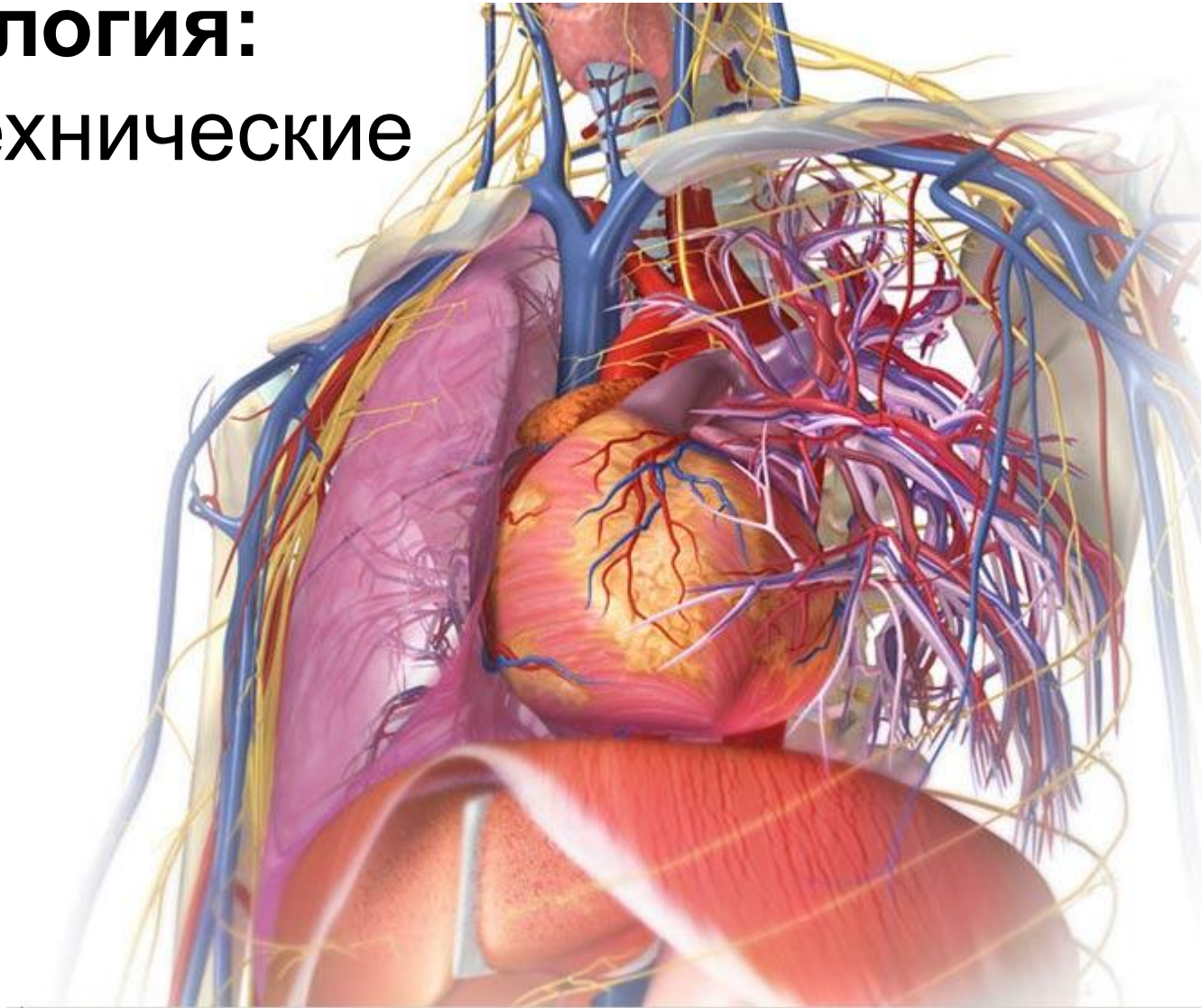
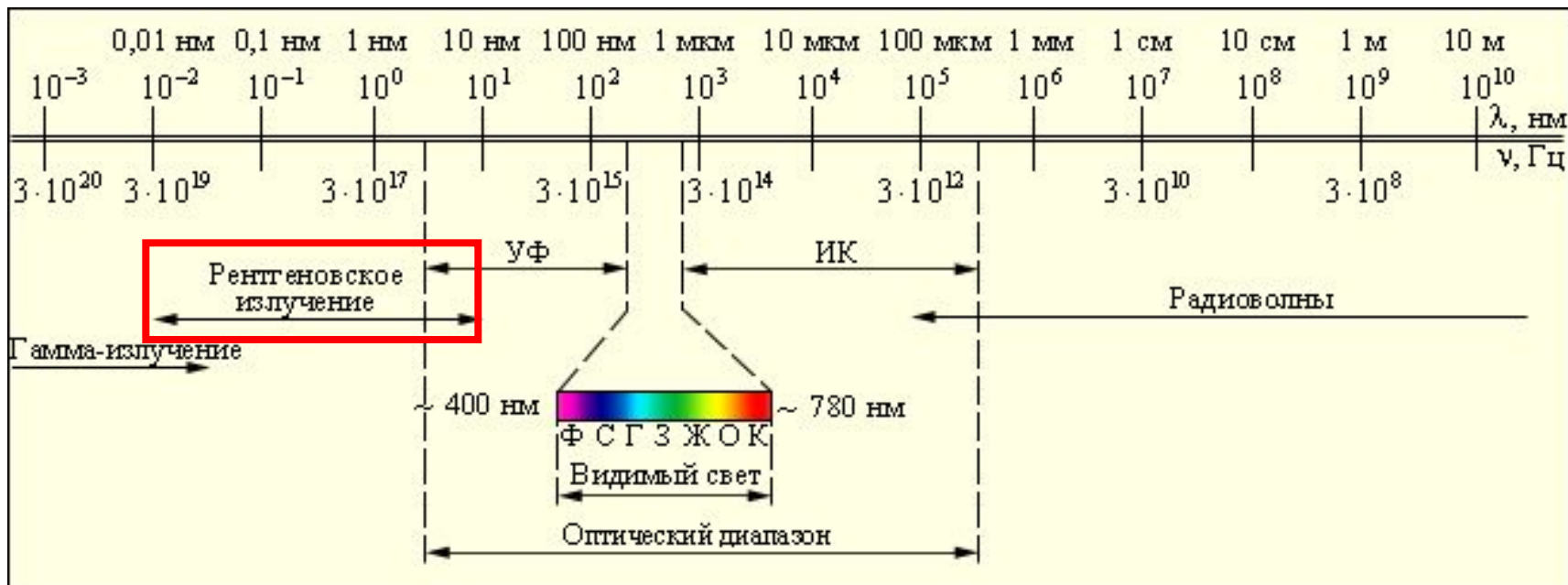


# Рентгенология: Физико-технические процессы



# Физика рентгеновских процессов:

## Основные физические характеристики рентгеновских лучей



# **Физика рентгеновских процессов:** Основные физические характеристики рентгеновских лучей

Рентгеновские лучи —  
это разновидность электромагнитных волн  
в диапазоне волны от  $15\text{Å}$  до  $0.03\text{Å}$

Чем меньше длина волны излучения,  
тем больше величина энергии квантов

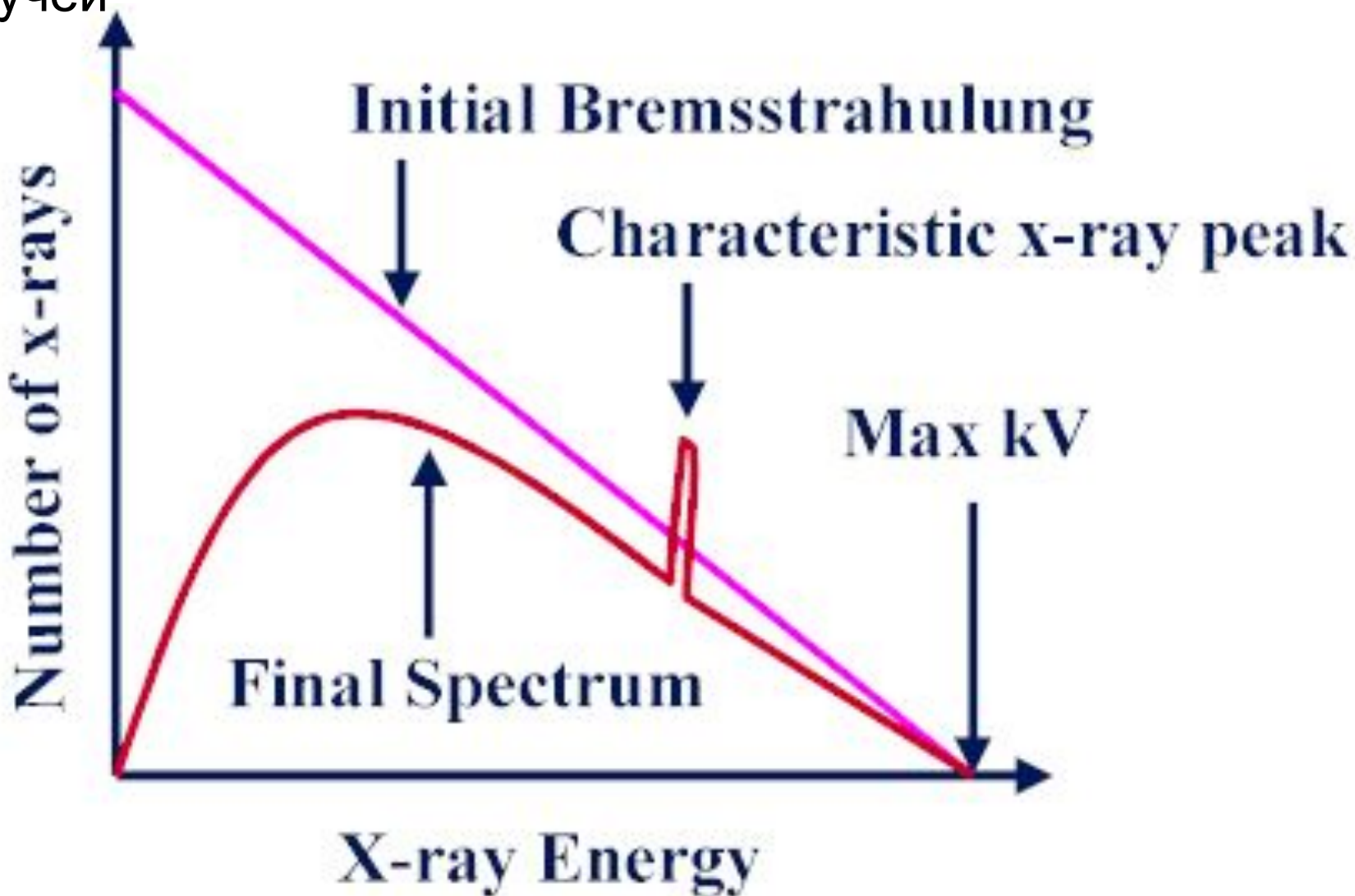
# Физика рентгеновских процессов:

## Основные физические характеристики рентгеновских лучей

Фотоны рентгеновского излучения имеют энергию от 100 эВ до 250 кэВ, что соответствует излучению с частотой от  $3 \cdot 10^{16}$  до  $6 \cdot 10^{19}$  Гц и длиной волны 0,005—10 нм (общепризнанного определения нижней границы диапазона рентгеновских лучей в шкале длин волн не существует). Мягкое рентгеновское излучение характеризуется наименьшей энергией фотона и частотой излучения (и наибольшей длиной волны), а жёсткое рентгеновское излучение обладает наибольшей энергией фотона и частотой излучения (и наименьшей длиной волны). Жёсткое рентгеновское излучение используется преимущественно в промышленных целях

# Физика рентгеновских процессов:

Основные физические характеристики рентгеновских лучей



# Физика рентгеновских процессов:

## Свойства рентгеновского излучения

### 1) Проникающая способность

проникают через среды различной плотности — картон, дерево, ткани организма животного и т. д. Проникающая способность рентгеновых лучей тем больше, чем короче длина волны и, следовательно, больше энергия квантов. Глубина проникновения рентгеновых лучей в ту или иную среду, или степень ослабления интенсивности рентгеновского излучения при прохождении через слой того или другого материала, зависит не только от коротковолновости или энергии квантов, но и от свойств материала: чем плотнее среда, тем больше в ней поглощаются рентгеновы лучи. Например, слой воды толщиной 35 см ослабляет интенсивность потока рентгеновых лучей, генерированных при напряжении 200 кВ, в такой же степени, как слой железа 4,75 см или бетона толщиной 17,23 см;

# Физика рентгеновских процессов:

## Свойства рентгеновского излучения

$$E = h * \eta$$

E - энергия, h - постоянная Планка,  $\eta$  - частота излучения

$$P = U * I$$

P – мощность электрического тока, используемого для получения тормозного излучения, U – напряжение, I – сила тока

# Физика рентгеновских процессов:

## Свойства рентгеновского излучения

$$E_k = eU = mV^2/2,$$

где  $e$ ,  $m$ ,  $V$  - заряд, масса и скорость электрона,  $U$  - напряжение на электродах рентгеновской трубки. В результате взаимодействия быстрых электронов с материалами анода образуются рентгеновские лучи.



# **Физика рентгеновских процессов:**

## **Свойства рентгеновского излучения**

### **2) Эффект люминесценции - вызывают свечение**

— люминесценцию некоторых химических соединений. Одни вещества светятся в момент действия рентгеновых лучей, такое свечение называется флуоресценцией. Другие вещества продолжают светиться некоторое время после того, как рентгеновы лучи прекратили действие, это свечение называется фосфоресценцией;

# Физика рентгеновских процессов:

## Свойства рентгеновского излучения

### 3) Фотохимический эффект - вызывают фотохимические реакции

подобно видимому свету, вызывают изменения в галоидных соединениях серебра, входящих в состав фотоэмульсий.

# Физика рентгеновских процессов:

## Свойства рентгеновского излучения

### **4) вызывают ионизацию нейтральных атомов и молекул.**

В результате ионизации образуются положительно и отрицательно заряженные частицы — ионы. Ионизированная среда становится проводником электрического тока. Это свойство используют для измерения интенсивности лучей с помощью так называемой ионизационной камеры.

В основе биологического действия рентгеновых лучей лежит явление ионизации

# Физика рентгеновских процессов:

## Свойства рентгеновского излучения

$$\Delta I = I_0 - I_d,$$

где  $I_0$  - интенсивность падающего на вещество рентгеновского пучка,  $I_d$  - интенсивность пучка после прохождения через слой  $d$ , то закон ослабления рентгеновских лучей описывается уравнением:

$$I_d = I_0 \exp(-\mu d)$$

( $\mu$  - линейный коэффициент ослабления интенсивности).

Коэффициент  $\mu$  зависит от энергии излучения (длины волны) и вида материала. Для данного вещества  $\mu$  тем больше, чем больше длина волны падающих рентгеновских лучей.

Если энергия кванта велика, т.е. длина волны мала, то излучение называют **жестким**. Излучение с относительно малыми энергиями квантов, т.е. большими длинами волн называют **мягким** излучением.

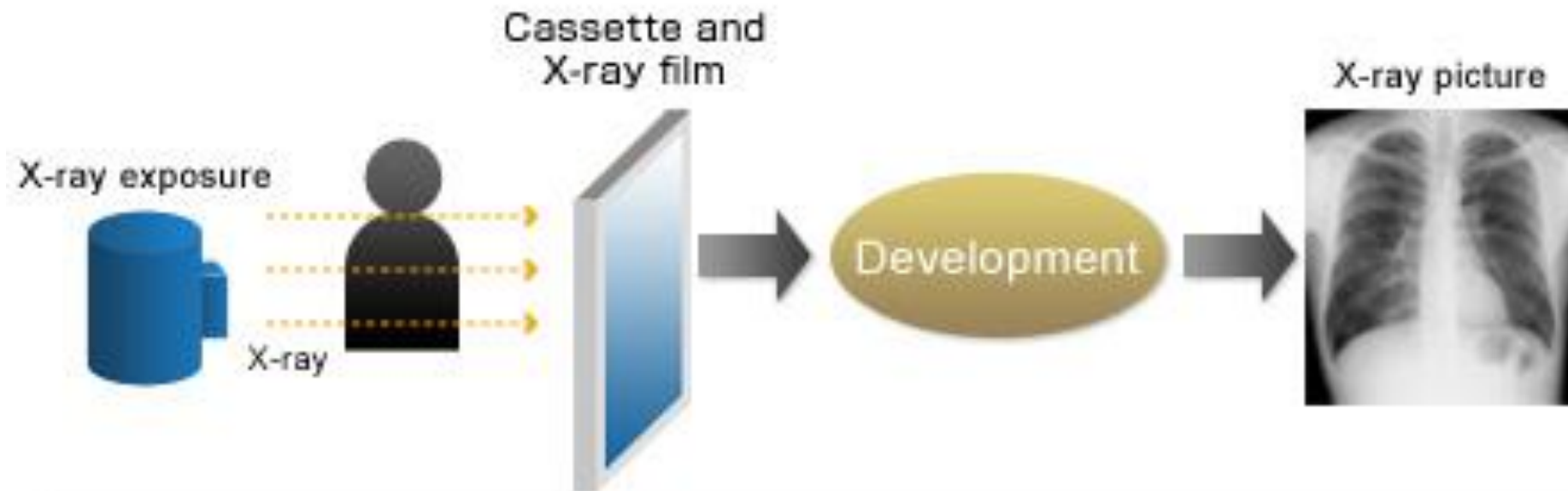
Рентгеновские лучи с длиной волны 0,1 А могут проникать через слой стали толщиной 70 мм, тогда как лучи с длиной волны 1 А полностью поглощаются пластинкой толщиной несколько миллиметров. Наиболее хорошо поглощают рентгеновские лучи свинец, барий, поэтому их чаще всего используют при сооружении защитных устройств.

# Физика рентгеновских процессов:

Свойства рентгеновского излучения

Как и другие виды электромагнитного излучения, рентгеновские лучи дают *зеркальное отражение, преломление, прямолинейное распространение в пространстве, не отклоняясь в электрических и магнитных полях, дифракция, интерференция.*

# Физика рентгеновских процессов: От излучения до изображения



X-ray absorption differences occur in bones or muscles, which cause differences in the X-rays reaching the film.

# Физика рентгеновских процессов: От излучения до изображения

**Рентгеновский излучатель = трубка**



**Пациент**



**Рентгеновский приемник =  
кассета**



**Регистратор изображения =  
Пленка / детектор**



# **Физика рентгеновских процессов:** **От излучения до изображения**

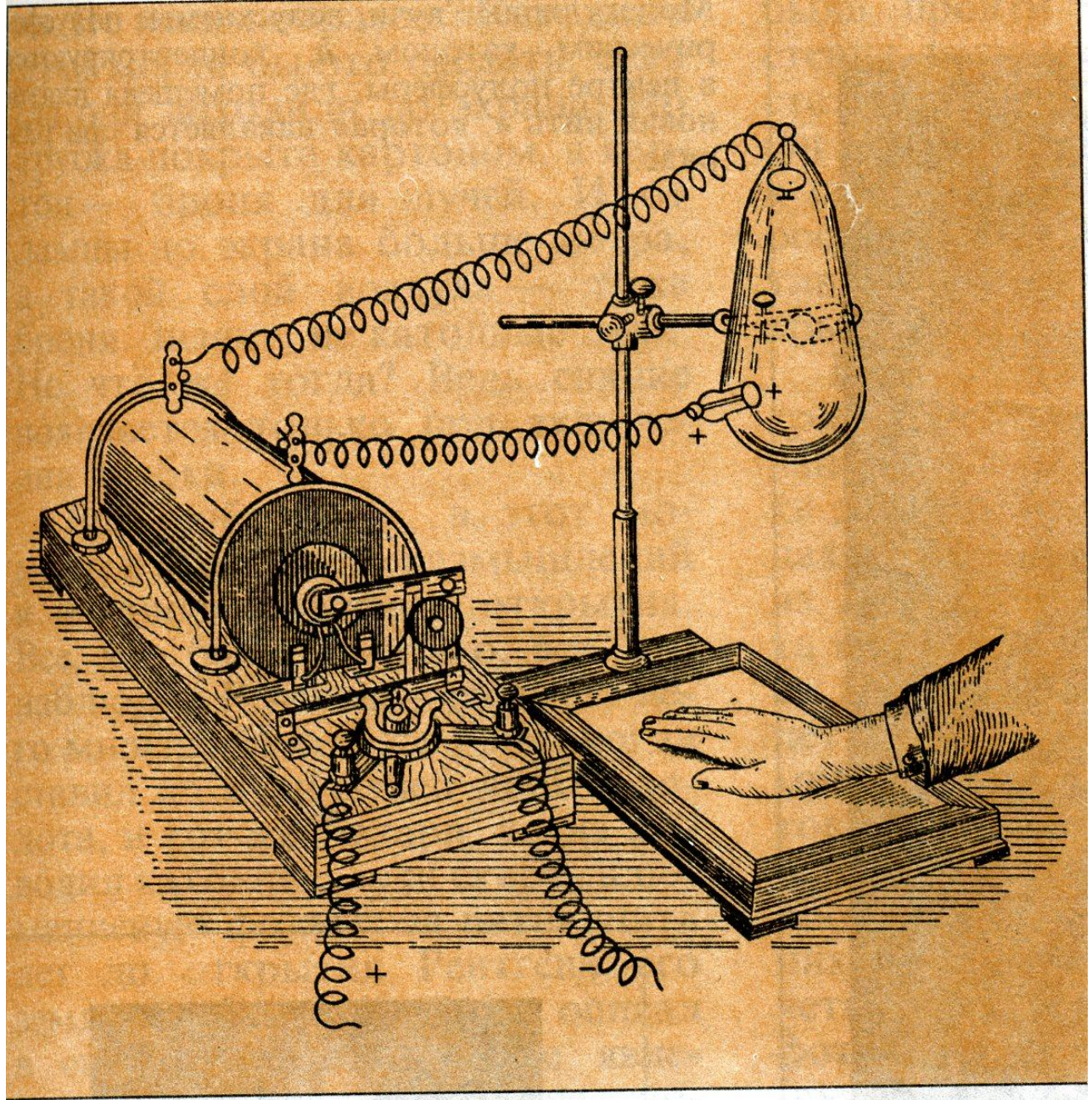
## **Рентгеновский излучатель = трубка**

**Рентгеновское излучение является тормозным, то есть образуется при торможении предварительно разогнанных электронов в среде, не позволяющей им двигаться с прежней скоростью**

**Разгон осуществляется в вакууме при помощи анодно-катодной пары с высоким напряжением.**



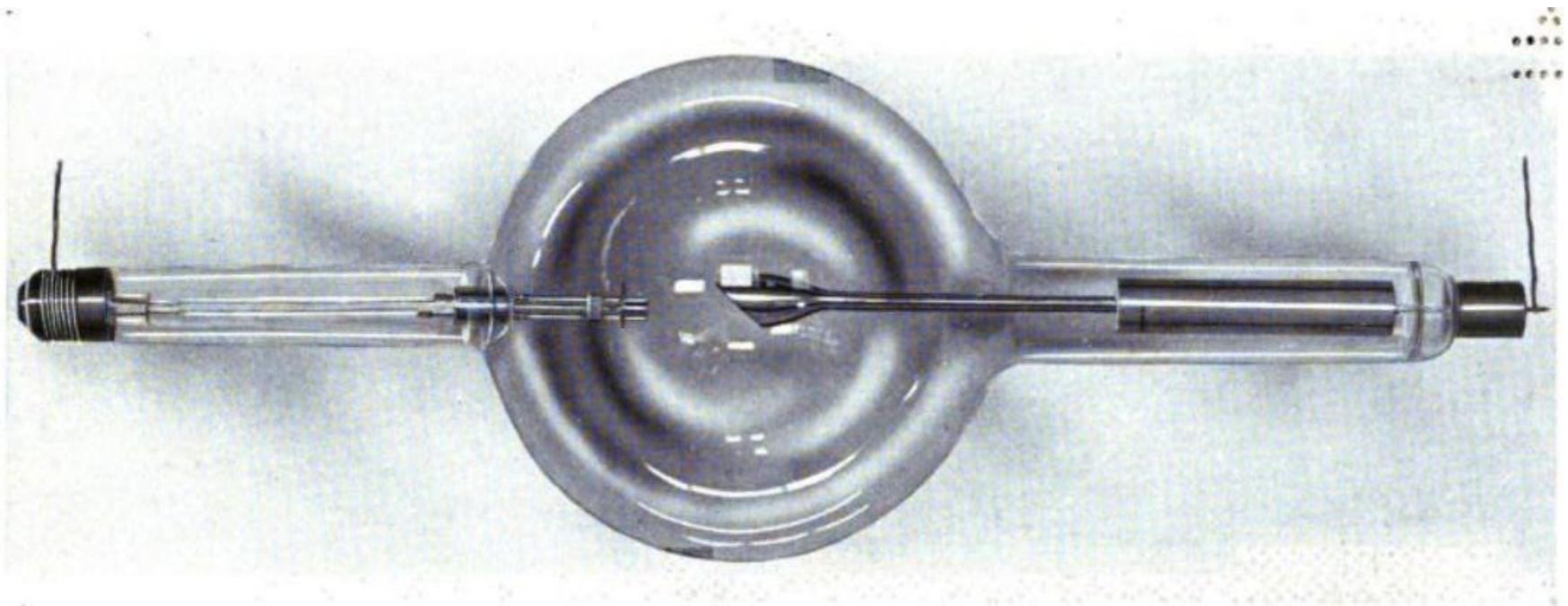




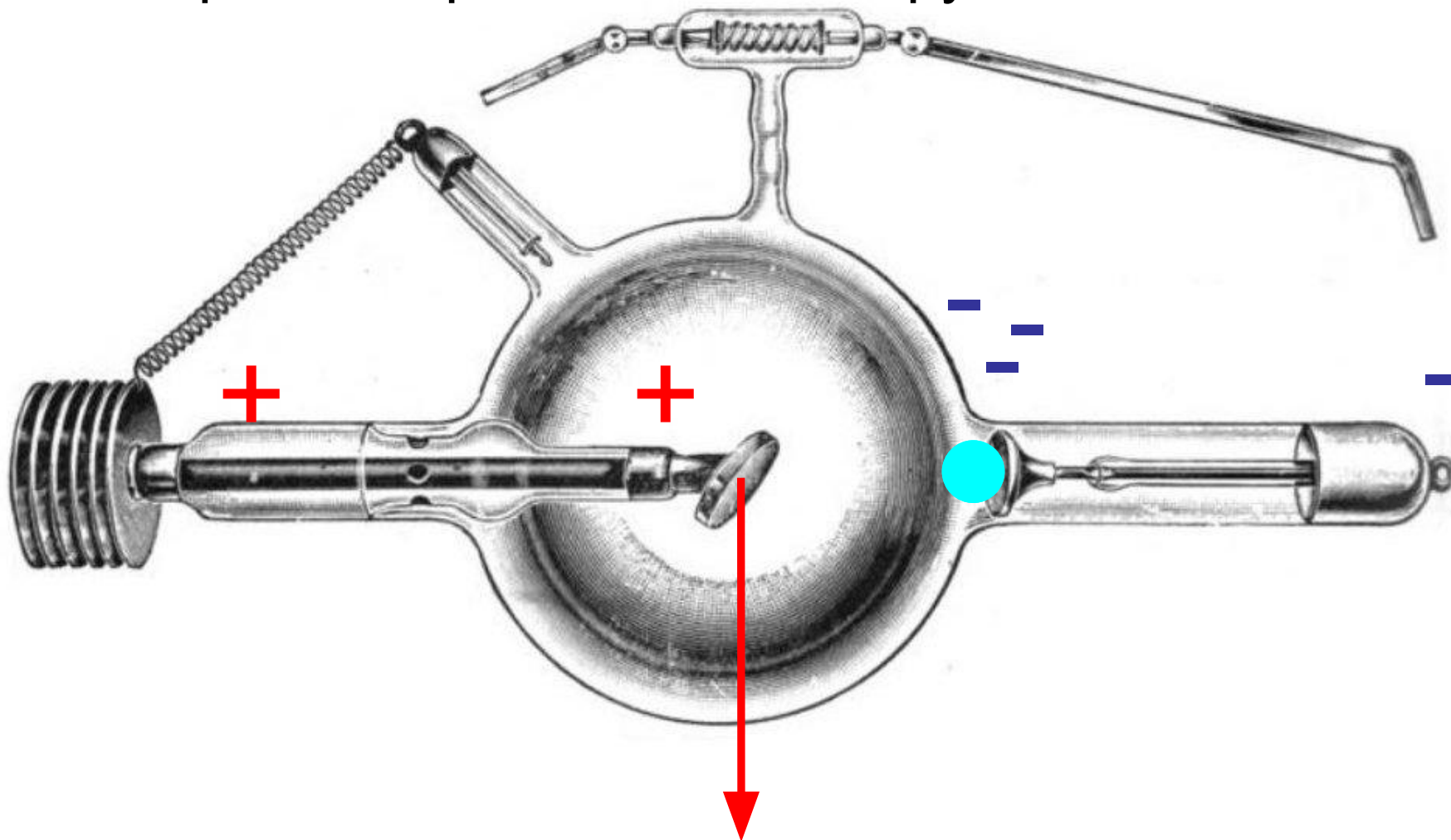
Аппаратура В. К. Рентгена, с помощью которой он в 1895 году сделал первый снимок руки в икс-лучах



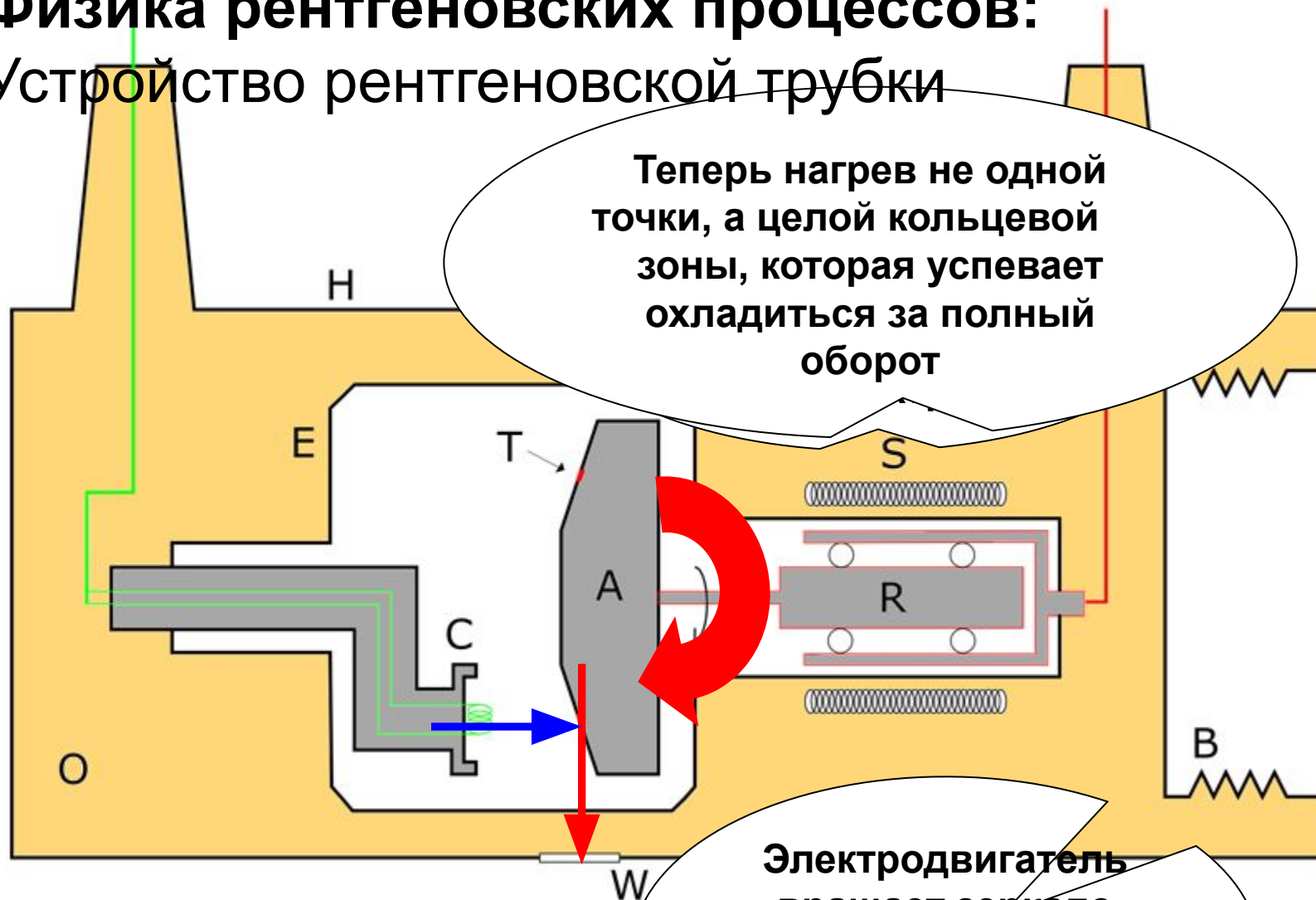
# Физика рентгеновских процессов: Устройство рентгеновской трубки



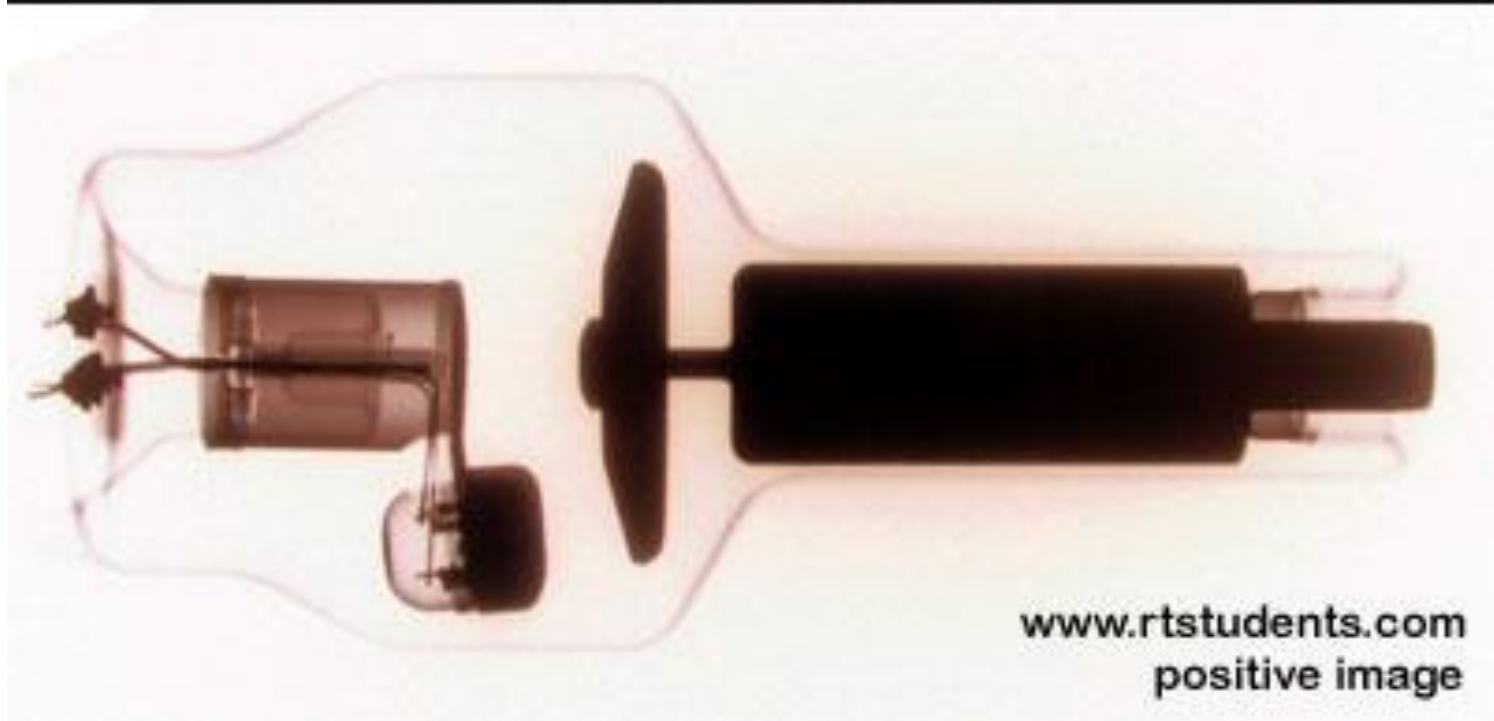
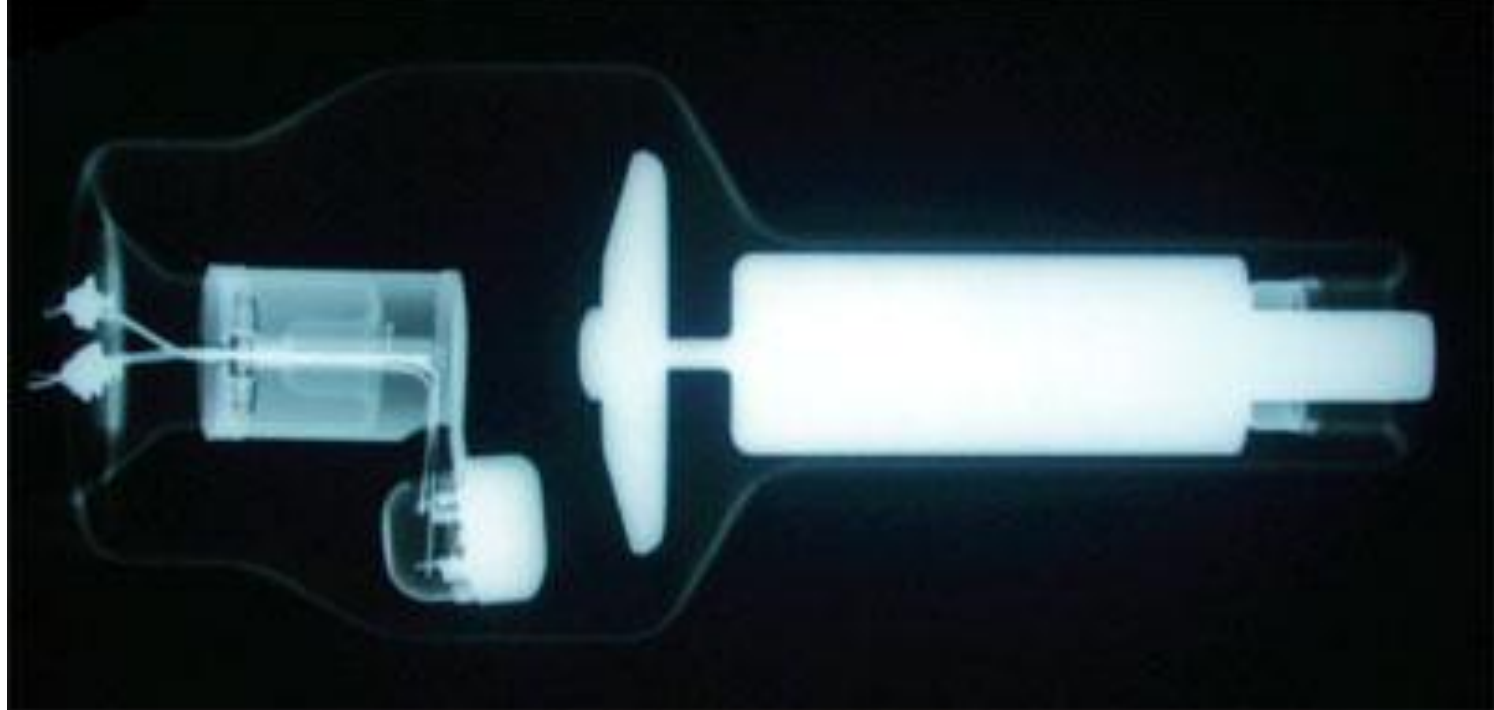
# Физика рентгеновских процессов: Устройство рентгеновской трубки



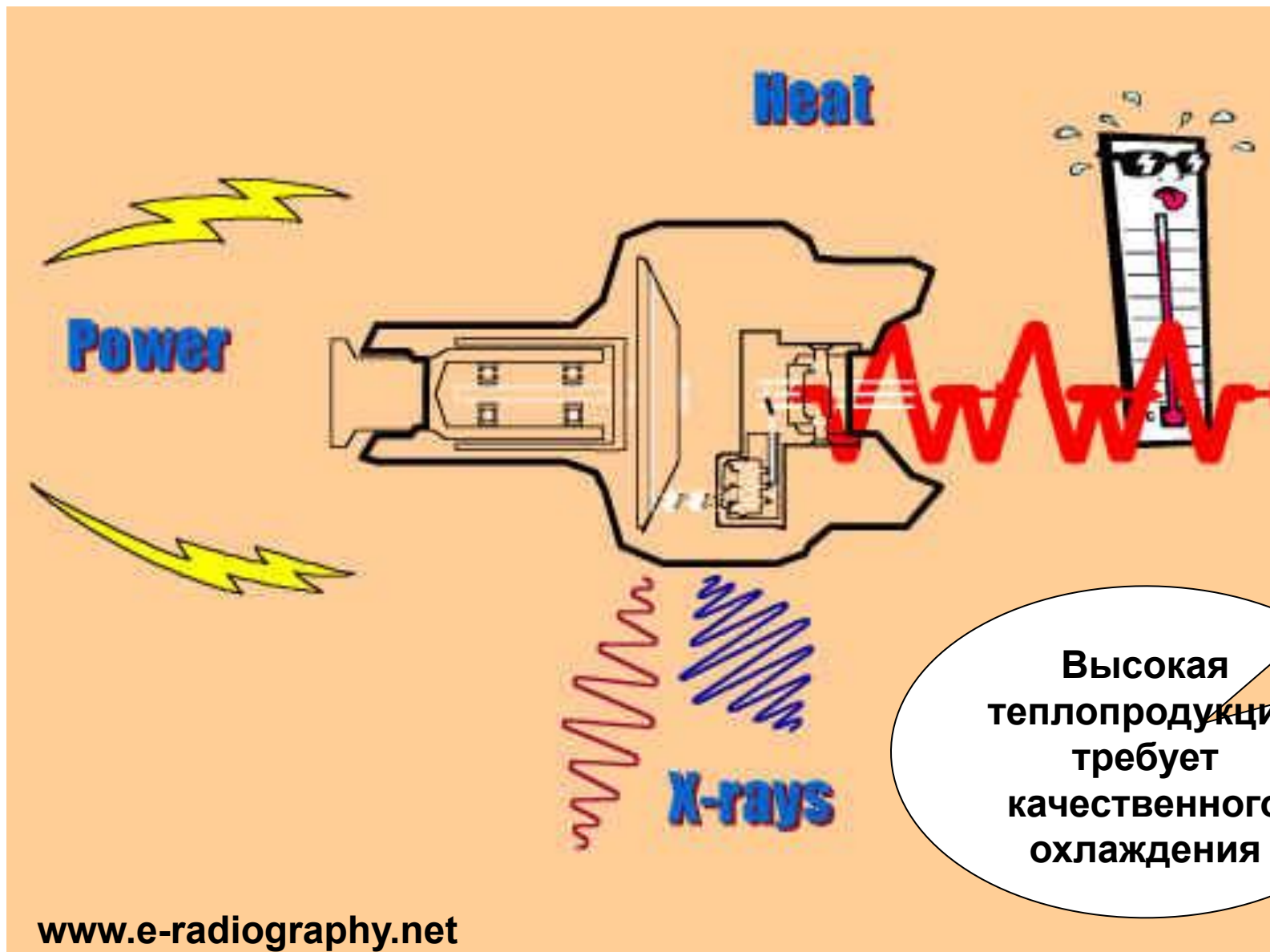
# Физика рентгеновских процессов: Устройство рентгеновской трубки



Электродвигатель  
вращает зеркало  
анода, которое  
приобрело форму  
конуса



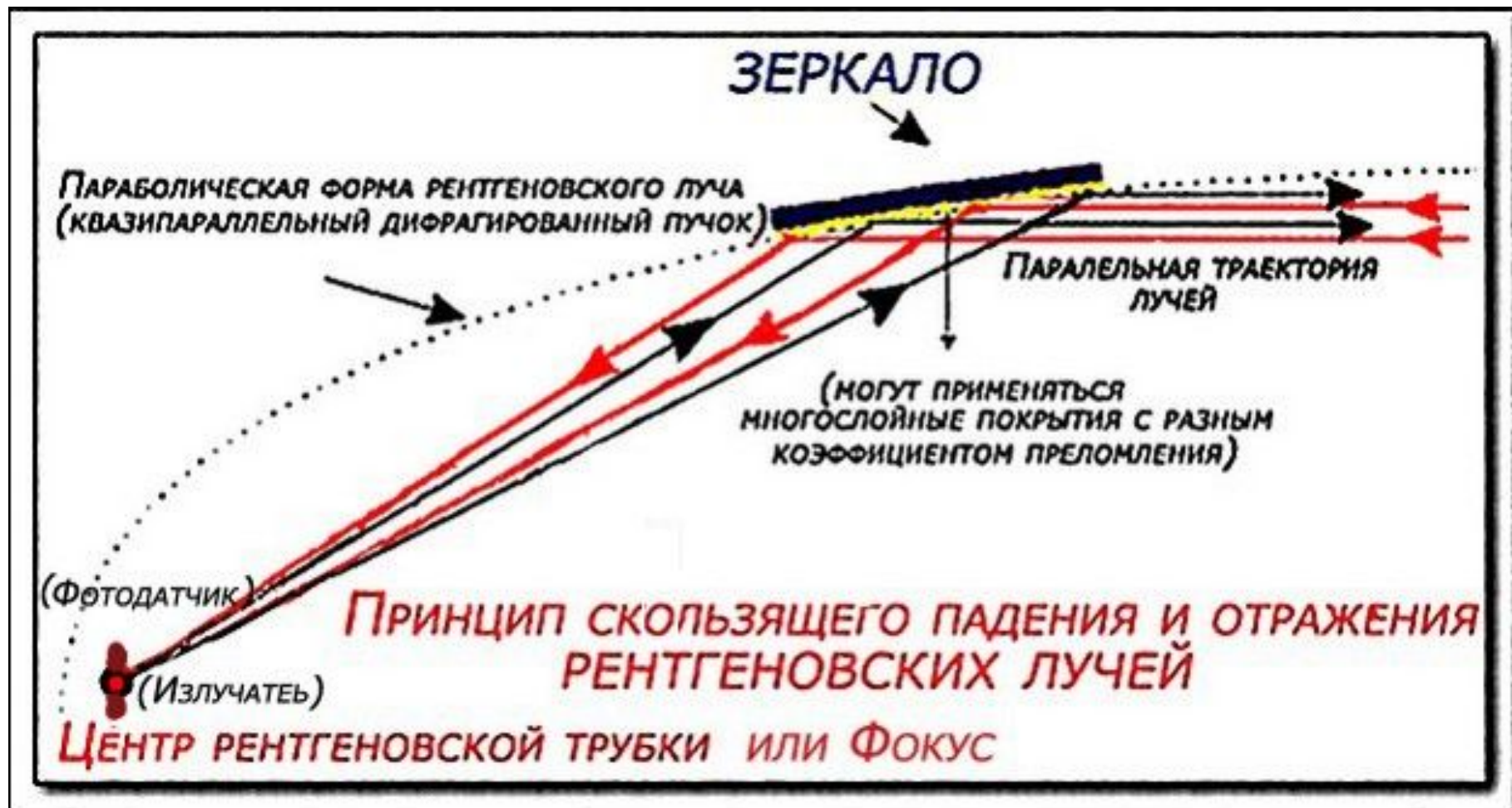
# Физика рентгеновских процессов: Устройство рентгеновской трубки





# Физика рентгеновских процессов:

## Устройство рентгеновской трубки: Фокус



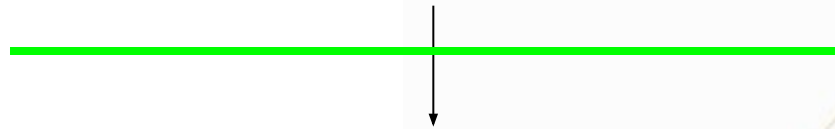
## Физика рентгеновских процессов:

Работает трубка следующим образом: перед включением высокого напряжения нить накала катода нагревается током низкого напряжения (6—14В, 2,5—8А). При этом катод начинает испускать свободные электроны (электронная эмиссия), которые образуют вокруг него электронное облако. При включении высокого напряжения электроны устремляются к положительно заряженному аноду, и при столкновении с ним происходит резкое торможение и превращение их кинетической энергии в тепловую энергию и энергию рентгеновского излучения. Величина тока через трубку зависит от количества свободных электронов, источником которых является катод. Поэтому, изменяя напряжение в цепи накала трубки, можно легко регулировать интенсивность рентгеновского излучения. Энергия же излучения зависит от разности потенциалов на электродах трубки. С увеличением высокого напряжения она возрастает. При этом уменьшается длина волны и увеличивается проникающая способность получаемого излучения.



# Физика рентгеновских процессов: От излучения до изображения

## Рентгеновский излучатель = трубка



Пациент

Фiltrация  
и  
коллимация  
пучка

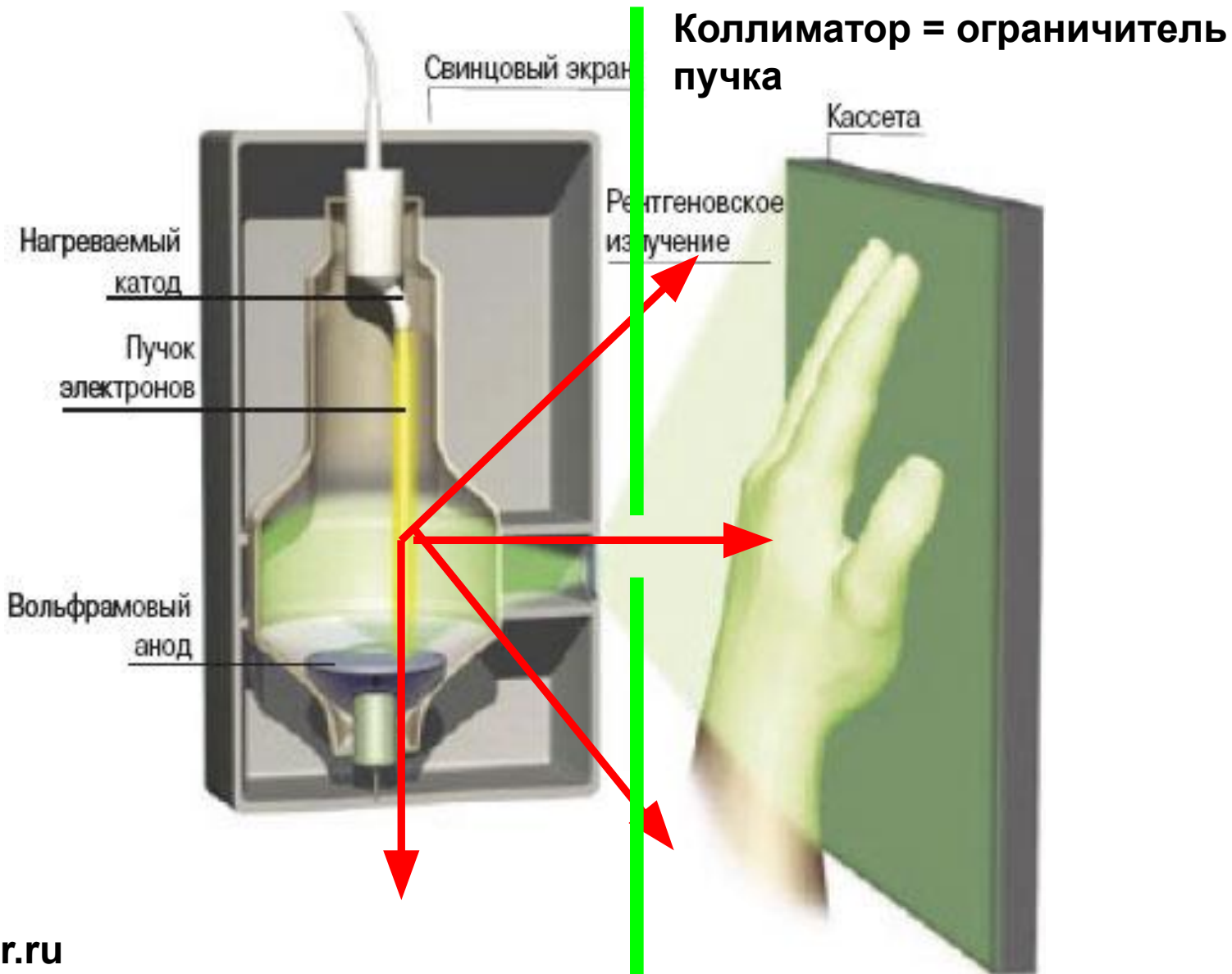


# **Физика рентгеновских процессов:** От излучения до изображения

**Коллимация пучка – придание  
разносторонне распространяющимся  
потокам излучения однонаправленного  
вектора с направлением к пациенту и  
системе регистрации данных**

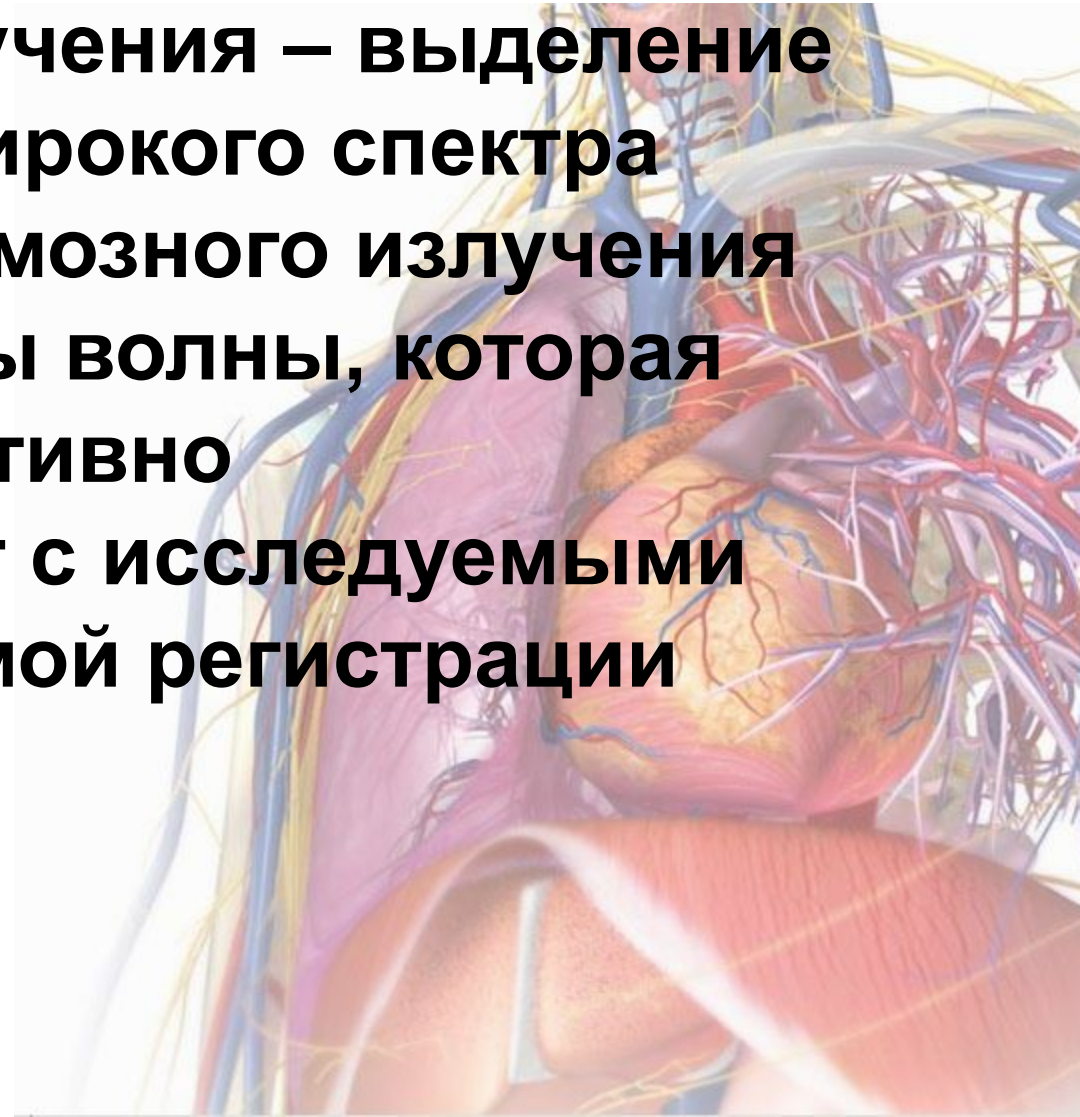


# Физика рентгеновских процессов: Фильтрация и коллимация



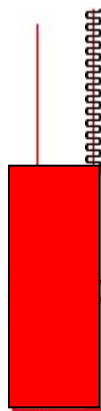
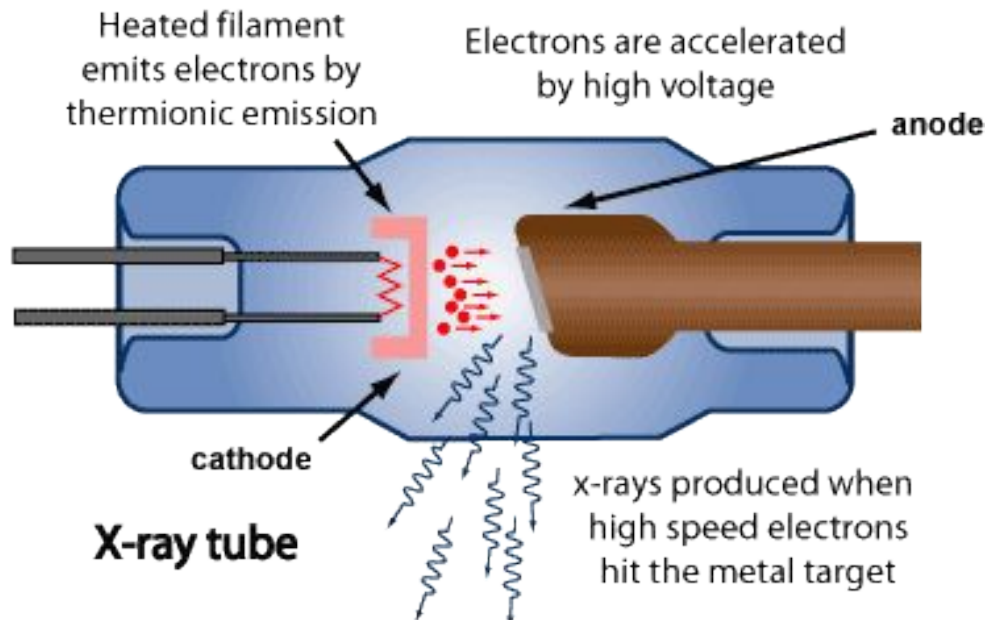
**Физика рентгеновских процессов:**  
От излучения до изображения

**Фильтрация излучения – выделение из достаточно широкого спектра получаемого тормозного излучения только той длины волны, которая наиболее эффективно взаимодействует с исследуемыми тканями и системой регистрации данных**





# Физика рентгеновских процессов: Фильтрация и коллимация



**Характеристическое излучение**

# Физика рентгеновских процессов: От излучения до изображения

## Рентгеновский излучатель = трубка

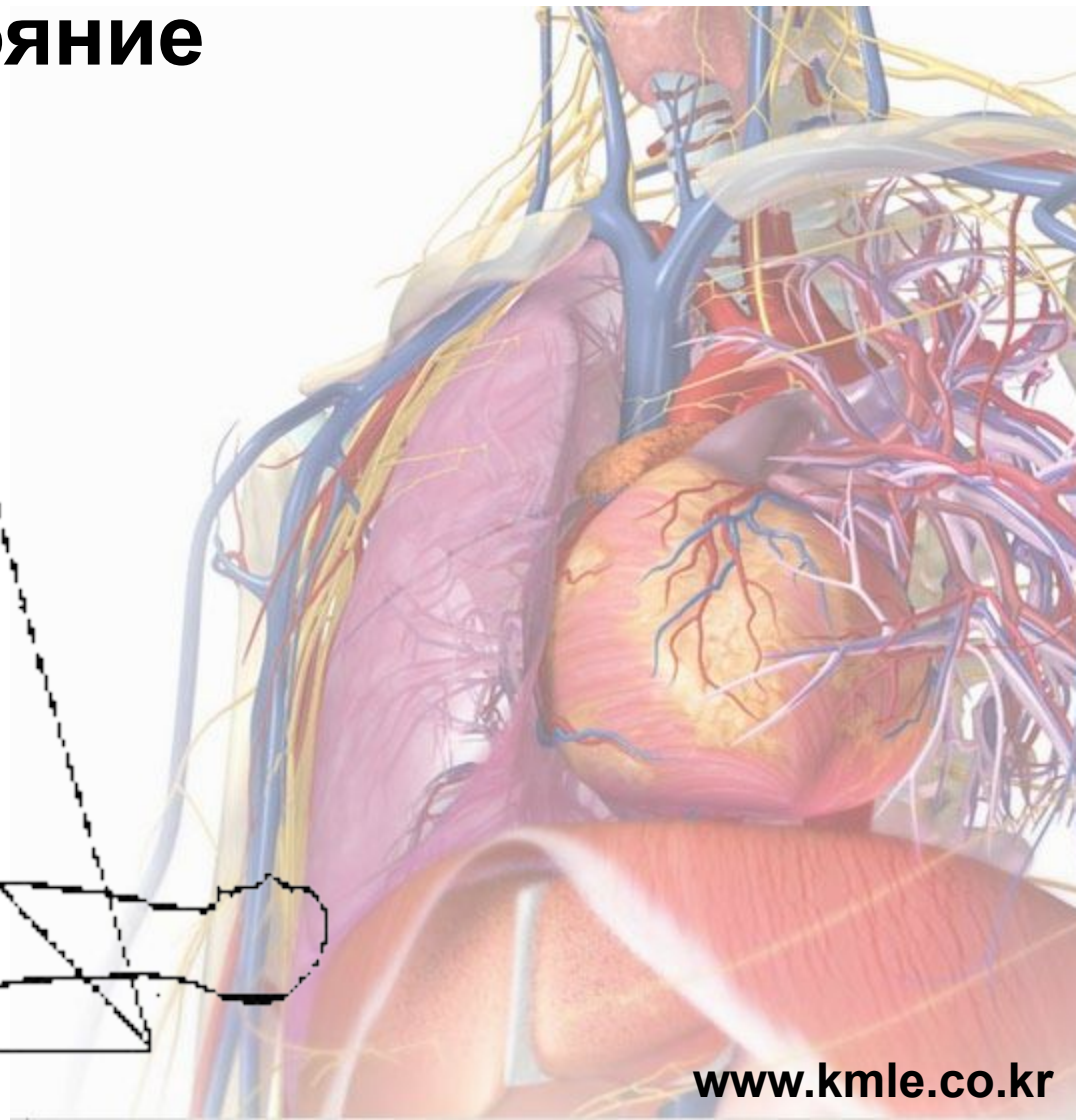
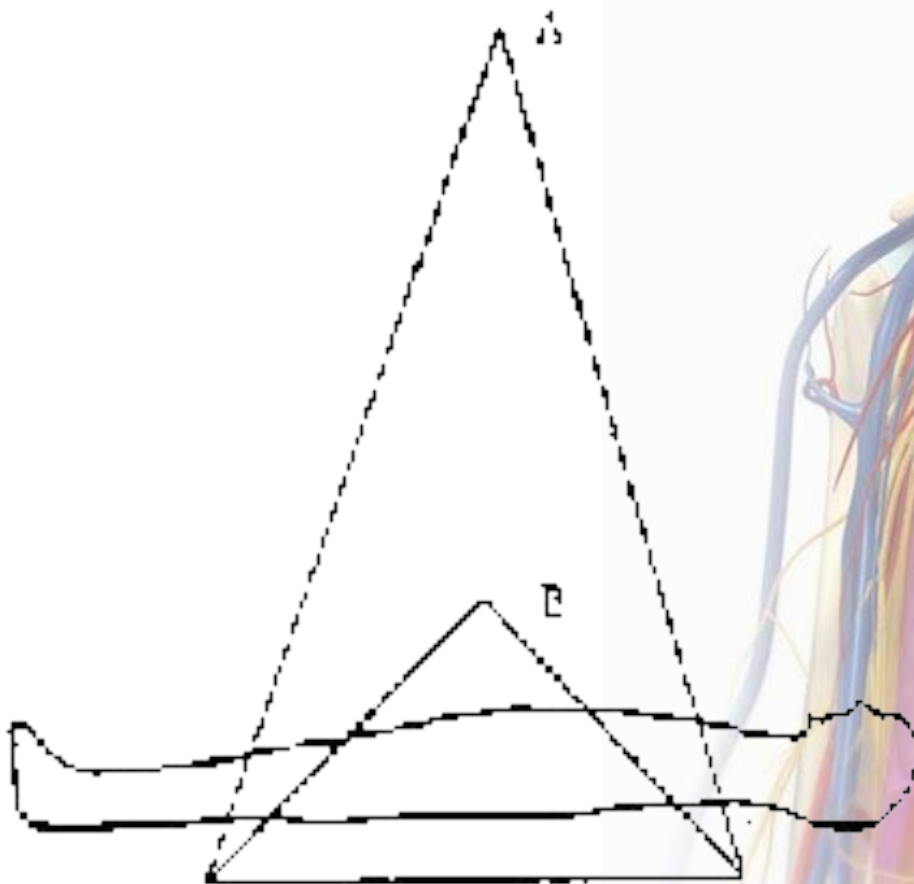


**Пациент**



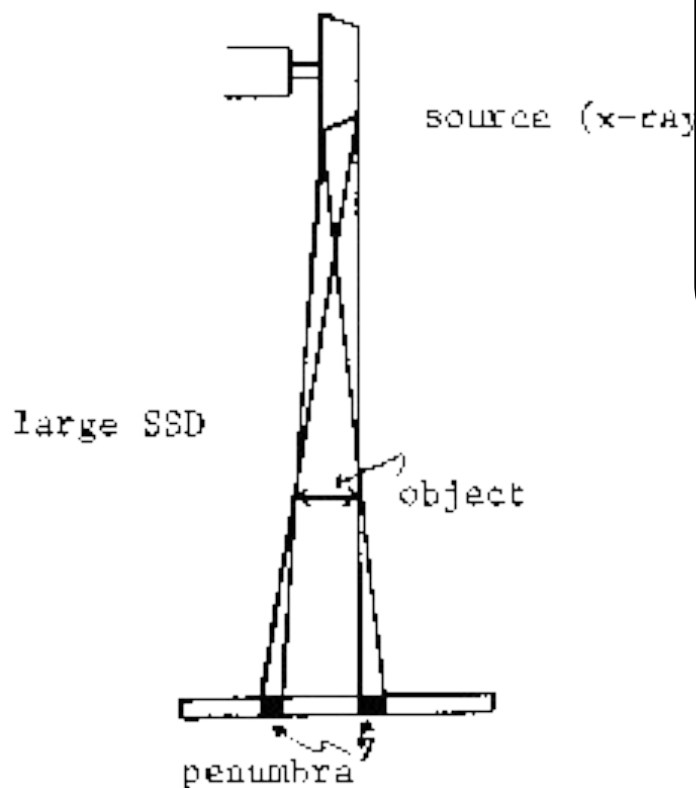
# Физика рентгеновских процессов: От излучения до изображения

## Фокусное расстояние

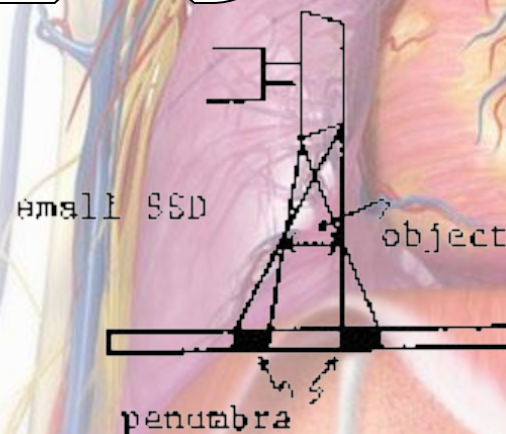


# Физика рентгеновских процессов: От излучения до изображения

## Фокусное расстояние



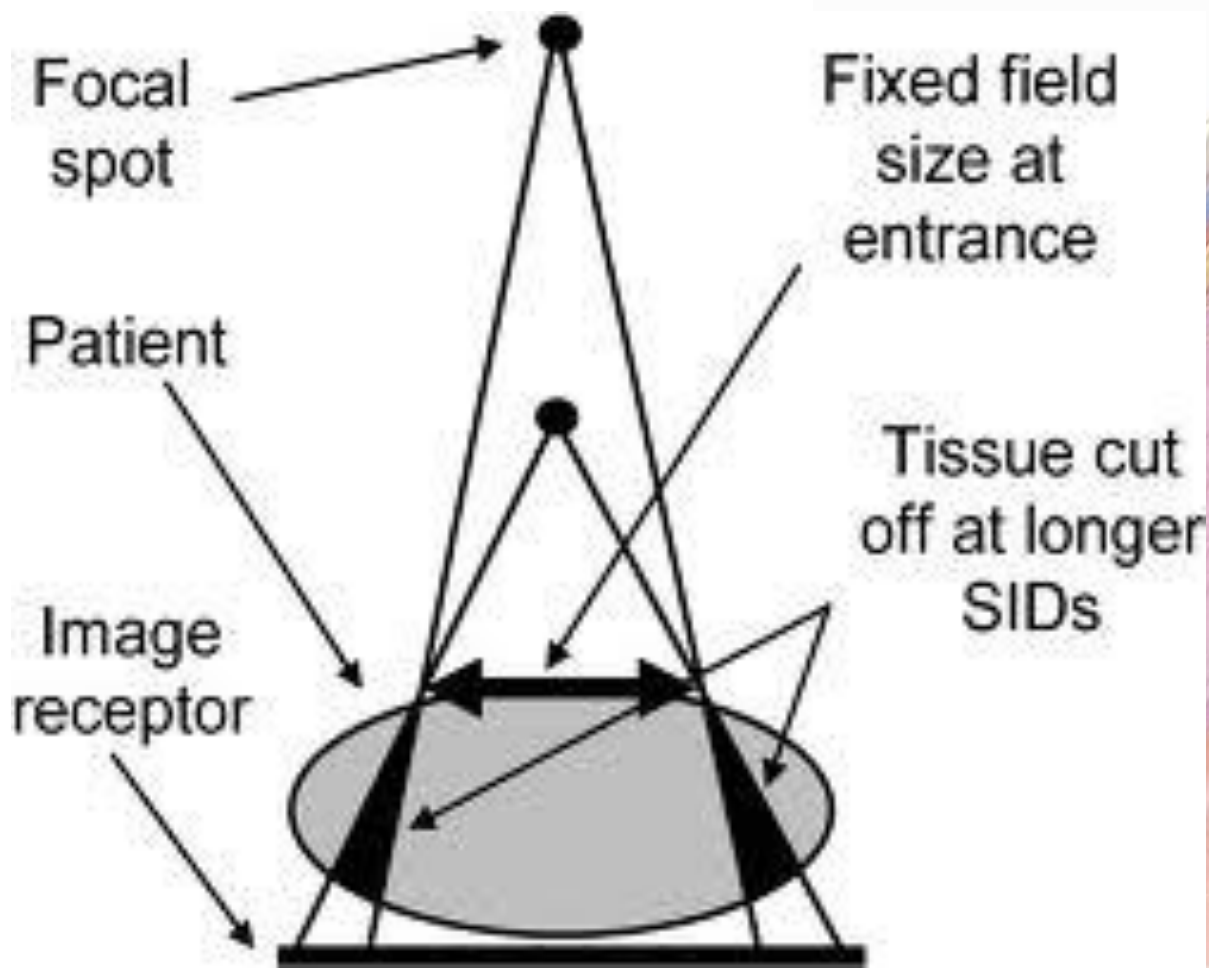
Ширина зон проекционной нерезкости и проекционного искажения зависит от фокусного расстояния



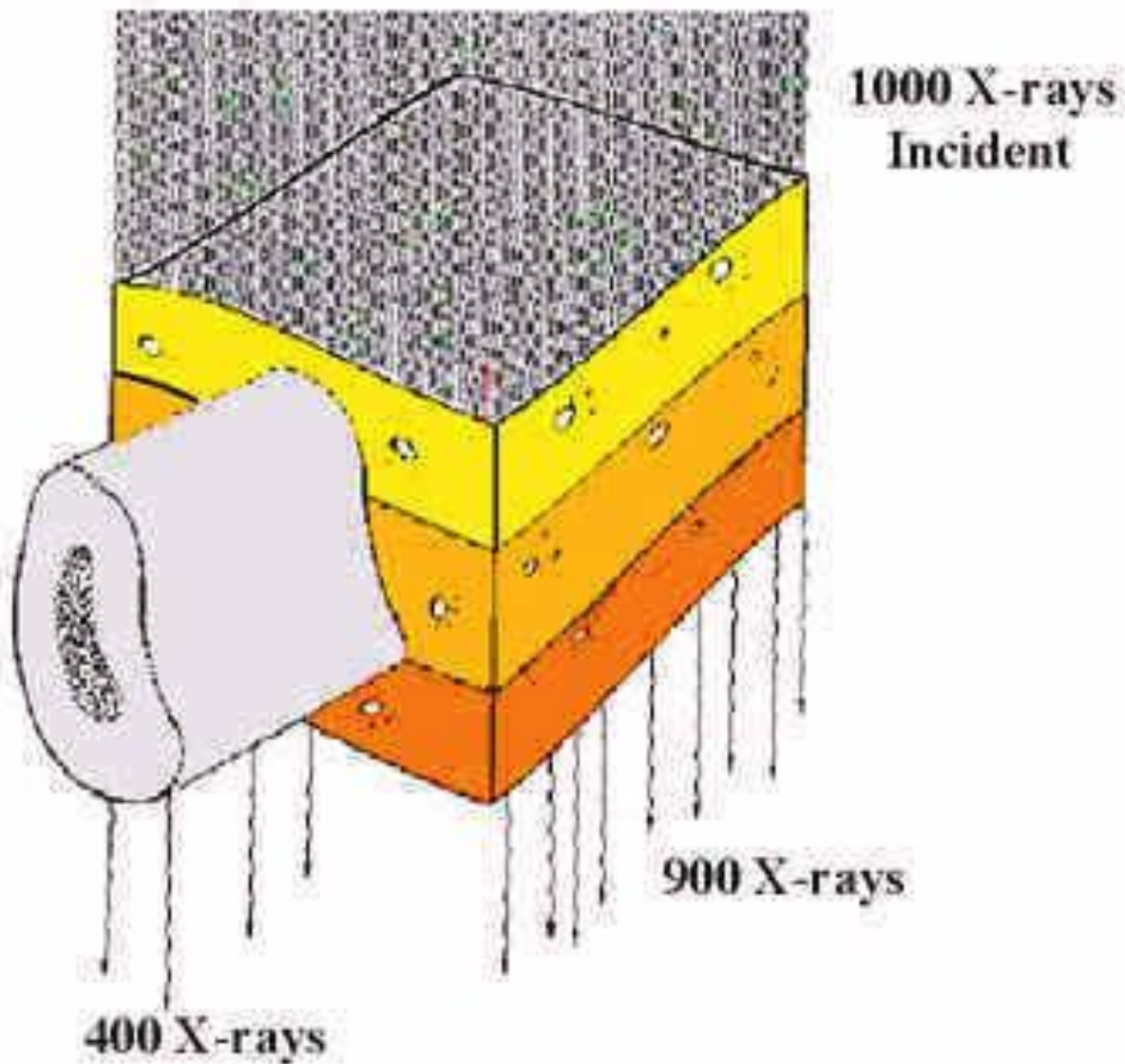


# Физика рентгеновских процессов: От излучения до изображения

## Фокусное расстояние



# Физика рентгеновских процессов: От излучения до изображения





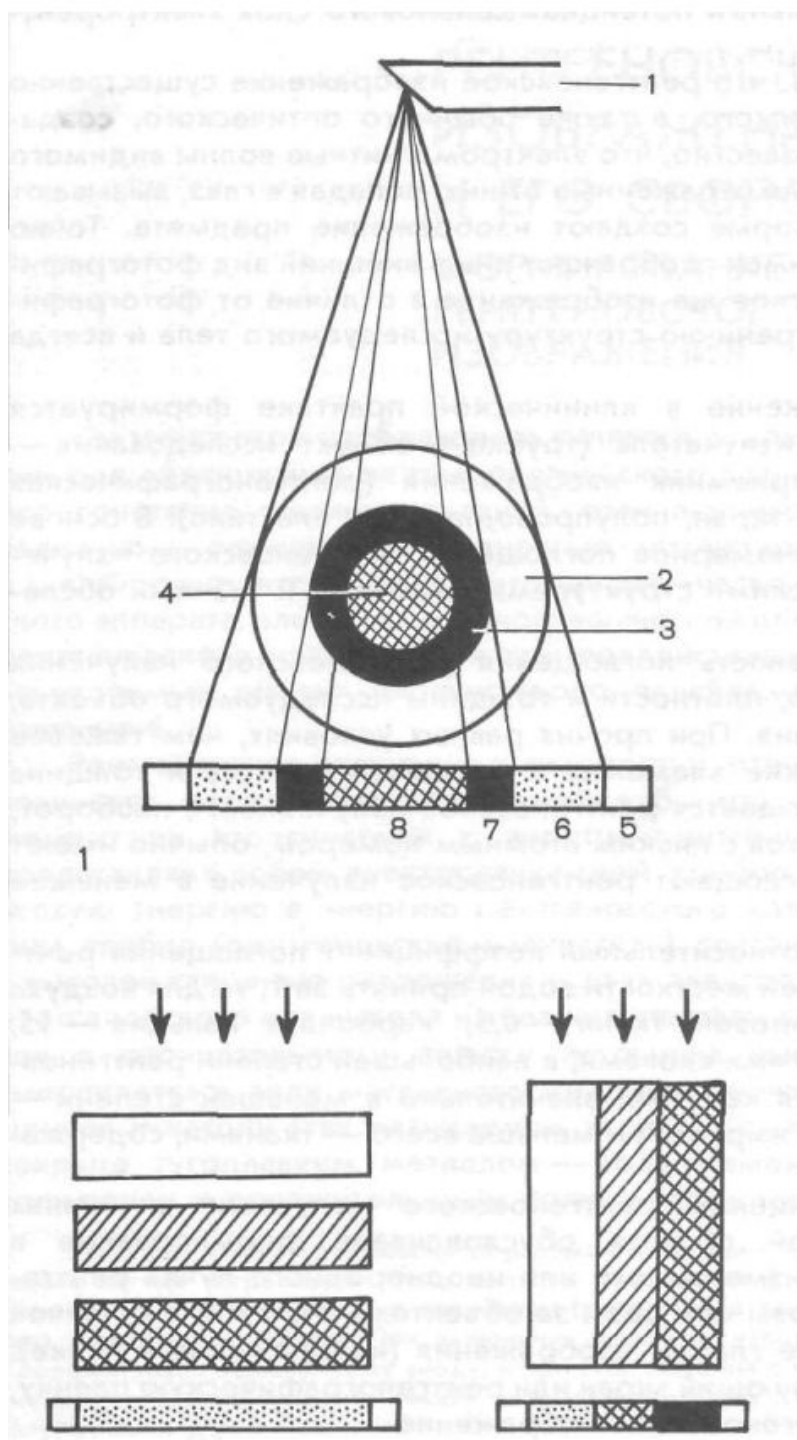


Рис. 1. Схема дифференцированного рентгеновского изображения анатомических структур, имеющих различную плотность и толщину (поперечное сечение бедра).

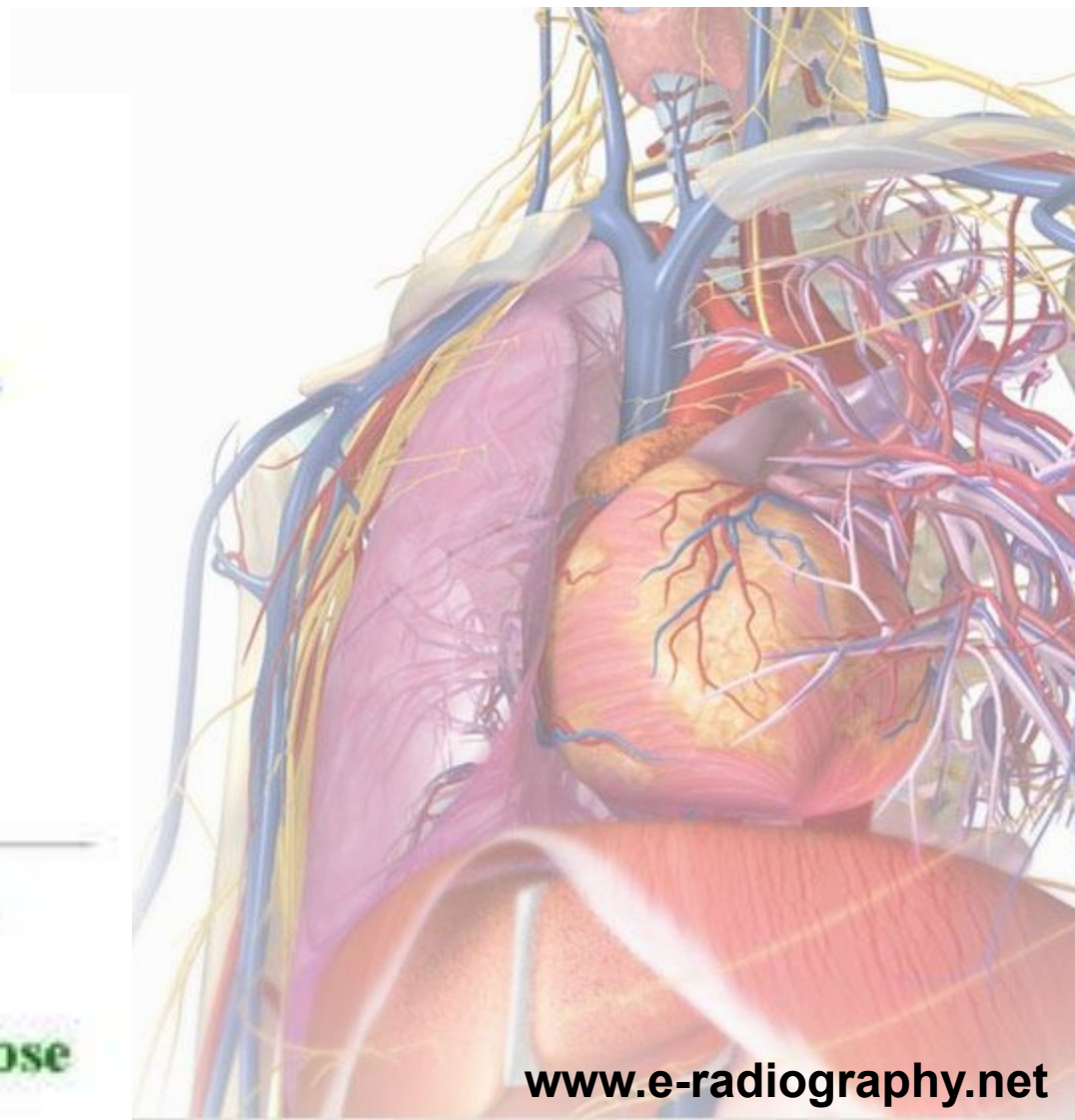
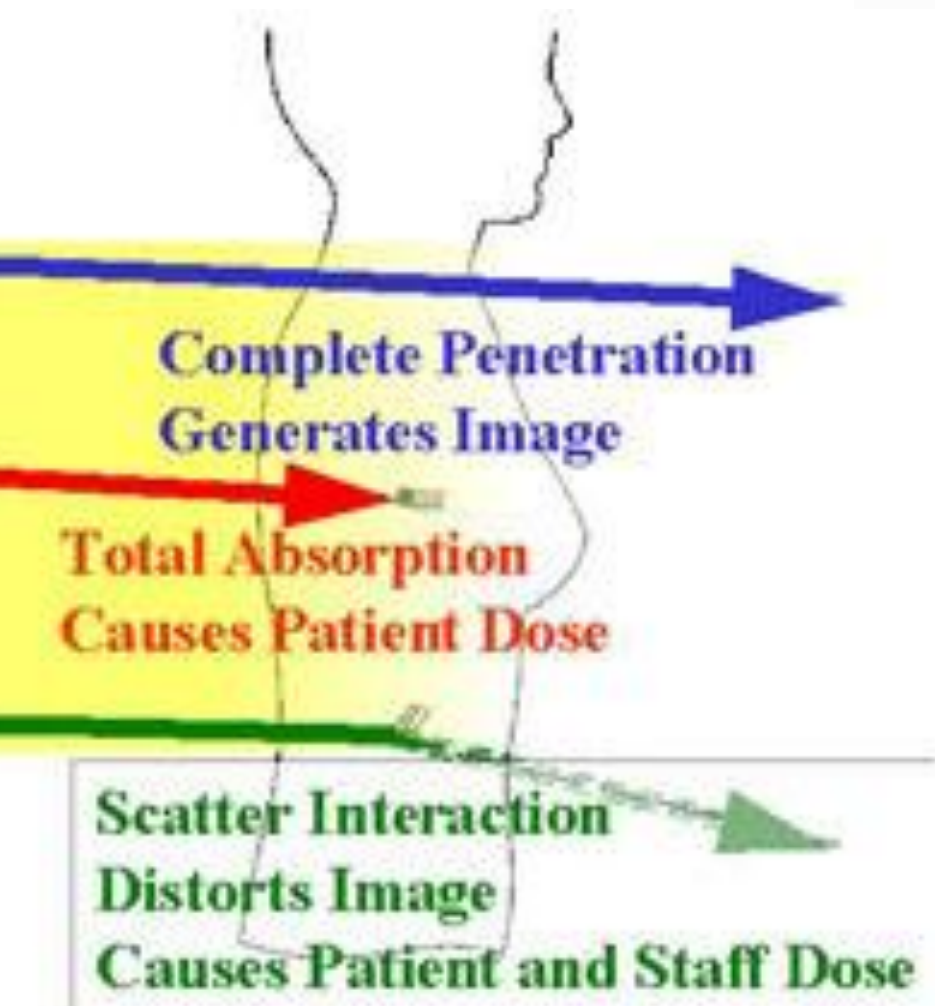
1 — рентгеновский излучатель; 2 — мягкие ткани; 3 — корковое вещество бедренной кости; 4 — костномозговая полость; 5 — приемник рентгеновского изображения; 6 — рентгеновское изображение коркового вещества; 8 — рентгеновское изображение костномозговой полости.

Рис. 2. Отсутствие дифференцированного изображения различных по плотности тканей при перпендикулярном направлении пучка рентгеновского излучения к их поверхностям.

Рис. 3. Отчетливое дифференцированное изображение теней, имеющих различную плотность при тангенциальном направлении пучка рентгеновского излучения к их поверхностям.

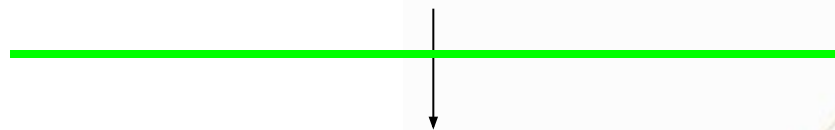
# Физика рентгеновских процессов: От излучения до изображения

## Пациент



# Физика рентгеновских процессов: От излучения до изображения

**Рентгеновский излучатель = трубка**

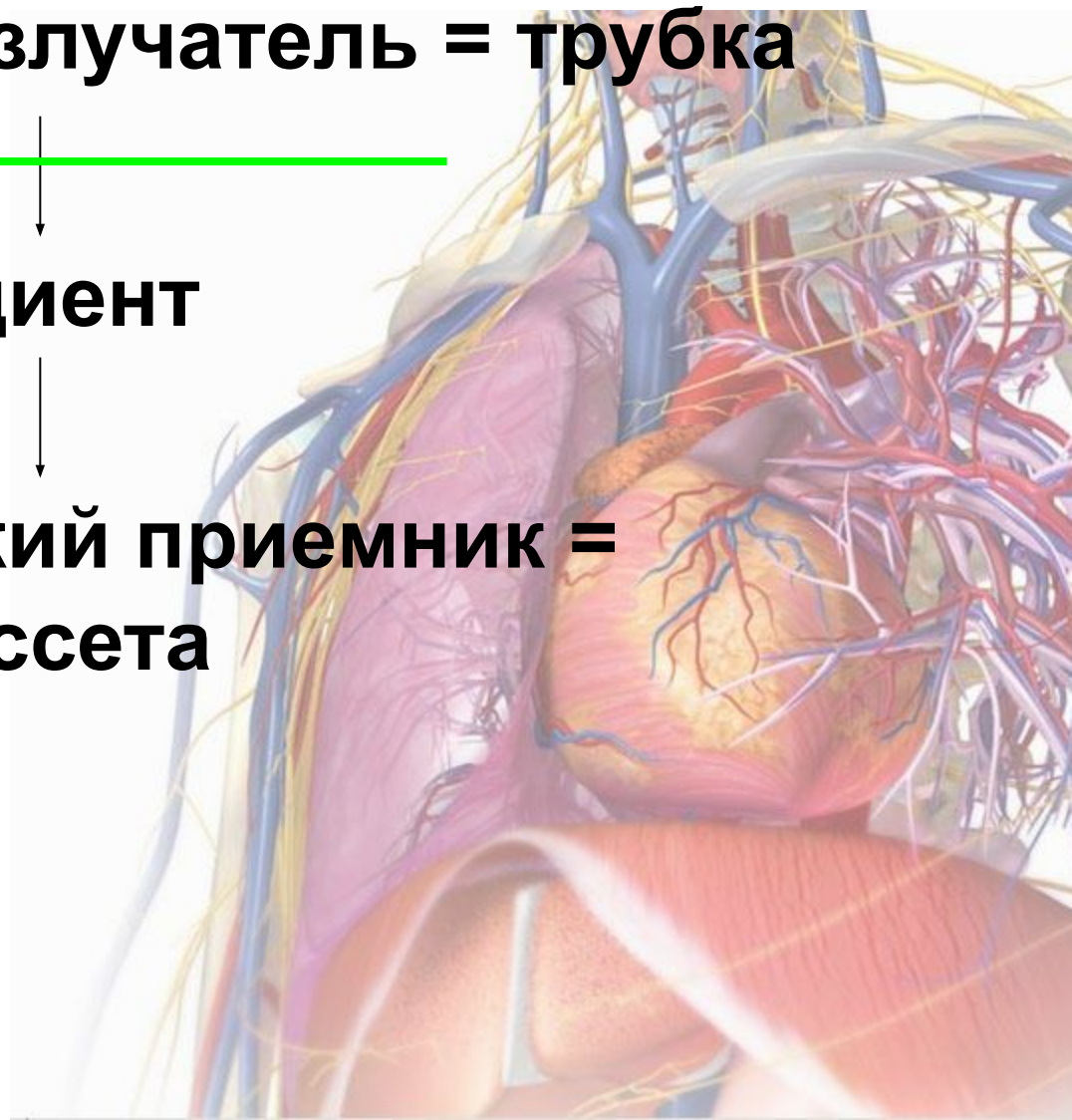


**Пациент**



**Рентгеновский приемник =  
кассета**

Расстояние  
объект-  
детектор

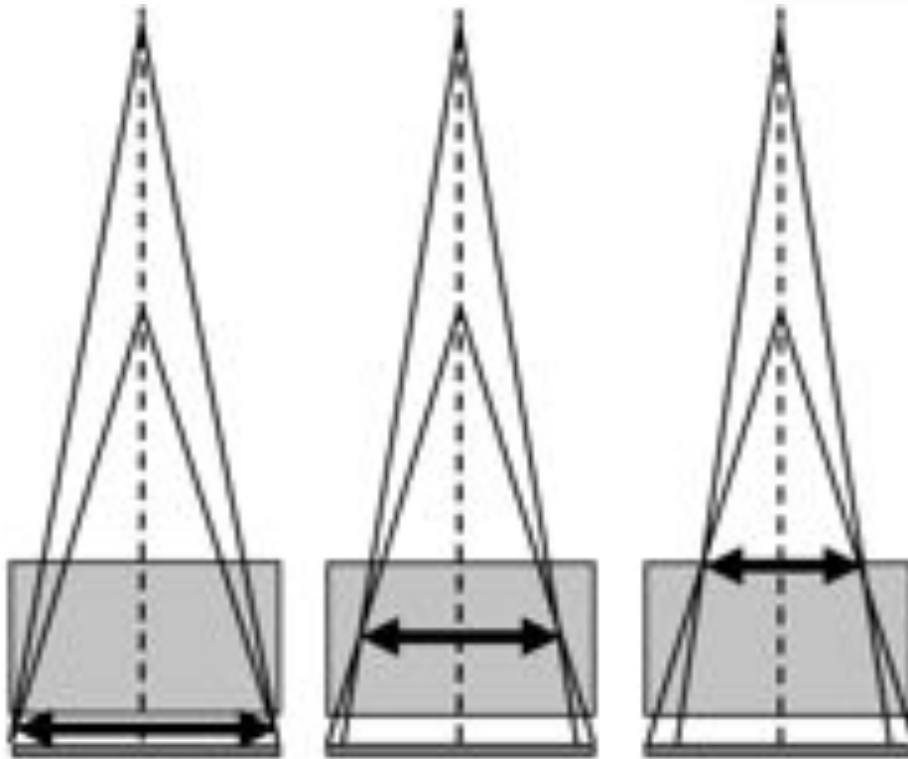




# Физика рентгеновских процессов:

От излучения до изображения

## Расстояние между объектом и детектором



Collimation  
to image  
receptor

(a)

Collimation  
to central  
ROI

(b)

Collimation  
to entrance  
surface

(c)



# Физика рентгеновских процессов: От излучения до изображения

**Рентгеновский излучатель = трубка**

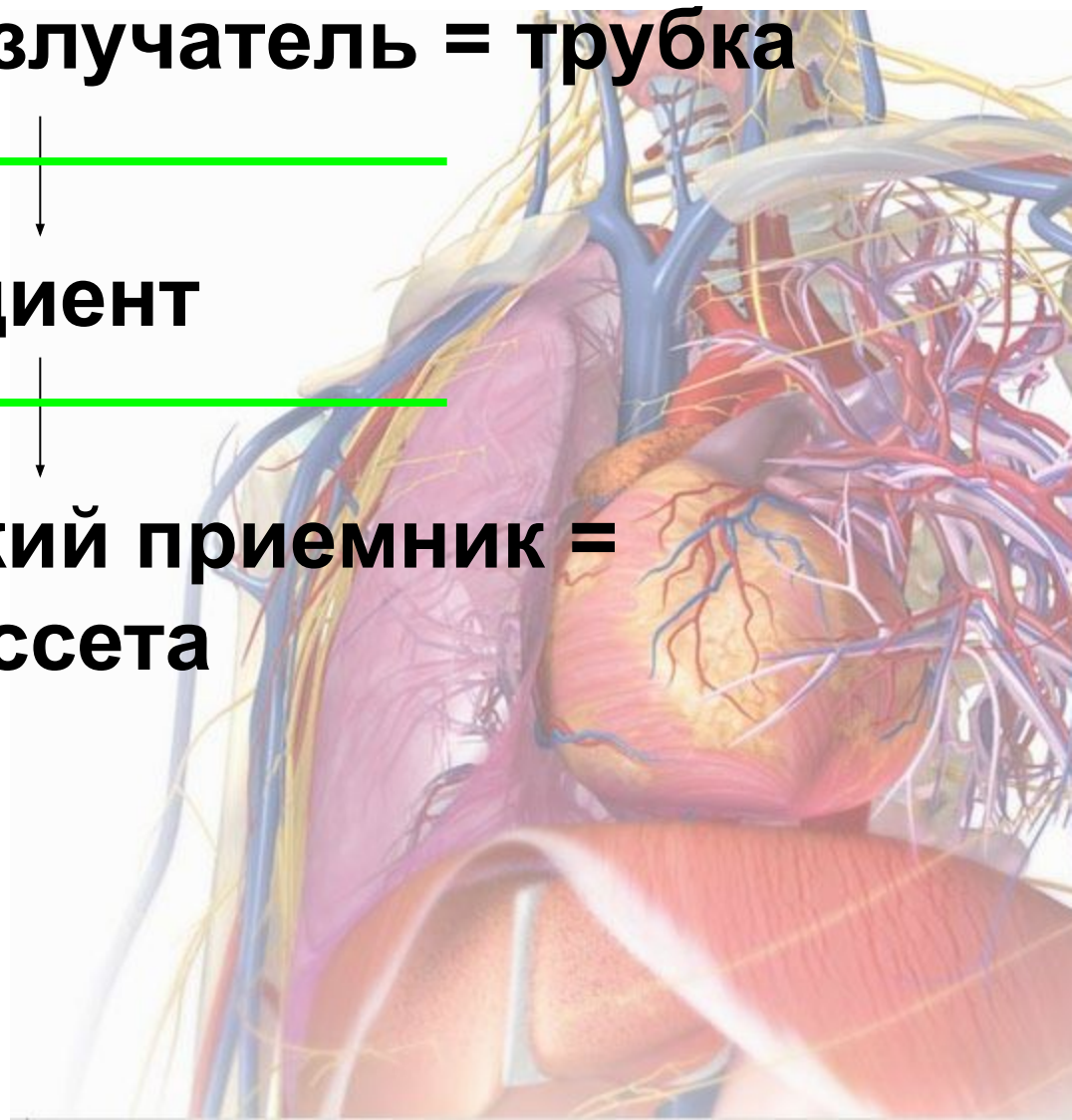


**Пациент**



**Рентгеновский приемник =  
кассета**

Отсеивающий  
фильтр =  
«решетка»





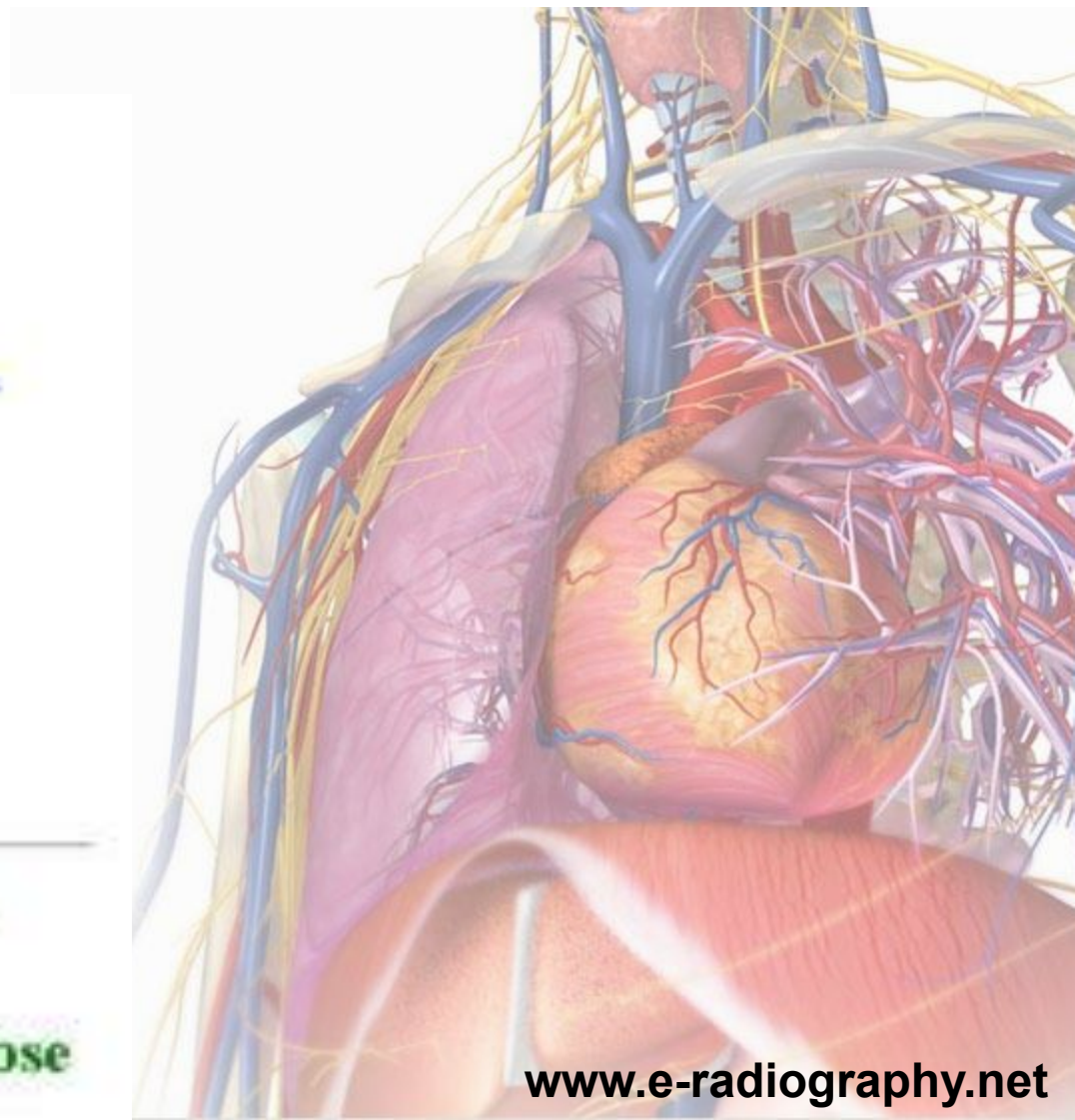
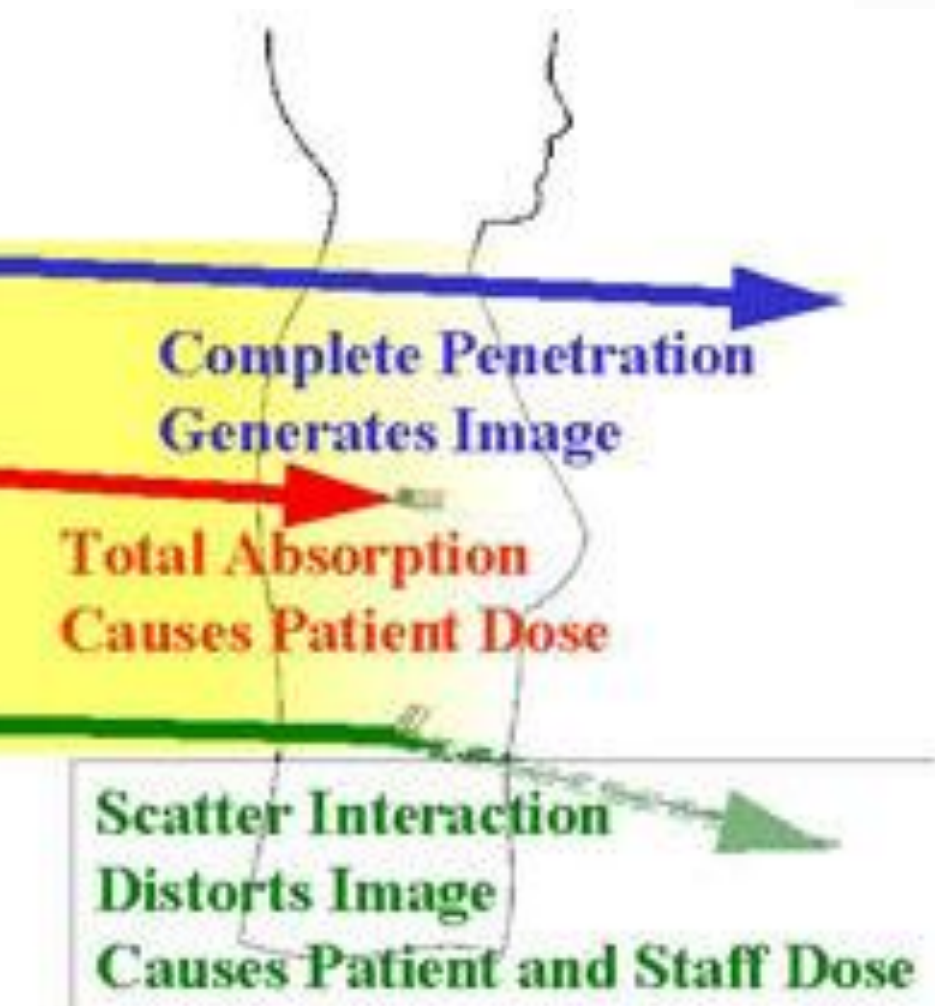
# Физика рентгеновских процессов: Решетка

Любой поток  
отклоняется при  
встрече с  
объектом. Даже  
рентгеновский  
луч



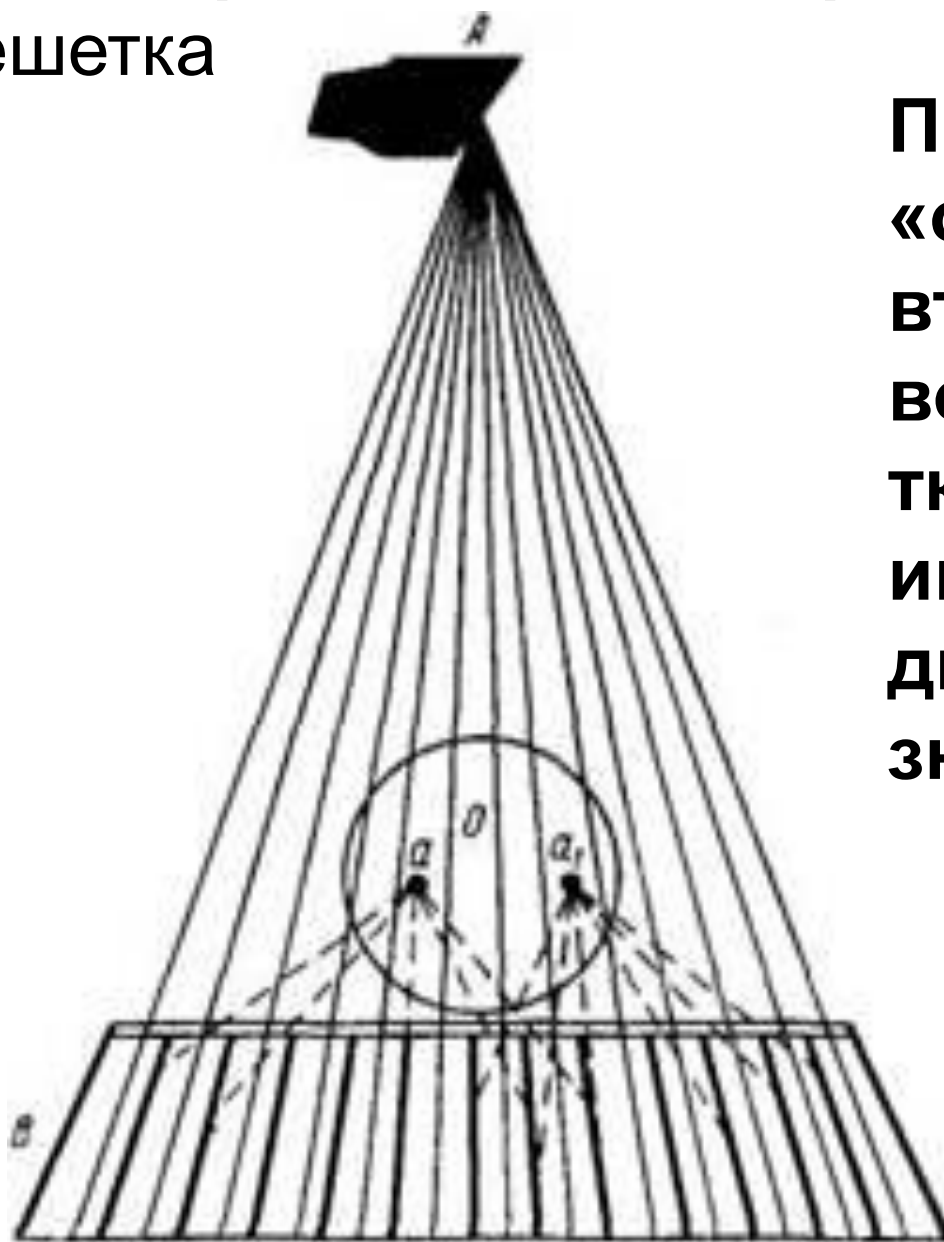
# Физика рентгеновских процессов: От излучения до изображения

## Пациент



# Физика рентгеновских процессов:

## Решетка



Предназначена для «отсеивания» всех вторично возникающих в тканях излучений, не имеющих диагностического значения

# Физика рентгеновских процессов: От излучения до изображения

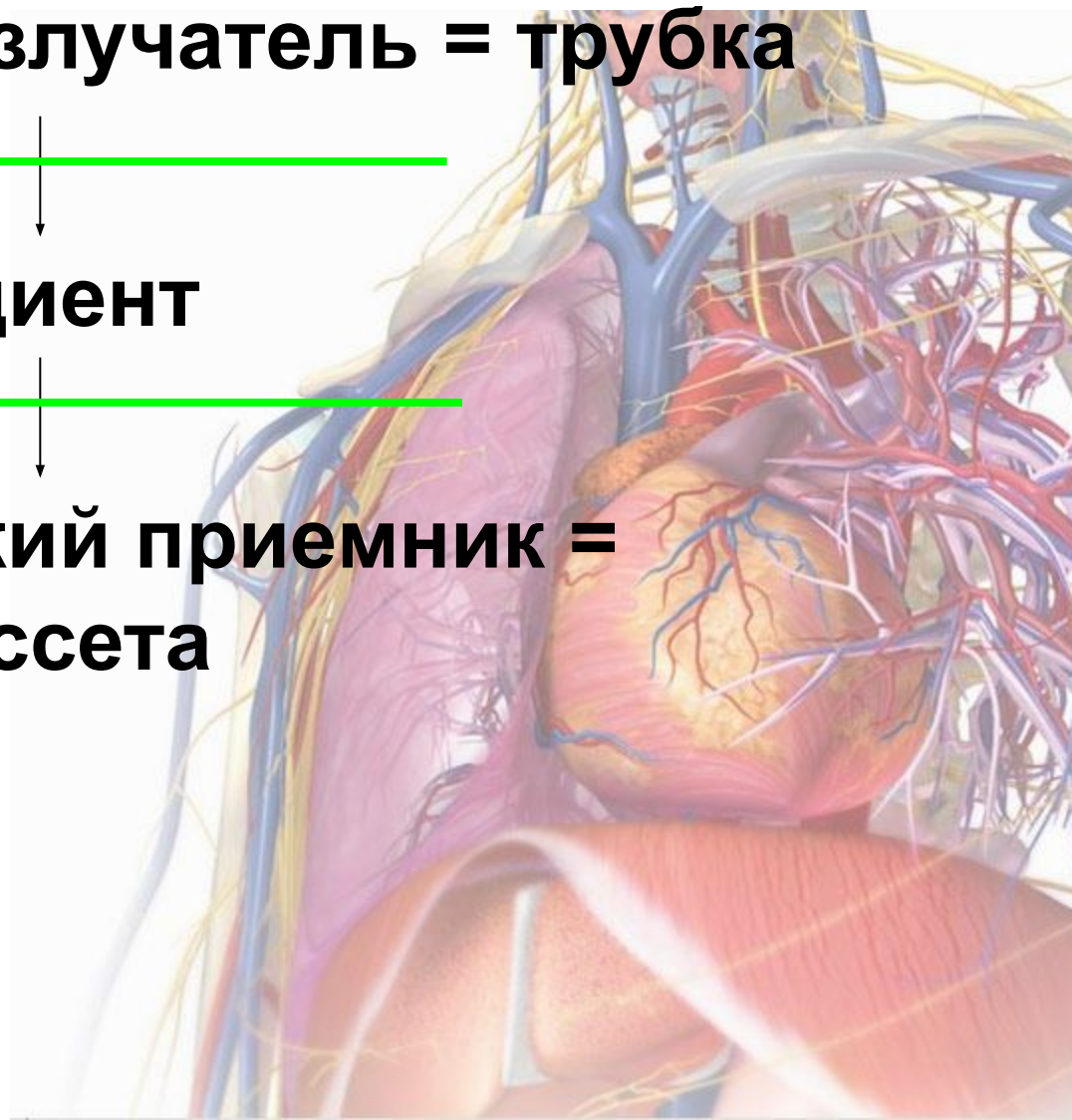
**Рентгеновский излучатель = трубка**



**Пациент**



**Рентгеновский приемник =  
кассета**



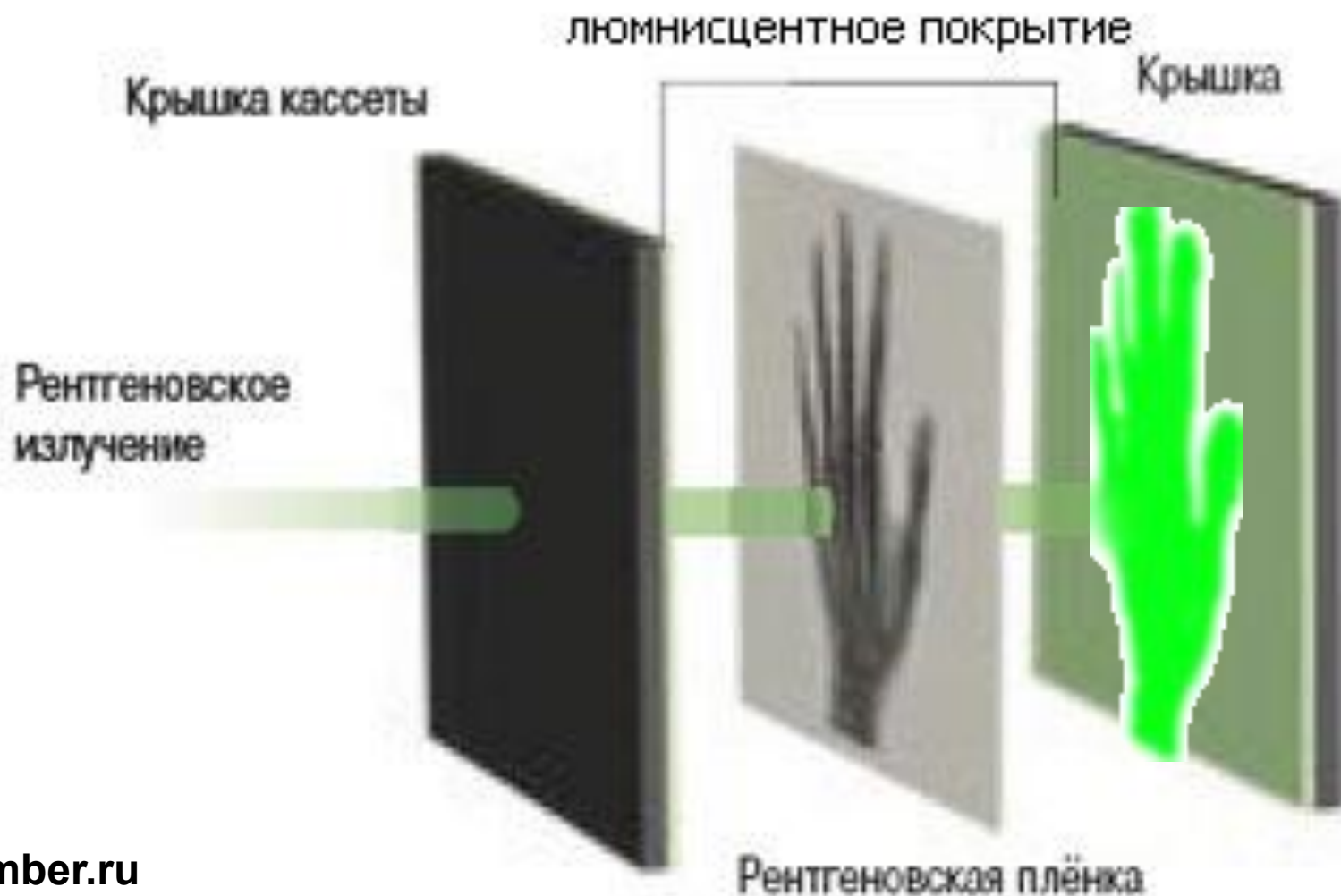


8.XI.1895



# Физика рентгеновских процессов: От излучения до изображения

## Рентгеновский приемник = кассета



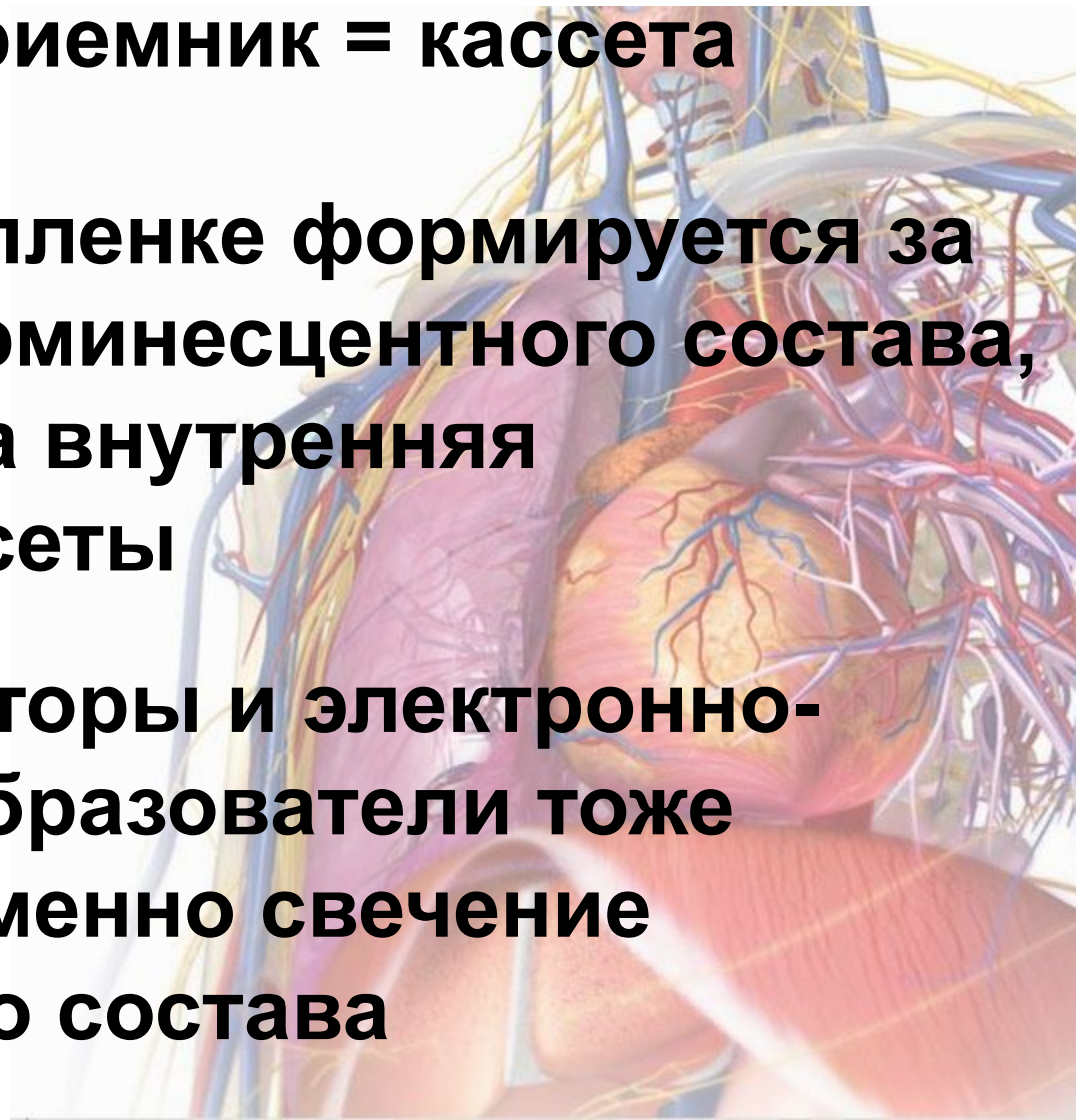


**Физика рентгеновских процессов:**  
От излучения до изображения

**Рентгеновский приемник = кассета**

**Изображение на пленке формируется за счет свечения люминесцентного состава, которым покрыта внутренняя поверхность кассеты**

**Цифровые детекторы и электронно-оптические преобразователи тоже воспринимают именно свечение люминесцентного состава**



# Физика рентгеновских процессов: От излучения до изображения

**Рентгеновский излучатель = трубка**



**Пациент**



**Рентгеновский приемник =  
кассета**



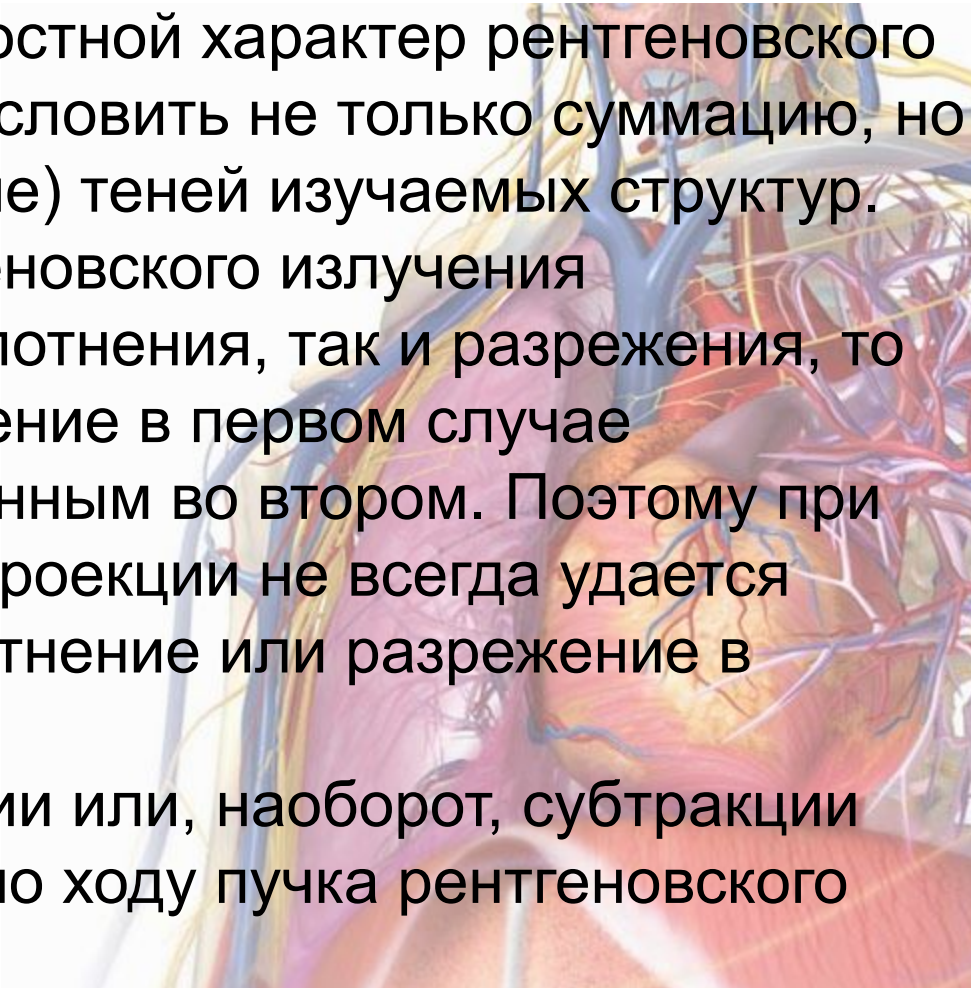
**Регистратор изображения =  
Пленка / детектор**



# Физика рентгеновских процессов:

## Рентгеновское изображение

Суммационный и плоскостной характер рентгеновского изображения может обусловить не только суммацию, но и субтракцию (вычитание) теней изучаемых структур. Так, если на пути рентгеновского излучения имеются участки как уплотнения, так и разрежения, то повышенное их поглощение в первом случае компенсируется пониженным во втором. Поэтому при исследовании в одной проекции не всегда удастся отличить истинное уплотнение или разрежение в изображении того или иного органа от суммации или, наоборот, субтракции теней, расположенных по ходу пучка рентгеновского излучения.



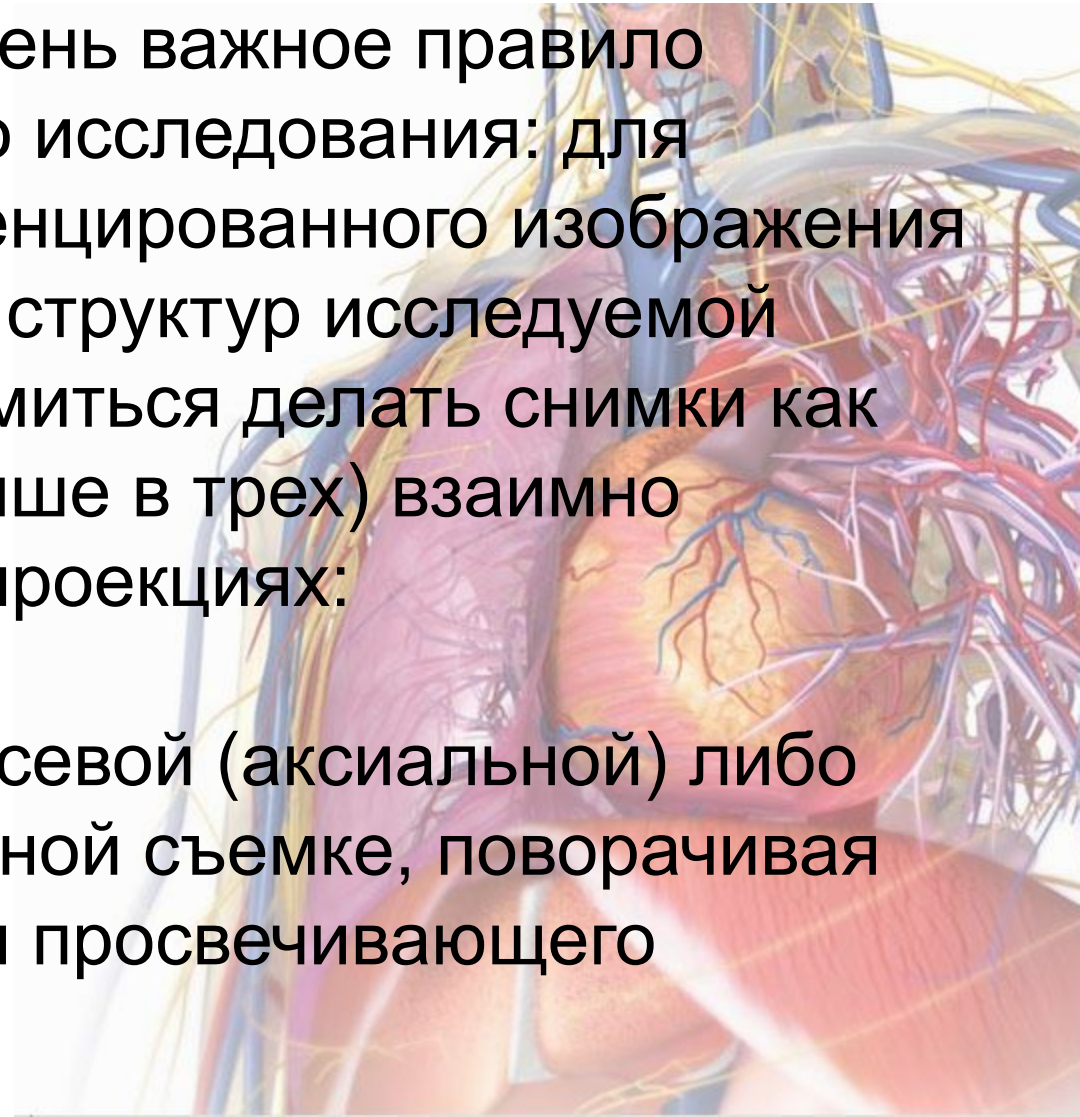


# Физика рентгеновских процессов:

## Рентгеновское изображение

Отсюда вытекает очень важное правило рентгенологического исследования: для получения дифференцированного изображения всех анатомических структур исследуемой области нужно стремиться делать снимки как минимум в двух (лучше в трех) взаимно перпендикулярных проекциях:

прямой, боковой и осевой (аксиальной) либо прибегать к прицельной съемке, поворачивая больного за экраном просвечивающего устройства





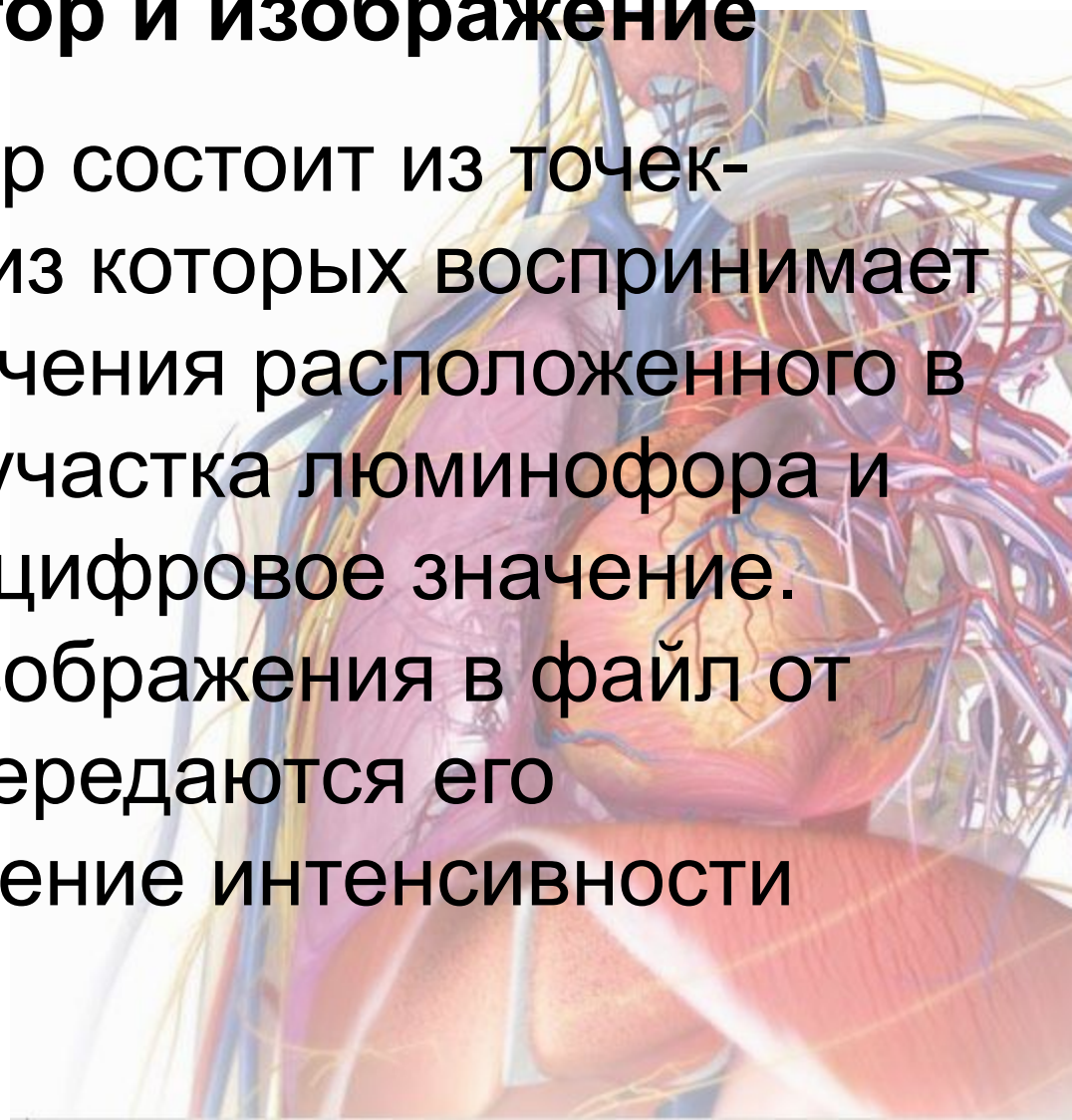
# Физика рентгеновских процессов:

От излучения до изображения

## Цифровой детектор и изображение

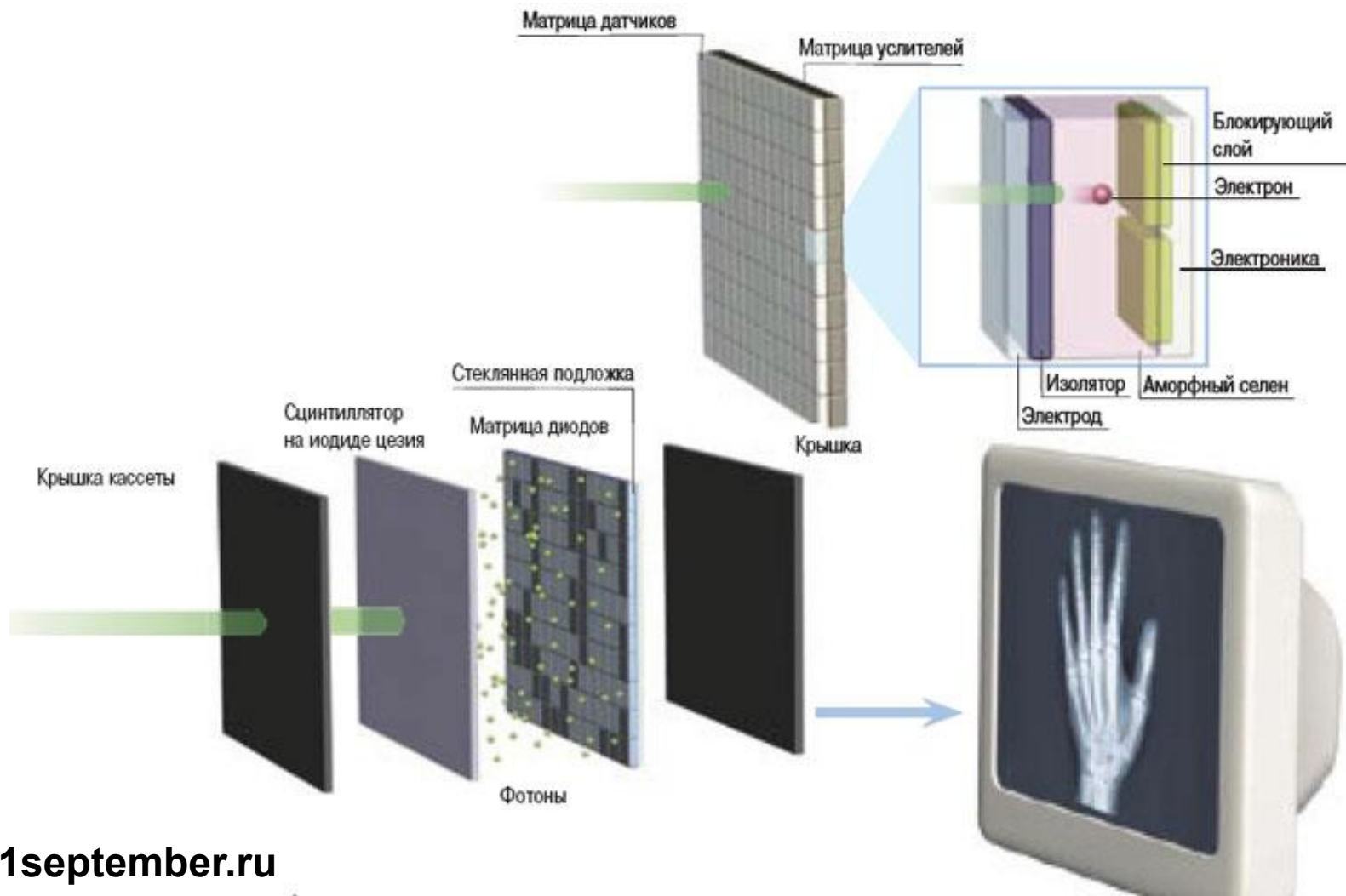
Цифровой детектор состоит из точек-пикселей, каждая из которых воспринимает интенсивность свечения расположенного в кассете напротив участка люминофора и «запоминает» его цифровое значение.

Для построения изображения в файл от каждого пикселя передаются его координаты и значение интенсивности



# Физика рентгеновских процессов: От излучения до изображения

## Цифровой детектор и изображение



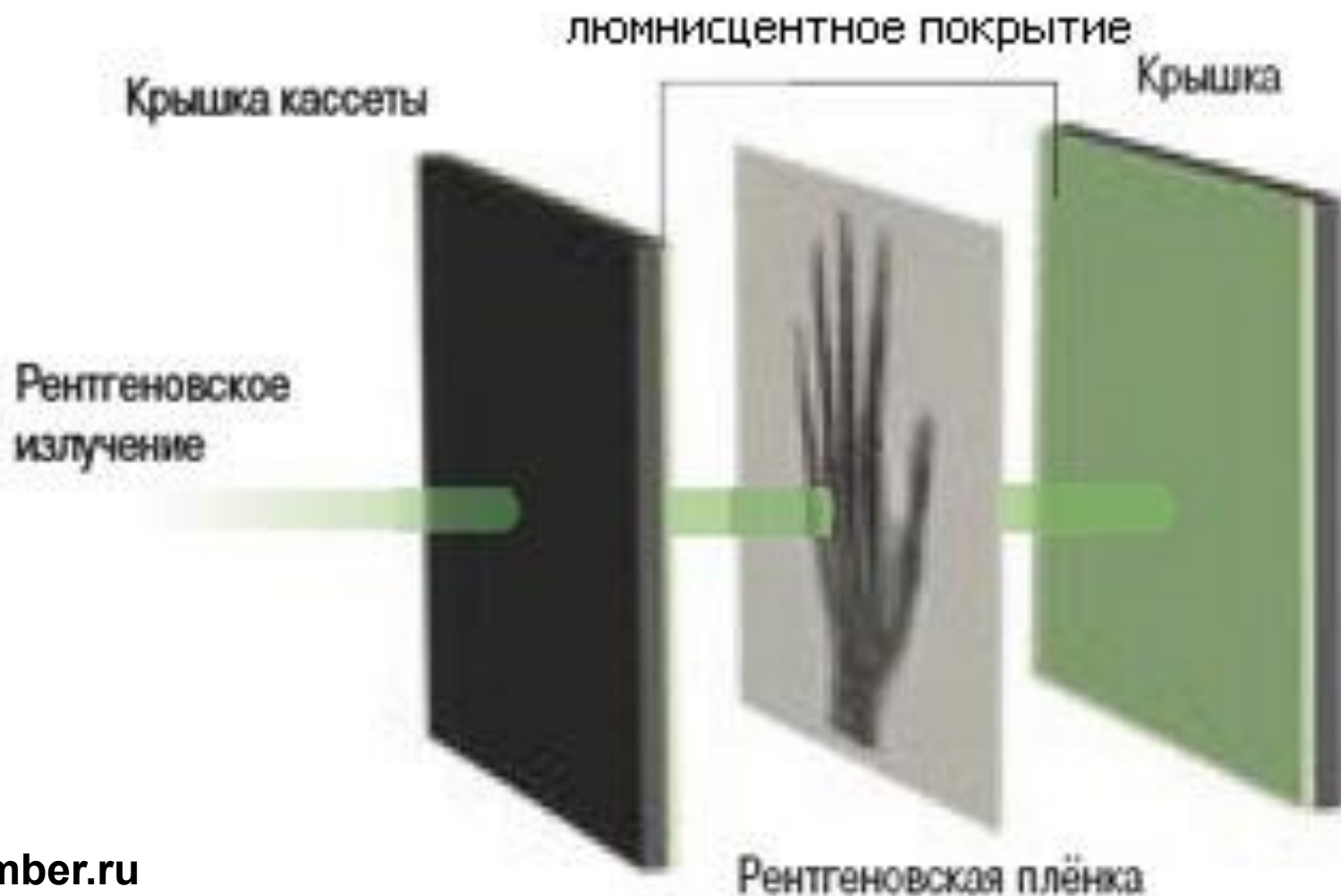
# Физика рентгеновских процессов: От излучения до изображения

## Цифровой детектор и изображение



# Физика рентгеновских процессов: От излучения до изображения

## Пленочный детектор





**Физика рентгеновских процессов:**

От излучения до изображения

**Устройство рентгеновской пленки:**

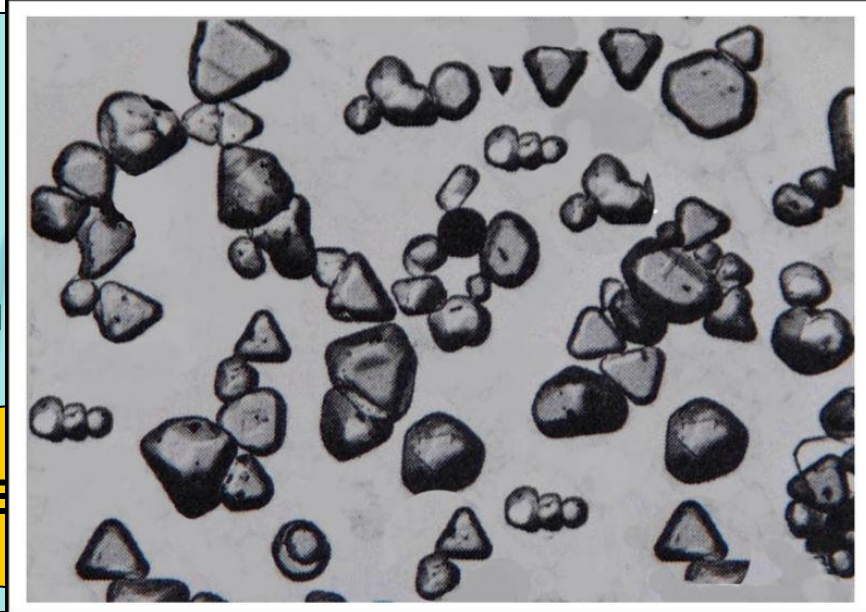
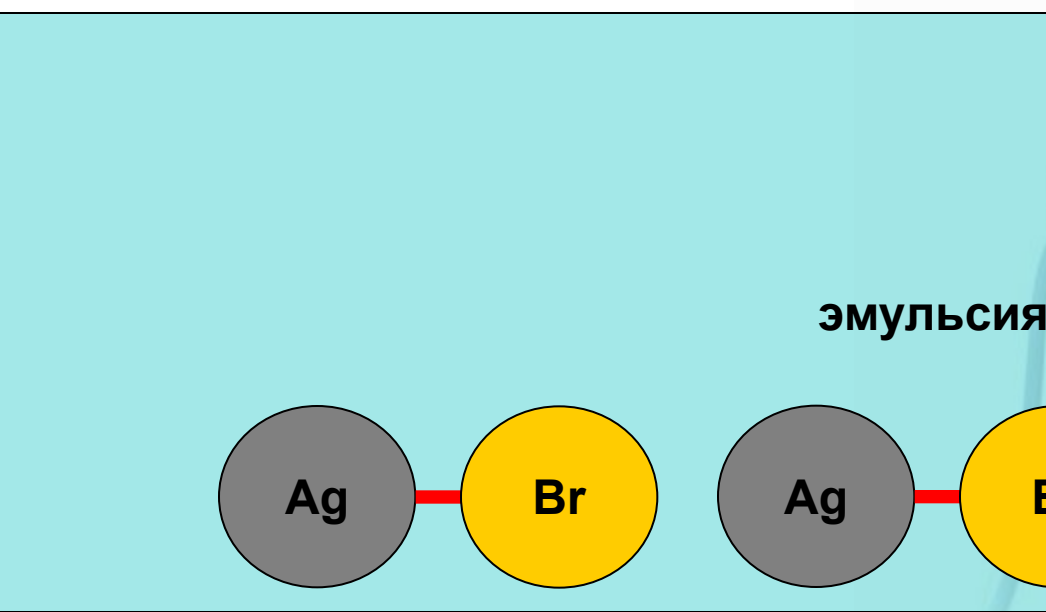
**Светочувствительная эмульсия**

**нанесена на твердую прозрачную пленку**



# Физика рентгеновских процессов: От излучения до изображения

## Устройство рентгеновской пленки:

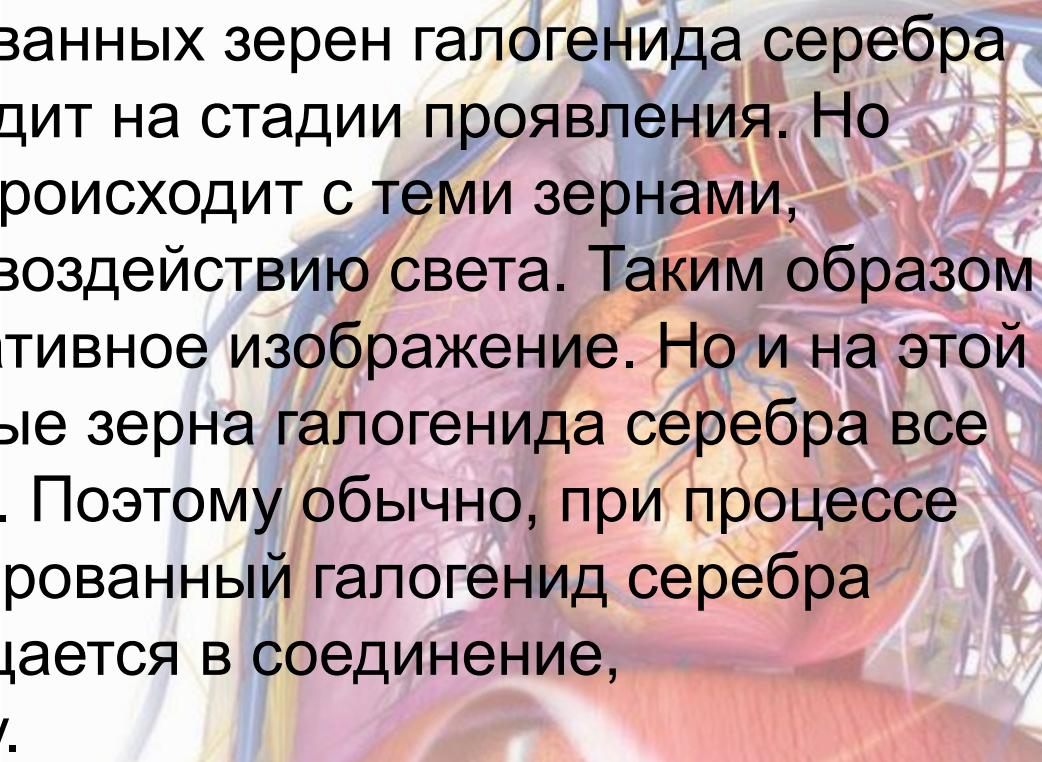


пленка

# Физика рентгеновских процессов: От излучения до изображения

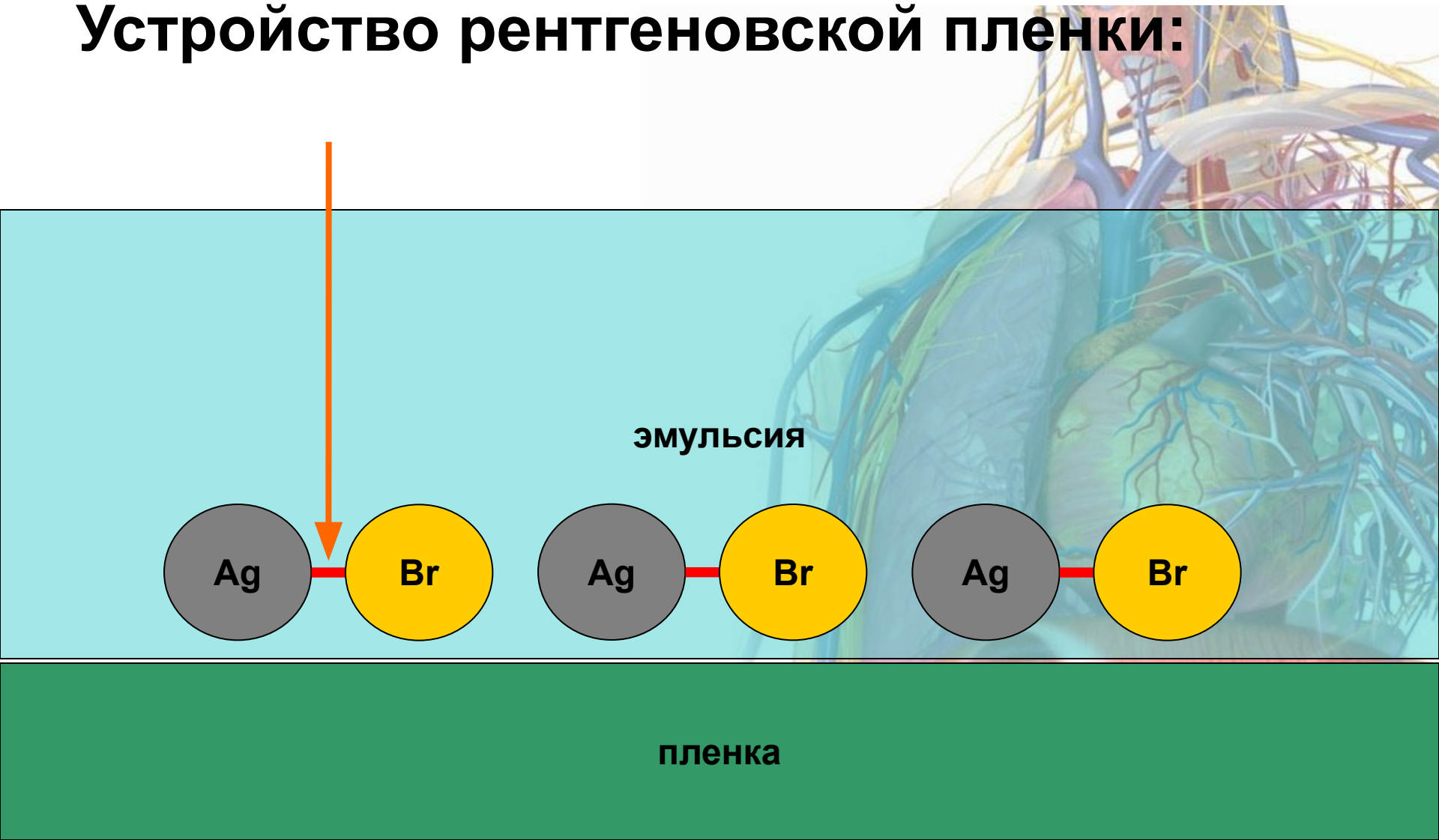
## Механизм работы рентгеновской пленки:

Превращение экспонированных зерен галогенида серебра в зерна серебра происходит на стадии проявления. Но такого превращения не происходит с теми зернами, которые не подверглись воздействию света. Таким образом получается видимое негативное изображение. Но и на этой стадии неэкспонированные зерна галогенида серебра все еще светочувствительны. Поэтому обычно, при процессе фиксирования неэкспонированный галогенид серебра удаляется, реже превращается в соединение, нечувствительное к свету.



# Физика рентгеновских процессов: От излучения до изображения

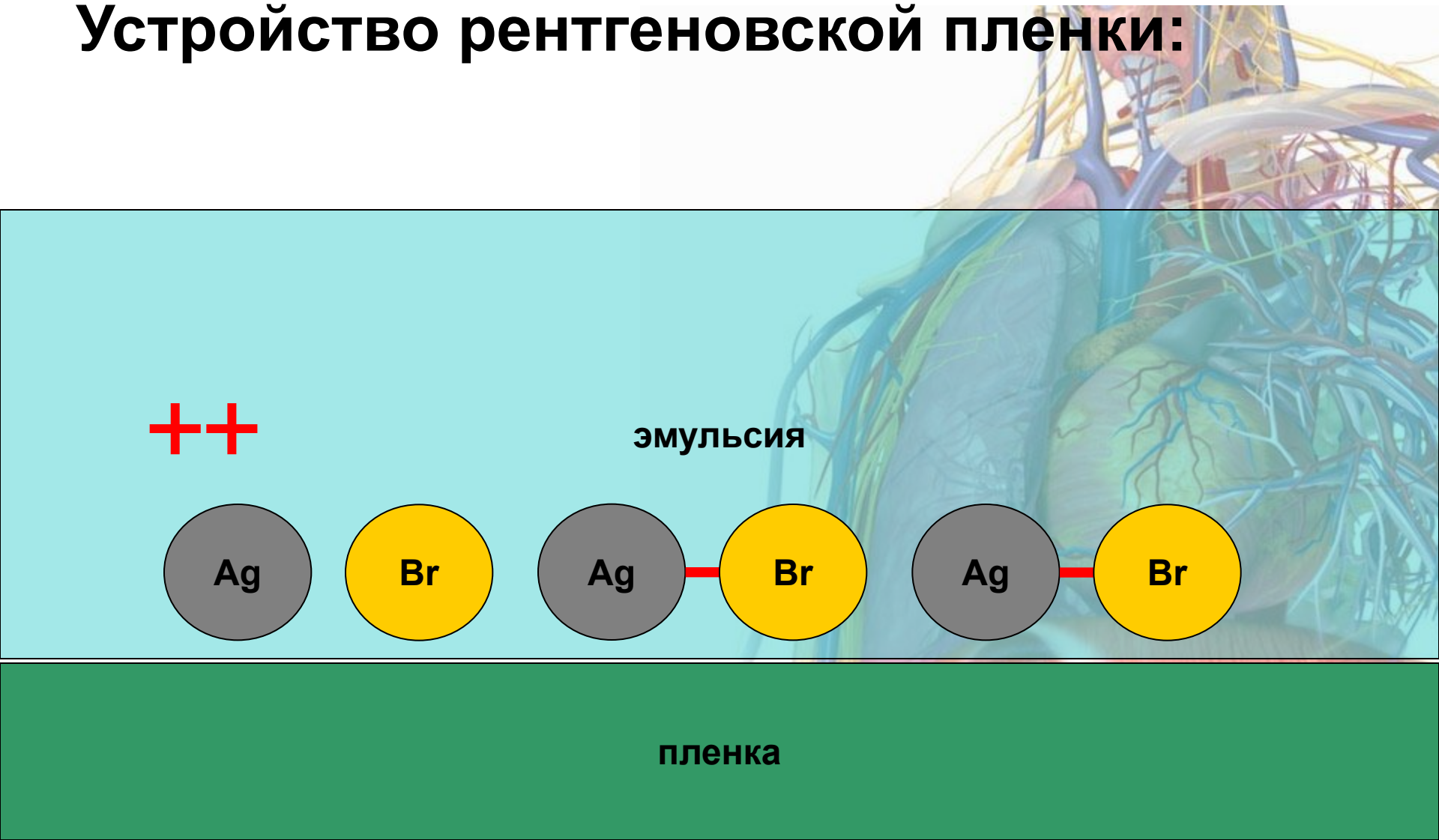
## Устройство рентгеновской пленки:





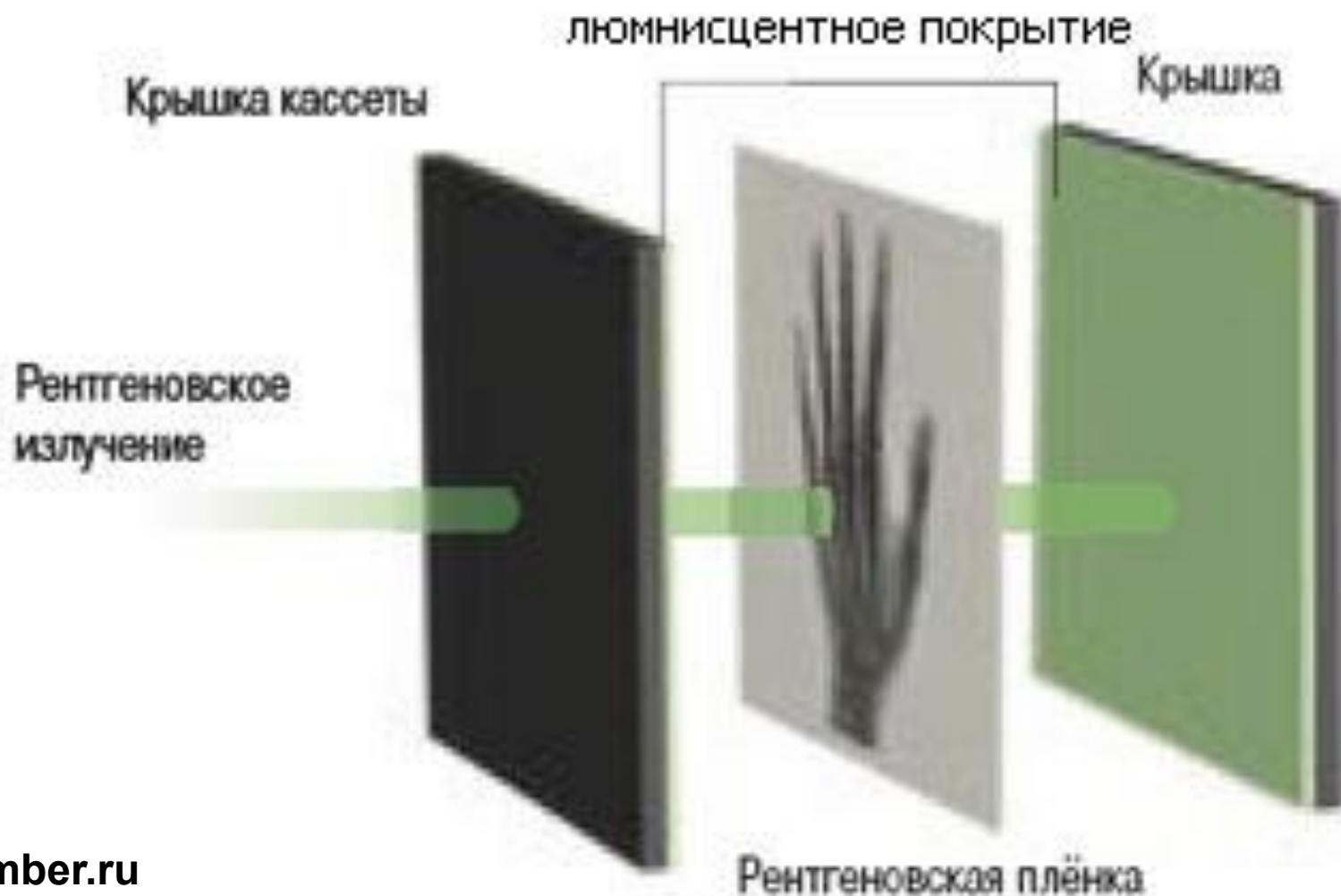
# Физика рентгеновских процессов: От излучения до изображения

## Устройство рентгеновской пленки:



# Физика рентгеновских процессов: От излучения до изображения

## Пленочный детектор



# Физика рентгеновских процессов:

От излучения до изображения

## Проявление:

Цель этапа – превращение полученных при экспозиции ионов серебра в металлическое серебро имеющее черный цвет



# Физика рентгеновских процессов: От излучения до изображения

Проявление:

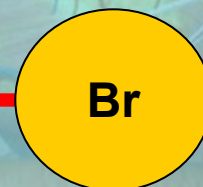
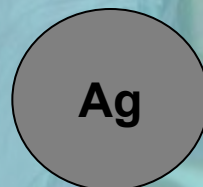
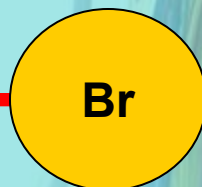
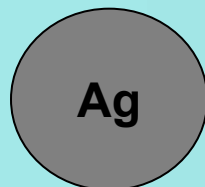
Проявитель:



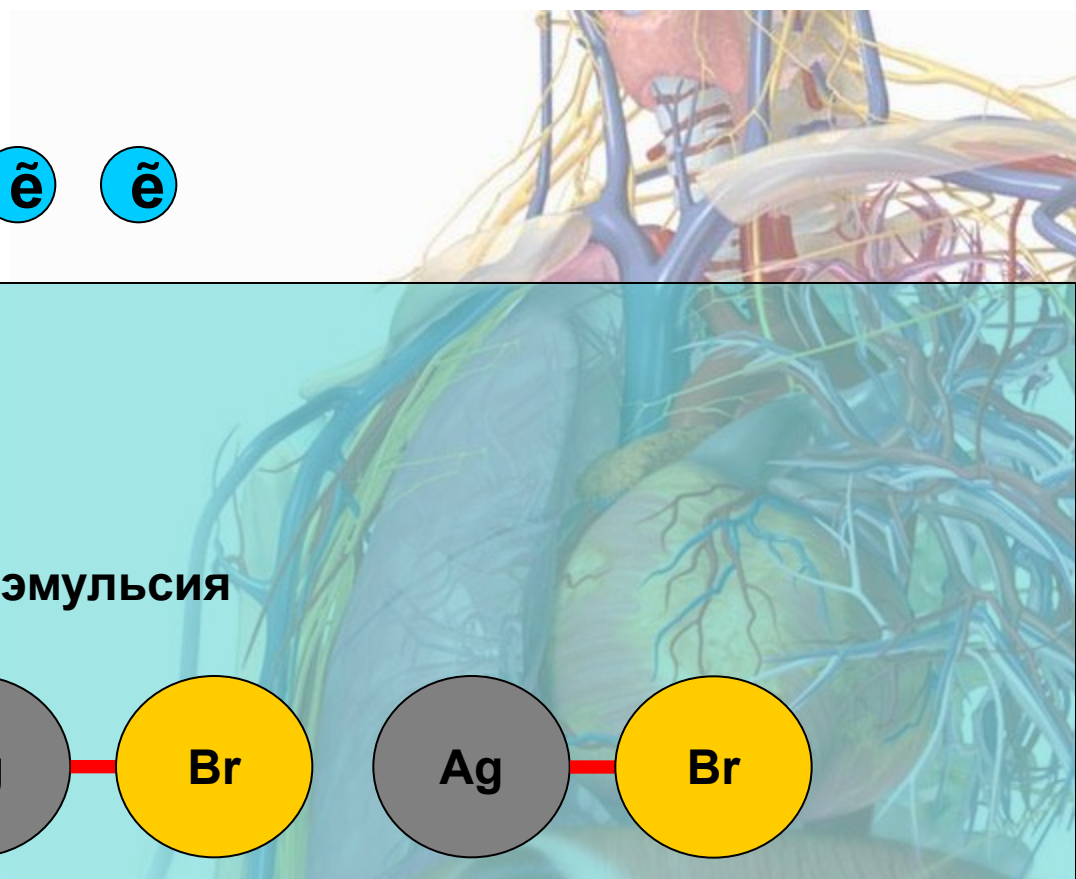
+++



эмульсия



пленка





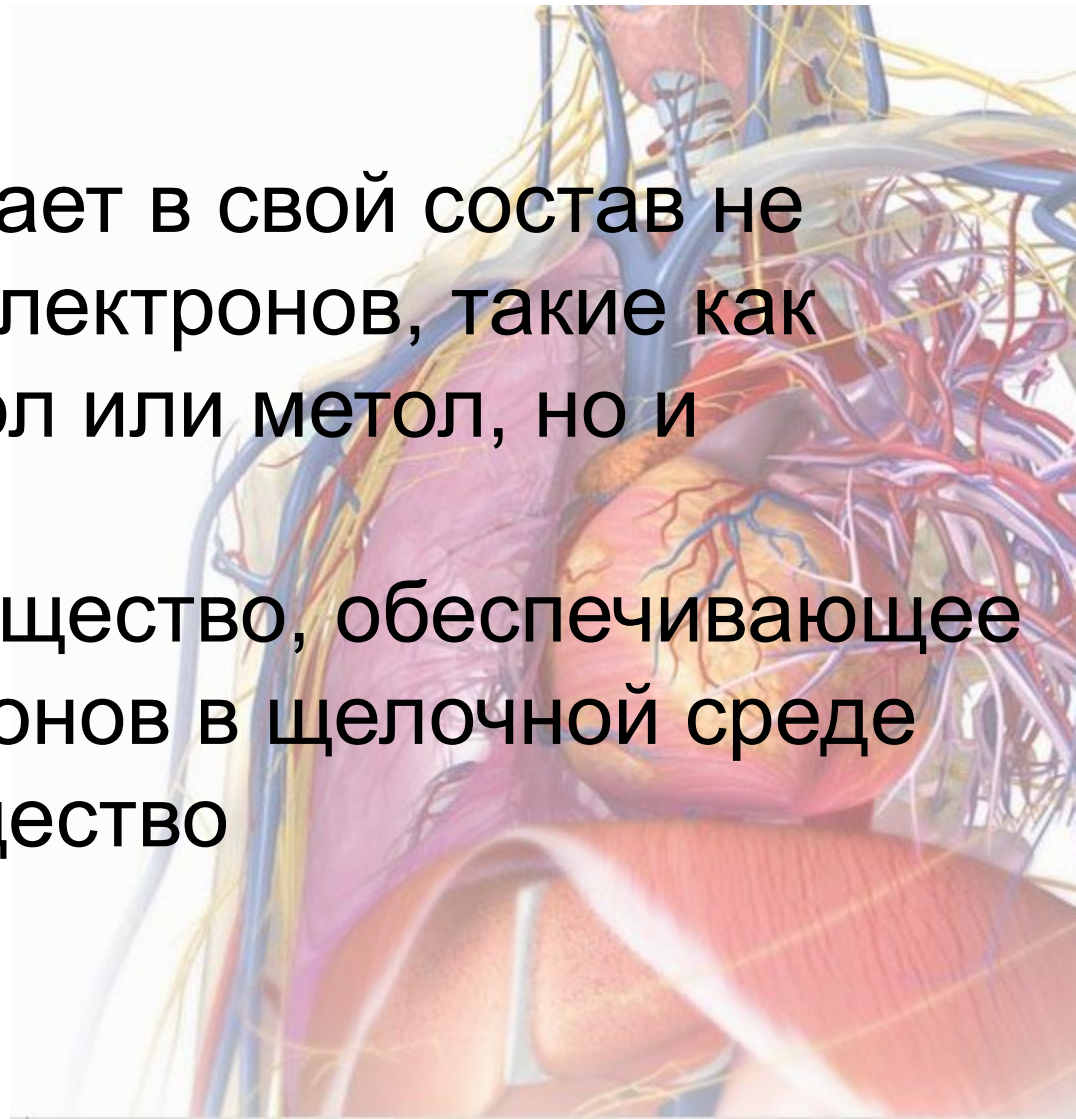
# Физика рентгеновских процессов:

От излучения до изображения

## Проявление:

Проявитель включает в свой состав не только донаторы электронов, такие как гидрохинон, амидол или метол, но и

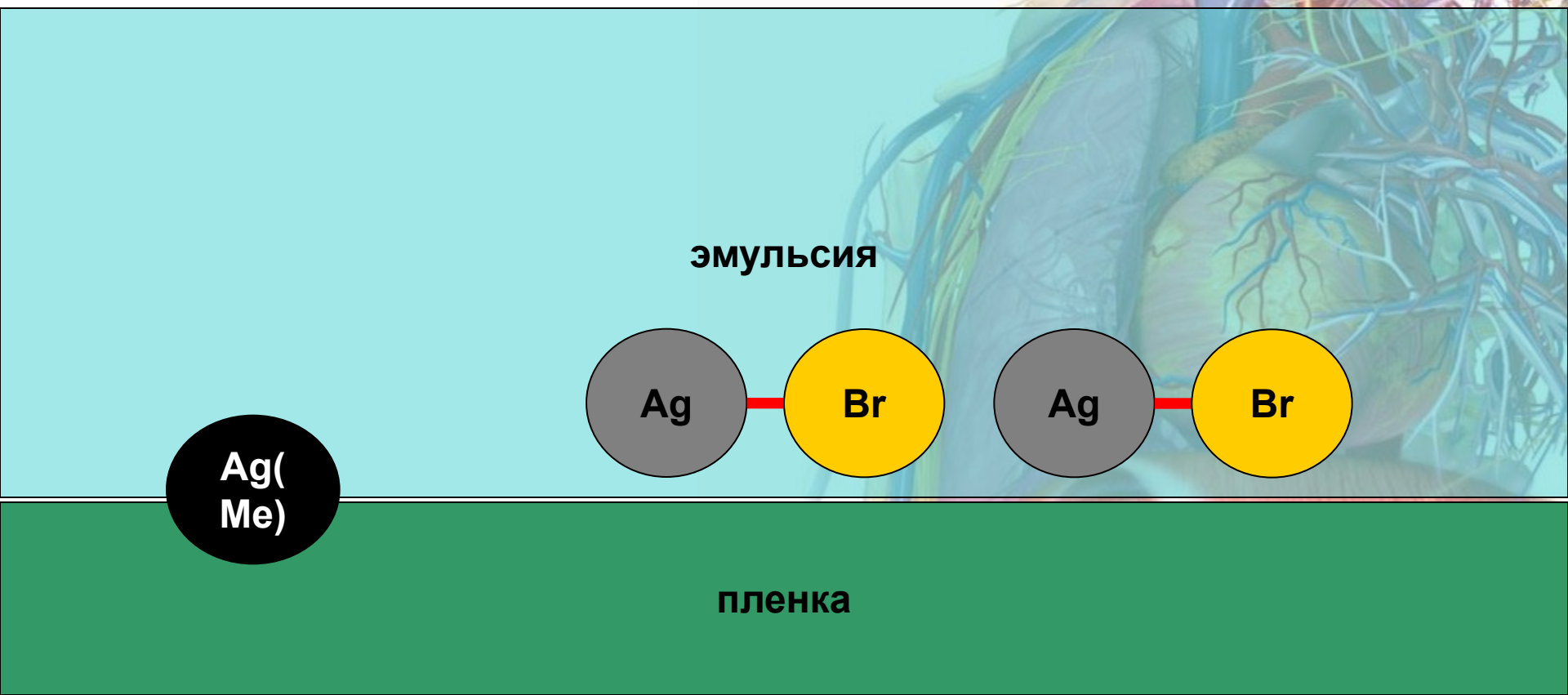
- сохраняющее вещество, обеспечивающее передачу электронов в щелочной среде
- ускоряющее вещество



# Физика рентгеновских процессов:

## От излучения до изображения

Очевидно, что необходимо убрать из фотоэмульсии все непрореагировавшее светочувствительное вещество, чтобы эта реакция не произошла в дальнейшем при попадании света на пленку



# Физика рентгеновских процессов:

От излучения до изображения

## Фиксирование:

Цель этапа – удаление неэкспонированных и, следовательно, не диссоциированных молекул галогенида серебра

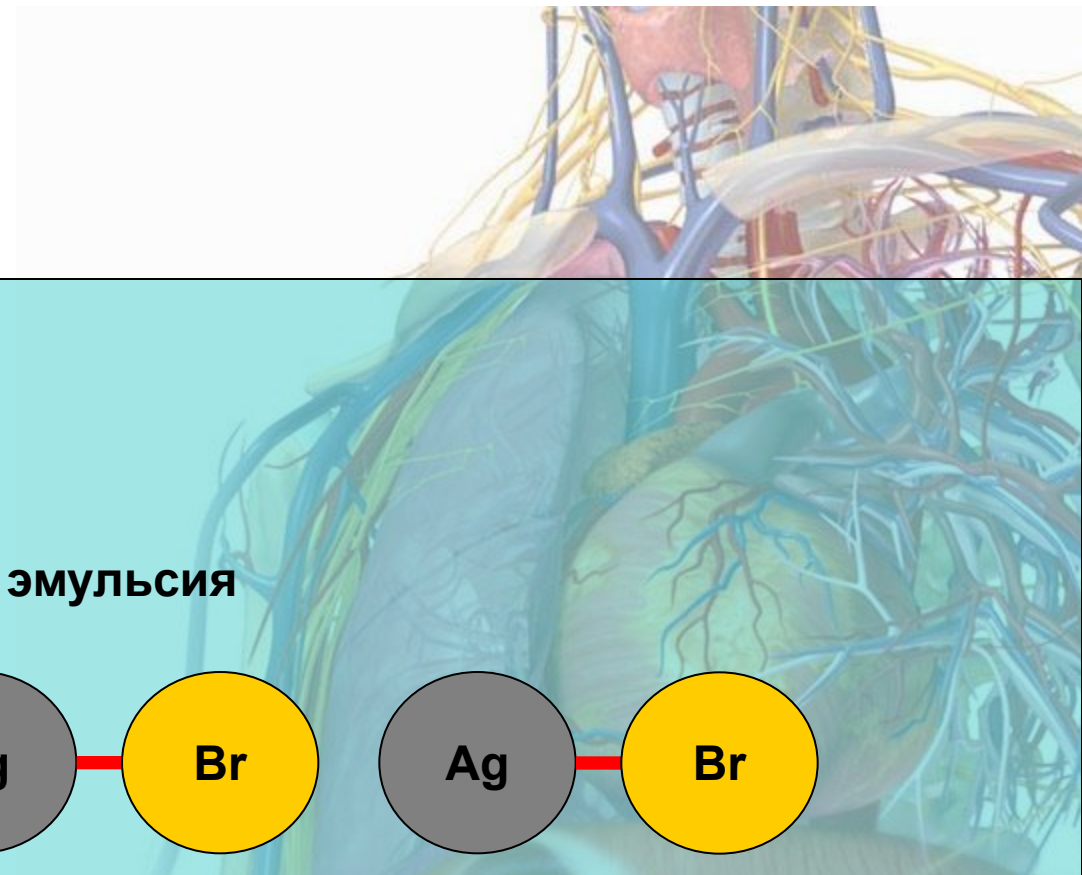
На стадии фиксирования неэкспонированные, практически нерастворимые в воде частицы галогенида серебра превращаются в растворимые в воде соединения, которые вымываются из эмульсии



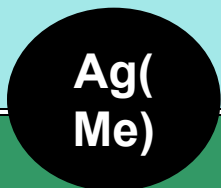
# Физика рентгеновских процессов: От излучения до изображения

## Фиксирование:

## Фиксаж:



эмульсия



пленка



# Физика рентгеновских процессов:

От излучения до изображения

**Результат: чередование экспонированных и неэкспонированных зон становится видимым в виде зон различного почернения пленки**



Кювета с реактивом



**Спасибо  
за внимание!**

