

Выездная физико-математическая олимпиада МФТИ
2023-2024 уч. года
Физика

Задания, решения, критерии оценивания

Общие указания по проведению

Время для решения заданий по физике каждого класса — 2 часа.

Черновики не проверяются.

В вариант включаются 4 задачи из 5. Допустимые наборы задач указаны в заголовке для каждого класса по отдельности.

Каждая задача включается в вариант с одним из двух вариантов числовых данных.

Каждая задача по физике оценивается целым числом баллов от 0 до 10.

Максимальное число баллов за олимпиаду 40.

Общие принципы выставления оценки по математике:

- правильное решение — 10 баллов;
- решение с недочетами — 7-9 баллов;
- решение с пропущенными важными частями — 3-5 баллов;

Во всех задачах, если это не оговорено специально, только верный ответ без обоснований стоит 0 баллов.

Во время написания олимпиады допускается использование непрограммируемого калькулятора. Использование прочих электронно-вычислительных средств не допускается.

В вариант обязательно включаются задачи Ф9.1, Ф9.2, Ф9.4

Ф9.1-1 Игрушка-неваляшка представляет собой сферу массой $M = 100$ г с маленьким грузом массой $m = 141$ г, прикреплённым к стенке сферы. К неваляшке прикреплена нить на диаметрально противоположной грузу точке сферы. Нить прикрепляют к столу так, что она оказывается натянутой, а диаметр, соединяющий точку крепления нити и груз, — горизонтальным. Найдите силу натяжения нити, если она в $\sqrt{2}$ раз длиннее радиуса сферы.

Ф9.1-2 Игрушка-неваляшка представляет собой сферу массой $M = 300$ г с маленьким грузом массой $m = 283$ г, прикреплённым к стенке сферы. К неваляшке прикреплена нить на диаметрально противоположной грузу точке сферы. Нить прикрепляют к столу так, что она оказывается натянутой, а диаметр, соединяющий точку крепления нити и груз, — горизонтальным. Найдите силу натяжения нити, если она в $\sqrt{2}$ раз длиннее радиуса сферы.

Ответ. Вариант 1: $T = 1$ Н; вариант 2: $T = 2$ Н.

Решение: Поскольку нить в $\sqrt{2}$ раз больше радиуса сферы, её длина равна расстоянию от точки прикрепления нити к сфере до точки касания сферы со столом. Поскольку расстояние от точки прикрепления нити к сфере до стола равно радиусу сферы, треугольник, образованный нитью и точкой касания сферы к столу прямоугольный. С учётом этого факта запишем правило моментов относительно точки касания сферой стола:

$$T\sqrt{2}R = mgR.$$

Отсюда, $T = mg/\sqrt{2}$. Как видно, масса сферы не оказывает влияние на ответ.

Ф9.2-1 Пассажир поезда Москва-Воронеж от скуки ходит вперед-назад по вагону. В одну сторону скорость его движения относительно рельс составляет $v = 32$ м/с, а в обратную сторону $v' = 30$ м/с. Длина вагона равна 13 м. За время наблюдения пассажир прошёл туда-обратно 3 раза. Какое расстояние прошёл поезд за это время?

Ф9.2-2 Пассажир поезда Москва-Воронеж от скуки ходит вперед-назад по вагону. В одну сторону скорость его движения относительно рельс составляет $v = 39$ м/с, а в обратную сторону $v' = 43$ м/с. Длина вагона равна 15 м. За время наблюдения пассажир прошёл туда-обратно 3 раза. Какое расстояние прошёл поезд за это время?

Ответ. Вариант 1: $S = 1209$ м, вариант 2: $922,5$ м.

Решение. Скорость пассажира относительно рельс можно выразить как $v_{п.р.} = v_{ваг.} \pm v_{п.в.}$, где $v_{ваг.}$ — скорость вагона относительно рельс, $v_{п.в.}$ — скорость пассажира относительно вагона, а знаки плюс и минус соответствуют разному направлению движения пассажира. Отсюда $v_{п.в.} = (v' - v)/2$. В то же время скорость $v_{ваг.} = (v' + v)/2$. Отношение пройденных путей равно отношению скоростей движения, значит, поезд прошёл

$$S = 3L \frac{v_{ваг.}}{v_{п.в.}} = 3L \frac{v' + v}{v' - v}.$$

Ф9.3-1 Официант Семён заметил, что если насыпать в чайник доверху мутный лёд, содержащий в себе пузырьки воздуха, то чайник закипит через $t_1 = 2$ минуты, а если чистый и прозрачный, то через $t_2 = 2,5$ минуты. Найдите долю воздуха в объеме мутного льда. Считайте что мощность чайника остаётся постоянной.

Ф9.3-2 Официант Семён заметил, что если насыпать в чайник доверху мутный лёд, содержащий в себе пузырьки воздуха, то чайник закипит через $t_1 = 5$ минут, а если чистый прозрачный, то через $t_2 = 6$ минут. Найдите долю воздуха в объеме мутного льда. Считайте что мощность чайника остаётся постоянной.

Ответ. Вариант 1: $\alpha = 0,2$; вариант 2: $\alpha = 0,17$.

Решение. Запишем уравнение теплового баланса для льда и воды в обоих случаях:

$$m_{\text{л.}}(C_{\text{л.}}\Delta T_{\text{до пл.}} + C_{\text{в.}}\Delta T_{\text{после пл.}} + \lambda) = Nt_1;$$

$$m'_{\text{л.}}(C_{\text{л.}}\Delta T_{\text{до пл.}} + C_{\text{в.}}\Delta T_{\text{после пл.}} + \lambda) = Nt_2.$$

Учитывая, что $m_{\text{л.}} = (1 - \alpha)m'_{\text{л.}}$, где α — искомая объемная доля воздуха, а также разделив одно на другое, получим $\alpha = 1 - t_1/t_2$.

Ф9.4-1 Из провода, сопротивление которого на единицу длины равно $\rho = 3$ Ом/см, собрали остроугольный треугольник ABC с высотой BD , причем в каждой вершине есть контакт, а ток по высоте BD не течёт. Найдите сопротивление схемы между точками A и C , если длина стороны $AB = 5$ см, а высота равна $BD = 4$ см.

Ф9.4-2 Из провода, сопротивление которого на единицу длины равно $\rho = 2$ Ом/см, собрали остроугольный треугольник ABC с высотой BD , причем в каждой вершине есть контакт, а ток по высоте BD не течёт. Найдите сопротивление схемы между точками A и C , если длина стороны $AB = 13$ см, а высота равна $BD = 5$ см.

Ответ. Вариант 1: $R_{AC} \approx 11,25$ Ом; вариант 2: $R_{AC} \approx 24,96$ Ом.

Решение:

Провода образуют 5 участков: AB , BC , AD , BD и DC , их сопротивление пропорционально длинам. Так как ток по отрезку BD не течёт, в силу симметрии для сопротивлений верно соотношение $R_{AB}R_{CD} = R_{BC}R_{AD}$. Это же соотношение можно выразить через длины: $AB \cdot CD = BC \cdot AD$. Из теоремы Пифагора выразим значение высоты $BD^2 = BC^2 - CD^2 = AB^2 - AD^2$. Подставив $AB = BC \cdot AD/CD$, получим $AD^2(BC^2/CD^2 - 1) = CD^2(BC^2/CD^2 - 1)$. Поскольку катет не может быть равен гипотенузе, $CD = AD$, а значит, треугольник равнобедренный. Отсюда искомое сопротивление будет равно $R_{AC} = \frac{2R_{AB}R_{AC}}{2R_{AB}+R_{AC}} = \rho \frac{2AB \cdot AC}{2AB+AC}$, где AC можно найти с помощью теоремы Пифагора.

Ф9.5-1 В термостате в форме куба для нагрева исследуемого тела внутри используется нагреватель, представляющий собой одну из стенок термостата. Студент Коля включил термостат без исследуемого тела с воздухом внутри и ушёл на пары. Считая, что максимальная температура стенки-нагревателя равна $T_0 = 310$ К, а температура окружающего воздуха $T_1 = 300$ К, оцените температуру воздуха внутри. Считайте, что теплоотдача с единицы площади поверхности пропорциональна разнице температур.

Ф9.5-2 В термостате в форме куба для нагрева исследуемого тела внутри используется нагреватель, представляющий собой одну из стенок термостата. Студент Коля включил термостат без исследуемого тела с воздухом внутри и ушёл на пары. Считая, что максимальная температура стенки-нагревателя равна $T_0 = 47^\circ$ С, а температура окружающего воздуха $T_1 = 27^\circ$ С, оцените температуру воздуха внутри. Считайте, что теплоотдача с единицы площади поверхности пропорциональна разнице температур.

Ответ. Вариант 1: $28,7^\circ$ К; вариант 2: $30,3^\circ$ С.

Решение. Поскольку внутри и снаружи находится воздух, коэффициент теплоотдачи с единицы площади один и тот же для любых стенок. В равновесии мощность, подводимая к воздуху внутри, равна мощности, которая от него отводится в окружающую среду. Пусть κ — коэффициент теплоотдачи, а T — температура воздуха внутри. Тогда

$$\kappa(T_0 - T)a^2 = \kappa(T - T_1)5a^2,$$

откуда $T = (T_0 + 5T_1)/6$.

**Межвузовский центр воспитания и развития талантливой молодежи в области
естественно-математических наук «Физтех-Центр»**

Материалы данного конкурса доступны для свободного некоммерческого использования (при использовании ссылка на источник обязательна).

© Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет),
2023-2024.