

Семинар 4

Свойства ядер и ядерной материи.

4.1. Укажите, какие нуклиды из нижеприведенных являются: а) изотопами одного химического элемента, б) изобарами и в) изотонами.



4.2. Считая, что ядро имеет сферическую форму оценить:

- плотность ядерного вещества и концентрацию нуклонов;
- среднее расстояние между центрами нуклонов;
- среднюю объёмную плотность электрического заряда в ядре.

4.3. Как соотносятся радиусы ядер ${}^4\text{He}$ и ${}^{238}\text{U}$? Во сколько раз объём ядра урана больше объёма ядра гелия?

Энергия связи и свойства ядерных сил.

4.4.

- Определить относительный вклад энергии связи ядра ${}^3\text{He}$ в его массу ($E_{\text{св}} = 7.72$ МэВ). Сравнить энергию связи с энергией кулоновского отталкивания двух протонов в ядре гелия.
- Какую долю полной энергии ${}^{238}\text{U}$ составляет его энергия связи?
 $m({}^{238}\text{U}) = 238.0508$ а. е. м.

4.5. Энергия связи ядра, состоящего из трех протонов и четырех нейтронов, равна 39.25 МэВ. Какому нуклиду принадлежит это ядро? Определить массу ядра этого нуклида в МэВ и в а.е.м.

4.6. Используя формулу для энергии связи, выраженную через массы нуклонов и массу ядра, вычислить энергии связи ядер ${}^2\text{H}$, ${}^4\text{He}$, ${}^7\text{Li}$, ${}^{40}\text{Ca}$, ${}^{56}\text{Fe}$, ${}^{107}\text{Ag}$, ${}^{235}\text{U}$. Построить зависимость удельной энергии связи от атомного веса элемента.

4.7. Ядро имеет одинаковое число нейтронов и протонов, а его радиус в полтора раза меньше радиуса ${}^{27}\text{Al}$. Найдите энергию связи этого ядра.

4.8. Какую энергию надо затратить, чтобы отделить нейтрон от ${}^7\text{Li}$? от ${}^9\text{Be}$? (Энергия связи нейтрона в ${}^9\text{Be}$ меньше чем в любом другом устойчивом ядре.)

4.9. Какую группу нуклонов нужно отделить от ${}^7\text{Li}$, чтобы получить ${}^4\text{He}$? Какую энергию нужно затратить, чтобы отделить эти нуклоны как единое целое?

4.10. Найти энергию необходимую для разделения ядра ${}^{16}\text{O}$ на α -частицу и ядро ${}^{12}\text{C}$. Энергии связи ядер ${}^{16}\text{O}$, ${}^{12}\text{C}$, ${}^4\text{He}$ на нуклон соответственно 7.98 МэВ, 7.68 МэВ, 7.08 МэВ.

4.11. Найти энергию, выделившуюся при синтезе $\alpha + \alpha = {}^2\text{H} + {}^6\text{Li}$, если энергии связи на нуклон в ядрах ${}^2\text{H}$, ${}^4\text{He}$, ${}^6\text{Li}$ равны соответственно 1.11 МэВ, 7.08 МэВ, 5.33 МэВ.

4.12. Найти энергию реакции ${}^7\text{Li}(p, \alpha){}^4\text{He}$, если известно, что средняя энергия связи на один нуклон в ядрах ${}^7\text{Li}$ и ${}^4\text{He}$ равна соответственно 5.60 и 7.60 МэВ.

4.13. Какое ядро может образоваться при соединении двух ядер ${}^6\text{Li}$ и какая энергия выделяется при этом?

4.14. Какую кинетическую энергию приобретает каждая α -частица при распаде ядра ${}^8\text{Be}$?

4.15. Вычислить радиусы зеркальных ядер ${}_{11}^{23}\text{Na}$ и ${}_{12}^{23}\text{Mg}$, считая, что разность энергий связи определяется только различием энергий кулоновского отталкивания протонов:

$$U = \frac{3}{5} \frac{(Ze)^2}{R}.$$

¹ Зеркальными называются ядра изобар, у которых число протонов одного из ядер равно числу нейтронов у другого.

Пространственная чётность и спин ядра.

4.16. Доказать, что орбитальный момент дейтрона может принимать только 2 значения: 0 или 2. Для дейтрона $J^P=1^+$.

4.17. Определить, какое количество фотонов образуется при распаде основного состояния пара- ($L=S=0$) и орто- позитрония ($L=0; S=1$).

4.18. При облучении медленными ($l = 0$) π - мезонами дейтериевой мишени идет реакция $\pi^- + d \rightarrow 2n$. Имея в виду, что четность дейтрона положительная, показать с помощью законов сохранения момента импульса и четности, что π - мезон имеет отрицательную четность.

4.19. В первоначальной модели ядра предполагалось, что ядро (Z, A) состоит из A протонов и $A-Z$ электронов. Докажите, рассматривая спины частиц, что такая модель не соответствует измеренному на опыте спину ^{14}N , а именно $I=1$. (Покажите, что спины 14 протонов и 7 электронов не могут дать суммарный спин $I=1$.)

4.20. Сколько компонент сверхтонкой структуры имеют основные термы следующих атомов: $^3\text{H}(^2\text{S}_{1/2})$, $^6\text{Li}(^2\text{S}_{1/2})$, $^9\text{Be}(^1\text{S}_0)$, $^{15}\text{N}(^4\text{S}_{3/2})$ и $^{35}\text{Cl}(^2\text{P}_{3/2})$. В скобках указан основной терм электронной оболочки атома.

4.21. Определить спин ядра Co^{59} , основной терм атома которого $F_{9/2}^4$ содержит восемь компонент сверхтонкого расщепления.

4.22. Определить спина ядра ^{39}K , если момент электронной оболочки атома кальция равен $5/2$, а число уровней сверхтонкого расщепления равно 4.

4.23. Терм $2\text{D}_{3/2}$ атома ^{209}Bi имеет четыре линии сверхтонкого расщепления, причем отношение интервалов между соседними линиями равно $6:5:4$. Найти с помощью правила интервалов спин ядра и число компонент сверхтонкого расщепления линии $2\text{S}_{1/2} \Rightarrow 2\text{D}_{3/2}$.

4.24. Отношение интенсивностей компонент сверхтонкого расщепления спектральной линии $^2\text{P}_{1/2} \rightarrow ^2\text{S}_{1/2}$ натрия равно приблизительно $10:6$. Имея в виду, что сверхтонкая структура вызвана расщеплением терма $^2\text{S}_{1/2}$ (расщепление терма $^2\text{P}_{1/2}$ мало), найти спин ядра ^{23}Na .

Изотопический спин.

4.25. Найти возможные значения изотопического спина T и его проекции T_z для систем

- p - изотриплет π - мезонов
- n - изотриплет π - мезонов

4.26. Определить изоспин основного состояния и проекцию изоспина для ядра $^{48}_{24}\text{Ca}$ и $^{47}_{24}\text{Ca}$. Найти их изотопических партнеров.

4.27. Определить значения изоспина основных состояний ядер изотопов углерода ^{10}C , ^{11}C , ^{12}C , ^{13}C , ^{14}C .