ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «Робофест» по ФИЗИКЕ
ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ (ФИНАЛЬНЫЙ) ЭТАП 2024 года, ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ТУР

БИЛЕТ № 08 (7 и 8 классы): ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ И КРИТЕРИИ ПРОВЕРКИ

Задание 1:
Вопрос: Два небольших тела движутся равномерно и прямолинейно в одной вертикальной плоскости: первое – по горизонтали со скоростью 4 м/с, второе – вертикально вверх со скоростью 3 м/с. Чему равна величина скорости второго тела относительно первого?

Задача: Однажды Попугай неспешно прогуливался по тропинке, когда его обогнал Удав. Друзья поздоровались, продолжив движение с прежними скоростями, и за 15 с Удав весь прополз мимо Попугая. В этот момент голова Удава развернулась и с прежней скоростью поползла назад (остальные части Удава разворачивались в той же точке тропинки). В результате через 3 с после разворота Попугай и голова Удава встретились. Хвост Удава в этот момент оказался на расстоянии ровно 114 см от попугая. Вспомнив, что длина Удава равна 38 попугаям и одному попугайскому крылышку, выразите единицу измерения «попугай» в единицах СИ. Крылышко можно не считать. Длину Удава при движении по тропинке считайте постоянной.

Ответ на вопрос: Для нахождения относительной скорости нужно вычесть вектора скоростей, или рассмотреть относительное перемещение как комбинацию двух смещений во взаимно-перпендикулярных направлениях. В любом случае, вспоминая про «египетский треугольник», приходим к выводу, что относительная скорость равна 5 м/с.

Критерии проверки:

Обращено внимание, что тела движутся во взаимно-перпендикулярных направлениях	**3**
Предложена геометрическая интерпретация относительного перемещения: с помощью векторов, или комбинацией перемещений, или построением, или ссылкой на «египетский треугольник».	**4**
Дан правильный ответ	**3**
ВСЕГО	**10**

Решение задачи: Пусть v и u – скорости Удава и Попугая относительно тропинки. Рассмотрим движение Удава в системе отсчета, связанной с Попугаем. Ясно, что длина Удава $L = (v - u) \cdot T$ (где T = 15 с). В течении 3 с хвост Удава удалялся от Попугая со скоростью v-u, и $l = (v - u) \cdot t \Rightarrow L = \frac{T}{t} l = 570$ см. Следовательно,

$$1\ \text{Попугай} \approx \frac{570\ \text{см}}{38} = 15\,\text{см}\,.$$

Ответ: 1 попугай ≈ 0,15 м.

Критерии проверки:

Выбрана «удобная» система отсчета	**3**
В этой системе отсчета записаны все необходимые соотношения, позволяющие найти ответ	**4**
С помощью преобразований получена связь длины Удава с данными задачи	**4**
Найдена длина Удава в единицах СИ	**3**
Дан правильный численный ответ	**1**
ВСЕГО	**15**

Задание 2:

Вопрос: Можно ли сделать так, что вода при температуре – 2°C была в жидком состоянии? Предложите хотя бы один способ и приведите аргументы, доказывающие возможность его практической реализации.

Задача: Утрамбованный мокрый снег состоит только из жидкой воды и ледяных кристаллов, находящихся в равновесии (в «рыхлом» могут быть также пузырьки воздуха). Пусть у нас в закрытой кастрюле есть 1 литр утрамбованного мокрого снега при нормальном атмосферном давлении. Масса этого снега равна M = 950 г. Какое минимальное количество теплоты необходимо для нагрева этой порции вещества до 50°C? Считайте, что удельная теплоемкость воды равна c = 4,2 Дж/(г·°С), удельная теплота плавления льда λ = 340 Дж/г, плотность жидкой воды ρ_0 = 1 г/см^3, плотность льда ρ = 0,9 г/см^3.

Ответ на вопрос: Да, это возможно. Наиболее часто используемый способ – «посолить» воду. Ионы растворенной соли изменяют связи между молекулами воды и вместе с ними изменяют температуру замерзания. В качестве аргументов, доказывающих возможность практической реализации метода, можно упомянуть широкое применение антиобледенителей на дорогах и в авиации, или известный опыт с примерзанием кастрюли, в которой размешивали соль с мокрым снегом. Можно также изменить внешнее давление, но этот способ гораздо сложнее с точки зрения реализации.

Критерии проверки:

Утверждается возможность выполнения такого «задания»	**2**
Приведен конкретный пример	**4**
Приведен аргументация свой точки зрения.	**4**
ВСЕГО	**10**

Решение задачи: Поскольку в начальной смеси вода и лед находились в равновесии при нормальном атмосферном давлении, то температура смеси равнялась 0°С. В процессе утрамбовывания мокрого снега из него вытеснили воздух, и осталась смесь воды (массой m) и ледяных кристаллов (массой $M-m$). Поэтому $V=\frac{M-m}{\rho}+\frac{m}{\rho_0}$. Выражаем из этого соотношения массу воды: $m=\frac{\rho_0}{\rho_0-\rho}\left(M-\rho V\right)=500$ г и массу льда $M-m=\frac{\rho}{\rho_0-\rho}\left(\rho_0 V-M\right)=450$ г. Для нагрева смеси до 50°С нужно расплавить весь лед и нагреть всю воду до этой температуры. Для этого потребуется количество теплоты $Q=\frac{\lambda\rho}{\rho_0-\rho}\left(\rho_0 V-M\right)+cM(t-t_0)\approx 352{,}5$ кДж.

Ответ: $Q=\frac{\lambda\rho}{\rho_0-\rho}\left(\rho_0 V-M\right)+cM(t-t_0)\approx 352{,}5$ кДж.

Критерии проверки:

Указано (используется в решении), что начальная температура равна 0°С	**1**
Указано (используется в решении), что объем утрамбованного снега равен сумме объемов воды и льда	**2**
Записано два независимых уравнения для определения масс воды и льда в смеси	**1+1=2**
Найдены массы воды и льда в смеси	**2+2=4**
Указано (используется в решении), что в процессе нагрева лед необходимо полностью растопить	**1**
Правильно записано уравнение ТБ для нагрева смеси до нужной температуры	**3**
Получен правильный численный ответ	**2**
ВСЕГО	**15**

Задание 3:

Вопрос: Как максимальная скорость, до которой может разогнаться автомобиль по горизонтальной дороге, зависит от максимальной полезной мощности его двигателя, если его колеса при движении с этой скоростью не проскальзывают, а величина действующей на него силы сопротивления воздуха пропорциональна квадрату скорости автомобиля относительно дороги (ветра нет)? Ответ объяснить.

Задача: Полноприводной автомобиль с нейтральным аэродинамическим профилем (при его движении обтекающий поток воздуха не создает ни прижимной, ни подъемной силы) разгоняется по прямой горизонтальной дороге. При скорости 40 км/час его ускорение равнялось 6 м/с^2, а при увеличении скорости до 80 км/час ускорение уменьшилось до 4 м/с^2. Расходуемая мощность двигателя такова, что колеса автомобиля в процессе разгона всегда проскальзывают. Величина силы сопротивления воздуха с хорошей точностью пропорциональна квадрату скорости автомобиля. До какой максимальной скорости может разогнаться этот автомобиль? Чему равен коэффициент трения его колес о дорогу? Ускорение свободного падения считайте равным 10 м/с^2.

Ответ на вопрос: Если колеса не проскальзывают, то вся работа двигателя в режиме движения с максимальной установившейся скоростью идет на компенсацию потерь, связанных с работой силы сопротивления воздуха F_C (величина которой по условию может быть записана в виде $F_C = k \cdot v^2$). Значит, $P \cdot \Delta t = F_C \cdot \Delta s = k \cdot v^2 \cdot v \cdot \Delta t \Rightarrow P = k \cdot v^3$. Если аэродинамика кузова автомобиля неизменна, то при увеличении максимальной мощности будет расти и максимальная скорость – пропорционально корню кубическому из мощности.

Критерии проверки:

Указано, что в отсутствие проскальзывания вся работа двигателя в режиме движения с максимальной установившейся скоростью идет на компенсацию потерь, связанных с работой силы сопротивления воздуха	**3**
На базе условия указано, что $F_C = k \cdot v^2$	**2**
Показано, что $P = k \cdot v^3$	**3**
Сделан правильный итоговый вывод	**2**
ВСЕГО	**10**

Решение задачи: Так как теперь колеса автомобиля проскальзывают, его разгон обеспечивается силой трения скольжения, величина которой на горизонтальной дороге $F_{тр} = \mu \cdot mg$. Значит, связь ускорения и скорости автомобиля описывается уравнением $a = \dfrac{F_{тр} - F_C}{m} = \mu g - \dfrac{k}{m} \cdot v^2$. Отметим, что максимальная скорость отвечает нулевому ускорению: $\mu mg = k \cdot v^2 \Rightarrow v_{\max} = \sqrt{\dfrac{\mu mg}{k}}$.

Уравнение связи теперь можно переписать в виде $a = \mu g \left(1 - \dfrac{v^2}{v_{\max}^2}\right)$. Запишем это уравнение для двух известных точек этой зависимости:

$$\begin{cases} a_1 = \mu g \dfrac{v_{\max}^2 - v_1^2}{v_{\max}^2} \\ a_2 = \mu g \dfrac{v_{\max}^2 - v_2^2}{v_{\max}^2} \end{cases} \Rightarrow \frac{a_2}{a_1} = \frac{v_{\max}^2 - v_2^2}{v_{\max}^2 - v_1^2} \Rightarrow v_{\max}^2 = \frac{a_1 v_2^2 - a_2 v_1^2}{a_1 - a_2}.$$

В результате получаем, что $v_{\max} = \sqrt{\dfrac{a_1 v_2^2 - a_2 v_1^2}{a_1 - a_2}} \approx 126{,}5$ км/час. Из этой же системы уравнений можно выразить и коэффициент трения. Удобно сразу использовать соотношение $v_2 = 2v_1$, и тогда легко найти, что $v_{\max} = \sqrt{10} \cdot v_1$, и $\mu = \dfrac{10 a_1}{9g} = \dfrac{2}{3}$.

Ответ: $v_{max} \approx 126{,}5$ км/час, $\mu = 2/3$.

Критерии проверки:

Указано (используется в решении), что разгон автомобиля обеспечивается силой трения скольжения	**1**
Указано, что $F_{тр} = \mu \cdot mg$	**2**
Записана связь ускорения и скорости автомобиля	**3**
Составлена система из двух уравнений для определения искомых величин	**2+2=4**
Правильно найдена v_{max}	**3**
Правильно найден коэффициент трения	**2**
ВСЕГО	**15**

Задание 4:

Вопрос: Что происходит с осадкой (глубиной погружения корпуса по поверхность воды) судов при выходе из пресноводного водоема в море? Ответ объяснить.

Задача: В сосуд, в котором находилось 250 мл чистой воды (с плотностью 1 г/см^3), опустили шарик из растворимой соли объемом 100 мл, и он полностью оказался под водой. Плотность соли 2,5 г/см^3, но в центре шара есть воздушная полость, так что его масса равна 200 г. Растворимость соли очень высокая, и растворение до самого всплытия шара идет практически с постоянной скоростью 0,25 г/с почти равномерно по всей поверхности шара. Ионы соли очень быстро распределяются по всему объему воды, проникая между ее молекулами (так что объем воды практически не увеличивается от этого). Через какое время после начала растворения соли шар всплывет? Известно, что воздух из полости не выходит вплоть до всплытия шара.

Ответ на вопрос: Морская вода за счет растворенной соли имеет более высокую плотность. При увеличении плотности жидкости сила Архимеда при той же осадке увеличилась бы, и стала бы больше силы тяжести, которая осталась прежней. Это привело бы к нарушению равновесия. Поэтому на самом деле осадка уменьшается – корпус корабля чуть поднимается над водой.

Критерии проверки:

Указано, что плотность морской воды выше, чем пресной	**2**
Указано на связь величины силы Архимеда с плотностью жидкости	**3**
Объяснено, что при большей плотности жидкости для уравновешивания той же силы тяжести нужен меньший погруженный объем.	**2**
Сделан правильный вывод об уменьшении осадки	**3**
ВСЕГО	**10**

Решение задачи: За счет растворения масса шара (а вместе с ней и сила тяжести) будет уменьшаться: $m(t) = m_0 - q \cdot t$. Здесь $q \equiv 0{,}25$ г/с. Объем шара тоже уменьшается (так как до вскрытия полости из шара уходит только соль, то убыль массы легко пересчитывается в убыль объема) $V(t) = V_0 - \dfrac{q}{\rho} \cdot t$, а плотность окружающей его жидкости растет по закону $\rho(t) = \dfrac{\rho_0 \cdot 2{,}5V_0 + qt}{2{,}5V_0} = \rho_0 + \dfrac{2q}{5V_0} t$. Шар начнет всплывать после того, как сила Архимеда сравняется с силой тяжести:

$$\left(\rho_0 + \frac{2q}{5V_0} t\right)\left(V_0 - \frac{q}{\rho} \cdot t\right) = m_0 - q \cdot t .$$

Введем переменную $z \equiv \dfrac{2q}{5m_0} t$, для которой получается уравнение $z^2 - \dfrac{5}{2} z + \dfrac{1}{2} = 0$. Выбирая меньший корень (первое выравнивание сил Архимеда и тяжести) $z = \dfrac{5 - \sqrt{13}}{4}$, находим:

$$t = \frac{5(5 - \sqrt{13})}{8} \frac{m_0}{q} \approx 697 \text{ с}.$$

Ответ: шар начнет всплывать через время $t = \dfrac{5(5 - \sqrt{13})}{8} \dfrac{m_0}{q} \approx 697$ с.

Критерии проверки:

Записан закон изменения массы шарика	**1**
Получен закон изменения объема шарика	**2**
Получен закон изменения плотности жидкости	**3**
Указано, что шар начнет всплывать после того, как сила Архимеда сравняется с силой тяжести	**3**
Записано уравнение для определения момента начала всплытия	**3**
Получен правильный ответ (число)	**3**
ВСЕГО	**15**

БИЛЕТ № 07 (9 классы): ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ И КРИТЕРИИ ПРОВЕРКИ

Задание 1:
Вопрос: Однородный стержень длины L подвешен горизонтально на трех одинаковых легких практически нерастяжимых нитях, одна из которых («первая») прикреплена к стержню на расстоянии $L/4$ от его левого конца, вторая прикреплена к середине стержня, а третья – на расстоянии $L/3$ от правого конца. В состоянии равновесия все три нити практически вертикальны. Во сколько раз отличаются силы натяжения третьей и первой нити в этом состоянии?