

Лабораторная работа 12

Дозиметрия ионизирующих излучений

Цель работы:

- Ознакомиться с основными понятиями и единицами измерений в дозиметрии и радиационной безопасности.
- Научиться измерять мощность дозы гамма излучения.

Ионизирующим излучением (ИИ) называются потоки частиц (корпускулярное ИИ) и/или фотонов (фотонное ИИ), способные образовывать в среде ионы разных знаков.

Ионизирующее излучение является неотъемлемой частью мира, в котором мы живем: сама жизнь на Земле возникла на его фоне. Радиационный фон определяется ионизирующим излучением, создаваемым радиоактивными изотопами ряда химических элементов, содержащихся в горных породах Земли, в почве, воде и воздухе, а также космическим излучением. К радиоактивным элементам относятся, например, *K-40*, широко распространенный в земной коре и содержащийся в строительных материалах; радон - продукт распада урана - выделяющийся из почвы и стройматериалов в жилые помещения. На протяжении биологической истории Земли этот фон практически оставался неизменным. За последние полвека уровень радиационного фона несколько увеличился за счет деятельности человека: радиоактивные отходы, возникающие при добыче руды и производстве ядерного топлива, его «сжигании» на атомных электростанциях, выпадения после испытаний атомного оружия, выбросы и сбросы в результате крупных ядерных и радиационных аварий и т.д. С развитием ядерной науки и техники, освоением космического пространства, с одной стороны, возникла опасность облучения человека дозами ионизирующего излучения, значительно превышающими естественный радиационный фон, и, с другой стороны, возникла возможность использования ионизирующего излучения в медицине для диагностики заболеваний и их лечения и в различных областях науки и техники.

Для количественной оценки радиационного воздействия и степени опасности ионизирующего излучения введены специальные характеристики, называемые дозиметрическими характеристиками ионизирующего излучения и радиационного воздействия. Междисциплинарный раздел науки, в которых они изучаются, называется дозиметрией.

Дозы ионизирующего излучения

Основной физической величиной, принятой в дозиметрии для характеристики ионизирующего излучения, является **доза** излучения. Понятие «доза» допускает два толкования. В соответствии с первой

трактовкой доза излучения является количественной характеристикой излучения, в соответствии со второй трактовкой – количественной характеристикой результата взаимодействия излучения с веществом (радиационного воздействия). Приведенный ниже термин «экспозиционная доза» в большей степени соответствует первой трактовке, а термин «поглощенная доза» – второй.

Радиационную обстановку на местности определяет имеющееся там поле ионизирующего излучения и, в первую очередь, поле гамма - излучения вследствие его высокой проникающей способности. Взаимодействуя с воздухом, гамма - излучение вызывает его ионизацию, причем уровень ионизации воздуха соответствует интенсивности излучения и может служить характеристикой поля излучения.

Экспозиционная доза X определяется как величина суммарного среднего заряда dQ всех ионов одного знака, созданных в элементарном объеме сухого воздуха при нормальных условиях, отнесенная к единице его массы dm :

$$X = \frac{dQ}{dm} \quad (1)$$

Экспозиционная доза определена только для воздуха и только для фотонного излучения, и это отличает ее от всех других дозиметрических понятий.

Само определение экспозиционной дозы допускает простой и удобный способ ее измерения: для этого достаточно измерить суммарный заряд ионов, образовавшихся в облучаемой воздушной ионизационной камере.

Единицей измерения экспозиционной дозы является кулон на килограмм (C/kg ; Кл/кг). **Кулон на килограмм** – это единица экспозиционной дозы фотонного излучения, при прохождении которого через 1 кг сухого воздуха при нормальных условиях в результате завершения всех ионизационных процессов в этом воздухе создаются ионы, несущие заряд в 1 Кл электричества каждого знака.

Внесистемная единица экспозиционной дозы – рентген (Р). **Рентген** – это единица экспозиционной дозы фотонного излучения, при прохождении которого через 0,001293 г воздуха (это 1см^3 воздуха при нормальных условиях) в результате завершения всех ионизационных процессов в нем создаются ионы, несущие одну электростатическую единицу количества электричества каждого знака.

$$1\text{Кл/кг}=3876\text{ Р}; \quad 1\text{Р}=2,58\cdot 10^{-4}\text{ Кл/кг}.$$

Для характеристики радиационной обстановки часто пользуются понятием **мощность** экспозиционной дозы – это отношение экспозиционной дозы, накопленной за некоторый промежуток времени, к этому интервалу времени:

$$\dot{X} = \frac{dX}{dt} . \quad (2)$$

В СИ – это ампер на килограмм (A/kg). Внесистемная единица – рентген в

секунду (Р/с).

Результат воздействия ионизирующего излучения на вещество зависит от энергии, переданной излучением этому веществу, поэтому вводят понятие поглощенной дозы, определяемой следующим образом.

Поглощенная доза ионизирующего излучения D равна отношению средней энергии dE , переданной ионизирующим излучением веществу в элементарном объеме к массе dm вещества в этом объеме:

$$D = \frac{dE}{dm} . \quad (3)$$

В СИ поглощенная доза измеряется в джоулях, деленных на килограмм (Дж/кг), и имеет специальное название – грей (Gy; Гр). **Грей** равен поглощенной дозе ионизирующего излучения, при которой веществу массой 1 кг передается энергия ионизирующего излучения, равная 1 Дж.

Внесистемной единицей поглощенной дозы ионизирующего излучения является рад. **Рад** равен поглощенной дозе ионизирующего излучения, при которой веществу массой 1 г передается энергия ионизирующего излучения, равная 100 эрг.

$$1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр} \quad \text{или} \quad 1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}.$$

Мощность поглощенной дозы определяется как величина поглощенной дозы, накапливаемой за единицу времени:

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt} . \quad (4)$$

Мощность поглощенной дозы в СИ измеряется в единицах «грей в секунду» (Гр/с). Используются и внесистемные единицы: грей в минуту (Гр/мин) и грей в час (Гр/ч).

Внесистемная единица – рад в секунду (рад/с).

Вопрос о соответствии между экспозиционной и поглощенной дозами можно ставить только в том случае, если эти дозы создаются фотонным излучением в воздушной среде. Но даже и в этом случае, строго говоря, нет взаимно однозначного соответствия между этими величинами. Одно и то же количество поглощенной воздухом энергии может образовать различное число пар ионов в зависимости от энергии фотонного излучения и условий ее передачи веществу. А именно, необходимо, чтобы все электроны, образованные фотонным излучением, передали всю свою кинетическую энергию на ионизацию и возбуждение атомов вещества в рассматриваемом объеме, либо средняя энергия, уносимая электронами из данного объема, была бы равна средней энергии электронов, попадающих в рассматриваемый объем из других областей вещества (условие электронного равновесия). Как правило, это условие в целом соблюдается, и можно говорить, что 1 рентген в среднем соответствует поглощенной энергии 87,3 эрг или $1\text{Р} = 0,873 \text{ рад}$. Это вытекает из того факта, что средняя энергия, которую необходимо

затратить для образования одной пары ионов в сухом воздухе при нормальных условиях – средняя энергия ионообразования, равна 33,85 эВ (рассчитайте самостоятельно).

Воздействие ионизирующего излучения на ткани организма

По своему действию на вещество ионизирующее излучение разделяют на непосредственно ионизирующее излучение (заряженные частицы) и косвенно ионизирующее излучение (электрически нейтральные частицы). Быстрые заряженные частицы, проходя через вещество, как правило, непосредственно передают свою кинетическую энергию, в первую очередь, электронам вещества, которые затем также порождают лавины электронов. Поэтому их относят к непосредственно ионизирующему излучению. Электрически нейтральные частицы слабо взаимодействуют с веществом, благодаря этому излучение является сильно проникающим; ионизация вещества в этом случае осуществляется, в основном, заряженными частицами, которые образуются под действием нейтральных частиц. Эти два основных механизма взаимодействия ионизирующего излучения с веществом и лежат в основе оценки химического и биологического действия ионизирующего излучения.

Жизнь на Земле возникла, эволюционировала и существует в условиях определенного радиационного фона. Мощность поглощенной дозы естественного радиационного фона Земли на уровне моря существенно варьируется в достаточно широких пределах и составляет 0,08 – 0,20 мкГр/ч в Беларуси и во многих других странах. Однако на Земле существуют места, где наблюдается аномально высокое содержание естественных радионуклидов в почве и горных породах. Например, в Бразильском регионе Гуарапары средний радиационный фон составляет до 0,63 мкГр/ч, при этом наблюдаются участки местности, т.н. «пятна», на которых мощность поглощенной дозы достигает 6,2 и даже 20 мкГр/ч! (ториевые пески на пляжах). Тем не менее, считается, что в этих пределах не возникают статистически значимые вредные био-медицинские эффекты в организмах аборигенов.

В то же время дозы ионизирующего излучения, существенно превышающие естественный радиационный фон, опасны для живых организмов и даже могут привести к летальному исходу.

Механизм действия ионизирующего излучения на молекулярном уровне можно схематически описать следующей последовательностью событий. Частицы излучения, проникающего в биологические ткани, непосредственно или косвенно вызывают ионизацию многих атомов, отрывая от них электроны, а также производят возбуждение атомов. При ионизации атома от него отрывается электрон, который может свободно перемещаться в веществе. И свободный электрон, и ионизированный (либо возбужденный)

атом за среднее время жизни возбужденного состояния $\sim 10^{-8}$ сек успевают принять участие в сложной цепи реакций, в результате которых образуются новые молекулы, включая и чрезвычайно реакционноспособные свободные радикалы. Далее за время $\sim 10^{-6}$ сек образовавшиеся свободные радикалы реагируют как друг с другом, так и с другими молекулами и через цепочку реакций, еще до конца не изученных, могут вызвать химическую модификацию важных в биологическом отношении молекул, необходимых для нормального функционирования клетки. Последующие биохимические изменения могут произойти как через несколько секунд, минут, часов, так и через десятилетия после облучения. Изменений, вызванных в живом организме ионизирующим излучением, будет тем больше, чем больше энергии излучение передаст тканям. Переданная энергия определяется поглощенной дозой излучения. В зависимости от величины поглощенной дозы первичные изменения, вызванные ионизирующим излучением в биологической ткани, могут привести к мутации и даже гибели клеток, при значительном количестве которых могут возникнуть *стохастические эффекты*, т.е. эффекты, носящие вероятностный характер: различные соматические нарушения (например, раки) или наследственные эффекты, а в случае облучения зародыша или плода к ним добавляются к эмбриотоксические эффекты. При серьезных и комплексных нарушениях функций органов или тканей наблюдаются *детерминированные эффекты*, степень тяжести которых зависит от поглощенной дозы (незлокачественное повреждение кожи, катаракта, лучевая болезнь, временная, или постоянная стерилизация и др.).

Однако в случае стохастических эффектов поглощенная доза не полностью определяет последствия облучения. Если поглощенная доза меньше некоторой пороговой величины, при которой вероятность наступления детерминированных эффектов близка к 100% (для человека по общепринятым экспертным оценкам она определяется величиной примерно в 1 Гр) при одинаковой поглощенной дозе альфа - излучение или нейтроны гораздо опаснее бета или гамма - излучения. Первичной причиной этого является различное пространственное распределение ионизации и возбуждения атомов. При одном и том же общем количестве ионов более высокая их концентрация (например, в треках альфа - частиц) представляет и большую опасность для клеток организма.

В радиационной безопасности особенности биологического действия различных видов ионизирующего излучения, способных вызывать стохастические эффекты, учитывают путем умножения поглощенной дозы на *взвешивающий коэффициент излучения* w_R , отражающий экспертную оценку способности излучения данного вида и определенной энергии приводить к стохастическим эффектам в живых тканях организма. Пересчитанную таким образом дозу называют **эквивалентной дозой**.

Эквивалентная доза $H_{T,R}$ ионизирующего излучения вида R , созданная

в некотором органе или ткани T , это – нормируемая величина, равная произведению поглощённой дозы данного вида излучения в данном органе или ткани $D_{T,R}$ на соответствующий ему взвешивающий коэффициент излучения w_R :

$$H_{T,R} = w_R D_{T,R} . \quad (5)$$

При облучении определенного органа, или ткани смешанным ионизирующим излучением рассматривают сумму:

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R} . \quad (6)$$

Численные значения взвешивающих коэффициентов для различных видов ионизирующего излучения приведены в таблице 1 (источник: Санитарные нормы и правила «Требования к обеспечению радиационной безопасности». Постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь 28.12.2012 № 213).

Таблица 1.

Взвешивающие коэффициенты для различных видов ионизирующего излучения.

Вид излучения	w_R
Фотоны	1
Электроны и мюоны	1
Протоны и заряженные пионы	2
Альфа-частицы, осколки деления, тяжелые ионы	20
Нейтроны	Непрерывная функция кинетической энергии нейтронов (6) (рис. 1)

Все значения даны для излучения, нормально падающего на поверхность тела, или (для источников внутреннего облучения) испущенного инкорпорированными радионуклидами. На сегодняшний день остается неясным, как оценивать биомедицинское действие электронов Оже.

Для нейтронов с кинетической энергией E_n

$$w_R = \begin{cases} 2,5 + 18,2 \exp\left(-\frac{1}{6} \ln^2 E_n\right), E_n < 1 \text{ МэВ}; \\ 5,0 + 17,0 \exp\left(-\frac{1}{6} \ln^2 (2E_n)\right), 1 \text{ МэВ} \leq E_n \leq 50 \text{ МэВ}; \\ 2,5 + 3,25 \exp\left(-\frac{1}{6} \ln^2 (0,04E_n)\right), E_n > 50 \text{ МэВ}. \end{cases} \quad (6)$$

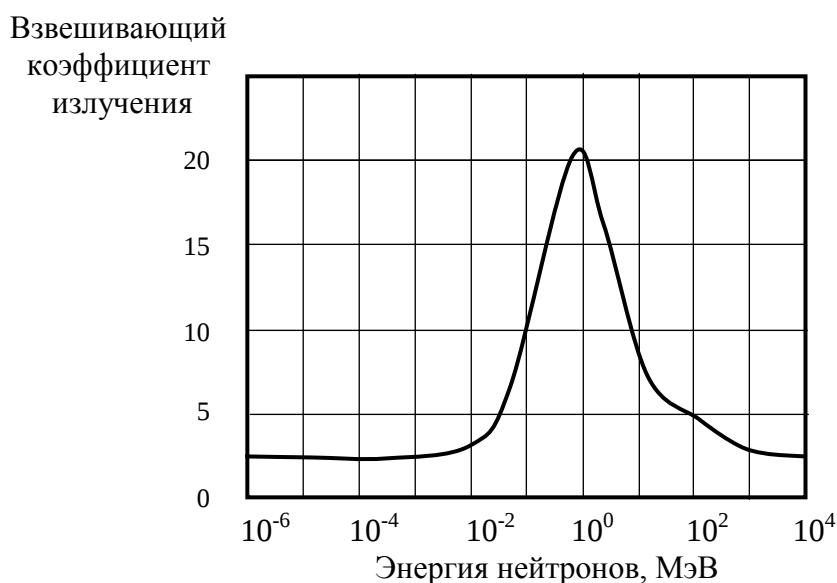


Рис. 1

Взвешивающие коэффициенты нейтронного излучения различных энергий

Единицей измерения эквивалентной дозы излучения в СИ является Дж/кг, имеющей специальное название – **зиверт** (Sv, Зв). Отметим, что для рентгеновского, бета- и гамма-излучения численные значения поглощенной и эквивалентной дозы совпадают.

Реакция на ионизирующее излучение различных органов и тканей в области стохастических эффектов может быть по-разному выраженной при одинаковых виде излучения и поглощенной дозы. Иными словами, одни части тела (органы, ткани) более чувствительны к действию радиации, чем другие. Например, при одинаковой эквивалентной дозе облучения возникновение рака в легких более вероятно, чем в щитовидной железе, а облучение половых желез особенно опасно из-за риска генетических повреждений. Для учета неодинаковой чувствительности различных органов к радиации вводится специальная нормируемая дозовая величина – **эффективная доза**.

Эффективная доза E определяется как сумма произведений эквивалентных доз, полученных каждым органом, на соответствующие тканевые взвешивающие коэффициенты w_T :

$$E = \sum_T w_T H_T = \sum_T w_T \sum_R H_{T,R}, \quad (7)$$

Значения взвешивающих коэффициентов для различных групп органов и тканей установлены в нормативном документе «Санитарные нормы и правила «Требования к обеспечению радиационной безопасности». Постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь 28.12.2012 № 213» и приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Взвешивающие коэффициенты для органов и тканей

Ткань	w_T	$\sum_T w_T$
Костный мозг (красный), толстая кишка, легкие, желудок,	0.12	0.72
Молочная железа, Остальные ткани		
Гонады	0.08	0.08
Мочевой пузырь, Пищевод, Печень, щитовидная железа	0.04	0.16
Поверхность кости, головной мозг, слюнные железы, кожа	0.01	0.04
	Итого	1.00

Эффективная доза отражает суммарный эффект облучения для организма и используется как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения. Она также измеряется в зивертах.

Доза в 1 Гр, получаемая водой, сможет нагреть ее только на 0,00024 °С. Тем не менее, для человека доза в 1 Зв приблизительно соответствует порогу появления детерминированных последствий после облучения или, как говорят, «лучевой болезни». При дозе 6 Зв смертность достигает 50%. При дозе менее 1 Зв явных последствий облучения не наблюдается, однако весьма велика вероятность стохастических эффектов. При этом считается, что возрастание вероятности неблагоприятных последствий пропорционально полученной дозе.

Поскольку 1Зв – это очень большая доза, обычно пользуются тысячной или миллионной дозой зиверта: мЗв, мкЗв.

Основы радиационной безопасности

В Республике Беларусь основы правового регулирования в области обеспечения радиационной безопасности населения определены в Законе о радиационной безопасности населения.

Для обеспечения радиационной безопасности применяется принцип нормирования – непревышение определенных пределов доз облучения граждан от всех источников ионизирующего излучения. При этом запрещаются все виды деятельности с использованием источников ионизирующего излучения, при которых получаемая польза не превышает риск возможного вреда для человека и общества (принцип обоснования деятельности с использованием источников ионизирующего излучения). Кроме того, с учетом экономических возможностей и социальных факторов поддерживается на минимально возможном низком уровне число облучаемых лиц, и минимизируются дозы их облучения.

Допустимые пределы средних годовых эффективных доз облучения на территории Республики Беларусь устанавливаются законодательно и составляют 0,001 зиверта в год для всего населения, 0,02 зиверта в год для персонала, работающего с источниками излучения.

Регламентируемые значения основных пределов доз облучения не включают в себя дозы, создаваемые естественным радиационным и техногенно измененным радиационным фоном, а также дозы, получаемые гражданами (пациентами) при медицинском облучении.

Для определения получаемых доз облучения необходимо измерять не только уровень внешнего облучения, обусловленный источниками, находящимися вне тела человека, но необходимо также определять так называемое внутреннее облучение, вызываемое радиоактивными веществами, поступающими в организм при дыхании (ингаляционное поступление), с потребляемой пищей (пероральное поступление), и реже при всасывании через кожу (перкутанное поступление). Внутреннее облучение непосредственно не измеряется – контроль внутреннего облучения осуществляется путем измерения содержания радионуклидов в воздухе и продуктах питания и расчета получаемых при этом доз облучения, а также путем измерения содержания инкорпорированных радионуклидов в теле человека с помощью гамма- и бета-спектрометров излучения человека (СИЧ).

Основным количественным критерием внутреннего облучения человека является **годовое поступление** (количество радиоактивных веществ, попавших в организм). Годовое поступление нормируется путем установления **допустимых уровней** содержания радионуклидов в воздухе и в различных продуктах питания с учетом их среднего годового потребления.

Например, допустимый уровень содержания радионуклида ^{137}Cs в питьевой воде составляет 10 Бк/кг, а в молоке – 100 Бк/кг.

Простейшие дозиметрические расчеты

При работе с точечными радиоизотопными источниками гамма излучения можно рассчитать ожидаемую мощность дозы облучения, если известен вид материнского радионуклида источника и активность источника. Мощность дозы гамма излучения на расстоянии R от изотропного точечного источника с активностью A в вакууме, или воздухе находится по формуле

$$\dot{D} = \Gamma \frac{A}{R^2}, \quad (8)$$

где коэффициент Γ (гамма-постоянная) определяется спектром излучения источника и видом дозы. Гамма-постоянная для определения экспозиционной дозы называется ионизационной гамма-постоянной и измеряется в СИ в $\text{А} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{Бк}^{-1}$. Широко используемая внесистемная единица измерения ионизационной гамма-постоянной – $\text{Р} \cdot \text{см}^2 / \text{час} \cdot \text{мКи}$. Если по формуле (8) рассчитывается поглощенная доза, то соответствующая гамма-постоянная называется энергетической гамма-постоянной. Ее единицы измерения в СИ $\text{Гр} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{Бк}^{-1}$. Значения коэффициентов Γ для различных источников можно найти в справочной литературе. Для источников, используемых в данном лабораторном практикуме, взяты следующие гамма-постоянные Γ :

Cs-137	3,24 $\text{Р} \cdot \text{см}^2 / \text{ч} \cdot \text{мКи}$,
Co-60	12,85 $\text{Р} \cdot \text{см}^2 / \text{ч} \cdot \text{мКи}$,
Na-22	11,85 $\text{Р} \cdot \text{см}^2 / \text{ч} \cdot \text{мКи}$.

Указанная размерность Γ требует подставлять в формулу (8) активность в милликюри ($1 \text{ мКи} = 3,7 \cdot 10^7 \text{ Бк}$), расстояние R в сантиметрах, при этом мощность экспозиционной дозы получится в рентгенах в час.

Формулу (6) можно использовать, если размеры источника и области наблюдения много меньше R , и нет существенного поглощения излучения на пути от источника к области наблюдения.

Наличие вещества, рассеивающего и поглощающего гамма излучение, приводит к уменьшению мощности дозы. Для мощности дозы $\dot{D}^0(x)$, созданной излучением, прошедшим в поглотителе слой x , но не претерпевшим взаимодействия с веществом, имеет место формула

$$\dot{D}^0(x) = \dot{D}(0) * \exp(-\mu x) \quad (9)$$

Здесь x – длина отрезка прямой, соединяющего точку входа излучения в поглотитель с точкой в поглотителе, в которой определяется $\dot{D}^0(x)$; $\dot{D}(0)$ – мощность дозы при $x = 0$; μ – линейный коэффициент ослабления, зависящий от вещества поглотителя и энергии гамма излучения. Формула (9) применима для случая однородной среды и только для моноэнергетического

гамма излучения; она не учитывает вклад провзаимодействовавшего с поглотителем излучения.

Если имеется пластинка толщиной d , поглощающая гамма излучение, то величина x будет совпадать с d только в случае нормального прохождения пучка гамма излучения через пластинку. Значения коэффициентов μ для различных веществ и энергий гамма излучения можно найти в справочной литературе. Для излучения Cs-137 с энергией 662 кэВ линейный коэффициент ослабления в свинце составляет $1,18 \text{ см}^{-1}$. Поглощением гамма излучения в воздухе для расстояний в несколько метров обычно можно пренебречь.

Экспериментальная часть

Задание 1.

Изучить руководство по эксплуатации дозиметра ДКГ – АТ2503А. Включить прибор, рассмотреть изображение на индикаторе. Перейти в подрежим меню. Перебрать все сообщения меню и научиться переводить прибор в подрежимы индикации мощности дозы и индикации накопленной дозы. Обнулить накопленную дозу. Проверить выбор порогов сигнализации по дозе и мощности дозы.

Последующие измерения мощности дозы проводить с погрешностью $\pm 50\%$ в соответствии с краткой инструкцией для работы с дозиметром ДКГ-АТ2503А: время выдержки до первого снятия показаний – 4 мин, время до каждого последующего снятия показаний – 4 мин, всего снять три показания и усреднить.

Задание 2.

Измерить мощность дозы гамма излучения на рабочем столе. Записать полученное значение мощности дозы и погрешность измерения.

Измерить мощность дозы в одном из следующих мест (по выбору преподавателя): у стены лаборатории, на подоконнике, на поверхности сейфа с радиоактивными источниками и др.

Сравнить полученные значения между собой и с результатами измерений на других столах.

Сравнить эти данные с типичным значением уровня естественного фона гамма излучения.

Оценить ожидаемую годовую дозу при полученном значении мощности дозы на рабочем столе.

Задание 3.

Получить радиоактивный источник. По номеру источника установить его активность. Положить источник на рабочий стол и поместить дозиметр над источником на специальной подставке.

Измерить расстояние между центром источника и геометрическим

центром чувствительного объема детектора, который отмечен метками на корпусе дозиметра.

Рассчитать по формуле (8) ожидаемую мощность экспозиционной дозы в месте расположения дозиметра. Пересчитать полученное значение в мощность поглощенной дозы в единицах, указываемых на индикаторе дозиметра.

Измерить мощность поглощенной дозы при указанном выше размещении источника и дозиметра.

Сравнить результаты измерения мощности дозы с расчетным значением, учитывая ранее измеренную величину радиационного фона.

Оценить ожидаемую годовую дозу при полученном значении мощности дозы на выбранном расстоянии от источника.

Сравнить оценку ожидаемой годовой дозы с допустимым пределом доз.

В режиме индикации дозы дозиметра посмотреть значение дозы, накопленной за время проведения лабораторной работы.

Сделать выводы.

Задание 4.

Измерить мощности дозы, поместив между источником и дозиметром в прежнем расположении свинцовую пластину известной толщины (4 – 7 мм).

Рассчитать, во сколько раз свинцовый поглотитель уменьшил мощность дозы от излучения источника. При расчете учесть величину радиационного фона.

Сравнить полученные результаты измерений с расчетами по формуле (9).

Задание 5.

Рассчитать, какая активность должна быть у источника на основе радионуклида Cs-137, чтобы при работе с этим источником на среднем расстоянии 50 см годовая доза была равна пределу дозы для персонала.

Рассчитать активность источника при тех же условиях облучения, при которой годовой предел дозы набирается за один рабочий день. (При работе над атомным проектом в 40-е годы прошлого века в США применялся предел суточной дозы в 0,1 рентгена. Сейчас это – годовой предел дозы для населения.)

Оценить, во сколько раз ослабляет гамма излучение Cs-137 свинцовый блок типа «ласточкин хвост» толщиной 5 см.

Индивидуальный дозиметр ДКГ-АТ 2503А

Предназначен для измерения индивидуальной *эквивалентной дозы* рентгеновского и гамма излучения с энергией 50 кэВ – 3 МэВ и мощности этой дозы.

Сигнализирует о превышении установленных порогов дозы и ее мощности.

Диапазоны измеряемых значений и относительная погрешность измерения:

<i>Доза</i>	от 1 мкЗв до 10 Зв	±15%
-------------	--------------------	------

<i>Мощность дозы</i>	от 0,1мкЗв/ч до 1 мкЗв/ч	$\pm 25\%$
	от 1мкЗв/ч до 0,1 Зв/ч	$\pm 15\%$

Принцип работы:

Регистрирует количество импульсов счетчика Гейгера-Мюллера и пересчитывает их полное количество в дозу, а скорость поступления (частоту) – в мощность дозы. Измерение дозы и мощности дозы, сравнение их с порогами осуществляется одновременно и непрерывно вне зависимости от индицируемой величины. Выбор индицируемой величины осуществляется оператором.

Основные режимы индикации

- индикация дозы
- индикация мощности дозы

Из каждого режима можно войти в **Меню** с разделами

OFF – для выключения

Cld – для обнуления дозы

Chd – для выбора порога дозы

Cdr – для выбора порога мощности дозы.

Управление дозиметром.

Управление осуществляется одной кнопкой тремя видами команд

Краткое нажатие кнопки (нажать и отпустить не позже, чем через 2 с)

Долгое нажатие кнопки (нажать и отпустить не раньше, чем через 3 с)

Пауза после определенных команд (не трогать кнопку ~5 с)

Включение.

Кратко нажать кнопку. Дозиметр перейдет в режим самоконтроля. На индикаторе появится изображение всех сегментов. Будет гореть подсветка индикатора и сигнальный светодиод в торце. Сработает длинный звуковой сигнал. Через 3 – 5 с будет индицироваться значение накопленной дозы.

Смена индикации (доза ↔ мощность дозы).

Кратко нажать кнопку. После каждого нажатия циклически меняется вывод *доза ↔ мощность дозы*, при этом на индикаторе появляется значение и размерность соответствующей величины.

Вход в Меню.

Долго нажать кнопку. Вход осуществляется из режимов индикации *доза* или *мощность дозы*, на индикаторе появляется сообщение OFF.

Смена разделов Меню.

Кратко нажать кнопку. После каждого нажатия циклически меняется разделы в последовательности: OFF → Cld → Chd → Cdr → OFF → и т.д.

Обнуление дозы.

Долго нажать кнопку в разделе **Меню Cld**. На индикаторе появится сообщение **0,00 μSv**, после чего кнопку следует отпустить. Через ~5 с дозиметр автоматически вернется в прежний основной режим индикации *доза* или *мощность дозы*.

Выбор порогов дозы и мощности дозы.

Долго нажать кнопку в разделах **Меню Chd** (для порога дозы) или **Cdr** (для порога мощности дозы). На индикаторе появится медленно мигающее значение текущего порога. Для циклической смены порогов из фиксированного набора значений необходимо **кратко** нажимать кнопку.

Значения порогов выбираются из следующего списка.

Доза: 30 μSv, 200 μSv, 1 mSv, 4,2 mSv, 12,5 mSv, 50 mSv, 100 mSv, 1 Sv;

Мощность дозы: 0,80 μSv/h, 3,0 μSv/h, 30,0 μSv/h, 300 μSv/h, 3 mSv/h, 30 mSv/h, 50 mSv/h, 100 mSv/h.

Индицируемое значение становится выбранным автоматически, если в течение ~ 5 с не

нажимать кнопку. При этом дозиметр автоматически вернется в прежний основной режим индикации *доза* или *мощность дозы*.

Выключение.

Войти в раздел **Меню OFF** (долго нажать кнопку). Повторное **долгое** нажатие кнопки выключает дозиметр. Индикатор гаснет.

Методика выполнения измерений мощности дозы с указанным в паспорте значением погрешности.

Поместить дозиметр в место измерения дозы и выдержать его там в течение 240 с (4 минуты). Записать последнее показание мощности дозы. Еще через 240 с записывается второе показание мощности дозы и т.д. В качестве результата измерения используется среднее значение по всем показаниям.

Для обеспечения относительной погрешности измерений не более $\pm 25\%$ при мощности дозы от 0,1 до 0,4 мкЗв/ч необходимо усреднять не менее чем по 12 показаниям. Для погрешности $\pm 50\%$ при тех же значениях мощности дозы необходимо усреднение по 3 показаниям.

Усреднение по меньшему количеству показаний и уменьшение времени для измерений приводит к увеличению погрешности.

При больших значениях мощности дозы время выдержки, число показаний и интервал между ними можно сокращать в соответствии с Приложением Г в заводском руководстве по эксплуатации.

Смена показаний дозиметра при мощности дозы до 350 мкЗв/ч происходит через 16 с. Дозиметр автоматически производит усреднение 16-ти последних показаний мощности дозы по методу скользящего среднего.