

Практическое занятие по теме «Негативные факторы. Ионизирующее излучение»

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ФОРМУЛЫ

1. Закон радиоактивного распада $N = N_0 e^{-\lambda t}$,
где N - число нераспавшихся атомов к моменту времени t ,
 N_0 – число нераспавшихся атомов в начальный момент времени
 λ - постоянная радиоактивного распада, т.е. вероятность распада за единицу времени.
2. Период полураспада T – промежуток времени, в течение которого число нераспавшихся атомов уменьшается в два раза $T = \ln 2 / \lambda$.
3. Число атомов, распавшихся за время t ,
$$\Delta N = (N_0 - N) = N_0(1 - e^{-\lambda t}).$$

Число атомов, распавшихся за малый промежуток времени dt ($dt \ll T$),
$$dN = - \lambda N dt.$$

4. Активность радиоактивного изотопа A - величина, равная числу распадов за единицу времени: $A = dN/dt = \lambda N$.
Активность изотопа изменяется с течением времени по закону: $A = A_0 e^{-\lambda t}$, где
 $A_0 = \lambda N_0$ - активность изотопа в начальный момент времени.
Удельная активность изотопа массой m равна $a = A/m$.
В СИ за единицу активности принимается беккерель (Бк): $1 \text{ Бк} = 1 \text{ расп./с}$.
Внесистемная единица активности кюри (Ки): $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^7 \text{ расп./с} = 3,7 \cdot 10^7 \text{ Бк}$.
5. Закон ослабления плотности потока ионизирующих частиц или фотонов с одинаковой энергией при прохождении через вещество
где J_0 – плотность потока частиц, падающих на поверхность,
 J - плотность потока частиц после прохождения через слой вещества толщиной d ,
 μ - линейный коэффициент ослабления, зависящий от природы вещества и энергии ε_γ падающего излучения (μ находится по графику $\mu = f(\varepsilon_\gamma)$),
приведенному на странице 3.
6. Закон уменьшения интенсивности узкого пучка монохроматических гамма-лучей при прохождении через вещество
$$I = I_0 e^{-\mu d},$$

где I_0 – интенсивность гамма-лучей, падающих на вещество, I – интенсивность гамма-лучей после прохождения слоя вещества толщиной d , μ - линейный коэффициент ослабления (см. график $\mu = f(\varepsilon_\gamma)$ на с. 3.)
7. Слой половинного ослабления $d_{1/2}$ - это толщина слоя, ослабляющего интенсивность излучения в два раза: $I/I_0 = 2$, $I/I_0 = e^{\mu d_{1/2}} = 2$, $d_{1/2} = \ln 2 / \mu$.
8. Поглощенная доза D ионизирующего излучения – это энергия излучения, поглощенная единицей массы вещества: $D = dE/dm$ или $D = \Delta E/m$

В СИ за единицу поглощенной дозы принимается грей (Гр): $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$.

В качестве внесистемной единицы поглощенной дозы в практической дозиметрии иногда используется рад : $1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр}$.

9. Эквивалентная доза ионизирующего излучения $D_{\text{экв}} = D \cdot K$, где K – безразмерный коэффициент, зависящий от природы излучения. Для рентгеновского и гамма-излучения, а также электронов, позитронов и бета-излучения $K = 1$, для более тяжелых частиц (протонов, нейтронов, альфа-частиц, тяжелых ядер) $K > 1$, максимальное значение K равно 20.

Размерность эквивалентной дозы совпадает с размерностью поглощенной дозы, но единица ее называется зиверт (Зв): $1 \text{ Зв} = 1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад} = 100 \text{ бэр}$

при ($K = 1$), где 1 бэр – биологический эквивалент рада.

1 бэр – энергия излучения, поглощенная единицей массы живой ткани (при $K = 1$)
 $1 \text{ бэр} = 1 \text{ рад}$.

10. Мощность поглощенной дозы $\dot{D}$ – это энергия излучения, поглощенная единицей массы вещества за единицу времени:

$$D = VE / m\Delta t = D / Vt.$$

В СИ единицей мощности поглощенной дозы является Гр/с, единицей мощности эквивалентной дозы – Зв/с

11. Экспозиционная доза X гамма- и рентгеновского излучения – это величина, равная отношению суммы электрических зарядов Δq всех ионов одного знака, созданных в облученном воздухе, к массе этого воздуха:

$$X = Vq / m.$$

В СИ единица экспозиционной дозы 1 Кл/кг. Внесистемной единицей является рентген (Р). Один рентген соответствует образованию $2,08 \cdot 10^9$ пар ионов в 1 см^3 воздуха при нормальных условиях: $1 \text{ Р} = 2,57976 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$.

Энергетическим эквивалентом рентгена является грей: $1 \text{ Р} = 88 \cdot 10^{-4} \text{ Дж/кг}$ и рад: $1 \text{ Р} = 0,01 \text{ Дж/кг} = 1 \text{ рад} = 1 \text{ бэр}$.

12. Мощность экспозиционной дозы $\dot{X}$ – это отношение экспозиционной дозы гамма или рентгеновского излучения к тому промежутку времени, за который она была создана: $X = dX/dt$ или $X = VX / Vt$.

В СИ $[X] = \text{Кл/кг с} = \text{А/с}$. Предельно допустимая мощность дозы для населения не должна превышать 5 мЗв в год.

13. Если источник гамма-излучения является точечным, то $X = X_0 t / R^2$ где X – экспозиционная доза гамма-излучения, падающая за время t на объект, находящийся в воздухе на расстоянии R от источника;
 X_0 – мощность дозы на расстоянии, равном единице.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

ЗАДАЧА 1.1 Интенсивность узкого пучка гамма-излучения после прохождения слой свинца толщиной $d = 4 \text{ см}$ уменьшается в 8 раз. Определите энергию гамма-квантов и толщину слоя половинного ослабления для свинца.

РЕШЕНИЕ

Интенсивность I узкого пучка моноэнергетических гамма-лучей после прохождения через слой вещества толщиной d равна

$$I = I_0 e^{-\mu d},$$

где I_0 – интенсивность гамма-лучей, падающих на слой свинца. По условию задачи $I_0/I = 8$.

С другой стороны это отношение равно $I_0 / I = e^{\mu d}$.

Прологарифмируем последнее выражение почленно

$$\ln I_0/I = \mu d$$

и найдем линейный коэффициент ослабления $\mu = 1/d \ln I_0/I$.

Выполним расчет:

$$\mu = 1/4 \ln 8 = 3/4 \ln 2 = 0,52 \text{ см}^{-1}.$$

По графику зависимости $\mu = f(\varepsilon_\gamma)$ (см. с. 3) для свинца найдем энергию гамма-квантов

$$\varepsilon_\gamma = 2 \text{ МэВ}.$$

Толщина слоя половинного ослабления определяется по формуле $d_{1/2} = \ln 2 / \mu$ т.е.

$$d_{1/2} = \ln 2 / 0,52 = 1,33 \text{ см}.$$

ЗАДАЧА 1.2 Внутри человека массой 70 кг попал радиоактивный изотоп стронция ^{90}Sr с активностью $A = 1 \text{ мкКи}$. Этот изотоп испускает β -лучи со средней энергией $\langle \varepsilon_\beta \rangle = 1,14 \text{ МэВ}$. Найдите эквивалентную дозу излучения, которую получит человек за год. Ответ выразите в рентгенах и сравните с предельно допустимой.

РЕШЕНИЕ

Сначала выразим данные задачи в СИ.

$$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ расп/с} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}; \quad 1 \text{ мКи} = 10^{-6} \cdot 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк} = 3,7 \cdot 10^4 \text{ Бк}.$$

$$1 \text{ МэВ} = 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}; \quad \langle \varepsilon_\beta \rangle = 1,14 \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ Дж} = 1,82 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}.$$

Предельно допустимую дозу β -излучения примем равной 5 мЗв в год.

Эквивалентная доза излучения связана с поглощенной дозой

$$D_{\text{экв}} = DK,$$

где коэффициент K зависит от вида излучения и для β -излучения $K = 1$.

Поглощенная доза излучения по определению равна $D = \Delta E / m$,

где ΔE – энергия β -излучения, поглощенная массой m .

Если энергия одной β -частицы равна $\langle \varepsilon_\beta \rangle$, а число частиц, испускаемых источником

за одну секунду, равно A , то энергия ΔE , поглощенная за год, равна

$$\Delta E = \langle \varepsilon_\beta \rangle At,$$

а доза излучения, полученная за год, $D = \langle \varepsilon_\beta \rangle At / m$.

Выполним расчет: $D = 1,82 \cdot 10^{-13} \cdot 3,7 \cdot 10^4 \cdot 3,16 \cdot 10^7 / 70 = 3,04 \cdot 10^{-3} \text{ Гр} = 3,04 \text{ мЗв}$.

Выразим в рентгенах: $D = 3,04 \cdot 10^{-3} \text{ Гр} = 0,304 \text{ рад} = 0,304 \text{ Р}$.

Сравним с предельно допустимой дозой $(D_{\text{экв}})_{\text{пред}} = 5 \text{ мЗв}$ в год. Доза, полученная

человеком за год (3,04 мЗв), меньше предельно допустимой.

- ЗАДАЧА 1.3** Мощность экспозиционной дозы, создаваемой космическими Лучами на уровне моря, составляет 3 мкР/ч. Определите:
- 1) число пар ионов, возникающих в сосуде с воздухом объемом 4 см³ за одни сутки;
 - 2) долю подвергшихся ионизации молекул в сосуде;
- Энергия космической частицы в среднем равна $\langle \varepsilon \rangle = 1,4$ МэВ.

РЕШЕНИЕ

Сначала выразим мощность экспозиционной дозы излучения в СИ : $1 \text{ Р} = 2,57976 \cdot 10^4$
 $1 \text{ Р} = 2,57976 \cdot 10^4 \text{ Кл/кг}$; $X = 3 \text{ мкР/ч} = 3 \cdot 10^{-6} / 3,6 \cdot 10^3 \text{ Р/с} = 0,83 \cdot 10^{-9} \text{ Р/с} =$
 $= 0,83 \cdot 10^{-9} \cdot 2,57976 \cdot 10^4 \text{ Кл/кг} = 2,14 \cdot 10^{-13} \text{ А/кг}$.

- 1) Как известно, мощность экспозиционной дозы X равна отношению суммы

электрических зарядов q всех ионов одного знака, созданных в облученном воздухе за единицу времени, к массе этого воздуха:

$$X = q / m t .$$

Если N – число пар ионов, возникающих в сосуде, то $q = Ne$, где $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ - заряд одного иона. Масса воздуха в сосуде объемом V равна $m = \rho V$, где $\rho = 1,29 \text{ кг/м}^3$ – плотность воздуха при нормальных условиях.

Тогда $X = Ne / \rho V t$, откуда $N = X \rho V t / e$.

Выполним вычисления: $N = 2,14 \cdot 10^{-13} \cdot 1,29 \cdot 4 \cdot 10^{-6} \cdot 86400 / 1,6 \cdot 10^{-19} = 5,96 \cdot 10^5 \text{ 1/сут.}$

- 2) Доля n подвергшихся ионизации молекул в сосуде равна $n = N/N_0$,

где N_0 – общее число молекул в сосуде: $N_0 = m N_A / M$,

m – масса воздуха, M – молярная масса воздуха, $M = 29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$, N_A – число Авогадро. Тогда

$$n = N/N_0 = X \rho V M t / e \rho V N_A = X M t / e N_A .$$

$$n = 2,14 \cdot 10^{-13} \cdot 86400 \cdot 29 \cdot 10^{-3} / 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 6,023 \cdot 10^{23} = 5,56 \cdot 10^{-15} .$$

- ЗАДАЧА 1.4** Радиоактивный источник испускает гамма-лучи с энергией 1.5 МэВ. Мощность дозы, измеренная на рабочем месте, $X = 160 \text{ мкР/ч}$. Определите толщину свинцового экрана, при которой мощность дозы на рабочем месте будет равна предельно допустимой для 36-часовой рабочей недели.

РЕШЕНИЕ

Предельно допустимая мощность экспозиционной дозы для 36-рабочей недели составляет $X_{\text{пред.}} = 2,8 \text{ мР/ч} = 2,8 \cdot 10^{-3} / 3600 \text{ Р/с} = 7,78 \cdot 10^{-7} \text{ Р/с}$.

Закон изменения интенсивности пучка монохроматических гамма- лучей при

прохождении через вещество: $I = I_0 e^{-\mu d}$.

Предполагая, что мощность экспозиционной дозы гамма-излучения прямо-пропорциональна интенсивности, получим $\dot{X} = \dot{X}_0 e^{-\mu d}$.

По условию задачи $\dot{X} = \dot{X}_{пред}$. По графику $\mu = f(\varepsilon_\gamma)$ (см.с. 3) найдем, что при средней энергии гамма-квантов $\langle \varepsilon_\gamma \rangle = 1$ МэВ, линейный коэффициент ослабления для свинца $\mu = 0,8 \text{ см}^{-1}$.

Подставим численные значения в формулу $\dot{X}_{пред} = \dot{X}_0 e^{-\mu d}$:

$$7,78 \cdot 10^{-7} = 160 \cdot 10^6 e^{-0,8 d}, \text{ откуда } e^{0,8 d} = 160 \cdot 10^{-6} / 7,78 \cdot 10^{-7} = 205,66.$$
$$d = \ln 205,66 / 0,8 = 6,7 \text{ см.}$$

ЗАДАЧА 1.5 Точечный источник гамма-излучения активностью 3мкКи находится в центре сферического свинцового контейнера, внешний радиус которого 10 см. Определите массу контейнера, если известно, что мощность экспозиционной дозы снаружи его не превышает 2,8 мР/ч. Энергия гамма-квантов 1,5 МэВ, выход квантов 0,5 на распад. Коэффициент поглощения гамма-лучей

РЕШЕНИЕ

Сначала выразим все величины в СИ .

$$A = 3 \text{ мкКи} = 3 \cdot 10^{-3} \cdot 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк} = 11,1 \cdot 10^7 \text{ Бк}; \quad R_2 = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м};$$

$$\varepsilon_{\gamma 0} = 1,5 \text{ МэВ} = 1,5 \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ Дж} = 2,4 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}; \quad \mu = 3,3 \cdot 10^{-5} \text{ см}^{-1} = 3,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-1}$$

Энергия фотона, падающая на внутреннюю поверхность контейнера,

$$\varepsilon_{\gamma 1} = \varepsilon_{\gamma 0} e^{-\mu_1 R_1},$$

где R_1 – внутренний радиус контейнера, μ_1 - коэффициент поглощения воздуха.

Энергия фотона на выходе из контейнера

$$\varepsilon_{\gamma 2} = \varepsilon_{\gamma 1} e^{-\mu_2 (R_2 - R_1)},$$

где R_2 - внешний радиус контейнера, μ_2 - коэффициент поглощения свинца.

По графику $\mu = f(\varepsilon_\gamma)$ найдем, что при $\varepsilon_\gamma = 1,5$ МэВ коэффициент $\mu_2 = 0,58 \text{ см}^{-1}$

Из сравнения μ_1 и μ_2 следует, что $\mu_1 \ll \mu_2$, поэтому поглощением гамма-лучей в Воздухе пренебрегаем, т.е. $\varepsilon_{\gamma 1} \approx \varepsilon_{\gamma 0}$ и $\varepsilon_{\gamma 2} \approx \varepsilon_{\gamma 0} e^{-\mu_2 (R_2 - R_1)}$.

Через контейнер за единицу времени пройдет $A \alpha$ фотонов ($\alpha = 0,5$ – выход фотонов на один распад). Поэтому энергия излучения, выходящая из контейнера за 1 с равна

$$E = A \alpha \varepsilon_{\gamma 2} = A \alpha \varepsilon_{\gamma 0} e^{-\mu_2 (R_2 - R_1)}.$$

Чтобы перейти к данной в задаче мощности экспозиционной дозы $\dot{X}$, мысленно окружим контейнер слоем воздуха толщиной Δx (Δx мало). Этот воздушный слой поглотит энергию ΔE , равную

$$\Delta E = E - E e^{-\mu_1 \Delta x} = E (1 - e^{-\mu_1 \Delta x}).$$

Коэффициент поглощения воздуха μ_1 и толщина слоя Δx малы, поэтому, разлагая в ряд $e^{-\mu_1 \Delta x}$, получим $e^{-\mu_1 \Delta x} = 1 - \mu_1 \Delta x$ и $\Delta E = E \mu_1 \Delta x$.

Объем слоя воздуха толщиной Δx при условии, что Δx мало, приближенно равен $4 \pi R^2 \Delta x$, его масса $\Delta m = \rho_{\text{в}} 4 \pi R^2 \Delta x$, где $\rho_{\text{в}}$ - плотность воздуха при нормальных условиях.

Энергия, поглощенная единицей массы воздуха при нормальных условиях за 1 с, т.е. мощность экспозиционной дозы $\dot{X}$, равна

$$X = VE/Vm = E\mu_1 Vx/(4\pi R_2^2 Vx\rho_s) = A\alpha\varepsilon_\gamma e^{-\mu_2(R_2-R_1)}\mu_1/(4\pi R_2^2\rho_s),$$

$\rho_s = 1,29 \text{ кг/м}^3$. По условию задачи $X = 2,8 \text{ мР/ч} = 0,78 \cdot 10^{-6} \text{ Р/с} = 0,78 \cdot 10^{-8} \text{ Дж/кгс}$.

Здесь учтено, что $1 \text{ Р} = 0,01 \text{ Дж/кг}$.

Выразим R_1 из полученной формулы. Сначала найдем

$$e^{-\mu_2(R_2-R_1)} = X4\pi R_2^2\rho_s/(A\alpha\varepsilon_\gamma\mu_1),$$

затем $R_2 - R_1 = 1/\mu_1 \ln A\alpha\varepsilon_\gamma\mu_1/(X4\pi R_2^2\rho_s)$

и, наконец, $R_1 = R_2 - 1/\mu_2 \ln A\alpha\varepsilon_\gamma\mu_1/(X4\pi R_2^2\rho_s)$

Выполним расчет :

$$R_1 = 10^{-2} - 1/(0,58 \cdot 10^2) \ln 11,1 \cdot 10^7 \cdot 0,5 \cdot 2,4 \cdot 10^{-13} \cdot 3,3 \cdot 10^{-3} / (0,78 \cdot 10^{-8} \cdot 4\pi \cdot 10^{-2} \cdot 1,29) = 0,04$$

Масса свинцового контейнера ($\rho_{\text{свинца}} = 11,3 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$)

$$m = \rho_{\text{свинца}} V = \rho_{\text{свинца}} 4/3 \pi (R_2^3 - R_1^3),$$

$$m = 11,3 \cdot 10^3 \cdot 4/3 \pi (0,1 \cdot 10^3 - 0,04 \cdot 10^3) = 44,2 \text{ кг}$$

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

- 1.1 Рассчитайте толщину сферического свинцового контейнера с наружным радиусом $R = 10 \text{ см}$, внутри которого находится источник гамма-излучения активностью $A = 10 \text{ Ки}$. При каждом акте распада источник испускает два гамма-фотона с Энергией $\langle \varepsilon_\gamma \rangle = 2,5 \text{ МэВ}$. Допустимая плотность потока энергии гамма- излучения на выходе из контейнера не должна превышать $I_{\text{max}} = 3,2 \cdot 10^{-6} \text{ Дж/м}^2\text{с}$. Значение линейного коэффициента поглощения взять из графика. Внутренний радиус контейнера мал по сравнению с наружным.
- 1.2 Какая доля всех молекул воздуха при нормальных условиях ионизируется за 1 час рентгеновским излучением при мощности экспозиционной дозы $X = 516 \text{ мкА/кг}$.
- 1.3 Для определения вредного действия гамма-излучения на рабочем месте была применена ионизационная камера объемом $V = 2 \text{ л}$, заполненная воздухом при нормальном давлении и соединенная с электрометром. Емкость системы $C = 15 \text{ пФ}$. Чувствительность электрометра $V = 6,1 \text{ В/дел}$. Вычислите дозу гамма-лучей за шестичасовой рабочий день, если скорость перемещения стрелки электрометра составляет $5,07 \text{ дел/мин}$. Сколько времени в сутки можно ежедневно безопасно работать на этом рабочем месте? Максимально допустимая доза гамма- излучения составляет $0,1 \text{ Р}$ за неделю.
- 1.4 Определите эквивалентную дозу гамма-излучения, полученную человеком массой 60 кг , при поглощении энергии гамма-излучения ^{60}Co за время $t = 1 \text{ сутки}$. Активность препарата $A = 100 \text{ мКи}$. Энергия гамма-кванта $\langle \varepsilon_\gamma \rangle = 1,3 \text{ МэВ}$.
Как изменится полученная человеком доза излучения, если на пути узкого пучка Гамма-лучей с такой энергией поместить бетонную стену толщиной 10 см ? Коэффициент ослабления для бетона определить по графику на с. 3 .
- 1.5 На какую глубину надо погрузить в воду источник узкого пучка гамма-лучей , чтобы мощность дозы излучения на поверхности воды не превышала $1,89 \cdot 10^{-7} \text{ Гр/с}$? Активность препарата $A = 20 \text{ мКи}$, энергия излучаемого гамма-кванта $1,6 \text{ МэВ}$. Линейный коэффициент ослабления найдите по графику $\mu = f(\varepsilon_\gamma)$ (см. с. 3).
- 1.6 Точечный радиоактивный источник ^{60}Co находится в центре сферического свинцового контейнера с толщиной стенок $x = 1 \text{ см}$ и наружным радиусом $R = 25 \text{ см}$. Определите максимальную активность источника, который можно хранить в контейнере, если допустимая плотность потока гамма-излучения при выходе из

- из контейнера $I_{\text{доп}} = 8,6 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}\text{м}^{-2}$. Принять, что при каждом акте распада ядро ^{60}Co испускает два гамма-кванта, средняя энергия каждого из которых 1,25 МэВ.
- 1.7 Какая доля всех молекул воздуха при давлении $P = 10^5 \text{ Па}$ и температуре 0 С ионизируется космическими излучением за 1 час при мощности экспозиционной дозы $X = 0,03 \text{ мкР/с}$?
 - 1.8 Мощность экспозиционной дозы, создаваемой удаленным источником гамма-лучей с энергией фотонов $\langle \varepsilon_\gamma \rangle = 2 \text{ МэВ}$, равна $X = 0,86 \text{ мкА/кг}$. Определите толщину d свинцового экрана, снижающего мощность экспозиционной дозы до уровня предельно допустимой $X_{\text{доп}} = 0,86 \text{ нА/кг}$.
Сколько пар ионов каждого знака возникает за один час в 1 см^3 воздуха непосредственно за экраном?
 - 1.9 Источник гамма-лучей находится на дне океана на глубине 5 км. Активность источника $A = 1 \text{ мКи}$. Энергия гамма-кванта $\langle \varepsilon_\gamma \rangle = 1,4 \text{ МэВ}$. Рассчитайте мощность дозы излучения у поверхности воды. Линейный коэффициент ослабления для воды найдите по графику зависимости $\mu = f(\varepsilon_\gamma)$ на с.3.
 - 1.10 Внутри человека массой $m = 60 \text{ кг}$ попал радиоактивный стронций с активностью $A = 1,5 \text{ мКи}$. Этот изотоп испускает β -частицы со средней энергией $\langle \varepsilon_\gamma \rangle = 1,1 \text{ МэВ}$. Какую дозу излучения получит человек за год?
 - 1.11 Воздух между двумя параллельными пластинами – электродами ионизационной меры – равномерно ионизируется гамма-лучами. Определите мощность экспозиционной дозы гамма-излучения (в Р/с), если ток насыщения в камере равен 10^{-9} А , а объем воздуха между электродами 50 см^3 . Расстояние между пластинами гораздо меньше их размеров.
 - 1.12 Поток космических μ -мезонов на уровне моря образует в 1 см^3 воздуха $18 \cdot 10^6$ пар ионов за сутки. Определите эквивалентную и экспозиционную дозу излучения, получаемую человеком за год, и мощность эквивалентной и экспозиционной дозы (коэффициент K примите равным 3). Выразите в рентгенах.
 - 1.13 Источник гамма-излучения имеет активность $A = 1 \text{ МБк}$ и излучает при каждом акте распада два гамма-кванта с энергией $\langle \varepsilon_\gamma \rangle = 1,2 \text{ МэВ}$. Вычислите плотность потока энергии гамма-лучей при выходе из свинцового контейнера сферической формы, если радиусы внешнего и внутреннего сферического слоя $R_1 = 20 \text{ см}$, $R_2 = 5 \text{ мм}$. Поглощением гамма-лучей в воздухе пренебречь. Линейный коэффициент ослабления свинца найдите по графику на с. 3.
 - 1.14 Воздух в некотором объеме облучается рентгеновскими лучами. Экспозиционная доза излучения $X = 4,5 \text{ Р}$ (рентген). Найдите, какая доля атомов, находящихся в этом объеме, будет подвергнута ионизации?
 - 1.15 В ампулу помещен радиоактивный изотоп йода ^{131}I с периодом полураспада $T = 8 \text{ сут}$. Через сколько времени доза излучения достигнет $D = 1 \text{ Р}$ (рентгена). Энергия гамма-кванта $\langle \varepsilon_\gamma \rangle = 2 \text{ МэВ}$. При каждом акте распада излучается один фотон.
 - 1.16 Космическое излучение на уровне моря на экваторе образует в 1 см^3 воздуха в среднем $N = 24$ пары ионов за время $t_1 = 10 \text{ с}$. Определите экспозиционную X и эквивалентную $D_{\text{экв}}$ дозы, получаемые человеком за время $t_2 = 1 \text{ год}$ и мощность экспозиционной дозы.
 - 1.17 Точечный радиоактивный источник гамма-излучения находится внутри свинцового контейнера сферической формы. Найдите дозу излучения, поглощаемую контейнером за один час, если активность источника $A = 1 \text{ Ки}$, при каждом акте распада излучаются три гамма-фотона с энергией $\langle \varepsilon_\gamma \rangle = 5,5 \text{ МэВ}$, толщина стенок контейнера $x = 1 \text{ см}$, наружный радиус $R = 20 \text{ см}$, плотность свинца

$$\rho = 11,3 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3.$$

- 1.18 Радиоактивный изотоп фосфора ^{32}P помещен в сосуд. Период полураспада фосфора $T = 14,3$ сут. Через сколько времени доза излучения достигнет одного рентгена? “Энергия гамма- кванта $\langle \varepsilon_\gamma \rangle = 1,8$ МэВ.
- 1.19 Вычислить плотность потока гамма-излучения на выходе из чугунного контейнера с наружным радиусом $R = 20$ см и толщиной стенок $\delta = 2$ см. Источник гамма-излучения имеет активность $A = 3,8$ МБк. При каждом акте распада выделяются два фотона с энергией $\langle \varepsilon_\gamma \rangle = 1,25$ МэВ. Линейный коэффициент чугуна найдите по графику на с. 3.
- 1.20 Мощность экспозиционной дозы гамма- излучения на расстоянии $r_1 = 40$ см от источника равна $\dot{X} = 4,3$ мкА/кг. Определите время t , в течение которого можно находиться на расстоянии $r_2 = 6$ см от источника, если предельно допустимую предельную дозу излучения принять равной $5,16$ мкКл/кг.