

Министерство Образования, Культуры и Исследований Республики Молдова
Национальное Агентство по Куррикулуму и Оцениванию
LV РЕСПУБЛИКАНСКАЯ ОЛИМПИАДА ПО ФИЗИКЕ

КИШИНЁВ, 22– 25 марта 2019

Теоретический тур РОФ 2019

10 класс

Задача 1

(10,0 баллов)

P1.A. Тело массы m и плотности ρ_{corp} падает в поле тяжести некоторой экзопланеты (см. Примечание) с высоты H в плотной газообразной среде с плотностью ρ_1 и, затем погружается в жидкость с плотностью ρ_2 на глубину h . Ускорение свободного падения считать известным и равным \vec{g}_p . Пренебрегая силой сопротивления газообразной среды, и считая, что погружение тела происходит мгновенно, а $\rho_{corp} > \rho_2 > \rho_1$ определите:

P1.A1. Скорость тела v в момент погружения в жидкость; (1,0 балл)

P1.A2. Суммарную работу силы поверхностного натяжения и силы сопротивления жидкости, если значение скорости тела на глубине h равно v_0 ; (1,5 балла)

P1.A3. Полагая, что сила сопротивления жидкости направлена против направления вектора скорости, а ее значение пропорционально скорости тела $F_r = -\alpha v$, найдите коэффициент α , если известно, что начиная с глубины h , падение тела становится равномерным; (1,5 балла)

P1.A4. Когда в некоторой точке A экзопланеты предметы не отбрасывают тень, в этот же момент времени в пункте B , находящемся на расстоянии L от пункта A , лучи света от Звезды падают на экзопланету под углом γ . Найдите массу M_p и радиус R_p экзопланеты. Константа всемирного тяготения известна и равна G . (2,0 балла)

Примечание: Экзопланета – это планета, находящаяся вне Солнечной системы.

P1.B. В закрытом изолированном сосуде находится идеальный газ. В верхней части сосуда есть ответвление в виде тонкой трубки, вход в которую плотно закрыт пробкой цилиндрической формы массой m и плотности ρ . Длина пробки равна h . Трубка составляет с сосудом угол α . Верхний конец трубки – открыт. Окружающий воздух находится при нормальном давлении p_0 . Газ в сосуде начинают нагревать.

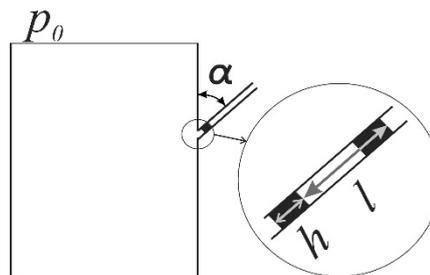


Рисунок P1.B.

P1.B1. Определите значение суммарной силы трения F_{fr} пробки о поверхность трубки, если известно, что при давлении p пробка начала движение по трубке; (2,0 балла)

P1.B2. Пройдя расстояние l вдоль трубки, пробка остановилась (см. Рис. P1.B). Определите работу A , которая была совершена по её перемещению. (2,0 балла)

Министерство Образования, Культуры и Исследований Республики Молдова
Национальное Агентство по Куррикулуму и Оцениванию
LV РЕСПУБЛИКАНСКАЯ ОЛИМПИАДА ПО ФИЗИКЕ

КИШИНЁВ, 22– 25 марта 2019

Теоретический тур РОФ 2019

10 класс

Решение:

P1.A1. Необходимо учесть силу Архимеда, которая действует на тело в газообразной среде:

$$F_{A,g} = \rho_1 \frac{m}{\rho_{corp}} g_p, \quad (0,3 \text{ б.})$$

$$mgH = \frac{mv^2}{2} + F_{A,g} \cdot H \quad (0,5 \text{ б.})$$

$$v = \sqrt{2g_p H \left(1 - \frac{\rho_1}{\rho_{corp}}\right)} \quad (0,2 \text{ б.})$$

P1.A2. Обозначим искомую работу через A . Согласно закону сохранения энергии:

$$mg_p (H + h) = m \frac{v_0^2}{2} + F_{A,g} H + F_{A,l} h + A \quad (0,5 \text{ б.})$$

$$F_{A,l} = \rho_2 \frac{m}{\rho_{corp}} g_p$$

$$A = mg_p H \left(1 - \frac{\rho_1}{\rho_{corp}}\right) + mg_p h \left(1 - \frac{\rho_2}{\rho_{corp}}\right) - m \frac{v_0^2}{2} \quad (1,0 \text{ б.})$$

P1.A3. На глубине h ускорение становится равным нулю, поэтому:

$$mg_p - \rho_2 \frac{m}{\rho_{corp}} - \alpha v_0 = 0 \quad (1,0 \text{ б.})$$

$$\alpha = \frac{mg_p}{v_0} \left(1 - \frac{\rho_2}{\rho_{corp}}\right) \quad (0,5 \text{ б.})$$

P1.A4. Так как расстояние от звезды до экзопланеты намного больше радиуса экзопланеты, то падающий пучок света можно считать параллельным. Тогда угол γ будет углом между радиусами экзопланеты OA и OB , где O – центр экзопланеты (см. Рисунок 1S-1A.). (0,5 б.)

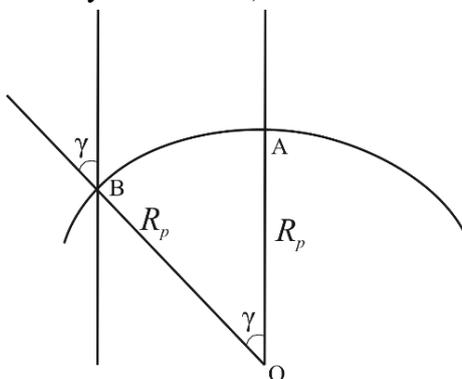


Рис. 1S-1A.

Министерство Образования, Культуры и Исследований Республики Молдова
 Национальное Агентство по Куррикулуму и Оцениванию
LV РЕСПУБЛИКАНСКАЯ ОЛИМПИАДА ПО ФИЗИКЕ

КИШИНЁВ, 22– 25 марта 2019

Теоретический тур РОФ 2019

10 класс

$$\frac{\gamma}{2\pi} = \frac{L}{2\pi R_p} \quad (0,4 \text{ б.})$$

$$R_p = L/\gamma \quad (0,1 \text{ б.})$$

Из закона всемирного тяготения:

$$G \frac{mM_p}{R_p^2} = mg_p \quad (0,8 \text{ б.})$$

$$M_p = \frac{R_p^2 g_p}{G} = \frac{L^2 g_p}{G\gamma^2} \quad (0,2 \text{ б.})$$

P1.B

На пробку действуют следующие силы: сила давления газа \vec{F}_{gaz} , сила давления воздуха \vec{F}_{aer} , сила тяжести $m\vec{g}$, сила реакции опоры \vec{N} и сила трения \vec{F}_{fr} , где \vec{F}_{fr} - это результирующая сила элементарных сил трения (см. Рис. 2S-1B). (0,5 б.)

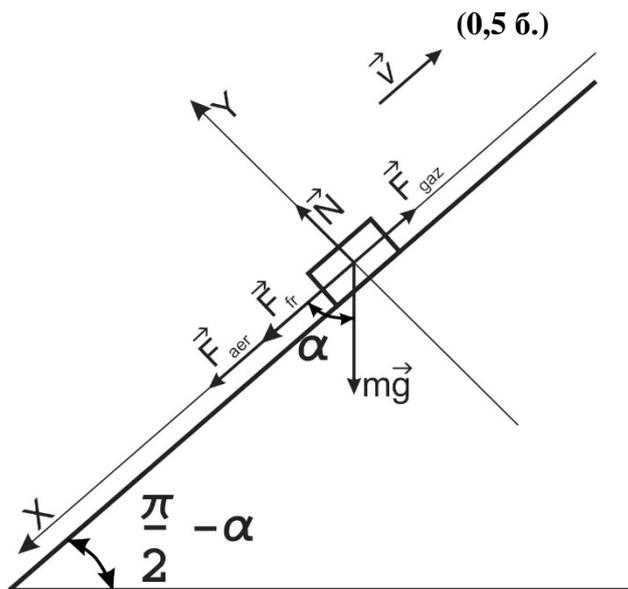


Рис. 2S-1B.

P1.B1.

В момент начала движения пробки результирующая сила равно нулю:

$$\vec{F}_{gaz} + \vec{F}_{aer} + m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{fr} = 0 \quad (0,5 \text{ б.})$$

Проектируя на ось OX:

$$F_{aer} + F_{fr} + mg \cos \alpha - F_{gaz} = 0, \quad (0,25 \text{ б.})$$

$$F_{aer} = p_0 S = p_0 \frac{m}{\rho h}, \quad (0,25 \text{ б.})$$

Министерство Образования, Культуры и Исследований Республики Молдова
Национальное Агентство по Куррикулуму и Оцениванию
LV РЕСПУБЛИКАНСКАЯ ОЛИМПИАДА ПО ФИЗИКЕ

КИШИНЁВ, 22–25 марта 2019

Теоретический тур РОФ 2019

10 класс

$$F_{gaz} = p \frac{m}{\rho h} \quad (0,25 \text{ б.})$$

$$F_{fr} = F_{gaz} - F_{aer} - mg \cos \alpha$$

$$F_{fr} = (p - p_0) \frac{m}{\rho h} - mg \cos \alpha \quad (0,25 \text{ б.})$$

P1.B2.

$$A = A_{aer} + A_{mg} + A_{F_{fr}} \quad (0,5 \text{ б.})$$

$$A_{aer} = p_0 s \cdot l = p_0 \frac{m}{\rho h} \cdot l \quad (0,4 \text{ б.})$$

$$A_{F_{fr}} = F_{fr} \cdot l = \left((p - p_0) \frac{m}{\rho h} - mg \cos \alpha \right) \cdot l \quad (0,4 \text{ б.})$$

$$A_{mg} = mg \cos \alpha \cdot l \quad (0,4 \text{ б.})$$

Тогда:

$$A_{gaz} = \left(\frac{p_0}{\rho h} + \frac{p - p_0}{\rho h} - g \cos \alpha + g \cos \alpha \right) ml = p \frac{m}{\rho h} l \quad (0,3 \text{ б.})$$

Министерство Образования, Культуры и Исследований Республики Молдова
 Национальное Агентство по Куррикулуму и Оцениванию
LV РЕСПУБЛИКАНСКАЯ ОЛИМПИАДА ПО ФИЗИКЕ

КИШИНЁВ, 22– 25 марта 2019

Теоретический тур РОФ 2019

10 класс

Задача 2

(10,0 баллов)

P2. В воду, находящуюся при температуре $t_1 = 0^\circ\text{C}$, бросили кусочек льда при температуре $t_2 < t_1$. Внутри этого кусочка льда находится алюминиевая пластина, температура которой также t_2 . Лёд с алюминиевой пластиной начинают нагревать нагревателем, схема сопротивления которого показана на Рисунке P2.1.

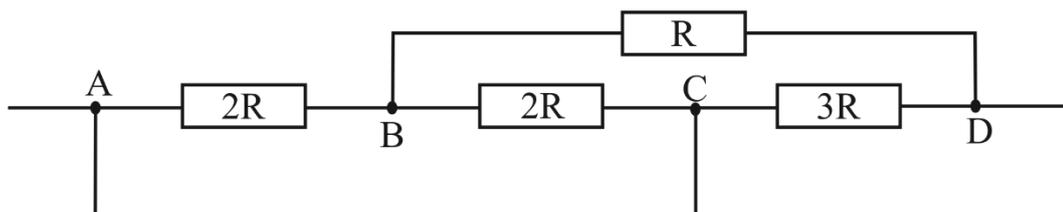


Рисунок P2.1.

P2.1. Найдите сопротивление нагревателя, если сопротивление резисторов в схеме равны R , $2R$ и $3R$ (см. Рисунок P2.1), а сопротивление соединительных проводов пренебрежимо мало. **(3,0 балла);**

P2.2. Считая, что всё выделяемое нагревателем тепло подводится к системе лёд-алюминий, найдите зависимость массы расплавленного льда m_0 от массы алюминиевой пластины m_{Al} , если известно, что в цепи нагревателя в течении времени τ протекал ток I . КПД нагревателя равен η , начальная масса кусочка льда с пластиной равна M . Удельные теплоемкости льда c_{gh} и алюминия c_{Al} , также, как и удельную теплоту плавления льда λ считать известными; **(3,0 балла)**

P2.3. Вычислите числовые значения параметров зависимости m_0 от m_{Al} из пункта (P2.2.), если известно, что $M = 4\text{ кг}$, $\tau = 5\text{ мин.}$, $t_2 = -4^\circ\text{C}$, $I = 400\text{ мА}$, $\eta = 80\%$, $R = 1,1\text{ кОм}$, $c_{gh} = 2050\text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$, $c_{Al} = 920\text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ и $\lambda = 3,4\cdot 10^5\text{ Дж}/\text{кг}$; **(1,0 балл)**

P2.4. Используя числовые значения параметров, приведенных в пункте P2.3, найдите массу алюминиевой пластины, если известно, что через $\tau = 5\text{ мин.}$ работы нагревателя лёд с алюминиевой пластиной полностью погрузился в воду. Плотность льда $\rho_{gh} = 916\text{ кг}/\text{м}^3$, плотность воды $\rho_{H_2O} = 1000\text{ кг}/\text{м}^3$ и плотность алюминия $\rho_{Al} = 2700\text{ кг}/\text{м}^3$. Считать, что плавление льда происходит по его внешней границе. Поверхностным натяжением пренебречь.

(3,0 балла)

Министерство Образования, Культуры и Исследований Республики Молдова
 Национальное Агентство по Куррикулуму и Оцениванию
LV РЕСПУБЛИКАНСКАЯ ОЛИМПИАДА ПО ФИЗИКЕ

КИШИНЁВ, 22– 25 марта 2019

Теоретический тур РОФ 2019

10 класс

Решение

P2.1. Пункты А и С электрической схемы являются эквивалентными, поэтому их можно совместить. В результате, получим электрическую схему (см. Рис. 3S-2), сопротивление которой легко считается:

(1,0 б.)

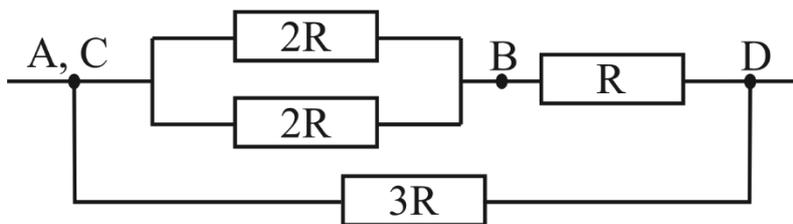


Рисунок 3S-2.

Сопротивления в $2R$ соединены параллельно, поэтому их общее сопротивление равно R . Это сопротивление соединено последовательно с сопротивлением R , поэтому их можно заменить сопротивлением в $(R+R) = 2R$. Параллельно полученному сопротивлению в $2R$ подключено сопротивление в $3R$.

(1,0 б.)

Таким образом, сопротивление нагревателя будет равно:

$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{2R} + \frac{1}{3R} \text{ sau } R_{tot} = 1,2 \cdot R. \quad (1,0 \text{ б.})$$

P2.2. Теплота, переданная системе лед-алюминий за время τ , равна:

$$Q = \eta I^2 R_{tot} \tau = 1,2 \eta I^2 R \tau. \quad (0,5 \text{ б.})$$

Это теплота идет на нагревание системы лед-алюминий до 0°C , и плавления льда массой m_0 . Уравнение теплового баланса имеет вид:

$$Q = m_{Al} c_{Al} (0 - t_2) + (M - m_{Al}) c_{gh} (0 - t_2) + m_0 \lambda \quad (1,0 \text{ б.})$$

Выражения для m_0 можно представить в виде:

$$m_0 = m_p + k m_{Al}, \text{ где:} \quad (0,5 \text{ б.})$$

$$m_p = \frac{1,2 \eta I^2 R \tau - M c_{gh} |t_2|}{\lambda} \quad (0,5 \text{ б.})$$

$$k = \frac{(c_{gh} - c_{Al}) |t_2|}{\lambda} \quad (0,5 \text{ б.})$$

Министерство Образования, Культуры и Исследований Республики Молдова
Национальное Агентство по Куррикулуму и Оцениванию
LV РЕСПУБЛИКАНСКАЯ ОЛИМПИАДА ПО ФИЗИКЕ

КИШИНЁВ, 22– 25 марта 2019

Теоретический тур РОФ 2019

10 класс

P2.3. Используя численные значения из п. б.2.3, получим

$$m_p = 0,0526 \text{ kg} \quad (0,5 \text{ б.})$$

$$k = 0,0133 \quad (0,5 \text{ б.})$$

Зависимость между m_0 и m_{Al} - линейная и определяется формулой:

$$m_0 = 0,0526 \text{ kg} + 0,0133 m_{Al}$$

P2.4. В момент полного погружения льда с алюминием в воду, сила тяжести становится равной сумме сил Архимеда, действующих на лед и на алюминий:

$$(M - m_0)g = \rho_{H_2O} \frac{m_{Al}}{\rho_{Al}} g + \rho_{H_2O} \frac{M - m_0 - m_{Al}}{\rho_{gh}} g \quad (1,0 \text{ б.})$$

$$m_{Al} \rho_{H_2O} \left(\frac{1}{\rho_{Al}} - \frac{1}{\rho_{gh}} \right) + m_0 \left(1 - \frac{\rho_{H_2O}}{\rho_{gh}} \right) = M \left(1 - \frac{\rho_{H_2O}}{\rho_{gh}} \right) \quad (0,5 \text{ б.})$$

Подставляя m_0 из п. P2.3., получим:

$$m_{Al} \rho_{H_2O} \left(\frac{1}{\rho_{Al}} - \frac{1}{\rho_{gh}} \right) + (0,0526 + 0,0133 m_{Al}) \left(1 - \frac{\rho_{H_2O}}{\rho_{gh}} \right) = M \left(1 - \frac{\rho_{H_2O}}{\rho_{gh}} \right) \quad (0,5 \text{ б.})$$

$$m_{Al} \left(\frac{\rho_{H_2O}}{\rho_{Al}} (\rho_{gh} - \rho_{Al}) + 0,0133 (\rho_{gh} - \rho_{H_2O}) \right) = (M - 0,0526) \cdot (\rho_{gh} - \rho_{H_2O}) \quad (0,5 \text{ б.})$$

$$m_{Al} = \frac{(M - 0,0526) \cdot (\rho_{H_2O} - \rho_{gh})}{\frac{\rho_{H_2O}}{\rho_{Al}} (\rho_{Al} - \rho_{gh}) + 0,0133 (\rho_{H_2O} - \rho_{gh})} = 0,5 \text{ kg} \quad (0,5 \text{ б.})$$

Министерство Образования, Культуры и Исследований Республики Молдова
Национальное Агентство по Куррикулуму и Оцениванию
LV РЕСПУБЛИКАНСКАЯ ОЛИМПИАДА ПО ФИЗИКЕ

КИШИНЁВ, 22– 25 марта 2019

Теоретический тур РОФ 2019

10 класс

Задача 3

(10,0 баллов)

Р3.А. Оптическая система состоит из собирающей линзы с фокусным расстоянием F и плоского зеркала, которое находится на расстоянии D за линзой.

Р3.А.1. Найдите фокусное расстояние данной оптической системы; **(3,0 балла)**

Р3.А.2. В каких случаях такая система будет работать как рассеивающая линза? **(1,0 балл)**

Р3.В. Математический маятник длины L совершает гармонические колебания с амплитудой X относительно главной оптической оси системы «линза-зеркало», описанной в пункте Р3.А. Линза плотно прижата к зеркалу: $D = 0$. Расстояние от маятника до зеркала равно $5 \cdot F$. Маятник колеблется в плоскости перпендикулярной плоскости рисунка (см. Рисунок Р3.В).

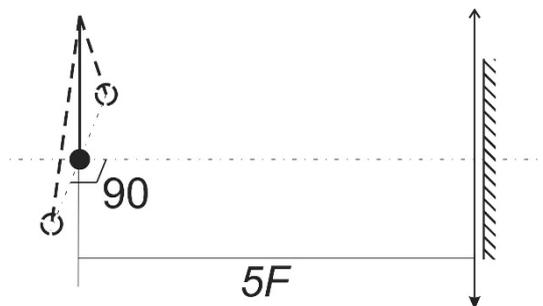


Рисунок Р3.В.

Р3.В.1. Определите на каком расстоянии от зеркала находится изображение маятника; **(2,0 балла)**

Р3.В.2. Найдите скорость v изображения маятника при его пересечении главной оптической оси. При решении задачи использовать формулу, связывающую максимальную скорость колебаний маятника, его амплитуду и частоту колебаний $v_{max} = X\omega$. **(4,0 балла)**

Решение

Р3.А. Лучи, параллельные главной оптической оси линзы, после первого преломления в линзе пересекутся в фокусе линзы – точке F . Фокус линзы будет источником света для зеркала, а изображение в зеркале будет, в свою очередь, источником света для повторного отражения в линзе.

(0,5 б.)

Министерство Образования, Культуры и Исследований Республики Молдова
 Национальное Агентство по Куррикулуму и Оцениванию
LV РЕСПУБЛИКАНСКАЯ ОЛИМПИАДА ПО ФИЗИКЕ

КИШИНЁВ, 22– 25 марта 2019

Теоретический тур РОФ 2019

10 класс

Р3.А.1. Возможны два варианта: точка F находится перед зеркалом (см. Fig. 4S-P3.A) и точка F находится за зеркалом (Fig. 5S-P3.A).

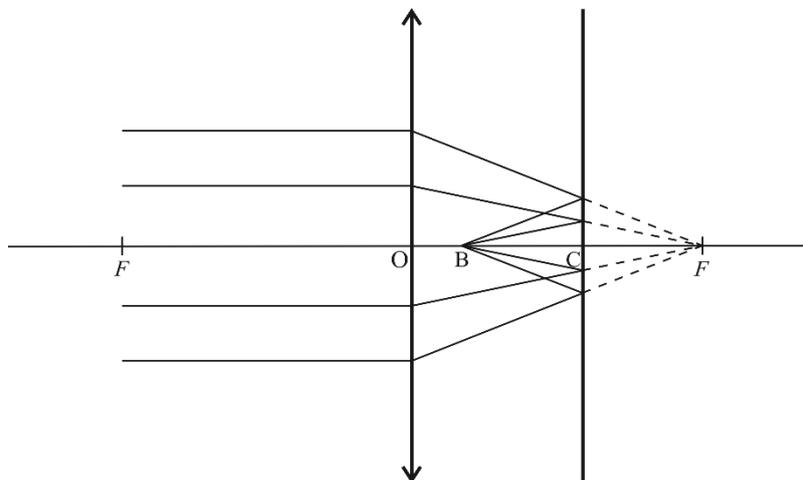


Рисунок 4S-P3.A.

За Рисунок 4S-P3.A

(0,25 б.)

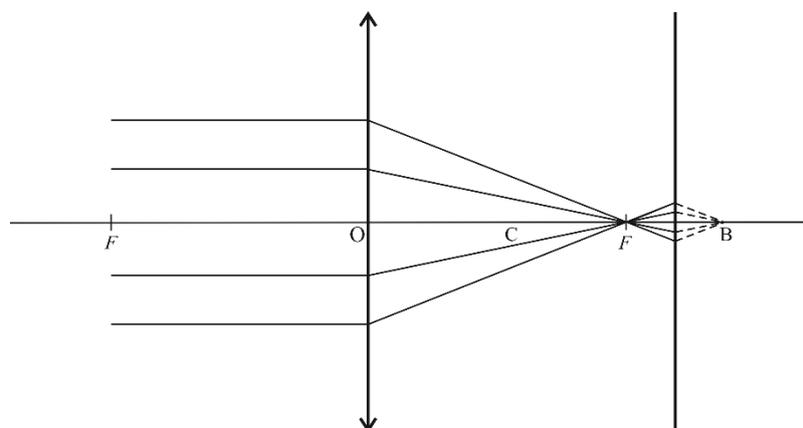


Рисунок 5S-P3.A.

За Рисунок 5S-P3.A

(0,25 б.)

В первом случае расстояние от линзы до источника повторного отражения

$$OB = OC - BC = D - (F - D) = 2D - F.$$

(0,25 б.)

Во втором случае: $OB = OF + FB = F + 2(D - F) = 2D - F.$

(0,25 б.)

По формуле тонкой линзы определяем положение фокуса оптической системы “линза-зеркало”

$$\frac{1}{OB} + \frac{1}{F'} = \frac{1}{F}$$

(1,0 б.)

$$\frac{1}{2D - F} + \frac{1}{F'} = \frac{1}{F}$$

Министерство Образования, Культуры и Исследований Республики Молдова
 Национальное Агентство по Куррикулуму и Оцениванию
LV РЕСПУБЛИКАНСКАЯ ОЛИМПИАДА ПО ФИЗИКЕ

КИШИНЁВ, 22– 25 марта 2019

Теоретический тур РОФ 2019

10 класс

$$F' = \frac{F(2D - F)}{2(D - F)} \quad (0,5 \text{ б.})$$

Р3.А.2

Оптическая система будет работать как рассеивающая линза в случае когда фокус $F' < 0$: (0,5 б.)

$$\frac{F(2D - F)}{2(D - F)} < 0, \text{ тогда}$$

$$\frac{F}{2} < D < F \quad (0,5 \text{ б.})$$

Р3.В.1.

Так как $D = 0$, то фокусное расстояние оптической системы будет $F/2$. (0,25 б.)

Согласно формуле тонкой линзы, определим расстояние b до изображения маятника:

$$\frac{1}{5F} + \frac{1}{b} = \frac{2}{F} \quad (1,5 \text{ б.})$$

$$b = \frac{5}{9}F \quad (0,25 \text{ б.})$$

Р3.В.2. Отношение размеров маятника и его изображения находятся из подобия треугольников AOB и A_1OB_1 (см. Fig. 6S-P3.A.):

$$\frac{A_1B_1}{AB} = \frac{A_1O}{AO} = \frac{b}{5F} = \frac{1}{9}. \quad (1,0 \text{ б.})$$

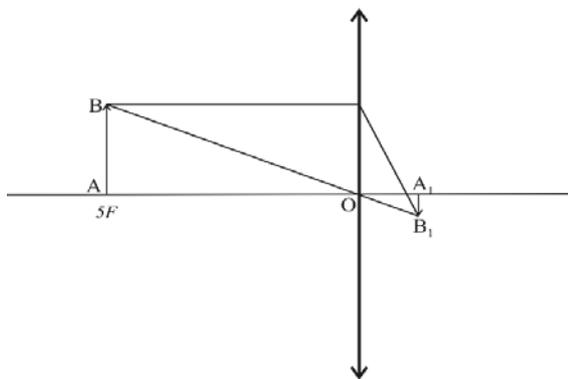


Рисунок 6S-P3.A.

Министерство Образования, Культуры и Исследований Республики Молдова
Национальное Агентство по Куррикулуму и Оцениванию
LV РЕСПУБЛИКАНСКАЯ ОЛИМПИАДА ПО ФИЗИКЕ

КИШИНЁВ, 22– 25 марта 2019

Теоретический тур РОФ 2019

10 класс

Скорости маятника и изображения относятся таким же образом $\frac{v_i}{v} = \frac{1}{9}$ **(1,0 б.)**

Тогда,

$$v_{i,max} = \frac{1}{9} v_{max} = \frac{1}{9} X \omega \quad \mathbf{(1,0 \text{ б.})}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{g}{L}} \quad \mathbf{(0,5 \text{ б.})}$$

$$v_{i,max} = \frac{1}{9} X \sqrt{\frac{g}{L}} \quad \mathbf{(0,5 \text{ б.})}$$

Задачи предложили:

Д.Л. Ника, доктор-хабилитат физических наук, профессор
(Государственный Университет Молдовы);

А.А. Ключанов, доктор-хабилитат физико-математических наук,
профессор (Государственный Университет Молдовы);

К.Я. Исакова, научный сотрудник (Государственный
Университет Молдовы).