

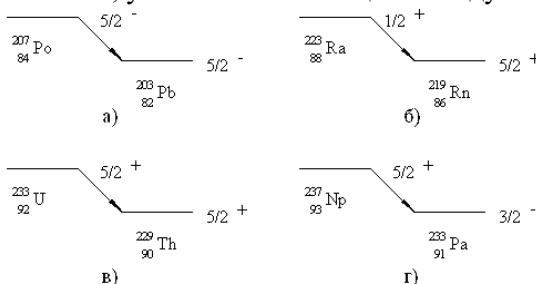
Семинар 6

Основные законы радиоактивного распада.

- 6.1. Показать, что среднее время жизни радиоактивных ядер $\tau=1/\lambda$, где λ – их постоянная распада.
- 6.2. Закон радиоактивного распада неустойчивых ядер состоит в том, что скорость распадов в любой момент времени пропорциональна имеющемуся числу ядер $\lambda \cdot N(t)$, а постоянная распада λ имеет смысл вероятности распада ядра в единицу времени. Известно, что при радиоактивном распаде исходного радиоактивного вещества образуется также радиоактивное вещество. В начальный момент времени количество первоначальных радиоактивных атомов в образце было $N_1(0)$ и $N_2(0)$, а постоянные распада равны соответственно λ_1 и λ_2 . При каком соотношении числа ядер материнского и дочернего ядра достигается максимальная активность образца. (Активность образца – количество распадов в единицу времени).
- 6.3. Имеется пучок нейтронов с кинетической энергией 0.025 эВ. Какая доля нейтронов распадается на длине пучка 2.0 м?
- 6.4. Определить возраст древних деревянных предметов, у которых удельная активность ^{14}C составляет $3/5$ удельной активности этого же нуклида в только что срубленных деревьях.
- 6.5. В кровь человека ввели небольшое количество раствора, содержащего ^{24}Na активностью $A = 2.1 \cdot 10^3 \text{ Бк} \cdot \text{см}^3$. Активность 1 см^3 крови, взятой через $t=5.0$ ч после этого, оказалась $a = 0.28 \text{ Бк} \cdot \text{см}^3$. Найти объем крови человека.
- 6.6. При радиоактивном распаде ядер нуклида A_1 образуется радионуклид A_2 . Их постоянные распада равны λ_1 и λ_2 . Полагая, что в начальный момент препарат содержал только ядра нуклида A_1 в количестве N_{10} определить:
- количество ядер A_2 через промежуток времени t ;
 - промежуток времени, через который количество ядер A_2 достигнет максимума;
 - в каком случае может возникнуть состояние переходного равновесия, при котором отношение количества обоих нуклидов будет оставаться постоянным. Чему равно это отношение?
- 6.7. Радионуклид ^{118}Cd испытывает превращения по цепочке $^{118}\text{Cd} \rightarrow ^{118}\text{In} \rightarrow ^{118}\text{Sn}$ (стабилен). Считая, что в момент $t=0$ препарат содержал только Cd , найти:
- какая часть ядер превратится в стабильные ядра через 60 мин;
 - во сколько раз уменьшится активность препарата через 60 мин.
- 6.8. При распаде ядра ^5He сумма энергий ядра ^4He и нейтрона приблизительно равна 0.5 МэВ. Пользуясь соотношением неопределенностей, найти среднее время жизни ^5He .
- 6.9. В области массовых чисел вплоть до $A=209$ только для двух значений A не существует устойчивых ядер. Это обстоятельство играет важную роль при рассмотрении образования элементов в звездах. Воспользуйтесь рисунком 1 из приложения и найдите эти значения A .

α -распад

- 6.10. Определить отношение высоты кулоновского и центробежного барьеров для α -частиц. Закруглением вершины кулоновского барьера пренебречь. Вычислить отношение для α -частиц, испускаемых ядрами ^{209}Po с орбитальным моментом $l = 2$.
- 6.11. Определить орбитальный момент l , уносимый α -частицей в следующих распадах:

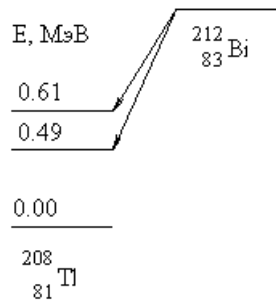


6.12. Покоящееся ядро ^{213}Po испустило α -частицу с кинетической энергией $T_\alpha=8.34$ МэВ. При этом дочернее ядро оказалось непосредственно в основном состоянии. Найти полную энергию, освобождаемую в этом процессе. Какую долю этой энергии составляет кинетическая энергия дочернего ядра?

6.13. Энергия α -распада ^{210}Po равна 5.4 МэВ. Покажите, пользуясь законами сохранения энергии и момента импульса, как эта энергия распределяется между α -частицей и остаточным ядром ^{206}Pb .

6.14. Распад ядер ^{226}Th происходит из основного состояния и сопровождается испусканием α -частиц с энергией 6.33; 6.23; 6.10 и 6.03 МэВ. Рассчитать и построить схему уровней дочернего ядра.

6.15. Определить кинетические энергии α -частиц T_α , образующихся при α -распаде ^{212}Bi на возбужденные состояния ядра ^{208}Tl с энергиями 0,49 и 0,61 МэВ. Энергия связи $E_{\text{св.}}(A, Z)$ ядра ^{212}Bi – 1654.32 МэВ, ядра ^{208}Tl – 1632.23 МэВ и α -частицы – 28.30 МэВ.



5.16. При распаде ядер ^{212}Po испускаются четыре группы α -частиц: основная с энергией 8.780 МэВ и длиннопробежные с энергиями 9.492; 10.422 и 10.543 МэВ. Рассчитать и построить схему уровней ядра ^{212}Po , если известно, что дочерние ядра во всех случаях возникают непосредственно в основном состоянии.

6.17. Ядро ^{228}U испускает α - частицы с энергией 6.69 МэВ с периодом полураспада 9.3 мин. Ядро ^{232}U испускает α - частицы с энергией 5.32 МэВ. Определить период полураспада ^{232}U с помощью рис.1 из приложения.

6.18. Мишень из бора бомбардируется пучком протонов. После выключения протонного пучка детектор β -частиц регистрирует 100 отсчетов/с, вызываемых радиоактивностью мишени. Через 40 мин скорость счета уменьшилась до 25 отсчетов/с. Каков источник радиоактивности, и какая происходила реакция (Воспользуйтесь рис. 2 из приложения)?

β -распад

6.19. Вычислить суммарную кинетическую энергию частиц, возникающих при β -распаде покоящегося нейтрона.

6.20. Используя значения масс атомов, определить верхнюю границу спектра позитронов, испускаемых при β^+ -распаде ядра:

- ^3H , $M_{\text{ат}}(^3\text{H}) = 3.0160$ а.е.м., $M_{\text{ат}}(^2\text{H}) = 2.0141$ а.е.м.
- ^{27}Si , $M_{\text{ат}}(^{27}\text{Si}) = 25137.961$ МэВ, $M_{\text{ат}}(^{27}\text{Al}) = 25137.961$ МэВ
- ^{65}Ge (см. рис. 3 из приложения).

6.21. Ядра ^{37}Ar испытывают K -захват, в результате которого дочерние ядра оказываются непосредственно в основном состоянии. Пренебрегая энергией связи K -электрона, определить кинетическую энергию и скорость дочернего атома.

6.22. Найти энергию нейтрино при K -захвате в атомах ^{131}Cs , если полная энергия, выделяющаяся в этом процессе, равна 355 кэВ, энергия связи K -электрона в дочернем атоме 35 кэВ, причем дочернее ядро оказывается непосредственно в основном состоянии.

6.23. Определить кинетическую энергию конечного ядра при β^- -распаде ядра ^{64}Cu ($^{64}\text{Cu} \rightarrow ^{64}\text{Zn} + e^- + \bar{\nu}_e$), когда

- энергия антинейтрино $T_{\bar{\nu}} = 0$;
- энергия электрона $T_e = 0$.

Энергии связи ядер $^{64}\text{Cu} - 559.32$ МэВ и $^{64}\text{Zn} - 559.12$ МэВ.

6.24. Определить энергию отдачи ядра ^7Li , образующегося при e^- -захвате в ядре ^7Be . Даны энергии связи ядер $E_{\text{св.}}(^7\text{Be}) = 37.6$ МэВ, $E_{\text{св.}}(^7\text{Li}) = 39.3$ МэВ. Энергией связи электрона пренебречь.

6.25. Ядро ^6He испытывает β^- -распад, в результате которого дочернее ядро оказалось непосредственно в основном состоянии. Энергия распада $Q=3.50$ МэВ. Под каким углом к направлению вылета электрона

испущено антинейтрино, если электрон с кинетической энергией $T=0.60$ МэВ вылетел под прямым углом к направлению движения яра отдачи?

6.26. При β -распаде ядер ^{56}Mn из основного состояния испускаются три парциальных спектра β -частиц, максимальная кинетическая энергия которых 0.72; 1.05; и 2.86 МэВ. Сопровождающие распад γ -кванты имеют энергию 0.84; 0.81; 2.14; 2.65 и 2.98 МэВ. Рассчитать и построить схему уровней дочернего ядра.

6.27. Ядро ^{27}Si в результате β^+ -распада $^{27}\text{Si} \rightarrow ^{27}\text{Al} + e^+ + \nu_e$ переходит в «зеркальное» ядро ^{27}Al . Максимальная энергия позитронов 3.48 МэВ. Оценить радиус этих ядер.

6.28. Мишень из естественного бора бомбардируют дейтронами и обнаруживают, что образовались два различных радиоактивных вещества, одно с периодом полураспада 20.5 мин и другое с периодом полураспада 0.020 с. Какие реакции привели к образованию этих веществ?

(Для решения задачи, рассмотрите рис. 3 из приложения и вспомните, что природный бор представляет собой смесь изотопов).

6.29. Полоний превращается в висмут в результате нескольких радиоактивных распадов (α и/или β). Каких именно?

6.30. В какой элемент превращается торий после α -распада, двух β -распадов и еще одного α -распада?

γ -излучение возбужденных ядер.

6.31. Оценить неопределенность в энергии γ -кванта, испущенного ядром ^{10}B в процессе распада из состояния с энергией 0.72 МэВ, период полураспада $6.7 \cdot 10^{-10}$ с.

6.32. Определить энергию γ -кванта и кинетическую энергию отдачи при девозбуждении ядра(^{12}C)*, находящегося в первом возбужденном состоянии с квантовыми числами 2^+ , $E = 4.43$ МэВ.

6.33. Найти среднее время жизни ядра ^{12}C в первом возбужденном состоянии, если ширина спектра энергии γ -кванта, излучаемого ядром равна $\Gamma = (10.8 + 0.6) \cdot 10^{-6}$ кэВ.

Законы сохранения в ядерных реакциях

6.34. Какие остаточные ядра образуются в результате реакции (p , α), когда ядром – мишенью является ^9Be , ^{11}B , ^{18}O , и ^{19}F .

6.35. Перечислите некоторые реакции, которые происходят при бомбардировке Be^9 протонами. Проверить реакции при помощи законов сохранения.

6.36. Перечислите некоторые ядерные реакции, в результате которых может получиться Be^8 . (Существует, по меньшей мере, 16 таких реакций, происходящих при бомбардировке мишеней частицами с $A \leq 4$). Проверить реакции при помощи законов сохранения.

Пороговая энергия и выход ядерных реакций

6.37. Получить формулу: $T_{\text{пор}} = ((m+M)/M)|Q|$, где $T_{\text{пор}}$ – пороговая кинетическая энергия налетающей частицы (в Л-системе), при которой становится возможной эндонергетическая реакция, m и M – массы налетающей частицы и ядра мишени; Q – энергия реакции.

6.38. Вычислить пороговую кинетическую энергию налетающей частицы в реакции $p + ^3\text{H} \rightarrow ^3\text{He} + n$, если налетающей частицей является:

- протон;
- ядро трития.

6.39. Вычислить пороговую энергию α -частиц и нейтронов в следующих реакциях:



6.40. Толстую мишень с концентрацией ядер n_0 облучают тяжелыми заряженными частицами. Определить зависимость сечения протекающей ядерной реакции от кинетической энергии T бомбардирующих частиц, если известны зависимость выхода реакции от энергии частиц $I(T)$ и выражение для ионизационных потерь $dT/dx=f(T)$.

Дополнительная информация

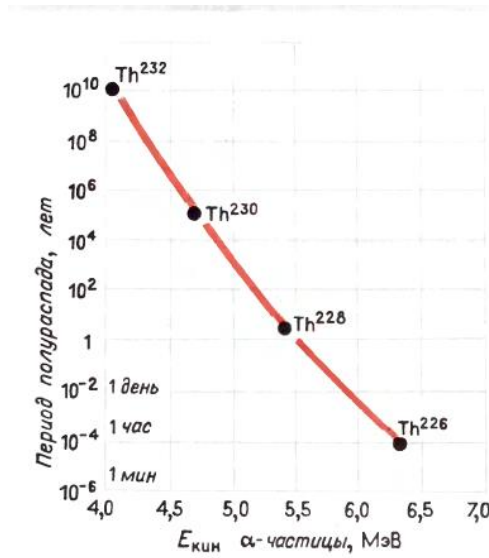


Рис. 1. Зависимость периода полураспада от энергии α -частицы для ряда изотопов тория.

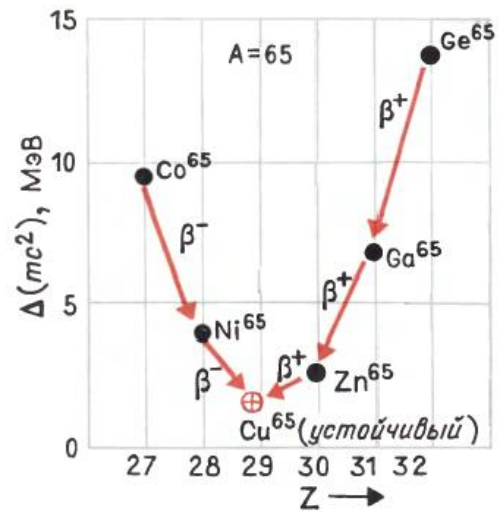


Рис. 2. β^- -распад и β^+ -распад ядер с $A=65$. Существует единственное устойчивое ядро с этим массовым числом ^{65}Cu .

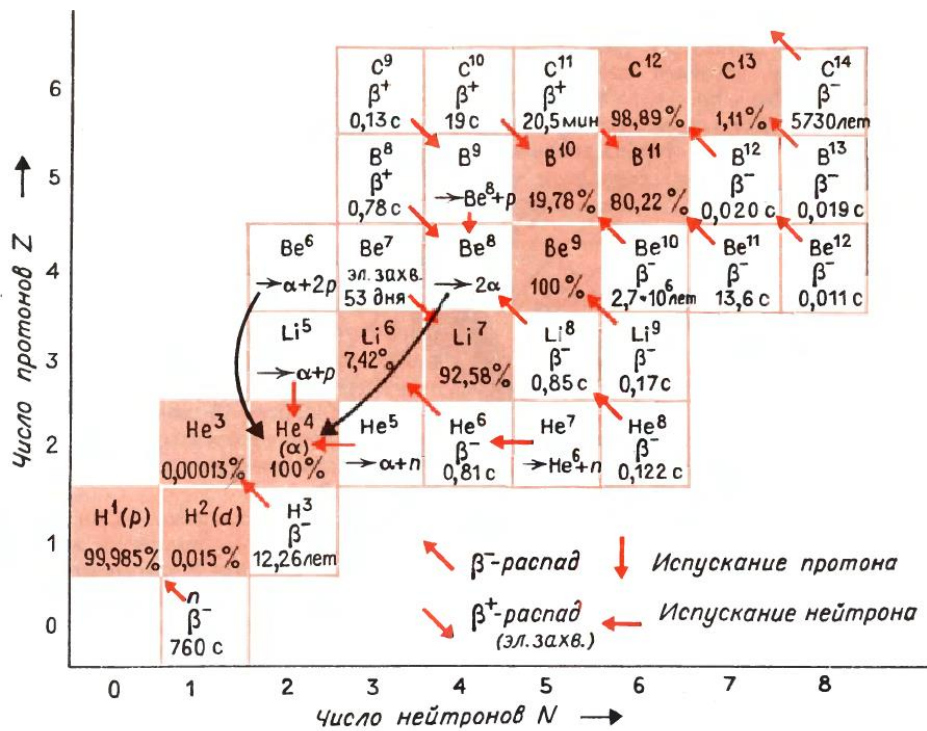


Рис. 3. Ядра легких элементов.

Для устойчивых ядер (красные клетки) приведена распространённость встречающихся в природе изотопов; для неустойчивых ядер, распадающихся путем испускания частиц, указан тип распада; для β -радиоактивных ядер дан период полураспада.