

УДК 621.386

РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ. РЕНТГЕНОВСКИЕ ТРУБКИ X-RAY RADIATION. X-RAY TUBES

Н.В. Дейко

Научный руководитель – Т.Е. Жуковская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
N. Deiko

Supervisor – T. Zhukovskaya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: Рентгеновские лучи возникают при сильном ускорении заряженных частиц либо при высокоэнергетических переходах в электронных оболочках атомов. Оба эффекта используются в рентгеновских трубках. Рентгеновские трубки используются в различных областях, включая медицину, науку и промышленность. Они могут быть использованы для диагностики заболеваний, исследования материалов и производства полупроводниковых приборов.

Abstract: X-rays arise from the strong acceleration of charged particles or from high-energy transitions in the electron shells of atoms. Both effects are used in X-ray tubes. X-ray tubes are used in a variety of fields, including medicine, science and industry. They can be used for disease diagnosis, materials research and semiconductor device manufacturing.

Ключевые слова: рентгеновское излучение, рентгеновская трубка, анод, катод.
Keywords: x-ray radiation, x-ray tube, anode, cathode.

Введение

Рентгеновское излучение по природе своей является невидимым электромагнитным ионизирующим излучением, и на шкале электромагнитных волн располагается между волнами ультрафиолетового излучения и гамма-излучения, не имея каких-либо чётких границ (рис. 1).

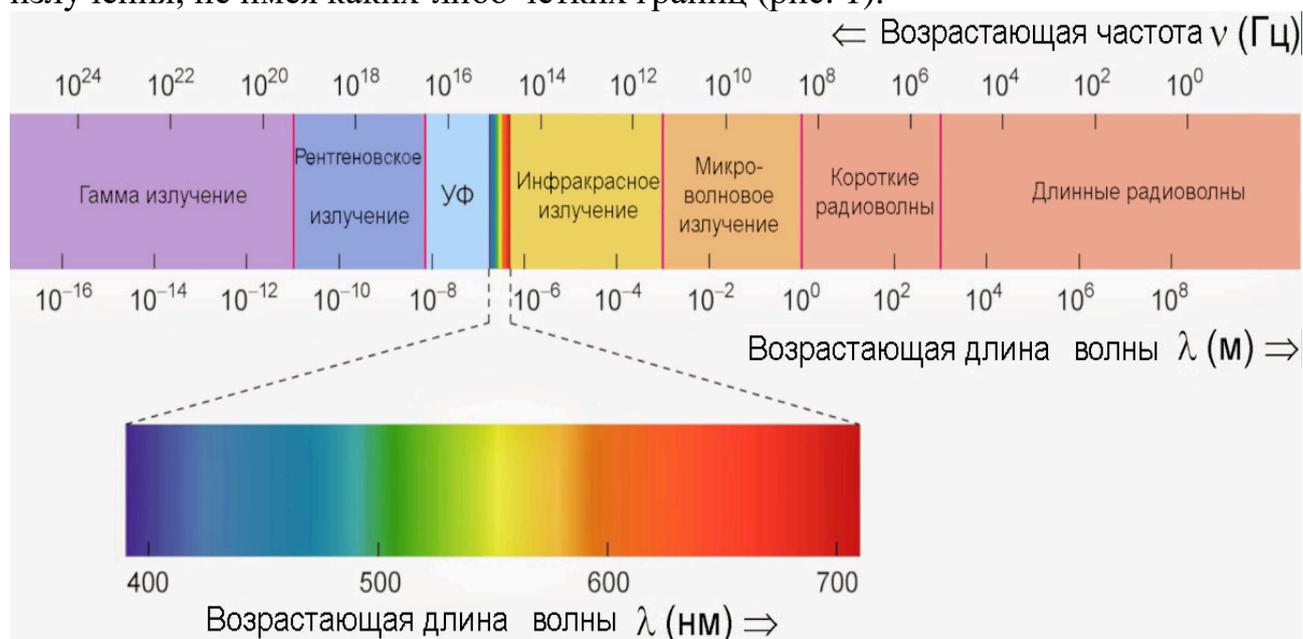


Рисунок 1 – Рентгеновское излучение

Основная часть

Рентгеновские лучи обладают высокой проникающей способностью, что позволяет им проходить через многие материалы и объекты. Однако, они представляют потенциальную опасность для здоровья человека и требуют особых мер предосторожности при работе с ними.

Принцип работы рентгеновских лучей заключается в том, что они проходят через объект и их энергия поглощается атомами и молекулами внутри объекта. Это позволяет получать информацию о структуре и составе изучаемого объекта при использовании рентгеновских лучей (рис. 2).

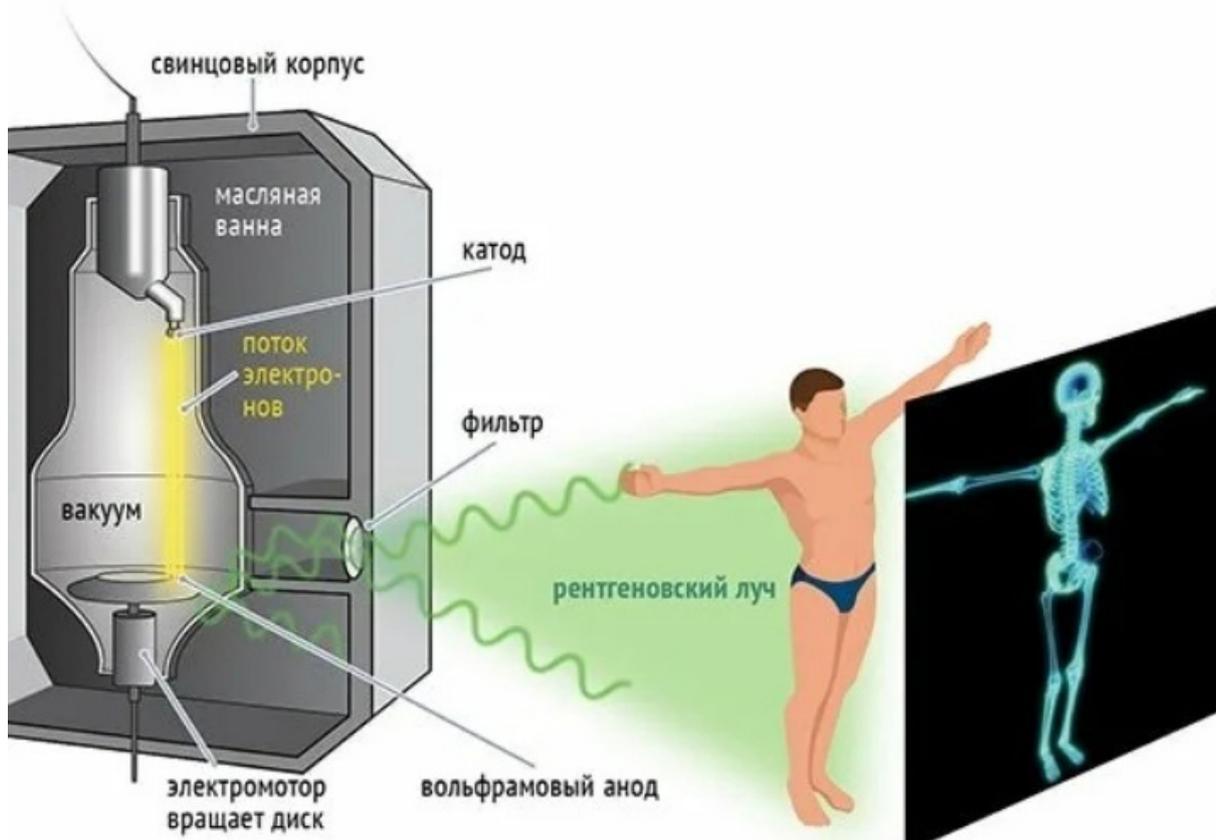
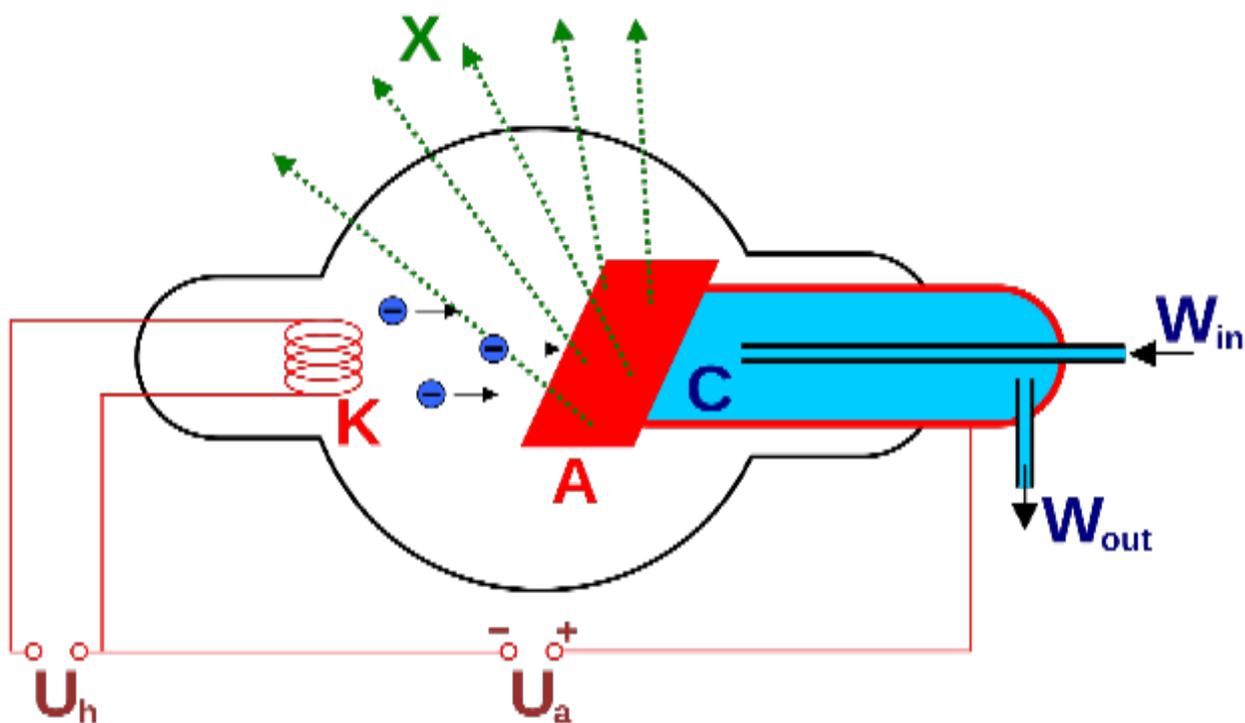


Рисунок 2 – Принцип работы рентгеновского излучения

Рентгеновская трубка.

Устройством, которое создаёт рентгеновское излучение путём прохождения электрического тока через анод, катод и вакуумную камеру, и называется рентгеновская трубка.

Опишем принцип работы и устройство рентгеновской трубки. Излучающий элемент состоит из вакуумного сосуда, внутри которого находятся два электрода: прямонакальный катод, представляющий собой спираль из вольфрамовой проволоки (часто с добавлением тория), молибденовой, танталовой или рениевой, иногда дополнительно сетка, и анод.



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

Рисунок 3 – Схематическое изображение рентгеновской трубки

Основными конструктивными элементами рентгеновской трубки являются металлические катод и анод с мишенью, мишень может быть изготовлена из различных металлов, в зависимости от назначения. В медицинских обычно вольфрамовая мишень, для рентгеноструктурного анализа используются платина, иридий, осмий или родий. Катод при нагревании испускает электроны (происходит термоэлектронная эмиссия). Возможно использование и холодного катода в некоторых высоковольтных (500 кВ и более) дефектоскопических рентгеновских трубках. Но существуют и фотоэмиссионные рентгеновские трубки, в которых поток электронов излучается засвеченным с помощью светодиода фотокатодом, и усиливается вторично-электронным умножителем. Далее из-за большой разности потенциалов между катодом и анодом (десятки – сотни киловольт, иногда и более мегавольта) поток электронов ускоряется и приобретает большую энергию. Полученный ускоренный пучок электронов попадает на положительно заряженный анод (рис. 4).

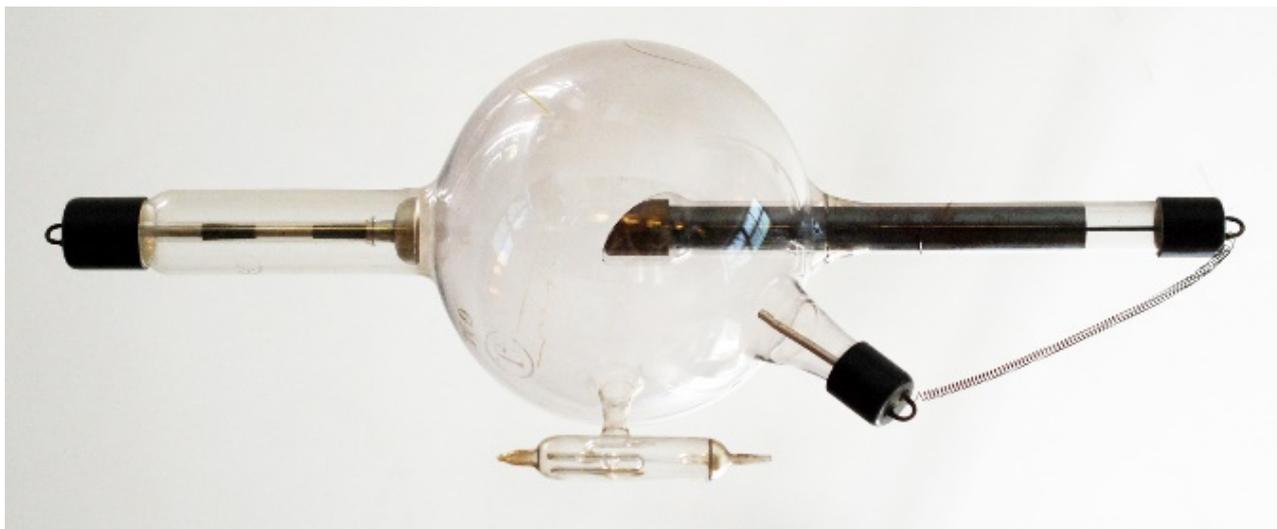


Рисунок 4 – Ионная рентгеновская трубка с холодным катодом для демонстрационных экспериментов на уроках физики (снизу виден генератор ионов)

Достигая анода, электроны испытывают резкое торможение, моментально теряя большую часть приобретённой энергии. При этом возникает тормозное излучение рентгеновского диапазона. В процессе торможения лишь около 1 % кинетической энергии электрона идёт на рентгеновское излучение, 99 % энергии превращается в тепло. Чтобы предотвратить перегрев анода, в мощных рентгеновских трубках применяют водное или масляное охлаждение и вращающийся анод.

Рентгеновские трубки работают в режиме почти плоского диода, поэтому ток через трубку определяется законом степени трёх вторых (при неизменной температуре катода): $I_a = K \cdot U_a^{3/2}$ – где I_a – ток анода, U_a – напряжение анода, K – коэффициент пропорциональности, индивидуальный для каждой лампы (трубки). Для регулировки тока через трубку управляют количеством испускаемых электронов, изменяя напряжение накала.



Рисунок 5 – Советская рентгеновская трубка для рентгеноструктурных исследований, источник низкоэнергетического рентгеновского излучения (справа видно бериллиевое окно, анод с водяным охлаждением, в средней части находится прямонакальный катод)



Рисунок 6 – Медицинская рентгеновская трубка ЗБДМ2-100 (произведена заводом «Светлана» СССР, 1979 год)

Для медицинских трубок, используемых в рентгенографии, типичные значения анодного напряжения составляют от 60 до 80 кВ, с током в десятках миллиампер, что обеспечивает импульсную мощность нескольких киловатт. В рентгенокопии часто используется непрерывный режим при токах в несколько миллиампер. Для рентгенотерапии применяются трубки с анодным напряжением более 100 кВ для производства жёсткого рентгеновского излучения.

Основными параметрами рентгеновской трубки являются:

- номинальное напряжение на трубке (10–2000 кВ);
- линейные размеры фокусного пятна (1 мкм – 10 мм);
- номинальная мощность (для трубок непрерывного действия – от 20 мВт до 90 кВт);
- угол раствора рабочего пучка рентгеновского излучения (3–180° в зависимости от конструкции трубки);
- коэффициент полезного действия (0,1–5 %).

Заключение

Открытие рентгеновских лучей имеет огромное значение для различных областей, поскольку позволило ученым изучать структуру и состав материалов, а также проводить диагностику и лечение болезней.

Рентгеновское излучение обладает следующими важными свойствами, отличающими его от других видов излучений: высокая частота (находится в диапазоне от нескольких десятков килогерц до нескольких сотен мегагерц), высокая энергия (позволяет им проникать через многие материалы, включая кожу и кости), невидимость (для человеческого глаза могут быть обнаружены только с помощью специальных детекторов или приборов), ионизация (могут ионизировать атомы и молекулы, что может привести к повреждению биологических тканей).

Рентгеновские трубки играют ключевую роль в современной медицине и науке. Они используются для создания изображений внутренних структур

организмов и материалов, что позволяет диагностировать заболевания, исследовать материалы и контролировать процессы производства.

Технология рентгеновских трубок не только улучшает точность диагностики, но и способствует развитию новых материалов и технологий, играя важную роль в различных областях науки и промышленности.

Литература

1. Быстров Ю.Ф Ускорительная техника и рентгеновские приборы / Ю.А. Быстров, С.А. Иванов. – Москва : Высшая школа, 1983. – 288 с.
2. Иванов С.А. Рентгеновские трубки технического назначения / С.А. Иванов, Г.А. Щукин. – Ленинград : Энергоатомиздат : Ленингр. отд-ние, 1989. – 200,[1] с.
3. Блохин М.А. Рентгеновское излучение // Физическая энциклопедия.
4. Кацман А.Я. Медицинская рентгенология / А.Я. Кацман – Л.: Медгиз, 1957. – 663 с.