

# **РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ**

Рентгеновское излучение – это электромагнитные волны, энергия фотонов которых лежит на шкале электромагнитных волн между ультрафиолетовым излучением и гамма-излучением, что соответствует длинам волн от  $10^{-12}$  до  $10^{-8}$  м.

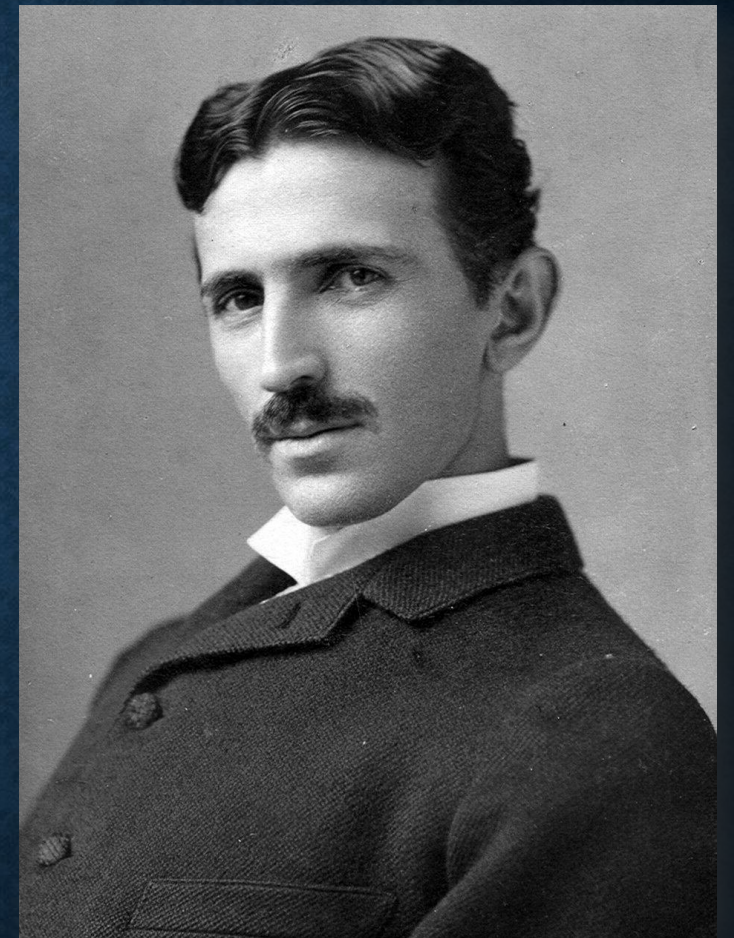
# ИСТОРИЯ ОТКРЫТИЯ



Вильгельм Конрад Рентген  
(1845 – 1923.гг)

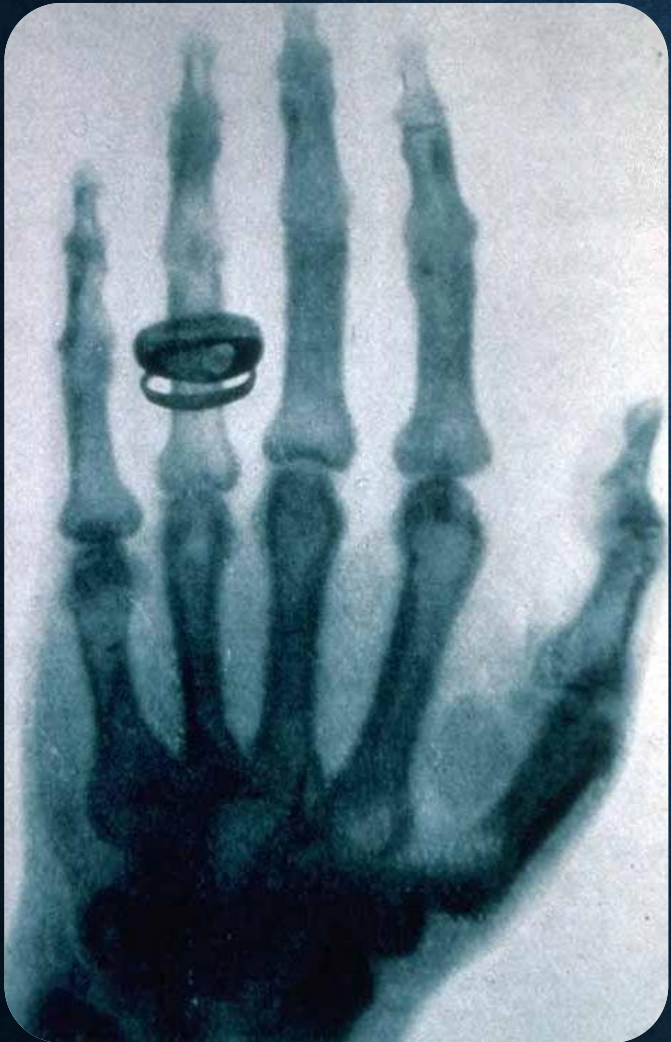
- ❖ Рентгеновское излучение было открыто Вильгельмом Конрадом Рентгеном. Изучая экспериментально катодные лучи, 8 ноября 1895 года он заметил, что находившийся вблизи катодно-лучевой трубки картон, покрытый платиносинеродистым барием, начинает светиться в тёмной комнате. В течение нескольких следующих недель он изучил все основные свойства вновь открытого излучения, названного им X-лучами.
- ❖ 22 декабря 1895 года Рентген сделал первое публичное сообщение о своём открытии в Физическом институте Вюрцбургского университета. 28 декабря 1895 года в журнале Вюрцбургского физико-медицинского общества была опубликована статья Рентгена под названием «О новом типе лучей».

Но ещё за 8 лет до этого — в 1887 году Никола Тесла в дневниковых записях зафиксировал результаты исследования рентгеновских лучей и испускаемое ими тормозное излучение, однако ни Тесла, ни его окружение не придали серьёзное значение этим наблюдениям. Кроме этого, уже тогда Тесла предположил опасность длительного воздействия рентгеновских лучей на человеческий организм.



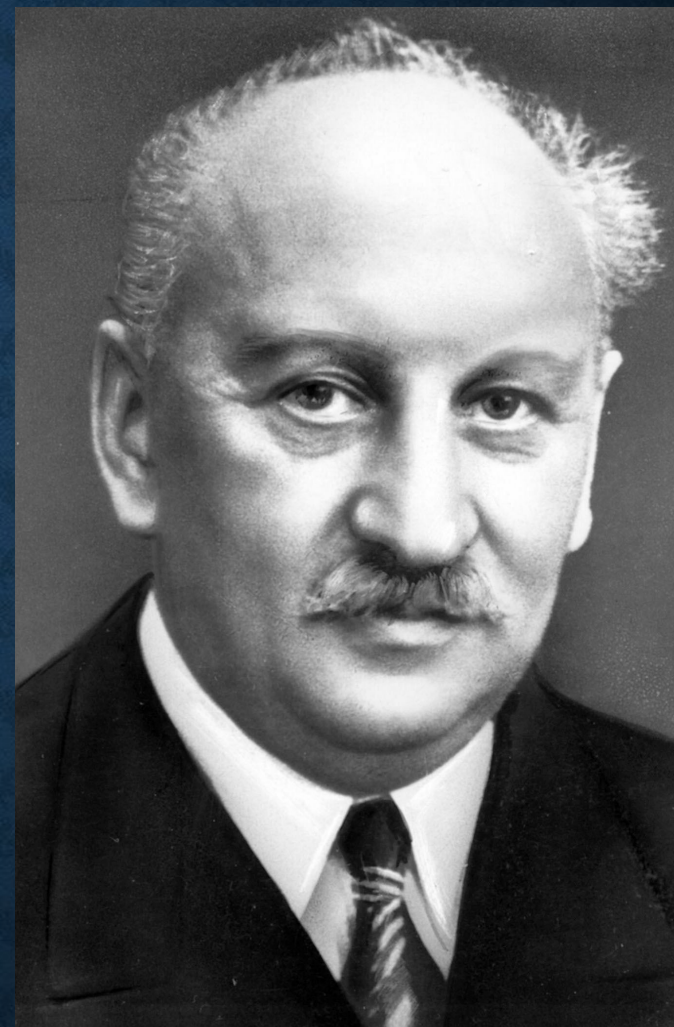
Никола Тесла  
(1856 – 1943.гг)

- ❖ Катодно-лучевая трубка, которую Рентген использовал в своих экспериментах, была разработана Й. Хитторфом и В. Круксом. При работе этой трубки возникают рентгеновские лучи. Это было показано в экспериментах Генриха Герца и его ученика Филиппа Ленарда через почернение фотопластинок. Однако никто из них не осознал значения сделанного ими открытия и не опубликовал своих результатов.
- ❖ По этой причине Рентген не знал о сделанных до него открытиях и открыл лучи независимо — при наблюдении флюоресценции, возникающей при работе катодно-лучевой трубки. Рентген занимался X-лучами немногим более года (с 8 ноября 1895 года по март 1897 года) и опубликовал о них три статьи, в которых было исчерпывающее описание новых лучей. Впоследствии сотни работ его последователей, опубликованных затем на протяжении 12 лет, не могли ни прибавить, ни изменить ничего существенного.



Рентген, потерявший интерес к X-лучам, говорил своим коллегам: «Я уже всё написал, не тратьте зря время». Свой вклад в известность Рентгена внесла также знаменитая фотография руки Альберта фон Кёликера, которую он опубликовал в своей статье.

- ❖ За открытие рентгеновских лучей Рентгену в 1901 году была присуждена первая Нобелевская премия по физике, причём нобелевский комитет подчёркивал практическую важность его открытия.
- ❖ В других странах используется предпочитаемое Рентгеном название X-лучи, хотя словосочетания, аналогичные русскому, (англ. *Roentgen rays* и т. п.) также употребляются. В России лучи стали называть «рентгеновскими» по инициативе ученика В. К. Рентгена — Абрама Фёдоровича Иоффе.



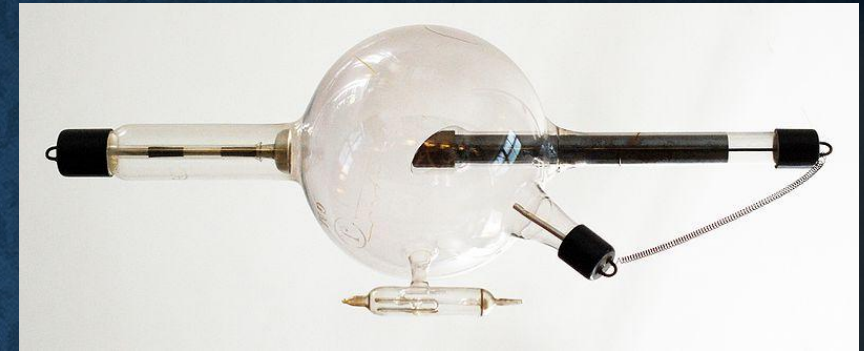
Абрам Фёдорович Иоффе  
(1880 – 1960.гг)



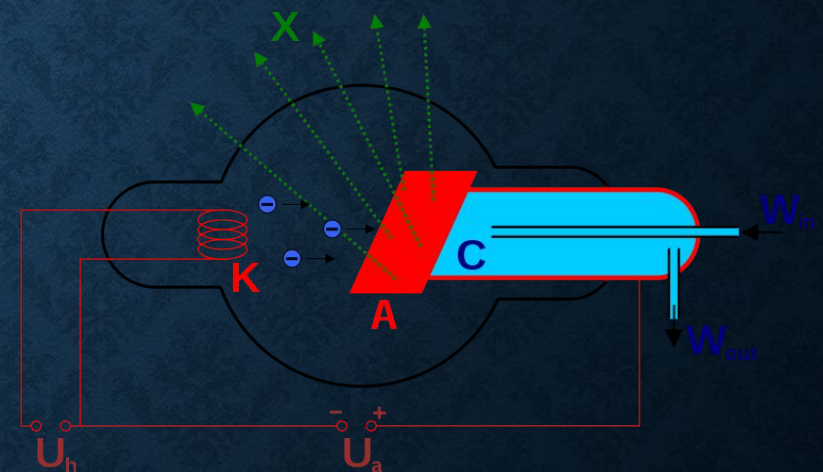
**ИСТОЧНИКИ  
РЕНТГЕНОВСКОГО  
ИЗЛУЧЕНИЯ**

- ❖ Рентгеновские лучи возникают при сильном ускорении заряженных частиц (тормозное излучение), либо при высокоэнергетических переходах в электронных оболочках атомов или молекул. Оба эффекта используются в рентгеновских трубках.
- ❖ Рентгеновское излучение можно получать также и на ускорителях заряженных частиц. Так называемое синхротронное излучение возникает при отклонении пучка частиц в магнитном поле, в результате чего они испытывают ускорение в направлении, перпендикулярном их движению. Синхротронное излучение имеет сплошной спектр с верхней границей. При соответствующим образом выбранных параметрах (величина магнитного поля и энергия частиц) в спектре синхротронного излучения можно получить и рентгеновские лучи.

- ❖ Основными конструктивными элементами рентгеновских трубок являются металлические катод и анод (ранее называвшийся также *антикатодом*).
- ❖ В рентгеновских трубках электроны, испущенные катодом, ускоряются под действием разности электрических потенциалов между анодом и катодом (при этом рентгеновские лучи не выпускаются, так как ускорение слишком мало) и ударяются об анод, где происходит их резкое торможение. При этом за счёт тормозного излучения происходит генерация излучения рентгеновского диапазона, и одновременно выбиваются электроны из внутренних электронных оболочек атомов анода.
- ❖ Пустые места в оболочках занимают другими электронами атома. При этом испускается рентгеновское излучение с характерным для материала анода спектром энергий.



Трубка Крукса



Схематическое изображение рентгеновской трубки. X — рентгеновские лучи, K — катод, A — анод (иногда называемый антикатодом), C — теплоотвод,  $U_h$  — напряжение накала катода,  $U_a$  — ускоряющее напряжение,  $W_{in}$  — впуск водяного охлаждения,  $W_{out}$  — выпуск водяного охлаждения.

# ЕСТЕСТВЕННОЕ РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

- ❖ На Земле электромагнитное излучение в рентгеновском диапазоне образуется в результате ионизации атомов излучением, которое возникает при радиоактивном распаде, в результате Комpton-эффекта гамма-излучения, возникающего при ядерных реакциях, а также космическим излучением.
- ❖ Радиоактивный распад также приводит к непосредственному излучению рентгеновских квантов, если вызывает перестройку электронной оболочки распадающегося атома (например, при электронном захвате).
- ❖ Рентгеновское излучение, которое возникает на других небесных телах, не достигает поверхности Земли, так как полностью поглощается атмосферой. Оно исследуется спутниковыми рентгеновскими телескопами, такими как «Чандра» и «ХММ-Ньютон».

**СВОЙСТА  
РЕНТГЕНОВСКОГО  
ИЗЛУЧЕНИЯ**

# ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ВЕЩЕСТВОМ

- ❖ Длина волны рентгеновских лучей сравнима с размерами атомов, поэтому не существует материала, из которого можно было бы изготовить линзу для рентгеновских лучей. Кроме того, при перпендикулярном падении на поверхность рентгеновские лучи почти не отражаются. Несмотря на это, в рентгеновской оптике были найдены способы построения оптических элементов для рентгеновских лучей. В частности, выяснилось, что их хорошо отражает алмаз.
- ❖ Рентгеновские лучи могут проникать сквозь вещество, причём различные вещества по-разному их поглощают. Поглощение рентгеновских лучей является важнейшим их свойством в рентгеновской съёмке. Интенсивность рентгеновских лучей экспоненциально убывает в зависимости от пройденного пути в поглощающем слое.
- ❖ Поглощение происходит в результате фотопоглощения (фотоэффекта) и комптоновского рассеяния.

- ❖ Под **фотопоглощением** понимается процесс выбивания фотоном электрона из оболочки атома, для чего требуется, чтобы энергия фотона была больше некоторого минимального значения. Если рассматривать вероятность акта поглощения в зависимости от энергии фотона, то при достижении определённой энергии она (вероятность) резко возрастает до своего максимального значения. Для более высоких значений энергии вероятность непрерывно уменьшается. По причине такой зависимости говорят, что существует *граница поглощения*. Место выбитого при акте поглощения электрона занимает другой электрон, при этом испускается излучение с меньшей энергией фотона, происходит т. н. процесс флуоресценции.
- ❖ Рентгеновский фотон может взаимодействовать не только со связанными электронами, но и со свободными, а также слабосвязанными электронами. Происходит рассеяние фотонов на электронах — т. н. **комptonовское рассеяние**. В зависимости от угла рассеяния, длина волны фотона увеличивается на определённую величину и, соответственно, энергия уменьшается. Комptonовское рассеяние, по сравнению с фотопоглощением, становится преобладающим при более высоких энергиях фотона.

# БИОЛОГИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

- ❖ Рентгеновское излучение является ионизирующим. Оно воздействует на ткани живых организмов и может быть причиной лучевой болезни, лучевых ожогов и злокачественных опухолей. По причине этого при работе с рентгеновским излучением необходимо соблюдать меры защиты. Считается, что поражение прямо пропорционально поглощённой дозе излучения. Рентгеновское излучение является мутагенным фактором.



**РЕГИСТРАЦИЯ  
РЕНТГЕНОВСКОГО  
ИЗЛУЧЕНИЯ**

# ЭФФЕКТ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ

- ❖ Рентгеновские лучи способны вызывать у некоторых веществ свечение (флюоресценцию). Этот эффект используется в медицинской диагностике при рентгеноскопии (наблюдение изображения на флюоресцирующем экране) и рентгеновской съёмке (рентгенографии). Медицинские фотоплёнки, как правило, применяются в комбинации с усиливающими экранами, в состав которых входят рентгенолюминофоры, которые светятся под действием рентгеновского излучения и засвечивают светочувствительную фотоэмульсию. Метод получения изображения в натуральную величину называется рентгенографией. При флюорографии изображение получается в уменьшенном масштабе. Люминесцирующее вещество (сцинтиллятор) можно оптически соединить с электронным детектором светового излучения (фотоэлектронный умножитель, фотодиод и т. п.), полученный прибор называется сцинтилляционным детектором. Он позволяет регистрировать отдельные фотоны и измерять их энергию, поскольку энергия сцинтилляционной вспышки пропорциональна энергии поглощённого фотона.

# ФОТОГРАФИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

- ❖ Рентгеновские лучи, также, как и обычный свет, способны напрямую засвечивать фотографическую эмульсию. Однако без флюоресцирующего слоя для этого требуется в 30—100 раз большая экспозиция (то есть доза). Преимуществом этого метода (известного под названием безэкранная рентгенография) является большая резкость изображения.

**ПРИМЕНЕНИЕ**

- ❖ При помощи рентгеновских лучей можно «просветить» человеческое тело, в результате чего можно получить изображение костей, а в современных приборах и внутренних органов. При этом используется тот факт, что у содержащегося преимущественно в костях элемента кальция атомный номер гораздо больше, чем атомные номера элементов, из которых состоят мягкие ткани, а именно водорода, углерода, азота, кислорода. Кроме обычных приборов, которые дают двумерную проекцию исследуемого объекта, существуют компьютерные томографы, которые позволяют получать объёмное изображение внутренних органов.
- ❖ Выявление дефектов в изделиях (рельсах, сварочных швах и т. д.) с помощью рентгеновского излучения называется рентгеновской дефектоскопией.
- ❖ В материаловедении, кристаллографии, химии и биохимии рентгеновские лучи используются для выяснения структуры веществ на атомном уровне при помощи дифракционного рассеяния рентгеновского излучения на кристаллах (рентгеноструктурный анализ). Известным примером является определение структуры ДНК.

- ❖ При помощи рентгеновских лучей может быть определён химический состав вещества. В электронно-лучевом микронзонде (либо же в электронном микроскопе) анализируемое вещество облучается электронами, при этом атомы ионизируются и излучают характеристическое рентгеновское излучение. Вместо электронов может использоваться рентгеновское излучение. Этот аналитический метод называется рентгенофлуоресцентным анализом.
- ❖ В аэропортах активно применяются рентгентелевизионные интроскопы, позволяющие просматривать содержимое ручной клади и багажа в целях визуального обнаружения на экране монитора предметов, представляющих опасность.
- ❖ Рентгенотерапия — раздел лучевой терапии, охватывающий теорию и практику лечебного применения рентгеновских лучей, генерируемых при напряжении на рентгеновской трубке 20—60 кВ и кожно-фокусном расстоянии 3—7 см (короткодистанционная рентгенотерапия) или при напряжении 180—400 кВ и кожно-фокусном расстоянии 30—150 см (дистанционная рентгенотерапия). Рентгенотерапию проводят преимущественно при поверхностно расположенных опухолях и при некоторых других заболеваниях, в том числе заболеваниях кожи (ультрамягкие рентгеновские лучи Букки).