



Задание 2. Столкновение ядер

Для изучения ядерных взаимодействий широко используется экспериментальный метод столкновения ядер различных химических элементов.

Для ускорения ядер, которые значительно тяжелее протонов, используются линейные ускорители. Во всех частях задачи считайте, что скорости частиц значительно меньше скорости света.

В данной задаче рассматривается столкновение ускоренных ядер углерода ${}_{12}^6\text{C}$ и неподвижных ядер свинца ${}_{207}^{82}\text{Pb}$.

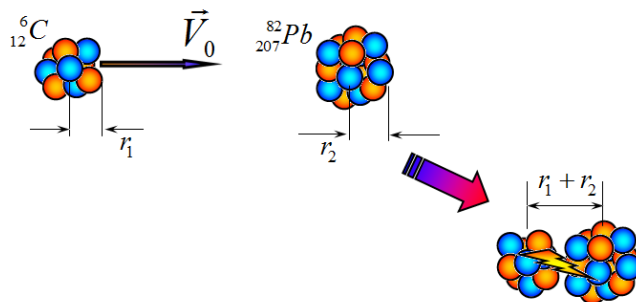
Числа в обозначениях ядер означают: верхнее число Z - зарядовое число (число протонов в ядре), нижнее число A - массовое число (общее число протонов и нейтронов в ядре). Эти числа позволяют найти

- заряд ядра $q = Ze$, где $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ - заряд электрона;
- массу ядра, которая приближенно равна $m = Am_p$, где $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$;
- радиус ядра $r = aA^{1/3}$, где $a = 1,3 \cdot 10^{-15} \text{ м}$.

Электрическая постоянная $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}}$.

Часть 1. Порог реакции

Ядро углерода ${}_{12}^6\text{C}$ ускоряется в ускорителе, проходя ускоряющую разность потенциалов U , и приобретая скорость V_0 . Ядро-мишень ядро свинца можно считать неподвижным и свободным. Чтобы между ядрами началась ядерная реакция, необходимо, чтобы центры ядер сблизились на расстояние меньшее, чем сумма их радиусов.



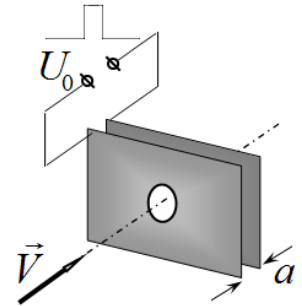
1.1 Рассчитайте, какую минимальную ускоряющую разность потенциалов U_0 должно пройти ядро углерода, чтобы началась ядерная реакция его взаимодействия с ядром свинца.

1.2 Рассчитайте, чему будет равна скорость ядра углерода V_0 при прохождении разности потенциалов U_0 .

1.3 Рассчитайте минимальную ускоряющую разность потенциалов и скорость ядра, если ускоряется ядро свинца, а мишенью является ядро углерода.

Часть 2. Ускоряющая система

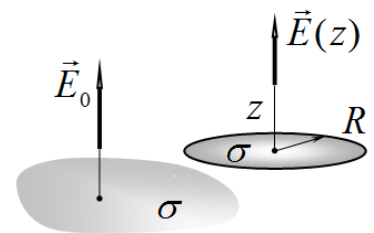
Для ускорения ядер используется несколько ячеек разгона. Каждая такая ячейка состоит из двух больших параллельных металлических пластин, расположенных перпендикулярно направлению движения частиц. В пластинах вырезаны два коаксиальных круглых отверстия радиуса R . Ускоряемые частицы движутся вдоль оси этих отверстий. Расстояние между пластинами равно a и в несколько раз меньше радиусов отверстий. На пластины подается импульсное напряжение U_0 , которое включается при подлете частиц к первой пластине и выключается при вылете частиц за вторую пластину.



2.1 Рассчитайте, какую кинетическую энергию ΔW приобретет ядро углерода при пролете через ускоряющую ячейку.

Подсказка. Равномерно заряженная с поверхностной плотностью заряда σ плоская пластина создает однородное электрическое поле, напряженность которого обозначим \vec{E}_0 . Равномерно заряженный диск радиуса R создает такое электрическое поле, что на оси диска на расстояниях $z \ll R$ его напряженность описывается приближенной формулой

$$E(z) = E_0 \left(1 - \frac{z}{R} \right). \quad (1)$$



2.2 Используя определение электрической емкости и формулу для емкости плоского конденсатора, выразите напряженность поля E_0 , создаваемого равномерно заряженной плоскостью, через поверхностную плотность заряда σ .

Часть 3. Линейный ускоритель

Линейный ускоритель состоит из:

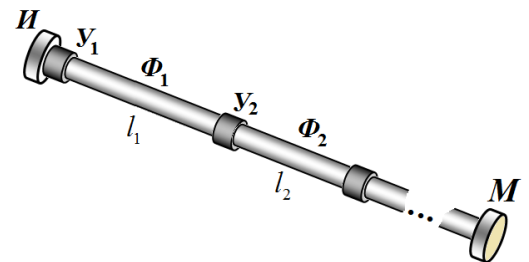
I – источник ускоряемых ядер;

$Y_1, Y_2 \dots$ - ускоряющие ячейки, их общее число равно N ;

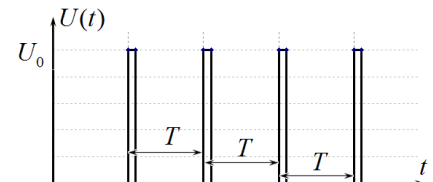
$\Phi_1, \Phi_2 \dots$ - трубы с фокусирующими магнитными устройствами (в данной задаче не рассматриваются), их длины обозначены $l_1, l_2 \dots$;

M – мишень с неподвижными ядрами.

Внутри системы находится вакуум.



Будем считать, что на входе в первую ускоряющую ячейку Y_1 скорости ядер равны нулю. На все ускоряющие ячейки одновременно подается импульсное напряжение, одинаковое на всех ускоряющих ячейках. Частота следования импульсов напряжения постоянна. Причем она настраивается так, что разгоняемые ядра ускоряются в каждой ячейке. Схематический вид зависимости напряжения, подаваемого на все ускоряющие ячейки, от времени показан на рисунке. Временем пролета частиц через ускоряющие ячейки пренебрежимо мало. Длина первой трубы равна l_1 .



3.1 Рассчитайте длины остальных труб l_n , при которых ядра будут ускоряться в каждой ускоряющей ячейке.