

дов получены искусственно в результате ядерных реакций. Искусств. Р. ядер определяет границы (по A и Z) существования в природе радионуклидов. Ядра, радиоактивные в осн. состоянии, распадаются и в возбуждённых состояниях. При достаточно больших энергиях возбуждения стабильные ядра также становятся радиоактивными. Ниже рассматриваются ядра, радиоактивные в осн. состоянии.

Явление Р. открыто в 1896 А. Беккерелем (А. Becquerel), к-рый наблюдал спонтанное испускание солями U неизвестного излучения. Вскоре Э. Резерфорд (Е. Rutherford) и П. и М. Кюри (Р. et М. Curie) установили, что при радиоакт. распаде испускаются ядра He (α -частицы), электроны (β^- -частицы) и жёсткое эл.-магн. излучение (γ -лучи). В этот период исследователи Р. могли использовать лишь естеств. радионуклиды, содержащиеся в земных породах в достаточно большом кол-ве, — ^{232}Th , ^{235}U , ^{238}U . С этих радионуклидов начинаются 3 радиоакт. семейства (радиоакт. ряда), заканчивающихся стабильными изотопами Pb (рис.). В дальнейшем был обнаружен ряд, начинающийся с ^{237}Np , с конечным стабильным ядром ^{209}Bi ; ^{237}Np обнаружен в урановых рудах в соотношении $^{237}\text{Np}/^{238}\text{U} = 1,8 \cdot 10^{-1}$, впоследствии — в ядерных реакторах, где он образуется в результате реакции

$^{238}\text{U}(n, 2n) ^{237}\text{U} \xrightarrow{\beta^-} ^{237}\text{Np}$. Ядра — члены семейства находятся в равновесии между собой, поэтому наряду с долгоживущими родоначальниками существуют и все короткоживущие продукты их распада. Т. к. радионуклиды открывались как продукты распада U и Th, то им давались названия по месту в радиоакт. ряду, напр. $\text{Ux}_1 \rightarrow \text{Ux}_2$; $\text{RaD} \rightarrow \text{RaE}$.

Распад с вылетом позитронов (β^+ -распад) открыт в 1934 И. и Ф. Жолио-Кюри (I. et F. Joliot-Curie). В 1940 открыт новый тип Р. — спонтанное деление ядер (К. А. Петржак, Г. Н. Флёров). Делящееся ядро разваливается на два осколка сравнимой массы с одновременным испусканием нейтронов и γ -квантов (см. Деление ядер). Протонная Р. ядер наблюдалась в 1982 С. Хофманом (S. Hofmann) с сотрудниками (см. Протонная радиоактивность).

В 1984 Х. Роуз (H. Rose) и Г. Джонс (G. Jones) открыли спонтанное испускание ядер ^{14}C ядрами Ra. В течение последующих 3 лет был обнаружен спонтанный распад др. ядер с вылетом тяжёлых фрагментов (кластеров) — ^{24}Ne и ^{28}Mg (f -радиоактивность). Возможна также двухпротонная Р., теоретически предсказанная В. И. Гольданским (1960).

Число N радиоакт. ядер убывает со временем t по закону

$$N(t) = N_0 \exp(-\lambda t),$$

где N_0 — число ядер в момент их образования, λ — постоянная распада (вероятность распада в единицу времени). Если при распаде происходит конкуренция разл. типов (каналов) Р., то λ равна сумме парциальных величин λ_i . Относит. вероятность наблюдения разл. видов Р. определяется отношением λ_i/λ . Время жизни нестабильного состояния ядра $\tau = 1/\lambda$. Скорость радиоакт. распада характеризуют периодом полураспада $T_{1/2} = \ln 2/\lambda$. Полное время жизни радиоакт. ядра связано с парциальными величинами τ_i соотношением $1/\tau = \sum (1/\tau_i)$. Времена жизни родоначальников радиоакт. рядов $\tau \geq 3 \cdot 10^8$ лет. Это немногие «выжившие» с момента образования Солнечной системы нестабильные нуклиды.

Бета-Р., при к-рой сохраняется массовое число A нуклида, но изменяется на 1 его заряд Z , представляет собой одно из проявлений бета-распада ядер, когда входящий в состав ядра протон p (нейтрон n) превращается в нейтрон (протон) с образованием позитрона β^+ (электрона β^-) и нейтрино ν (антинейтрино $\bar{\nu}$). Аналогичную природу имеет изменение заряда ядра,

связанное с захватом атомарных электронов (электронный захват). Бета-распад связан со слабым взаимодействием нуклонов в ядре.

Остальные типы Р. связаны с сильным взаимодействием и электромагнитным взаимодействием нуклонов в ядрах. Радиоакт. распад, при к-ром испускаются протоны, α -частицы или тяжёлые кластеры типа ^{14}C , характерен тем, что кинетич. энергия относит. движения вылетающей частицы и дочернего ядра принимает значения, близкие (или равные) к полной энергии распада Q . Поэтому дочернее ядро образуется в основном или слабовозбуждённом состоянии. Времена жизни τ , соответствующие этим типам Р., экспоненциально возрастают при уменьшении кинетич. энергии продуктов распада. Распад имеет квантовомеханич. характер, он происходит благодаря туннельному проникновению сквозь потенц. барьер, образованный совокупным действием отталкивательного кулоновского и притягивающего ядерного взаимодействий вылетающей частицы и дочернего ядра (см. Альфа-распад).

Продукты распада формируются внутри и на поверхности родительского ядра, причём вероятность их формирования W зависит от структуры исходного и дочернего ядер. Она резко уменьшается при увеличении массы вылетающей частицы. Отношения вероятностей разл. каналов распада λ_i/λ_j , зависящие от Q_i , Q_j и вероятностей формирования продуктов распада W_i , W_j , сильно варьируются. Напр., отношение вероятностей вылета ядра ^{14}C или α -частицы порядка 10^{-10} — 10^{-11} для различных родительских изотопов Ra. Оно достигает $\sim 10^{-13}$ для распада ядра ^{234}U , когда вместо ^{14}C испускается ^{28}Mg .

Спонтанное деление также оказывается возможным благодаря туннельному проникновению через потенц. барьер. Однако в этом случае барьер связан с изменением формы ядра в процессе деления, что приводит к иным закономерностям, управляющим этим процессом.

Для объяснения f -распада рассматривают возбуждение ядра, затрагивающее только часть нуклонов вблизи его поверхности; это колебания формы ядра в осн. состоянии (нулевые колебания). В ядерных реакциях возбуждение таких колебаний приводит к появлению т. н. гигантских резонансов (см. Гигантские квантовые осцилляции). Если в процессе таких колебаний ядро достигает грушевидной формы, то могут образоваться фрагмент и остаточное ядро, удерживаемое нек-рое время, как и при α -распаде. Время жизни ядра относительно f -распада определяется вероятностью W «распадной» конфигурации и прозрачностью барьера. Т. к. W убывает с ростом амплитуды колебаний, то для деформиров. ядер в осн. состоянии (см. Деформированные ядра) вероятность f -распада велика. Действительно, ядра Ra имеют квадруполярную деформацию (эллипсоид) и октаэдральную (грушевидная форма), к-рые приближают осн. состояние к f -распаду. Проницаемость барьера определяется его высотой, массой фрагментов и гл. обр. энергией распада Q_f . Действительно, в качестве остаточного конечного продукта при f -распаде практически всегда наблюдается ядро Pb с $A = 208$ ($Z = 82$, $N = 126$); f -распад с образованием такого дважды магического ядра характеризуется большой величиной Q_f .

Получение радионуклидов в результате ядерных реакций приводит к необходимости измерять мин. время распада, определяемого как радиоактивный, чтобы разделить стадии возникновения радионуклида и последующего его распада. Это время (10^{-10} — 10^{-12} с) должно превышать время жизни возбуждённого составного ядра в ядерных реакциях.

За работы, связанными с открытием и исследованием Р., присуждено более 10 Ноб. пр. по физике и химии, в т. ч.: А. Беккерелю, П. и М. Кюри, Э. Ферми (E. Fermi), Э. Резерфорду, И. и Ф. Жолио-Кюри, Д. Хевеши (G. Hevesy), О. Гану (O. Hahn), Э. Макмиллану (E. McMillan) и Г. Сиборгу (G. Seaborg), У. Либби (W. Libby).