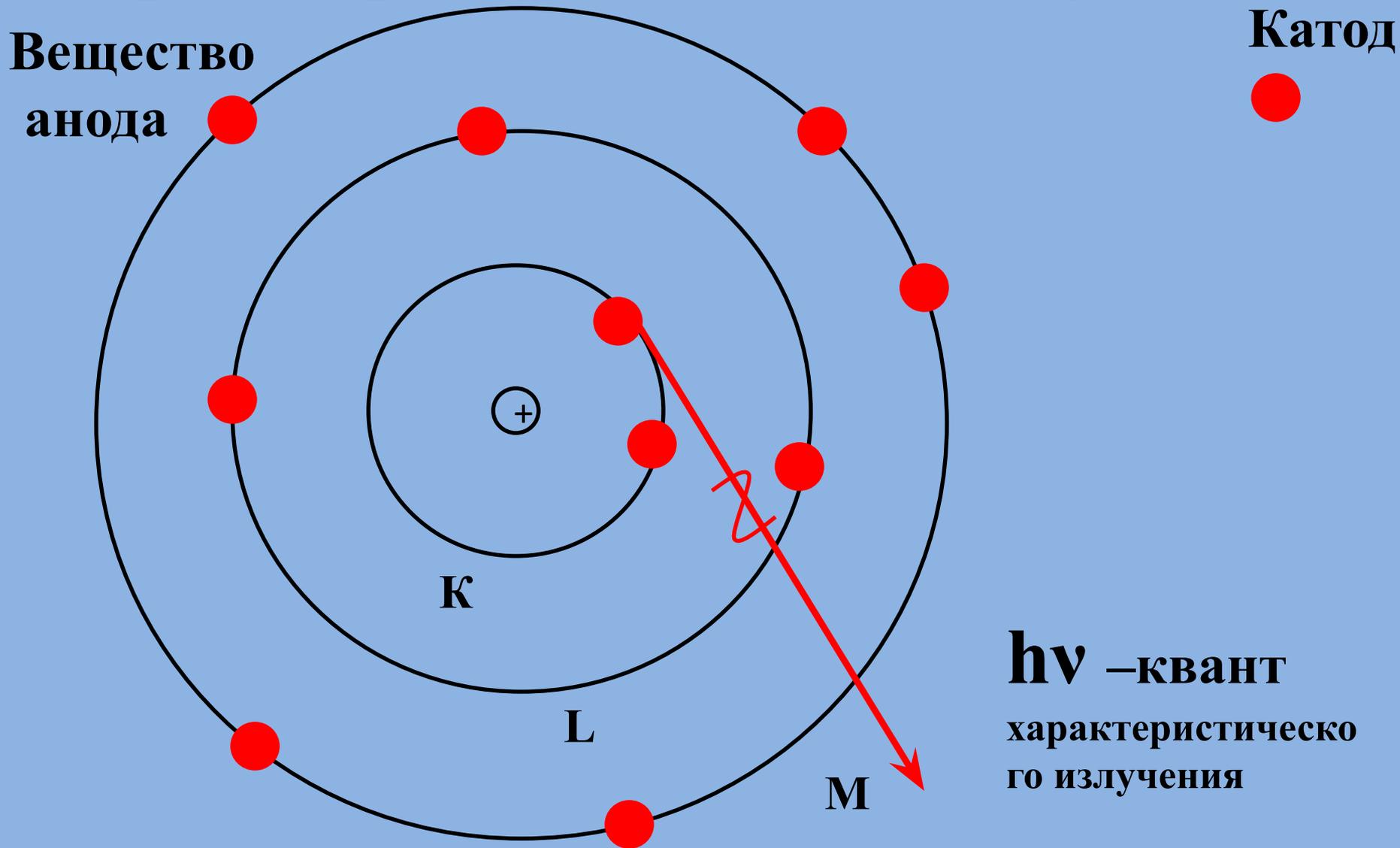
При достаточной энергии падающего электрона, могут быть выбиты электроны из любой оболочки атома мишени, например, К-слой. В результате будет происходить целый каскад переходов электронов между выше и нижележащими уровнями энергии.

Они сопровождаются образованием фотонов. При увеличении атомного номера ( $Z$ ), происходит смещение спектров в область высоких частот, т. е. коротких длин волн.

# Спектр характеристического излучения



# Механизм образования характеристического излучения



# Закон Мозли

$$\sqrt{\nu} = A(Z - B)$$

Происходит увеличение жесткости рентгеновского излучения.  
Самой жесткой является К-серия, более мягкими являются L, М  
серии.

**Жесткое излучение  $\lambda < 0,01$  нм**

**Мягкое излучение  $\lambda > 0,01$  нм**

**Поток рентгеновского излучения**  
(мощность)-это энергия, излучаемая  
рентгеновской трубкой в единицу времени  
со всей площади.

$$\Phi = KJU^2Z$$

# КПД рентгеновской трубки

$$\text{КПД} = \frac{N_n}{N_3} \times 100\%$$

$$N_{\Pi} = \Phi \quad \Phi = KJU^2Z$$

$$N_3 = JU$$

$$\text{КПД} = \frac{KJU^2Z}{JU} \times 100\% = KUZ \times 100\%$$

## **КПД рентгеновской трубки – очень мал.**

- ❖ **3% - электронов преобразуют свою энергию в энергию рентгеновского излучения.**
- ❖ **97% - энергии уходит на тепловой эффект.**  
**Так как рентгеновская трубка сильно нагревается, ее необходимо охлаждать.**

**U=1000кВ**

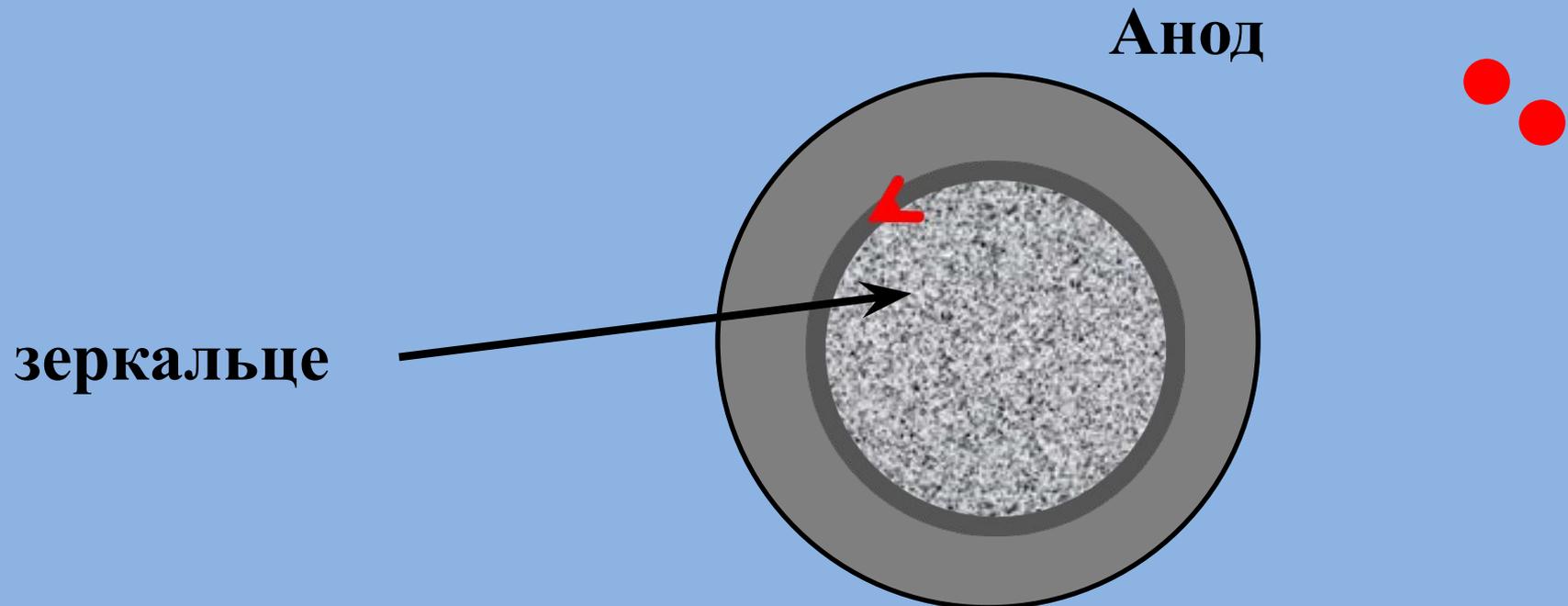
**К.п.д.=9%**

**U=43кВ**

**К.п.д.=0,46%**

# Способы охлаждения рентгеновской трубки

- ❖ Воздушное и масляное охлаждение
- ❖ Анод изготавливают из веществ с высокой  $t$  плавления и большой теплопроводностью.
- ❖ Анод изготавливают вращающимся



# **Питание рентгеновской трубки обеспечивается двумя источниками:**

❖ **Источником высокого напряжения для анодной цепи.  
Путем изменения анодного напряжения  
регулируют жесткость излучения.**

❖ **Источником низкого напряжения (6—8 В) для цепи  
накала.**

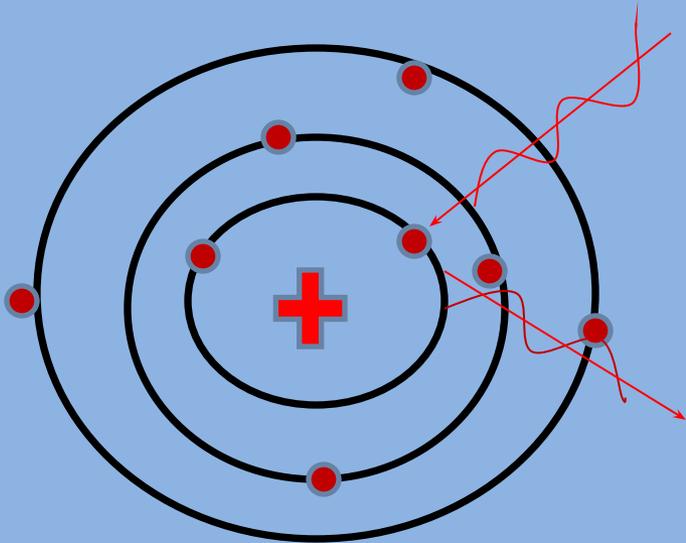
**Изменением накала регулируют силу тока в  
анодной цепи и соответственно мощность  
излучения.**

# Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом

- ❖ Когерентное рассеяние
- ❖ Фотоэффект
- ❖ Некогерентное рассеяние (Комптон-эффект)

# ❖ Когерентное излучение.

Этот эффект возможен, если  $h\nu < A_{\text{ВЫХ}}$

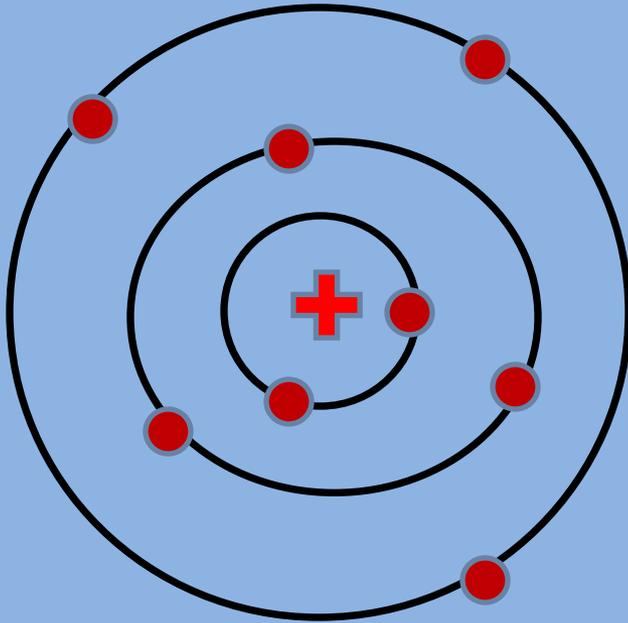
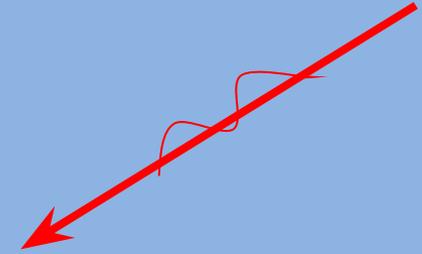


$h\nu$  – энергия падающего кванта рентгеновского излучения.

$A_{\text{ВЫХ}}$  – работа выхода электрона.

# Фотоэффект.

Этот эффект возможен, если  $h\nu > A_{\text{ВЫХ}}$

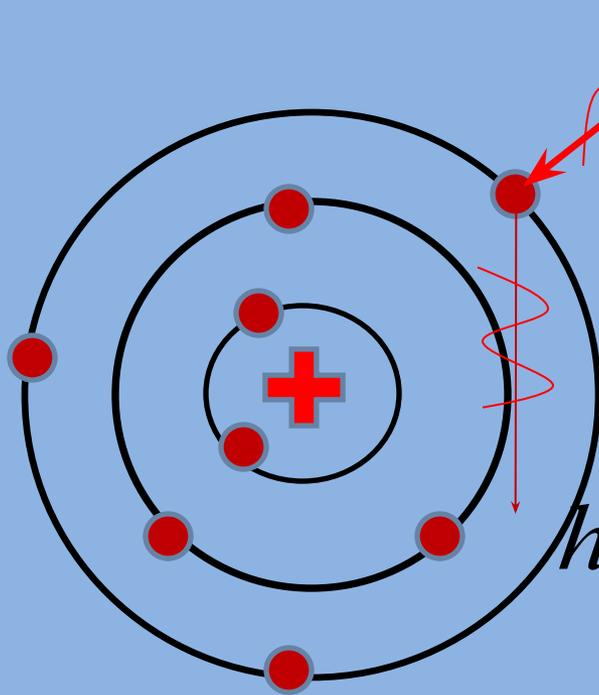


$$h\nu = A_{\text{ВЫХ}} + \frac{mv^2}{2}$$

$\frac{mv^2}{2}$  - Кинетическая энергия электрона

# Комптон эффект.

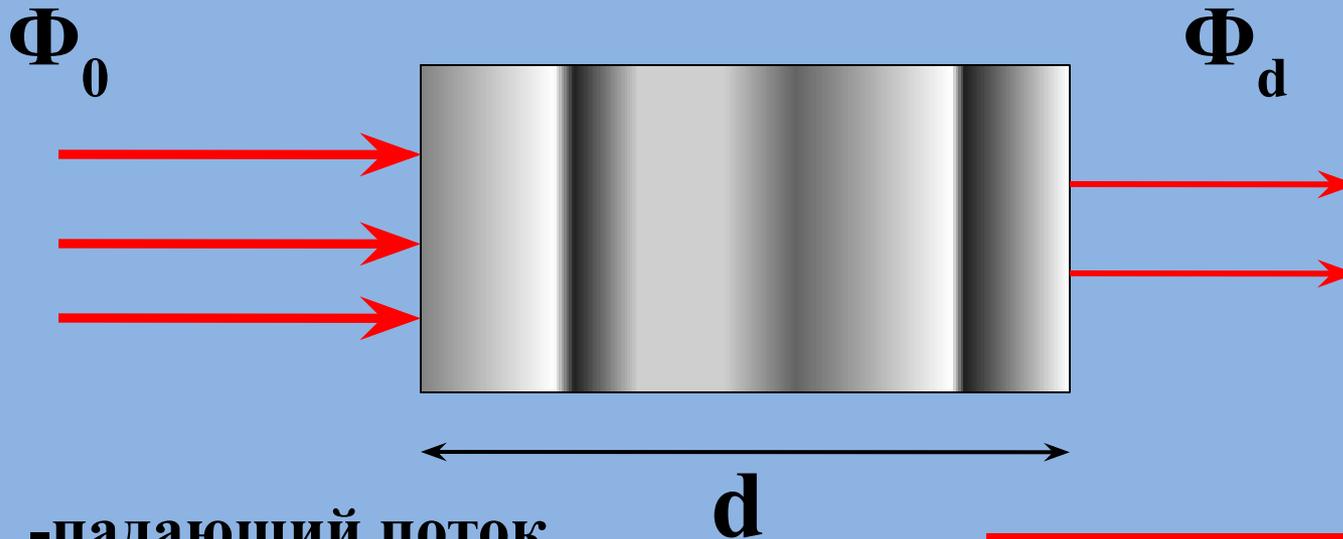
Этот эффект возможен, если  $h\nu \gg A_{\text{ВЫХ}}$



$$h\nu = A_{\text{ВЫХ}} + \frac{mv^2}{2} + h\nu'$$

$h\nu'$  - Энергия вторичного кванта

# Закон ослабления потока рентгеновского излучения.



$\Phi_0$  -падающий поток

$\Phi_d$  – прошедший поток

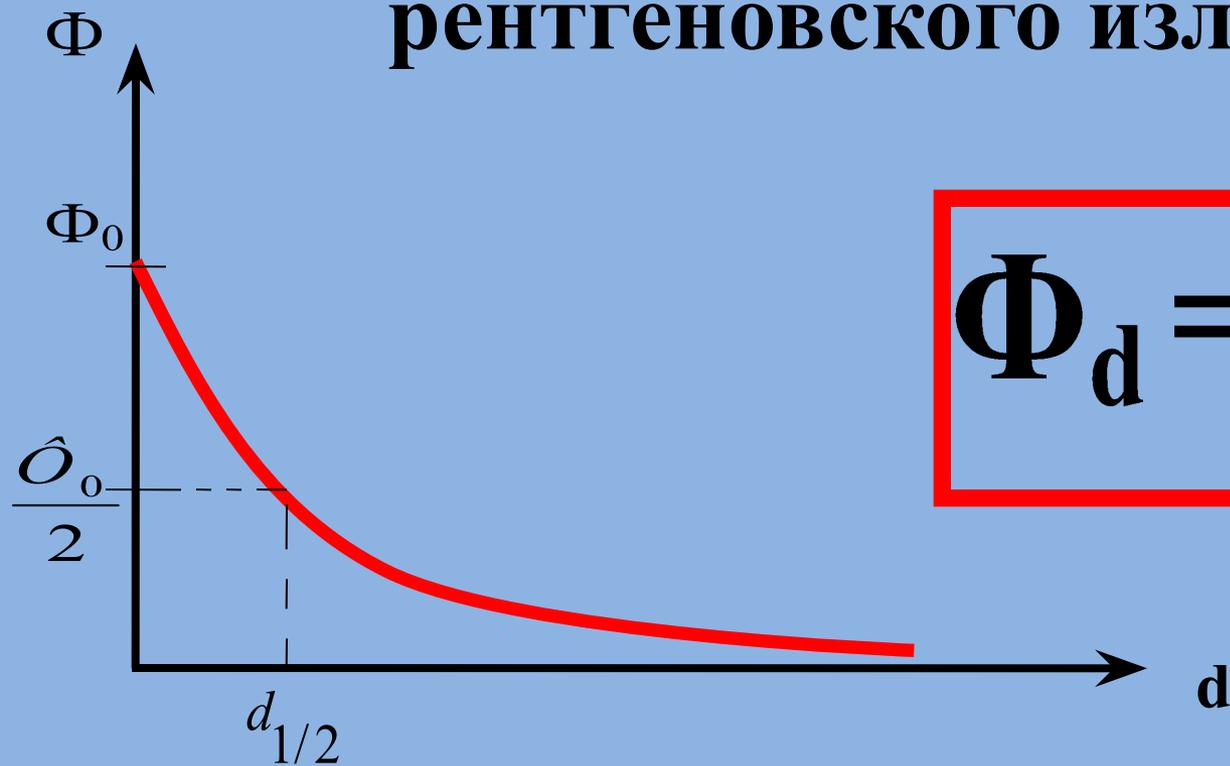
$d$  – толщина слоя вещества

$\mu$  - коэффициент ослабления

$e$  – основание натурального логарифма

$$\Phi_d = \Phi_0 e^{-\mu d}$$

# Закон ослабления потока рентгеновского излучения



$$\Phi_d = \Phi_0 e^{-\mu d}$$

$d_{1/2}$  - Толщина слоя половинного ослабления

# **Физические основы рентгенодиагностики и рентгенографии**

**Рентгенодиагностика** – получение теневого изображения внутренних органов при помощи рентгеновского излучения.

Рентгенодиагностика использует два основных метода:

- ❖ **рентгеноскопию** (просвечивание)
- ❖ **рентгенографию** (снимок).

**В основе рентгенодиагностики  
и терапии лежит формула**

$$\mu = k \rho \lambda^3 Z^4$$

$\mu$  - линейный коэффициент ослабления.

$k$  — коэффициент пропорциональности

$\lambda$ - длина волны

$Z$  – порядковый номер элемента вещества,  
через которое проходит рентгеновское  
излучение

**Линейный коэффициент ослабления.**

$$\mu = \kappa \rho \lambda^3 Z^4$$

**Массовый коэффициент ослабления.**

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} = \kappa \lambda^3 Z^4$$

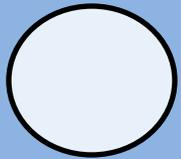
Если на пути пучка рентгеновского излучения поместить неоднородное тело и перед ним — флуоресцирующий экран, то вследствие неравномерного поглощения излучения на экране образуется тень, по форме и интенсивности которой можно приблизительно судить о внутреннем строении тела. Таков принцип исследования строения тел путем *просвечивания* их с помощью рентгеновского излучения.

Тело человека состоит из тканей и органов, различно поглощающих рентгеновское излучение. Поэтому при просвечивании его на экране получается неоднородное теневое изображение, которое дает картину формы и расположения тканей и внутренних органов.

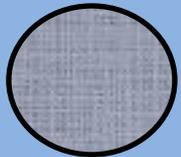
**Все ткани организма можно разделить на две группы:**

◆ **мягкие**

◆ **твёрдые**



**Мягкие ткани ( $O_2$ , C,  $H_2$ ) Z=1-8**

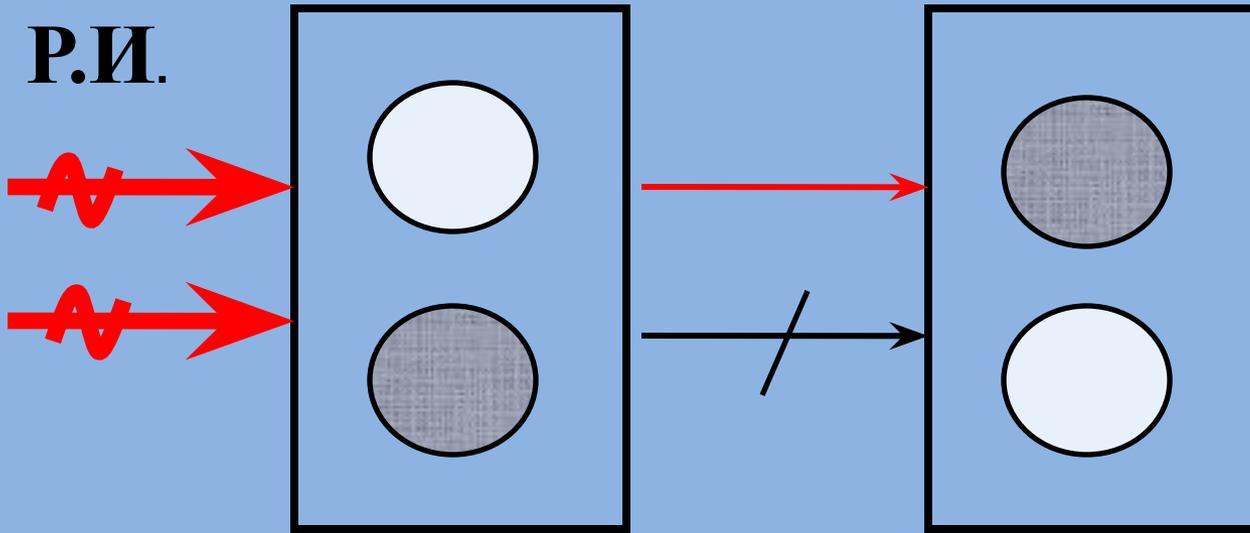


**Твердые ткани (Ca, P, Mg) Z=8-20**

**Объект**

**Фотоизображение**

**Р.И.**



**Мягкие ткани ( $Z=1-8$ )  $\mu=\kappa\lambda^3Z^4$  -низкий**

**Твердые ткани ( $Z=8-20$ )  $\mu=\kappa\lambda^3Z^4$  -высокий**



**Рентгенограмма  
в начале  
изменений.**

Демонстрация  
типичной эрозии  
большого и среднего  
пальцев, а также  
локтевого  
шиловидного  
отростка

# Рентгеновская компьютерная томография



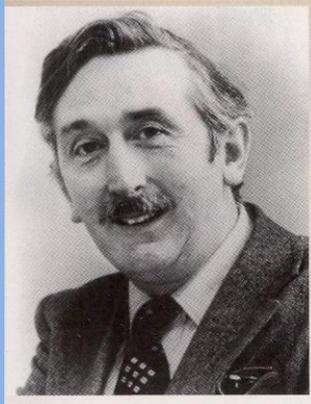
# План

- ❖ **Исторические аспекты**
- ❖ **Устройство**
- ❖ **Принципы построения изображения**

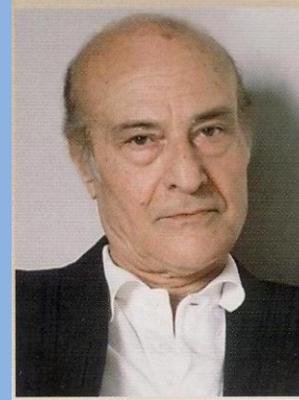
**Рентгеновская томография-** это послойное теневое изображение внутренних органов с помощью рентгеновского излучения.

**Рентгеновская компьютерная томография (РКТ)-** это послойное теневое изображение внутренних органов с помощью рентгеновского излучения, обработанного компьютером.

# Создатели компьютерной томографии



Годфри Хаунсфилд



Аллен Кормак

**1979г – Хаунсфилд (Англия), Кормак (США) – получили Нобелевскую премию за разработку и внедрение РКТ.**

# История создания

- ▶ Основоположником томографии является французский исследователь Вокадж, который в 1921г получил патент на чертежи для послойного исследования.
- ▶ Через 10 лет были сконструированы первые аппараты для послойного исследования, (итальянский рентгенолог – Вальбона) и получены снимки в клинических условиях.
- ▶ В СССР первый томограф разработал Феактистов в 1953г.
- ▶ Изображение, получаемое на рентгеновском томографе с обработкой получаемой информацией на ЭВМ произвело переворот в области получения изображения в медицине. Впервые сообщил о новом методе инженер Хаунсфилд (1972 – 1973г). Этот метод применяли только для исследования головного мозга.

# Поколения РКТ

- ❖ **I поколение-** однодетекторные.  
Время исследования-  $t = 4-20$ мин,  $D = 14 - 16$  рад.
- ❖ **II поколение** – число детекторов увеличено до 8.  
Время исследования  $t = 20 - 60$ с
- ❖ **III поколение-** 256-512 ксеноновых детекторов  
Время исследования-  $t = (3 - 5)$ с
- ❖ **IV поколение-** 1400 до 1800 детекторов  
Время исследования-  $t = (1 - 1.5)$ с внутри 8  
холодильников.
- ❖ **V поколение-** Работают в реальном масштабе  
времени. Время исследования  $t = 50$  мс.

# Наиболее важные области применения РКТ-диагностика заболеваний :

- неврологических,
- сердечных,
- Онкологических,

Системы КТ постоянно совершенствовались, и сегодня они, по общему признанию, являются одними из наиболее передовых средств медицинской визуализации.

# Устройство РКТ

- ❖ сканирующая система «Гентри»
- ❖ пульт управления
- ❖ ЭВМ

# Сканирующая система:

- ❖ рентгеновская система
- ❖ детекторная система

# Рентгеновская система:

- ❖ Рентгеновская трубка мощностью **30-50 кВт** работает в импульсном режиме с частотой импульсов **50 Гц** при напряжении **100-130 кВ**, силе тока **150-200 мА**.
- ❖ Генератор высоковольтный - источник питания- работает в импульсном режиме, обеспечивает рентгеновскую трубку напряжением до **100-130 кВ** .

# **Пульт управления содержит:**

- ❖ **два видеомонитора(текстовый и для получения изображения срезов)**
- ❖ **клавиатура**

## **Функция ЭВМ заключается в:**

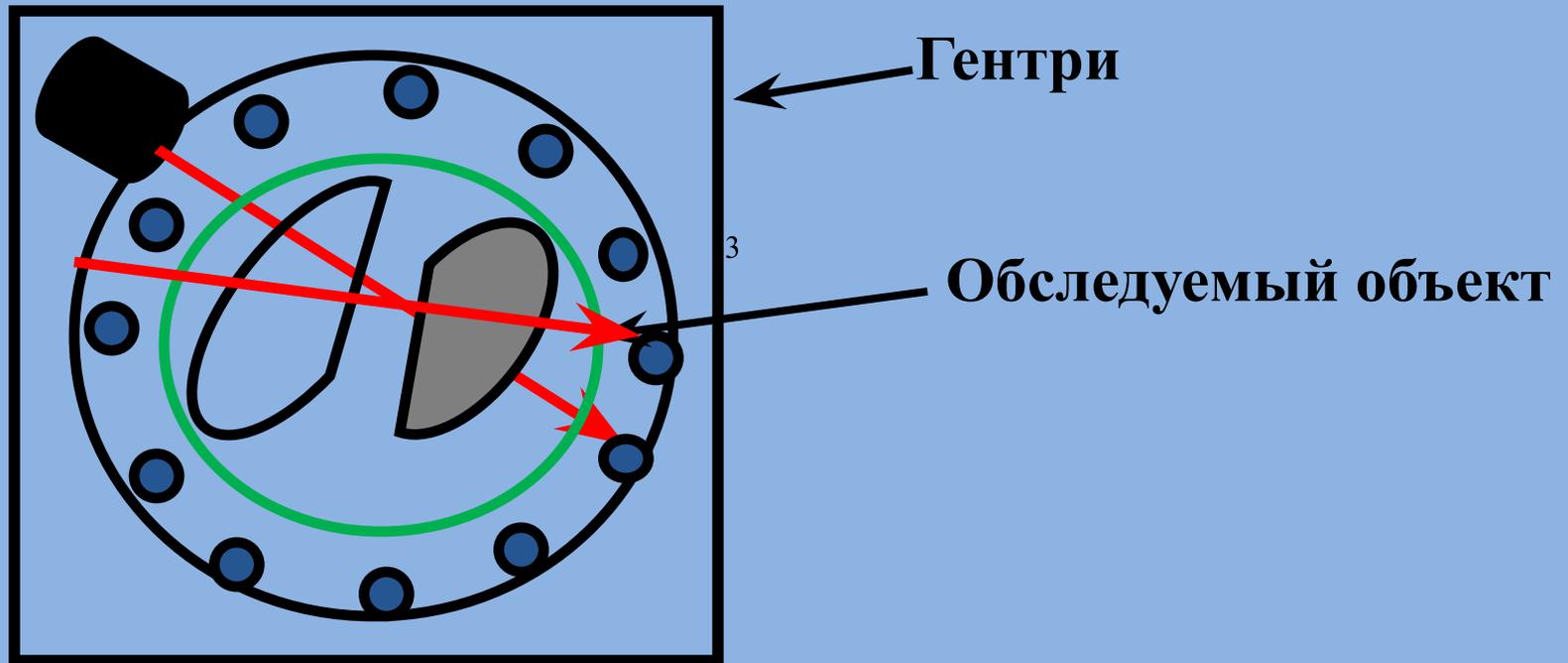
- ❖ **обработке предварительной информации, поступившей из детекторов,**
- ❖ **реконструкции и получении изображения органа,**
- ❖ **оценке выявленных данных по стандартным программам,**
- ❖ **автоматическом управлении процессом сканирования пациента (хранение и выдача томографических данных).**

# Томограмма может быть получена тремя способами:

- ❖ **Объект неподвижен** – согласовано движутся в противоположных направлениях рентгеновская трубка и датчик
- ❖ **Неподвижна трубка** – перемещается объект и датчик
- ❖ **Неподвижен датчик** – движется объект и трубка

Детектор –преобразует рентгеновский луч в импульс тока. Сигнал с детектора поступает в компьютер. Затем источник сдвигается по кругу на  $3^{\circ}$  и снова производит съёмку объекта. Источник за 1 секунду обходит весь круг, совершая 120 съёмок органа. Стол с пациентом сдвигается на один шаг. Далее цикл повторяется.

**Р. тр**



● Детектор –преобразует рентгеновский луч в импульс тока

# Реконструкция изображения

В основе реконструкции изображения лежит теория матриц. Простейшая матрица состоит из четырех ячеек.

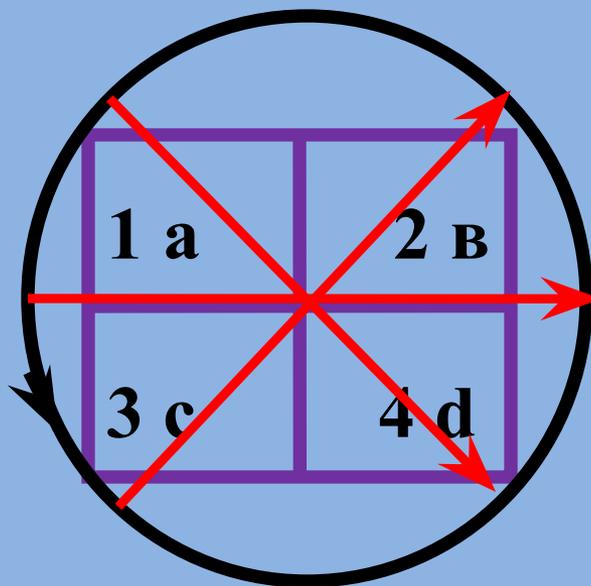
$$1+4=a+d$$

$$1+2=a+v$$

$$3+2=c+v$$

⋮

⋮



Компьютер решает систему уравнений и находит плотность в каждой ячейке.

**матрица 2048\*2048 элементов**

цифра- номер ячейки

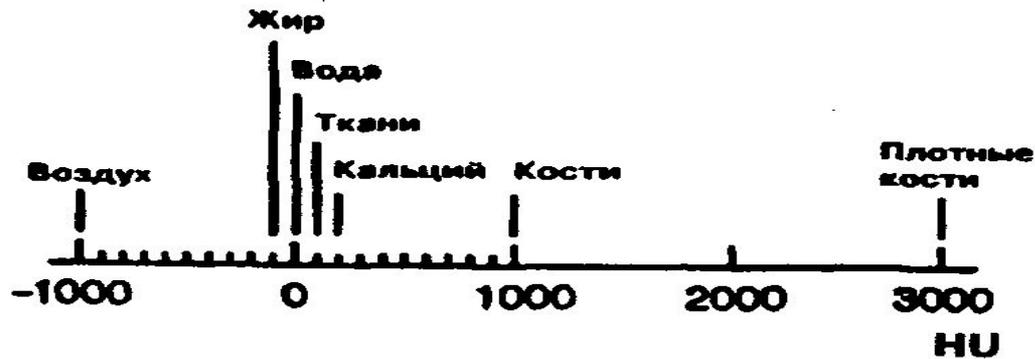
буква- плотность вещества в ячейке

В томографе строится матрица  $2048 \times 2048$  элементов. Всего получается 4194304 элементов, каждый из которых имеет свой коэффициент ослабления. Столько же получается уравнений, которые решаются компьютером, т. е. определяется величина плотности в каждой ячейке. На экране получается цифровая картина, отражающая распределение плотностей тканей по ячейкам. Разным числовым значениям коэффициентов ослабления приписывают разные яркости точек изображения на мониторе. Затем цифровая картина переводится в теневую картину. Плотность ткани определяется по шкале Хаундсфилда.

# Шкала Хаунсфилда

- ❖ **Единица измерения – единица Хаунсфилда (HU)**
- ❖ **Каждая ткань имеет свою плотность от -1000 HU до 3000 HU**

# Шкала Хаунсфилда

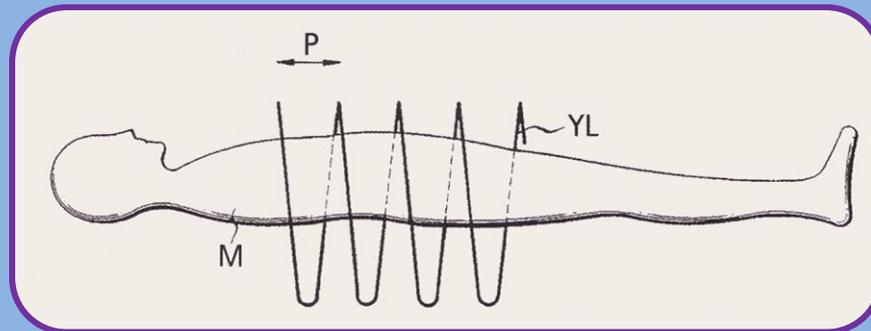


- ❖ Воздух -1000
- ❖ Вода 0
- ❖ Кровь 20-60
- ❖ Жир 100
- ❖ Кости 1000
- ❖ Плотных кости 3000



**Спиральное сканирование** заключается в одновременном выполнении двух действий:

- ❖ непрерывного вращения рентгеновского луча вокруг тела пациента,
  - ❖ непрерывного поступательного движения стола с пациентом вдоль оси сканирования.
- За один оборот источника- 64 среза.  
Толщина среза-0,6 мм.  
Длительность спирали- 100с.  
Сканируется всё тело за одно обследование.



# Возможности спиральной КТ ангиографии

Проведение с помощью спирального КТ ангиографии с внутривенным введением контрастного вещества и возможность получения трехмерного изображения сосудов открывают широкие возможности изучения патологии сосудистой системы:

- ❖ аневризмы аорты,
- ❖ стеноз почечных артерий,
- ❖ сосудистые анастомозы,
- ❖ наличие внутрисосудистых бляшек

## **Качество изображений растёт при увеличении:**

- ❖ числа детекторов,
- ❖ количества регистрируемых проекций.

## **Совершенствование сканирующих систем –**

- ❖ уменьшение времени исследования
- ❖ увеличение информационных параметров.