

**Виды
ионизирующего
излучения**

Ионизирующее излучение – такое излучение, при взаимодействии которого с веществом, в веществе образуются положительные и отрицательные ионы, т.е. происходит ионизация

Источник излучения – вещество или прибор, испускающие ионизирующее излучение.

В радиационной медицине имеют дело с ионизирующим излучением, которое образуется при ядерных превращениях (радиоактивный распад и ядерные реакции, включая деление ядер, вызываемое нейтронами) и в пучках ускорителей заряженных частиц или рождается в них.

Ядро называется стабильным, если оно может существовать неограниченно долго, и нестабильным (радиоактивным), если оно со временем самопроизвольно (спонтанно) претерпевает радиоактивный распад, превращаясь в другое ядро. Радиоактивные нуклиды для краткости называют также радионуклидами.

Радиоактивный распад и ядерные реакции, а также взаимодействие фотонов и корпускулярного излучения с атомами и ядрами при их прохождении через вещество, влекут появление частиц, которые имеют настолько большую энергию, что могут ионизировать атомы среды (ионизирующих частиц). Потоки таких частиц называют ионизирующим излучением.

Основные характеристики ионизирующих частиц, представляющих интерес в радиационной медицине в таблице 1.

Название частицы	Буквенное обозначение	Электрический заряд в единицах заряда электрона	Масса покоя. МэВ	Источник, появления частиц
Легкие заряженные (поэтому непосредственно ионизирующие) частицы. Будучи легкими, формируют в среде редкоионизирующего излучения				
Электрон, β -частица	e, e^-, β^-	-1	0,511	Взаимодействие фотонов с атомами, радиоактивный распад
Позитрон, β -частица	e^+, β^+	+1	0,511	Радиоактивный распад
Тяжелые заряженные (поэтому непосредственно ионизирующие) частицы. Будучи тяжелыми, формируют поля плотноионизирующего излучения				
Протон: ядро водорода	p	+1	938	Взаимодействие нейтронов с ядрами атомов вещества
Дейтон; ядро дейтерия	D	+1	1876	Ядерные реакции
Тритон: ядро трития	T	+1	2810	Ядерные реакции
α -частица («гелион»): ядро атома гелия	α	+2		Радиоактивный распад, ядерные реакции
Многозарядный ион: ионизированное ядро атома тяжелее гелия	Такое же, как у ядра атома	+4		Ядерные реакции, космическое излучение
Нейтральные (незаряженные), поэтому косвенно ионизирующие частицы				
Рентгеновский или гамма-фотон	Специальное обозначение отсутствует	отсутствует	отсутствует	Взаимодействие фотонов и электронов с атомами вещества, взаимодействие нейтронов с ядрами вещества, радиоактивный распад и другие ядерные превращения.
Нейтрон	n	0	939,6	Взаимодействие нейтронов с ядрами атомов вещества, в том числе, деление ядер

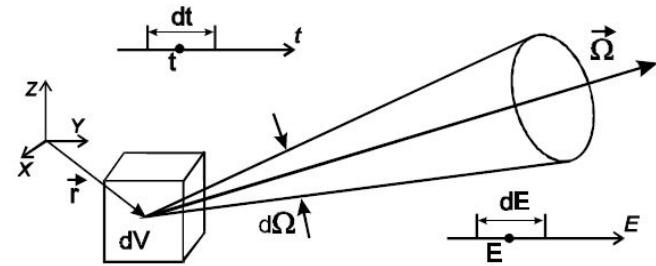
Функция источника $Q(\mathbf{r}, E, \vec{\Omega}, t)$ равна количеству частиц, которые в единицу времени в момент t

- испускаются источником из единицы объема вокруг точки \mathbf{r} ,
- имеют энергию в единичном интервале энергий вокруг значения E ,
- летят в единице телесного угла вокруг направления $\vec{\Omega}$

$$Q(\vec{r}, E, \vec{\Omega}, t) = \frac{d^4 N}{dt dV dE d\Omega} \cdot \left[\frac{1}{\text{с} \cdot \text{см}^3 \cdot \text{МэВ} \cdot \text{ср}} \right]$$

Размерность функции источника:

Полная мощность источника показывает суммарное количество частиц, испускаемое всем источником в единицу времени безотносительно их энергии и направления движения



$$Q(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} \int_{4\pi} Q(\vec{r}, E, \vec{\Omega}, t) d\vec{r} dE d\Omega.$$

Радиоактивность – способность нестабильных атомных ядер спонтанно (самопроизвольно) превращаться в другие ядра с испусканием излучения (корпускулярных частиц или фотонов).

Радиоактивный распад – ядерное превращение с изменением состава ядра (α -распад, β -распад, спонтанное деление и др.).

Электромагнитный переход – ядерное превращение с изменением только энергетического состояния ядра.

Выход частиц η – вероятность испускания частиц на одно ядерное превращение (для γ -квантов данного перехода между уровнями энергии \hbar называется квантовым выходом перехода, а если при переходе происходит конверсия на атомной оболочке, то выходом конверсионного электрона). Тогда $q = A \times \eta$, где A – активность радионуклида (Бк), q – число испускаемых при ядерных превращениях в единицу времени корпускулярных частиц или квантов

Активность радионуклида в источнике A – отношение числа спонтанных ядерных переходов dN из определенного энергетического состояния ядра радионуклида в источнике за интервал времени dt к этому интервалу: $A = dN/dt$

Единица активности радионуклида – беккерель (Бк), физическая размерность $[1/c]$. Беккерель равен активности радионуклида в источнике, в котором за 1 с происходит одно спонтанное ядерное превращение.

Внесистемная единица активности – кюри (Ки), $1 \text{ Ки} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Бк}$.

Соотношение между активностью A и числом радиоактивных атомов $N(t)$, имеющих в источнике в данный момент времени t , $A(t) = \lambda \cdot N(t)$, где λ – постоянная распада, характеризующая вероятность ядерного превращения одного атома в единицу времени, c^{-1} .

Период полураспада $T_{1/2}$ – время, в течение которого распадается (испытывает ядерные превращения) половина атомов радионуклида, с. Период полураспада $T_{1/2}$ связан с постоянной распада λ соотношением $\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$.

Закон радиоактивного распада радионуклида в источнике (уменьшение активности со временем) $A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$, где A_0 – активность радионуклида в источнике в начальный момент времени $t = 0$.

Закон накопления числа радиоактивных ядер $N(t)$ при постоянной скорости их образования ν_0 и начальном значении $N(0) = 0 \rightarrow N(t) = (\nu_0 / \lambda)(1 - e^{-\lambda t})$.

При распаде ядра может образоваться ядро нового нуклида в нестабильном состоянии, при распаде нового нуклида также может образоваться нестабильное ядро и т.д., пока цепочка распадов не закончится устойчивым (стабильным) нуклидом. Принято называть первичное ядро материнским, вторичные – дочерними.

Энергетическая плотность потока ионизирующих частиц ($\varphi(E)$) – это отношение плотности потока частиц с энергиями от dE до $E + dE$ к энергетическому интервалу dE : $\varphi(E) = d\varphi/dE$.

Предпочтительные единицы – $s^{-1} \text{ см}^{-2} \text{ эВ}^{-1}$, или $s^{-1} \text{ см}^{-2} \text{ кэВ}^{-1}$, или $s^{-1} \text{ см}^{-2} \text{ МэВ}^{-1}$. Часто величину $\varphi(E)$ называют спектром ионизирующих частиц.

Угловая плотность потока ионизирующих частиц ($\varphi(\Omega)$) ~ отношение плотности потока ионизирующих частиц, распространяющихся в пределах элементарного телесного угла $d\Omega$, ориентированного в направлении Ω , к этому телесному углу: $\varphi(\Omega) = d\varphi/d\Omega$. При этом предполагается, что поток частиц пересекает площадку, перпендикулярную направлению движения частицы. Предпочтительная единица – $s^{-1} \text{ см}^{-2} \text{ ср}^{-1}$, где ср^{-1} – стеррадиан в минус первой степени.