Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет»

ОЛИМПИАДА «Я – БАКАЛАВР»
ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ 5-11 КЛАССОВ
2025/2026 учебный год

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП

ФИЗИКА

КЛАСС 11

Вариант 1

Задача 1 (20 баллов)

Температура в классе 22 °C, давление 10^5 Па. Найдите число N молекул, ударяющихся о стену на площади 1 см^2.

Разбор задания:

1. Выделим цилиндр, ось которого перпендикулярна данной стене, площадь основания S = 1 см^2, а длина - $\upsilon_{CP}\Delta t$. В нем содержится

$N_{ОБЩ} = n\Delta\upsilon = nS\upsilon_{CP}\Delta t$ молекул.

2. Направления скоростей молекул равновероятны, однако можно считать, что вдоль каждой из осей движется $\frac{1}{3}N_{ОБЩ}$ молекул. О стенку ударится $\frac{1}{2}$ тех молекул, скорость которых направлена вдоль оси цилиндра, т.е. $\frac{1}{6}N_{ОБЩ}$.

Таким образом, $N = \frac{1}{6}nS\upsilon_{CP}\Delta t$.

3. За 1 секунду ударится молекул

$$\frac{N}{\Delta t} = \frac{1}{6}nS\upsilon_{CP} = \frac{1}{6}nS\sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \frac{pS}{6kT}\sqrt{\frac{3kT}{m_0}} =$$

$$\frac{pS}{6}\sqrt{\frac{3}{m_0kT}} = \frac{pS}{6}\sqrt{\frac{3N_A}{MkT}} = \frac{10^5\cdot10^{-4}}{6}\sqrt{\frac{3\cdot6\cdot10^{23}}{18\cdot10^{-3}\cdot1,38\cdot10^{-23}\cdot295}}$$

$$\approx\frac{10}{6}\cdot\sqrt{\frac{10^{49}}{407}} = 1,67\cdot10^{23}\sqrt{2,457} \approx 1,57\cdot1,67\cdot10^{23} \approx 2,6\cdot10^{23} \quad c^{-1}$$

Ответ: $2,6\cdot10^{23}$ с$^{-1}$.

Задача 2 (20 баллов)

Садовник, поливая деревья, зажал отверстие шланга пальцем. Струя, бьющая под напором со скоростью u, разделилась на 2. Одна из них образовала угол α_1 с горизонтом, вторая – α_2. На каком расстоянии L от садовника они пересекутся?

Разбор задания:

1. Задачу можно рассматривать как движение тела, брошенного под углом к горизонту. При этом координаты зависят от времени следующим образом:

$$x(t) = u \cdot \cos\alpha \cdot t$$

$$y(t) = u \cdot \sin\alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}$$

2. В момент пересечения $x_1 = x_2 = L$; $y_1 = y_2$.

3. Получим уравнения траекторий, исключая время из зависимостей $x_1(t)$ и $x_2(t)$, и подставляя это время в зависимости $y_1(t)$ и $y_2(t)$, а затем приравняем правые части соответствующих уравнений, поскольку $y_1(x) = y_2(x)$:

$x_1 = u\cos\alpha_1 t$; $x_2 = u\cos\alpha_2 t$;

$y_1 = x_1 tg\alpha_1 - \dfrac{gx_1^2}{2u^2\cos^2\alpha_1}$; $y_2 = x_2 tg\alpha_2 - \dfrac{gx_2^2}{2u^2\cos^2\alpha_2}$;

$y_1 = y_2$, т.е. $x \cdot tg\alpha_1 - \dfrac{gx^2}{2u^2\cos^2\alpha_1} = x \cdot tg\alpha_2 - \dfrac{gx^2}{2u^2\cos^2\alpha_2}$

$$x(tg\alpha_1 - tg\alpha_2) = \frac{gx^2}{2u^2}\left(\frac{1}{\cos^2\alpha_1} - \frac{1}{\cos^2\alpha_2}\right)$$

4. Поскольку $\dfrac{1}{\cos^2\alpha} = 1 + tg^2\alpha$, получим

$$x(tg\alpha_1 - tg\alpha_2) = \frac{gx^2}{2u^2}\left(tg^2\alpha_1 - tg^2\alpha_2\right)$$

5. Используем: $tg^2\alpha_1 - tg^2\alpha_2 = \left(tg\alpha_1 - tg\alpha_2\right)\left(tg\alpha_1 + tg\alpha_2\right)$

$x = \dfrac{gx^2}{2u^2}\left(tg\alpha_1 + tg\alpha_2\right)$; поскольку при данных условиях $x = L$,

6. $L = \dfrac{2u^2}{g\left(tg\alpha_1 + tg\alpha_2\right)}$

Ответ: $L = 2u^2/[g(\text{tg}\ \alpha_1 + \text{tg}\ \alpha_2)]$

Задача 3 (20 баллов)

Изучая гармонические колебания, старшеклассники проделали эксперимент со специально сконструированным поплавком. К нижнему концу бруска, сделанного в форме цилиндра из древесины сосны, они прикрепили стальную шайбу. Такой поплавок был погружен в воду. Его равновесное положение – вертикальное; погружение в воду – на ½ высоты. Высота L равна 20 см. Поплавок притопили, погрузив его дополнительно на небольшую глубину. Через какое время Δt поплавок впервые поднимется на максимальную высоту? Ускорение свободного падения принять равным g = 10 м/с^2. Объемом шайбы пренебречь.

Разбор задания:

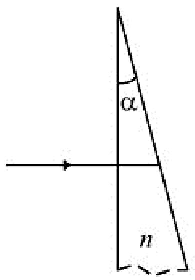
1. Запишем уравнение равновесия конструкции, приняв ее массу равной m:
$mg = F_{\text{АРХ}} = \rho gV/2 = \rho gSL/2$, где ρ – плотность воды, $V = SL$ – объем цилиндра, S – площадь основания цилиндра. Отсюда можно выразить массу конструкции:
$m = \rho SL/2$
2. При дополнительном погружении конструкции (далее, для краткости, будем говорить – поплавка) на малую глубину x возникнут гармонические колебания. Для получения уравнения этих колебаний запишем 2-й закон Ньютона для поплавка:
$ma = -\ \Delta F_{\text{АРХ}} = -\ \rho gSx$, где $\Delta F_{\text{АРХ}}$ – «избыточная» сила Архимеда, вызванная дополнительным погружением на величину x (x есть величина смещения поплавка вниз), знак « – » указывает на то, что сила направлена противоположно направлению смещения.
3. Перепишем уравнение в виде $ma = -\ \rho gSx$, или $ma = -\ kx$, т.е., получили уравнение, подобное уравнению колебаний пружинного маятника. Роль коэффициента жесткости k играет величина ρgS. Как известно, период колебаний такого маятника равен $T = 2\pi\ (m/k)^{1/2}$. Подставляя «k» и выражая массу как $m = \rho SL/2$, получим: $T = \dfrac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\dfrac{L}{2g}}$
4. Поплавок начнет двигаться вверх, и максимальная высота всплытия будет им достигнута через промежуток времени, равный половине периода. Т.е.,

$$\Delta t = \frac{T}{2} = \sqrt{\frac{\pi^2 L}{2g}} \approx \sqrt{\frac{10\cdot 0{,}2}{2\cdot 10}} = \frac{1}{\sqrt{10}} \approx 0{,}32\,\text{с}.$$

Ответ: 0,32 с

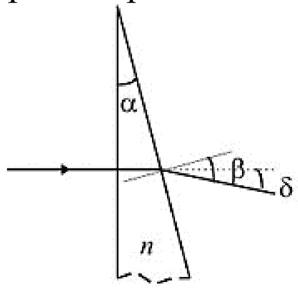
Задача 4 (20 баллов)

Старшеклассники провели опыт со стеклянной призмой, направив луч света перпендикулярно боковой грани призмы с преломляющим углом α = 20° (см. рис). Необходимо найти угол δ отклонения луча от первоначального направления при выходе из призмы, если внутри призмы он падает на вторую боковую грань. Абсолютный показатель преломления стекла принять n = 1,6.



Разбор задания:

1. Построим дальнейший ход луча (см. рис. Ниже). Угол падения луча на вторую боковую грань призмы равен преломляющему углу призмы α.



2. Запишем закон преломления для луча на этой грани:

$n \sin \alpha = \sin \beta$, где β – угол преломления.

3. Искомый угол δ отклонения луча $\delta = \beta - \alpha = \arcsin(n \sin \alpha) - \alpha$
4. Вычислим угол: $\delta \approx \arcsin(1{,}6\cdot 0{,}342) - 20^\circ \approx 33^\circ - 20^\circ = 13^\circ$

Ответ: 13°

Задача 5 (20 баллов)

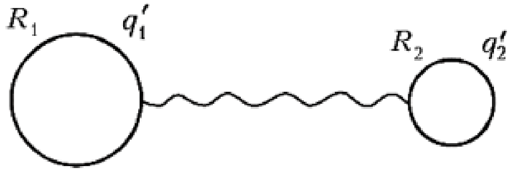
На большом расстоянии друг от друга расположили две металлические сферы. Первой сообщили заряд q, вторая осталась незаряженной. Сферы соединили длинным тонким проводником. Определить заряды сфер в конце процесса и количество выделившейся теплоты. Радиусы сфер равны R_1 и R_2.

Разбор задания:

1. После замыкания сфер система из них и проводника будет единой, откуда следует равенство потенциалов сфер:

$$k\frac{q_1'}{R_1} = k\frac{q_2'}{R_2}$$

(здесь q_1' и q_2' – заряды сфер после соединения, см. рис).



k – коэффициент пропорциональности, $k = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}$

2. Запишем закон сохранения заряда: $q = q_1' + q_2'$

Из уравнений (1) и (2) получаем:

$$q_1' = \frac{R_1}{R_1 + R_2} q; \quad q_2' = \frac{R_2}{R_1 + R_2} q$$

3. Для определения количества теплоты запишем закон сохранения энергии:

$W = W' + Q.$

4. Начальная энергия системы:

$W = \dfrac{k}{2}\dfrac{q^2}{R_1}$; конечная энергия $W' = \dfrac{k}{2}\dfrac{q_1'^2}{R_1} + \dfrac{k}{2}\dfrac{q_2'^2}{R_2} = \dfrac{k}{2}\dfrac{q^2}{(R_1 + R_2)}$,

5. Тогда Q $= W - W' = \dfrac{k}{2}\dfrac{q^2}{(R_1 + R_2)}\dfrac{R_2}{R_1}$

Ответ: $qR_1/(R_1 + R_2)$; $qR_2/(R_1 + R_2)$; $\dfrac{k}{2}\dfrac{q^2}{(R_1 + R_2)}\dfrac{R_2}{R_1}$