



**Белорусская
республиканская физическая олимпиада
Мозырь, 2002 год**

9 класс

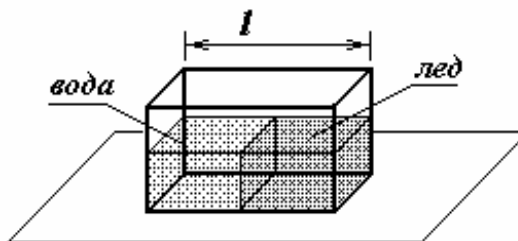
1. Материальная точка прошла путь S . Определите среднюю скорость и среднее ускорение точки за весь пройденный путь, если

- а) первую половину времени движения точка двигалась с постоянной скоростью v_1 , а его вторую половину с постоянной скоростью v_2 ;
- б) первую половину пройденного пути точка двигалась с постоянной скоростью v_1 , а его вторую половину с постоянной скоростью v_2 ;
- в) первую половину времени движения точка двигалась с постоянным ускорением a_1 , а его вторую половину с постоянным ускорением a_2 ;
- г) первую половину пройденного пути точка двигалась с постоянным ускорением a_1 , а его вторую половину с постоянным ускорением a_2 .

В пунктах в), г) начальная скорость точки равнялась нулю, и скорость менялась непрерывно за все время движения.

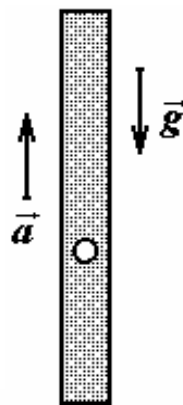
2. В большом теплоизолированном сосуде находится $m_0 = 1,0 \text{ кг}$ переохлажденной воды, находящейся при температуре $t_0 = -5,0^\circ \text{C}$. В воду маленькими порциями добавляют небольшие кусочки льда при температуре $t_1 = -20^\circ \text{C}$. Сколько льда необходимо добавить в сосуд, чтобы вся находящаяся в нем вода замерзла? Теплоемкостью сосуда и теплообменом с окружающей средой пренебречь. Удельная теплоемкость воды $c_0 = 4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$, удельная теплоемкость льда $c_0 = 2,1 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$, удельная теплота плавления льда $\lambda = 330 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$, атмосферное давление нормальное.

3. На гладкой горизонтальной поверхности расположен сосуд в форме параллелепипеда длиной l . Часть сосуда заполнена льдом, который прикреплен к стенкам сосуда, как показано на рисунке.



Другая, такая же по объему часть сосуда заполнена водой. Высота льда и высота уровня воды, естественно, совпадают. На сколько и в какую сторону сместится сосуд, когда весь лед растает? Плотность воды ρ_0 , плотность льда ρ_1 . Вода из сосуда не выливается.

4. Длинная вертикальная закрытая с обоих концов трубка полностью заполнена вязкой жидкостью. Внутри трубки находится небольшой пузырек воздуха, который медленно поднимается с постоянной скоростью v_0 . С какой скоростью относительно трубки будет двигаться пузырек, если трубка будет подниматься с постоянным ускорением a ? С каким ускорением нужно двигать трубку, чтобы пузырек начал двигаться вниз со скоростью v_0 относительно трубки?



5. Проводник из графита, сопротивление которого зависит от температуры, подключили к источнику напряжения, величина которого равна U . Зависимость сопротивления проводника от температуры описывается формулой $R = R_0(1 - \alpha t)$, где R_0, α - постоянные положительные величины, t - температура проводника, измеренная в градусах Цельсия. Проводник находится в среде, температура которой поддерживается постоянной и равной 0°C . Мощность теплоты P , передаваемой проводником в среду, пропорциональна Δt разности температур проводника и среды $P = \beta \Delta t$, где β - положительный коэффициент.

а) укажите размерности коэффициентов R_0, α, β ;

б) найдите зависимость установившейся температуры проводника от напряжения источника, постройте примерный график этой зависимости;

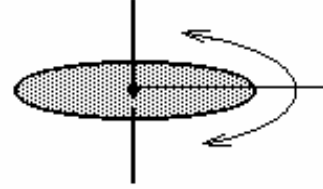
в) найдите зависимость установившегося значения силы тока через проводник от напряжения источника, постройте примерный график этой зависимости.



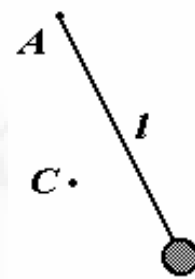
**Белорусская
республиканская физическая олимпиада
Мозырь, 2002 год**

10 класс

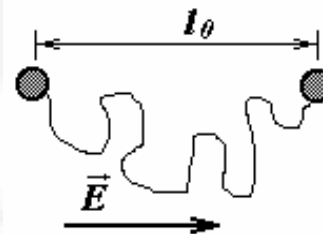
1. Жесткий диск, закрепленный горизонтально на вертикальной оси, совершает крутильные гармонические колебания некоторой амплитуды вокруг этой оси. Какова амплитуда этих колебаний, если известно, что полные ускорения произвольной точки диска при максимальном отклонении и при прохождении положения равновесия равны по модулю?



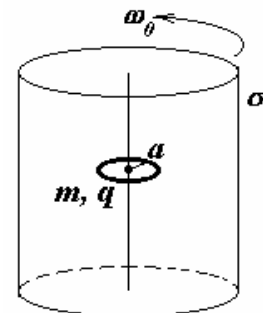
2. В вертикальную стену вбит гвоздь A , к которому с помощью невесомой нерастяжимой нити длиной l прикреплен небольшой массивный шарик. Нить с шариком отклоняют до горизонтального положения и отпускают без толчка. В процессе движения нить цепляется за гвоздь C и начинает частично наматываться на него. Укажите множество точек на стенке, в которых можно разместить гвоздь C , так чтобы в процессе движения шарик совершил полный оборот вокруг этого гвоздя. Сопротивлением воздуха пренебречь.



3. Два небольших металлических шарика радиусами a соединены длинной тонкой невесомой гибкой проводящей проволокой длиной l и находятся на расстоянии l_0 ($l > l_0 \gg a$) друг от друга, которое также больше радиусов шариков в однородном электрическом поле. Вектор напряженности поля \vec{E} направлен вдоль линии, соединяющей центры шариков. Определите максимальные скорости шариков, если их отпустить без начальной скорости.

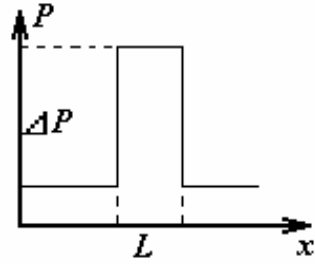


4. Боковая поверхность длинного цилиндра радиуса R равномерно заряжена с поверхностной плотностью заряда σ . Внутри цилиндра расположено непроводящее кольцо радиуса a , массы m , несущее заряд q . Ось кольца совпадает с осью цилиндра. Кольцо может свободно вращаться вокруг собственной оси, независимо от цилиндра. Цилиндр раскручивают до угловой скорости ω_0 . Чему при этом станет



равной угловой скоростью вращения кольца? В каком направлении оно будет вращаться?

5. В данной задаче рассматривается простая модель воздействия ударной волны на тела. В данной модели ударная волна рассматривается как скачок давления, распространяющийся в пространстве. Зависимость давления от координаты вдоль направления распространения ударной волны показана на рисунке. Фронт волны перпендикулярен поверхности земли.



Введем следующие характеристики ударной волны:

- превышение давления над атмосферным $\Delta P = 5,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$;
- скорость распространения волны $c = 3,0 \cdot 10^2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$;
- ширина области повышенного давления $L = 3,0 \cdot 10^2 \text{ м}$.

Будем считать, что движением воздуха внутри области повышенного давления можно пренебречь. Также можно пренебречь силами сопротивления воздуха, действующими на движущиеся тела.

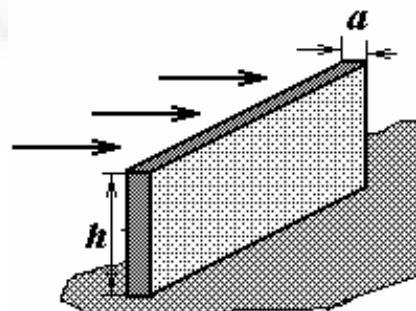
5.1 Ледяная глыба неправильной формы (размеры которой порядка 1м) лежит на льду. Коэффициент трения льда о лед равен $\mu = 2,0 \cdot 10^{-2}$. Плотность льда $\rho = 0,90 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Найдите максимальную

скорость, которую приобретет ледяная глыба, в результате воздействия ударной волны.

5.2 Оцените максимальное смещение льдины, описанной в п.5.1, в направлении распространения ударной волны.

5.3 Укажите конечное положение блока (его смещение от начального положения) после прохождения волны.

5.4 Ударная волна налетает на свободно стоящий бетонный блок (стену), толщина которого $a = 30\text{см}$, перпендикулярно его поверхности. При какой высоте блока h , он будет опрокинут передним фронтом волны (при отсутствии заднего фронта)? Скольжение блока по поверхности



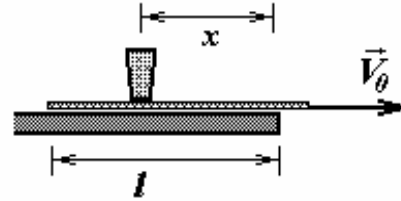
отсутствует. Плотность бетона $\rho = 3,0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.



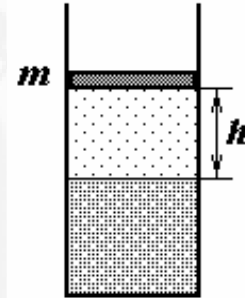
**Белорусская
республиканская физическая олимпиада
Мозырь, 2002 год**

11 класс

1. Вам необходимо осуществить известный трюк: выдернуть платок из-под стоящего на нем стакана. Платок лежит на краю стола, так, что длина лежащей на столе его части равна l , стакан стоит на платке на расстоянии x от края стола, стакан можно считать материальной точкой. Масса платка пренебрежимо мала, коэффициент трения между платком и дном стакана равен μ . Коэффициент трения между стаканом и столом велик настолько, что можно пренебречь движением стакана по столу. Считая, что платок выдергивается с постоянной скоростью, определите при какой минимальной скорости платка этот трюк осуществим.



2. В высоком вертикальном цилиндрическом сосуде под поршнем находится углекислый газ и газированная вода (раствор углекислого газа в воде). Поршень плотно пригнан к стенкам сосуда и может скользить вертикально без трения. При массе поршня m_0 он находится в равновесии на расстоянии h_0 от поверхности воды, при увеличении массы поршня до величины m_1 он опускается до расстояния h_1 .



Какова должна быть масса поршня, чтобы он достиг поверхности воды? Все процессы считать изотермическими. Изменением объема жидкости при растворении газа, испарением воды и атмосферным давлением можно пренебречь.
Примечание. Растворимость газов пропорциональна внешнему парциальному давлению этого газа над поверхностью жидкости (закон Генри).

3. Простейший модулированный радиосигнал может быть описан функцией $E = E_0 \cos \omega_0 t (1 + a \cos \omega_1 t)$, где ω_0 - несущая частота, ω_1 - частота модуляции (частота полезного сигнала), причем $\omega_0 \gg \omega_1$, a, E_0 - постоянные величины, определяющие амплитуду и глубину модуляции сигнала. Скорость распространения электромагнитной волны c зависит от ее частоты (из-за дисперсии) по приближенному закону $c(\omega) = c_0 - \gamma(\omega - \omega_0)$, где c_0 - скорость распространения волны с частотой ω_0 , γ - известная малая постоянная ($c_0 \gg \gamma \omega_0$). Определите скорость распространения полезного сигнала (скорость распространения огибающей) в данных условиях.

Подсказки

$$\cos A + \cos B = 2 \cos \frac{A+B}{2} \cos \frac{A-B}{2};$$
$$2 \cos A \cos B = \cos(A+B) + \cos(A-B).$$

4. В данной задаче вам необходимо построить модель явления *светоиндуцированного дрейфа* в газах. В некоторых условиях возможно медленное смещение одной из компонент смеси газов под действием света. Причем этот дрейф может быть направлен как в направлении распространения света, так и в противоположном направлении.

Мы рассмотрим этот эффект в смеси, состоящей из атомарного водорода и гелия, причем концентрация водорода значительно меньше концентрации гелия (который используется в качестве буферного газа). Температура смеси $T=100\text{K}$, давление $p = 1,0 \cdot 10^4 \text{ Па}$.

Смесь облучается плоской монохроматической световой волной.

4.1 Используя полуклассическую теорию атома водорода Бора, найдите зависимость радиуса атома водорода (в качестве радиуса атома рассматривается радиус боровской орбиты) от главного квантового числа n . Рассчитайте радиус атома в основном и первом возбужденном состоянии. Чему равен радиус атома при $n=1000$?

Напоминаем. Согласно правилу квантования Бора, стационарными являются орбиты, для которых выполняется условие $mvr = n\hbar$ (m - масса электрона, v - его орбитальная скорость, r - радиус орбиты, n - главное квантовое число).

4.2 Получите формулу для оценки средней длины свободного пробега Λ атома водорода. Приведите численную оценку длины свободного пробега атома водорода, находящегося в основном состоянии, в рассматриваемой смеси. Во сколько раз изменится длина свободного пробега при переходе атома в первое возбужденное состояние?

Диаметр атома гелия примите равным 0,2 нм.

4.3 Рассчитайте частоту электромагнитного излучения ν_0 , поглощаемого атомом водорода при переходе из основного в первое возбужденное состояние.

4.4 Покажите, что частота излучения, воспринимаемая атомом, движущимся со скоростью V навстречу электромагнитной волне частоты ν_0 , может быть

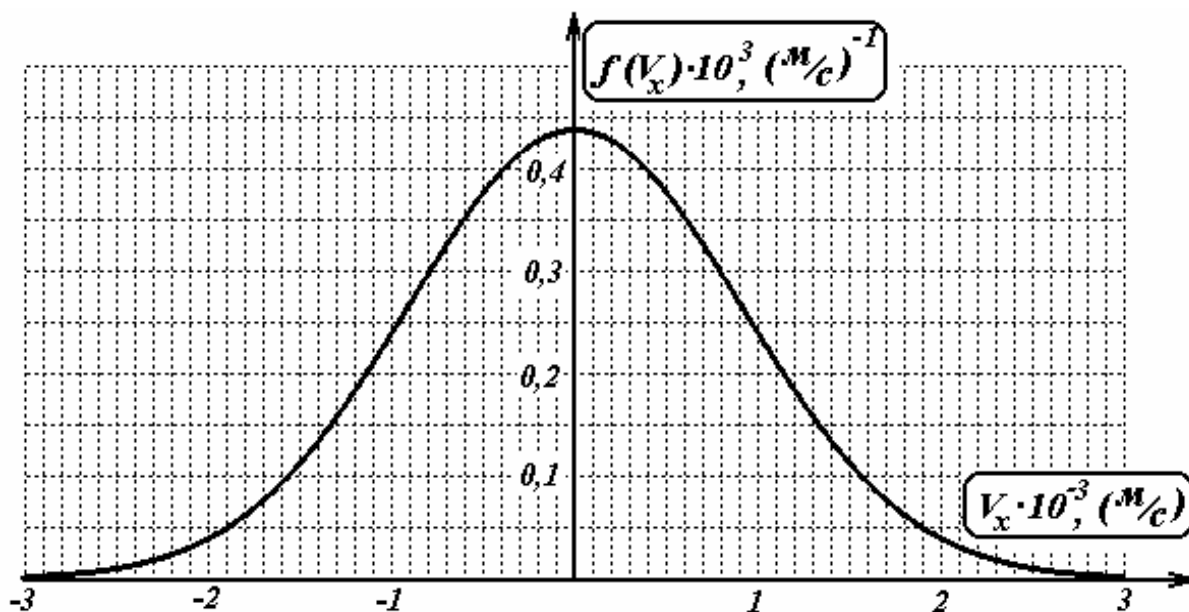
рассчитана по приближенной формуле $\nu = \nu_0 \left(1 + \frac{V}{c} \right)$, где c - скорость света.

4.5 Частота падающего излучения превышает частоту перехода из основного в первое возбужденное состояние атома водорода на $\Delta\nu \approx 1 \cdot 10^{10} \text{ с}^{-1}$. С какой скоростью V^* должен двигаться атом водорода, чтобы он мог поглотить квант падающего излучения?

4.6 Линии поглощения атомов имеют конечную ширину, то есть атом поглощает излучение не только строго резонансной частоты ν_0 (определяемой разностью уровней энергии), но и частот, которые отличаются от частоты ν_0 на некоторую малую величину $\delta\nu$ (эта величина называется шириной линии поглощения). Для перехода атома водорода из основного в первое возбужденное состояние эта величина составляет $\delta\nu \approx 2 \cdot 10^8 \text{ с}^{-1}$. Учитывая, что в рассматриваемой газовой смеси, скорости атомов водорода различаются, определите долю атомов водорода, которые поглощают излучение, частота которого превышает ν_0 на величину $\Delta\nu \approx 1 \cdot 10^{10} \text{ с}^{-1}$. Считайте, что интенсивность излучения такова, что $\eta \approx 1\%$ атомов, для которого выполняются условия поглощения, переходит в возбужденное состояние.

Функция распределения $f(v_x)$ атомов водорода по величине проекции скорости v_x при температуре $T=100\text{K}$ показана на рисунке.

Напоминаем. Величина $f(v_x)\Delta v_x$ равна относительной доле молекул, компоненты скорости v_x которых лежат в интервале $[v_x, v_x + \Delta v_x]$.



4.7 Оцените среднюю скорость дрейфа водорода в рассматриваемой смеси при ее облучении электромагнитной волной, описанной в предыдущем разделе.

Для оценки, считайте, что для возбужденных молекул длина свободного пробега пренебрежимо мала. При столкновении возбужденного атома он переходит в основное состояние.

4.8 Получите формулу для зависимости скорости дрейфа от величины $\Delta\nu$ отстройки частоты падающего излучения от резонансной частоты поглощения ν_0 , в рамках рассматриваемой модели. Постройте схематический график этой зависимости.

заряд электрона	$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
масса электрона	$m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
скорость света	$c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ м / с}$
постоянная Планка	$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,054 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
постоянная Больцмана	$k = 1,381 \cdot 10^{-23} \text{ Дж / К}$
газовая постоянная	$R = 8,314 \text{ Дж / (К} \cdot \text{моль)}$
электрическая постоянная	$\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ Ф / м}$

Экспериментальные задачи.

Связанные маятники.

Целью данной задачи является экспериментальное исследование динамики движения двух взаимодействующих маятников.

Два маятника (грузы на нитях) подвешены к горизонтально натянутому шнуру и совершают колебания в плоскостях, перпендикулярных шнуру.

1. Прикрепите к шнуру два маятника, массы которых существенно различаются. Длина нити, к которой прикреплен массивный груз, фиксирована. Исследуйте зависимость амплитуды колебаний маятника малой массы от его длины. Измерения следует проводить при фиксированной амплитуде колебаний тяжелого маятника. Постройте график и объясните полученную зависимость.
2. Прикрепите к шнуру два маятника одинаковых масс. Длина одного маятника фиксирована. Исследуйте зависимость периода биений от длины второго маятника. Получите формулу, описывающую данную зависимость, обоснуйте ее экспериментально.

Приборы и оборудование: шнур, нить, три груза, линейка, секундомер, 2 штатива.

Электролит.

Цель данной работы – исследовать прохождение электрического тока через раствор электролита, залитого в тонкую трубку.

1. Проверьте экспериментально выполнимость закона Ома для раствора электролита. Исследуйте зависимость силы тока от приложенного напряжения для нескольких значений расстояния между электродами.
2. Исследуйте зависимость силы тока от расстояния между электродами. Определите удельное сопротивление электролита. Внутренний диаметр трубки задан.
- 3.

Приборы и оборудование: полиэтиленовая трубка, раствор медного купороса, источник тока, вольтметр, миллиамперметр, реостат, соединительные провода

Конический маятник.

Цель работы: исследование кругового движения груза, подвешенного на нити. Шарик, подвешенный на нити должен совершать движение по окружности в горизонтальной плоскости.

1. Получите формулу для периода одного оборота конического маятника в зависимости от длины нити и радиуса окружности, по которой движется маятник.

Проведите экспериментальную проверку полученной формулы для чего:

2. Исследуйте зависимость периода вращения маятника от радиуса вращения при нескольких длинах нити.
3. Исследуйте зависимость периода вращения от длины нити.
4. По полученным данным рассчитайте значение ускорения свободного падения.

Приборы и оборудование: штатив, нить, шарик, секундомер, бумага с нарисованными окружностями, секундомер, линейка.

Равновесие.

Цель работы – изучение упругих свойств небольшой пружинки при деформации изгиба. Закрепите на пружинке небольшой стержень (трубку), по которой можно перемещать груз известной массы.

1. По закону Гука угол изгиба пропорционален изгибающему моменту. Проверьте экспериментально этот закон, определите по полученным данным коэффициент пропорциональности между углом изгиба и приложенным моментом сил.
2. Закрепите пружинку так, чтобы ее ось составляла небольшой угол с вертикалью. Исследуйте зависимость положения равновесия трубки от положения груза на ней.

Постройте график теоретической зависимости потенциальной системы (пружинка – трубка - грузик) от угла отклонения трубки. Проверьте его экспериментально.

Приборы и оборудование: пружинка с прикрепленной трубкой, линейка, скрепка, пластилин, весы с разновесами, лист картона.

Манометр.

Цель работы: изучение демонстрационного манометра в качестве измерителя давления и температуры.

1. Погружая датчик манометра в воду комнатной температуры на различную глубину, исследуйте зависимость разности уровней

воды в коленах манометра от глубины погружения. Постройте график зависимости разности уровней от глубины погружения. Объясните полученную зависимость.

2. Измерьте с помощью манометра плотность соляного раствора.
3. Погрузите манометр в воду на глубину в несколько сантиметров. Исследуйте зависимость разности уровней от температуры воды, в которую погружен датчик. Постройте график полученной зависимости. Качественно объясните полученную зависимость. Предложите способы использования предоставленного вам прибора в качестве измерителя температуры. Попробуйте их реализовать экспериментально.

Приборы и оборудование. Манометр демонстрационный, термометр, линейка, вода горячая и холодная, соляной раствор, сосуды для воды.

Свет и тени.

Вам необходимо изучить принципы действия простейших устройств, формирующих изображение: линзы и небольшого отверстия. В качестве источника света используется пламя свечи.

1. Измерьте с максимальной точностью фокусное расстояние линзы.
2. Получите формулу для расчета линейного увеличения изображения, формируемого линзой. Проверьте ее экспериментально. Определите вертикальный и горизонтальный размеры пламени.
3. Расположите между свечой и экраном темный экран со щелью. Опишите качественно распределение освещенности экрана. Исследуйте зависимость ширины светлой полосы на экране от расстояния между щелью и экраном. Проведите измерения для вертикального и горизонтального расположения свечи.
4. Получите изображение пламени свечи на экране, используя темный экран с круглым отверстием. Объясните механизм возникновения изображения в этом случае. Предложите численные характеристики, определяющие качество изображения, формируемого с помощью небольшого отверстия, исследуйте зависимость этих характеристик от взаимного расположения свечи, отверстия и экрана с изображением. Определите диаметр отверстия.

Приборы и оборудование: свеча, линза, матовый экран, экраны с отверстиями, линейка.