



# АЛЬФА-РАСПАД

Авторы: А. А. Оглоблин

---

АЛЬФА-РАСПАД ( $\alpha$ -распад), испускание атомным ядром *альфа-частицы* (ядра  ${}^4\text{He}$ ). А.-р. из основного (невозбуждённого) состояния ядра называют также альфа-радиоактивностью.

Термин « $\alpha$ -лучи» был введён вскоре после открытия А. А. *Беккерелем* в 1896 *радиоактивности* для обозначения наименее проникающего вида излучения, испускаемого радиоактивными веществами. В 1909 Э. *Резерфорд* и Т. Ройдс доказали, что  $\alpha$ -частицы являются дважды ионизованными атомами гелия.

При А.-р. массовое число  $A$  материнского ядра уменьшается на 4 единицы, а заряд (число протонов)  $Z$  – на 2:



Энергия  $Q$ , выделяющаяся при А.-р., определяется разностью масс материнского ядра и обоих продуктов распада. А.-р. энергетически возможен, если величина  $Q$  положительна. Это условие выполняется почти для всех ядер с  $A > 150$ . Наблюдаемые времена жизни  $\alpha$ -радиоактивных ядер лежат в пределах от  $10^{17}$  лет ( ${}^{204}\text{Pb}$ ) до  $3 \cdot 10^{-7}$  сек ( ${}^{212}\text{Po}$ ). Однако во мн. случаях времена жизни ядер (периоды полураспада), для которых  $Q > 0$ , оказываются слишком большими и альфа-радиоактивность наблюдать не удаётся. Кинетич. энергия  $\alpha$ -частиц изменяется от 1,83 МэВ ( ${}^{144}\text{Nd}$ ) до 11,65 МэВ (изомер  ${}^{212\text{m}}\text{Po}$ ).

Известно св. 300  $\alpha$ -радиоактивных нуклидов, полученных в осн. искусственно. Подавляющее большинство их относится к элементам, расположенным в периодич. системе за свинцом ( $Z > 82$ ). Имеется группа  $\alpha$ -радиоактивных нуклидов в области лантаноидов ( $A = 140\text{--}160$ ), а также небольшая группа между лантаноидами и свинцом.

В ядерных реакциях с тяжёлыми ионами синтезировано неск. короткоживущих  $\alpha$ -излучающих нуклидов с  $A=106-116$ .

## Альфа-спектроскопия

Альфа-частицы, вылетающие из материнских ядер при их распаде, обычно образуют неск. групп с разл. энергией. Распределение этих групп по энергиям называется энергетич. спектром, а область эксперим. физики, занимающаяся изучением спектров  $\alpha$ -частиц, – альфа-спектроскопией. Каждая из линий спектра соответствует определённому состоянию (уровню энергии) дочернего ядра. Задачей альфа-спектроскопии является измерение энергии и интенсивности каждой из групп  $\alpha$ -частиц, а также времён жизни распадающихся ядер. Эти данные позволяют определять характеристики отд. уровней дочернего ядра – их энергии возбуждения, спины, чётности, а также вероятности их образования. Полученная спектроскопич. информация оказывается важным, а иногда и единственным источником сведений о структуре как дочернего, так и материнского ядер. В последнее время альфа-спектроскопия стала одним из важнейших методов исследования, используемых при синтезе сверхтяжёлых элементов.

Измерение энергии и интенсивности  $\alpha$ -частиц, испускаемых распадающимися ядрами, производят альфа-спектрометрами. Чаще всего используют кремниевые [полупроводниковые детекторы](#) разл. типов, позволяющие получить энергетич. разрешение до 12 кэВ (для  $\alpha$ -частиц с энергией 6 МэВ) при светосиле порядка 0,1%. Более высокое разрешение может быть получено с помощью магнитных спектрометров, имеющих, однако, значительно меньшую светосилу и отличающихся сложной и громоздкой конструкцией.

## Периоды полураспада

Одна из особенностей  $\alpha$ -радиоактивности состоит в том, что при сравнительно небольшом различии в энергии  $\alpha$ -частиц времена жизни материнских ядер различаются на много порядков. Ещё задолго до создания теории  $\alpha$ -радиоактивности было установлено эмпирич. соотношение ([Гейгера – Неттолла закон](#)), связывающее период полураспада

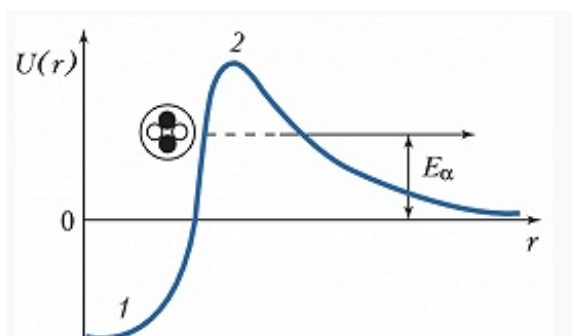
$T_{1/2}$  с энергией распада

$Q$ :

$$\lg T_{1/2} \propto 1/\sqrt{Q}.$$

Это соотношение лучше всего выполняется для переходов между осн. состояниями ядер с чётным числом нейтронов и протонов.

## Теория альфа-распада



Кулоновский потенциал  $U(r)$  ядра: 1 – потенциальная яма; 2 – кулоновский барьер.  $E_\alpha$  – энергия  $\alpha$ -частицы.

Простейшая теория А.-р. предложена Г. [Гамовым](#) в 1927, она явилась первым приложением только что созданной квантовой механики к описанию ядерных явлений. Эта теория рассматривала движение  $\alpha$ -частицы в потенциальной яме с кулоновским барьером (рис.). Т. к. высота кулоновского барьера у тяжёлых ядер составляет 25–30 МэВ, а энергия  $\alpha$ -частиц всего лишь 5–10 МэВ, то их вылет из ядра запрещён законами классич. механики и может происходить только за счёт квантово-

механич. туннельного эффекта. Используя упрощённую форму барьера и предполагая, что  $\alpha$ -частица находится внутри ядра, можно получить для вероятности А.-р. выражение, экспоненциально зависящее от энергии  $\alpha$ -частицы, т. е. выражение типа (2). Теория Гамова установила, что осн. фактором, определяющим вероятность А.-р. и её зависимость от энергии  $\alpha$ -частицы и заряда ядра, является кулоновский барьер.

Совр. подход к описанию А.-р. опирается на методы, используемые в теории ядерных реакций. Вероятность А.-р.  $\lambda$  (величину, обратную периоду полураспада  $T_{1/2}$  с точностью до множителя  $\ln 2 = 0,693$ ) можно представить как произведение трёх сомножителей:

$$\lambda = 0,693 / T_{1/2} = SP\nu.$$

Множитель  $S$ , называемый спектроскопич. фактором, определяет вероятность того, что  $\alpha$ -частица может сформироваться в данном материнском ядре из двух протонов и двух нейтронов. Эта вероятность зависит от внутр. структуры как начального, так и конечного ядер. Фактор  $P$  есть вероятность прохождения кулоновского барьера (его проницаемость)  $\alpha$ -частицей заданной энергии. Третий множитель  $\nu$  – это число попыток в единицу времени проникнуть через барьер. Если бы в ядре существовала реальная  $\alpha$ -частица, то величина  $\nu$  была бы близка к частоте соударений  $\alpha$ -частицы с барьером, т. е. единице, делённой на время пролёта  $\alpha$ -частицей диаметра ядра. Истинная величина  $\nu$  не сильно отличается от такой оценки.

Таким образом, А.-р. является двухстадийным процессом: вначале  $\alpha$ -частица должна возникнуть и появиться на поверхности распадающегося ядра, а затем пройти сквозь потенциальный барьер. Рассмотренная выше теория хорошо воспроизводит эксперим. данные и позволяет извлекать из них важную информацию о структуре ядра. В частности, было показано, что, хотя  $\alpha$ -частицы и не существуют внутри тяжёлых ядер постоянно, в поверхностном слое ядер нуклоны проводят значит. долю времени в составе альфа-частичных группировок, называемых альфа-кластерами.

## Альфа-распад возбуждённых ядер

Отдельные случаи распада из нижних возбуждённых состояний тяжёлых ядер, приводящих к испусканию т. н. длиннопробежных  $\alpha$ -частиц, известны давно и причисляются к явлению  $\alpha$ -радиоактивности. Длиннопробежные  $\alpha$ -частицы получают дополнит. энергию за счёт энергии возбуждения уровня, которая добавляется к энергии распада  $Q$ . Как правило, А.-р. возбуждённых ядер изучается с помощью ядерных реакций, и рассмотренная выше теория полностью применима и к этим процессам. Наблюдаемые времена жизни возбуждённых состояний ядер лежат в диапазоне от  $10^{-11}$  с до  $10^{-22}$  с. Некоторые распадающиеся состояния лёгких ядер имеют спектроскопич. факторы, близкие к единице, что позволяет говорить об альфа-частичной структуре таких ядер (см. [Кластерная модель ядра](#)). Изучение А.-р. высоковозбуждённых состояний ядер – один из важных методов исследования ядерной структуры при больших энергиях возбуждения.

# Литература

Лит.: Альфа-, бета- и гамма-спектроскопия. М., 1969. Вып. 2; Соловьев В. Г. Теория атомного ядра: Ядерные модели. М., 1981.