

**Варианты задач вступительных экзаменов по физике 2000 года
Новосибирский государственный университет**

Физический факультет

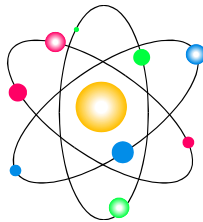
Первые три задачи – расчетные, различной степени трудности: от почти стандартных до сравнительно сложных, требующих смекалки, глубоких знаний, умения ориентироваться в непривычной или усложненной ситуации.

Четвертая задача – задача-оценка¹. Для ее решения необходимо разобратся в рассматриваемом физическом явлении, сформулировать простую (так как нужна только оценка) физическую модель этого явления, выбрать разумные числовые значения физических величин, и, наконец, получить численный результат, более или менее соответствующий реальности. В тексте задачи подчеркивается, что абитуриент может сам выбрать необходимые для решения задачи величины и их числовые значения.

Пятая задача - задача-демонстрация, при решении которой необходимо объяснить физическое явление, демонстрируемое в аудитории. Среди различных факторов, влияющих на процесс, необходимо выделить главный.

Длительность экзамена – пять астрономических часов.

**ВАРИАНТЫ ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ,
предлагавшиеся
на вступительных письменных
экзаменах в НГУ на ФФ, ФЕН и ГГФ,
включая открытую олимпиаду,
в 2000 году
(с решениями)**



¹ О задачах-оценках смотрите:

Меледин Г. В. Физика в задачах. Экзаменационные задачи с решениями. 3-е изд. М.: Физматлит, 1994.

Меледин Г. В. Задачи-оценки. Практикум абитуриента. Приложение к журналу «Квант» №2/95. Задачи - оценки. Стр. 107-115. М.: Бюро Квантум, 1995.

Варианты состояли из четырех задач из разных разделов физики примерно одинаковой степени трудности. В вариантах для геологов последняя задача по сути была теоретическим вопросом.

Длительность экзамена - четыре астрономических часа.

Поступающим в 2000 году предлагались следующие варианты задач по физике:

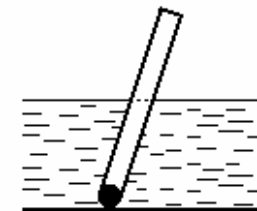
	Март
01р-ФФ, 02р-ФФ	– абитуриентам физического факультета;
05р-ФЕН	– абитуриентам факультета естественных наук;
07р-ГГФ	– абитуриентам геолого-геофизического факультета.
	Июль
03-ФФ, 04-ФФ	– абитуриентам физического факультета;
06-ФЕН	– абитуриентам факультета естественных наук;
08-ГГФ	– абитуриентам геолого-геофизического факультета.

ВНИМАНИЕ: задача не считалась решенной, если без объяснений приводился лишь ответ.

Таблица приближенных значений физических величин и универсальных постоянных, необходимых при решении задач-оценок и демонстрационных задач

Атмосферное давление	$P_0 \approx 10^5 \text{ Па}$
Ускорение свободного падения	$g \approx 10 \frac{\text{м}}{\text{сек}^2}$
Гравитационная постоянная	$G \approx 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2}$
Средний радиус Земли	$R_3 \approx 6,4 \cdot 10^6 \text{ м}$
Универсальная газовая постоянная	$R \approx 8,3 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$
Число Авогадро	$N_A \approx 6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}}$
Элементарный заряд	$e \approx 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Коэффициент пропорциональности в законе Кулона	$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$

1. В узкой пробирке длины L и сечения S находится тяжелый шарик, так что пробирка погружена наполовину в жидкость плотности ρ и касается дна, как показано на рисунке. Найти массу пустой пробирки.



2. Из баллона с сжиженным газом заполнили газом сосуд объема V_0 . Когда температура в баллоне и сосуде приняла снова исходное значение T , давление в сосуде стало P_0 , а объем жидкости в баллоне уменьшился на V . Найдите давление насыщенного пара над жидкостью в баллоне, если ее плотность ρ , а молярная масса μ .

3. Незаряженная неподвижная частица распалась в магнитном поле с индукцией B на две частицы с массами m_1 и m_2 и зарядами q и $-q$. Найти время, через которое частицы встретятся, если кулоновским взаимодействием осколков пренебречь.

4. Водород находится в закрытом сосуде объемом 1 л при комнатной температуре и атмосферном давлении. Сосуд выдерживает давление 10 атмосфер. Оценить, какую часть электронов надо удалить из газа в сосуде, чтобы он лопнул. Заряд электрона $e \approx 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$, коэффициент пропорциональности в законе Кулона

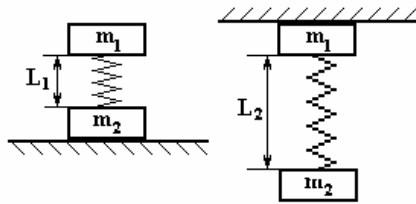
$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}.$$

Предполагается, что Вы хорошо представляете явление, можете сами задать недостающие и необходимые для решения задачи величины, выбрать их числовые значения и получить численный результат.

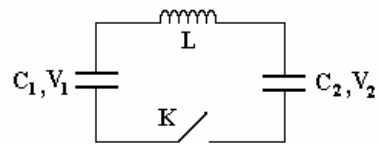
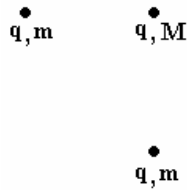
5. Полиэтиленовая цилиндрическая упаковка от фотоленки выскальзывает при попытке разрезать ее ножницами, в то время как полиэтиленовая пластинка той же толщины, что и стенки коробочки, легко разрезается. Объясните демонстрируемое явление.

Вариант 02р - ФФ

1. Два груза с массами m_1 и m_2 соединены невесомой пружиной. Если груз 2 положить на опору, оставив груз 1 висеть над ним, то пружина сожмется до длины L_1 . Если же придержать груз 1, заставив груз 2 висеть на пружине, то она растянется до длины L_2 . Какова длина пружины в ненапряженном состоянии?



2. Три частицы с одинаковыми зарядами находятся в вершинах равнобедренного прямоугольного треугольника. При какой массе M частицы, находящейся в вершине прямого угла, все частицы при разлете будут находиться в вершинах подобного треугольника? Массы двух остальных частиц равны m .



3. Конденсатор с емкостью C_1 заряжен до напряжения V_1 , а с емкостью C_2 до напряжения V_2 . Какой максимальный ток будет в цепи после замыкания ключа? Индуктивность равна L .

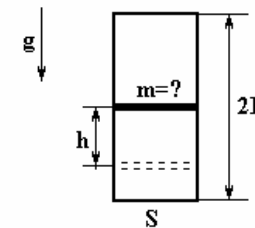
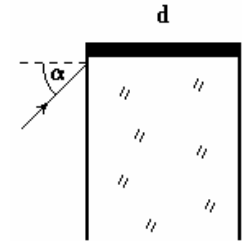
4. Оценить силу притяжения двух половинок Земли.

Предполагается, что Вы хорошо представляете явление, можете сами задать недостающие и необходимые для решения задачи величины, выбрать их числовые значения и получить численный результат.

5. Полиэтиленовая цилиндрическая упаковка от фотопленки выскальзывает при попытке разрезать ее ножницами, в то время как полиэтиленовая пластинка той же толщины, что и стенки коробочки, легко разрезается. Объясните демонстрируемое явление.

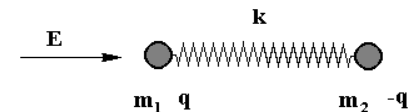
Вариант 03 - ФФ

1. Плоскопараллельная прозрачная пластина толщины d с показателем преломления $n > 1$ ограничена сверху зеркальной гранью, перпендикулярной ее сторонам. Луч света падает на пластину вблизи ребра, образованного стороной и верхней гранью, под углом α с нормалью к пластине. На каком расстоянии от верхней грани выйдет свет с другой стороны пластины?



2. Цилиндрический теплоизолированный сосуд высотой $2L$ и площадью основания S стоит вертикально в поле тяжести (ускорение свободного падения g). Сосуд в начальный момент разделен на две одинаковые части теплопроводящим поршнем массы m , а в каждой из половинок находится газ с давлением P_0 . Затем поршень отпускают, и он после затухания колебаний опускается на расстояние h от первоначального положения. Найти массу m поршня. Толщиной и теплоемкостью поршня пренебречь. Внутренняя энергия газа с давлением P и объемом V равна $E = \alpha PV$, где α - некоторая константа.

3. Два тела с массами m_1 и m_2 и зарядами q и $-q$ соединены пружиной жесткости k и находятся в состоянии покоя (пружина не растянута). Мгновенно включается электрическое поле E , направленное вдоль пружины. Найти максимальные значения скоростей первого и второго тела при последующем движении. Электрическим взаимодействием тел между собой пренебречь.



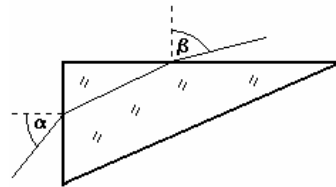
4. Оценить относительное изменение периода обращения Земли вокруг оси $(\Delta T/T)$, при котором относительное изменение веса тела $(\Delta P/P)$ будет равно 10 %.

Предполагается, что Вы хорошо представляете явление, можете сами задать недостающие и необходимые для решения задачи величины, выбрать их числовые значения и получить численный результат.

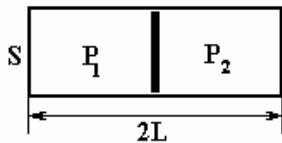
5. Деревянный стержень подвешен на нити над сосудом с водой. При подъеме сосуда стержень погружается в воду сначала вертикально, затем наклоняется, а при дальнейшем подъеме остается горизонтальным. Объясните демонстрируемое явление.

Вариант 04 - ФФ

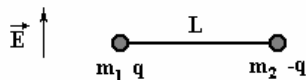
1. Луч, падающий на грань прямоугольной призмы, образует угол α с нормалью к грани в точке падения, а луч, выходящий из смежной грани после двойного преломления, образует угол β с нормалью к этой грани. Найти показатель преломления материала призмы.



2. Теплоизолированный сосуд длины $2L$ разделен в начальный момент на две одинаковые части теплопроводящим поршнем. Давление газа в одной половине сосуда равно P_1 , в другой P_2 , а температура в сосуде T . Затем поршень отпускают. Найти, на сколько он сместится после затухания колебаний, и какая будет конечная температура в сосуде. Толщиной и теплоемкостью поршня пренебречь. Внутренняя энергия газа с давлением P и объемом V равна $E = \alpha PV$, где α - некоторая константа.



3. Два тела с массами m_1 и m_2 и зарядами q и $-q$ соединены легким стержнем длины L и находятся в состоянии покоя. Стержень выдерживает максимальную силу растяжения T . Мгновенно включается электрическое поле E , направленное перпендикулярно стержню. Найти максимальное E , при котором стержень при последующем движении тел не разорвется.



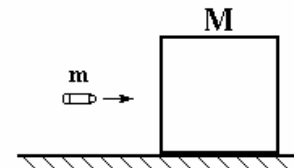
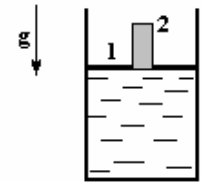
4. Оценить относительные изменения периодов колебаний маятников $((T - T_0)/T_0)$, находящихся в поездах, идущих вдоль экватора с запада на восток и с востока на запад по отношению к периоду колебаний маятника T_0 в стоящем поезде.

Предполагается, что Вы хорошо представляете явление, можете сами задать недостающие и необходимые для решения задачи величины, выбрать их числовые значения и получить численный результат.

5. Деревянный стержень подвешен на нити над сосудом с водой. При подъеме сосуда стержень погружается в воду сначала вертикально, затем наклоняется, а при дальнейшем подъеме остается горизонтальным. Объясните демонстрируемое явление.

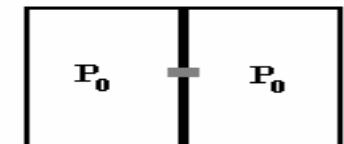
Вариант 05p - ФЕН

1. Сосуд с жидкостью плотности ρ закрыт двумя подвижными поршнями с площадью S_1 и S_2 . Площадь основания равна $S_1 + S_2$, как показано на рисунке. Какую работу надо совершить, чтобы вдавить поршень 2 внутрь жидкости? Массой поршней и толщиной первого поршня пренебречь. Толщина второго поршня равна h .



2. Куб массы M с ребром a стоит на гладкой горизонтальной поверхности. В центр куба попадает пуля массы m . При какой минимальной скорости пуля пролетит через куб, если сила трения, действующая на пулю со стороны куба, равна F .

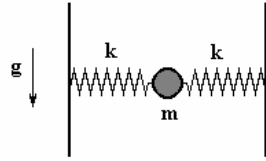
3. В сосуде с объемом V находится газ при давлении P_0 . Сосуд разделен пополам тонким поршнем с площадью S , в котором есть небольшое отверстие, закрытое пробкой. Пробка выскакивает при перепаде давления P_1 . На сколько надо сместить поршень, чтобы пробка выскочила? Температура газа не меняется.



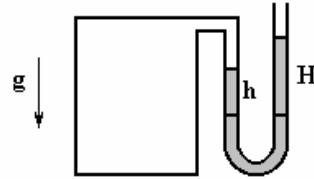
4. На нижнем конце неподвижной вертикально расположенной в поле тяжести спицы закреплена бусинка с зарядом q_1 . Вторая бусинка с зарядом q_2 и массой m может свободно двигаться вдоль спицы. В начальный момент времени вторая бусинка имела нулевую скорость и находилась на высоте h над первой. Найти максимальную скорость второй бусинки. Ускорение свободного падения g .

Вариант 06р - ФЕН

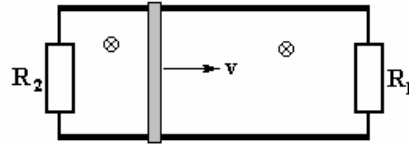
1. Тело массой m прикреплено двумя одинаковыми пружинами жесткостью k к вертикальным стенкам, расстояние между которыми равно $2L$. В начальный момент тело находилось в покое, а пружины были горизонтальны и не растянуты. Найти ускорение тела в момент, когда угол между пружинами будет равен α . Ускорение свободного падения равно g .



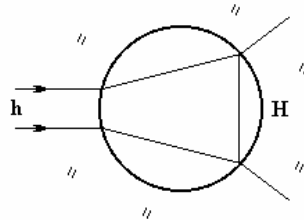
2. Сосуд с воздухом соединен с левым коленом U-образной трубки, в которой находится жидкость плотности ρ . Уровни жидкости в левом и правом коленях вначале равны. Площадь сечения трубки S . Суммарный объем воздуха в сосуде и левом колене V . В правое колено добавим некоторое количество жидкости, после чего установившийся уровень в правом колене повысился на H , а в левом колене на h . Найти величину атмосферного давления. Температура не меняется.



3. По параллельным проводящим горизонтальным рельсам, замыкаемым на концах сопротивлениями R_1 и R_2 , может без трения двигаться проводящая перемычка массы m . Система находится в однородном магнитном поле, направленном перпендикулярно плоскости, образуемой рельсами. В начальный момент скорость перемычки равна v . Какая энергия выделится на каждом из сопротивлений к моменту остановки перемычки? Сопротивлением рельсов и перемычки пренебречь.

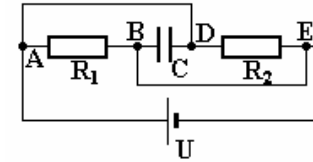
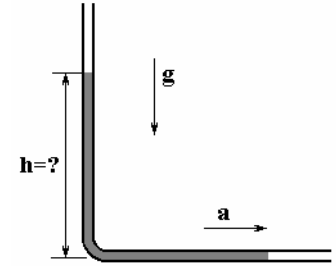


4. Узкий параллельный пучок света шириной h , идущий в среде с показателем преломления n , проходит симметрично относительно центра O сферического воздушного ($n = 1$) пузырька радиуса $R \gg h$. Во сколько раз увеличится ширина H пучка при выходе из пузырька? Углы в задаче малы, так что $\sin \alpha \approx \tan \alpha \approx \alpha$, $\cos \alpha \approx 1$.



Вариант 07р - ГГФ

1. Узкую трубку, согнутую под углом 90° , двигают с ускорением a вдоль ее горизонтальной части. В трубку налита жидкость. Концы открыты. На какую высоту h относительно горизонтальной части трубки поднимется уровень жидкости в ее вертикальной части? Полная длина столбика жидкости l , ускорение свободного падения равно g .



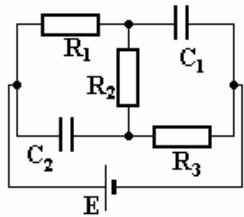
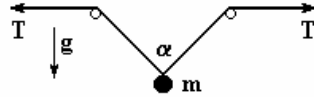
2. Конденсатор емкости C и сопротивления R_1 и R_2 включены в электрическую цепь, как показано на рисунке. Участки AD и BE закорочены. Найти токи J_1 и J_2 через сопротивления R_1 и R_2 , а также заряд на конденсаторе. Внутренним сопротивлением батареи с постоянной ЭДС U пренебречь.

3. Один конец натянутого растяжимого троса закреплен на застрявшем автомобиле, другой привязан к прочному дереву. Расстояние между деревом и автомобилем $L = 20$ м. Трос медленно потянули за середину перпендикулярно его начальной ориентации и сместили середину троса на расстояние $l = 0,1$ м. В этот момент сила, приложенная к тросу, равна F . Во сколько раз эта сила меньше силы, действующей на автомобиль?

4. а) Что называется первой космической скоростью?
 б) Выведите формулу для первой космической скорости V_1 и вычислите ее значение для Земли.
 в) Космическая станция "Мир" находится на высоте около 300 км над поверхностью Земли и движется практически по круговой орбите. Больше или меньше ее скорость, чем V_1 ? Почему?

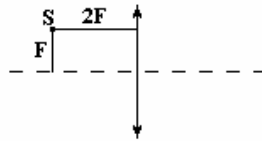
Вариант 08 - ГГФ

1. К телу массой m прикреплены две веревки. Вербки перекинута через блоки, и за каждую из них тянут с силой T . При этом тело поднимается вертикально. Найти ускорение тела в момент, когда угол между веревками будет равен $\alpha = 60^\circ$. Ускорение свободного падения равно g .



2. Схема, изображенная на рисунке, состоит из трех сопротивлений R_1, R_2, R_3 , двух конденсаторов с емкостями C_1, C_2 и источника ЭДС E . Найти установившийся в цепи ток J и заряды на конденсаторах q_1, q_2 .

3. Точка S находится на расстоянии $2F$ от собирающей линзы с фокусным расстоянием F и на расстоянии F от ее главной оптической оси. Найти расстояние SS_I между точкой S и ее изображением S_I .



4. Сформулируйте:
- первый закон Ньютона;
 - третий закон Ньютона;
 - второй закон Ньютона, запишите формулу.

Ответы, решения, указания

Вариант 01р-ФФ

1. Условие равновесия пробирки с шариком: равенство нулю действующих сил и моментов. Если рассматривать моменты сил относительно маленького тяжелого шарика, то плечи силы тяжести шарика и реакции дна равны нулю. Тогда момент силы тяжести пробирки равен моменту архимедовой силы:

$$mg \frac{L}{2} \cos \alpha = \rho S g \frac{L}{2} \frac{L}{4} \cos \alpha, \text{ откуда } m = \rho S \frac{L}{4}.$$

При вы-

боре другой точки при решении необходимо использовать и условие равенства суммы сил нулю.

2. Пусть из баллона вышла масса m . В баллоне после установления равновесия насыщенный пар занял место жидкости (сжиженного газа). Поэтому $m = (\rho - \rho_H)V$. Из уравнения состояния для насыщенного пара получаем связь между его плотностью и давлением $\rho_H = \mu P_H / RT$. Уравнение состояния для газа в сосуде $P_0 V_0 = mRT / \mu$, откуда получаем

$P_H = \rho RT / \mu - P_0 V_0 / V$ (конечно, модель идеального газа для насыщенного пара даже вдали от критической точки “работает” лишь с точностью 10-20 %).

3. Из закона сохранения импульса скорости осколков сразу после распада направлены в разные стороны и связаны уравнением $m_1 V_1 = m_2 V_2$. В общем случае траектория движения заряженной частицы в постоянном магнитном поле - спираль, где $V_\perp$ определяет вращение по окружности, а $V_\parallel$ - перенос с постоянной скоростью. Если бы у осколков существовали $V_\parallel$, то они были направлены в разные стороны, и встреча была невозможна. Следовательно, осколки двигаются в одной плоскости, которая перпендикулярна B . Из уравнений движения для каждого осколка $m_1 V_1^2 / R_1 = q V_1 B$ и $m_2 V_2^2 / R_2 = q V_2 B$ следует $R_2 = m_2 V_2 / q B = R_1 = m_1 V_1 / q B = R$.

Осколки двигаются по одной окружности и встретятся через время

$$t = \frac{2\pi R}{V_1 + V_2} = \frac{2\pi m_1 V_1}{qB(V_1 + m_1 V_1 / m_2)} = \frac{2\pi}{qB} \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}.$$

4. Обозначим часть удаленных электронов за X , а число молекул в сосуде N (полное число электронов $2N$). Удаленный заряд $q = 2NeX$. Избыточное давление $P \approx 10^6$ Па.

После удаления электронов положительные заряды, расталкиваясь, соберутся на поверхности сосуда.

а) Пусть сосуд-куб с ребром a (объем $V = a^3$). Простейшая модель – два точечных заряда по $q/2$, находясь в центре противоположных граней на расстоянии a друг от друга, оказывают дополнительное давление

$$P \approx \frac{k(q/2)^2}{a^2} \frac{1}{a^2} = \frac{kq^2}{4V^{4/3}}, \text{ откуда } X \approx \frac{\sqrt{P} \cdot V^{2/3}}{eN\sqrt{k}}.$$

Условия в сосуде близки к нормальным, поэтому в 1 л находится $N_A / 22,4$, $N_A \approx 6 \cdot 10^{23}$ – число Авогадро.

$$X \approx \frac{\sqrt{P} \cdot V^{2/3} \cdot 22,4}{eN_A \sqrt{k}} \approx 2,5 \cdot 10^{-8}.$$

б) Если “уточнить” модель, считая, что в 6 гранях куба расположены точечные заряды $q/6$, ответ увеличится в 3 раза: $X \approx 7 \cdot 10^{-7}$.

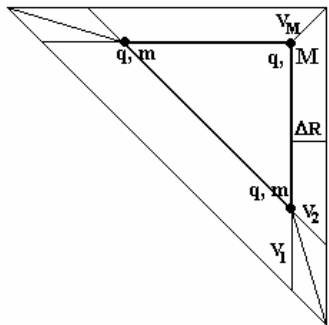
в) Если считать, что заряд равномерно распределен по всей поверхности, а давление оценить через силу расталкивания пластин, то

$$P \approx \frac{q}{6} \frac{2\pi k q}{6a^2} \frac{1}{a^2} = \frac{\pi k q^2}{18V^{4/3}}; \quad X \approx 3 \cdot 10^{-7}.$$

г) Пусть сосуд – шар с диаметром a (объем $V = \pi a^3 / 6$). Задача в этом случае имеет точное решение $P \approx \frac{E^2}{8\pi k} = \left(\frac{4\pi k q}{\pi a^2} \right)^2 \frac{1}{8\pi k} = \frac{2}{\pi} \frac{k q^2}{a^4} = \frac{\pi^{1/3}}{3 \cdot 6^{1/3}} \frac{k q^2}{V^{4/3}}$
 $X \approx 3 \cdot 10^8$.

5. Сумма сил нормального давления $2N \sin \alpha$ выталкивает упаковку, а сумма сил трения $2F \cos \alpha = 2\mu N \cos \alpha$ ее “удерживает”, где 2α – угол раствора ножниц. Угол α для упаковки таков, что $\sin \alpha > \mu \cos \alpha$ вплоть до его полного выскальзывания. Поскольку толщина пластинки много меньше диаметра упаковки, для нее равенство $\sin \alpha = \mu \cos \alpha$ достигается на некотором расстоянии от конца ножниц. В этом случае сила трения F покоя препятствует выскальзыванию $2N \sin \alpha = 2F \cos \alpha < 2\mu N \cos \alpha$.

Вариант 02р-ФФ



1. Пусть x – искомая величина, k – жесткость пружины. $L_1 = x - m_1 g / k$
 $L_2 = x + m_2 g / k$, откуда
 $x = (m_1 L_2 + m_2 L_1) / (m_1 + m_2)$.

2. Из симметрии следует, что “гипотенуза” всегда переносится параллельно (увеличиваясь в размерах). Если найдем условие, при котором один из “катетов” переносится параллельно, то подобие обеспечено.

Скорость и ускорение частицы m удобно разложить по направлениям “катета” (1) и “гипотенузы” (2). Из построения видно, что “катет” переносится параллельно, если в любой момент времени $V_M \cos 45^\circ = V_2 \cos 45^\circ$.

То есть скорости равны $V_M = V_2$. Следовательно, в любой момент равны и ускорения $a_M = a_2$.

Если в некий момент времени “катет” равен b , то из закона Кулона $Ma_M = 2 \cos 45^\circ k q^2 / b^2$ $ma_2 = k q^2 / 2b^2$, откуда $M = 2\sqrt{2}m$.

3. Так как напряжение на катушке $U_L = L \Delta I / \Delta t$, то в момент, когда ток максимален, напряжение на ней равно нулю. Тогда напряжение на конденсаторах будет одинаковым. Обозначим это напряжение через V . Суммарный заряд на верхних (и нижних) пластинах конденсаторов сохраняется: $q = C_1 V_1 + C_2 V_2 = (C_1 + C_2)V$ $V = (C_1 V_1 + C_2 V_2) / (C_1 + C_2)$. (Это если на верхних пластинах вначале были одноименные заряды). Искомый ток I определяется из закона сохранения энергии: $C_1 V_1^2 / 2 + C_2 V_2^2 / 2 = L I^2 / 2 + (C_1 + C_2) V^2 / 2$, откуда $I = |V_1 - V_2| \sqrt{C_1 C_2 / L}$. Если на верхних пластинах были разноименные заряды, то $I = (V_1 + V_2) \sqrt{C_1 C_2 / L}$.

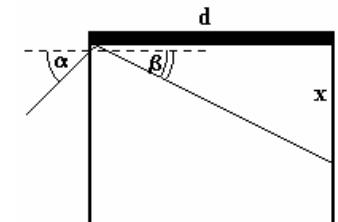
4. Считается, что известны радиус Земли $R = 6,4 \cdot 10^6$ м, ускорение свободного падения $g = 10$ м/с², гравитационная постоянная $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ м³ / с² кг (вместо G можно задать массу Земли или ее плотность).

Простейшая модель – две точечные массы $M/2$ находятся примерно на расстоянии радиуса Земли. $F \approx GM^2 / 4R^2$. Поскольку $g = GM / R^2$, то $F \approx g^2 R^2 / 4G = Mg / 4 = \rho \pi g R^3 / 3 \approx 1,5 \cdot 10^{25} \approx 10^{25}$ Н.

Можно оценить силу через давление в Земле, считая ее недра несжимаемой жидкостью: $F \approx PS \approx \rho g R \pi R^2 \approx 5 \cdot 10^{25}$ Н (в принципе эта модель может дать точный результат для однородного шара).

Вариант 03 – ФФ

1. Пусть луч преломится и далее отразится от грани под углом β . Согласно закону преломления $\sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n}$. Из тригонометрии определим искомое расстояние x :



$$x = dtg\beta = d \frac{\sin\beta}{\cos\beta} = d \frac{\sin\beta}{\sqrt{1-\sin^2\beta}} =$$

$$= d \frac{\sin\alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}}.$$

2. Пусть в верхней части сосуда установится давление P_1 , а в нижней P_2 .

В конечном положении сила, действующая на поршень, равна нулю, откуда

$$P_2 = P_1 + \frac{mg}{S} \quad (1)$$

Сосуд теплоизолирован, поэтому полная внутренняя энергия газа меняется только за счет уменьшения потенциальной энергии поршня:

$$\alpha P_0 2LS + mgh = \alpha P_1 (L+h)S + \alpha P_2 (L-h)S \quad (2)$$

Число молей ν в каждой половинке сосуда одинаково. Из объединенного газового закона

$$\nu = \frac{P_0 LS}{RT_0} = \frac{P_1 (L+h)S}{RT} = \frac{P_2 (L-h)S}{RT} \quad (3)$$

Здесь T_0 - начальная, а T - конечная температура газа.

$$\text{Из (3) следует} \quad P_1 (L+h) = P_2 (L-h) \quad (4)$$

Система линейных уравнений (1), (2), (4) записана для трех неизвестных P_1 , P_2 , m . Разрешая ее относительно массы поршня, получим

$$m = \frac{2P_0 L^2 S \alpha}{g[\alpha L^2 - (\alpha+1)h^2]}.$$

3. Сумма внешних сил, действующих на систему, равна нулю. Поэтому сохраняется импульс

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = 0, \quad (1)$$

а центр масс O остается на месте (для определенности предположим, что $m_1 > m_2$, и центр масс находится ближе к первому телу).

Выберем положительное направление оси вправо и обозначим смещение первого тела χ_1 , а второго χ_2 .

$$\text{Из уравнения (1) получается} \quad v_2 = -\frac{m_1}{m_2} v_1. \quad (2)$$

Скорости всегда противоположны по направлению и пропорциональны по величине. Поэтому их максимальные значения достигаются одновременно.

менно. Условие максимальности скорости тела - равенство нулю его ускорения, а следовательно - и действующей силы.

Для первого тела это условие принимает вид:

$$qE = k(x_1 - x_2). \quad (3)$$

Закон сохранения энергии системы тел:

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = qE(x_1 - x_2) - k \frac{(x_1 - x_2)^2}{2}. \quad (4)$$

Выражая $(x_1 - x_2)$ из (3), а v_2 из (4), получим $\frac{m_1 v_1^2}{2} \left(1 + \frac{m_1}{m_2}\right) = \frac{q^2 E^2}{2k}$.

Откуда максимальные значения

$$v_1 = \frac{qE}{\sqrt{k}} \sqrt{\frac{m_2}{m_1(m_1 + m_2)}} \quad \text{и} \quad v_2 = \frac{qE}{\sqrt{k}} \sqrt{\frac{m_1}{m_2(m_1 + m_2)}}.$$

4. В связи с вращением Земли вокруг оси вес тела P меньше mg .

Второй закон Ньютона для тела, покоящегося на Земле $m\vec{a}_{\text{цс}} = m\vec{g} + \vec{P}$.

Центростремительное ускорение

$a_{\text{цс}} = m\omega^2 R_{\text{ЗЕМ}} \cos\alpha$, где α - широта местности

ω - угловая скорость вращения Земли, связанная с периодом вращения T :

$$\omega = \frac{2\pi}{T}.$$

Вследствие малости центростремительной силы по сравнению с силой тяжести, угол β между направлениями векторов $m\vec{g}$ и

$\vec{P}$ мал. Поэтому, проектируя силы на направление вектора силы тяжести, получим $P \approx mg - ma_{\text{цс}} \cos\alpha = mg - m\omega^2 R_{\text{ЗЕМ}} \cos^2\alpha$.

Пусть ω_X , T_X - угловая скорость и период вращения Земли, при которых вес изменился на 10 %.

$$\frac{\delta P}{P} = \frac{(mg - m\omega^2 R_{\text{ЗЕМ}} \cos^2\alpha) - (mg - m\omega_X^2 R_{\text{ЗЕМ}} \cos^2\alpha)}{mg - m\omega^2 R_{\text{ЗЕМ}} \cos^2\alpha}.$$

Так как поправка к весу тела при вращении Земли мала ($m\omega^2 R_{\text{ЗЕМ}} \cos^2\alpha \ll mg$), то

$$\frac{\delta P}{P} = \frac{m(\omega_X^2 - \omega^2) R_{\text{ЗЕМ}} \cos^2\alpha}{mg - m\omega^2 R_{\text{ЗЕМ}} \cos^2\alpha} \approx \frac{\omega_X^2 R_{\text{ЗЕМ}} \cos^2\alpha}{g} \approx 0,1 \quad (1)$$

Из (1) получаем $\omega_X \approx \sqrt{\frac{0,1g}{R_{ЗЕМ} \cos^2 \alpha}}$. (2)

Радиус Земли $R_{ЗЕМ} \approx 6400$ км, $g \approx 10 \frac{м}{с^2}$, период обращения - сутки.

В наших широтах $\cos \alpha \approx 0,5$.

Далее $\frac{\delta T}{T} = \frac{T - T_X}{T} = 1 - \frac{T_X}{T}$. (3)

Используя (2), $\frac{T_X}{T} = \frac{\omega}{\omega_X} \approx \frac{2\pi \cos \alpha}{T} \sqrt{\frac{R_{ЗЕМ}}{0,1g}} \approx \frac{2\pi \cdot 0,5}{3600 \cdot 24} \sqrt{\frac{6400000}{0,1 \cdot 10}} \approx 0,09 \approx 0,1$, (4)

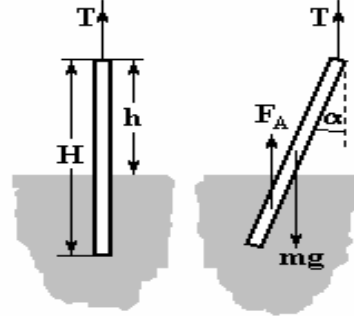
откуда $\frac{\delta T}{T} \approx 0,9 \approx 1$.

5. При погружении стержня повышается выталкивающая сила Архимеда, и с некоторого момента теряется устойчивость вертикального положения.

Пусть сечение стержня S , длина H , расстояние от вершины стержня до уровня воды h , плотность дерева ρ_d , плотность воды ρ_B .

Масса стержня равна

$$m = \rho_d HS \quad (1)$$



Сила Архимеда $F_A = \rho_B (H - h) S g = \frac{mg}{H} (H - h) \frac{\rho_B}{\rho_d}$ (2)

В положении неустойчивого равновесия при небольших углах наклона стержня от вертикального положения моменты действующих сил не возвращают его, а “уводят” дальше.

Рассмотрим моменты силы Архимеда и силы тяжести относительно его вершины. При небольших поворотах сила Архимеда практически не меняется и вычисляется по формуле (2).

Плечо силы Архимеда $\left(H - \frac{H - h}{2}\right) \sin \alpha = \frac{H + h}{2} \sin \alpha$, (3)

$$F_A \frac{(H + h)}{2} \sin \alpha = \frac{mg}{H} (H - h) \frac{\rho_B}{\rho_d} \frac{(H + h)}{2} \sin \alpha > mg \frac{H}{2} \sin \alpha, \quad (4)$$

После упрощения (4) $(H^2 - h^2) \frac{\rho_B}{\rho_d} > H^2$, (5)

Неустойчивость вертикального положения наступает при

$$h < h_{KP} = H \sqrt{1 - \frac{\rho_d}{\rho_B}} \quad (6)$$

Можно показать, что сила натяжения при потере устойчивости не равна нулю. Действительно, в вертикальном погружении сила натяжения “зануляется” при $mg = F_A$. То есть при

$$h = h_0 = H \left(1 - \frac{\rho_d}{\rho_B}\right) \quad (7)$$

При $\frac{\rho_d}{\rho_B} < 1$ всегда $h_0 < h_{KP}$, так как $\sqrt{1 - \frac{\rho_d}{\rho_B}} > 1 - \frac{\rho_d}{\rho_B}$.

При дальнейшем повышении уровня воды стержень будет наклоняться. При этом сила Архимеда не будет меняться практически до достижения горизонтального положения.

В горизонтальном устойчивом положении сила натяжения равна нулю.

Вариант 04 - ФФ

1. Проведем перпендикуляры к граням призмы в точках входа и выхода луча. Согласно закону преломления

$$\sin \gamma = \frac{\sin \alpha}{n}, \quad \sin \delta = \frac{\sin \beta}{n}.$$

Из геометрии $\sin \gamma = \cos \delta$.

Из тригонометрического тождества

$$\sin^2 \delta + \cos^2 \delta = 1 = \sin^2 \delta + \sin^2 \gamma = \frac{\sin^2 \beta}{n^2} + \frac{\sin^2 \alpha}{n^2}, \text{ откуда } n = \sqrt{\sin^2 \beta + \sin^2 \alpha}.$$

2. Будем считать, что $P_1 > P_2$. Пусть искомая конечная температура T_X , смещение поршня h . Уравнения Клапейрона - Менделеева для начального состояния газа в половинках сосуда соответственно,

$$P_1 LS = \nu_1 RT, \quad P_2 LS = \nu_2 RT \quad (1)$$

Здесь $V = V_1 + V_2$ общее число молей. После затухания колебаний в сосуде установится некое давление P_X .

Начальная внутренняя энергия газа в половинках сосуда

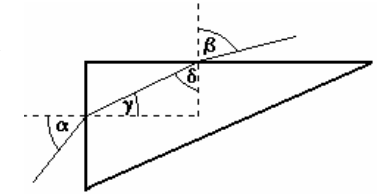
$$E_1 = \alpha P_1 LS = \alpha \nu_1 RT, \quad E_2 = \alpha P_2 LS = \alpha \nu_2 RT. \quad (2)$$

Так как сосуд теплоизолирован и внешняя работа не совершается, то сохраняется полная внутренняя энергия газа:

$$E_1 + E_2 = \alpha P_1 LS + \alpha P_2 LS = \alpha \nu_1 RT + \alpha \nu_2 RT = \alpha P_X 2LS = (\nu_1 + \nu_2) RT_X. \quad (3)$$

Из (3) получаем

$$P_X = \frac{P_1 + P_2}{2}, \quad (4)$$



$$T_X = T \quad (5)$$

(температура не изменилась).

При неизменной температуре для частей сосуда имеем

$$P_1 L = P_X (L + h), \quad P_2 L = P_X (L - h). \quad (6)$$

Подставляя (4) в любое из уравнений (6), получим

$$h = L \left(\frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2} \right).$$

3. Сумма внешних сил, действующих на систему равна нулю. Поэтому сохраняется импульс $m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = 0$. (1)

Будет происходить вращение относительно центра масс O , который остается на месте (для определенности предположим, что $m_1 > m_2$ и центр масс находится ближе к первому телу).

Радиусы вращения (расстояния до центра масс) для тел равны соответственно

$$R_1 = L \frac{m_2}{m_1 + m_2}, \quad R_2 = L \frac{m_1}{m_1 + m_2}. \quad (2)$$

После поворота на некий угол α закон сохранения энергии примет вид:

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \Delta U = (qER_1 \sin \alpha + qER_2 \sin \alpha) = qEL \sin \alpha. \quad (3)$$

$$\text{Выражая } \vec{v}_2 \text{ из (1), получим } \frac{m_1 v_1^2}{2} \left(1 + \frac{m_1}{m_2} \right) = qEL \sin \alpha. \quad (4)$$

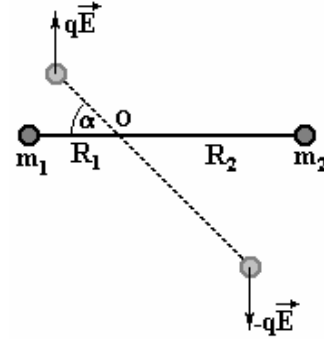
Сумма силы растяжения стержня N , кулоновской силы взаимодействия зарядов и проекции на стержень силы со стороны включенного поля равны центростремительной силе вращающегося первого заряда

$$\frac{m_1 v_1^2}{R_1} = N + \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 L^2} - qE \sin \alpha. \quad (5)$$

Подставляя в (5) v_1^2 из (4), с учетом (2) получим

$$N = 3qE \sin \alpha - \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 L^2}. \quad (6)$$

При $\alpha = 90^\circ$ сила растяжения N принимает максимальное значение. Искомое максимально возможное значение поля E_{MAX} определяется из ус-



ловия равенства силы натяжения критической величине T

$$T = 3qE_{MAX} - \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 L^2}, \quad \text{откуда} \quad E_{MAX} = \left(T + \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 L^2} \right) / 3q.$$

4. Период колебаний маятника определяется натяжением нити (стержня), то есть весом тела. В связи с вращением Земли вокруг оси и движением поезда вес тела P отличается от mg .

В инерциальной системе отсчета стороннего наблюдателя скорость поезда складывается из линейной скорости вращения Земли ωR и скорости поезда относительно Земли V . Обозначим как P_+ вес тела при движении поезда с запада на восток, а P_- — вес при движении с востока на запад.

Второй закон Ньютона для подвешенного груза (математического маятника) в инерциальной системе отсчета стороннего наблюдателя запишется как

$$P_{\pm} = mg - \frac{m(\omega R \pm V)^2}{R} = mg - m\omega^2 R \mp m2\omega V - m\frac{V^2}{R}. \quad (1)$$

$$\text{В стоящем поезде } P_0 = mg - m\omega^2 R. \quad (2)$$

Удвоенная линейная скорость вращения Земли на экваторе $2\omega R \approx 4\pi \frac{6400}{3600 \cdot 24} \approx 1 \frac{\text{км}}{\text{с}}$, что в тридцать раз превышает скорость скорого поезда V .

Поэтому в уравнении (1) можно пренебречь членом $m\frac{V^2}{R}$ по сравнению с $m2\omega V$.

Периоды колебаний маятника для различных случаев:

$$T_{\pm} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g - \omega^2 R \mp 2\omega V}}, \quad T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g - \omega^2 R}}. \quad (3)$$

Несложно проверить, что относительное изменение периода колебаний будет мало. Поэтому $\frac{T_{\pm} - T_0}{T_0} \approx \frac{T_{\pm} - T_0}{T_{\pm}} = 1 - \frac{T_0}{T_{\pm}}$ (в знаменателе для удобства T_0 заменили $T_{\pm}$).

$$\text{Из (3) получаем} \quad \left(\frac{T_0}{T_{\pm}} \right)^2 = 1 \mp \frac{2\omega V}{g - \omega^2 R} \approx 1 \mp \frac{2\omega V}{g} \quad (5)$$

В силу малости члена $\omega^2 R$ по сравнению с g его отбросили в (5).

$$\text{Далее из (5)} \quad \left(\frac{T_0}{T_{\pm}} \right)^2 - 1 = \left(\frac{T_0}{T_{\pm}} - 1 \right) \left(\frac{T_0}{T_{\pm}} + 1 \right) \approx 2 \left(\frac{T_0}{T_{\pm}} - 1 \right) \approx \mp \frac{2\omega V}{g} \quad (6)$$

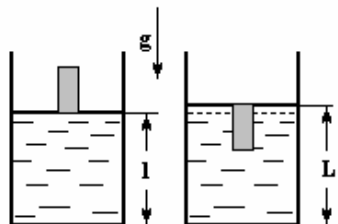
Из-за малого различия периодов колебаний в (6) приближенно положили

$$\left(\frac{T_0}{T_{\pm}} \right) + 1 \approx 2.$$

Пусть скорость поезда 30 м/с, $g \approx 10 \text{ м/с}^2$.

$$\text{Тогда из (6)} \quad 1 - \frac{T_0}{T_{\pm}} \approx \pm \frac{\omega V}{g} \approx \pm \frac{2\pi \cdot 30}{3600 \cdot 24 \cdot 10} \approx \pm 5 \cdot 10^{-4}.$$

Вариант 05р – ФЕН



1. Работа “пойдет” на повышение потенциальной энергии жидкости. Пусть вначале расстояние от дна сосуда до 1-го поршня равно l , а в конце - L . Из сохранения объема жидкости: $(S_1 + S_2)l = S_1L + S_2(L - h)$, откуда $L = l + S_2h / (S_1 + S_2)$. Из рисунка видно,

что изменение энергии можно считать как подъем массы $\rho S_2 [h - (L - l)] = \rho S_2 S_1 h / (S_1 + S_2)$ на высоту $h/2$ (отслеживайте подъем серединки объема, то есть центра масс). Откуда $A = \rho g S_2 S_1 h^2 / 2(S_1 + S_2)$.

Другое решение. Вдавливая поршень, мы совершаем работу против силы Архимеда. При этом проходим расстояние $d = [h - (L - l)] = S_1 h / (S_1 + S_2)$. Архимедова сила меняется от нуля до $\rho g S_2 h$ (ее среднее значение $F_{CP} = \rho g S_2 h / 2$). $A = F_{CP} d = \rho g S_2 S_1 h^2 / 2(S_1 + S_2)$.

2. При минимальной скорости V пуля вылетит из куба с “нулевой” относительной скоростью. Обозначим скорость куба и пули после взаимодействия в этом случае за u . Из законов сохранения импульса и энергии

$$mV = (m + M)u \quad mV^2 / 2 = Fa + (m + M)u^2 / 2,$$

откуда $V = \sqrt{2Fa(M + m) / mM}$.

3. Обозначим за X искомое смещение. Условие неизменности температуры в каждом отсеке: $P_0 V / 2 = P'(V / 2 + XS)$ и $P_0 V / 2 = P''(V / 2 - XS)$. По условию $P_1 = P'' - P' = \frac{P_0 VXS}{V^2 / 4 - X^2 S^2}$.

Квадратное уравнение $X^2 + XP_0 V / P_1 S - V^2 / 4S^2 = 0$ имеет решение $X = \left(-P_0 / P_1 + \sqrt{1 + P_0^2 / P_1^2} \right) \cdot V / 2S$.

Знак выбран так, чтобы корень был положительным.

4. Максимальная скорость достигается при нулевом ускорении, то есть в точке, в которой сумма силы тяжести и кулоновской силы, действующих на заряд q_2 , равна нулю: $mg = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 X^2}$. Здесь X - расстояние от q_1 до q_2 в

искомый момент, откуда $X = \sqrt{q_1 q_2 / 4\pi\epsilon_0 mg}$. Значение искомой скорости определяется из закона сохранения суммы потенциальной и кинетической энергий: $mV^2 / 2 + mgX + q_1 q_2 / 4\pi\epsilon_0 X^2 = mgh + q_1 q_2 / 4\pi\epsilon_0 h^2$.

Откуда $V = \sqrt{\frac{2}{m} \left(\sqrt{mgh} - \sqrt{\frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 h}} \right)}$ при $\sqrt{mgh} \geq \sqrt{\frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 h}}$, $V = \sqrt{\frac{2}{m} \left(\sqrt{\frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 h}} - \sqrt{mgh} \right)}$ при $\sqrt{mgh} \leq \sqrt{\frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 h}}$. Или в общем случае $V = \sqrt{\frac{2}{m} \left| \sqrt{mgh} - \sqrt{\frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 h}} \right|}$.

Вариант 06 - ФЕН

1. На тело действуют силы упругости со стороны пружинок T и сила тяжести mg . Если выбрать положительное направление оси вниз, то согласно 2-му закону Ньютона $ma = mg - 2T \cos \frac{\alpha}{2}$, где $T = kx = k \left(\frac{L}{\sin \alpha / 2} - L \right)$

(сила упругости определяется изменением длины пружинки относительно ненапряженного состояния).

$$a = g - \frac{2kL}{m} \left(\cotg \frac{\alpha}{2} - \cos \frac{\alpha}{2} \right).$$

2. Пусть начальное давление в сосуде равно ω_X (из-за равенства начальных уровней в коленях оно равно внешнему, то есть атмосферному), а конечное давление P_1 .

При постоянной температуре для воздуха в сосуде выполняется условие $P_0 V = P_1 (V - hS)$. Разность давления P_1 и атмосферного определяется разностью уровней воды в коленях трубки $P_1 = P_0 + \rho g(H - h)$.

$$\text{Далее получаем ответ} \quad P_0 = \frac{\rho g(V - Sh)(H - h)}{hS}.$$

3. Из закона индукции Фарадея $\mathcal{E} = \frac{d\Phi}{dt} = -B \frac{dS}{dt}$ в правом и левом контурах вырабатываемые ЭДС направлены в разные стороны.

Пусть через сопротивление R_1 течет ток I_1 , а через R_2 ток I_2 . Рассмотрим закон Ома для левого контура, состоящего из сопротивления R_1 , перемычки и соединяющих рельсов: $\mathcal{E} = R_1 I_1$. Мы учли, что сопротивления рельсов и перемычки пренебрежимы.

Аналогично для правого контура $\mathcal{E} = R_2 I_2$, откуда напряжения на сопротивлениях всегда одинаковы, что эквивалентно обычному параллельному соединению $R_1 I_1 = R_2 I_2$. (1)

Перемычка тормозится из-за действия силы Ампера.

Из закона сохранения энергии к моменту остановки кинетическая энергия переключки перейдет в джоулево тепло $m \frac{v^2}{2} = Q_1 + Q_2$. (2)

$$\text{Отношение тепловых мощностей } \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_1^2 R_1}{I_2^2 R_2}. \quad (3)$$

$$\text{Учитывая (1), получим из (3) } \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_1^2 R_1^2 R_2}{I_2^2 R_2^2 R_1} = \frac{R_2}{R_1}. \quad (4)$$

Хотя токи все время меняются, пропорция (4) сохраняется. Поэтому полные количества теплоты Q_1 и Q_2 относятся как соответствующие тепловые мощности $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{R_2}{R_1}$. (5)

$$\text{Решая систему уравнений (2), (5), получим:}$$

$$Q_1 = m \frac{v^2}{2} \frac{R_2}{R_1 + R_2}, \quad Q_2 = m \frac{v^2}{2} \frac{R_1}{R_1 + R_2}.$$

4. Пусть отрезок AB – граница пучка в воздушном пузырьке. OA и OB – радиусы пузырька (перпендикулярны в точках касания A и B к поверхности). По построению $\sin \alpha = \frac{h}{2R}$.

По закону преломления $\sin \beta = n \sin \alpha$.

$$\text{Так как все углы малы, то } \alpha \cong \frac{h}{2R}, \quad \beta \cong n\alpha = \frac{nh}{2R}.$$

Рассматривая равнобедренный треугольник ABO , получим $2\beta = \alpha + \gamma$.

$$\text{Далее } \frac{H}{2} = R \sin \gamma = R \sin(2\beta - \alpha) \cong R(2\beta - \alpha) = R \frac{h}{2R} (2n - 1),$$

$$\text{откуда } H \cong h(2n - 1).$$

Вариант 07р-ГГФ

1. Если P_0 – атмосферное давление, то давление в углу трубки равно $P_0 + \rho gh$ (горизонтальное движение не влияет на гравитационную гидростатику). Ускорение жидкости в горизонтальной части трубки по второму закону Ньютона обусловлено разностью давлений в углу трубки и атмосферного $\rho(l - h)Sa = P_0 S + \rho ghS - P_0 S = \rho ghS$, откуда $h = l/(1 + g/a)$.

2. Можно (но не обязательно) перерисовать схему, соединив точки A и D , B и E .

$$J_1 = U / R_1, J_2 = U / R_2, q = CU.$$

3. Пусть сила, действующая на автомобиль в искомый момент (сила натяжения троса) равна T . Считая, что застрявший автомобиль практически не сдвинулся, получим: $F = 2T \sin \alpha \cong 2T2l/L = T/50$.

4. Первая космическая скорость – минимально возможная скорость спутника Земли. Считается, что спутник движется по круговой “предельно низкой” орбите, радиус которой равен радиусу Земли R .

$$\text{а) } mV_1^2 / R = GmM / R^2 = mg \quad V_1 = \sqrt{gR} \approx 8 \text{ км/с.}$$

$$\text{б) } mV^2 / (R + h) = GmM / (R + h)^2 = mgR^2 / (R + h)^2, \text{ откуда } V = V_1 / \sqrt{1 + h/R}. \text{ Скорость “Мира” меньше, чем } V_1.$$

Вариант ГФ-08

1. На тело действуют силы натяжения веревок T и сила тяжести mg . Если выбрать положительное направление оси вверх, то согласно 2-му закону Ньютона $ma = 2T \cos \frac{\alpha}{2} - mg = 2T \frac{\sqrt{3}}{2} - mg = T\sqrt{3} - mg$, откуда

$$a = \frac{T\sqrt{3}}{m} - g.$$

2. Установившиеся токи через конденсаторы не текут. Поэтому через сопротивления протекает одинаковый ток J . По закону Ома

$$J = \frac{E}{R_1 + R_2 + R_3}.$$

Рассмотрим правый контур. Напряжение на конденсаторе, выражаемое через заряд на нем q_1 / C_1 , равно сумме напряжений на сопротивлениях R_2

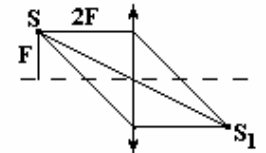
$$\text{и } R_3, \text{ откуда } q_1 = C_1 J(R_2 + R_3) = C_1 E \frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3}.$$

Проводя аналогичные операции для левого контура, получим

$$q_2 = C_2 J(R_1 + R_2) = C_2 E \frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 + R_3}.$$

3. Для нахождения изображения построим траектории основных лучей:

луч, идущий через центр линзы, не преломляется; луч, параллельный главной оптической оси, идет через правый фокус; луч, проходящий через фокус, после линзы идет параллельно главной оптической оси.



Расстояние SS_1 определяется из теоремы Пифагора:
 $SS_1 = 2\sqrt{F^2 + 4F^2} = 2\sqrt{5}F$.

4. а) Существуют системы отсчета, называемые инерциальными, в которых свободное тело покоится или движется равномерно и прямолинейно.

б) Силы, с которыми взаимодействующие тела действуют друг на друга, равны по величине и противоположны по направлению $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$.

в) Ускорение, которое приобретает тело, равно сумме всех действующих на него сил, деленной на его массу $\vec{a} = \frac{\sum \vec{F}_i}{m}$.

Ответственные за выпуск: профессоры
С. И. Лежнин
Г. В. Меледин
А. И. Мильштейн

Подписано в печать Формат 60×84 1/16
Заказ № Уч.-изд. л. 1,5
Тираж 500. Цена договорная

Лицензия № 021285 от 6 мая 1998 г.
630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2.
Издательский центр НГУ.