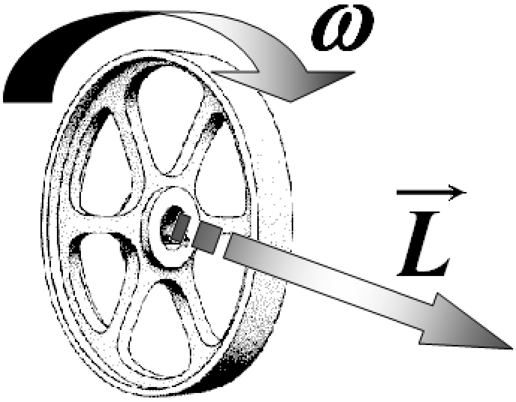
А.И. Слободянюк
А.А. Мищук
Л.Г. Маркович



Республиканская физическая олимпиада 2011 года

(заключительный этап)

Теоретический тур.

Гомель
2011

УТВЕРЖДЕНО
Заместитель председателя оргкомитета
заключительного этапа Республиканской олимпиады,
заместитель Министра образования Республики Беларусь

__________________ **К.С. Фарино**
«___» марта 2011 года

Республиканская физическая олимпиада 2011 год
(заключительный этап)

Теоретический тур.

9 класс.

1. Полный комплект состоит из трех не связанных между собой заданий. К задаче 1 прилагается отдельный лист-вкладыш.

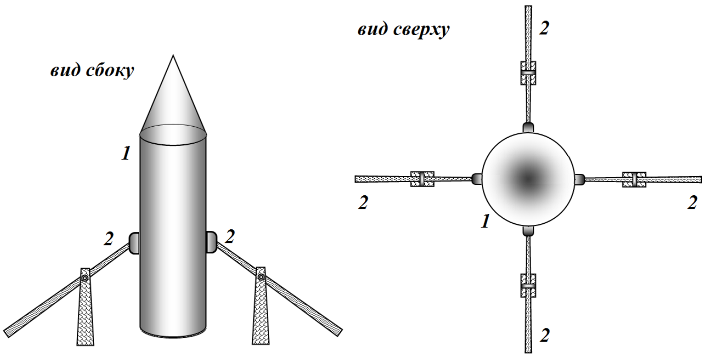
2. При оформлении работы каждую задачу начинайте с новой страницы. Первая половина тетради предназначена для чистовика, вторая - черновика. При недостатке бумаги обращайтесь к оргкомитету!

3. Подписывать тетради и отдельные страницы запрещается.

4. В ходе работы можете использовать ручки, карандаши, чертежные принадлежности, калькулятор.

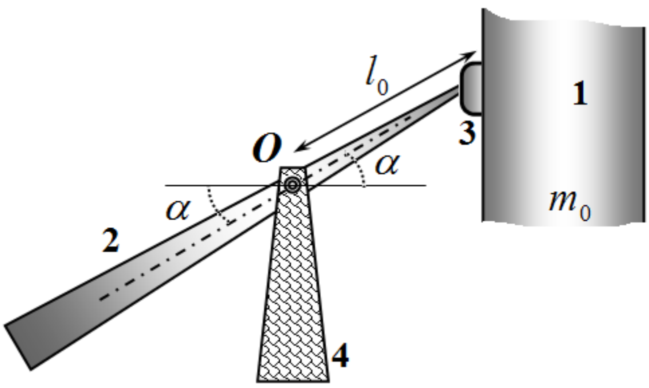
5. Со всеми вопросами, связанными с условиями задач (но не с их решениями), обращайтесь к представителям Жюри.

Задача 1. Пусковое устройство.



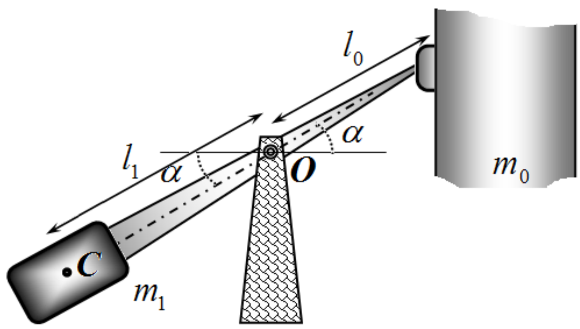
При запуске космических ракет используется простое механическое устройство, удерживающее ракету в вертикальном состоянии при неработающих двигателях и автоматически освобождающее ракету, когда сила тяги двигателей ракеты превысит некоторое определенное значение.

Пусковое устройство состоит из четырех держателей 2, расположенных симметрично со всех сторон ракеты 1.



Каждый держатель представляет собой подвижную штангу 2, которая может вращаться вокруг горизонтальной оси ***O*** неподвижной опоры 4. К концу штанги прикреплен упор 3, плотно прижимающийся к корпусы ракеты 1. Длина части штанги от оси вращения ***O*** до корпуса ракеты равна l_0, ось штанги при удерживании ракеты образует угол α с горизонтом, центр масс штанги с упором находится на оси вращения ***O***. Масса ракеты равна m_0.

1. Определите минимальный коэффициент трения μ_0 между упором 3 и корпусом ракеты 1, при котором ракета будет удерживаться в пусковом устройстве.



Для более быстрого опрокидывания штанг к ее противоположным концам прикрепляют одинаковые грузы-противовесы массы которых равны m_1, а центр масс располагается на расстоянии l_1 от оси вращения ***O***.

2. Определите максимально возможные массы противовесов $m_{\max}$, при которой ракета будет удерживаться в пусковом устройстве, если коэффициент трения μ между упором 3 и корпусом ракеты на 25% превышает минимальное значение, найденное в п. 1.

3. Пусть массы противовесов на 25% меньше максимального значения, найденного в п.2. Найдите, при какой минимальной силе тяги двигателей ракеты штанги пускового устройства начнут опрокидываться.

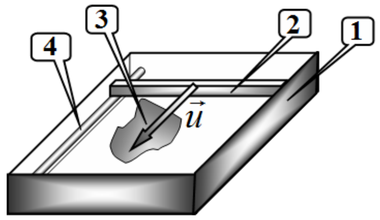
Задача 2. Сканер-стробоскоп[1].

К этой задаче вам выдан отдельный лист-вкладыш с фотографиями. Стрелками на рисунках указано направление движения считывающей каретки. Будьте внимательны – изображения имеют разный масштаб. На некоторые из них нанесена сетка для облегчения вашей работы. Цена деления сетки – 5,0 мм.

Свои графические построения (если они вам понадобятся) проводите непосредственно на этом листе. Описание последовательности построения, комментарии к ним, требуемые графики и окончательные выводы приводите в своей рабочей тетради!

Не забудьте вложить лист-вкладыш в свою тетрадь!

Принцип работы сканера известен (см. рис): в прямоугольном корпусе 1 по направляющим 4 с постоянной скоростью движется считывающая каретка 2, которая освещает узкой полоской света находящуюся сверху рабочую прозрачную поверхность, на которой находится сканируемый объект 3. Получаемое при этом изображение заносится в память компьютера.



А если сканируемый объект движется? В этом случае части (узкие освещаемые полоски) будут зафиксированы в тот момент, когда под ними проходит считывающая каретка, соответственно изображение объекта будет искажено. Однако эти искаженные изображения можно использовать для изучения законов движения тел, перемещающихся вблизи рабочей поверхности сканера.

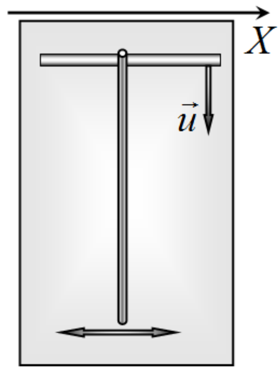
Часть 1. Часы.

На рис. 1 листа-вкладыша приведена фотография часов с движущейся секундной стрелкой, полученная с помощью сканера. Справа – изображение неподвижной линейки.

- Укажите на рисунке направление движения считывающей каретки.
- Кратко объясните, почему секундная стрелка оказалась изломанной.
- Определите скорость движения каретки сканера.

Часть 2. Поступательное колебание стержня.

Тяжелый металлический стержень, подвешенный на длинных нитях, колеблется поступательно (то есть без вращения) вблизи рабочей поверхности сканера (см. рис). Направление колебаний стержня перпендикулярно направлению движения каретки. Положение стержня определяется координатой x, ось которой показана на рисунке.



На рис. 2 на листе-вкладыше показана получившаяся фотография колеблющегося стержня. На этом же рисунке – полоска миллиметровой бумаги.

2.1 Постройте график закона движения стержня $x(t)$.

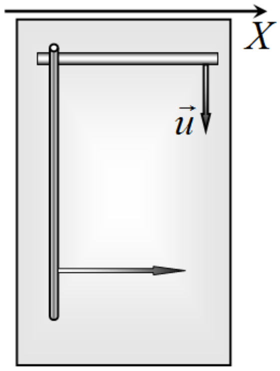
Для этого можете использовать сам рисунок – просто нанесите и оцифруйте на нем нужные оси.

2.2 Определите период колебаний стержня с максимально возможной точностью.

---

[1] Нам хотелось сделать эту задачу экспериментальной, но мы не смогли обеспечить всех участников олимпиады персональными сканерами, компьютерами и принтерами. Все приведенные рисунки движущихся предметов получены нами в реальных экспериментах – пользуйтесь!

Часть 3. Скатывание стержня.

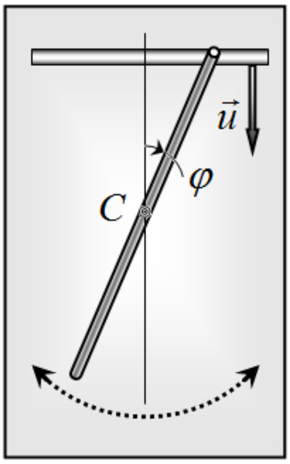


Сканер слегка наклонили и положили на его рабочую поверхность круглый стержень. Стержень скатывается в направлении, перпендикулярном направлению движения каретки.

На рис. 3 листа-вкладыша приведена фотография скатывающегося стержня.

3.1 Укажите на этом рисунке направление движения стержня.
3.2 Покажите, что движение стержня можно считать равноускоренным.
3.3 Найдите ускорение стержня.

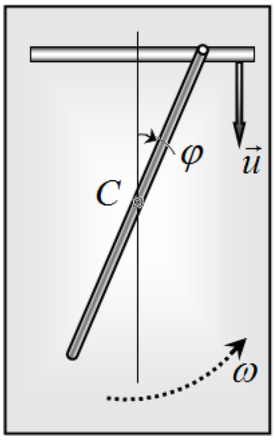
Часть 4. Крутильные колебания стержня.



Стержень подвешен на двух нитях и совершает крутильные колебания. На рис. 4 листа-вкладыша приведена фотография такого движения стержня. Из-за несовершенства эксперимента ось вращения немного перемещается в процессе колебаний.

4.1 Определите графически и укажите на рис. 4 область в которой может находиться ось вращения стержня *C*.
4.2 Определите угловую амплитуду колебаний стержня.
4.3 Определите период крутильных колебаний.

Часть 5. Вращение стержня.



Стержень вращается вокруг неподвижной вертикальной оси *C* над рабочей поверхностью сканера. Фотография движения приведена на рис. 5 листа-вкладыша.

5.1 Определите графически положение оси вращения стержня *C*. Укажите, в какую сторону вращается стержень.
5.2 Определите среднюю угловую скорость вращения стержня ω с максимально возможной точностью.

На рис. 6. листа-вкладыша показана фотография вращения стержня с большей угловой скоростью.

5.3 Определите по этой фотографии угловую скорость вращения стрежня в этом случае.

Задача 3. «Не забудьте посолить»

Однажды юный физик Федя заметил, что кипение воды прекращается при добавлении соли. За разъяснениями он обратился к учителю физики. Опытный учитель привел сразу три объяснения:

- Во-первых, Федя, соль имеет комнатную температуру. Во-вторых, растворение соли происходит с поглощением тепла, в третьих, повышается температура кипения воды.
- А какой же решающий фактор? — спросил Федя.
- Это и будет твоим домашним заданием,— сказал учитель и вручил Феде справочник «Таблицы физических величин».

Часть 1. Фактор первый

«С первой причиной я разберусь и без справочника,» - подумал Федя. «Пусть m_B — масса воды, m_C — масса соли, c_B — удельная теплоемкость воды, c_C — удельная теплоемкость соли. Температуру кипения воды обозначим t_K, температуру соли — t_C ».

1.1 Получите выражение для изменения температуры воды при добавлении соли, считая что она не растворяется.

Теплоемкость воды Федя знал наизусть $c_B = 4200 Дж/кг\cdot°C$, а теплоемкость соли начал искать в справочнике, но не нашел. Зато увидел таблицу зависимости удельной теплоемкости солевого раствора от его концентрации.

Таблица 1. Зависимость удельной теплоемкости солевого раствора от концентрации

η, %	0	5	10	15	20	25
$c, кДж/кг\cdot°C$	4,20	4,00	3,90	3,68	3,55	3,36

Подсказка. Концентрация соли в растворе определяется следующим образом: $\eta = \frac{m_C}{m_P}$, *где* m_C *— масса соли,* m_P *— масса раствора.*

Кроме того, Федя узнал о «правиле смешения», согласно которому теплоемкость смеси равна сумме теплоемкостей отдельных составляющих.

1.2 Используя данные таблицы, убедитесь, что «правило смешения» вполне применимо для раствора поваренной соли в широком диапазоне концентраций, а также определите удельную теплоемкость соли c_C .

1.3 Масса воды $m_B = 1{,}0 кг$, температура воды $t_K = 100°C$, температура соли $t_C = 20°C$. Вычислите изменение температуры (по формуле, полученной Вами в пункте 1.1) для $m_{C1} = 20 г$ и $m_{C2} = 300 г$.

Часть 2. Фактор второй

Чтобы рассчитать, на сколько охлаждается вода при растворении, Федя начал искать в справочнике удельную теплоту растворения q поваренной соли. Удивительно, но оказалось, что эта теплота зависит от того, как много соли растворяется в воде (см. таблицу 2).

Таблица 2. Удельная теплота растворения поваренной соли в воде:

$m_C, г$ - масса соли на 1 кг воды	10	50	100	200	350
$q, кДж/кг$	72,3	66,2	57,3	42,5	32,2

2.1 В воду $m_B = 1кг$ бросают соль при той же температуре t_K (для исключения первого фактора). Определите изменение температуры раствора в результате растворения соли для $m_{C1} = 20г$ и $m_{C2} = 300г$.

Часть 3. Фактор третий

Следующая необходимая для расчета таблица называлась «Температуры кипения раствора соли»

Таблица 3. Температуры кипения раствора соли

η, %	0	5	10	15	20	25
$t_K, °C$	100	100,5	101,0	101,6	102,2	102,9

3.1 Используя табличные данные, покажите, что увеличение температуры кипения раствора пропорционально отношению масс соли и воды, т. е. $\Delta t = \alpha \frac{m_C}{m_B}$. Определите коэффициент пропорциональности α.

3.2 Определите, на сколько градусов увеличивается температура кипения при добавлении в воду ($m_B = 1,0кг$) $m_{C1} = 20г$ и $m_{C2} = 300г$ соли.

Часть 4. Когда же снова закипит?

4.1 Один килограмм чистой воды нагрелся от комнатной температуры $t_C = 20°C$ до температуры кипения $t_K = 100°C$ за $5мин$. Оцените, через сколько секунд возобновится кипение при добавлении $m_{C1} = 20г$ и $m_{C2} = 300г$ соли? Считайте, что растворение соли происходит достаточно быстро.

Лист-вкладыш к задаче 1.

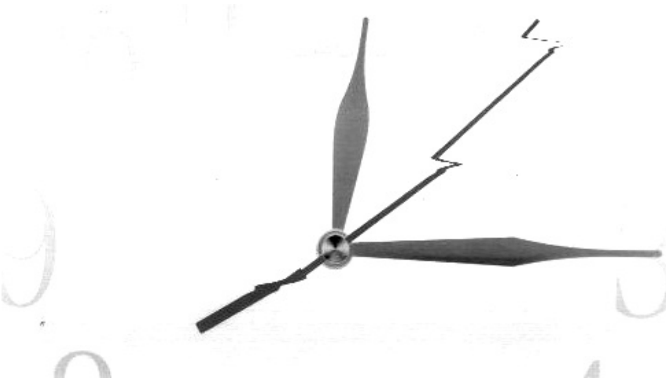


Рис. 1

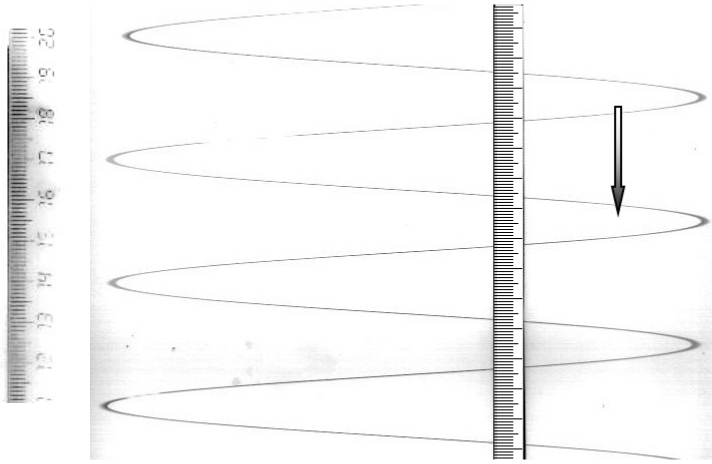


Рис. 2

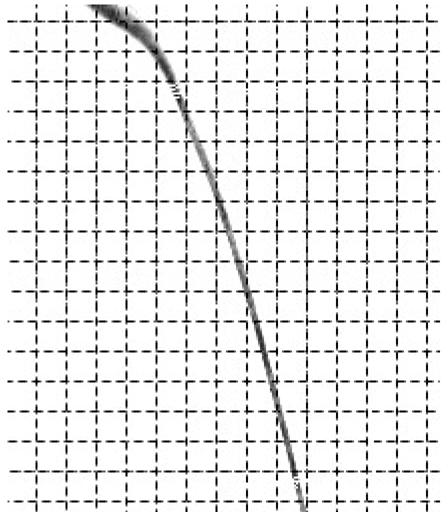


Рис. 3

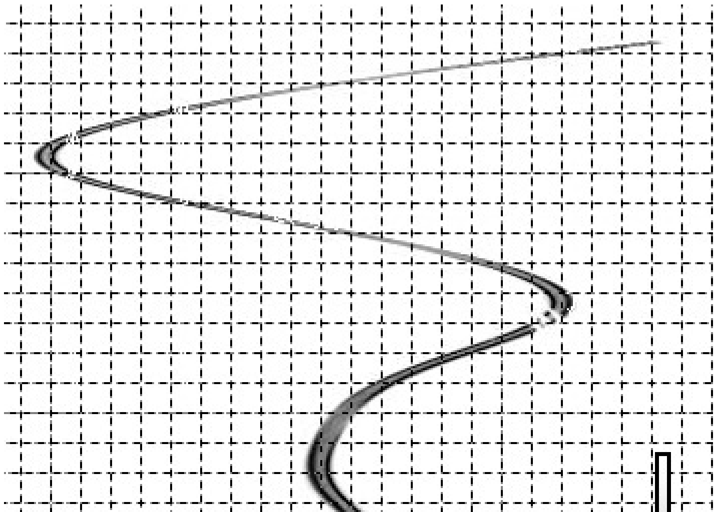
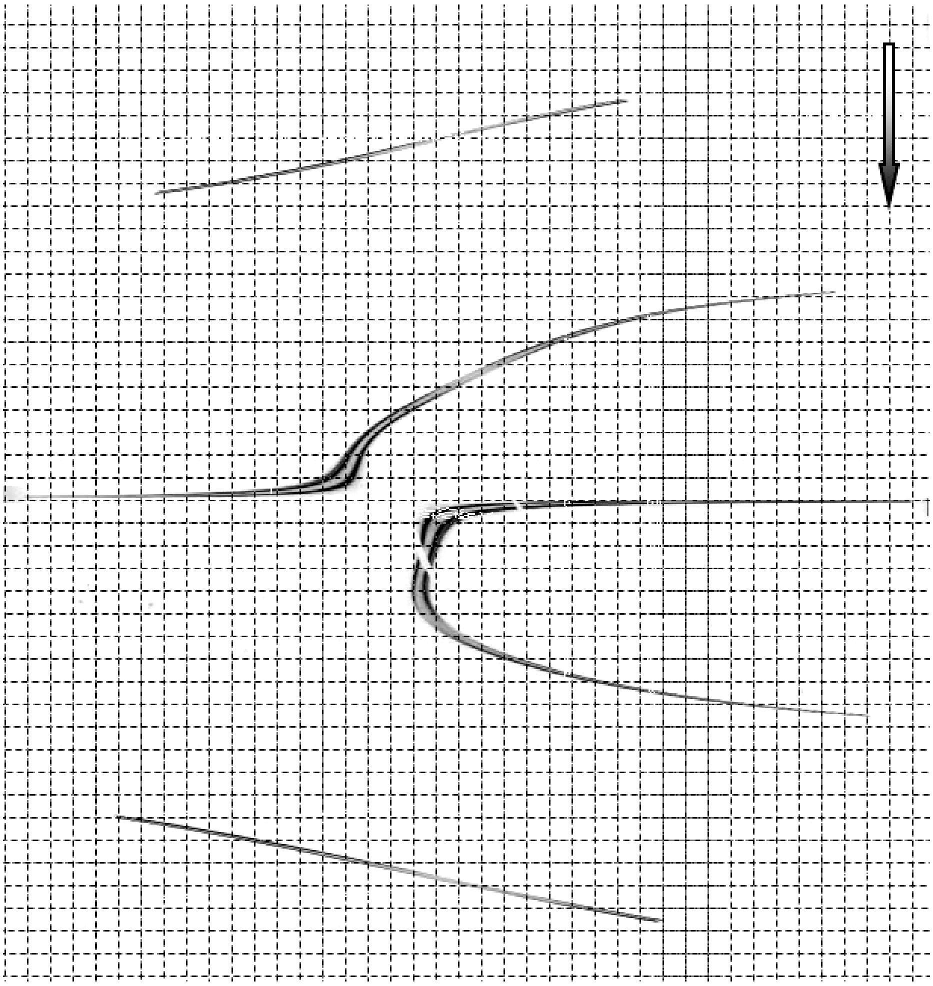


Рис. 4

Рис. 5



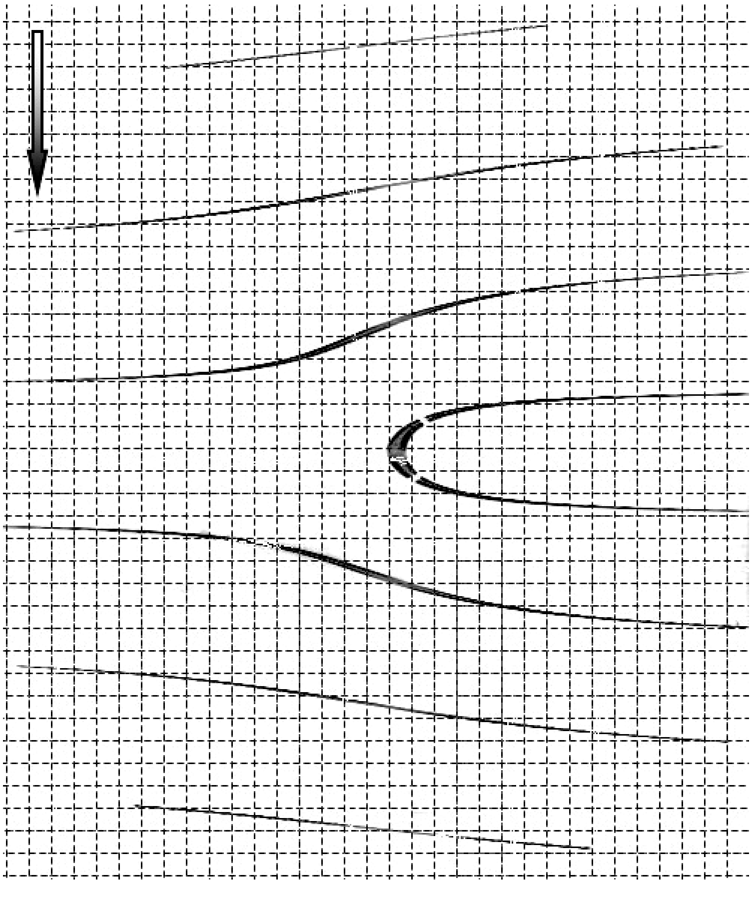
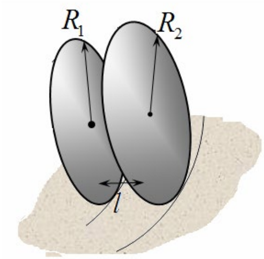


Рис. 6

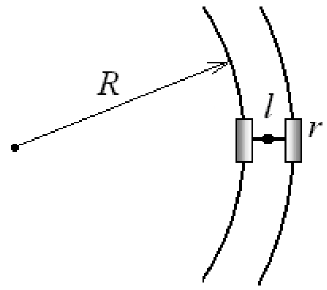
10 класс.

Задача 1. «Такие разные колеса»

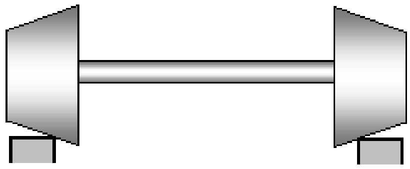


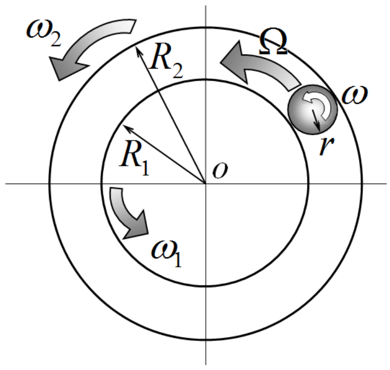
1. **«Игрушка»** При изготовлении колеса детской игрушки была допущена небольшая ошибка — тонкие диски, расположенные на жесткой оси длиной $l = 1{,}00\,\text{см}$, имели разные радиусы $R_1 = 10{,}0\,\text{см}$ и $R_2 = 10{,}1\,\text{см}$. Определите радиус R, окружности, которую опишет такое колесо, если его толкнуть без проскальзывания.

2. **«Автомобиль»** При повороте автомобиля по окружности радиуса $R = 20\,\text{м}$ его колеса вращаются с различными угловыми скоростями. Это возможно благодаря тому, что каждое колесо радиусом $r = 40\,\text{см}$ имеет возможность независимого вращения (например, ось разбита на две полуоси). Расстояние между колесами $l = 1{,}0\,\text{м}$. Найдите разность $\Delta\omega$ угловых скоростей вращения колес автомобиля при повороте со скоростью $\upsilon = 36\dfrac{\text{км}}{\text{ч}}$. Движение происходит без проскальзывания.



3. **«Поезд»** При повороте поезда используется жесткая ось, поэтому колеса имеют одинаковую угловую скорость вращения. В этом случае дискам вагонных колес придают форму усеченных конусов (см. рис.) с малым углом $\alpha = 5{,}0°$ при вершине, что позволяет колесной паре поворачивать без проскальзывания: при повороте колеса смещаются на некоторое расстояние ΔR от центра поворота так, чтобы проскальзывание отсутствовало. Найдите смещение колесной пары поезда при повороте радиусом $R = 1{,}0\,\text{км}$. Расстояние между колесами поезда $l = 1{,}5\,\text{м}$, радиус колеса $r = 40\,\text{см}$.





4. Рассмотрим два цилиндра радиусами R_1 и R_2, между которыми без проскальзывания движется малый цилиндр. Определите угловую скорость ω вращения малого цилиндра вокруг собственной оси и угловую скорость Ω движения центра малого цилиндра относительно точки O. Рассчитайте численные значения скоростей ω и Ω при следующих параметрах: угловая скорость вращения внутреннего цилиндра $\omega_1 = 5{,}5\dfrac{\text{рад}}{\text{с}}$, внешнего $\omega_2 = 7{,}5\dfrac{\text{рад}}{\text{с}}$, $R_1 = 10\,\text{см}$, $R_2 = 11\,\text{см}$. Рассмотрите различные случаи направления вращения вешнего и внутреннего цилиндров.

Задача 2. Потенциал Леннард-Джонса

Для жидкостей, состоящих из неполярных молекул, потенциальная энергия взаимодействия (по модулю) двух молекул приближенно выражается следующим образом:

$$E_0(r) = 4\varepsilon\left(\left(\frac{\alpha}{r}\right)^{12} - \left(\frac{\alpha}{r}\right)^{6}\right),$$

где r — расстояние между центрами молекул, а ε и α — известные коэффициенты, определяемые строением молекул. Эта зависимость была предложена Джоном Эдвардом Леннард-Джонсом и достаточно хорошо описывает взаимодействие неполярных молекул.

В данной задаче мы предлагаем Вам рассчитать некоторые свойства жидкости (плотность, удельную теплоту парообразования и коэффициент поверхностного натяжения), основываясь на достаточно простых представлениях о ее строении.

Часть 1. Две молекулы

1.1 Определите, при каком расстоянии потенциальная энергия взаимодействия минимальна и чему она равна. При каком r энергия взаимодействия равна нулю?

1.2 Качественно изобразите график зависимости $E_0(r)$.

Часть 2. Структура жидкости

Будем, для простоты, считать, что молекулы жидкости располагаются в узлах кубической решетки с периодом a, т. е. в вершинах кубов со стороной a. При вычислении потенциальной энергии молекулы Вам предстоит учесть взаимодействие со всеми соседями. Разделим соседние молекулы на три группы: «близкие соседи» — молекулы, находящиеся на расстоянии a, «средние соседи» — молекулы, находящиеся на расстоянии малой диагонали куба ($a\sqrt{2}$), и «дальние соседи» — молекулы, находящиеся на расстоянии большой диагонали куба ($a\sqrt{3}$).

2.1 Сколько соседей каждой группы имеет молекула находящаяся внутри жидкости?

2.2 Сколько соседей каждой группы имеет молекула находящаяся на плоской поверхности жидкости?

2.3 Учитывая взаимодействия со всеми соседями, определите при каком значении периода a энергия взаимодействия молекулы, находящейся внутри жидкости, со своими соседями будет минимальна и чему она равна?

Часть 3. Свойства жидкости

3.1 Пусть молярная масса жидкости равна M. Определите плотность жидкости ρ.

3.2 Считая, что парообразование происходит с поверхности, определите удельную теплоту парообразования жидкости L.

3.3 Определите коэффициент поверхностного натяжения жидкости σ.

Часть 4. Вычислительная

4.1 Для молекул азота: $M = 0{,}028\,кг/моль$, $\varepsilon = 1.26\cdot10^{-21}\,Дж$, $\alpha = 3.70\cdot10^{-10}\,м$. Приведите численные значения для плотности, удельной теплоты парообразования и коэффициента поверхностного натяжения жидкого азота. Постоянная Авогадро равна $N_A = 6{,}02\cdot10^{23}\,моль^{-1}$.

Задача 3. Разминаясь, заряжаюсь.

1. Две проводящие пластины находятся на некотором расстоянии друг от друга. Между ними вставлена пластина из непроводящего электрический ток вещества с некоторой диэлектрической проницаемостью. К образованному конденсатору подключают измерительные приборы и источник питания с ЭДС, равной U_0 и внутренним сопротивлением r так, как показано на рис. 1. Внутреннее сопротивление вольтметра очень большое, сопротивление амперметра пренебрежимо мало.

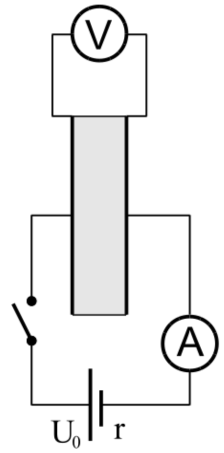


Рис. 1

Определите показания приборов сразу после замыкания ключа и через достаточно длительный промежуток времени. Качественно нарисуйте графики зависимости тока и напряжения, регистрируемых приборами, от времени.

2. Ответьте на вопросы предыдущего пункта и нарисуйте качественные графики, считая, что вещество между пластинами проводит электрический ток, причем сопротивление системы равно внутреннему сопротивлению источника питания. Диэлектрическая проницаемость вещества не изменилась.

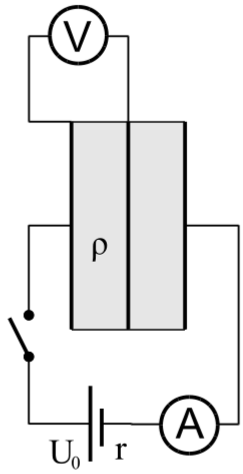


Рис. 2

3. Три металлические пластины расположены так, как показано на рис. 2. Между пластинами находится вещество с некоторой диэлектрической проницаемостью. Кроме того, вещество слева, между первой и второй пластиной, проводит электрический ток. Удельное сопротивление материала такое же, как и в предыдущем пункте. Вещество справа электрический ток не проводит.

Изобразите эквивалентную схему из резистора, конденсаторов и источника питания. Определите показания приборов сразу после замыкания ключа и через достаточно длительный промежуток времени. Качественно нарисуйте графики зависимости тока и напряжения, регистрируемых приборами, от времени.

4. Изобразите эквивалентную схему соединения, изображенного на рис. 3. Ответьте на вопросы предыдущего пункта и нарисуйте качественные графики.

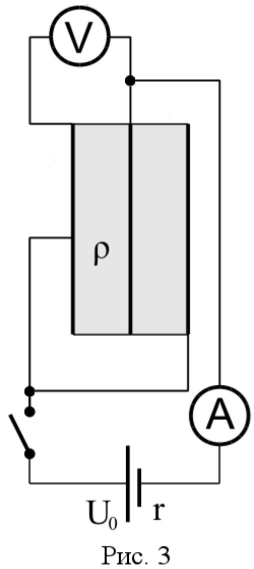
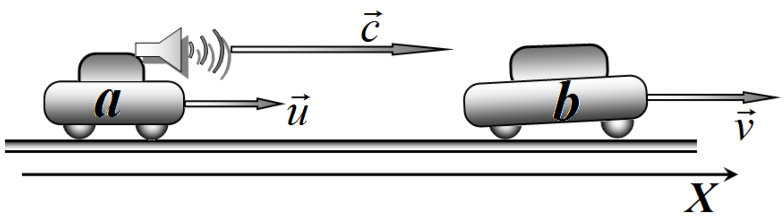


Рис. 3

Задача 1. «Радар-спидометр»

Скорость автомобиля сотрудники милиции измеряют дистанционно, с помощью радаров-локаторов. Принципы работы таких дистанционных спидометров могут быть различными. В данной задаче рассматриваются некоторые из них.



Во всех случаях будем считать, что милицейская машина ***a*** и машина ***b***, скорость которой измеряют, движутся вдоль одной прямой: первая с постоянной скоростью u, вторая с постоянной скоростью v. Скорость сигналов, посылаемых радаром - c.

Считаем, что в начальный момент времени машина ***a*** находится в начале координат, а машина на расстоянии x_0 от нее.

Часть 1. Импульсная локация.

Радар посылает короткие электромагнитные импульсы, следующие с интервалом τ, и улавливает отраженные от машины ***b*** импульсы, измеряя при этом время между ними τ_1.

1.1 Запишите законы движения обоих автомобилей $x_a(t), x_b(t)$, постройте графики этих законов движения.

1.2 Постройте графики законов движения двух последовательно испущенных импульсов. Рассчитайте и укажите на графике: времена $t_k^{(0)}$ и $x_k^{(0)}$координаты точек в момент испускания; времена $t_k^{(1)}$ и $x_k^{(1)}$координаты точек в момент их отражения импульсов; времена $t_k^{(2)}$ и $x_k^{(2)}$координаты точек в момент возвращения импульсов к локатору.

Запишите также закон движения посланных и отраженных импульсов $x_1(t)$ и $x_2(t)$.

1.3 Рассчитайте время τ_1 между приходами в радару двух последовательных отраженных импульсов. Получите приближенную формулу для этого времени, считая, что скорости автомобилей значительно меньше скорости распространения импульсов $u, v << c$.

1.4 Рассчитайте численное относительного изменения времени между посланными и принятыми импульсами $\frac{\Delta\tau}{\tau}$. Проведите численную оценку этой величины, задав самостоятельно разумные скорости автомобилей и импульсов.

Часть 2. Гармоническая локация.

Рассмотрим случай, когда радар посылает гармоническую электромагнитную волну с частотой ν_0 и принимает отраженную волну, определяя при этом частоту принятого сигнала ν_2.

2.1 Рассчитайте значения длин волн посланной λ_1 и отраженной λ_2 волн.

2.2 Определите частоту ν_2 принятого сигнала. Найдите относительное изменение частоты $\frac{\nu_2 - \nu_0}{\nu_0}$, считая, что скорости автомобилей значительно меньше скорости распространения импульсов $u, v << c$.

Часть 3. Реальные измерения.

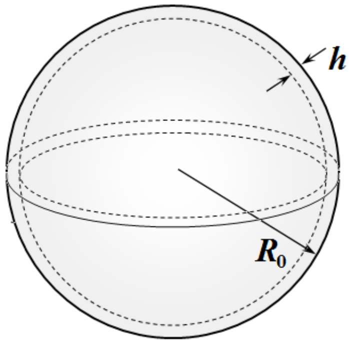
Как и в части два считаем, что локатор посылает гармоническую волну с частотой ν_0 и принимает отраженную волну. Затем принятый сигнал складывается с ослабленным сигналом, который посылает локатор.

3.1 Покажите что амплитуда сумма двух сигналов, посылаемого и принятого отраженного, испытывает периодические изменения (биения). Считайте, что амплитуды этих сигналов выравниваются. Запишите закон изменения амплитуды суммарного сигнала с течением времени. Найдите период биений.

3.2 Получите приближенное выражение для относительной скорости автомобиля , выразив ее через измеряемый период биений. Является ли измеренное указанным способом значение скорости мгновенной (в стогом смысле) скоростью?

3.3 Пусть относительная скорость автомобиля равна $10\frac{км}{час}$, а длина волны посылаемой неподвижным радаром равна $\lambda_0 = 20\,см$. Оцените относительное смещение автомобилей за минимально возможное время измерений.

Задача 2. Сферический баллон.



Тонкостенный сферический баллон изготовлен из стали и используется для хранения газообразного кислорода.

Параметры баллона:

радиус в недеформированном состоянии $R_0 = 1{,}0 м$;

толщина стенок $h = 1{,}0 мм$;

плотность стали $\rho = 7{,}9 \cdot 10^3 \frac{кг}{м^3}$;

модуль Юнга стали $E = 2{,}1 \cdot 10^{11}\,Па$;

предел прочности на разрыв $\sigma_{пр.} = 5{,}6 \cdot 10^8\,Па$;

работа выхода электронов из стали равна $A_{вых} = 4{,}3\,Эв$.

Атмосферное давление $p_{атм} = 1{,}0\,атм = 1{,}0 \cdot 10^5\,Па$, комнатную температуру считать равной $t_0 = 20°C$. Молярная масса кислорода $M = 32 \cdot 10^{-3} \frac{кг}{моль}$.

Физические постоянные:

универсальная газовая постоянная $R_Г = 8{,}31 \frac{Дж}{моль \cdot K}$;

электрическая постоянная $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12} \frac{Ф}{м}$;

скорость света $c = 3{,}0 \cdot 10^8 \frac{м}{c}$;

заряд электрона $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,Кл$;

постоянная Планка $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}\,Дж \cdot c$.

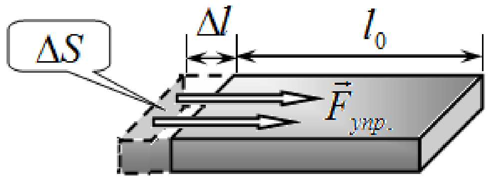
Внимание!
В каждой части задачи сначала получите точные уравнения, необходимые для ответа на поставленные вопросы. Для их решения можете использовать приближенные методы. В каждом случае дайте обоснование сделанных приближений.
Вам может понадобиться приближенная формула

$$(1+\xi)^\alpha \approx 1+\alpha\xi+\frac{a(a-1)}{2}\xi^2,$$

справедливая при малых $\xi \ll 1$ *и любых показателях степени* α.

Часть 1. Деформация баллона.

<u>*Подсказка - напоминание.*</u>



При однородном растяжении мерой деформации служит относительное удлинение $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$ *(*l_0 *- длина образца в недеформированном состоянии,* Δl *- абсолютное удлинение); силы упругости удобно характеризовать механическим напряжением, численно равным отношением силы упругости к площади сечения, на которое действует эта сила* $\sigma = \frac{F_{упр.}}{\Delta S}$. *Согласно закону Гука механическое напряжение пропорционально относительной деформации*

$$\sigma = E\varepsilon, \qquad (1)$$

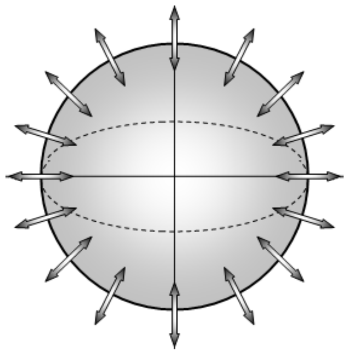
где коэффициент пропорциональности E *называется модулем Юнга вещества.*

В данной задачи следует считать, что закон Гука выполняется для всех деформаций вплоть до разрушения материала, которое наступает, если механическое напряжение достигает предельного значения $\sigma_{пр.}$, *которое также называется пределом прочности на разрыв.*

1.1 Внутрь баллона закачивают газообразный кислород при комнатной температуре. После заполнения баллона давление газа оказалось равным $p_0 = 11\,атм$.
На сколько увеличится радиус баллона ΔR после заполнения баллона?

1.2 Каково может быть максимальное давление кислорода в баллоне при комнатной температуре? Чему равна масса кислорода в этом случае?

Часть 2. Колебания баллона.



Некоторые утверждают, что по высоте звука можно определить заполнен газовый баллон или пуст. В данной чести задачи вам необходимо оценить правдоподобность подобного утверждения. Для упрощения будем рассматривать малые симметричные радиальные колебания описанного сферического баллона.

В данной части задачи атмосферным давлением следует пренебречь.

2.1 Найдите частоту ν_0 симметричных радиальных колебаний пустого баллона.

2.2 Баллон заполнили кислородом, так, что его давление в неподвижном баллоне равно $p_0 = 10\,атм$. Найдите относительное изменение частоты $\dfrac{\Delta\nu}{\nu_0}$ симметричных колебаний оболочки баллона после его заполнения кислородом, считая процесс сжатия и расширения газа в баллоне адиабатным.

<u>*Подсказка - напоминание.*</u>
Уравнение адиабатного процесса имеет вид

$$pV^{\gamma} = const, \qquad (2)$$

где p - давление газа, V - объем, занимаемый газом, γ - показатель адиабаты, для кислорода он равен $\gamma = 1{,}4$.

Часть 3. Электрический заряд.

Если оболочке баллона сообщить некоторый электрический заряд q, то она расширится. В данной части считайте, что баллон пуст и атмосферное давление отсутствует.

3.1 Определите давление электрического поля на поверхность баллона, если ее заряд равен q.
3.2 Какой максимальный заряд можно сообщить оболочке баллона, чтобы она не разорвалась?

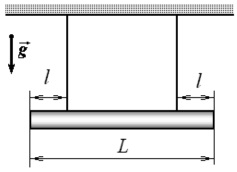
Часть 4. Рентгеновское освещение.

Пустой баллон находится в вакууме и освещается рентгеновским излучением с длиной волны $\lambda = 2{,}0 \cdot 10^{-10}\,м$.
4.1 Выразите энергия кванта w рентгеновского излучения в электрон-вольтах.
4.2 Найдите относительное увеличение радиуса баллона при его облучении.

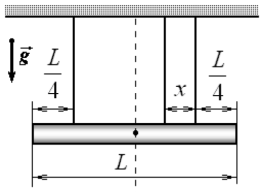
Работа выхода электронов из стали равна $A_{вых} = 4{,}3\,Эв$.

Задача 3 Неоднозначность и как с ней бороться!

Часть 1. «Бревно»



1.1. Однородное бревно массой $m = 20\,\text{кг}$, длиной $L = 2{,}0\,\text{м}$ подвешено горизонтально на двух нитях, привязанных к нему на одинаковых расстояниях $l = \frac{L}{4} = 50\,\text{см}$ от концов. Найдите силы натяжения T_1 и T_2 нитей, удерживающих бревно. Ускорение свободного падения $g = 9{,}8\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

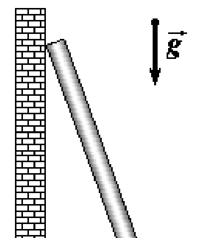


1.2. На некотором расстоянии x от оси симметрии системы подвязали еще одну нить, так, что бревно осталось в горизонтальном положении. Найдите диапазон возможных значений силы натяжения третьей нити T_3 в этом случае. Постройте диаграмму возможных значений $T_3(\eta)$, где в качестве параметра выбрана безразмерная величина $\eta = \frac{x}{L}$, в диапазоне изменения $\eta\,(-\frac{1}{2}, +\frac{1}{2})$.

1.3. Как Вы убедились в пункте 1.2, решение задачи носит неоднозначный характер. Данная неоднозначность исчезает, если считать, что нити являются одинаковыми упругими пружинами с большим коэффициентом жесткости. Рассмотрите пункт 1.2 данной задачи, считая нити одинаковыми пружинами. Постройте диаграмму $T_3(x)$ в этом случае, используя в качестве безразмерного параметра величину $\tau = \frac{T_3}{mg}$.

Часть 2. «Лестница»

Однородная лестница прислонена к стене и находится в равновесии под углом α к горизонту. Коэффициент трения лестницы о пол и стену $\mu = 0{,}40$. Обозначим через N_1 и N_2 силы нормального давления лестницы на пол и стену, а модули действующих сил трения F_1 и F_2 соответственно.



2.1 Запишите возможные условия равновесия лестницы. Покажите, что невозможно однозначное определение сил нормального давления N_1 и N_2 и сил трения F_1 и F_2 в данном случае.

2.2 Выразите F_1 и F_2 как функцию N_1.

2.3 Используя выражение для силы трения покоя $F_{тр} \le \mu N$, получите три условия, при выполнении которых лестница будет находится в равновесии. Постройте диаграмму (в безразмерных координатах $f_1 = \frac{F_1}{mg}$ и $f_2 = \frac{F_2}{mg}$) на которой укажите области допустимых значений этих параметров. Выделите на диаграмме множество точек, удовлетворяющих условию равновесия.

2.4 Постройте диаграмму $F_1(tg\alpha)$ возможных значений силы трения лестницы о пол в зависимости от $(tg\alpha)$.

2.5 Найдите, при каком минимальном значении угла $\alpha_{\min}$ лестница еще сможет оставаться в положении равновесия?