

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 $\cdot H$, $\cdot OH$), 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*.

Наиболее распространенные на Земле радионуклиды – это ^{220}Rn , ^{222}Rn и ^{40}K , а также радионуклиды, составляющие ряды урана.

Радиационный фон Земли определяется в основном следующими природными источниками (в % указан вклад соответствующего источника в общий фон):

^{220}Rn и ^{222}Rn	—	50%
^{40}K	—	15%
космические лучи	—	15%
нуклиды ряда урана	—	20%

Изотоп радона ^{222}Rn дает альфа-излучение 5,5 МэВ на нуклон, сопровождающееся испусканием гамма-фотонов 0,5 МэВ. В массе стабильного ^{40}K содержится 0,01% изотопа ^{40}K , ядра которого распадаются с образованием ^{40}Ca , бета-излучения и гамма-квантов. Этот изотоп калия содержится в почве, удобрениях, а также в головном мозге, мышцах, селезенке и костном мозге.

Каково содержание изотопа ^{40}K в организме человека? В организме человека содержится около 0,3 % К по отношению к его массе. Так у человека массой 70 кг содержится в организме около 210 г К и 0,021 г радионуклида ^{40}K . Период полураспада ^{40}K составляет $1,3 \cdot 10^9$ лет! Можно рассчитать, что в каждую секунду в нашем организме распадается $5 \cdot 10^3$ атомов ^{40}K , а в сутки $430 \cdot 10^6$! Но это не представляет для нас не только никакой опасности, но и, по-видимому, является необходимым для развития организма, так как зарождение и развитие жизни на Земле в целом всегда сопровождалось этим процессом.

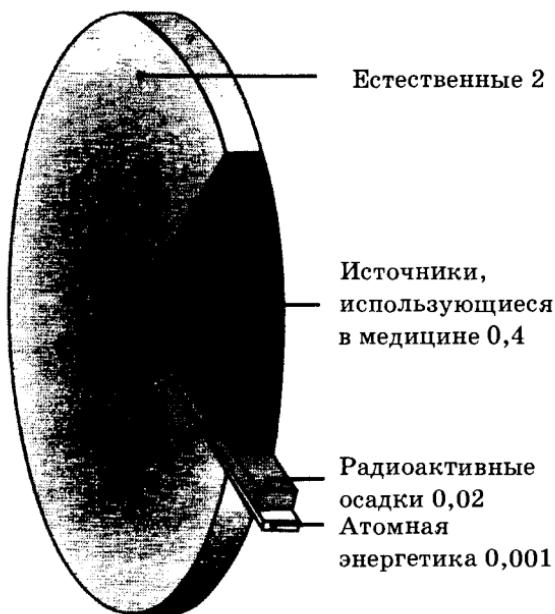
Космические лучи возникают в результате межзвездных и галактических событий и активности Солнца. Космическое излучение состоит из потоков протонов высоких энергий, альфа-частиц, ядер некоторых элементов, потоков электронов, фотонов и нейтронов. Магнитное поле Земли отклоняет низкоэнергетические заряженные частицы. Частицы высоких энергий, взаимодействуя с атмосферой, образуют в результате ядерных реакций целую серию радионуклидов ^3H , ^7Be , ^{22}Na и др. и потоки нейтронов и протонов. Образуются космические ливни, составляющие вторичное космическое излучение, проникающее в нижние слои атмосферы. На биосферу воздействует ионизирующий компонент вторичного космического излучения. Оно дает 1,9–2,5 ионизаций / см³ за 1 с на уровне моря; в горах в 2–3 раза выше.

Диапазон эквивалентных доз для человека от природных источников, создающих радиактивный фон, мкЗв за год:

внешнее облучение;		внутреннее облучение;
космические лучи	- 300	^{40}K - 180
^{40}K	- 120	^{222}Rn - 800
ряды ^{238}U и ^{232}Th	- 230	^{210}Rn - 130.

Средняя мощность дозы облучения от всех источников природной радиации на гонады, гаверсовы костные каналы и костный мозг человека как наиболее чувствительные ткани к действию радиации составляет около 200 мбэр в год (2 мЗв в год).

Однако радиационный фон в зависимости от местоположения, времени года, наличия промышленных предприятий и др. может меняться в значительных пределах. Так, в городах мощность дозы фонового излучения составляет в среднем около 20 мкР/час и может меняться в 2 и более раза в различных районах города. На рис. 11.4 представлены источники радиации и дозы естественного фона и фона, вызванного активной деятельностью человека при нормальных условиях функционирования.



Цифры указывают величину дозы в миллизевертах

Рис. 11.4. Средние годовые эффективные эквивалентные дозы облучения от естественных и техногенных источников радиации

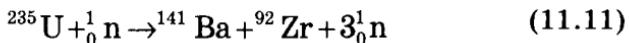
Важно отметить, что природный радиоактивный фон, оказывая влияние на развитие жизни на Земле, является неотъемлемой частью сферы обитания человека. В условиях радиоактивного фона происходят такие процессы, как деление одноклеточных организмов и клеток, развитие эмбрионов насекомых, рост и развитие высших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