**Решения заданий второго этапа республиканской олимпиады 11 класс**

**Задача 1.** **Волейбольный мяч**

Волейбольный мяч массой  = 200 г и объемом  = 8 л накачан до избыточного давления  = 0.2 атм. Мяч был подброшен на высоту  = 20 м и после падения на твердый грунт отскочил почти на ту же высоту. Считая, что в момент удара о грунт сжатие мяча было адиабатическим, оцените максимальную температуру воздуха  в мяче в момент удара о грунт. Температура наружного воздуха  = 300 К, теплоемкость воздуха при постоянном объеме  = 0,72 кДж/(кг⋅К). Атмосферное давление считать нормальным и равным  = 1 атм = 1,01⋅105 Па. Воздух считать идеальным газом. Энергией деформации грунта и камеры мяча в момент наибольшего сжатия пренебречь. Молярная масса воздуха = 29 г/моль.

**Решение:**

Согласно первому закону термодинамики, изменение внутренней энергии газа равно:

, (1)

где  – сообщенное газу количество теплоты,  – совершенная над газом работа при его сжатии. Если сжатие считать адиабатическим, то  и тогда из (1) следует, что

. (2)

Изменение внутренней энергии газа равно ( – масса газа)

. (3)

Работа по сжатию воздуха совершается за счет механической энергии мяча. Пренебрегая энергией деформации грунта и камеры мяча в момент наибольшего сжатия, получаем, что

. (4)

Подставляя (3) и (4) в (2), получаем

. (5)

Массу газа  можно найти, воспользовавшись уравнением Менделеева–Клапейрона до удара мяча о грунт:

. (6)

Подставляя (6) в (5), получаем:

 305 К.

**Ответ:** 305 К.

**Задача 2.** Заряженный шарик  находится на конце горизонтальной пружины, жесткость которой  = 20 Н/м. Заряд шарика  считается постоянным и равным  = +1 мкКл. На расстоянии  = 10 см от центра шарика  находится центр шарика  (см. рисунок) причем заряд шарика  равен  = –1 мкКл. Система находится в равновесии.

**а)** Какова будет амплитуда колебаний пружины с шариком , если шарик  быстро убрать?

**б)** Изменится ли амплитуда, если шарик  не убрать, а разрядить с учетом того, что он: 1) металлический; 2) изготовлен из диэлектрика?

*A*

+*q*

*l*

*B*

–*q*

**Решение:**

**а)** Обозначим через  растяжение пружины. Сила упругости, действующая на шарик  со стороны пружины, равна

. (1)

Сила кулоновского притяжения со стороны шарика  ( = 8.99⋅109 Н⋅м2/Кл2) равна

. (2)

Если шарик  находится в равновесии, то, приравнивая правые части (1) и (2), получаем:

= 4.5⋅10–2 м.

Это и есть искомая амплитуда колебаний.

**б)** Если шарик  диэлектрический, то снять с него заряд за время, которым можно пренебречь, представляется затруднительным (с учетом того, как снимаются заряды с поверхности диэлектрика). В этом случае сила кулоновского взаимодействия между шариками будет уменьшаться более плавно во времени. Если шарик  металлический, то снять с него заряд можно практически мгновенно, но внутри него из-за наличия поблизости заряженного шарика  возникает перераспределение электрических зарядов, а это приведет к возникновению силы притяжения между двумя шариками (хотя по модулю она будет меньше ).

В обоих случаях это должно привести к уменьшению амплитуды колебаний.

**Ответ:** 4.5⋅10–2 м; амплитуда колебаний уменьшается.

**Задача 3.** **Магнетизм.**

Тонкое кольцо массой  = 10,0 г и радиусом  = 6,00 см, по которому течет ток  = 15,0 А, поместили в неоднородное аксиально-симметричное (симметричное относительно оси ) магнитное поле. Ось кольца совпадает с осью симметрии магнитного поля (см. рисунок).

**а)** Определите величину и направление ускорения кольца, если магнитная индукция равна  = 0,080 Тл и составляет с осью *Ох* угол  = 30,0°.

**б)** Известно, что магнитное поле не совершает работы над заряженными частицами. Но в данной задаче магнитное поле ускоряет кольцо, совершая работу. Как можно разрешить данный парадокс?

**Решение:**

**а)** на элемент кольца с током (длина элемента ) действует сила Ампера , направленная, как показано на рисунке. Ее модуль равен

. (1)



Проекция этой силы на ось  равна

. (2)

Для всех элементов кольца получаются такие проекции, и тогда результирующая сила равна

. (3)

Направлена эта сила против оси . Из соображений симметрии ясно, что в перпендикулярном к оси  аналогичные проекции взаимно уничтожаются.

Соответственно, ускорение кольца (с учетом численных данных в условии задачи)

 = 22,62 м/с2. (4)

**б)** При приобретении кольцом скорости на носители электрического тока в кольце начинает действовать сила Лоренца, связанная с их скоростью движения вместе с кольцом. Принимая условно заряд носителей тока за положительный, видим, что сила Лоренца действует против тока (на рисунке в верхней точке кольца она направлена от читателя). Она будет стремиться уменьшить ток, тем самым уменьшая кинетическую энергию носителей тока. В итоге суммарная работа силы Ампера, ускоряющей кольцо, и сил Лоренца, уменьшающих ток, будет равна нулю.

Второй способ прийти к аналогичному результату – учесть, что при движении кольца против оси , оно переходит в область более сильного магнитного поля (т.к. там сгущаются линии магнитной индукции, следовательно в проводнике возникает ЭДС индукции, препятствующая увеличению магнитного потока. Направление этой ЭДС будет против тока в кольце (по правилу Ленца). Легко понять, что физическая причина этой ЭДС в данном случае – именно составляющая силы Лоренца, описанная выше. Т.е. это один и тот эффект, рассмотренный с двух сторон.

**Задача 4.** В электрическую цепь включены источник тока с ЭДС  и внутренним сопротивлением , конденсаторы емкостью  и  и резисторы сопротивлением  и  (см. рисунок). Найдите напряжения  и  на каждом конденсаторе.

R2

C2

R1

C1

E, r

**Решение:**

Постоянный ток через конденсаторы емкостью  и  не течет. Поэтому в установившемся режиме ток будет течь по контуру, в котором находится источник тока и резистор . При этом сила тока равна

. (1)

Поскольку конденсаторы соединены последовательно, их заряды  будут одинаковыми, причем

. (2)

В силу равенства напряжений на участках, соединенных параллельно, получаем (с учетом того, что сила тока через конденсаторы  и  и резистор  равна нулю):

. (3)

Подставляя (1) и (2) в (3), после несложных преобразований получаем:

. (4)

Подставляя (4) в (2),получаем:

, 

**Ответ:** , .

**Задача 5. Движение автомобиля**

Автомобиль преодолевает участок , как показано на рисунке, начиная движение из точки  без начальной скорости. Прямолинейный участок  он преодолевает с постоянным ускорением . На участке , представляющем собой четверть окружности, он движется с постоянной по модулю скоростью, причем значение скорости равно значению, достигнутому в конце участка , а центростремительное ускорение равно по величине постоянному ускорению  на участке . Затем на прямолинейном участке  автомобиль продолжает движение с прежним по абсолютной величине постоянным ускорением . Дополнительно известно, что: 1) участки  и  равны по протяженности; 2) общий пройденный путь равен ; 3) общее время движения равно .

**а)** Выразите длину *х* прямолинейного участка через .

**б)** Выразите скорость движения автомобиля по закругленному участку через  и ; выразите ускорение  через  и .

A

D

C

B

**Решение:**

**а)** Обозначим через ,  и  время движения автомобиля по участкам ,  и , соответственно. Через ,  и  обозначим длину участков ,  и , соответственно. Тогда

, (1)

. (2)

С другой стороны, можно переобозначить

. (3)

Пусть  – скорость, которую набрал автомобиль в конце участка . Тогда для участка  справедливо соотношение

. (4)

На участке  справедливо соотношение ( – радиус окружности)

. (5)

Сравнивая (4) и (5), получаем, что

. (6)

Длина участка  равна (в соответствии с (6) и условием задачи):

. (7)

Подставляя (3) и (7) в (2), получаем:

. (8)

**б)** Для промежутков времени  и  получаем соотношения:

, (9)

. (10)

Чтобы не решать квадратное уравнение относительно , поступим следующим образом. Обозначим через  скорость автомобиля в конце участка . Тогда, в соответствии с условием задачи, справедливы соотношения

, (11)

. (12)

Приравнивая правые части (4) и (11), получаем, что

. (13)

С учетом (4), (12) и (13), для промежутка времени  получаем:

. (14)

Подставляя (9), (10) и (14) в (1), получаем:

. (15)

Подставляя (15) в (4), с учетом (8) получаем:

. (16)

**Ответ:** .

**Экспериментальная задача**

Определить плотность камня неправильной формы без использования мензурки и лабораторных весов.

Оборудование: динамометр, небольшой камень, небольшой пакет с ручками, сосуд с водой.

**Выполнение:**

Для определения плотности  камня необходимо знать его массу  и объем :

. (1)

Объем можно найти следующим образом. С помощью динамометра можно определить значение веса камня (помещенного в пакет) в воздухе  и в воде . Разность этих значений равна архимедовой силе, действующей на камень в воде (весом пакета и архимедовой силой, действующей на камень в воздухе, пренебрегаем).

. (2)

Зная плотность воды , определим объем камня с учетом (2):

. (3)

Массу камня можно выразить из его веса в воздухе:

. (4)

Тогда плотность камня найдем, подставляя (3) и (4) в (1):

. (5)

**Критерии оценки:**

Задача 1 – 12 баллов;

Задача 2 – 6 баллов за пункт а), 4 балла за пункт б);

Задача 3 – 8 баллов за пункт а), 6 баллов за пункт б) (по 3 балла за каждое объяснение);

Задача 4 – 10 баллов;

Задача 5 – 12 баллов за пункт а), 14 баллов за пункт б).

Экспериментальная задача – 15 баллов.

Каждая ошибка в вычислениях ‑ минус 2 балла. За ошибку в рассуждениях или неполноту рассуждений можно снимать по 1 или 2 балла в зависимости от глубины недочета. За переходящую ошибку баллы повторно не снимаются. Если в задаче выбрана иная стратегия рассуждений, то в отсутствие логических ошибок и при правильном конечном результате это не может рассматриваться как ошибка в рассуждениях.

Ошибка в размерности или точности вычислений – минус 1 балл. Если одна и та же величина встречается в решении несколько раз с одной и той же ошибочной размерностью, то это можно считать переходящей ошибкой и баллы повторно не снимать.

В экспериментальной задаче при оценивании также учитывать: а) количество измерений; б) наличие расчета погрешности.