

Семинар 8

Ядерная энергетика: деление ядер и ядерные реакторы.

- 8.1. Когда ядро ${}^{235}_{92}\text{U}$ захватывает медленный нейтрон, оно делится с испусканием двух или трех нейтронов. Назовите несколько возможных пар ядер, получающихся при делении.
- 8.2. Какое количество ядер должно делиться в 1 сек для получения мощности в 1 Вт? Какая масса урана-235 делится в секунду в ядерном реакторе мощностью 1000 МВт?
- 8.3. Определите мощность первой советской атомной электростанции в Обнинске, если расход ${}^{235}\text{U}$ за одни сутки составлял 30 г. При делении одного ядра урана выделяется энергия $E = 3.2 \cdot 10^{-11}$ Дж.
- 8.4. Изотоп ${}^{238}\text{Pu}$ является α -радиоактивным, с периодом полураспада $T_{1/2} = 85$ лет. Средняя энергия испускаемых α -частиц равна $E_\alpha = 4.65$ МэВ. Этот изотоп используется в качестве первичного источника энергии на спутниках. Считая КПД энергетической установки, использующей энергию α -частиц, равной $\eta = 50\%$, найти какое количество этого изотопа необходимо иметь на спутнике, чтобы в течение 10 лет мощность энергетической установки была не ниже 1 кВт.
- 8.5. При делении ядер урана осколки деления испускают 1-2 нейтрона, прежде чем перейти в основное состояние. Определить среднюю вероятность испускания осколком одного нейтрона, если среднее число нейтронов деления на один акт деления ядра ${}^{235}\text{U}$ известно и равно $\nu_f = 2.42$.
- 8.6. Для описания процесса размножения нейтронов в среде с делящимися ядрами все нейтроны делят на поколения. Простейшая модель сменяющихся поколений предполагает, что все нейтроны одного поколения появляются и исчезают одновременно и имеют одно и то же время жизни τ . Коэффициент размножения определяется как отношение нейтронов в двух последовательных поколениях $K_0 = n_{(i+1)}/n_{(i)}$. Найти зависимость числа нейтронов в среде от времени.
- 8.7. В ядерном реакторе температура ограничена максимально допустимой температурой ядерного топлива $T_\text{я}$. Средняя тепловая мощность $Q_v = Q/V$, приходящаяся на единицу объема активной зоны, пропорциональна разности температур $T_\text{я}$ и средней температуры подвода тепла к рабочему телу T_1 . Средняя температура отвода тепла от рабочего тела равна T_2 . Покажите, что оптимальная температура подвода тепла к рабочему телу T_1 , при которой достигается максимальная полезная мощность, приходящаяся на единицу объема активной зоны P/V , равна $(T_1)_{\text{опт}} = (T_\text{я} \cdot T_2)^{1/2}$.

Ядерная энергетика: термоядерный синтез.

- 8.8. Почему реакции синтеза ядер в звёздах начинаются с реакции $p + p \rightarrow d + e^+ + \nu_e$, идущей за счет слабого взаимодействия, а не с реакции $p + n \rightarrow d + \gamma$, идущей за счет электромагнитного взаимодействия, или других реакций, идущих в результате сильного взаимодействия?
- 8.9. Почему в водородной бомбе вместо реакции $D+D$ в качестве первичного источника термоядерной энергии используется реакция $T^3(d, n)He^4$. Вычислить величину Q .
- 8.10. Если образец материала, в состав которого входят все элементы, нагреть до термоядерной температуры в некотором ядерном «котле», то такой элемент (или группа элементов) образуется, в конечном счете, когда смесь будет «готова»?
- 8.11. Какое количество энергии высвободится в результате полного «сгорания» 1 кг дейтерия в термоядерных реакциях? Сравнить эту энергию с энергией, высвобождающейся при делении той же массы U^{235} . (Считайте, что реакции (d, n) и (d, p) одинаково вероятны, так что средняя величина $Q = \frac{1}{2}(3.269 + 4.033) = 3.651$ МэВ).

Дополнительный вопрос.

Ядерные реакторы создают большую радиоактивность. Объясните, почему это опасно? Будут ли термоядерные реакторы иметь тот же недостаток?