***Министерство общего и профессионального образования Ростовской области***

***II ЭТАП ВСЕРОССИЙСКОЙ ОЛИМПИАДЫ ШКОЛЬНИКОВ по ФИЗИКЕ 2022-23 гг***

**11 класс**

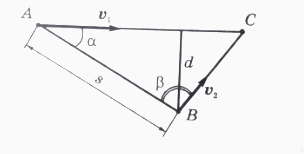
**Задача № 1. *Поездка автостопом***

Автобус движется по магистрали с постоянной скоростью *v1* = 16 м/с. На расстоянии *d* = 60 м от шоссе и *s* = 400 м от автобуса находится турист, который может бежать со скоростью *v2* = 4 м/с. В каком направлении он должен бежать, чтобы остановить приближающийся автобус? При какой наименьшей скорости человека *vmin* это вообще возможно? В каком направлении следует при этом бежать?

***Возможное решение***

1. Для решения удобнее перейти в систему отсчета, связанную с автобусом. В этой системе отсчета скорость ***V*** человека есть разность векторов **v2** и **v1**:

***V = v2 – v1*** , изначально автобус находится в точке А, человек – в точке В (см. рис).Величина скорости V роли не играет, а направление должно быть таким, чтобы человек пересек шоссе правее неподвижного в выбранной системе автобуса (точка С) или, в крайнем случае, выбежал точно на автобус.



Очевидно, угол β между отрезком АВ и направлением v2 должен лежать в пределах β1 **≤** β **≤** β2 , где β1 и β2 – два решения уравнения

sin β = (v1/v2 )sinα

(уравнение следует из теоремы синусов), удовлетворяющие условию

0 < β < π. Здесь sinα = d/s.

2. Таким образом, arcsin(v1d/v2s) ≤ β ≤ 180o – arcsin(v1d/v2s) ; 37о ≤ β ≤ 143o.

Поскольку область решений соответствует условию

sin β ≥ (v1/v2 )sinα = dv1/sv2 ,

то dv1/sv2 ≤ 1, или v2 ≥ v1d/s.

3. Значит, vmin = v1d/s = 2,4 м/с.

4. При такой скорости sin β = 1, β = 90о.

**Ответ:** Человеку нужно бежать под прямым углом к направлению на автобус (а не к дороге) с минимальной скоростью 2,4 м/с.

***Критерии оценивания***

За 1-й пункт – 4 балла

За 2-й пункт – 2 балла

За 3-й пункт – 2 балла

За 4-й пункт – 2 балла

Если задача не решена, но приведены некоторые идеи по существу условия задачи, можно поставить до 2 баллов в качестве поощрения.

**Задача № 2. *Колебания поршня***

Поршень массой *m* находится в равновесии посредине герметично закрытого цилиндра длиной 2*L* (см. рис.). В каждой половине цилиндра находится ν молей газа, имеющего абсолютную температуру *Т*. Толкнув цилиндр, можно вызвать малые колебания поршня. Определить их период *τ*, считая, что температура газа при колебаниях остается неизменной. Трением пренебречь.

***Возможное решение***

1. Движение поршня описывается уравнением второго закона Ньютона:

*ma = F = SΔP*,

где *S* – площадь поперечного сечения поршня, Δ*P* – разница давлений газа по обе стороны от поршня.

2. При малых смещениях *x* поршня от положения равновесия (когда

*x << L*) *ΔP = ν⋅RT[1/(V+ΔV) – 1/(V - ΔV)] ≈ -2νRTΔV /V2  = -2νRTx/(SL2),*

откуда *ma = -2νRTx/L2*,

или *mx*′′*+2νRTx/L2 =* 0*,*

где *a* = *x*′′ (вторая производная от смещения *x* поршня по времени).

3. Это уравнение является уравнением гармонических колебаний с частотой, равной корню квадратному из коэффициента, стоящего перед *x*, то есть

*ω = [2νRT/m]1/2/ L.*

4. Тогда для периода колебаний получим:

*τ = 2π / ω = 2πL[m/(2νRT)]1/2 = πL[2m/(νRT)]1/2* **(ответ)**

***Критерии оценивания***

За 1-й пункт – 3 балла

За 2-й пункт – 3 балла

За 3-й пункт – 2 балла

За 4-й пункт – 2 балла

Если задача не решена, но приведены некоторые идеи по существу условия задачи, можно поставить до 2 баллов в качестве поощрения.

**Задача № 3. *Трансформер: электродвигатель и генератор***

Электродвигатель, включенный в сеть постоянного тока с напряжением

*U* = 120 B, при полном сопротивлении цепи *R* = 20 Ом, передает приводу мощность *P* = 160 Вт. Какую ЭДС разовьет этот двигатель, если его использовать как генератор, вращая якорь с той же скоростью, какую он имел, работая как двигатель?

***Возможное решение***

1. Из закона сохранения и превращения энергии следует, что если источник дает постоянное напряжение *U*, при этом полное сопротивление цепи *R*  и электродвигатель развивает механическую мощность *P*, то

*IU = I2R + P*,

где *I* – сила тока в цепи.

2. При перемещении контура с током *I*  в магнитном поле силы поля совершают над проводником работу

*А = I*Δ*Ф*.

Развиваемая при этом механическая мощность равна

*P* = *I*Δ*Ф*/Δ*t*.

3. Поскольку в контуре при изменении магнитного потока на Δ*Ф* возникает ЭДС индукции *εи* = Δ*Ф*/Δ*t,* мощность будет равна

*P = Iεи*.

ЭДС индукции в якоре пропорциональна скорости его вращения, поэтому если использовать электромашину как генератор, вращая якорь с той же угловой скоростью, что и при работе электродвигателя, то ЭДС генератора *ε* будет равна ЭДС индукции в электродвигателе:

*ε = εи*.

4. Исключая неизвестные *I* и *εи*, получим для определения искомой величины уравнение *ε2 - Uε + PR = 0*,

из которого находим: *ε = ½ [U ± (U2 – 4PR)1/2].*

5. Подставляя численные значения, получим, что возможны два ответа: ε1 = 80 В, ε2 = 40 В. **(ответ)**

***Критерии оценивания***

За 1-й пункт – 2 балла

За 2-й пункт – 2 балла

За 3-й пункт – 2 балла

За 4-й пункт – 2 балла

За 5-й пункт – 2 балла

Если задача не решена, но приведены некоторые идеи по существу условия задачи, можно поставить до 2 баллов в качестве поощрения.

**Задача № 4. *Стеклянное кольцо в магнитном поле***

По тонкому стеклянному кольцу, лежащему на гладкой горизонтальной плоскости, равномерно распределен заряд *Q*. Индукция магнитного поля, перпендикулярного плоскости кольца, равномерно меняется от 0 до *В*0. Какую угловую скорость вращения приобретет при этом кольцо? Масса кольца *m*.

***Возможное решение***

1. При изменении магнитного поля возникает вихревое электрическое поле, напряженность которого в каждой точке кольца направлена по касательной к кольцу. На заряды кольца в этом поле действуют силы, благодаря которым кольцо приходит в движение. Изменение кинетической энергии кольца за время Δ*t* равно работе, совершаемой этими силами. Если угловая скорость кольца равна ω, то за время Δ*t* оно поворачивается на угол Δ*φ* = *ω*Δ*t*. При этом повороте по контуру проходит заряд Δ*q*, которым обладает участок длины Δ*φR*. Так как заряд единицы длины кольца равен *Q*/(2π*R*), то

Δ*q* = Δ*φRQ*/(2π*R*) = *ω*Δ*tQ*/(2π).

2. Работа, совершаемая при повороте кольца, равна ЭДС индукции, возбуждаемой в контуре, ограниченном кольцом, и умноженной на заряд Δ*q*:

Δ*A* = |ε|Δ*q* = |Δ*Ф*/Δ*t*|Δ*q* = |πR2Δ*B*/Δt|*ω*Δ*t*Q/(2π) = ½ *R*2*ωQ*Δ*B*.

3. Кинетическая энергия кольца за это же время меняется на величину

Δ*W* = ½ *m*(*υ* + Δ*υ*)2 – ½ m*υ*2 ≈ *mυ*Δ*υ* = *mωR*(*R*Δ*ω*) = *mωR*2Δ*ω*.

4. Приравнивая Δ*A* и *ΔW,* получаем

½ *R2ωQ*Δ*B* = *mωR2*Δ*ω*, откуда Δ*ω* = ½ *Q*Δ*B*/*m*.

5. К моменту, когда индукция магнитного поля достигнет значения *В*0, угловая скорость кольца станет равной

*ω* = ½ *QB*0/*m* **(ответ)**

***Критерии оценивания***

За 1-й пункт – 2 балла

За 2-й пункт – 2 балла

За 3-й пункт – 2 балла

За 4-й пункт – 2 балла

За 5-й пункт – 2 балла

Если задача не решена, но приведены некоторые идеи по существу условия задачи, можно поставить до 2 баллов в качестве поощрения.

**Задача № 5. *Стеклянный шарик и костер***

На каком расстоянии от пучка сухой травы следует держать центр стеклянного шара радиусом *R* = 0,03 м, чтобы сфокусировать солнечные лучи и развести костер? Показатель преломления стекла принять равным *n* = 1,6.

***Возможное решение***

1. Поскольку источник света – Солнце – «бесконечно» далеко, пучок солнечных лучей можно считать параллельным. Покажем на рисунке ход пары лучей. После преломления в шаре они сойдутся в точке А (фокусе), соответственно, на этом расстоянии от пучка сухой травы и следует поместить центр шара (см. рис).

шар и трава

Значит, требуется найти расстояние ОА. Углы  малы. Для таких углов справедливо:   (где угол  выражен в радианах).

Закон преломления на первой границе:  или .

2. Из треугольников ВОС и ОСА видно, что углы равны , и .

Запишем теорему синусов для треугольника ОАС:

, откуда .

3. Учитывая, что , получим:



**Ответ:** 4 см

***Критерии оценивания***

За 1-й пункт – 4 балла

За 2-й пункт – 3 балла

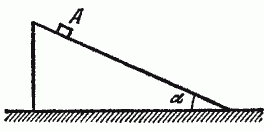
За 3-й пункт – 3 балла

Если задача не решена, но приведены некоторые идеи по существу условия задачи, можно поставить до 2 баллов в качестве поощрения.

**10 класс**

**Задача № 1. *Скользящая наклонная плоскость***

На гладкую наклонную плоскость, которая может двигаться без трения по горизонтали, положили тело А (см. рис.). Какое ускорение необходимо сообщить наклонной плоскости в горизонтальном направлении, чтобы тело А свободно падало вертикально вниз? Плоскость образует с горизонтом угол α.



***Возможное решение***

1. При свободном падении тело А за время t пройдет по вертикали путь

S1 = ½ gt2. За это же время наклонная плоскость должна сместиться по горизонтали на расстояние S2 = ½ *а*t2.

1. Если тело все время соприкасается с наклонной плоскостью, то S2/S1 =ctgα. Следовательно, искомое ускорение равно *a* = g⋅tgα.

3. Если ускорение наклонной плоскости в горизонтальном направлении будет больше g⋅ctgα, то тело будет свободно падать.

**Ответ:**  *a* > g⋅ctgα.

***Критерии оценивания***

За 1-й пункт – 4 балла

За 2-й пункт – 4 балла

За 3-й пункт – 2 балла

Если задача не решена, но приведены некоторые идеи по существу условия задачи, можно поставить до 2 баллов в качестве поощрения.

**Задача № 2. *Водяное кольцо***

По резиновой трубке, свернутой в виде кольца, циркулирует со скоростью *υ* вода. Радиус кольца равен *R*, диаметр трубки *d* << *R*. С какой силой растянута резиновая трубка?

***Возможное решение***

1. Выделим малый элемент трубки длины *R*Δα (cм. рис.). Внутренняя поверхность трубки сообщает жидкости, протекающей по этому элементу, ускорение *a* = *υ2/R*. По третьему закону Ньютона на элемент трубки со стороны жидкости будет

ΔF

T T

Δα

O

действовать сила *ΔF =ma = ρ⋅(πd2*/4)⋅*R*⋅Δα⋅(*υ*2/*R)*,

где *ρ* – плотность воды.

2. Сила Δ*F* уравновешивается силами натяжения кольца *Т*. Из условия равновесия, учитывая, что уголΔα мал, имеем

Δ*F* = 2*Т* ⋅sin(Δα/2) = T Δα

3. Следовательно, растягивающая сила равна

T = *ρ*⋅(π*d*2/4)⋅*υ*2 (ответ)

***Критерии оценивания***

За 1-й пункт – 4 балла

За 2-й пункт – 4 балла

За 3-й пункт – 2 балла

Если задача не решена, но приведены некоторые идеи по существу условия задачи, можно поставить до 2 баллов в качестве поощрения.

**Задача № 3. *Трубка со ртутью***

В запаянной с одного конца стеклянной трубке длиной *l* = 0.9 м находится столбик воздуха, ограниченный сверху столбиком ртути высотой *h* = 30см. Ртуть доходит до верхнего края трубки. Трубку осторожно поворачивают открытым концом вниз, при этом часть ртути выливается. Какова высота оставшегося столбика ртути? Атмосферное давление *Р0* = 100кПа.

***Возможное решение***

1. Условия равновесия ртути в первом и во втором случаях запишутся в виде

*P1S = P0S + m0g*, (а)

*P0S = P2S + mg*, (б)

где *P1* и *P2* - давления воздуха в трубке в первом и во втором случаях; *P0* – атмосферное давление, *m0* и *m*– начальная и конечная массы ртути соответственно.

*m0 = ρgh, m = ρgx,* (в)

где *х* – высота, оставшегося столбика ртути.

2. Поскольку масса воздуха в трубке не изменилась, а процесс будем считать изотермическим, то

*P1V1 = P2V2* откуда *P1(L – h) = P2(L – x).* (г)

3. Подставляя равенства (а), (б) и (в) в (г), получим

*x2 – xL[1 + P0/(ρgL)] + hL[P0/(ρgL) + h/L –1]* = 0.

4. Решениями этого квадратного уравнения являются значения х

*x1,2 = ½ L[1 + P0/(ρgL)]{1 ± [1 – 4h[P0/(ρgL) + h/L –1]/[L(1 + P0/(ρgL))2]]1/2*}.

*x1* = 1,6 м, *x2* = 0.029 м.

Первый корень не удовлетворяет условию *x < h*, поэтому *x* = 2.9 см **(ответ)**

***Критерии оценивания***

За 1-й пункт – 4 балла

За 2-й пункт – 2 балла

За 3-й пункт – 2 балла

За 4-й пункт – 2 балла

Если задача не решена, но приведены некоторые идеи по существу условия задачи, можно поставить до 2 баллов в качестве поощрения.

**Задача № 4. *Тепловой подъемник***

В вертикально расположенном теплоизолированном цилиндре под поршнем массой *m* находится идеальный одноатомный газ. На дне цилиндра расположена нагревательная пластина, полезная мощность которой равна *P*.. Атмосферное давление *p0*, площадь поперечного сечения поршня *S*. Найти скорость, с которой начнет двигаться поршень при включении нагревателя.

***Возможное решение***

1. На поршень сверху действуют сила тяжести *mg* и сила атмосферного давления *p0S*; снизу − сила давления нагреваемого газа *pS*. Если поршень движется с постоянной скоростью, силы уравновешиваются:

*mg* + *p0S = pS*, откуда давление 

2. Согласно первому закону термодинамики, количество теплоты, полученное газом от нагревателя, идет на изменение внутренней энергии газа и совершение им работы *А*: *Q = ΔU + A*.

3. Приняв процесс изобарным, выразим работу: *A = p*Δ*V*. Поскольку для идеального одноатомного газа

*ΔU =* 1,5ν*R*Δ*T* = 1,5 *p*Δ*V*, количество теплоты *Q* = 2,5 *p*Δ*V*.

4. Работа нагревателя Aнагр = *Pt*. Изменение объема газа при нагревании

Δ*V* = *l⋅S* = *Sυ⋅t*.

5. Из закона сохранения энергии Aнагр = *Q,* т.е.

*Pt* = 2,5 *p*Δ*V*; , откуда 2 *Pt = 5υ (mg* + *p0S),* и

 **(ответ)**

***Критерии оценивания***

За 1-й пункт – 2 балла

За 2-й пункт – 2 балла

За 3-й пункт – 2 балла

За 4-й пункт – 2 балла

За 5-й пункт – 2 балла

Если задача не решена, но приведены некоторые идеи по существу условия задачи, можно поставить до 2 баллов в качестве поощрения.

**Задача № 5. *КПД цепи***

В цепи, схема которой показана на рисунке, ЭДС батареи   
 ε = 100 В, ее внутреннее сопротивление *r* = 100 Ом, емкость конденсатора

*С* = 200 мкФ и сопротивление нагревателя *R* = 10 Ом. Ключ К переключаются между контактами 1 и 2 десять раз в 1 с. Когда ключ находится в положении 1, конденсатор полностью заряжается, а при его переброске в положение 2 конденсатор полностью разряжается. Чему равен коэффициент полезного действия цепи? Во сколько раз он выше, чем при непосредственном подключении нагревателя к батарее? Какова средняя мощность электрического тока в нагревателе?

R C

K

1. 1

ε

***Возможное решение***

1. При зарядке конденсатора до напряжения U = ε по цепи проходит заряд

*q* = *C*ε. Источник тока (сторонние силы в источнике) совершает работу

*A = q*ε *= Cε2*.

2. Энергия, запасаемая в электростатическом поле конденсатора *Wk* = ½ *C*ε2, равна половине этой работы. Вторая половина идет на нагревание резистора *R* и самого источника. Энергия *W*1 , выделяющаяся в резисторе, и энергия *W*2, обусловливающая нагрев источника, выражаются соответственно

*W*1 = *I*2*R*Δ*t* и *W*2 = *I*2*r*Δ*t*.

Следовательно, *W1/W2* = *R/r* и *W*1+ *W*2 = ½ *C*ε2.

Отсюда найдем, что в резисторе *R* выделяется энергия

*W*1 = ½ *C*ε2[*R*/(*R + r*)].

3. При разрядке конденсатора в резисторе выделится дополнительно энергия *W*k = ½ *C*ε2. Следовательно, за период колебаний переключателя всего в резисторе выделяется энергия *W* = ½ *C*ε2[*1 +R/(R + r)*].

4. Мощность тока в резисторе равна

*N* = ½ *f* *C*ε2[*1 +R/(R + r)*] ≈ 11 Вт,

где *f* – число переключений в 1с. КПД цепи равен

*η = W/A* = ½ [*1 +R/(R + r)*] ≈ 0,545.

При непосредственном подключении резистора *R* к источнику по цепи будет идти ток *I* = ε/(*R + r*)].

5. При этом мощность тока в резисторе

*I2R* = ε2*R* /(*R + r*)2,

а КПД будет равен *η′*= *R/(R + r)* ≈ 0,09,

т.е. значительно меньше, чем в первом случае.

**Ответ:** *η*  ≈ 0,545 , *η/η′* ≈ 6; *N* ≈ 11 Вт

***Критерии оценивания***

За 1-й пункт – 2 балла

За 2-й пункт – 2 балла

За 3-й пункт – 2 балла

За 4-й пункт – 2 балла

За 5-й пункт – 2 балла

Если задача не решена, но приведены некоторые идеи по существу условия задачи, можно поставить до 2 баллов в качестве поощрения.