

тоотщепления нейтрона (γ, n), реакции слабого взаимодействия

$$e^+ + (A, Z) \rightarrow (A, Z + 1) + \bar{\nu},$$

$$\gamma + (A, Z) \rightarrow (A, Z + 1) + e^- + \bar{\nu}$$

и упоминавшиеся выше реакции скалывания. Проблема происхождения обойдённых ядер пока окончательно не решена. Не исключено, что гл. механизм их образования связан со взрывами сверхновых, в к-рых генерируются большие потоки нейтрино, вызывающие ядерные превращения типа $\nu + (A, Z - 1) \rightarrow (A, Z) + e^-$.

Изложенные выше контуры теории Н. можно считать построенными. Теория успешно описывает гл. особенности кривой распространённости нуклидов в Солнечной системе. Однако остаются нерешёнными многочисл. проблемы, связанные с соотношением пиков наблюдаемых выходов, аномалиями в содержаниях нуклидов и элементов в разл. астрофиз. объектах, неоднозначностями в выборе астрофизического места процессов ядерного синтеза.

Лит.: Фаулер У. А., Экспериментальная и теоретическая ядерная астрофизика, поиски происхождения элементов, пер. с англ., «УФН», 1985, т. 145, с. 441; Ядерная астрофизика, пер. с англ., М., 1986; Крамаровский Я. М., Чечев В. П., Синтез элементов во Вселенной, М., 1987.

В. И. Чечев, Я. М. Крамаровский.

НУКЛИД (от лат. nucleus — ядро) — любое атомное ядро (соответственно атом) с заданными числами протонов (Z) и нейтронов (N). Общее обозначение Н. имеет вид ${}^A_Z X$, где X — символ хим. элемента, $A = Z + N$ — массовое число. Н., обладающие одинаковыми Z , наз. *изотопами*. Радиоакт. ядра наз. *радионуклидами*. Масса Н., выраженная в атомных единицах массы, округлённо равна A (массовому числу); только масса ${}^{12}\text{C}$ точно равна 12 (см. *Атомная единица массы*). Общее число известных стабильных и радиоактивных Н. превышает 2000.

Систематизация Н. осуществлена в виде табл. (см. цветную вкладку), разработанной В. Зеелманн-Эггербертом (W. Seelmann-Eggebert), Г. Пфеннингом (G. Pfennig), Г. Мюнцелем (H. Münzel) и Г. Клеве-Небенюсом (H. Klewe-Nebenius) в Карлсруэ.

В табл. каждому Н. отвечает чёрная или цветная клетка. Клетки каждого горизонтального ряда содержат изотопы элемента, Z к-рого приведено слева, перед началом ряда; белая клетка в чёрной рамке содержит характеристики не отдельного Н., а хим. элемента в целом, к к-рому относятся данные изотопы. В ней указаны ат. масса элемента и эфф. сечение σ захвата тепловых нейтронов ($\times 10^{28} \text{ м}^2$). В каждом горизонтальном ряду Н. расположены в порядке возрастания N (указаны внизу), причём в ядре каждого следующего содержится на 1 нейтрон больше, чем в ядре предыдущего. Горизонтальный ряд, расположенный сверху, включает Н. с Z на 1 больше, чем в Н. предыдущего ряда, и т. д. Вертикальные колонки табл. содержат Н. с одинаковыми N , но разными Z и A (и з о т о н ы). По диагоналям, идущим из верхнего левого угла в правый нижний, расположены Н. с одинаковыми A , но разными Z (*изобары*).

Стабильные Н. помещены в чёрные клетки, радионуклиды — в цветные. Если радионуклид принадлежит к числу природных долгоживущих (т. е. существует на Земле с момента её формирования), то верхняя часть клетки закрашена чёрным. В каждой клетке, в к-рой приведён стабильный Н. или природный долгоживущий радионуклид, указана его относит. распространённость в природной смеси изотопов (в % по массе). Два слагаемых σ соответствуют сечениям образования нуклидов в основном (g) и изомерном (m) состояниях.

Цвет клетки обозначает тип радиоакт. распада: красный отвечает β^+ -распаду или электронному захвату (ϵ); синий — β^- -распаду (см. *Бета-распад ядер*); жёлтый — *альфа-распаду*; зелёный — спонтанному де-

лению ядра (sf); коричневый — протонному распаду (см. *Протонная радиоактивность*). В цветных клетках приведены период полураспада $T_{1/2}$ радионуклида в микросекундах (μs), миллисекундах (ms), секундах (s), минутах (m), часах (h), сутках (d), годах (a), а также энергия испускаемых при распаде частиц (в МэВ) или γ -квантов (в кэВ). В нек-рых случаях даны значения сечений ядерных процессов. Так, σ_f отвечает сечению деления под действием нейтронов, $\sigma_{n,p}$ и $\sigma_{n,\alpha}$ — *ядерным реакциям* (n, p) и (n, α), σ_{abs} — поглощению нейтронов (все значения $\times 10^{28} \text{ м}^2$).

Если радионуклид распадается в основном или в метастабильном состоянии, то это обозначено буквами g и m . Если распад радионуклида происходит по неск. каналам, то тип распада указывается раскрашенной, а вероятность примерно соответствует закрашенной площади внутри клетки. Так, вероятность распада $\leq 5\%$ обозначена треугольником слева вверху или справа внизу. При разделении клетки диагонально пополам цвет левой верх. половины указывает тип распада с вероятностью $\geq 50\% \leq 95\%$, а цвет правой нижней половины — распад с вероятностью $\geq 5\% \leq 50\%$. У нек-рых нуклидов наряду с основным типом распада наблюдаются дополнительные, напр. для ${}^{11}\text{Li}$ помимо $\beta\gamma$ также наблюдается в единичном акте распада испускание $\beta 2n$, $\beta 3n$, $\beta \alpha$.

Если у Н. известно метастабильное состояние (изомер, см. *Изомерия ядерная*), в клетке выделен прямоугольник, в к-ром приводятся сведения об изомерном состоянии, а в остальной части — об основном (если на основании имеющихся данных сделать вывод о том, какое состояние основное, а какое — метастабильное, невозможно, приводится знак \leftrightarrow). Испускание γ -квантов при переходе из метастабильного состояния в основное отмечено как γ . Если переход метастабильного состояния в основное возможен разными путями, то это отражено в раскраске маленького прямоугольника. В случае перехода метастабильного состояния в основное за счёт испускания γ -квантов этот прямоугольник не окрашен.

Белые и цветные клетки, не обведённые жирной линией, означают, что Н. либо не наблюдался, либо имеющиеся данные носят ориентировочный характер, внизу может быть указано предположительное излучение в акте распада. Сведения о Н. или их характеристиках, вызывающие сомнения, иногда отмечены знаком вопроса; «*no*» означает отсутствие. Стрелка с числом на полях (%) означает образование изобаров при делении ${}^{235}\text{U}$ под действием тепловых нейтронов.

Лит.: Селинов И. П., Изотопы, т. 1—3, М., 1970; Схемы распада радионуклидов. Энергия и интенсивность излучения, пер. с англ., ч. 1—2, М., 1987.

С. С. Бердосов.

НУКЛОН (от лат. nucleus — ядро) — общее наименование для протона и нейтрона, являющихся составными частями атомных ядер. См. также *Изотопическая инвариантность*.

НУКЛОННЫХ АССОЦИАЦИЙ МОДЕЛЬ — модель атомного ядра, основанная на представлении о ядре как о системе кластеров, или нуклонных ассоциаций, определённого типа, как правило, α -кластеров. Простейший вариант Н. а. м. — α -кластерная модель — был сформулирован в 1937 Дж. А. Уиллером (J. A. Wheeler). Эксперим. данные по энергиям связи $\mathcal{E}_{\text{св}}$ лёгких ядер указывают на повышенную энергию связи ядер с равным и чётным числом нейтронов (N) и протонов (Z): $N = Z = 2n$ (n — целое число). Их можно считать состоящими из α -частиц (α -частичные ядра). К их числу относятся ядра ${}^8\text{Be}$, ${}^{12}\text{C}$, ${}^{16}\text{O}$, ${}^{20}\text{Ne}$ и т. д. ($n = 2, 3, 4, 5$). В таких ядрах аномально велика энергия \mathcal{E}_n , необходимая для отщепления (отделения) нейтрона; при переходе к соседнему нечётному по нейтронам ядру она уменьшается на 10—15 МэВ. В то же время энергия отделения α -частицы \mathcal{E}_α мала. Так, ядро ${}^8\text{Be}$ не стабильно относительно распада на две α -частицы, т. е. $\mathcal{E}_\alpha \leq 0$ (строго говоря, такое ядро не существует), в ядре ${}^{12}\text{C}$ энергия $\mathcal{E}_\alpha = 7$ МэВ, в ${}^{16}\text{O}$ $\mathcal{E}_\alpha = 16$ МэВ. В разл.