

# 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:

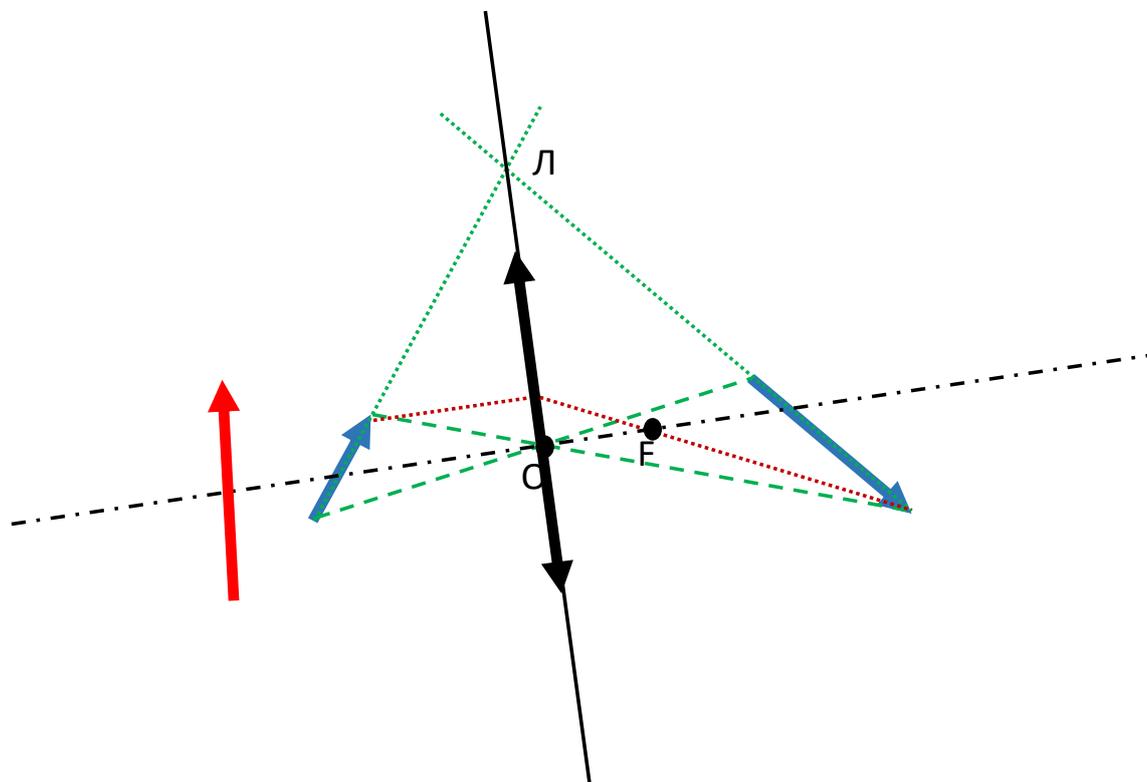
Оформите полученные построения и обоснования к ним и приложите файл для ответа.

### **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

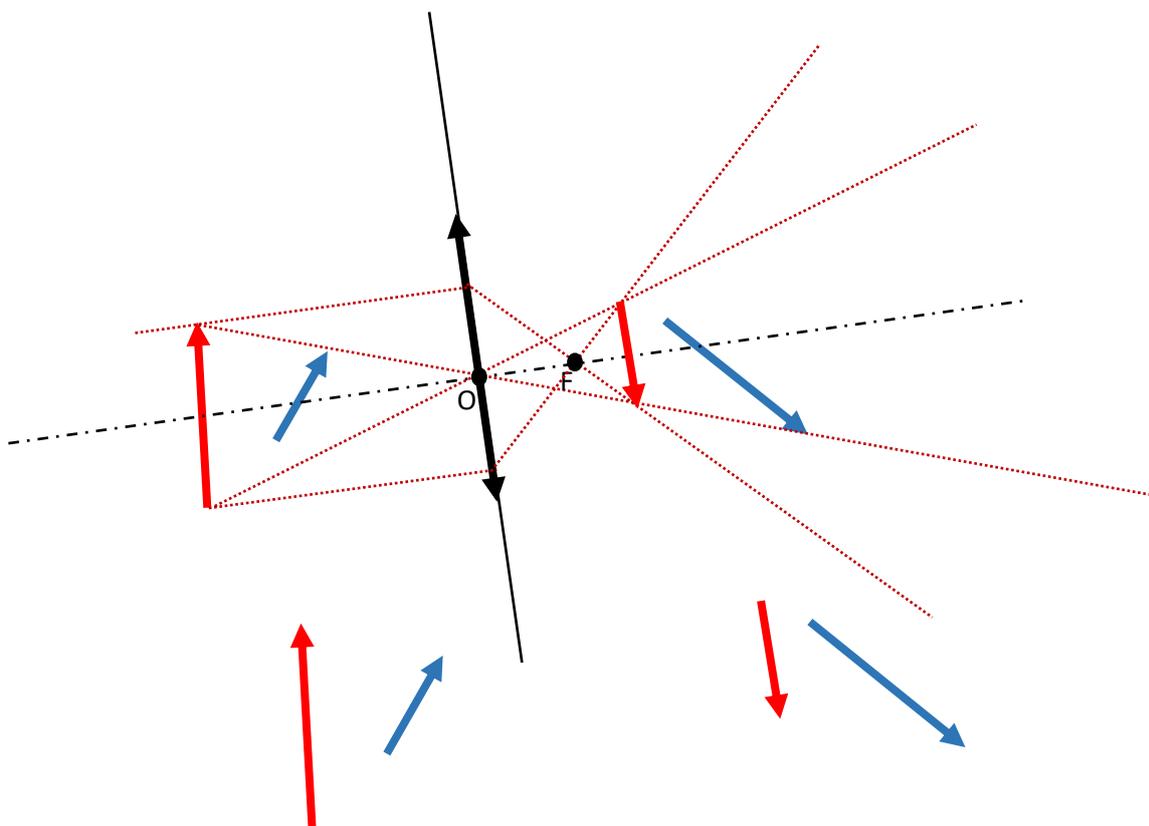
---

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  $p_1 = 20 \cdot 10^5$  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  $p_2 = 10^5$  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	Pr 140,907 Празеодим	Nd 144,24 Неодим	Pm [147] Прометий	Sm 150,35 Самарий	Eu 151,96 Европий	Gd 157,25 Гадолиний	Tb 158,924 Тербий	Dy 162,50 Диспрозий	Ho 164,930 Гольмий	Er 167,26 Эрбий	Tm 168,934 Тулий	Yb 173,04 Иттербий	Lu 174,97 Лютеций
Актиноиды**	90	Th [231] Торий	Pa [231] Протактиний	U 238,03 Уран	Np [237] Нептуний	Pu [244] Плутоний	Am [243] Америций	Cm [247] Кюрий	Bk [247] Берклий	Cf [252]* Калифорний	Es [254] Эйнштейний	Fm [257] Фермий	Md [257] Менделевий	No [259] Нобелий	Lr [260] Лоуренсий

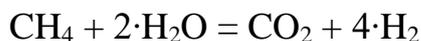
- Таблица Менделеева

#### 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.

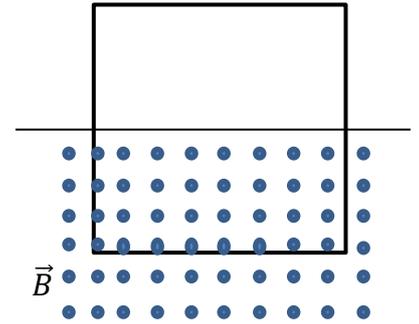
### **Критерии**

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 рамки 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**