

## Семинар 7

### Энергия ядерной реакции.

7.1. Объяснить, почему реакция (p,n) на устойчивом ядре-мишени всегда имеет отрицательное значение Q. При положительном Q было бы ядро-мишень устойчивым?

7.2. Определить кинетические энергии ядер  ${}^7\text{Be}$  и  ${}^{15}\text{O}$ , возникающих в реакциях:

- $p + {}^7\text{Li} \rightarrow {}^7\text{Be} + n, Q = -1.65 \text{ МэВ};$
- $n + {}^{19}\text{F} \rightarrow {}^{15}\text{O} + p + 4n, Q = -35.8 \text{ МэВ}.$

7.3. Вычислить энергию следующих реакций:

- ${}^2\text{H}(d, p){}^3\text{H}$ , если энергия налетающих дейтронов  $T_d = 1.20 \text{ МэВ}$  и протон, вылетевший под прямым углом к направлению движения дейтрона, имеет энергию  $T_p = 3.30 \text{ МэВ};$
- ${}^{14}\text{N}(\alpha, p){}^{17}\text{O}$ , если энергия налетающих  $\alpha$ -частиц  $T_\alpha = 4.00 \text{ МэВ}$  и протон, вылетевший под углом  $\theta=60^\circ$  к направлению движения  $\alpha$ -частиц, имеет энергию  $T_p = 2.08 \text{ МэВ}.$

7.4. Чему равна величина Q для реакции  ${}^4\text{He}({}^3\text{He}, \gamma){}^7\text{Be}$ ?

7.5. Вычислить величину Q для реакции  $\text{Li}^7(d, n)\text{Be}^8$ . Качественно объясните, почему все величины Q для реакций должны быть положительными и большими. Исключения из этого правила должны иметь место в тех случаях, когда ядро-мишень необычайно устойчиво, как в реакции  $\text{O}^{16}(d, n)\text{F}^{17}$ . Чему равна величина Q для этой реакции? Чем объясняются эти исключения.

### Фотоядерные реакции.

7.6. Найти пороговую энергию гамма-кванта, при которой становится возможной эндотермическая реакция фоторасщепления покоящегося ядра массой  $M$ , если энергия реакции равна  $Q$ .

7.7. Вычислить кинетическую энергию нейтронов при пороговом значении гамма-кванта для следующих реакций фоторасщепления:

- $\gamma + d \rightarrow n + p;$
- $\gamma + {}^7\text{Li} \rightarrow n + {}^6\text{Li}.$

7.8. Найти энергию нейтронов, возникающих при фоторасщеплении бериллия по реакции  ${}^9\text{Be}(\gamma, n){}^8\text{Be}$ ,  $Q = -1.65 \text{ МэВ}$ , гамма-квантами с энергией  $\hbar\omega = 1.78 \text{ МэВ}$ .

### Механизм протекания ядерной реакции через промежуточное ядро.

7.9. Какие устойчивые ядра мишени и бомбардирующие частицы, можно использовать, чтобы вызвать ядерные реакции, дающие в конечном состоянии  $N^{13} + n$ .

7.10. Какие составные ядра образуются в результате следующих реакций:

$B^{10}(\alpha, p)C^{13};$

$Be^9(p, d)Be^8;$

$C^{12}(He^3, \alpha)C^{11}.$

7.11. Возбужденные состояния ядра  $Be^{10}$  можно исследовать, наблюдая резонансы, возникающие при бомбардировке  $Be^9$  нейтронами. Чему равна минимальная энергия возбужденного состояния  $Be^{10}$ , которое можно исследовать таким образом?

7.12. При бомбардировке  $C^{13}$  протонами с энергией 1.75 МэВ образуется резонанс шириной 77 эВ. У какого ядра имеется соответствующее возбужденное состояние? Чему будет приблизительно равен период полураспада этого возбужденного состояния?

Взаимодействие нейтронов с ядрами. Захват нейтронов.

7.13. Выразить с помощью формулы Брейта-Вигнера сечение радиационного захвата нейтрона  $\sigma_{n\gamma}$  от его кинетической энергии  $T$ , если известны сечение  $\sigma_0$  данного процесса при  $T=T_0$  и значения  $T_0$  и  $\Gamma$ .

7.14. Показать, что для нейтронов с длиной волны  $\lambda$  геометрическое сечение ядра  $S \approx \pi(R+\lambda)^2$ , где  $R$  – радиус ядра. Оценить эту величину для нейтрона с кинетической энергией 10 МэВ, налетающего на ядро Au.

7.15. Оценить максимальную высоту центробежного барьера для нейтронов с кинетической энергией 7.0 МэВ при взаимодействии с ядрами Sn.

7.16. Найти вероятность того, что в результате взаимодействия медленных нейтронов ( $l=0$ ) с ядрами, спин которых  $I=1$ , промежуточные ядра образуются в состоянии со спином  $J=3/2$ . Считать, что спины нейтронов и ядер имеют всевозможные взаимные ориентации.

7.17. Почему захват нейтрона устойчивым ядром-мишенью редко приводит к позитронному распаду.

7.18. Ядро  $Li^7$  захватывает медленный нейтрон и испускает один  $\gamma$ -квант. Чему равна энергия этого  $\gamma$ -кванта?