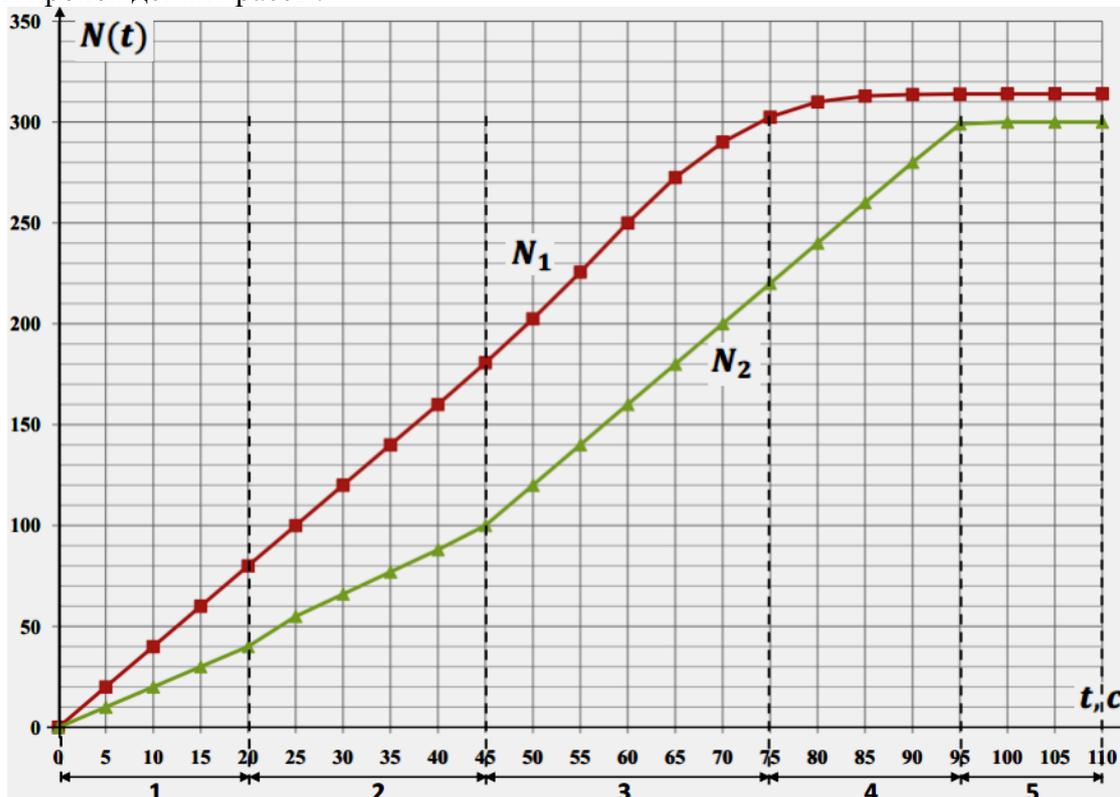


ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «Робофест» по ФИЗИКЕ
ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП 2023-2024 года, вопросы по физике.
Вариант 1 (7 и 8 классы)

1. У модели гоночного автомобиля две пары колес: задние (ведущие) – радиусом 6 см, и передние (опорные) – радиусом 3 см. Ось каждой колесной пары снабжена *энкодером* - датчиком, измеряющим количество полных оборотов колес от момента включения датчика. Модель «с разгона» проехала трассу с разными покрытиями на разных участках, изменяя режим работы двигателя. Оба датчика включились одновременно при выезде на трассу. На рисунке показаны графики зависимости от времени t показателей энкодеров на осях передних ($N_1(t)$) и задних ($N_2(t)$) колес при прохождении трассы.



Известно, что передние колеса никогда не проскальзывали, и величина силы трения для них всегда была пренебрежимо мала по сравнению с величиной силы трения задних колес. Пользуясь графиком, ответьте на следующие вопросы:

1.1. На каких участках (номера участков указаны под осью t) задние колеса модели проскальзывали? В ответе укажите номера этих участков по порядку, не разделяя пробелами или знаками препинания (например: 124).

1.2. Найдите среднюю скорость движения модели за 100 с движения по трассе. Ответ запишите в м/с с точностью до десятых.

1.3. Оцените максимальную величину скорости движения модели на трассе. Ответ запишите в м/с с точностью до десятых.

1.4. Найдите количество теплоты, которое выделилось за счет трения между ведущими колесами модели и покрытием трассы, если массу модели $m = 2,5$ кг можно считать неизменной, коэффициенты трения между ведущими колесами на участках трассы равны $\mu_1 = 0,5$, $\mu_2 = \mu_3 = 0,8$ и $\mu_4 = \mu_5 = 0,1$, а ускорение свободного падения можно считать примерно равным 10 м/с^2 . Ответ запишите в джоулях, с точностью до целого значения.

Возможное решение: При движении без проскальзывания какого-либо из колес один оборот этого колеса соответствует прохождению моделью автомобиля пути, равного периметру колеса, то есть $s_1 = 2\pi r$. Следовательно, мгновенная скорость модели v и изменение числа оборотов колеса за время Δt связаны соотношением $v = 2\pi r \frac{\Delta N}{\Delta t}$. Если обе пары колес не проскальзывают, то, как видно из этого соотношения $r_1 \Delta N_1 = r_2 \Delta N_2$, то есть $\frac{\Delta N_1}{\Delta N_2} = 2$. (показания энкодера на оси опорных колес растут в два раза быстрее, чем показания энкодера на оси ведущих колес). Как видно из

графика, это соотношение выполняется только на участке 1 – на всех остальных $\Delta N_2 > \frac{1}{2}\Delta N_1$. Таким образом, на участке 1 обе пары колес не проскальзывали, а на всех остальных участках (2,3,4 и 5) задние колеса проскальзывали.

Путь модели за 100 с движения по трассе можно найти по числу оборотов опорных колес (определяется по графику) $N_1 \approx 314 \pm 1$:

$$s = 2\pi r_1 N_1 \Rightarrow v_{cp} = \frac{s}{t} = \frac{2\pi r_1 N_1}{t} \approx 0,592 \text{ м/с.}$$

После округления до десятых приходим к ответу $v_{cp} \approx 0,6 \text{ м/с}$.

Чтобы оценить максимальную величину скорости модели, нужно найти интервал времени с максимальной скоростью роста показаний энкодера на оси опорных колес. Разделим все время движения на интервалы по $\Delta t = 5 \text{ с}$, и тогда нетрудно обнаружить, что самый большой прирост произошел в интервале от 55 с до 60 с, где $\Delta N_1 \approx 24 \pm 1$. Тогда $v_m = 2\pi r_1 \frac{\Delta N_1}{\Delta t} \approx 0,9 \text{ м/с}$.

Количество теплоты, выделившееся за счет трения ведущих колес о поверхность трассы, равно работе силы трения скольжения, а она равна произведению величины этой силы $F_{mp} = \mu mg$ на величину «проскальзывания» колес по покрытию трассы. Величину проскальзывания на каждом участке можно найти как разность пути оси ведущих колес при том же числе оборотов, но без проскальзывания, и реального пути, равного пути оси опорных колес:

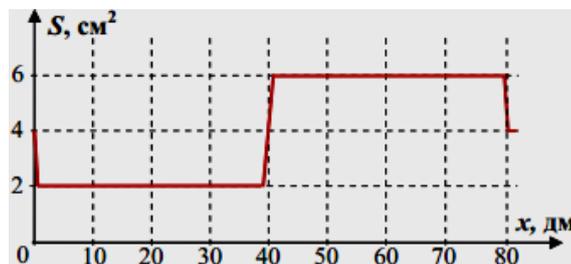
$$Q = 2\pi[\mu_1(r_2\Delta N_2^{(1)} - r_1\Delta N_1^{(1)}) + \mu_2(r_2\Delta N_2^{(23)} - r_1\Delta N_1^{(23)}) + \mu_4(r_2\Delta N_2^{(4)} - r_1\Delta N_1^{(4)})]$$

(на пятом участке показания энкодеров не изменяются, то есть колеса автомобиля не крутятся). Вычисляя численное значение с нужной точностью, получаем $Q \approx 590 \text{ Дж}$.

2. *Расходом воды*, проходящей через трубу, называют объем воды, проходящий через сечение трубы в единицу времени (эту величину можно измерять в литрах в секунду). При описании течений воду можно считать несжимаемой жидкостью с плотностью $\rho = 1,0 \text{ г/см}^3$. Кроме того, если влияние сил трения для рассматриваемого течения пренебрежимо мало, то можно пользоваться *законом Бернулли*: для небольшого объема воды, движущейся по «трубке тока» (так называют часть потока жидкости с малым поперечным сечением, выделенную таким образом, что жидкость не пересекает ее «стенок»), можно считать постоянной величиной $\frac{\rho v^2}{2} + p + \rho gh = const$ (здесь v – скорость движения жидкости, p – давление в жидкости, h – высота элемента жидкости над «начальным» уровнем), а $g \approx 10 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения.

2.1. Расход воды, текущей по трубке с площадью поперечного сечения $S = 4 \text{ см}^2$, составляет $q = 0,8 \text{ л/с}$. С какой скоростью движется вода по этой трубке? Ответ запишите в м/с с точностью до целого значения.

2.2. Трубка, описанная в предыдущем пункте, переходит в участок длиной 80 дм с переменным сечением (график зависимости площади сечения от расстояния от начала участка показан на рисунке). Найдите среднюю скорость движения воды на этом участке. Ответ запишите в м/с с точностью до целого значения.



2.3. В вертикальном цилиндрическом резервуаре высотой $h = 0,8 \text{ м}$ налито 2 тонны воды (резервуар сверху открыт и заполнен «до краев»). У самого дна в стенке резервуара есть отверстие площадью $S = 1 \text{ см}^2$, заткнутое пробкой. Пробку вытаскивают. За какое время через отверстие выльется 1 кг воды? Ответ запишите в секундах с точностью до десятых.

Возможное решение: Из определения расхода следует, что его можно вычислять как произведение скорости течения воды на площадь поперечного сечения трубы: $q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = S \frac{\Delta l}{\Delta t} = Sv$.

Таким образом, в трубке из п.2.1. скорость течения $v = \frac{q}{S} = 2 \text{ м/с}$.

Поскольку вода в трубке ни на каком участке не исчезает и не появляется, то расход воды постоянен во всех ее сечениях. Поэтому скорость течения воды на участке изменения расстояния от 0 до 4 м равна $v_1 = \frac{q}{S_1} = 4 \text{ м/с}$, а на участке от 4 м до 8 м $v_2 = \frac{q}{S_2} = \frac{4}{3} \text{ м/с}$. Полное время

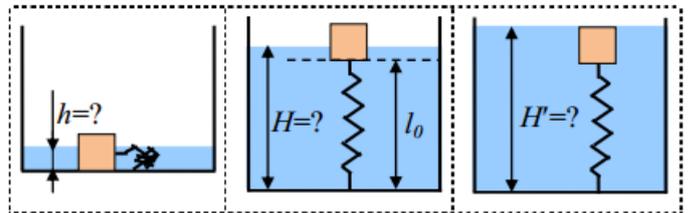
прохождения пути 8 м для воды на участке с переменным сечением $t = \frac{l_1}{v_1} + \frac{l_2}{v_2} = 4$ с, и поэтому средняя скорость движения воды $v_{cp} = 2$ м/с.

1 кг – это очень малая часть от 2 тонн, поэтому можно считать, что за время его выливания уровень воды в резервуаре h практически не изменился. Объем воды в резервуаре равен 2 м^3 , и площадь его горизонтального сечения с учетом того, что $h = 0,8$ м, равна $2,5 \text{ м}^2$, что очень намного больше площади отверстия. В результате мы понимаем, что скорость движения воды вблизи ее поверхности v_h (при опускании уровня жидкости в резервуаре) намного меньше скорости ее вытекания сквозь отверстие v_0 . В соответствии с уравнением Бернулли для трубки тока, идущей от поверхности (где давление равно атмосферному) сквозь отверстие наружу (где давление тоже равно атмосферному)

$$\rho gh \approx \frac{\rho v_0^2}{2} \Rightarrow v_0 = \sqrt{2gh} = 4 \frac{\text{м}}{\text{с}} \Rightarrow q = Sv_0 = 0,4 \text{ л/с}.$$

Объем 1 кг воды – примерно 1 л, так что искомое время равно 2,5 с.

3. На дне бассейна лежит куб с длиной ребра $a = 10$ см из дерева с плотностью $0,6 \text{ г/см}^3$. К центру одной грани куба прикреплен конец тонкой невесомой пружины (действующими на нее силами тяжести и Архимеда можно пренебречь, жесткость которой $k = 100 \text{ Н/м}$, а длина в недеформированном состоянии равна 44 см. Второй конец пружины закреплен на дне бассейна. Куб лежит на дне ровно, но, когда в бассейн начинают медленно наливать воду, она потихоньку проникает под куб.



3.1. При каком уровне воды в бассейне h куб оторвется от его дна? Ответ запишите в см, с точностью до целого значения.

3.2. При каком уровне воды в бассейне пружина полностью расправится, не еще не натянется? Ответ запишите в см с точностью до целого значения.

3.3. При каком минимальном уровне воды в бассейне куб целиком скроется под водой? Ответ запишите в см с точностью до целого значения.

Возможное решение: Момент отрыва куба от дна бассейна соответствует моменту, когда растущая величина силы Архимеда достигает величины силы тяжести, действующей на куб (соответственно куб перестает давить на дно бассейна): $\rho_0 a^2 h g = \rho a^3 g \Rightarrow h = \frac{\rho}{\rho_0} a = 6$ см. Здесь a – длина ребра куба, ρ_0 – плотность воды, ρ – плотность дерева, из которого сделан куб.

Когда пружина «полностью расправилась, не еще не натянута», силу ее упругости можно считать равной нулю, и сила Архимеда по-прежнему уравнивает силу тяжести куба. Значит, куб по-прежнему погружен в воду на 6 см, и поверхность воды находится на 6 см выше конца пружины. Значит, $H = l_0 + h = 50$ см.

Куб скрывается под водой, когда уровень воды на 10 см выше конца пружины, и при этом сила Архимеда уравнивает сумму сил тяжести и упругости пружины:

$$\rho_0 a^3 g = \rho a^3 g + k(H' - a - l_0) \Rightarrow H' = l_0 + a \left[1 + \frac{(\rho_0 - \rho)a^2 g}{k} \right] = 58 \text{ см}.$$

4. В калориметре находилось $M_0 = 300$ г воды. В него насыпали $m = 60$ г мокрого снега, состоящего на 60% из кристалликов льда и 40% жидкой воды, находящихся в равновесии.

4.1. Чему равнялась температура мокрого снега? Ответ запишите в °С.

После установления равновесия температура содержимого калориметра оказалась равна $t_1 = 36,0^\circ\text{С}$.

4.2. Какова была начальная температура воды в калориметре? Теплоемкостью калориметра пренебречь. Считайте, что удельная теплота плавления льда в добавляемой порции $\lambda = 336$ кДж/кг, удельная теплоемкость воды $c = 4,2$ кДж/(кг·°С). Ответ запишите в °С с точностью до десятых.

4.3. Сколько еще таких же порций нужно добавить, чтобы последняя добавленная порция растаяла не полностью?

Возможное решение: По определению шкалы температур Цельсия, температура, при которой находятся в равновесии жидкая вода и лед при нормальном атмосферном давлении, равна 0°С .

Обозначим начальную температуру воды в калориметре t_0 и запишем уравнение теплового баланса для установления равновесия после засыпания в калориметр одной порции снега (поскольку конечная температура выше 0°C , то весь лед полностью растаял):

$$\lambda \cdot 0,6m + cm(t_1 - 0) = cM_0(t_0 - t_1) \Rightarrow t_0 = \left(1 + \frac{m}{M_0}\right)t_1 + \frac{3m}{5M_0} \frac{\lambda}{c} = 52,8^\circ\text{C}.$$

Следующие n порций мокрого снега мы добавляем к $M_1 = 360$ г воды с температурой $t_1 = 36,0^\circ\text{C}$. Уравнение теплового баланса для установления равновесия в этом случае

$$\lambda \cdot 0,6nm + cnm(t_n - 0) = cM_1(t_1 - t_n) \Rightarrow t_n \left(1 + n \frac{m}{M_1}\right) = t_1 - n \frac{3m}{5M_1} \frac{\lambda}{c}.$$

Если n -я порция растаяла полностью, то эта формула дает допустимое значение конечной температуры жидкой воды, то есть $t_n \geq 0$. Это условие приводит к ограничению $n \leq \frac{5cM_1t_1}{3\lambda m} = 4,5$. Как видно, первое значение n , при котором это условие нарушается (то есть лед тает не полностью) – это $n = 5$.

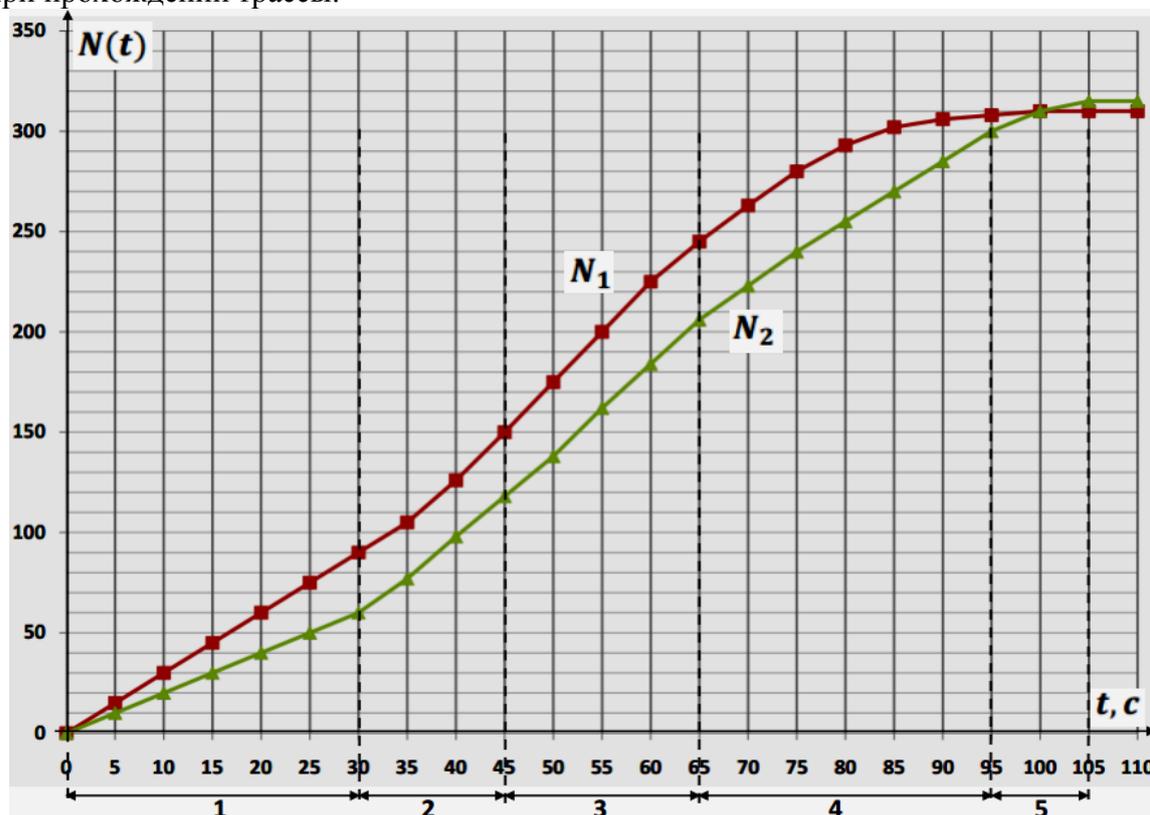
РЕКОМЕНДУЕМЫЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ (для автоматической проверки):

вопрос	ответ участника	балл
1.1	2345	3
	345	2
	45 или 35 или 34	1
1.2	0,6	3
	0,5 или 0,7	1
1.3	0,9	4
	0,8 или 1,0	2
	0,7 или 1,1	1
1.4	590	5
2.1	2	2
2.2	2	4
	1 или 3	1
2.3	2,5	4
	2,3 или 2,4 или 2,6 или 2,7	2
3.1	6	4
	5 или 7	1
3.2	50	5
	48 или 49 или 51 или 52	3
3.3	58	6
	56 или 57 или 59 или 60	3
	54 или 55 или 60 или 61	1

4.1	0	2
4.2	52,8	4
	52,6 или 52,7 или 52,9 или 53,0	2
	52,4 или 52,5 или 53,1 или 53,2	1
4.3	5	4
	4 или 6	2
Максимальная оценка		50

Вариант 5 (7 и 8 классы)

1. У модели гоночного автомобиля две пары колес: задние (ведущие) – радиусом 3 см, и передние (опорные) – радиусом 2 см. Ось каждой колесной пары снабжена *энкодером* - датчиком, измеряющим количество полных оборотов колес от момента включения датчика. Модель «с разгона» проехала трассу с разными покрытиями на разных участках, изменяя режим работы двигателя. Оба датчика включились одновременно при выезде на трассу. На рисунке показаны графики зависимости от времени t показателей энкодеров на осях передних ($N_1(t)$) и задних ($N_2(t)$) колес при прохождении трассы.



Известно, что передние колеса никогда не проскальзывали, и величина силы трения для них всегда была пренебрежимо мала по сравнению с величиной силы трения задних колес. Пользуясь графиком, ответьте на следующие вопросы:

- 1.1. На каких участках (номера участков указаны под осью t) задние колеса модели проскальзывали? В ответе укажите номера этих участков по порядку, не разделяя пробелами или знаками препинания (например: 124).
- 1.2. Найдите среднюю скорость движения модели за 100 с движения по трассе. Ответ запишите в м/с с точностью до десятых.
- 1.3. Оцените максимальную величину скорости движения модели на трассе. Ответ запишите в м/с с точностью до десятых.
- 1.4. Найдите количество теплоты, которое выделилось за счет трения между ведущими колесами модели и покрытием трассы, если массу модели $m = 2$ кг можно считать неизменной,

коэффициенты трения между ведущими колесами и покрытием на разных участках трассы равны $\mu_1 = \mu_2 = 0,6$, $\mu_3 = \mu_4 = 0,9$ и $\mu_5 = 0,1$, а ускорение свободного падения можно считать примерно равным 10 м/с^2 . Ответ запишите в джоулях, с точностью до целого значения.

Возможное решение: При движении без проскальзывания какого-либо из колес один оборот этого колеса соответствует прохождению моделью автомобиля пути, равного периметру колеса, то есть $s_1 = 2\pi r$. Следовательно, мгновенная скорость модели v и изменение числа оборотов колеса за время Δt связаны соотношением $v = 2\pi r \frac{\Delta N}{\Delta t}$. Если обе пары колес не проскальзывают, то, как видно из этого соотношения $r_1 \Delta N_1 = r_2 \Delta N_2$, то есть $\frac{\Delta N_1}{\Delta N_2} = \frac{3}{2}$. (показания энкодера на оси опорных колес растут в полтора раза быстрее, чем показания энкодера на оси ведущих колес). Как видно из графика, это соотношение выполняется только на участке 1 – на всех остальных $\Delta N_2 > \frac{2}{3} \Delta N_1$. Таким образом, на участке 1 обе пары колес не проскальзывали, а на всех остальных участках (2,3,4 и 5) задние колеса проскальзывали.

Путь модели за 100 с движения по трассе можно найти по числу оборотов опорных колес (определяется по графику) $N_1 \approx 310 \pm 0,5$:

$$s = 2\pi r_1 N_1 \Rightarrow v_{cp} = \frac{s}{t} = \frac{2\pi r_1 N_1}{t} \approx 0,390 \text{ м/с.}$$

После округления до десятых приходим к ответу $v_{cp} \approx 0,4 \text{ м/с}$.

Чтобы оценить максимальную величину скорости модели, нужно найти интервал времени с максимальной скоростью роста показаний энкодера на оси опорных колес. Разделим все время движения на интервалы по $\Delta t = 5 \text{ с}$, и тогда нетрудно обнаружить, что самый большой прирост произошел в интервалах от 45 с до 50 с и от 50 с до 55 с, где $\Delta N_1 \approx 25 \pm 1$. Тогда после требуемого округления $v_m = 2\pi r_1 \frac{\Delta N_1}{\Delta t} \approx 0,6 \text{ м/с}$.

Количество теплоты, выделившееся за счет трения ведущих колес о поверхность трассы, равно работе силы трения скольжения, а она равна произведению величины этой силы $F_{mp} = \mu mg$ на величину «проскальзывания» колес по покрытию трассы. Величину проскальзывания на каждом участке можно найти как разность пути оси ведущих колес при том же числе оборотов, но без проскальзывания, и реального пути, равного пути оси опорных колес:

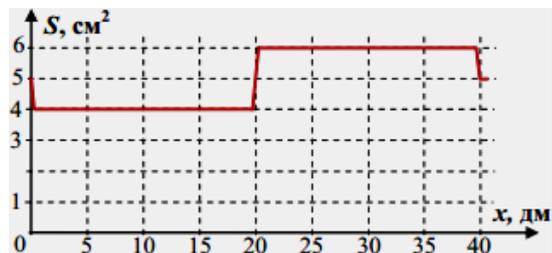
$$Q = 2\pi \left[\mu_1 (r_2 \Delta N_2^{(12)} - r_1 \Delta N_1^{(12)}) + \mu_3 (r_2 \Delta N_2^{(34)} - r_1 \Delta N_1^{(34)}) + \mu_5 (r_2 \Delta N_2^{(5)} - r_1 \Delta N_1^{(5)}) \right].$$

Вычисляя численное значение с нужной точностью, получаем $Q \approx 306 \text{ Дж}$.

2. *Расходом воды*, проходящей через трубу, называют объем воды, проходящий через сечение трубы в единицу времени (эту величину можно измерять в литрах в секунду). При описании течений воду можно считать несжимаемой жидкостью с плотностью $\rho = 1,0 \text{ г/см}^3$. Кроме того, если влияние сил трения для рассматриваемого течения пренебрежимо мало, то можно пользоваться *законом Бернулли*: для небольшого объема воды, движущейся по «трубке тока» (так называют часть потока жидкости с малым поперечным сечением, выделенную таким образом, что жидкость не пересекает ее «стенок»), можно считать постоянной величиной $\frac{\rho v^2}{2} + p + \rho gh = const$ (здесь v – скорость движения жидкости, p – давление в жидкости, h – высота элемента жидкости над «начальным» уровнем), а $g \approx 10 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения.

2.1. Расход воды, текущей по трубке с площадью поперечного сечения $S = 5 \text{ см}^2$, составляет $q = 1,2 \text{ л/с}$. С какой скоростью движется вода по этой трубке? Ответ запишите в м/с с точностью до десятых.

2.2. Трубка, описанная в предыдущем пункте, переходит в участок длиной 40 дм с переменным сечением (график зависимости площади сечения от расстояния от начала участка показан на рисунке). Найдите среднюю скорость движения воды на этом участке. Ответ запишите в м/с с точностью до десятых.



2.3. В вертикальном цилиндрическом резервуаре высотой $h = 1,25 \text{ м}$ налито 4 тонны воды (резервуар сверху открыт и заполнен «до краев»). У самого дна в стенке резервуара есть

отверстие площадью $S = 1 \text{ см}^2$, заткнутое пробкой. Пробку вытаскивают. За какое время через отверстие выльется 3 кг воды? Ответ запишите в секундах с точностью целого значения.

Возможное решение: Из определения расхода следует, что его можно вычислять как произведение скорости течения воды на площадь поперечного сечения трубы: $q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = S \frac{\Delta l}{\Delta t} = Sv$. Таким образом, в трубке из п.2.1. скорость течения $v = \frac{q}{S} = 2,4 \text{ м/с}$.

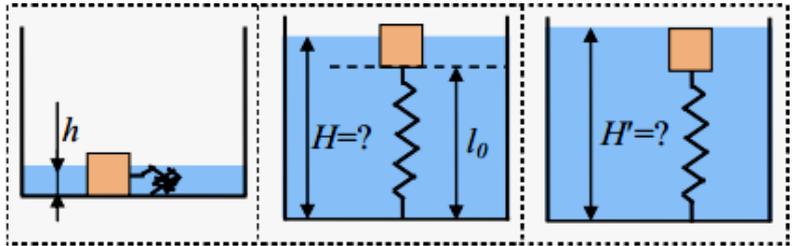
Поскольку вода в трубке ни на каком участке не исчезает и не появляется, то расход воды постоянен во всех ее сечениях. Поэтому скорость течения воды на участке изменения расстояния от 0 до 2 м равна $v_1 = \frac{q}{S_1} = 3 \text{ м/с}$, а на участке от 2 м до 4 м $v_2 = \frac{q}{S_2} = 2 \text{ м/с}$. Полное время прохождения пути 4 м для воды на участке с переменным сечением $t = \frac{l_1}{v_1} + \frac{l_2}{v_2} = \frac{5}{3} \text{ с}$, и поэтому средняя скорость движения воды $v_{cp} = 2,4 \text{ м/с}$.

3 кг – это очень малая часть от 4 тонн, поэтому можно считать, что за время его выливания уровень воды в резервуаре h практически не изменился. Объем воды в резервуаре равен 4 м^3 , и площадь его горизонтального сечения с учетом того, что $h = 1,25 \text{ м}$, равна $3,2 \text{ м}^2$, что очень намного больше площади отверстия. В результате мы понимаем, что скорость движения воды вблизи ее поверхности v_h (при опускании уровня жидкости в резервуаре) намного меньше скорости ее вытекания сквозь отверстие v_0 . В соответствии с уравнением Бернулли для трубки тока, идущей от поверхности (где давление равно атмосферному) сквозь отверстие наружу (где давление тоже равно атмосферному)

$$\rho gh \approx \frac{\rho v_0^2}{2} \Rightarrow v_0 = \sqrt{2gh} = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}} \Rightarrow q = Sv_0 = 0,5 \text{ л/с}.$$

Объем 3 кг воды – примерно 3 л, так что искомое время равно 6 с.

3. На дне бассейна лежит деревянный куб с длиной ребра $a = 10 \text{ см}$. К центру одной грани куба прикреплен конец тонкой невесомой пружины (действующими на нее силами тяжести и Архимеда можно пренебречь), жесткость которой $k = 40 \text{ Н/м}$, а длина в недеформированном состоянии равна 52 см . Второй конец пружины закреплен на дне бассейна.



Куб лежит на дне ровно, но, когда в бассейн начинают медленно наливать воду, она потихоньку проникает под куб. Когда уровень воды в бассейне достиг $h = 8 \text{ см}$, куб оторвался от его дна.

- 3.1. Найдите плотность дерева, из которого изготовлен этот куб. Ответ запишите в г/см^3 , с точностью до десятых.
- 3.2. При каком уровне воды в бассейне пружина полностью расправится, не еще не натянется? Ответ запишите в см с точностью до целого значения.
- 3.3. При каком минимальном уровне воды в бассейне куб целиком скроется под водой? Ответ запишите в см с точностью до целого значения.

Возможное решение: Момент отрыва куба от дна бассейна соответствует моменту, когда растущая величина силы Архимеда достигает величины силы тяжести, действующей на куб (соответственно куб перестает давить на дно бассейна): если ρ_0 – плотность воды, а ρ – плотность дерева, из которого сделан куб, то $\rho_0 a^2 hg = \rho a^3 g \Rightarrow \rho = \frac{h}{a} \rho_0 = 0,8 \text{ г/см}^3$.

Когда пружина «полностью расправилась, не еще не натянута», силу ее упругости можно считать равной нулю, и сила Архимеда по-прежнему уравнивает силу тяжести куба. Значит, куб по-прежнему погружен в воду на 8 см, и поверхность воды находится на 8 см выше конца пружины. Значит, $H = l_0 + h = 60 \text{ см}$.

Куб скрывается под водой, когда уровень воды на 10 см выше конца пружины, и при этом сила Архимеда уравнивает сумму сил тяжести и упругости пружины:

$$\rho_0 a^3 g = \rho a^3 g + k(H' - a - l_0) \Rightarrow H' = l_0 + a \left[1 + \frac{(\rho_0 - \rho)a^2 g}{k} \right] = 67 \text{ см}.$$

4. В калориметре находилось $M_0 = 320$ г воды. В него насыпали $m = 80$ г мокрого снега, состоящего на 40% из кристалликов льда и 60% жидкой воды, находящихся в равновесии.

4.1. Чему равнялась температура мокрого снега? Ответ запишите в $^{\circ}\text{C}$.

После установления равновесия температура содержимого калориметра оказалась равна $t_1 = 42,0^{\circ}\text{C}$.

4.2. Какова была начальная температура воды в калориметре? Теплоемкостью калориметра пренебречь. Считайте, что удельная теплота плавления льда в добавляемой порции $\lambda = 336$ кДж/кг, удельная теплоемкость воды $c = 4,2$ кДж/(кг $\cdot^{\circ}\text{C}$). Ответ запишите в $^{\circ}\text{C}$ с точностью до десятых.

4.3. Сколько еще таких же порций нужно добавить, чтобы последняя добавленная порция растаяла не полностью?

Возможное решение: По определению шкалы температур Цельсия, температура, при которой находятся в равновесии жидкая вода и лед при нормальном атмосферном давлении, равна 0°C .

Обозначим начальную температуру воды в калориметре t_0 и запишем уравнение теплового баланса для установления равновесия после засыпания в калориметр одной порции снега (поскольку конечная температура выше 0°C , то весь лед полностью растаял):

$$\lambda \cdot 0,4m + cm(t_1 - 0) = cM_0(t_0 - t_1) \Rightarrow t_0 = \left(1 + \frac{m}{M_0}\right)t_1 + \frac{2m \lambda}{5M_0 c} = 60,5^{\circ}\text{C}.$$

Следующие n порций мокрого снега мы добавляем к $M_1 = 400$ г воды с температурой $t_1 = 42,0^{\circ}\text{C}$. Уравнение теплового баланса для установления равновесия в этом случае

$$\lambda \cdot 0,4nm + cnm(t_n - 0) = cM_1(t_1 - t_n) \Rightarrow t_n \left(1 + n \frac{m}{M_1}\right) = t_1 - n \frac{2m \lambda}{5M_1 c}.$$

Если n -я порция растаяла полностью, то эта формула дает допустимое значение конечной температуры жидкой воды, то есть $t_n \geq 0$. Это условие приводит к ограничению $n \leq \frac{5cM_1 t_1}{2\lambda m} = \frac{105}{16}$.

Как видно, первое значение n , при котором это условие нарушается (то есть лед тает не полностью) – это $n = 7$.

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ (для автоматической проверки):

вопрос	ответ участника	балл
1.1	2345	3
	345	2
	45 или 35 или 34	1
1.2	0,4	3
	0,3 или 0,5	1
1.3	0,6	4
	0,5 или 0,7	2
	0,4 или 0,8	1
1.4	306	5
2.1	2,4	2
2.2	2,4	4
	2,2 или 2,3 или 2,5 или 2,6	1
2.3	6	4
	5 или 7	2

3.1	0,8	4
	0,7 или 0,9	1
3.2	60	5
	58 или 59 или 61 или 62	3
3.3	67	6
	65 или 66 или 68 или 69	3
	63 или 65 или 70 или 71	1
4.1	0	2
4.2	60,5	4
	60,3 или 60,4 или 60,6 или 60,7	2
	60,1 или 60,2 или 60,8 или 60,9	1
4.3	7	4
	6 или 8	2
Максимальная оценка		50

ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «Робофест»
ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП 2023-2024 года, вопросы по физике.

Вариант 1 (7 и 8 классы)

1. Соревновательная трасса для робота состоит из двух участков, на одном из которых («медленном») он движется с меньшей скоростью, на другом («быстром») – с большей. Известно, что длина «быстрого» участка в два раза больше, чем длина «медленного». Во время первого прохождения средняя скорость робота на трассе равнялась 2,5 м/с. При втором прохождении средняя скорость робота на «медленном» участке возросла в 1,1 раза, а на «быстром» – во столько же раз уменьшилась. Оказалось, что средняя скорость на всей трассе осталась той же. Чему равнялась средняя скорость робота на «быстром» участке при первом прохождении трассы? Ответ запишите в м/с, с точностью до десятых, без указания единиц измерения.

2. В U-образной трубке постоянного сечения, прямые отрезки которой расположены вертикально, было налито некоторое количество воды с плотностью $\rho = 1,0 \text{ г/см}^3$. В нее с двух сторон аккуратно доливают маслянистые жидкости (не смешивающиеся с водой): в первом колене жидкость с плотностью $\rho_1 = 0,6 \text{ г/см}^3$ образует в трубке столбик длиной $L_1 = 60 \text{ мм}$, во втором колене жидкость с плотностью $\rho_2 = 0,75 \text{ г/см}^3$ образует в трубке столбик длиной $L_2 = 40 \text{ мм}$ (см. рисунок). В состоянии равновесия обе границы раздела жидкостей находятся в вертикальных участках трубки.

2.1. В каком из колен (первом или втором) уровень поверхности жидкости выше? В ответе укажите номер этого колена.

2.2. Найдите разность высот уровней жидкости Δh . В ответе укажите модуль этой величины в мм с точностью до целого значения.

2.3. На сколько нужно увеличить длину столбика долитой жидкости в колене, поверхность жидкости в котором находится ниже, чтобы уровни сравнялись? Считайте, что после такого доливания по-прежнему обе границы раздела жидкостей находятся в вертикальных участках трубки. Ответ запишите в мм с точностью до целого значения.

3. Ученик 8 класса открыл над раковиной оба крана. Известно, что из крана с горячей водой выливалось 0,5 л воды за каждую секунду, а из крана с холодной водой – 1,5 л воды за каждую секунду. С помощью электронного термометра он определил, что температура горячей воды равнялась $50,0^\circ\text{C}$, а температура холодной воды $18,0^\circ\text{C}$. Через некоторое время он заметил, что уровень воды в раковине перестал изменяться.

3.1. С какой скоростью вытекает вода из раковины через сливное отверстие сечением 8 см^2 при неизменном уровне воды в раковине? Ответ запишите в м/с, с точностью до десятых.

3.2. Предскажите результат измерения температуры воды в раковине (тоже при неизменном уровне), считая, что измерение производится в области вблизи сливного отверстия, где потоки хорошо перемешаны, так что температура соответствует равновесному значению, и влияние теплообмена с окружающей средой мало. Ответ запишите в градусах Цельсия, с точностью до целого значения.

3.3. Пусть расходы воды для обоих кранов известен с ошибкой не более 0,05 л/с, а термометр измеряет температуры с ошибкой не более $0,2^\circ\text{C}$. Оцените возможную ошибку предсказания, данного в ответе на вопрос 3.2. Считайте, что ошибка, связанная с отличием температуры вблизи слива от равновесной заметно меньше ошибки, связанной с неточностью данных. В ответе поставьте:

- 1, если Вы считаете, что эта ошибка более $0,1^\circ\text{C}$, но менее $0,4^\circ\text{C}$;
- 2, если Вы считаете, что эта ошибка более $0,5^\circ\text{C}$, но менее 2°C ;
- 3, если Вы считаете, что эта ошибка более 2°C , но менее 4°C ;
- 4, если Вы считаете, что эта ошибка более 4°C , но менее 8°C ;
- 5, если Вы считаете, что эта ошибка более 8°C .

4. При подключении вольтметра к клеммам одного аккумулятора он показывает напряжение $U_1 = 11,7 \text{ В}$, а при подключении к четырем таким же аккумуляторам, соединенным параллельно – напряжение $U_4 = 13 \text{ В}$. Какое напряжение покажет этот же вольтметр, если подключить его к трем таким же аккумуляторам, соединенным последовательно? Ответ запишите в В, с точностью до десятых.

ОТВЕТЫ: 1. 3,5. 2.1. 1. 2.2. 14. 2.3. 56. 3.1. 2,5. 3.2. 26. 3.3. 2. 4. 27,7.

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ (для автоматической проверки):

вопрос	ответ участника	балл
1	3,5	8
	3,4 или 3,6	4
2.1	1	3
2.2	14	6
	13 или 15	3
2.3	56	6
	54, 55, 57, 58	3
3.1	2,5	6
	2,4 или 2,6	3
3.2	26	8
	25 или 27	4
3.3	2	3
4	27,7	10
	27,6 или 27,8	5
Максимальная оценка		50