



*А.И. Слободянюк
В.И. Аncyулевич
В.В. Барашков
А.А. Мищук*



*Республиканская физическая
олимпиада 2013 года
(заключительный этап)*

Теоретический тур.

*Витебск
2013*

Задача 9-1. Знаете ли Вы законы Архимеда и Паскаля?

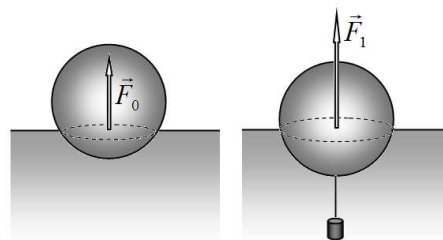
Вопрос 0. Запишите формулу для силы Архимеда, все обозначения расшифруйте.

Далее задача состоит из 5 несвязанных между собой вопросов.

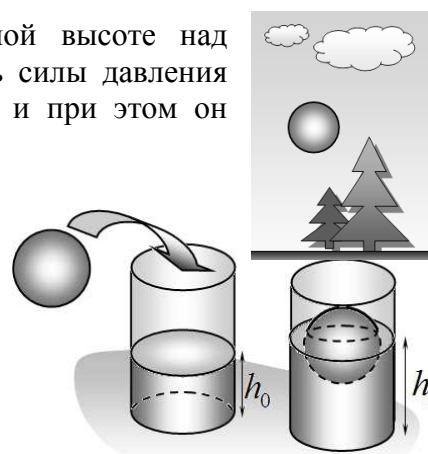
Это не тест!

Все ответы необходимо обосновать рассуждениями, формулами, расчетами!

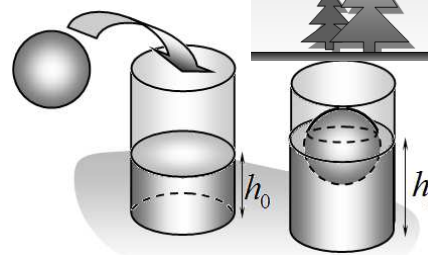
1.1 На поверхности воды плавает тонкостенный шар. Сила Архимеда, действующая на шар по модулю равна F_0 . К шару прикрепляют небольшой груз, масса которого равна массе шара, а объем значительно меньше объема шара. Чему равна сила Архимеда F_1 , действующая на шар в этом случае? Шар не утонул.



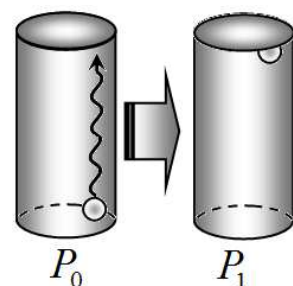
1.2 Шар радиуса R плавает в воздухе на небольшой высоте над поверхностью земли. Во сколько раз увеличится модуль силы давления воздуха на шар, если его радиус увеличить в два раза и при этом он останется в воздухе примерно на той же высоте?



1.3 В вертикальном цилиндрическом сосуде находится вода. Высота уровня воды равна h_0 . В сосуд опускают шарик, масса которого в два раза меньше массы воды в сосуде. До какой высоты h_1 поднимется уровень воды в сосуде сразу после опускания шара, при условии, что шарик остается на плаву?

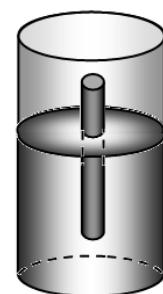


1.4 Закрытый вертикальный цилиндрический сосуд полностью заполнен водой. Непосредственно у дна сосуда находится небольшой пузырек воздуха. Давление воды на верхнюю крышку в 3 раза меньше давления жидкости на дно. Во сколько раз изменится давление жидкости на дно сосуда $\frac{P_1}{P_0}$, когда пузырек всплывет.



Температура воды в сосуде не изменяется.

1.5 В широком вертикальном цилиндрическом сосуде находится жидкость плотности ρ_1 , в которой вертикально плавает тонкий цилиндрический стержень. При этом стержень на $\frac{2}{3}$ своей длины оказывается погруженным в жидкость. Затем сверху в сосуд начинают доливать другую жидкость (плотности ρ_2), которая не смешивается с первой жидкостью. Когда высота слоя этой жидкости стала равна половине длине стержня, стержень оказался погруженным в первую жидкость на половину своей длины, а верхняя его



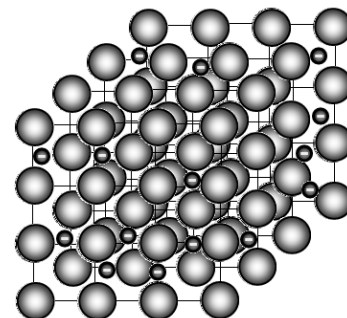
половина также оказалась погруженной во вторую жидкость. Определите отношение плотностей жидкостей $\frac{\rho_2}{\rho_1}$.

Задача 9-2 Сравним амперы с ньютонами!

Законы физики едины, что для Вас, что для электронов!

В данной задаче Вам предстоит проанализировать, как живет электрон внутри кристаллической решетки металла, да еще при протекании электрического тока, носителями которого и являются эти же электроны.

Будем изучать и оценивать жизнь электронов внутри меди. Для упрощения будем считать (хотя это не совсем так), что ионы меди находятся в узлах простой кубической решетки, между которыми мечутся свободные электроны.



Для решения задачи Вам понадобятся следующие величины:

$$\text{Плотность меди } \gamma = 8,96 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$\text{Удельное электрическое сопротивление меди } \rho = 0,017 \text{ мкОм} \cdot \text{м};$$

$$\text{Масса атома меди } m = 1,1 \cdot 10^{-25} \text{ кг};$$

$$\text{Заряд электрона } e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}.$$

Во всех пунктах задачи Вы должны получить формулу, а потом найти численное значение!

1. Используя приведенные данные, определите среднее расстояние r между центрами соседних ионов меди в решетке (эта величина также называется периодом решетки).
2. Определите среднюю концентрацию (число в единице объема) свободных электронов в кристалле меди. Считайте, что каждый атом жертвует один электрон в коллективное пользование.
3. Все дальнейшие пункты задачи начинаются со следующего предложения: «По медному проводу с площадью поперечного сечения $S = 1,0 \text{ мм}^2$ протекает ток силой $I = 1,0 \text{ А}$ ».
Оцените среднюю скорость направленного движения свободных электронов. Сколько ячеек решетки в среднем проходит электрон за одну секунду?
4. На электроны со стороны решетки действует тормозящая сила (иначе электроны все время бы ускорялись). Оцените среднюю силу, действующую на электрон со стороны кристаллической решетки.
5. Выделим кусок провода длиной $l = 1,0 \text{ см}$. С какой силой (в ньютонах) действуют все электроны в этом участке провода на кристаллическую решетку? Предположим, что этот участок провода свободен, оцените ускорение, которое бы он приобрел под действием силы со стороны, действующей со стороны электронов? Почему эта сила никак не проявляется при протекании тока?

Задача 9-3 Ходьба человека

Ходьба человека — физиологический процесс перемещения тела в пространстве, при котором опора на одну ногу циклично сменяется опорой на другую. Одним из способов изучения этого сложного процесса является регистрация силы, действующей на поверхность при передвижении человека. Для этого используется «силовая платформа» - беговая дорожка с датчиками, позволяющими регистрировать результирующую силу давления на поверхность.

На рис. 1. представлен график зависимости удельной (отнесенной к весу неподвижного человека) нормальной силы реакции опоры, оказываемой одной ногой идущего человека.

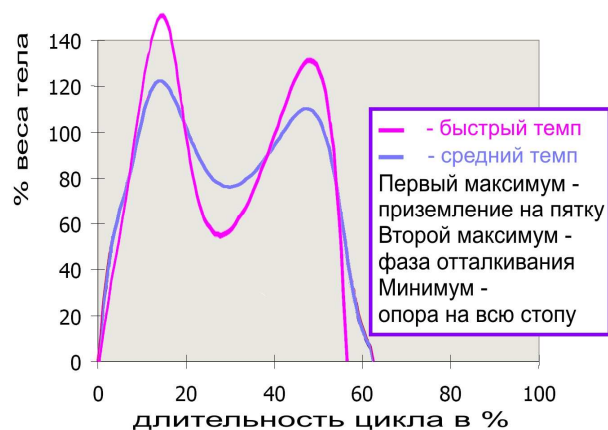


Рис. 1. (Источник – Википедия)

Первый «горб» соответствует интервалу времени, когда человек касается поверхности пяткой, второй максимум — процесс отталкивания носком стопы. Между ними находится минимум, соответствующий полному касанию поверхности стопой. Обратите внимание, что одна нога касается поверхности в течение 60% цикла. Т. е. существуют промежутки времени, когда человек касается поверхности обеими ногами.

На рис. 2. приведена зависимость силы, направленной вдоль поверхности (по направлению движения человека). Эта сила равна силе трения, действующей на стопу человека. Минимум в начале цикла соответствует торможению при касании пяткой. Максимум — отталкиванию носком.

Передне-задняя составляющая реакции опоры = силе трения

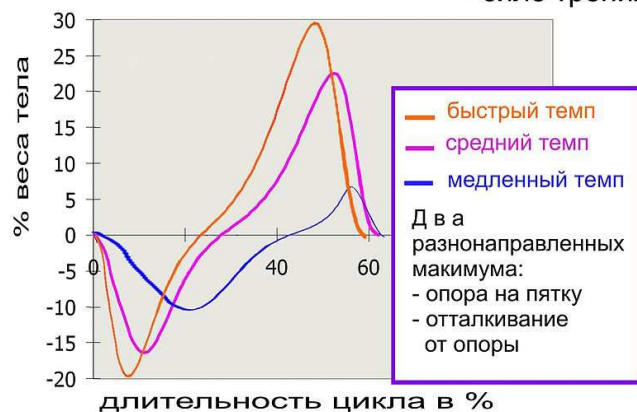


Рис. 2. (Источник – Википедия)

Безусловно, такие графики очень сложно анализировать без помощи вычислительной техники. Поэтому мы предлагаем Вам изучить более простые зависимости, которые позволят количественно проанализировать процесс ходьбы.

Рассмотрите показания датчиков при ходьбе человека со средней скоростью $v_0 = 1,0 \text{ м/с}$, делающего ровно два шага в секунду, т. е. длительность цикла ходьбы составляет ровно 1 секунду.

Ускорение свободного падения считайте равным 10 м/с^2 .

Часть 1. Продольная составляющая силы реакции.

На бланке представлен график зависимости удельной продольной силы реакции опоры (силы трения), действующий на одну ногу человека.

1.1 Учтите, что некоторое время человек касается опоры двумя ногами, нарисуйте график зависимости горизонтальной составляющей ускорения центра масс человека в течение цикла ходьбы (1 секунда).

1.2 Нарисуйте график зависимости мгновенной горизонтальной скорости движения центра масс человека в течение цикла. Помните, что человек движется со средней скоростью $v_0 = 1,0 \text{ м/с}$, т. е. скорость в конце каждого цикла такая же как и в начале.

1.3 Определите значение горизонтальной скорости в начале цикла ($t = 0 \text{ с}$). Чему равна минимальная и максимальная горизонтальная скорость движения центра масс?

Часть 2. Нормальная составляющая силы реакции.

На бланке представлен график зависимости удельной нормальной силы реакции опоры (силы трения), действующей на одну ногу человека.

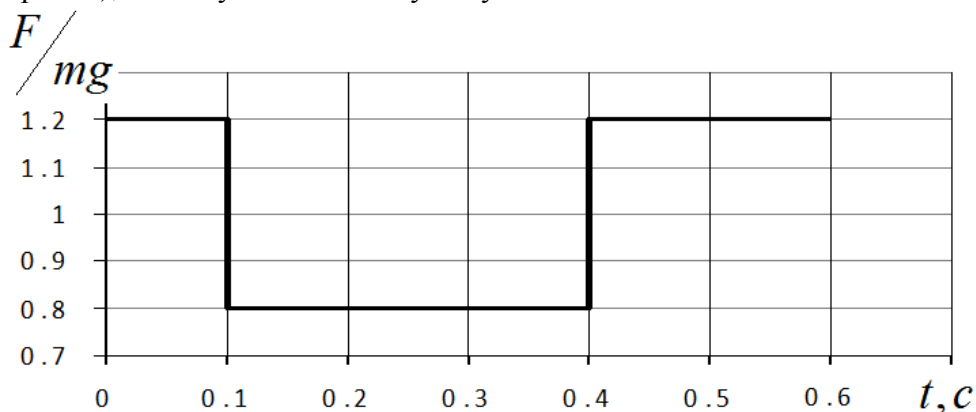


Рис. 4.

2.1 Нарисуйте график зависимости вертикальной составляющей ускорения центра масс человека в течение цикла ходьбы.

2.2 Нарисуйте график зависимости мгновенной вертикальной скорости движения центра масс человека в течение цикла.

2.3 Определите значение вертикальной скорости в начале цикла. Чему равна минимальная и максимальная вертикальная составляющая скорости центра масс человека?

Часть 3. Превращение энергии.

Пусть масса человека равна $m = 80 \text{ кг}$

3.1 Постройте приблизительный график зависимости кинетической энергии центра масс человека от времени в течении одного цикла.

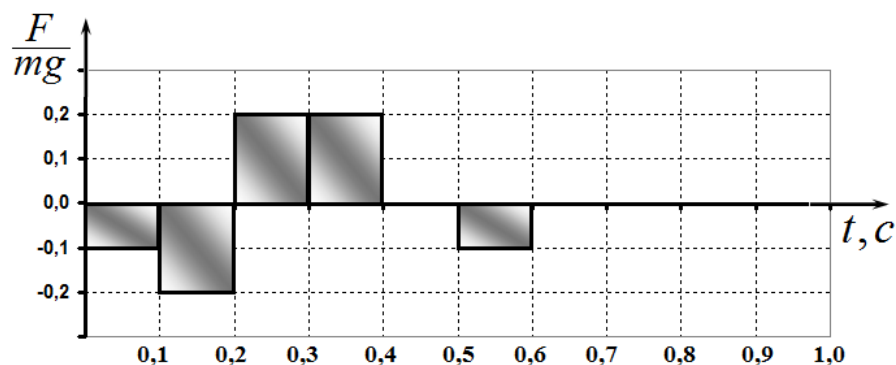
3.2 В каких пределах изменяется кинетическая энергия в процессе ходьбы?

3.3 Постройте приблизительный график потенциальной энергии человека от времени в течение одного цикла. Примите потенциальную энергию в начальный момент равной 0.

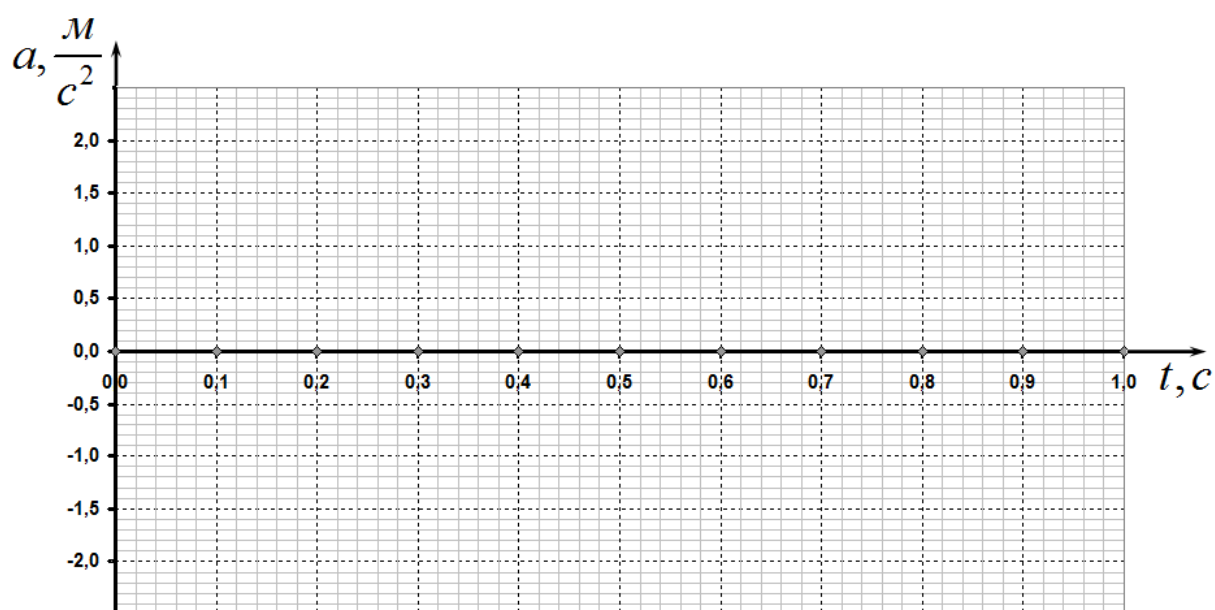
3.4 В каких пределах изменяется потенциальная энергия человека в цикле ходьбы?

Горизонтальное смещение центра масс

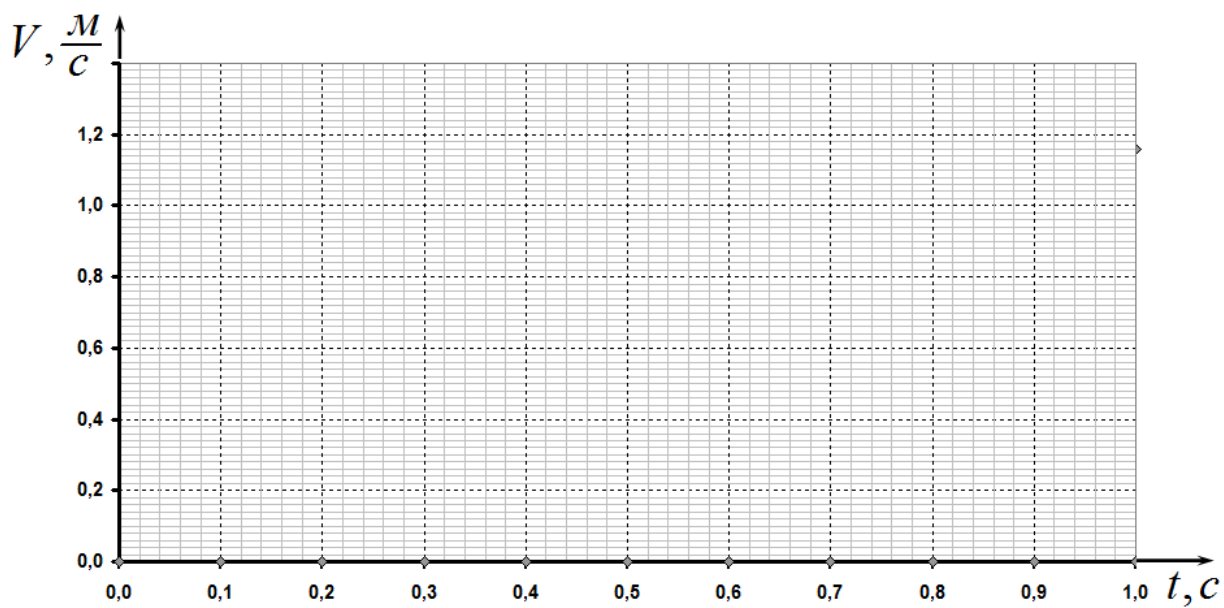
1. Зависимость горизонтальной составляющей силы, с которой одна нога действует на опору, от времени.



2. Зависимость горизонтальной составляющей ускорения центра масс человека от времени.

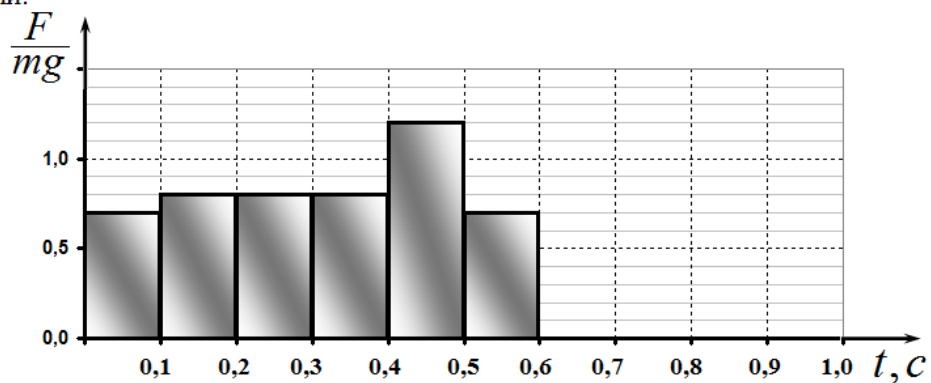


3. Зависимость горизонтальной составляющей скорости центра масс человека от времени.

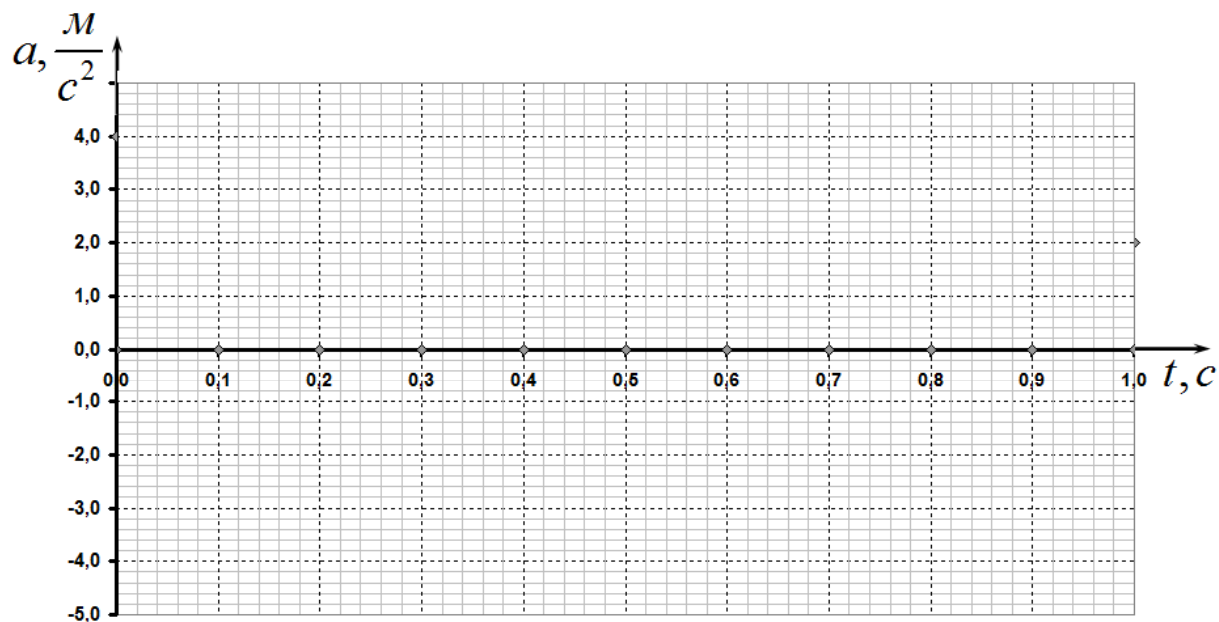


Вертикальное смещение центра масс

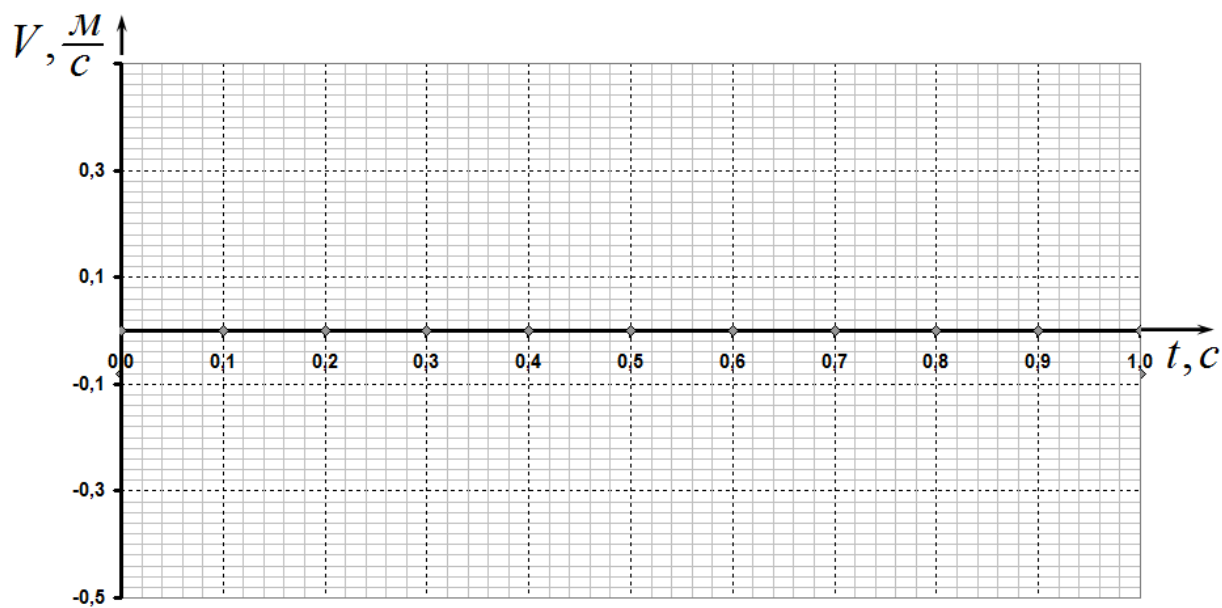
1. Зависимость вертикальной силы, с которой одна нога действует на опору, от времени.



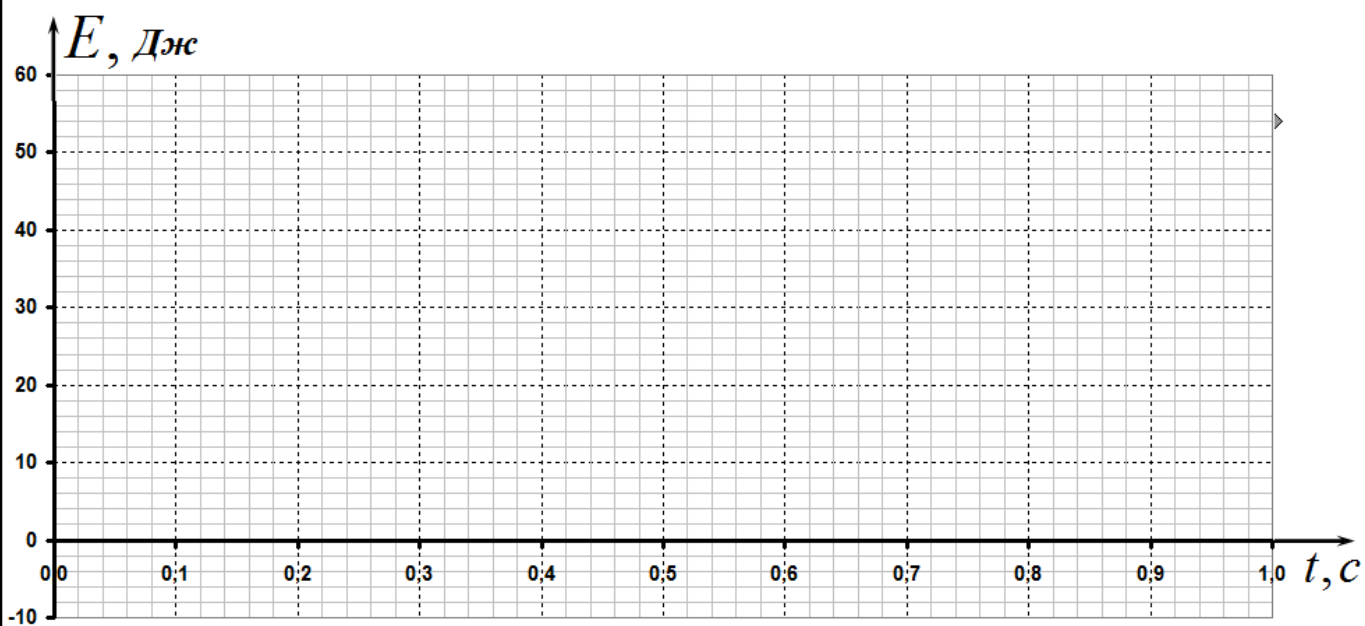
2. Зависимость вертикальной составляющей ускорения центра масс человека от времени.



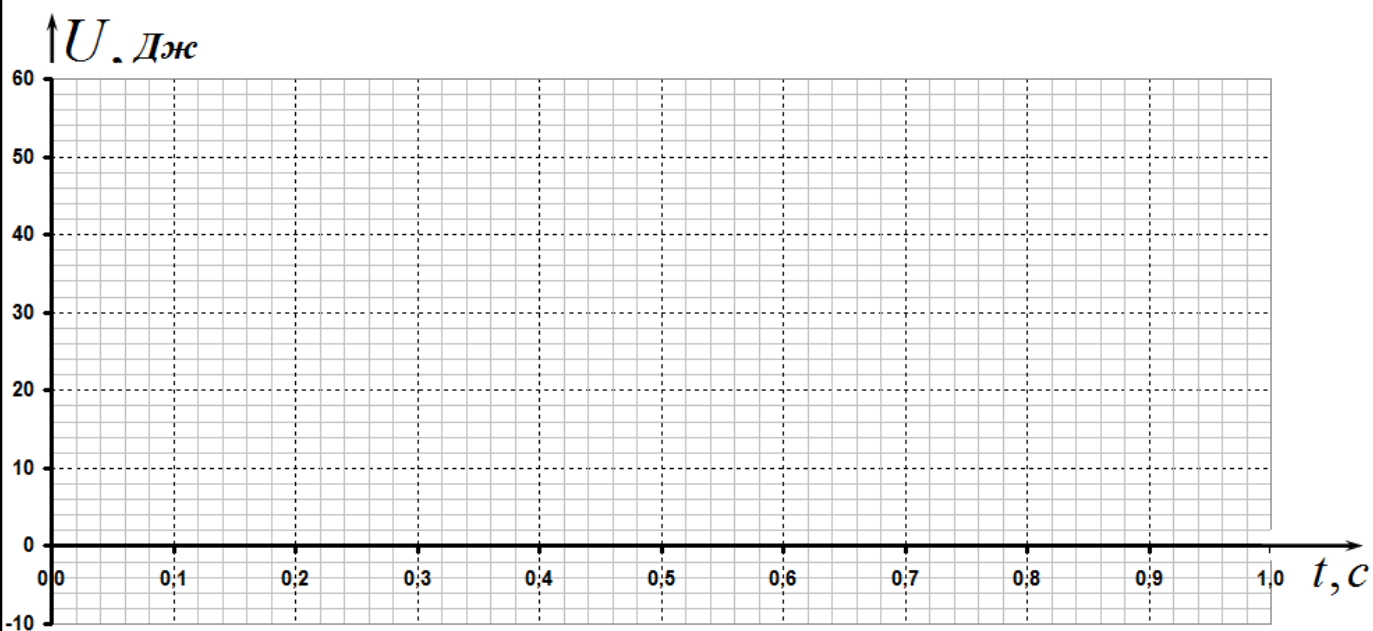
3. Зависимость вертикальной составляющей скорости центра масс человека от времени.



Зависимость кинетической энергии от времени



Зависимость потенциальной энергии от времени



Задача 10-1 Погреемся на солнышке?

Приятно ранней весной после продолжительной зимы погреться на ярком весеннем солнышке! Именно во время этого приятного времяпровождения и появилась идея этой задачи.

Для начала небольшая справка.

1. Солнечная постоянная (мощность энергии падающей на единицу площади при нормальном падении) равна $q_0 = 1,4 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}$.

2. Число молекул газа, ударяющихся в единицу времени о единичную площадку определяется по формуле

$$\nu = \frac{1}{4} n \langle v \rangle = \frac{1}{4} n \sqrt{\frac{8 RT}{\pi M}}, \quad (1)$$

где n - концентрация молекул газа, $M = 29 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$ - молярная масса воздуха,

$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ - универсальная газовая постоянная, T - абсолютная температура.

3. Будем считать, что температура воздуха постоянна и равна $t_0 = 10^\circ\text{C}$, атмосферное давление постоянно и равно $P_0 = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Относительная влажность воздуха $\varphi = 60\%$.

3. Давление насыщенных паров воды при $t_0 = 10^\circ\text{C}$ равно $P_n = 1,3 \text{ кПа}$.

Удельная теплота испарения воды равна при этой температуре равна $L = 2,47 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.

Плотность воды $\rho_1 = 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, Молярная масса воды $M_1 = 18 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$.

4. Плотность стали $\rho = 7,9 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, теплопроводность стали $\alpha = 46 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$.

Пусть температура одной стороны однородной пластинки равна t_1 , а второй t_2 , тогда поток теплоты (количество теплоты, протекающей через единичную площадку в единицу времени) через пластинку определяется законом Фурье:

$$q = \alpha \frac{t_1 - t_2}{h}, \quad (2)$$

где h - толщина пластинки.

Часть 1. Почему черное теплее?

Солнечный свет падает нормально на стальную пластинку толщиной $h = 2,0 \text{ см}$. Вторая сторона пластинки теплоизолирована. Требуется определить установившуюся температуру пластинки. Тяжело? - Поможем!

1.1 Если температура пластинки выше температуры воздуха, то теплота частично уходит от пластинки в воздух. Принято считать, что поток этой теплоты (количество теплоты в единицу времени с площадки единичной площади) пропорционален разности температур пластинки и воздуха

$$q = a \Delta t, \quad (3)$$

Коэффициент теплоотдачи a сложным образом зависит от материала пластинки, свойств воздуха и даже ориентации пластинки. Однако для его оценки используйте следующую модель: о поверхность пластинки ударяются молекулы, средняя энергия которых соответствует температуре воздуха, а отлетают от нее со средней энергией соответствующей температуре пластинки.

Определите значение коэффициента теплоотдачи в описанных условиях (получите формулу и рассчитайте его численное значение).

1.2 Пусть коэффициент поглощения солнечного излучения равен k . Найдите установившуюся температуру пластинки, нормально освещаемой солнечным светом. Рассчитайте численное значение этой температуры для черной ($k = 1$) и белой ($k = 0,2$) пластинки.

В частях 2-3 поглощение полное.

Часть 2. Почему в тени холоднее?

Пусть обе стороны пластинки находятся в воздухе. Одна сторона пластинки освещена.

2.1 Найдите разность температур освещенной и неосвещенной сторон пластинки.

Часть 3. Почему мокрое холоднее?

Покроем пластинку мокрой тканью (считайте, что она постоянно покрыта тонким слоем воды) и нормально освещается солнечным светом. Будем считать, что дует достаточно сильный ветер, так, что над водой все время находится воздух с указанной влажностью.

3.1 Рассчитайте поток теплоты, уносимый с пластинки вследствие испарения воды.

3.2 Найдите установившуюся температуру пластинки, если ее вторая сторона теплоизолирована.

Часть 4.

Возможно, вас удивят некоторые полученные вами результаты. Предложите возможные причины расхождения результатов расчетов с вашим повседневным опытом.

Задача 10-2 Мы мирные люди...

На 3 этапе Республиканской физической олимпиады Вы решали задачу о старте военной ракеты. Сейчас – все войны закончились, мы радуемся мирной жизни. Часто на воздушных парадах самолеты выпускают красивые, цветные шлейфы дыма, раскрашивая ими небосвод. Давайте попытаемся описать поведение этих шлейфов. Упростим ситуацию: действия будут проходить в безвоздушном пространстве. Более того, в первых частях в открытом космосе, где и силами гравитации можно пренебречь. Космический корабль имеет дымовую пушку. Дымовая пушка выпускает частицы дыма с постоянным расходом (т.е. в единицу времени выпускается одно и то же число частиц) с постоянной относительно корабля скоростью u . Можно считать, что все частицы испускаются и остаются в пределах цилиндра с некоторым постоянным диаметром. Если дым испускается неподвижной дымовой пушкой, то концентрация частиц в струе дыма постоянна и равна c_0 .

Корабль снабжен двигателем, который изменяет модуль скорости корабля на величину u за время T .

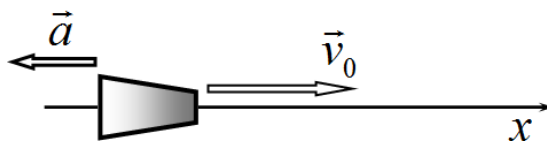
Удобно ввести собственную систему единиц измерения, выбрав в качестве основных единиц: единицу скорости u и единицу времени T .

Часть 1. Знакомство с новой системой единиц измерения.

1.1 Что является единицей длины во введенной системе?

1.2 Что является единицей ускорения в этой системе единиц?

1.3 Пусть корабль движется вдоль прямой линии со скоростью $v_0 = 2u$ и в момент времени $t = 0$ включает двигатель, сообщаящий кораблю ускорение, направленное в сторону противоположную вектору начальной скорости. Запишите закон движения корабля в используемой системе единиц. Совместим начало отсчета с положением корабля в момент времени $t = 0$.



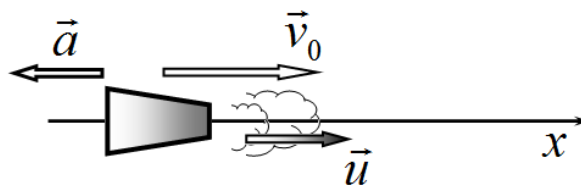
Если Вам не нравится эта система – решайте далее в обычной системе (пишите многочисленные u, T, a_0 и т.д.)

Часть 2. Открытый космос.

Пусть корабль движется так, как описано в п.1.3

Корабль включает дымовую пушку, направленную в сторону его начальной скорости.

Ваша задача – описать дымовой шлейф, выпущенный кораблем.



2.1 Чему будет равна длина шлейфа в момент времени, когда корабль вернется в исходную точку?

Для того, что бы описать концентрацию дыма в шлейфе, можно воспользоваться следующим приемом.

2.2 Запишите функцию $X(t, \tau)$ - координату частицы дыма в момент времени t , если эта частица была выпущена в момент времени τ .

2.3 Как зная функцию $X(t, \tau)$ найти распределение концентрации дыма в шлейфе в момент времени t ? Укажите те точки, в которых концентрация равна c_0 .

Эта процедура простая, но громоздкая, поэтому в дальнейшем ограничимся качественным (но правильным) описанием распределения частиц дыма в шлейфе.

2.4 Постройте схематический¹ график функции $X(t, \tau)$ в момент времени, когда корабль вернулся в исходную точку и через время $2T$ после этого.

2.5 Нарисуйте схематический график распределения концентрации частиц дыма в эти два момента времени.

2.6 Выполните пункты 2.1, 2.3, 2.4, 2.5 этой части, в том случае когда корабль выпускает дым в противоположную сторону. Расчет проведите только для момента времени, когда корабль вернулся в исходную точку

Часть 3. На новой планете.

После прибытия на вновь открытую планету (к сожалению, для жителей, и к счастью для вас атмосферы на планете нет), аргонавты вселенной (те что прилетели на этом корабле) решили отметить свое прибытие дымовым украшением планеты. Ускорение свободного падения на этой планете в два раза меньше ускорения ракеты. Считайте его постоянным и по модулю и по направлению.

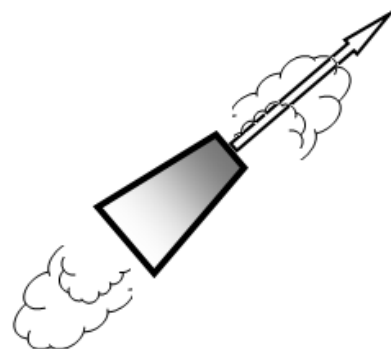
После того, как корабль набрал большую высоту, он стал двигаться постоянной скоростью $2u$ по прямой, направленной под углом 45° к горизонту.

Праздновать, так праздновать решил капитан и включил две дымовые пушки – на носу и на корме корабля.

3.1 Считая дымовой шлейф узкой полоской, нарисуйте схематически его форму через время $3T$ после включения дымовых пушек. Опишите использованную вами процедуру расчета этой формы.

Для однозначного толкования введите систему координат и опишите форму следа на языке функций (например, $y(x)$, или любым иным однозначным образом).

На этом же рисунке укажите траекторию корабля.



¹ Схематический график означает, что точно все его точки рассчитывать не надо. Но обязательно надо указать все его существенные особенности: крайние точки, точки экстремумов и разрывов, также следует посчитать значения в трех-четырех точках внутри рассматриваемого интервала.

Задача 10-3 Термистор

Все требуемые графики постройте на отдельном, выданном вам бланке!

Терморезистор – полупроводниковый прибор, сопротивление которого существенно изменяется при изменении его температуры.

В данной задаче, мы предлагаем Вам теоретически исследовать термистор — терморезистор, сопротивление которого уменьшается при увеличении температуры.

Зависимость сопротивления термистора от температуры достаточно сложная для учеников 10 класса. Поэтому в данной задаче мы аппроксимируем эту зависимость следующим образом:

$$R(T) = B/T - C \cdot T \quad (1),$$

где $B = 1,0 \cdot 10^6 \text{ Ом} \cdot \text{К}$, $C = 5,0 \text{ Ом} / \text{К}$.

При протекании тока через термистор, он нагревается до определенной температуры, которая зависит от температуры окружающей среды и от размеров и формы самого прибора. Считайте, что мощность, рассеиваемая в окружающую среду, прямо пропорциональна разности температур терморезистора и окружающей среды:

$$P = A \cdot (T - T_0) \quad (2),$$

где A - коэффициент рассеяния.

Считайте, что во всех частях задачи температура окружающей среды $T_0 = 300 \text{ К}$, коэффициент рассеяния $A = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ Вт} / \text{К}$.

Часть 1. Термистор и источник тока.

1.1 По термистору протекает некоторый постоянный ток силой I . Получите выражение для установившейся температуры термистора и его сопротивления.

1.2 Постройте график зависимости сопротивления термистора от силы тока ($R(I)$) в диапазоне от 0 до 0,1 А

1.3 Используя значения, вычисленные в предыдущем пункте, постройте вольтамперную характеристику (зависимость напряжения от силы тока $U(I)$) термистора. При какой силе тока напряжение достигает максимального значения? Чему оно равно?

Аккуратно постройте этого график, используйте его при решении остальных частей задачи.

Часть 2. Термистор последовательно с резистором.

Термистор соединяют последовательно с сопротивлением $R = 120 \text{ Ом}$ и подключают к источнику постоянного напряжения $U_0 = 19 \text{ В}$.

2.1 Используя построенную Вами вольтамперную характеристику, определите возможные значения силы установившегося тока в цепи. Какие значения силы тока могут реализовываться на практике. Ваш выбор обоснуйте.

2.2 Считая, что изначально термистор находился при температуре равной температуре окружающей среды, определите какая сила тока установится в цепи.

2.3 Предложите способ, позволяющий получить другое значение силы установившейся тока в этой цепи.

Часть 3. Термистор параллельно с резистором.

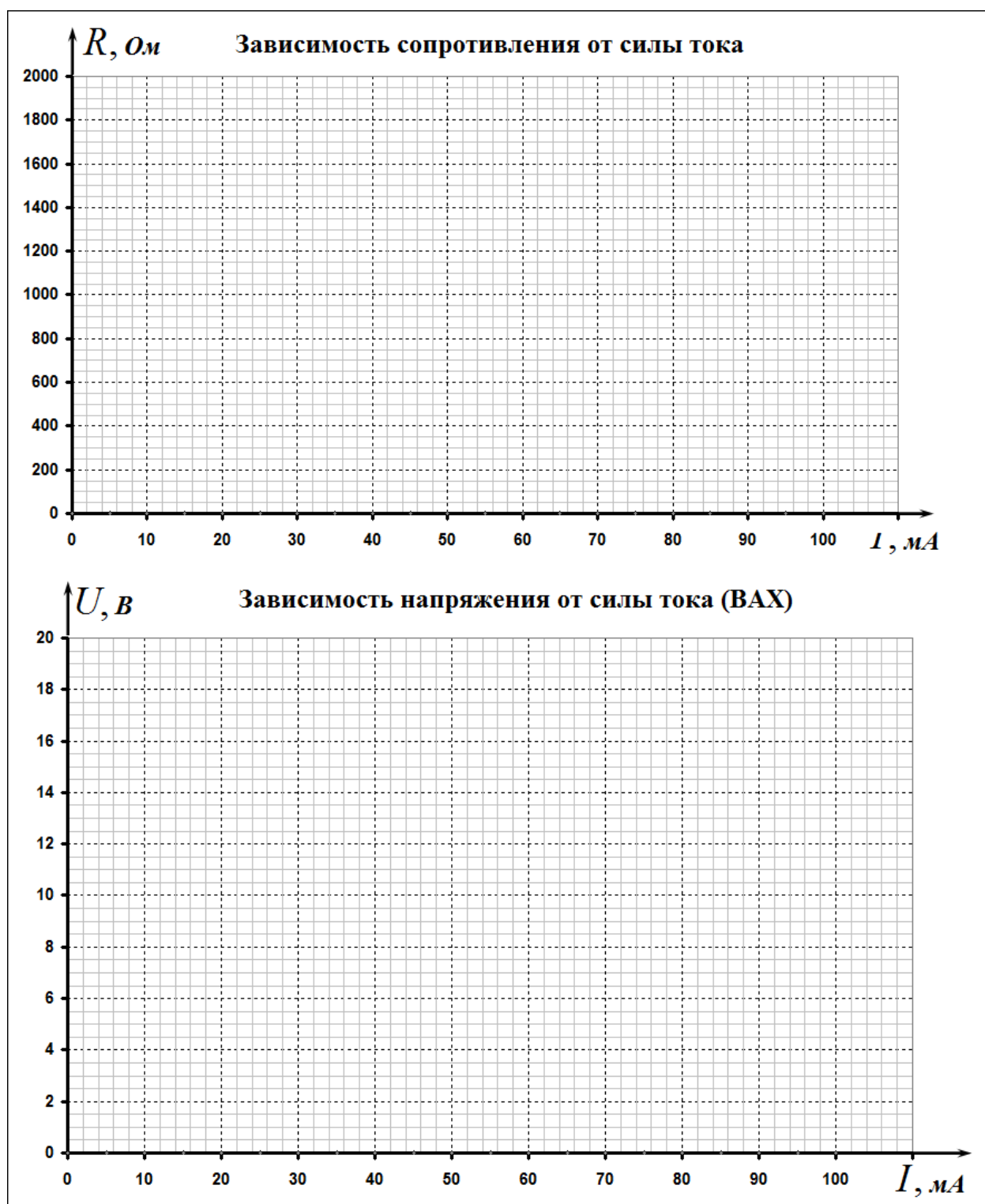
При параллельном соединении с нагрузкой, рассматриваемый Вами термистор может исполнять роль стабилизатора напряжения и тока. Т.е. при изменении внешнего напряжения или силы тока, напряжение на нагрузке не будет существенно изменяться.

Термистор включен параллельно с резистором и подключен к источнику постоянного тока (источнику питания, обеспечивающему определенную силу тока в цепи). Сила тока источника $I_0 = 50\text{мА}$.

3.1 Какое сопротивление R нужно использовать в качестве нагрузки, чтобы при небольшом изменении силы тока источника, изменение напряжения на нагрузке было наименьшим?

3.2 В каких пределах будет изменяться напряжение и сила тока через нагрузку при изменении силы тока источника от $I_{01} = 40\text{мА}$ до $I_{02} = 60\text{мА}$?

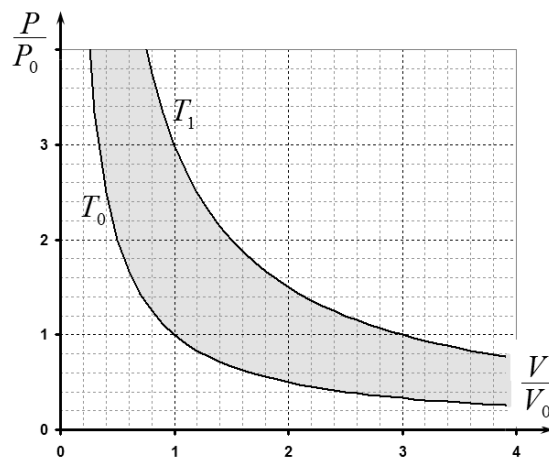
Бланк задачи 10-3



Задача 11-1 Почему цикл Карно лучше других?

Все знают, что цикл Карно лучше всех других циклов! Но ни один реальный тепловой двигатель не работает по этому циклу. Так в чем же преимущество этого цикла?

В данной задаче Вам предстоит рассмотреть несколько циклов, рабочим телом которых является один моль одноатомного идеального газа. Все циклы лежат в одном и том же температурном интервале от минимальной температуры T_0 до максимальной T_1 . Иными словами, на диаграмме (P, V) располагаются внутри полосы между двумя изотермами. Обратите внимание, что по осям координат отложены относительные величины $\left(\frac{P}{P_0}, \frac{V}{V_0}\right)$, где (P_0, V_0) - параметры газа в некотором состоянии. Все процессы следует считать равновесными.



Вам предстоит рассчитать КПД всех циклов и проанализировать их зависимость от отношения температур $\beta = \frac{T_1}{T_0}$. Поверьте, КПД этих зависит только от этого параметра.

Подсказка. Уравнение адиабаты идеального газа имеет вид

$$PV^\gamma = \text{const},$$

где γ - показатель адиабаты, для одноатомного газа $\gamma = \frac{5}{3}$.

Для облегчения вашей работы (и работы жюри!) Вам выдается отдельный бланк с подписанными и оцифрованными осями, на котором Вы должны построить требуемые графики. Не забудьте вложить его в вашу тетрадь!

1. Квадратный цикл.

На приведенной диаграмме цикл имеет вид квадрата. Начальное состояние газа (P_0, V_0) - точка 1. Цикл состоит из двух изобар и двух изохор.

1.1 Рассчитайте КПД этого цикла.

Рассчитайте предельное значение КПД при $\beta \rightarrow \infty$.

1.2 Постройте график зависимости КПД этого цикла от отношения минимальной к максимальной температуре² $\frac{T_0}{T_1} = \frac{1}{\beta}$.

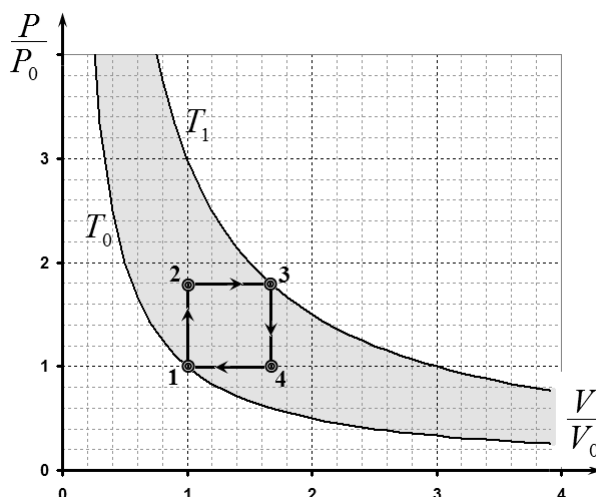


График постройте на отдельном бланке (диаграмма 1).

² Эта зависимость более удобна, так как β изменяется от единицы до бесконечности, а обратная величина β^{-1} от единицы до нуля.

2. Треугольный цикл.

На приведенной диаграмме цикл имеет вид прямоугольного треугольника.

Начальное состояние газа (P_0, V_0) - точка 1.

2.1 Рассчитайте КПД этого цикла.

Рассчитайте предельное значение КПД при $\beta \rightarrow \infty$.

2.2 Постройте график зависимости КПД этого цикла от отношения минимальной к

максимальной температуре $\frac{T_0}{T_1} = \frac{1}{\beta}$.

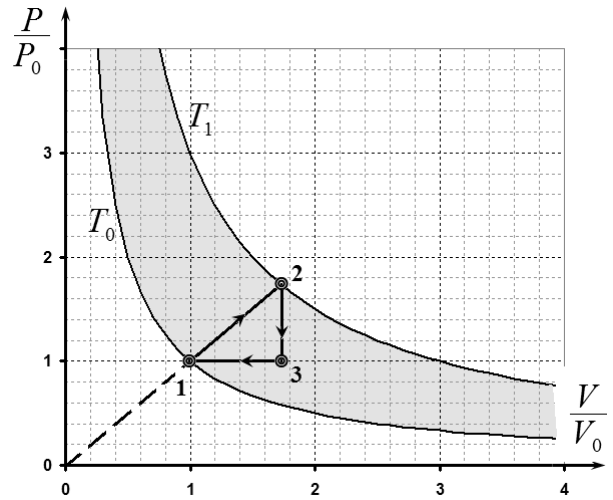


График постройте на отдельном бланке (диаграмма 1).

3. Криволинейно-треугольный цикл.

Цикл состоит из изохоры 1-2, адиабаты 2-3, изобары 3-1.

Начальное состояние газа (P_0, V_0) - точка 1.

3.1 Рассчитайте КПД этого цикла.

Рассчитайте предельное значение КПД при $\beta \rightarrow \infty$.

3.2 Постройте график зависимости КПД этого цикла от отношения минимальной к

максимальной температуре $\frac{T_0}{T_1} = \frac{1}{\beta}$.

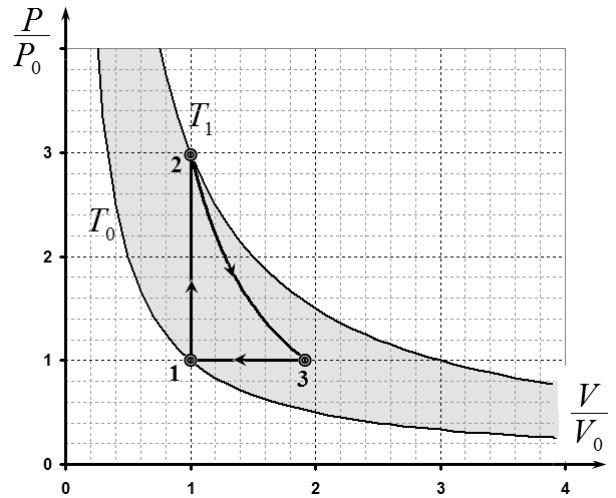


График постройте на отдельном бланке (диаграмма 1).

4. Цикл Карно.

4.1 Постройте цикл Карно (не схематически, а точно), если заданы две точки этого цикла 1 и 3, лежащие на изотермах.

4.2 Постройте график зависимости КПД этого цикла от отношения минимальной к

максимальной температуре $\frac{T_0}{T_1} = \frac{1}{\beta}$.

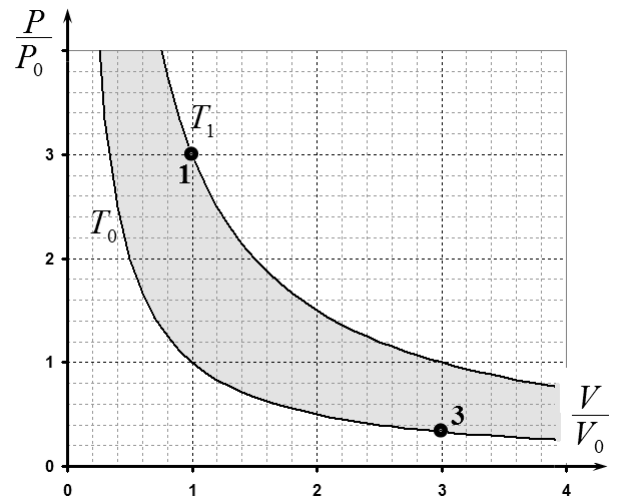
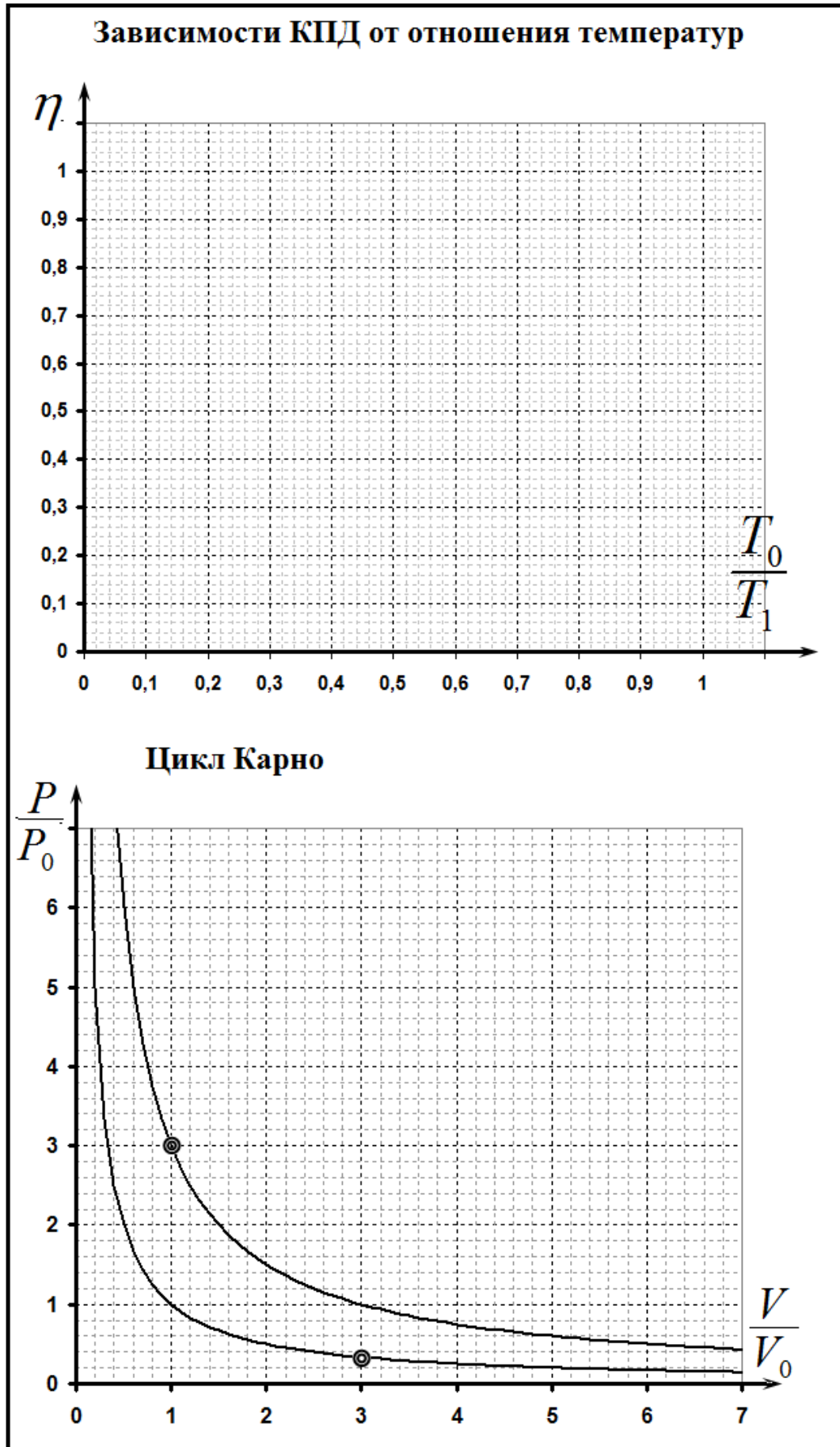


График постройте на отдельном бланке (диаграмма 2).

5. Заключение.

Четко и кратко сформулируйте, в чем заключается преимущество цикла Карно.

Бланк задачи 11-1



Задача 11-2 Хорошо, что не экспериментальная задача!

Введение. Перегрузки.

Под воздействием перегрузок (при ускорении и торможении) в человеческом организме происходит утяжеление всех его органов, деформация скелета, отлив крови от одних органов и прилив ее к другим.

Мерой перегрузки (или просто перегрузкой) называется отношение ускорения тела к ускорению свободного

$$\text{падения } n = \frac{a}{g}$$

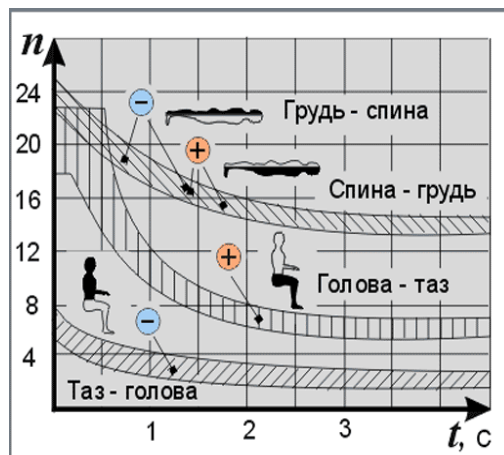
Величина перегрузки, которую может перенести человек, зависит от направления перегрузки, от времени ее воздействия и темпа нарастания, а также от общей и физической подготовки. Легче переносятся перегрузки в направлении «спина - грудь», «грудь - спина» и труднее - «таз - голова»

На рисунке показаны предельные перегрузки в различных направлениях, переносимые человеком в зависимости от продолжительности их действия t

Уменьшают перегрузку в автомобилях при экстренных ситуациях различными способами: подбором необходимой динамической емкости ремней безопасности, части кузова делают деформируемыми с постепенным увеличением жесткости при приближении к салону с помощью постепенного увеличения сечения элементов конструкции, толщины стенок и их количества, размещением внутри салона упругих и мягких элементов и т. д.

В данной задаче Вам необходимо дать количественное описание эксперимента по изучению безопасности водителя и пассажиров автомобилей при столкновениях.

$$\text{Ускорение свободного падения считать равным } g = 10 \frac{M}{c^2}$$

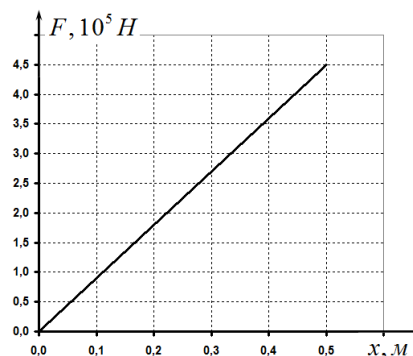


Часть 1. Лобовое столкновение автомобиля с упругой преградой.

Для удешевления экспериментов автомобиль сталкивается с упругой преградой, при этом сам автомобиль не разбивается и может быть использован в других экспериментах.

Автомобиль массы $M = 1,0 \cdot 10^3 \text{ кг}$ ударяется об упругую преграду.

На автомобиль со стороны преграды при соударении действует упругая сила, график зависимости которой от деформации преграды показан на рисунке. До полной остановки автомобиль прошел путь равный $S = 0,50 \text{ м}$

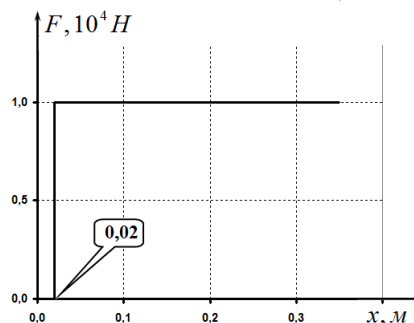


1.1 Определите скорость автомобиля перед столкновением.

1.2 Определите время торможения автомобиля и максимальную перегрузку, которую испытывает автомобиль.

Часть 2. Манекен пристегнут к сидению ремнем безопасности.

На месте водителя находится манекен (не садить же живого человека) массы $m = 75 \text{ кг}$. Манекен пристегнут ремнем безопасности. Со стороны ремня на манекен действует сила, зависящая от смещения манекена по закону, показанному на рисунке: при смещении манекена на расстояние меньше 2 см этой силой можно пренебречь, при большем смещении эту силу можно считать постоянной (так как ремень вытягивается из держателя).



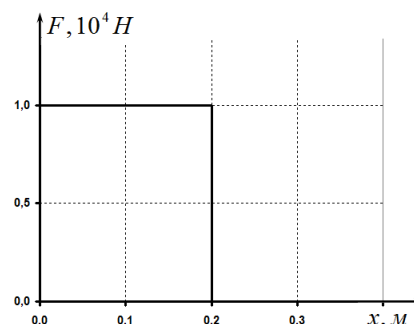
2.1 Определите через какое время после начала столкновения ремень безопасности начнет тормозить манекен (время срабатывания) и перегрузку автомобиля, при которой срабатывают ремни безопасности.

2.2 Определите перегрузку, которую испытывает водитель-манекен.

Часть 3. Манекен не пристегнут.

В следующем эксперименте манекен не пристегнут, поэтому во время такого же столкновения автомобиля с преградой, наталкивается на энергопоглощающую рулевую колонку. Расстояние от груди автомобиля до рулевой колонки $L = 30 \text{ см}$. Со стороны колонки на манекен действует сила, зависимость которой от деформации колонки показана на рисунке: эта сила постоянна до смещения в 20 см, после чего колонка ломается.

После того, как рулевая колонка разрушилась, манекен продолжает свободное движение, и, пролетев расстояние $d = 20 \text{ см}$, сталкивается с лобовым стеклом. За время этого столкновения центр масс манекена сместился еще $\Delta x = 5,0 \text{ см}$ (из-за деформации стекла,



головы и шейных позвонков) после чего окончательно остановился.

3.1 Определите через какое время после начала столкновения автомобиля манекен ударится о рулевую колонку.

3.2 Определите, с какой скоростью и через какое время после столкновения автомобиля с преградой манекен ударится о стекло.

3.3 Определите на сколько времени задерживает встречу манекена с лобовым стеклом рулевая колонка.

3.4 Определите перегрузки, которую испытывает манекен, при столкновении с рулевой колонкой автомобиля и лобовым стеклом.

На месте пассажира находится еще один такой же манекен. Перед ним рулевой колонки нет, поэтому он без каких либо препятствий долетает до лобового стекла (расстояние до которого, такое же, как и манекена-водителя. Ударяясь о стекло, он также еще смещается на $\Delta x = 5,0 \text{ см}$.

3.5 Определите перегрузку, которую испытывает этот манекен.

Часть 4. Подведение итогов.

4.1 Постройте графики зависимостей перегрузок автомобиля, обоих манекенов от времени.

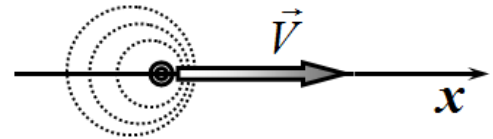
Задача 11-3 Принцип Гюйгенса, конус Маха, эффект Доплера, излучение Вавилова-Черенкова... и т.д.

В данной задаче Вам необходимо рассмотреть и правильно описать ряд эффектов, связанных с испусканием волн движущимся источником.

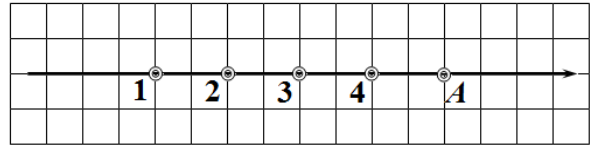
Части 1,2,3 связаны между собой, поэтому приведенные данные используются во всех этих частях.

1. Принцип Гюйгенса.

Точечный источник, непрерывно испускающий звуковую волну с частотой ν_0 , движется равномерно и прямолинейно вдоль оси Ox в воздухе. Скорость звука в воздухе равна c .



1.1 Постройте (на отдельном бланке) фронты волн, испущенных источником в точках 1, 2, 3, 4, в момент времени, когда источник находится в точке A . Построение выполните для двух случаев

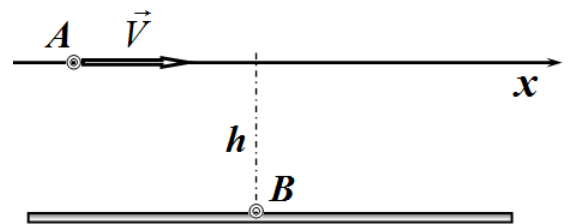


а) скорость источника $V_0 = \frac{c}{2}$; б) скорость источника $V_0 = 2c$.

2. Конус Маха.

Покажите, что при сверхзвуковой скорости источника ($V_0 > c$) за источником распространяется ударная волна, имеющая форму конуса, который называется конусом Э. Маха

Для этого рассмотрите следующую задачу. Пусть источник (самолет) A движется прямолинейно и равномерно с постоянной скоростью \vec{V} на постоянной высоте h . Неподвижный наблюдатель (или слушатель) B находится на поверхности Земли. Введем ось Ox , направленную вдоль траектории источника. Начало отсчета этой оси выберем над наблюдателем. Будем считать, что в момент времени $t = 0$ источник находится в точке $x = 0$.



2.1 В какой момент времени t , когда до наблюдателя дойдет звук, испущенный источником в момент времени τ ? Постройте схематические графики зависимости $t(\tau)$ для двух случаев (не забудьте рассмотреть отрицательные значения τ - самое интересное и важное именно в этой области!):

а) скорость источника $V_0 = \frac{c}{2}$; б) скорость источника $V_0 = 2c$.

2.2 Кратко опишите, что будет слышать наблюдатель в течение длительного промежутка времени в случае, когда $V_0 = 2c$. В какой момент времени наблюдатель впервые услышит звук от источника? Где в этот момент будет находиться источник?

2.3 Как построенные графики доказывают возникновение ударной волны при $V_0 = 2c$ и ее отсутствие при $V_0 = \frac{c}{2}$?

2.4 Пусть скорость источника $V > c$, найдите угол полураствора конуса ударной волны. Зависит ли этот угол от частоты волны, испускаемой источником.

3. Эффект Доплера.

Пусть источник звука, непрерывно испускающий звуковую волну с частотой ν_0 , движется равномерно и прямолинейно вдоль оси Ox в воздухе, со скоростью V меньшей скорости звука c .

3.1 С какой частотой будет слышать этот звук неподвижный наблюдатель, находящийся на оси Ox а) впереди источника; б) позади источника?

3.2 Рассмотрите ситуацию описанную в части 2 и на соответствующем рисунке. Опишите процедуру (осуществлять ее не надо – достаточно громоздко!), которая на основании полученных ранее соотношений, дает возможность найти зависимость частоты звука ν , воспринимаемого наблюдателем B от времени. Нарисуйте схематический график этой зависимости (хотя бы по трем точкам).

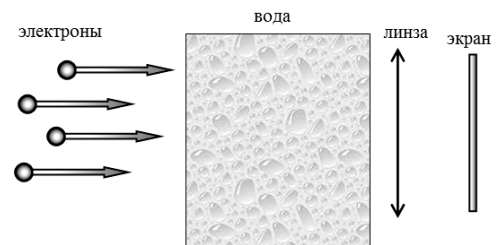
Часть 4 не связана с предыдущими частями.

4. Излучение Вавилова-Черенкова.

Если заряженная частица (например электрон) движется в прозрачной среде со скоростью, большей чем скорость света в этой среде, то она излучает свет (этот эффект называется эффектом Вавилова-Черенкова). За этой частицей возникает световой конус подобный конуса Маха ударной световой волны.

Теперь задача (допускается проведение промежуточных численных расчетов).

Широкий пучок ультрарелятивистских (т.е. движущихся со скоростями близкими к скорости света в вакууме $c = 3,0 \cdot 10^8 \frac{м}{с}$) электронов попадает в слой воды. Считайте, что скорости всех электронов одинаковы и все они движутся параллельно друг другу. За слоем воды находится собирающая линза в фокальной плоскости которой расположен экран.



4.1. При какой минимальной полной энергии электронов E_{\min} начнется излучение Вавилова-Черенкова? Ответ дайте в электрон-вольтах.

4.2 Какую ускоряющую разность потенциалов должны пройти электроны, чтобы достичь полной энергии равной E_{\min} .

Показатель преломления воды $n = 1,33$. Масса электрона $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} кг$, его заряд $e = 1,6 \cdot 10^{-19} Кл$.

4.3 Пусть все электроны имеют полную энергию равную $2E_{\min}$. Опишите световую картину (форму и размеры), которая будет наблюдаться на экране. Фокусное расстояние линзы $F = 10 см$

Бланк задачи 11-3

