

Ионизирующая способность излучения оценивается линейной плотностью ионизации i :

$$i = \frac{dn}{dl},$$

где dn – число ионов одного знака, образованных ионизирующей частицей на элементарном пути dl . На практике эта величина оценивается количеством пар ионов, образованных частицей на 1 см пробега. *Проникающая способность излучения* оценивается длиной свободного пробега или *средним линейным пробегом* – среднее расстояние, которое проходит частица в данном веществе, пока она способна ионизировать. Ионизирующая и проникающая способности частиц зависят от их заряда и массы, а также от плотности вещества, в котором идет процесс ионизации. Чем больше заряд и масса частицы, тем больше ее способность ионизировать вещество и тем меньше ее средний линейный пробег. Средние значения энергий, линейной плотности ионизации, линейного пробега для радиоактивных излучений приведены в табл. 11.2.

Выбитые при ионизации электроны могут выбивать вторичные электроны, обладающие энергией, достаточной для последующей ионизации веществ. Возникающее в результате комптон-эффекта рентгеновское излучение, в свою очередь, также может вызывать ионизацию.

Рентгеновское излучение и гамма-фотоны, вызывая незначительную первичную ионизацию, порождают вторичную, в результате которой полный ионизационный эффект может быть весьма значительным.

Вследствие различных ионизирующих и проникающих способностей радиоактивных излучений способы защиты от них различны: для защиты от α -частиц достаточно слоя бумаги, одежды и т.п.; от β -излучения можно защититься сантиметровым слоем дерева, стекла или любого легкого металла; для защиты от γ -излучения применяются толстые (до метров) слои воды, бетона, кирпичные стены, а также пластины из свинца толщиной до 10 см.

§ 46. Дозиметрия ионизирующих излучений

К ионизирующим излучениям относятся рентгеновское и γ -излучение, потоки α -частиц, электронов, позитронов, а также потоки нейтронов и протонов.

Действие ионизирующих излучений на вещество оценивают дозой D . В таблице 11.3 приведены единицы измерения упот-

ребляемых на практике доз. В основном на практике используют внесистемные единицы.

Для мягких тканей и воды для рентгеновского и гамма-излучений численные значения разных доз равны:

экспозиционная доза	1Р	соответствует
поглощенной дозе	1рад	и им соответствует
биологическая доза	1бэр.	

При облучении организма ионизирующими излучениями, например при процедурах лучевой терапии, в участках тканей, находящихся на разных глубинах, поглощается разная величина энергии, а следовательно, и поглощенная доза для этих глубин будет разная. Для излучений с малой энергией фотона распределение D_n по глубине будет определяться экспоненциальным законом ослабления интенсивности излучения (11.9).

Таблица 11.3. Дозы и их единицы измерения

доза / система единиц	поглощенная D_n	экспозиционная D_x	биологическая (эквивалентная) D_6
СИ	Дж / кг Грей (Гр)	Кл / кг	Зиверт (Зв)
внесистемные	1 рад = 10^{-2} Гр	рентген (Р)	бэр (биологический эквивалент рада) 1бэр = 10^{-2} Зв

Жесткое излучение вызывает эффекты вторичной ионизации, а это, в свою очередь, повышает локальное выделение энергии на глубинах, где возникает вторичная ионизация. Такие эффекты могут приводить к появлению на некоторых характерных глубинах максимума поглощенной дозы D_n . Чем выше энергия фотона, тем глубже сдвигается максимум.

На рис. 11.3 представлены экспериментальные зависимости нормированного значения поглощенной дозы в зависимости от глубины в тканях для разных видов излучений.

Так, при облучении рентгеновским излучением с энергией фотона 0,2 МэВ эффекты вторичной ионизации малы и уменьшение D_n по глубине согласуется с зависимостью (11.9) (рис. 11.3, а). Облучение с энергией фотона 6 МэВ дает максимум D_n на глубине около 20 мм, а с энергией 25 МэВ максимум D_n ле-

жит на глубине 50 мм (рис. 11.3, б). Этот эффект используется при лечении опухолей: подбором жесткости излучения достигают выделение максимума энергии в месте очага.

Потоки протонов и нейтронов с большой энергией имеют малые коэффициенты ослабления и отдают большую часть энергии (максимум D_n) в конце пробега и их кинетическая энергия становится сравнимой с тепловой (рис. 11.3, в).

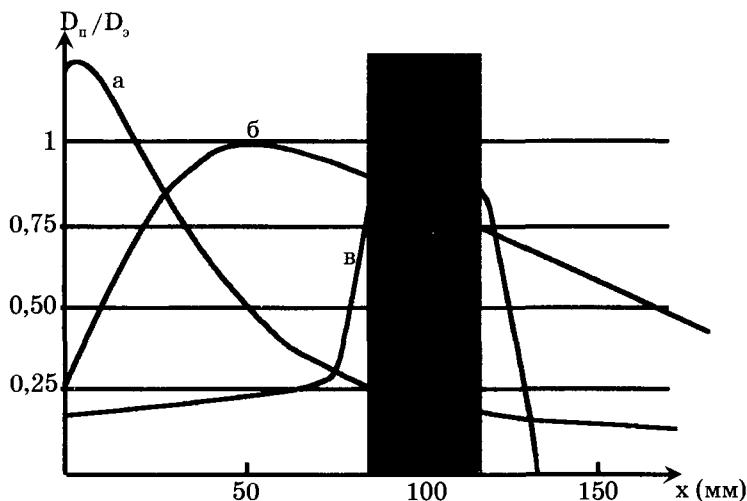


Рис. 11.3. Распределение поглощенной энергии в тканях организма при воздействии разных видов излучений: а – рентгеновское излучение с энергией фотона 0,2 МэВ; б – тормозное излучение с энергией фотона 25 МэВ; в – поток протонов с энергией 160 МэВ. По ординате – поглощенная доза, нормированная на экспозиционную (x – глубина ткани, заштрихованная зона – зона очага)

Биологическая доза (эквивалентная) зависит от вида излучения и связана с поглощенной соотношением

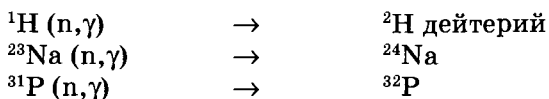
$$D_6 = K \times D_n, \quad (11.10)$$

где K – коэффициент качества, зависящий от вида излучения:

вид излучения	K
рентгеновское и гамма-излучение	1
нейтроны, протоны	10
альфа-излучение	20

Из выражения (11.10) следует, что эффект действия на организм человека радиоактивных излучений существенно зависит не только от величины поглощенной энергии D_n на 1 кг, но и от вида действующего излучения.

При действии на организм потока нейтронов могут происходить: упругое соударение с ядром и вторичная ионизация; неупругое соударение с ядром с испусканием γ -кванта; захват нейтрона ядром с образованием радиоактивного изотопа. Последний эффект может быть причиной образования в организме радиоактивных изотопов:



а также может идти ряд других реакций.

При взаимодействии ионизирующих излучений с водой происходит радиолиз воды, в результате которого возможно образование возбужденных молекул (H_2O^*), ионов (например, H_2O^+), радикалов (например $\cdot\text{H}$, $\cdot\text{OH}$), перекиси водорода (H_2O_2). Эти высокоактивные в химическом отношении соединения могут взаимодействовать с остальными молекулами биологической системы, что может привести к нарушению нормального функционирования мембран, клеток и органов.

Кроме того, действие радиоактивных излучений может вызывать в организме образование свободных радикалов нуклеиновых кислот, липидов и др.

Мощность дозы определяется по формуле:

$$P = \frac{D}{t}.$$

Для внесистемных единиц измеряется в рад / с, Р / час, бэр / год и др.

§ 47. Естественный радиоактивный фон Земли

На биосферу Земли непрерывно действует космическое излучение, а также потоки альфа- и бета-частиц, гамма-квантов в результате излучения различных радионуклидов, рассеянных в земной коре, воде подземных источников, реках, морях и океанах, в воздухе. Кроме того, радионуклиды входят в состав живых организмов. Совокупность излучений этих радиоактивных источников называется природным или *естественным радиоактивным фоном*.