

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  $\rho_{corp}$  падает в поле тяжести некоторой экзопланеты (см. Примечание) с высоты  $H$  в плотной газообразной среде с плотностью  $\rho_1$  и, затем погружается в жидкость с плотностью  $\rho_2$  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  $\alpha$ , 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  $\gamma$ . 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  $\rho$ . Длина пробки равна  $h$ . Трубка составляет с сосудом угол  $\alpha$ . Верхний конец трубки – открыт. Окружающий воздух находится при нормальном давлении  $p_0$ . Газ в сосуде начинают нагревать.

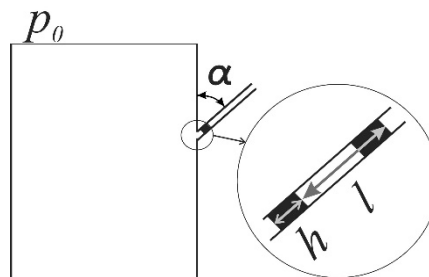


Рисунок P1.B.

**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  $\gamma$  будет углом между радиусами экзопланеты  $OA$  и  $OB$ , где  $O$  – центр экзопланеты (см. Рисунок 1S-1A.). (0,5 б.)

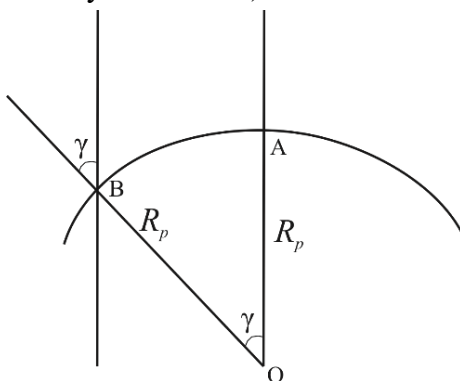


Рис. 1S-1A.

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.)

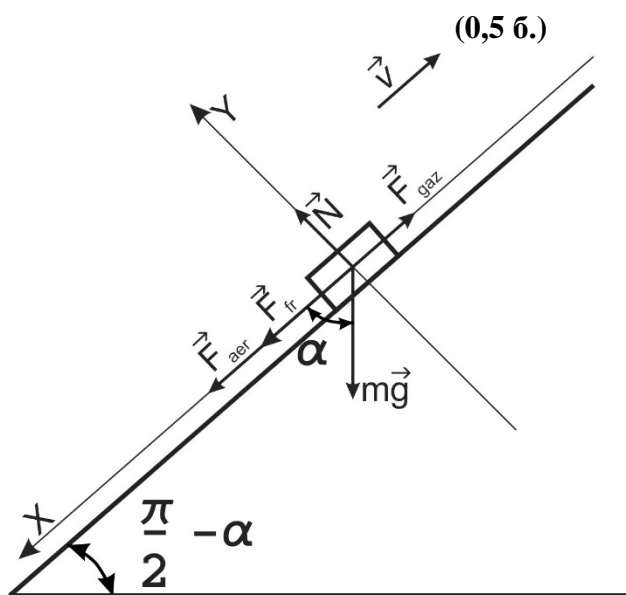


Рис. 2S-1B.

**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.

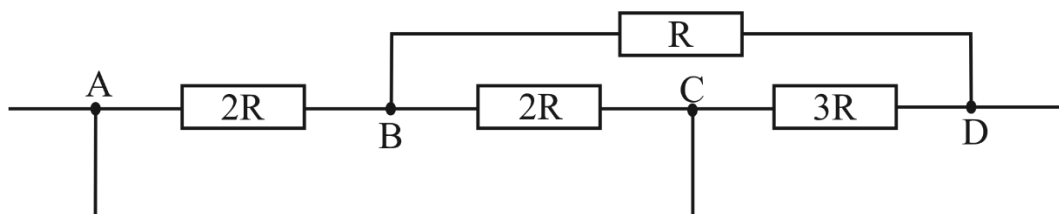


Рисунок P2.1.

**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  $\tau$  протекал ток  $I$ . КПД нагревателя равен  $\eta$ , начальная масса кусочка льда с пластиной равна  $M$ . Удельные теплоемкости льда  $c_{gh}$  и алюминия  $c_{Al}$ , также, как и удельную теплоту плавления льда  $\lambda$  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.)**

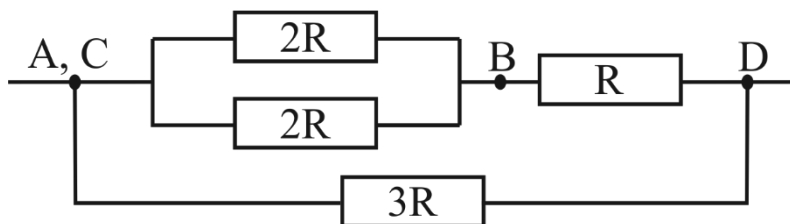


Рисунок 3S-2.

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  $\tau$ , 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  $0^\circ\text{C}$ , 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).

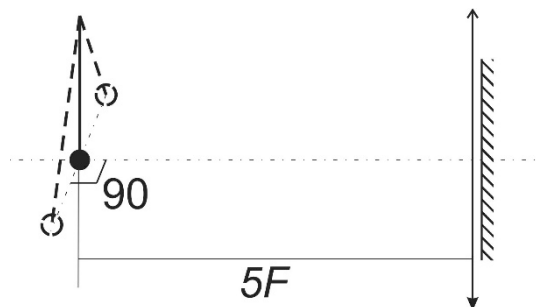


Рисунок Р3.В.

**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).

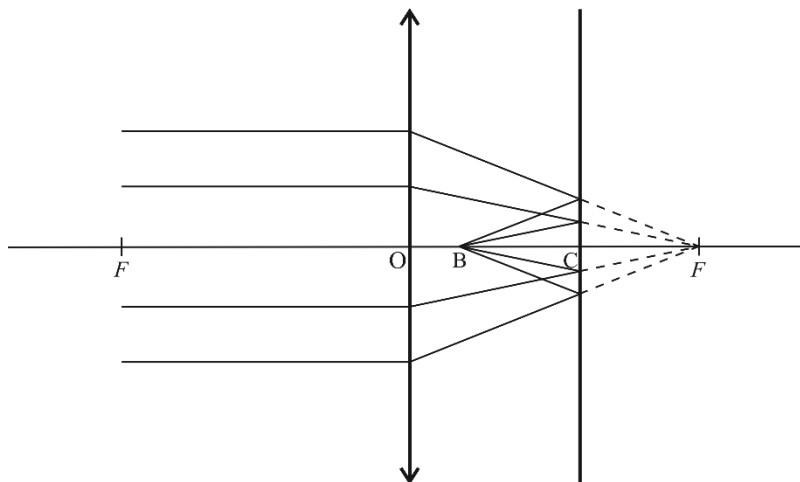


Рисунок 4S-P3.A.

За Рисунок 4S-P3.A

**(0,25 б.)**

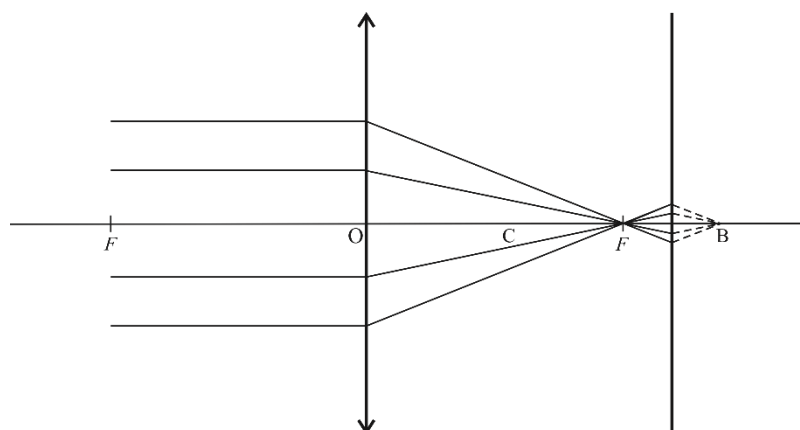


Рисунок 5S-P3.A.

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.):

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

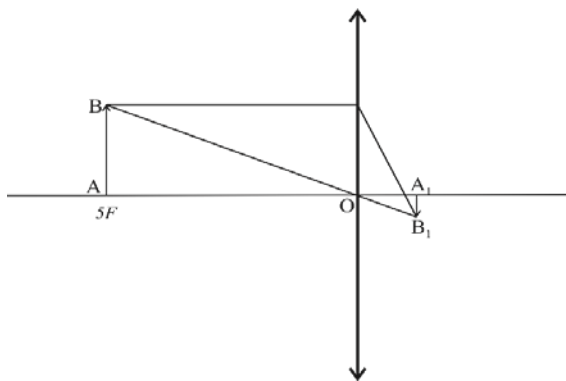


Рисунок 6S-P3.A.

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).