

Белонучкин Владимир Евгеньевич
Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики Московского физико-технического института (МФТИ).

Как не надо решать задачи по физике

Англичане говорят: чтобы бегать, надо бегать. Чтобы решать задачи — надо их решать. Решать и учиться на ошибках.

В этом мы и хотим вам помочь: сегодня мы будем учиться на чужих ошибках — на ошибках абитуриентов МФТИ.

Итак, задача решена неверно. Где была допущена ошибка? Почему?

Некоторые из сегодняшних задач вам, возможно, уже знакомы. Вы знаете, что получается, если их решать правильно. Теперь рассмотрим неверные варианты решений.

Задача 1. Металлический шар заряжается от электрофорной машины при помощи пластинки, которая после каждого соприкосновения с шаром снова заряжается от машины до заряда Q. Определить максимальный заряд шара, если q — его заряд после первой операции.

Решение: *Если после первого соприкосновения на шар перешёл заряд q, то после n операций на шаре окажется заряд nq.*

Физической ошибки здесь нет, до физики просто дело не дошло. В этом решении отсутствует логика. В самом деле, посмотрите, как рассуждает его автор: если после первого соприкосновения на шар перешёл заряд q, то и после каждого следующего перейдёт такой же заряд; тогда ответ — nq.



Откуда же взялось такое утверждение? Количество заряда, перетекающего с одного тела на другое при их соприкосновении, определяется тем, что после перетекания заряда потенциалы тел равны. После первой операции потенциалы сравнялись тогда, когда на шаре заряд стал равен q, а на пластинке $Q - q$. Что значат слова «максимальный заряд шара»? Это, по-видимому, такой заряд, который, находясь на шаре, сообщает ему потенциал, равный потенциалу пластины, на которой находится заряд Q. Тогда при соприкосновении

пластины с шаром заряд перетекать не будет. Больше этого мы шар не зарядим.

При зарядах $Q - q$ и q потенциалы равны. При зарядах Q и q_0 (искомый заряд) потенциалы вновь равны. При равных потенциалах отношение зарядов на пластинке и на шаре равно отношению их ёмкостей, это отношение, конечно, одинаково в обоих случаях, а значит, одинаково и отношение зарядов, т.е.:

$$Q / q_0 = (Q - q)/q.$$

Отсюда получаем $q_0 = Qq/(Q - q)$.

Заметим, что в точности таким путём эту задачу не решали. Пути были разные, похожие и не похожие на наш с вами, но результат был, конечно, один и тот же у всех, кто правильно решил задачу. Разная была математика, а физика была одна и логика — тоже.

Задача 2. Баллон газовой плитки объёмом 0,5 л содержит 300 г пропана под давлением 16 атм. Что можно сказать об агрегатном состоянии пропана в баллоне? Химическая формула пропана C_3H_8.

Решение: Подставив данные задачи в уравнение состояния идеального газа, получаем температуру около 15 К. Как понимать эту цифру? Многие пишут примерно так:

При такой низкой температуре пропан, по-видимому, находится в жидком состоянии, тем более что и давление в баллоне высокое. Для точного ответа надо знать критическую температуру.

Но как же так? Температуру мы рассчитали по уравнению идеального газа, считаем, что пропан имеет именно эту температуру — тогда он является идеальным газом. Возникает только один вопрос — хранят ли баллоны от газовой плитки при температуре 15 К? Вряд ли, скорее уж при 300 К. Выходит, что вычисленная нами температура в 20 раз меньше действительной и в баллоне далеко не идеальный газ. Если бы пропан в нашем баллоне был бы идеальным газом, то давление там равнялось бы примерно 320 атм. Очевидно, не менее 19/20 пропана находится в конденсированном состоянии. В баллоне действительно жидкость. Только сейчас мы пришли к этому выводу логично, а не вопреки логике, как в первый раз.

Задача 3. Разности потенциалов на конденсаторах C_1 и C_2 равны соответственно V_1 и V_2. Конденсаторы соединяются между собой. Какая энергия выделится при перезарядке, когда: соединяются одноимённо заряженные пластины? соединяются разноимённо заряженные пластины?

Решение: Если решение первого варианта не вызвало особых затруднений у большинства поступавших, то со вторым дела обстояли хуже. Энергия конденсатора $CU^2/2 = q^2/2C$. До перезарядки общая энергия равна

$$W_0 = C_1V_1^2/2 + C_2V_2^2/2.$$

В первом случае суммарный заряд сохраняется, а ёмкость $C^{(1)} = C_1 + C_2$. Энергия после перезарядки

$$W_1 = q^2/2C^{(1)} = (C_1V_1 + C_2V_2)^2/2(C_1+C_2).$$

Выделится, т.е. перейдёт в тепло, энергия $W_0 - W_1 = C_1C_2(V_1 - V_2)^2/2(C_1 + C_2)$.

А как быть во втором случае? Прежде всего надо выяснить, как соединены конденсаторы.

Часто можно слышать такой ответ: соединены разноимённо заряженные пластины; значит, соединение последовательное, ёмкость равна $C' = C_1C_2/(C_1 + C_2)$.

Но почему соединение на рисунке 1 — параллельное, а на рисунке 2 — последовательное? Чем они отличаются? Нумерацией пластин? Или действительно пластины 1 и 2′ на втором рисунке заряжены разноимённо?

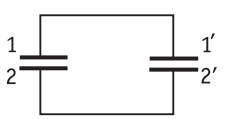


Рис.1

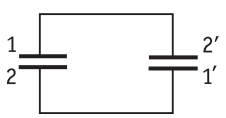


Рис.2

Конечно, нет. Они *были* заряжены разноимённо, но коль скоро мы их соединили, потенциалы их должны выравняться (так же, как и потенциалы пластин 2 и 1′). На обоих

конденсаторах должна установиться одна и та же *разность потенциалов,* а это характерно для параллельного соединения. Значит, и ёмкость $C^{(2)} = C_1 + C_2$, а суммарный заряд, конечно, равен

$$C_1V_1 - C_2V_2.$$

Конечная энергия

$$W_2 = (C_1V_1 - C_2V_2)^2/2(C_1 + C_2).$$

Выделится энергия, равная

$$W_0 - W_2 = C_1C_2(V_1 + V_2)^2/2(C_1+C_2).$$

Откуда же такая оплошность? По-видимому, решавшие не вспомнили происхождение формулы $C = C_1C_2/(C_1+C_2)$. Если мы подсоединим к батарее два незаряженных конденсатора так, как это показано на рисунке 3, то на них должен быть одинаковый заряд просто потому, что на всём проводнике, выделенном на рисунке рамкой, вначале не было заряда. Следовательно, и после подключения к батарее суммарный заряд пластин 2 и $1'$ равен нулю, иными словами, заряды этих пластин равны по абсолютной величине и противоположны по знаку. И, уже исходя из равенства зарядов конденсаторов, мы ищем распределение напряжений на них и получаем формулу общей ёмкости.

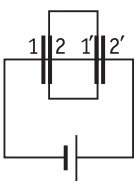


Рис.3

Задача 4. Яркая кратковременная вспышка в воздухе производит на наблюдателя, находящегося от неё на расстоянии 1 км, эффект, близкий к временной потере зрения. В тех же погодных условиях вспышка со световым излучением в 100 раз большим производит такой же эффект на наблюдателя, находящегося от неё на расстоянии 5 км. Какой должна быть вспышка, чтобы она произвела такой же эффект на наблюдателя, находящегося от неё на расстоянии 9 км?

Решение: Если бы атмосфера была абсолютно прозрачной, второго наблюдателя ослепила бы вспышка, в 25 раз более сильная, чем первая, а третьего — в 81 раз более сильная.

Очевидно, часть света не доходит до наблюдателя, поглощается атмосферой. Как количественно учесть это поглощение?

Некоторые из решавших рассуждали примерно так: при отсутствии поглощения световой поток, падающий на зрачок, меняется обратно пропорционально квадрату расстояния от источника света. При наличии поглощения он меняется быстрее, предположим, как $1/r^n$. Тогда из соотношения $(r_1/r_2)^n = 100$ определим n, а затем и $x = (r_3/r_1)^n$.

Авторам такого решения не откажешь в логике, модель явления построена, хотя и не самая удачная (такое решение на экзамене засчитывалось за «половину задачи»).

Обсудим один опыт. Между лампочкой и экраном поместим дымчатое стекло. Освещённость экрана упала в 2 раза. Что будет, если поместить на пути света ещё одну такую пластинку? Думаю, все скажут, что освещённость упадёт ещё в 2 раза. Не аналогичная ли ситуация в нашей задаче? Световой поток на тех четырёх километрах, которые он идёт от первого наблюдателя ко второму, ослабляется из-за поглощения в 4 раза и в 25 раз из-за расхождения лучей — всего в 100 раз. Очевидно, на следующих четырёх километрах поглощение ослабит его ещё в 4 раза. Значит, вспышка должна быть в 4·4·81 = 1296 сильнее первой.

