

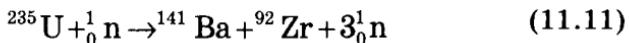
Важно отметить, что природный радиоактивный фон, оказывая влияние на развитие жизни на Земле, является неотъемлемой частью сферы обитания человека. В условиях радиоактивного фона происходят такие процессы, как деление одноклеточных организмов и клеток, развитие эмбрионов насекомых, рост и развитие высших растений и животных.

### § 48. Нарушения естественного радиоактивного фона

Нарушения радиоактивного фона в локальных условиях и тем более глобальные опасны для существования биосфера и могут привести к непоправимым последствиям. Причиной увеличения радиоактивного фона является активная деятельность человека. Создание крупной промышленности, научных установок, энергетических источников, военной техники и др. может приводить к локальным изменениям фона. Но наиболее опасными причинами нарушений естественного радиоактивного фона являются выбросы радиоактивных частиц, которые могут возникнуть при ядерных взрывах или при эксплуатации атомных электростанций (АЭС).

В основе ядерных взрывов и работы АЭС лежит явление деления ядер радиоактивных элементов, например ядер урана. (Термин «деление ядра» был введен в обращение по аналогии с термином «деление клетки» в биологии.)

Это явление заключается в том, что при бомбардировке нейtronами ядер изотопа урана  $^{235}\text{U}$  его ядра распадаются на две примерно равные части. Процесс деления ядра сопровождается испусканием двух или трех нейтронов, например:



Эта реакция одна из типичных, хотя в природе существуют еще многие другие реакции деления урана.

Важно, что при делении урана высвобождается огромное количество энергии, так как масса ядра  $^{235}\text{U}$  больше суммарной массы осколков деления (в приведенной реакции  ${}^{141}\text{Ba}$  и  ${}^{92}\text{Zr}$ ). Разность энергий между исходным ядром урана и осколками деления составляет примерно 0,9 МэВ на нуклон.

В каждом процессе деления участвуют 235 нуклонов и энергия, выделяющаяся при делении одного ядра, составляет примерно  $0,9 \cdot 235$ , то есть около 200 МэВ. Но при этом, как указано выше, выделяется 2 или 3 нейтрона, способных вызвать дальнейшее деление ядер, таким образом осуществлять цеп-

ную реакцию деления урана. При указанных процессах возникают различные реакции, течение которых определяется многими условиями их протекания. Важным показателем является коэффициент размножения нейтронов  $f$ : среднее число нейтронов в каждом акте деления, вызывающих деление других ядер. Если  $f = 1$ , то идет цепная самоподдерживающаяся реакция. Если  $f > 1$ , то процесс называется надкритическим, способным вызывать атомный взрыв. Именно это условие ( $f > 1$ ) выполняется в атомных бомбах. Минимальная масса делящегося вещества, например урана или плутония, необходимая для выполнения условия  $f > 1$ , то есть для возникновения цепной реакции, называется критической массой  $M_{kp}$ . (Термин “критическая масса”, обозначающий переход процесса в новое качество, используется в биологии и медицине, например «критическая масса миокарда» при возникновении особо опасных аритмий сердца.) Разница между ядерным реактором и атомной бомбой заключается в скорости высвобождения энергии: в реакторе поддерживается  $f < 1$ , но близко к ней, а в атомной бомбе  $f > 1$ , отчего цепная реакция развивается с высокой скоростью и происходит взрыв. При этом масса ядерного топлива должна превысить  $M_{kp}$ . Для  $^{235}\text{U}$  критическая масса  $M_{kp} \approx 50$  кг, а для  $^{233}\text{Pu} - M_{kp} \approx 11$  кг.

В эпицентре взрыва развивается огромная температура  $10^8$  К и давление  $10^{12}$  атм. Это вызывает совокупность сложных физических явлений. Вещество превращается в плазму, разлетается и теряет надкритичность. Образуется мощный поток нейтронов и гамма-излучения (1% от выделившейся энергии). Эти потоки опасны для человека, находящегося на расстоянии нескольких сот метров. В воздухе образуется ударная волна, то есть фронт высокого давления и плотности, которая вызывает разрушения в радиусе 1 км. В центре взрыва на несколько секунд возникает ярко светящийся шар радиусом около 150 м (для бомбы 20 килотонн тротилового эквивалента). За время свечения примерно 10–20% энергии взрыва переходит в свет, возникают пожары и ожоги. Кроме того, возникает интенсивное радиационное излучение, его источником являются осколки деления ядерного топлива – нестабильные изотопы с  $Z$  от 30 до 60.

Разряженный нагретый воздух поднимает вверх продукты распада на высоту до 50 км, после чего это облако может расплываться на сотни и даже тысячи километров. Радиоактивные частицы выпадают на поверхность земли, образуя радиоактивный след. Радионуклиды, находящиеся в виде аэрозолей

в воздухе, а также осевшие на земную поверхность, могут представлять для человека опасность. Оценку степени опасности можно получить по активности препарата А:

$$A = -\frac{dN}{dt},$$

где  $N$  – количество распадающихся ядер. Активность данного препарата измеряется в кюри (Ку):  $1 \text{ Ku} = 3,7 \cdot 10^{10}$  распад/с. Активность уменьшается со временем по экспоненциальному закону:

$$A = \lambda N_0 \cdot e^{-\lambda t}, \quad (11.13)$$

где  $\lambda$  – постоянная распада,  $N_0$  – начальное количество ядер. Для точечных источников излучений мощность экспозиционной дозы уменьшается с расстоянием по закону:

$$P = K_\gamma \frac{A}{r^2}, \quad (11.14)$$

где  $r$  – расстояние от источника излучения,  $K_\gamma$  – гамма-постоянная, зависящая от природы радиоактивного источника. Значения  $K_\gamma$  для некоторых радиоактивных источников:

$$\begin{array}{ll} {}^{131}\text{I} & - 2,6 \\ {}^{24}\text{Na} & - 18,6 \end{array} \quad \begin{array}{ll} {}^{60}\text{Co} & - 13,5 \\ {}^{220}\text{Ra} & - 8,4 \end{array}.$$

Таким образом, при выпадении радионуклидов на почву степень опасности их влияния на организм зависит от природы радиоактивного изотопа ( $K_\gamma$ ), его активности и расстояния  $r$  от человека до источника, а экспозиционную дозу можно оценить из соотношения

$$D_9 = K_\gamma \frac{A}{r^2} \cdot \Delta t,$$

где  $\Delta t$  – время облучения.

Таблица 11.4. Свойства некоторых радионуклидов

Радиоактивный изотоп	Период полураспада	Вид излучения
${}^{131}\text{I}$	8 дней	$\gamma$ (0,7 МэВ)
${}^{90}\text{Sr}$	28 лет	$-\beta$ (0,2 МэВ)
${}^{137}\text{Cs}$	27 лет	$-\beta$ (0,3 МэВ) и $\gamma$ (0,6 МэВ)

При авариях на АЭС или при ядерных взрывах в атмосферу могут выбрасываться различные радионуклиды, свойства некоторых из них приведены в табл. 11.4 .

Эти изотопы могут накапливаться в организме, вызывая в нем нарушение деятельности как отдельных органов, так и организма в целом.

Так,  $^{131}\text{I}$  накапливается в щитовидной железе, и уже 0,35 мг радиоактивного иода опасны для человека (при ежесуточной потребности около 150 мг). Изотоп  $^{90}\text{Sr}$  накапливается в костной ткани, а изотоп  $^{137}\text{Cs}$  равномерно распределяется в клетках организма.

Особую опасность представляют повышенные дозы радиоактивных излучений для кроветворной системы, пищеварительного тракта и желез внутренней секреции человека. Люди, работающие с излучением: в больницах, на АЭС, в лабораториях – могут получать дозу до 0,5 бэр в год.

Предельно допустимой биологической дозой для человека при профессиональном облучении считается 5 бэр в год. Минимальная летальная доза от «прямого  $\gamma$ -луча» условно принята 600 бэр при облучении всего тела.

## § 49. Электромагнитные и радиоактивные излучения в медицине

Электромагнитные волны и радиоактивные излучения сегодня широко используются в медицинской практике для диагностики и терапии. Этой теме посвящены многие главы соответствующих учебников и монографий. В этом параграфе кратко рассмотрены лишь основные направления применений электромагнитных полей и радиоактивных излучений в медицине, без описания методик и аппаратуры.

Радиоволны применяются в аппаратах УВЧ и СВЧ-физиотерапии. Действие УВЧ и СВЧ-радиоволн на ткани организма сопровождается их нагревом за счет теплоты, выделяемой при поляризации и протекании электрического тока.

Мощность, рассеиваемая в единице объема электролита – удельная мощность:

$$P = \frac{\sigma E_m^2}{2}$$

В случае нагрева диэлектриков

$$P = \frac{\epsilon_0 \epsilon \omega E_m^2}{2} \operatorname{tg} \delta,$$

где  $\operatorname{tg} \delta$  – тангенс угла диэлектрических потерь.