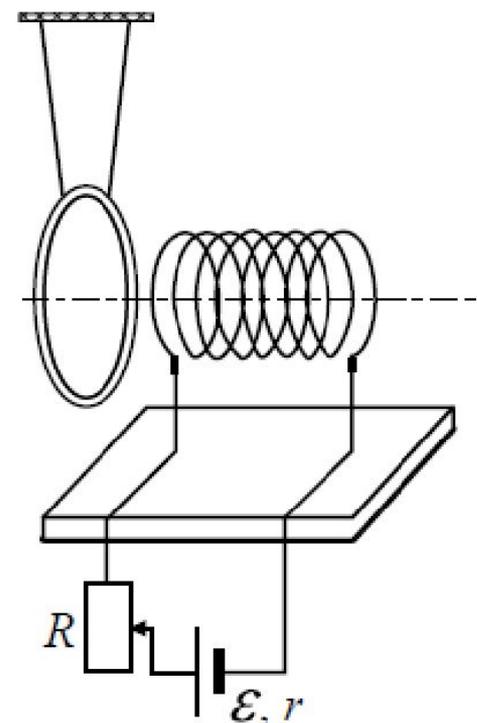


Решение задач II части ЕГЭ по физике

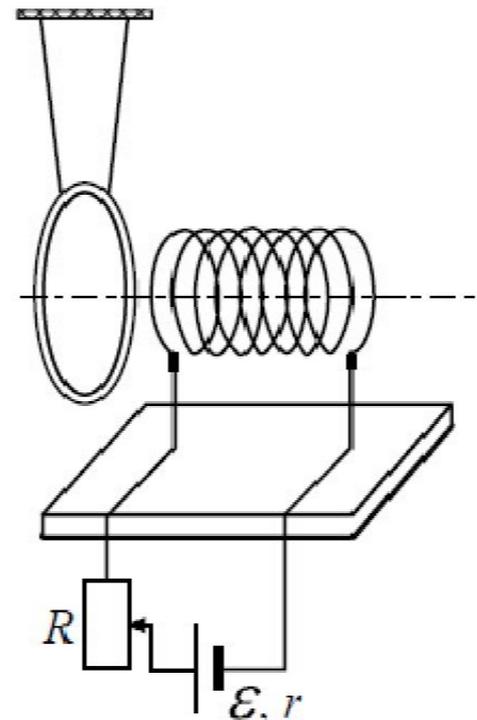
Многовитковая катушка медного провода подключена к источнику тока через реостат. Вблизи торца катушки на шёлковых нитях подвешено замкнутое медное кольцо с малым сопротивлением. Ось кольца совпадает с осью катушки (см. рисунок). Опишите, как начнёт двигаться кольцо (притянется, оттолкнётся или останется неподвижным относительно катушки), если движок реостата резко сдвинуть вверх в крайнее положение. Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности Вы использовали для объяснения.



- Для правильного ответа на поставленный вопрос потребуются знание **закона Ома для замкнутой цепи, явления электромагнитной индукции, правило Ленца.**
- Начинаем рассуждать:
- При перемещении движка реостата резко вверх, его сопротивление уменьшается до нуля, в соответствии с законом Ома для замкнутой цепи

$$I = \frac{E}{R+r}$$
- (E – ЭДС), сила тока в катушке при этом резко возрастет, увеличится и индукция магнитного поля, создаваемая катушкой.
- Следовательно, магнитный поток $\Phi = BS$, создаваемый катушкой, пронизывающий медное кольцо так же увеличится.
- В соответствии с правилом Ленца, в медном кольце возникнет такой индукционный ток, и соответственно, магнитное поле этого тока, препятствующее увеличению внешнего магнитного потока.
- Индукция магнитного поля кольца будет направлена противоположно магнитному полю катушки, поэтому кольцо будет отталкиваться от катушки и отклонится влево.

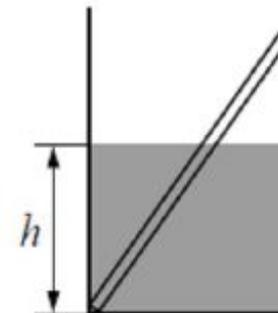
$$\mathcal{E} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$



- Замечания, которые не нужно озвучивать (могут встретиться в других вариациях этой задачи)
- 1. Результат не зависит от полярности подключения источника тока.
- 2. Нет необходимости искать, где у магнитного поля катушки северный полюс и где южный (для этого используют правило буравчика, но по этому рисунку сложно определить, т.к. не совсем понятно которые провода у катушки ближе к нам и которые дальше).
- 3. Если ток в катушке будет убывать, тогда кольцо будет притягиваться.
- Согласно правилу Ленца ***возникающий в замкнутом контуре индукционный ток своим магнитным полем противодействует тому изменению магнитного потока, которым он вызван. Более кратко это правило можно сформулировать следующим образом: индукционный ток направлен так, чтобы препятствовать причине, его вызывающей.***

29

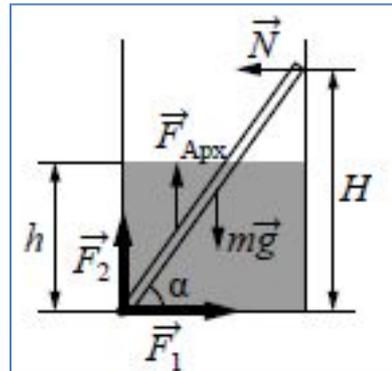
В гладкий высокий стакан радиусом 4 см поставили однородную тонкую палочку длиной 10 см и массой 0,9 г, после чего в стакан налили до высоты $h = 4$ см жидкость, плотность которой составляет 0,75 плотности материала палочки. Найдите силу F , с которой верхний конец палочки давит на стенку стакана. Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на палочку.



- Дано
- $R=4$ см
- $l=10$ см
- $m=0,9$ г
- $h=4$ см
- $\rho_{ж}=0,75\rho_{п}$
- $F=?$

- В гладкий высокий стакан **радиусом 4 см** поставили однородную тонкую палочку длиной **10 см** и **массой 0,9 г**, после чего в стакан налили до **высоты $h=4$ см** жидкость, **плотность** которой составляет **0,75** **плотности материала палочки**. **Найдите силу F** , с которой верхний конец палочки **давит на стенку** стакана. **Сделайте рисунок** с указанием сил, действующих на палочку.

• Дано	СИ
• $R=4$ см	0,04 м
• $l=10$ см	0,10 м
• $m=0,9$ г	0,0009 кг
• $h=4$ см	0,04 м
• $\rho_{ж}=0,75\rho_{п}$	
• $F=?$	



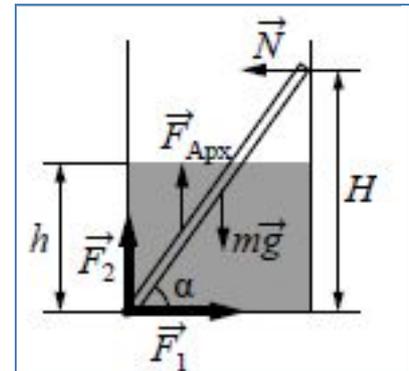
- Решение**
- Законы необходимые для решения: II закон Ньютона, Закон Архимеда, Правило моментов, III закон Ньютона

- Вначале найдем высоту конца палочки относительно дна стакана, используя теорему Пифагора:

$$H = \sqrt{l^2 - 4R^2} = \sqrt{0,1^2 - 4 \cdot 0,04^2} = 0,06 \text{ м,}$$

- здесь l – длина палочки, R – радиус стакана.
- Сила Архимеда

$$F_{\text{Арх}} = \rho_{\text{ж}} \cdot V_{\text{п.п.}} \cdot g = \rho_{\text{ж}} \cdot \left(\frac{h}{H} V_n \right) \cdot g = \frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_n} \cdot \frac{h}{H} \cdot m \cdot g$$



- где $V_{\text{п.п.}}$ – объем погруженной части палочки, V_n – объем всей палочки, ρ_n – плотность палочки, $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости.
- Т. к. палочка находится в покое, то сумма сил приложенных к ней равна нулю, но применение II закона Ньютона приведет к появлению в формулах неизвестных сил реакции F_1 и F_2 . Используем правило моментов. Если его записать относительно оси проходящей через нижний конец палочки перпендикулярно плоскости рисунка, то упомянутые силы в формулах исчезают, т.к. плечи этих сил оказываются равными нулю.

$$m \cdot g \cdot R - F_{\text{Арх}} \cdot \left(\frac{h}{2} \cdot \text{ctg} \alpha \right) - N \cdot H = 0,$$

- здесь $\rho = m/v$ $\text{ctg} \alpha = \frac{2 \cdot R}{H}$

- Отсюда находим

$$N = m \cdot g \cdot \frac{R}{H} - F_{\text{Арх}} \cdot \left(\frac{h}{2 \cdot H} \cdot \text{ctg} \alpha \right) = m \cdot g \cdot \frac{R}{H} \left(1 - \frac{\rho_{\text{жс}}}{\rho_n} \cdot \left(\frac{h}{H} \right)^2 \right) =$$

$$= 0,0009 \cdot 10 \cdot \frac{0,04}{0,06} \cdot \left(1 - 0,75 \cdot \frac{0,04^2}{0,06^2} \right) = 4 \cdot 10^{-3} \text{ Н.}$$

- Мы нашли силу реакции правой стенки стакана действующую на палочку. Нам же необходимо найти «**Найдите силу F**, с которой верхний конец палочки **давит на стенку** стакана». По III закону Ньютона эти силы равны по модулю и противоположны по направлению, поэтому сила с которой верхний конец палочки давит на стенку стакана:
- $\rho = m/v$
- $F = N = 4 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$
- Ответ: $F = 4 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$

- 30
- Со дна озера, имеющего глубину $H=20$ м, медленно поднимается пузырек воздуха. У дна озера пузырек имел объем $V_1=1$ мм³. Определите объем пузырька на расстоянии $h=1$ м от поверхности воды. Давление воздуха на уровне поверхности воды равно нормальному атмосферному давлению. Силы поверхностного натяжения не учитывать, температуры воды и воздуха в пузырьке считать постоянными.
- Для решения задачи необходимо знать закон Паскаля, принцип сложения давлений, законы идеального газа, в частности закон Бойля – Мариотта.
- Закон Паскаля: столб жидкости высотой H оказывает давление (независимо от направления) $p=\rho gH$;
- Закон Бойля – Мариотта: для постоянной массы газа и при постоянной температуре произведение давления газа на его объем есть величина постоянная $pV=\text{const}$.
- Замечание: объем в систему СИ переводить совсем в данной задаче не обязательно, т.к. из закона Бойля – Мариотта уже видно, что если подставить первоначальный объем в миллиметрах кубических, то и получаться кубические миллиметры, размерность давления сократится.

- Со дна озера, имеющего глубину $H=20$ м, медленно поднимается пузырек воздуха. У дна озера пузырек имел объем $V_1=1$ мм³. Определите объем пузырька на расстоянии $h=1$ м от поверхности воды. Давление воздуха на уровне поверхности воды равно нормальному атмосферному давлению. Силы поверхностного натяжения не учитывать, температуры воды и воздуха в пузырьке считать постоянными.

- Дано
- $H=20$ м
- $V_1=1$ мм³
- $h=1$ м
- $p_A=10^5$ Па
- $V_2=?$
- Решение

- Давление внутри пузырька воздуха на дне озера складывается из внешнего атмосферного и гидростатического давления столба воды H (по закону Паскаля) $p_1=p_A + \rho gH$.
- Аналогично и на глубине h : $p_2=p_A + \rho gh$.
- Здесь ρ - плотность воды, g – ускорение свободного падения.

- Считаем воздух идеальным газом, температура воздуха внутри пузырька постоянная, следовательно можем применить закон Бойля – Мариотта.

$p_1 V_1 = p_2 V_2$ или $(p_A + \rho g H) V_1 = (p_A + \rho g h) V_2$, отсюда

$$V_2 = \frac{p_A + \rho g H}{p_A + \rho g h} V_1$$

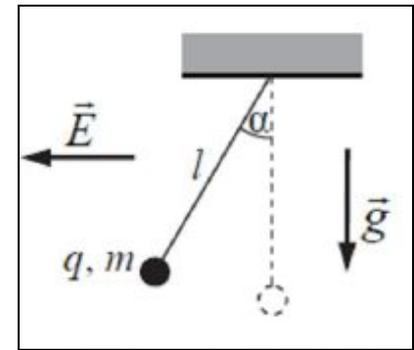
- Подставляем данные

$$V_2 = \frac{10^5 + 10^3 \cdot 10 \cdot 20}{10^5 + 10^3 \cdot 10 \cdot 1} \cdot 1 \approx 2,7 \text{ мм}^3$$

- Ответ: $V_2 = 2,7 \text{ мм}^3$

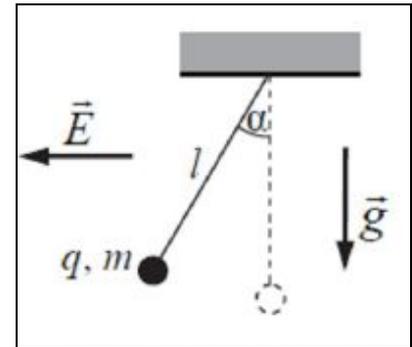
• 31

- Маленький шарик массой m с зарядом $q=5$ нКл, подвешенный к потолку на легкой шелковой нити длиной $l=0,8$ м, находится в горизонтальном однородном электростатическом поле с модулем напряженности $E=6 \cdot 10^5$ В/м (см. рисунок). Шарик отпускают с нулевой начальной скоростью из положения в котором нить вертикальна. В момент, когда нить образует с вертикалью угол $\alpha = 30^\circ$, модуль скорости шарика $v=0,9$ м/с. Чему равна масса шарика m ? Сопротивлением воздуха пренебречь.



- Какие разделы физики необходимо здесь рассмотреть?
- Механика: кинематика, динамика, механическая энергия (какой раздел применить?);
- Электростатика: закон Кулона, энергия электрического поля (что применить?)
- Шарик начнет совершать колебания около положения равновесия, где выполняется условие: $mgsin\beta = qEcos\beta$ (проекции силы тяжести и силы Кулона на касательную к траектории в положении равновесия должны быть равны). Движение шарика по окружности неравномерное, следовательно, исключаем из рассмотрения кинематику с динамикой и закон Кулона. Еще один аспект в пользу этого: Куда движется шарик в это время? Поднимается или опускается? Дан модуль скорости! **Применяем закон сохранения и превращения энергии.**

- Маленький шарик массой m с зарядом $q=5$ нКл, подвешенный к потолку на легкой шелковой нити длиной $l=0,8$ м, находится в горизонтальном однородном электростатическом поле с модулем напряженности $E=6 \cdot 10^5$ В/м (см. рисунок). Шарик отпускают с нулевой начальной скоростью из положения в котором нить вертикальна. В момент, когда нить образует с вертикалью угол $\alpha = 30^\circ$, модуль скорости шарика $v=0,9$ м/с. Чему равна масса шарика m ? Соппротивлением воздуха пренебречь.



- Дано СИ

- $q=5$ нКл $5 \cdot 10^{-9}$ Кл

- $l=0,8$ м

- $E=6 \cdot 10^5$ В/м

- $\alpha = 30^\circ$

- $v=0,9$ м/с

- $m=?$

- Решение

- При подъеме шарика на высоту $h=l(1-\cos\alpha)$ сила тяжести совершает отрицательную работу $A_{mg} = -mgh = -mgl(1-\cos\alpha)$

- Электрическое поле однородно, поэтому для определения работы поля можно воспользоваться формулой (она справедлива только для однородного поля) $A_{\text{э}} = qEb$, где $b = l \sin \alpha$ – расстояние которое проходит шарик по горизонтали.
- Суммарная работа этих полей приводит к увеличению кинетической энергии шарика, $\Delta E_{\text{кин}} = A_{\text{всех потенциальных сил}}$.
- Или $mv^2/2 - 0 = -mgl(1 - \cos \alpha) + qEl \sin \alpha$
- Отсюда находим массу шарика

$$m = \frac{2qEl \sin \alpha}{v^2 + 2gl(1 - \cos \alpha)} = \frac{2 \cdot 5 \cdot 10^{-9} \cdot 6 \cdot 10^5 \cdot 0,8 \cdot 0,5}{0,81 + 2 \cdot 10 \cdot 0,8 \left(1 - \frac{\sqrt{3}}{2}\right)} \approx 8,1 \cdot 10^{-4} \text{ кг}$$

- Ответ: $m \approx 8,1 \cdot 10^{-4} \text{ кг}$.

- 32
- Ядро покоящегося нейтрального атома, находясь в однородном магнитном поле с индукцией B , испытывает α -распад. При этом рождаются α -частица и тяжелый ион нового элемента. Масса α -частицы равна m , ее заряд равен $2|e|$, масса тяжелого иона равна M . Выделившаяся при распаде энергия ΔE целиком переходит в кинетическую энергию продуктов реакции. Трек α -частицы находится в плоскости, перпендикулярной направлению магнитного поля. Начальная часть трека напоминает дугу окружности. Найдите радиус этой окружности.
- Что имеем здесь?
- Понятно что α -распад относится к ядерной физике, но нас здесь не заставляют находить ни период полураспада, ни дефект массы.
- Речь идет об энергии ΔE значит один из законов: закон сохранения энергии.
- Была одна покоящаяся частица, стало две движущихся, логично применить закон сохранения импульса.
- α -частица имеет заряд и все действие происходит в перпендикулярном магнитном поле. На движущуюся в магнитном поле заряженную частицу может действовать сила Лоренца $F=qvB\sin\beta$, q – заряд частицы, v – ее скорость, B – индукция магнитного поля, β – угол между вектором скорости и вектором индукции. В нашем случае $\beta=90^\circ$.
- Движение по окружности, следовательно, с центростремительным ускорением $a=v^2/r$. Таким образом, используем второй закон Ньютона.

- Ядро покоящегося нейтрального атома, находясь в однородном магнитном поле с индукцией B , испытывает α -распад. При этом рождаются α -частица и тяжелый ион нового элемента. Масса α -частицы равна m , ее заряд равен $2|e|$, масса тяжелого иона равна M . Выделившаяся при распаде энергия ΔE целиком переходит в кинетическую энергию продуктов реакции. Трек α -частицы находится в плоскости, перпендикулярной направлению магнитного поля. Начальная часть трека напоминает дугу окружности. Найдите радиус этой окружности.

- Дано
- B
- m
- M
- ΔE
- r -?

- Решение

- Запишем законы сохранения энергии и импульса для частицы и иона. За положительное направление координатной оси выберем направление движения α -частицы сразу же после распада.

- $$\Delta E = \frac{mv^2}{2} + \frac{Mu^2}{2}, \quad 0 = mv - Mu$$

- где v – скорость α -частицы, u – скорость иона сразу после распада (эти вновь вводимые величины нужно объяснять, иначе -1 балл).
- По II закону Ньютона модуль силы Лоренца равен массе частицы на ускорение.

$$2|e|vB = \frac{mv^2}{r}$$

- Решаем систему трех уравнений, получаем $\Delta E = \frac{(2eBr)^2}{2m} \cdot \left(1 + \frac{m}{M}\right)$.

- Получаем отсюда $r = \frac{1}{eB} \cdot \sqrt{\frac{mM\Delta E}{2(m+M)}}$.

- Ответ: $r = \frac{1}{eB} \cdot \sqrt{\frac{mM\Delta E}{2(m+M)}}$.