

**ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ПОКОРИ ВОРОБЬЕВЫ ГОРЫ» по ФИЗИКЕ
ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ (ФИНАЛЬНЫЙ) ЭТАП 2014 года
ОТВЕТЫ И КОММЕНТАРИИ**

БИЛЕТ № 01 (ИРКУТСК)

1. Закон Архимеда. Плавание тел.

В сосуде находятся две несмешивающиеся жидкости с плотностями $\rho_1 = 800 \text{ кг/м}^3$ и $\rho_2 = 2000 \text{ кг/м}^3$. В сосуд опускают тело плотностью $\rho_T = 1200 \text{ кг/м}^3$. При этом жидкости из сосуда не выливаются. Определите, какая часть объема тела будет находиться в нижней жидкости.

Полный ответ на теоретический вопрос должен содержать: формулировку и описание физического содержания закона Архимеда, перечисление условий плавания тел с указанием типа равновесия (в том числе условие устойчивости положения тела, плавающего на поверхности воды). Максимальная оценка за теоретический вопрос – 5 баллов.

Ответ задачи: $\frac{V_2}{V} = \frac{\rho_T - \rho_1}{\rho_2 - \rho_1} = \frac{1}{3}$. Максимальная оценка – 20 баллов.

Комментарий: оценивались понимание физической ситуации, обоснование того, что тело в устойчивом положении будет плавать на границе раздела жидкостей, правильная запись условия равновесия тела и вывод из него правильного аналитического и численного ответов.

2. Основные положения молекулярно-кинетической теории и их опытное обоснование.

Оценить скорость роста толщины слоя серебра при напылении в вакууме, если известно, что атомы серебра с энергией $E = 10^{-19} \text{ Дж}$ оказывают на подложку давление $p = 0,1 \text{ Па}$. Плотность серебра $\rho = 10,5 \text{ г/см}^3$, молярная масса $\mu = 108 \text{ г/моль}$.

Полный ответ на теоретический вопрос должен содержать: формулировку основных положений МКТ и объяснение их физического содержания, описание опытов, являющихся обоснованием этих положений. Максимальная оценка за теоретический вопрос – 5 баллов.

Ответ задачи: $u = \frac{p}{\rho} \sqrt{\frac{\mu}{2N_A E}} \approx 9 \cdot 10^{-9} \text{ м/с}$. Максимальная оценка – 20 баллов.

Комментарий: оценивались понимание физической ситуации, установление связи давления с характеристиками ионного пучка (концентрацией ионов и их кинетической энергией), вычисление массы серебра, осаждающегося на подложку в единицу времени, получение аналитического и численного ответов для скорости роста толщины слоя серебра.

3. Действие магнитного поля на движущийся заряд. Сила Лоренца.

В области над плоской поверхностью земли, заэкранированной от действия электрических полей, создано горизонтальное магнитное поле с индукцией B . В эту область влетел электрон, двигаясь горизонтально на высоте h , и продолжил свое движение равномерно-прямолинейно. Пролетев таким образом сквозь эту область, он вылетел в соседнюю, где было только поле тяжести. На каком расстоянии по горизонтали от точки вылета электрон врежется в землю? Отношение заряда к массе у электрона и ускорение свободного падения считать известными.

Полный ответ на теоретический вопрос должен содержать: описание представления о магнитном поле как части материальной сущности – электромагнитного поля, определение силовой характеристики магнитного поля (магнитной индукции), описание силового и энергетического действия магнитного поля на электрический заряд, формулу для силы Лоренца для определения ее величины и направления. Максимальная оценка за теоретический вопрос – 5 баллов.

Ответ задачи: $s = vt = \frac{m\sqrt{2gh}}{|e|B}$. Максимальная оценка – 20 баллов.

Комментарий: оценивались правильное понимание и использование условия равномерности и прямолинейности движения электрона (установление дрейфового характера его движения), определение величины скорости его движения, описание его движения после вылета из области магнитного поля, вычисление времени падения и получение аналитического ответа.

4. Построение изображения в собирающих и рассеивающих линзах. Формула линзы. Увеличение, даваемое линзами.

Шарик подвешен на нити длиной l и вращается в горизонтальной плоскости вокруг вертикальной оси, которая проходит через точку подвеса. На расстоянии d от плоскости вращения под шариком находится собирающая линза с фокусным расстоянием $F < d$. Главная оптическая ось линзы совпадает с осью вращения шарика. Чему равна угловая скорость вращения шарика, если его изображение вращается по окружности радиуса R .

Полный ответ на теоретический вопрос должен содержать: определение линзы как оптического устройства, краткую классификацию линз, описание хода характерных лучей, используемых для построения изображений для случая собирающей и рассеивающей линзы, запись формулы линзы с указанием условий ее применимости (то есть описание приближения тонкой линзы), определение увеличения как характеристики изображения и описание способа его вычисления. Максимальная оценка за теоретический вопрос – 5 баллов.

Ответ задачи: $\omega = \frac{\sqrt{gF}}{\sqrt[4]{l^2 F^2 - R^2 (d - F)^2}}$, причем условие задачи корректно, если $R < \frac{F}{d - F} l$

- большего радиуса вращения изображения не может быть ни при какой угловой скорости. Максимальная оценка – 20 баллов.

Комментарий: оценивались: правильное построение хода лучей в описанной системе, нахождение (из построения либо с помощью формулы линзы) связи радиусов вращения предмета и изображения, запись уравнений движения шарика и нахождение из них угловой скорости вращения (получение аналитического ответа), понимание того, что в задаче существует ограничение на параметры условия.

БИЛЕТ № 02 (САРАТОВ)

1. Силы упругости. Понятие о деформациях. Закон Гука. Модуль Юнга.

Тонкое кольцо радиусом R сделано из материала плотностью ρ и модулем Юнга E . На сколько изменится длина окружности кольца, если его закрутить вокруг оси, проходящей через его центр перпендикулярно плоскости кольца с угловой скоростью ω ? Изменения длины считать малыми.

Полный ответ на теоретический вопрос должен содержать: объяснение физической природы, особенностей и способов описания сил упругости, описание понятия «деформация» и краткую классификацию деформаций (в частности, описание различий упругих и неупругих деформаций), формулировку закона Гука с указанием пределов его применимости, определение модуля Юнга. Максимальная оценка за теоретический вопрос – 5 баллов.

Ответ задачи: $\Delta l = 2\pi \frac{\rho \omega^2 R^3}{E}$. Максимальная оценка – 20 баллов.

Комментарий: оценивались правильная запись уравнения для центростремительного ускорения участка кольца и вывод из него выражения для величины силы, растягивающей кольцо, запись закона Гука (выражения для связи удлинения с силой натяжения) для кольца, получение из него аналитического ответа.

2. Парообразование. Испарение, кипение. Удельная теплота парообразования.

В теплоизолированный сосуд, содержащий находящиеся в равновесии $V=1$ л воды и $m=10$ г водяного пара под давлением $p=1$ атм, засыпали $M=300$ г льда с температурой $t_1 = -10^\circ\text{C}$. Найти температуру содержимого сосуда после установления равновесия. Удельная теплоемкость льда $c_{\text{л}} = 2100$ Дж/кг·К, удельная теплота плавления льда $\lambda = 340$ кДж/кг, удельная теплоемкость воды $c = 4200$ Дж/кг·К, удельная теплота парообразования воды $r = 2480$ кДж/кг.

Полный ответ на теоретический вопрос должен содержать: объяснение физической сущности процессов парообразования и их классификацию, описание процессов испарения и кипения с указанием условий их протекания, определение удельной теплоты парообразования и объяснение ее физической природы. Максимальная оценка за теоретический вопрос – 5 баллов.

Ответ задачи: $t = \frac{M_0 + m}{M_0 + M + m} t_0 + \frac{rm - \lambda M + c_{\text{л}} M t_1}{c(M_0 + M + m)} \approx 62^\circ\text{C}$. Максимальная оценка – 20 баллов.

Комментарий: оценивались обоснованное определение начальной температуры системы, определение характера конечного равновесного состояния (доказательство того, что весь лед растает и весь пар сконденсируется), запись уравнения теплового баланса и определение из него конечной температуры (получение аналитического и численного ответов).

3. Работа сил электростатического поля. Потенциал. Эквипотенциальные поверхности.

На проводящий шар радиуса R нанесен заряд q . Шар закреплен неподвижно. В точках A и B , лежащих по разные стороны от шара на прямой, проходящей через его центр O ($|OA| = 3R, |OB| = 4R$), закреплены небольшие тела с зарядами $-4q$ и $-3q$

соответственно. С поверхности шара со скоростью $V_0 = \sqrt{\frac{13kq|e|}{18mR}}$ вылетает электрон ($\frac{|e|}{m}$ - величина удельного заряда электрона). Пренебрегая излучением, найти, во сколько раз возрастет скорость электрона после удаления на большое расстояние от этой системы зарядов.

Полный ответ на теоретический вопрос должен содержать: объяснение физической сущности электростатического поля (как выделенной по условному признаку части материальной сущности – электромагнитного поля), изложение схемы вычисления работы электростатического поля по перемещению зарядов с указанием на потенциальный характер электростатических сил, определение потенциала как энергетической характеристики поля, определение эквипотенциальных поверхностей с приведением примеров таких поверхностей. Максимальная оценка за теоретический вопрос – 5 баллов.

Ответ задачи: $\frac{V}{V_0} = \frac{1}{V_0} \sqrt{\frac{26kq|e|}{9mR}} = 2$. Максимальная оценка – 20 баллов.

Комментарий: оценивались указание на то, что потенциалы всех точек шара равны и вычисление потенциала точек шара (например, из принципа суперпозиции) как потенциала его центра, запись закона сохранения энергии для условий задачи и получение из него выражения для скорости электрона на бесконечности, получение аналитического и численного ответов.

4. Закон преломления света. Явление полного (внутреннего) отражения.

Прозрачный цилиндр, верхний торец которого находится в воздухе, помещен в воду. Точечный источник света S расположен вне цилиндра на его оси вблизи верхнего торца. Найдите минимальный показатель преломления n материала цилиндра, при котором ни один луч, вошедший через основание, не выйдет через боковую поверхность наружу. Показатель преломления воды $n_g = 1.33$.

Полный ответ на теоретический вопрос должен содержать: описание места геометрической оптики в исследовании световых явлений, полную формулировку закона преломления света, определение и физический смысл абсолютного и относительного показателей преломления, описание явления полного (внутреннего) отражения и указание условий его наблюдения. Максимальная оценка за теоретический вопрос – 5 баллов.

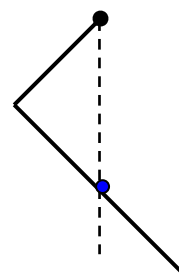
Ответ задачи: $n = \sqrt{n_g^2 + 1} \approx 1.66$. Максимальная оценка – 20 баллов.

Комментарий: оценивались: правильное понимание физики процесса, определение пределов изменения угла преломления луча, падающего на торец цилиндра из воздуха, запись условия невыхода луча в воду через боковую поверхность цилиндра, установление связи угла преломления на торцевой и угла падения на боковой поверхностях цилиндра, получение аналитического и численного ответов.

БИЛЕТ № 03 (УФА).

1. Сила и момент силы. Условия равновесия твердого тела.

«Уголок» массой $m = 60$ г изготовлен из однородной проволоки, имеет два перпендикулярных «плеча» с длинами $l_1 \equiv a = 20$ см и $l_2 = 2a$. Он повешен за конец короткого плеча на шарнирном подвесе (который позволяет ему свободно вращаться в вертикальной плоскости) и опирается серединой длинного плеча на гладкий горизонтальный гвоздь, расположенный на одной вертикали с подвесом (см. рисунок). Найти величину силы, с которой уголок



действует на подвес. Ускорение свободного падения принять равным $g = 10 \text{ м/с}^2$.

Полный ответ на теоретический вопрос должен содержать: описание понятия о силах как о величинах, характеризующих взаимодействие тел, определение силы в механике, определение момента силы, определение состояния равновесия твердого тела и формулировку условий равновесия твердого тела. Максимальная оценка за теоретический вопрос – 5 баллов.

Ответ задачи: $F = \frac{\sqrt{170}}{12} mg \approx 0,65 \text{ Н}$. Максимальная оценка – 20 баллов.

Комментарий: оценивались правильность определения точек приложения и направлений сил, действующих на уголок, правильность записи условий равновесия уголка (правила моментов и равновесия сил) и вывод из них правильного аналитического и численного ответов.

2. Количество теплоты. Теплоемкость. Теплоемкость одноатомного идеального газа в изопроцессах.

1 моль гелия, занимавший объем $V = 10 \text{ л}$, нагрели в процессе, в котором его теплоемкость равнялась $c_{\mu} = 2,3 \cdot R$ ($R \approx 8,31 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}$) – универсальная газовая постоянная). При этом давление гелия увеличилось на 0,2%. На сколько см^3 изменился объем гелия в этом процессе?

Полный ответ на теоретический вопрос должен содержать: описание понятия о количестве теплоты как форме энергии, определение количества теплоты, определение теплоемкости системы, классификацию изопроцессов, производимых над идеальным газом и формулы для теплоемкости идеального газа в этих процессах. Максимальная оценка за теоретический вопрос – 5 баллов.

Ответ задачи: $\Delta V \approx 4V \frac{\Delta p}{p} \approx 80 \text{ см}^3$. Максимальная оценка – 20 баллов.

Комментарий: оценивались правильность записи уравнения первого начала термодинамики для заданного процесса, использования заданной теплоемкости, уравнения состояния идеального газа и малости относительного изменения давления для вычисления изменения объема, получение правильного аналитического и численного ответов.

3. Работа и мощность тока. Закон Джоуля-Ленца.

Лампы накаливания обычно являются нелинейными элементами электрических цепей – ток в них не пропорционален напряжению. Допустим, у нас есть набор ламп, для которых связь тока

и напряжения дается формулой $I(U) = I_0 \sqrt{\frac{U}{U_0}}$, где значения I_0 и U_0 соответствуют

номинальному режиму. Кроме того, мы можем использовать набор одинаковых батарей с ЭДС $E = U_0$. Если подключить одну лампу к одной батарее, на лампе будет выделяться мощность

$P = \frac{27}{64} P_0$ (P_0 - номинальная мощность). Из какого минимального количества последовательно

соединенных ламп надо составить гирлянду, чтобы при подключении ее к некоторому количеству последовательно соединенных батарей все лампы гирлянды работали в точности в номинальном режиме? Сколько батарей нужно будет для этого использовать?

Полный ответ на теоретический вопрос должен содержать: краткое описание примеров физических явлений, в которых проявляется энергетическое действие тока с объяснением физических механизмов этого действия, объяснение связи выделяющейся энергии с работой электростатических сил и работой источников тока, формулировку закона Джоуля-Ленца с

указанием смысла всех входящих в нее величин. Максимальная оценка за теоретический вопрос – 5 баллов.

Ответ задачи: из 5 ламп; нужно будет использовать 12 батарей. Максимальная оценка – 20 баллов.

Комментарий: оценивались правильность определения тока через лампу, подключенную к батарее, выражение внутреннего сопротивления батареи через номинальные характеристики лампы, правильность записи уравнения закона Ома для замкнутой цепи из произвольного числа ламп и батарей, приведение его к виду уравнения связи числа ламп и батарей в цепи, работающей в номинальном режиме, и получение из него правильных ответов.

4. Тонкие линзы. Построение изображения в собирающих линзах. Формула линзы.

Оптическая система состоит из двух собирающих линз с фокусными расстояниями

$F_1 = F$, $F_2 = \frac{F}{2}$. Главные оптические оси линз совмещены. Точечный источник света

расположен на расстоянии $d_1 = \frac{3F}{2}$ перед первой линзой, а его изображение – на расстоянии

$f_2 = \frac{F}{3}$ за второй линзой. На каком расстоянии L друг от друга находятся линзы?

Полный ответ на теоретический вопрос должен содержать: определение линзы как оптического устройства, краткую классификацию линз, подробное описание приближения тонкой линзы (с указанием его связи с параксиальным приближением), описание хода характерных лучей, используемых для построения изображений для случая собирающей линзы, запись формулы линзы с описанием входящих в нее величин. Максимальная оценка за теоретический вопрос – 5 баллов.

Ответ задачи: $L = 2F$. Максимальная оценка – 20 баллов.

Комментарий: оценивались: правильная запись всех необходимых для определения расстояний между линзами соотношений (либо запись формулы линзы для обеих линз и дополняющих их до полной системы геометрических соотношений, либо построение хода лучей в рассматриваемой системе и вывод из него необходимых выражений) и получение из этой системы правильного ответа.

БИЛЕТ № 04 (ЧЕБОКСАРЫ)

1. Механическая энергия. Закон сохранения полной механической энергии.

Со дна широкого водоема глубиной $H = 10\text{ м}$ поднимается деревянный прямоугольный параллелепипед высотой $h = 0,8\text{ м}$, с квадратным основанием со стороной $a = 1\text{ м}$ и плотностью $\rho_1 = 800\text{ кг/м}^3$. Какое количество теплоты выделится к тому моменту, когда параллелепипед и вода перестанут двигаться? Плотность воды $\rho = 1000\text{ кг/м}^3$. Ускорение свободного падения принять равным $g = 10\text{ м/с}^2$.

Полный ответ на теоретический вопрос должен содержать: определение кинетической и потенциальной энергии (во втором случае необходимо описать класс взаимодействий, для которых такая величина существует), определение полной механической энергии, формулировку закона сохранения полной механической энергии, в которой обязательно должны присутствовать условия его применимости. Максимальная оценка за теоретический вопрос – 5 баллов.

Ответ задачи: $Q = \frac{a^2 h g}{2\rho} (\rho - \rho_1) [2\rho H - (\rho + \rho_1)h] \approx 15.9 \text{ кДж}$. Максимальная оценка – 20 баллов.

Комментарий: оценивались понимание физической ситуации (в первую очередь – связи выделения тепла с убылью механической энергии системы), правильность определения конечного равновесного состояния тел, правильность вычисления убыли потенциальной энергии системы «параллелепипед+вода» в поле тяжести Земли либо работы силы Архимеда над параллелепипедом и получение правильного аналитического и численного ответов.

2. Насыщенный пар. Зависимость давления и плотности насыщенного пара от температуры.

В закрытом сосуде объемом $V = 25 \text{ л}$ находится сухой воздух при давлении $p_1 = 10^5 \text{ Па}$ и температуре $t_1 = -23^\circ \text{ C}$. В сосуд помещают кусок льда массой $m = 9 \text{ г}$ и нагревают сосуд до температуры $t_2 = 127^\circ \text{ C}$. Определите давление влажного воздуха p , если давление насыщенного пара при этой температуре $p_n = 250 \text{ кПа}$. Молярная масса воды $\mu = 18 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31 \text{ Дж/моль} \cdot \text{ K}$.

Полный ответ на теоретический вопрос должен содержать: определение пара как разновидности газообразного состояния вещества, определение насыщенного пара, описание и физическое объяснение зависимостей давления и плотности насыщенного пара от температуры. Максимальная оценка за теоретический вопрос – 5 баллов.

Ответ задачи: $p = p_1 \frac{T_2}{T_1} + \frac{mRT_2}{\mu V} \approx 226 \text{ кПа}$. Максимальная оценка – 20 баллов.

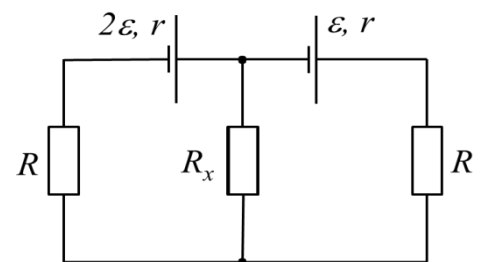
Комментарий: оценивались: правильное использование закона Дальтона, закона Шарля и уравнения Менделеева-Клапейрона для определения искомого давления, доказательство того, что вся вода в конечном состоянии находится в газообразном состоянии, получение правильных аналитического и численного ответов.

3. Закон Ома для полной цепи. Правила Кирхгофа.

Разветвлённая электрическая цепь состоит из двух источников ЭДС с одинаковыми внутренними сопротивлениями r и трёх сопротивлений нагрузки (см. рисунок). ЭДС одного источника в два раза больше ЭДС другого. Какой должна быть величина сопротивления R_x ,

чтобы на нём выделялась мощность, равная $\frac{\mathcal{E}^2}{64r}$ при

минимальной (из возможных) величине силы тока через это сопротивление? Сопротивления нагрузки в боковых ветвях схемы равны $R = 5r$.



Полный ответ на теоретический вопрос должен содержать: формулировки закона Ома для полной цепи и правил Кирхгофа с определением входящих в них величин и объяснением их физического смысла. Максимальная оценка за теоретический вопрос – 5 баллов.

Ответ задачи: $R_x = 9r$. Максимальная оценка – 20 баллов.

Комментарий: оценивались: правильная запись системы необходимых соотношений (уравнений закона Ома для всех ветвей и условия непрерывности тока либо правил Кирхгофа), нахождение

связи выделяемой на R_x мощности с величиной сопротивления R_x , определение возможных значений сопротивления и обоснованный выбор значения, обеспечивающего минимальность тока (получение правильного ответа).

4. Закон преломления света. Абсолютный и относительный показатели преломления. Явление полного (внутреннего) отражения.

В ясный солнечный день на поверхности пруда плавает плот, отбрасывая на горизонтальное дно пруда тень в форме квадрата со стороной 2 м. Какова глубина пруда, если при затягивании неба сплошной облачностью тень на дне пруда вырождается в точку? Показатель преломления воды относительно воздуха $n = 1,33$. Поверхность воды считать гладкой. Толщиной плота пренебречь.

Полный ответ на теоретический вопрос должен содержать: описание места геометрической оптики в исследовании световых явлений, полную формулировку закона преломления света, определение и физический смысл абсолютного и относительного показателей преломления, описание явления полного (внутреннего) отражения и указание условий его наблюдения. Максимальная оценка за теоретический вопрос – 5 баллов.

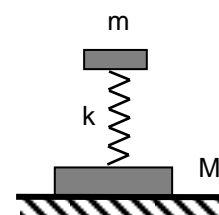
Ответ задачи: $H = a\sqrt{n^2 - 1} \approx 0,88$ м ($a = 1$ м – половина стороны плота). Максимальная оценка – 20 баллов.

Комментарий: оценивались: правильное понимание физики процесса, определение размеров плота по размерам тени при прямом солнечном освещении, понимание условий формирования тени при сплошной облачности и объяснение роли эффекта полного внутреннего отражения, запись условия на угол полного отражения и получение аналитического и численного ответов.

БИЛЕТ № 05 (ВОРОНЕЖ)

1. Гармонические колебания. Уравнение гармонических колебаний.

Два тела массами M и m соединены пружиной, как показано на рисунке. Тело m совершает гармонические колебания по вертикали с частотой ω и амплитудой A . Пружина невесома. Найдите отношение наибольшей F_1 и наименьшей F_2 сил давления системы на плоскость стола. Ускорение свободного падения равно g .



Полный ответ на теоретический вопрос должен содержать: описание понятия «колебания» и определение гармонических колебаний, описание основных кинематических и энергетических особенностей гармонических колебаний, запись уравнения гармонических колебаний с приведением примеров систем, уравнение движения которых приводится к такому виду. Максимальная оценка за теоретический вопрос – 5 баллов.

Ответ задачи: $\frac{F_1}{F_2} = \frac{(M + m)g + mA\omega^2}{(M + m)g - mA\omega^2}$, условие задачи корректно, только если $A < \frac{(m + M)g}{M\omega^2}$

(это условие отсутствия отрыва тел от опоры в процессе колебаний). Максимальная оценка – 20 баллов.

Комментарий: оценивались: правильная запись уравнений движения тел, правильность определения положений системы, в которых сила давления системы на плоскость имеет максимальное и минимальное значения, правильность определения амплитуды ускорения, получение правильного ответа, указание на существования ограничения на возможные значения данных задачи, установление этого ограничения и объяснение его физического смысла.

2. Уравнение Клапейрона-Менделеева (уравнение состояния идеального газа). Универсальная газовая постоянная.

Горизонтальный теплоизолированный сосуд цилиндрической формы массой m закрыт с торцов и перегороден подвижным поршнем массой $M \gg m$. Сосуд и поршень покоятся, с обеих сторон от поршня находится по одному молю идеального одноатомного газа. Сосуду сообщают скорость v , направленную вдоль оси сосуда, коротким ударом. На сколько изменится температура ΔT газа после затуханий колебаний поршня? Трение между поршнем и стенками сосуда, теплоемкость поршня и стенок не учитывать. Масса газа $m_g \ll M$. Универсальная газовая постоянная R .

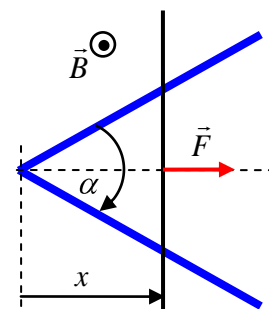
Полный ответ на теоретический вопрос должен содержать: описание модели идеального газа, запись уравнения Менделеева-Клапейрона, объяснение его связи с моделью идеального газа, определение универсальной газовой постоянной и объяснение ее физического смысла. Максимальная оценка за теоретический вопрос – 5 баллов.

Ответ задачи: $\Delta T \approx \frac{mv^2}{6R}$. Максимальная оценка – 20 баллов.

Комментарий: оценивались: правильная запись закона сохранения импульса для системы «сосуд-поршень-газ», вычисление переданной газу энергии (как убыль механической энергии системы в процессе затухания колебаний), запись связи изменения внутренней энергии газа с изменением его температуры, получение правильного ответа.

5. Явление электромагнитной индукции. Закон электромагнитной индукции Фарадея. Правило Ленца.

Проводник, согнутый под углом α , расположен в горизонтальной плоскости. Металлический стержень может без трения скользить перпендикулярно биссектрисе угла. Индукция однородного вертикального магнитного поля равна B . К стержню приложена горизонтальная сила $F = kx$, где расстояние x отсчитывается от вершины угла. Определить максимальную скорость стержня. В процессе движения стержень не теряет контакта с обеими сторонами угла. Сопротивление единицы



длины стержня равно ρ , сопротивление проводника пренебрежимо мало.

Полный ответ на теоретический вопрос должен содержать: описание явления электромагнитной индукции с объяснением возможных причин появления индукционного тока, формулировку закона электромагнитной индукции Фарадея (с определением входящих в него величин) и правила Ленца (с объяснением его физического смысла). Максимальная оценка за теоретический вопрос – 5 баллов.

Ответ задачи: $v_{\max} = \frac{k\rho}{2B^2 \sin \frac{\alpha}{2}}$. Максимальная оценка – 20 баллов.

Комментарий: оценивались: правильная запись закона электромагнитной индукции и вывод формул, связывающих ЭДС индукции и индукционный ток со скоростью стержня, запись уравнения движения стержня с учетом силы Ампера, установление условия максимальности скорости, получение правильного ответа.

4. Построение изображения в собирающих и рассеивающих линзах. Увеличение, даваемое линзами.

Рассеивающая линза дает изображение предмета с увеличением $\Gamma_1 = \frac{1}{5}$. Если вплотную к ней приставить тонкую собирающую линзу, то эта система создает прямое изображение с увеличением $\Gamma_2 = \frac{1}{3}$. Определить, с каким увеличением получится изображение от одной собирающей линзы. Расстояние от линзы до предмета во всех случаях одинаково.

Полный ответ на теоретический вопрос должен содержать: определение линзы как оптического устройства, краткую классификацию линз, описание хода характерных лучей, используемых для построения изображений для случая собирающей и рассеивающей линзы, указание условий границ применимости методов построения изображений (то есть описание приближения тонкой линзы), определение увеличения как характеристики изображения и описание способа его вычисления. Максимальная оценка за теоретический вопрос – 5 баллов.

Ответ задачи: увеличение одной второй линзы $\Gamma' = \frac{\Gamma_1\Gamma_2}{\Gamma_1\Gamma_2 + \Gamma_1 - \Gamma_2} = -1$ (то есть размер

изображения равен размеру предмета, и оно перевернутое). Также правильным считался

ответ для абсолютной величины увеличения $|\Gamma'| = \left| \frac{\Gamma_1\Gamma_2}{\Gamma_1\Gamma_2 + \Gamma_1 - \Gamma_2} \right| = 1$. Максимальная оценка –

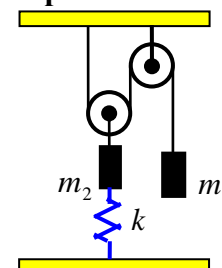
20 баллов.

Комментарий: оценивались: запись формулы линзы либо построение хода лучей, правильное определение связи увеличения с фокусным расстоянием (оптической силой) линзы и расстояния до предмета с увеличением, использование приближения тонких линз (суммирования оптических сил тонких линз, прижатых друг к другу), получение правильных аналитического и численного ответов.

БИЛЕТ № 06 (МОСКВА)

1. Механическая энергия. Закон сохранения полной механической энергии.

В системе, изображенной на рисунке, массы грузов равны m_1 и m_2 , жесткость пружины k , блоки, нить и пружина – невесомые, блоки вращаются без трения, нить по блокам не скользит. В положении равновесия пружина растянута. Груз m_1 смещают из положения равновесия вниз на расстояние s , после чего грузы совершают гармонические колебания. Найдите максимальные скорости колеблющихся грузов.



Полный ответ на теоретический вопрос должен содержать: определение кинетической и потенциальной энергии (во втором случае необходимо описать класс взаимодействий, для которых такая величина существует), определение полной механической энергии, формулировку закона сохранения полной механической энергии, в которой обязательно должны присутствовать условия его применимости. Максимальная оценка за теоретический вопрос – 5 баллов.

Ответ задачи: максимальная скорость груза 1 $v_0 = s \sqrt{\frac{k}{4m_1 + m_2}}$, а груза 2 – в два раза меньше,

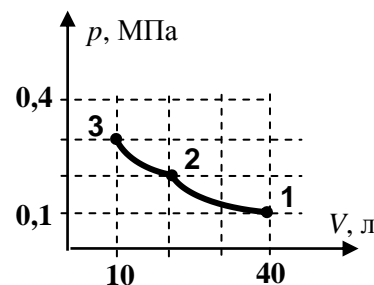
ответ корректен при $s \leq \frac{(4m_1 + m_2)g}{k}$ (при больших s нить провисает в ходе колебаний).

Максимальная оценка – 20 баллов.

Комментарий: правильная запись условия кинематической связи и уравнений движения тел либо закона сохранения полной механической энергии для заданной системы, правильность определения положения равновесия системы и положения, в котором скорость максимальна, получение правильного ответа, указание на существования ограничения на возможные значения данных задачи, правильность определения амплитуды ускорения, установление ограничения и объяснение его физического смысла.

2. Влажный воздух. Относительная и абсолютная влажность воздуха.

На $p - V$ - диаграмме показан участок изотермы, полученной при сжатии влажного воздуха в сосуде с непроницаемыми стенками под подвижным поршнем. Найти температуру изотермы. Определить массы сухого воздуха и воды в сосуде. Считать, что нормальное атмосферное давление $p_0 \approx 0,1$ МПа. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К). Считать молярные массы веществ известными: $\mu_1 = 18$ г/моль, $\mu_2 \approx 29$ г/моль.



Полный ответ на теоретический вопрос должен содержать: определение влажного воздуха как смеси газа и пара (с объяснением различий между этими формами газообразного состояния вещества), определение насыщенного пара, определение относительной и абсолютной влажности воздуха с объяснением их физического смысла. Максимальная оценка за теоретический вопрос – 5 баллов.

Ответ задачи: масса воды $m_1 = \mu_1 \frac{p_0 V_0}{2RT} \approx 11,6$ г, масса сухого воздуха $m_2 = \mu_2 \frac{p_0 V_0}{2RT} \approx 18,7$ г.

Максимальная оценка – 20 баллов.

Комментарий: оценивались: правильная интерпретация характерных точек диаграммы (в частности, указание того, что точка 2 – точка начала конденсации воды), запись уравнений, следующих из закона Дальтона, уравнения Менделеева-Клапейрона и закономерностей поведения давления пара для точек 1, 2 и 3, правильность определения количеств веществ и температуры изотермы, нахождение масс воды и сухого воздуха (аналитические и численные ответы).

6. Электрическое и магнитное поля, их действие на заряженные тела. Силовые характеристики электрического и магнитного полей.

Силовые линии однородного электрического поля с напряженностью $E = 25$ В/м параллельны линиям индукции однородного магнитного поля с индукцией $B = 0,06$ Тл. α – частица влетает в

эти поля под углом $\beta = 60^\circ$ к силовым линиям с начальной скоростью $v_0 = 25$ км/с. Найти отношение величины шага n -го витка винтовой линии, по которой движется частица, к радиусу этого витка? Считать, что масса α – частицы $m_\alpha = 4m_p$, заряд $q_\alpha = 2|e|$, $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл - заряд электрона, $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг - масса протона.

Полный ответ на теоретический вопрос должен содержать: определение электрического и магнитного полей как компонент физического электромагнитного поля с указанием принципа их описательного разделения, описание действия полей на заряженные тела, определение силовых характеристик полей (электрической напряженности и магнитной индукции), запись формул для силы, действующей на заряженную частицу. Максимальная оценка за теоретический вопрос – 5 баллов.

Ответ задачи: $\frac{s_n}{R} = 2\pi \cdot \operatorname{ctg}(\beta) + \frac{2\pi^2(2n-1)E}{v_0 B \sin \beta} \approx 3,25 + 0,76 \cdot n$. Максимальная оценка – 20 баллов.

Комментарий: оценивались: правильное описание траектории движения частицы, понимание смысла исследуемых величин (шага и радиуса витка), запись уравнений движения частицы и получение из них радиуса витков и закона движения вдоль направления полей, правильное вычисление шага n -го витка, получение аналитического и численного ответов.

4. Тонкие линзы. Формула линзы. Увеличение, даваемое линзами.

Линза с фокусным расстоянием $F = 12$ см создает на экране изображение предмета с увеличением $|\Gamma_1| = 9$. Другая линза при этом же расстоянии между предметом и экраном дает на экране изображение с увеличением $|\Gamma_2| = 3$. Найдите фокусное расстояние второй линзы.

Полный ответ на теоретический вопрос должен содержать: определение линзы как оптического устройства, краткую классификацию линз, описание приближения тонкой линзы с указанием его связи с параксиальным приближением, запись формулы линзы, определение увеличения как характеристики изображения и описание способов его вычисления. Максимальная оценка за теоретический вопрос – 5 баллов.

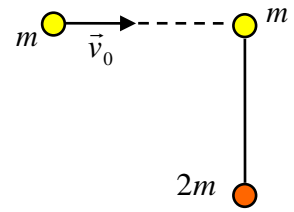
Ответ задачи: $F_2 = \frac{|\Gamma_2|}{|\Gamma_1|} \left(\frac{|\Gamma_1| + 1}{|\Gamma_2| + 1} \right)^2 F = \frac{25}{12} F = 25$ см. Максимальная оценка – 20 баллов.

Комментарий: оценивались: обоснованное определение типа линзы и типы изображения, и запись на основе формулы линзы либо построения хода лучей правильных соотношений между абсолютной величиной увеличения и параметрами системы (расстоянием от линзы до предмета, от линзы до изображения и – как результат – расстоянием между предметом и изображением), получение уравнения, связывающего оптические силы либо фокусные расстояния линз, получение правильных аналитического и численного ответов.

БИЛЕТ № 07 (ЧЕЛЯБИНСК)

1. Импульс материальной точки. Импульс системы материальных точек. Закон сохранения импульса.

На гладком горизонтальном столе лежат стальные шарики массами m и $2m$, связанные натянутой невесомой нерастяжимой нитью длины l . Еще один шарик массы m налетает на систему со скоростью v_0 (перпендикулярно натянутой нити), и происходит абсолютно упругий лобовой удар (см. рисунок). Найти величину силы натяжения нити и ускорение шарика массы $2m$ после удара.



Полный ответ на теоретический вопрос должен содержать: определение импульса материальной точки, импульса системы материальных точек, формулировку закона сохранения импульса и объяснения его связи с законами динамики (законами Ньютона). Максимальная оценка за теоретический вопрос – 5 баллов.

Ответ задачи: $T = \frac{2mv_0^2}{3l}$, $a_2 = \frac{v_0^2}{3l}$. Максимальная оценка – 20 баллов.

Комментарий: оценивались правильный анализ упругого лобового столкновения шариков одинаковой массы, разделение возникшего после удара движения на движение центра масс и вращение шариков вокруг него с правильным определением параметров этих движений, запись уравнения движения для центростремительного ускорения шарика массы $2m$, получение правильных аналитического и численного ответов.

2. Насыщенные и ненасыщенные пары. Зависимость давления насыщенного пара от температуры.

В очень прочном баллоне объемом $V = 50$ л находится 96 г смеси метана CH_4 с кислородом O_2 . При температуре $t_1 = 28^\circ\text{C}$ давление в баллоне равнялось $p_1 = 200$ кПа. Слабая электрическая искра подожгла метан, вызвав реакцию $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$. После завершения реакции содержимое баллона охладили до температуры $t_2 = 100^\circ\text{C}$. Каким стало давление в баллоне? Нормальное атмосферное давление $p_0 \approx 101$ кПа.

Полный ответ на теоретический вопрос должен содержать: определение пара как разновидности газообразного состояния вещества, определение насыщенного и ненасыщенного пара, описание и физическое объяснение зависимостей давления и плотности насыщенного пара от температуры. Максимальная оценка за теоретический вопрос – 5 баллов.

Ответ задачи: $p_2 = 2 \frac{RT_2}{V} + p_0 \approx 225$ кПа. Максимальная оценка – 20 баллов.

Комментарий: оценивались: правильное использование закона Дальтона и уравнения Менделеева-Клапейрона для определения исходных количеств веществ, правильный анализ расхода и образования веществ в реакции, доказательство того, что часть воды в конечном состоянии находится в жидкой форме, указание, что при этом парциальное давление ее паров будет равно $p_0 \approx 101$ кПа, получение правильных аналитического и численного ответов.

3. Электрические заряды. Взаимодействие электрически заряженных тел. Потенциальность электростатических сил.

Два одинаковых тела массой m и с зарядом q каждое удерживают на горизонтальной плоскости на расстоянии d . Какое расстояние l пройдет каждое из тел, если их отпустить?

Какую максимальную скорость u приобретут тела в процессе движения? Коэффициент трения тел о плоскость равен μ . Электрическая постоянная равна ε_0 .

Полный ответ на теоретический вопрос должен содержать: описание понятия об электрическом заряде, описание характера взаимодействия заряженных тел с выделением электростатического взаимодействия (с записью закона Кулона), указание на свойство потенциальности электростатических сил с определением потенциала как энергетической характеристики взаимодействия, формулу для потенциальной энергии электростатического взаимодействия зарядов. Максимальная оценка за теоретический вопрос – 5 баллов.

Ответ задачи: $l = \frac{kq^2}{2\mu m g d} - \frac{d}{2}$, $u = \sqrt{\frac{kq^2}{md} - 2\sqrt{\frac{kq^2 \mu g}{m}} + \mu g d}$, ответ корректен при условии, что

$\mu < \frac{kq^2}{mgd^2}$ (иначе тела не придут в движение). Максимальная оценка – 20 баллов.

Комментарий: оценивались правильная запись закона сохранения энергии для начального положения и положения, в котором тела остановились и нахождение аналитического выражения для l , запись закона сохранения энергии для произвольного положения, правильный выбор способа подсчета максимальной скорости и ее вычисление (получение аналитической формулы), указание на существование ограничения на параметры задачи, установление этого ограничения и объяснение его физического смысла.

4. Тонкие линзы. Формула линзы. Увеличение, даваемое линзами.

При помощи тонкой линзы на экране создано изображение булавки, расположенной на главной оптической оси линзы перпендикулярно ей. При этом отношение линейных размеров изображения и самой булавки было равно $|\Gamma| = 2$. Не двигая булавку, линзу переместили на расстояние $s = 20$ см вдоль ее оптической оси (линза при этом не приближалась к булавке, и в любом положении оставалось справедливым приближение тонкой линзы). После перемещения и подбора положения экрана отношение размеров стало равно $|\Gamma'| = 1$. Найти оптическую силу линзы.

Полный ответ на теоретический вопрос должен содержать: определение линзы как оптического устройства, краткую классификацию линз, описание приближения тонкой линзы с указанием его связи с параксиальным приближением, запись формулы линзы, определение увеличения как характеристики изображения и описание способов его вычисления. Максимальная оценка за теоретический вопрос – 5 баллов.

Ответ задачи: $D = \frac{|\Gamma| - |\Gamma'|}{|\Gamma| \cdot |\Gamma'|} \frac{1}{s} = \frac{1}{2s} = 2,5$ Дптр. Максимальная оценка – 20 баллов.

Комментарий: оценивались: обоснованное определение типа линзы и типы изображения, и запись на основе формулы линзы либо построения хода лучей правильных соотношений между абсолютной величиной увеличения и расстоянием от линзы до предмета, запись соотношений, связывающего оптическую силу либо фокусное расстояние линзы с s , получение правильных аналитического и численного ответов.