**Задача 2.11.1. Разгон при отключённом источнике (12 баллов). **Две одинаковые проводящие оболочки в форме цилиндров с малыми отверстиями на общей оси образуют конденсатор ёмкостью *С.* В центре левой оболочки удерживают шарик с зарядом *q*. Суммарный заряд всей системы, включая заряд шарика, равен нулю. Конденсатор заряжают, подключив к источнику с напряжением *U*, затем отключают от источника и отпускают шарик. Шарик начинает двигаться вдоль оси и, пролетев через отверстия, попадает внутрь правой оболочки.

Какую кинетическую энергию будет иметь шарик в центре правой оболочки?

При каком заряде шарика эта энергия максимальна и чему она равна?

Выделением тепла из-за тока в оболочках можно пренебречь. Поле тяжести не учитывайте.

**Возможное решение. (И. Воробьев).**

1. Вначале на внутренней поверхности левой полости имеется экранирующий заряд *– q,* что даёт нуль в сумме с зарядом шарика*.* На внутренней поверхности правой полости заряда нет.
2. После подключения источника, полный заряд системы остается равным нулю. Заряды на внешних поверхностях оболочек противоположные по знаку, а так как оболочки образуют конденсатор ёмкостью *С,* то эти заряды равны *Q*о *=* *СU* и *–* *Q*о.
3. После перемещения шарика в центр правой оболочки к заряду *Q*о *= СU* левой оболочки добавится заряд *– q* с её внутренней поверхности, а к заряду *– Q*о правой оболочки добавится заряд *q* из-за ухода заряда *– q* на поверхность полости правой оболочки (для экранировки заряда шарика). Таким образом, заряды на внешних поверхностях станут равными *Q* и *– Q,* где *Q = СU – q.* Напряжение на конденсаторе при этом станет равным *V = U – q*/*C.*
4. Ввиду такого же, как в левом цилиндре, расположения заряда *q* справа, энергия его взаимодействия с «экранирующими» зарядами на внутренней поверхности цилиндра не изменится.
5. Изменяется только кинетическая энергия шарика и энергия конденсатора. Тогда при отсутствии потерь энергии *СU2/2 = СV2/2 + K,* где *K* - кинетическая энергия шарика в центре правой оболочки. *K = qU – q2/2C*.
6. Наибольшая кинетическая энергия отвечает случаю *V = U– q/C = 0*, тогда *q = CU*,а *K = CU2*/*2*.

***Примечание***: При *q,* много меньшем *СU*, *K* ≅ *qU*. В общем случае нужно учесть наведённые заряды и связанное с этим изменение напряжения между электродами. Важно понять, что потенциальная энергия системы складывается из энергии взаимодействия заряда с «экранирующими» зарядами на внутренней поверхности цилиндра и энергии конденсатора.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **№** | **Задача 2.11.1. Критерий (12 баллов)** | **Баллы** |
| 1 | Указание на экранирующий заряд *– q* | 1 |
| 2 | Указано (либо используется в решении), что разность потенциалов между оболочками зависит только от зарядов на их внешних поверхностях | 1 |
| 3 | Противоположный знак зарядов на внешней поверхности оболочек и их связь с напряжением *Qо = СU* и *– Qо*. | 2 |
| 4 | Правильно определены заряды оболочек после перемещения шарика | 2 |
| 5 | Определено напряжение на конденсаторе после перемещения шарика | 1 |
| 6 | Неизменность энергии взаимодействия шарика с экранирующим зарядом | 1 |
| 7 | Нахождение кинетической энергии | 2 |
| 8 | Найден заряд шарика *q*, при котором кинетическая энергия максимальна | 1 |
| 9 | Нахождение максимальной величины кинетической энергии | 1 |



