



Физический факультет  
Московского  
государственного университета  
имени М.В.Ломоносова

## НА ПУТИ К ЕГЭ-2025: СТАТИКА И ОПТИКА

**Стрыгин Сергей Евгеньевич**

**член Федеральной комиссии по разработке КИМ ЕГЭ по физике(ФИПИ),**

**Председатель региональной предметной комиссии ЕГЭ по физике в г. Москва (проверка работ и апелляции),**

**доцент Физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова,**

**кандидат физико-математических наук,**

**Учитель высшей квалификационной категории**

**27 июня 2024г.**

**XII Всероссийская летняя школа учителей физики в пансионате МГУ «Красновидово»**



# СТРУКТУРА КИМ ЕГЭ-2025 ПО ФИЗИКЕ

**26**  
заданий

**20 заданий**  
в части 1

**6 заданий**  
в части 2

**45**  
баллов

Максимальный  
балл



**3 ч. 55 мин**  
Время  
выполнения  
работы



# СТРУКТУРА КИМ ЕГЭ-2025 ПО ФИЗИКЕ

ЧАСТЬ 2

6

заданий

с развернутым  
ответом:

2 задачи

по механике

2 задачи

по молекулярной физике

2 задачи

по электродинамике

№21

3 балла

качественная задача (механика + молекулярная физика + электродинамика)

№22

2 балла

расчетная задача (механика + молекулярная физика)

№23

2 балла

расчетная задача (молекулярная физика + оптика)

№24

3 балла

расчетная задача (молекулярная физика)

№25

3 балла

расчетная задача (электростатика, постоянный ток, магнитное поле, ЭМИ)

№26

4 балла

расчетная задача (механика: динамика, законы сохранения в механике, статика)



# Задача №26, механика на 4 балла

## расчетная задача + физическая модель

Двухкритериальная система оценивания

Критерий 1:

***Верно обоснована возможность использования законов  
(закономерностей)***

**1 балл**

Критерий 2: ***Традиционные требования***

**3 балла**

***Исходные формулы и законы (кодификатор);***

***Обозначения физических величин;***

***Рисунок с указанием сил;***

***Математические преобразования и расчеты;***

***Правильный числовой ответ, размерность.***

**Итого 4 балла**



# Статика

ИСО, связанная с определенным телом

Твердое тело

Условия равновесия

Векторная сумма сил, действующих на тело, равна нулю  
(2 закон Ньютона)

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots = 0$$

Сумма моментов сил равна нулю:

$$M_1 + M_2 + \dots = 0$$

(моменты сил надо суммировать с учетом знаков моментов сил:  $M > 0$ , если вращение под действием этой силы по часовой стрелке)

Для идеального блока  
(если он есть)

Для твердого тела

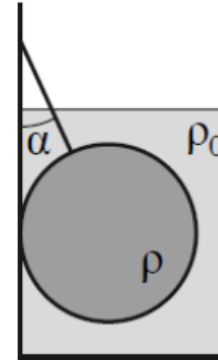


# ЛИНИЯ 26

статика

4 балла

Железный шар массой 2 кг подвешен на нити и полностью погружён в керосин (см. рисунок). Нить образует с вертикалью угол  $\alpha = 30^\circ$ . Определите силу, с которой шар действует на стенку. Трением шара о стенку пренебречь. Сделайте схематичный рисунок с указанием сил, действующих на шар. Обоснуйте применимость законов, используемых для решения задачи.



Выбор ИСО

Абсолютно  
твёрдое тело

Применимость  
условий равновесия



## Обоснование

1. Рассмотрим задачу в системе отсчёта, связанной с Землёй. Будем считать эту систему отсчёта инерциальной (ИСО).
2. Описываем шар моделью твёрдого тела (форма и размеры тела неизменны, расстояние между любыми двумя точками тела остаётся неизменным).
3. Любое движение твёрдого тела является суперпозицией поступательного и вращательного движения. Поэтому условий равновесия твёрдого тела в ИСО ровно два: одно для поступательного движения, другое — для вращательного движения.
4. Сумма приложенных к шару внешних сил равна нулю (условие равновесия твёрдого тела относительно поступательного движения).
5. Сумма моментов приложенных к шару внешних сил равна нулю (условие равновесия твёрдого тела относительно вращения). Моменты сил  $m\vec{g}$  и  $\vec{F}_A$  относительно оси, проходящей через центр шара, равны нулю. Поскольку трение шара о стенку отсутствует, линия действия силы реакции стенки будет проходить через центр шара. Следовательно, исходя из условия равновесия, линия действия силы  $T$ , совпадающая с нитью, тоже проходит через центр шара.
6. Согласно третьему закону Ньютона силы, с которыми шар и стенка взаимодействуют друг с другом, равны по модулю и направлены в противоположные стороны.



## Обобщенная схема оценивания задания 26

Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.

Записи, соответствующие пунктам II и III, представлены не в полном объёме или отсутствуют.

И (ИЛИ)

В решении имеются лишние записи, не входящие в решение, которые не отделены от решения и не зачёркнуты.

И (ИЛИ)

В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.

И (ИЛИ)

Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины)

2

2.1

2.2

2.3

2.4

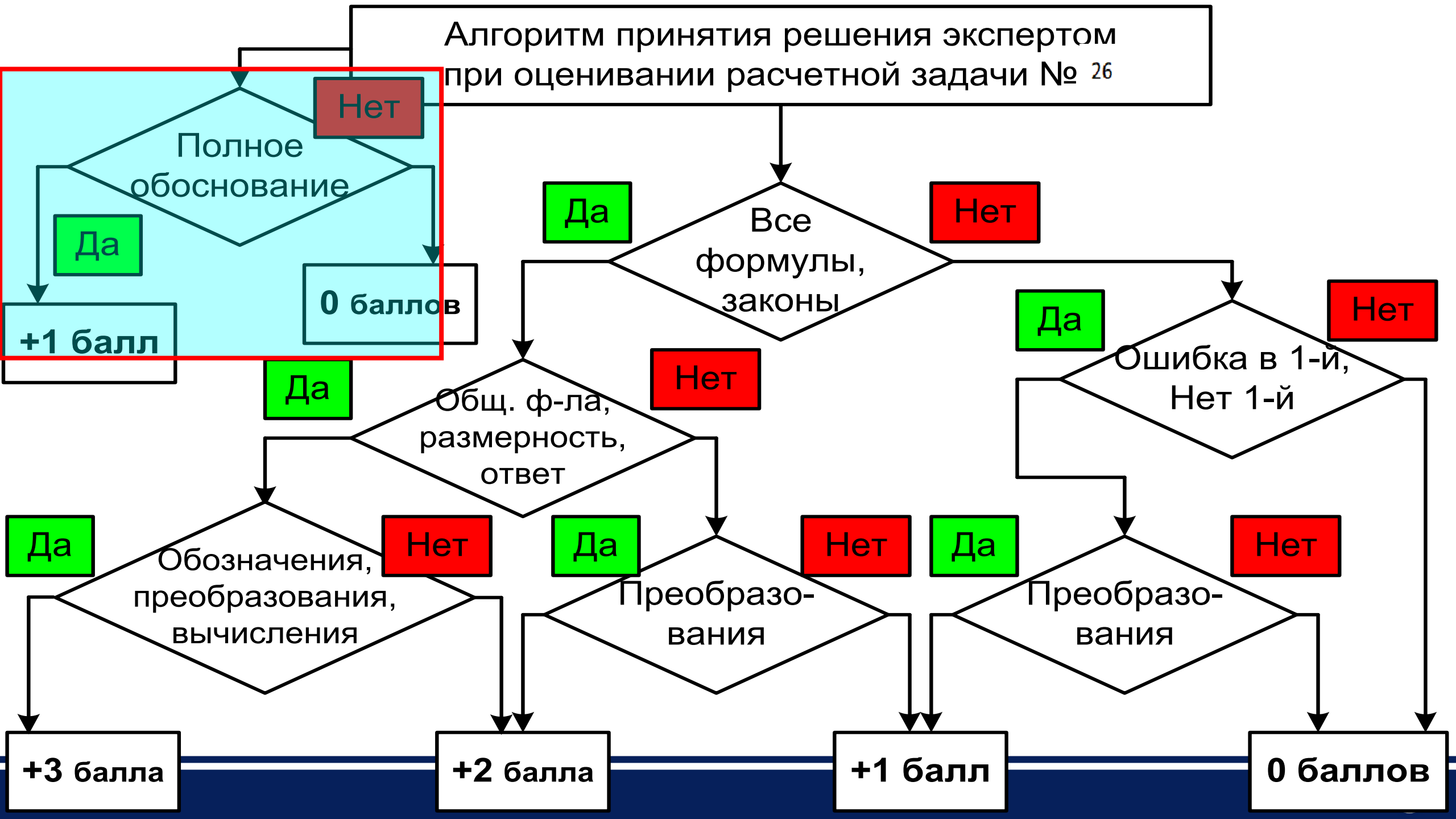




## Обобщенная схема оценивания задания 26

|   |                   |
|---|-------------------|
| <p>Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих случаев.</p>   | 1                 |
| <p>Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо и достаточно для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.</p> <p>ИЛИ</p> <p>В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.</p> <p>ИЛИ</p> <p>В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения данной задачи (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи</p> | 1.1<br>1.2<br>1.3 |
| <p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла</p>  | 0                 |





Алгоритм принятия решения экспертом при оценивании расчетной задачи № 26

Полное обоснование

Нет

Да

+1 балл

0 баллов

Да

Все формулы, законы

Нет

Да

Общ. ф-ла, размерность, ответ

Нет

Да

Обозначения, преобразования, вычисления

Нет

Да

Преобразования

Нет

Да

Преобразования

Нет

+3 балла

+2 балла

+1 балл

0 баллов

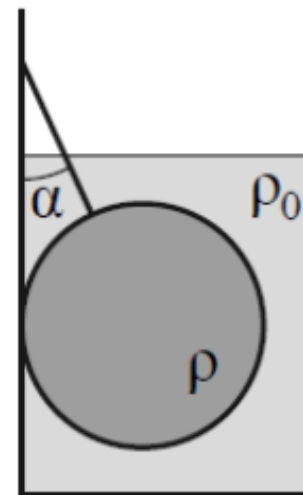
Ошибка в 1-й, Нет 1-й

Нет

Нет

## ЗАДАЧА 26 Пример-1

Железный шар массой 2 кг подвешен на нити и полностью погружён в керосин (см. рисунок). Нить образует с вертикалью угол  $\alpha = 30^\circ$ . Определите силу, с которой шар действует на стенку. Трением шара о стенку пренебречь. Сделайте схематичный рисунок с указанием сил, действующих на шар. Обоснуйте применимость законов, используемых для решения задачи.



## Решение

Запишем второй закон Ньютона:  $\vec{T} + m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_A = 0$ .

В проекциях на оси  $Ox$  и  $Oy$  второй закон Ньютона запишем в виде:

$$Ox: N - T \sin \alpha = 0; \quad (1)$$

$$Oy: mg - T \cos \alpha - F_A = 0. \quad (2)$$

Объём шара  $V = \frac{m}{\rho}$ .

Величина выталкивающей силы  $F_A$  определяется по закону Архимеда:

$$F_A = \rho_0 g V = \frac{mg\rho_0}{\rho}, \quad (3)$$

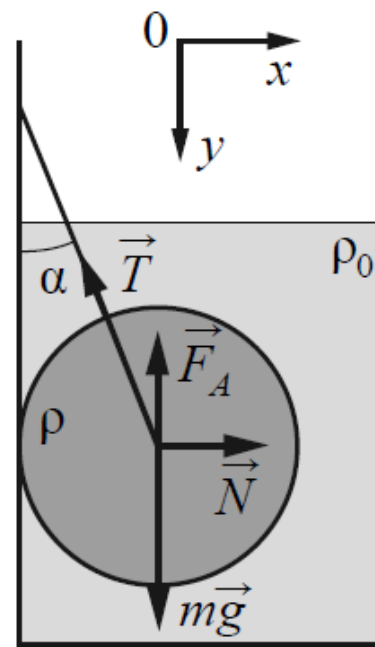
где  $\rho_0$  – плотность керосина.

Выполняя математические преобразования с формулами (1)–(3), получим:

$$N = \frac{mg(\rho - \rho_0) \operatorname{tg} \alpha}{\rho} = \frac{2 \cdot 10 \cdot (7800 - 800) \cdot 0,577}{7800} \approx 10 \text{ Н.}$$

По третьему закону Ньютона модуль силы, с которым шар действует на стенку,  $F = N \approx 10 \text{ Н}$ .

Ответ:  $F \approx 10 \text{ Н}$



| Критерии оценивания выполнения задания  | Баллы |
|---|-------|
| <i>Критерий 1</i>   |       |
| Верно обоснована возможность использования законов (закономерностей). В данном случае: <i>выбор ИСО, модель твёрдого тела, условия равновесия твёрдого тела относительно поступательного и вращательного движения</i> | 1     |
| <p>В обосновании отсутствует один или несколько из элементов.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>В обосновании допущена ошибка.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>Обоснование отсутствует</p>  | 0     |



## Критерий 2

Приведено полное решение, включающее следующие элементы:

3

I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения

задачи выбранным способом (в данном случае: *условия равновесия шара, третий закон Ньютона, закон Архимеда, формула массы тела*);

II) сделан правильный рисунок с указанием сил, действующих на шар;

III) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (*за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений величин, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов*);

IV) представлены необходимые математические преобразования и расчёты (подстановка числовых данных в конечную формулу), приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);

V) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения физической величины



# Полное верное решение

Задача 30

~~Рассмотрим~~

Обоснование:

1) Рассмотрим шепталу отскит связанныую с землей. Будем считать её инертной.

2) Опшем ~~на~~ жидкой шар моделью твердого тела, т.к. ~~в~~ ~~состав~~ составлюет угол  $30^\circ$  ~~с~~ со стенкой сосуда.

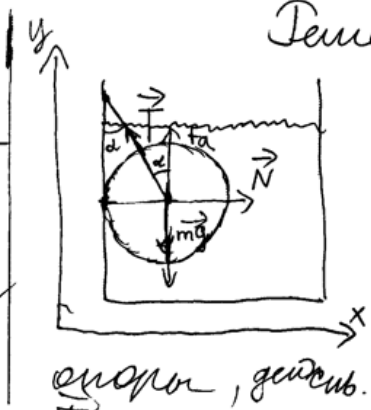
3) Будем считать, что тело покоится, т.к. поступательное движение шара равно нулю, т.к.  $\sum \vec{F}_i = 0$  (равно нулю, и вращательное движение равно нулю, т.к.  $\sum \vec{M}_i = 0$  (если мы ~~выберем~~ ~~все~~ ~~три~~ ~~вращения~~ ~~проходящие~~ ~~через~~ ~~центр~~ ~~шара~~, то все силы будут исходить из центра и сумма моментов ~~не~~ вращательных тел по часовой стрелке и вращательных против часовой равна нулю. 1) т.к. вытисн. 1) и 2), то можно прил. II з. Гельмгольца

4) Сила ~~в~~ действия шара на стенку сосуда равна силе реакции опоры ~~в~~ действующей на шар ~~по~~ по Третьему закону Гельмгольца



Дано:  
 $m = 3 \text{ кг}$   
 $\alpha = 30^\circ$

Найти:  
 $F$  - силу действия шара на стенку сосуда.



Решение:

Введем ось  $OY$  направленно ~~по~~ ~~совместно~~ с ~~силой~~ архимеда, действ. на шар  $F_a$ , а ось  $Ox$  совпадет с ~~силой~~ реакцией опоры, действ. на шар:  $N$

$T$  - сила натяжения нити, действ. на шар.  
 $\vec{m}\vec{g}$  - сила тяжести, действ. на шар.

$\Rightarrow$  По второму закону Ньютона:  
 $\vec{T} + \vec{F}_a + \vec{N} + \vec{m}\vec{g} = m\vec{a} = 0 \quad (a=0)$

$\Rightarrow$  Спроектируем силы на ось  $Ox$

$$\Rightarrow \begin{cases} OX: N - T \sin \alpha = 0 \\ OY: F_a + T \cos \alpha - mg = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} T = \frac{N}{\sin \alpha} \\ T = \frac{mg - F_a}{\cos \alpha} \end{cases} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \frac{N}{\sin \alpha} = \frac{mg - F_a}{\cos \alpha} \Rightarrow N = \operatorname{tg} \alpha (mg - F_a), \quad F_a = \rho_K g V_{ш},$$

где  $\rho_K$  - плотность керосина,  $V_{ш}$  - объем шара.  
 $g$  - ускорение свободного падения.

$$V_{ш} = \frac{m_{ш}}{\rho_{ш}}, \quad \rho_K - \text{плотность керосина}$$

$$\Rightarrow N = \operatorname{tg} \alpha (mg - \rho_K g \frac{m}{\rho_{ш}}), \quad \text{и.к. } F = N \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F = \operatorname{tg} \alpha (mg - \frac{\rho_K}{\rho_{ш}} \cdot g \cdot m) = mg \operatorname{tg} \alpha (1 - \frac{\rho_K}{\rho_{ш}}) =$$

$$= 2 \cdot 10 \cdot \operatorname{tg} 30^\circ \cdot (1 - \frac{800}{7800}) \approx 10,36 \text{ Н} \quad \text{Ответ: } F \approx 10,36 \text{ Н}$$

Kp1: 1

Kp2: 3





№30

Дано

$m = 2 \text{ кг}$

$\rho_0 = 800 \text{ кг/м}^3$

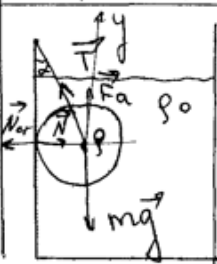
$\alpha = 30^\circ$

$\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$

$g = 10 \text{ м/с}^2$

№30)

Решение



Обоснование:

- 1) Рассмотрим  $\omega$ , будем считать ее инерциальной
- 2) к телу попопие, используем модель  $m \tau$

3) Применим II закон Ньютона в ИСО

4) На тело в жидкости действует сила Архимеда,  $F_a = \rho_0 g V$

5) по III закону Ньютона  $|\vec{N}_{cr}| = |\vec{N}|$

по II закону Ньютона

$O_x: F_a + T \cos \alpha - mg = 0$

$O_y: N - T \sin \alpha = 0$

это закон Архимеда  $F_a = \rho_0 g V$ , где  $V$  - объем тела

Объем тела  $V = \frac{m}{\rho}$

$\rho_0 g \frac{m}{\rho} + \frac{N \cos \alpha}{\sin \alpha} - mg = 0$

$N = mg \cdot \frac{(1 - \frac{\rho_0}{\rho})}{\operatorname{ctg} \alpha} = 2 \cdot 10$

$\frac{1 - \frac{800}{7800}}{\operatorname{ctg} 30^\circ} = 10,4 \text{ Н}$

Ответ 10,4 Н

Kp1: 0

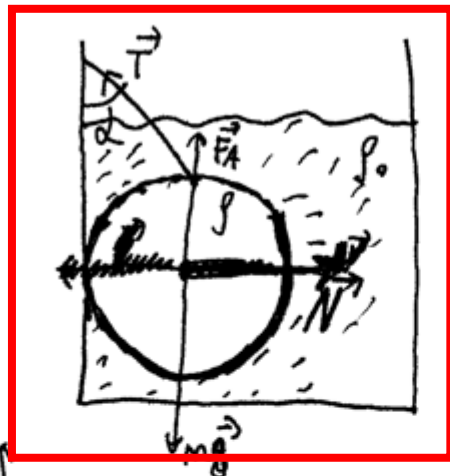
Kp2: 2



Дано:  
 $m = 2 \text{ кг}$   
 $\alpha = 30^\circ$   
 $\rho = 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$   
 $\rho_0 = 800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$   
 $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

$F = ?$

Решение:  $\sqrt{30}$



$$\vec{F} + \vec{T} + \vec{F}_A + \vec{N} + m\vec{g} = 0.$$

$$O_x: F_A - mg + T \cdot \cos \alpha = 0 \quad F_A = \rho_0 \cdot g \cdot V$$

$$T \cdot \cos \alpha = mg - F_A \quad (1) \quad V = \frac{m}{\rho}$$

$$O_y: N = T \cdot \sin \alpha \quad (2)$$

$$\frac{(2)}{(1)}: \frac{N}{mg - F_A} = \frac{T \cdot \sin \alpha}{T \cdot \cos \alpha}$$

$$\frac{N}{mg - F_A} = \text{tg} \alpha$$

$$N = \text{tg} \alpha (mg - F_A)$$

$$N = \text{tg} \alpha (mg - \rho_0 \cdot g \cdot V)$$

$$N = \text{tg} \alpha (mg - \rho_0 \cdot g \cdot \frac{m}{\rho}) \quad \text{tg} 30$$

$$N = mg \cdot \text{tg} \alpha \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) = 2 \cdot 10 \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \left(1 - \frac{800}{7800}\right) \approx 10,4 \text{ Н};$$

$$|N| = |F| = 10,4 \text{ Н (по III закону Ньютона)}$$

Ответ: 10,4 Н.

Неверный рисунок + неверная запись 2 закона Ньютона в векторном виде, но верная в проекциях

Кр1: 0

Кр2: 2



Неверное направление силы реакции опоры, при таком направлении векторная сумма сил не может быть равна

Дано:

$$m = 2 \text{ кг}$$

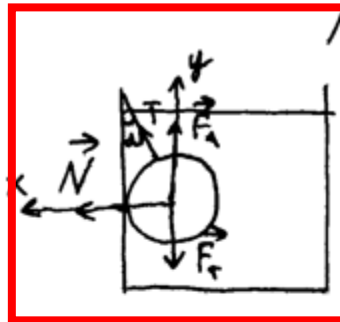
$$\rho_0 = 800 \text{ кг/м}^3$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

$$N = ?$$



По II закону Ньютона:  
 $\vec{F}_A + \vec{T} + \vec{N} + \vec{F}_T = m\vec{a}$   
 т.к. шарик находится в

покое  $\Rightarrow a = 0$

$$O_x: N + T \cdot \sin \alpha = 0$$

$$O_y: F_A + T \cdot \cos \alpha - mg = 0$$

$$F_A = \rho_0 g V = \rho_0 g \frac{m}{\rho}$$

$$N = -T \sin \alpha$$

$$T = \frac{mg - \rho_0 g \frac{m}{\rho}}{\cos \alpha}$$

$$N = -\left(\frac{mg - \rho_0 g \frac{m}{\rho}}{\cos \alpha}\right) \cdot \sin \alpha = (-mg + \rho_0 g \frac{m}{\rho}) \cdot \operatorname{tg} \alpha =$$

$$= (-2 \cdot 10 + 800 \cdot 10 \frac{2}{7800}) \cdot \operatorname{tg} 30^\circ \approx -10,36 \text{ (Н)}$$

Ответ:  $-10,36 \text{ Н}$

Кр1: 0

Кр2: 1



# Верное решение

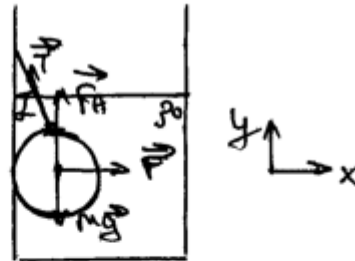
№30

Дано:  
 $m = 2 \text{ кг}$   
 $\rho = 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$   
 $\rho_0 = 800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$   
 $L = 30^\circ$

$F = ?$

Обоснование

- 1) Рассмотрим задачу в системе отсчёта, связанной с Землёй. Будем считать её инерциальной
- 2) Шар опишем моделью твёрдого тела, т.к. он покоится
- 3) На шар действуют силы  $m\vec{g}$ ,  $\vec{F}_A$ ,  $\vec{F}$  и  $\vec{T}$ ,



## Верное решение

указанные на рисунке.

4) Шар неподвижен, поэтому можно записать условие равновесия:  $m\vec{g} + \vec{F}_A + \vec{F} + \vec{T} = 0$

5) По 3-му закону Ньютона, шар давит на стену с силой, по модулю равной  $|\vec{F}|$ .

Решение.

$$m\vec{g} + \vec{F}_A + \vec{F} + \vec{T} = 0$$

$$Ox: F = T \sin \alpha$$

$$Oy: mg = F_A + T \cos \alpha$$

$$F_A = \rho_0 \cdot \frac{m}{\rho} g$$

$$T = \frac{1}{\cos \alpha} (mg - \rho_0 \frac{m}{\rho} g) = \frac{g}{\cos \alpha} (m - \frac{\rho_0}{\rho} m) = \frac{mg}{\cos \alpha} (1 - \frac{\rho_0}{\rho})$$

$$F = \frac{mg \sin \alpha}{\cos \alpha} (1 - \frac{\rho_0}{\rho}) = mg \tan \alpha (1 - \frac{\rho_0}{\rho}) = 2kr \cdot 10 \frac{1}{\text{с}^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} (1 - \frac{800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}}{7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}}) =$$

$$\approx \textcircled{10,36 \text{ Н}}$$

Ответ: 10,36 Н

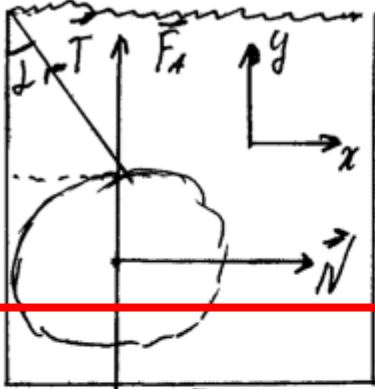
Kp1: 1

Kp2: 3



# Верное решение по К2. Обоснование неполное.

№30



Дано:  $mg$

$m = 2 \text{ кг}$

$\alpha = 30^\circ$

$\rho_ж = 1000 \text{ кг/м}^3$

$\rho_{жн} = 7800 \text{ кг/м}^3$

$N = ?$

Решение:

• Шар воздействует на стенку шарка только одной стороной и равнодействующей к силе воздействия будет сила реакции струи (N); Шар таким образом находится в вакуум или будет действовать сила Архимеда, будет выталкиван

1) По 2-му закону Ньютона  $\sum \vec{F} = m\vec{a}$ ;  $a = 0 \Rightarrow \sum \vec{F} = 0$

Ох:  $N = T \sin \alpha$

Оу:  $F_A + T \cos \alpha = mg$ ;  $F_A = \rho_ж V$ ;  $V = \frac{m}{\rho_ш} \Rightarrow F_A = \frac{\rho_ж g m}{\rho_ш}$

2)  $T = \frac{mg - F_A}{\cos \alpha} = \frac{mg - \frac{\rho_ж g m}{\rho_ш}}{\cos \alpha} = \frac{2 \cdot 10 - \frac{1000 \cdot 10 \cdot 2}{7800}}{\frac{\sqrt{3}}{2}} = 20,13 \text{ Н}$

3)  $N = T \sin \alpha = 20,13 \cdot \frac{1}{2} = 10,07 \text{ Н}$

Ответ:  $N = 10,07 \text{ Н}$

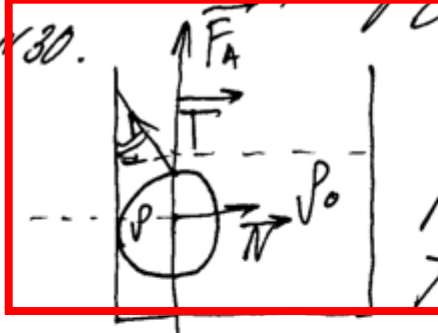
Кр1: 0

Кр2: 2



# Верное решение по К2. Обоснование неполное.

130.



Это 3 з.т. сила с которой шар действует на стержень = N.

$$F_A = \rho_0 g V_{\text{шар}} = \rho_0 g \frac{m_{\text{шар}}}{\rho_{\text{стержня}}}; \quad F_A + T \cos \alpha = mg \quad (\text{по 2 з.т.});$$

$$T \sin \alpha = N; \quad T = \frac{mg - F_A}{\cos \alpha}$$

$$N = \frac{(mg - F_A) \sin \alpha}{\cos \alpha} = \frac{(mg - \rho_0 g \frac{m_{\text{шар}}}{\rho_{\text{стержня}}}) \sin \alpha}{\cos \alpha}$$

$$= \frac{2(20 - 800 \cdot 10 \cdot \frac{2}{800})}{\sqrt{3}} = \frac{20 - 2,05}{1,7} \approx 10,55 \text{ Н}$$

1) Систему связанную с Землей будем считать инерциальной  
 2) Шар описывается моделью материальной точки  
 3) Трение отсутствует

1) 2) - 2 з.т.  
 3) - 3 з.т.

Ответ: 10,6 Н

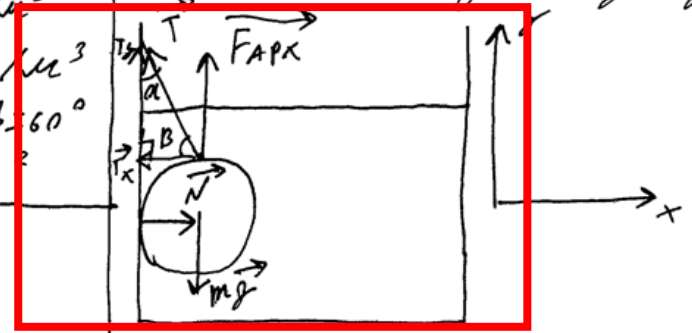
Кр1: 0

Кр2: 2



Дано:  
 $m = 2 \text{ кг}$   
 $\rho = 7300 \text{ кг/м}^3$   
 $\rho_0 = 800 \text{ кг/м}^3$   
 $\alpha = 30^\circ$   $\beta = 60^\circ$   
 $g = 10 \text{ м/с}^2$

Ищем:  $N$   
 Ищем сил, действующих на шар:



$N = ?$

В данной задаче. 1) Как видно на рисунке все силы действуют вертикально, кроме  $N$  и  $T_x$ , соответствующие им:  
 $\vec{N} = \vec{T}_x \Rightarrow N = T_x$

2) Ил. к. шар находится в равновесии относительно оси  $y$ :  
 $m\vec{g} = \vec{F}_{ApK} + \vec{T}_y$

3) Найдём  $T_x$ :  
 $T \cdot \sin \beta = T_y$   
 $T_x = \frac{T_y}{\sin \beta}$   
 $T_x = \frac{18}{\sin 60^\circ} \approx 20,8 \text{ Н}$

В итоге получим:  
 $T_x = N = 10,4 \text{ Н}$  Ответ: 10,4 Н

Формулы для силы Архимеда и массы шара представлены в цифрах.

Kp1: 0

Kp2: 0

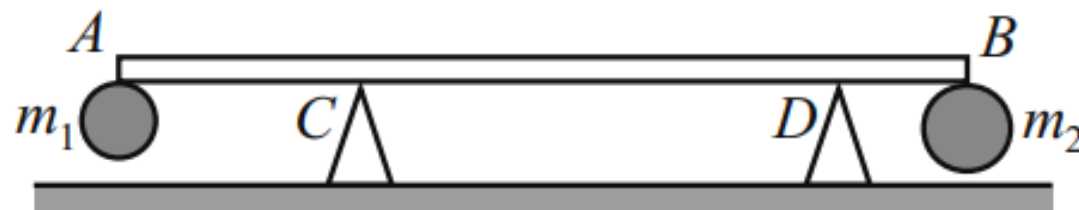




## ЗАДАЧА 26 Пример-2

26

Два небольших массивных шара закреплены на концах невесомого стержня  $AB$ , лежащего горизонтально на опорах  $C$  и  $D$  (см. рисунок). Длина стержня  $L = 1$  м, расстояние между опорами  $l = 0,6$  м, а расстояние  $AC$  равно  $0,2$  м. Масса шара  $m_2 = 0,3$  кг, а сила давления стержня на опору  $D$  в 2 раза больше, чем на опору  $C$ . Чему равна масса шара  $m_1$ ? Сделайте рисунок с указанием внешних сил, действующих на систему тел «стержень и шары». Обоснуйте применимость законов, используемых для решения задачи.



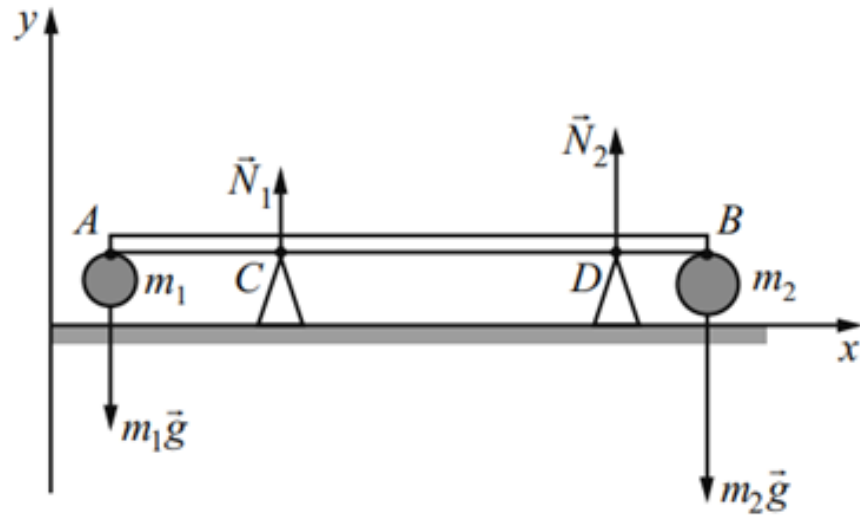
## Возможное решение

### Обоснование

1. Рассмотрим задачу в системе отсчёта, связанной с Землёй. Будем считать эту систему отсчёта инерциальной (ИСО).
2. Описываем стержень с шарами моделью твёрдого тела (форма и размеры тела неизменны, расстояние между любыми двумя точками тела остаётся неизменным).
3. Стержень не движется поступательно, поэтому сумма сил, действующих на него, равна нулю.
4. Стержень не вращается, поэтому сумма моментов сил относительно оси, проходящих через точку  $A$  перпендикулярно плоскости рисунка, равна нулю.
5. Согласно третьему закону Ньютона силы, с которыми шары и стержень взаимодействуют друг с другом, равны по модулю и направлены в противоположные стороны.

| Критерии оценивания выполнения задания  | Баллы |
|---|-------|
| <b><i>Критерий 1</i></b>  |       |
| Верно обоснована возможность использования законов (закономерностей). В данном случае: <i>выбор ИСО, модель твёрдого тела, условия равновесия твёрдого тела относительно поступательного и вращательного движения, третий закон Ньютона</i> | 1     |





### Решение

1. На твёрдое тело, образованное стержнем и двумя шарами, действуют силы тяжести  $m_1\vec{g}$  и  $m_2\vec{g}$ , приложенные к центрам шаров, и силы реакции опор  $\vec{N}_1$  и  $\vec{N}_2$ . По третьему закону Ньютона модули сил реакции равны соответствующим модулям сил давления стержня на опоры, поэтому  $N_2 = 2N_1$  (в соответствии с условием задачи).

2. В инерциальной системе отсчёта  $Oxy$ , связанной с Землёй, условия равновесия тела приводят к системе уравнений:

$$\begin{cases} N_1 + N_2 - m_1g - m_2g = 0 & \text{— центр масс не движется вдоль } Oy; \\ N_1x + N_2(l+x) - m_2gL = 0 & \text{— нет вращения вокруг точки } A. \end{cases}$$

Здесь  $x$  — плечо силы  $N_1$  ( $x = AC$ ).

3. С учётом условия  $N_2 = 2N_1$  систему уравнений перепишем в виде:

$$\begin{cases} 3N_1 = (m_1 + m_2)g; \\ (3x + 2l)N_1 = m_2gL. \end{cases}$$

Поделив первое уравнение на второе, получим:

$$\frac{3L}{3x + 2l} = 1 + \frac{m_1}{m_2}, \text{ откуда } \frac{m_1}{m_2} = \frac{3(L-x) - 2l}{3x + 2l} = \frac{3(1 - 0,2) - 2 \cdot 0,6}{3 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,6} = \frac{2}{3}.$$

4. Отсюда:

$$m_1 = \frac{2}{3}m_2 = \frac{2}{3} \cdot 0,3 = 0,2 \text{ кг.}$$

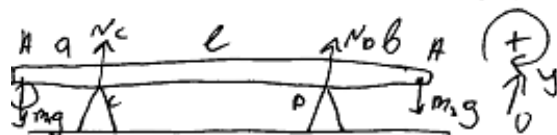


| <b>Критерий 2</b>  |   |
|--|---|
| I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>условия равновесия твёрдого тела относительно поступательного и вращательного движения; третий закон Ньютона</i> );   | 3 |
| II) сделан рисунок с указанием сил, действующих на стержень;<br>III) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений величин, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);<br>IV) представлены необходимые математические преобразования и расчёты (подстановка числовых данных в конечную формулу), приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);<br>V) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения физической величины |   |



Решение  
 $l = 1 \text{ м}$   
 $\ell = 0,6 \text{ м}$   
 $a = AC = 0,2 \text{ м}$   
 $m_2 = 0,3 \text{ кг}$   
 $N_p = 2N_c$   
 $3 = \frac{l}{a + \ell} = 0,2 \text{ м}$   
 $m_1 = ?$

- 1) Будем считать систему отсчёта циркулярной и не подвижной относительно земли
- 2) т.к система находится в равновесии, то сумма моментов относительно точки А перемещению равна нулю
- 3) Система находится в равновесии и не движется  $\Rightarrow$  сумма всех сил приложенных к стержню = 0.
- 4) Стержень будем считать абсолютно твёрдым телом.



Опишем <sup>уравнение</sup> моменты точки А:

$$M_{Nc} + M_{Np} + M_{m_1g} + M_{m_2g} = 0$$

$$- N_c a - N_p (a + \ell) + m_1 g l = 0$$

$$m_1 = \frac{m_2}{\left(\frac{3L}{3a + 2\ell} - 1\right)}$$

но в задаче известно!

$$N_c + N_p = m_1 g + m_2 g$$

$$N_p = 2N_c$$

$$3N_c = m_1 g + m_2 g$$

$$m_2 g \ell = N_c a + 2N_c (a + \ell)$$

$$N_c = \frac{m_2 g \ell}{a + 2a + 2\ell}$$

$$\frac{3 m_2 g \ell}{3a + 2\ell} = m_1 g + m_2 g$$

$$m_1 \left( \frac{3L}{3a + 2\ell} - 1 \right) = m_2$$

$$m_1 = m_2 \left( \frac{3L}{3a + 2\ell} - 1 \right)$$

$$m_1 = 0,3 \left( \frac{3 \cdot 1}{3 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,6} - 1 \right) =$$

$$= 0,2 \text{ кг}$$

Ответ: 0,2 кг.

0/2



# Задание 26 Работа 2

№ 26.

Дано:

$$L = 1 \text{ м}$$

$$L = 0,6 \text{ м}$$

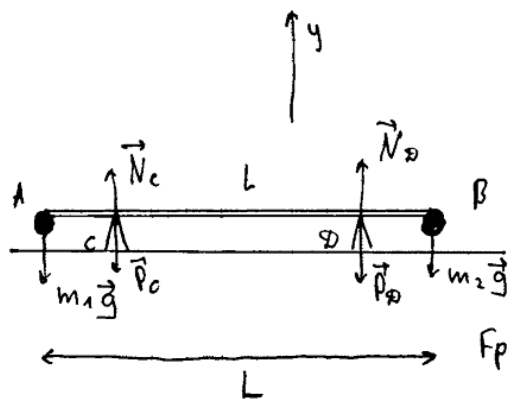
$$AC = 0,2 \text{ м}$$

$$m_2 = 0,3 \text{ м}$$

Искать:

$$P_D = 2P_C$$

$$m_1 = ?$$



Решим

По 3 г. Механика

$$\left. \begin{aligned} \vec{N}_C = -\vec{P}_C \\ \vec{N}_D = -\vec{P}_D \end{aligned} \right\} \Rightarrow N_D = 2N_C$$

$$F_p = 0 \Rightarrow F_{py} = 0 \Rightarrow N_C + N_D - m_1 g - m_2 g = 0$$

$$3N_C = (m_1 + m_2)g$$

$$N_C = \frac{(m_1 + m_2)g}{3}$$

$$M_{m_1 \vec{g}} + M_{\vec{N}_C} + M_{\vec{N}_D} + M_{m_2 \vec{g}} = 0$$

$$M_{m_1 \vec{g}} = m_1 g \cdot (AC + L)$$

$$M_{\vec{N}_C} = -N_C \cdot L = -\frac{(m_1 + m_2)g L}{3}$$

$$M_{m_2 \vec{g}} = -m_2 g (L - AC - L)$$

$$m_1 g (AC + L) - \frac{(m_1 + m_2)g L}{3} - m_2 g (L - AC - L) = 0$$

$$m_1 AC + m_1 L - \frac{m_1 L}{3} - \frac{m_2 L}{3} - m_2 (L - AC - L) = 0$$

$$m_1 (AC + \frac{2L}{3}) = m_2 (L - AC - \frac{2L}{3})$$

$$m_1 = \frac{m_2 (L - AC - \frac{2L}{3})}{AC + \frac{2L}{3}}$$

$$m_1 = \frac{0,3 (1 - 0,2 - \frac{2 \cdot 0,6}{3})}{0,2 + \frac{2 \cdot 0,6}{3}} = 0,2 \text{ м}$$

Ответ 0,2 м



1. Будем рассматривать задачу в системе отсчета, связанной с Землей.  
Будем считать эту систему отсчета инерциальной.
2. Будем описывать систему «сфера + шар» моделью абсолютно твердого тела (форма и размеры системы не зависят от времени, расстояние между двумя любыми точками системы неизменно).
3. Т.к. система «сфера + шар» находится в равновесии, где не справедливы 2 условия равновесия абсолютно твердого тела:
  - ① относительно поступательного движения. равнодействующая всех внешних сил равна  $\neq 0$ .

② относительно вращательного движения. сумма моментов всех внешних сил равна 0 (будем рассматривать моменты всех внешних сил относительно оси,  $\Phi$  проходящей через  $D$  перпендикулярно плоскости рисунка.)

4. В ИСО где сил  $\vec{N}_C$  и  $\vec{P}_C$  можно записать 3 закона Ньютона:

$$\vec{N}_C = -\vec{P}_C$$

5. В ИСО где сил  $\vec{N}_D$  и  $\vec{P}_D$  можно записать 3 закона Ньютона:  $\vec{N}_D = -\vec{P}_D$



✓ 26.

Дано:

$L = 1 \text{ м.}$

$CD = \ell = 0,6 \text{ м.}$

$AC = 0,2 \text{ м}$

сила давления стержня на опору в точке В  $F_{gD} = 2$   
 сила давления стержня на опору в точке С  $F_{gC} = 2$

Найти:

$m_1 = ?$

Решение



По 2 закону Ньютона

$m_1 g + m_2 g = N_1 + N_2$

По правилу моментов

$N_1 \cdot AC + N_2 \cdot (AC + \ell) = m_2 g L$

$\begin{cases} m_1 g + m_2 g = N_1 + N_2 \\ N_1 \cdot AC + N_2 (AC + \ell) = m_2 g L \end{cases}$

$N_1 \cdot AC + 2N_1 (AC + \ell) = m_2 g L$

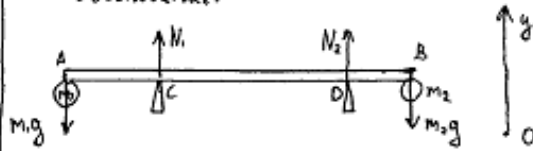
$\begin{cases} N_2 = 2N_1 \\ m_1 g = N_1 + 2N_1 - m_2 g \\ N_1 \cdot AC + 2N_1 (AC + \ell) = m_2 g L \end{cases}$

$\begin{cases} m_1 g = 3N_1 - m_2 g \\ 3N_1 \cdot AC + 2N_1 \cdot \ell = m_2 g L \end{cases}$

$N_1 = \frac{m_2 g L}{2\ell + 3AC}$   
 $m_1 g = \frac{3m_2 g L}{3AC + 2\ell}$   
 $m_1 = \frac{3m_2 L}{3AC + 2\ell} = \frac{3 \cdot 0,3 \text{ кг} \cdot 1 \text{ м}}{3 \cdot 0,2 \text{ м} + 2 \cdot 0,6 \text{ м}} = 0,5 \text{ кг.}$

Ответ:  $m_1 = 0,5 \text{ кг}$

Обоснование.



① Введем неподвижную ИСО, связанную с Землей. Введем ось  $Oy$ , перпендикулярную Земле. Стержень, твердое тело, покоится относительно этой ИСО.

② По 2-му закону Ньютона, ~~вектор~~ ускорение стержня по оси  $Oy$  равно нулю, векторная сумма сил, действующих на него по этой оси равна нулю.

③ По правилу моментов сил, при отсутствии вращения стержня ~~векторная~~ векторная сумма моментов сил равна нулю относительно оси, введенной перпендикулярно плоскости рисунка в точке А.

④ По 3 закону Ньютона, силы реакции опоры  $N_1$  и  $N_2$  равны силам давления стержня на эти опоры  $F_{gC}$  и  $F_{gD}$ . Значит,  
 $\frac{N_2}{N_1} = \frac{F_{gD}}{F_{gC}} = 2$





№ 26.

Дано:

$$L = 1 \text{ м}$$

$$l = 0,6 \text{ м}$$

$$Ac = 0,2 \text{ м} = b$$

$$m_2 = 0,3 \text{ кг}$$

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{1}{2}$$

$$m_1 = ?$$

Обоснование:

1. Выберем инерциальную систему отсчёта, связанную с Землёй (ИСО).
2. Будем описывать стержень моделью абсолютно твёрдого тела, так как размеры тела незначительны и расстояние между любыми двумя точками стержня не изменяется.

3. Стержень покоится относительно поступательного и вращательного движений. Условие равновесия при поступательном движении: — сумма всех сил, действующих на стержень, равна 0:  $\sum \vec{F}_i = 0$ ; условие равновесия при вращательном движении — сумма моментов сил равна нулю:  $\sum M = 0$ .

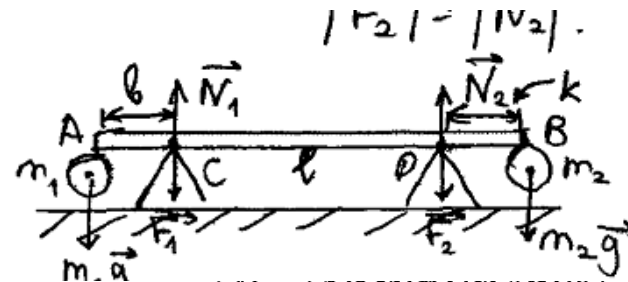
4. Стержень невесомый, значит на него не действует сила тяжести.

5. По III закону Ньютона сила, с которой стержень давит на опору в точке С и D, равны по модулю силам реакции опоры, противоположны по направлению:  $|\vec{F}_1| = |\vec{N}_1|$ ;  $|\vec{F}_2| = |\vec{N}_2|$ .



# Задание 26

Решение:  
 По к.  $\sum \vec{F}_i = 0$ , то  $m_1 g + m_2 g = N_1 + N_2$   
 $|\vec{F}_1| = |\vec{N}_1|$ ;  $|\vec{F}_2| = |\vec{N}_2| \Rightarrow (m_1 + m_2)g = F_1 + F_2$   
 По условию  $\frac{F_1}{F_2} = \frac{1}{2} \Rightarrow F_2 = 2F_1$   
 Подставим  $(m_1 + m_2)g = 3F_1 \Rightarrow$   
 $\Rightarrow m_2 = \frac{3F_1}{g} - m_1$



Распишем правило моментов си относительно точки C:  
 $N_2 = m_2 g k$ ;  $|\vec{N}_2| = |\vec{F}_2| \Rightarrow F_2 = m_2 g k$

Распишем правило моментов си относительно точки B:  
 $N_1 = m_1 g b$ ;  $|\vec{N}_1| = |\vec{F}_1| = F_1 \Rightarrow m_1 g b = N_2 k$   
 $\Rightarrow m_1 g b = 2F_1 k$

Распишем правило моментов си относительно точки O:  
 $m_2 g k = N_1 l$ ;  $|\vec{N}_1| = |\vec{F}_1| = F_1 \Rightarrow m_2 g k = F_1 l$

$$\frac{m_1 g b}{m_2 g k} = 2 \Rightarrow \frac{m_1}{m_2} = \frac{k}{b} \cdot 2$$

$$k = L - l - b \Rightarrow \frac{m_1}{m_2} = \frac{L - l - b}{b} \cdot 2 \Rightarrow m_1 = \frac{m_2 (L - l - b) \cdot 2}{b}$$

$$m_1 = \frac{2 \cdot 0,3 (1 - 0,6 - 0,2)}{0,2} = 0,6 \text{ (кг)}$$

Ответ:  $m_1 = 0,6 \text{ кг}$ .

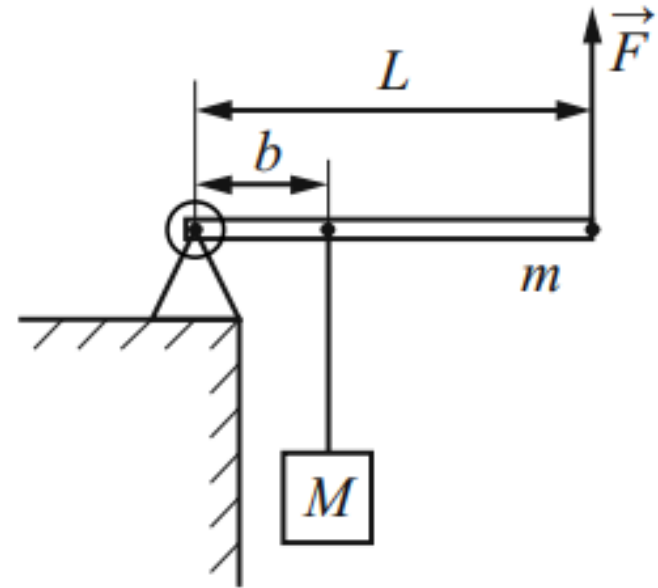
1/1



## ЗАДАЧА 22 Пример-3

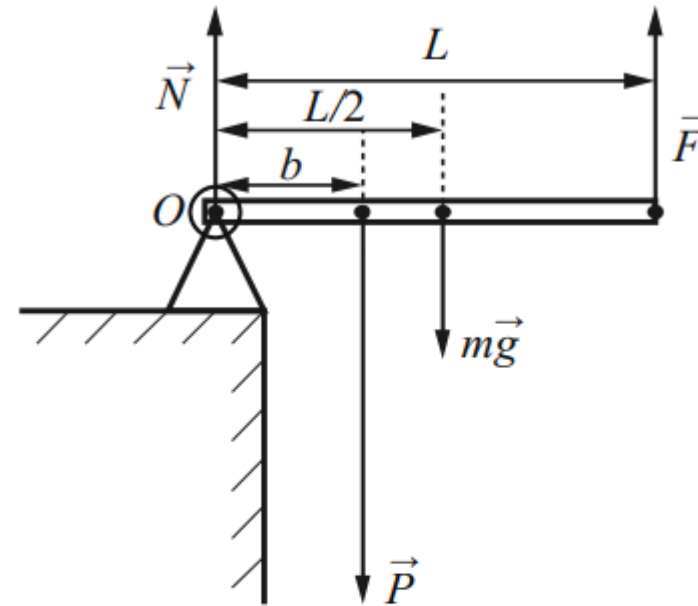
22

Рычаг, сделанный из однородного стержня массой  $m = 10$  кг и длиной  $L = 4$  м, шарнирно закреплён (см. рисунок). К рычагу подвешен груз массой  $M = 75$  кг. Если к концу рычага приложена вертикальная сила, модуль которой  $F = 350$  Н, то рычаг находится в равновесии. Определите расстояние  $b$  от оси шарнира до точки подвеса груза, считая, что трение в шарнире отсутствует.



### Возможное решение

1. Расставим силы, действующие на рычаг (см. рисунок).
2. Систему отсчёта, связанную со столом, на котором закреплён шарнир, считаем инерциальной.
3. Считая, что рычаг покоится, примем, исходя из третьего и второго законов Ньютона, что  $|\vec{P}| = |M\vec{g}|$ .
4. Рассмотрим равновесие рычага относительно оси вращения – шарнира  $O$ , указав плечи сил на рисунке.



$$O: Mg \cdot b + \frac{1}{2}mgL - FL = 0.$$

Отсюда

$$b = \frac{F - 0,5mg}{Mg} \cdot L = \frac{350 - 0,5 \cdot 10 \cdot 10}{75 \cdot 10} \cdot 4 = 1,6 \text{ м.}$$

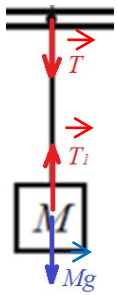
Ответ:  $b = 1,6 \text{ м}$



| Критерии оценивания выполнения задания  | Баллы |
|---|-------|
| <p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>условие равновесия абсолютно твёрдого тела с закреплённой осью вращения</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (<i>за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов</i>);</p> | 2     |
| <p>III) представлены необходимые математические преобразования и расчёты (подстановка числовых данных в конечную формулу), приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины</p>   |       |



# Задание 22 Работа 1



$$T = T_1 = Mg$$

№22

Дано:

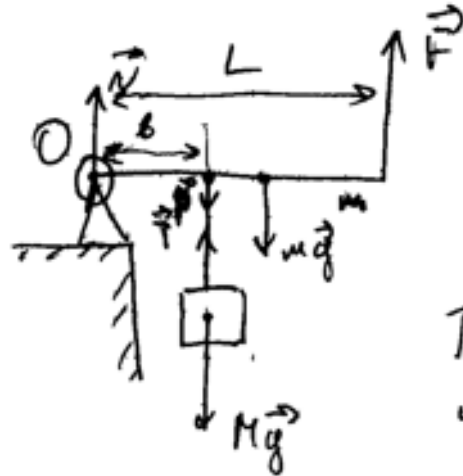
$$L = 4 \text{ м}$$

$$m = 10 \text{ кг}$$

$$M = 45 \text{ кг}$$

$$F = 350 \text{ Н}$$

$b = ?$



Если система в равновесии.

$$P = T; \quad 0 = T - Mg - \frac{1}{2} \rho S H \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T = Mg = P$$

Правило моментов для системы сил.

$$\text{или } T \cdot O: \quad P b + \frac{mgL}{2} = FL \Rightarrow$$

$$\Rightarrow b = \frac{FL}{P} - \frac{mgL}{2P} = L \left( \frac{F}{Mg} - \frac{m}{2M} \right)$$

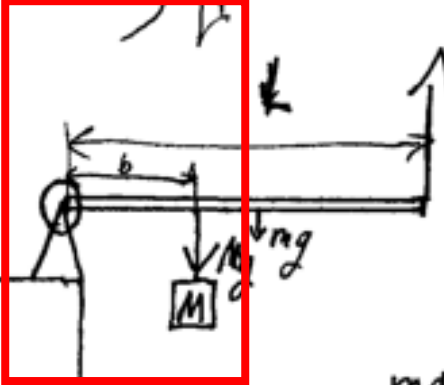
$$b = 4 \text{ м} \cdot \left( \frac{350 \text{ Н}}{45 \text{ кг} \cdot 10^1 \text{ м/с}^2} - \frac{10 \text{ кг}}{2 \cdot 45 \text{ кг}} \right) = 1,6 \text{ м}$$

Ответ: 1,6 м



Задание 22 Работа 2

N 22



рычаг однороден, поэтому можно считать, что его вес приложен в центр. Плечо  $mg$  относительно шарнира равно  $\frac{L}{2}$

$mg = 10 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} = 100 \text{ Н}$ ;  $Mg = 75 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} = 750 \text{ Н}$

Рычаг в равновесии. Распишем правило моментов относительно шарнира:

$$Mg b + mg \frac{L}{2} = FL$$

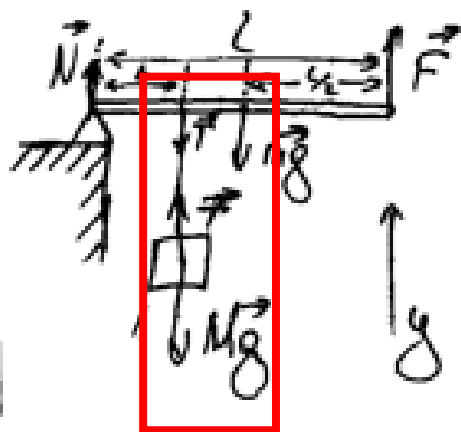
отсюда  $b = \frac{FL - mg \frac{L}{2}}{Mg} = \frac{350 \text{ Н} \cdot 4 \text{ м} - 100 \text{ Н} \cdot \frac{4 \text{ м}}{2}}{750 \text{ Н}} = 1,6 \text{ м}$  Ответ: 1,6 м

1



Задание 22 Работа 3

22 Дано:  
 $m = 10 \text{ кг}$   
 $L = 4 \text{ м}$   
 $M = 75 \text{ кг}$   
 $F = 350 \text{ Н}$   
 $b = ?$



Ур-е баланса (равновесия) для груза:  
 $\vec{M}_g + \vec{T} = 0$   
 оу:  $T = Mg$

Ур-е моментов для рычага:

$$M_T + M_{mg} - M_F = 0$$

$$Tb + mg \frac{L}{2} = FL$$

$$b = \frac{L(F - \frac{mg}{2})}{T} = \frac{L(F - \frac{mg}{2})}{Mg} = \frac{4(350 - \frac{10 \cdot 10}{2})}{75 \cdot 10} = \frac{1200}{750} = 1.6 \text{ м}$$

1

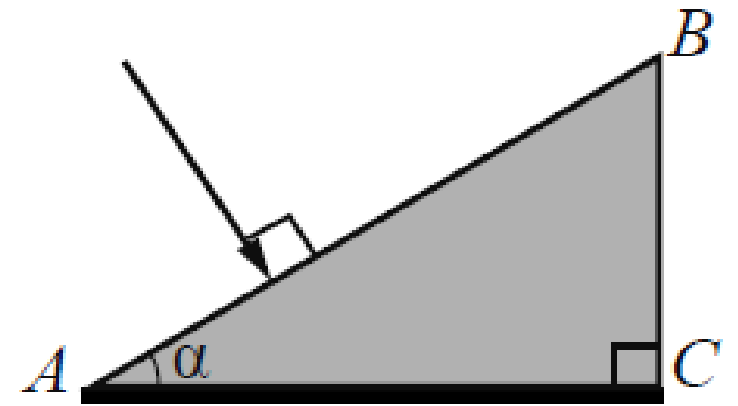
Ответ:  $b = 1.6 \text{ м}$





## ЗАДАЧА 23 Пример-4

Нижняя грань  $AC$  прозрачного клина посеребрена и представляет собой плоское зеркало. Угол при вершине клина  $\alpha = 15^\circ$ . Луч света падает из воздуха на клин перпендикулярно грани  $AB$ , преломляется и выходит в воздух через ту же грань  $AB$ , но уже под углом преломления  $\beta = 60^\circ$ . Определите показатель преломления материала клина. Сделайте рисунок, поясняющий ход луча в клине.



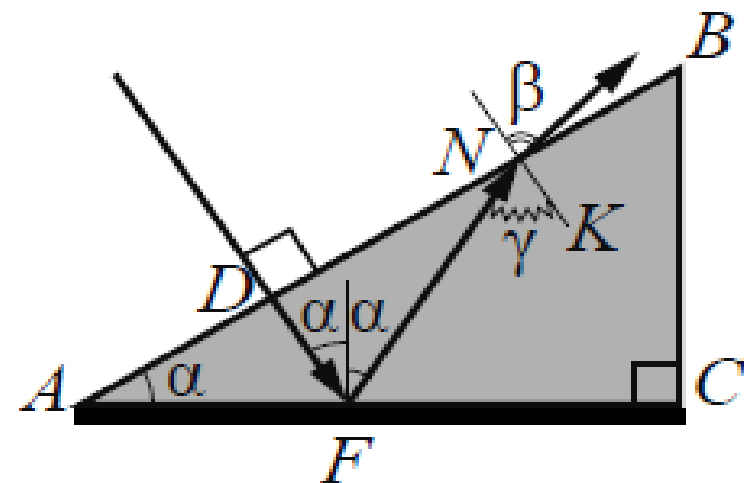
### Возможное решение

1. Поскольку луч падает на грань  $AB$  перпендикулярно, он на ней не преломляется, а, падая на грань  $AC$ , согласно закону отражения света отражается под тем же углом  $\alpha$ . Следовательно,  $KN \parallel FD$ ,  $\gamma = 2\alpha$ .

2. Закон преломления света в точке  $N$ :  
 $n \cdot \sin \gamma = \sin \beta$ , или  $n \cdot \sin 2\alpha = \sin \beta$ .

Получаем:  $n = \frac{\sin \beta}{\sin 2\alpha} = \frac{\sin 60^\circ}{\sin 30^\circ} = \sqrt{3} \approx 1,7$ .

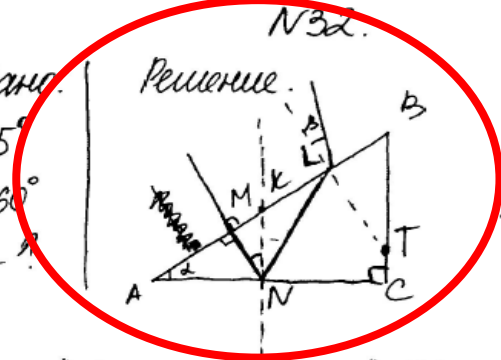
Ответ:  $n \approx 1,7$



| Критерии оценивания выполнения задания   | Баллы |
|--|-------|
| <p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>формула для закона преломления света, закон отражения света, соотношение углов</i>);</p> <p>II) <u>сделан правильный рисунок с указанием хода луча в клине</u>;</p> <p>III) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений величин, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>IV) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>V) представлен правильный ответ</p> | 3     |
| <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>Сделан только правильный рисунок с указанием хода луча в клине</p>   | 1     |



Дано:  
 $\alpha = 15^\circ$   
 $\beta = 60^\circ$   
 $n_2 = ?$



Решение.

1) Так как луч перпендикулярен  $AB \Rightarrow$   
~~лучи~~ лучи от источника лучи не  
 параллельны.

2) Далее луч AC отражается от  
 AC под таким же углом

3) Рассмотрим  $\triangle AMN$ .

$$\angle A = \alpha \Rightarrow \angle ANM = 90 - \alpha \Rightarrow \angle MNK = 90 - (90 - \alpha) = \alpha$$

Из (2) следует, что  $\angle MNK = \angle KNL = \alpha$ .

4) Далее отраженный луч параллелен и выходит в  
 воздух под углом  $\beta$ .

5)  $n_2 \sin \alpha = n_1 \sin \angle NLT = n_1 \sin \beta$  (1),  $n_1$  - показатель  
 преломления воздуха.

6)  ~~$\angle KNL = \alpha$ .~~

~~$$\angle MKN = 90 - \alpha \Rightarrow \angle NKL = 180 - (90 - \alpha) = \alpha$$~~

~~$$\angle KLN = 180 - \angle KNL - \angle NKL = 180 - \alpha - \alpha = 180 - 2\alpha$$~~  
~~$$\angle NLT = 90 - 90 - (180 - 2\alpha) =$$~~

$$6) \angle MKN = 90 - \alpha \Rightarrow \angle NKL = 180 - (90 - \alpha) = 90 + \alpha$$

$$\angle KLN = 180 - \angle NKL - \angle KNL = 180 - (90 + \alpha) - \alpha = 90 - 2\alpha$$

$$\angle NLT = 90 - \angle KLN = 90 - (90 - 2\alpha) = 2\alpha$$

Поглоблем найденный угол  $\beta$  (1).

$$n_2 \sin 2\alpha = n_1 \sin \beta$$

$$n_2 = \frac{n_1 \sin \beta}{\sin 2\alpha} = \frac{1 \cdot \sin 60}{\sin 2 \cdot 15} = 1,43$$

Ответ: 1,43.



32. Дано:

$$\angle = 15^\circ$$

$$\beta = 60^\circ$$

$$C \perp AB$$

$$n_6 = 1$$

$n_k = ?$

$$\angle AKO = 90 - \alpha$$

$$\angle OKA = \alpha;$$

При падении луча с на грань AC он отражается под углом  $\alpha$ .  $\angle KKF = \angle OKM = \alpha$ .

$$\angle OKF = \angle HKF + \angle OKM = 2\alpha = 30^\circ$$

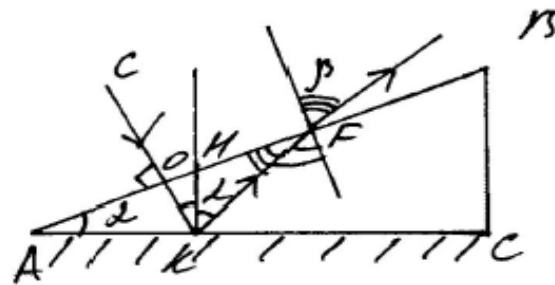
$\angle OFK = 60^\circ$ ; то есть угол по второму падении луча на грань AB равен  $30^\circ = \gamma$

$$\text{Тогда: } n_6 \sin \beta = n_k \sin \gamma; \quad n_k = \frac{n_6 \sin \beta}{\sin \gamma}$$

$$n_k = \frac{1 \cdot \sin 60}{\sin 30} = \frac{1 \cdot \sqrt{3} \cdot 2}{2 \cdot 1} = \sqrt{3} \approx 1,73$$

Ответ: 1,73.

Решение.

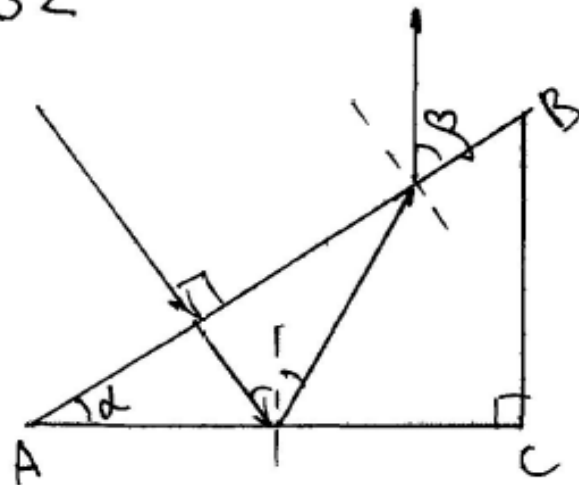


Так как луч перпендикулярен AB, то эту грань он пересекает проходя без преломления.

А

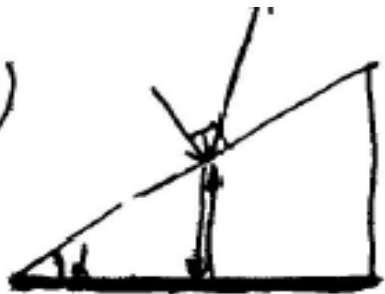


№ 32



0

3 2)



$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

$$n = \frac{\sin 90^\circ}{\sin 15^\circ}$$

$$\angle \alpha = 90^\circ$$

$$\angle \beta = 15^\circ$$

$\angle \alpha$  - угол падения  
 $\angle \beta$  - угол преломления

0



## ЗАДАЧА 23 Пример- 5

Собирающая линза даёт мнимое, увеличенное в 5 раз изображение предмета, которое находится на расстоянии 20 см от линзы. Постройте изображение предмета в линзе. Определите фокусное расстояние линзы.

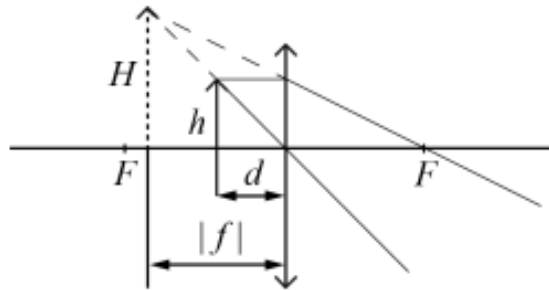


# Возможное решение

Собирающая линза даёт мнимое, увеличенное в 5 раз изображение предмета, которое находится на расстоянии 20 см от линзы. Постройте изображение предмета в линзе. Определите фокусное расстояние линзы.

## Возможное решение

Построим изображение предмета в линзе, используя свойства луча, проходящего через главный оптический центр линзы, и луча, параллельного главной оптической оси.



По формуле линзы с учётом того, что изображение мнимое  $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{|f|}$ .

Увеличение линзы  $\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{|f|}{d}$ . Следовательно,  $d = \frac{|f|}{\Gamma}$ .

Найдём фокусное расстояние линзы:  $\frac{1}{F} = \frac{\Gamma - 1}{|f|}$ ;  $F = \frac{20}{5 - 1} = 5$  см.

Ответ:  $F = 5$  см





| Критерии оценивания выполнения задания   | Баллы |
|--|-------|
| <p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p><del>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>формула линзы, формула увеличения линзы</i>);</del></p> <p><del>II) построено изображение предмета в линзе;</del></p> <p>III) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (<i>за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов</i>);</p> <p>IV) представлены необходимые математические преобразования и расчёты (подстановка числовых данных в конечную формулу), приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> | 2     |
| <p>V) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины</p>   |       |



|   |   |
|---|---|
| <p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены преобразования, направленные на решение задачи, но имеется один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пунктам II и III, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения и не зачёркнуты.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт V, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины)</p> | 1 |
| <p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1 или 2 балла</p>  | 0 |
| <p><i>Максимальный балл</i></p>   | 2 |



# Nº23/1

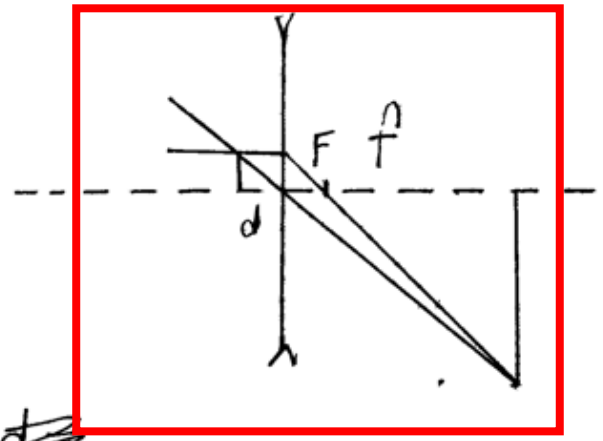
Дано:  $A_1B_1 = 5$   
 $d = 20 \text{ cm}$   
 $F = ?$

Решение:  $\sim 26.$   
 $\frac{A_1B_1}{AB} = \frac{A_1O}{AO} = 5$   
 $A_1O = d = 20 \text{ cm}$ ;  $\text{см-ко}$   
 $AO = \frac{A_1O}{5} = \frac{20 \text{ cm}}{5} = 4 \text{ cm}$

$\frac{1}{f} = \frac{1}{d} + \frac{1}{F}$  (оч. отсу. пр.;  $f = AO, d = A_1O, A_1O = 5AO$ );  
 $\frac{1}{F} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d} = \frac{1}{AO} - \frac{1}{5AO} = \frac{4}{5AO}$ ;  $F = \frac{5AO}{4} = \frac{5 \cdot 4}{4} = 5$   
 $= \frac{A_1O}{4} = \frac{20 \text{ cm}}{4} = 5 \text{ cm}$ . Ответ: 5 cm.

$\angle B_1A_1O = \angle BAO = 90^\circ$   
 $\angle B_1OA_1 - \text{const}$   
 $\triangle B_1OA_1 \sim \triangle BOA$   
 no 2 y r n a n.





$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}$$

$$F = \frac{df}{d - f}$$
 ~~$f = nd$~~ 
 ~~$d = \frac{f}{n}$~~ 
 ~~$F = \frac{nd^2}{d(n-1)}$~~ 

$$F = \frac{\frac{f^2}{n}}{f(1 - \frac{1}{n})} = \frac{f^2}{nf - f} = \frac{20^2}{5 \cdot 20 - 20} = 5 \text{ cm}$$

Ombem. 5 cm

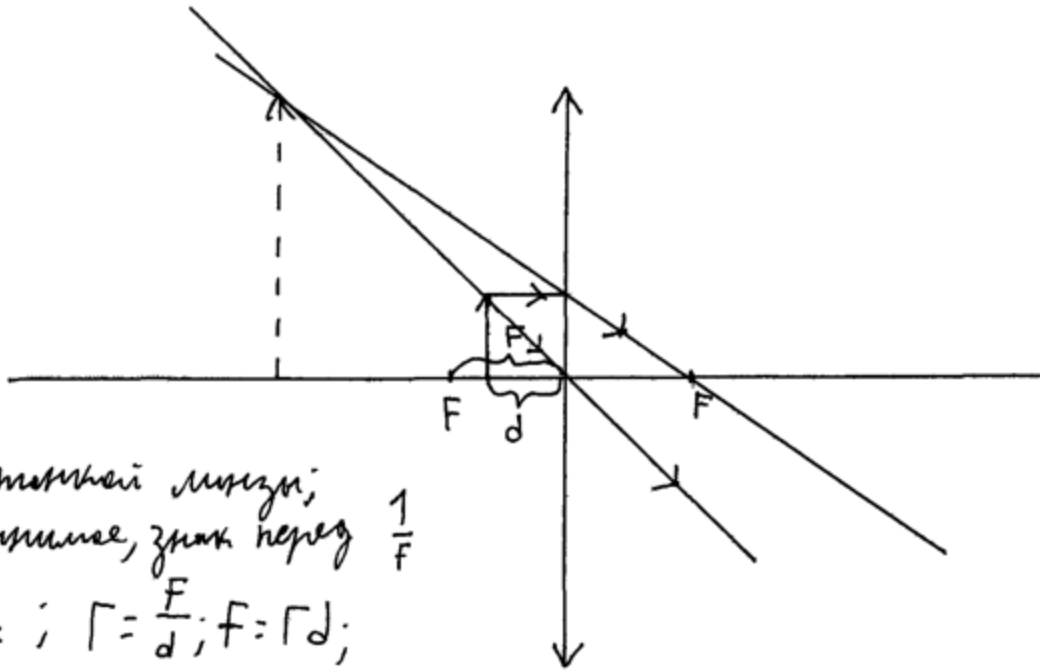


# №23/3

26. собирающая  
линза  
 $\Gamma = 5$

$$d = 20 \text{ см} = 0,2 \text{ м}$$

$F = ?$



Запишем формулу тонкой линзы;  
поскольку изображение мнимое, знак перед  $\frac{1}{F}$

будет - :

$$\frac{1}{d} - \frac{1}{F} = \frac{1}{F}; \quad \Gamma = \frac{F}{d}; \quad F = \Gamma d;$$

$$\frac{1}{d} - \frac{1}{\Gamma d} = \frac{1}{F} = \frac{\Gamma - 1}{\Gamma d}; \quad F = \frac{\Gamma d}{\Gamma - 1}; \quad F = \frac{5 \cdot 0,2}{5 - 1} = 0,25 \text{ м} \quad \text{Ответ: } F = 0,25 \text{ м.}$$



# Nº23/4

| №26<br>Дано                                | Ул              | Решение |
|--|-----------------|---------|
| $\frac{b_m}{e} = 5$<br>$d = 20 \text{ см}$ | $0,2 \text{ м}$ |         |
| $eF-7$                                     |                 |         |

но + шагасора  $s = \sqrt{b_m^2 + d^2}$

$\triangle ABC \sim \triangle CDE$   $k = 5$ ,  $k$ -козгоп ногоошме  $\Rightarrow \frac{AC}{EC} = 5$

$EC = \frac{AC}{5} = \frac{0,2 \text{ м}}{5} = \frac{20 \text{ см}}{5} = 4 \text{ см}$

$\triangle EKF \sim \triangle ABF \sim \triangle CFP$

$\frac{AC + CF}{EC + CF} = \frac{AB}{ED + DK} = \frac{20 + CF}{4 + CF} = \frac{AB}{ED + DK} = \frac{5AB}{AB + 5DK}$

$\frac{ED + DK}{ED} = \frac{EC + CF}{CF}$

$1 + \frac{DK}{ED} = \frac{4 + CF}{CF} - 1$   $DK = \frac{4ED}{CF}$

$\frac{20 + CF}{4 + CF} = \frac{5AB}{AB + 20 \frac{ED}{CF}}$

$\frac{20 + CF}{4 + CF} = \frac{5CF}{CF + 4}$

$20 + CF = 5CF$   
 $20 = 4CF$

$CF = 5 \text{ см}$   $0 + \text{бет } 5 \text{ см}$

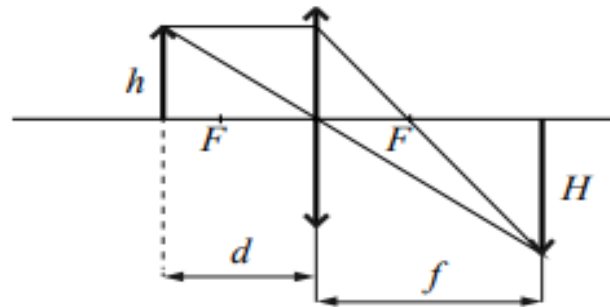


## ЗАДАЧА 23 Пример- 6

- 23 Предмет расположен на главной оптической оси тонкой собирающей линзы. Расстояние между предметом и его действительным изображением равно 45 см. Увеличение (отношение высоты изображения предмета к высоте самого предмета)  $\Gamma = 2$ . Найдите фокусное расстояние линзы. Постройте изображение предмета в линзе.

### Возможное решение

Построим изображение предмета в линзе, используя свойства луча, проходящего через главный оптический центр линзы, и луча, параллельного её главной оптической оси.



По формуле тонкой линзы  $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$ , а расстояние между предметом и изображением  $L = d + f$ .

Увеличение линзы  $\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}$ . Следовательно,  $f = d\Gamma$ . Отсюда

$L = d + f = (\Gamma + 1)d$ . Тогда  $d = \frac{L}{\Gamma + 1} = \frac{45}{2 + 1} = 15$  см,  $f = L - d = 45 - 15 = 30$  см.

Найдём фокусное расстояние линзы:  $F = \frac{fd}{L} = \frac{30 \cdot 15}{45} = 10$  см.

Ответ:  $F = 10$  см



| Критерии оценивания выполнения задания  | Баллы   |   |
|---|---|---|
| <p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>формула тонкой линзы, формула для увеличения линзы</i>);</p> <p>II) приведён верный рисунок для построения изображения предмета в линзе;</p> <p>III) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (<i>за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов</i>);</p> <p>IV) представлены необходимые математические преобразования и расчёты (подстановка числовых данных в конечную формулу), приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>V) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины</p> | 2   |   |
|   | <p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены преобразования, направленные на решение задачи, но имеется один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пунктам II и III, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения и не зачёркнуты.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт V, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины)</p> | 1 |
|   | <p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1 или 2 балла</p>  | 0 |
|   | <p>Максимальный балл</p>  | 2 |





N 23.

Дано

$$\gamma = 0,45 \text{ м}$$

$$\Gamma = 2$$

$$F = ?$$

Решение

$$\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}; \quad f = \Gamma d$$

Поперечная трубка соединяется  
ружья.

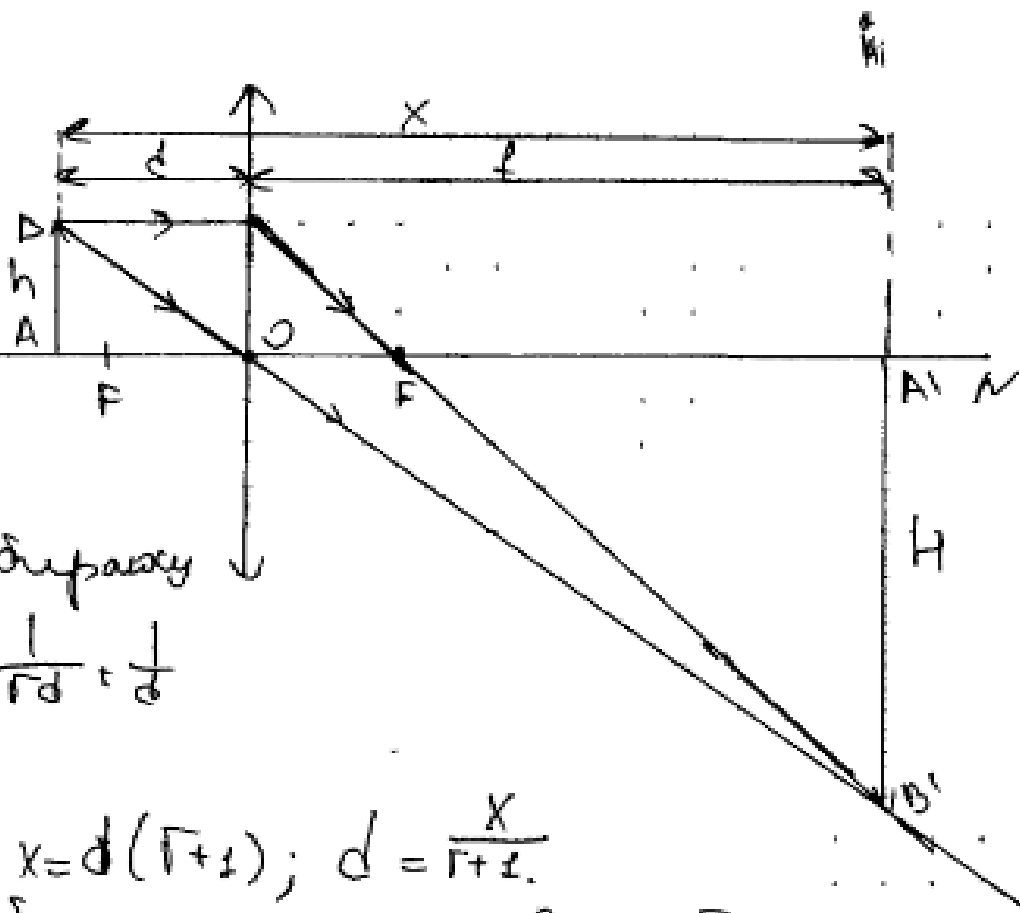
$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f} + \frac{1}{d}; \quad \frac{1}{F} = \frac{1}{\Gamma d} + \frac{1}{d}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{\Gamma + 1}{d}; \quad F = \frac{d}{\Gamma + 1}$$

$$x = f + d; \quad x = \Gamma d + d, \quad x = d(\Gamma + 1); \quad d = \frac{x}{\Gamma + 1}$$

$$F = \frac{\Gamma x}{(\Gamma + 1)^2}; \quad F = \frac{2 \cdot 0,45}{(2 + 1)^2} = 0,1 \text{ м}$$

Ответ:  $F = 0,1 \text{ м}$ .



2



№23.

$h$  - высота изображения предмета  
 $H$  - высота предмета.

$$\frac{h}{H} = 2.$$

$$d + f = 45 \text{ см}$$

$f$  - расстояние от изображения до линзы  
 $d$  - расстояние от предмета до линзы

Уп-ие тонкой линзы:

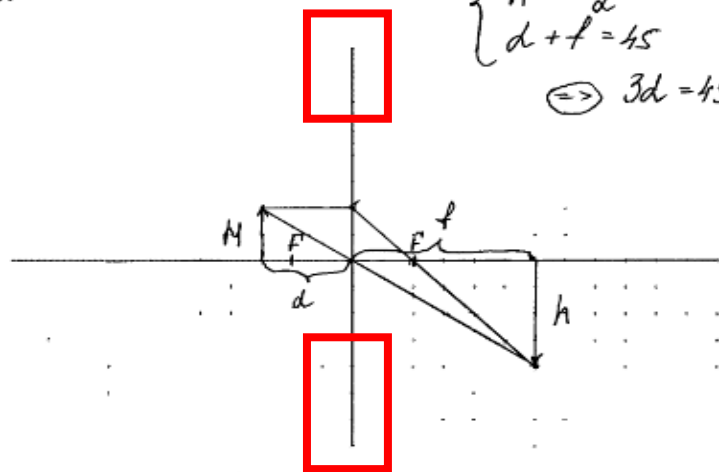
$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

то же самое в  $\Delta$ -об:

$$\begin{cases} \frac{h}{H} = \frac{f}{d} = 2 \Rightarrow f = 2d \\ d + f = 45 \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 3d = 45 \Rightarrow d = 15 \text{ см}$$

$$f = 2 \cdot 15 = 30 \text{ см.}$$



$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{15} + \frac{1}{30} = \frac{2+1}{30} = \frac{3}{30} = \frac{1}{10}; \frac{1}{F} = \frac{1}{10} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F = 10 \text{ см.}$$

Ответ:  $F = 10 \text{ см.}$

№24.

Дано:  $v = 3 \text{ мкс}$      $Q_{\text{эф}} = 50 \text{ нДж}$      $V_3 = ?$      $\xrightarrow{\text{№24}} \text{см, габариты.}$

1



№ 23.

Дано:

$$\Gamma = 2 \text{ ГМ}$$

$d$  - расстояние до предмета

$f$  - расстояние до изображения

ИИ Решение

$$\left. \begin{aligned} \Gamma = \frac{f}{d} = 2 \text{ ГМ} &\Rightarrow f = 2d \\ \frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} \end{aligned} \right\}$$

№ 23.

$$d + f = 45 \text{ м}$$

$$F = ? \text{ м}$$

ИИ  
 $0,45 \text{ м}$

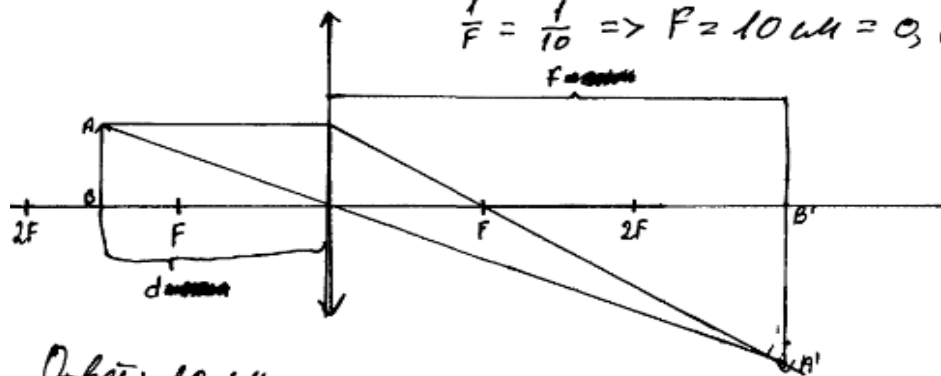
$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{2d};$$

$$d + 2d = 45 \text{ м} = 0,45 \text{ м} \Rightarrow d = 15 \text{ м}; f = 30 \text{ м}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{15} + \frac{1}{30}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{3}{30}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{10} \Rightarrow F = 10 \text{ м} = 0,1 \text{ м}$$



Ответ: 10 м

1



N 23.

Dato:

$$d = 0,45 \mu$$

$$\Gamma = 2$$


---


$$F = ?$$


---


$$f = 0,9 \mu$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{0,45} - \frac{1}{0,9} = \frac{10}{9}$$

$$f = 0,9 \mu$$

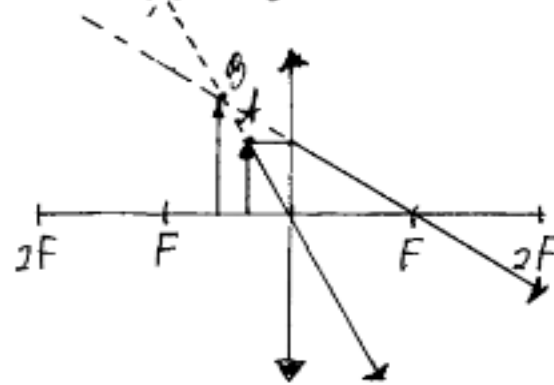
$$\Gamma = \frac{f}{d} \Rightarrow f = \Gamma d$$

$$f = 2 \cdot 0,45 = 0,9 \mu$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{0,45} - \frac{1}{0,9} = \frac{10}{9}$$

$$f = 0,9 \mu$$



N 23

Дано:

$$\Gamma = 2$$

$$f + d = 45 \text{ см}$$

$$F = ?$$

Решение:

$$\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}$$

$H$  - высота узора

$h$  - высота изображения

$f$  - расстояние от линзы до изображения

$d$  - расстояние от предмета до изображения

$$F = \frac{f}{d} = 2$$

$$f = 2d$$

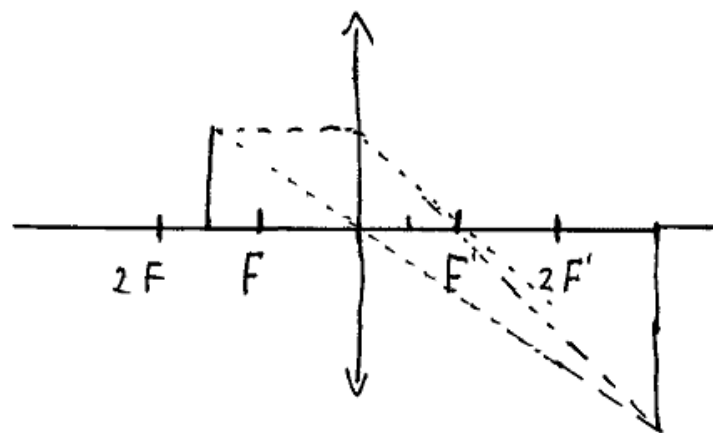
$$f + d = 45$$

$$2d + d = 45 \Rightarrow d = 15 \text{ см}$$

$$f = 30 \text{ см}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f} + \frac{1}{d} = \frac{d + f}{fd}$$

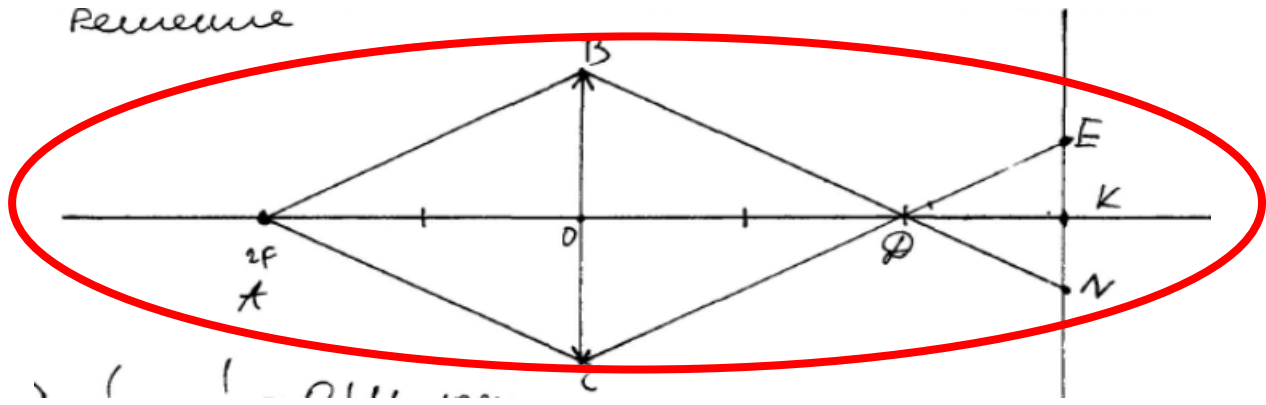
$$F = \frac{fd}{d + f} = \frac{15 \cdot 30}{45} = 10 \text{ см}$$



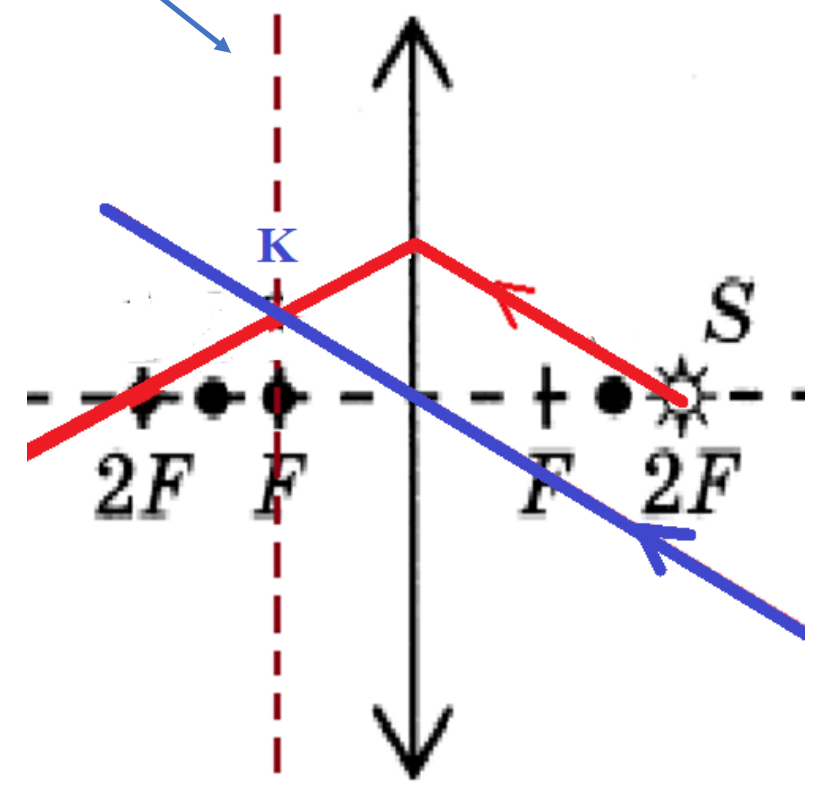
1



Решение



Фокальная плоскость



**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**



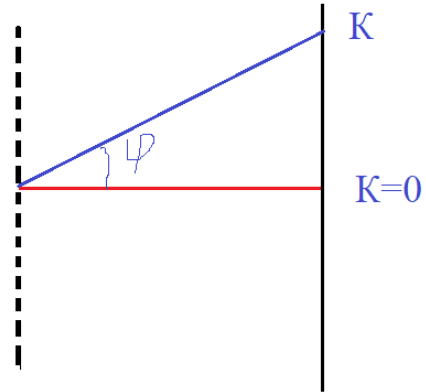
На дифракционную решётку, имеющую 500 штрихов на 1 мм, перпендикулярно ее поверхности падает узкий луч монохроматического света частотой  $5 \cdot 10^{14}$  Гц. Каков максимальный порядок дифракционного максимума, доступного для наблюдения?

Ответ: \_\_\_\_\_.





# Решение



$$d \sin \varphi = k \lambda$$

$$\varphi = 90^\circ \Rightarrow k = k_{max}$$

$N = 500$  на  $1$  мм



$$d = \frac{10^{-3}}{N}$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

$$\frac{10^{-3}}{N} \sin 90^\circ = k_{max} \frac{c}{\nu}$$

$$k_{max} = \frac{10^{-3} \nu}{N c} = \frac{10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^{14}}{500 \cdot 3 \cdot 10^8} = 3$$

