

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.



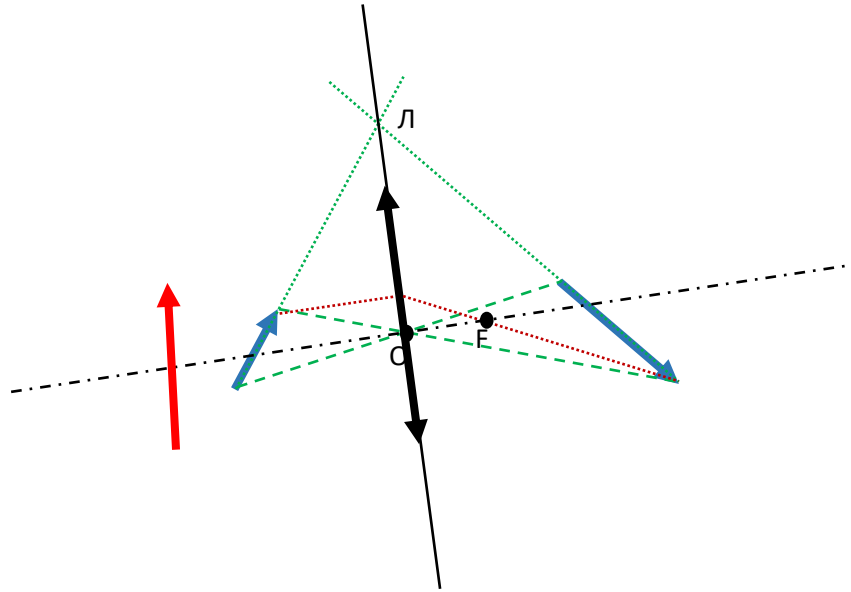
Требования к ответу:

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

Возможное решение:

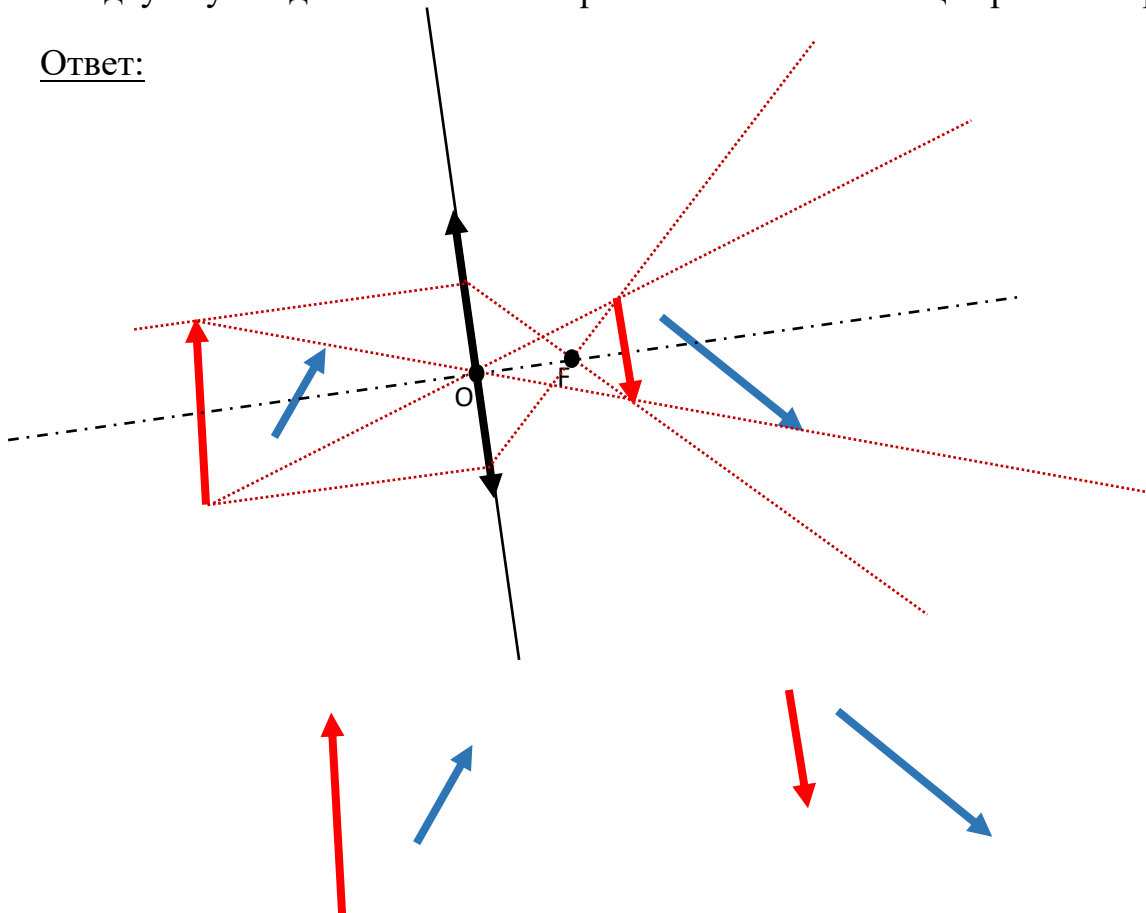
1. Известно, что луч, проходящий через оптический центр тонкой линзы проходит через нее без преломления. Значит, если мы соединим линиями начало стрелки 1 с началом ее изображения, а также конец стрелки 1 с концом ее изображения (зеленые штриховые линии), то точка пересечения этих линий и даст положение центра тонкой линзы (точка О).
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 Л).
3. Проведя линию, соединяющую точки О и Л, получим плоскость тонкой линзы.
4. Проведя линию, перпендикулярную линии ОЛ и проходящую через точку О (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	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 ¹ Водород		He ² Гелий		Обозначение элемента				Атомный номер	
II	2	Li ³ Литий	Be ⁴ Бериллий	B ⁵ Бор	C ⁶ Углерод	N ⁷ Азот	O ⁸ Кислород	F ⁹ Фтор	Ne ¹⁰ Неон		<div><div>Li³ Литий</div><div>6,939</div></div>						
III	3	Na ¹¹ Натрий	Mg ¹² Магний	Al ¹³ Алюминий	Si ¹⁴ Кремний	P ¹⁵ Фосфор	S ¹⁶ Сера	Cl ¹⁷ Хлор	Ar ¹⁸ Аргон		Относительная атомная масса						
IV	4	K ¹⁹ Калий	Ca ²⁰ Кальций	Sc ²¹ Скандий	Ti ²² Титан	V ²³ Ванадий	Cr ²⁴ Хром	Mn ²⁵ Марганец	Fe ²⁶ Железо		Co ²⁷ Кобальт	Ni ²⁸ Никель					
	5	Cu ²⁹ Медь	Zn ³⁰ Цинк	Ga ³¹ Галлий	Ge ³² Германий	As ³³ Мышьяк	Se ³⁴ Селен	Br ³⁵ Бром	Kr ³⁶ Криптон								
V	6	Rb ³⁷ Рубидий	Sr ³⁸ Стронций	Y ³⁹ Иттрий	Zr ⁴⁰ Цирконий	Nb ⁴¹ Ниобий	Mo ⁴² Молибден	Tc ⁴³ Технеций	Ru ⁴⁴ Рутений		Rh ⁴⁵ Родий	Pd ⁴⁶ Палладий					
	7	Ag ⁴⁷ Серебро	Cd ⁴⁸ Кадмий	In ⁴⁹ Индий	Sn ⁵⁰ Олово	Sb ⁵¹ Сурьма	Te ⁵² Теллур	I ⁵³ Иод	Xe ⁵⁴ Ксенон								
VI	8	Cs ⁵⁵ Цезий	Ba ⁵⁶ Барий	La* ⁵⁷ Лантан	Hf ⁷² Гафний	Ta ⁷³ Тантал	W ⁷⁴ Вольфрам	Re ⁷⁵ Рений	Os ⁷⁶ Осмий		Ir ⁷⁷ Иридий	Pt ⁷⁸ Платина					
	9	Au ⁷⁹ Золото	Hg ⁸⁰ Ртуть	Tl ⁸¹ Таллий	Pb ⁸² Свинец	Bi ⁸³ Висмут	Po ⁸⁴ Полоний	At ⁸⁵ Астат	Rn ⁸⁶ Радон								
VII	10	Fr ⁸⁷ Франций	Ra ⁸⁸ Радий	Ac** ⁸⁹ Актиний	Rf ¹⁰⁴ Резерфордий	Db ¹⁰⁵ Дубний	Sg ¹⁰⁶ Сиборгий	Bh ¹⁰⁷ Борий	Hs ¹⁰⁸ Хассий		Mt ¹⁰⁹ Мейтнерий	110					

Лант. болал.*	58	Ce	59	Pr	60	Nd	61	Pm	62	Sm	63	Eu	64	Gd	65	Tb	66	Dy	67	Ho	68	Er	69	Tm	70	Yb	71	Lu
	140,12	Церий	140,907	Празеодим	144,24	Неодим	[147]	Прометий	150,35	Самарий	151,96	Европий	157,25	Гадолиний	158,924	Тербий	162,50	Диспрозий	164,930	Гольмий	167,26	Эрбий	168,934	Тулий	173,04	Иттербий	174,97	Лютеций
Акти. болал.**	90	Th	91	Pa	92	U	93	Np	94	Pu	95	Am	96	Cm	97	Bk	98	Cf	99	Es	100	Fm	101	Md	102	No	103	Lr
	232,038	Торий	[231]	Протактиний	238,03	Уран	[237]	Нептуний	[244]	Плутоний	[247]	Америций	[252]	Кюрий	[254]	Берклий	[257]	Калифорний	[259]	Эйнштейний	[261]	Фермий	[265]	Менделевий	[271]	Нобелий	[277]	Лоренсий

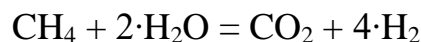
• Таблица Менделеева

Требования к ответу:

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

Возможное решение.

- 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 CO_2 и 80 моль водорода H_2 .

3. После охлаждения и осушения продуктов реакции в смеси остались только углекислый газ и водород. Объем 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.

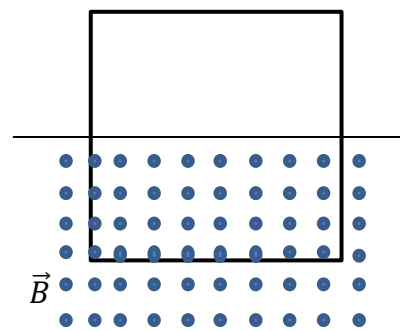
Критерии

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 ρ и электрическим сопротивлением единицы длины η , 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 μ . Считать, что за время выключения 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 μmg , 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