ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «Робофест» по ФИЗИКЕ
2020/21 учебный год
МАТЕРИАЛЫ ЗАДАНИЙ И КРИТЕРИИ ПРОВЕРКИ

ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП 2021 года

Оценка участника отборочного этапа складывалась из оценок практического тура (в зависимости от направления – робототехнических соревнований либо защиты проектов) и теоретического тура (решение задач по физике). Максимальная оценка каждого тура – **50 баллов**, поэтому максимальная оценка участника отборочного этапа составляла **100 баллов**.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ТУР ОТБОРОЧНОГО ЭТАПА

Теоретический тур проводился в дистанционном формате, участники получали задания с варьируемыми данными. Приводится пример задания для каждой из категорий участников.

11 классы

ПРИМЕР ВАРИАНТА: ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ И КРИТЕРИИ ПРОВЕРКИ

1. *Расходом воды*, проходящей через трубу, называют объем воды, проходящий через сечение трубы в единицу времени (эту величину можно измерять в литрах в секунду).

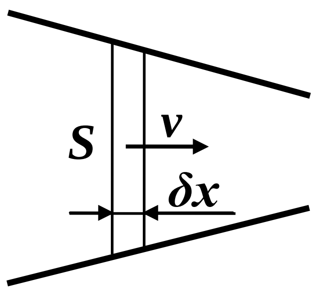
1.1. По трубе диаметром $d = 4$ см течет вода со скоростью $v = 3{,}98$ м/с. Найдите расход воды, проходящей через эту трубу. Ответ дайте в л/с, с точностью до целого значения, без указания единиц измерения.

1.2. На конце этой трубы, расположенной горизонтально, надета коническая насадка, диаметр выходного отверстия которой в 2 раза меньше диаметра трубы. Давление на выходе из насадки равно нормальному атмосферному. Пренебрегая силами вязкого трения, найдите, на сколько килопаскалей давление воды на входе в насадку должно быть больше атмосферного для поддержания этого расхода воды. Ответ дайте с точностью до целого значения, без указания единиц измерения. Воду можно считать практически несжимаемой жидкостью с плотностью $\rho = 1$ г/см^3.

Возможное решение: За интервал времени Δt через сечение потока S при скорости v проходит объем жидкости, равный $S \cdot v\Delta t$, поэтому расход жидкости $q = S \cdot v = \dfrac{\pi d^2}{4} v \approx 5$л/с.

МАКСИМАЛЬНЫЙ БАЛЛ	ОТВЕТЫ	СТОИМОСТЬ
5	**5**	**100%**

У несжимаемой жидкости расход в потоке не изменяется ($q = const$), и при прохождении конической насадки скорость должна возрастать обратно пропорционально сечению. При этом увеличивается кинетическая энергия жидкости – за счет работы сил давления.



Рассмотрим движение «слоя» потока с очень малой толщиной δx и поперечным сечением S (ввиду малости толщины пренебрегаем его изменением). Масса этого слоя $\delta m = \rho S \delta x$, и увеличение его кинетической энергии при сдвиге в «соседнее» положение $\Delta E_K = \Delta\left(\dfrac{\rho S \delta x v^2}{2}\right)$. Сила, разгоняющая слой – это разность сил давления по разные стороны от слоя (ясно, что для разгона жидкости давление должно <u>убывать</u> вдоль потока, и эта разность отрицательна), поэтому $\Delta\left(\dfrac{\rho S \delta x v^2}{2}\right) = (-\Delta p) S \delta x \Rightarrow \Delta\left(\dfrac{\rho v^2}{2} + p\right) = 0$. Итак, величина $\dfrac{\rho v^2}{2} + p = const$ в горизонтальном потоке невязкой несжимаемой жидкости (этот результат также можно получить из *закона Бернулли*). На выходе из насадки давление становится равно внешнему (атмосферному), поэтому давление на входе определяется из соотношения $\frac{\rho v^2}{2}+p=\frac{\rho v'^2}{2}+p_0$. При этом $v'=\left(\frac{d}{d'}\right)^2 v=4v$. Значит, избыточное давление на входе насадки $\Delta p=p-p_0=\frac{\rho v'^2}{2}-\frac{\rho v^2}{2}=\frac{15}{2}\rho v^2\approx 118$ кПа.

МАКСИМАЛЬНЫЙ БАЛЛ	ОТВЕТЫ	СТОИМОСТЬ
10	**118**	**100%**
	119	**90%**
	117	**80%**

2. Вода подается по трубке сечением $S=5\text{см}^2$ с расходом $q=2{,}1$л/с. Конец трубки находится на высоте $h=10$см над горизонтальной поверхностью земли, а угол наклона вылета струи к горизонту α выбран так, чтобы струя попадала в небольшой камешек, лежащий на земле на расстоянии $l=1{,}8$м по горизонтали от конца трубки, проходя по самой высокой из возможных траекторий. Пренебрегая силой сопротивления воздуха и вязким трением в жидкости, найдите α. Ускорение свободного падения при выполнении данного задания считать равным $g=9{,}8\text{м/с}^2$. Ответ дайте в градусах, с точностью до целого значения, без указания единиц измерения.

Возможное решение: Начальная скорость движения «порций» воды в струе при выходе из конца трубки $v_0=\frac{q}{S}=4{,}2$ м/с. Введем систему координат, в которой ось x направлена горизонтально, ось y – вертикально, а начало координат совмещено с концом трубки. Закон движения порции воды в этой системе координат позволяет найти уравнение ее траектории:

$$\left\{\begin{aligned} x(t)&=v_0\cos(\alpha)t\\ y(t)&=v_0\sin(\alpha)t-\frac{gt^2}{2}\end{aligned}\right\}\Rightarrow y(x)=\mathrm{tg}(\alpha)\cdot x-\frac{g\,x^2}{2v_0^2\cos^2(\alpha)}=\mathrm{tg}(\alpha)x-\frac{g\,x^2}{2v_0^2}[1+\mathrm{tg}^2(\alpha)].$$

Для точки падения $-h=l\cdot\mathrm{tg}(\alpha)-\frac{g\,l^2}{2v_0^2}[1+\mathrm{tg}^2(\alpha)]$, и мы получаем уравнение для величины $z=\mathrm{tg}(\alpha)$: $z^2-2\frac{v_0^2}{gl}z+1-\frac{2hv_0^2}{gl^2}=0$. Возможны две траектории, но нам нужна более высокая. Поэтому $\mathrm{tg}(\alpha)=\frac{v_0^2}{gl}+\sqrt{\frac{v_0^4}{g^2l^2}+\frac{2hv_0^2}{gl^2}-1}=\frac{4}{3}$. Значит, $\alpha=arctg\left(\frac{4}{3}\right)\approx 53°$.

МАКСИМАЛЬНЫЙ БАЛЛ	ОТВЕТЫ	СТОИМОСТЬ
10	**53**	**100%**
	54	**90%**
	52	**80%**
	55	**60%**
	51	**50%**

3. Перед соревнованиями зал, где они будут проходить, проветрили, закрыли окна и двери, и включили нагревательные приборы. Когда температура установилась, климатическое панно, висящее в зале, что она равна $t=20°\text{C}$, но воздух очень сухой – относительная влажность равнялась $r=15\%$. Для создания более комфортных условий включили увлажнители воздуха и увеличили относительную влажность до $r'=50\%$. Температуру при этом сохранили неизменной. Найдите массу воды, которую испарили для увеличения влажности. Объем зала $V=800\text{м}^3$, молярная масса воды $\mu=18$г/моль, универсальная газовая постоянная $R\approx 8{,}31$ Дж/(моль·К). Давление насыщенных паров воды при температуре зала $p_н=2{,}34$кПа. Ответ запишите в килограммах, с точностью до сотых, без указания единиц измерения.

Возможное решение: Из уравнения Менделеева-Клапейрона $pV = \frac{m}{\mu}RT$ можно выразить массу пара в зале через давление этого пара $m = \frac{\mu pV}{RT}$. Давление пара можно определить по относительной влажности и давлению насыщенного пара $p = r \cdot p_н$. Поэтому $m = r\frac{\mu p_н V}{RT}$. Следовательно, увеличение массы водяного пара при увеличении относительной влажности $\Delta m = m' - m = (r' - r)\frac{\mu p_н V}{RT} \approx 4{,}84$ кг.

МАКСИМАЛЬНЫЙ БАЛЛ	ОТВЕТЫ	СТОИМОСТЬ
10	**4,84**	**100%**
	4,85	**90%**
	4,83	**80%**
	4,86	**60%**
	4,82	**50%**

4. Для разгона тележки массой $m = 4$ кг по двум горизонтальным прямолинейным толстым металлическим рельсам используется следующий механизм. Колеса тележки непроводящие, но между ними помещена проводящая планка, контактирующая с обоими рельсами (и изолированная от остальных частей тележки). Распределение масс в тележке таково, что сила давления планки на рельсы постоянна и равна 25% от веса тележки. Коэффициент трения между планкой и рельсами равен $\mu = 0{,}8$. К концам рельс подключают аккумулятор с ЭДС $\mathcal{E} = 98$ В, а в пространстве между ними создано вертикальное магнитное поле (направление выбрано так, чтобы тележка уезжала от аккумулятора) с индукцией $B = 8$ Тл. Длина планки $l = 0{,}5$ м, ее сопротивление (включающее сопротивление контактов) $R = 30$ Ом намного больше внутреннего сопротивления источника и сопротивления участков рельс, по которым проезжает тележка в ходе разгона. Ускорение свободного падения при выполнении данного задания считать равным $g \approx 10$ м/с^2. Сопротивлением воздуха и трением качения пренебречь.

4.1. До какой максимальной возможной скорости может разогнаться тележка, если рельсы очень длинные? Ответ запишите в м/с, с точностью до десятых без указания единиц измерения.

4.2. Оказалось, что после подключения аккумулятора тележка набирает половину максимальной скорости за время $t \approx 5{,}2$ с. Найдите КПД работы аккумулятора по разгону тележки до этой скорости (отношение кинетической энергии тележки к работе аккумулятора) Ответ запишите в процентах, с точностью до целого значения, без указания единиц измерения.

Возможное решение: В горизонтальном направлении на тележку действуют сила трения планки о рельсы $F_{тр} = \mu N = \frac{1}{4}\mu mg$ и сила Ампера $F_A = BlI$ (действует на планку с током со стороны магнитного поля). Уравнение движения тележки $ma_x = BlI - \frac{1}{4}\mu mg$, а сила тока при движущейся тележке вычисляется с учетом ЭДС индукции $\mathcal{E}_i = -B\frac{\Delta S}{\Delta t} = -Bl\frac{\Delta x}{\Delta t} = -Bl\,v_x$ (ясно, что ЭДС индукции стремится уменьшить силу тока): $I = \frac{\mathcal{E} + \mathcal{E}_i}{R} = \frac{\mathcal{E} - Blv_x}{R}$. В процессе разгона скорость растет, а ускорение уменьшается. Максимальная скорость соответствует нулевому ускорению, и поэтому $0 = Bl\frac{\mathcal{E} - Blv_{\max}}{R} - \frac{1}{4}\mu mg \Rightarrow v_{\max} = \frac{\mathcal{E}}{Bl} - \frac{\mu mgR}{4B^2l^2} = 9{,}5$ м/с.

МАКСИМАЛЬНЫЙ БАЛЛ	ОТВЕТЫ	СТОИМОСТЬ
5	**9,5**	**100%**
	9,4	**80%**
	9,6	**80%**

Запишем снова уравнение движения тележки для произвольного момента времени $ma_x = BlI - \frac{1}{4}\mu mg$ и умножим его на очень малый интервал времени Δt. Поскольку $a_x \Delta t = \Delta v_x$ и $I\Delta t = \Delta q$, то мы получим $m\Delta v_x = Bl\Delta q - \frac{1}{4}\mu mg\Delta t$. Просуммировав все изменения от момента старта до времени t, когда , найдем, что $\frac{1}{2}mv_{\max} = Blq - \frac{1}{4}\mu mgt$. Из этого уравнения находим заряд, протекший через источник за это время $q = \frac{2mv_{\max} + \mu mgt}{4Bl}$ и работу источника $A = \mathcal{E}q = \mathcal{E}\frac{2mv_{\max} + \mu mgt}{4Bl}$. Кинетическая энергия тележки в этот момент $E_K = \frac{mv_x^2}{2} = \frac{mv_{\max}^2}{8}$, и поэтому КПД работы аккумулятора $\eta = \frac{E_K}{A} = \frac{Blmv_{\max}^2}{2\mathcal{E}(2mv_{\max} + \mu mgt)} \approx 3\%$.

МАКСИМАЛЬНЫЙ БАЛЛ	ОТВЕТЫ	СТОИМОСТЬ
10	**3**	**100%**
	4	**80%**
	2	**60%**