

Министерство образования и науки Республики Казахстан
Евразийский Национальный университет имени Л.Н. Гумилева
Кафедра химии

Презентация на тему:
«Бета-распад»

Подготовил студент ХМ-32: Агисова Фатиха
Проверил: Алкеев К.Н

Бета-распад

Явление β -распада состоит в том, что ядро(A, Z) самопроизвольно испускает лептоны 1-го поколения – электрон (позитрон) и электронное нейтрино (электронное антинейтрино), переходя в ядро с тем же массовым числом A , но с атомным номером Z , на единицу большим или меньшим. При e -захвате ядро поглощает один из электронов атомной оболочки (обычно из ближайшей к нему K -оболочки), испуская нейтрино. В литературе для e -захвата часто используется термин EC (Electron Capture).

Существуют три типа β -распада – β^- -распад, β^+ -распад и e -захват.

- ▶ Существуют три типа β -распада - β^- -распад, β^+ -распад и e^- -захват.

- ▶ β^- : $(A, Z) \rightarrow (A, Z+1) + e^- + \bar{\nu}_e$,

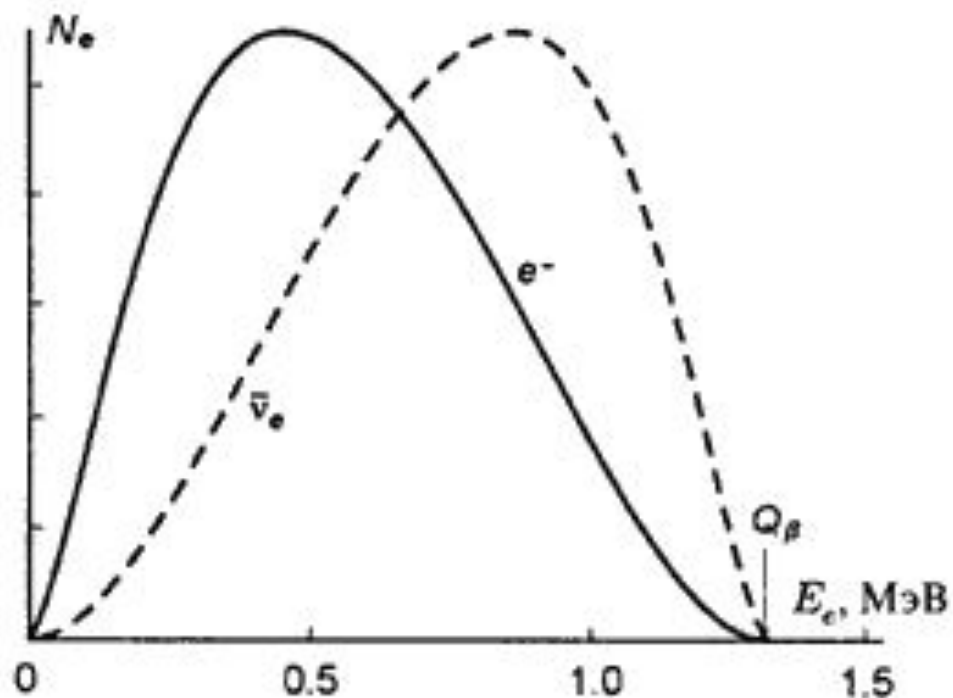
- ▶ β^+ : $(A, Z) \rightarrow (A, Z-1) + e^+ + \nu_e$,

- ▶ e^- : $(A, Z) + e^- \rightarrow (A, Z-1) + \nu_e$.

- ▶ Главной особенностью β -распада является то, что он обусловлен слабым взаимодействием. Бета-распад - процесс не внутриядерный, а внутринуклонный. В ядре распадается одиночный нуклон. Происходящие при этом внутри ядра превращения нуклонов и энергетические условия β -распада имеют вид (массу нейтрино полагаем нулевой):

$$\begin{array}{ll} \beta^- (n \rightarrow p + e^- + \nu_e), & M(A, Z) > M(A, Z+1) + m_e, \\ \beta^+ (p \rightarrow n + e^+ + \nu_e), & M(A, Z) > M(A, Z-1) + m_e, \\ \text{e-захват } (p + e^- \rightarrow n + \nu_e), & M(A, Z) + m_e > M(A, Z-1). \end{array}$$

- ▶ В-распад, также как и α -распад, происходит между дискретными состояниями начального (A, Z) и конечного $(A, Z \pm 1)$ ядер. Поэтому долгое время после открытия явления В-распада было непонятно, почему спектры электронов и позитронов, вылетающих из ядра при В-распаде были непрерывными, а не дискретными, как спектры α -частиц.
- ▶ Считалось даже, что в В-распаде не выполняется закон сохранения энергии. Объяснение непрерывного характера В-спектра было дано В. Паули, который высказал гипотезу, что при В-распаде вместе с электроном рождается ещё одна частица с маленькой массой, т.е. В-распад – трехчастичный процесс. В конечном состоянии образуется ядро $(A, Z \pm 1)$, электрон и лёгкая нейтральная частица - нейтрино (антинейтрино). Т.к. масса ядра $(A, Z \pm 1)$ гораздо больше масс электрона и нейтрино, энергия В-распада уносится лёгкими частицами. Распределение энергии В-распада Q_β между электроном и этой нейтральной частицей приводит к непрерывному В-спектру электрона.



Спектры электронов и антинейтрино,
образующихся при β^- -распаде изотопа ^{40}K ,



- ▶ Из закона сохранения энергии следует, что спектр антинейтрино зеркально симметричен спектру электронов.
- ▶ $N_v(E) = N_e(Q_\beta - E)$,
- ▶ где $N_v(E)$ – число антинейтрино с энергией E , $N_e(Q_\beta - E)$ – число электронов с энергией $(Q_\beta - E)$, Q_β – энергия β -распада, равная суммарной энергии, уносимой электроном и антинейтрино (энергия ядра отдачи ^{40}Ca не учитывается).

- ▶ Наряду с законами сохранения энергии, импульса, момента количества движения в процессе β -распада выполняются законы сохранения барионного B и электронного лептонного L_e квантовых чисел.
- ▶ Электроны, нейтрино имеют $B = 0$, $L_e = +1$.
- ▶ Позитроны, антинейтрино имеют $B = 0$, $L_e = -1$.
- ▶ Каждый нуклон, входящий в состав ядра, имеет $B = +1$, $L_e = 0$.
- ▶ Поэтому появление электрона при β^- -распаде всегда сопровождается образованием антинейтрино. При β^+ -распаде образуются позитрон и нейтрино. При e -захвате из ядра вылетают нейтрино. Так как e -захват — двухчастичный процесс, спектры нейтрино и ядра отдачи являются дискретными. Наблюдение дискретного спектра ядер отдачи, образующихся при e -захвате, было первым подтверждением правильности гипотезы Паули.

- ▶ β -радиоактивные ядра имеются во всей области значений массового числа A , начиная от единицы (свободный нейтрон) и кончая массовыми числами самых тяжелых ядер.

За счет того, что интенсивность слабых взаимодействий, ответственных за β -распад, на много порядков меньше ядерных, периоды полураспада β -радиоактивных ядер в среднем имеют порядок минут и часов. Для того чтобы выполнялись законы сохранения энергии и углового момента при распаде нуклона внутри ядра, оно должно перестраиваться. Поэтому период, а также другие характеристики β -распада в сильной степени зависят от того, насколько сложна эта перестройка. В результате периоды β -распада варьируются почти в столь же широких пределах, как и периоды α -распада. Они лежат в интервале $T_{1/2}(\beta) = 10^{-6} \text{ с} - 10^{17} \text{ лет}$.

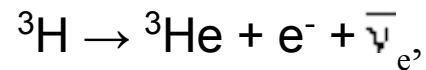
- ▶ На малую интенсивность слабых взаимодействий указывает большое среднее время жизни нейтрона ($\tau \approx 15$ мин).

β -распад разрешен при выполнении соотношений (3.2). В этих соотношениях фигурируют массы исходного и конечного ядер, лишенных электронных оболочек, т.к. в масс-спектроскопических измерениях определяются не массы ядер, а массы атомов ${}^{\text{ат}}M$. Поэтому в справочных таблицах обычно приводятся массы атомов. Массы исходного и конечного атомов связаны с массами ядер соотношениями

- ▶ ${}^{\text{ат}}M(A, Z) = M(A, Z) + Zm_e$.
- ▶ В (3.3) не учитываются энергии связи электронов в атомах, т.к. они находятся на границе точности самых прецизионных измерений. Подставив (3.3) в (3.2), получим условия неустойчивости атома по отношению к β -распаду
- ▶ β^- : ${}^{\text{ат}}M(A, Z) > {}^{\text{ат}}M(A, Z+1)$,
 β^+ : ${}^{\text{ат}}M(A, Z) > {}^{\text{ат}}M(A, Z-1) + 2m_e$,
e: ${}^{\text{ат}}M(A, Z) > {}^{\text{ат}}M(A, Z-1)$.

- ▶ При β^+ -распаде и электронном захвате в ядре происходит один и тот же процесс превращения протона в нейтрон. Поэтому оба этих процесса могут идти для одного и того же ядра и часто конкурируют друг с другом. Из сравнения условий для этих двух видов распада видно, что с энергетической точки зрения электронный захват более выгоден. В частности, если начальный и конечный атомы удовлетворяют неравенствам
- ▶ ${}^{\text{ат}}M(A, Z-1) + 2m_e > {}^{\text{ат}}M(A, Z) > {}^{\text{ат}}M(A, Z-1),$
- ▶ то электронный захват разрешен, а β^+ -распад запрещен. Такая ситуация имеет место при превращении изотопа бериллия ${}^7\text{Be}$ в результате е-захвата в изотоп лития ${}^7\text{Li}$. В ядре ${}^7\text{Be}$ происходит электронный захват
- ▶ $e^- + {}^7\text{Be} \rightarrow {}^7\text{Li} + \nu_e,$
- ▶ и запрещён позитронный распад, так как различие масс атомов в энергетической шкале составляет 0.861 МэВ, т. е. меньше, чем $2m_e c^2 = 1.02 \text{ МэВ}$.

- ▶ Энергия β -распада, выраженная через массы атомов, имеет вид
- ▶ β^- : $Q_\beta = [{}^{\text{ат}}M(A, Z) - {}^{\text{ат}}M(A, Z+1)]c^2$,
 β^+ : $Q_\beta = [{}^{\text{ат}}M(A, Z) - {}^{\text{ат}}M(A, Z-1) - 2m_e]c^2$,
 e^- : $Q_\beta = [{}^{\text{ат}}M(A, Z) - {}^{\text{ат}}M(A, Z-1)]c^2$.
- ▶ Она заключена в интервале от 18.61 кэВ при распаде трития



- ▶ до 13.4 МэВ при распаде тяжелого изотопа бора



Кулоновский барьер при β -распаде несуществен. Это обусловлено тем, что у позитрона и у электрона, массы, а следовательно и импульсы малы. Поэтому, образовавшись в результате распада нуклона, они не могут долго находиться в ядре в соответствии с соотношением неопределенности. Кроме того, между образовавшейся при β^+ -распаде заряженной частицей e^+ действуют кулоновские силы, а не ядерные силы, как в случае α -распада. Из-за более слабой зависимости от энергии β -распада по сравнению с α -распадом, β -распад часто происходит на возбужденные состояния конечного ядра.

При β -распаде существенную роль играет полный момент количества движения J , уносимый лептонами. Процесс e -захвата сопровождается испусканием характеристического рентгеновского излучения атомом ($A, Z-1$).