

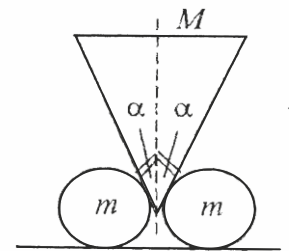
Межрегиональная олимпиада школьников на базе ведомственных образовательных учреждений (2014 г.).

Физика. 11 класс

Вариант 1

Задача 1 (3 балла). Маша поехала кататься с горки на ледянке, которая имела форму треугольника ABC, с тупым углом при вершине B. Ледянка съехала с горки на ледяной каток и движется по нему таким образом, что скорость вершины A направлена вдоль стороны AB, а скорость вершины B - вдоль стороны BC. Считая заданными длины сторон AB и BC, а также скорости указанных точек V_A и V_B , определить скорость точки C.

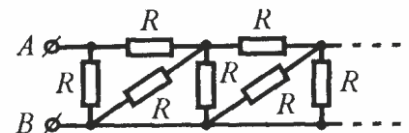
Задача 2 (5 баллов). При каком отношении M/m масс призмы M и цилиндров m цилиндры начнут раскатываться по горизонтальной поверхности при условии, что между призмой и цилиндрами нет проскальзывания? Коэффициент трения между цилиндрами и поверхностью $\mu = 0,4$; угол между боковой гранью призмы и вертикальной осью симметрии $\alpha = 45^\circ$.



Задача 3 (3 балла). Метеорит пробивает в обшивке космического корабля отверстие площадью $S = 1 \text{ мм}^2$. Объем жилых помещений корабля $V = 10^3 \text{ м}^3$, температура воздуха в них $t = 27^\circ \text{ С}$ при давлении $p = 10^5 \text{ Па}$, молярная масса воздуха $\mu = 29 \text{ г/моль}$. Оцените, сколько времени у космонавтов в запасе, чтобы надеть скафандры?

Задача 4 (2 балла). Скорости двух электронов V_1 и V_2 лежат в одной плоскости и при расстоянии $l = 10 \text{ мкм}$ между электронами образуют углы $\alpha = 45^\circ$ с прямой, соединяющей электроны. На какое минимальное расстояние сблизятся электроны, если $V_1 = V_2 = V_0 = 10^4 \text{ м/с}$? Заряд электрона $q = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$, масса $m = 0,9 \cdot 10^{-30} \text{ кг}$.

Задача 5 (3 балла). Определите сопротивление R_{AB} бесконечной цепи (см. рисунок), состоящей из периодически повторяющихся элементов. Считать сопротивление R известным.



Задача 6 (2 балла). Цветное стекло растерто в порошок, который кажется совершенно белым. Как узнать, каков был цвет стекла?

Задача 7 (1 балл). Зимой на автомобили ставят колеса с шинами со стальными шипами, что улучшает сцепление колеса с дорогой. Однако при морозах (-18° С и ниже) шипы становятся неэффективными. Лучший результат при морозе дают специальные зимние шины с мягкой резиной. Почему?

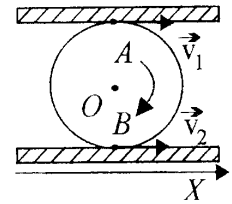
Примечание. В задачах, в которых даны числовые значения, необходимо сначала получить аналитический (буквенный) ответ; и только потом надо использовать численные данные из условия задачи для получения численного ответа.

Межрегиональная олимпиада школьников на базе ведомственных образовательных учреждений (2014 г.).

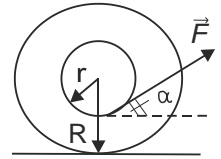
Физика. 11 класс

Вариант 2

Задача 1 (3 балла). Две параллельные рейки движутся со скоростями V_1 и V_2 в одном направлении. Между рейками зажат диск радиуса R . Проскальзывание между диском и рейками отсутствует. Какова угловая скорость вращения диска и скорость его центра?



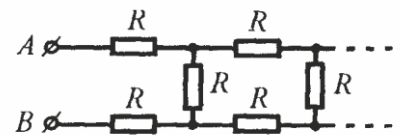
Задача 2 (5 баллов). На катушку, находящуюся на горизонтальной поверхности, намотана нитка, за которую Маша тянет с силой F . Радиус цилиндра, на который намотана нитка, $r = 4$ см, радиус обода катушки $R = 7$ см, масса катушки $m = 2$ кг, коэффициент трения скольжения между катушкой и полом $\mu = 0,85$. С какой минимальной силой F_{min} Маше надо тянуть за нитку, чтобы катушка вращалась, но не катилась?



Задача 3 (3 балла). Оцените число ударов молекул воздуха о поверхность оконного стекла площадью $S = 1$ м² со стороны комнаты за интервал времени $\tau = 1$ с. Температура воздуха в комнате $t = 27^\circ$ С, давление $p = 10^5$ Па, молярная масса воздуха $\mu = 29$ г/моль.

Задача 4 (2 балла). На горизонтальной поверхности на расстоянии $l = 30$ см друг от друга удерживаются два заряженных маленьких бруска массой $m = 1,6$ г каждый. Заряды брусков также одинаковы и равны $q = 7,5 \cdot 10^{-8}$ Кл. Какое расстояние пройдет каждый из брусков, если их освободить? Коэффициент трения о плоскость $\mu = 0,15$, $g = 10$ м/с².

Задача 5 (3 балла). Определите сопротивление R_{AB} бесконечной цепи (см. рисунок), состоящей из периодически повторяющихся элементов. Считать сопротивление R известным.



Задача 6 (2 балла). Почему днем Луна имеет чистый белый цвет, а после захода Солнца принимает желтоватый оттенок?

Задача 7 (1 балл). В одной из сказок Добрый молодец, чтобы услышать приближение вражеской конницы, ложился на землю и прикладывал ухо к земле. Почему через землю топот копыт был слышан, а в воздухе нет.

Примечание. В задачах, в которых даны числовые значения, необходимо сначала получить аналитический (буквенный) ответ; и только потом надо использовать численные данные из условия задачи для получения численного ответа.

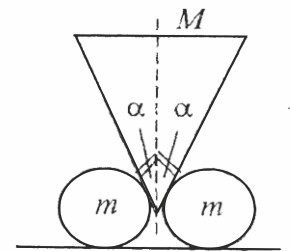
Межрегиональная олимпиада школьников на базе ведомственных образовательных учреждений (2014 г.).

Физика. 11 класс

Вариант 3

Задача 1 (3 балла). Саша поехал кататься с горки на лыжах AC. Он съехал с горки и попал на лед, и лыжи стали двигаться таким образом, что в данный момент времени скорость точки A («нос» лыжи) направлена под углом к лыжам AC, а скорость точки B (крепления ботинок к лыжам) направлена вдоль лыж. Считать заданными V_A и V_B , а также длины AB и BC. Определить скорость точки C (край задней части лыжи). Точка B лежит между точками A и C.

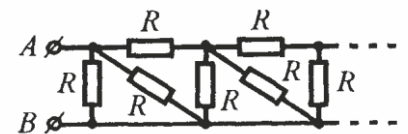
Задача 2 (5 баллов). При каком отношении M/m масс призмы M и цилиндров m цилиндры будут скользить по горизонтальной поверхности и не будут катиться? Угол между боковой гранью призмы и вертикальной осью симметрии $\alpha = 30^\circ$, коэффициент трения между призмой и цилиндрами $\mu_1 = 0,4$, коэффициент трения между цилиндрами и поверхностью $\mu_2 = 0,2$; угол между боковой гранью призмы и вертикальной осью симметрии $\alpha = 45^\circ$.



Задача 3 (3 балла). В замкнутом сосуде содержатся пары серебра при давлении $p = 10^{-1}$ Па, средняя кинетическая энергия атомов $\langle E \rangle = 3 \cdot 10^{-20}$ Дж. Молярная масса серебра $\mu = 108$ г/моль, плотность его в металлическом состоянии $\rho = 10,5$ г/см³. Оценить скорость роста пленки серебра на стенках сосуда, считая удары атомов серебра о стенки абсолютно неупругими.

Задача 4 (2 балла). Два точечных заряда $q_1 = 3 \cdot 10^{-4}$ Кл и $q_2 = 4 \cdot 10^{-4}$ Кл закреплены в вершинах треугольника A и B соответственно, а третий точечный заряд $q_3 = 2 \cdot 10^{-4}$ Кл массой $m = 20$ г удерживается в вершине C. Какую скорость разовьет этот заряд, если его отпустить? $AC = 5$ см; $BC = 6$ см; $AB = 7$ см. Силой тяжести пренебречь.

Задача 5 (3 балла). Определите сопротивление R_{AB} бесконечной цепи (см. рисунок), состоящей из периодически повторяющихся элементов. Считать сопротивление R известным.



Задача 6 (2 балла). Почему столб дыма, поднимающийся над костром, при свете дня на фоне дальнего леса кажется серо-голубым, на фоне неба - черным, а на фоне Солнца приобретает желтовато-красный оттенок?

Задача 7 (1 балл). Почему в сильный мороз снег под ногами хрустит, а при небольших отрицательных температурах этого не наблюдается?

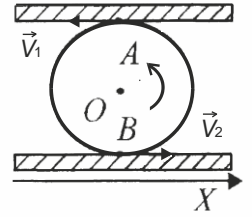
Примечание. В задачах, в которых даны числовые значения, необходимо сначала получить аналитический (буквенный) ответ; и только потом надо использовать численные данные из условия задачи для получения численного ответа.

Межрегиональная олимпиада школьников на базе ведомственных образовательных учреждений (2014 г.).

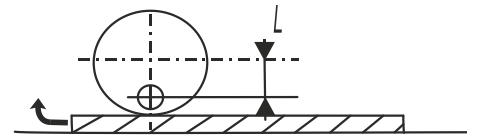
Физика. 11 класс

Вариант 4

Задача 1 (3 балла). Две параллельные рейки движутся со скоростями V_1 и V_2 в противоположных направлениях. Между рейками зажат диск радиуса R . Проскальзывание между диском и рейками отсутствует. Какова угловая скорость вращения диска и скорость его центра O ?



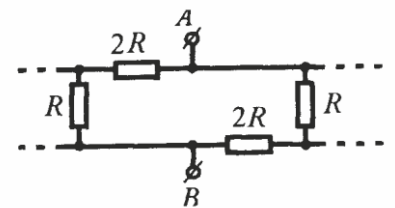
Задача 2 (5 баллов). В однородном цилиндре на расстоянии $l = 2R/3$ от центра параллельно оси Саша просверлил отверстие радиусом $r = R/4$. Отверстие заполнил веществом, плотность которого в $n = 11$ раз больше плотности вещества цилиндра. Цилиндр лежит на дощечке, которую Саша медленно поднимает за один конец. Каков максимальный угол наклона дощечки, при котором цилиндр еще может находиться на ней в равновесии? Коэффициент трения $\mu = 0,3$. R - радиус цилиндра.



Задача 3 (3 балла). Сосуд, содержащий разреженный газ, разделен на две части пористой проницаемой для молекул газа и не проводящей тепло перегородкой. Среди молекул, испытывающих столкновение с перегородкой, молекулы, проникающие сквозь перегородку, составляют пренебрежимо малую часть. Стенки каждой из двух частей сосуда поддерживаются при постоянных, но различающихся температурах $T_1 = 50$ К и $T_2 = 200$ К. Найти отношение концентраций в частях сосуда, разделенных перегородкой, в состоянии равновесия.

Задача 4 (2 балла). Точечные заряды $q_1 = 10$ мкКл, $Q = 100$ мкКл, $q_2 = 25$ мкКл расположены на одной прямой, при этом заряд Q находится между q_1 и q_2 . Расстояние между зарядами q_1 и Q - $r_1 = 3$ см, а между q_2 и Q - $r_2 = 5$ см. Какую минимальную работу нужно совершить, чтобы заряды q_1 и q_2 поменять местами?

Задача 5 (3 балла). Определите сопротивление R_{AB} бесконечной цепи (см. рисунок), состоящей из периодически повторяющихся элементов. Считать сопротивление R известным.



Задача 6 (2 балла). Почему, если смотреть над костром на предметы, находящиеся за ним, очертания предметов кажутся "колеблющимися"?

Задача 7 (1 балл). Какой воздух тяжелее - сухой или влажный?

Примечание. В задачах, в которых даны числовые значения, необходимо сначала получить аналитический (буквенный) ответ; и только потом надо использовать численные данные из условия задачи для получения численного ответа.

ОТВЕТЫ К ОЛИМПИАДЕ 11 – го КЛАССА- 2014г.

1 Вариант

$$1. V_C = \sqrt{(V_B^2 - V_A^2) \left(\frac{BC}{AC}\right)^2 + V_B^2}.$$

$$2. \frac{M}{m} \geq \frac{2\mu(1+\sin\alpha)}{\cos\alpha - \mu(1+\sin\alpha)} = 55, \text{ но только при } \mu_0 \geq \frac{\cos\alpha}{(1+\sin\alpha)} = 0,41.$$

$$3. \tau = \frac{3V}{S} \sqrt{\frac{\mu}{3RT}} \approx 10^4 \text{ ч.}$$

$$4. r_{min} = \frac{klq^2}{kq^2 + mV_0^2 \cos^2\alpha} = 3,4 \cdot 10^6 \text{ м.}$$

$$5. r = \frac{R}{\sqrt{3}}.$$

6. Необходимо смочить порошок, например, водой. Поверхность сухого порошка кажется белой потому, что она рассеивает падающий на порошок белый свет во все стороны. Если порошок смочить водой, то поверхность воды будет рассеивать свет только в определенных направлениях, а зерна порошка будут избирательно рассеивать белый свет, придавая рассеянному свету тона самого стекла. При этом насыщенность рассеянного света будет усилена за счет рассеяния его более глубокими слоями порошка

7. Там, где шип опирается на землю, возникает большое давление, под воздействием которого снег (лед) тает, и шип глубоко вгрызается в поверхность. При сильных морозах этого не происходит и сцепление с дорогой падает. Шины с мягкой не твердеющей на морозе резиной плотно прилегают к снежной дороге, обеспечивая достаточно высокое трение.

2 Вариант

$$1. \omega = \frac{V_1 - V_2}{2R}, V_O = \frac{V_1 + V_2}{2}.$$

$$2. F_{min} = \frac{\mu mg}{r/R + \mu\sqrt{1 - (r/R)^2}} \approx 13,4 \text{ Н.}$$

$$3. N = \frac{pS\Delta t N_A}{6} \sqrt{\frac{3}{R(t+273)\mu}} \approx 2 \cdot 10^{27}.$$

$$4. S = \frac{kq^2}{2\mu mgl} - \frac{l}{2} = 33,5 \text{ см.}$$

$$5. r = R(1 + \sqrt{3}).$$

6. Желтоватый оттенок Луны после захода Солнца обусловлен отражением солнечного света от ее поверхности. В дневное время к этому отраженному свету добавляется голубой свет неба, обусловленный рассеянием солнечного света в атмосферной оболочке Земли. Смешение этих цветов и воспринимается глазом как чистый белый цвет.

7. Скорость звука в твердом теле (в грунте) больше, чем в воздухе. Однако это обстоятельство не существенно, так как скорость конницы значительно меньше скорости звука. Дело в том, что звук, распространяясь в земле, меньше рассеивается и меньше поглощается, чем в воздухе.

3 Вариант

$$1. V_C = \sqrt{(V_B^2 - V_A^2) \left(\frac{BC}{AC}\right)^2 + V_B^2}.$$

$$2. \frac{M}{m} = \frac{2(\sin\alpha + \mu_1 \cos\alpha)}{\frac{\mu_1 - \sin\alpha - \mu_1 \cos\alpha + \mu_1(1 + \sin\alpha) - \cos\alpha}{\mu_2 \operatorname{tg}\alpha}}.$$

$$3. \frac{\Delta H}{\Delta t} \cong \frac{p}{\rho} \sqrt{\frac{\mu}{2N_A \langle E \rangle}} \approx 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$4. V = \sqrt{\frac{2kq_3}{m} \left(\frac{q_1}{|BC|} + \frac{q_2}{|AC|}\right)} = 153 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$5. r = \frac{R(\sqrt{3}-1)}{2}.$$

6. На фоне леса костер наблюдается в отраженном солнечном свете. Так как синий свет рассеивается дымкой сильнее всего, то в цвете дыма на фоне дальнего (темного) леса преобладают серо-голубые тона. Когда костер наблюдают на фоне неба, то глаз улавливает проходящий сквозь дым солнечный свет. Поскольку падающий на дым свет преимущественно голубой, то полное отражение его дымом воспринимается глазом как черный цвет. На фоне Солнца дым наблюдается в проходящем солнечном свете, т.е. свете преимущественно белого цвета. Опять же вследствие сильного отражения синего цвета, в проходящем через дым свете преобладают тона, относящиеся к другому участку спектра дневного света, т.е. к желто-красному.

7. Под ногами давление распределено неравномерно. В местах высокого давления кристаллы льда (снежинки) тают даже при отрицательных температурах, образуя водяную «смазку» для остальных снежинок, которые уплотняются без сильного звука. При морозах таяния не происходит и кристаллы под давлением раскалываются, создавая характерный звук.

4 Вариант

$$1. \omega = \frac{V_1 + V_2}{2R}, V_0 = \frac{V_1 - V_2}{2}.$$

2. $\alpha_{\text{кр}} = \min\left\{\arctg\mu, \arcsin\frac{2}{3}\frac{(n-1)}{(n+15)}\right\} \approx \min\{17^\circ, 15^\circ\} = 15^\circ$, При $\alpha > \alpha_{\text{кр}}$ цилиндр будет скатываться с дощечки.

$$3. \frac{n_1}{n_2} = \sqrt{\frac{T_2}{T_1}}.$$

$$4. A = W_K - W_H = \frac{k(q_1 - q_2)Q(r_1 - r_2)}{r_1 r_2} = 90 \text{ Дж}.$$

$$5. r = \frac{R(\sqrt{3}+1)}{2}.$$

6. Показатель преломления воздуха зависит от температуры. Из-за неоднородного распределения температуры в пламени костра, лучи света, отразившиеся от разных точек предметов, искривляются по-разному, что приводит к смещению изображений различных точек предметов на сетчатке глаза. Аналогичный эффект можно наблюдать, если в жаркий день смотреть на воздух над разогретым асфальтом.

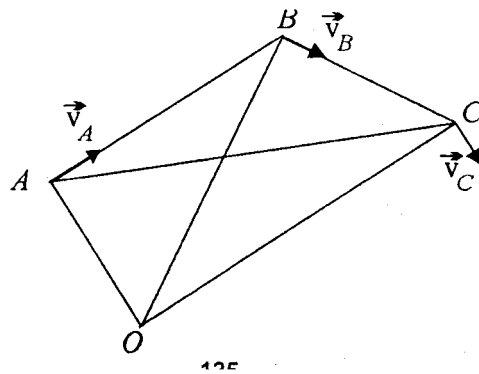
7. При одинаковых температуре и давлении сухой воздух тяжелее, так как концентрация молекул зависит только от температуры и давления, а не от вида газа (в приближении идеального газа). В сыром воздухе часть молекул азота и кислорода замещена молекулами воды, которые легче, чем молекулы азота или кислорода.

Решения задач для 11 класса 1 варианта.

Вариант 1, Задача 1 (3 балла). Маша поехала кататься с горки на ледянке, которая имела форму треугольника ABC , с тупым углом при вершине B . Ледянка съехала с горки на ледяной каток и движется по нему таким образом, что скорость вершины A направлена вдоль стороны AB , а скорость вершины B - вдоль стороны BC . Считая заданными длины сторон AB и BC , а также скорости указанных точек V_A и V_B , определить скорость точки C .

Решение.

Проведем $OA \perp AB$ и $OB \perp BC$. Построением находим неподвижную точку O , относительно которой треугольник ΔABC совершает в данный момент вращательное движение (через точку O перпендикулярно плоскости чертежа проходит «мгновенная ось вращения»), т.е. можем исключить из рассмотрения поступательную составляющую движения ΔABC . Отсюда следует направление векторов $\vec{V}_A, \vec{V}_B, \vec{V}_C$, указанное на рисунке.



$$\begin{cases} OB^2 = OA^2 + AB^2; \\ OC^2 = OB^2 + BC^2 \\ V_A^2 = \omega^2 \cdot OA^2; \\ V_B^2 = \omega^2 \cdot OB^2; \\ V_C^2 = \omega^2 \cdot OC^2, \\ \frac{V_B^2}{\omega^2} = \frac{V_A^2}{\omega^2} + AB^2; \\ \frac{V_C^2}{\omega^2} = \frac{V_B^2}{\omega^2} + BC^2, \end{cases}$$

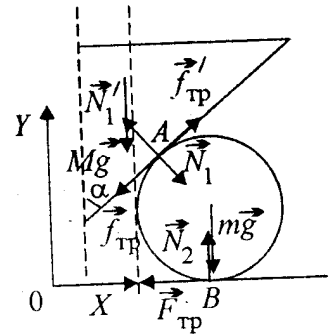
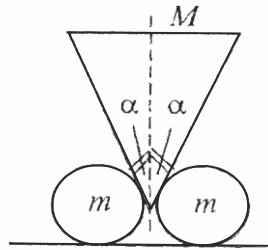
$$V_C = \sqrt{(V_B^2 - V_A^2) \left(\frac{BC}{AC}\right)^2 + V_B^2}.$$

Ответ: $V_C = \sqrt{(V_B^2 - V_A^2) \left(\frac{BC}{AC}\right)^2 + V_B^2}.$

Вариант 1, Задача 2 (5 баллов). При каком отношении M/m масс призмы M и цилиндров m цилиндры начнут раскатываться по горизонтальной поверхности при условии, что между призмой и цилиндрами нет проскальзывания? Коэффициент трения между цилиндрами и поверхностью $\mu = 0,4$; угол между боковой гранью призмы и вертикальной осью симметрии $\alpha = 45^\circ$.

Решение.

Вследствие симметрии системы относительно вертикальной плоскости, проходящей через вершину призмы параллельно оси цилиндра, нет смысла рассматривать всю систему в целом. Достаточно ограничиться одним цилиндром и той половиной призмы, с которой он взаимодействует.



На рисунке \vec{f}_{mp} и \vec{N}_1 – силы трения и нормального давления, действующие на цилиндр со стороны клина, соответственно. Аналогичные силы, действующие со стороны цилиндра на клин, обозначены, как \vec{f}'_{mp} и \vec{N}'_1 . По третьему закону Ньютона:

$$\vec{f}_{mp} = -\vec{f}'_{mp}, \quad \vec{N}_1 = -\vec{N}'_1,$$

\vec{F}_{mp} и \vec{N}_2 – силы, действующие со стороны поверхности на цилиндр.

Систему координат выберем так, как показано на рисунке.

Условие раскатывания цилиндров означает, что момент сил, вращающих цилиндр против часовой стрелки, должен быть больше или равен моменту сил, вращающих его по часовой стрелке, т.е.

$$f_{mp} \geq F_{mp}.$$

При выводе этого условия принято во внимание, что плечи каждой из сил \vec{f}_{mp} и \vec{F}_{mp} одинаковы и равны радиусу цилиндра. Моменты других, действующих на цилиндр сил, равны нулю, так как их направление проходит через ось цилиндра.

Условие отсутствия проскальзывания между призмой и цилиндрами означает, что

$$\text{для цилиндра: } \vec{N}_1 + m\vec{g} + \vec{N}_2 + \vec{F}_{mp} + \vec{f}_{mp} = 0,$$

$$\text{для клина: } \frac{M\vec{g}}{2} + \vec{N}'_1 + \vec{f}'_{mp} = 0.$$

Проецируя эти уравнения на выбранные оси и принимая во внимание, что

$$|\vec{f}_{mp}| = |\vec{f}'_{mp}| = f$$

и

$$|\vec{N}_1| = |\vec{N}'_1| = N_1,$$

Получим систему уравнений:

$$\begin{cases} N_1 \cos \alpha - f \sin \alpha - F_{mp} = 0; \\ -N_1 \sin \alpha - mg + N_2 - f \cos \alpha = 0; \\ -\frac{Mg}{2} + N_1 \sin \alpha + f \cos \alpha = 0. \end{cases}$$

Сложив второе и третье уравнение системы, найдем

$$N_2 = \left(m + \frac{M}{2}\right)g.$$

При раскатывании призмы и цилиндров $F_{mp} = \mu N_2$. Используя эту связь, исключим из первого и второго уравнений системы N_2 :

$$N_1(\cos \alpha - \mu \sin \alpha) - f(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) - \mu mg = 0.$$

Домножив это уравнение на $\sin \alpha$, а третье уравнение системы на $(\cos \alpha - \mu \sin \alpha)$ и вычитая из одного из этих уравнений другое, получим

$$f = \frac{Mg}{2} (\cos\alpha - \mu\sin\alpha) - \mu mg\sin\alpha.$$

Воспользуемся условием раскатывания:

$$g \left[\frac{M}{2} (\cos\alpha - \mu\sin\alpha) \right] - \mu g\sin\alpha \geq \mu g \left(m + \frac{M}{2} \right).$$

Отсюда

$$\frac{M}{m} \geq \frac{2\mu(1 + \sin\alpha)}{\cos\alpha - \mu(1 + \sin\alpha)} = 55.$$

Подстановка численных значений дает $\frac{M}{m} \geq 55$. Данная ситуация может осуществиться лишь в том случае, если призма в месте ее соприкосновения с цилиндром не проскальзывает по цилиндру, т.е. если силой, вращающей цилиндр вокруг его оси, является сила трения покоя. Это условие можно записать, как

$$f_{mp} \leq \mu_0 N_1,$$

где μ_0 - коэффициент трения скольжения между призмой и цилиндром. С другой стороны, как отмечалось,

$$f \geq \mu N_2.$$

Следовательно, эта ситуация осуществляется, если $\mu_0 \geq \mu \frac{N_2}{N_1}$.

Отношение $\frac{N_2}{N_1}$ можно определить из первого уравнения приведенной системы, если положить в нем $f_{mp} = F_{mp} = \mu N_2$. Тогда $\frac{N_2}{N_1} = \frac{\cos\alpha}{\mu(1+\sin\alpha)}$ и $\mu_0 \geq \frac{\cos\alpha}{(1+\sin\alpha)}$.

Ответ: $\frac{M}{m} \geq \frac{2\mu(1+\sin\alpha)}{\cos\alpha - \mu(1+\sin\alpha)} = 55$, но только при $\mu_0 \geq \frac{\cos\alpha}{(1+\sin\alpha)} = 0,41$.

Вариант 1, Задача 3 (3 балла). Метеорит пробивает в обшивке космического корабля отверстие площадью $S = 1 \text{ мм}^2$. Объем жилых помещений корабля $V = 10^3 \text{ м}^3$, температура воздуха в них $t = 27^\circ \text{ С}$ при давлении $p = 10^5 \text{ Па}$, молярная масса воздуха $\mu = 29 \text{ г/моль}$. Оцените, сколько времени у космонавтов в запасе, чтобы надеть скафандры?

Решение.

При заданных условиях ($p = 10^5 \text{ Па}$) воздух можно считать идеальным газом, поэтому молекулы воздуха, удаленные от отверстия на расстояние не большее чем $\langle V \rangle \Delta t$ ($\langle V \rangle$ - средняя скорость молекул, под которой будем иметь ввиду близкую к ней среднеквадратическую скорость, $\Delta t = \frac{1}{\nu}$, ν - частота столкновений молекул), будут вылетать в отверстие, и столкновениями друг с другом можно пренебречь при этом за время Δt из отверстия вылетят в среднем

$$\Delta N = \frac{nS\langle V \rangle \Delta t}{6}$$

молекул воздуха, т.е. те молекулы, которые находятся в объеме $S\langle V \rangle \Delta t$ и движутся в направлении отверстия, n - концентрация молекул. Это - 1/6 часть (примерно) всех молекул, заключенных в объеме $S\langle V \rangle \Delta t$.

Концентрацию молекул можно выразить через давление p и температуру T из уравнения состояния идеального газа $p = nkT$, а скорость можно найти из соотношения, связывающего среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекулы $\langle E \rangle$ и абсолютную температуру

$$\langle E \rangle = \frac{3}{2} kT = m_0 \frac{\langle V^2 \rangle}{2}$$

m_0 - масса молекулы.

Тогда

$$\Delta N = \frac{pS\Delta t}{6kT} \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \frac{pS\Delta t N_A}{6} \sqrt{\frac{3}{RT\mu}} \approx 2 \cdot 10^{27}.$$

Здесь $N_A = 6 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}}$.

В единицу времени в отверстие площадью S будет вылетать $\frac{\Delta N}{\Delta t} = \frac{pS}{6} N_A \sqrt{\frac{3}{RT\mu}}$ молекул. Полное число молекул воздуха в корабле N найдем из уравнения Клайперона-Менделеева:

$$N = n \cdot V = \frac{pV}{kT}.$$

Полагая, что скорость утечки воздуха неизменна, а давление воздуха в корабле, необходимое для жизнеобеспечения космонавтов, не меньше половины атмосферного, время утечки и, следовательно, время, которое есть у космонавтов в запасе, можно найти как

$$\tau = \frac{N}{\Delta N / \Delta t} = \frac{3V}{S} \sqrt{\frac{\mu}{3RT}} \approx 10^4 \text{ ч.}$$

Ответ: $\tau = \frac{3V}{S} \sqrt{\frac{\mu}{3RT}} \approx 10^4 \text{ ч.}$

Вариант 1, Задача 4 (2 балла). Скорости двух электронов V_1 и V_2 лежат в одной плоскости и при расстоянии $l = 10$ мкм между электронами образуют углы $\alpha = 45^\circ$ с прямой, соединяющей электроны. На какое минимальное расстояние сблизятся электроны, если $V_1 = V_2 = V_0 = 10^4$ м/с? Заряд электрона $q = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, масса $m = 0,9 \cdot 10^{-30}$ кг.

Решение.

При движении электронов за счет кулоновского отталкивания будут уменьшаться составляющие их скоростей, направленные вдоль прямой, соединяющей электроны. При максимальном сближении электронов эти составляющие станут равными нулю. Составляющие скоростей электронов, перпендикулярные этой прямой, меняться в процессе движения не будут. Для вычисления минимального расстояния между электронами воспользуемся законом сохранения энергии для системы двух электронов:

$$\frac{kq^2}{l} + 2 \frac{mV_0^2}{2} = \frac{kq^2}{r_{min}} + 2 \frac{mV_0^2 \cos^2 \alpha}{2}.$$

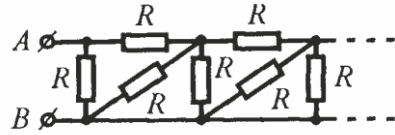
Отсюда

$$r_{min} = \frac{klq^2}{kq^2 + mV_0^2 \cos^2 \alpha} = 3,4 \cdot 10^6 \text{ м.}$$

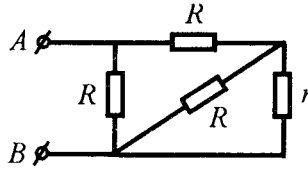
$$\text{Ответ: } r_{min} = \frac{klq^2}{kq^2 + mV_0^2 \cos^2 \alpha} = 3,4 \cdot 10^6 \text{ м.}$$

Вариант 1, Задача 5 (3 балла).

Определите сопротивление R_{AB} бесконечной цепи (см. рисунок), состоящей из периодически повторяющихся элементов. Считать сопротивление R известным.



Решение.



Цепь, которая начинается со второго из периодически повторяющихся элементов, подобна исходной. Обозначим ее сопротивление

$$R_{AB} = \frac{R(R + 2r)}{2R + 3r} = r.$$

Отсюда $r = \frac{R}{\sqrt{3}}$.

Ответ: $r = \frac{R}{\sqrt{3}}$.

Вариант 1, Задача 6 (2 балла). Цветное стекло растерто в порошок, который кажется совершенно белым. Как узнать, каков был цвет стекла?

Решение.

Необходимо смочить порошок, например, водой. Поверхность сухого порошка кажется белой потому, что она рассеивает падающий на порошок белый свет во все стороны.

Если порошок смочить водой, то поверхность воды будет рассеивать свет только в определенных направлениях, а зерна порошка будут избирательно рассеивать белый свет, придавая рассеянному свету тона самого стекла. При этом насыщенность рассеянного света будет усилена за счет рассеяния его более глубокими слоями порошка.

Вариант 1, Задача 7 (1 балл). Зимой на автомобили ставят колеса с шинами со стальными шипами, что улучшает сцепление колеса с дорогой. Однако при морозах (-18°C и ниже) шипы становятся неэффективными. Лучший результат при морозе дают специальные зимние шины с мягкой резиной. Почему?

Решение.

Там, где шип опирается на землю, возникает большое давление, под воздействием которого снег (лед) тает, и шип глубоко вгрызается в поверхность. При сильных морозах этого не происходит и сцепление с дорогой падает. Шины с мягкой не твердеющей на морозе резиной плотно прилегают к снежной дороге, обеспечивая достаточно высокое трение.