

---

# Инженерные науки

## Содержание

6-8 классы.....	2
1. Воздухоплавание.....	2
2. Термометр.....	6
3. Кальций в продуктах.....	8
4. Садовые улитки.....	10
9-10 классы.....	14
1. Чемодан на платформе.....	14
2. Пожарный шланг.....	16
3. Маятник.....	17
4. Метание снарядов.....	19
11 класс.....	21
1. Предмет на подставке.....	21
2. Фокус с линзами.....	23
3. Получение водорода.....	26
4. Рамка в магнитном поле.....	28

## 6-8 классы

### 1. Воздухоплавание.

Мальчик Алексей интересуется воздухоплаванием и восхищается первым человеком, совершивший полет в космос, летчиком-космонавтом СССР - Юрием Алексеевичем Гагариным. Лёша решил попробовать совершить свой первый воздушный полёт при помощи воздушных шариков. Для этого ему нужно купить в магазине воздушные шарики (сферические), которые в надутом состоянии имеют радиус 9 дюймов. Шарики накачивают газом, по лёгкости занимающим второе место после водорода. Сколько Алексею потребуется купить воздушных шариков, если известно, что масса Алексея  $m_1 = 30$  кг? Считать, что давление газа внутри шариков равно атмосферному, масса оболочки одного шарика равна  $m_{об} = 1$  г.



#### Требования к ответу:

Ответ представьте в виде числа, округлив до целого, без указания единиц измерений

#### Справочные материалы.

- В настоящее время под дюймом обычно подразумевают английский дюйм, в точности равный 2,54 см.
- Формула для вычисления объёма шара радиусом  $R$ :  $V = \frac{4}{3} \pi R^3$ .
- На тело, погружённое в жидкость или газ, действует выталкивающая сила, равная весу жидкости или газа в объёме погружённой части тела.

Эта выталкивающая сила и называется силой Архимеда.

$$F_a = \rho g V, \text{ где}$$

$\rho$  — плотность жидкости или газа, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  — ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$V$  — объём части тела, погружённой в жидкость или газ, м<sup>3</sup>;

$F_A$  — сила Архимеда, Н

Период	Ряд	Г Р У П П Ы Э Л Е М Е Н Т О В												
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII					
I	1	(H)						H <sup>1</sup> <sub>1,00797</sub> Водород	He <sup>2</sup> <sub>4,0026</sub> Гелий	Обозначение элемента		Атомный номер		
II	2	Li <sup>3</sup> <sub>6,939</sub> Литий	Be <sup>4</sup> <sub>9,0122</sub> Бериллий	B <sup>5</sup> <sub>10,811</sub> Бор	C <sup>6</sup> <sub>12,01115</sub> Углерод	N <sup>7</sup> <sub>14,0067</sub> Азот	O <sup>8</sup> <sub>15,9994</sub> Кислород	F <sup>9</sup> <sub>18,9984</sub> Фтор	Ne <sup>10</sup> <sub>20,179</sub> Неон	Li <sup>3</sup> <sub>6,939</sub> Литий		Относительная атомная масса		
III	3	Na <sup>11</sup> <sub>22,9898</sub> Натрий	Mg <sup>12</sup> <sub>24,305</sub> Магний	Al <sup>13</sup> <sub>26,9815</sub> Алюминий	Si <sup>14</sup> <sub>28,086</sub> Кремний	P <sup>15</sup> <sub>30,9738</sub> Фосфор	S <sup>16</sup> <sub>32,064</sub> Сера	Cl <sup>17</sup> <sub>35,453</sub> Хлор	Ar <sup>18</sup> <sub>39,948</sub> Аргон					
IV	4	K <sup>19</sup> <sub>39,102</sub> Калий	Ca <sup>20</sup> <sub>40,08</sub> Кальций	Sc <sup>21</sup> <sub>44,956</sub> Скандий	Ti <sup>22</sup> <sub>47,90</sub> Титан	V <sup>23</sup> <sub>50,942</sub> Ванадий	Cr <sup>24</sup> <sub>51,996</sub> Хром	Mn <sup>25</sup> <sub>54,9380</sub> Марганец	Fe <sup>26</sup> <sub>55,847</sub> Железо	Co <sup>27</sup> <sub>58,9330</sub> Кобальт	Ni <sup>28</sup> <sub>58,71</sub> Никель			
	5	Cu <sup>29</sup> <sub>63,546</sub> Медь	Zn <sup>30</sup> <sub>65,37</sub> Цинк	Ga <sup>31</sup> <sub>69,72</sub> Галлий	Ge <sup>32</sup> <sub>72,59</sub> Германий	As <sup>33</sup> <sub>74,9216</sub> Мышьяк	Se <sup>34</sup> <sub>78,96</sub> Селен	Br <sup>35</sup> <sub>79,904</sub> Бром	Kr <sup>36</sup> <sub>83,80</sub> Криптон					
V	6	Rb <sup>37</sup> <sub>85,47</sub> Рубидий	Sr <sup>38</sup> <sub>87,62</sub> Стронций	Y <sup>39</sup> <sub>88,905</sub> Иттрий	Zr <sup>40</sup> <sub>91,22</sub> Цирконий	Nb <sup>41</sup> <sub>92,906</sub> Нобий	Mo <sup>42</sup> <sub>95,94</sub> Молибден	Tc <sup>43</sup> <sub>[99]</sub> Технеций	Ru <sup>44</sup> <sub>101,07</sub> Рутений	Rh <sup>45</sup> <sub>102,905</sub> Родий	Pd <sup>46</sup> <sub>106,4</sub> Палладий			
	7	Ag <sup>47</sup> <sub>107,868</sub> Серебро	Cd <sup>48</sup> <sub>112,40</sub> Кадмий	In <sup>49</sup> <sub>114,82</sub> Индий	Sn <sup>50</sup> <sub>118,69</sub> Олово	Sb <sup>51</sup> <sub>121,75</sub> Сурьма	Te <sup>52</sup> <sub>127,60</sub> Теллур	I <sup>53</sup> <sub>126,9044</sub> Иод	Xe <sup>54</sup> <sub>131,30</sub> Ксенон					
VI	8	Cs <sup>55</sup> <sub>132,905</sub> Цезий	Ba <sup>56</sup> <sub>137,34</sub> Барий	La* <sup>57</sup> <sub>138,91</sub> Лантан	Hf <sup>72</sup> <sub>178,49</sub> Гафний	Ta <sup>73</sup> <sub>180,948</sub> Тантал	W <sup>74</sup> <sub>183,85</sub> Вольфрам	Re <sup>75</sup> <sub>186,2</sub> Рений	Os <sup>76</sup> <sub>190,2</sub> Осмий	Ir <sup>77</sup> <sub>192,22</sub> Иридий	Pt <sup>78</sup> <sub>195,09</sub> Платина			
	9	Au <sup>79</sup> <sub>196,967</sub> Золото	Hg <sup>80</sup> <sub>200,59</sub> Ртуть	Tl <sup>81</sup> <sub>204,37</sub> Таллий	Pb <sup>82</sup> <sub>207,19</sub> Свинец	Bi <sup>83</sup> <sub>208,980</sub> Висмут	Po <sup>84</sup> <sub>[210]*</sub> Полоний	At <sup>85</sup> <sub>[210]</sub> Астат	Rn <sup>86</sup> <sub>[222]</sub> Радон					
VII	10	Fr <sup>87</sup> <sub>[223]</sub> Франций	Ra <sup>88</sup> <sub>[226]</sub> Радий	Ac** <sup>89</sup> <sub>[227]</sub> Актиний	Rf <sup>104</sup> <sub>[261]</sub> Резерфордий	Db <sup>105</sup> <sub>[262]</sub> Дубний	Sg <sup>106</sup> <sub>[263]</sub> Сибборгий	Bh <sup>107</sup> <sub>[262]</sub> Борий	Hs <sup>108</sup> <sub>[265]</sub> Хассий	Mt <sup>109</sup> <sub>[266]</sub> Мейтнерий	110			
Лантаноиды	58 Ce <sup>140,12</sup> Церий	59 Pr <sup>140,907</sup> Прозеодим	60 Nd <sup>144,24</sup> Неодим	61 Pm <sup>[147]*</sup> Прометий	62 Sm <sup>150,35</sup> Самарий	63 Eu <sup>151,96</sup> Европий	64 Gd <sup>157,25</sup> Гадолиний	65 Tb <sup>158,924</sup> Тербий	66 Dy <sup>162,50</sup> Диспрозий	67 Ho <sup>164,930</sup> Гольмий	68 Er <sup>167,26</sup> Эрбий	69 Tm <sup>168,934</sup> Тулий	70 Yb <sup>173,04</sup> Иттербий	71 Lu <sup>174,97</sup> Лютеций
Актиноиды	90 Th <sup>232,038</sup> Торий	91 Pa <sup>[231]</sup> Протактиний	92 U <sup>238,03</sup> Уран	93 Np <sup>[237]</sup> Нептуний	94 Pu <sup>[244]</sup> Плутоний	95 Am <sup>[243]</sup> Америций	96 Cm <sup>[247]</sup> Кюрий	97 Bk <sup>[247]</sup> Берклий	98 Cf <sup>[252]*</sup> Калифорний	99 Es <sup>[254]</sup> Эйнштейний	100 Fm <sup>[257]</sup> Фермий	101 Md <sup>[257]</sup> Менделевий	102 No <sup>[259]</sup> Нобелий	103 Lr <sup>[260]</sup> Лоуренсий

• Таблица Менделеева

- Таблица плотностей  $\rho$  некоторых газов при нормальных условиях

Газ	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
Оксид углерода (IV) – углекислый газ	1,98
Кислород	1,43
Воздух	1,29
Азот	1,25
Природный газ	0,8
Водяной пар (при $t = 100^\circ\text{C}$ )	0,59
Гелий	0,18
Водород	0,09

Возможное решение.

- Согласно таблице плотностей газов газ, по лёгкости занимающий второе место, – это гелий. Как следует из таблицы, его плотность равна  $\rho_{\text{гел}} = 0,18 \text{ кг/м}^3$ .
- На наполненные гелием шарики действуют следующие силы:
  - Сила тяжести со стороны мальчика  $m_1g$  (здесь  $g$  – ускорение свободного падения);

- Сила тяжести со стороны оболочек шариков ( $n \cdot m_{об} \cdot g$ ), где  $n$  – число шариков;
- Сила тяжести, действующая на гелий, заключённый в оболочки шариков:  $n \cdot \rho_{гел} \cdot \frac{4}{3} \pi R^3 \cdot g$ ;
- Сила Архимеда, действующая со стороны воздуха, плотность которого можно найти из таблицы (она равна  $\rho_{возд} = 1,29$  кг/м<sup>3</sup>).
- Сила Архимеда направлена противоположно силам тяжести, действующим на мальчика, оболочки шариков и гелий, заключённый внутри шариков. Она равна:  $F_A = n \cdot \rho_{возд} g \frac{4}{3} \pi R^3$

3. Чтобы мальчик Алексей взлетел должно выполняться условие:

$$n \cdot \rho_{возд} g \frac{4}{3} \pi R^3 > (m_1 + n \cdot m_{об} + n \cdot \rho_{гел} \cdot \frac{4}{3} \pi R^3) g$$

Сокращая с обеих сторон неравенства ускорение свободного падения  $g$  и проведя необходимые преобразования, получаем, что

$$n > \frac{m_1}{(\rho_{возд} - \rho_{гел}) \cdot \frac{4}{3} \pi R^3 - m_{об}}$$

Подставляя числовые данные  $m_1 = 30$  кг,  $R = 22,86$  см =  $22,86 \cdot 10^{-2}$  м, получаем, что

$$n > \frac{30}{(1,29 - 0,18) \cdot \frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot (22,86 \cdot 10^{-2})^3 - 0,001}$$

$$n > 550,156 \text{ шариков.}$$

Значит, для полёта мальчика необходимо купить минимум 551 воздушных шариков.

Ответ: 551.

### Критерии

1. Ответ верный, но решения нет (в загруженном файле решение отсутствует) — 5 баллов.
2. Приведены силы, действующие на наполненные гелием шарики- 5 баллов.

- 
3. Описано условие, при котором мальчик будет взлетать— 4 балла.
3. Определен объем шарика и масса — 3 балла.
4. Приведены рассуждения о влиянии массы гелия и массы оболочек шариков на результат —3 балла
- 4 Проведены расчеты и получен верный ответ — 10 баллов.
- Максимум баллов за эту задачу: 30 баллов.**

---

## 2. Термометр.



Во время болезни зачастую поднимается температура, свидетельствующая, например, о каких-то воспалительных процессах или о том, что организм борется с недугом. В наше время большинство людей пользуются термометром (градусником). По принципу измерения существует несколько видов термометров: электронные, газовые, инфракрасные, механические, жидкостные и др. Сегодня ученые не могут назвать имя человека, который изобрел термометр, поскольку над этим вопросом одновременно работали сразу несколько ученых. Для изготовления медицинских термометров использовалась ртуть. Длина капилляра в термометре составляет  $l=120$  мм, диаметр капилляра – 0.8 мм.

- 1) Какая минимальная капля (масса) ртути необходима для создания такого термометра?
- 2) Почему при нагреве ртуть в капилляр выходит, а потом после остывания обратно в нижнюю емкость не уходит. Почему градусник приходится встряхивать?

### Требования к ответу:

В ответ укажите только полученную массу в граммах без единиц измерения, округлив результат до тысячных. Полное решение и рассуждения оформите в файле и загрузите.

### Справочные материалы.

- Плотность ртути  $\rho$  при  $42^\circ\text{C}$  –  $13.4918$  г/см<sup>3</sup>

### **Возможное решение:**

1. Найдем объем капилляра:  $V=S*l=\pi*0,25*D^2*l$  в мм<sup>3</sup>

Поскольку плотность ртути указана в г/см<sup>3</sup>, необходимо перевести объем в см<sup>3</sup>.

---

2. Итоговая формула для нахождения массы:

$$m = \frac{\pi D^2 l}{4} \rho = \frac{3,14 * 0,08 * 0,08 * 12}{4} * 13,4918 = 0,814 \text{ г.}$$

3. Градусник представляет из себя герметичную трубку, которая соединена с колбой-резервуаром, в которой находится ртуть. Соединения трубки с резервуаром выполнено в виде капилляр-сужения. При измерении температуры человека, резервуар с ртутью при контакте с кожей нагревается. При этом ртуть расширяется и поднимается по трубке. При охлаждении ртути получается так, что в самом узком месте, месте соединения трубки и резервуара, ртуть разрывается и поверхностное натяжение не позволяет ртути стечь обратно в резервуар, т.е. поверхностное натяжение превалирует над силой тяжести ртути в сужении. Для того, чтобы ртуть вернулась обратно в резервуар, нужно встряхнуть градусник.

Ответ: 0.814.

### **Критерии**

1. Ответ верный, но решения нет (в загруженном файле решение отсутствует) — 5 баллов.
2. Описаны правильно формулы и верна логика — 2 балла.
3. Приведены верные рассуждения о том, почему нужно встряхивать градусник — 3 балла.
4. Проведены расчеты и получен верный ответ — 10 баллов.

**Максимум баллов за эту задачу: 20 баллов.**

### 3. Кальций в продуктах.



Гипокальциемия – это снижение содержания кальция в крови. Кальций относится к микроэлементам, жизненно необходимым для организма человека. Подросткам 11-17 лет необходимо в день употреблять  $n=1100$  мг кальция. Известно, что в 100 г творога содержится 120 мг кальция, в 100 г сыра чеддер или моцареллы 900 мг кальция, а в 100 г брокколи 47 мг кальция. Родители 12-летней Вероники очень следят за правильным питанием их дочери и рассчитывают норму КБЖУ, а также ежедневное потребление кальция.

По рекомендациям родителей ежедневно Вероника съедает по 1 порции творога и сыра, а также 2 порции брокколи на обед.

На сколько процентов отличается значение потребления кальция Вероники за осень 2023 года, если она будет питаться по рекомендациям родителей от нормального значения необходимого потребления кальция для подростков 11-17 лет?

#### Справочные материалы.

1 порция творога= 100г, 1 порция брокколи= 100 г, 1 порция сыра= 100 г.

#### Требования к ответу:

В ответ запишите только число, округленное до десятых.

#### **Возможное решение:**

1. За 3 месяца (91 день) осени 2023г необходимо получить  $1100 \cdot 91 = 100100$  мг кальция
2. Вероника по рекомендациям родителей съедает  $120 + 900 + 2 \cdot 47 = 1114$  мг в день, а за 3 мес  $= 1114 \cdot 91 = 101374$  мг.
3. Составим пропорцию:



---

100100 – 100%

(101374-100100) – x%

$X=(1274*100)/100100=1,274\%=1,3\%$

Итоговая формула:

$$x = \frac{(91*1114-91n)}{91n} * 100 .$$

Ответ: 1.3.

### **Критерии**

1. Ответ верный, но решения нет (в загруженном файле решение отсутствует) — 5 баллов.
2. Проведены расчеты необходимого потребления кальция для подростков за 3 месяца осени 2023 — 2 балла.
3. Проведены расчеты потребления кальция Вероники, питаюсь по рекомендациям родителей за 3 месяца осени 2023 — 5 баллов.
4. Составлена пропорция — 3 балла.
5. Проведены расчеты и получен верный ответ — 10 баллов.

**Максимум баллов за эту задачу: 25 баллов.**

#### 4. Садовые улитки.



Две одинаковые маленькие улитки вида *Helix Aspersa* (садовые улитки) сидят на противоположных концах однородной горизонтальной соломинки (см.рис.), масса которой равна массе одной улитки. Соломинка лежит симметрично на двух точечных опорах, между которыми находится  $1/n$ -я часть стержня ( $n = 3$ ). Левая улитка ползёт по стержню со скоростью  $v_1 = 3$  мм/с. Скорость  $v_2$  правой улитки больше скорости  $v_1$ . При каком максимальном значении скорости второй улитки соломинка не опрокинется к моменту встречи улиток?

#### Справочные материалы.

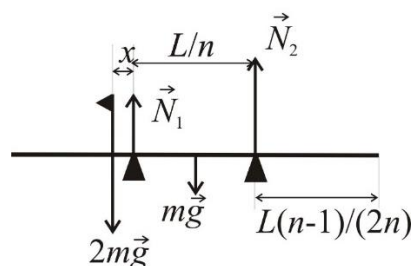
Момент  $M$  силы - это физическая величина, равная произведению модуля силы  $F$  на её плечо  $l$ :  $M=Fl$ . Плечом силы называют кратчайшее расстояние от оси вращения до линии действия силы.

Условие равновесия тела: Алгебраическая сумма моментов всех действующих сил равна нулю :  $M_1+M_2+...M_N=0$

#### Требования к ответу:

В ответ запишите число, округленное до десятых.

#### **Возможное решение:**



- 
1. Стержень будет находиться в равновесии, если алгебраическая сумма моментов сил, действующих на него, равна нулю:

$$F_1 \cdot l_1 + F_2 \cdot l_2 + F_3 \cdot l_3 + F_4 \cdot l_4 = 0$$

- Если улитки встречаются на серединном отрезке между левой и правой опорами, то соломинка не будет опрокидываться ни при каком значении скорости второй улитки.
  - Если улитки встречаются слева от левой опоры или справа от правой опоры, то соломинка может опрокинуться.
  - Максимальная скорость второй (правой) улитки будет достигаться в тех случаях, когда улитки встретятся слева от левой опоры.
2. Пусть улитки встретились в некоторой точке слева от левой опоры. Обозначим через  $x$  расстояние от левой опоры до места встречи улиток (см. рисунок).
3. На стержень действуют силы:
- сила тяжести самой соломинки, равная  $F_1 = mg$ ;
  - сила давления на соломинку со стороны встретившихся улиток, равная  $F_2 = 2mg$ ;
  - сила реакции левой опоры, равная  $F_3 = N_1$ ;
  - сила реакции правой опоры, равная  $F_4 = N_2$ .
4. Запишем правило моментов сперва относительно левой опоры, затем относительно правой опоры.
- 1) Относительно левой опоры:

$$2mgx - mg \frac{L}{2n} + N_2 \cdot \frac{L}{n} = 0 \quad (1)$$

Здесь  $L$  – длина всего стержня,  $n = 3$

- 2) Относительно правой опоры:

$$2mg \left( \frac{L}{n} + x \right) + mg \frac{L}{2n} - N_1 \cdot \frac{L}{n} = 0 \quad (2)$$

В момент опрокидывания стержня либо  $N_1 = 0$ , либо  $N_2 = 0$ .

5. Для нашего случая нахождения максимальной скорости второй улитки мы должны рассмотреть условие  $N_2 = 0$ .

Если  $N_2 = 0$ , то из (1) следует, что

$2mgx - mg \frac{L}{2n} = 0$ , откуда находим  $x$ :

$$x = \frac{L}{4n}. \quad (3)$$

6. Так как улитки ползут до встречи одно и то же время, причём первая (левая) улитка проползает расстояние  $\frac{L(n-1)}{2n} - x$ , а вторая улитка проползает

расстояние  $\frac{L(n-1)}{2n} + \frac{L}{n} + x$ , то равенство времён движения улиток с учётом

(3) запишется как

$$\frac{\left(\frac{2n-3}{4n}\right) \cdot L}{v_1} = \frac{\left(\frac{2n+3}{4n}\right) \cdot L}{v_2} \quad (4)$$

7. Окончательно получаем:

$$v_2 = v_1 \left( \frac{2n+3}{2n-3} \right) \quad (5)$$

Отсюда находим скорость второй (правой) улитки для случая  $n = 3$ :

$$v_2 = v_1 \frac{2 \cdot 3 + 3}{2 \cdot 3 - 3} = 3v_1 = 3 \cdot 3 = 9 \quad (\text{мм/с})$$

Для тех, кто рассматривает сразу случай  $n = 3$ .

При  $n = 3$  равенство (4) переписывается как:

$$\frac{L/4}{v_1} = \frac{3L/4}{v_2},$$

Откуда находим  $v_2$ :

$$v_2 = v_1 \frac{3L/4}{L/4} = 3v_1 = 3 \cdot 3 = 9 \quad (\text{мм/с})$$

Таким образом, максимальная скорость улитки будет равна 9 мм/с.

Ответ: 9.

**Критерии**

- 
1. Ответ верный, но решения нет (в загруженном файле решение отсутствует) — 5 баллов.
  2. Составлено условие равновесия — 5 баллов.
  3. Выражены формулы для нахождения времени движения улиток — 5 баллов.
  4. Получена формула для нахождения максимальной скорости движения улитки 2 — 5 баллов.
  5. Проведены расчеты и получен верный ответ — 5 баллов.
- Максимум баллов за эту задачу: 25 баллов.**

---

## 9-10 классы

### 1. Чемодан на платформе.

В небольшом городке «Инженерия» построили аэропорт для гостей фестиваля науки. Аэропорт строили опытные строители и запустили его ровно к открытию фестиваля. Гости фестиваля не упустили возможность воспользоваться самолетом и привезли с собой большие чемоданы. Гости прибывали «наплывами» и ближе к вечеру один из гостей уронил свой чемодан. Чемодан этого гражданина падал вертикально со скоростью  $u = 10$  м/с на тяжелую ленту (горизонтальную платформу), движущуюся со скоростью  $v = 1$  м/с. При каком наименьшем коэффициенте трения чемодан не будет скользить по платформе?

Силой тяжести чемодана по сравнению с возникающей нормальной силой реакции можно пренебречь. Считать также, что чемодан не отскакивает от платформы.



Требования к ответу:

Ответ представьте в виде числа без указания единиц измерения.

#### **Возможное решение:**

1. В пренебрежении силой тяжести при контакте груза с платформой (из-за малого времени набора скорости груза при трении о платформу) на него действуют нормальная сила реакции и сила трения, между которыми справедливо соотношение:  $F_{\text{тр}} \leq \mu N$  причем знак равенства достигается при скольжении.

---

2. Запишем второй закон Ньютона в проекциях на оси:

$$m\Delta v_x = F_{\text{тр}} dt \leq \mu N \Delta t,$$

$$m\Delta v_y = N \Delta t$$

откуда

$$\Delta v_x \leq \mu \Delta v_y$$

3. Так как скорость груза по  $x$  менялась от нуля до  $v$ , а по  $y$  – от  $-u$  до нуля, то проскальзывание будет отсутствовать при условии:

$$\mu > \frac{v}{u}$$

откуда искомое значение  $\mu_{\min} = 0.1$  при  $v=1$ .

Ответ: 0.1

### **Критерии**

1. Ответ верный, но решения нет (в загруженном файле решение отсутствует) — 5 баллов.
2. Записан критерий отсутствия проскальзывания — 5 баллов.
3. Применение второго закона Ньютона — 7 баллов.
4. Выполнено суммирование изменений импульса вдоль нормали и касательной — 8 баллов.

**Максимум баллов за эту задачу: 25 баллов.**

## 2. Пожарный шланг.

Пожарник Василий приехал со своей бригадой на вызов, в этот раз горел торговый центр. Василий был очень смелый и сразу бросился тушить пожар. Струя воды бьет из пожарного шланга с площадью поперечного сечения  $S=10 \text{ см}^2$  под углом  $\alpha = 60^\circ$  к горизонту. Определите площадь поперечного сечения струи в ее верхней точке.



Требования к ответу:

Площадь поперечного сечения струи представьте в виде числа без указания единиц измерения.

**Возможное решение:**

1. Так как количество воды, проходящее через любое сечение струи в единицу времени, одинаково для любого сечения, то

$$Sv_0 = S'v$$

2. Скорость струи в верхней точке горизонтальна и равна  $v_0 \cos \alpha$ . Отсюда получаем

$$S' = \frac{S}{\cos \alpha} = 20 \text{ см}^2. \text{ (при } S=10)$$

Ответ: 20.

**Критерии.**

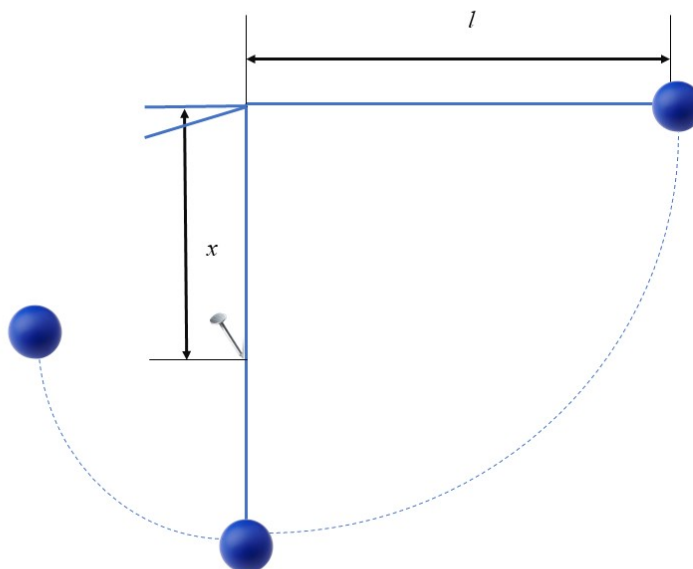
1. Ответ верный, но решения нет (в загруженном файле решение отсутствует) — 5 баллов.
2. Записан закон сохранения потока — 2 балла.
3. Записан закон сохранения горизонтальной скорости — 3 балла.
4. Выполнены все пункты и получен правильный численный ответ — 5 баллов.

**Максимум баллов за эту задачу: 15 баллов.**



### 3. Маятник.

Неупругая легкая нить длиной  $l = 1$  м с маленьким шариком прикреплена к стене и образует маятник. Под точкой подвеса вбили гвоздь на расстоянии  $x < l$  от нее и отвели маятник до горизонтального положения нити (см. рис.). Трение шарика о стену отсутствует. При каком минимальном  $x$  нить в процессе движения шарика все время будет оставаться натянутой?



#### Требования к ответу:

Представьте ответ в виде числа, округлив до сотых, без указания единиц измерения.

#### **Возможное решение:**

1. По закону сохранения энергии скорость шарика в верхней точке траектории после касания нити с гвоздем равна

$$v = \sqrt{2g(2x - l)}$$

2. Чтобы нить в этой точке оставалась натянутой, необходимо, чтобы

$$m \frac{v^2}{l - x} \geq mg$$

3. Из двух уравнений получаем  $x_{min} = \frac{3}{5}l = 0.6$  м.

Ответ: 0.6.

#### **Критерии**

1. Ответ верный, но решения нет (в загруженном файле решение отсутствует) — 5 баллов.

- 
2. Правильно записан и использован закон сохранения энергии для вычисления значения скорости в верхней точке — 7 баллов.
  3. Использован второй закон Ньютона для верхней точки — 8 баллов
  4. Выполнен анализ – при минимальной скорости сила натяжения в верхней точке равна нулю —5 баллов
  5. Выполнены все пункты и получен правильный численный ответ —5 баллов.
- Максимум баллов за эту задачу: 30 баллов.**

#### 4. Метание снарядов.

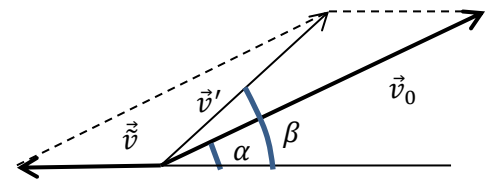
Дети устроили турнир по метанию снарядов из пушек. Для этого каждый ребенок сконструировал свою пушку и принес снаряды. Масса пушки в  $k = 200$  раз больше массы ее снаряда. Если пушка не закреплена, то она стреляет с откатом. На сколько процентов увеличится дальность выстрела, если пушку жестко закрепить?

Требования к ответу:

Ответ представьте в виде числа, округлив до тысячных, без указания %.

**Возможное решение:**

1. Обозначим  $\vec{v}_0$  – скорость снаряда относительно пушки,  $\vec{v}'$  – скорость снаряда относительно земли при незакрепленной пушке,  $\vec{v}$  – начальная скорость отката пушки.



2. Закон сохранения импульса в СО, связанной с землей, в проекции на горизонтальную ось имеет вид ( $k = \frac{M}{m}$ ):

$$k\vec{v} = v' \cos\beta$$

Проектирование векторов скорости на вертикальную и горизонтальную оси дает:

$$v' \sin\beta = v_0 \sin\alpha$$

$$v' \cos\beta + \vec{v} = v_0 \cos\alpha \rightarrow \left(1 + \frac{1}{k}\right) v' \cos\beta = v_0 \cos\alpha$$

Здесь  $\alpha$  – угол наклона ствола,  $\beta$  – угол, под которым вылетает снаряд относительно земли. Очевидно,  $\beta > \alpha$  за счет отката пушки.

3. Используем формулу дальности полета для двух случаев:

$$L_0 = \frac{v_0^2}{g} \sin 2\alpha, \quad L' = \frac{v'^2}{g} \sin 2\beta$$

4. Поделив одно на другое, получаем, записав результат в виде:

$$\frac{L_0}{L'} = \frac{v_0 \sin\alpha}{v' \sin\beta} \cdot \frac{v_0 \cos\alpha}{v' \cos\beta} = 1 + \frac{1}{k} = 1,005$$

Таким образом, дальность увеличится на 0,5 процентов независимо от угла выстрела.

Ответ: 0.5.

**Критерии.**

- 
1. Ответ верный, но решения нет (в загруженном файле решение отсутствует) — 5 баллов.
  2. Записан закон сохранения импульса в проекции на горизонтальную ось — 5 баллов.
  3. Записаны проекции векторов скорости на вертикальную и горизонтальную — 5 баллов.
  4. Приведена формула дальности полета для двух случаев — 5 баллов
  3. Получена итоговая формула для расчетов — 5 баллов.
  4. Выполнены все пункты и получен правильный численный ответ — 5 баллов.
- Максимум баллов за эту задачу: 30 баллов.**

---

## 11 класс

### 1. Предмет на подставке.

Горизонтальная подставка с лежащим на ней предметом совершает горизонтальные гармонические колебания с периодом  $T = 0.5\text{с}$ . Коэффициент трения предмета о подставку  $\mu = 0.1$ . При какой амплитуде колебаний предмет начинает проскальзывать по подставке?

Требования к ответу:

Ответ представьте в виде числа, округлив до десяти-тысячных, без указания единиц измерений.

### Возможное решение:

1. Ускорение тела вместе с колеблющейся подставкой максимально в крайних положениях. Пусть колебания происходят по закону

$$x = A \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T} t\right)$$

2. Из уравнения колебаний несложно найти ускорение:

$$a = -A \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cos\left(\frac{2\pi}{T} t\right)$$

3. Таким образом, сила, стремящаяся столкнуть тело с подставки, равна:

$$F = ma = mA \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$$

4. Максимальная сила трения, благодаря которой тело не отрывается от подставки, равна  $F_{\text{тр}} = \mu mg$ .

5. Таким образом, тело соскользнет с подставки при амплитуде, большей, чем

$$A \geq \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 \mu g.$$
$$A \geq 0.0067.$$

Ответ: 0.0067.

### Критерии

1. Ответ верный, но решения нет (в загруженном файле решение отсутствует) — 5 баллов.
2. Описан закон колебаний — 5 баллов.
3. Выражена формула для ускорения — 2 балла.
4. Выражена формула для силы, которая стремится столкнуть тело с подставки — 3 балла.

- 
5. Выражена формула для нахождения амплитуды — 5 баллов.
6. Выполнены все пункты и получен правильный численный ответ — 5 баллов.
- Максимум баллов за эту задачу: 25 баллов.**

---

## 2. Фокус с линзами.

Петя показывал Васе фокусы с линзами. Для одного из объектов (синяя стрелка 1) он зарисовал его положение, а также положение изображения в тонкой линзе (синяя стрелка 2). Затем Петя убрал линзу, разместил новый объект (красная стрелка 1) и попросил Васю нарисовать изображение. Помогите Васе построить изображение красной стрелки.



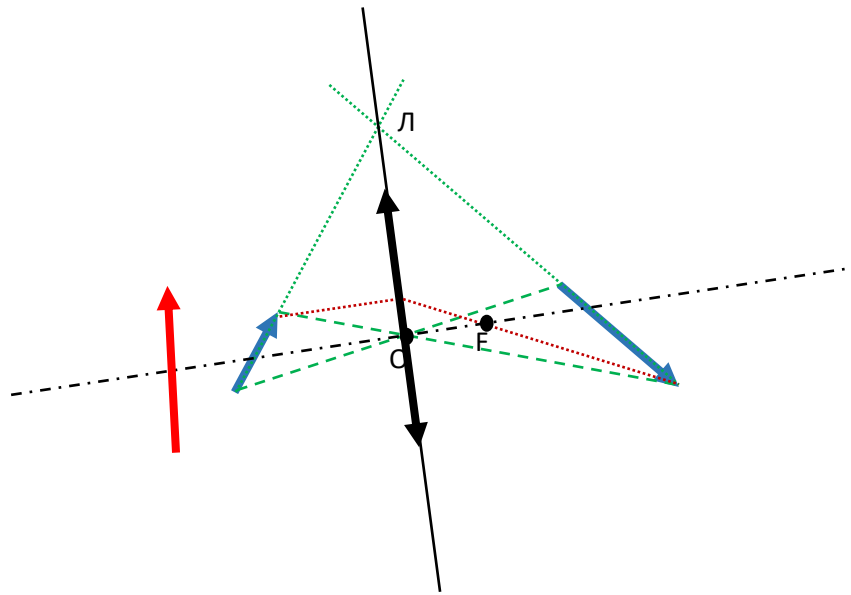
### Требования к ответу:

Оформите полученные построения и обоснования к ним и приложите файл для ответа.

### **Возможное решение:**

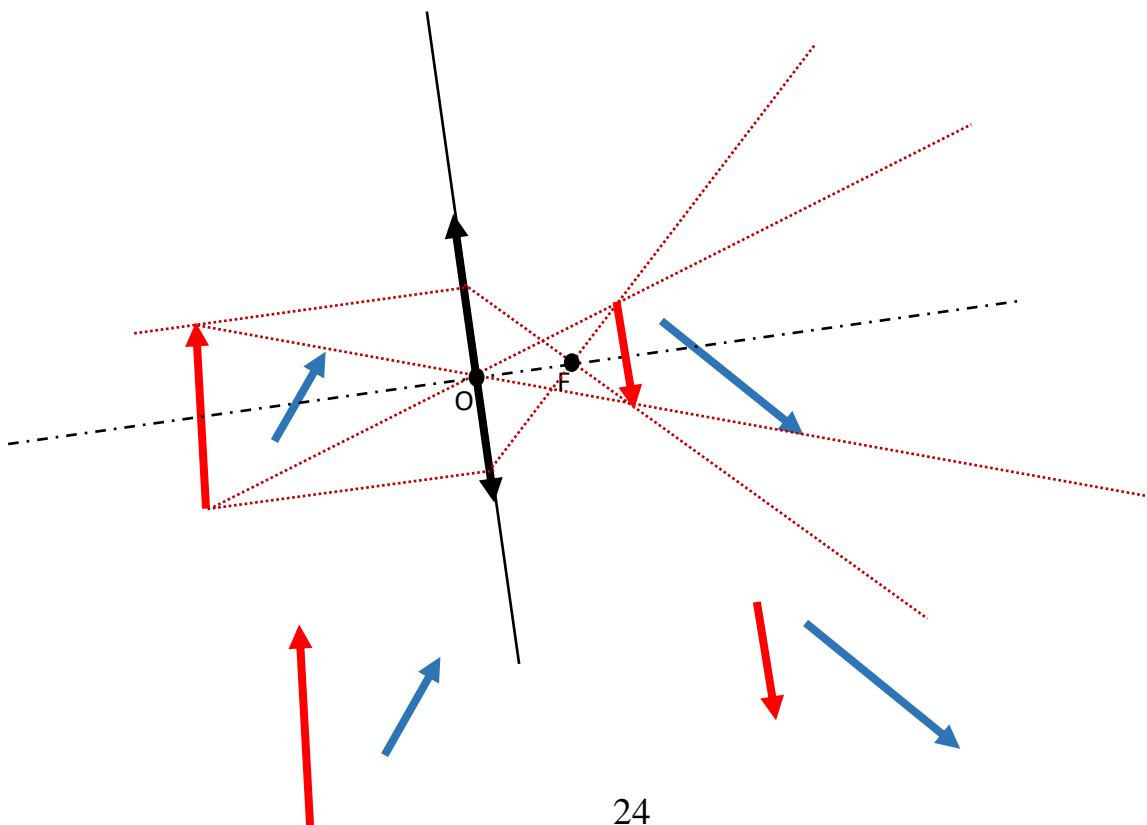
1. Известно, что луч, проходящий через оптический центр тонкой линзы проходит через нее без преломления. Значит, если мы соединим линиями начало стрелки 1 с началом ее изображения, а также конец стрелки 1 с концом ее изображения (зеленые штриховые линии), то точка пересечения этих линий и даст положение центра тонкой линзы (точка  $O$ ).
2. Луч проходящий через начало и конец стрелки 1 (то есть по направлению стрелки 1) должен после преломления в тонкой линзе пройти через начало и конец изображения стрелки 1 (то есть строго по направлению изображения стрелки 1). Это означает, что продолжение линий (зеленые пунктирные линии), проходящих через стрелку 1 и ее изображение даст точку в плоскости тонкой линзы (точка  $L$ ).
3. Проведя линию, соединяющую точки  $O$  и  $L$ , получим плоскость тонкой линзы.
4. Проведя линию, перпендикулярную линии  $OL$  и проходящую через точку  $O$  (центр линзы), получим оптическую ось линзы (черная штрих-пунктирная линия).
5. Фокус линзы находим стандартным образом. Из конца стрелки 1 проводим луч, параллельный оптической оси (бордовая пунктирная линия). После прохождения плоскости линзы, он преломляется так, чтобы пройти через

конец изображения. Пересечение этой линии с осью линзы даст положение фокуса F.



6. Зная положение линзы, оптической оси и фокуса, не составит труда построить изображение красной стрелки. Для этого проводим луча из начала и конца стрелки через центр линзы и параллельно оптической оси, соответственно. Лучи через центр линзы проходят без отклонения, параллельные после линзы должны пройти через фокус. Пересечения двух лучей дают точки – изображения начала и конца красной стрелки.

Ответ:





---

### **Критерии**

1. Рассуждение о поиске центра линзы через пересечение линий — 2 балла.
2. Рассуждение про поиск точки Л через продолжение линии стрелки 1 — 4 балла.
3. Рассуждение о поиске точки фокуса — 2 балла.
4. Построение изображения стрелки 2 — 2 балла.
5. Выполнены все пункты и получен правильный численный ответ — 10 баллов.

**Максимум баллов за эту задачу: 20 баллов.**

### 3. Получение водорода.

В промышленности водород  $H_2$  получают, главным образом, из газа метана, который входит в состав природного газа. При нагревании метана с парами воды, которые имеются избытке, получают смесь водорода и углекислого газа.

Данную реакцию провели при температуре  $t_1 = 800\text{ }^\circ\text{C}$  и давлении  $p_1 = 20 \cdot 10^5\text{ Па}$ , взяв для реакции 320 г метана. После того, как метан полностью прореагировал, смесь получившихся газов осушили и привели к нормальным условиям (температура  $t_2 = 0\text{ }^\circ\text{C}$  и давление  $p_2 = 10^5\text{ Па}$ ). Найти парциальное давление водорода в получившейся смеси газов.

#### Справочные материалы.

Период	Ряд	ГРУППЫ ЭЛЕМЕНТОВ												
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII					
I	1	(H)						H 1,00797 Водород	He 4,0026 Гелий	Обозначение элемента Атомный номер Li 3 Литий Относительная атомная масса				
II	2	Li 6,939 Литий	Be 9,0122 Бериллий	B 10,811 Бор	C 12,01115 Углерод	N 14,0067 Азот	O 15,9994 Кислород	F 18,9984 Фтор	Ne 20,179 Неон					
III	3	Na 22,9898 Натрий	Mg 24,305 Магний	Al 26,9815 Алюминий	Si 28,086 Кремний	P 30,9738 Фосфор	S 32,064 Сера	Cl 35,453 Хлор	Ar 39,948 Аргон					
IV	4	K 39,102 Калий	Ca 40,08 Кальций	Sc 44,956 Скандий	Ti 47,90 Титан	V 50,942 Ванадий	Cr 51,996 Хром	Mn 54,9380 Марганец	Fe 55,847 Железо	Co 58,9330 Кобальт	Ni 58,71 Никель			
	5	Cu 63,546 Медь	Zn 65,37 Цинк	Ga 69,72 Галлий	Ge 72,59 Германий	As 74,9216 Мышьяк	Se 78,96 Селен	Br 79,904 Бром	Kr 83,80 Криптон					
V	6	Rb 85,47 Рубидий	Sr 87,62 Стронций	Y 88,905 Иттрий	Zr 91,22 Цирконий	Nb 92,906 Ниобий	Mo 95,94 Молибден	Tc [99] Технеций	Ru 101,07 Рутений	Rh 102,905 Родий	Pd 106,4 Палладий			
	7	Ag 107,868 Серебро	Cd 112,40 Кадмий	In 114,82 Индий	Sn 118,69 Олово	Sb 121,75 Сурьма	Te 127,60 Теллур	I 126,9044 Иод	Xe 131,30 Ксенон					
VI	8	Cs 132,905 Цезий	Ba 137,34 Барий	La* 138,91 Лантан	Hf 178,49 Гафний	Ta 180,948 Тантал	W 183,85 Вольфрам	Re 186,2 Рений	Os 190,2 Осмий	Ir 192,2 Иридий	Pt 195,09 Платина			
	9	Au 196,967 Золото	Hg 200,59 Ртуть	Tl 204,37 Таллий	Pb 207,19 Свинец	Bi 208,980 Висмут	Po [210]* Полоний	At [210] Астат	Rn [222] Радон					
VII	10	Fr [223] Франций	Ra [226] Радий	Ac** [227] Актиний	Rf [261] Резерфордий	Db [262] Дубний	Sg [263] Сиборгий	Bh [264] Борий	Hs [265] Хассий	Mt [266] Мейтнерий	110			
Лантаноиды*	58 Ce 140,12 Церий	59 Pr 140,907 Празеодим	60 Nd 144,24 Неодим	61 Pm [147] Прометий	62 Sm 150,35 Самарий	63 Eu 151,96 Европий	64 Gd 157,25 Гадолиний	65 Tb 158,924 Тербий	66 Dy 162,50 Диспрозий	67 Ho 164,930 Гольмий	68 Er 167,26 Эрбий	69 Tm 168,934 Тулий	70 Yb 173,04 Иттербий	71 Lu 174,97 Лютеций
Актиноиды**	90 Th 232,038 Торий	91 Pa [231] Протактиний	92 U 238,03 Уран	93 Np [237] Нептуний	94 Pu [244] Плутоний	95 Am [243] Америций	96 Cm [247] Кюрий	97 Bk [247] Берклий	98 Cf [252]* Калифорний	99 Es [254] Эйнштейний	100 Fm [257] Фермий	101 Md [257] Менделевий	102 No [259] Нобелий	103 Lr [260] Лоуренсий

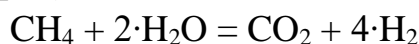
- Таблица Менделеева

#### Требования к ответу:

Ответ представьте в виде числа без указания единиц измерения в кПа.

#### Возможное решение.

1. Химическая реакция получения водорода и углекислого газа из метана и воды (водяных паров):



2. Количество вещества метана, участвовавшего в реакции, равно:

$$\nu(\text{CH}_4) = \frac{m(\text{CH}_4)}{M(\text{CH}_4)} = \frac{320 \text{ г}}{16 \text{ г/моль}} = 20 \text{ моль}$$

Значит, в результате химической реакции образовалось 20 моль углекислого газа  $\text{CO}_2$  и 80 моль водорода  $\text{H}_2$ .

3. После охлаждения и осушения продуктов реакции в смеси остались только углекислый газ и водород. Объём получившейся смеси найдём из уравнения Менделеева-Клапейрона:

$$p_2 V_{\text{смеси}} = (\nu(\text{CO}_2) + \nu(\text{H}_2)) RT_2, \\ T_2 = t_2 + 273$$

Объём получившейся смеси газов равен:

$$V_{\text{смеси}} = \frac{(\nu(\text{CO}_2) + \nu(\text{H}_2)) RT_2}{p_2}$$

4. Парциальное давление получившегося водорода  $p(\text{H}_2)$  находим также по формуле Менделеева-Клапейрона, учитывая тот факт, что водород занимает весь предоставленный ему объём:

$$p(\text{H}_2) = \frac{\nu(\text{H}_2) \cdot RT_2}{V_{\text{смеси}}} = \frac{\nu(\text{H}_2) p_2}{\nu(\text{H}_2) + \nu(\text{CO}_2)};$$

Подставляя численные данные, получаем:

$$p(\text{H}_2) = \frac{80 \cdot p_2}{80 + 20} = 0,8 \cdot 10^5 \text{ (Па)} = 80 \text{ кПа.}$$

Ответ: 80.

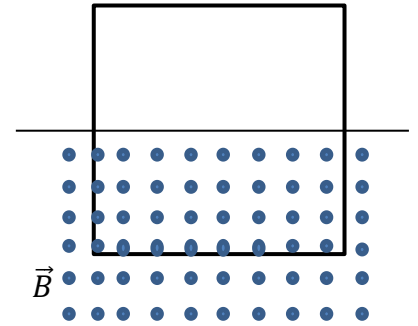
### Критерии

1. Правильная запись химической реакции и нахождение количества вещества продуктов реакции – 10 баллов.
2. Верная формула для нахождения объема из уравнения Менделеева-Клапейрона для смеси газов – 5 баллов.
3. Приведены верные расчеты парциального давления получившегося водорода – 5 баллов
5. Выполнены все пункты и получен правильный численный ответ —10 баллов.

**Максимум баллов за эту задачу: 30 баллов**

#### 4. Рамка в магнитном поле.

Проволочная квадратная рамка со стороной  $a$ , сделанная из материала с линейной плотностью  $\rho$  и электрическим сопротивлением единицы длины  $\eta$ , лежит на горизонтальном столе так, что половина ее площади находится в области однородного вертикального магнитного поля  $\vec{B}$  как показано на рисунке. Определите, какой путь она пройдет по столу после выключения поля. Коэффициент трения рамки о стол  $\mu$ . Считать, что за время выключения поля рамка не успевает существенно сдвинуться.



#### Требования к ответу:

Приложите файл для ответа с оформленным решением.

#### **Возможное решение:**

1. При выключении поля в рамке возникает индукционный ток:

$$I = \frac{|\varepsilon_i|}{R} = \frac{1}{4\eta a} \frac{a^2}{2} \frac{dB}{dt} = \frac{a}{8\eta} \frac{dB}{dt},$$

направленный против часовой стрелки так, чтобы компенсировать уменьшение магнитного потока собственным полем.

2. В результате рамка втягивается в поле силой Ампера, действующей на нее, причем действие на ее боковые стороны скомпенсировано.

По второму закону Ньютона:

$$m \frac{dv}{dt} = B I a = \frac{a^2}{8\eta} B \frac{dB}{dt} = \frac{a^2}{16\eta} \frac{dB^2}{dt}.$$

3. Отсюда приобретаемая рамкой скорость равна:

$$v = \frac{aB^2}{64\rho\eta}.$$

4. По закону сохранения энергии, начальная кинетическая энергия рамки равна работе силы трения  $\mu mg$ , так что пройденный рамкой путь:

$$s = \frac{v^2}{2\mu g} = \frac{a^2 B^4}{8192 \cdot \mu g \rho^2 \eta^2}.$$

При решении можно было воспользоваться приближенной формулой  $\Delta(x^2) = (x + \Delta x)^2 - x^2 \approx 2x\Delta x$ .

Ответ.  $s = \frac{v^2}{2\mu g} = \frac{a^2 B^4}{8192 \cdot \mu g \rho^2 \eta^2}.$

#### **Критерии**

- 
1. Верно описана формула для нахождения индукционного тока и приведены правильные рассуждения о его направлении—5 баллов.
  2. Правильно сформулирован Второй закон Ньютона в контексте задачи —5 баллов.
  3. Выражена формула для нахождения приобретаемой скорости рамкой —5 баллов.
  4. Расписан закон сохранения энергии и выражен путь—5 баллов.
  5. Выполнены все пункты и получен правильный численный ответ —5 баллов.
- Максимум баллов за эту задачу: 25 баллов**