

***Республиканская
физическая олимпиада
2017 года
(III этап)***

Теоретический тур

=2017=

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель председателя оргкомитета заключительного этапа
Республиканской олимпиады Заместитель Министра образования

Р.С.Сидоренко

«__» декабря 2016 г.



Республиканская физическая олимпиада 2017 год. (III этап)

Теоретический тур

9 класс.

1. Полный комплект состоит из трех заданий.
2. При оформлении работы каждое задание начинайте с новой страницы. Первая половина тетради предназначена для чистовика, вторая - для черновика. При недостатке бумаги обращайтесь к оргкомитету!
3. Подписывать тетради и отдельные страницы запрещается.
4. В ходе работы можете использовать ручки, карандаши, чертежные принадлежности, калькулятор.
5. Со всеми вопросами, связанными с условиями задач (но не с их решениями), обращайтесь к представителям Жюри.



***Постарайтесь внимательно прочитать условия задач!
Может вам показаться, что условия задач слишком длинные. Но мы сочинили их такими, чтобы Вам было легче решать. Поверьте, иногда решения короче таких условий! Не теряйте присутствия духа, смело беритесь за решение каждой задачи. Помните, оцениваются не только полные решения, но и их отдельные части и даже отдельные здравые мысли.***

Задача 9-1. Подобие

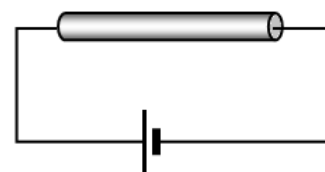
Задание состоит из 3 независимых задач.

1.1 Восточный падишах приказал своему скульптору изготовить золотой бюст. Скульптор выполнил заказ. Падишаху бюст понравился, но показался слишком маленьким, поэтому он дал команду изготовить такой же бюст, но в два раза больший по высоте. Во сколько раз стоимость второго бюста больше стоимости первого?

Считайте, что стоимость бюста равна стоимости золота, которое пошло на его изготовление.

1.2 Воздушный шар радиуса 10 м парит в воздухе. Во сколько раз изменится суммарная сила атмосферного давления на шар, если его радиус увеличить в два раза?

1.3 Проводящий тонкий цилиндрический стержень, подключенный к источнику постоянного напряжения, находится в воздухе, температура которого равна $t_0 = 0,0^\circ\text{C}$. По прошествии некоторого времени стержень нагрелся до температуры $t_1 = 10^\circ\text{C}$, после чего его температура оставалась постоянной. К этому же источнику подключают другой стержень, изготовленный из того же материала, но все линейные размеры которого в два раза больше первого. Определите установившуюся температуру второго стержня.



Считайте, что удельное сопротивление стержня от температуры не зависит. Длина стержня значительно больше его радиуса.

Задача 9-2. Велокомпьютер



Современный велокомпьютер позволяет в процессе движения измерять практически все кинематические параметры велосипедиста: дальность поездки S , её время t , мгновенную скорость $v(t)$ и среднюю скорость v_{cp} за все время движения, максимальную мгновенную скорость v_{max} за всю прогулку, полный пробег вашего велосипеда и т.д. Предположим, что велосипедист начал движение по прямому шоссе (в одну сторону), предварительно сбросив показания счетчика дальности на нуль ($S = 0,0$ км).

Часть 1. «Эволюция» средней скорости

1.1 Пусть за время t велосипедист проехал расстояние S , тогда его средняя скорость равна $v_{\text{cp}}(t) = S/t$. Затем за промежуток времени Δt он проехал расстояние ΔS . Чему равна средняя скорость $v_{\text{cp}}(t + \Delta t)$ велосипедиста за время $t + \Delta t$? Найдите изменение $\Delta v_{\text{cp}} = v_{\text{cp}}(t + \Delta t) - v_{\text{cp}}(t)$ средней скорости велосипедиста за промежуток времени Δt . При малом Δt ($\Delta t \ll t$) изменение Δv_{cp} средней скорости можно представить в виде $\Delta v_{\text{cp}} = A \cdot \Delta S + B \cdot \Delta t$. Установите размерности полученных коэффициентов A и B и найдите их явные выражения через величины S и t .

1.2 Рассчитайте Δv_{cp} для значений $S = 15$ км, $\Delta S = 0,10$ км, $t = 30$ мин, $\Delta t = 30$ с.

1.3 Получите соотношение между величинами $S, t, \Delta S$ и Δt , при котором значение средней скорости v_{cp} не изменится после прохождения велосипедистом малого участка дистанции ΔS .

Часть 2. «Странная» гонка

Рассмотрим движение велосипедиста, при котором он половину пути ($S/2$) разогнался с некоторым постоянным ускорением a , а затем половину пути ($S/2$) тормозил с таким же по модулю ускорением.

2.1 Найдите зависимость скорости $v(t)$ велосипедиста от времени и на выданном бланке постройте график полученной зависимости. Определите максимальное значение скорости v_{max} велосипедиста при таком движении и расстояние S_1 от места старта, на котором оно будет зафиксировано велокомпьютером.

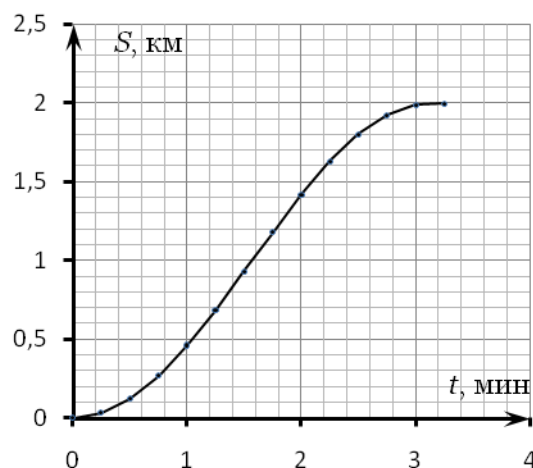
2.2 Найдите зависимость средней скорости $v_{\text{cp}}(t)$ велосипедиста от времени и на этом же бланке постройте график полученной зависимости.

2.3 Найдите максимальное значение $v_{\text{cp}}^{\text{max}}$ средней скорости велосипедиста при таком движении, а также расстояние S_2 от места старта, на котором оно будет зафиксировано велокомпьютером.

2.4 Вычислите v_{max} , S_1 , $v_{\text{cp}}^{\text{max}}$, S_2 для значений $S = 1,0$ км, $a = 0,50$ м/с².

Часть 3. Произвольный закон движения

3.1 Зависимость $S(t)$ пути от времени (закон движения) велосипедиста представлен на графике. Используя график, найдите максимальную среднюю скорость $v_{\text{cp}}^{\text{max}}$



велосипедиста на всей дистанции и расстояние S_3 , на котором она была зафиксирована велокомпьютером.

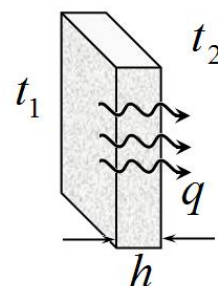
Примечание: при малых x ($x \rightarrow 0$) справедливо равенство $\frac{1}{1+x} \approx 1 - x$.

Задача 9-3. Обогрев дома.

Республика Беларусь тратит значительно количество энергии на обогрев помещений. Экономия ресурсов, затрачиваемых на отопление, является важной государственной проблемой. В данной задаче Вам необходимо рассмотреть некоторые возможности уменьшения расходов на поддержание комфортных температур в жилых помещениях.

При решении задачи вам понадобится закон теплопроводности (сформулированный французским физиком Ш. Фурье). В упрощенной форме он формулируется следующим образом. Пусть одна сторона плоскопараллельной пластины толщиной h поддерживается при постоянной температуре t_1 , а вторая при температуре t_2 . Тогда плотность потока теплоты q через пластину пропорционален разности температур и обратно пропорционален толщине пластины

$$q = \lambda \frac{t_1 - t_2}{h}, \quad (1)$$



Коэффициент пропорциональности зависит только от материала пластины и называется **теплопроводностью** материала.

Плотностью потока теплоты называется количество теплоты, которое перетекает через площадку единичной площади в единицу времени (чтобы избежать путаницы в данной задаче температуру будем обозначать t , а время τ)

$$q = \frac{\Delta Q}{\Delta S \Delta \tau} \quad (2)$$

Справочные данные:

	Плотность	Удельная теплоемкость	Теплопроводность
Воздух	$\rho_0 = 1,2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$c_0 = 1,0 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	$\lambda_0 = 2,4 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$
Бетон	$\rho_1 = 2,2 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$c_1 = 0,92 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	$\lambda_1 = 1,2 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$
Утеплитель (стекловата)			$\lambda_2 = 6,0 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$

Примечание. Плотность, теплоемкость и теплопроводность воздуха зависят от температуры и давления. Однако, в данной задаче этими зависимостями следует пренебречь и использовать приведенные в таблице средние значения.

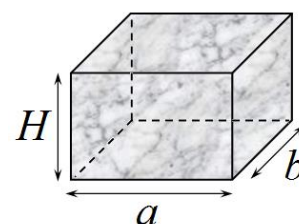
Часть 1. Бетонная коробка.

Основу дома является бетонная коробка, внутренние размеры которой $a \times b \times H = 6,0 \times 6,0 \times 2,5 \text{ м}$. Толщина стен, пола и потолка равна $h = 20 \text{ см}$.

1.1 Рассчитайте массу бетона, из которого изготовлена коробка.

1.2 Рассчитайте теплоемкость коробки C_1 .

1.3 Оцените массу воздуха внутри дома и его теплоемкость C_0 .



Теплоемкостью тела C (не путайте с удельной теплоемкостью вещества) называется количество теплоты, которое требуется, чтобы нагреть тело на 1° .

Влиянием окон и дверей на потери теплоты можно пренебречь.

Пол и потолок дома хорошо теплоизолированы (потолок поверх слоя бетона, а пол снизу слоя бетона), поэтому потери теплоты проходят только через стены дома.

Часть 2. Обогрев без утеплителя

В данной части задачи рассматриваются возможности обогрева рассмотренного в Части 1. Для обогрева дома используется печь, работающая на дизельном топливе. Коэффициент полезного действия печи примем равным 70% (т.е. 30% выделяемой теплоты улетает «в трубу»). Максимальная полезная мощность печи равна $P_0 = 10 \text{ кВт}$.

2.1 Рассчитайте стоимость ($s_0 \frac{\text{руб}}{\text{Дж}}$) 1 Джоуля теплоты, идущего на нагревание дома.

Плотность дизельного топлива $\rho = 860 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, удельная теплота его сгорания $q = 43 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$, цена 1 литра топлива 1,2 руб.

2.2 Пусть мощность теплоты идущей на обогрев комнаты равна P , температура наружного воздуха t_0 . Получите формулу для установившейся температуры воздуха внутри дома t_1 .

Считайте, что температура поверхности стен внутри дома равна t_1 , а снаружи - t_0 . Для передачи теплоты от стен к наружному воздуху температура стены должна быть немного выше, чем температура воздуха. Однако эта разность обычно мала и ею можно пренебречь.

2.3 Пусть средняя температура наружного воздуха равна $t_0 = 0,0^\circ\text{C}$. Какова должна быть мощность теплоты P_1 , идущей на обогрев, что бы температура воздуха внутри дома была равна $t_1 = 20^\circ\text{C}$? Рассчитайте стоимость дизельного топлива, которое потребуется на обогрев дома в течение суток.

2.4 Рассмотрим разогрев дома. Пусть начальная температура воздуха в доме и температура стен равна температуре наружного воздуха $t_0 = 0,0^\circ\text{C}$. Печь разжигают.

Рассчитайте:

- количество теплоты, которое пойдет на разогрев воздуха в комнате до температуры $t_1 = 20^\circ\text{C}$;
- количество теплоты, которое пойдет на нагревание стен, потолка и пола до достижения установившейся температуры;
- стоимость «разогрева» дома в рублях.

Оцените время разогрева дома до установившейся температуры. Если мощность печи равна максимальной полезной мощности печи $P_0 = 10 \text{ кВт}$.

Часть 3. Утепление

Пусть теплота перетекает через некоторый слой вещества. На основании закона Фурье можно записать, что плотность потока теплоты через слой выражается формулой

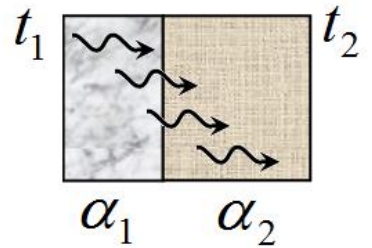
$$q = \alpha \Delta t, \quad (3)$$

где коэффициент α (назовем ее тепловой проводимостью) зависит от материала слоя и его толщины, Δt - разность температур на границах слоя.

3.1 Рассчитайте численное значение коэффициента α для бетонной стены рассматриваемого дома.

3.2 Путь тепла протекает через два параллельных слоя, тепловые проводимости которых равны α_1 и α_2 . Покажите, что плотность потока теплоты через составной слой может быть записана в виде

$$q = \alpha(t_1 - t_2) \quad (4)$$



Выразите значение коэффициента α для составного слоя, через значения коэффициентов α_1 и α_2 .

Для уменьшения расходов стены дома утепляют, покрывая их слоем утеплителя (стекловаты), толщиной $h_2 = 10\text{см}$.

3.3 Какова должна быть мощность теплоты P_2 , идущей на обогрев дома, чтобы поддерживать внутри постоянную температуру $t_1 = 20^\circ\text{C}$ при температуре наружного воздуха $t_0 = 0,0^\circ\text{C}$.

3.4 Во сколько раз уменьшаться финансовые расходы на поддержание температуры в доме.

3.5 Оцените время и стоимость «разогрева» утепленного дома от $t_0 = 0,0^\circ\text{C}$ до установившейся температуры $t_1 = 20^\circ\text{C}$, если включить печь на максимальную полезную мощность $P_0 = 10\text{кВт}$.

3.6 Допустим, что житель города наезжает в свой загородный дом (рассматриваемый в данной задаче) только на выходные дни. Дайте совет – что экономически выгоднее, разогревать дом по приезду в субботу, или поддерживать его установившуюся температуру в течение будних дней?

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель председателя оргкомитета заключительного этапа
Республиканской олимпиады Заместитель Министра образования

Р.С.Сидоренко

«__» декабря 2016 г.



Республиканская физическая олимпиада 2017 год. (III этап)

Теоретический тур

10 класс.

1. Полный комплект состоит из трех заданий.
2. При оформлении работы каждое задание начинайте с новой страницы. Первая половина тетради предназначена для чистовика, вторая - для черновика. При недостатке бумаги обращайтесь к оргкомитету!
3. Подписывать тетради и отдельные страницы запрещается.
4. В ходе работы можете использовать ручки, карандаши, чертежные принадлежности, калькулятор.
5. Со всеми вопросами, связанными с условиями задач (но не с их решениями), обращайтесь к представителям Жюри.



***Постарайтесь внимательно прочитать условия задач!
Может вам покажется, что условия задач слишком длинные. Но мы сочинили их такими, чтобы Вам было легче решать. Поверьте, иногда решения короче таких условий! Не теряйте присутствия духа, смело беритесь за решение каждой задачи. Помните, оцениваются не только полные решения, но и их отдельные части и даже отдельные здравые мысли.***

Задача 10 - 1. Подобие

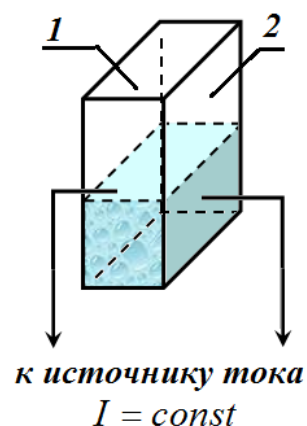
Задание состоит из 3 независимых задач.

1.1 Время падения камня с башни, расположенной на поверхности Земли равно τ . Чему будет равно время падения камня с такой же башни, находящейся на другой планете, радиус которой в два раза меньше радиуса Земли?

Считайте, что средняя плотность планеты равна средней плотности Земли. Высота башни значительно меньше радиусов планет, сопротивление воздуха не учитывать.

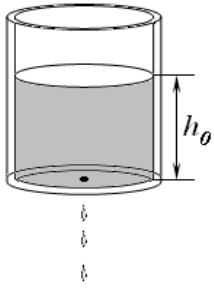
1.2 После установления стабильной морозной погоды на озере стал образовываться лед. За неделю толщина образовавшегося льда стала равной 10 см. Чему будет равна толщина льда еще через одну неделю?

1.3 В ванну, имеющей форму параллелепипеда, залита проводящая жидкость. Грани ванны, обозначенные на рис. 1 и 2 являются хорошими проводниками, подключены к источнику постоянного тока. Источник создает в цепи электрический ток, сила которого постоянна ($I = const$) и не зависит от сопротивления подключенной цепи. Через некоторое время после подключения ванны к источнику жидкость в ванне закипела. Через время τ_0 после начала кипения уровень жидкости уменьшился в два раза (из-за выкипания). Через какое время после этого жидкость в ванне выкипит полностью?



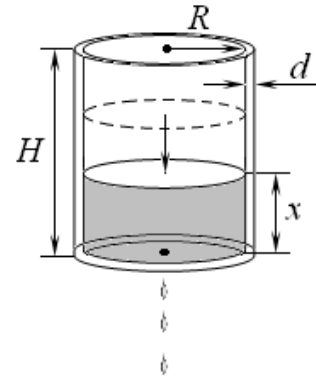
Подсказка. Возможно, Вам понадобится хорошо известная формула. При изменении некоторой величины x на малую величину Δx справедливо соотношение

$$x\Delta x = \frac{1}{2} \Delta(x^2)$$



Задача 10 - 2. Утечка ... центра масс

В вертикальный тонкостенный цилиндрический сосуд радиуса $R = 5,0$ см до некоторого уровня h_0 налита вода ($\rho = 1,0 \cdot 10^3$ кг/м³). Из-за небольшой дырочки в центре сосуда вода начала вытекать из него, и через некоторое время сосуд оказался пуст. В процессе вытекания оказалось, что зависимость $h(x)$ высоты центра масс сосуда с водой от уровня (высоты) x воды в сосуде имеет вид, представленный на *Графике 1*. Толщина d ($d \ll R$) стенок и дна сосуда одинакова, плотность материала сосуда $\rho_1 = 3,0 \cdot 10^3$ кг/м³.



Часть 1. «Сложный» график

1.4 Используя *График 1*, найдите величину h_0 начального уровня воды в сосуде, а также высоту h_1 , на которой находится центр масс пустого сосуда.

1.5 Получите вид функциональной зависимости $h(x)$ для рассматриваемого случая. Используя

полученную зависимость и *График 1*, найдите массу m_1 сосуда без воды.

1.6 Найдите минимум функциональной зависимости $h(x)$, полученной в предыдущем пункте, и рассчитайте уровень x_1 жидкости в сосуде, при котором он достигается.

1.7 Используя значение x_1 , повторно найдите массу m_1

сосуда без воды. Сравните полученные результаты для m_1 (в п.п. 1.2 и 1.4) между собой и сделайте выводы.

Часть 2. «Простой» сосуд

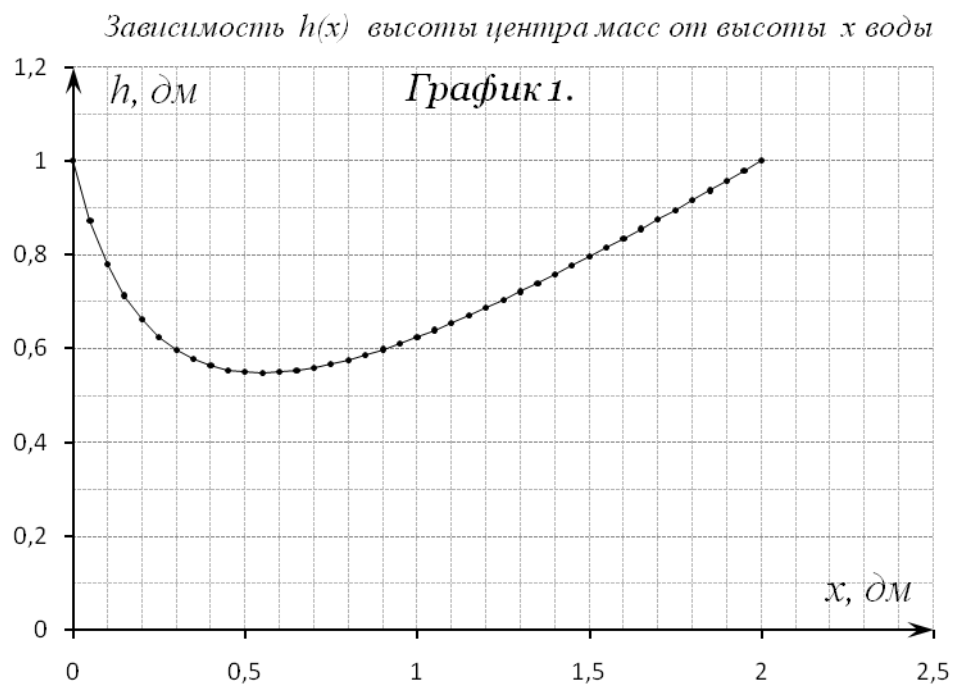
4.1 Используя ранее полученные данные, найдите и вычислите высоту H стенок сосуда.

4.2 Используя ранее полученные данные, найдите и вычислите толщину d стенок сосуда.

Часть 3. Наливаем обратно...

3.1 Взяли другой сосуд такой же массы m_1 и высоты h_1 центра масс с высокими стенками. Начали наливать в него воду так, что уровень x жидкости в нём медленно увеличивается со временем. Проанализируйте функцию $h(x)$ при больших x ($x \rightarrow \infty$). Постройте *График 1* на выданном «Бланке построений» для «больших» x в интервале $2,0$ дм $\leq x \leq 5,0$ дм.

Подсказка: координата X_c центра масс системы материальных точек m_1, m_2, \dots, m_n , находящихся на оси Ox и имеющих координаты x_1, x_2, \dots, x_n , соответственно, находится по формуле $X_c = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + \dots + m_n x_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$.



Задача 10 - 3. «Мягкая» пружина

1. Десять пружин ($n = 10$) длиной $l_1 = 5,00\text{см}$, массой $m_1 = 10,0\text{г}$ каждая и с коэффициентом жёсткости $k_1 = 100 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ каждая, спаяны последовательно в цепочку. Растяжением каждой из пружин под действием собственного веса можно пренебречь. ($g = 10,0 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$)

- 1.1. Определите длину l' такой цепочки, если цепочку подвесить вертикально, закрепив за один из её концов.
- 1.2. Сколько таких пружин нужно последовательно спаять в цепочку, чтобы длина цепочки под действием собственного веса увеличилась в два раза?

2. Пружина, которая может растягиваться под действием собственного веса, имеет массу m , длину l , коэффициент жёсткости k .

- 2.1. Определите деформацию пружины Δx , если её подвесить вертикально за один из концов.
- 2.2. При каком коэффициенте жёсткости пружины k её деформация под действием собственного веса Δx будет равно её длине l в недеформированном состоянии?

3. Пружина, которая может растягиваться под действием собственного веса, массой m , длиной l , и коэффициентом жёсткости k , лежит на горизонтальной поверхности. Коэффициент трения между пружиной и поверхностью μ . К одному из краёв пружины прикладывают силу F .

- 3.1. Определите установившуюся деформацию пружины Δx , при её равномерном движении.
- 3.2. Определите деформацию пружины Δx , если $F = 2\mu mg$.
- 3.3. При каком значении силы F деформацию пружины $\Delta x = l$?

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель председателя оргкомитета заключительного этапа
Республиканской олимпиады Заместитель Министра образования

Р.С.Сидоренко

«___» декабря 2016 г.



Республиканская физическая олимпиада 2017 год. (III этап)

Теоретический тур

11 класс.

1. Полный комплект состоит из трех заданий.
2. При оформлении работы каждое задание начинайте с новой страницы. Первая половина тетради предназначена для чистовика, вторая - для черновика. При недостатке бумаги обращайтесь к оргкомитету!
3. Подписывать тетради и отдельные страницы запрещается.
4. В ходе работы можете использовать ручки, карандаши, чертежные принадлежности, калькулятор.
5. Со всеми вопросами, связанными с условиями задач (но не с их решениями), обращайтесь к представителям Жюри.



***Постарайтесь внимательно прочитать условия задач!
Может вам покажется, что условия задач слишком длинные. Но мы сочинили их такими, чтобы Вам было легче решать. Поверьте, иногда решения короче таких условий! Не теряйте присутствия духа, смело беритесь за решение каждой задачи. Помните, оцениваются не только полные решения, но и их отдельные части и даже отдельные здравые мысли.***

Задача 11-1 . Проводящие и диэлектрические сферы

1. Три концентрические сферы имеют радиусы $R_1 = R$, $R_2 = 2R$, $R_3 = 4R$ и заряды $q_1 = q$, $q_2 = 4q$, и $q_3 = -2q$ соответственно.
 - 1.1. Определите потенциалы и напряжённости на внешних поверхностях данных сфер и в точке посередине между второй и третьей сферой считая от центра сфер.
 - 1.2. Вторую и третью сферу соединяют проводником. Определите установившиеся заряды сфер q'_1, q'_2, q'_3 .
 - 1.3. Вторую и третью сферу заземляют (соединительный проводник остаётся). Какой заряд пройдёт по заземляющему проводнику?
2. Две тонкие проводящие концентрические сферы радиусами $R_1 = R$ и $R_2 = 3R$ имеют заряды $q_1 = q$ и $q_2 = 3q$ соответственно. Пространство между сферами заполнено диэлектриком с проницаемостью ϵ .
 - 2.1. Определите величину связанных зарядов q_{c1} и q_{c2} на внутренней и внешней поверхностях диэлектрического слоя.
 - 2.2. Определите потенциал электростатического поля на расстоянии R , $2R$ и $3R$ от центра сфер.
 - 2.3. Внутреннюю сферу заземлили. Определите величину связанных зарядов q'_{c1} и q'_{c2} на внутренней и внешней поверхностях диэлектрического слоя в данном случае.

Примечание. В уравнениях используйте обозначение $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$. В п.2.3. не

задумывайтесь над технической стороной вопроса: «Как заземлить внутреннюю сферу?». Просто примите как факт, что внутренняя сфера заземлена, а внешняя – нет. Заряд внешней сферы не изменяется и равен $3q$.

Задача 11-2 . Звуковые волны, эффект Доплера.

При движении относительно друг друга излучателя и приёмника волн наблюдается эффект изменения частоты волн, который получил название эффекта Доплера. Сущность данного эффекта представлена на рисунке 1.

1. Неподвижный источник излучает звуковые волны частотой ν . Если источник звука движется по направлению к покоящемуся приёмнику с постоянной скоростью v , то приёмник регистрирует сигнал частотой ν' , если источник удаляется от покоящегося приёмника с постоянной скоростью v , то приёмник регистрирует сигнал частотой ν'' .

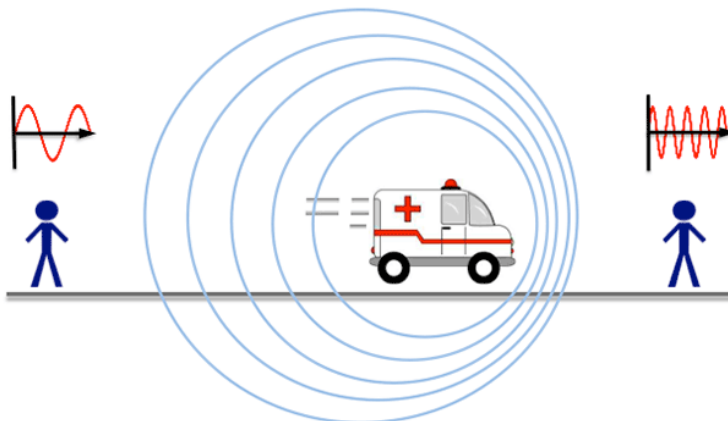


Рисунок 1.

Скорость звука в среде не зависит от скорости источника и приёмника звука. Среда однородная и неподвижная. Во всех пунктах данной задачи источник и приёмник звука считайте точечными, скорость звука в среде c .

1.1. Укажите соотношение между частотами ν' и ν'' (больше, меньше).

1.2. Покажите, что

$$\nu' = \frac{c\nu}{c - v} \quad (1).$$

1.3. Покажите, что

$$\nu'' = \frac{c\nu}{c + v} \quad (2).$$

Указание. Если Вам не удалось вывести уравнения (1) и (2), то далее в случае необходимости Вы можете пользоваться ими в готовом виде.

2. Источник звука помещён внутри абсолютно упругого мяча (шара). Мяч находится на некоторой высоте h_0 над абсолютно упругой горизонтальной поверхностью, мячу сообщают скорость v_0 направленную вертикально вверх. На некотором расстоянии L от траектории движения мяча и на некоторой высоте h_n над поверхностью находится приёмник звука $h_0 > h_n$ (рис.2). Зависимость частоты звука от времени $\nu'(t)$, регистрируемого приёмником, показана на графике (рис.3). Частота звука, излучаемого неподвижным источником, $\nu = 500 \text{ Гц}$.

Сопротивление воздуха не учитывать. Запаздыванием звукового сигнала пренебречь.

Определите:

- 2.1. Максимальную высоту подъёма мяча H ,
- 2.2. Начальную скорость мяча v_0 ,
- 2.3. Высоту h_0 ,
- 2.4. Высоту h_n приёмника над поверхностью,
- 2.5. Расстояние L от приёмника до траектории движения мяча.

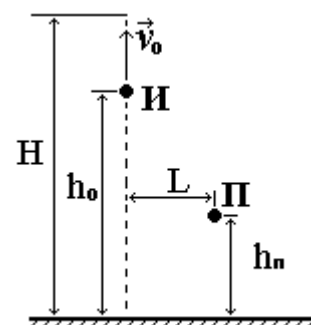


Рисунок 2.

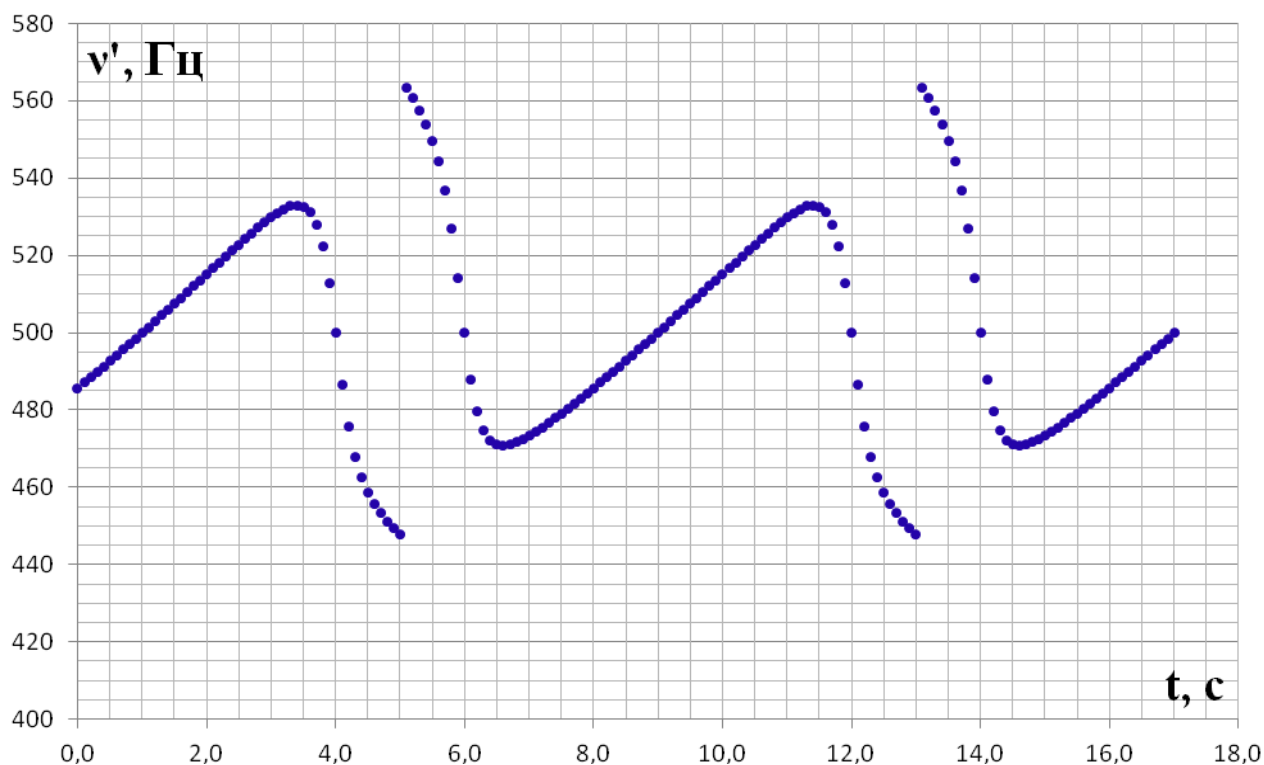


Рисунок 3.

3. Движение источника звука по окружности (запаздыванием звукового сигнала пренебречь).

3.1. Источник звука движется по окружности радиуса r со скоростью v . Приемник звука находится на расстоянии $R = 2r$ от центра окружности, по которой движется источник. Сделайте рисунок и укажите следующие точки на окружности: А – точка, в которой должен находиться источник, когда приёмник будет регистрировать сигналы наименьшей частоты; В – точка, в которой должен находиться источник, когда приёмник будет регистрировать сигналы наибольшей частоты; С и D – точки, в которой должен находиться источник, когда приёмник будет регистрировать сигналы с частотой, равной частоте излучения неподвижного источника.

3.2. Источник звука движется по окружности радиуса r со скоростью $v = 0,3c$. Период обращения источника звука T . Приемник звука находится на расстоянии $R \gg r$ от центра окружности, по которой движется источник. Постройте график зависимости частоты звука от времени $\nu'(t)$, регистрируемого приёмником, за промежуток времени равному двум периодам обращения источника звука по окружности. За начало отсчёта времени возьмите момент, когда расстояние между источником и приёмником было наименьшим. График

постройте в относительных координатах $\left(\frac{\nu'}{v}; \frac{t}{T}\right)$. Подсказка: для построения графика уравнение зависимости $\nu'(t)$ получать необязательно.

Задача 11-3. Автоколебания

В данной задаче рассматривается поведение следующего механического устройства. На горизонтальный вал 1 радиуса $r = 2,0 \text{ см}$ насажена муфта 2, к которой жестко прикреплен стержень 3, на конце которого закреплен массивный шарик 4. Шарик, стержень и муфту будем называть маятником. Масса шарика m значительно больше массы стержня и муфты. Расстояние от оси вала до центра шарика равно $l = 8,0 \text{ см}$. Шарик можно рассматривать как материальную точку. Между муфтой и валом существует небольшой зазор.

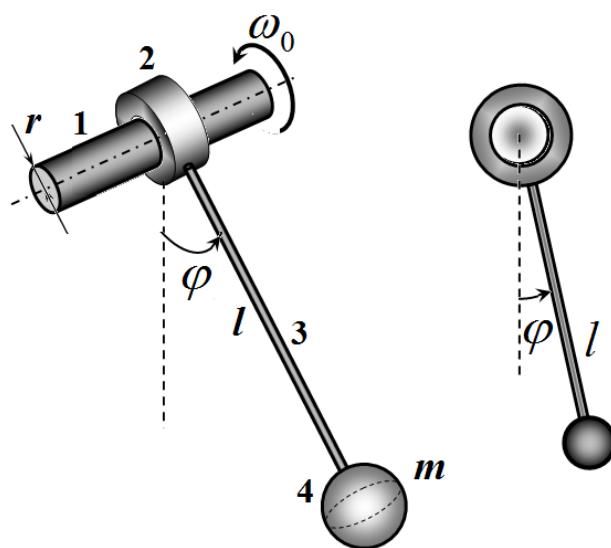
Вал может вращаться с постоянной угловой скоростью ω_0 вокруг своей оси.

Коэффициент трения покоя между муфтой и валом равен $\mu_0 = 0,80$, коэффициент трения скольжения $\mu = 0,60$. Ускорение свободного падения $g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

Положение стержня будем задавать углом его отклонения от вертикали φ .

В приближении малых колебаний применимы приближенные формулы

$$\sin \varphi \approx \varphi, \quad \cos \varphi \approx 1 - \frac{\varphi^2}{2}$$



Часть 1. Вал неподвижен, трения нет!

В данной части задачи рассмотрим поведение стержня на неподвижном валу, при условии, что трение пренебрежимо мало.

1.1 Чему равен период малых свободных колебаний стержня?

1.2 Стержень отклонили на угол $\varphi_0 = 30^\circ$ от вертикали и отпустили. Запишите закон движения стержня, то есть зависимость угла отклонения от времени $\varphi(t)$. Запишите зависимость угловой скорости движения стержня от времени $\omega(t)$.

Отклонение в 30° можно считать малым.

1.3 Постройте схематически фазовую диаграмму движения стержня.

Фазовой диаграммой называется кривая, описывающая зависимость угловой скорости от угла отклонения $\omega(\varphi)$.

Часть 2. Вал неподвижен, трение есть!

В данной части задачи по-прежнему вал неподвижен, но учитываем силу трения, действующую между валом и муфтой. Можно считать, что модуль силы трения в процессе малых колебаний стержня остается постоянным.

- 2.1** Укажите максимальный угол отклонения стержня, при котором он еще может находиться в состоянии покоя.
- 2.2** Стержень отклонили на угол $\varphi_0 = 30^\circ$ от вертикали и отпустили. Найдите угол отклонения стержня в момент следующей остановки.
- 2.3** Нарисуйте схематическую фазовую траекторию движения маятника в этом случае.

Часть 3. Вал вращается, трение есть!

Рассмотрим поведение маятника на вращающемся валу с относительно небольшой скоростью

- 3.1** Определите на какой максимальный угол может отклониться маятник при вращении вала под действием силы трения покоя.
- 3.2** Определите положение равновесия маятника, при условии, что муфта проскальзывает по валу.
- 3.2** Качественно опишите процесс движения маятника. Покажите, что маятник будет колебаться. На каком этапе его движения он будет получать энергию, чтобы компенсировать потери на трение? Постройте схематически фазовую траекторию движения маятника в этом случае.