

# ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «Робофест» по ФИЗИКЕ ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП 2022-2023 года

## Задания, ответы и критерии для 10 и 11 классов.

Отборочный этап состоял из практического тура (участие в робототехнических соревнованиях или выполнение инженерного либо научного проекта) с максимальной оценкой 40 баллов и теоретического тура (выполнение заданий по физике с максимальной оценкой 50 баллов. Еще до 10 баллов начислялись за выполнение заданий по физике на пригласительном этапе олимпиады.

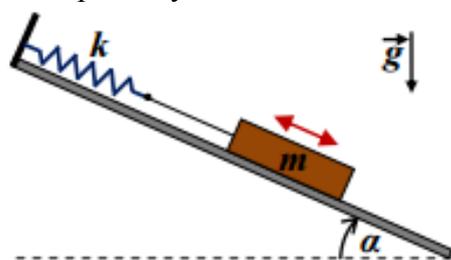
Таким образом, максимальная оценка участника на отборочном этапе равнялась 100 баллам.

На теоретическом туре отборочного этапа участники выполняли задания в онлайн-режиме, проводилась автоматическая проверка ответов.

### ЗАДАНИЯ ДЛЯ 11 КЛАССОВ:

#### Вариант 4

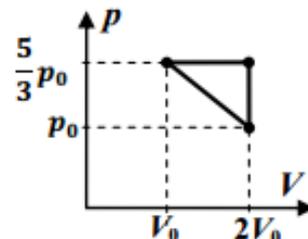
1. Гладкая ровная плоскость установлена под углом  $\alpha = 25^\circ$  к горизонту. На ней находится брусок массы  $m = 1$  кг, который через отрезок невесомой нерастяжимой нити прикреплен к концу легкой пружины с жесткостью  $k = 100$  Н/м. Второй конец пружины закреплен неподвижно. Сначала брусок покоился. Затем его отвели вниз на расстояние  $s$  (по «линии падения воды» на плоскости) и аккуратно отпустили, запустив таким образом колебания бруска, при которых центр масс бруска движется в вертикальной плоскости.



1.1. Чему равна циклическая частота гармонических колебаний бруска в этой системе? Ответ запишите в  $\text{с}^{-1}$ , с точностью до целого значения, без указания единиц измерения.

1.2. При какой максимальной величине  $s$  возникшие колебания будут гармоническими? Ответ запишите в см, с точностью до десятых, без указания единиц измерения. Ускорение свободного падения равно  $g \approx 10$  м/с<sup>2</sup>.

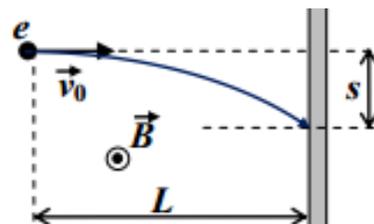
2. Рабочим телом тепловой машины является постоянное количество одноатомного идеального газа. Цикл рабочего тела, показанный на рисунке в координатах давление-объем, состоит из трех процессов: изобары (1), изохоры (2) и процесса с линейной зависимостью давления от объема (3).



2.1. В каких из этих процессов теплоемкость газа не изменяется в ходе процесса? В ответе перечислите номера всех таких процессов по порядку, не разделяя знаками препинания.

2.2. Определите КПД цикла. Ответ запишите в процентах, с точностью до целого значения.

3. Электронная пушка выстреливает электроны в направлении фотопластинки (перпендикулярно ее поверхности) каждый раз с одной и той же начальной скоростью. Точка выстрела находится на расстоянии  $L = 70$  мм от поверхности фотопластинки, и между ними, в вакууме, создано однородное магнитное поле. Электроны попадают на фотопластинку в точке на расстоянии  $s = 10$  мм от «точки прицеливания» (см. рисунок).



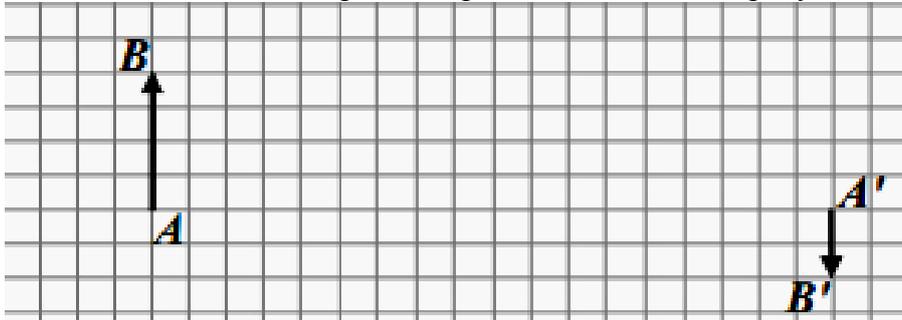
3.1. Чему равен радиус окружности, по которой движутся электроны в этом опыте? Ответ запишите в мм, с точностью до целого значения.

3.2. Каким станет отклонение электронов от «точки прицеливания», если величину индукции магнитного поля увеличить в 1,5 раза? Ответ запишите в мм, с точностью до десятых.

4. Некий школьник выполнил на тетрадном листе в клетку построение хода лучей от источника  $AB$  к его изображению  $A'B'$ , полученному с помощью тонкой линзы. Линзу и лучи он рисовал карандашом, и его младший брат стер их так, что на листе от них не осталось и следа (см. рисунок). Восстановите утраченную информацию и ответьте на вопросы:

4.1. Какая это линза – собирающая (1) или рассеивающая (2)? В ответе укажите номер правильного варианта.

4.2. Найдите оптическую силу линзы. Ответ приведите в диоптриях, с точностью до целого значения. Длина стороны тетрадной клетки 5 мм, рисунок выполнен в масштабе 1:1.



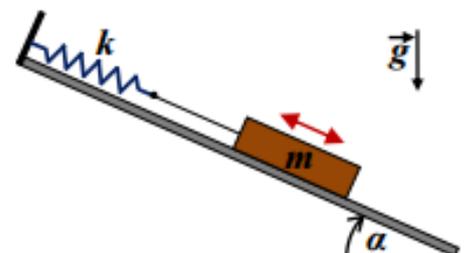
**ОТВЕТЫ:** 1.1. 10. 1.2. 4,2. 2.1. 12. 2.2. 8. 3.1. 250. 3.2. 15,4. 4.1. 1. 4.2. 50.

**КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ (для автоматической проверки):**

вопрос	ответ участника	балл
1.1	10	4
1.2	4,2	8
	4,1 или 4,3	4
2.1	12	4
	123	2
2.2	8	10
	7 или 9	5
3.1	250	8
	от 240 до 249 или от 251 до 260	4
3.2	15,4	6
	15,3 или 15,5	3
4.1	1	2
4.2	50	8
	от 45 до 49 или от 51 до 55	4
<b>Максимальная оценка</b>		<b>50</b>

### Вариант 8

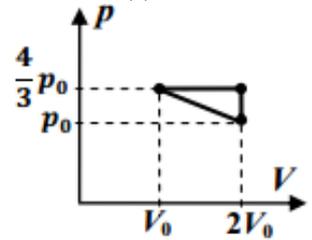
1. Гладкая ровная плоскость установлена под углом  $\alpha = 25^\circ$  к горизонту. На ней находится брусок массы  $m = 1$  кг, который через отрезок невесомой нерастяжимой нити прикреплен к концу легкой пружины с жесткостью  $k = 121$  Н/м. Второй конец пружины закреплен неподвижно. Сначала брусок покоился.



Затем его отвели вниз на расстояние  $s$  (по «линии падения воды» на плоскости) и аккуратно отпустили, запустив таким образом колебания бруска, при которых центр масс бруска движется в вертикальной плоскости.

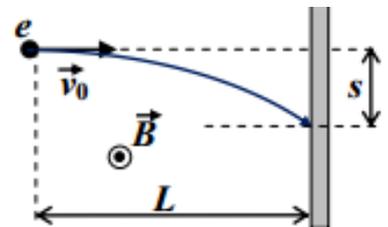
- a. Чему равна циклическая частота гармонических колебаний бруска в этой системе? Ответ запишите в  $\text{с}^{-1}$ , с точностью до целого значения, без указания единиц измерения.
- b. При какой максимальной величине  $s$  возникшие колебания будут гармоническими? Ответ запишите в см, с точностью до десятых, без указания единиц измерения. Ускорение свободного падения равно  $g \approx 10 \text{ м/с}^2$ .

2. Рабочим телом тепловой машины является постоянное количество одноатомного идеального газа. Цикл рабочего тела, показанный на рисунке в координатах давление-объем, состоит из трех процессов: изобары (1),



- a. В каких из этих процессов теплоемкость газа не изменяется в ходе процесса? В ответе перечислите номера всех таких процессов по порядку, не разделяя знаками препинания.
- b. Определите КПД цикла. Ответ запишите в процентах, с точностью до целого значения.

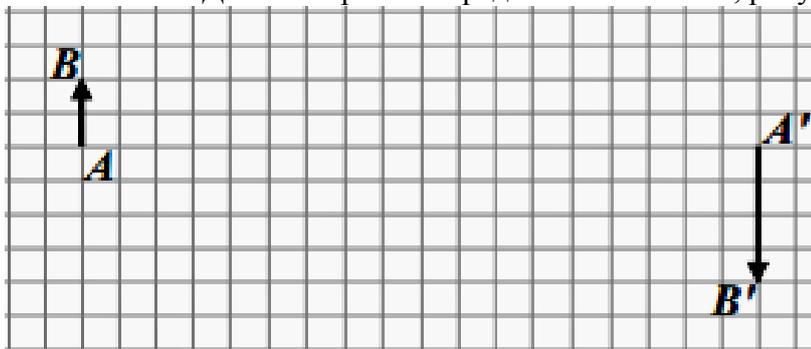
3. Электронная пушка выстреливает электроны в направлении фотопластинки (перпендикулярно ее поверхности) каждый раз с одной и той же начальной скоростью. Точка выстрела находится на расстоянии  $L = 50 \text{ мм}$  от поверхности фотопластинки, и между ними, в вакууме, создано однородное магнитное поле. Электроны попадают на фотопластинку в точке на расстоянии  $s = 10 \text{ мм}$  от «точки прицеливания» (см. рисунок).



- a. Чему равен радиус окружности, по которой движутся электроны в этом опыте? Ответ запишите в мм, с точностью до целого значения.
- b. Каким станет отклонение электронов от «точки прицеливания», если величину индукции магнитного поля увеличить в 1,3 раза? Ответ запишите в мм, с точностью до десятых.

4. Некий школьник выполнил на тетрадном листе в клетку построение хода лучей от источника  $AB$  к его изображению  $A'B'$ , полученному с помощью тонкой линзы. Линзу и лучи он рисовал карандашом, и его младший брат стер их так, что на листе от них не осталось и следа (см. рисунок). Восстановите утраченную информацию и ответьте на вопросы:

- a. Какая это линза – собирающая (1) или рассеивающая (2)? В ответе укажите номер правильного варианта.
- b. Найдите оптическую силу линзы. Ответ приведите в диоптриях, с точностью до целого значения. Длина стороны тетрадной клетки 5 мм, рисунок выполнен в масштабе 1:1.



**ОТВЕТЫ:** 1.1. 11. 1.2. 3,9. 2.1. 12. 2.2. 5. 3.1. 130. 3.2. 13,4. 4.1. 1. 4.2. 50.

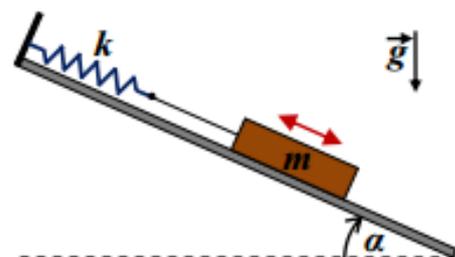
**КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ (для автоматической проверки):**

вопрос	ответ участника	балл
1.1	11	4

1.2	<b>3,9</b>	<b>8</b>
	3,8 или 4,0	<b>4</b>
2.1	<b>12</b>	<b>4</b>
	123	<b>2</b>
2.2	<b>5</b>	<b>10</b>
	4 или 6	<b>5</b>
3.1	<b>130</b>	<b>8</b>
	от 120 до 129 или от 131 до 140	<b>4</b>
3.2	<b>13,4</b>	<b>6</b>
	13,3 или 13,5	<b>3</b>
4.1	<b>1</b>	<b>2</b>
4.2	<b>50</b>	<b>8</b>
	от 45 до 49 или от 51 до 55	<b>4</b>
<b>Максимальная оценка</b>		<b>50</b>

### Вариант 12

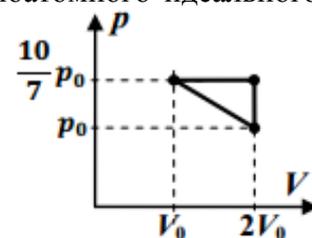
1. Гладкая ровная плоскость установлена под углом  $\alpha = 31^\circ$  к горизонту. На ней находится брусок массы  $m = 2$  кг, который через отрезок невесомой нерастяжимой нити прикреплен к концу легкой пружины с жесткостью  $k = 450$  Н/м. Второй конец пружины закреплен неподвижно. Сначала брусок покоился. Затем его отвели вниз на расстояние  $s$  (по «линии падения воды» на плоскости) и аккуратно отпустили, запустив таким образом колебания бруска, при которых центр масс бруска движется в вертикальной плоскости.



а. Чему равна циклическая частота гармонических колебаний бруска в этой системе? Ответ запишите в  $\text{с}^{-1}$ , с точностью до целого значения, без указания единиц измерения.

б. При какой максимальной величине  $s$  возникшие колебания будут гармоническими? Ответ запишите в см, с точностью до десятых, без указания единиц измерения. Ускорение свободного падения равно  $g \approx 10$  м/с<sup>2</sup>.

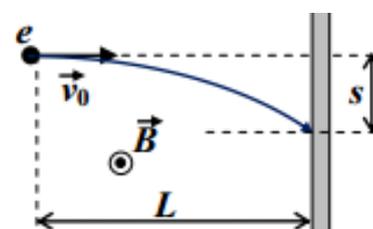
2. Рабочим телом тепловой машины является постоянное количество одноатомного идеального газа. Цикл рабочего тела, показанный на рисунке в координатах давление-объем, состоит из трех процессов: изобары (1), изохоры (2) и процесса с линейной зависимостью давления от объема (3).



а. В каких из этих процессов теплоемкость газа не изменяется в ходе процесса? В ответе перечислите номера всех таких процессов по порядку, не разделяя знаками препинания.

б. Определите КПД цикла. Ответ запишите в процентах, с точностью до целого значения.

3. Электронная пушка выстреливает электроны в направлении фотопластинки (перпендикулярно ее поверхности) каждый раз с одной и той же начальной скоростью. Точка выстрела находится на расстоянии  $L = 80$  мм от поверхности фотопластинки, и между ними, в вакууме, создано однородное магнитное поле. Электроны попадают на



фотопластинку в точке на расстоянии  $s = 20$  мм от «точки прицеливания» (см. рисунок).

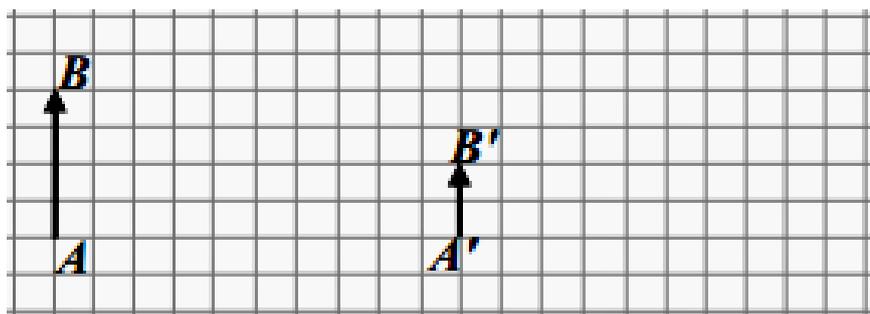
а. Чему равен радиус окружности, по которой движутся электроны в этом опыте? Ответ запишите в мм, с точностью до целого значения.

б. Каким станет отклонение электронов от «точки прицеливания», если величину индукции магнитного поля увеличить в 1,7 раза? Ответ запишите в мм, с точностью до десятых.

4. Некий школьник выполнил на тетрадном листе в клетку построение хода лучей от источника  $AB$  к его изображению  $A'B'$ , полученному с помощью тонкой линзы. Линзу и лучи он рисовал карандашом, и его младший брат стер их так, что на листе от них не осталось и следа (см. рисунок). Восстановите утраченную информацию и ответьте на вопросы:

а. Какая это линза – собирающая (1) или рассеивающая (2)? В ответе укажите номер правильного варианта.

б. Найдите модуль оптической силы линзы. Ответ приведите в диоптриях, с точностью до целого значения. Длина стороны тетрадной клетки 5 мм, рисунок выполнен в масштабе 1:1.



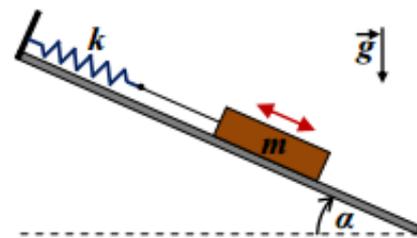
**ОТВЕТЫ:** 1.1. 15. 1.2. 2,3. 2.1. 12. 2.2. 6. 3.1. 170. 3.2. 110. 4.1. 2. 4.2. 10.

**КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ (для автоматической проверки):**

вопрос	ответ участника	балл
1.1	15	4
1.2	2,3	8
	2,2 или 2,4	4
2.1	12	4
	123	2
2.2	6	10
	5 или 7	5
3.1	170	8
	от 160 до 169 или от 171 до 180	4
3.2	110	6
	109 или 111	3
4.1	2	2
4.2	10	8
	8 или 9 или 11 или 12	4
<b>Максимальная оценка</b>		<b>50</b>

### ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАНИЙ 11 КЛАССА:

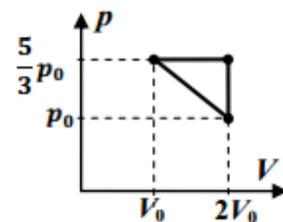
**Задание 1:** Гладкая ровная плоскость установлена под углом  $\alpha = 25^\circ$  к горизонту. На ней находится брусок массы  $m = 1$  кг, который через отрезок невесомой нерастяжимой нити прикреплен к концу легкой пружины с жесткостью  $k = 100$  Н/м. Второй конец пружины закреплен неподвижно. Сначала брусок покоился. Затем его отвели вниз на расстояние  $s$  (по «линии падения воды» на плоскости) и аккуратно отпустили, запустив таким образом колебания бруска, при которых центр масс бруска движется в вертикальной плоскости. Чему равна циклическая частота гармонических колебаний бруска в этой системе? При какой максимальной величине  $s$  возникшие колебания будут гармоническими? Ускорение свободного падения  $g \approx 10$  м/с<sup>2</sup>.



**Решение:** Направим ось  $x$  вдоль линии «падения воды» и будем отсчитывать координату от положения равновесия бруска, в котором сила упругости пружины (с растяжением  $\Delta l_0$ ) уравнивает компоненту силы тяжести вдоль этой оси. Тогда уравнение движения бруска  $ma_x = -k(\Delta l_0 + x) + mg \cdot \sin(\alpha) = -kx$  – это уравнение гармонических колебаний с циклической частотой  $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = 10$  с<sup>-1</sup>. Для того, чтобы колебания были гармоническими, необходимо, чтобы нить не провисала (ведь именно она передает действие силы упругости пружины на брусок, и при провисшей нити брусок движется с постоянным ускорением  $g \cdot \sin(\alpha)$ ). Так как невесомая нить прикреплена к невесомой пружине, то сила натяжения нити равна силе упругости растянутой пружины, и поэтому при гармонических колебаниях пружина всегда должна быть растянута:  $\Delta l_0 + x \geq 0 \Rightarrow x \geq -\frac{mg \sin(\alpha)}{k}$ . При запуске колебаний без начальной скорости амплитуда колебаний равна начальному смещению, так что центр масс бруска не выходит за «границу гармоничности», если  $s \leq \frac{mg \sin(\alpha)}{k} \approx 4,2$  см.

**Ответ:**  $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = 10$  с<sup>-1</sup>,  $s_{\max} = \frac{mg \sin(\alpha)}{k} \approx 4,2$  см.

**Задание 2:** Рабочим телом тепловой машины является постоянное количество одноатомного идеального газа. Цикл рабочего тела, показанный на рисунке в координатах давление-объем, состоит из трех процессов: изобары, изохоры и процесса с линейной зависимостью давления от объема. В каких из этих процессов теплоемкость газа не изменяется в ходе процесса? Определите КПД цикла.



**Решение:** В изобарном и изохорном процессах теплоемкость идеального газа постоянна. При изобарном расширении газ совершает положительную работу и нагревается, то есть он получает тепло. При изохорном охлаждении газ не совершает работу, и ясно, что теплота от него отводится. Самое сложное – анализ линейного процесса. Если записать уравнение прямой в виде  $p(V) = \frac{7}{3} p_0 \left(1 - \frac{2V}{7V_0}\right)$ , и с его помощью вычислить количество теплоты, которым газ обменивается с окружающими телами при малом изменении объема  $\Delta V$ , то получим:

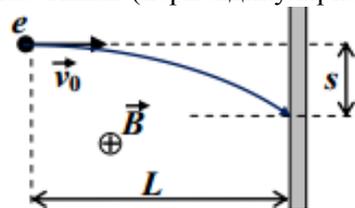
$$\Delta Q \approx p \cdot \Delta V + \frac{3}{2} \Delta(pV) \approx \frac{5}{2} p \cdot \Delta V + \frac{3}{2} V \cdot \Delta p = \frac{7}{6} p_0 \cdot \Delta V \left(5 - \frac{16V}{7V_0}\right),$$

то есть при  $V \in [V_0, 2V_0]$  и  $\Delta V < 0$  всегда  $\Delta Q < 0$ , то есть в этом процессе тепло только отдается, и теплоемкость газа изменяется в ходе этого процесса. Здесь проще всего почитать работу, равную площади цикла  $A = \frac{1}{2} p_0 V_0 = \frac{1}{3} p_0 V_0$ , и количество теплоты нагревателя, получаемое в изобарном процессе:

$$Q_H = A_p + \Delta U_p = \frac{5}{3} p_0 V_0 + \frac{3}{2} \left( \frac{10}{3} p_0 V_0 - \frac{5}{3} p_0 V_0 \right) = \frac{25}{6} p_0 V_0. \text{ Значит, КПД цикла } \eta = \frac{A}{Q_H} = \frac{2}{25} = 8\%.$$

**Ответ:**  $\eta = 8\%$ .

**Задание 3.** Электронная пушка выстреливает электроны в направлении фотопластинки (перпендикулярно ее поверхности) каждый раз с одной и той же начальной скоростью. Точка выстрела находится на расстоянии  $L = 70$  мм от поверхности фотопластинки, и между ними, в вакууме, создано однородное магнитное поле. Электроны попадают на фотопластинку в точке на расстоянии  $s = 10$  мм от «точки прицеливания» (см. рисунок).



Чему равен радиус окружности, по которой движутся электроны в этом опыте? Каким станет отклонение электронов от «точки прицеливания», если величину индукции магнитного поля увеличить в 1,5 раза?

**Решение:** Электрон запущен в плоскости, перпендикулярной магнитному полю, так что его движение – это

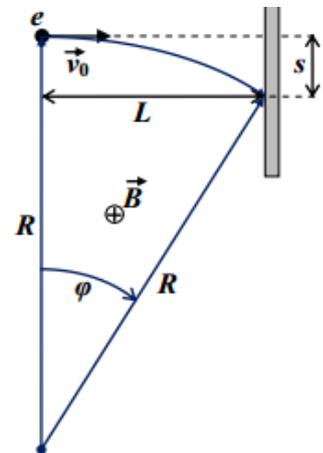
ларморовское вращение по окружности радиусом  $R = \frac{mv}{|e|B}$  ( $v$  – скорость

электрона) с угловой скоростью  $\omega = \frac{|q|B}{m}$ . Пусть  $\varphi = \frac{|q|B}{m}t$  – угол поворота

электрона за время полета  $t$ . Тогда, как видно  $L = R \cdot \sin(\varphi)$  и  $s = R[1 - \cos(\varphi)] \Rightarrow R \cos(\varphi) = R - s$ .

$$R^2 = L^2 + (R - s)^2 \Rightarrow R = \frac{L^2 + s^2}{2s} = 250 \text{ мм.}$$

При увеличении индукции поля в 1,5 раза при той же скорости радиус ларморовской окружности уменьшается во столько же раз:  $R' = \frac{2}{3}R$ , и поэтому



при той же величине  $L$  новый угол поворота удовлетворяет уравнению  $L = R' \cdot \sin(\varphi') \Rightarrow \sin(\varphi') = \frac{3L}{2R}$ .

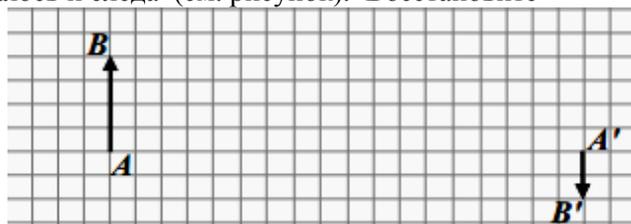
Таким образом,

$$s' = R'[1 - \cos(\varphi')] = \frac{2}{3}R \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{9L^2}{4R^2}} \right] = \frac{2R - \sqrt{4R^2 - 9L^2}}{3} \approx 15,4 \text{ мм.}$$

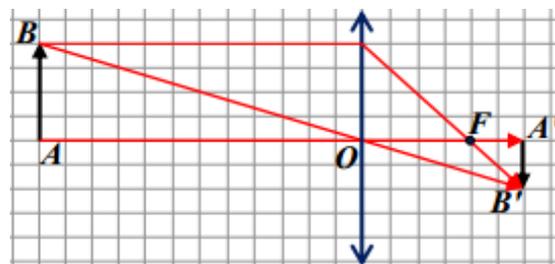
**Ответ:**  $R = \frac{L^2 + s^2}{2s} = 250 \text{ мм}$ ,  $s' = \frac{2R - \sqrt{4R^2 - 9L^2}}{3} \approx 15,4 \text{ мм}$ .

**Задание 4:** Некий школьник выполнил на тетрадном листе в клетку построение хода лучей от источника  $AB$  к его изображению  $A'B'$ , полученному с помощью тонкой линзы. Линзу и лучи он рисовал карандашом, и его младший брат стер их так, что на листе от них не осталось и следа (см. рисунок). Восстановите утраченную информацию и ответьте на вопросы:

- 1) Какая это линза – собирающая или рассеивающая?
- 2) Чему равна оптическая сила линзы? Длина стороны тетрадной клетки 5 мм, рисунок выполнен в масштабе 1:1.



**Решение:** Лучи, пересекающие линзу в оптическом центре, не преломляются. Поэтому прямая, соединяющая точку и ее изображение, проходит через оптический центр. Следовательно, оптический центр линзы  $O$  – это пересечение прямых  $AA'$  и  $BB'$ . Так как предмет и его изображение параллельны, то они параллельны плоскости линзы, и нам становится ясно, что главная оптическая ось линзы – это прямая  $AA'$ . Луч, падающий на линзу из точки  $B$  параллельно этой оси, после преломления в линзе идет в точку  $B'$ , по дороге пересекая главную оптическую ось линзы в ее главном фокусе  $F$ . По поведению данного луча понимаем, что это собирающая линза. Проведя построение, обнаруживаем, что фокусное расстояние равно  $F = 20$  мм. Таким образом, оптическая сила



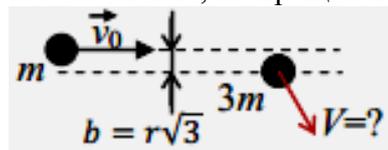
линзы  $D = \frac{1}{F} = 50$  Дптр.

**Ответ:** линза собирающая,  $D = \frac{1}{F} = 50$  Дптр.

## ЗАДАНИЯ ДЛЯ 10 КЛАССОВ:

### Вариант 3

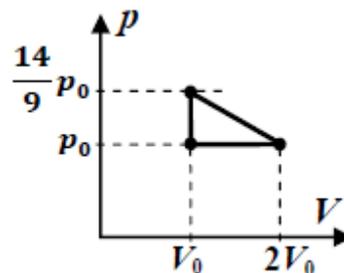
1. Упругая однородная цилиндрическая шайба с массами  $m$  и радиусом  $r$  скользила, не вращаясь, со скоростью  $v_0 = 1,6$  м/с по гладкой горизонтальной поверхности. Другая однородная шайба с точно такими же размерами, но с массой  $3m$ , покоилась на этой поверхности на пути первой. Прицельный параметр (расстояние между линией движения первой шайбы и параллельной ей прямой, проходящей через центр второй) равнялся  $b = r\sqrt{3}$  (см. рисунок). Произошел удар.



а. Под каким углом к направлению движения первой шайбы до удара, направлена скорость второй (более тяжелой) шайбы после удара? Ответ запишите в градусах, с точностью до целого значения, без указания единиц измерения.

б. Найдите величину скорости второй шайбы после удара. Ответ запишите в м/с, с точностью до десятых, без указания единиц измерения.

2. Рабочим телом тепловой машины является постоянное количество одноатомного идеального газа. Цикл рабочего тела, показанный на рисунке в координатах давление-объем, состоит из трех процессов: изохоры (1), процесса с линейной зависимостью давления от объема (2) и изобары (3).



а. В каких из этих процессов теплоемкость газа не изменяется в ходе процесса? В ответе перечислите номера всех таких процессов по порядку, не разделяя знаками препинания.

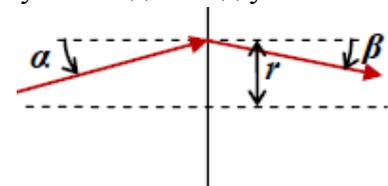
б. Определите КПД цикла. Ответ запишите в процентах, с точностью до целого значения.

3. При подключении вольтметра к клеммам одного аккумулятора он показывает напряжение  $U_1 = 3,90$  В, а при подключении к пяти таким же аккумуляторам, соединенным параллельно – напряжение  $U_5 = 4,29$  В.

а. Два таких вольтметра соединили параллельно и подключили к двум таким аккумуляторам, соединенным последовательно. Каковы показания каждого из этих вольтметров? Ответ запишите в В, с точностью до сотых.

б. Какое напряжение покажет идеальный вольтметр, если подключить его к одному такому аккумулятору? Ответ запишите в В, с точностью до сотых.

4. Луч света падает на тонкую линзу в точке на расстоянии  $r = 2$  см от ее главной оптической оси под углом  $6^\circ$  к этой оси, «уходя» от нее. После преломления в линзе луч выходит под углом  $4^\circ$  к этой оси, приближаясь к ней (см. рисунок).



а. Какая это линза – собирающая (1) или рассеивающая (2)? В ответе укажите номер правильного варианта.

б. Найдите оптическую силу линзы. Ответ приведите в диоптриях, с точностью до десятых.

**ОТВЕТЫ:** 1.1. **60**. 1.2. **0,4**. 2.1. **13**. 2.2. **10**. 3.1. **6,02**. 3.2. **4,40**. 4.1. **1**. 4.2. **8,7**.

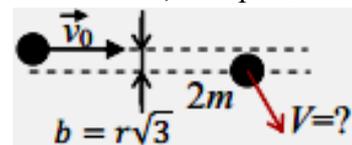
#### **КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ (для автоматической проверки):**

вопрос	ответ участника	балл
1.1	<b>60</b>	<b>4</b>
1.2	<b>0,4</b>	<b>8</b>
	0,3 или 0,5	<b>4</b>
2.1	<b>13</b>	<b>4</b>
	123	<b>2</b>

2.2	<b>10</b>	<b>10</b>
	9 или 11	<b>5</b>
3.1	<b>5,82</b>	<b>8</b>
	5,81 или 5,83	<b>4</b>
3.2	<b>4,40</b>	<b>6</b>
	4,39 или 4,41	<b>3</b>
4.1	<b>1</b>	<b>2</b>
4.2	<b>8,7</b>	<b>8</b>
	<b>8,6 или 8,8</b>	<b>4</b>
<b>Максимальная оценка</b>		<b>50</b>

### Вариант 7

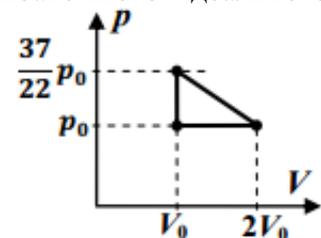
1. Упругая однородная цилиндрическая шайба с массами  $m$  и радиусом  $r$  скользила, не вращаясь, со скоростью  $v_0 = 1,8$  м/с по гладкой горизонтальной поверхности. Другая однородная шайба с точно такими же размерами, но с массой  $2m$ , покоилась на этой поверхности на пути первой. *Прицельный параметр* (расстояние между линией движения первой шайбы и параллельной ей прямой, проходящей через центр второй) равнялся  $b = r\sqrt{3}$  (см. рисунок). Произошел удар.



а. Под каким углом к направлению движения первой шайбы до удара, направлена скорость второй (более тяжелой) шайбы после удара? Ответ запишите в градусах, с точностью до целого значения, без указания единиц измерения.

б. Найдите величину скорости второй шайбы после удара. Ответ запишите в м/с, с точностью до десятых, без указания единиц измерения.

2. Рабочим телом тепловой машины является постоянное количество одноатомного идеального газа. Цикл рабочего тела, показанный на рисунке в координатах давление-объем, состоит из трех процессов: изохоры (1), процесса с линейной зависимостью давления от объема (2) и изобары (3).



а. В каких из этих процессов теплоемкость газа не изменяется в ходе процесса? В ответе перечислите номера всех таких процессов по порядку, не разделяя знаками препинания.

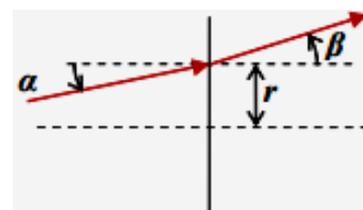
б. Определите КПД цикла. Ответ запишите в процентах, с точностью до целого значения.

3. При подключении вольтметра к клеммам одного аккумулятора он показывает напряжение  $U_1 = 16,5$  В, а при подключении к четырем таким же аккумуляторам, соединенным параллельно – напряжение  $U_4 = 17,6$  В.

а. Три таких вольтметра соединили параллельно и подключили к трем таким аккумуляторам, соединенным последовательно. Каковы показания каждого из этих вольтметров? Ответ запишите в В, с точностью до десятых.

б. Какое напряжение покажет идеальный вольтметр, если подключить его к одному такому аккумулятору? Ответ запишите в В, с точностью до десятых.

4. Луч света падает на тонкую линзу в точке на расстоянии  $r = 5$  см от ее главной оптической оси под углом  $4^\circ$  к этой оси, «уходя» от нее. После преломления в линзе луч выходит под углом  $6^\circ$  к этой оси (см. рисунок).



а. Какая это линза – собирающая (1) или рассеивающая (2)? В ответе укажите номер правильного варианта.

б. Найдите модуль оптической силы линзы. Ответ приведите в диоптриях, с точностью до десятых.

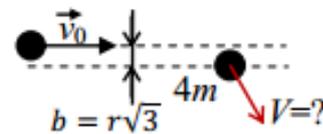
**ОТВЕТЫ:** 1.1. **60**. 1.2. **0,6**. 2.1. **13**. 2.2. **12**. 3.1. **29,7**. 3.2. **18,0**. 4.1. **1**. 4.2. **8,7**.

**КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ (для автоматической проверки):**

вопрос	ответ участника	балл
1.1	<b>60</b>	<b>4</b>
1.2	<b>0,6</b>	<b>8</b>
	0,5 или 0,7	<b>4</b>
2.1	<b>13</b>	<b>4</b>
	123	<b>2</b>
2.2	<b>12</b>	<b>10</b>
	11 или 13	<b>5</b>
3.1	<b>29,7</b>	<b>8</b>
	29,6 или 29,8	<b>4</b>
3.2	<b>18,0</b>	<b>6</b>
	17,9 или 18,1	<b>3</b>
4.1	<b>2</b>	<b>2</b>
4.2	<b>0,7</b>	<b>8</b>
	<b>0,6 или 0,8</b>	<b>4</b>
<b>Максимальная оценка</b>		<b>50</b>

### Вариант 11

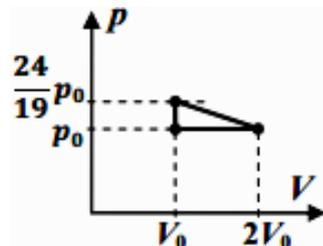
1. Упругая однородная цилиндрическая шайба с массами  $m$  и радиусом  $r$  скользила, не вращаясь, со скоростью  $v_0 = 2,5$  м/с по гладкой горизонтальной поверхности. Другая однородная шайба с точно такими же размерами, но с массой  $4m$ , покоилась на этой поверхности на пути первой. Прицельный параметр (расстояние между линией движения первой шайбы и параллельной ей прямой, проходящей через центр второй) равнялся  $b = r\sqrt{3}$  (см. рисунок). Произошел удар.



а. Под каким углом к направлению движения первой шайбы до удара, направлена скорость второй (более тяжелой) шайбы после удара? Ответ запишите в градусах, с точностью до целого значения, без указания единиц измерения.

б. Найдите величину скорости второй шайбы после удара. Ответ запишите в м/с, с точностью до десятых, без указания единиц измерения.

2. Рабочим телом тепловой машины является постоянное количество одноатомного идеального газа. Цикл рабочего тела, показанный на рисунке в координатах давление-объем, состоит из трех процессов: изохоры (1), процесса с линейной зависимостью давления от объема (2) и изобары (3).



а. В каких из этих процессов теплоемкость газа не изменяется в ходе процесса? В ответе перечислите номера всех таких процессов по порядку,

не разделяя знаками препинания.

в. Определите КПД цикла. Ответ запишите в процентах, с точностью до целого значения.

3. При подключении вольтметра к клеммам одного аккумулятора он показывает напряжение  $U_1 = 8,8\text{В}$ , а при подключении к четырем таким же аккумуляторам, соединенным параллельно – напряжение  $U_4 = 9,6\text{В}$ .

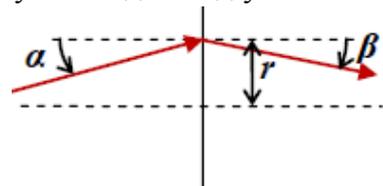
а. Четыре таких вольтметра соединили параллельно и подключили к четырем таким аккумуляторам, соединенным последовательно. Каковы показания каждого из этих вольтметров? Ответ запишите в В, с точностью до сотых.

в. Какое напряжение покажет идеальный вольтметр, если подключить его к одному такому аккумулятору? Ответ запишите в В, с точностью до сотых.

4. Луч света падает на тонкую линзу в точке на расстоянии  $r = 3\text{ см}$  от ее главной оптической оси под углом  $4^\circ$  к этой оси, «уходя» от нее. После преломления в линзе луч выходит под углом  $3^\circ$  к этой оси, приближаясь к ней (см. рисунок).

а. Какая это линза – собирающая (1) или рассеивающая (2)? В ответе укажите номер правильного варианта.

в. Найдите оптическую силу линзы. Ответ приведите в диоптриях, с точностью до десятых.



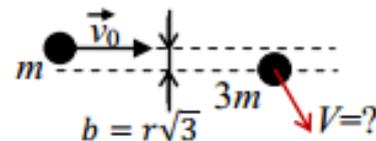
**ОТВЕТЫ:** 1.1. **60**. 1.2. **0,5**. 2.1. **13**. 2.2. **5**. 3.1. **13,2**. 3.2. **9,9**. 4.1. **1**. 4.2. **4,1**.

**КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ (для автоматической проверки):**

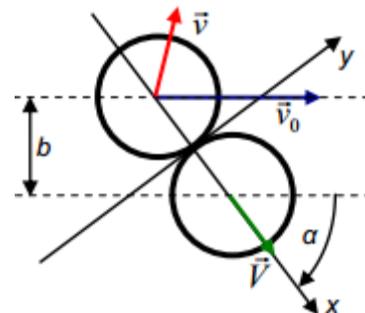
вопрос	ответ участника	балл
1.1	<b>60</b>	<b>4</b>
1.2	<b>0,5</b>	<b>8</b>
	0,4 или 0,6	<b>4</b>
2.1	<b>13</b>	<b>4</b>
	123	<b>2</b>
2.2	<b>5</b>	<b>10</b>
	4 или 6	<b>5</b>
3.1	<b>13,2</b>	<b>8</b>
	13,1 или 13,3	<b>4</b>
3.2	<b>9,9</b>	<b>6</b>
	9,8 или 10,0	<b>3</b>
4.1	<b>1</b>	<b>2</b>
4.2	<b>4,1</b>	<b>8</b>
	4,0 или 4,2	<b>4</b>
<b>Максимальная оценка</b>		<b>50</b>

### ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАНИЙ 10 КЛАССА:

**Задание 1:** Упругая однородная цилиндрическая шайба с массами  $m$  и радиусом  $r$  скользила, не вращаясь, со скоростью  $v_0 = 1,6$  м/с по гладкой горизонтальной поверхности. Другая однородная шайба с точно такими же размерами, но с массой  $3m$ , покоилась на этой поверхности на пути первой. *Прицельный параметр* (расстояние между линией движения первой шайбы и параллельной ей прямой, проходящей через центр второй) равнялся  $b = r\sqrt{3}$  (см. рисунок). Произошел удар. Под каким углом к направлению движения первой шайбы до удара, направлена скорость второй (более тяжелой) шайбы после удара? Найдите величину скорости второй шайбы после удара.



**Решение:** В основе решения таких задач – законы сохранения импульса и энергии. Чтобы решение было не слишком сложным, важно выбрать удобную систему координат. Лучше всего направить ось  $x$  по линии удара, то есть вдоль направления сил взаимодействия шайб (она совпадает с линией, соединяющей центры шайб в момент удара). Ясно, что эта ось будет составлять с направлением движения шайбы



углом  $\alpha = \arcsin\left(\frac{b}{2r}\right) = \arcsin\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right) = 60^\circ$ . Ось  $y$  направим

перпендикулярно этой линии, и, поскольку проекции на нее сил, действующих на шайбы во время удара, равны нулю, то проекции скоростей не изменятся:

$v_y = v_0 \sin(\alpha) = \frac{\sqrt{3}}{2} v_0$  и  $V_y = 0$ . Значит, вторая шайба после удара движется вдоль оси  $x$ , то есть под углом  $60^\circ$  к  $\vec{v}_0$ . Закон сохранения импульса в проекции на ось  $x$  имеет вид

$mv_0 \cos(\alpha) = \frac{1}{2}mv_0 = mv_x + 3mV \Rightarrow v_x = \frac{v_0}{2} - 3V$ . Закон сохранения энергии дает

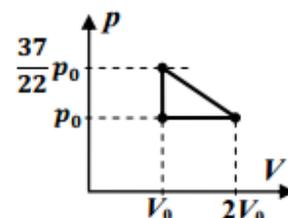
$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{m(v_x^2 + v_y^2)}{2} + \frac{3mV^2}{2} \Rightarrow v_0^2 - v_y^2 = \frac{v_0^2}{4} = v_x^2 + 3V^2.$$

Подставляя  $v_x$  из ЗСИ, получаем уравнение для определения  $V$ :

$$\frac{v_0^2}{4} = \left(\frac{v_0}{2} - 3V\right)^2 + 3V^2 = \frac{v_0^2}{4} - 3v_0V + 12V^2 \Rightarrow 4V - v_0 = 0 \Rightarrow V = \frac{v_0}{4} = 0,4 \text{ м/с.}$$

**Ответ:** под углом  $60^\circ$ ,  $V = \frac{v_0}{4} = 0,4$  м/с.

**Задание 2:** Рабочим телом тепловой машины является постоянное количество одноатомного идеального газа. Цикл рабочего тела, показанный на рисунке в координатах давление-объем, состоит из трех процессов: изохоры, процесса с линейной зависимостью давления от объема и изобары. В каких из этих процессов теплоемкость газа не изменяется в ходе процесса? Определите КПД цикла. Ответ запишите в процентах, с точностью до целого значения.



**Решение:** В изобарном и изохорном процессах теплоемкость идеального газа постоянна. В процессе изохорного нагревания газ получает тепло. При изобарном сжатии газ совершает отрицательную работу и охлаждается, и ясно, что теплота от него отводится. Самое сложное – анализ линейного процесса. Если

записать уравнение прямой в виде  $p(V) = \frac{26}{11} p_0 \left(1 - \frac{15V}{52V_0}\right)$ , и с его помощью вычислить количество

теплоты, которым газ обменивается с окружающими телами при малом изменении объема  $\Delta V$ , то получим:

$$\Delta Q \approx p \cdot \Delta V + \frac{3}{2} \Delta(pV) \approx \frac{5}{2} p \cdot \Delta V + \frac{3}{2} V \cdot \Delta p = \frac{5}{11} p_0 \cdot \Delta V \left( 13 - 6 \frac{V}{V_0} \right),$$

то есть при  $V \in [V_0, 2V_0]$  и  $\Delta V > 0$  всегда  $\Delta Q > 0$ , то есть в этом процессе тепло только подводится, и теплоемкость газа изменяется. Для данного цикла проще всего почитать работу, равную площади цикла

$A = \frac{1}{2} \frac{15}{22} p_0 V_0 = \frac{15}{44} p_0 V_0$ , и количество теплоты холодильника, отводимое от рабочего тела в изобарном процессе:

$$Q_x = -A_p - \Delta U_p = p_0 V_0 + \frac{3}{2} (2p_0 V_0 - p_0 V_0) = \frac{5}{2} p_0 V_0.$$

Значит, КПД цикла  $\eta = \frac{A}{Q_x + A} = \frac{3}{25} = 12\%$ .

**Ответ:**  $\eta = 12\%$ .

**Задание 3:** При подключении вольтметра к клеммам одного аккумулятора он показывает напряжение  $U_1 = 16,5$  В, а при подключении к четырем таким же аккумуляторам, соединенным параллельно – напряжение  $U_4 = 17,6$  В. Три таких вольтметра соединили параллельно и подключили к трем таким аккумуляторам, соединенным последовательно. Каковы показания каждого из этих вольтметров? Какое напряжение покажет идеальный вольтметр, если подключить его к одному такому аккумулятору?

**Решение:** Введем обозначения: пусть  $U$  – напряжение, создаваемое аккумулятором на своих клеммах при разомкнутой цепи (его ЭДС),  $r$  – внутреннее сопротивление аккумулятора, а  $R$  – сопротивление вольтметра. Тогда при подключении вольтметра к клеммам одного аккумулятора сила тока через него

равна  $I = \frac{U}{R+r}$ , и напряжение на вольтметре  $U_1 = \frac{R}{R+r} U = \frac{z}{z+1} U$ , где  $z \equiv \frac{R}{r}$ . У четырех таких же

аккумуляторов, соединенных параллельно, ЭДС такое же, а внутреннее сопротивление равно  $\frac{r}{4}$ , так что

$$U_4 = \frac{4R}{4R+r} U = \frac{4z}{4z+1} U = \frac{4(z+1)}{4z+1} U_1 \Rightarrow \frac{U_4}{U_1} = \frac{16}{15} = \frac{4(z+1)}{4z+1}. \text{ Из этого уравнения находим, что } z = 11.$$

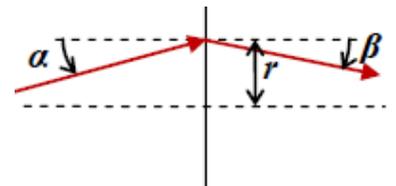
При подключении трех вольтметров к трем таким же аккумуляторам, соединенным последовательно, напряжения на аккумуляторах и их внутренние сопротивления складываются, так что

$$U_{33} = \frac{R/3}{R/3+3r} 3U = \frac{3z}{z+9} U = \frac{3(z+1)}{z+9} U_1 = 29,7 \text{ В. Для ответа на второй вопрос нужно найти } U:$$

$$U = \frac{z+1}{z} U_1 = 18 \text{ В.}$$

**Ответ:**  $U_{33} = 29,7$  В,  $U = 18$  В.

**Задание 4:** Луч света падает на тонкую линзу в точке на расстоянии  $r = 2$  см от ее главной оптической оси под углом  $6^\circ$  к этой оси, «уходя» от нее. После преломления в линзе луч выходит под углом  $4^\circ$  к этой оси, приближаясь к ней (см. рисунок). Найдите оптическую силу линзы. Ответ приведите в диоптриях, с точностью до целого значения.



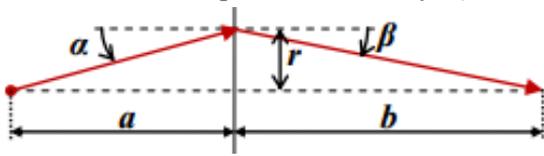
**Решение:** Продолжим падающий луч до пересечения с главной оптической осью линзы и представим себе, что этот луч был испущен точечным источником, помещенным в точку пересечения. Тогда его изображение находилось бы в точке пересечения преломленного луча с главной оптической осью линзы.

Запишем формулу тонкой линзы:  $D = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}$ , и умножим ее на  $r$ . Получим:

$$r \cdot D = \frac{r}{a} + \frac{r}{b} = \operatorname{tg}(\alpha) + \operatorname{tg}(\beta) \Rightarrow D = \frac{\operatorname{tg}(\alpha) + \operatorname{tg}(\beta)}{r} \approx 8,75 \approx 9 \text{ Дптр.}$$

с заданной точностью можно использовать приближенную формулу  $D \approx \frac{\alpha + \beta}{r} \approx 8,72 \approx 9 \text{ Дптр.}$

Оптическая сила получилась положительной, так что линза является собирающей (впрочем, это было ясно и по поведению преломленного луча).



**Ответ:** Линза собирающая,  $D \approx 9 \text{ Дптр.}$