Департамент образования и молодежной политики

Ханты-Мансийского автономного округа – Югры

Автономное учреждение дополнительного профессионального образования

Ханты-Мансийского автономного округа – Югры

«Институт развития образования»

**Указания по проведению олимпиады по физике   
муниципального этапа (2-го этапа)   
Всероссийской олимпиады школьников)**

**по физике в 2016/17 учебном году**

**составлено с учетом рекомендаций**

**методической комиссии по физике Всероссийской олимпиады школьников**

**Федерального агентства по образованию**

**составитель: Слинкин С. В., к.ф.-м.н., профессор кафедры общего и дополнительного образования АУ «Институт развития образования»**

**г. Ханты-Мансийск, 2016 г.**

**Содержание**

[Задания, решения и критерии оценивания 3](#_Toc463533839)

[7-ой класс 3](#_Toc463533840)

[Задача 1. Поплавок 3](#_Toc463533841)

[Задача 2. Камень в бочке 3](#_Toc463533842)

[Задача 3. Пружина 4](#_Toc463533843)

[Задача 4. Три автомобиля 5](#_Toc463533844)

[8-ой класс 7](#_Toc463533845)

[Задача 1. Автомобили в пути 7](#_Toc463533846)

[Задача 2. Равновесие стержня 8](#_Toc463533847)

[Задача 3. Тепловой баланс 9](#_Toc463533848)

[Задача 4. Гидростатическое давление 10](#_Toc463533849)

[9-ый класс 11](#_Toc463533850)

[Задача 1. Тающий лед 11](#_Toc463533851)

[Задача 2. Высота падения 12](#_Toc463533852)

[Задача 3. Батарейка 13](#_Toc463533853)

[Задача 4. Разгон и торможение 14](#_Toc463533854)

[Задача 5. Эскалатор 15](#_Toc463533855)

[10-ый класс 17](#_Toc463533856)

[Задача 1. Кузнечик в коробке 17](#_Toc463533857)

[Задача 2. Всплытие шаров 18](#_Toc463533858)

[Задача 3. Электрическая цепь 19](#_Toc463533859)

[Задача 4. Скольжение кубиков 20](#_Toc463533860)

[Задача 5. Шар на нитке 22](#_Toc463533861)

[11-ый класс 24](#_Toc463533862)

[Задача 1. Нить и пружина 24](#_Toc463533863)

[Задача 2. Расширение гелия 25](#_Toc463533864)

[Задача 3. Индукционный ток 26](#_Toc463533865)

[Задача 4. Тепловая машина 28](#_Toc463533866)

[Задача 5. Работа сил 29](#_Toc463533867)

# Задания, решения и критерии оценивания

# 7-ой класс

## Задача 1. Поплавок

Поплавок для рыболовной удочки имеет объём 𝑉 = 5 см3 и массу 𝑚 = 2 г. К поплавку на леске прикреплено свинцовое грузило, и при этом поплавок плавает, погрузившись на половину своего объёма. Найдите массу грузила 𝑀. Плотность воды 𝜌в = 1000 кг/м3, плотность свинца 𝜌с = 11300 кг/м3.

**Решение**: На систему, состоящую из поплавка и грузила, действуют

направленные вниз силы тяжести F1 = 𝑚g (приложена к поплавку) и F2 = 𝑀g (приложена к грузилу), а также направленные вверх силы Архимеда FA = 𝜌вg𝑉/2 (приложена к поплавку) и 𝜌в𝑀g/𝜌с (приложена к грузилу).

В равновесии сумма сил, действующих на систему, равна нулю:

(1)

Отсюда

(2)

**Ответ**: 0,55 г.

|  |  |
| --- | --- |
| *Критерии оценивания:* | |
| **Шаги выполнения задания** | **Число баллов** |
| Составление уравнений для вычисления сил тяжести действующих на поплавок и грузило | 2 |
| Составление уравнения для вычисления силы Архимеда | 2 |
| Определение условия равновесия поплавка и составление уравнения (1) | 4 |
| Вычисление массы грузила и запись ответа | 2 |
| **Сумма баллов:** | **10** |

## Задача 2. Камень в бочке

Масса заполненной до краев бочки с водой равна 250 кг. После того, как в бочку уронили 20-килограммовый камень, масса бочки со всем содержимым стала равной 265 кг. Найти плотность камня. Плотность воды 1000 кг/м3.

**Решение**:

Анализируется условие задачи и делается вывод о том, часть воды массой *m*1 из бочки выплеснулась, при этом

*m*1= (*M*Б + *m*) – *M*БК  (1),

где *M*Б – масса бочки с водой без камня, *m* – масса камня, *M*БК – масса бочки с водой и камнем.

*m*1= (250 + 20) – 265 = 5 кг (2).

Если масса выплеснутой воды m1=5 кг, то объем этой воды *v*1 вычисляется по формуле (3)

(3)

, где 𝜌1 – плотность воды.

Зная массу камня и его объем, находим плотность камня

(4)

(5)

**Ответ**: Плотность камня равна 4000 кг/м3.

|  |  |
| --- | --- |
| *Критерии оценивания:* | |
| **Шаги выполнения задания** | **Число баллов** |
| Составление уравнения для определения массы выплеснутой воды | 2 |
| Вычисление массы выплеснутой воды | 2 |
| Вычисление объема выплеснутой воды | 2 |
| Составление формулы для вычисления плотности камня | 2 |
| Вычисление плотности камня | 2 |
| **Сумма баллов:** | **10** |

## Задача 3. Пружина

Удлинение пружины в двух случаях отличается в 3 раза. В первом случае к пружине подвешен груз, который тянут вниз за нить с некоторой силой F. Во втором случае прикрепленный к пружине груз находится над ней, и его тянут вверх с той же силой F (см. рис. 1). Считая, что удлинение пружины пропорционально приложенной к ней силе (закон Гука), найти, во сколько раз сила F превышает силу тяжести, действующую на груз.

**Решение**: Обозначив жесткость пружины через *k*, можно написать следующую формулу для удлинения пружины Δ*l*1 в первом случае:

*k*Δ*l*1 = Fтяж + F (1),

где Fтяж – сила тяжести, действующая на груз со стороны Земли. Удлинение во втором случае Δ*l*2 находится из равенства

*k*Δ*l*2 = F – Fтяж (2)

Учитывая, что Δ*l*1 = 3Δ*l*2, приходим к соотношению

Fтяж + F = 3(F – Fтяж) (3).

Отсюда находим, что F = 2Fтяж.

**Ответ**: Сила F в 2 раза превышает силу тяжести.

|  |  |
| --- | --- |
| *Критерии оценивания:* | |
| **Шаги выполнения задания** | **Число баллов** |
| Составление уравнения описывающего действие сил на пружину в первом случае (1) | 2 |
| Составление уравнения описывающего действие сил на пружину во втором случае (2) | 2 |
| Учет удлинений пружины в двух случаях и получение соотношения (3) | 4 |
| Вычисление силы F и получение ответа | 2 |
| **Сумма баллов:** | **10** |

## Задача 4. Три автомобиля

Из Ханты-Мансийска в разное время выезжают три автомобиля: первый – со скоростью 60 км/ч, второй – через 1 ч после первого со скоростью 80 км/ч и третий – с некоторым запаздыванием относительно второго со скоростью 100 км/ч. На сколько позднее второго выехал третий автомобиль, если он догнал второй автомобиль в тот момент, когда второй догнал первый?

**Решение**: Анализируется условие задачи, и составляются уравнения движения автомобилей

S = *v*1•*t* (1) (1)

S = *v*2 • (*t – t1)* (2)

S = v3(t – t1 – Δ*t*) (3)

где S – пройденный автомобилем путь.

Из условия равенства пройденного автомобилями пути, получаем два уравнения

*v*1 • *t* = *v*2 • (*t* – *t*1) (4),

*v*3 • (*t* – *t*1 – Δ*t*) = *v*1 • *t* (5),

где *t* – время в пути первого автомобиля, *t*1 – запаздывание второго автомобиля относительно первого, а Δ*t* – запаздывание третьего автомобиля относительно второго, *v*1, *v*2, *v*3 – скорости автомобилей.

Из уравнений (4) и (5) следует, что

(6)

*Примечание: Для удобства решения задачи целесообразно сохранить единицу измерения скорости км/ч, а время измерять в часах.*

Подставим полученное значение *t* в формулу (5) находимΔ*t*

(7)

**Ответ**: Третий автомобиль выехал позднее второго на 0,6 часа.

|  |  |
| --- | --- |
| *Критерии оценивания:* | |
| **Шаги выполнения задания** | **Число баллов** |
| Составление уравнения движения 1-го автомобиля | 1 |
| Составление уравнения движения 2-го автомобиля | 1 |
| Составление уравнения движения 3-го автомобиля | 1 |
| Составление системы уравнений (4) и (5) | 2 |
| Составление уравнений для определения времени движения первого автомобиля и вычисления времени | 2 |
| Составление уравнения для вычисления времени запоздания и вычисление времени запоздания | 3 |
| **Сумма баллов:** | **10** |

# 8-ой класс

## Задача 1. Автомобили в пути

Первый автомобиль прошел половину расстояния между Нефтеюганском и Нижневартовском со скоростью 80 км/ч, а другую половину – со скоростью 120 км/ч. Второй автомобиль, двигаясь между Нефтеюганском и Нижневартовском с постоянной скоростью 100 км/ч, затратил на движение на 6 минут меньше первого. Найти расстояние между городами.

**Решение**: Из условия задачи следует, что первый автомобиль преодолел расстояние между городами за время

(1),

где v1, v2 – скорость первого автомобиля на разных отрезках пути, *L* расстояние между городами.

(2),

где *t*2 – время, за которое второй автомобиль прошел это же расстояние, v – скорость второго автомобиля

Поскольку

(3)

Получим

(4)

*Примечание: при решении задачи целесообразно время перевести в часы* Δ*t* = 6 мин = 0,1 ч.

(5)

*0,2L = 48*  (6)

В итоге находим *L* = 240 км.

**Ответ**: Расстояние между городами равно 240 км.

|  |  |
| --- | --- |
| *Критерии оценивания:* | |
| **Шаги выполнения задания** | **Число баллов** |
| Составление уравнения для определения времени в пути для первого автомобиля (t1) | 2 |
| Составление уравнения для определения времени в пути для второго автомобиля (t2) | 2 |
| Составление уравнения для определения Δt | 2 |
| Составление уравнения (4) | 2 |
| Решение уравнения (4) и получение правильного ответа | 2 |
| **Сумма баллов:** | **10** |

## Задача 2. Равновесие стержня

Тонкий стержень AB массы m уравновешен в точке С : АС = СВ (см. рис. 2). Участок стержня АС согнули посередине под прямым углом. Какой груз нужно подвесить к точке А, чтобы сохранить равновесие?

С

А

В

Рис. 2

**Решение**:

Рис. 3

С

В

А

D

К

F

M1

M2

mr

Условием равновесия стержня относительно оси С, является равенство моментов относительно этой оси

М1=М2 (1),

при этом

(2),

где m – масса стержня

(3)

где mr – искомая масса груза. Здесь учтено, что силы тяжести, действующие на участки стержня, приложены в центрах участков. Поскольку по условию задачи

АС = ВС следовательно CF = DC =AC/2, а KC = AC/4, следовательно

(4)

Решая уравнение (4) находим, что mг = m/8.

**Ответ**: К точке А нужно подвесить груз массы *m*/8.

|  |  |
| --- | --- |
| *Критерии оценивания:* | |
| **Шаги выполнения задания** | **Число баллов** |
| Определение условия равновесия стержня в общем виде | 2 |
| Определение значения момента вращающего стержень по часовой стрелке | 2 |
| Определение значения момента вращающего стержень против часовой стрелки | 3 |
| Составление уравнения (4), определяющего условие равновесия стержня | 2 |
| Решение уравнения и получение правильного ответа | 1 |
| **Сумма баллов:** | **10** |

## Задача 3. Тепловой баланс

Три тела одинаковой массы и одинаковой удельной теплоемкости нагреты до разных температур. Если первое тело привести в тепловой контакт со вторым телом, то устанавливается температура T1. Если первое тело привести в контакт не со вторым, а с третьим телом, то установится температура Т2. Если же в контакт привести второе и третье тела с их первоначальными температурами, то устанавливается температура Т3. Какой будет установившаяся температура, если в тепловой контакт привести все три тела с их первоначальными температурами?

**Решение**: Обозначим начальные температуры первого, второго и третьего тел как *Т*10, *Т*20 и *Т*30. Тогда уравнения теплового баланса для трех указанных в условии опытов можно записать в виде

*cm*(*T*10 – *T*1) + *cm*(*T*20 – *T*1) = 0,

*cm*(*T*10 – *T*2) + *cm*(*T*30 – *T*2) = 0, (1)

*cm*(*T2*0 – *T*3) + *cm*(*T*30 – *T*3) = 0,

Здесь *c* и *m* – удельная теплоемкость и масса любого из тел. Заметим, что уравнения теплового баланса записаны в общем виде, не требующем предварительной информации о том, какое из приведенных в контакт тел отдает тепло, а какое получает. Складывая три уравнения, приходим к соотношению

*Т*10 + *Т*20 + *Т*30 = *Т*1 + *Т*2 + *Т*3 (2).

Уравнение теплового баланса для случая, когда в тепловой контакт приводят все три тела, можно записать в виде

*cm*(*T*10 – ɵ) + *cm*(*T*20 – ɵ) + cm(*T*30 – ɵ) = 0 (3),

где ɵ – искомая установившаяся температура. Из этого уравнения находим, что

(4)

**Ответ**: При тепловом контакте всех трех тел установится температура

(5).

|  |  |
| --- | --- |
| *Критерии оценивания:* | |
| **Шаги выполнения задания** | **Число баллов** |
| Составление уравнения теплового баланса для каждого случая и составление системы уравнений (1) | 3 |
| Решение системы уравнений в общем виде (2) | 2 |
| Составление уравнения теплового баланса для контакта всех тел | 3 |
| Решение уравнения (3) и получение правильного ответа | 2 |
| **Сумма баллов:** | **10** |

## Задача 4. Гидростатическое давление

В сосуды, соединённые трубкой с краном, налита вода (см. рис. 4). Гидростатическое давление в точках 𝐴 и 𝐵 равно 𝑝А = 4 кПа и 𝑝В = 1 кПа соответственно, площади поперечного сечения левого и правого сосудов составляют 𝑆𝐴 = 3 дм2 и 𝑆𝐵 = 6 дм2 соответственно. Какое гидростатическое давление установится в точках 𝐴 и 𝐵, если открыть кран?

Рис. 4

**Решение**: Из условия задачи следует, что гидростатическое давление и масса воды в сосуде (и его частях) связаны между собой следующим образом:

*m* = 𝑝 • *v=* 𝑝 •*S • h* (1)

*P =* 𝑝 •g *• h*  (2)

из (1) и (2)находим, что

(3)

Здесь *m, 𝑝, v –* масса, плотность, объем воды, соответственно;

S, h – площадь поперечного сечения сосуда и высота столба воды в сосуде;

P – гидростатическое давление;

g – ускорение свободного падения.

До открытия крана масса воды в левом сосуде равна m1 = 𝑝𝐴𝑆𝐴/g (4),

в правом сосуде m2 = 𝑝𝐵𝑆В/g (5).

После открытия крана в точках 𝐴 и 𝐵 устанавливается одинаковое гидростатическое давление 𝑝, поэтом суммарная масса воды в сосудах равна 𝑝(𝑆𝐴 + 𝑆𝐵)/g. Поскольку масса воды сохраняется, то 𝑝𝐴𝑆𝐴 + 𝑝𝐵𝑆В = 𝑝(𝑆𝐴 + 𝑆𝐵) (6).

Таким образом,

(7)

**Ответ**: 2 кПа

|  |  |
| --- | --- |
| *Критерии оценивания:* | |
| **Шаги выполнения задания** | **Число баллов** |
| Нахождение взаимосвязи между гидростатическим давлением и массой воды в сосуде | 3 |
| Запись формулы для нахождения массы воды в левом сосуде | 1 |
| Запись формулы для нахождения массы воды в правом сосуде | 1 |
| Использование условия сохранения массы воды и получение уравнения (6) | 3 |
| Получение уравнения для нахождения гидростатического давления при открытом кране и получение правильного ответа | 2 |
| **Сумма баллов:** | **10** |

# 9-ый класс

## Задача 1. Тающий лед

В заполненном до краев сосуде с ртутью плавает кусок льда массы 1,36 кг. Найти объем жидкости, которая перельется через края, когда лед растает? Плотность воды равна 1000 кг/м3, плотность ртути 13600 кг/м3.

**Решение**: В сосуде, очевидно, останется лишь та часть получившейся в результате таяния льда воды, объем которой равен объему погруженной в ртуть части льда (заштрихованный объем на рис. 5). Погруженный объем Vпогр можно найти из условия плавания льда

ртуть

Рис. 5

(1)

(2)

где *m*л – масса льда, а ρрт – плотность ртути. Объем же получившейся изо льда воды, очевидно, V=*m*л/ρВ (3) В итоге для перелившегося через края объема воды Δ*V* получаем выражение

(4)

(5)

где – плотность воды. Подставляя численные данные, находим ΔV = 1,26 л.

(6)

**Ответ**: Через края перельется жидкость объемом 1,26 л.

|  |  |
| --- | --- |
| *Критерии оценивания:* | |
| **Шаги выполнения задания** | **Число баллов** |
| Составление уравнения для условия плавления льда и определения объема погруженной части льда | 2 |
| Составление уравнения для определения объема воды получившейся из льда | 2 |
| Составление уравнений для получения объема воды перелившейся через край | 4 |
| Проведение вычислений и получение правильного ответа | 2 |
| **Сумма баллов:** | **10** |

## Задача 2. Высота падения

Небольшой шарик массой *m* = 20 г падает из состояния покоя на гладкую наклонную плоскость, образующую с горизонтом угол a = 60° . При ударе шарика о плоскость изменение импульса шарика составило Δp = 0,08 кг·м/с. Считая удар абсолютно упругим, найдите высоту *h*, с которой упал шарик. Ускорение свободного падения примите равным *g* =10 м/с2.

**Решение**: Изменение импульса шарика при ударе о наклонную плоскость равно

 (1),

где – импульс шарика непосредственно перед ударом, – его импульс сразу после удара (см. рис. 6). При абсолютно упругом ударе модуль импульса не изменяется, а угол падения равен углу отражения.

Это обеспечивает приведенное на рисунке соотношение углов, где

(2) Рис. 6

Из рисунка видно, что

(3)

Учитывая, что *p*0 = *mv*0 , где *v*0 – скорость шарика перед ударом, находим

(4)

По закону сохранения механической энергии, примененному для свободного падения шарика с высоты *h,* следует, что

(5).

Из записанных выражений получаем



(6)

**Ответ**: 0,8 м.

|  |  |
| --- | --- |
| *Критерии оценивания:* | |
| **Шаги выполнения задания** | **Число баллов** |
| Запись уравнения для изменения импульса шарика в векторной форме | 1 |
| Схематичное изображение изменения импульса шарика при падении на плоскость и запись уравнения в скалярной форме | 3 |
| Запись уравнения для вычисления начальной скорости шарика | 2 |
| Запись закона сохранения энергии для свободного падения шарика | 2 |
| Получение выражения для определения высоты падения шарика, проведение математических вычислений и получение правильного ответа | 2 |
| **Сумма баллов:** | **10** |

## Задача 3. Батарейка

Ученик подключил к батарейке амперметр и вольтметр, соединенные последовательно. При этом вольтметр показал напряжение *U1* = 4 В. Запомнив показания амперметра и вольтметра, ученик подключил параллельно вольтметру второй точно такой же вольтметр и обнаружил, что показания вольтметров стали равными *U2* = 3,5 В. После этого он разобрал цепь и подключил амперметр прямо к полюсам батарейки. Во сколько раз *n* показание амперметра в этом случае отличалось от первоначального?

**Решение**: Обозначим Е – ЭДС батарейки, r – сумму внутренних сопротивлений батарейки и амперметра, а через R – внутреннее сопротивление вольтметра. Согласно закону Ома для замкнутой цепи, сила тока, текущего через источник, в рассматриваемых в задаче случаях равна:

(1),

(2),

(3).

Показания вольтметра в первом и втором случае равны

(4)

(5)

Из этих соотношений следует, что

(6)

Учитывая, что искомое отношение показаний амперметра

(7),

находим, что

(8)

**Ответ**: *n* = 7

|  |  |
| --- | --- |
| *Критерии оценивания:* | |
| **Шаги выполнения задания** | **Число баллов** |
| Запись закона Ома для замкнутой цепи для всех рассматриваемых случаев с поясняющими электрическими схемами | 4 |
| Запись закона Ома для участка цепи при различных подключениях вольтметров | 2 |
| Запись искомого соотношения показаний амперметров в общем виде | 2 |
| Решение полученных уравнений и получение правильного ответа | 2 |
| **Сумма баллов:** | **10** |

## Задача 4. Разгон и торможение

Грузовой автомобиль перемещался на участке пути между Ханты-Мансийском и Сургутом, сначала разгоняясь с постоянным ускорением из состояния покоя, затем двигаясь равномерно на отрезке времени t0=15 мин. и далее замедляясь до остановки с тем же по величине ускорением, что и на участке разгона. Перемещавшийся на том же участке легковой автомобиль не имел отрезка равномерного движения, а его разгон и торможение происходили с такими же, как у грузового автомобиля, ускорениями и длились вдвое дольше, чем у грузового автомобиля. Считая, что начальная и конечная скорости легкового автомобиля были равны нулю, а его максимальная скорость была вдвое больше максимальной скорости грузового автомобиля, найти время движения легкового автомобиля. Задачу решить графическим способом.

**Решение**: При решении кинематических задач, в которых движение тел состоит из участков с постоянным ускорением, рационально использовать графики зависимости скоростей тел от времени. В рассматриваемой задаче построим графики для скоростей грузового и легкового автомобилей (см. рис. 6). На рисунке *Vm* – максимальная скорость грузовика, *t1* – время его разгона, 2*Vm* – максимальная скорость легкового автомобиля

Рис. 6

(для определенности считается, что оба автомобиля начали движение в момент *t* = 0).

Площади под графиками должны быть одинаковыми в силу одинаковости пройденных путей. Следовательно, площадь треугольника с основанием 4*t*1 и высотой 2*Vm* (путь легкового автомобиля) равна площади трапеции с основаниями t0 и 2*t*1+ t0 и высотой *Vm* (путь грузовика), т.е.

(1)

(2)

так как S1=S2=S

(3)

(4)

Отсюда время движения легкового автомобиля равно t0 + t1= 4t0/3 = 20 мин.

*Примечание: Время движения легкового автомобиля можно также найти, приравняв заштрихованные вертикально (опережение легковым автомобилем грузовика) и горизонтально (расстояние, которое грузовик в итоге наверстывает) площади.*

*Существует второй способ решения задачи. На основе составления уравнений, описывающих движение каждого автомобиля на всех участках пути. Совместное решение этих уравнений также приводит к правильному решению задачи. Однако по условию задачи, она должна быть решена графически, иное решение также может быть оценено жюри, но меньшим количеством баллов.*

**Ответ**: Время движения легкового автомобиля равно 20 мин.

|  |  |
| --- | --- |
| *Критерии оценивания:* | |
| **Шаги выполнения задания** | **Число баллов** |
| Анализ задачи и построение графиков движения автомобилей: |  |
| – грузового автомобиля | 3 |
| – легкового автомобиля | 3 |
| Графическое определение пройденных автомобилями путей | 2 |
| Получение математической формулы для определения времени разгона грузовика и вычисление времени движения легкового автомобиля | 2 |
| **Сумма баллов:** | **10** |

## Задача 5. Эскалатор

На станции глубокого заложения в Московском метрополитене длина эскалатора равна 𝐿 = 100 м, угол его наклона к горизонту равен 𝛼 = 22,5∘, а скорость движения составляет 𝑣 = 1,2 м/c. Какова должна быть минимальная мощность электромотора, приводящего в движение эскалатор, чтобы в «час пик», когда эскалатор плотно заполнен людьми, этот мотор мог справиться с нагрузкой при движении вверх? Считать, что люди в среднем имеют массу 𝑚 = 70 кг и располагаются в два ряда на среднем расстоянии друг от друга (по горизонтали) 𝑙 = 50 см, а КПД механической части эскалатора равен 𝜂 = 0,7.

L

**Решение**: Из условия задачи следует, что число ступенек на эскалаторе k

всего на эскалаторе в «час пик» помещается число людей

Рис. 7

общей массой 𝑀 = 𝑛𝑚 и весом 𝑃 = 𝑛𝑚g. Эскалатор должен двигать людей с вертикальной скоростью 𝑢 = 𝑣 sin 𝛼. Таким образом, полезная механическая мощность эскалатора равна 𝑁 = 𝑃𝑢, а минимальная мощность электромотора с учётом КПД механической части эскалатора равна

**Ответ**: 168 кВт

|  |  |
| --- | --- |
| *Критерии оценивания:* | |
| **Шаги выполнения задания** | **Число баллов** |
| Анализ условия задачи, построение поясняющего рисунка | 2 |
| Определение максимального числа людей помещающихся на эскалаторе в «час пик» | 2 |
| Определение максимальной массы и веса людей | 2 |
| Определение полезной механической мощности эскалатора | 2 |
| Определение минимальной мощности эскалатора с учетом КПД и получение численного ответа | 2 |
| **Сумма баллов:** | **10** |

# 10-ый класс

## Задача 1. Кузнечик в коробке

В открытой прямоугольной коробке сидит кузнечик, который умеет прыгать с начальной скоростью 𝑉0 = 3 м/с под любым углом к горизонту. На какой минимальный угол к горизонту нужно наклонить коробку, чтобы кузнечик смог из неё выпрыгнуть? Считать, что каждая грань коробки является квадратом со стороной ℎ = 52 см. Ускорение свободного падения g = 10 м/с2. Сопротивлением воздуха пренебречь.

Рис. 8

**Решение**: Выберем координатные оси 𝑋 и 𝑌 , как показано на рисунке. Тогда в момент 𝑡n преодоления кузнечиком края коробки проекция его скорости на ось 𝑌 должна быть равна нулю, а координата 𝑦 = *h*, и можно записать следующие соотношения:

𝑉𝑜𝑦 + 𝑎𝑦𝑡n = 0; (1)

(2)

РРис. 9

где *ay* = – g*cos* и – проекции векторов ускорения и начальной скорости кузнечика на оси Y. Отсюда

(3)

При фиксированных значениях угла и начальной скорости V0 максимальная высота подъёма над дном коробки достигается при V0y = V0, то есть кузнечику следует прыгать перпендикулярно дну коробки. При этом

(4)

(5)

Вдоль оси 𝑋 кузнечик за время 𝑡n сместится на расстояние

(6)

Отсюда

(7)

**Ответ:** таким образом, *h*>*l* размеры дна коробки достаточно велики для того, чтобы кузнечик мог стартовать на нужном удалении от стенки и минимальный угол наклона коробки, для того чтобы он выпрыгнул равен 300.

|  |  |
| --- | --- |
| *Критерии оценивания:* | |
| **Шаги выполнения задания** | **Число баллов** |
| На основе анализа условия задачи делается чертеж, и рационально выбираются координатные оси | 2 |
| Составляется система уравнений, связывающая скорость кузнечика с высотой коробки | 2 |
| Решается система уравнений (1) и (2) и вычисляется минимальный угол наклона коробки | 3 |
| Производится оценка достаточности размеров коробки для того, чтобы кузнечик мог выпрыгнуть при этом угле наклона. Производится расчет по уравнениям (6) и (7) | 3 |
| **Сумма баллов:** | **10** |

## Задача 2. Всплытие шаров

С какой скоростью будут всплывать в вязкой жидкости два шара одинакового радиуса, связанные длинной нитью, если более легкий шар всплывает в ней со скоростью V0, а более тяжелый имеет нулевую плавучесть (может находиться в этой жидкости в безразличном равновесии)? Считать, что сила сопротивления пропорциональна скорости шара.

**Решение**:

Обозначим силу Архимеда, действующую на любой из шаров (размеры шаров одинаковы) как *F*А. Тогда для более легкого шара, всплывающего со скоростью V0, можно написать

*m*1*g* + *kV*0 = *F*А (1)

где m1 – масса легкого шара, а сила сопротивления, направленная вниз (против движения), записана в виде *kV*0.

Для связанных нитью шаров можно записать аналогичное соотношение в виде

*m1g + kV + m2g + kV = 2FА* (2)

В этой формуле m2 – масса более тяжелого шара, V – скорость их всплывания и учтено, что силы сопротивления, действующие на шары, одинаковы. Поскольку более тяжелый шар может находиться в равновесии, будучи полностью погруженным в жидкость, то

*m2g = FА* (3).

С учетом этого можно записать

*m1g + kV0 = m1g + 2kV,*

откуда получаем V = V0/2.

**Ответ:** Шары будут всплывать со скоростью V0/2.

|  |  |
| --- | --- |
| *Критерии оценивания:* | |
| **Шаги выполнения задания** | **Число баллов** |
| Анализ условия задачи и определение сил действующих на шары в жидкости | 2 |
| Составление уравнения связывающего между собой силы, действующие на легкий шар | 2 |
| Составление аналогичного уравнения для связанных между собой шаров | 2 |
| Запись уравнения определяющего условие равновесия тяжелого шара в жидкости | 2 |
| Решение уравнения (2) с учетом уравнения (3) и получение правильного ответа | 2 |
| **Сумма баллов:** | **10** |

## Задача 3. Электрическая цепь



В цепи, представленной на рисунке 10, сопротивления R одинаковы и равны 1 кОм, сопротивления амперметров пренебрежимо малы, напряжение U на зажимах 140 В. Найти показания амперметров.

**Решение**: Найдем вначале токи проходящие через резисторы. При расчете этих токов амперметры можно заменить проводниками с нулевым сопротивлением.

Рис. 10

Средний резистор нижней ветви шунтируется амперметром А1, т.е. ток через него не идет.

Поэтому электрическую схему можно перерисовать так, как показано на рисунке 11.

Выразим токи прохождения через резисторы через ток *I*0, идущий от источника. Поскольку напряжения на двух резисторах в левом верхнем участке цепи и на левом нижнем резисторе одинаковы, ток через нижний левый резистор составит 2*I*0/3, а через левые верхние резисторы будет I0/3. Рассуждая аналогично для правой части цепи, находим, что ток через правый верхний и правый нижний резисторы равны *I*0/2. Подводимое напряжение *U* = 140 В можно представить как сумму напряжений, например, на двух последовательных верхних участках

Рис. 11

(1)

или

(2)

откуда I0 = 120 мА и, следовательно, определяются токи через все резисторы. Рассматривая баланс токов для узлов цепи, находим теперь токи через амперметры. Как следует из рис. 11, амперметр А1 покажет ток 2*I*0/3 = 80 мА, а амперметр А2 покажет ток

2*I*0/3 − *I*0/2 = 20 мА. (3)

**Ответ**: Амперметры А1 и А2 будут показывать токи 80 мA и 20 мА соответственно.

|  |  |
| --- | --- |
| *Критерии оценивания:* | |
| **Шаги выполнения задания** | **Число баллов** |
| Анализ схемы, учитывающий, что сопротивление амперметров пренебрежительно мало | 2 |
| Определение токов, текущих на разных участках цепи, через I0 | 2 |
| Применение закона Ома для участка цепи и вычисление силы тока во всей цепи I0 | 3 |
| Использование правила баланса токов для узлов цепи и определение токов через амперметры | 3 |
| **Сумма баллов:** | **10** |

## Задача 4. Скольжение кубиков

Доска длины L с шероховатой верхней плоскостью покоится на гладком горизонтальном столе. С концов доски во встречных направлениях одновременно толкают два одинаковых кубика с отличающимися в три раза начальными скоростями (см. рис. 12). Абсолютно неупругое соударение кубиков происходит в момент остановки одного из них. В каком месте доски прекратится скольжение по ней кубиков, если масса доски вдвое больше массы кубика?

Рис. 12

**Решение**: Поскольку массы кубиков и коэффициенты трения между ними и доской одинаковы, то одинаковыми по величине (но противоположными по направлению) будут и силы трения, действующие на кубики со стороны доски. Следовательно, ускорения кубиков будут равны по величине, и за то время, за которое один (более медленный) кубик изменит свою скорость от некоторого начального значения V0 до нуля, другой (более быстрый) замедлится от 3V0 до 2V0. Действительно:

(1)

(2)

где *v*1 и *v*2 – скорости первого и второго кубика в момент столкновения; *v*0 – начальная скорость первого кубика; *a, t* – ускорение и время движения кубиков до столкновения. Из формул (1) и (2) следует, что

(3)

Нетрудно понять, что вплоть до столкновения кубиков доска будет неподвижна (на нее будут действовать равные по модулю и противоположные по направлению силы трения со стороны кубиков). Суммарный путь, пройденный кубиками по доске до момента столкновения, очевидно, равен длине доски L.

Из соотношения *v*2-*v*02=2*aS* (4)

где *v*, *v*0 – конечная и начальная скорость движения тела, *а, S* – ускорение и пройденный телом путь. Можно получить, что

S2=5S1 (5)

где S1 и S2 – путь пройденный кубиками до столкновения.

При этом пройденный более медленным кубиком путь в пять раз меньше пути, пройденного более быстрым.

С учетом того, что S1+S2=L, где L – длина доски более медленный кубик прошел по доске путь L/6, а более быстрый 5L/6.

Согласно закону сохранения импульса импульс кубиков до столкновения равен импульсу кубиков после столкновения

(6)

после столкновения скорость слипшихся кубиков будет равна V0 и направлена к ближнему концу доски, отстоящему на L/6 от места столкновения. После столкновения слипшиеся кубики будут замедляться с тем же ускорением, что и до удара, а доска будет разгоняться с таким же ускорением (ее масса равна массе слипшихся кубиков). Скольжение кубиков прекратится, когда выровняются скорости доски и кубиков относительно земли. В силу одинаковости ускорений конечная скорость доски с кубиками будет равна V0/2. Доска, двигаясь с тем же ускорением, что и кубики до соударения, пройдет путь, который можно вычислить по формуле V02/(4·2a), что в 4 раза меньше пути V02/(2a)=L/6, пройденного более медленным кубиком от момента начала движения до соударения. Таким образом, скольжение кубиков по доске прекращается, когда доска пройдет расстояние L/24. Слипшиеся кубики пройдут в том же направлении относительно земли путь

Следовательно, кубики остановятся на расстоянии

от левого (на рис. 12) края доски.

*Примечание: Расстояние d от края доски, на котором остановятся слипшиеся кубики, можно также найти из формулы*

*где aотн – ускорение слипшихся кубиков относительно доски. В приведенной формуле учтено, что начальная скорость слипшихся кубиков относительно доски равна V0, а конечная (скольжение прекращается) равна нулю. Поскольку ускорения доски и кубиков относительно земли одинаковы и противоположны, то aотн в 2 раза больше ускорения доски (и слипшихся кубиков) относительно земли. В результате получаем*

**Ответ**: Скольжение кубиков по доске прекратится на расстоянии L/12 от ее левого (на рис. 12) конца.

|  |  |
| --- | --- |
| *Критерии оценивания:* | |
| **Шаги выполнения задания** | **Число баллов** |
| Анализ условия задачи и определение скорости второго кубика в момент столкновения | 2 |
| Запись уравнения и определения расстояний, пройденных кубиками до столкновения | 2 |
| Запись закона сохранения импульса для системы состоящей из двух тел и вычисление скорости движения кубиков после столкновения | 2 |
| Определение пути пройденного доской | 2 |
| Определение пути пройденного кубиками после столкновения и нахождение правильного ответа | 2 |
| **Сумма баллов:** | **10** |

## Задача 5. Шар на нитке

Горизонтально расположенный цилиндрический сосуд с теплопроводящими стенками, заполненный аргоном плотностью 𝜌 = 1,7 кг/м3, закрыт подвижным поршнем и находится в комнате. Площадь поршня равна 𝑆 = 400 см2, расстояние от левого края цилиндра до поршня равно *h* = 50 см (см. риc. 13). В сосуде ко дну на нити прикреплён шар объёмом 𝑉ш = 1000 см3, сделанный из тонкого нерастяжимого и теплопроводящего материала и заполненный гелием; масса шара с гелием равна 𝑚 = 1,2 г.

Рис. 13

После того, как протопили печь, и воздух в комнате прогрелся, поршень переместился вправо на расстояние *h* = 3 см. Найдите изменение 𝑁 силы натяжения нити, удерживающей шар. Ускорение свободного падения g = 10 м/c2.

**Решение**: При передвижении поршня объём аргона изменился со значения 𝑉 = 𝑆*h* − 𝑉ш до значения 𝑉 + 𝑆*h*, увеличившись в   
раз (1).

В такое же количество раз уменьшилась плотность аргона – в конце процесса она равна

(2)

Следовательно, выталкивающая сила, действующая на шар, уменьшилась на величину

(3)

На такую же величину уменьшилась и сила натяжения нити, удерживающей шар. Поэтому изменение этой силы равно

(4)

если только оно не превышает по величине начальной силы натяжения нити, то есть если шар в конце нагревания не ляжет на дно цилиндра. Проверим это: вначале сила натяжения нити *N* была равна разности силы Архимеда и веса шара с гелием:

(5)

Значит, нить в конце останется натянутой, и наш ответ справедлив.

**Ответ**: изменение силы в натяжения нити

|  |  |
| --- | --- |
| *Критерии оценивания:* | |
| **Шаги выполнения задания** | **Число баллов** |
| Анализ условия задачи и определение во сколько раз изменился объем газа в поршне | 2 |
| Определение величины изменения плотности аргона в поршне | 2 |
| Определение величины изменения выталкивающей силы действующей на шар | 2 |
| Определение величины изменения силы натяжения нити, удерживающей шар | 2 |
| Проверка того продолжает ли нить быть натянутой (насколько велики изменения выталкивающей силы) | 2 |
| **Сумма баллов:** | **10** |

# 11-ый класс

## Задача 1. Нить и пружина

Груз массы m, подвешенный к потолку с помощью нити и пружины жесткости k (см. рис. 14), смещают вниз от положения равновесия на х0=2mg/k и освобождают (g – ускорение свободного падения). Какой путь пройдет груз при его первом движении вверх? Считать, что нить достаточно длинная, так что груз не наталкивается на пружину.

**Решение**: Если бы груз был непосредственно скреплен с пружиной (без нити), то после освобождения он начал бы совершать гармонические колебания около положения равновесия с амплитудой *x*A=2*mg/k*, равной начальному смещению от положения равновесия. При этом в нижнем положении деформация растяжения пружины была бы *x*1=3*mg/k*, а в верхнем – пружина была бы сжата, и ее деформация равнялась бы *x*2=*mg/k*. Поскольку груз прикреплен к пружине через нить и, по условию, не наталкивается на пружину, то при его движении вверх пружина от растянутого состояния в некоторый момент перейдет в недеформированное состояние и далее сжиматься не будет. С этого момента нить будет не

Рис.14

натянута, и груз продолжит свое движение до высшей точки, находясь только под действием силы тяжести. Найти путь груза при его первом движении вверх легче всего из закона сохранения механической энергии. Поскольку в начальном положении, когда груз смещен вниз, и в верхнем положении кинетическая энергия груза равна нулю, закон сохранения механической энергии системы, написанный для этих крайних положений, сводится к сохранению потенциальной энергии.

(1)

(2)

П1=П2 (3)

Здесь П1, П2 – потенциальная энергия груза в двух крайних положениях.

Если отсчитывать высоту от нижнего положения груза, то сохранение потенциальной энергии системы запишется в виде

(4)

где *l* − путь груза при его первом движении вверх и, значит, его высота над нижним нулевым уровнем. Таким образом, *l* = 9*mg*/2*k*.

*Примечание: Ответ не изменится, если изменить нулевой уровень отсчета потенциальной энергии груза в поле тяжести. Однако для потенциальной энергии пружины формула Ep = kx*2/2 *оказывается верной лишь в случае, когда х (смещение конца пружины) отсчитывается от недеформированного положения.*

**Ответ**: При первом движении вверх (до максимальной высоты) груз проходит путь   
  
.

|  |  |
| --- | --- |
| *Критерии оценивания:* | |
| **Шаги выполнения задания** | **Число баллов** |
| Анализ условия задачи и определение амплитуды колебаний груза в случае гармонических колебаний | 2 |
| Использование закона сохранения энергии для определения величины энергии в начальном и верхнем положении груза | 4 |
| Использование закона сохранения энергии для определения пути груза при первом движении вверх | 3 |
| Вычисление пройденного пути *l* (в общем виде) и получение правильного ответа | 1 |
| **Сумма баллов:** | **10** |

## Задача 2. Расширение гелия

Расположенный горизонтально цилиндрический сосуд заполнен гелием и разделен на две равные части закрепленным массивным поршнем. В частях сосуда находятся один и два моля газа при одинаковой температуре. После освобождения поршень начинает скользить без трения по стенкам цилиндра. Найти отношение объемов частей сосуда в момент, когда поршень достигнет максимальной скорости. Считать, что изменение параметров газа в каждой части сосуда происходит по адиабатическому закону pV5/3 = const.

**Решение**: Предположим, что в левой половине цилиндра находятся два моля, а в правой половине – один моль (см. рис. 15). Поскольку начальные температуры частей газа одинаковы, из уравнения Клапейрона-Менделеева находим, что начальное давление в левом отсеке р01 вдвое больше начального давления р02 в правом.

(1)

Рис. 15

(2)

(3)

Здесь р01, р02, v0, T – начальные давления, объемы и температуры газов в части сосудов; , – количество молей газа в частях сосудов; R – газовая постоянная.

После освобождения поршень начнет скользить в сторону отсека с меньшим давлением. Разгон будет продолжаться до тех пор, пока не выравняются давления по обе стороны от поршня. Учитывая приведенную в условии задачи адиабатическую связь p и V, можно написать

(4)

(5)

Здесь V01 = V02 − начальные объемы гелия по обе стороны от поршня, р − конечное давление (одинаковое по обе стороны в момент достижения поршнем максимальной скорости), V1 и V2 − объемы газа слева и справа от поршня в искомый момент. Поделив равенство (4) на равенство (5), находим

(6)

т.е. отношение большего объема (где находятся два моля) к меньшему (где находится один моль) в момент достижения поршнем максимальной скорости равно 23/5 ≈ 1,52

**Ответ**: Отношение большего объема к меньшему равно 23/5.

|  |  |
| --- | --- |
| *Критерии оценивания:* | |
| **Шаги выполнения задания** | **Число баллов** |
| Анализ условия задачи и использование закона Клапейрона-Менделеева для нахождения соотношения первоначальных давлений | 4 |
| Использование закона адиабатического расширения газа для получения связи между первоначальными давлениями газа и конечными объемами газа в сосудах | 4 |
| Получение конечной формулы для вычисления отношения объемов и запись правильного ответа задачи | 2 |
| **Сумма баллов:** | **10** |

## Задача 3. Индукционный ток

Проволочная рамка охватывает катушку, подключенную к батарее через реостат с полным сопротивлением R. Когда сопротивление реостата уменьшили от R до 2R/3, по рамке прошел заряд q. Какой заряд пройдет по рамке, если сопротивление реостата уменьшить от 2R/3 до R/3? Сопротивлением катушки, батареи и подводящих проводов пренебречь.

**Решение:** Значение магнитного поля в катушке пропорционально силе тока в цепи, куда катушка включена последовательно. При перемещении движка реостата меняются сила тока в цепи, магнитное поле в катушке и магнитный поток через рамку. Из-за изменения магнитного потока через рамку в ней наводится ЭДС и возникает электрический ток.

Рис. 16

Силу тока в цепи (и катушке) находим из закона Ома. При уменьшении сопротивления реостата от R до 2R/3 ток увеличится от E/R до 3E/(2R), а при дальнейшем уменьшении от 2R/3 до R/3 ток увеличится от 3E/(2R) до 3E/R.

Пусть k – коэффициент пропорциональности между магнитным потоком через рамку и током в цепи (катушке). Тогда

(1)

где Φ1, Φ2, Φ3 – магнитные потоки, пронизывающие рамку при сопротивлениях реостата, равных R, 2R/3, R/3 соответственно.

По закону Фарадея возникающая в рамке ЭДС индукции Еинд, равна скорости изменения во времени магнитного потока, пронизывающего рамку:

(2)

Возникающий в рамке индукционный ток равен

(3)

где Rpам – сопротивление рамки. Учитывая, что Iинд = q, где q – заряд, протекающий по рамке за малый промежуток t, получаем из (1) соотношение

(4)

Поскольку данное соотношение справедливо для любого малого промежутка *t*, то оно верно и для конечных промежутков времени и конечных изменений потока. Следовательно, при изменении потока от Φ1 до Φ2, через рамку пройдет заряд

(5)

Аналогично, заряд q′, который протечет через рамку при изменении сопротивления реостата от 2R/3 до R/3, будет равен

(6)

*Примечание: На величину индукционного тока в рамке влияет не только ЭДС, возникающая из-за изменения во времени внешнего магнитного потока, но и ЭДС самоиндукции, возникающая из-за изменения собственного магнитного потока, создаваемого током в рамке. Однако на величине заряда, проходящего по рамке, явление самоиндукции не сказывается.*

**Ответ**: По рамке пройдет заряд равный 3q.

|  |  |
| --- | --- |
| *Критерии оценивания:* | |
| **Шаги выполнения задания** | **Число баллов** |
| Анализ условия задачи и получение выражений для определения силы тока в цепи на основе закона Ома | 2 |
| Получение выражений для определения магнитного потока при различных токах в цепи | 2 |
| Использование закона Фарадея для определения ЭДС индукции в рамке | 2 |
| Использование закона Фарадея для определения величины индукционного тока в рамке | 2 |
| Получение формулы для расчета величины заряда прошедшего через рамку и расчет величины заряда | 2 |
| **Сумма баллов:** | **10** |

## Задача 4. Тепловая машина

Цикл тепловой машины состоит из двух изобар и двух изотерм, при этом работа при изобарическом расширении такая же, как и при изотермическом. Найдите КПД такого цикла, если рабочим веществом является гелий, а максимальная температура в процессе вдвое больше минимальной.

**Решение**: Изобразим цикл тепловой машины на термодинамической диаграмме в

𝑝𝑉 -координатах (см. рисунок 17): 1–2 и 3–4 – изобары, 2–3 и 4–1 — изотермы. КПД цикла равен отношению совершённой в цикле работы к полученному на участке 1–2–3 количеству теплоты.

РРассчитаем работу на различных участках цикла. Обозначим работу на участке 1–2 через 𝐴12 = 𝐴; тогда по условию для участка 2–3 имеем 𝐴23 = 𝐴. Для расчёта работы на участке 3–4 учтём, что в силу условия задачи 𝑇2 = 𝑇3 = 𝑇max, 𝑇1 = 𝑇4 = 𝑇min, 𝑇3 = 2𝑇4,

Рис. 17

𝑝1 = 𝑝2, 𝑝3 = 𝑝4. Поэтому 𝑉3 = (𝑇3/𝑇4)𝑉4 = 2𝑉4, 𝑉2 = (𝑇2/𝑇1)𝑉1 = 2𝑉1, 𝑝1𝑉1 = 𝑝4𝑉4;

отсюда

𝐴34 = −𝑝4(𝑉3 − 𝑉4) = −𝑝4𝑉4 = −𝑝1𝑉1 = −𝑝1(𝑉2 − 𝑉1) = −𝐴.

Для расчёта работы на участке 4–1 заметим, что кривая 1–4 получается из кривой 2–3 сжатием в два раза вдоль оси *V* , поэтому площади под кривыми 1–4 и 2–3 отличаются в два раза: *А*41 = −*А*/2. Суммарная работа в цикле, таким образом, равна

𝐴Σ = 𝐴12 + 𝐴23 + 𝐴34 + 𝐴41 = 𝐴 + 𝐴 − 𝐴 –𝐴/2 = 𝐴/2 . (1)

Рассчитаем полученные газом количества теплоты на участках 1–2 и 2–3. Сообщаемое газу количество теплоты идёт на изменение его внутренней энергии, которая для одноатомного гелия равна

(2)

, и на совершение работы:

, Q23=A. (3)

Суммарное количество теплоты, полученное на участке 1–2–3, равно

(4)

Следовательно, КПД цикла равен

(5)

**Ответ**: КПД цикла равен 0,14 или 14%

|  |  |
| --- | --- |
| *Критерии оценивания:* | |
| **Шаги выполнения задания** | **Число баллов** |
| Построение цикла тепловой машины на термодинамической диаграмме в pv-координатах | 2 |
| Расчет работы на участках цикла | 2 |
| Вычисление суммарной работы в цикле. | 2 |
| Расчет полученной газом количества теплоты на всех отдельных участках цикла | 2 |
| Расчет суммарного количества теплоты и вычисление КПД цикла | 2 |
| **Сумма баллов:** | **10** |

## Задача 5. Работа сил

На гладком горизонтальном столе находится дощечка массы m, на которую положен брусок той же массы. Коэффициент трения бруска о дощечку равен μ. В момент t = 0 к бруску и дощечке прикладывают противоположно направленные силы μmg/2 и μmg (см. рис. 18). Найти работу силы μmg/2 и силы μmg за время t.

Рис. 18

**Решение**: Предположим, что проскальзывание бруска по дощечке отсутствует. Тогда брусок и дощечку можно рассматривать как одно тело массы 2m. Запишем для этого тела 2-й закон Ньютона в проекции на направленную вправо ось x

(1)

Отсюда находим ускорение

(2)

Теперь проверим правильность предположения о совместном движении бруска и дощечки. Для этого из уравнения 2-го закона Ньютона для бруска (или дощечки) необходимо найти силу трения Fтр и проверить, не превосходит ли она максимально возможное значение μmg. Если значение Fтр, которая «обеспечивает» совместность движения бруска и дощечки, окажется меньше максимального значения μmg, то брусок и дощечка действительно движутся вместе, и ускорение тел найдено верно. В противном случае, сделанное предположение неверно. Из 2-го закона Ньютона, например, для бруска в проекции ось x имеем

(3)

где, как найдено выше, ускорение равно μg/4. Отсюда получаем, что Fтр = 3μmg/4 < μmg, что свидетельствует о справедливости сделанного предположения об отсутствии проскальзывания. Значит, правильно и найденное значение ускорения. Таким образом, дощечка и брусок движутся вместе вправо с ускорением μg/4. За время t каждое из тел пройдет путь, равный S=μgt2/8. Поскольку начальная скорость системы равна 0, то, пройденный путь S равен

(4)

Работа силы μmg, которая сонаправлена с перемещением, будет равна

(5),

а работа силы μmg/2, которая противоположна перемещению, окажется отрицательной и равной

(6).

**Ответ**: Работы сил μmg/2 и μmg равны соответственно

|  |  |
| --- | --- |
| *Критерии оценивания:* | |
| **Шаги выполнения задания** | **Число баллов** |
| Предположение об отсутствии проскальзывания бруска и запись второго закона Ньютона в скалярной форме | 2 |
| Проверка правильности предположения об отсутствии проскальзывания и сравнение величин силы трения с силой вызывающей движение бруска | 3 |
| Определение пройденного бруском пути | 1 |
| Определение работы силы, приложенной к бруску | 2 |
| Определение работы силы, приложенной к бруску и дощечке и запись правильного ответа | 2 |
| **Сумма баллов:** | **10** |