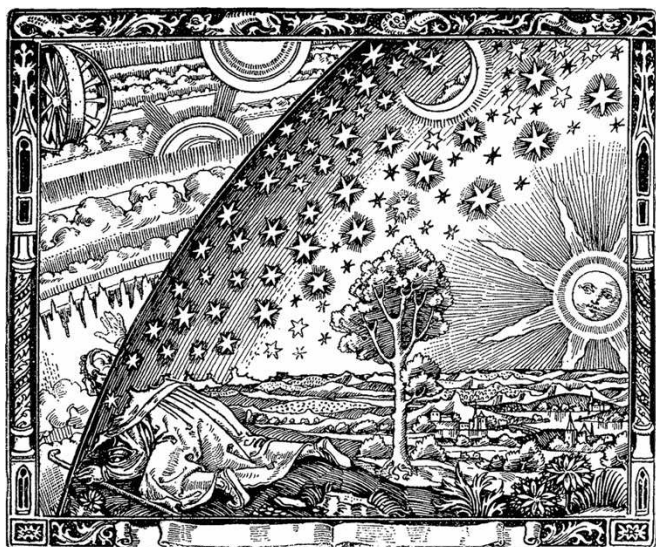




*А.И. Слободянюк
А.А. Мищук
В.И. Анцулевич
Л.Г. Маркович*

*Республиканская
физическая
олимпиада
(III этап)
2013 год*



Теоретический тур

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель председателя оргкомитета заключительного этапа
Республиканской олимпиады Заместитель Министра образования

_____ В.А. Будкевич

«__» декабря 2012 г.



Республиканская физическая олимпиада 2013 год. (III этап)

Теоретический тур

9 класс.

1. Полный комплект состоит из трех не связанных между собой заданий.
2. При оформлении работы каждую задачу 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.***

Успехов Вам на олимпиаде! Ждем Вас в Витебске на Заключительном туре!

Задача 9-1. Подобие и размерность.

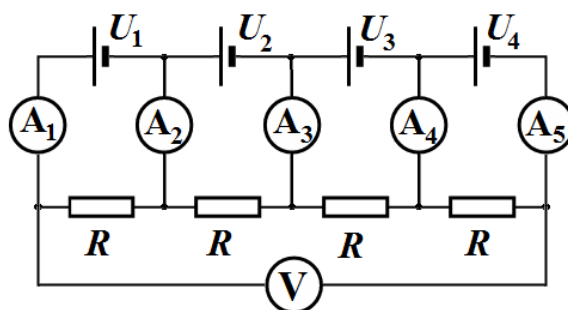
1. Трос модели подъемного крана выдерживает максимальную нагрузку в N «модельных» кирпичей. Все линейные размеры реального крана (и реальных кирпичей) в n раз больше размеров модельного. Сколько кирпичей сможет поднять кран?

2. Проволоку подключили к источнику постоянного напряжения. Через некоторое время температура проволоки поднялась на Δt градусов выше комнатной. Все линейные размеры проволоки увеличили в n раз. На сколько градусов нагреется проволока в этом случае?

3. Если на модель круглого батута с радиальной сеткой положить металлический шарик, то сетка провисает на величину Δh . На какую величину провиснет сетка, если все линейные размеры системы (веревки, расстояние между ними и шарика) увеличить в n раз? Размеры шарика намного больше размеров ячеек сетки батута. Считайте, что при натягивании сетки батута, веревки удлиняются на определенную часть их длины.

Задача 9-2 «Напряжения и токи»

В цепи, показанной на рисунке, сопротивления всех резисторов одинаковы и равны $R = 1,0 \text{ Ом}$. Все измерительные приборы идеальные. Напряжения всех источников можно регулировать.



Часть 1.

Напряжения источников отрегулированы так, что амперметры A_1, A_2, A_3, A_4 показывают одинаковые значения сил токов, равные $I_1 = 1,0 \text{ А}$.

1.1 Укажите направления токов через все резисторы и амперметры.

1.2 Какую силу тока показывает амперметр A_5 ?

1.3 Какое напряжение показывает вольтметр?

Часть 2.

Напряжения источников одинаковы и равны $U_0 = 1,0 \text{ В}$.

2.1 Укажите направления токов через все резисторы и амперметры в этом случае.

2.2 Каковы показания всех амперметров?

2.3 Какое напряжение показывает вольтметр?

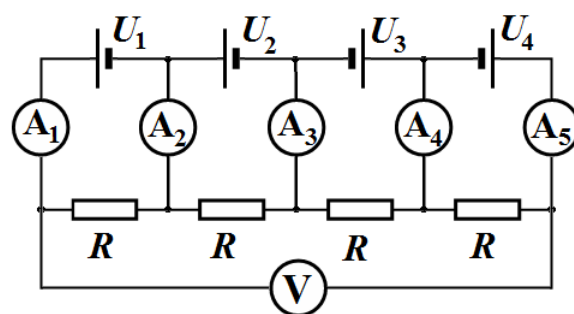
Часть 3.

Полярности двух источников изменили на противоположные (см. рисунок). Напряжения всех источников, по-прежнему, одинаковы по модулю и равны $U_0 = 1,0 \text{ В}$.

3.1 Укажите направления токов через все резисторы и амперметры в этом случае.

3.2 Каковы показания всех амперметров?

3.3 Какое напряжение показывает вольтметр?



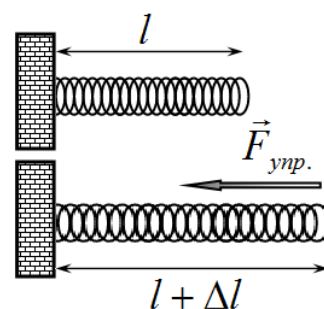
Задача 9-3 Гук против Архимеда!

Часть 1. Вспомним закон Гука.

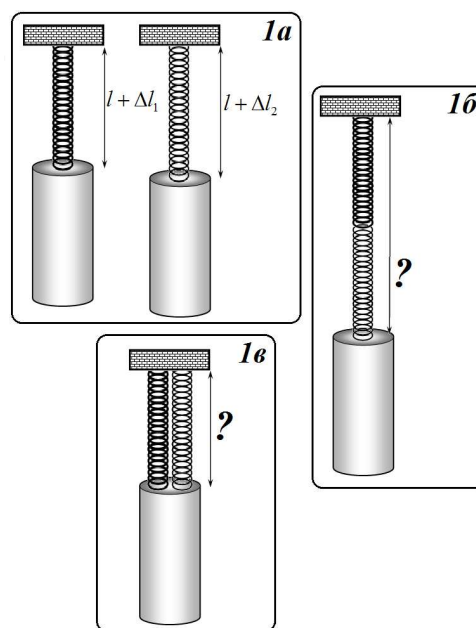
Пусть длина нерастянутой пружины равна l . Если пружину растянуть на некоторую величину Δl , то в пружине возникнет сила упругости, модуль которой равен

$$F_{\text{упр.}} = k\Delta l = kl\eta,$$

где k - жесткость пружины. Величина $\eta = \frac{\Delta l}{l}$ называется относительной деформацией пружины.



Для изучения сил упругости используется массивный цилиндр и две пружины, длины которых в недеформированном состоянии одинаковы. Если цилиндр подвесить на первой пружине, то ее относительная деформация будет равна η_1 , если этот же цилиндр подвесить на второй пружине, то ее относительная деформация будет равна η_2 (рис. 1а).



1.1 Чему будет равна относительная деформация пружины, составленной из двух исходных пружин соединенных последовательно (рис. 1б)?

1.2 Чему будет равна относительная деформация пружин, если цилиндр подвесить на двух пружинах, соединенных параллельно (рис. 1в)?

Часть 2. Вспомним закон Архимеда.

На тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила, равная весу вытесненной жидкости:

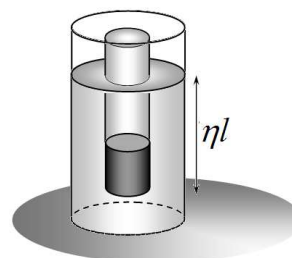
$$F_{\text{Арх.}} = \rho_0 g V_1,$$

где ρ_0 - плотность жидкости, g - ускорение свободного падения, V_1 - объем погруженной части тела.

Для изучения закона Архимеда используются два закрытых тонкостенных цилиндрических сосуда, размеры которых одинаковы. Высоты сосудов обозначены l . В нижней части сосудов расположены массивные тела, так, что при погружении сосудов в воду, они могут плавать в ней вертикально.

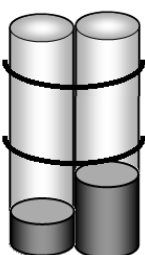
Если в воду опустить первый сосуд, то глубина его погружения будет равна $\eta_1 l$.

Величину η (отношение объема погруженной части к полному объему сосуда) назовем относительным погружением. Если в воду опустить второй сосуд, то глубина его погружения будет равна $\eta_2 l$.



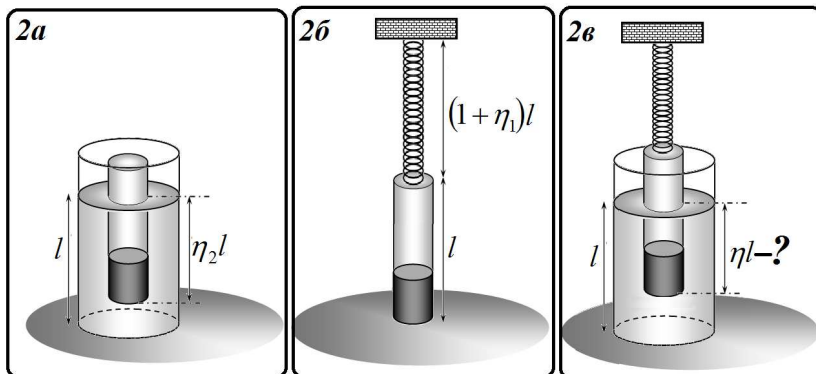
2.1 Чему будет равна относительная глубина погружения сосудов, если их связать «параллельно»?

2.2 Чему будет равна относительная глубина погружения, если сосуды соединить, поставив их один на один?



Часть 3. Гук против Архимеда.

Второй из сосудов, описанных в Части 2 (для которого относительная глубина погружения в воду равна $\eta_2 l$ - рис.2а) подвешивают на пружине, длина которой в недеформированном состоянии l равна высоте сосуда. При этом растяжение пружины оказывается равным $\eta_1 l$. Верхний конец пружины закреплен в штативе, а дно сосуда почти касается поверхности стола (рис. 2б). Затем, не изменяя точки подвеса пружины, подвешенный сосуд опускают в большую кастрюлю с водой. Высота уровня воды в кастрюле также равна l (и практически не изменяется при погружении сосуда - рис. 3в).



3.1 Найдите относительное погружение η сосуда в воду в этом случае.

3.2 Пусть $\eta_2 = 0,80$. Рассчитайте относительное погружение η при трех значениях

1) $\eta_1 = 0,30$, 2) $\eta_1 = 0,20$, 3) $\eta_1 = 0,10$. Сравните полученные значения с величиной погружения без пружины η_2 . Кратко объясните полученные результаты.

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель председателя оргкомитета заключительного этапа
Республиканской олимпиады Заместитель Министра образования

_____ В.А. Будкевич

«__» декабря 2012 г.



Республиканская физическая олимпиада 2013 год. (III этап)

Теоретический тур

10 класс.

1. Полный комплект состоит из трех не связанных между собой заданий.
2. При оформлении работы каждую задачу 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.***

Успехов Вам на олимпиаде! Ждем Вас в Витебске на Заключительном туре!

Задача 10-1 Подобие и размерность.

В теории подобия для того, чтобы установить связь между “подобными” физическими явлениями, необходимо, для данного конкретного явления, найти безразмерную комбинацию определяющих его физических величин.

Пример.

На тело с массой m_1 действует сила F_1 в течение времени t_1 , что приводит к тому, что тело приобретает скорость v_1 . Комбинация $\frac{F_1 t_1}{m_1 v_1}$ является безразмерной величиной.

Таким образом, можно сделать вывод, что явление, проходящее при других значениях величин m_2, F_2, t_2, v_2 , будет проходить аналогично первому, если найденные безразмерные комбинации будут равны: $\frac{F_1 t_1}{m_1 v_1} = \frac{F_2 t_2}{m_2 v_2}$.

1. Капли двух различных жидкостей помещены на горизонтальную гладкую поверхность в поле силы тяжести. Определите, как должны быть связаны плотности, поверхностные натяжения и радиусы капель, чтобы их формы были геометрически подобными.

2. Оцените, как должны относиться радиусы и массы двух звезд, чтобы давление в их центрах были одинаковы.

3. Труба водослива расположена вертикально. Вода полностью заполняет всю трубу. Во сколько раз увеличится расход воды ($кг/с$), если перепад высот увеличить в 2 раза.

Задача 10-2 Полетели?

Одноступенчатая ракета, начальная масса которой $M = 45\text{ т}$, стартует и все время движется вертикально вверх.

В первый момент после запуска двигателя ускорение ракеты равно нулю, но ракета уже не взаимодействует с опорами стартового комплекса. В последующие моменты из-за уменьшения массы топлива она начинает разгоняться. Массовый расход $\mu = \frac{\Delta m}{\Delta t}$ топлива ракетного двигателя (масса топлива, сгорающего каждую секунду) остается постоянным на всей активной части траектории полета. Проекция скорости истечения продуктов сгорания из сопла двигателя ракеты на ось сопла $u = 3000 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ также не изменяется. Масса топлива в момент старта ракеты составляет $k = 90\%$ массы ракеты.

Ускорение свободного падения считайте равным $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ и не зависящим от высоты подъема, сопротивлением воздуха отсутствует, так как запуск производится на другой планете.

1.1 Чему равна сила тяги двигателя в момент старта ракеты?

1.2 Покажите, что реактивная сила тяги двигателя ракеты остается постоянной (т.е. не зависит от массы ракеты) и равна

$$F_0 = \mu u \quad (1)$$

1.3 Чему равен расход топлива двигателя ракеты μ ?

1.4 Чему равна мощность двигателя в момент старта ракеты.

1.5 Определите зависимость ускорения ракеты от времени на активной части траектории полета. Найдите зависимость отношения модуля ускорения ракеты к ускорению свободного падения $\frac{a}{g}$ от отношения массы ракеты к ее стартовой массе

$\eta = \frac{m}{M}$ для всего активного участка траектории.

1.6 Рассчитайте численные значения ускорения ракеты через равноотстоящие промежутки времени Δt . В качестве Δt возьмите интервал, в течение которого масса ракеты уменьшается на 10% от первоначальной массы. Чему равен этот интервал?

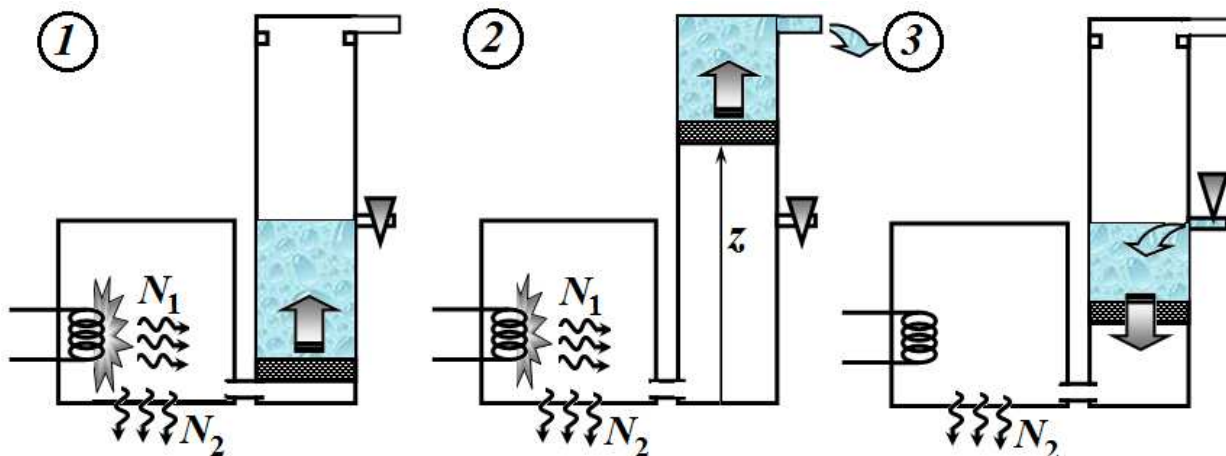
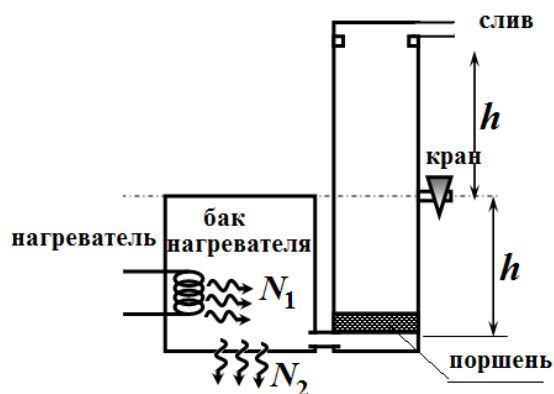
1.7 Ускорение ракеты постоянно изменяется, причем нелинейно. Однако, для приближенных расчетов, можно считать, что в течение малого промежутка времени Δt ускорение ракеты изменяется по линейному закону. Постройте график зависимости скорости ракеты от времени, используя указанное приближение. В качестве интервала времени Δt возьмите интервал, использованный в предыдущем пункте.

1.8 Используя аналогичное приближение, постройте график зависимости высоты подъема ракеты от времени на активном участке траектории $z(t)$.

1.9 Какой максимальной высоты z_{max} достигнет ракета?

Задача 10-3 Сначала думать, а потом делать!

Молодой, но талантливый физик Федя соорудил на даче тепловую водоподъемную машину. Ее конструкция и принцип действия просты. Цилиндрическая закрытая труба наполовину закопана в землю. Внутри трубы находится массивный плотно пригнанный поршень, который может двигаться по трубе, для ограничения его движения внутри трубы Федя расположил небольшие упоры. На уровне земли к середине трубы подведена трубка с краном, по которой в трубу может поступать вода. В верхней части трубы находится трубка для слива воды. Рабочим телом машины служит воздух. Чтобы уменьшить температуру, до которой следует нагревать воздух, к трубе подсоединен цилиндрический бак нагревателя с расположенным внутри электрическим нагревателем.



Описание работы машины начнем с начального состояния 1: поршень находится внизу, вода заполняет половину трубы (до уровня земли), кран закрыт, нагреватель включен, поршень начинает подниматься, поднимая воду.

После того, как поршень прошел половину трубы (рис. 2), вода начинает выливаться сверху. Когда поршень достигает верхней точки, вся вода выливается, после этого нагреватель отключается и поршень начинает опускаться вниз, после того как он опустится ниже уровня земли Федя открывает кран и наливающаяся вода помогает поршню опуститься до нижнего положения (рис. 3). После этого процесс повторяется.

Как ни странно, машина заработала, но не так как хотелось бы Феде. Поэтому он решил провести теоретические расчеты, описывающие работу этой машины.

Проделайте и Вы эти расчеты. Для них могут понадобиться следующие данные:

- площадь поперечного сечения трубы (и поршня) $S = 1,0 \text{ м}^2$;
- радиус бака нагревателя в три раза больше радиуса трубы, а высота в два раза меньше; расстояние от дна трубы до уровня земли $h = 1,0 \text{ м}$, такая же высота от уровня земли до сливной трубы;
- масса поршня $m = 1,0 \cdot 10^3 \text{ кг}$, его толщиной можно пренебречь по сравнению с высотой трубы;
- мощность нагревателя постоянна и равна $N_1 = 5,0 \text{ кВт}$;

- считайте, что от рабочего воздуха в землю постоянно (не зависимо от температуры воздуха¹) уходит теплота, мощность этих потерь равна $N_2 = 1,0 \text{ кВт}$;
- плотность воды $\rho = 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;
- атмосферное давление постоянно и равно $P_0 = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Па} = 1,0 \text{ атм}$;
- ускорение свободного падения считайте равным $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$,
- молярная теплоемкость воздуха при постоянном объеме равна $C_v = \frac{5}{2} R$, (R - это не радиус трубы, а газовая постоянная $R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$);
- считайте, что масса воздуха в баке нагревателя и под поршнем остается постоянной, кроме того считайте, что в любой момент времени, на любой стадии процесса температура этого воздуха везде одинакова (т.е. все процессы являются равновесными);
- температура воздуха в баке нагревателя, когда поршень находится в нижнем положении (труба наполовину заполнена водой) и поршень начинает подниматься равна $T_1 = 300 \text{ К}$;
- объемом воздуха под поршнем в нижнем положении и объемом соединительной трубки, трением поршня о стенки трубы, сопротивлением воздуха, вязкостью воды, зависимостью ускорения свободного падения от высоты и т.д. можно пренебречь.

Часть 1. Термодинамика тепловой машины.

- 1.1 Чему равно количество вещества рабочего воздуха (сколько молей)?
- 1.2 Рекомендуем измерять давление в *атм* (атмосферах). Чему равно (в *атм*) гидростатическое давление воды p_0 на поршень в нижнем положении? Какое давление p_1 (в *атм*) оказывает поршень на воздух?
- 1.3 Постройте диаграмму циклического процесса, совершаемого воздухом, в координатах: P (давление в *атм*) - z (высота поршня над дном рабочей трубы).
- 1.4 Постройте эту же диаграмму в координатах T - z .
- 1.5 Рассчитайте коэффициент полезного действия этой машины.

Часть 2. Кинематика тепловой машины.

- 2.1 Постройте график зависимости координаты поршня z от времени.
- 2.2 Чему равна средняя мощность этой машины?
- 2.3 Чему равно отношение средней мощности, развиваемой машиной к средней мощности, потребляемой нагревателем? Сравните это отношение с рассчитанным ранее КПД. Объясните различие между ними.

Проделав все расчеты, еще раз печально осмотрев свое творение, Федя сдал его в металлолом и на вырученные деньги по совету друзей купил насос «Ручеек» белорусского производства.

¹ Конечно, приближение не очень хорошее, но Федя, как и Вы не умеет еще решать дифференциальные уравнения!

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель председателя оргкомитета заключительного этапа
Республиканской олимпиады Заместитель Министра образования

_____ В.А. Будкевич

«__» декабря 2012 г.



Республиканская физическая олимпиада 2013 год. (III этап)

Теоретический тур

11 класс.

1. Полный комплект состоит из трех не связанных между собой заданий.
2. При оформлении работы каждую задачу 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.***

Успехов Вам на олимпиаде! Ждем Вас в Витебске на Заключительном туре!

Задача 11-1 Подобие и размерность.

Теория подобия позволяет на основе анализа уравнений движения устанавливать некоторые закономерности движения без непосредственного решения уравнений. Рассмотрим пример получения закона Кеплера:

Планета движется в поле тяжести звезды. Ускорение планеты:

$$\vec{a} = -\frac{GM\vec{r}}{r^3} \quad (1)$$

Изменим пространственный и временной масштаб в α и β раз соответственно:

$\tilde{t} = \frac{t}{\beta}$ и $\tilde{x} = \frac{x}{\alpha}$. (При этом α и β имеют смысл новых единиц измерения расстояния и

времени). В этой системе скорость будет отличаться в $\frac{\beta}{\alpha}$ раз ($\tilde{v} = \frac{\Delta\tilde{x}}{\Delta\tilde{t}} = \frac{\beta}{\alpha} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\beta}{\alpha} v$), а

ускорение в $\frac{\beta^2}{\alpha}$ раз. Тогда уравнение движение в этой системе единиц ($\tilde{\vec{a}} = -\frac{GM\tilde{\vec{r}}}{\tilde{r}^3}$),

можно записать следующим образом:

$$\frac{\beta^2}{\alpha} \tilde{\vec{a}} = -\alpha^2 \frac{GM\tilde{\vec{r}}}{\tilde{r}^3} \quad (2)$$

Чтобы решения уравнений (1) и (2) были одинаковыми (орбиты были подобными), необходимо равенство $\alpha^3 = \beta^2$. А значит, куб изменения пространственного масштаба должен быть равен квадрату временного.

Таким образом, можно сделать вывод, что при движении планет по подобным орбитам кубы характерных размеров орбит (больших полуосей) должны относиться как характерные времена движения по ним (периоды обращения).

Аналогичное доказательство можно провести, рассматривая уравнение закона сохранения энергии:

$$\frac{mv^2}{2} - \frac{GMm}{r} = E$$

При изменении масштабов, получим:

$$\frac{\beta^2}{\alpha^2} \frac{mv^2}{2} - \alpha \frac{GMm}{r} = E,$$

или

$$\frac{\beta^2}{\alpha^2} \left(\frac{mv^2}{2} - \frac{\alpha^3}{\beta^2} \frac{GMm}{r} \right) = E,$$

т. е. при $\alpha^3 = \beta^2$ уравнение будет иметь такой же вид, а значит, и аналогичное решение, т.е. движение будет подобным.

1. Шарик совершает колебания на резиновой веревке. Сила упругости, действующая на шарик, прямо пропорциональна квадратному корню от удлинения: $F_{\text{упр}} = k\sqrt{x}$. Как зависит период таких колебаний от амплитуды?

2. Тело падает без начальной скорости в центральном поле сил притяжения, причем потенциальная энергия падающего тела изменяется по закону:

$$U = C \cdot r^n,$$

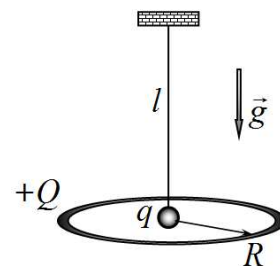
где r - расстояние до центра действия силы, C и n - постоянные величины.

Как зависит время падения тела в центр действия силы от начального расстояния?

3. В колебательном контуре конденсатор является нелинейным элементом (вместо диэлектрика, например, установлен полупроводник с $p-n$ переходом). При этом напряжение и заряд на конденсаторе связаны соотношением $U = Cq^2$. Определите, как зависит период электромагнитных колебаний в такой системе от начального заряда на конденсаторе.

Задача 11-2 Электромагнитная сила Кориолиса.

Небольшой стальной шарик массы m подвешен на нити длиной l . Данную систему можно рассматривать как математический маятник, совершающий малые колебания. Соппротивлением воздуха можно пренебречь. В положении равновесия шарик находится в центре тонкого горизонтального расположенного кольца радиуса R . Шарика сообщают электрический заряд q (величину и знак которого можно изменять).



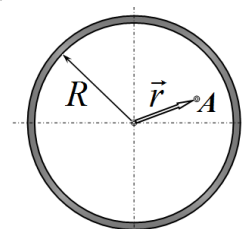
Часть 1. Электростатическая сила.

Кольцу сообщают положительный электрический заряд Q , который равномерно распределяется по нему.

1.1 Нарисуйте схематическую картину силовых линий электрического поля, создаваемого кольцом, в вертикальной плоскости, проходящей через центр кольца.

1.2 Покажите, что напряженность электрического поля в точке A , находящейся в плоскости кольца на малом расстоянии r от его центра ($r \ll R$), может быть найдена по формуле

$$\vec{E} = -\frac{\vec{r}}{2} \cdot \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R^3}, \quad (1)$$



где \vec{r} - радиус-вектор, проведенный от центра кольца к точке A .

Можете использовать данную формулу, даже если Вы не смогли ее доказать.

1.3 Найдите период малых колебаний шарика. Постройте схематический график зависимости периода колебаний от заряда шарика q . При каких значениях этого заряда колебания становятся невозможными?

1.4 Оцените, на сколько процентов может измениться период колебаний маятника, при включении электрического поля.

Считайте, что длина нити маятника равна $l = 30$ см, радиус кольца $R = 15$ см. В вашем распоряжении имеется стальной шарик диаметра $d = 1,0$ см и электростатическая машина, способная создавать разность потенциалов 25 кВ. Плотность стали $\rho = 7,0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, электрическая постоянная $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

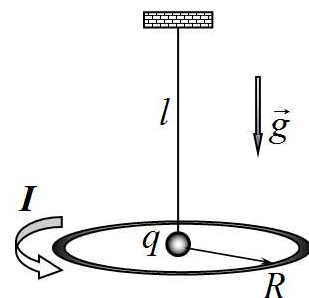
Часть 2. Магнитная сила.

Пусть по кольцу протекает постоянный электрический ток силой I , а электрический заряд отсутствует. Шарик несет положительный электрический заряд q .

2.1 Нарисуйте схематическую картину силовых линий магнитного поля, создаваемого кольцом, в вертикальной плоскости, проходящей через центр кольца.

2.2 Покажите, что индукция магнитного поля в центре кольца рассчитывается по формуле

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R}, \quad (2)$$



Магнитная постоянная $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$

2.3 Покажите, что на малом расстоянии от центра кольца ($r \ll R$) магнитное поле можно считать однородным.

2.4 Чему равен период колебаний маятника в этом случае?

2.5 Покажите, что в данной системе плоскость колебаний маятника будет поворачиваться. Укажите направление вращения плоскости колебаний.

2.6 Найдите период, за который плоскость колебаний маятника сделает полный оборот.

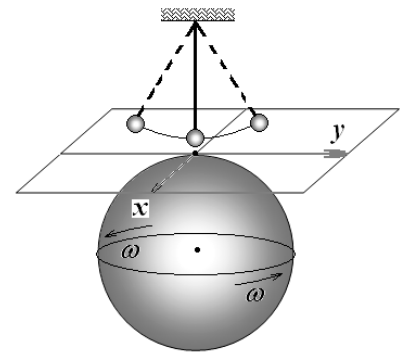
2.7 Проведите численные оценки этого периода.

Считайте, что сила тока в кольце равна $I = 10\text{А}$, используйте численные параметры, приведенные в п. 1.4

Да поможет Вам следующая часть задачи!

Часть 3. Маятник Фуко.

Массивный шар повешен на длинной нити на Северном полюсе Земли и совершает незатухающие колебания. Движение маятника будем рассматривать во вращающейся системе отсчета xOy , связанной с поверхностью Земли.



3.1 Покажите, что в этой системе отсчета плоскость колебаний маятника поворачивается. Укажите направление вращения плоскости колебаний. Приведите численное значение угловой скорости Ω вращения плоскости колебаний.

3.2 Нарисуйте схематически траекторию движения шара в системе отсчета, связанной с поверхностью Земли.

3.3 Запишите закон движения шара $x(t), y(t)$.

Пусть в некоторый момент времени нить маятника отклонена на некоторый угол α (меньший максимального), а плоскость колебаний маятника повернута на угол φ .

3.4 Нарисуйте направление вектора скорости шара \vec{v} во вращающейся системе координат. Запишите значения проекций вектора скорости шара v_x, v_y на оси этой системы, как функции r - расстояния до положения равновесия, угла поворота φ и V_0 - скорости шара в инерциальной (не вращающейся) системе отсчета.

3.5 Нарисуйте направление вектора ускорения шара \vec{a} во вращающейся системе координат (*Подсказка. Выполните предыдущий пункт для следующего момента времени*) Запишите значения проекций вектора ускорения шара a_x, a_y на оси этой системы, как функции r - расстояния до положения равновесия, a_0 - ускорения шара в инерциальной (не вращающейся) системе отсчета, и проекций скоростей v_x, v_y .

Проделав эти упражнения, смело возвращайтесь к п.2.6!

Задача 11-3. Выпад против Эйнштейна?

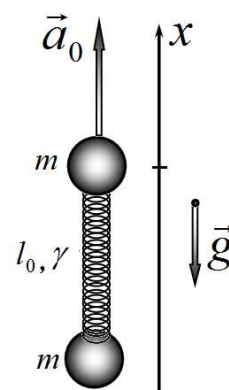
Если Вы находитесь в закрытой кабине лифта, то согласно принципу относительности Г.Галилей, никакими способами не сможете определить, покоится лифт или движется равномерно. Если же лифт движется с ускорением, то это ускорение достаточно легко обнаружить, находясь внутри кабины. Однако, если лифт движется с постоянным ускорением, то согласно принципу эквивалентности А.Эйнштейна, вы никакими способами не сможете отличить ускоренное движение от изменения сил гравитационного взаимодействия. Иными словами, находясь в кабине лифта, вы не в состоянии однозначно сказать: движется лифт с ускорением, или изменилась сила тяжести!

Или, все-таки, сможете?

Часть 1. Два шарика.

Два одинаковых шарика (масса каждого равна m) соединены легкой пружиной (ее жесткость - γ , длина в недеформированном состоянии - l_0 , и значительно больше диаметра шариков). Один из шариков прикрепили к потолку покоящегося лифта, второй свободно свисает на пружине.

В некоторый момент времени $t = 0$ лифт начинает подниматься постоянным ускорением \vec{a}_0 .



1.1 Найдите закон движения подвешенного шарика $x_2(t)$ в системе отсчета, связанной с потолком лифта.

1.2 Найдите максимальное удлинение пружинки в процессе движения.

После некоторого промежутка времени колебания пружинки затухнут.

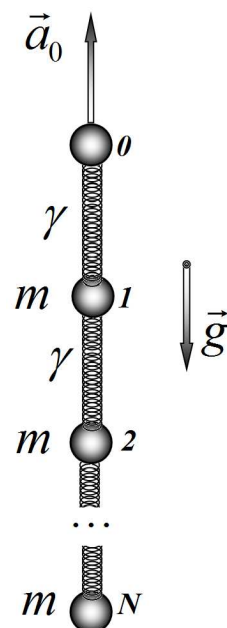
1.3 Чему будет равно относительное удлинение пружинки, после того, как ее длина перестала изменяться?

1.4 Чему будет равно относительное изменение силы натяжения пружинки, после прекращения колебаний?

Часть 2. Цепочка.

Цепочка состоит из N звеньев: N легких пружинок жесткостью γ и длиной l_0 в недеформированном состоянии и $N + 1$ шариков массы m , размерами которых можно пренебречь.

2.1 Цепочку подвешивают вертикально за крайний шарик к потоку покоящегося лифта. Найдите относительное (по сравнению с ее длиной L_0 в недеформированном состоянии) удлинение всей цепочки $\frac{\Delta L}{L_0}$ вследствие действия силы тяжести.



Лифт начинает подниматься постоянным ускорением \vec{a}_0 . В течение некоторого промежутка времени по цепочке будут пробегать упругие волны, которые быстро затухнут.

2.2 Найдите относительное (по сравнению с ее длиной L_0 в недеформированном состоянии) удлинение цепочки после прекращения колебаний всех шариков.

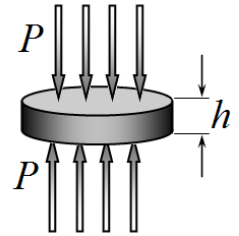
2.3 Чему будет равно относительное изменение сил натяжения пружинок $\frac{\Delta F_k}{F_{k0}}$ (где F_{k0} - сила упругости k -ой пружинки в неподвижном лифте, ΔF_k - изменение этой силы при ускорении лифта).

Часть 3 Сжатие воды.

Если слой жидкости толщиной h_0 поместить под давление P , то его толщина уменьшится и станет равной

$$h = h_0(1 - \beta P),$$

Величина β называется сжимаемостью жидкости. Обычно эта величина мала, поэтому часто жидкости считают несжимаемыми. Однако в некоторых физических явлениях она играет определяющую роль. Для воды сжимаемость равна $\beta = 0,44 \cdot 10^{-9} \text{ Па}^{-1}$. Плотность воды $\rho = 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Ускорение свободного падения считайте равным $g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

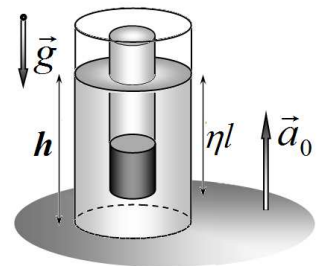


3.1 Определите величину сжатия воды Δh для слоя глубиной h под действием собственного веса. Рассчитайте величину этого сжатия для глубины $h = 10 \text{ км}$.

Часть 4. Смещение поплавка.

На полу кабины лифта стоит бочка с водой, высота уровня которой равна $h = 1,0 \text{ м}$.

В бочке плавает вертикально цилиндрическая пробирка высоты $l = 0,50 \text{ см}$. При этом глубина погружения равна ηl (где $\eta = 0,80$).



Лифт начинает подниматься с постоянным ускорением $a_0 = g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Сразу после начала движения в воде возникнут упругие волны, которые быстро затухают.

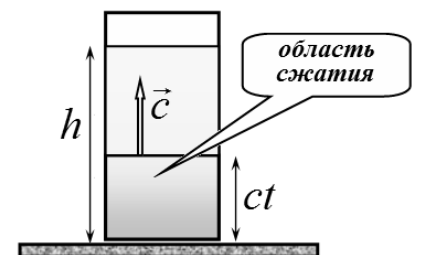
4.1 Рассчитайте, на сколько понизится уровень воды в бочке Δh после установления равновесия.

4.2 На сколько процентов изменится плотность воды в бочке при ее ускоренном движении?

4.3 Во сколько раз увеличится давление воды на дно бочки при ее ускоренном движении?

4.4 Чему будет равна глубина погружения пробирки после того, как она перестанет колебаться?

Для описания распространения упругих волн примем следующую упрощенную модель. Будем считать, что граница области дополнительного сжатия распространяется со скоростью звука c (относительно воды). Ниже этой границы вся вода уже движется с постоянным ускорением a_0 , а выше нее еще покоится.



Когда граница области сжатия достигает верхнего уровня жидкости, все волновые процессы затухают.

4.5 Данная модель приводит к правильному значению величины сжатия жидкости. Используя ранее найденное значение сжатия, получите формулу для скорости звука в воде, рассчитайте численное значение этой скорости.

4.6 Постройте график зависимости давления внутри воды от глубины в некоторый момент времени, когда волна сжатия еще не достигла верхнего уровня жидкости.

4.7 Рассчитайте максимальное значение скорости пробирки относительно уровня воды в бочке.