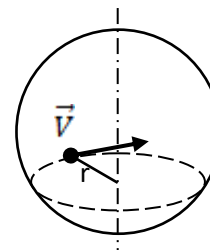


Всероссийская олимпиада школьников по физике
Муниципальный этап 2025/26 учебный год
10 класс

Задача 1

Учитель физики из села N живет в частном доме, к которому не подведены трубы с горячей водой. Поэтому его семья использует проточный водонагреватель, в который поступает холодная вода (ее температура 14°C), нагревается и сразу же вытекает наружу. По документам потребляемая мощность водонагревателя равна 5 кВт, а его КПД составляет 80%. Определите объемный расход воды в душе (в литрах в минуту), если температура воды, текущей после нагревания, равна 40°C . Удельная теплоёмкость воды $4200 \text{ Дж/кг}\cdot^{\circ}\text{C}$, плотность воды 1000 кг/м^3 .



Критерии оценивания

Записано уравнение теплового баланса	4 балла
Получено выражение для объемного расхода	4 балла
Правильно вычислено значение объемного расхода в л/мин	2 балла

Решение

Введём обозначения: q – искомый объёмный расход воды, τ – время использования душа, ρ – плотность воды, c – удельная теплоёмкость воды, t_1 и t_2 – температуры воды до и после нагревания соответственно, η – КПД водонагревателя, N – мощность водонагревателя.

Запишем уравнение теплового баланса:

$$Q_{\text{нагревателя}} = Q_{\text{воды}},$$

$$\eta N \tau = \rho c q \tau (t_2 - t_1).$$

Из этого выражения найдем объемный расход:

$$q = \frac{\eta N}{\rho c (t_2 - t_1)} = \frac{0,8 \cdot 5000 \text{ Вт}}{1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}} \cdot 26^{\circ}\text{C}} \approx 3,66 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \approx 2,2 \frac{\text{л}}{\text{мин}}.$$

Ответ: 2,2 л/мин

Задача 2

После того, как Незнайка побывал на Луне, он решил показать своим друзьям, земным коротышкам, как там организовано дорожное движение. Поскольку то, что Незнайка объясняет словами, обычно всем остается непонятным, он сделал модель Луны – стеклянную тонкостенную сферу радиусом $R = 20 \text{ см}$ с абсолютно гладкими поверхностями внутри и снаружи. В качестве упрощенных моделей лунных автомобилей Незнайка взял маленькие твердые и гладкие шарики. Первый шарик он запустил внутри Лунной сферы таким образом, что он скользит в горизонтальной плоскости по круговой траектории радиусом 10 см. Второй шарик получилось запустить по аналогичной траектории, но с радиусом 15 см. Когда Незнайка показал свою модель Знайке, тот сразу задумался: чему будет равно отношение модулей скоростей маленьких шариков в указанных условиях? Ускорение свободного падения считать равным Земному.

Критерии оценивания

Записан второй закон Ньютона (векторно или в проекциях)	3 балла
Получено выражение для скорости	4 балла
Найдены значения тригонометрических функций	1 балл
Правильно вычислено отношение скоростей	2 балла

Решение

Рассмотрим условия движения маленького тела массой m , модуль скорости которого равен v , по окружности радиусом r в горизонтальной плоскости внутри неподвижной гладкой сферы радиусом R . На тело действуют сила тяжести, равная по модулю mg , и сила нормального

давления со стороны сферы, равная по модулю N . Тело при этом обладает центростремительным ускорением с модулем, равным $a=v^2/r$.

Обозначим угол между радиусами сферы, проведенными из ее центра к телу и вертикально вниз, через α . Второй закон Ньютона для движения тела в данных условиях имеет вид:

$$\vec{N} + m\vec{g} = m\vec{a}$$

Как видно из рисунка, равнодействующая сила $\vec{F} = \vec{N} + m\vec{g}$ должна быть направлена горизонтально и по модулю равняться $F=mg \cdot \operatorname{tg} \alpha$. Таким образом, справедливо соотношение:

$$mg \cdot \operatorname{tg} \alpha = \frac{mv^2}{r}, \quad \text{откуда} \quad v^2 = gr \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad \text{где} \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}, \quad \sin \alpha = \frac{r}{R},$$

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2}.$$

Найдем искомое отношение:

$$\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{r_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_2}{r_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_1}}.$$

Подставляя численные данные из условия, получаем:

$$\sin \alpha_1 = \frac{r_1}{R} = \frac{10}{20} = \frac{1}{2}, \quad \cos \alpha_1 = \frac{\sqrt{3}}{2}, \quad \sin \alpha_2 = \frac{r_2}{R} = \frac{15}{20} = \frac{3}{4}, \quad \cos \alpha_2 = \frac{\sqrt{7}}{4},$$

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{1}{\sqrt{3}}, \quad \operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{3}{\sqrt{7}},$$

и окончательно

$$\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{15 \cdot 3 \cdot \sqrt{3}}{10 \cdot \sqrt{7}}} \approx 1,72.$$

Ответ: 1,72

Задача 3

Лыжник массой $m=70$ кг начинает спускаться по склону горы с углом наклона $\alpha=45^\circ$ к горизонту. Коэффициент трения лыж о снег $\mu=0,1$. Сила сопротивления воздуха пропорциональна квадрату скорости лыжника $F_{\text{сопр}}=\beta v^2$, где $\beta=0,9$ кг/м. Какую максимальную скорость может развить лыжник, если при спуске он не будет отталкиваться палками?

Критерии оценивания

Записан II закон Ньютона (векторно и/или в проекциях)

3 балла

Сделан вывод об уменьшении ускорения до нуля

2 балла

Получено выражение, из которого можно найти v_{max}

4 балла

Правильно вычислено значение максимальной скорости

1 балл

Решение

На лыжника действуют сила тяжести, нормальная реакция склона, сила трения лыж о снег и сила сопротивления воздуха. Запишем второй закон Ньютона в проекции на ось, направленную вниз по склону:

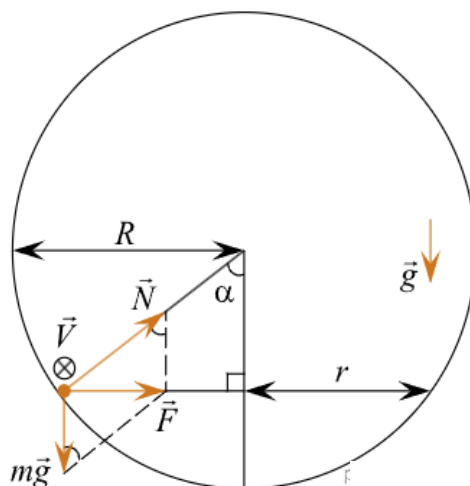
$$ma = mg \sin \alpha - F_{\text{тр}} - F_{\text{сопр}}.$$

Учтем, что $F_{\text{тр}} = \mu mg \cos \alpha$, $F_{\text{сопр}} = \beta v^2$.

По мере увеличения скорости лыжника ускорение уменьшаться и при некоторой максимальной скорости обратится в ноль:

$$0 = mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha - \beta v_{\text{max}}^2.$$

Отсюда находим



будет

$$v_{max} = \sqrt{\frac{mgsin\alpha - \mu mgcos\alpha}{\beta}} \approx 22 \text{ м/с}$$

Ответ: 22 м/с

Задача 4

Небольшой шарик расположен на гладком горизонтальном столе между двумя массивными вертикальными стенками. Одна из стенок неподвижна, а вторая удаляется от нее с постоянной скоростью $u=50$ см/с. Шарик начинает движение по столу к одной из стенок со скоростью $v_0=2024$ см/с. Считая соударения шарика со стенками абсолютно упругими, определите скорость шарика после всех возможных соударений со стенками.

Критерии оценивания

Указано, как скорость шарика изменяется после отражения от неподвижной стенки 1
балл

Предложена идея смены системы отсчета для нахождения скорости шарика после отражения от подвижной стенки 3
балла

Составлено уравнение для расчета изменения скорости по модулю с каждым новым ударом о подвижную стенку 3
балла

Вычислено значение конечной скорости шарика 2
балла

Указано, по какой причине значение скорости 24 см/с является окончательным 1
балл

Решение

После столкновения с неподвижной стенкой скорость шарика изменяется лишь по направлению. Для рассмотрения результата соударения с удаляющейся стенкой необходимо перейти в систему отсчета, связанную со стенкой. В этой системе отсчета скорость шарика до удара равна $\vec{v}' = \vec{v}_0 - \vec{u}$. Соответственно, проекция этой скорости на направление движения стенки равна $v' = v_0 - u$. После упругого удара проекция скорости изменяет знак: $v'' = -(v_0 - u)$. Для нахождения скорости шарика после удара в неподвижной системе отсчета надо вернуться в нее и учесть, что стенка движется в ней со скоростью u . Тогда мы получим модуль скорости шарика в неподвижной системе отсчета

$$v = v_0 - 2u.$$

Можно сделать вывод, что слагаемое $-2u$ будет добавляться после каждого удара о движущуюся стенку. Следовательно, окончательная скорость шарика будет равна

$$v_{\text{кон}} = v_0 - 2nu,$$

где n – число соударений с движущейся стенкой.

Запишем численный расчет:

$$v_{\text{кон}} = 2024 - 100n.$$

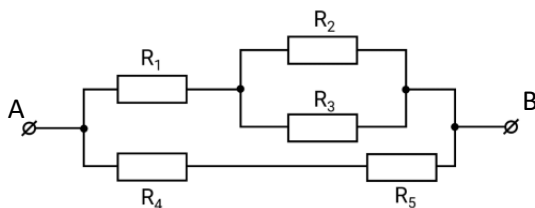
Отсюда следует, что произойдет 20 соударений, и после последнего шарик отразится от движущейся стенки со скоростью $v_{\text{кон}} = 24$ см/с.

После отражения от неподвижной стенки шарик, обладая скоростью 24 см/с, уже не сможет догнать удаляющуюся стенку.

Ответ: 24 см/с

Задача 5

Однажды мама оставила маленькую Женю дома с дедушкой-радиолобителем. Дед, не зная, как развлечь ребенка, предоставил в ее распоряжение коробку с резисторами. Женя стала соединять резисторы друг с другом и в итоге получила следующую цепь.



Деду цепь понравилась, и он решил на ее примере показать Жене, как работает вольтметр. Цепь подключили к источнику постоянного напряжения с $U_{AB}=50$ В, и потом стали заменять в цепи один из резисторов на идеальный вольтметр. Заполните таблицу с показаниями вольтметра (значения округлите до десятых). Номиналы резисторов: $R_1=26$ Ом, $R_2=40$ Ом, $R_3=60$ Ом, $R_4=30$ Ом, $R_5=20$ Ом.

	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5
Показания вольтметра [В]					

Критерии оценивания

Каждое верно полученное значение напряжения оценивается в 2 балла. Рассуждения без полученного верного ответа оцениваются 0 баллов.

Решение

Идеальный вольтметр, помещенный на место резистора R_1 , R_4 или R_5 , не пропустит ток в соответствующую ветвь цепи и будет показывать общее напряжение цепи $U_{AB}=50$ В.

Вольтметр на месте R_2 будет показывать

$$U_2 = U_{AB} \frac{R_3}{R_1 + R_3} = 50 \text{ В} \frac{60 \text{ Ом}}{26 \text{ Ом} + 60 \text{ Ом}} \approx 34.9 \text{ В}.$$

Аналогично для вольтметра в позиции R_3 имеем

$$U_3 = U_{AB} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 50 \text{ В} \frac{40 \text{ Ом}}{26 \text{ Ом} + 40 \text{ Ом}} \approx 30.3 \text{ В}.$$

Таким образом, таблица принимает вид:

	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5
Показания вольтметра [В]	50,0	34,9	30,3	50,0	50,0