

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра проектирования и технологии радиоэлектронных средств

А.С. ЛЕЛЮХИН

СВОЙСТВА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И СПОСОБЫ ЕГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНОМУ ПРАКТИКУМУ

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом
государственного образовательного учреждения высшего
профессионального образования «Оренбургский государственный
университет»

Оренбург 2007

УДК 535-34 (076,5)
ББК 22,346 я73
Л 43

Рецензент
кандидат физико-математических наук, доцент Е.А. Корнев

Л 43 **Лелюхин, А.С.**
Свойства рентгеновского излучения и способы его возбуждения: методические указания к лабораторному практикуму /А.С. Лелюхин. - Оренбург: ГОУ ОГУ, 2007.- 36 с.

Лабораторный практикум состоит из четырех лабораторных работ. Каждая работа включает теоретический материал, контрольные вопросы и задания.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторного практикума по дисциплине «Детекторы рентгеновских изображений» для студентов специальности 210201 «Проектирование и технология радиоэлектронных средств».

ББК 22,346 я73

© Лелюхин А.С., 2007
© ГОУ ОГУ, 2007

Содержание

1 Лабораторная работа №1. Общие сведения о рентгеновском излучении..	4
1.1 Свойства рентгеновского излучения.....	4
1.2 Возбуждение рентгеновского излучения.....	5
2 Лабораторная работа №2. Рентгеновские трубки.....	12
2.1 Устройство и принцип работы рентгеновских трубок.....	12
2.2 Рентгеновские трубки для анализа по первичным спектрам	18
3 Лабораторная работа №3. Устройство и принцип функционирования рентгеновских аппаратов.....	21
3.1 Структура рентгеновского аппарата	21
3.2 Генераторы.....	22
4 Лабораторная работа №4. Принципы радиационной безопасности при работе с источниками рентгеновского излучения	26
4.1 Нормирование доз облучения при работе с источниками ионизирующих излучений.....	26
4.2 Основные дозиметрические величины, используемые для характеристики рентгеновского излучения.....	28
4.3 Дозиметр рентгеновского и гамма-излучения – ДКС-1123.....	30
Список использованных источников	36

1 Лабораторная работа №1. Общие сведения о рентгеновском излучении

Цель работы: Познакомиться с основными способами возбуждения и свойствами рентгеновского излучения. Ответить на вопросы в конце работы.

1.1 Свойства рентгеновского излучения

Рентгеновское излучение было открыто в 1895 году немецким физиком В.К. Рентгеном и названо им X-лучами. Рентгеном было установлено, что X-лучи обладают удивительным свойством: проходить через вещества, непрозрачные для видимого света (картон, металлические фольги, человеческое тело, дерево и пр.). Прохождение рентгеновского излучения через вещество сопровождается ослаблением энергии излучения, причем в большей степени для более плотных веществ. Эти свойства рентгеновского излучения широко применяются в медицине при диагностике заболеваний и в технике при проверке качества изделий (отсутствие трещин, раковин, включений).

Рентгеновское излучение ионизирует атомы среды, в которой оно распространяется, и вследствие этого вызывает флюоресценцию (для некоторых веществ в видимой части спектра). Свойства ионизации и флюоресценции используются для регистрации рентгеновского излучения с помощью счетчиков и флюоресцирующих экранов. По степени ионизации можно оценивать интенсивность излучения. Под интенсивностью понимают энергию излучения, которое проходит через «единичную» площадку, перпендикулярную лучу, за единицу времени. Наиболее простым способом регистрации рентгеновского излучения является фотографический способ.

На границе двух сред рентгеновское излучение испытывает преломление. Абсолютный показатель преломления среды n вычисляется по формуле

$$n = \frac{c}{v} \quad (1.1)$$

Так как абсолютный показатель преломления среды n меньше единицы на несколько миллионных долей, то фазовая скорость рентгеновского излучения в средах v будет больше c – скорости света в вакууме.

Волновая природа рентгеновских лучей установлена в 1912 году немецкими физиками М.Лауэ, В.Фридрихом и П.Книппингом,

открывшими явление дифракции рентгеновских лучей на атомной решётке кристаллов. Направив узкий пучок рентгеновских лучей на неподвижный кристалл, они зарегистрировали на помещённой за кристаллом фотопластинке дифракционную картину, которая состояла из большого числа закономерно расположенных пятен. Рентгенограмма, полученная таким методом, носит название лауэграммы.

Английские ученые Брэгги и русский ученый Вульф показали, что дифрагированный луч можно рассматривать как зеркально отраженный от атомных «плоскостей», образующих с падающим и отраженным лучами один и тот же угол θ

$$\sin \theta = n\lambda / 2d, \quad (1.2)$$

где n – порядок отражения;
 λ – длина волны излучения;
 d – расстояние между соседними отражающими атомными плоскостями.

Уравнение Вульфа-Брэггов (1.2) используется в структурном анализе при определении d по углу θ при известном $n\lambda$ и в рентгеноспектральном анализе при определении λ по углу θ при известном d .

В 1913 году ученик Резерфорда Мозли, изучая рентгеновские спектры химических элементов, установил закон изменения частоты ν спектральной линии с изменением атомного номера элемента Z

$$\sqrt{\nu} = A \cdot (Z - B) \quad (1.3)$$

Величины A и B рассматриваются ниже.

Спектроскопические исследования показали, что длины рентгеновского излучения атомов располагаются в интервале от 10^{-1} до 10^{-2} Å. Открытие Мозли нашло важное применение при определении химического состава вещества по спектру его рентгеновского излучения. Рентгеноспектральный анализ является одним из основных методов атомной физики, позволяющим устанавливать распределение электронов в атоме по энергиям.

1.2 Возбуждение рентгеновского излучения

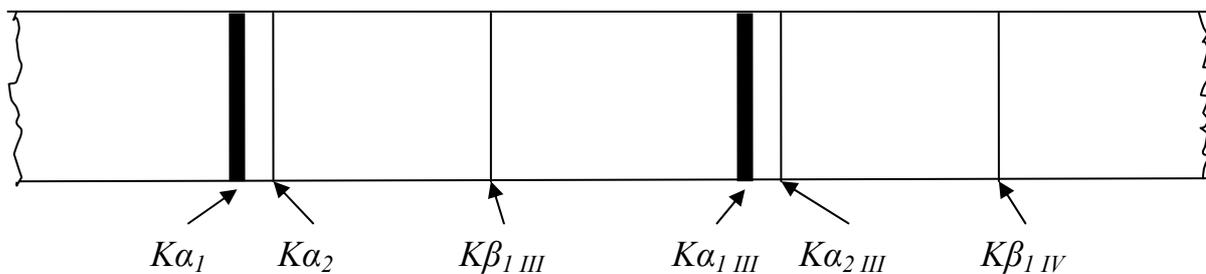
В настоящее время известно несколько способов возбуждения рентгеновского излучения:

- облучение вещества катодными лучами (быстрыми электронами). Возникающее при этом излучение называется первичным;

- облучение вещества γ – или рентгеновским излучением. При этом возникает, так называемое, вторичное излучение;
- облучение вещества протонами и ионами;
- космическое рентгеновское излучение, механизм возбуждения которого не ясен.

На практике в основном применяется вторичное и первичное излучение. Космическое излучение интенсивно исследуется при помощи спутников, оборудованных рентгеновскими телескопами.

Определяющей характеристикой излучения является его спектр – распределение энергии излучения по частотам или длинам волн. Существует два принципиально различных по своему происхождению и форме спектра - линейчатый и сплошной. На рисунке 1.1 представлена спектрограмма меди, полученная с помощью спектрографа типа ДРС-2. Линейчатый спектр состоит из набора отдельных узких линий, соответствующих определенным частотам (длинам волн). Сплошной спектр представляется в виде непрерывного фона.

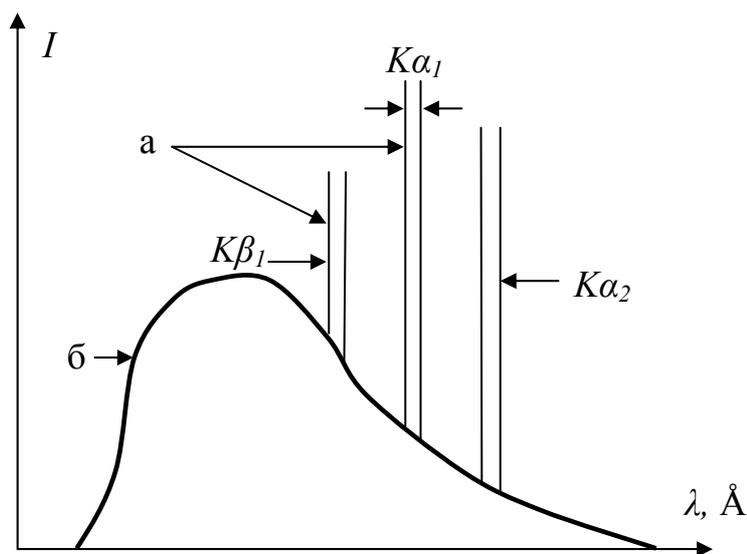


$K\alpha_1$, $K\alpha_2$, $K\beta_1$ – название спектральной линии;
цифры *II*, *III*, *IV* указывают порядок отражения n .

Рисунок 1.1 - Спектрограмма меди

Распределение энергии (интенсивности) излучения по длинам волн в линейчатом и сплошном спектрах изображено на рисунке 1.2.

Вторичное (флуоресцентное) излучение имеет линейчатый спектр. Первичное излучение, возбуждаемое «быстрыми» электронами, имеет сплошной и линейчатый спектр. Квантовая теория линейчатого спектра исходит из того, что при облучении атомов вещества электронами или фотонами достаточно высокой энергии происходит ионизация внутренних электронных оболочек. При ионизации атом приобретает порцию дополнительной энергии, по величине равной энергии выбитого электрона. Атом с ионизированной оболочкой находится в возбужденном состоянии. Степень или уровень возбуждения атома определяется величиной приобретенной им энергии. Самым высоким уровнем энергии возбужденного атома является К-уровень (ионизирована ближайшая к ядру К-оболочка атома), затем идут М-уровень и т.д. Оболочки выше К распадаются на подуровни L_I , L_{II} , L_{III} .



а- линейчатый спектр; б- сплошной спектр; I – интенсивность; λ – длина волны; λ_0 – коротковолновая граница сплошного спектра

Рисунок 1.2 - Распределение интенсивности по длинам волн в линейчатом и сплошном спектрах

Переход атома с более высокого уровня на более низкий сопровождается излучением фотона с энергией

$$h\nu_{i,f} = E_i - E_f, \quad (1.4)$$

где E_i , E_f – энергии более высокого и более низкого уровней энергии соответственно;

h – постоянная Планка.

Уровни энергии возбужденного атома дискретны, следовательно, частоты фотонов также будут дискретными, а соответствующие спектры – линейчатыми. На рисунке 1.3 представлена диаграмма уровней и схема некоторых переходов.

Из квантовой теории следует, что энергия уровней соответствующих фотонов зависит от атомного номера, следовательно, частоты линейчатого спектра каждого атома будут строго определенными. По этой причине излучение с линейчатым спектром называется характеристическим. Спектральные линии характеристического излучения группируются в серии по общему объему начального уровня возбужденного атома. Например, К-серия состоит из спектральных линий, возникающих при переходах с К-уровня на другие нижележащие. L-серия возникает при переходе с L- уровня на другие более низкие и т.д. Каждая линия серии имеет определенное обозначение, состоящее из названия

серии и греческой буквы с индексом, соответствующей определенному переходу возбужденного атома. Например, $K\alpha_1$, $K\alpha_2$, $L\alpha_1$, $L\alpha_2$, $L\beta_1$, $M\alpha_1$, и т.д. Наиболее интенсивная линия L_1 . Самая коротковолновая К-серия.

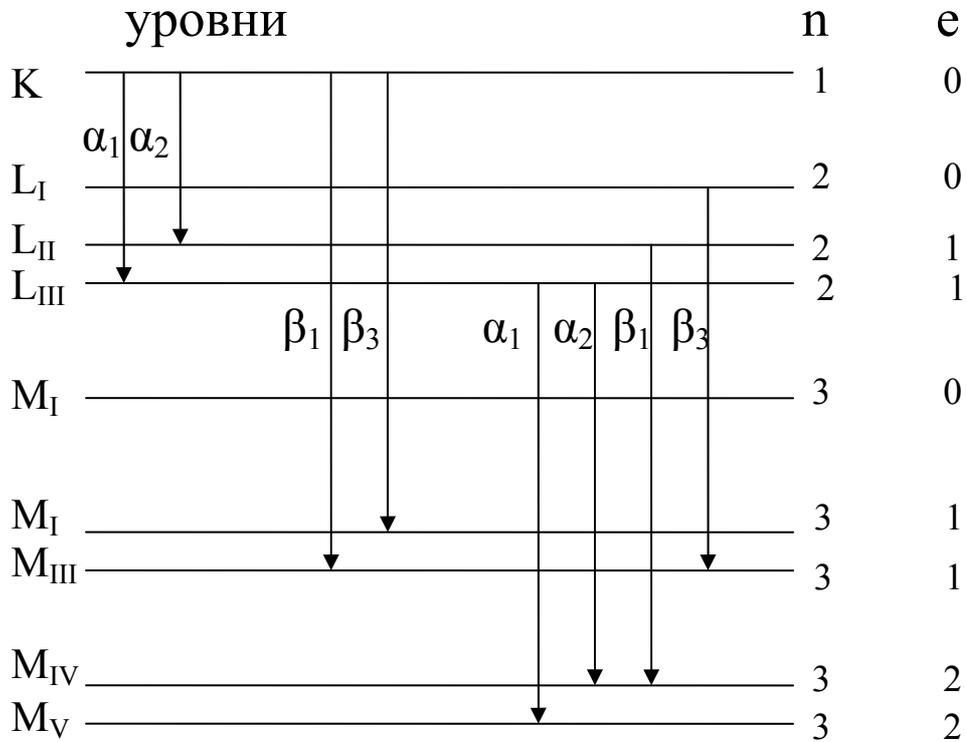


Рисунок 1.3 - Диаграмма уровней и схемы переходов

Закон Мозли выполняется для одноименных спектральных линий. Если выражение (1.3) записать в явном виде, то получим:

$$\sqrt{\nu} = (z - \sigma) \cdot \sqrt{Rc \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2} \right)}, \quad (1.5)$$

где $\sqrt{Rc \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2} \right)} = A$ — есть постоянная для одноименных спектральных линий;

n_i и n_f — главные квантовые числа начального i и конечного f уровней;

R — постоянная Ридберга;

c — скорость света в вакууме;

σ — условная постоянная экранирования, которая изменяется с Z в небольших пределах.

Важной характеристикой спектральной линии является ее интенсивность I_ν , зависимость которой от режима работы рентгеновской трубки приближенно представлена формулой

$$I_\nu = k \cdot \frac{1}{r^2} \cdot i(U - U_0)^2, \quad (1.6)$$

где k определяется типом спектральной линии;
 r – расстояние от фокуса рентгеновской трубки до точки наблюдения;

i – сила тока в трубке;

U – напряжение на трубке;

U_0 – потенциал возбуждения данной серии.

Интенсивность спектральных линий определяется при проведении количественного спектрального или структурного анализ, поглощении рентгеновского излучения и пр.

Излучение со сплошным спектром называется тормозным, так как оно возникает при торможении электрона в поле ядра атома, облучаемого катодными лучами. Энергия движущегося электрона при торможении излучается в виде электромагнитных волн. Согласно квантовым представлениям за один акт торможения излучается фотон с энергией

$$h\nu = E_1 - E_2, \quad (1.7)$$

где E_1, E_2 – кинетическая энергия электрона до и после торможения соответственно.

Степень торможения зависит от того, насколько близко к ядру атома проходит электрон. Чем ближе к ядру, тем сильнее торможение и тем больше $h\nu$ (рисунок 1.4).

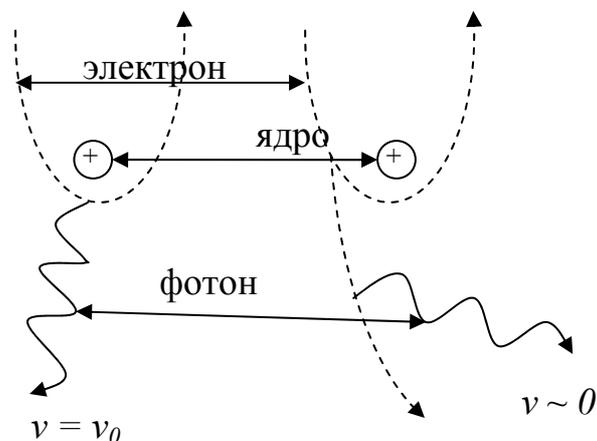


Рисунок 1.4 - Столкновение электрона с ядром

Так как электроны катодного пучка могут двигаться по любым траекториям, то возникающие фотоны могут иметь любые значения энергии от нуля до максимального значения, т.е. тормозное излучение будет иметь непрерывный спектр. Фотон с наибольшей энергией определяется из условия

$$h\nu = eU, \quad (1.8)$$

а коротковолновая граница сплошного спектра λ_0 определяется по формуле

$$\lambda_0 = \frac{hc}{l} \cdot \frac{1}{U}. \quad (1.9)$$

Если U выразить в киловольтах, а λ_0 в ангстремах, то $\lambda_0 = \frac{12,395}{U}$.

Итак, наименьшая длина волны тормозного излучения определяется напряжением на рентгеновской трубке. Формула (1.9) позволяет наиболее точно определить значение фундаментальной постоянной Планка из экспериментального определения λ_0 и U .

Тормозное излучение характеризуется интегральной интенсивностью $I_{интегр.}$, учитывающей энергию всего сплошного спектра. Зависимость $I_{интегр.}$ от режима работы рентгеновской трубки и атомного номера Z можно представить в виде:

$$I_{интегр.} = a \cdot i \cdot U^2 \cdot Z \cdot \frac{1}{r^2}, \quad (1.10)$$

где a – постоянная относительно i , U , Z , r .

Тормозное излучение находит широкое применение в различных методах спектрального и структурного анализов и при воспроизведении внутренней структуры исследуемых объектов.

Контрольные вопросы и задания

- 1 Назовите основные свойства рентгеновского излучения.
- 2 Поясните, какова природа рентгеновского излучения. В чем отличие рентгеновского излучения от гамма – излучения?
- 3 Какой основной принцип положен в основу исследования внутренней структуры просвечиваемых объектов?
- 4 Укажите примерное значение коэффициента преломления рентгеновского излучения.
- 5 Запишите уравнение Вульфа - Брэгга. Поясните суть рентгено-структурного анализа.

6 Сформулируйте закон Мозли. Поясните суть рентгено-спектрального анализа.

7 Назовите способы возбуждения рентгеновского излучения.

8 Поясните, что понимают под вторичным рентгеновским излучением. Как распределяется энергия вторичного излучения по длинам волн?

9 Поясните, от чего зависит интенсивность спектральных линий.

10 Что понимают под тормозным рентгеновским излучением, и как оно возникает? Какой спектральный состав имеет тормозное рентгеновское излучение?

11 Как изменится спектральный состав тормозного излучения при прохождении через поглощающий материал. Можно ли спектры поглощения использовать для определения химического состава вещества?

12 В каких случаях рентгеновское излучение ослабляется веществом в меньшей степени чем видимый свет, а в каких - в большей степени? Дать объяснение.

13 Как должно меняться направление распространения рентгеновского излучения при переходе из вакуума в вещество?

14 Как отличается величина A в уравнении закона Мозли для спектральных линий $K\alpha_1$ и $K\alpha_2$; $K\beta_1$ и $K\beta_2$?

15 В каких единицах измеряется абсолютная интенсивность?

16 Чем отличается понятие «интенсивность» от понятия «плотность потока энергии»?

17 Чем отличаются рентгеноспектральный и рентгеноструктурный анализы?

2 Лабораторная работа №2. Рентгеновские трубки

Цель работы: Познакомиться с устройством и принципом работы рентгеновских трубок. Ответить на вопросы в конце работы.

2.1 Устройство и принцип работы рентгеновских трубок

Наиболее эффективным устройством для генерирования рентгеновских лучей является рентгеновская трубка. Важнейшими элементами трубки являются катод и анод. В простейшем типе трубки используется неподвижный анод, помещенный в непроницаемую стеклянную колбу, из которой полностью откачан воздух (рисунок 2.1). При нагреве катода происходит электронная эмиссия, электроны, вылетающие из катода, ускоряются электрическим полем и ударяются о поверхность анода. От обычного вакуумного диода рентгеновскую трубку отличает, в основном, более высокое ускоряющее напряжение (более 1 кВ).

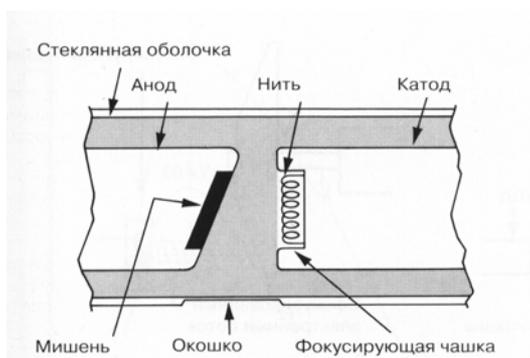


Рисунок 2.1 - Структура рентгеновской трубки с неподвижным анодом

Для возбуждения рентгеновского излучения в трубках необходимо:

- получить свободные электроны;
- сообщить свободным электронам кинетическую энергию от нескольких тысяч до 1-2 млн. электронвольт;
- осуществить взаимодействие быстро летящих электронов с атомами анода.

Когда электрон вылетает из катода, электрическое поле заставляет его лететь по направлению к аноду, при этом скорость его непрерывно возрастает. Достигая поверхности анода электрон резко тормозится, при этом возникает тормозное излучение. Распределение интенсивности излучения по длинам волн зависит от материала анода рентгеновской трубки и приложенного напряжения, при этом со стороны коротких волн эта кривая начинается с некоторой пороговой минимальной длины волны,

зависящей от приложенного напряжения. Совокупность лучей со всеми возможными длинами волн образует непрерывный спектр, и длина волны, соответствующая максимальной интенсивности, в 1,5 раза превышает минимальную длину волны.

При увеличении напряжения рентгеновский спектр резко меняется за счет взаимодействия атомов с высокоэнергетичными электронами и квантами первичных рентгеновских лучей. Возникает характеристическое излучение. В отличие от рентгеновских лучей с непрерывным спектром, у этого излучения очень узкий интервал длин волн и высокая интенсивность.

Вследствие высокой интенсивности и узкого интервала длин волн характеристическое рентгеновское излучение является основным типом излучения, используемым в научных исследованиях и при технологическом контроле. Чтобы получить излучение с одной длиной волны (монохроматическое излучение), разработаны специальные методы, использующие зависимость поглощения и дифракции рентгеновских лучей от длины волны. Увеличение атомного номера элемента связано с изменением характеристик электронных оболочек, при этом чем больше атомный номер материала анода рентгеновской трубки, тем меньше длина волны K-серии. Наиболее широко применяются трубки с анодами из элементов с атомными номерами от 24 до 42 (Cr, Fe, Co, Cu, Mo) и длинами волн от 2,29 до 0,712 Å (0,229 – 0,712 нм).

Рентгеновские трубки классифицируются по следующим признакам.

1) по способу получения свободных электронов. При этом различают трубки *ионные* и *электронные*. В ионных трубках свободные электроны создаются в результате бомбардировки холодного катода положительными ионами, возникающими в разреженном (до 10^{-3} - 10^{-4} мм.рт.ст.) газе при приложении к ним высокого напряжения. Ионные трубки неустойчивы в работе из-за повышенной чувствительности к колебаниям вакуума, поэтому их применение почти полностью исключено;

2) по способу создания и поддержания вакуума. При этом различают трубки *запаянные* и *разборные*. В запаянных трубках высокий вакуум создается еще при изготовлении и сохраняется в течение всего периода эксплуатации благодаря герметичности ее корпуса (баллона). Нарушение вакуума приводит к выходу трубки из строя. В разборных трубках вакуум создается и поддерживается с помощью вакуумного насоса в процессе эксплуатации;

3) по назначению. Трубки применяются для просвечивания материалов для рентгеноструктурного и рентгеноспектрального анализов и для медицинских целей (диагностические и терапевтические);

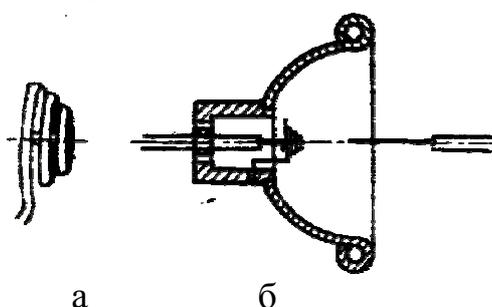
4) по способу охлаждения (воздушное, водяное, масляное);

5) по величине (площади) фокуса. Изготавливают трубки с *нормальным* (6 - 7 мм²) и *острым* (несколько сотых или тысячных долей квадратного миллиметра) фокусом;

б) по конструкции электродов.

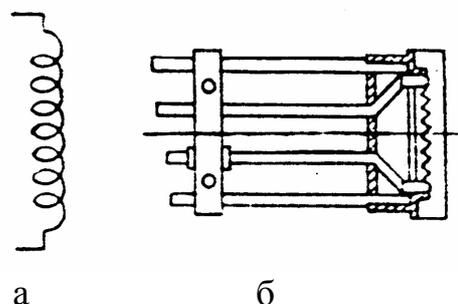
Катод в электронных рентгеновских трубках обычно представляет собой вольфрамовую спираль около 1мм диаметром и 10-15 мм длиной, часто покрываемую слоем тория для повышения эмиссионных характеристик. Спираль помещают в фокусирующий колпачок, чтобы сузить пучок электронов, летящих с катода на анод, и уменьшить размеры фокусного пятна трубки.

Фокусом трубки называют площадку на аноде, на которую падают электроны и от которой излучаются рентгеновские лучи. Современные рентгеновские трубки имеют круглый или линейчатый фокус. Соответственно, катод выполняют либо в виде спирали, помещенной внутри фокусирующей чашечки (рисунок 2.2), либо в виде винтовой линии, находящейся внутри полуцилиндра (рисунок 2.3). Размеры и форму фокуса можно определить экспериментально съемкой фокуса с помощью камеры - обскуры (рисунок 2.4).



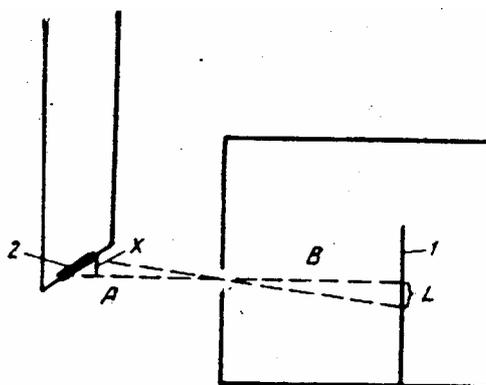
а — спираль; б — спираль в фокусирующей чашке

Рисунок 2.2- Устройство катода трубки с круглым фокусом



а — спираль; б — крепление спирали в фокусирующем полуцилиндре

Рисунок 2.3- Устройство катода трубки с линейчатым фокусом



1 — фотопластинка; 2 — фокус

Рисунок 2.4- Определение размера и формы фокуса с помощью камеры-обскуры

Поперечный размер x фокусного пятна определяется по формуле

$$x = L \cdot \frac{A}{B}, \quad (2.1)$$

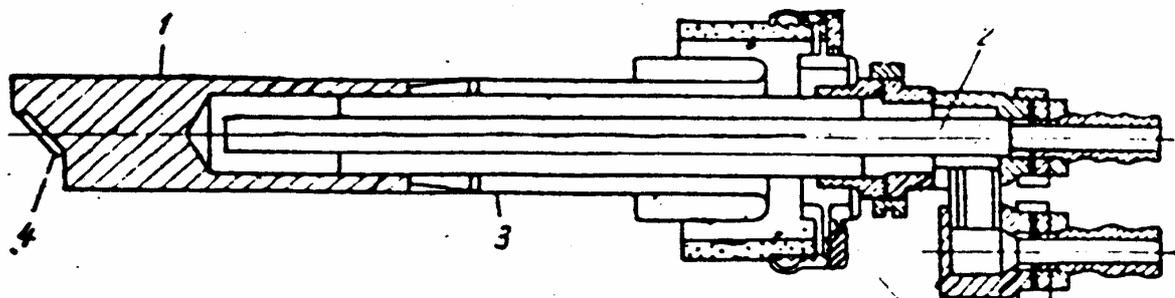
где L – длина обратного изображения фокуса;

A – расстояние от камеры до фокуса;

B – расстояние от передней стенки камеры до фотопластины.

Кроме размера фокуса, большое значение имеет еще и распределение интенсивности излучения по площади фокуса.

Анод (рисунок 2.5) представляет собой полый массивный цилиндр, изготовленный из материала с высокой теплопроводностью, чаще всего из меди. В торцевую стенку анода впрессовывают пластинку-антикатод (зеркало анода), которая тормозит электроны, эмитированные с катода. В трубках для структурного анализа зеркало анода изготавливают из того металла, излучение которого используют для получения дифракционной картины при решении конкретных задач рентгеноструктурного анализа. При ударе электронов о зеркало анода выделяется большое количество тепла. Перегрев анода может вызвать нарушение вакуума, интенсивное распыление и даже расплавление зеркала и самого анода. Чтобы избежать этого анод охлаждают проточной водой или маслом.



1 — корпус; 2 — вилка охлаждающего устройства; 3 — стеклянная ножка; 4 — зеркало анода

Рисунок 2.5- Устройство анода рентгеновской трубки

Анод может быть неподвижным или вращающимся. Выше была описана трубка с неподвижным анодом. Для повышения теплостойкости анода были созданы трубки с вращающимся анодом (рисунок 2.6). Дисковидный анод диаметром 8-10 см, состоящий чаще всего из вольфрама или молибдена, вращается на оси, проходящей через центр трубки. Из-за вращения анода во время экспозиции со скоростью от 3 до 10 тыс. оборотов в мин., истинное фокусное пятно анода остается в

фиксированной позиции, захватывая при вращении более обширную для охлаждения область.

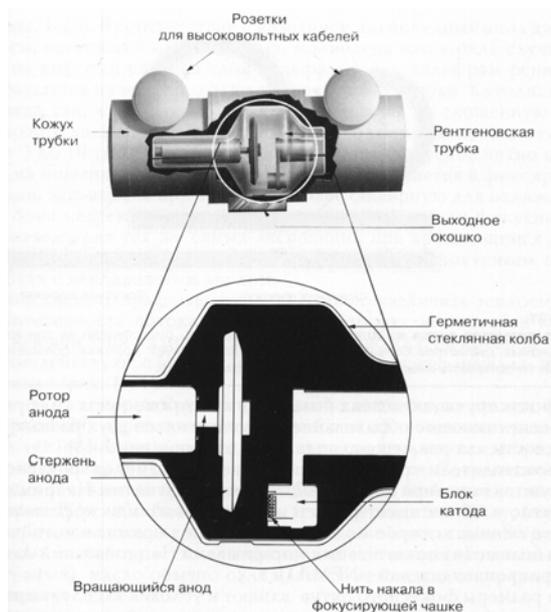


Рисунок 2.6- Трубка с вращающимся анодом. Взаиморасположение нити накала в фокусирующей чашке (катод) и вращающегося анода

Важнейшей характеристикой рентгеновской трубки является ее предельная мощность P

$$P = U \cdot I, \quad (2.2)$$

где U – максимальное высокое напряжение, В;
 I – ток трубки, А.

Превышение предельной мощности недопустимо, т.к. это вызовет перегрев анода. Уменьшение площади фокусного пятна трубки вызывает уменьшение объема металла, в котором происходит выделение тепла, и требует снижения предельной мощности трубки. Учитывая предельную мощность, можно определить также электрический режим работы трубки ($J \leq \frac{P}{U}$).

Под электрическими характеристиками рентгеновских трубок понимают следующие две основные зависимости:

$$I_{\tau} \neq f(I_H) \text{ при } U_a = const,$$

$$I_{\tau} = f(U_a) \text{ при } I_H = const,$$

где I_{τ} - ток в трубке, образующийся за счет перехода электронов с катода на анод (анодный ток), мА;

I_n – ток накала во вторичной обмотке трансформатора накала, разогревающий катодную нить, А;

U_a – высокое напряжение, приложенное к полюсам трубки (анодное напряжение), Кв.

Графическое изображение этих зависимостей показано на рисунке 2.7. Из рисунка 2.7а следует, что измеряемый ток в трубке появляется лишь после достижения тока накала определенного значения, т.е. начиная с определенной температуры нагрева катода, равной примерно 2000-2100⁰С. При более низких температурах нагрева электронная эмиссия практически не наблюдается. Нагрев катодной нити выше 2100⁰С резко повышает количество электронов, испускаемых в единицу времени (эмиссионный ток).

График, подобный изображенному на рисунке 2.7а, строят при постоянном напряжении, обеспечивающем во всем диапазоне значений I_n получение режима насыщения.

Из рисунка 2.7б следует, что при данном токе накала и при низких напряжениях не все электроны эмиссии попадают на анод, а лишь часть их, причем тем меньшая, чем ниже напряжение. Начиная с определенного значения U_a , все электроны эмиссии попадают на анод. Дальнейшее увеличение напряжения не может вызывать увеличения тока в трубке при данном токе накала – через трубку проходит ток насыщения. Чтобы увеличить силу тока в трубке, необходимо повысить силу тока накала. Таким образом, чем выше сила тока накала, тем выше сила тока насыщения.

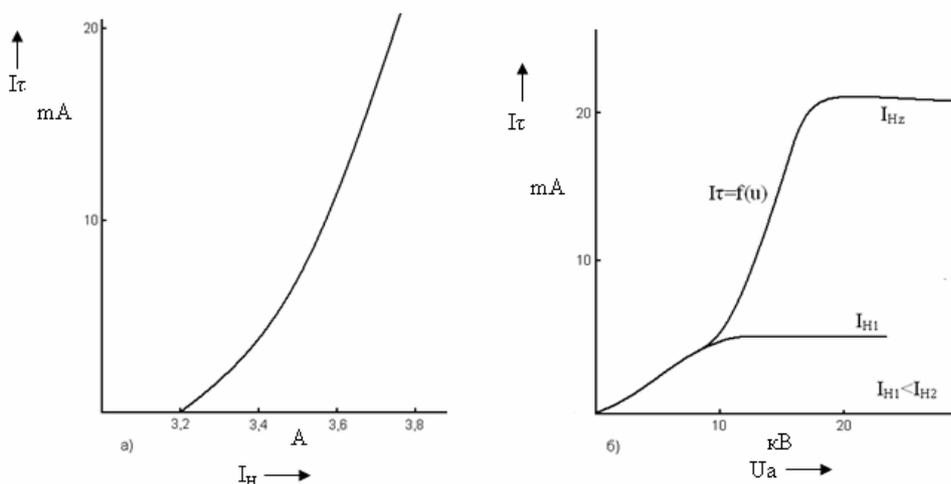


Рисунок 2.7- Зависимость силы тока в трубке I_τ от силы тока накала I_n при неизменном напряжении (а) и от напряжения U_a при неизменном токе накала (б)

Рентгеновские трубки работают всегда на режиме насыщения при напряжениях, в три-четыре раза превышающих минимальное напряжение,

необходимое для установления тока насыщения. Знание характеристики трубки позволяет заранее установить ток накала, исходя из необходимого тока в трубке, а также то минимальное напряжение, ниже которого режим работы трубки не будет устойчивым.

2.2 Рентгеновские трубки для анализа по первичным спектрам

Для рентгеноспектрального анализа применяются почти исключительно электронные трубки с подогретым катодом. Для нормальной работы таких трубок необходим вакуум от $5 \cdot 10^{-4}$ до 10^{-6} мм.рт.ст. Анализ по первичным спектрам испускания и исследование тонкой структуры этих спектров требует нанесения исследуемого вещества на анод рентгеновской трубки. Для этих целей применяют разборные рентгеновские трубки с металлическим корпусом, работающие при непрерывной откачке паромасляным насосом. В них удается получить вакуум обычно не выше $5 \cdot 10^{-5}$ мм.рт.ст. Для анализа по вторичным спектрам (рентгеновской флуоресценции) применяются либо разборные, либо запаянные трубки с постоянным вакуумом.

Катод рентгеновской трубки должен обеспечивать анодные токи от 20 до 50 мА при устойчивой эмиссии электронов в течение длительного времени: от нескольких часов, при давлении остаточных газов 10^{-4} мм.рт.ст., до нескольких сот часов, при давлении 10^{-6} мм.рт.ст. Нить накала катода изготавливается либо из вольфрамовой проволоки диаметром 0,2-0,25 мм и длиной 7-10 см, либо из платиновой проволоки диаметром 0,25-0,3 мм и длиной 8-12 см. В последнем случае платиновая нить покрывается тонким слоем оксидной пасты, которая изготавливается из смеси углекислых солей бария, стронция и кальция.

Активируется оксидный слой либо тренировкой рентгеновской трубки под небольшим напряжением, либо предварительным прокаливанием нити в высоком вакууме в течение 10-15 минут при температуре 1000-1100⁰С. Платиновая оксидная нить указанных выше размеров начинает работать при токе накала I_n , равном примерно 2А; падение напряжения на ней составляет 1,5В. По мере распыления оксидного слоя накал приходится увеличивать. При токе выше 3,5А и напряжении 3,5 В начинается заметное распыление платины. В этом случае работу надо приостановить и заново оксидировать нить.

Вольфрамовая нить указанных размеров начинает работать при токе накала I_n , равном примерно 5А и напряжении U , равном 10В. С течением времени нить постепенно утончается, I_n падает при одновременном росте напряжения накала примерно до 16 В и при токе примерно 2А нить перегорает.

Сравнивая работу платиновой оксидированной и вольфрамовой нитей, следует заметить, что при вакууме 10^{-5} - 10^{-6} мм.рт.ст. обе нити работают хорошо. Но чаще всего разборные рентгеновские трубки для

эмиссионного анализа работают при вакууме $5 \cdot 10^{-4}$ - 10^{-5} мм.рт.ст. В этом случае вольфрамовая нить очень сильно распыляется, покрывает слоем вольфрама исследуемое вещество на аноде и алюминиевую фольгу окошка рентгеновской трубки, что приводит к резкому падению интенсивности спектра.

Форма нити зависит от желаемой конфигурации и размеров фокусного пятна, а также от устройства фокусирующего колпачка катода. Наиболее распространенной формой является цилиндрическая спираль, изготавливаемая завиванием нити на стальную проволоку диаметром 1-1,5мм. При этом важно обеспечить постоянство шага спирали. Концы вольфрамовой нити загибаются и укрепляются в соответствующих контактах анода.

Фокусирующий колпачок имеет обычно форму цилиндра или корыта. Применение изогнутых кристаллов для разложения лучей в спектр требует широкого фокусного пятна на аноде рентгеновской трубки, поэтому нить располагается чаще всего на уровне наружного отверстия колпачка или несколько внутри него. Если необходимо получить более острый фокус, нить можно вдвинуть еще глубже в колпачок. Размер фокуса зависит от расстояния катод-анод. В некоторых рентгеновских трубках предусматривается возможность регулировки, как этого расстояния, так и расположения нити в фокусирующем колпачке.

Анод рентгеновской трубки для анализа по первичным спектрам должен обеспечить возможность расположения образцов на его рабочей поверхности в области фокусного пятна, а также быструю и удобную смену образцов. Этим условиям лучше всего удовлетворяет анод со сменным наконечником, обычно из красной меди, иногда из алюминия. Анод вводится через изолятор, рассчитанный на необходимое высокое напряжение и обеспечивающий вакуумное уплотнение анода. Катод и корпус трубки заземляются. При таком устройстве практически исключается возможность рассеивания некоторой части катодного пучка на корпус трубки, что может иметь место при заземленном аноде и подаче высокого напряжения на анод. В последнем случае рассеянные электроны дают довольно большой рентгеновский фон, существенно снижающий контрастность линейчатого спектра анода. При заземленном катоде значительно облегчается также стабилизация режима работы рентгеновской трубки.

Расчет необходимых размеров нити накала основывается на формуле Дэшмана:

$$i_n = \frac{4\pi e m k^2}{h^2} \cdot S T^2 e^{-\frac{\varphi}{kT}}, \quad (2.3)$$

где i_n – ток насыщения;

e – заряд электрона;

m – масса электрона;

h – постоянная Планка;
 k – постоянная Больцмана;
 S – поверхность нити;
 T – абсолютная температура нити;
 φ – работа выхода материала нити.

Эта формула определяет величину тока насыщения. При отсутствии напряжения на рентгеновской трубке испущенные накаленной нитью электроны образуют около нее пространственный заряд, который ведет к прекращению дальнейшей эмиссии. Небольшое напряжение, приложенное к трубке, вызывает небольшой анодный ток, несколько уменьшающий пространственный заряд. По мере роста напряжения этот ток растет до тех пор, пока пространственный заряд не исчезнет. При этом все электроны, испускаемые нитью, будут приходить на анод, и дальнейшее повышение напряжения не вызовет роста анодного тока. Этот предельный ток и называется током насыщения i_n .

Как видно из формулы (2.3), ток насыщения растет с повышением температуры нити накала и с уменьшением работы выхода φ . Одновременно растет и напряжение, при котором достигается насыщение. При расчете необходимой поверхности S нити следует знать предельно допустимую для данного материала температуру T и его работу выхода.

Контрольные вопросы и задания

- 1 Поясните принцип возбуждения рентгеновского излучения в рентгеновской трубке.
- 2 По каким признакам классифицируются рентгеновские трубки?
- 3 Как устроен катод рентгеновской трубки?
- 4 Что называют фокусом рентгеновской трубки?
- 5 Что представляет собой анод рентгеновской трубки? Почему, как правило, предусматривается специальная система охлаждения анода?
- 6 От чего зависит предельная мощность рентгеновской трубки?
- 7 Какие электрические характеристики рентгеновской трубки вы знаете?
- 8 Как зависит ток трубки от тока накала?
- 9 Как зависит ток трубки от напряжения на аноде при неизменном токе накала?
- 10 В чем особенность рентгеновских трубок, предназначенных для анализа по первичным спектрам?
- 11 Как изменится интенсивность спектральной линии $K\alpha_1$ меди, если увеличить напряжение на рентгеновской трубке от 30 кВ до 60 кВ при той же мощности трубки?
- 12 Почему в рентгеновских трубках электроны, летящие к аноду, фокусируются?
- 13 Какой спектральный состав будет иметь излучение от электронной рентгеновской трубки с медным анодом, работающей при напряжении 30 кВ?

3 Лабораторная работа №3. Устройство и принцип функционирования рентгеновских аппаратов

Цель работы: Познакомиться с основными принципами построения рентгеновских аппаратов. Ответить на вопросы в конце работы.

3.1 Структура рентгеновского аппарата

Любой рентгеновский аппарат содержит устройство генерации рентгеновского излучения - собственно рентгеновский аппарат и устройство регистрации рентгеновских лучей.

На рисунке 3.1 изображена схема типичной рентгеновской установки. Электроэнергия, отбираемая из общей сети переменного тока, трансформируется генератором в энергию высокого напряжения, необходимую для формирования рентгеновского излучения в рентгеновской трубке. Генератор формирует питающие напряжения для различных узлов аппарата и компонентов трубки.

В рентгеновской трубке происходит преобразование электроэнергии, полученной от генератора, в пучок рентгеновского излучения путем создания большой разности потенциалов между отрицательно заряженным катодом и положительно заряженным анодом трубки. Электроны образуются на катоде и движутся в ускоряющем электрическом поле к аноду, где сталкиваются с мишенью анода.



Рисунок 3.1- Схема рентгеновской установки

В результате резкого торможения в материале анода возникает рентгеновское излучение. Следует заметить, что большая часть энергии электронов превращается в тепло и только менее 1% превращается в рентгеновское излучение.

Задание режимов генерации излучения и управление аппаратом осуществляется с помощью пульта управления.

Для ограничения пучка излучения используют формирователь пучка излучения, обеспечивающий формирование зоны облучения, соответствующей снимаемому объекту исследования. Примером устройства, формирующего пучок, является глубинная диафрагма, изображенная на рисунке 3.2. Она включает несколько пар свинцовых шторок, ограничивающих площадь пучка.

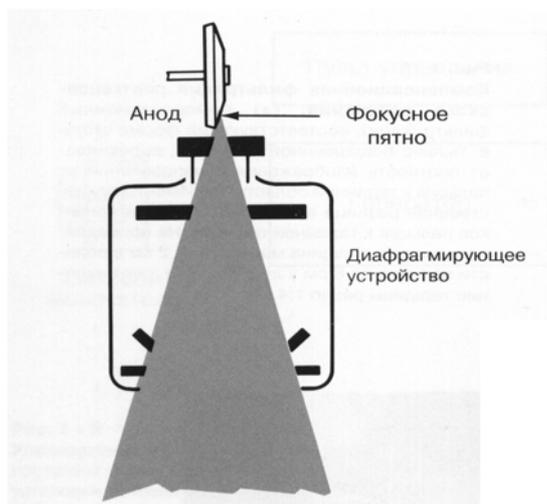


Рисунок 3.2 - Диафрагмирующее устройство

3.2 Генераторы

Для возбуждения рентгеновского излучения на рентгеновской трубке необходимо создать разность потенциалов в несколько десятков киловольт. Причем желательно, чтобы созданная разность потенциалов не менялась на протяжении всего времени экспозиции. Следовательно, генератор должен играть роль выпрямителя.

К основным узлам генератора относится повышающий трансформатор, нагруженный на выпрямитель. Роль выпрямителя может играть и сама рентгеновская трубка (рисунок 3.3).

По сути, рентгеновская трубка работает как обычный электровакуумный диод, поскольку ток в ней способен протекать только в одном направлении - от отрицательно заряженного катода к положительно заряженному аноду. Причем, в момент протекания тока, в трубке возникает рентгеновское излучение. В следующий полупериод катод находится под положительным потенциалом, а анод под отрицательным, протекание тока невозможно и, следовательно, излучение не возникает. По такой схеме с самовыпрямлением строятся простейшие аппараты, например для исследования зубочелюстной системы.

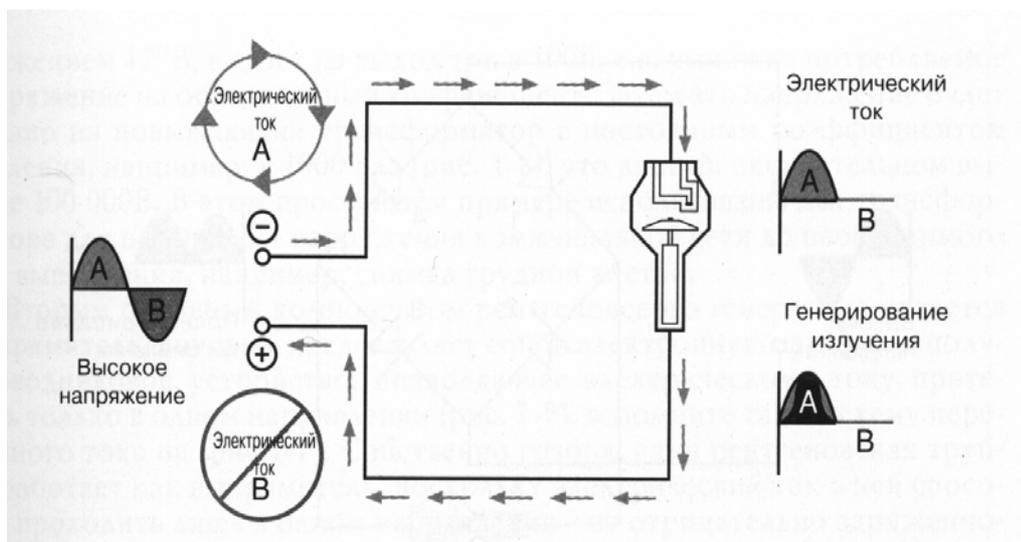


Рисунок 3.3 – Цепь с самовыпрямлением

Однако такая система с энергетической точки зрения невыгодна - используется только один полупериод. Более совершенна схема, реализованная на двухполупериодном выпрямителе (рисунок 3.4). Поскольку электрический ток проходит через трубку оба полупериода эффективность генерации рентгеновского излучения возрастает. Однако форма выпрямленного тока не является оптимальной, поскольку далека от постоянной.

Для характеристики степени приближения формы волны к постоянному току используют понятие коэффициента пульсаций k , вычисляемого по формуле:

$$k = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max}} \cdot 100\%,$$

где U_{\max} - максимальное напряжение;

U_{\min} - минимальное напряжение.

Для двухполупериодного выпрямителя коэффициент пульсаций - 100%. Для постоянного тока - 0%.

Снизить пульсации можно, применив трехфазную схему питания и выпрямления.

Создание высокочастотных генераторов позволило снизить пульсации и обеспечило уменьшение размеров и массы в сравнении с трехфазными; уменьшение стоимости; более точную регулировку напряжения и силы тока на трубке за счет использования цепей обратной связи (рисунок 3.5).

Данные генераторы работают на частотах от 3 кГц до 100 кГц и имеют значительно большую мощность.

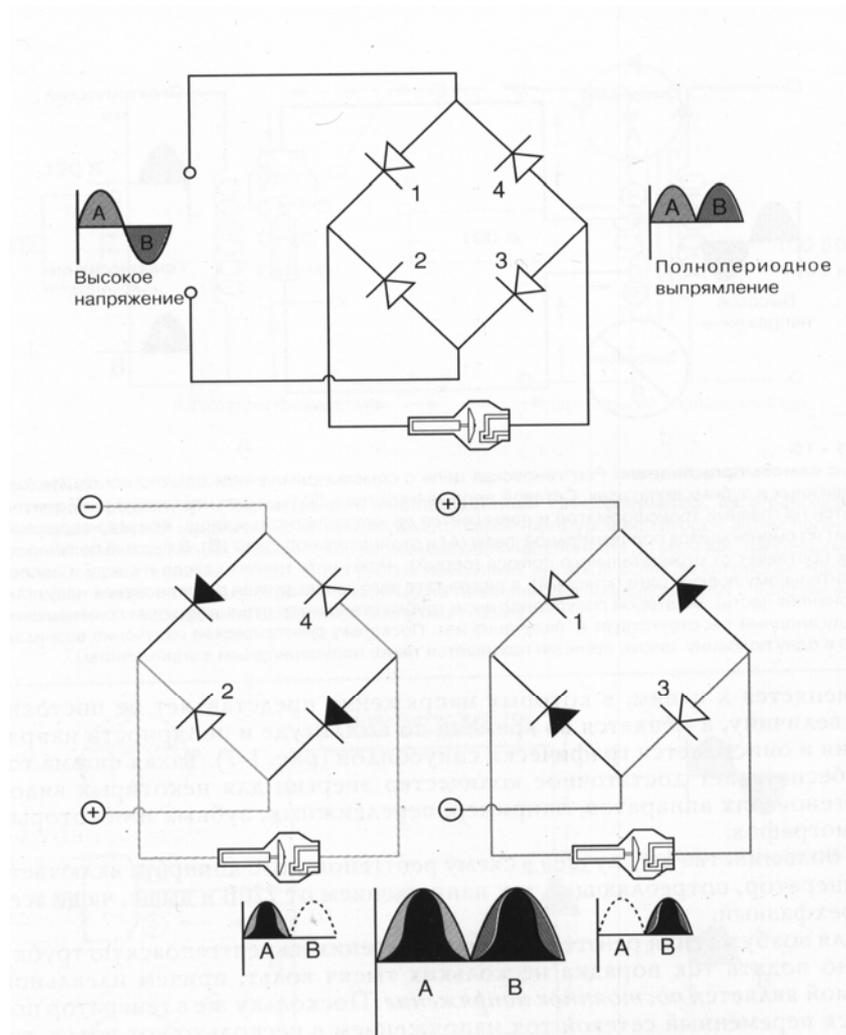


Рисунок 3.4 - Полнопериодное выпрямление

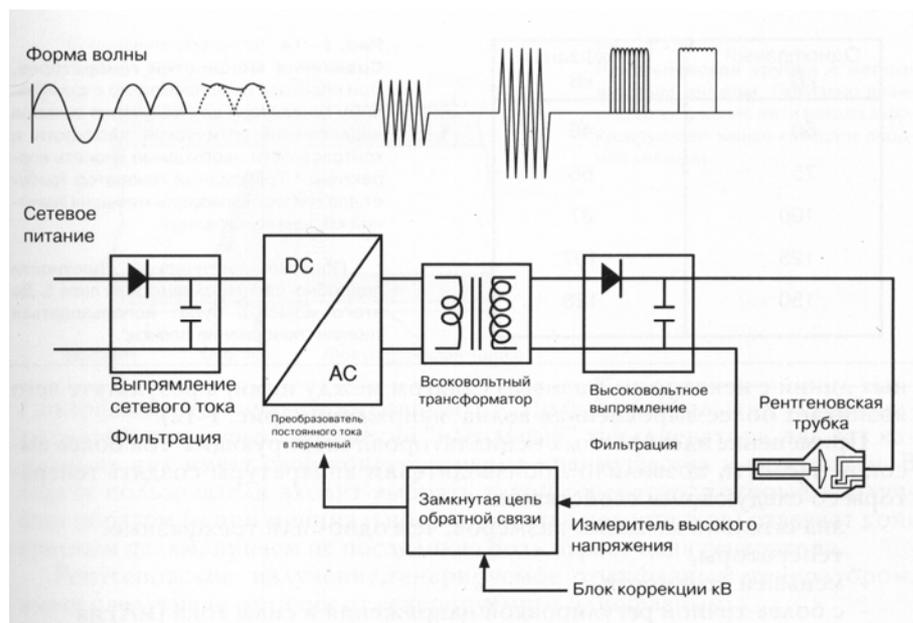


Рисунок 3.5 – Высокочастотный генератор в составе рентгеновского аппарата

Контрольные вопросы и задания

1 Назовите элементы, входящие в состав традиционного рентгеновского аппарата.

2 Для чего применяют формирователи пучка излучения. Как устроена глубинная диафрагма?

3 Назовите основные узлы генератора.

4 Как устроен аппарат с самовыпрямлением? В чем его недостатки?

5 Для чего применяют высокочастотные генераторы? Приведите структурную схему аппарата с высокочастотным генератором.

6 Составьте схему определения толщины прокатного листа в процессе его изготовления. Оцените чувствительность метода. Оцените погрешность метода.

7 Составьте схему определения толщины покрытия металлической фольги другим металлом и выведите соответствующую формулу.

4 Лабораторная работа №4. Принципы радиационной безопасности при работе с источниками рентгеновского излучения

Цель работы: Познакомится с принципами радиационной безопасности при работе с источниками рентгеновского излучения. Освоить работу с дозиметром ДКС-1123. Произвести контроль радиационной обстановки в лаборатории.

4.1 Нормирование доз облучения при работе с источниками ионизирующих излучений

Использование рентгеновских аппаратов может сопровождаться действием на персонал первичного и вторичного (рассеянного) излучения. Уровень его воздействия определяется материалом анода и выходного окна трубки, напряжением и током рентгеновской трубки, режимом его работы (например, схемой выпрямления), физико-химическими свойствами объекта исследования, условиями эксплуатации (например, расстоянием до окружающих объектов – стен помещения). Существенно, что генерация проникающего излучения прекращается после окончания подачи высокого напряжения на трубку.

При несоблюдении правил пользования рентгеновским излучением оно может оказаться опасным для здоровья человека. Для управления факторами, снижающими радиационную опасность, используют три принципа: нормирование времени облучения, удаление на безопасное расстояние, использование защитных средств.

Степень воздействия облучения на биологические объекты определяется величиной поглощенной объектом энергии. Однако равное количество поглощенной энергии разных видов излучения может вызвать различный биологический эффект, поскольку биологическое действие будет определяться пространственным распределением энергии, передаваемой среде. Следовательно, поглощенная энергия не может служить адекватным критерием биологического эффекта.

Для характеристики степени воздействия на организм вводится поправка – коэффициент качества излучения, определяющий зависимость биологического эффекта данного вида излучения от величины линейной передачи энергии этого излучения. Так, например, гамма-излучение, обладающее высокой проникающей способностью, поглощается по экспоненциальному закону практически по всему объему объекта исследования, имеет коэффициент качества равный единице. Альфа-излучение, имеющее низкую проникающую способность, поглощается локально в точке объекта исследования, следовательно, в единице массы выделяется большая энергия, и коэффициент качества здесь уже равен 20.

Действие ионизирующих излучений в определенных дозах может вызвать неблагоприятные для здоровья эффекты. Если вредные эффекты облучения выявляются начиная с какого-то определенного порогового значения дозы, то их называют нестохастическими или пороговыми. К таковым относятся помутнение хрусталика глаза, нарушение воспроизводительной функции, лучевые поражения зародыша и плода, косметическое повреждение разных тканей и др.

Последствия облучения человека, вероятность проявления которых существует при сколь угодно малых дозах ионизирующего излучения и возрастает с дозой, называют стохастическими или беспороговыми. В настоящее время предпочтительной считается гипотеза линейной зависимости доза-эффект в диапазоне нормируемых уровней непрерывного облучения. Наиболее характерными стохастическими эффектами действия радиации являются лейкемия и другие формы злокачественных образований, а также передаваемые потомству наследственные изменения.

Целью соблюдения принципов радиационной безопасности является предотвращение вредных нестохастических эффектов и ограничение вероятности стохастических эффектов до уровней, считающихся приемлемыми. Основным государственным документом, регламентирующим уровни облучения персонала и населения в нашей стране, являются «Нормы радиационной безопасности (НРБ) и «Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений» (ОСП).

Для обеспечения радиационной безопасности в организации, производственная деятельность которой заключается в обращении с техногенными источниками рентгеновского излучения, персонал организации делится на две группы. Согласно Нормам и Правилам, к персоналу группы А относятся лица, работающие с техногенными источниками излучения. Лица, находящиеся по условиям работы в сфере воздействия этих источников, относятся к персоналу группы Б.

Согласно пп.3.1.2, 3.1.4, 3.1.6 и 3.1.8 Норм в случае облучения персонала Группы А в нормальных условиях эксплуатации источников излучения нормируются дозиметрические величины, представленные в таблице 4.1. Значения пределов доз, равно как и значения допустимых уровней облучения персонала группы Б, равны $\frac{1}{4}$ соответствующих значений для персонала группы А.

Таблица 4.1 – Нормируемые величины облучения персонала группы А в нормальных условиях эксплуатации источников излучения

Нормируемая величина	Значение предела, мЗв
Годовая эффективная доза	50
Годовая эффективная доза, усредненная за любые последовательные 5 лет	20
Эффективная доза, накопленная за период трудовой деятельности (50 лет)	1000
Годовая эквивалентная доза облучения хрусталика глаза	150
Годовая эквивалентная доза облучения кожи	500
Годовая эквивалентная доза облучения кистей и стоп	500
Месячная эквивалентная доза на поверхности нижней части области живота женщин в возрасте до 45 лет	1

4.2 Основные дозиметрические величины, используемые для характеристики рентгеновского излучения

4.2.1 Флюенс ионизирующих частиц Φ , см^{-2} – отношение числа ионизирующих частиц dN , проникших в элементарную сферу, к площади центрального сечения dS этой сферы:

$$\Phi = dN / dS \quad (4.1)$$

4.2.2 Плотность потока частиц φ , $\text{с}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$ – отношение числа частиц dN , проникающих в элементарную сферу за интервал времени dt , к площади центрального сечения dS этой сферы и интервалу времени:

$$\varphi = d^2 N / (dS \cdot dt) = d\Phi / dt \quad (4.2)$$

Данную величину используют для характеристики поля излучения в точке пространства (вещества).

4.2.3 Поглощенная доза ионизирующего излучения (ИИ) D , Гр – отношение средней энергии $d\varepsilon$, переданной ИИ веществу в элементарном объеме, к массе dm вещества в этом объеме:

$$D = d\varepsilon / dm \quad (4.3)$$

Поглощенная доза измеряется в Дж/кг и называется грей (Гр).

4.2.4 Доза в органе или ткани D_T – средняя поглощенная доза в определенном органе или ткани человеческого тела:

$$D_T = \frac{1}{m_T} \int D dm, \quad (4.4)$$

где m_T - масса органа или ткани, а D – поглощенная доза в элементе массы dm .

4.2.5 Эквивалентная доза $H_{T,R}$ – средняя поглощенная доза в органе или ткани $D_{T,R}$, умноженная на соответствующий взвешивающий коэффициент W_R для данного вида падающего на тело излучения:

$$H_{T,R} = W_R \cdot D_{T,R} \quad (4.5)$$

При наличии различных видов излучения:

$$H_T = \sum_R H_{T,R} \quad (4.6)$$

Единицей эквивалентной дозы является зиверт (Зв).

4.2.6 Керма K , Гр – отношение суммы начальных кинетических энергий $d\varepsilon_k$ всех заряженных частиц, образовавшихся под действием косвенно ионизирующего излучения в элементарном объеме вещества, к массе dm вещества в этом объеме:

$$K = d\varepsilon_k / dm \quad (4.7)$$

4.2.7 Мощность дозы \dot{D} (кермы \dot{K}) – доза (керма) излучения, создаваемая за единицу времени (секунду, минуту, час):

$$\dot{D} = dD / dt \quad (4.8)$$

$$\dot{K} = dK / dt \quad (4.9)$$

4.2.8 Амбиентный эквивалент дозы (амбиентная доза) $H^*(d)$, Зв – эквивалент дозы, который был бы создан в шаровом фантоме Международной комиссии по радиационным измерениям (МКРЕ) (шар диаметром 30 см из тканеэквивалентного материала плотностью 1 г/см^3) на глубине d , мм от поверхности по диаметру, параллельному направлению излучения, в поле излучения (рисунок 4.1), идентичном рассматриваемому по составу, флюенсу и энергетическому распределению, но мононаправленному и однородному.

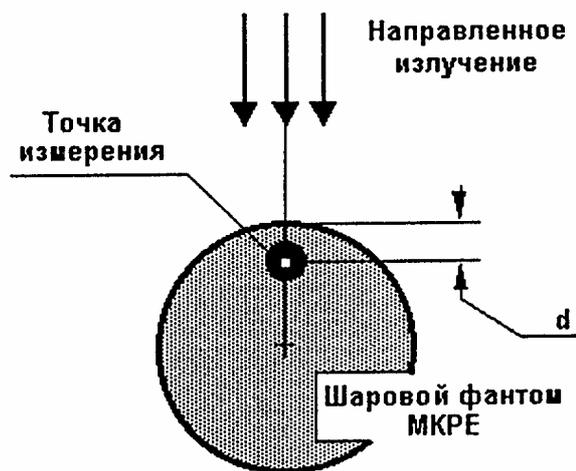


Рисунок 4.1 - Схема определения амбиентной дозы

Данную величину используют в качестве операционной величины для характеристики поля излучения в точке, совпадающей с центром шарового фантома.

4.2.9 Индивидуальный эквивалент дозы $H_p(d)$, Зв – эквивалент дозы в мягкой биологической ткани, определяемый на глубине d , мм под рассматриваемой точкой на теле человека. Данную величину используют в качестве операционной для индивидуальной дозиметрии.

4.2.10 Доза эффективная (эквивалентная) годовая (ГЭД) – сумма эффективной (эквивалентной) дозы внешнего облучения, полученной за календарный год. Единица годовой эффективной (эквивалентной) дозы - зиверт (Зв).

4.3 Дозиметр рентгеновского и гамма-излучения – ДКС-1123

4.3.1 Назначение

Дозиметр рентгеновского и гамма-излучения предназначен для:

- контроля радиационной обстановки при эксплуатации ядерно-энергетических, радиоизотопных и рентгеновских установок непрерывного, кратковременного и импульсного действия в научных исследованиях, медицине, промышленности и других областях;

- контроля состояния средств защиты гамма- и рентгеновских установок непрерывного, кратковременного и импульсного действия службами санитарного и проматомнадзора;

- обнаружения, локализации и дозиметрии источников рентгеновского и гамма-излучения службами контроля за перемещением ядерных и радиоактивных материалов;

- радиационного мониторинга окружающей среды, территорий и объектов;

- применения в условиях чрезвычайных и аварийных ситуаций.

Дозиметр измеряет:

-мощность амбиентной дозы (далее по тексту - мощность дозы) непрерывного рентгеновского и гамма-излучения в диапазоне от 50 нЗв/ч до 10 Зв/ч;

-мощность дозы кратковременно действующего излучения (одиночного или серии импульсов длительностью не менее 0,03 с) в диапазоне от 5 мкЗв/ч до 10 Зв/ч;

-среднюю мощность дозы импульсного излучения при мощности дозы в импульсе до 1,3 Зв/с и длительности импульса не менее 10 нс в диапазоне от 1 мкЗв/ч до 10 Зв/ч;

-амбиентную дозу (далее - дозу) рентгеновского и гамма-излучения в диапазоне от 50 нЗв до 10 Зв;

Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерения дозы и мощности дозы:

- $\pm 15\%$ - при работе в режимах измерения непрерывного и кратковременно действующего излучения;

- $\pm 30\%$ - при работе в режиме измерения импульсного излучения.

Диапазон энергий регистрируемого рентгеновского и гамма-излучения составляет от 15 кэВ до 10 МэВ.

4.3.2 Устройство и работа дозиметра

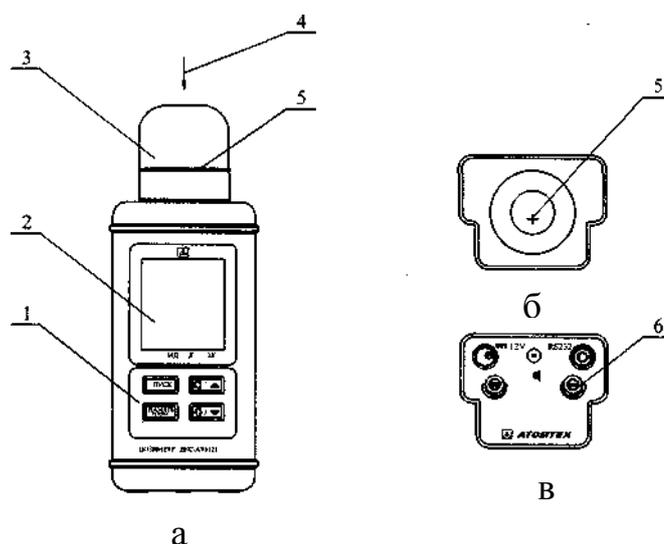
Принцип действия дозиметров основан на использовании высокочувствительного метода сцинтилляционной дозиметрии с применением пластмассового детектора и ФЭУ.

Измерение мощности дозы проводится путем измерения тока ФЭУ. Алгоритм работы обеспечивает непрерывность процесса измерения, вычисление «скользящих» средних значений и оперативное представление полученной информации на табло, статистическую обработку результатов измерений и оценку статистических флуктуации в темпе поступления сигналов от детектора, быструю адаптацию к изменениям уровней радиации.

При работе в автономном режиме питание дозиметров осуществляется от встроенного блока аккумуляторов.

Конструкция дозиметров

Конструктивно каждый дозиметр выполнен как функционально законченное изделие. Общий вид дозиметров приведен на рисунке 4.2.



- 1 - панель управления; 2 - табло ЖКИ;
 3 - защитный колпачок; 4 - направление градуировки;
 5 - метки центра детектора; 6 - место пломбирования
- Рисунок 4.2 - Общий вид дозиметров:
 а - со стороны передней панели;
 б - со стороны верхней торцевой крышки;
 в - со стороны нижней торцевой крышки

На передней панели дозиметра находится панель управления с мембранными кнопками (1) и табло ЖКИ (2).

На верхней торцевой крышке установлен съемный защитный колпачок (3) "0,025-10 MeV" (без фильтра) или "0,06-10 MeV" (с фильтром), который закрывает выступающую часть дозиметра. На каждом колпачке имеются две метки центра детектора (5): боковая метка виде кольцевой риски и торцевая метка "+".

4.3.3 Подготовка дозиметра к использованию

Для включения дозиметра необходимо нажать кнопку ПУСК. Выключение осуществляется быстрым трехкратным нажатием кнопки ПУСК. При этом на табло появляется сообщение "OFF", и через 1-2 с дозиметр выключается.

Отсутствие изображения на табло дозиметра, появление сообщения "bAt 00" или мигающей индикации "  " свидетельствуют о разряде БА ниже уровня, обеспечивающего работоспособность дозиметра.

Во время заряда БА дозиметр должен находиться во включенном состоянии. Наличие постоянной индикации "  " свидетельствует о процессе заряда БА, ее исчезновение - о завершении процесса заряда.

Сразу после включения дозиметр переходит в режим самоконтроля.

В случае успешного завершения самоконтроля дозиметр устанавливается в режим измерения мощности дозы (далее – режим "МД"), при этом на табло появляется индикация "▼" против надписи МД на передней панели дозиметра. На табло индицируются значение мощности дозы в цифровом и аналоговом виде, единицы измерения, значение статистической погрешности в процентах.

При обнаружении ошибки в процессе тестирования дозиметр выдает прерывистый звуковой сигнал и на табло индикатора мигающее сообщение "Err xx".

Дозиметр имеет следующие режимы работы:

- измерение мощности дозы непрерывного излучения (режим "Т");
- измерение мощности дозы кратковременно действующего излучения длительностью не менее 0,03 с (режим "Tvar");
- измерение средней мощности дозы импульсного излучения (режим "⌋");
- измерение дозы (режим "Д");
- поиск локальных загрязнений и радиоактивных источников (режим поиска "Т!");

Перевод дозиметра в нужный режим и управление его работой осуществляется с помощью четырех кнопок, расположенных на передней панели дозиметра. Нажатие каждой из кнопок сопровождается коротким звуковым сигналом.

Примечание - Измерение мощности дозы рентгеновского и гамма-излучения проводится с установленным на дозиметре колпачком "0,025-10 MeV".

Для установки режима измерения необходимо перейти в **сервисный режим** (индикация ".4."), для этого:

- нажать и удерживать кнопку **ПАМЯТЬ РЕЖИМ** до появления на табло индикации ".2." (режим "Д");
- кратковременно нажать кнопку **ПАМЯТЬ РЕЖИМ** до появления на табло индикации ".3." (режим "ЗК");
- вновь кратковременно нажать кнопку **ПАМЯТЬ РЕЖИМ** до появления на табло индикации ".4. ".

Индикация ".4." через 1 с исчезает, а в нижней части табло появляется индикация текущего режима измерения.

С помощью кратковременного нажатия кнопок "⏏/▲" или "☀/▼" выбрать нужный режим измерения ("Т", "Tvar", "⌋" или "Т!"). Нажать и удерживать до появления двойного звукового сигнала и индикации ".1." кнопку **ПАМЯТЬ РЕЖИМ**. Через 1 с индикация ".1." исчезает, и дозиметр начинает работать в установленном режиме.

Измерение мощности дозы непрерывного излучения (режим "Т")

Этот режим характеризуется наличием мигающей индикации "Т". В процессе измерения на табло выводятся средние значения мощности дозы, соответствующие им значения статистической погрешности от 99 до 1 % и единица измерения ("nSv/h" или "μSv/h", или "mSv/h", или "Sv/h"). Результат измерения выводится также на аналоговую шкалу.

Измерение мощности дозы при кратковременном воздействии излучения (режим "Tvar")

В режиме "Tvar" проводится измерение времени воздействия излучения, а также эффективного и максимального значения мощности дозы во время воздействия.

Дозиметр определяет время воздействия как промежуток времени с момента, когда мощность дозы превышает значение 3-5 мкЗв/ч. Время определяется с дискретностью 10 мс.

Эффективное значение мощности дозы рассчитывается из значения дозы, измеренной за время облучения, и измеренного времени воздействия.

При переходе в режим на табло появляется мигающая индикация "Tvar", кратковременно высвечивается номер первого поддиапазона измерения "1", а затем вместо него появляется индикация статистической погрешности измеряемого фона. Статистическая погрешность высвечивается до тех пор, пока не установлен номер второго или третьего поддиапазона.

В поддиапазоне "1" дозиметр индицирует фоновое значение мощности дозы, в поддиапазонах "2" и "3" - значение "0".

При появлении кратковременно действующего излучения на табло высвечивается измеренное значение мощности дозы, при этом индикация "Tvar" высвечивается постоянно. Во время воздействия излучения появляется индикация "∩".

При возникновении перегрузки на текущем поддиапазоне появляется индикация "!", что свидетельствует о необходимости перехода на более грубый поддиапазон "2", и повторения измерения. При повторном появлении индикации "!" необходимо перейти на поддиапазон "3".

Рабочие значения мощности дозы для поддиапазонов составляют:

- "1" - до 0,99 мЗв/ч;
- "2" - от 1,0 до 99 мЗв/ч;
- "3" - более 99 мЗв/ч.

Переход на поддиапазоны "2", "3", "1" осуществляется при кратковременном нажатии кнопки "□/▲"

Каждое новое измерение следует проводить только после нажатия кнопки **ПУСК**.

Показания мощности дозы индицируются на табло до нажатия кнопки **ПУСК**, при этом номер поддиапазона остается прежним.

4.3.4 Измерение дозы

В процессе измерения мощности дозы автоматически измеряется и доза. Поэтому при переходе в режим измерения дозы "Д" на табло индицируется результат этого измерения.

Перейти в режим "Д" можно только из режима "МД". Для этого необходимо нажать и удерживать до появления двойного звукового сигнала и индикации ".2." кнопку **ПАМЯТЬ РЕЖИМ**. Через 1 с индикация ".2." исчезает, а на табло индицируются текущее значение дозы и указатель "▼" против надписи Д на панели дозиметра.

Индикация режимов непрерывного, кратковременно действующего и импульсного излучения такая же, как и при измерении мощности дозы.

При повторном длительном нажатии кнопки **ПАМЯТЬ РЕЖИМ** появляется индикация ". 1.", и дозиметр возвращается в режим "МД".

Контрольные вопросы

1 Назовите принципы, которыми следует руководствоваться при работе с источниками ионизирующего излучения.

2 Что характеризует коэффициент качества излучения?

3 Назовите основные нормативные документы, регламентирующие уровни облучения персонала и населения.

4 Какая категория лиц относится к персоналу группы А?

5 Назовите нормируемые величины облучения персонала группы А в нормальных условиях эксплуатации источников излучения.

6 Назовите основные дозиметрические величины, используемые для характеристики рентгеновского излучения.

7 Назовите область применения и назначения дозиметра ДКС-1123.

8 Назовите основные измеряемые дозиметром ДКС-1123 величины и пределы измерений.

9 Поясните принцип действия дозиметра ДКС-1123 и его конструктивные особенности.

Задание:

-познакомиться с техническим описанием на дозиметр ДКС-1123;

-включить дозиметр и выполнить манипуляции, необходимые для начала измерений;

-измерить амбиентную дозу фонового излучения в помещении, где установлен рентгеновский аппарат;

-перевести дозиметр в импульсный режим работы. Включить рентгеновский аппарат, установить дозиметр на рабочем месте оператора: разместить измерительную головку на деке стола рядом с клавиатурой, выполнить снимок и зафиксировать показания дозиметра;

-установить фантом 200x200x200 мм Н₂О в зону облучения рентгеновского аппарата и повторить измерения;

-записать и объяснить полученные данные.

Список использованных источников

- 1 **Блохин, М.А.** Методы рентгеноспектральных исследований [Текст] / М.А. Блохин.- М.: ГИТЛ, 1959.- 518 с.
- 2 **Хараджа, Ф.Ф.** Общий курс рентгенотехники [Текст] / Ф.Ф. Хараджа.- М.: Машиностроение, 1966.- 322 с.
- 3 **Горелик, С.С.** Рентгенографический и электроннооптический анализ [Текст] / С.С. Горелик, Л.Н. Расторгуев, Ю.А. Скаков.- М.: МИСИС, 2003.- 336 с.
- 4 **Шмелев, В. К.** Рентгеновские аппараты [Текст] / В.К. Шмелев. - М.: Машиностроение, 1973.- 274 с.
- 5 **Пиццутиэлло, Р.** Введение в медицинскую рентгенографию [Текст] / Р. Пиццутиэлло, Дж. Куллинан.- Нью-Йорк: Компания Истман Кодак, Отделение медицинской науки, 1993.- 222 с.
- 6 **Черняев, А.П.** Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом [Текст] / А.П. Черняев.- М.:ФИЗМАТЛИТ, 2004.- 152 с.
- 7 **Жуковский, Ю.Г.** Практикум по ядерной физике [Текст]: учебное пособие / Ю.Г. Жуковский, В.О. Сергеев, Н.М. Антоньева.- М.: «Высшая школа», 1975.- 197 с.