

## Московская олимпиада школьников по физике

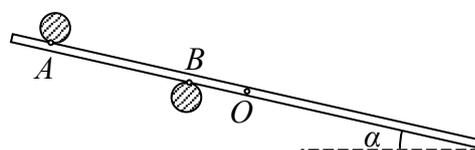
Очный нулевой тур

06-08 октября 2017

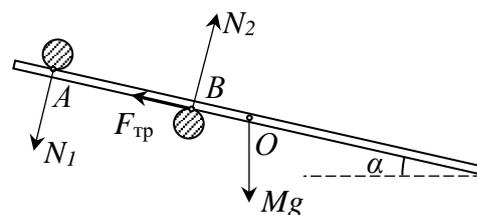
11 класс

### Вариант А

**Задача 1.** Стержень лежит на двух горизонтальных валиках, касаясь их в точках  $A$  и  $B$ . Известны длина отрезка  $AB = a$  и расстояние  $b$  между точкой  $A$  и центром тяжести прута  $O$ . Найдите коэффициент трения  $\mu$  между валиком  $B$  и стержнем, если валик  $A$  гладкий, а прут образует с горизонтом угол  $\alpha$ .



**Возможное решение.** На рисунке указаны силы, действующие на стержень. Рассмотрим пограничный случай, когда стержень покоится при минимальном значении коэффициента трения  $\mu$ . Запишем уравнение моментов относительно точки пересечения линий действия сил  $N_1$  и  $Mg$ :



$$F_{\text{тр}} \cdot b \operatorname{tg} \alpha = N_2 \cdot a.$$

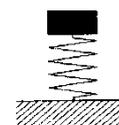
Из закона Амонтона-Кулона  $F_{\text{тр}} = \mu N_2$ . Значит,  $\mu = \frac{a}{b} \operatorname{tg} \alpha$ .

Окончательно получаем  $\mu \geq \frac{a}{b} \operatorname{tg} \alpha$ .

#### Критерии оценивания.

- |  |         |
|--|---------|
| 1. Указаны силы, действующие на стержень                               | 3 балла |
| 2. Указана точка, относительно которой записывается уравнение моментов | 1 балл  |
| 3. Уравнение моментов  | 3 балла |
| 4. Закона Амонтона-Кулона  | 1 балл  |
| 5. $\mu \geq \frac{a}{b} \operatorname{tg} \alpha$                     | 2 балла |

**Задача 2.** На легкой пружине уравновешена гиря. Деформация пружины при этом составляет  $x = 5$  см. Чтобы увеличить деформацию пружины вдвое, медленно приподнимая груз в вертикальном направлении, надо совершить работу  $A = 9$  Дж. Найдите жесткость пружины.



**Возможное решение.** Условие равновесия гири в начальный момент:  $mg = kx$ , где  $m$  – масса гирьки,  $k$  – жесткость пружины. Запишем закон сохранения энергии, приняв «нулевой» уровень потенциальной энергии силы тяжести в начальном положении гири:

$$\frac{kx^2}{2} + A = 3mgx + \frac{k(2x)^2}{2} \Rightarrow A = \frac{3}{2}kx^2 + 3kx^2 \Rightarrow k = \frac{2A}{9x^2} \cong 800 \text{ Н/м.}$$

#### Критерии оценивания.

- |   |         |
|---|---------|
| 1. Условие равновесия гири в начальный момент                 | 2 балла |
| 2. Выражение потенциальной энергии силы упругости             | 1 балл  |
| 3. Выражение потенциальной энергии силы тяжести               | 1 балл  |
| 4. Записан закон сохранения энергии                           | 3 балла |
| 5. Найдено выражение для коэффициента жесткости пружины       | 2 балла |
| 6. Получено численное значение коэффициента жесткости пружины | 1 балл  |

**Задача 3.** В сосуде под поршнем находится некоторая масса кислорода при температуре  $2T$ . В него закачивают ещё такую же массу водорода, а температуру понижают до  $T$ . Найдите, во сколько раз изменился объём содержимого под поршнем. Газы считать идеальными. Молярная масса кислорода 32 г/моль, водорода 2 г/моль.

**Возможное решение.** Запишем два уравнения состояния для начального состояния и для конечного:

$$pV_1 = \frac{m}{\mu_1} R \cdot 2T,$$

$$pV_2 = \left( \frac{m}{\mu_1} + \frac{m}{\mu_2} \right) R \cdot T.$$

Разделив одно уравнение на другое, получаем

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{\frac{1}{\mu_1} + \frac{1}{\mu_2}}{\frac{2}{\mu_1}} = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{\mu_1}{\mu_2} \right) = 8,5.$$

**Критерии оценивания.**

- |  |         |
|--|---------|
| 1. $p_1 = p_2 = p$   | 2 балла |
| 2. $pV_1 = \frac{m}{\mu_1} R \cdot 2T$                                 | 3 балла |
| 3. $pV_2 = \left( \frac{m}{\mu_1} + \frac{m}{\mu_2} \right) R \cdot T$ | 3 балла |
| 4. $\frac{V_2}{V_1} = 8,5$   | 2 балла |

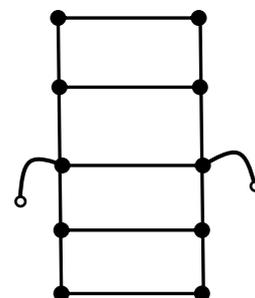
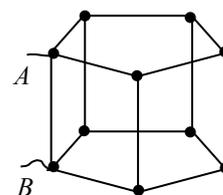
**Задача 4.** Определите эквивалентное сопротивление проволочной сетки между узлами  $A$  и  $B$ , если сопротивление каждого проводника равно  $R$ .

**Возможное решение.** Эквивалентная схема представлена на рисунке. Воспользовавшись формулами для параллельного и последовательного соединений, окончательно получаем

$$R_{AB} = \frac{11}{19} R.$$

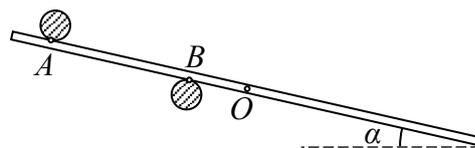
**Критерии оценивания.**

- |   |         |
|---|---------|
| 1. Эквивалентная схема                      | 4 балла |
| 2. Формула для последовательного соединения | 2 балла |
| 3. Формула для параллельного соединения     | 2 балла |
| 4. $R_{AB} = \frac{11}{19} R$               | 2 балла |

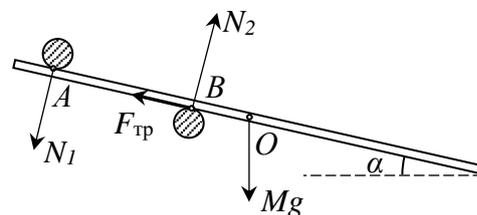


## Вариант В

**Задача 1.** Стержень лежит на двух горизонтальных валиках, касаясь их в точках  $A$  и  $B$ . Известны длина отрезка  $AB = a$  и расстояние  $b$  между точкой  $A$  и центром тяжести прута  $O$ . Найдите коэффициент трения  $\mu$  между валиком  $B$  и стержнем, если валик  $A$  гладкий, а прут образует с горизонтом угол  $\alpha$ .



**Возможное решение.** На рисунке указаны силы, действующие на стержень. Рассмотрим пограничный случай, когда стержень покоится при минимальном значении коэффициента трения  $\mu$ . Запишем уравнение моментов относительно точки пересечения линий действия сил  $N_1$  и  $Mg$ :



$$F_{\text{тр}} \cdot b \operatorname{tg} \alpha = N_2 \cdot a.$$

Из закона Амонтона-Кулона  $F_{\text{тр}} = \mu N_2$ . Значит,  $\mu = \frac{a}{b} \operatorname{tg} \alpha$ .

Окончательно получаем  $\mu \geq \frac{a}{b} \operatorname{tg} \alpha$ .

### Критерии оценивания.

- |  |         |
|--|---------|
| 1. Указаны силы, действующие на стержень                               | 3 балла |
| 2. Указана точка, относительно которой записывается уравнение моментов | 1 балл  |
| 3. Уравнение моментов  | 3 балла |
| 4. Закона Амонтона-Кулона  | 1 балл  |
| 5. $\mu \geq \frac{a}{b} \operatorname{tg} \alpha$                     | 2 балла |

**Задача 2.** На легкой пружине уравновешена гиря. Деформация пружины при этом составляет  $x = 6$  см. Чтобы увеличить деформацию пружины вдвое, медленно приподнимая груз в вертикальном направлении, надо совершить работу  $A = 10$  Дж. Найдите жесткость пружины.



**Возможное решение.** Условие равновесия гири в начальный момент:  $mg = kx$ , где  $m$  – масса гирьки,  $k$  – жесткость пружины. Запишем закон сохранения энергии, приняв «нулевой» уровень потенциальной энергии силы тяжести в начальном положении гири:

$$\frac{kx^2}{2} + A = 3mgx + \frac{k(2x)^2}{2} \Rightarrow A = \frac{3}{2}kx^2 + 3kx^2 \Rightarrow k = \frac{2A}{9x^2} \cong 617 \text{ Н/м.}$$

### Критерии оценивания.

- |   |         |
|---|---------|
| 1. Условие равновесия гири в начальный момент                 | 2 балла |
| 2. Выражение потенциальной энергии силы упругости             | 1 балл  |
| 3. Выражение потенциальной энергии силы тяжести               | 1 балл  |
| 4. Записан закон сохранения энергии                           | 3 балла |
| 5. Найдено выражение для коэффициента жесткости пружины       | 2 балла |
| 6. Получено численное значение коэффициента жесткости пружины | 1 балл  |

**Задача 3.** В сосуде под поршнем находится некоторая масса кислорода при температуре  $3T$ . В него закачивают ещё такую же массу водорода, а температуру понижают до  $T$ . Найдите, во сколько раз изменился объем содержимого под поршнем. Газы считать идеальными. Молярная масса кислорода 32 г/моль, водорода 2 г/моль.

**Возможное решение.** Запишем два уравнения состояния для начального состояния и для конечного:

$$pV_1 = \frac{m}{\mu_1} R \cdot 3T,$$

$$pV_2 = \left( \frac{m}{\mu_1} + \frac{m}{\mu_2} \right) R \cdot T.$$

Разделив одно уравнение на другое, получаем

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{\frac{1}{\mu_1} + \frac{1}{\mu_2}}{\frac{3}{\mu_1}} = \frac{1}{3} \left( 1 + \frac{\mu_1}{\mu_2} \right) = \frac{17}{3}.$$

**Критерии оценивания.**

- |  |         |
|--|---------|
| 1. $p_1 = p_2 = p$   | 2 балла |
| 2. $pV_1 = \frac{m}{\mu_1} R \cdot 3T$                                 | 3 балла |
| 3. $pV_2 = \left( \frac{m}{\mu_1} + \frac{m}{\mu_2} \right) R \cdot T$ | 3 балла |
| 4. $\frac{V_2}{V_1} = \frac{17}{3}$                                    | 2 балла |

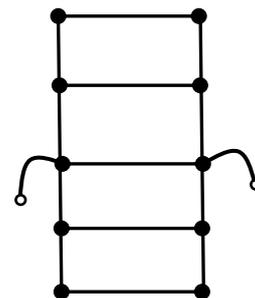
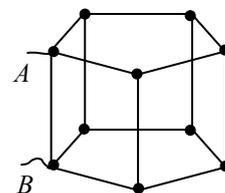
**Задача 4.** Определите эквивалентное сопротивление проволочной сетки между узлами  $A$  и  $B$ , если сопротивление каждого проводника равно  $R$ .

**Возможное решение.** Эквивалентная схема представлена на рисунке. Воспользовавшись формулами для параллельного и последовательного соединений, окончательно получаем

$$R_{AB} = \frac{11}{19} R.$$

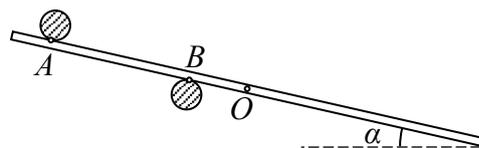
**Критерии оценивания.**

- |   |         |
|---|---------|
| 1. Эквивалентная схема                      | 4 балла |
| 2. Формула для последовательного соединения | 2 балла |
| 3. Формула для параллельного соединения     | 2 балла |
| 4. $R_{AB} = \frac{11}{19} R$               | 2 балла |

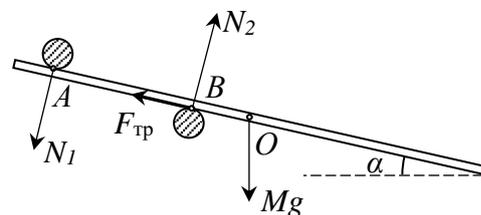


### Вариант С

**Задача 1.** Стержень лежит на двух горизонтальных валиках, касаясь их в точках  $A$  и  $B$ . Известны длина отрезка  $AB = a$  и расстояние  $b$  между точкой  $A$  и центром тяжести прута  $O$ . Найдите коэффициент трения  $\mu$  между валиком  $B$  и стержнем, если валик  $A$  гладкий, а прут образует с горизонтом угол  $\alpha$ .



**Возможное решение.** На рисунке указаны силы, действующие на стержень. Рассмотрим пограничный случай, когда стержень покоится при минимальном значении коэффициента трения  $\mu$ . Запишем уравнение моментов относительно точки пересечения линий действия сил  $N_1$  и  $Mg$ :



$$F_{\text{тр}} \cdot b \operatorname{tg} \alpha = N_2 \cdot a.$$

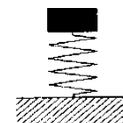
Из закона Амонтона-Кулона  $F_{\text{тр}} = \mu N_2$ . Значит,  $\mu = \frac{a}{b} \operatorname{tg} \alpha$ .

Окончательно получаем  $\mu \geq \frac{a}{b} \operatorname{tg} \alpha$ .

#### Критерии оценивания.

- |  |         |
|--|---------|
| 1. Указаны силы, действующие на стержень                               | 3 балла |
| 2. Указана точка, относительно которой записывается уравнение моментов | 1 балл  |
| 3. Уравнение моментов  | 3 балла |
| 4. Закона Амонтона-Кулона  | 1 балл  |
| 5. $\mu \geq \frac{a}{b} \operatorname{tg} \alpha$                     | 2 балла |

**Задача 2.** На легкой пружине уравновешена гиря. Деформация пружины при этом составляет  $x = 7$  см. Чтобы увеличить деформацию пружины вдвое, медленно приподнимая груз в вертикальном направлении, надо совершить работу  $A = 15$  Дж. Найдите жесткость пружины.



**Возможное решение.** Условие равновесия гири в начальный момент:  $mg = kx$ , где  $m$  – масса гирьки,  $k$  – жесткость пружины. Запишем закон сохранения энергии, приняв «нулевой» уровень потенциальной энергии силы тяжести в начальном положении гири:

$$\frac{kx^2}{2} + A = 3mgx + \frac{k(2x)^2}{2} \Rightarrow A = \frac{3}{2}kx^2 + 3kx^2 \Rightarrow k = \frac{2A}{9x^2} \cong 680 \text{ Н/м.}$$

#### Критерии оценивания.

- |   |         |
|---|---------|
| 1. Условие равновесия гири в начальный момент                 | 2 балла |
| 2. Выражение потенциальной энергии силы упругости             | 1 балл  |
| 3. Выражение потенциальной энергии силы тяжести               | 1 балл  |
| 4. Записан закон сохранения энергии                           | 3 балла |
| 5. Найдено выражение для коэффициента жесткости пружины       | 2 балла |
| 6. Получено численное значение коэффициента жесткости пружины | 1 балл  |

**Задача 3.** В сосуде под поршнем находится некоторая масса кислорода при температуре  $4T$ . В него закачивают ещё такую же массу водорода, а температуру понижают до  $T$ . Найдите, во сколько раз изменился объем содержимого под поршнем. Газы считать идеальными. Молярная масса кислорода 32 г/моль, водорода 2 г/моль.

**Возможное решение.** Запишем два уравнения состояния для начального состояния и для конечного:

$$pV_1 = \frac{m}{\mu_1} R \cdot 4T,$$

$$pV_2 = \left( \frac{m}{\mu_1} + \frac{m}{\mu_2} \right) R \cdot T.$$

Разделив одно уравнение на другое, получаем

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{\frac{1}{\mu_1} + \frac{1}{\mu_2}}{\frac{2}{\mu_1}} = \frac{1}{4} \left( 1 + \frac{\mu_1}{\mu_2} \right) = \frac{17}{4}.$$

**Критерии оценивания.**

- |  |         |
|--|---------|
| 1. $p_1 = p_2 = p$   | 2 балла |
| 2. $pV_1 = \frac{m}{\mu_1} R \cdot 2T$                                 | 3 балла |
| 3. $pV_2 = \left( \frac{m}{\mu_1} + \frac{m}{\mu_2} \right) R \cdot T$ | 3 балла |
| 4. $\frac{V_2}{V_1} = \frac{17}{4}$                                    | 2 балла |

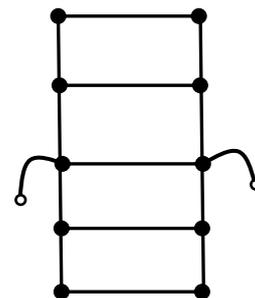
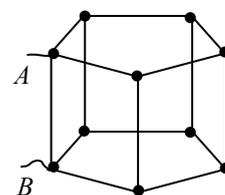
**Задача 4.** Определите эквивалентное сопротивление проволочной сетки между узлами  $A$  и  $B$ , если сопротивление каждого проводника равно  $R$ .

**Возможное решение.** Эквивалентная схема представлена на рисунке. Воспользовавшись формулами для параллельного и последовательного соединений, окончательно получаем

$$R_{AB} = \frac{11}{19} R.$$

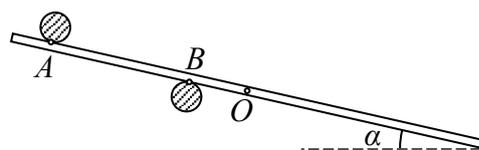
**Критерии оценивания.**

- |   |         |
|---|---------|
| 1. Эквивалентная схема                      | 4 балла |
| 2. Формула для последовательного соединения | 2 балла |
| 3. Формула для параллельного соединения     | 2 балла |
| 4. $R_{AB} = \frac{11}{19} R$               | 2 балла |

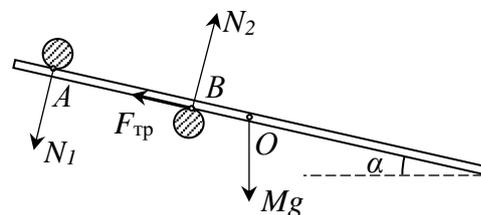


## Вариант D

**Задача 1.** Стержень лежит на двух горизонтальных валиках, касаясь их в точках  $A$  и  $B$ . Известны длина отрезка  $AB = a$  и расстояние  $b$  между точкой  $A$  и центром тяжести прута  $O$ . Найдите коэффициент трения  $\mu$  между валиком  $B$  и стержнем, если валик  $A$  гладкий, а прут образует с горизонтом угол  $\alpha$ .



**Возможное решение.** На рисунке указаны силы, действующие на стержень. Рассмотрим пограничный случай, когда стержень покоится при минимальном значении коэффициента трения  $\mu$ . Запишем уравнение моментов относительно точки пересечения линий действия сил  $N_1$  и  $Mg$ :



$$F_{\text{тр}} \cdot b \operatorname{tg} \alpha = N_2 \cdot a.$$

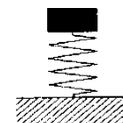
Из закона Амонтона-Кулона  $F_{\text{тр}} = \mu N_2$ . Значит,  $\mu = \frac{a}{b} \operatorname{tg} \alpha$ .

Окончательно получаем  $\mu \geq \frac{a}{b} \operatorname{tg} \alpha$ .

### Критерии оценивания.

- |  |         |
|--|---------|
| 1. Указаны силы, действующие на стержень                               | 3 балла |
| 2. Указана точка, относительно которой записывается уравнение моментов | 1 балл  |
| 3. Уравнение моментов  | 3 балла |
| 4. Закона Амонтона-Кулона  | 1 балл  |
| 5. $\mu \geq \frac{a}{b} \operatorname{tg} \alpha$                     | 2 балла |

**Задача 2.** На легкой пружине уравновешена гиря. Деформация пружины при этом составляет  $x = 8$  см. Чтобы увеличить деформацию пружины вдвое, медленно приподнимая груз в вертикальном направлении, надо совершить работу  $A = 20$  Дж. Найдите жесткость пружины.



**Возможное решение.** Условие равновесия гири в начальный момент:  $mg = kx$ , где  $m$  – масса гирьки,  $k$  – жесткость пружины. Запишем закон сохранения энергии, приняв «нулевой» уровень потенциальной энергии силы тяжести в начальном положении гири:

$$\frac{kx^2}{2} + A = 3mgx + \frac{k(2x)^2}{2} \Rightarrow A = \frac{3}{2}kx^2 + 3kx^2 \Rightarrow k = \frac{2A}{9x^2} \cong 694 \text{ Н/м.}$$

### Критерии оценивания.

- |   |         |
|---|---------|
| 1. Условие равновесия гири в начальный момент                 | 2 балла |
| 2. Выражение потенциальной энергии силы упругости             | 1 балл  |
| 3. Выражение потенциальной энергии силы тяжести               | 1 балл  |
| 4. Записан закон сохранения энергии                           | 3 балла |
| 5. Найдено выражение для коэффициента жесткости пружины       | 2 балла |
| 6. Получено численное значение коэффициента жесткости пружины | 1 балл  |

**Задача 3.** В сосуде под поршнем находится некоторая масса кислорода при температуре  $5T$ . В него закачивают ещё такую же массу водорода, а температуру понижают до  $T$ . Найдите, во сколько раз изменился объем содержимого под поршнем. Газы считать идеальными. Молярная масса кислорода 32 г/моль, водорода 2 г/моль.

**Возможное решение.** Запишем два уравнения состояния для начального состояния и для конечного:

$$pV_1 = \frac{m}{\mu_1} R \cdot 5T,$$

$$pV_2 = \left( \frac{m}{\mu_1} + \frac{m}{\mu_2} \right) R \cdot T.$$

Разделив одно уравнение на другое, получаем

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{\frac{1}{\mu_1} + \frac{1}{\mu_2}}{\frac{2}{\mu_1}} = \frac{1}{5} \left( 1 + \frac{\mu_1}{\mu_2} \right) = \frac{17}{5}.$$

**Критерии оценивания.**

- |  |         |
|--|---------|
| 1. $p_1 = p_2 = p$   | 2 балла |
| 2. $pV_1 = \frac{m}{\mu_1} R \cdot 2T$                                 | 3 балла |
| 3. $pV_2 = \left( \frac{m}{\mu_1} + \frac{m}{\mu_2} \right) R \cdot T$ | 3 балла |
| 4. $\frac{V_2}{V_1} = \frac{17}{5}$                                    | 2 балла |

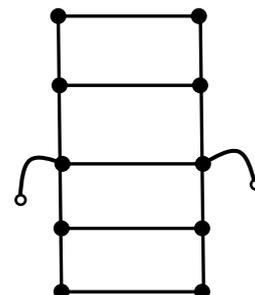
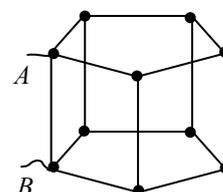
**Задача 4.** Определите эквивалентное сопротивление проволочной сетки между узлами  $A$  и  $B$ , если сопротивление каждого проводника равно  $R$ .

**Возможное решение.** Эквивалентная схема представлена на рисунке. Воспользовавшись формулами для параллельного и последовательного соединений, окончательно получаем

$$R_{AB} = \frac{11}{19} R.$$

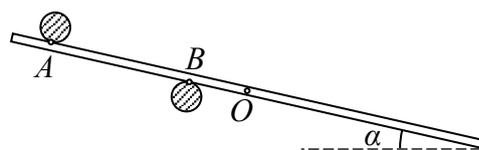
**Критерии оценивания.**

- |   |         |
|---|---------|
| 1. Эквивалентная схема                      | 4 балла |
| 2. Формула для последовательного соединения | 2 балла |
| 3. Формула для параллельного соединения     | 2 балла |
| 4. $R_{AB} = \frac{11}{19} R$               | 2 балла |

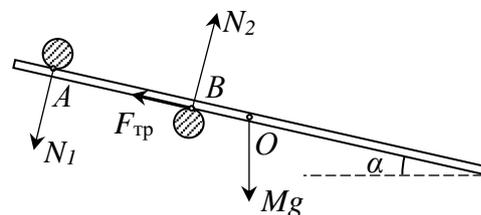


## Вариант Е

**Задача 1.** Стержень лежит на двух горизонтальных валиках, касаясь их в точках  $A$  и  $B$ . Известны длина отрезка  $AB = a$  и расстояние  $b$  между точкой  $A$  и центром тяжести прута  $O$ . Найдите коэффициент трения  $\mu$  между валиком  $B$  и стержнем, если валик  $A$  гладкий, а прут образует с горизонтом угол  $\alpha$ .



**Возможное решение.** На рисунке указаны силы, действующие на стержень. Рассмотрим пограничный случай, когда стержень покоится при минимальном значении коэффициента трения  $\mu$ . Запишем уравнение моментов относительно точки пересечения линий действия сил  $N_1$  и  $Mg$ :



$$F_{\text{тр}} \cdot b \operatorname{tg} \alpha = N_2 \cdot a.$$

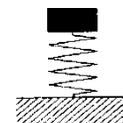
Из закона Амонтона-Кулона  $F_{\text{тр}} = \mu N_2$ . Значит,  $\mu = \frac{a}{b} \operatorname{tg} \alpha$ .

Окончательно получаем  $\mu \geq \frac{a}{b} \operatorname{tg} \alpha$ .

### Критерии оценивания.

- |  |         |
|--|---------|
| 1. Указаны силы, действующие на стержень                               | 3 балла |
| 2. Указана точка, относительно которой записывается уравнение моментов | 1 балл  |
| 3. Уравнение моментов  | 3 балла |
| 4. Закона Амонтона-Кулона  | 1 балл  |
| 5. $\mu \geq \frac{a}{b} \operatorname{tg} \alpha$                     | 2 балла |

**Задача 2.** На легкой пружине уравновешена гиря. Деформация пружины при этом составляет  $x = 4$  см. Чтобы увеличить деформацию пружины вдвое, медленно приподнимая груз в вертикальном направлении, надо совершить работу  $A = 7$  Дж. Найдите жесткость пружины.



**Возможное решение.** Условие равновесия гири в начальный момент:  $mg = kx$ , где  $m$  – масса гирьки,  $k$  – жесткость пружины. Запишем закон сохранения энергии, приняв «нулевой» уровень потенциальной энергии силы тяжести в начальном положении гири:

$$\frac{kx^2}{2} + A = 3mgx + \frac{k(2x)^2}{2} \Rightarrow A = \frac{3}{2}kx^2 + 3kx^2 \Rightarrow k = \frac{2A}{9x^2} \cong 972 \text{ Н/м.}$$

### Критерии оценивания.

- |   |         |
|---|---------|
| 1. Условие равновесия гири в начальный момент                 | 2 балла |
| 2. Выражение потенциальной энергии силы упругости             | 1 балл  |
| 3. Выражение потенциальной энергии силы тяжести               | 1 балл  |
| 4. Записан закон сохранения энергии                           | 3 балла |
| 5. Найдено выражение для коэффициента жесткости пружины       | 2 балла |
| 6. Получено численное значение коэффициента жесткости пружины | 1 балл  |

**Задача 3.** В сосуде под поршнем находится некоторая масса кислорода при температуре  $5T$ . В него закачивают ещё такую же массу водорода, а температуру понижают до  $2T$ . Найдите, во сколько раз изменился объем содержимого под поршнем. Газы считать идеальными. Молярная масса кислорода 32 г/моль, водорода 2 г/моль.

**Возможное решение.** Запишем два уравнения состояния для начального состояния и для конечного:

$$pV_1 = \frac{m}{\mu_1} R \cdot 5T,$$

$$pV_2 = \left( \frac{m}{\mu_1} + \frac{m}{\mu_2} \right) R \cdot 2T.$$

Разделив одно уравнение на другое, получаем

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{\frac{1}{\mu_1} + \frac{1}{\mu_2}}{\frac{2}{\mu_1}} = \frac{2}{5} \left( 1 + \frac{\mu_1}{\mu_2} \right) = \frac{34}{5}.$$

**Критерии оценивания.**

- |  |         |
|--|---------|
| 1. $p_1 = p_2 = p$   | 2 балла |
| 2. $pV_1 = \frac{m}{\mu_1} R \cdot 2T$                                 | 3 балла |
| 3. $pV_2 = \left( \frac{m}{\mu_1} + \frac{m}{\mu_2} \right) R \cdot T$ | 3 балла |
| 4. $\frac{V_2}{V_1} = \frac{34}{5}$                                    | 2 балла |

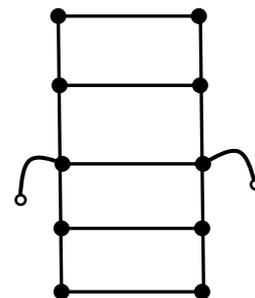
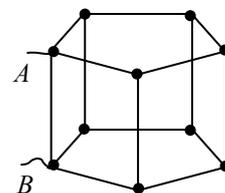
**Задача 4.** Определите эквивалентное сопротивление проволочной сетки между узлами  $A$  и  $B$ , если сопротивление каждого проводника равно  $R$ .

**Возможное решение.** Эквивалентная схема представлена на рисунке. Воспользовавшись формулами для параллельного и последовательного соединений, окончательно получаем

$$R_{AB} = \frac{11}{19} R.$$

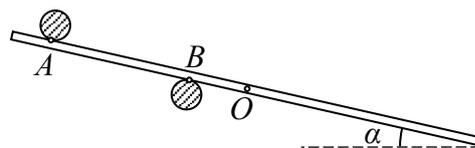
**Критерии оценивания.**

- |   |         |
|---|---------|
| 1. Эквивалентная схема                      | 4 балла |
| 2. Формула для последовательного соединения | 2 балла |
| 3. Формула для параллельного соединения     | 2 балла |
| 4. $R_{AB} = \frac{11}{19} R$               | 2 балла |

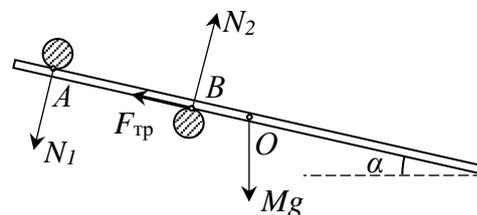


## Вариант F

**Задача 1.** Стержень лежит на двух горизонтальных валиках, касаясь их в точках  $A$  и  $B$ . Известны длина отрезка  $AB = a$  и расстояние  $b$  между точкой  $A$  и центром тяжести прута  $O$ . Найдите коэффициент трения  $\mu$  между валиком  $B$  и стержнем, если валик  $A$  гладкий, а прут образует с горизонтом угол  $\alpha$ .



**Возможное решение.** На рисунке указаны силы, действующие на стержень. Рассмотрим пограничный случай, когда стержень покоится при минимальном значении коэффициента трения  $\mu$ . Запишем уравнение моментов относительно точки пересечения линий действия сил  $N_1$  и  $Mg$ :



$$F_{\text{тр}} \cdot b \operatorname{tg} \alpha = N_2 \cdot a.$$

Из закона Амонтона-Кулона  $F_{\text{тр}} = \mu N_2$ . Значит,  $\mu = \frac{a}{b} \operatorname{tg} \alpha$ .

Окончательно получаем  $\mu \geq \frac{a}{b} \operatorname{tg} \alpha$ .

### Критерии оценивания.

- |  |         |
|--|---------|
| 1. Указаны силы, действующие на стержень                               | 3 балла |
| 2. Указана точка, относительно которой записывается уравнение моментов | 1 балл  |
| 3. Уравнение моментов  | 3 балла |
| 4. Закона Амонтона-Кулона  | 1 балл  |
| 5. $\mu \geq \frac{a}{b} \operatorname{tg} \alpha$                     | 2 балла |

**Задача 2.** На легкой пружине уравновешена гиря. Деформация пружины при этом составляет  $x = 5$  см. Чтобы увеличить деформацию пружины вдвое, медленно приподнимая груз в вертикальном направлении, надо совершить работу  $A = 8$  Дж. Найдите жесткость пружины.



**Возможное решение.** Условие равновесия гири в начальный момент:  $mg = kx$ , где  $m$  – масса гирьки,  $k$  – жесткость пружины. Запишем закон сохранения энергии, приняв «нулевой» уровень потенциальной энергии силы тяжести в начальном положении гири:

$$\frac{kx^2}{2} + A = 3mgx + \frac{k(2x)^2}{2} \Rightarrow A = \frac{3}{2}kx^2 + 3kx^2 \Rightarrow k = \frac{2A}{9x^2} \cong 711 \text{ Н/м.}$$

### Критерии оценивания.

- |   |         |
|---|---------|
| 1. Условие равновесия гири в начальный момент                 | 2 балла |
| 2. Выражение потенциальной энергии силы упругости             | 1 балл  |
| 3. Выражение потенциальной энергии силы тяжести               | 1 балл  |
| 4. Записан закон сохранения энергии                           | 3 балла |
| 5. Найдено выражение для коэффициента жесткости пружины       | 2 балла |
| 6. Получено численное значение коэффициента жесткости пружины | 1 балл  |

**Задача 3.** В сосуде под поршнем находится некоторая масса кислорода при температуре  $3T$ . В него закачивают ещё такую же массу водорода, а температуру понижают до  $2T$ . Найдите, во сколько раз изменился объем содержимого под поршнем. Газы считать идеальными. Молярная масса кислорода 32 г/моль, водорода 2 г/моль.

**Возможное решение.** Запишем два уравнения состояния для начального состояния и для конечного:

$$pV_1 = \frac{m}{\mu_1} R \cdot 3T,$$

$$pV_2 = \left( \frac{m}{\mu_1} + \frac{m}{\mu_2} \right) R \cdot 2T.$$

Разделив одно уравнение на другое, получаем

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{\frac{1}{\mu_1} + \frac{1}{\mu_2}}{\frac{2}{\mu_1}} = \frac{2}{3} \left( 1 + \frac{\mu_1}{\mu_2} \right) = \frac{34}{3}.$$

**Критерии оценивания.**

- |  |         |
|--|---------|
| 1. $p_1 = p_2 = p$   | 2 балла |
| 2. $pV_1 = \frac{m}{\mu_1} R \cdot 2T$                                 | 3 балла |
| 3. $pV_2 = \left( \frac{m}{\mu_1} + \frac{m}{\mu_2} \right) R \cdot T$ | 3 балла |
| 4. $\frac{V_2}{V_1} = \frac{34}{3}$                                    | 2 балла |

**Задача 4.** Определите эквивалентное сопротивление проволочной сетки между узлами  $A$  и  $B$ , если сопротивление каждого проводника равно  $R$ .

**Возможное решение.** Эквивалентная схема представлена на рисунке. Воспользовавшись формулами для параллельного и последовательного соединений, окончательно получаем

$$R_{AB} = \frac{11}{19} R.$$

**Критерии оценивания.**

- |   |         |
|---|---------|
| 1. Эквивалентная схема                      | 4 балла |
| 2. Формула для последовательного соединения | 2 балла |
| 3. Формула для параллельного соединения     | 2 балла |
| 4. $R_{AB} = \frac{11}{19} R$               | 2 балла |

