0 911978 040007
91-19-78-04
(64.9)

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

Вариант 1

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Олимпиада школьников «Ломоносов»

по физике

Ефохина Даниила Алексеевича
фамилия, имя, отчество участника (в родительном падеже)

Вышел 15^{22} — 15^{28} ч

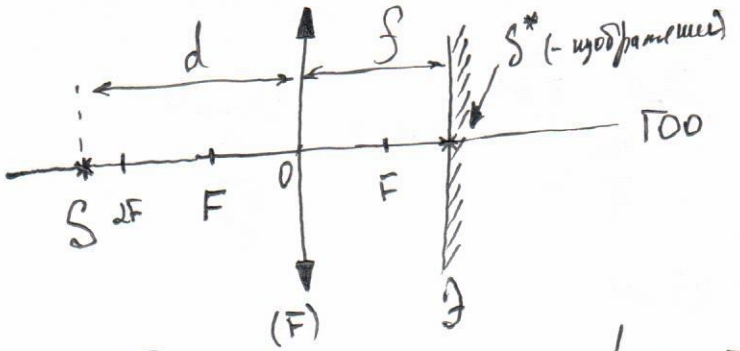
Дата
«21» февраля 2020 года

Подпись участника

91-19-78-04
(4.9)

№4.10.1 Чистовик

Дано
$F = 10$ см
$d = 25$ см
$h = 3$ см
$L = ?$



• Т.к. чёткое изображение получено на экране, то изображение - действительное, а значит линза (F) - собирающая

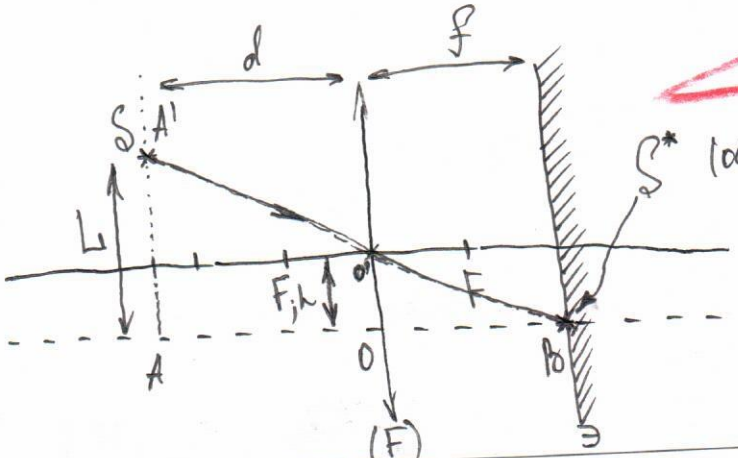
• Формула тонкой линзы:

$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$, где F - фокусное расстояние линзы
($\frac{1}{F}$ - оптическая сила линзы)
d - расстояние от линзы до предмета (источника)
f - расстояние от линзы до изображения

• $\frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{1}{d} = \frac{d-F}{dF} \Rightarrow f = \frac{dF}{d-F} = \frac{10\text{ см} \cdot 25\text{ см}}{(25-10)\text{ см}} = \frac{250}{15}\text{ см} = \frac{50}{3}\text{ см}$

• Заметим, что при перемещении линзы в направлении, перпендикулярном её оптической оси d - остается прежней $\Rightarrow$ f - не изменится

• Предмет, Главный опт. центр линзы и Изображение предмета лежат на одной прямой, т.к. луч, проходящий через ОЦЛ не преломляется



Подписывать лист-вкладыш запрещается! Писать на полях листа-вкладыша запрещается!

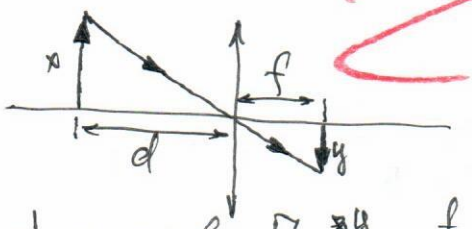
Из подобия $\triangle AA'B$ и $\triangle OO'B$ следует, что $\frac{L}{h} = \frac{d+f}{f}$ | Числовик

$$L = \frac{d+f}{f} h = \frac{25\text{см} + \frac{50}{3}\text{см}}{\frac{50}{3}\text{см}} \cdot 3\text{см} = \frac{\frac{75+50}{3}}{\frac{50}{3}} \cdot 3\text{см} = \frac{5}{2} \cdot 3\text{см} = 7{,}5\text{см}$$

Ответ: $L = 7{,}5$ см

Вопрос. Формула тонкой линзы с поясненим смысла входящих в неё величин приведена в решении. смысл F - ? (-25)

Заметим, что в формуле $\pm\frac{1}{F} = \pm\frac{1}{d} \pm \frac{1}{f}$ учитывается, положительная $(+\frac{1}{F})$ или отрицательная $(\frac{-1}{F})$ линза представлена нам, действительный $(+\frac{1}{d})$ или мнимый $(-\frac{1}{d})$ предмет нам дан, а также каким является изображение - действительным $(+\frac{1}{f})$ или мнимым $(-\frac{1}{f})$.



Поперечное увеличение (Γ), даваемое линзой определяет отношение размеров изображения к размерам предмета $\Gamma = \frac{y}{x}$, заметим, что из подобия треугольников $\Gamma = \frac{|y|}{x} = \frac{f}{d}$

В нашей задаче $\Gamma = \frac{f}{d} = \frac{\frac{50}{3}\text{см}}{25\text{см}} = \frac{2}{3} < 1$, т.к. $d > 2F$

Ответ: $L = 7{,}5$ см; $\Gamma = \frac{2}{3}$

Подписывать лист-вкладыш запрещается! Писать на полях листа-вкладыша запрещается!

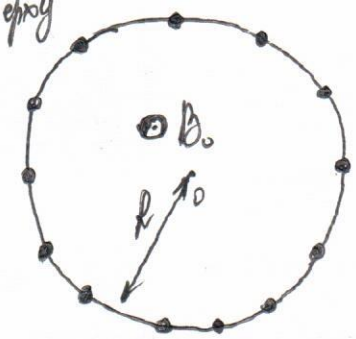
91-19-78-04
(64.9)

№ 37.1

Часовик

Дано
$N = 100$
$m = 10\ мг$
$q = 10^{-7}\ Кл$
$B_0 = 1000\ Тл$

Вид сверху



$N = 100$ равноудаленных друг от друга маленьких зарядов q.

$R_{min} = ?$, при котором кольцо в дальнейшем будет оставаться неподвижным

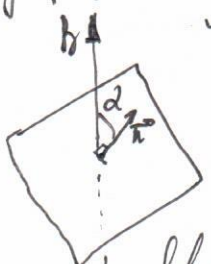
• При выключении магнитного поля (далее МП.) $B_\perp$ падает от B_0 до 0 $\Rightarrow$ Φ падает от $B_0 \cdot S \cdot \cos 0°$ до 0

$S = \pi R^2 \Rightarrow$ Φ падает от $\pi R^2 B_0$ до 0

на заряженные частицы начинает действовать сила со стороны вихревого эл. поля, разгоняющего частицы до скорости v

• Заметим, что расстояние между двумя ближайшими зарядами (по дуге) $L_0 = \frac{2\pi R}{N} \Rightarrow$ при прохождении расстояния $L_0 = \frac{2\pi R}{N}$ кольцо примет первоначальное положение (причём время между двумя одинаковыми положениями $t = \frac{2\pi R}{Nv}$ – будет минимальным) $\Rightarrow$ кинокамере нужно делать максимум 1 кадр за время $t = \frac{2\pi R}{Nv} \Rightarrow n = \frac{1}{t} = \frac{Nv}{2\pi R}$

Вопрос. Магнитный поток – физическая величина (векторная), определяемая, как произведение индукции $B_\perp$ на площадь S, через которую проходит линии магнитной индукции на косинус угла между вектором магн. инд. $\vec{B}_\perp$ и нормалью $\vec{n}$ к этой площади.



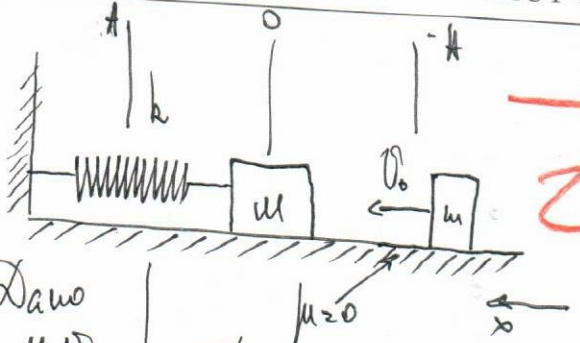
$\Phi = B_\perp \cdot S \cdot \cos\alpha$

1 Явление электромагнитной индукции состоит в возникновении сопутствующего изменению магнитного потока собственного магнитного поля

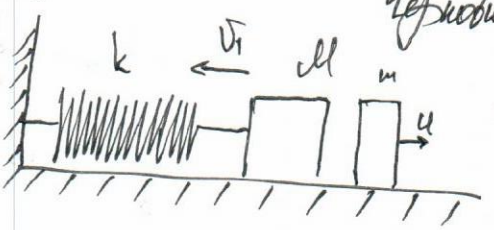
См. Продолжение (стр. 8)

Подписывать лист-вкладыш запрещается! Писать на полях листа-вкладыша запрещается!

№ 11.1.



Черновик



Дано
k, M, V_0, m
$t_1 = \frac{T}{12}$
$n = M/m$

• Т.к. по горизонтали для системы M+m в момент соударения не действуют внешние силы, то для них можно записать ЗСИ (з-н сохр. импульса) и ЗСЭ (з-н. сохр. энергии). удар абс. упругий

ЗСИ:

x: $mV_0 = MV_1 - mU$

$M = nm \Rightarrow mV_0 = nmV_1 - mU \Rightarrow (V_0 + U) = nV_1$

• ЗСЭ: $\frac{mV_0^2}{2} = \frac{nmV_1^2}{2} + \frac{mU^2}{2} \Rightarrow V_0^2 = nV_1^2 + U^2 \Rightarrow V_0 - U^2 = nV_1^2$

$(V_0 + U)(V_0 - U) = nV_1^2 \Rightarrow nV_1 \cdot (V_0 - U) = nV_1 \cdot V_1 \Rightarrow V_1 = V_0 - U$

$2V_0 - (V_0 - U) = nV_1 \Rightarrow 2V_0 - V_1 = nV_1 \Rightarrow V_1 = \frac{2}{n+1} V_0$

• $T = \frac{2\pi}{\omega}$, где $\omega = \sqrt{\frac{k}{M}}$ $\quad k = H/м = \frac{кг \cdot м/с^2}{м} = кг/с^2$

$T = 2\pi\sqrt{\frac{nm}{k}} \Rightarrow \omega = \frac{2\pi}{T}$

$x = A\sin\omega t + B\cos\omega t$

$0 = 0 + B \Rightarrow B = 0$

$V = +A\omega\cos\omega t$

$V_{max} = A\omega \cdot 1$

$x'' + \omega^2 x = 0$

$x' = \omega x$

$\rho = \frac{\frac{8}{M} RT}{\frac{8}{M} \mu} \Rightarrow \boxed{\frac{P\mu}{RT}}$

за $\frac{T}{4}$ $\quad \frac{mV^2}{2} = \frac{kx^2}{2} \Rightarrow x = V_0\sqrt{\frac{m}{k}} \Rightarrow V = x\sqrt{\frac{k}{m}} = \omega x$

$x = A\sin\omega t = A\sin\frac{2\pi}{T} \cdot \frac{T}{12} = A\sin\frac{\pi}{6} = A\sin\frac{\pi}{6} = \frac{1}{2}A$

Черновик

Подписывать лист-вкладыш запрещается! Писать на полях листа-вкладыша запрещается!

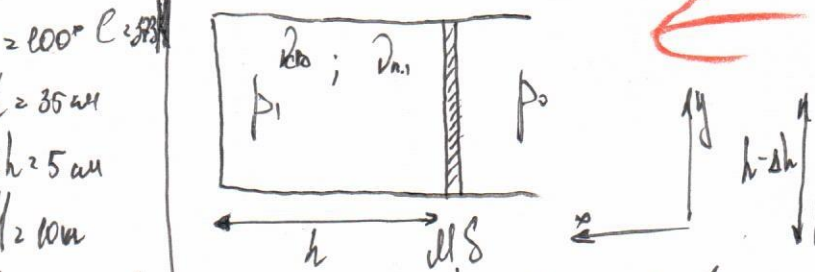
91-19-78-04
(64.9)

№24.1 Чистовик

Дано

$t = 100°C = 373$ K
$h = 35$ см
$\Delta h = 5$ см
$M = 10$ кг
$S = 100$ см^2
$p_0 = 10^5$ Па
$\mu = 18$ г/моль
$g = 10$ м/с^2
$R = 8{,}3$ Дж/моль·К

$\Delta m = ?$



• Заметим, что влажный воздух - смесь сухого воздуха и водяного пара (СВ и ВП)

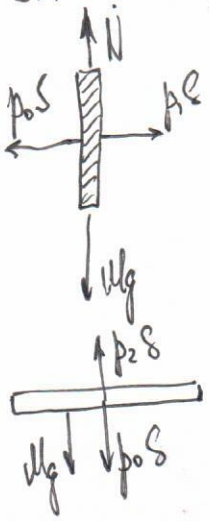
• По з-ну Дальтона: $p_1 = p_{св.1} + p_{п.1}$

• Рассмотрим II з-н Ньютона (далее 2ЗН) для поршня вначале:

x: $p_0 S - p_1 S = 0 \Rightarrow p_0 = p_1$

2ЗН для поршня в конце: y: $p_2 S - Mg - p_0 S = 0$

$p_2 = \frac{Mg}{S} + p_0$



• По з-ну Дальтона $p_2 = p_{св.2} + p_{п.2}$

• Т.к. конденсируется вода, то $p_{п.2} = p_0 \Rightarrow$

$\Rightarrow p_{св.2} = p_2 - p_0 = \frac{Mg}{S} = \frac{10\text{ кг} \cdot 10\text{ Н/кг}}{100 \cdot 10^{-4}\text{ м}^2} = 10^4\text{ Па} = \frac{1}{10} p_0$

• По з-ну Менделеева-Клапейрона для СВ:

$$\left.\begin{aligned} p_{св.2} \cdot V_2 &= \nu_{св} \cdot RT \\ p_{св.1} \cdot V_1 &= \nu_{св} RT \end{aligned}\right\} \quad p_{св.2} \cdot V_2 = p_{св.1} \cdot V_1$$

• Пусть $S\Delta h = V_0 \Rightarrow V_1 = \frac{h S}{\Delta h S} V_0 = 7V_0$; $V_2 = \frac{(h - \Delta h) S}{\Delta h S} V_0 = 6V_0$, тогда:

$p_{св.2} \cdot 6V_0 = p_{св.1} \cdot 7V_0 \Rightarrow p_{св.1} = \frac{6}{7} p_{св.2} = \frac{6}{7} \frac{Mg}{S} = \frac{6}{70} p_0 \Rightarrow$

$\Rightarrow p_{п.1} = p_0 - p_{св.1} = p_0 - \frac{6}{70} p_0 = \frac{64}{70} p_0$

• Запишем 2 з-ка М-Кл для пара

Подписывать лист-вкладыш запрещается! Писать на полях листа-вкладыша запрещается!

Чистовик

$p_{п.1} \cdot 7V_0 = p_{п.1} RT$

$p_{п.2} \cdot 6V_0 = (p_{п.1} - \Delta p) RT$

$7p_{п.1}V_0 - 6p_{п.2}V_0 = \Delta pRT$

$7 \cdot \frac{64}{70} p_0 V_0 - 6p_0 V_0 = \Delta pRT$

$\Delta pRT = (6{,}4 - 6) p_0 V_0 = 0{,}4 p_0 V_0$

$\Delta p = \frac{0{,}4 p_0 V_0}{RT} \Rightarrow \Delta m = \mu \Delta p = \frac{0{,}4 \mu p_0 S \Delta h}{RT}$

Нет решения в общем виде 13

$\Delta m = \frac{4 \cdot 18 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль} \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}}{10 \cdot 8{,}3 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 373 \text{ К}} = \frac{4 \cdot 18 \cdot 5}{8{,}3 \cdot 373} \approx \frac{360}{3100} \approx 0{,}116 \text{ г}$

$\times \frac{373}{8{,}3}$

1119

2984

3095,9

36 | 31

31 | 0,1161...

50

31

190

186

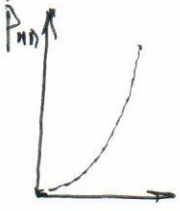
4

Ответ: $\Delta m \approx 0{,}116$ г

Вопрос.

Насыщенный пар – пар, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью (когда скорость конденсации равна скорости испарения

Давление насыщ. пара увеличивается при увеличении температуры (Давление растёт быстрее, чем температура) $\Rightarrow \rho_{н.п}$ тоже растёт при увеличении T, т.к. $\rho_{н.п.} = \frac{p_{н.п.}(T)\mu}{RT}$, то $\frac{p_{нп}(T_1)}{T_1} > \frac{p_{нп}(T_2)}{T_2}$ при $T_1 > T_2$ 10



Заметим, что, если перевернуть цилиндр открытым концом вниз давление уменьшится, а пар не сконденсируется.

Подписывать лист-вкладыш запрещается! Писать на полях листа-вкладыша запрещается!

№1.1.1

Дано

k, m

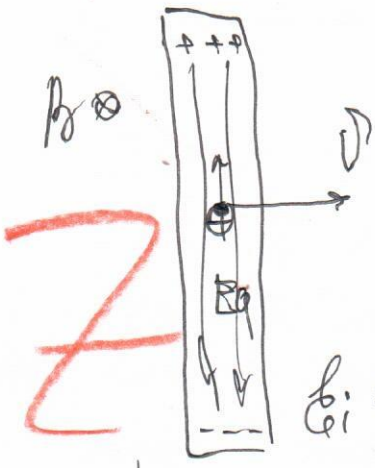
$\mathcal{E}_i = Bq$

Чернобык

$F = qVB = Eq$

$E = BV \Rightarrow \mathcal{E}_i = \frac{BV}{e}$

$\alpha = 20°$



$\Phi = B \cdot S$

$\mathcal{E}_i = \left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right| \Rightarrow E = \frac{\Delta\Phi}{2\pi R \cdot \Delta t} = \frac{\Delta B \pi R^2}{2\pi R \cdot \Delta t}$

$\mathcal{E}_i = BVl$ $E = \frac{\Delta B}{\Delta t} \cdot \frac{R}{2}$

$\vec{F} = Eq \Rightarrow \vec{a} = \frac{Eq}{m} = \frac{\Delta \vec{V}}{\Delta t}$

$\Delta B \cdot \frac{Rq}{2m} = \Delta V$ $\frac{B_0 Rq}{2m} = V$ $\lambda = \frac{NB_0 Rq}{2m \cdot 2\pi R} = \frac{NB_0 q}{4\pi m}$

Чернобык

Подписывать лист-вкладыш запрещается! Писать на полях листа-вкладыша запрещается!

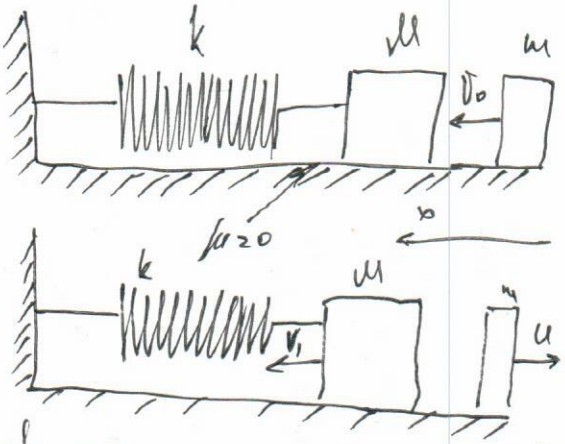
Дано

k, V_0, m

$t = \frac{T}{12} + T$

$n = M/m^2$?

№ 1.1.1



Листовик

$M = m \cdot n$

• Т.к. по горизонтали для системы $M+m$ в момент соударения внешние силы (работа) равна нулю, то можно записать ЗСИ и ЗСЭ (з-ны сохранения импульса и энергии)

• ЗСИ: x: $mV_0 = nmV_1 - mU$

$m(V_0 + U) = nmV_1 \Rightarrow nV_1 = V_0 + U$

• ЗСЭ: $\frac{mV_0^2}{2} = \frac{nmV_1^2}{2} + \frac{mU^2}{2}$

$V_0^2 - U^2 = nV_1^2 \Rightarrow (V_0 - U)(V_0 + U) = nV_1^2$

$(V_0 - U) \cdot nV_1 = nV_1 \cdot V_1$

$2V_0 - (V_0 - U) = nV_1 \quad (2) \quad 2V_0 = (n+1)V_1 \Rightarrow V_1 = \frac{2}{n+1} V_0$

$U = nV_1 - V_0 = \left(\frac{2n}{n+1} - 1\right) V_0 = \frac{n-1}{n+1} V_0$

• Примем момент удара – $t = 0$; $x = x_0 = 0$; $V_1 = V_{max}$; ЗСЭ:

$\frac{mV_{max}^2}{2} = \frac{kA^2}{2}$ (из положения равновесия в крайние точки)

$A = V_{max}\sqrt{\frac{m}{k}} \Rightarrow V_{max} = A\sqrt{\frac{k}{m}} = A\omega$ (гармонически; для колебаний на пружине $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$)

• Т.к. брусок "M" совершает гармонические колебания, то для него можно записать дифф. уравнение гарм. колебаний

$x = A\sin\omega t + B\cos\omega t$, A, x_0

$x_0 = 0$

Подписывать лист-вкладыш запрещается! Писать на полях листа-вкладыша запрещается!

Условие

$x_0 = A\sin\omega t + B\cos\omega t$

* для $t=0$; $\sin\omega t=0$; $\cos\omega t=1$

$0 = A\cdot 0 + B\cdot 1 \Rightarrow B=0 \Rightarrow x_0 = A\sin\omega t$

$x' = V_{max} = A\omega\cdot 1 \Rightarrow A$ – амплитуда ; $\omega = \frac{2\pi}{T}$, т.к. $T = \frac{2\pi}{\omega}$

для $t=0$; для $t = \frac{7T}{12}$

$x_2 = A\sin\frac{2\pi}{T}\cdot\frac{7T}{12} = \sin\frac{7\pi}{6} = -A\sin\frac{\pi}{6} = -\frac{A}{2}$ ⇒ второй кусок

пройден $|x_2| = \frac{A}{2} = \frac{V_1\cdot\sqrt{\frac{m}{k}}}{2}$ ⇒ $U = \frac{|x_2|}{t} = \frac{V_1\cdot\sqrt{\frac{m}{k}}}{2\cdot\frac{7}{12}T} = \frac{6V_1\sqrt{\frac{m}{k}}}{7T}$

$\frac{n-1}{n+1}V_0 = \frac{6V_1\sqrt{\frac{m}{k}}}{7T} = \frac{6\cdot\frac{2}{n+1}V_0\sqrt{\frac{m}{k}}}{7T}$

$\frac{(n-1)V_0}{n+1} = \frac{12V_0\cdot\sqrt{\frac{m}{k}}}{7T(n+1)}$

$n-1 = \frac{12}{7}\cdot\frac{\sqrt{\frac{m}{k}}}{T}$ ⇒ $n = \frac{12\sqrt{\frac{m}{k}}}{7T} + 1$

$n = \frac{12\sqrt{m}}{7T\sqrt{k}} + 1$; $\sqrt{\frac{m}{k}} = \frac{1}{\omega}$; $T = 2\pi/\omega$

$2\pi = T\omega \Rightarrow \frac{1}{2\pi} = \frac{1}{T\omega} = \frac{\sqrt{m}}{T\sqrt{k}} \Rightarrow n = \frac{12}{7\cdot 2\pi} + 1 = \frac{6}{7\pi} + 1$

Ответ: $n = \frac{6}{7\pi} + 1$

Вопросы.

Импульс материальной точки – векторная физическая величина, равная произведению скорости на массу материальной точки. $\vec{p} = m\vec{v}$ (по модулю)

Импульс системы материальных точек – сумма импульсов всех материальных точек.

Закон сохранения импульса. При отсутствии сил Сам работа равнодействующих, действующих на систему в данный момент равна нулю, то суммарный импульс системы сохраняется.

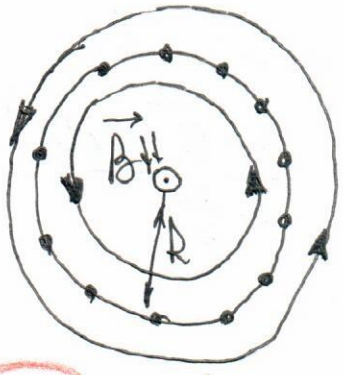
Подписывать лист-вкладыш запрещается! Писать на полях листа-вкладыша запрещается!

№ 3.2.1. Продолжение Частовик

• Уменьшающееся магнитное поле (переменное) создаст вихревое электрическое поле, направление по правилу буравчика

$$E = \left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right| \cdot \frac{1}{2\pi R} = \frac{|\Delta B| \cdot \pi R^2}{2\pi R \cdot \Delta t} =$$

$$= \frac{|\Delta B|}{\Delta t} \cdot \frac{R}{2}$$



(т.к. можно поместить вместо кольца провод-кольцо с таким же радиусом (неважно) и для него рассчитать E)

Вихревое электрическое поле

$$F = Eq = \frac{\Delta B}{\Delta t} \cdot \frac{Rq}{2} \qquad F = ma = m\frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$\frac{|\Delta B|}{\Delta t} \cdot \frac{Rq}{2} = m\frac{\Delta V}{\Delta t} \quad | \cdot \Delta t$$

$$|\Delta B| \cdot \frac{Rq}{2} = m\Delta V \quad (*) \Rightarrow$$ Просуммируем соотношение

(*) за время включения $\vec{B}$

$$\sum |\Delta B| \cdot \frac{Rq}{2} = \sum m\Delta V \leftarrow |\Delta B| = -\Delta B$$, т.к. B - уменьшается

$$\frac{Rq}{2} \cdot B_0 = mV \Rightarrow V = \frac{B_0 qR}{2m}$$

$$\nu = \frac{N}{2\pi R} = \frac{NB_0 qR}{2\pi R \cdot 2m} = \frac{NB_0 q}{4\pi m}$$ (см. выше на стр. 5)

+ 1 б

$$\nu \approx \frac{100 \cdot 100\sqrt{2} \cdot 10^{-4}\ \text{Кл}}{10 \cdot 10^{-6}\ \text{кг} \cdot 4 \cdot 3{,}14} = \frac{100}{12{,}56}\,c^{-1} \simeq \frac{100}{12{,}5}\,c^{-1} = 8\,(c^{-1})$$

Ответ: $\nu = 8\,c^{-1}$

Подписывать лист-вкладыш запрещается! Писать на полях листа-вкладыша запрещается!