



# РАДИОАКТИВНОСТЬ

Авторы: В. П. Чечев

РАДИОАКТИВНОСТЬ (франц. radioactivité, от *радио...* и позднелатинского *activitas* — действие, деятельность), самопроизвольное испускание атомным ядром элементарных частиц (или фрагментов ядер), при котором происходит изменение состава ядра и/или его энергетич. состояния. Как правило, под Р. понимают распад только тех ядер, которые находятся в основном или метастабильном возбуждённом (изомерном) состоянии. В более широком смысле в понятие «Р.» включаются также распады высоковозбуждённых состояний ядер. Р. следует отличать от превращений *составных ядер*, макс. время жизни которых не превышает  $10^{-13}$ – $10^{-14}$  с (условной нижней границей продолжительности жизни радионуклида считается  $10^{-12}$  с). Р. может быть естественной или искусственной, хотя между ними нет принципиального различия. К искусств. Р. относят распад радионуклидов, синтезированных человеком в результате ядерных реакций.

Радиоактивный распад может происходить, если данное превращение энергетически выгодно, т. е. если масса исходного ядра превышает суммарную массу продуктов распада. Число радиоактивных ядер со временем убывает по экспоненциальному закону и характеризуется постоянной распада, напрямую связанной с *периодом полураспада*, который, напр., для  $^{238}\text{U}$  составляет 4,5 млрд. лет (знание этой величины позволяет оценить возраст Земли).

Р. открыта в 1896 А. А. Беккерелем (см. в ст. *Беккерель*), который, исследуя соли урана, обнаружил, что они испускают неизвестные невидимые лучи, вызывающие почернение фотопластинки. Исследование действия магнитного поля на это излучение показало, что в его состав входят положительно и отрицательно заряженные частицы (названные соответственно  $\alpha$ - и  $\beta$ -лучами) и не отклоняемое магнитным полем проникающее излучение ( $\gamma$ -лучи). В 1898 М. *Склодовская-Кюри* и

П. Кюри обнаружили, что сходное излучение испускают также торий и два др. неизвестных тогда элемента, получивших название «радий» и «полоний». В России в 1922 по инициативе В. И. Вернадского для исследований Р. был основан Радиевый институт.

Первые исследователи Р. могли использовать лишь естеств. радионуклиды, содержащиеся в горных породах в достаточно большом количестве:  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{235}\text{U}$  и  $^{238}\text{U}$ . С этих нуклидов начинаются 3 радиоактивных ряда, заканчивающиеся стабильными изотопами свинца ( $^{208}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$  и  $^{206}\text{Pb}$ ). Впоследствии в урановых рудах был обнаружен  $^{237}\text{Np}$ , лежащий в основе 4-го радиоактивного ряда, заканчивающегося стабильным нуклидом  $^{209}\text{Bi}$ . Ныне  $^{237}\text{Np}$  в достаточно больших количествах образуется в ядерных реакторах при облучении  $^{238}\text{U}$  нейтронами.

Искусств. Р. открыта в 1934 И. и Ф. Жолио-Кюри. Из общего числа известных ныне радионуклидов (св. 4000) лишь ок. 300 природные, а остальные получены искусственно, в результате ядерных реакций. При изучении искусств. Р. были открыты новые виды бета-распада:  $\beta^+$ -распад (испускание позитронов, И. и Ф. Жолио-Кюри, 1934) и электронный захват (Л. Альварес, 1937). В 1940 в России К. А. Петржаком и Г. Н. Флёровым открыто спонтанное деление ядер, происходящее с испусканием нейтронов и  $\gamma$ -квантов. В 1972 впервые зарегистрирована протонная радиоактивность. В 1984 брит. физики Х. Роуз и Г. Джонс открыли спонтанное испускание ядер  $^{14}\text{C}$  ядрами  $^{223}\text{Ra}$ . Это открытие положило начало многочисл. наблюдениям самопроизвольного распада ядер с испусканием ядерных фрагментов (кластеров), получившего назв. кластерной радиоактивности (иногда её называют также f-радиоактивность, от англ. fragment – фрагмент). Кластерная Р. наблюдается обычно вместе с  $\alpha$ -распадом и имеет по сравнению с ним малую вероятность (меньше  $10^{-9}$ ). К 2014 зарегистрировано спонтанное испускание тяжёлыми ядрами кластеров  $^{14}\text{C}$ ,  $^{24}\text{Ne}$ ,  $^{28}\text{Mg}$ ,  $^{32}\text{Si}$  и др.

Виды Р. можно разделить на две группы: элементарные (одноступенчатые) и сложные (двухступенчатые) радиоактивные превращения. К первым относятся  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -распад, спонтанное деление ядер и протонная Р. При  $\gamma$ -распаде (чаще называемом изомерным

переходом) состав ядра сохраняется, изменяется лишь его энергия. Достаточно большое время жизни ядер при  $\beta$ -распаде обеспечивается природой слабого взаимодействия. Остальные виды элементарных радиоактивных процессов обусловлены ядерными силами. Замедление таких процессов до промежутков времени  $>10^{-12}$  с вызвано наличием потенциальных барьеров (кулоновского и центробежного), которые затрудняют вылет ядер или ядерных частиц.

К двухступенчатым радиоактивным превращениям относят процессы испускания т. н. запаздывающих частиц (протонов, нейтронов,  $\alpha$ -частиц), а также запаздывающее спонтанное деление. Запаздывающие процессы включают в себя  $\beta$ -распад как предварит. стадию, обеспечивающую задержку последующего мгновенного испускания ядерных частиц. Особое место в ряду двухступенчатых процессов занимает самый редкий тип радиоактивных превращений ядер – т. н. двойной  $\beta$ -распад, происходящий за счёт двух слабых взаимодействий в ядре.

Открытие и изучение Р. оказало огромное влияние на развитие науки и техники. За работы в этой области присуждено более 10 Нобелевских премий по физике и химии.

## Литература

Лит.: Гольданский В. И., Лейкин Е. М. Превращения атомных ядер. М., 1958; Кюри М. Радиоактивность. 2-е изд. М., 1960; Чечев В. П., Крамаровский Я. М. Радиоактивность и эволюция Вселенной. М., 1978; Мухин К. Н., Патаракин О. О. Экзотические процессы в ядерной физике // Успехи физических наук. 2000. Т. 170. № 8.