

Министерство образования и науки Российской Федерации
Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

**ЭЛЕМЕНТЫ ДОЗИМЕТРИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ
ИЗЛУЧЕНИЙ**

*Методические указания к лабораторной работе № 42 по
курсу «Физика» для студентов всех форм обучения
всех направлений подготовки*

Екатеринбург
УрФУ
2015

УДК 53.082

Составитель – А. А. Клименков

Научный редактор – проф., д-р физ.-мат. наук А. А. Повзнер

ЭЛЕМЕНТЫ ДОЗИМЕТРИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ
ИЗЛУЧЕНИЙ : методические указания к лабораторной работе № 42
по физике / А. А. Клименков. – Екатеринбург : УрФУ, 2015. – 17 с.

В лабораторной работе № 42 приведены основные понятия дозиметрии ионизирующих излучений, методы их регистрации, оценка доз облучения и активности источника гамма-излучения. Методические указания предназначены для студентов всех форм обучения всех специальностей.

Коллектив разработчиков экспериментальной установки: Д. Б. Шульгин, М. Е. Шейнкер, В. М. Исаков.

Подготовлено кафедрой физики

© Уральский федеральный университет,
2015

ВВЕДЕНИЕ

Открытие радиоактивности и обнаружение вредного биологического действия радиации на органы человека обусловили формирование нового самостоятельного раздела ядерной физики – дозиметрии ионизирующих излучений (ИИ).

Основными задачами дозиметрии являются: определение дозы или мощности дозы излучения в средах от различных видов излучений, измерение активности радиоактивных препаратов, а также определение соотношений между активностью источника излучения и создаваемой им дозой.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ДОЗИМЕТРИИ

Ионизирующее излучение – любое излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию электрических зарядов разных знаков. Ионизирующее излучение представляет собой поток заряженных и (или) незаряженных частиц. Принято различать непосредственно ионизирующее излучение и косвенно

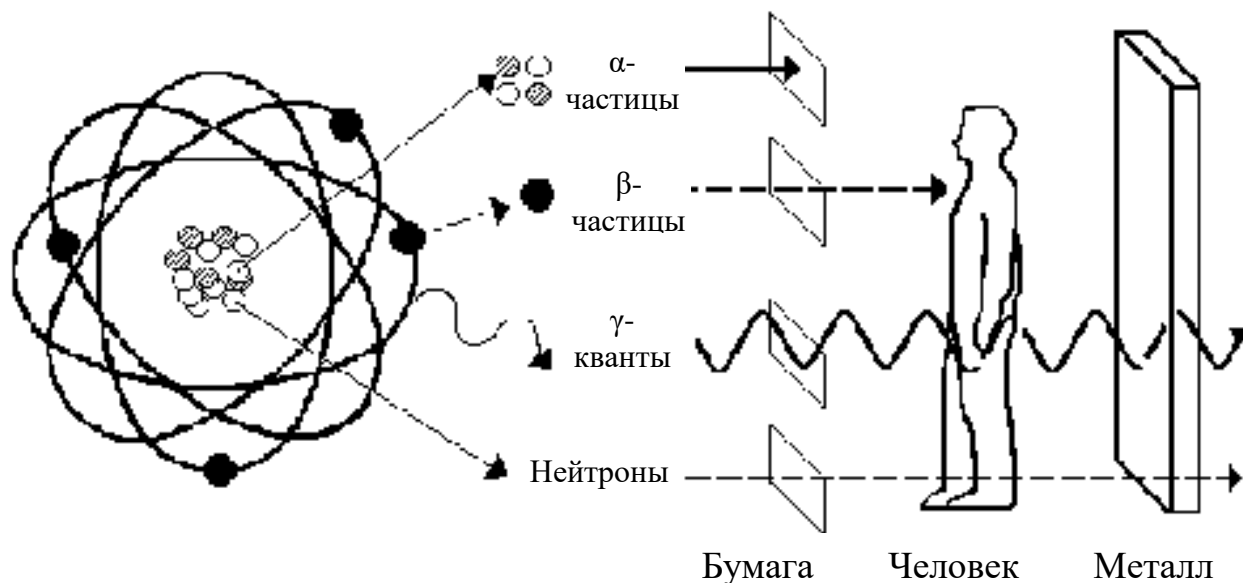


Рис. 1. Четыре вида излучений и их проникающая способность

Непосредственно ионизирующее излучение состоит из заряженных частиц, кинетическая энергия которых достаточна для ионизации атомов вещества. Примерами такого излучения являются α - и β -излучения радионуклидов, протонное излучение ускорителей и др.

Косвенно ионизирующее излучение состоит из незаряженных частиц (например, нейтронное и фотонное излучения), взаимодействие которых со средой приводит к возникновению заряженных частиц, которые, в свою очередь, способны непосредственно вызывать ионизацию.

Основным источником ИИ является радиоактивный распад – самопроизвольный распад нестабильного нуклида. Число распадов за секунду в радиоактивном образце называется его активностью A . Единица измерения активности в системе СИ – беккерель (Бк): один беккерель равен одному распаду в секунду. Внесистемная единица – кюри (Ки) показывает число распадов за 1 секунду в одном грамме радия ^{226}Ra ($1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$). С течением времени активность радиоактивного образца уменьшается по закону

$$A = A_0 e^{-\frac{\ln 2 t}{T_{1/2}}}, \quad (1)$$

где A_0 и A – активность образца в начальный момент времени и момент времени t соответственно; $T_{1/2}$ – период полураспада.

Для определения степени воздействия ИИ на разные объекты (рис. 1) используются понятия дозы и мощности дозы излучения. Ионизационная способность фотонного излучения характеризуется экспозиционной дозой.

Экспозиционная доза X фотонного излучения – отношение суммарного заряда dQ всех ионов одного знака, созданных в элементарном объеме воздуха с массой dm , к массе воздуха в этом объеме

$$X = \frac{dQ}{dm}. \quad (2)$$

Единица измерения экспозиционной дозы в СИ – кулон на килограмм (в настоящее время использование этой единицы Государственным стандартом не рекомендуется) (Кл/кг). Внесистемная единица экспозиционной дозы фотонного излучения – рентген ($1\text{Р} = 2,58 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг).

Основной физической величиной, принятой в дозиметрии для оценки меры энергетического действия ИИ на различные объекты, является поглощенная доза.

Поглощенная доза D излучения – отношение средней энергии $d\omega$, переданной ионизирующим излучением веществу в элементарном объеме, к массе dm вещества в этом объеме

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

Единица измерения поглощенной дозы в СИ – грей (Гр): $1 \text{ Гр} = \text{Дж/кг}$.

Внесистемная единица поглощенной дозы – рад ($1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр}$).

Результат воздействия излучения на объект определяется не только поглощенной энергией, но и характером распределения этой энергии в облучаемом объекте, видом излучения и другими факторами. В частности, биологический эффект облучения при прочих равных условиях различен для разных видов излучения. Для учета этого обстоятельства введено понятие эквивалентной дозы ИИ.

Эквивалентная доза H ИИ определяется как произведение поглощенной дозы D на средний коэффициент качества k ионизирующего излучения в данном элементе объема биологической ткани стандартного состава

$$H = k \cdot D. \quad (4)$$

Значения k для некоторых видов излучения приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значение коэффициентов качества k для различных видов излучения

Вид излучения	k
Рентгеновское и γ -излучения	1
β -излучение	1
Нейтроны с энергией ≤ 20 кэВ	3
Нейтроны с энергией 0,1-10 МэВ	10
Протоны с энергией ≤ 10 МэВ	10
α -излучения с энергией ≤ 10 МэВ	20

Единица эквивалентной дозы – зиверт (Зв).

Зиверт – такое количество энергии любого вида излучения, поглощенной одним килограммом биологической ткани, при котором наблюдается такой же биологический эффект, как и при поглощенной дозе в 1 Гр образцового рентгеновского излучения (с граничной энергией 180 кэВ). Внесистемная единица эквивалентной дозы – бэр (биологический эквивалент рада). $1 \text{ бэр} = 0,01 \text{ Зв}$.

Известно также, что одни части тела более чувствительны к воздействию радиации, чем другие (например, при одинаковой эквивалентной дозе облучения возникновение рака в легких более вероятно, чем в щитовидной железе). Поэтому дозы облучения различных органов следует учитывать с разными коэффициентами.

На основе радиобиологических данных в нормах радиационной безопасности (НРБ-96) установлены основные дозовые пределы для различных органов (табл. 2). Эти дозовые пределы не включают в себя дозы от природных, медицинских источников ионизирующего излучения и дозу вследствие радиационных аварий. На эти виды облучения устанавливаются специальные ограничения.

Величина дозы, определяющая тяжесть поражения организма, зависит от того, получает ли ее организм сразу или в несколько

приемов. Большинство органов успевает в той или иной степени залечить радиационные повреждения, поэтому организм лучше переносит серию мелких доз, чем ту же суммарную дозу облучения, полученную за один прием.

Изменение дозы излучения в единицу времени называется мощностью дозы. Один из наиболее часто употребляемых терминов дозиметрии – мощность экспозиционной дозы X – показывает отношение приращения экспозиционной дозы излучения dX за интервал времени dt к этому интервалу времени

$$\dot{X} = \frac{dX}{dt}. \quad (5)$$

Аналогично определяют мощности поглощенной и эквивалентной доз.

Таблица 2

Основные дозовые пределы, мЗв/год

Категория облучаемых лиц	Все тело	Хрустали к глаза	Кожа, кисти и стопы
Персонал, работающий с радиоактивными веществами	20	150	500
Остальное население	1	15	50

Следует отметить, что большинство приборов дозиметрического контроля позволяют измерять мощность экспозиционной дозы. Связь поглощенной и экспозиционной доз описывается соотношением

$$1P = 0,93 \text{ рад}. \quad (6)$$

РАСЧЕТ ДОЗ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ И ОЦЕНКА АКТИВНОСТИ ИСТОЧНИКА

Используемый в настоящей работе дозиметр АНРИ-01-02 позволяет измерить мощность экспозиционной дозы гамма-излучения. Умножив значение \dot{X} на время t облучения, можно рассчитать экспозиционную дозу X . Далее, с учетом коэффициента качества (табл. 1) и соотношения (6), можно оценить эквивалентную дозу излучения, полученную за время t .

Зависимость мощности экспозиционной дозы от активности источника гамма-излучения для точечного источника описывается формулой

$$\dot{X} = \frac{K_{\gamma} \cdot A}{R^2}, \quad (7)$$

где K_{γ} – постоянная ионизации; R – расстояние от источника до детектора; A – активность источника.

Множитель R^2 обусловлен сферической симметрией распространения гамма-излучения от точечного источника. В данной лабораторной работе источник не является строго точечным. Кроме того, на результаты эксперимента оказывает влияние ослабление излучения при прохождении среды. Эти обстоятельства могут приводить к некоторому отклонению изменения $\dot{X}(R)$ от закона $1/R^2$.

МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ИЗЛУЧЕНИЙ

В настоящее время существует ряд методов детектирования ионизирующих излучений, применение каждого из которых определяется типом, энергией излучения и другими факторами.

Основными характеристиками детекторов являются следующие:

1) эффективность – отношение числа частиц, зарегистрированных детектором, к общему числу прошедших через него частиц;

2) пространственное разрешение – погрешность, с которой детектор может фиксировать положение частицы в пространстве;

3) временное разрешение – минимальный промежуток времени между прохождениями двух частиц, когда сигналы от них еще не накладываются.

Наиболее обширную группу детекторов составляют ионизационные детекторы, основанные на ионизации молекул и атомов газов, производимой первичными или вторичными заряженными частицами. К таким детекторам относится используемый в настоящей работе счетчик Гейгера. Эффективность ионизационных детекторов при регистрации заряженных частиц близка к 100 %, при регистрации γ -квантов - не превышает 1–3 %. Подобный принцип работы имеют полупроводниковые детекторы (ППД), только вместо газа в них применяется полупроводник. Преимущество ППД перед ионизационными счетчиками основано на том, что в твердом теле на одном и том же отрезке пути заряженная частица отдает в сотни раз больше энергии, чем в газе.

Широкое распространение в дозиметрии ИИ получили также сцинтилляционные счетчики. Сцинтилляционный счетчик состоит из вещества, способного люминесцировать под действием излучения (сцинтиллятора) и фотоэлектронного умножителя (ФЭУ).

Ионизирующее излучение, взаимодействуя с веществом сцинтиллятора, вызывает вспышку света. Фотоны, попадая на катод ФЭУ, выбивают электроны, в результате чего на катоде возникает электрический импульс, который далее усиливается и регистрируется.

Применение ФЭУ создало возможность широкого распространения черенковских счетчиков, в которых используется явление излучения Вавилова–Черенкова. Такое излучение возникает, когда заряженная частица движется в среде со скоростью, превышающей скорость света в этой среде.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Целью настоящей работы является знакомство с основными понятиями и приборами дозиметрии, измерение мощности экспозиционной дозы γ -источника, расчет его активности, а также расчет некоторых дозиметрических характеристик.

Экспериментальная установка (рис. 2) состоит из трех основных узлов, закрепленных на общей подставке.

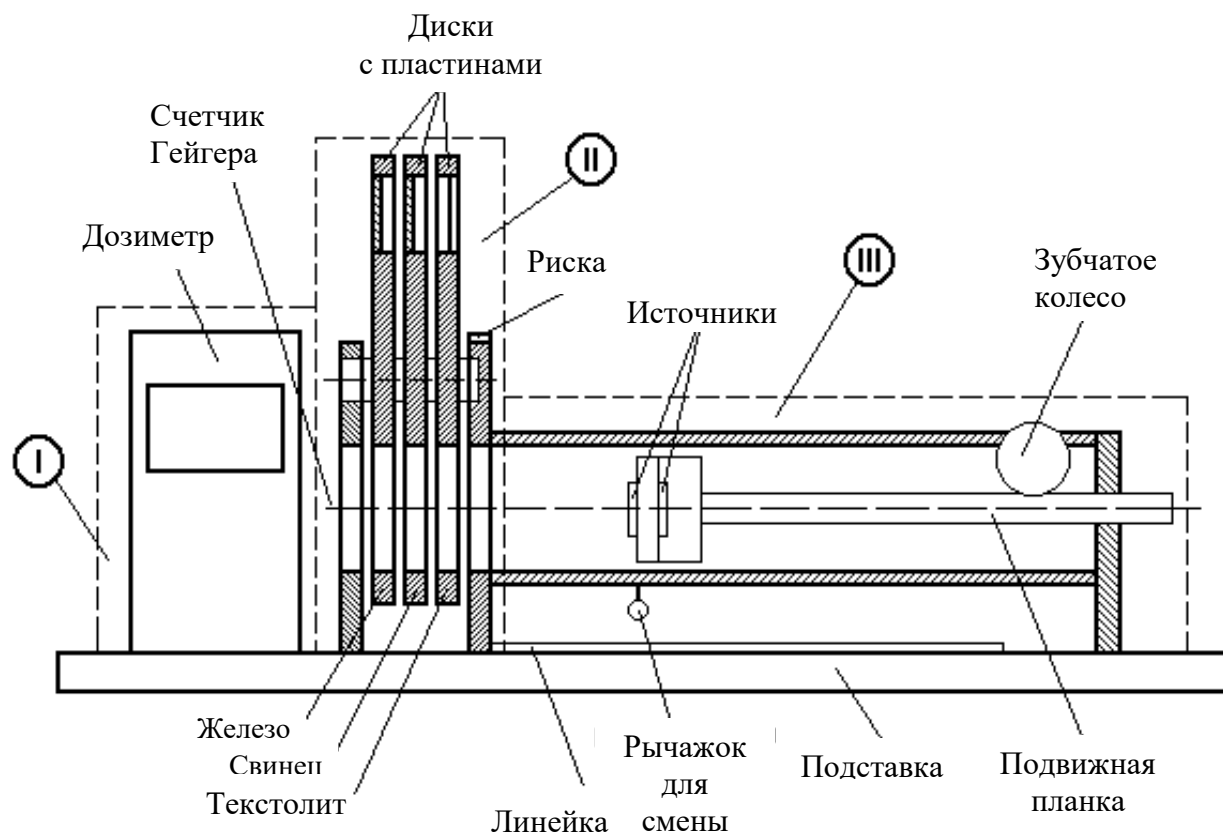


Рис. 2. Схема установки

1. Дозиметр АНРИ-01-02, состоящий из счетчика Гейгера, пересчетной схемы, системы управления и индикации. Он предназначен для измерения мощности экспозиционной дозы в мР/ч.

2. Набор пластин различной толщины, закрепленных в окнах трех дисков (для каждого диска – свой материал). Смена пластин происходит при повороте дисков, номер установленного окна находится напротив риски на корпусе прибора. Окно № 1 на всех дисках свободно.

3. Блок перемещения источника излучения. Источник расположен на подвижной планке. Ее передвижение осуществляется вращением зубчатого колеса. Под планкой закреплена линейка, по которой отсчитывается расстояние между источником и счетчиком Гейгера. На указателе, с помощью которого снимается отсчет расстояния, обозначен номер источника (в положении 1 – гамма-источник ^{60}Co , в положении 2 – бета-источник). Смена источника производится в среднем положении планки поворотом указателя вокруг вертикальной оси на 180° до фиксации.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Задача 1. Измерение мощности экспозиционной дозы γ -источника и расчет его активности.

1. Установить переключатель режима работы дозиметра в положение «МД» (влево). Включить дозиметр.

2. Установить все три диска в положение, соответствующее наибольшей толщине материала. При этом цифра 6 находится вверху, напротив риски.

3. Установить указатель типа источника в положение 1 (цифра 1 на указателе должна быть направлена в сторону измерительной линейки). Вращением зубчатого колеса полностью выдвинуть вправо подвижную планку, чтобы максимально удалить источник излучения от дозиметра.

4. Выполнить измерение величины радиационного фона. Для этого нажать кнопку «пуск–стоп» дозиметра. Через 20 с прозвучит звуковой сигнал, и на шкале появится значение мощности дозы в мР/ч. Повторить измерения еще 4 раза (для этого достаточно, не выключая прибор, нажать кнопку «пуск–стоп»). Величину радиационного фона \dot{X}_ϕ принять равной среднему арифметическому полученных значений. Значение \dot{X}_ϕ занести в табл. П.1 в мкР/ч.

5. Установить все три диска в положение 1 (пустые окна).

6. Установить подвижную планку в крайнее левое положение (источник находится на минимальном расстоянии от дозиметра, $R_0 = 5$ см). Выполнить измерения мощности дозы 5 раз. Данные занести в табл. П.1 в мкР/ч.

7. Снять зависимость мощности дозы \dot{X} от расстояния R между источником и дозиметром. Для этого, увеличивая R на 2 см ($R = R_0 + R_n$, где R_n – отсчет по шкале линейки), измерять мощность дозы 5 раз на каждом расстоянии. Данные занести в табл. П.1 ($\dot{X}_0 = \langle \dot{X} \rangle - \dot{X}_\phi$).

8. Выключить дозиметр.

9. Построить график $\dot{X}_0 = f(R)$.

10. Рассчитать активность источника по формуле (7) (постоянная ионизации K_γ находится на рабочем месте). Результаты расчетов занести в табл. П.2. Рассчитать среднее значение активности $\langle A \rangle$.

11. Оценить случайную погрешность определения активности источника (см. приложение).

12. Рассчитать активность источника ^{60}Co через 3 года после данного эксперимента ($T_{1/2} = 5,27$ года) по формуле (1).

Задача 2. Расчет некоторых дозиметрических характеристик.

1. По данным табл. П.1 рассчитать экспозиционную дозу X за время выполнения работы ($t = 1,5$ часа) на расстоянии R от γ -источника (значение R задается преподавателем):

$$X = \dot{X}_0 \cdot t(P).$$

2. Рассчитать поглощенную дозу для объекта, находящегося на расстоянии R от γ -источника:

$$D = X \cdot 0,0093 \text{ (Гр)}.$$

3. Рассчитать эквивалентную дозу для человека, находящегося на расстоянии R от γ -источника (для γ -излучения $k = 1$):

$$H = k \cdot D \text{ (Зв)}.$$

4. Сравнить предельно допустимую дозу $H_{ГД}$ (табл. П.2) с рассчитанной H . Определить, за какое число занятий N человек

может получить предельно допустимую дозу при его нахождении на расстоянии R от γ -источника без дополнительной защиты. Полученные данные занести в табл. П.3.

5. Оценить влияние защиты на уменьшение полученной дозы. Для этого один из дисков с пластинами, например со свинцом (см. схему установки), установить в одно из положений 2-6 и на заданном расстоянии от γ -источника найти мощность дозы X . Выполнить расчеты по пунктам 1–4 данной задачи.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется ионизирующим излучением?
2. Что такое активность источника?
3. Дать определение экспозиционной, поглощенной и эквивалентной дозам излучения.
4. Что такое мощность дозы?
5. В чем заключается принцип работы счетчика Гейгера?
6. Рассчитать эквивалентную дозу нейтронного излучения, которую получит человек за 1 ч при мощности поглощенной дозы $1 \cdot 10^{-7}$ Гр/с.

РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов В. И. Курс дозиметрии / В. И. Иванов. М. : Энергоатомиздат, 1988.
2. Трофимова Т. И. Курс физики / Т. И. Трофимова. М. : Высшая школа, 1990.
3. Элементы дозиметрии ионизирующих излучений : методические указания к лабораторной работе № 42 по физике / сост. Р. А. Адамеску, М. В. Жуковский, М. Е. Шейнкер, Д. Б. Щульгин. – Екатеринбург: УПИ, 1992.
4. Нормы радиационной безопасности НРБ-96. М. : Госкомсанэпиднадзор. Россия, 2010.

ФОРМА ОТЧЕТА

Титульный лист

УрФУ

Кафедра физики

О Т Ч Е Т

по лабораторной работе № 42

Элементы дозиметрии ионизирующих излучений

Студент _____

Группа _____

Дата _____

На внутренних страницах

1. Расчетная формула

$$A = \frac{\dot{X}_0 \cdot R^2}{K_\gamma},$$

где K_γ – постоянная ионизации, R – расстояние от источника до детектора, A – активность источника, \dot{X} – мощность экспозиционной дозы.

2. Средства измерений и их характеристики:

Наименование средства измерения	Предел измерений	Цена деления	Предел основной погрешности

3. Установка № ..., источник излучения – ^{60}Co .

Задача 1. Измерение мощности экспозиционной дозы γ -источника и расчет его активности.

4. Результаты измерений:

Таблица П.1

R, см	\dot{X} , мкР/ч					$\langle \dot{X} \rangle$, мкР/ч	\dot{X}_ϕ , мкР/ч	\dot{X}_0 , мкР/ч
	1	2	3	4	5			

5. Построение графика $\dot{X}_0 = f(R)$ по данным табл. П.1, где $\dot{X}_0 = \langle \dot{X} \rangle - \dot{X}_\phi$.

6. Результаты расчета активности γ -источника:

Таблица П.2

R, см	
\dot{X}_0 , мкР/с	
\dot{X}_0 , мкР/с	
A, Бк	

$\langle A \rangle = \dots$ Бк.

7. Расчет случайной погрешности определения активности γ -источника:

$$S_{\langle A \rangle} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_i - \langle A \rangle)^2}{n(n-1)}} = \dots \text{Бк},$$

$$\Delta_{\langle A \rangle} = \varepsilon_{\langle A \rangle} = t_{p,n} \cdot S_{\langle A \rangle} = \dots \text{Бк}.$$

8. Расчет активности γ -источника на 1 января 2000 года.

Задача 2. Расчет некоторых дозиметрических характеристик.

9. Экспозиционная доза за время выполнения лабораторной работы на расстоянии $R = \dots$ см от γ -источника

$$X = \dot{X} \cdot t = \dots \text{Р}.$$

10. Поглощенная доза для объекта, находящегося на расстоянии $R = \dots$ см от γ -источника:

$$D = X \cdot 0,0093 = \dots \text{Гр.}$$

11. Эквивалентная доза для человека, находящегося на расстоянии $R = \dots$ см от γ -источника:

$$H = KD = \dots \text{Зв.}$$

12. Число занятий, за которое человек может получить предельно допустимую дозу при его нахождении на расстоянии $R = \dots$ см от γ -источника:

$$N = \frac{H_{np}}{H} \dots$$

13. Результаты расчетов:

Таблица П.3

$R, \text{ м}$	$\dot{X}, \text{ Р/ч}$	$X, \text{ Р}$	$D, \text{ Гр}$	$H, \text{ Зв}$	N

14. Выводы (записать полученное значение активности источника с погрешностью ее определения, проанализировать полученную зависимость $\dot{X}_0 = f(R)$, оценить влияние защитных экранов).

