

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  $\beta$ -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  $\beta$ -распада –  $\beta^-$ -распад,  $\beta^+$ -распад и  $e$ -захват.

- ▶ Существуют три типа  $\beta$ -распада -  $\beta^-$ -распад,  $\beta^+$ -распад и  $e^-$ -захват.

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

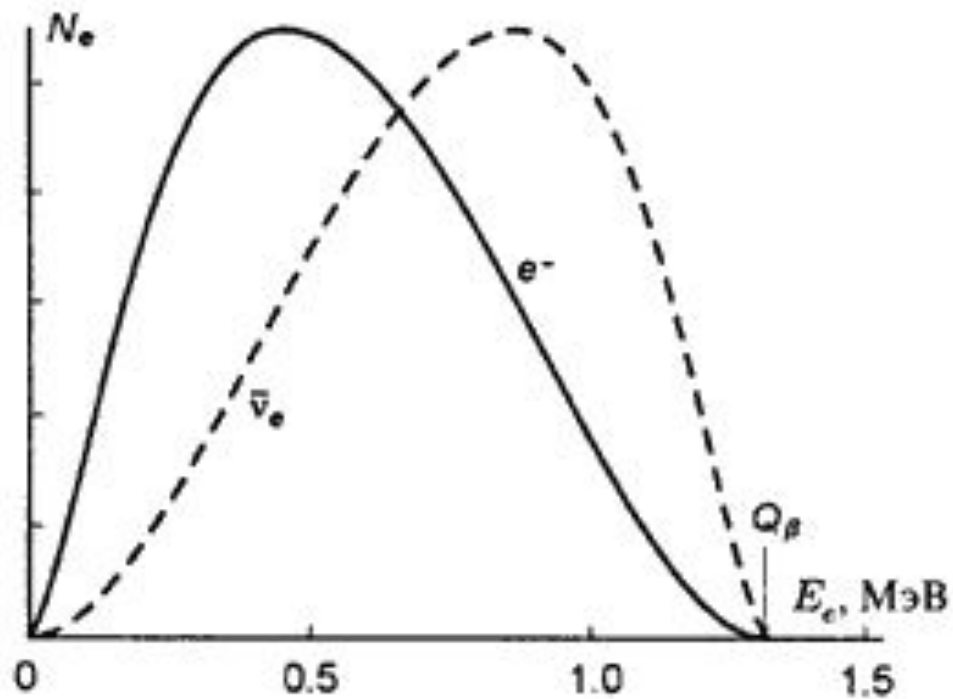
- ▶  $\beta^+$ :  $(A, Z) \rightarrow (A, Z-1) + e^+ + \nu_e$ ,

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

- ▶ Главной особенностью  $\beta$ -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  $\beta$ -распада имеют вид (массу нейтрино полагаем нулевой):

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

- ▶ В-распад, также как и  $\alpha$ -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  $\alpha$ -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  $Q_\beta$  между электроном и этой нейтральной частицей приводит к непрерывному В-спектру электрона.



Спектры электронов и антинейтрино,  
образующихся при  $\beta^-$ -распадае изотопа  $^{40}\text{K}$ ,



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

- ▶ Наряду с законами сохранения энергии, импульса, момента количества движения в процессе  $\beta$ -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  $\beta^-$ -распаде всегда сопровождается образованием антинейтрино. При  $\beta^+$ -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).

$\beta$ -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

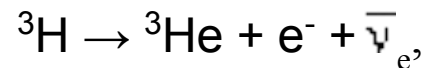
- ▶  ${}^{\text{ат}}M(A, Z) = M(A, Z) + Zm_e$ .
- ▶ В (3.3) не учитываются энергии связи электронов в атомах, т.к. они находятся на границе точности самых прецизионных измерений. Подставив (3.3) в (3.2), получим условия неустойчивости атома по отношению к  $\beta$ -распаду
- ▶  $\beta^-$ :  ${}^{\text{ат}}M(A,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

- ▶ При  $\beta^+$ -распаде и электронном захвате в ядре происходит один и тот же процесс превращения протона в нейтрон. Поэтому оба эти 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  $\beta^+$ -распад запрещен. Такая ситуация имеет место при превращении изотопа бериллия  ${}^7\text{Be}$  в результате e-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  $\beta$ -распада, выраженная через массы атомов, имеет вид

- ▶  $\beta^-$ :  $Q_{\beta} = [{}^{\text{aT}}M(A, Z) - {}^{\text{aT}}M(A, Z+1)]c^2$ ,  
 $\beta^+$ :  $Q_{\beta} = [{}^{\text{aT}}M(A, Z) - {}^{\text{aT}}M(A, Z-1) - 2m_e]c^2$ ,  
e:  $Q_{\beta} = [{}^{\text{aT}}M(A, Z) - {}^{\text{aT}}M(A, Z-1)]c^2$ .

- ▶ Она заключена в интервале от 18.61 кэВ при распаде трития



- ▶ до 13.4 МэВ при распаде тяжелого изотопа бора



Кулоновский барьер при  $\beta$ -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  $\beta^+$ -распаде заряженной частицей  $e^+$  действуют кулоновские силы, а не ядерные силы, как в случае  $\alpha$ -распада. Из-за более слабой зависимости от энергии  $\beta$ -распада по сравнению с  $\alpha$ -распадом,  $\beta$ -распад часто происходит на возбужденные состояния конечного ядра.

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