УТВЕРЖДЕНО
Заместитель председателя оргкомитета
заключительного этапа республиканской олимпиады

_________________ К.С. Фарино.

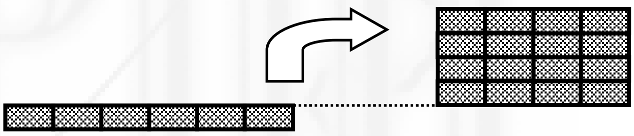
«____» декабря 2006 года

Республиканская физическая олимпиада (III этап) 2007 год Теоретический тур

9 класс.

Задание 1. «Рабочая разминка»

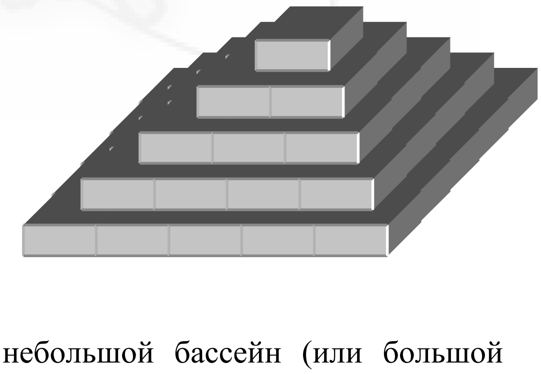
В этой задаче считайте ускорение свободного падения равным $g = 10{,}0\,м/c^2$.



1.1 В связи с дорожными работами потребовалось разобрать брусчатую мостовую. Для хранения было решено складывать плитки в одну кучу. Масса одной плитки $m = 10\,кг$, размеры (длина - a, ширина - b, высота - c) $a \times b \times c = 20см \times 20см \times 5{,}0см$

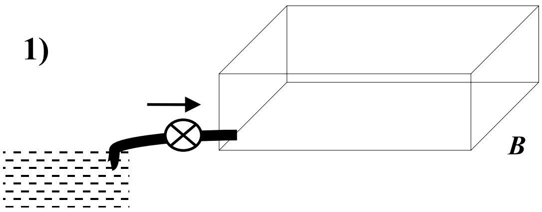
1.1.1 Какую наименьшую работу необходимо совершить, чтобы сложить из плиток прямоугольный параллелепипед размерами $A \times B \times C = 2{,}0м \times 2{,}0м \times 1{,}0м$?

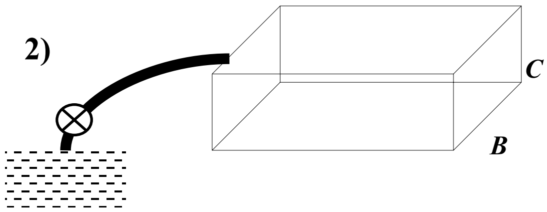
1.1.2 Какую наименьшую работу необходимо совершить, чтобы сложить плитки в ящик таких же размеров?



1.1.3. Какую минимальную работу необходимо совершить, чтобы плитки из мостовой (массу и характерные размеры смотрите в пункте 1) сложить в пирамиду высотой $H = 0{,}5м$ и квадратным основанием с длиной стороны $L = 2{,}0м$?

1.2 Для того, чтобы заполнить водой из озера небольшой бассейн (или большой аквариум) размерами $A \times B \times C = 2{,}0м \times 2{,}0м \times 1{,}0м$ используют электронасос, который создает давление $5{,}0кПа$. Какую работу по заполнению водой бассейна совершит насос,
1.2.1 если шланг подсоединить к отверстию вблизи дна;
1.2.2 если шланг перекинуть через бортик?
Плотность воды равна $\rho = 1000 кг/м^3$.





1.3. Какую минимальную работу необходимо совершить, чтобы смести в центр песок, равномерно рассыпанный по круглой асфальтовой площадке радиусом $R = 100 м$ в кучу в форме пирамиды высотой $H = 0{,}50\ м$ и стороной основания $L = 2{,}0 м$? Коэффициент трения песка об асфальт и песка о песок равен $\mu = 0{,}15$, плотность песка $\rho = 2{,}4 \cdot 10^3 кг/м^3$.

Примечание.

Возможно, Вам понадобится следующая информация:

$1 + 2 + ... + n = \frac{n(n+1)}{2}$; $1^2 + 2^2 + ... + n^2 = \frac{n(n+1)(n+2)}{6}$; $1^3 + 2^3 + ... + n^3 = \left[\frac{n(n+1)}{2}\right]^2$;

Объем пирамиды и конуса равен $V = \frac{1}{3} SH$, *(S - площадь основания, H - высота).*

Центр масс однородной пирамиды находится на высоте $h_c = H/4$ *от основания.*

Задание 2. «Водная феерия»

2.1 В сосуде под крышкой находится перегретая вода, находящаяся при температуре $t_0 = 120°C$. Какая доля (массовая) воды выкипит, если открыть крышку?

2.2 В теплоизолированном сосуде находится переохлажденная вода при температуре $t_0 = -5°C$. Какая доля (массовая) воды замерзнет, если в сосуд бросить несколько маленьких кусочков льда?

2.3 В теплоизолированном сосуде находится $m_0 = 300 г$ льда, находящегося при температуре $t_0 = -10°C$. В сосуд впускают водяной пар, находящийся при температуре $t_1 = 100°C$. Постройте примерный график зависимости температуры, установившейся в сосуде после достижения теплового равновесия, от массы впущенного пара (для массы, изменяющейся от нуля до $m_{\max} = 120 г$)

Во всех пунктах данной задачи теплоемкостью сосуда пренебречь. Удельная теплоемкость воды $c_1 = 4{,}2 \frac{кДж}{кг \cdot °C}$, *удельная теплоемкость льда* $c_0 = 2{,}1 \frac{кДж}{кг \cdot °C}$, *удельная теплота плавления льда* $\lambda = 330 \frac{кДж}{кг}$, *удельная теплота парообразования воды* $L = 2{,}2 \frac{МДж}{кг}$. *Давление газов в сосуде считать равным нормальному атмосферному давлению.*

Задание 3. «Опыт Араго»

В давние времена точное определение скорости света являлось важной экспериментальной проблемой. В данной задаче рассматривается опыт Араго, который в своё время позволил относительно точно вычислить значение скорости света. Для простоты мы будем использовать лазер в качестве источника света.

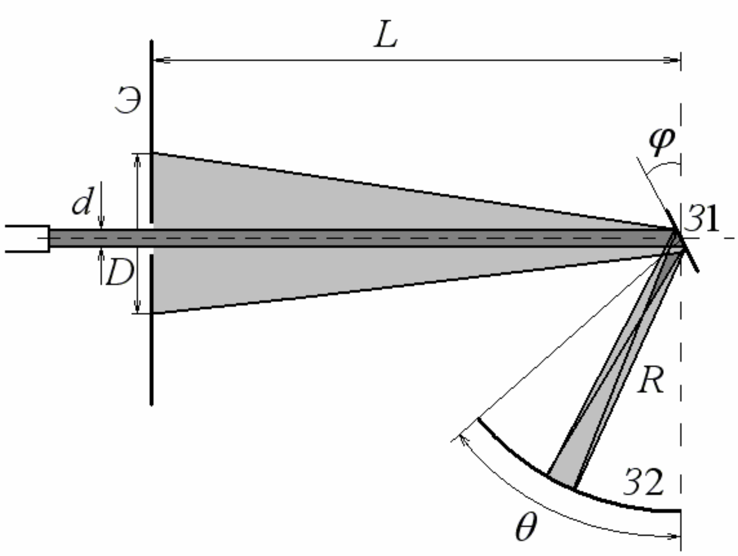


Рис. 1

Схема установки представлена на рисунке 1 (вид сверху). Тонкий параллельный лазерный луч шириной $d = 5{,}0 мм$ проходит через отверстие в экране $Э$ и попадает на маленькое плоское двухстороннее зеркальце $З1$, находящееся на расстоянии $L = 20 м$ от экрана, которое может вращаться вокруг вертикальной оси. Пусть φ – угол его поворота (рис. 1). После этого луч попадает на сферическое зеркало $З2$, радиус кривизны которого равен $R = 10 м$. Размеры зеркала будем характеризовать величиной угла $\theta = 10^\circ$ – угол, под которым видно это зеркало из центра зеркальца $З1$. Маленькое зеркальце находится в центре кривизны зеркала $З2$, т.е. на расстоянии R от него. После отражения от сферического зеркала, лазерный луч снова попадает на зеркальце $З1$, отражается и формирует на экране пятно некоторого диаметра D.

1. При каких углах φ можно наблюдать пятно в центре экрана.

2. Определите диаметр пятна D.

Начнём вращать зеркальце с достаточно большой скоростью. Пусть зеркальце совершает $\nu = 5{,}0 \cdot 10^2$ оборотов в секунду. Скорость света равна $c = 3{,}0 \cdot 10^8 \, м/с$.

3. Покажите, что пятно на экране сдвинется на некоторое расстояние в ту или другую сторону, в зависимости от направления вращения. Определите величину этого смещения x.

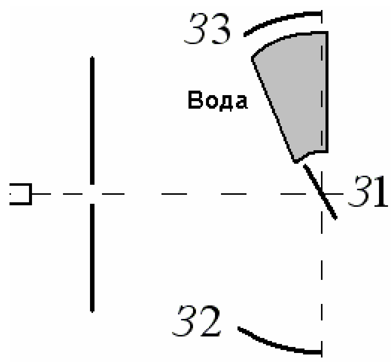


Рис. 2

С помощью такой установки Араго также удалось измерить показатель преломления воды. Для этого необходимо добавить ещё одно сферическое зеркало и резервуар с водой, занимающий практически всё пространство между зеркальцем $З1$ и вторым зеркалом $З3$ (см. рисунок 2). Стенки резервуара полукруглые, поэтому преломлением света на его границе можно пренебречь.

4. При какой частоте вращения ν' можно наблюдать два раздельных пятна. *Показатель преломления воды $n = 1{,}3$*

УТВЕРЖДЕНО
Заместитель председателя оргкомитета
заключительного этапа республиканской олимпиады

_________________ К.С. Фарино.

«____» декабря 2006 года

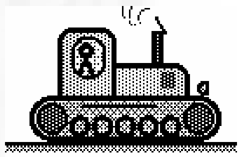
Республиканская физическая олимпиада (III этап) 2007 год
Теоретический тур

10 класс.

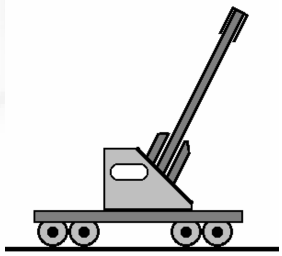
Задание 1. «Просто разминка»

Ускорение свободного падения на поверхности Земли считать равным $g = 10\frac{м}{c^2}$**.**

1.1 Верхняя часть гусеницы трактора движется относительно земли со скоростью $V_0 = 2{,}0\frac{м}{c}$. С какой скоростью движется трактор?

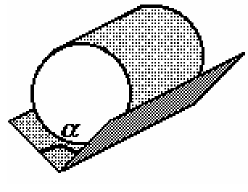


1.2 Ствол пушки, размещенной на железнодорожной платформе, расположен под углом $\alpha = 60°$ к горизонту. Платформа может двигаться по горизонтальным рельсам. Начальная скорость вылета снаряда равна $V_0 = 400\frac{м}{c}$. Чтобы увеличить дальность полета снаряда платформу разгоняют до скорости $v_1 = 72\frac{км}{час}$. На сколько процентов увеличится дальность полета снаряда, выпущенного с движущейся платформы, по сравнению с дальностью полета снаряда, выпущенного с жестко закрепленной платформы? Масса платформы значительно больше массы снаряда.

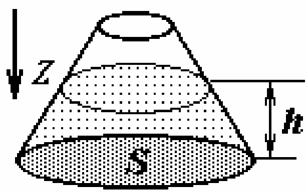


Военные действия происходят на Марсе, где можно пренебречь сопротивлением атмосферы.

1.3 Желоб изготовлен из двух широких одинаковых досок, образующих двугранный угол $\alpha = 60°$. Желоб расположили так, что его ребро горизонтально, а стороны симметричны относительно вертикали. Внутрь желоба положили цилиндр массой $m = 2{,}0 кг$. Коэффициент трения между стенками желоба и боковой поверхностью цилиндра равен $\mu = 0{,}30$. Какую минимальную горизонтально направленную силу необходимо приложить к цилиндру, чтобы он начал двигаться вдоль желоба, параллельно ребру?



1.4 В вертикальный сосуд, имеющий форму усеченного конуса, налита вода, масса которой равна $m = 1{,}0\,кг$. Высота уровня воды в сосуде равна $h = 10\,см$. Площадь дна сосуда равна $S = 200\,см^2$. Чему равна суммарная сила давления воды на боковые стенки сосуда?



1.5 На твердой горизонтальной поверхности сделан неглубокий круговой желобок, по которому, как по направляющим могут двигаться без трения два небольших шарика (Рис. 2). Масса первого шарика $m_1 = 20{,}0\,г$, второго $m_2 = 30{,}0\,г$. Радиусы шариков малы, по сравнению с радиусом желобка. Второму шарику сообщают некоторую скорость в направлении покоящегося первого. Шары сталкиваются между собой абсолютно упруго. Укажите точку тринадцатого столкновения между шарами.

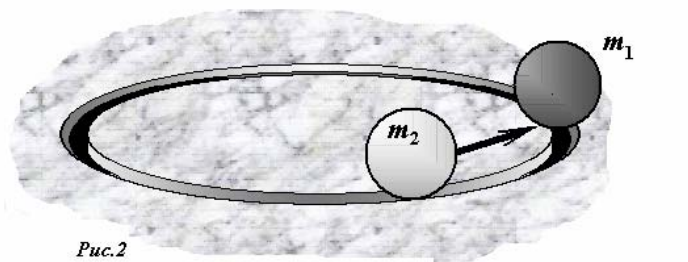


Рис.2

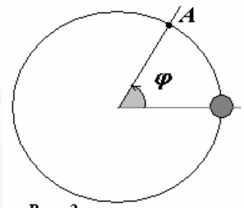


Рис. 3

<u>*Указание.*</u> *Положение точки на окружности удобно задавать с помощью угла φ, отсчитываемого от начального положения неподвижного шара (Рис.3)*

Задание 2. «Вес и сжатие»

Реальные жидкости сжимаемы. Эксперименты показывают, что относительное уменьшение $\frac{\Delta V}{V_0}$ *объема реальной жидкости (*$\Delta V = (V - V_0) < 0$*) прямо пропорционально увеличению внешнего давления* $\Delta p = p - p_0$

$$\frac{\Delta V}{V} = -\beta\,\Delta p \qquad \Rightarrow \qquad \Delta V = -\beta V \Delta p,$$

где коэффициент β *— сжимаемость жидкости. Знак минус в (1) отражает тот факт, что при увеличении внешнего давления (*$\Delta p > 0$*) объем жидкости уменьшается.*

Рассмотрим горизонтальный слой реальной жидкости глубиной H, находящийся в постоянном гравитационном поле земли. Плотность жидкости у поверхности слоя ρ_0, ее сжимаемость β. Атмосферное давление p_0 (рис. 01).

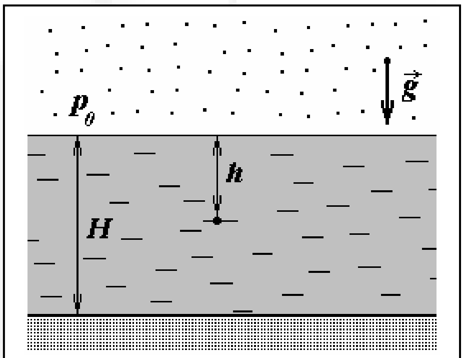


Рис. 01

1. «Самосжатие» Поскольку давление в жидкости увеличивается с глубиной, то нижние слои будут сжаты сильнее верхних.

1.1 Оцените уменьшение ΔH глубины слоя реальной жидкости под действием собственного веса. Вычислите ΔH для мирового океана, принимая, $H = 10,0\,км$, плотность несжатой морской воды $\rho_0 = 1,03\cdot 10^3\,\frac{кг}{м^3}$, сжимаемость морской воды $\beta = 4,71\cdot 10^{-10}\,Па^{-1}$, $g = 9,81\frac{м}{с^2}$.

1.2 «Плотность» Найдите зависимость $\rho(h)$ плотности воды от глубины h погружения. На сколько процентов увеличивается плотность морской воды на дне океана $\rho(H = 10\,км)$ по сравнению с ее плотностью у поверхности?

1.3 «Давление» Найдите зависимость давления $p(h)$ реальной жидкости от глубины h погружения. Атмосферное давление p_0.

1.4. «Утонувший летучий голландец» При какой плотности ρ_1 однородный брусок, начавший тонуть у поверхности мирового океана, «зависнет» на глубине $h = 5,00\,км$?

В ряде учебных пособий рассматривается равномерно заряженная по объему жидкость. Будем считать, что способ ее получения уже известен.

2. «Заряженная жидкость» Рассмотрим слой несжимаемой непроводящей жидкости глубиной H. Плотность жидкости ρ, объемная плотность ее заряда постоянна и равна γ. Ускорение свободного падения g. Атмосферное давление p_0.

2.1 Найдите зависимость давления $p(h)$ заряженной жидкости от глубины погружения h.

2.2 Оцените максимально возможную толщину слоя H_{max} заряженной жидкости.

2.3 Определите массу m непроводящего незаряженного кубика с ребром длиной a, если при опускании в заряженную жидкость он плавает в ней так, что его верхняя грань касается поверхности жидкости.

Задание 3. «Осторожней на поворотах»

В этой задаче мы предлагаем вам рассмотреть поведение автомобиля при повороте на большой скорости. Для этого необходимо познакомимся с таким явлением, как «увод» шины и выяснить, какие силы заставляют автомобиль поворачивать.

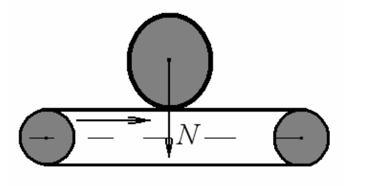


Рис. 1

Поставим автомобильное колесо на движущуюся ленту транспортёра под некоторым маленьким углом φ к направлению движения ленты и приложим к нему вертикальную нагрузку N (рис. 1 и 2). Вначале колесо будет скользить и раскручиваться. Когда скольжение прекратится, исчезнет сила трения направленная вдоль плоскости колеса, однако останется некоторая сила, действующая в перпендикулярном направлении, стремящаяся увести колесо в сторону. Эта сила по своей сути является силой трения покоя. Причина её возникновения – деформация шины вблизи пятна контакта. Присутствие этой силы и заставляет автомобиль поворачивать, т.е. сумма сил увода, действующих на каждое колесо автомобиля, является центростремительной силой. Таким образом, при поворотах плоскость колеса всегда немного повёрнута относительно вектора скорости движения центра колеса (колёса едут не туда куда «смотрят»).

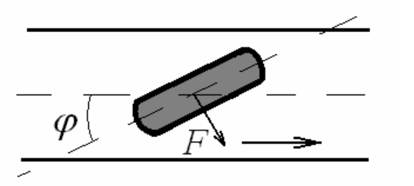


Рис. 2

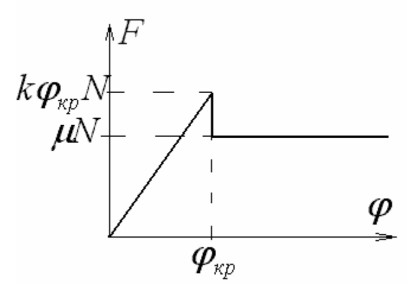


Рис. 3

Экспериментально установлено, что для малых углов φ сила F линейно растёт с увеличением φ, т.е. $F = k\cdot\varphi\cdot N$, где k- коэффициент сопротивления боковому уводу, который зависит от типа шины, а N- величина нагрузки. Когда φ превышает некоторое значение $\varphi_{кр}$ (в реальных условиях $\varphi_{кр}$ меньше десяти градусов), то начинается скольжение и сила трения резко подает до значения $F = \mu N$, где μ- обычный коэффициент трения скольжения, т.е. $k\varphi_{кр}N > \mu N$. График зависимости силы трения, действующей на колесо, от угла φ между плоскостью колеса и направлением движения его центра представлен на рисунке 3..

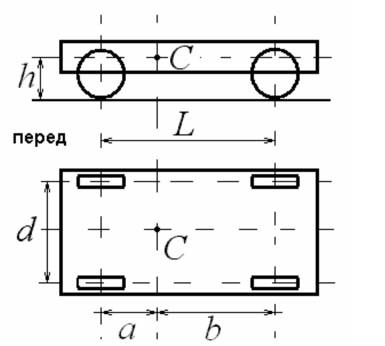


Рис. 4

Рассмотрим автомобиль со следующими характеристиками: масса – M, длина базы (расстояние между осями) – L, ширина (расстояние между колёсами одной оси) – d, расстояния от центра тяжести C до передней и задней оси равны соответственно a и b ($a+b=L$), высота центра тяжести – h. Схематическое изображение автомобиля приведено на рисунке 4.

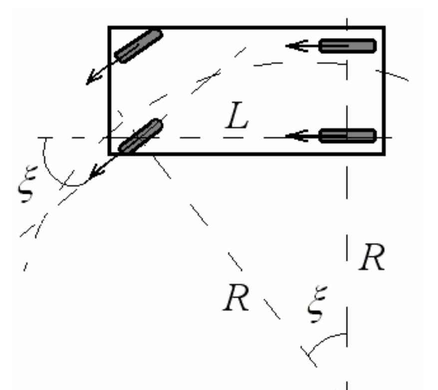


Рис. 5

Углом поворота называется угол, под которым видна база автомобиля из центра кривизны поворота, т.е. отношение L к R (рис. 5). На этом рисунке схематически изображён поворот автомобиля на очень маленькой скорости. При этом угол увода практически равен нулю (центростремительная сила очень маленькая) и векторы скоростей движения центров колёс лежат в их плоскостях. Т.е. при повороте передних колёс на угол ξ относительно продольной оси корпуса, автомобиль также поворачивает под углом ξ. В задаче рассматриваются повороты достаточно большого радиуса (угол ξ очень маленький), поэтому можно пренебречь различиями в траектории левых и правых колёс автомобиля.

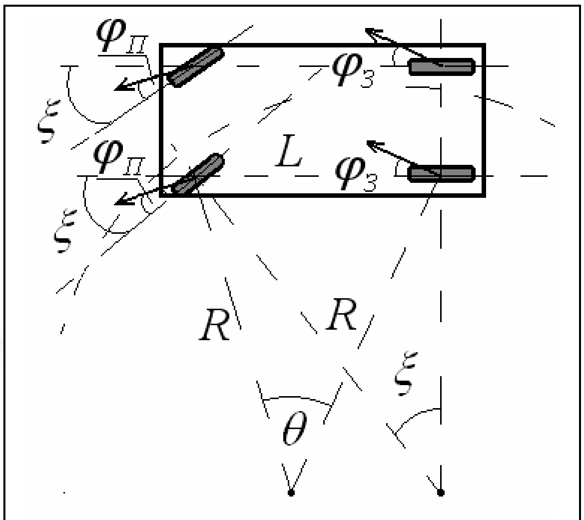


Рис. 6

При поворотах на большой скорости ситуация изменяется. Для того чтобы реализовать большую центростремительную силу, углы увода у колёс должны быть отличными от нуля. В итоге автомобиль поворачивает не под углом ξ, а под некоторым углом θ. Ситуация быстрого поворота изображена на рисунке 6 (углы сильно преувеличены). Углы увода передних и задних колёс обозначены $\varphi_П$ и $\varphi_З$ соответственно.

Приступим к анализу явления:

1. Выразите угол θ через ξ, $\varphi_П$ и $\varphi_З$.

2. Автомобиль входит в левый поворот большого радиуса R на скорости v. Определите величину нагрузки на каждое колесо: $N_{ПЛ}, N_{ПП}, N_{ЗЛ}, N_{ЗП}$ (первый индекс: П – переднее, З – заднее; второй индекс: Л – левое, П – правое). Поворот проходится без скольжения.

Для описания поведения автомобиля при поворотах используют термин «поворачиваемость». Поворачиваемость бывает нейтральная, избыточная или недостаточная. Т.е. при повороте передних колёс на некоторый угол ξ, автомобиль может поворачивать под этим же углом, под углом большим или меньшим ξ: $\theta = \xi, \theta > \xi$ или $\theta < \xi$ соответственно.

3. Покажите, что при одинаковых коэффициентах увода k передних и задних шин автомобиль будет иметь нейтральную поворачиваемость. Имейте в виду, что углы очень маленькие, поэтому можно считать, что силы трения, действующие на колёса, направлены вдоль оси, соединяющей центр тяжести автомобиля и центр кривизны поворота, т.е. сонаправлены с центростремительным ускорением.

4. Определите максимальную безопасную (автомобиль не скользит) скорость $v_{\max}$ движения в повороте радиуса R. Критический угол увода равен $\varphi_{кр}$.

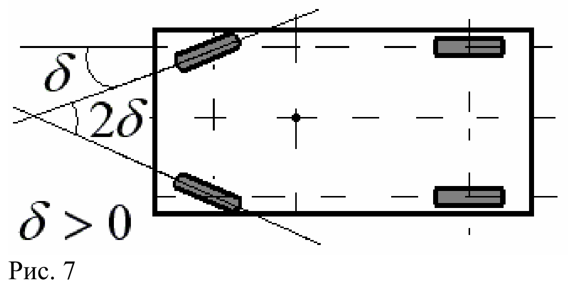


Рис. 7

Далее шины также будем считать одинаковыми.

Для изменения поведения автомобиля на дороге меняют угол схождения передних или задних колёс. Угол схождения положительный, если колёса «смотрят» вовнутрь и отрицательный, если наружу. Мы рассмотрим только случай изменения схождения передних колёс. На рисунке 7 изображена ситуация положительного схождения передних колёс. Угол для наглядности сильно преувеличен, в реальности его величина составляет единицы градусов.

5. Определите, при каких δ автомобиль обладает избыточной, а при каких недостаточной поворачиваемостью.

6. Покажите, что при избыточной поворачиваемости существует максимальная скорость v_{crit} устойчивого прямолинейного движения автомобиля. Определите эту скорость.

7. Определите максимальную безопасную скорость $v'_{\max}$ движения в повороте радиуса R при избыточной поворачиваемости. Критический угол увода равен $\varphi_{кр}$.

УТВЕРЖДЕНО
Заместитель председателя оргкомитета
заключительного этапа республиканской олимпиады

_________________ К.С. Фарино.
«____» декабря 2006 года

Республиканская физическая олимпиада (III этап) 2007 год
Теоретический тур

11 класс.

Задача 1. «Взрывная эмиссия»

В данной задаче Вам предстоит исследовать явления, происходящие при эмиссии (по-русски «испускании») электронов поверхностью металла (в данном случае платины). Вам понадобятся некоторые характеристики платины, представленные в таблице.

Характеристики платины.

Обозначение	Pt
Молярная масса μ , г/моль	195
Плотность ρ , кг/м^3	21450
Удельная теплоемкость c , Дж/(кг К)	134
Теплопроводность κ , Вт/(м К)	71,6
Температура плавления, К	2045
Удельное электрическое сопротивление γ , Ом м	$1{,}1\cdot 10^{-7}$

1. Концентрация электронов.

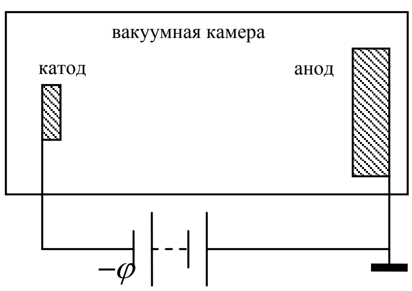
Основными носителями заряда в металлах являются электроны. Оцените концентрацию электронов проводимости в платине, считая, что от каждого атома в зону проводимости перешел один электрон.

Число Авогадро $N_A = 6,023 моль^{-1}$.

2. Электрическое поле

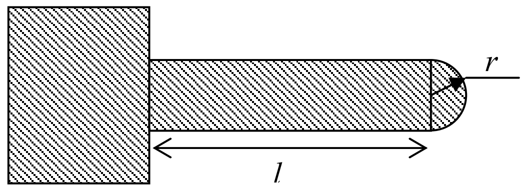
Для того чтобы электрон смог покинуть металл, необходимо ему «помочь», создав, например, электрическое поле у поверхности и/или повысив температуру металла. В частности, это может быть электрическое поле, создаваемое самим металлом, если у него есть какой-то электрический потенциал.

Рассмотрим установку, работу которой Вам предстоит исследовать. Она представляет собой металлический анод и платиновый образец-катод, находящиеся в глубоком вакууме. Анод заземлен. Потенциал катода отрицательный и равен $-\varphi$.



Будем считать, что электроны, вылетевшие с поверхности металла, сразу же уносятся электрическим полем к аноду и никакого влияния на происходящие в установке процессы не оказывают.

На поверхности платинового катода, как бы хорошо она ни была отшлифована, всегда имеются шероховатости, неровности, микровыступы. В случае необходимости, микроострия могут быть созданы специально. Рассмотрим одно такое острие. Оно представляет собой тонкую цилиндрическую иголочку длиной $l = 500 мкм$ и радиусом $r = 10 мкм$, заканчивающуюся полусферическим острием такого же радиуса $r = 10 мкм$.



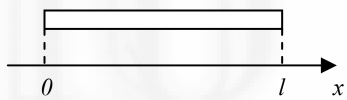
К катоду приложен потенциал $-\varphi$. Покажите, что модуль напряженности вблизи острия равен $E \approx \frac{\varphi}{r}$, где r - радиус кривизны острия.

3. Теплопроводность.

Если тело нагрето неравномерно, то возникает перенос тепла из более горячих частей в более холодные, при этом поток теплоты (то есть теплота, переносимая через единичную площадь за единицу времени $q = \frac{\Delta Q}{\Delta S \Delta t}$*) определяется законом Фурье* $q = -\kappa \frac{\Delta T}{\Delta x}$*, где* ΔT *- разность температур в близких точках, расстояние между которыми* Δx*, а коэффициент* κ *- так называемая теплопроводность вещества. Знак минус подчеркивает, что тепло переносится от частей с большей температурой к частям с меньшей температурой.*

Рассмотрим однородный стержень длиной l, площадью поперечного сечения S и теплопроводностью κ.

3.1. Боковая поверхность стержня теплоизолирована. На первом торце ($x = 0$) температура поддерживается равной T_0, на втором ($x = l$) T_1. Найдите распределение температуры $T(x)$ вдоль стрежня. Изобразите примерный график распределения температуры.



3.2. Весь стержень теплоизолирован, кроме торца $x = 0$, на котором поддерживается температура T_0. Найдите распределение температуры вдоль стержня. Изобразите примерный график этой зависимости.

3.3. Пусть в единице объема стержня в единицу времени выделяется теплота w (ещё её можно назвать плотностью мощности тепловыделения). Весь стержень теплоизолирован, кроме торца $x = 0$, который поддерживается при постоянной температуре T_0. Покажите, что распределение температуры вдоль стержня $T(x) = T_0 + \frac{w}{\kappa} x(l - \frac{x}{2})$. Чему равна температура торца ($x = l$) T_l?

3.4. Стержень сделан из металла с удельным сопротивлением γ и по нему течет ток плотностью j. Весь стержень теплоизолирован, кроме торца $x = 0$, который поддерживается при постоянной температуре T_0. Найдите температуру торца ($x = l$) T_l.

4. Эмиссия электронов.

Вернемся к платиновому образцу. Если потенциал металла отрицательный, то вблизи поверхности металла создается электрическое поле, которое помогает электронам покинуть металл. Плотность тока с поверхности металла зависит от *напряженности электрического поля E и температуры T, причем зависимость эта достаточно сложная, но в интересующем нас диапазоне напряженностей и температур её можно аппроксимировать следующим образом*

$$j(T)=\begin{cases} a, & T<b \\ a+k(T-b), & T\geq b \end{cases}$$

причем сами коэффициенты a, b, k зависят от напряженности электрического поля

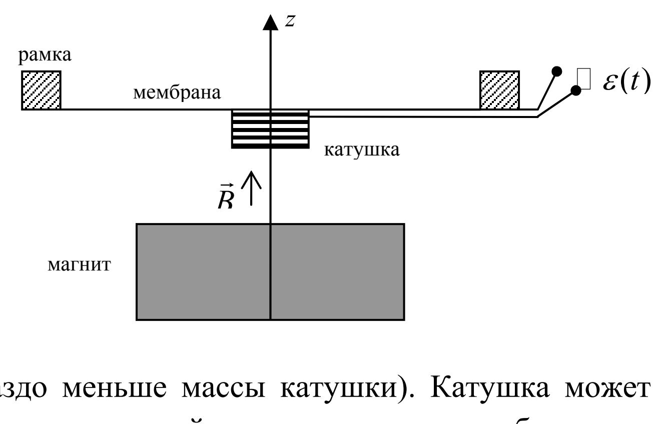
$$a=a_1\exp(a_2E)$$
$$b=b_1-b_2E$$
$$k=k_1\exp(k_2E)$$

$a_1=2,60\cdot10^5\,А/м^2$	$b_1=1983К$	$k_1=319\,А/м^2К$
$a_2=1,01\cdot10^{-9}\,м/В$	$b_2=1,67\cdot10^{-8}\,К\cdot м/В$	$k_2=9,39\cdot10^{-10}\,м/В$

4.1. Изобразите примерный график зависимости плотности тока от температуры $j(T)$ при отсутствии электрического поля. Как изменится этот график, при наличии электрического поля?
4.2. К катоду приложили отрицательный потенциал по абсолютной величине равный $50кВ$. Определите установившуюся температуру T_l острия платиновой иголочки. Основание иголочки поддерживается при температуре $T_0=300К$, вся остальная иголочка теплоизолирована (потерями на излучение можно пренебречь). Считайте, что эмиссия электронов происходит только с полусферического острия иголки.
4.3. Если температура острия достигает температуры плавления, то происходит его разрушение – быстрое испарение в вакуум. Определите критический потенциал $\varphi_{кр}$, т.е. максимальный потенциал, который можно приложить к катоду, чтобы ещё не произошло разрушение острия иголочки.
4.4. К катоду приложили отрицательный потенциал, по величине равный $\varphi=130кВ$. Чему равна плотность тока сразу после включения? Найдите время после включения, через которое произойдет взрыв иголочки.

Задача 2 «Динамик»

В данной задаче Вам предстоит рассмотреть работу простейшего динамического громкоговорителя (проще говоря, динамика).



Динамик представляет собой тонкую круглую упругую мембрану радиусом $r_d=10,0см$, края которой жестко закреплены в круглой металлической рамке. К центру мембраны приклеена маленькая круглая проволочная катушка радиусом $r=10,0мм$, числом витков $N=100$, индуктивностью $L=1,0мкГн$ и сопротивлением $R=4,0Ом$. Масса катушки $m=50,0г$ (масса мембраны гораздо меньше массы катушки). Катушка может совершать вместе с мембраной колебания в вертикальной плоскости, причем собственная частота колебаний (т.е. частота колебаний в вакууме) равна $f_0=30Гц$. При колебаниях в воздухе мембрана создает звуковые волны, при этом на нее действует сила сопротивления, пропорциональная мгновенной скорости движения катушки $F_{сопр} = -\beta v$, Коэффициент $\beta = \frac{2\gamma P_0 S}{c}$, где $\gamma = 7/5$ - показатель адиабаты, $P_0 = 1,0 \cdot 10^5 \, Па$ - атмосферное давление, $c = 333 \, м/с$ - скорость звука в воздухе, S - площадь мембраны. Силы вязкого трения считайте пренебрежимо малыми.

Проволочная катушка находится в магнитном поле постоянного магнита, при этом ось катушки и ось симметрии магнитного поля совпадают. Вертикальная составляющая индукции магнитного поля вблизи катушки равна $B_z = B_0(1-\alpha z)$, причем коэффициенты $B_0 = 1,0 Тл$, $\alpha = 100 м^{-1}$, а координата z отсчитывается от положения равновесия катушки.

1. Через катушку протекает постоянный ток I. Найдите силу F_A, действующую на катушку со стороны магнитного поля.

2. К катушке приложили ЭДС, изменяющуюся по закону $\varepsilon(t) = \varepsilon_0 \cos \omega t$. Найдите амплитуду установившихся колебаний катушки A. Изобразите примерный график зависимости $A(\omega)$. Определите амплитуду колебаний при частоте переменного напряжения $f = 30 Гц$ и амплитуде $\varepsilon_0 = 1В$.

3. К катушке приложили ЭДС, изменяющуюся по закону $\varepsilon(t) = \varepsilon_0 \cos \omega t$. Найдите среднюю звуковую мощность $P_{зв}$, излучаемую динамиком. Определите максимальную звуковую мощность $P_{зв\max}$, если амплитуда напряжения $\varepsilon_0 = 1В$. На какой частоте она достигается? Оцените максимальный КПД $\eta_{\max}$ динамика. Определите рабочий диапазон динамика. Изобразите примерный график зависимости звуковой мощности от частоты переменного напряжения $P_{зв}(\omega)$ (или $P_{зв}(f)$).

Примечания.

1. В данной задаче приняты следующие обозначения для частот:

f - циклическая частота (измеряется в Гц),

ω - угловая частота (измеряется в $с^{-1}$).

$$\omega = 2\pi f$$

2. КПД динамика – отношение излучаемой звуковой мощности к потребляемой электрической мощности.

3. Рабочий диапазон динамика – интервал частот, на границах которого мощность в 2 раза меньше максимальной мощности.

4. Человеческое ухо способно воспринимать звук частотой от 20Гц до 20000Гц.