

## Задача 28 (бывшая С1)

### (качественный вопрос)

Качественный вопрос - это задание, в котором надо объяснить явление, зависимость, описать поведение системы или построить график. Получение численного ответа, как правило, не требуется, хотя бывают исключения.

Вплоть до 2014 года эта задача фигурировала в ЕГЭ под номером «С1». Но с 2015 года нумерация изменилась. Теперь это задача 28.

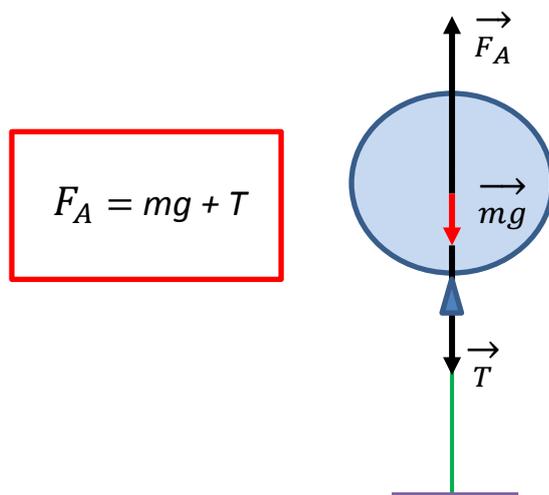
Для примера разберем три задачи такого типа.

#### 1. С1 (Тренировочная работа № 5, 2010 г.)

Пассажир автобуса на остановке привязал к ручке сиденья за нитку легкий воздушный шарик, заполненный гелием. Автобус тронулся вдоль по прямому горизонтальному шоссе, и некоторое время двигался вперед с постоянным ускорением, затем ехал с постоянной скоростью, а на подъезде к следующей остановке двигался равнозамедленно, пока не остановился. Опишите, как менялся угол наклона нити шарика к вертикали в течение всего времени перемещения автобуса от одной остановки до другой.

Решение:

- 1) Пока автобус стоял, шарик висел в воздухе над ручкой сиденья, а нить была вертикальна, поскольку выталкивающая сила, действующая на шарик по закону Архимеда, в неподвижном воздухе автобуса направлена вертикально вверх. Она больше силы тяжести, действовавшей на шарик (гелий легче воздуха, а оболочка, по условию, легкая) и равна сумме силы тяжести и силы натяжения нити.



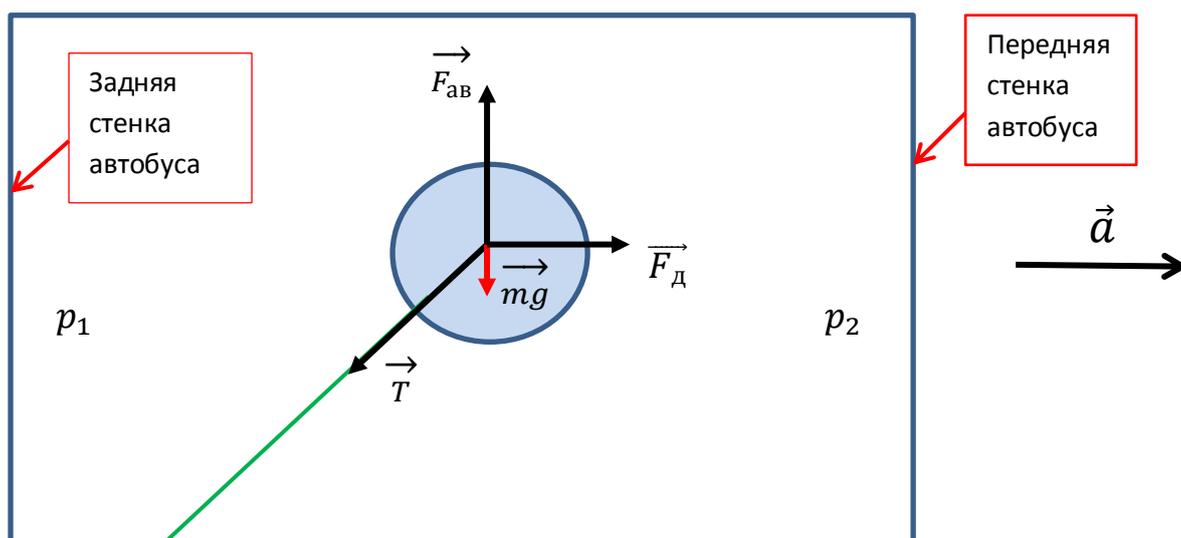
- 2) Когда автобус трогается с ускорением, направленным вперед, распределение давления воздуха внутри салона изменяется: давление у задней стенки внутри автобуса становится больше, чем у передней стенки, поскольку задняя стенка давит на воздух в салоне:  $p_1 > p_2$ .

То есть появляется разность давлений:  $p = p_1 - p_2$ . В результате на шарик действует дополнительная сила давления  $\vec{F}_д$ , направленная вперед.

Наличие такой силы следует из второго закона Ньютона:

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

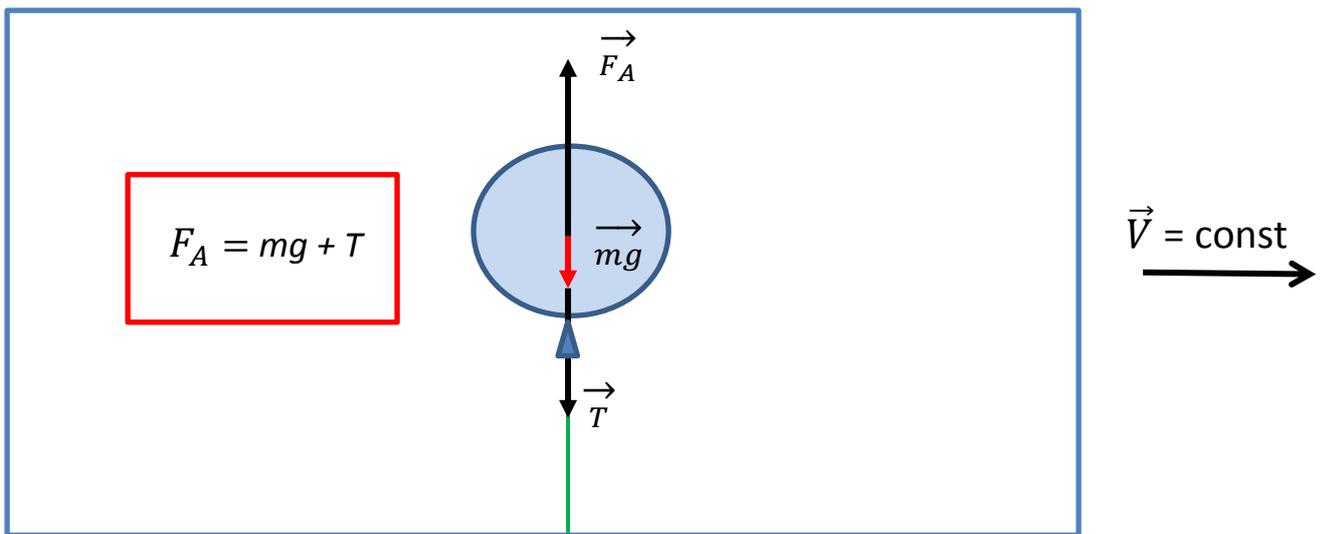
Вывод: шарик отклоняется вперед, по ходу движения.



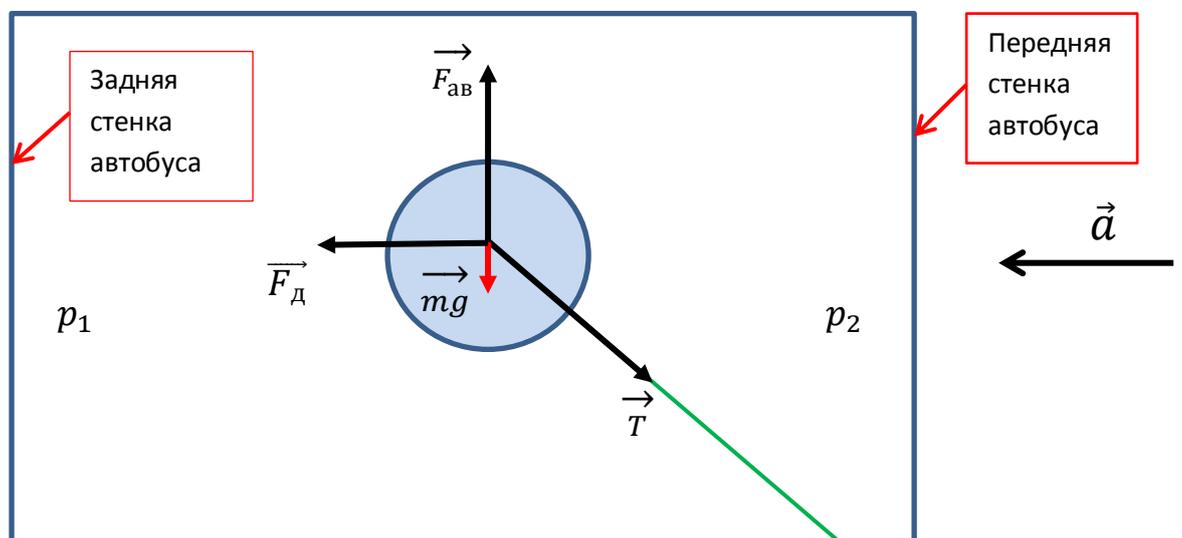
$\vec{F}_{ав}$  – вертикальная составляющая выталкивающей силы;

$\vec{T}$  – сила натяжения нити.

- 3) Между остановками, когда автобус движется равномерно, то есть ускорение равно нулю, нить снова вертикальна, как в первом случае.



- 4) При торможении нить отклонится назад, поскольку назад будет направлена сила давления ( $p_2 > p_1$ ). Автобус тормозит, а воздух еще по инерции движется в прежнем направлении. Поэтому давление у передней стенки увеличивается.



- 5) После остановки автобуса нить снова вертикальна.

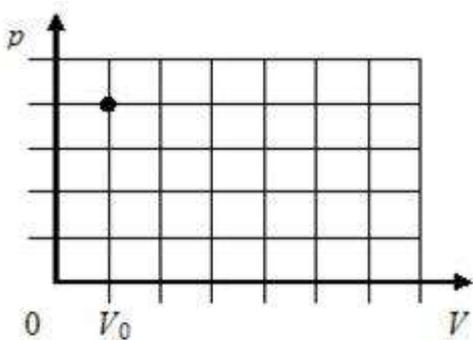
Ответ задачи, конечно, очень неожиданный и противоречит нашему бытовому опыту. Мы привыкли, что когда автобус стартует, мы падаем назад, а когда тормозит – вперед. В прошлом году у меня занимался мальчик, который никак не хотел поверить в ответ этой задачи, и поступил совершенно правильно: они с папой поставили эксперимент. Взяли шарик, наполненный гелием, привязали его в своей машине, закрыли все окна, чтобы давление воздуха внутри машины не выравнивалось слишком быстро, и стартовали. И шарик отклонился вперед, а когда тормозили – назад.

Похожая задача, еще до ЕГЭ, предлагалась на вступительных экзаменах в МВТУ имени Баумана. Только там был сосуд с водой, к дну которого был привязан на нити пробковый шарик, который плавал в жидкости. Сосуд начинал вращаться, и шарик отклонялся... к оси вращения, а не от нее, как мы привыкли. И только, если абитуриент понимал, что шарик отклоняется к центру, задача решалась. А иначе получались невозможные ответы.

## 2. С1 (вар. 103, 2012)

В цилиндре под поршнем при комнатной температуре  $t_0$  долгое время находится только вода и её пар. Масса жидкости в два раза больше массы пара. Первоначальное состояние системы показано точкой на  $pV$ -диаграмме. Медленно перемещая поршень, объём  $V$  под поршнем изотермически увеличивают от  $V_0$  до  $6V_0$ .

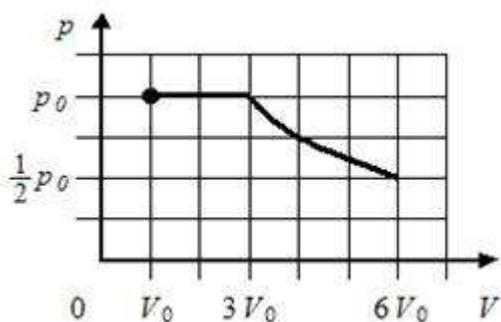
Постройте график зависимости давления  $p$  в цилиндре от объёма  $V$  на отрезке от  $V_0$  до  $6V_0$ . Укажите, какими закономерностями Вы при этом воспользовались.



## Решение:

1. На участке от  $V_0$  до  $3V_0$  давление под поршнем постоянно (давление насыщенного пара при постоянной температуре). На участке от  $3V_0$  до  $6V_0$  давление под поршнем подчиняется закону Бойля–Мариотта.

На участке от  $V_0$  до  $3V_0$  график  $p(V)$  – горизонтальный отрезок прямой, на участке от  $3V_0$  до  $6V_0$  – фрагмент гиперболы.



2. В начальном состоянии над водой находится насыщенный водяной пар, так как за длительное время в системе установилось термодинамическое равновесие.

3. Пока в цилиндре остается вода, при медленном изотермическом расширении пар остается насыщенным. Давление насыщенного пара не зависит от объема и определяется только температурой. Так как температура постоянна, постоянно и давление насыщенного пара. Поэтому график  $p(V)$  будет графиком константы, т. е. отрезком горизонтальной прямой.

Количество воды в цилиндре при этом убывает. При комнатной температуре концентрация молекул воды в насыщенном паре ничтожна по сравнению с концентрацией молекул воды в жидком агрегатном состоянии. Масса воды в два раза больше массы пара. Поэтому, в начальном состоянии насыщенный пар занимает объём, практически равный  $V_0$ .

Пусть  $m$  – масса пара, тогда масса жидкости  $2m$  (по условию, она в два раза больше). Запишем уравнение Менделеева-Клапейрона для начального состояния:

$$p_0 V_0 = \frac{m}{\mu} RT_0,$$

где  $\mu$  – молярная масса воды.

Откуда:

$$V_0 = \frac{mRT_0}{P_0\mu}$$

В тот момент, когда вся вода испарится, полная масса вещества будет равна  $3m$ , а значит уравнение Менделеева-Клапейрона примет вид:

$$P_0V = \frac{3m}{\mu} RT_0$$

Тогда:

$$V = \frac{3mRT_0}{P_0\mu} = 3V_0$$

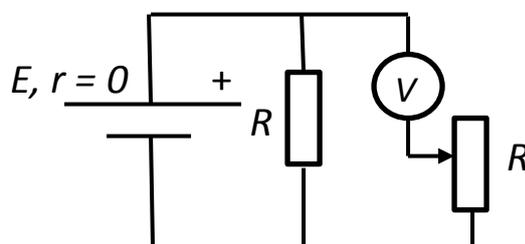
$V = 3V_0$  – объем пара, когда вся жидкость испарится.

Таким образом, горизонтальный отрезок описывает зависимость  $p(V)$  на участке от  $V_0$  до  $3V_0$ .

3. При  $V > 3V_0$  под поршнем уже нет жидкости, все молекулы воды образуют уже ненасыщенный водяной пар, который можно на изотерме описывать законом Бойля-Мариотта:  $pV = \text{const}$ , т. е.  $p \sim 1/V$ . Графиком этой зависимости служит гипербола. Таким образом, на участке от  $3V_0$  до  $6V_0$  зависимость  $p(V)$  изображается фрагментом гиперболы, по которой при увеличении объёма вдвое давление вдвое уменьшается.

### 3. С1 (Вар. 1, Урал, 2013)

В схеме на рисунке сопротивление резистора и полное сопротивление реостата равны  $R$ . ЭДС батареи равна  $E$ , ее внутреннее сопротивление ничтожно ( $r = 0$ ). Как ведут себя (увеличиваются, уменьшаются, остаются постоянными) показания идеального вольтметра при перемещении движка реостата из крайнего верхнего в крайнее нижнее положение? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности Вы использовали для объяснения.



## **Решение:**

Идеальный вольтметр – это разрыв цепи, его сопротивление бесконечно велико. А значит не идет ток и через сопротивление последовательное с вольтметром. То есть ток через реостат равен нулю. Это значит, что напряжение на вольтметре равно напряжению на параллельно соединенном с ним сопротивлении. Согласно закону Ома для полной цепи  $U = E - Ir$ , но  $r = 0$ . Следовательно показания вольтметра всегда равны  $E$ , независимо от положения движка реостата.

Задача эта коварна тем, что на ЕГЭ несколько лет подряд предлагалась другая задача с очень похожим условием, но без последовательно соединенного с реостатом идеального вольтметра. В результате в той задаче получался совершенно другой ответ.

***Итак, мы, разобрали три задачи. На моем интенсиве по С1 я разбираю более 90 задач. Буду рада видеть вас на моих занятиях.***