



Кубок ЛФИ

10.s05.e05

Hint 2

ВАЖНО! Задача является одновременно и хинтом, и альтернативой к основной задаче. Три важных момента:

1. Вы можете продолжать присылать решение основной задачи.
2. В любой момент до финального дедлайна вы можете перейти на решение *альтернативной задачи*. Если вы это делаете, то в самом начале решения напишите: *Я перехожу на решение альтернативной задачи!* В этом случае Штрафной коэффициент за альтернативную задачу будет равен

$$0,7 \cdot \sum_i \frac{k_i \cdot p_i}{10},$$

где p_i — балл за пункт, а k_i — штрафной коэффициент за соответствующий пункт на момент перехода на Альтернативную задачу. Другими словами, максимальный балл за альтернативную задачу равен максимальному баллу, который вы можете получить в момент перехода на нее, умноженному на 0,7. Заметим, что штрафной коэффициент не может быть меньше 0,1. Также напоминаем, что решения основной задачи с этого момента не проверяются. Будьте внимательными!

3. Задача состоит из нескольких пунктов. Штрафной множитель, заработанный до **этого** применяется ко всем пунктам. В дальнейшем каждый пункт оценивается как отдельная задача. Если вы присылаете решение без какого-либо пункта, то его решение считается Incorrecr. Более подробно о начислении баллов для составных задач смотрите в Правилах проведения Кубка. **С момента перехода на альтернативную подборку возможности вернуться к решению основной задачи нет.** Также, после перехода на альтернативную задачу **баллы за основную задачу обнуляются.**

Введение

Рядом с папкой были черновики, из которых внимательный Наблюдатель мог узнать как Ганс пришел к тем или иным результатам своей основной работы.

Альтернативная задача

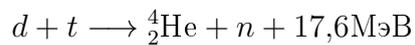
Часть 1. При чем тут ядерные реакции?

Правильный игральный кубик бросили 3 раза и сумма результатов оказалась равной 6.

1. (0 баллов) Какие возможны последовательности результатов бросков кубика?
2. (0 баллов) Какая последовательность самая вероятная?
3. (1 балл) Какой набор результатов самый вероятный?

Часть 2. Дежа вю

В этом разделе вам предлагается получить критерий, выполнение которого обеспечит выход на нулевую полезную мощность термоядерной электростанции. Пусть в некотором ограниченном объеме находится плазма, состоящая из ядер дейтерия и трития, а также электронов, образовавшихся в процессе их ионизации. Все компоненты плазмы ведут себя как идеальный газ. Известно, что количество реакций синтеза дейтерия и трития



в единице объема за единицу времени описывается формулой:

$$A \cdot n^2 \cdot T^{1/2},$$

где n - известная концентрация каждого из типов ядер внутри реактора, T - известная температура всех составляющих плазмы, A - известная константа. Считайте, что все продукты реакций, не взаимодействуя с плазмой, достигают стенок реактора и передают им всю свою кинетическую энергию в виде тепла, а те, в свою очередь, преобразуют ее в электричество и уже оно в дальнейшем используется для нагрева/поддержания температуры плазмы, при этом описанная система обратной связи работает с КПД η . Известно, что если «остановить» механизм обратной связи и процессы ядерных реакций, то плазма начнет остывать с характерным временем остывания τ , которое определяется конструктивными особенностями реактора и является одним из ключевых его параметров. Здесь характерное время остывания – время, за которое плазма достигнет нулевой температуры, если будет остывать с постоянной скоростью, равной начальной.

1. (3 балла) При каком условии на величину $n\tau$ возможен процесс работы реактора так, что описанная система сможет работать произвольное время и «самоподдерживаться» за счет механизма обратной связи?

Часть 3. Плазма

1. (0 баллов) Пространство заполнено идеальным газом с радиусом частиц R и концентрацией n . Оцените среднюю длину пробега частиц. Найдите численное значение при $R = 10^{-10}$ м и $n = 10^{25}$ м⁻³. Считайте, что молекулы не взаимодействуют друг с другом на расстоянии, но при сближении на расстояние, меньшее суммы радиусов, происходит столкновение.
2. (0,5 балла) Быстрый электрон влетает в область, где находятся нейтральные атомы с концентрацией n . При каждом ударе об атом он теряет $\alpha = 0,1\%$ от своей энергии.

Эффективную площадь для расчета ударов считайте равной S . Оцените расстояние, на котором электрон потеряет половину своей энергии. Найдите численное значение для $n = 10^{25} \text{ м}^{-3}$ и $S = 4 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2$.

3. (0,5 балла) Найдите напряженность электрического поля для равномерно заряженного бесконечного слоя толщиной h . Объемная плотность зарядов равна ρ . Постройте график зависимость напряженности электрического поля от расстояния до центрального сечения слоя.
4. (0,5 балла) Поперек равномерно заряженного бесконечного слоя толщиной $2d$ и с плотностью заряда ρ сделан узкий сквозной канал. В канал влетает со скоростью v_0 электрон. Найдите скорость электрона на середине и на выходе из канала.
5. (0,5 балла) В канал влетает со скоростью v_0 электрический диполь массы m и с дипольным моментом p . Скорость диполя увеличивается. Найдите скорость диполя на середине канала. Найдите скорость диполя на выходе из канала.

Часть 4. Дежа дежа вю

Рассмотрим качественно процесс возникновения самостоятельного газового разряда. Пространство между двумя плоскими проводящими электродами (катодом и анодом), находящихся на расстоянии d друг от друга, заполнено газом, а сами электроды подключены к источнику постоянного напряжения.

Процесс формирования газового разряда состоит из двух частей. Первая – формирования электронами в процессе ионизации тока электронов и ионов в среде заполняющей пространство между электродами. Вторая часть – выбивание ионами новых вторичных электронов из катода. Для упрощения задачи мы заменим процесс выбивания ионами электронов из катода на схожий: будем считать, что каждый достигший анода электрон улавливается каким-то элементом, который провоцирует рождение электронов в области катода и при этом все ионы в нашей системе не будут ни на что влиять.

Рассмотрим каждый из этих процессов более детально. Пусть между электродами в силу каких-то причин образовался электрон. Под действием электрического поля, он начинает разгоняться и двигаться от катода к аноду и в процессе движения сталкиваться с молекулами газа, ионизуя их. Образовавшиеся новые электроны также придут в движение к аноду. При этом они будут образовывать все новые и новые электронно-ионные пары, а ионы этого делать не будут (т.к. их скорость, которая является в этом процессе одним из определяющих параметров, будет существенно меньше, чем скорость электронов). А затем при достижении анода специальный элемент спровоцирует рождение новых электронов в области катода пропорционально (с коэффициентом η) пришедшим на анод электронам.

Будем называть общим коэффициентом ионизации α количество электронов в конце (в области анода) лавины, порожденной от одного электрона, начавшего свой путь в области катода. Внешней ионизацией мы будем называть некоторый процесс, который создает первичные электроны. Это могут самые разные процессы: ультрафиолетовое или γ излучение, проходящее через газ, дополнительный проводник, создающий небольшой ток электронов и так далее. В нашем рассмотрении мы будем считать, что этот процесс локализован в области катода.

1. (1 балл) Известно, что электронный ток в области катода равен I_{ek} , в который входит ток внешнего ионизатора и ток вторичных электронов, рожденных специальным

элементом. Коэффициент общей ионизации α известен. Найдите электронный ток в области анода.

2. (1 балл) Определите, чему равен ток создаваемый специальным элементом в области катода I_{xk} .
3. (1 балл) Выразите электронные токи катода и анода I_{ek} и I_{ea} через ионизационный ток I_i .

Пробоем называем ситуацию, когда электронный ток I_{ea} бесконечно нарастает при сколько угодно малом ионизационном токе. Если после возникновения пробоя убрать внешний ионизатор и ток не прекращается, то разряд называют самостоятельным: ионизация поддерживается процессами в самом разряде. (В нашем упрощенном случае процессами в разряде и специальном элементе)

4. (1 балл) Определите, при каком условии на α , η и d произойдет пробой и разряд станет самостоятельным?