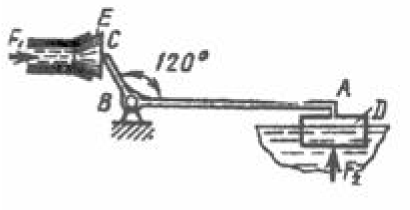
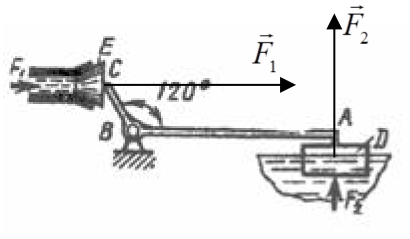
Ф1. Поплавковый регулятор уровня, состоящий из двуплечего рычага ABC с поплавком D и запирающего трубопровод клапана E, служит для перекрытия трубопровода в момент заполнения бака водой (см. рисунок). В этот момент плечо AB рычага располагается горизонтально. Приняв AB=300 мм, BC=30 мм и силу давления воды на клапан $F_1 = 60$ Н, определить значение действующей на поплавок подъемной силы F_2. Весом частей механизма пренебречь.



Решение. Условие равновесия рычага (уравнение моментов относительно точки B; см. рисунок) дает

$$F_1 \, BC \cos(120° - 90°) = F_2 \, AB$$



Отсюда находим

$$F_2 = \frac{F_1 \, BC \cos(30°)}{AB} = 5{,}2 \text{ Н}$$

Ф2. Баллон, содержащий некоторое количество кислорода, разрывается при испытаниях при температуре $t_1 = 727°$ С. Такой же баллон, содержащий смесь вдвое меньшего количества кислорода и вчетверо меньшего (по массе) количества неизвестного газа, разрывается при температуре $t_1 = 127°$ С. Какой это газ? μ_{O_2}=32 г/моль.

Решение. Из закона Клапейрона-Менделеева находим, предельное давление, которое выдерживает баллон

$$p_0 = \frac{mRT}{\mu_{O_2} V}$$

где $T = 727 + 273 = 1000$ К – начальная абсолютная температура газа в баллоне. Закон Дальтона для смеси газов во втором баллоне в момент его разрыва дает

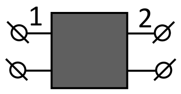
$$p_0 = \left(\frac{m/2}{\mu_{O_2}} + \frac{m/4}{\mu_x} \right) \frac{RT_1}{V}$$

где $T_1 = 127 + 273 = 400$ К – абсолютная температура смеси газов в момент разрыва баллона, μ_x - молярная масса неизвестного газа. Приравнивая эти две формулы, получим

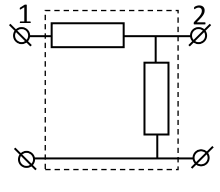
$$\mu_x = \frac{\mu_{O_2}}{4} \frac{2T_1}{2T - T_1} = 4 \text{ г/моль}$$

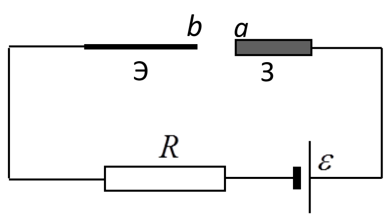
Таким образом, неизвестный газ – это гелий.

Ф3. «Черный ящик» (коробка с неизвестной схемой) имеет две пары выводов. Если к выводам 1 приложить напряжение U, то идеальный вольтметр, подсоединенный к выводам 2, покажет напряжение $U/2$. Если же напряжение U приложить к выводам 2, вольтметр, подсоединенный к выводам 1, покажет U. Предложить схему «ящика» (такого рода схему принято называть делителем напряжения).



Решение. Внутри черного ящика последовательно соединены два одинаковых сопротивления. Выводы 1 подсоединены к обоим, выводы 2 – только к одному из них.





Ф4. Для получения дугового разряда на постоянном токе при электросварке применяется электрическая цепь, показанная на рисунке. Электрическая дуга горит на промежутке *a-b* между электродом (Э) и металлической заготовкой (З), включенной в цепь. Вольтамперную характеристику дуги (зависимость напряжения на участке *a-b* $U_{a\text{-}b}$ от электрического тока в дуге I) можно приближенно представить в виде $U_{a\text{-}b} = A + \dfrac{B}{I}$, ($A = 55$ В и $B = 45$ В$\cdot$А – известные постоянные). При каком максимальном значении сопротивления балластного резистора R будет гореть дуга? Напряжение источника $\varepsilon = 85$ В, все элементы цепи (кроме балластного резистора) омического сопротивления не имеют. Каким будет ток в дуге, если сопротивление балластного резистора составляет половину того максимального значения, при котором горит дуга?

Решение. Сумма напряжений на элементах замкнутого контура равна нулю. Поэтому имеем $\varepsilon = IR + U_{a-b} = IR + A + \dfrac{B}{I}$. Или $I^2R + (A - \varepsilon)I + B = 0$. Решая квадратное уравнение, получим

$$I_{1,2} = \frac{\varepsilon - A \pm \sqrt{(\varepsilon - A)^2 - 4BR}}{2R}$$

Корни существуют, если дискриминант положителен $(\varepsilon - A)^2 > 4BR$. Отсюда находим максимальное сопротивление балластного резистора, при котором будет гореть дуга

$$R_{\max} < \frac{(\varepsilon - A)^2}{4B} = 5 \text{ Ом.}$$

Если $R = R_{\max}/2$, то ток в дуге определяется уравнением

$$I^2 \frac{(\varepsilon - A)^2}{8B} + (A - \varepsilon)I + B = 0$$

Решая квадратное уравнение, получаем

$$I_{1,2} = \frac{4B\left(\sqrt{2} \pm 1\right)}{\left(\varepsilon - A\right)\sqrt{2}}$$

Устойчивому горению дуги отвечает корень со знаком «+». Это связано с тем, что при зажигании дуги в промежутке между электродом и заготовкой находятся немного свободных электронов, вылетевших из электрода при его нагревании благодаря замыканию цепи (чтобы зажечь дугу электродом касаются заготовки, вызывая появление тока и нагревание электрода). После этого возникает множественная ионизация молекул воздуха свободными электронами (благодаря чему дуга и светится) и соответственно резкое падение сопротивление разрядного промежутка. Поэтому в результате увеличивается ток и уменьшается напряжение на дуге – устойчивым оказывается корень, отвечающий большему току

$$I = \frac{4B\left(\sqrt{2} + 1\right)}{\left(\varepsilon - A\right)\sqrt{2}} = 10{,}3 \text{ А}$$

Ф5. Парашютист спускается на землю с раскрытым парашютом. Оценить его скорость. Значения всех необходимых для оценки величин выберите сами, исходя из своих знаний, опыта и здравого смысла.

Решение. Пусть установившаяся скорость парашютиста v, радиус парашюта r. Тогда за время Δt импульс, сообщаемый парашюту набегающим потоком воздуха при $\Delta m = \rho v \Delta t S$ (где ρ – плотность воздуха), равен $\Delta p = \Delta m v = \rho v^2 \Delta t S$

Поэтому парашютист действует на воздух с силой $F = \dfrac{\Delta p}{\Delta t} = \rho v^2 S$

При установившейся скорости эта сила равна силе тяжести парашютиста mg.

Поэтому $v = \sqrt{\dfrac{mg}{\pi \rho r^2}} \sim 5$ м/с (для значений $m = 10^2$ кг, $g = 10$ м/с^2, $\rho = 1$ кг/м^3 и $r = 3$ м.)

Ф6 *(ЕГЭ-С2)***.** Два маленьких тела бросают вертикально вверх из одной точки через промежуток времени Δt = 3, сообщив им одинаковые по модулю начальные скорости $V_1 = V_2$ = 20 м/с. На какой высоте тела столкнутся? Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

Решение.

Применим формулы для координаты тела при равноускоренном движении. Начало отсчёта помещаем на уровне земли. Пусть время от броска первого тела до его столкновения со вторым телом равно t.

Тогда высота, на которой столкнутся тела, равна $h = V_1 t - \frac{gt^2}{2} = V_2(t - \Delta t) - \frac{g(t-\Delta t)^2}{2}$.

Из полученного уравнения выражаем время $t = \frac{V_2 + g\Delta t/2}{V_2 - V_1 + g\Delta t} \cdot \Delta t = \frac{20+15}{20-20+30} \cdot 3 = 3{,}5$ с.

Зная время, находим высоту $h = V_1 t - \frac{gt^2}{2} = 20 \cdot 3{,}5 - 5 \cdot 3{,}5^2 = 8{,}75$ м

Ответ: 8,75 м

Ф7 *(ЕГЭ-С3).* В горизонтальной трубке постоянного сечения, запаянной с одного конца, помещен столбик ртути длиной 15 см, который отделяет воздух в трубке от атмосферы. Трубку расположили вертикально запаянным концом вниз и нагрели на 60^0К. При этом объем, занимаемый воздухом, не изменился. Давление атмосферы в лаборатории – 750 мм рт. ст. Какова температура воздуха в лаборатории?

Решение.

Условие механического равновесия столбика ртути определяет давление воздуха в вертикальной трубке: $p = p_0 + \rho g d$, где $p_0 = \rho g H$ – давление атмосферы. Здесь H = 750 мм. Поскольку нагревание воздуха в трубке происходит до температуры T и первоначального объема, то по уравнению Менделеева-Клапейрона: $T = T_0 + \Delta T$ и $\frac{T}{T_0} = \frac{p}{p_0} = 1 + \frac{d}{H}$. Отсюда $T_0 = \Delta T \frac{H}{d}$.

Ответ: $T_0 = 300^0$К.

Ф8 *(ЕГЭ-С4).* Проводник движется равноускоренно в однородном вертикальном магнитном поле. Направление скорости перпендикулярно проводнику. Длина проводника – 2 м. Индукция перпендикулярна проводнику и скорости его движения, при этом скорость движения перпендикулярна. Проводник перемещается на 3 м за некоторое время. При этом начальная скорость проводника равна нулю, а ускорение 5 м/с^2. Найдите индукцию магнитного поля, зная, что ЭДС индукции на концах проводника в конце движения равна 2 В.

Решение.

При движении проводника в магнитном поле на электроны в проводнике действует сила Лоренца, которая равна $F_Л = eBv\sin\alpha$. Напряжённость поля внутри проводника можно рассчитать по формуле $E = \frac{F_Л}{e} = Bv\sin\alpha$. Напряжение на концах проводника равно $U = vBl$. Движение равноускоренное, поэтому путь, пройденный проводником рассчитывается по формуле $S = \frac{at^2}{2}$, откуда $t = \sqrt{\frac{2S}{a}}$. Следовательно, $U = vBl = atBl = a\sqrt{\frac{2S}{a}}Bl = \sqrt{2Sa}Bl$.

Отсюда $B = \frac{U}{l\sqrt{2Sa}} \approx 0{,}18$ Тл.

Ответ: $B = \frac{U}{l\sqrt{2Sa}} \approx 0{,}18$ Тл