

Внимание, ошибка!

31

Два параллельно соединенных воздушных конденсатора емкостью $C_0=1$ мкФ каждый заряжены до напряжения $U = 200$ В и отсоединены от источника ЭДС. После этого пространство между обкладками одного из конденсаторов полностью заполнили диэлектриком с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 7$. Определите заряды q_1 и q_2 каждого из конденсаторов, а также напряжение U на конденсаторах.

Возможное решение

Поскольку конденсаторы соединены параллельно, их емкость суммируется $C = 2C_0$.

Формула плоского конденсатора: $C_1 = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d}$.

$$C_1 = \varepsilon C_0 = 7C_0; \quad C_2 = (\varepsilon + 1)C_0 = 8C_0$$

Энергия конденсатора вычисляется по формуле: $W = \frac{U^2 C}{2}$

Поскольку меняется только емкость конденсатора, количество энергии не меняется, тогда справедливо следующее равенство:

$$\frac{U^2 C}{2} = \frac{U_2^2 C_2}{2}, \quad \frac{U^2 2C_0}{2} = \frac{8U_2^2 C_0}{2}, \quad U_2 = \frac{U}{2} = 100 \text{ В}$$

$$q_1 = U_2 C_0 = 100 \cdot 10^{-6} = 100 \text{ мкКл},$$

$$q_2 = 7U_2 C_0 = 700 \text{ мкКл}.$$

Ответ: $U_2 = 100$ В, $q_1 = 100$ мкКл, $q_2 = 700$ мкКл.

Такое вот решение дают нам Великие Создатели КИМов к ЕГЭ в качестве образца! Вас ничего не смущает?

Было зарядов 400 мкКл, а стало аж 800! Откуда это они взялись? Или теперь электроны плодятся в «современной» физике как кролики, причем совершенно бесплатно? Невероятный результат, а главное авторов не смущает!

А фраза: «Поскольку меняется только ёмкость конденсатора, количество энергии не меняется!» Это уж совсем абракадабра!

И ведь кому-то из экзаменуемых эта задача досталась на экзамене, и вряд ли умненький ученик решил её столь невероятным способом, как предложено выше и с коим сверялись все эксперты при проверке работ, а стало быть получил за неё при правильном решении «баранку»! Мало того, это решение используется как образец на многочисленных ресурсах по подготовке детишек к ЕГЭ, и плодится и плодится эта нелепость без конца и края!

Каково же правильное решение? При поляризации введенного диэлектрика в конденсатор создается новое электрическое поле, направленное противоположно полю конденсатора. Создание этого поля (как всякого другого) требует ЗАТРАТ ЭНЕРГИИ, а по сему энергия здесь НЕ СОХРАНИЕТСЯ! Часть e_1 переходит во внутреннюю энергию диэлектрика. Суммарное поле меньше исходного, ослабляется взаимодействие зарядов пластин конденсатора, что означает уменьшение энергии зарядов при увеличении ёмкости конденсатора ($C = U/q$; $U = A/q$), при этом сохраняется заряд q . Ещё раз. Заряды те же, а потенциальная энергия их взаимодействия меньше! Часть энергии зарядов ушла на создание поля диэлектрика. Теперь понятно, что решать задачу нужно через закон сохранения заряда.

Была батарея параллельно соединенных конденсаторов ёмкостью $C = C_1 + C_2 = 2 \text{ мкФ}$ и зарядом $q = CU = 2 \cdot 10^{-6} \cdot 200 = 400 \text{ мкКл}$.

Ёмкость одного из конденсаторов увеличилась $C_1 = \epsilon \epsilon_0 S/d = 7 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$. А ёмкость батареи стала $C_{\text{нов}} = 8 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$, а заряд батареи не изменился и равен всё тем же 400 мкКл.

А это значит теперь напряжение на батарее: $U_{\text{нов}} = q/C_{\text{нов}} = 400 \cdot 10^{-6} / 8 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} = 50 \text{ В}$!

А это нам даёт возможность найти заряд каждого из конденсаторов: $q_1 = U_{\text{нов}} \cdot C_1 = 50 \cdot 10^{-6} = 50 \text{ мкКл}$, и $q_2 = U_{\text{нов}} \cdot C_2 = 50 \cdot 7 \cdot 10^{-6} = 350 \text{ мкКл}$. Это наш ответ! А решение совсем простое.

Очень полезно для понимания любой задачи просчитать всю её арифметику полностью, включая даже то, что не требуется по ходу решения. Тогда ясным становится происходящее в задаче, становятся видимыми ошибки вычислений или рассуждений!

Энергия батареи в начале была: $W = CU^2/2 = 2 \cdot 10^{-6} \cdot 200^2/2 = 20 \text{ мДж}$. Новая энергия должна быть меньше: $W_{\text{нов}} = C_{\text{нов}} U_{\text{нов}}^2/2 = 8 \cdot 10^{-6} \cdot 50^2/2 = 10 \text{ мДж}$. Ясно, что 10 мДж пошли на создание поля в диэлектрике. Всё логично, и нет никаких плодящихся невероятным способом электронов!

Для получения итоговой зависимости величин в задаче полезно получить её решение в общем виде, к чему и приучают детей в старших классах и особенно в ВУЗах, но, слепо следуя этому требованию, мы иногда теряем существенную часть событий в понимании задачи. Сопровождение решения арифметическими вычислениями даёт полезные детали происходящего. Количественное представление условия бывает не менее важно, чем качественная зависимость величин!