
ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ЯДЕРНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

АЛЬФА-ИЗЛУЧЕНИЕ

Альфа-частицы — это ядра гелия ${}^4_2\text{He}$. Они возникают при радиоактивном распаде атомных ядер (α -распад) и в ядерных реакциях. При радиоактивном распаде энергия α -частиц лежит в диапазоне от 4 до 11 МэВ, большинство ядер испускает α -частицы с энергией 5–6 МэВ. Спектры α -частиц дискретные. Особенностью α -распада является сильная зависимость вероятности распада от энергии испускаемых α -частиц. Например, нуклид ${}^{232}\text{Th}$ распадается с периодом полураспада $T_{1/2}=14 \cdot 10^9$ лет и испускает α -частицы с энергией 4,0 МэВ, а период полураспада изотопа ${}^{214}\text{Po}$ составляет $T_{1/2}=1,6 \cdot 10^{-4}$ с при энергии α -частиц 7,7 МэВ, т. е. разница в периодах составляет $3 \cdot 10^{21}$ при изменении энергии всего в ≈ 2 раза. Эта особенность связана с условиями прохождения α -частицы через потенциальный барьер ядра.

Альфа-частицы интенсивно взаимодействуют с веществом, ионизируя его. В результате пробеги α -частиц в веществе малы. Например, в атмосферном воздухе пробег α -частицы с энергией 5 МэВ составляет около 4 см. Частицы с такой энергией полностью поглощаются листом писчей бумаги. В металлах пробег α -частиц еще меньше. Например, в алюминии пробег α -частицы с энергией 5 МэВ составляет лишь 0,05 мм.

Плотность ионизации, создаваемая α -частицей, велика и в атмосферном воздухе составляет $\sim 3 \cdot 10^4$ пар ионов на 1 см пути.

БЕТА-ИЗЛУЧЕНИЕ

Бета-лучи — это поток электронов (β^- -лучи) или позитронов (β^+ -лучи), испускаемых при β -распаде атомных ядер. Спектры β -лучей непрерывные, что связано с испусканием наряду с β -частицей еще одной частицы — нейтрино (или антинейтрино). В результате энергия β -распада распределяется между β -частицей и нейтрино (или антинейтрино). Граничная энергия β -спектров

лежит в пределах от 10 кэВ до 10 МэВ. Для большинства изотопов граничная энергия β -частиц составляет 0,5–3 МэВ. При распаде атомных ядер могут испускаться электроны с линейчатым (дискретным) спектром. Это так называемые электроны внутренней конверсии, которые возникают при передаче энергии возбуждения ядра одному из электронов атомной оболочки. Обычно возбуждение ядра снимается путем испускания γ -кванта, но при небольших энергиях возбуждения (до 100 кэВ) процесс внутренней конверсии может быть более вероятен.

Пробеги электронов в веществе зависят от их энергии и от плотности вещества. Ионизирующая способность у электронов гораздо ниже, нежели у альфа-частиц. Средняя удельная ионизация, вызываемая β -частицами с энергией 1 МэВ в воздухе, составляет ~ 70 пар ионов на 1 см пути. Электроны с энергией 1 МэВ полностью поглощаются слоем алюминия толщиной 2 мм.

ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕ

Гамма-излучение — это коротковолновое электромагнитное излучение, возникающее в результате разрядки состояний ядер, возбуждающихся при радиоактивном распаде ядер и в ядерных реакциях. Гамма-излучение возникает также в процессах распада элементарных частиц, в результате аннигиляции пар частица-античастица, при прохождении заряженных частиц через вещество и в ряде других процессов.

Энергия γ -излучения, возникающего при радиоактивном распаде, лежит в диапазоне от 1 кэВ ($\lambda=1,24$ нм) до 10 МэВ ($\lambda=1,24 \cdot 10^{-4}$ нм). Длины волн γ -излучения гораздо меньше, чем, например, оптического излучения ($10^2 \div 10^3$ нм). Большинство радиоактивных нуклидов испускают γ -лучи в более узком диапазоне энергий от 100 до 3000 кэВ.

При взаимодействии γ -лучей с веществом может происходить их полное поглощение с испусканием электронов в результате фотоэффекта, упругое рассеяние, комптоновское рассеяние с изменением их энергии (длины волны). При энергии γ -лучей большей, чем 1022 кэВ, может происходить рождение пары e^-e^+ .

Плотность ионизации, создаваемая γ -лучами мала и составляет в атмосферном воздухе всего несколько пар ионов на 1 см пути. Поэтому пробеги γ -лучей могут составлять десятки метров.

Для поглощения γ -лучей используются вещества с большим атомным номером Z (например, свинец) или толстые слои плотных веществ (бетон, сталь). Так, γ -лучи с энергией 662 кэВ (^{137}Cs) поглощаются 3 см слоем свинца, а для γ -лучей ^{60}Co (1173 и 1332 кэВ) требуется слой свинца толщиной 10 см.

НЕЙТРОНЫ

Нейтроны — нейтральные частицы с массой, примерно равной массе протона. Наряду с протонами они входят в состав атомных ядер. В свободном состоянии нейтроны распадаются с периодом полураспада $T_{1/2}=10,2$ минуты. Нейтроны, как правило, не возникают при радиоактивном распаде ядер. Исключение составляет спонтанное деление ядер (например, ^{238}U) и распад высоковозбужденных состояний некоторых ядер (так называемый эффект «запаздывающих» нейтронов). Нейтроны получаются в различных ядерных реакциях, в том числе при делении ядер.

Нейтроны непосредственно не производят ионизацию вещества. Однако, при соударениях с легкими ядрами (например, ядрами водорода) нейтроны передают этим ядрам часть своей кинетической энергии, при этом атомы теряют свои орбитальные электроны и при движении в среде вызывают ее ионизацию.

Поглощение нейтронов в веществе связано с их замедлением и последующим захватом ядрами. В связи с этим защита от нейтронов осуществляется в два этапа: 1) замедление нейтронов до энергий 0,01–0,1 кэВ (нейтроны с энергией 0,025 эВ называются тепловыми) и 2) поглощение замедленных нейтронов.

В качестве замедлителей используют водородосодержащие вещества и графит. В качестве поглотителей используют вещества с большим сечением (вероятностью) захвата. Чаще всего применяют кадмий (в состав естественного кадмия входит изотоп ^{113}Cd с очень большим сечением захвата тепловых нейтронов), а также бор и их химические соединения.