

Всероссийская олимпиада школьников по физике
Заключительный этап

11-Е1 -031

Катушка.

Название задачи (см. условие)

заполнить печатными буквами!!!

Булыгин

Фамилия

Игорь

Имя

Игоревич

Отчество

+7 (931) 365-99-35

Номер вашего мобильного телефона

1. Пишите только с одной стороны листа.
2. Не мните, не сгибайте, не рвите листы.
3. Нумеруйте листы (например, «лист 5 из 8»).

Это лист № 0

Томск, 2019

Задача 11-1
 Протокол проверки

Шифр работы: 11-Е1- 031

№	Критерий	Максимум	Балл
1.1	Закреплен стержень с шариком	1	1
1.2	Механическая фиксация ящика	1	1
1.3	3 или более точек на растущей части	0,5	0
1.4	5 или более точек около максимума ($> 0,8 F_{\max}$)	0,5	0
1.5	7 или более точек на убывающей части (частичный балл за 5-6)	1	1
1.6	График: подписаны величины и единицы измерения на осях	0,5	0,5
1.7	График: разметка осей	0,5	0,5
1.8	График: масштаб	0,5	0,5
1.9	График: кресты погрешностей	0,5	0,5
2.1	Идея нахождения V_0	1	1
2.2	Формула для нахождения V_0 из графика	0,5	0,5
2.3	Ответ для V_0 в диапазоне 5...7 мГл	1	0
3	Верная формула для V	2	0
4.1	Формула для R	1	0
4.2	Ответ для R в диапазоне 25...40 мм	0,5	0,5
5.1	Формула для d	0,5	0
5.2	Ответ для d в диапазоне 0,25...0,40 мм	0,5	0
5.3	Формула для N	0,5	0
5.4	Ответ для N в диапазоне 900...1500	0,5	0
6.1	Анализ погрешности V_0	0,25	0,25
6.2	Анализ погрешности R	0,25	0,25
6.3	Анализ погрешности d	0,25	0,25
6.4	Анализ погрешности N	0,25	0,25

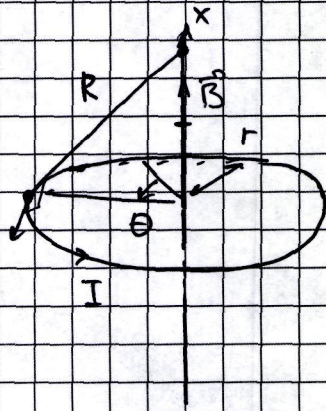
Сумма 7,5

Проверил М. Овчин

Лист 1/5 Измер zero-элема → [49]

Чтобы не думать над установкой, выведи сначала теорию.

3



Если мы выели поле на оси x, то очевидно для любого элемента контура dl и $(x \in Ox) \sin \alpha = 1$

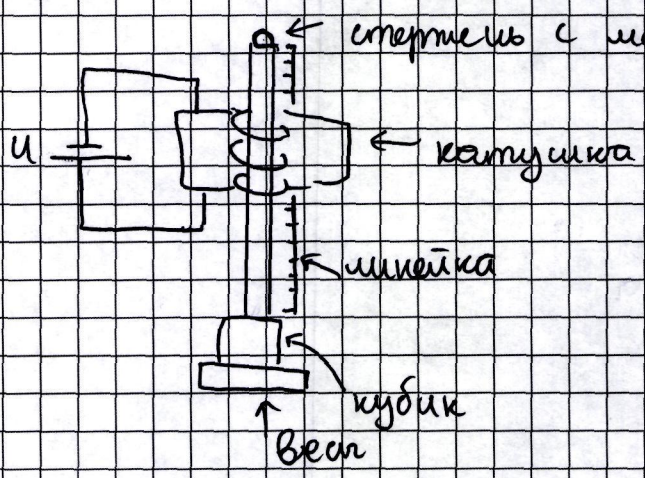
$$B(x) = \int dB = \int_0^{2\pi} \frac{\mu_0 I dl}{r^2 + x^2} \quad | \quad dl = r d\theta \quad \ominus$$

$$R^2 = r^2 + x^2 \quad \ominus \quad \boxed{\frac{2\pi \mu_0 I r}{r^2 + x^2}} \quad \text{изверно}$$

1) Метод:

На магнит действуют сила тяжести и сила отталкивания в поле катушки (в направлении большей густоты линий, по градиенту ∇B). Можно измерить разность этих сил с помощью весов. Поставим на вес деревянный кубик и облучим их. Так масса будет измеряться более точно. масса zero-элема $m_A = 294.73 \text{ г}$, тогда ← измерен весами. масса медной оболочки $m_0 = 0.70 \cdot m_A = 206 \text{ г}$.

Рисунок установки:



Масса палки или штыка. Поставим её на весы, облучим кату и будем измерять высоту маг катуш магнита относительно закреплённой катушки. как?

Лист 2/5

Буду измерять показания весов и расстояние от дорны в термине эулихе

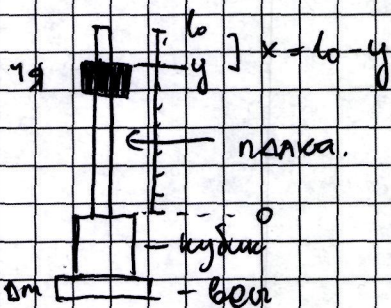
$$\Delta m \cdot g = \rho_m \frac{dB}{dx} \Rightarrow \frac{dB}{dx}(x) = \frac{g}{\rho_m} \Delta m(x)$$

$x, \text{см}$	$\Delta m, \text{г}$	$\frac{dB}{dx}, \text{Th/м} \cdot 10^{-2}$	Здесь x берется от дорны Δm по логично, т.к. $\Delta m \propto x$, значит выталкивается из катушки.	
2.30	0.29		неправильно закрепил	
2.00	0.30			
1.80	0.31			
1.70	0.40			
2.30				
2.20				
2.10				
2.00				
1.90	0.40	3.9		При $x \rightarrow \infty$ очевидно $\Delta m \rightarrow 0$.
1.70	0.44	4.3		
1.50	0.47	4.6		
1.30	0.52	5.1		
1.10	0.60	5.9		
0.90	0.66	6.5		
0.70	0.70	6.9		
0.50	0.78	7.6		
0.30	0.86	8.4		
0.10	0.92	9.0		
0.20	0.89	8.7	каждое из этих измерений - среднее из 3-х показаний весов, поэтому это все всегда точно	

Длина нити: $l_0 = (23.20 \pm 0.05) \text{ см}$; $g = 9.8 \text{ м/с}^2$

Высота эулихи: $h = (3.90 \pm 0.05) \text{ см}$

$x = -y + l_0$ y - показания линейки.



$$\begin{aligned} \delta(\Delta m) &= 0.01 \text{ г} \\ \delta(g) &= 0.01 \\ \Delta(\Delta m) &= 0.01 \text{ г} \\ \Delta(g) &= 0.05 \text{ м/с}^2 \\ \Delta(\rho_m) &= 0.01 \text{ А.м}^2 \end{aligned}$$

Виде измеренное это! Δ в $\frac{dB}{dx}$ ~~каждое измерение~~ после лиса 5!

Построим график $\frac{dB}{dx}(x)$

$$\Delta \left(\frac{dB}{dx} \right) = \frac{dB}{dx} \cdot \left(\left(\frac{\Delta g}{g} \right)^2 + \left(\frac{\Delta \rho_m}{\rho_m} \right)^2 + \left(\frac{\Delta(\Delta m)}{\Delta m} \right)^2 \right)^{1/2}$$

Лист 3/5

② После построения полей, что зависимость $\frac{dB}{dx}(x)$ можно считать примерно линейной, поэтому можно считать B_0 как $\int \frac{dB}{dx} dx$ или просто площадь под графиком $\frac{dB}{dx}$. от центра катушки до центра характерного

Продолжим анализировать $\frac{dB}{dx} = k(x - x_0) + \left(\frac{dB}{dx}\right)_0$ где x_0 - середина первого участка до края $\frac{dB}{dx}(x_1) = 0$

$x_1 = \frac{(\frac{dB}{dx})_0}{k}$ на интервал

$x_0 = \frac{h}{2} = (1.95 \pm 0.03) \text{ см.}$

МНК:

$$k = \frac{\sum \left(\frac{dB}{dx}\right)_i x_i - \frac{1}{n} \sum \left(\frac{dB}{dx}\right)_i \sum x_i}{\sum x_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum x_i\right)^2} = n = 11 \text{ - кол-во измерений.}$$

③ $-2.93 \left(\frac{I_A}{m} \cdot 10^{-2} / \text{см} \right) = -2.93 \frac{I_A}{\text{м}^2}$

$\left(\frac{dB}{dx}\right)_0 - kx_0 = 9.16 \frac{I_A}{m} = \left(\frac{dB}{dx}\right)_1 \Rightarrow -\frac{(\frac{dB}{dx})_0}{k} \approx +3.13 \text{ см}$

место, с которого можно отсчитать $\frac{dB}{dx}(x)$.

\Rightarrow считая площадь под графиком.

$$B_0 \approx \int_{-x_0}^{+(\frac{dB}{dx})_0/k} \left(\frac{dB}{dx}\right) dx = \left[\frac{kx^2}{2} + \left(\frac{dB}{dx}\right)_1 x \right]_{-x_0}^{+(\frac{dB}{dx})_0/k} = \frac{k}{2} \left(x_1^2 - x_2^2 \right) + \left(\frac{dB}{dx}\right)_1 (x_1 + x_0) =$$

$$= 0.47 I_A \cdot 10^{-3} - 3.78 \cdot 10^3 I_A \approx 3.8 \text{ мТл}$$

ΔB_0 оценили как $0.3 B_0$, потому что мы не знаем точное положение центра катушки.

Лист 4/5

Тогда будем (2):

$$B_0 = (3.8 \pm 1.1) \text{ мТл.}$$

(4) Возьмем формулу из (3) и поиграем с ней.

$$B(x) = \frac{2\pi k I r}{r^2 + x^2}$$

$$\frac{dB}{dx}(x) = 2\pi k I r \cdot \frac{x}{(r^2 + x^2)^{3/2}} \approx -2\pi k I r \frac{x}{r^3} \quad \text{т.к. } x \ll r$$

получим

$$\frac{dB}{dx} = -\frac{2\pi k I}{r^3} x$$

коэф. наклона
 \downarrow
 $\frac{dB}{dx}$
 тогда $-\frac{2\pi k I}{r^3} = k_0$
 из пункта (2)

$$B(0) = \frac{2\pi k I}{r} = B_0$$

$I = IR$, где R - активное сопротивление катушки.

$$\lambda = \frac{l}{s}; \quad R = \rho l \frac{l}{s} = \frac{\rho l}{\lambda s} \quad (3)$$

$$V = \frac{m_0}{\rho l} \leftarrow \text{масса меди.} \quad = Sl \Rightarrow I = \frac{m_0}{\rho l}$$

↑
противоположно меди.

$$(3) \frac{\rho l^2}{\lambda m_0} - \text{сопротивление через длину Солотки.}$$

$$\Rightarrow \frac{I}{r^3} = -\frac{k_0}{2\pi k} = 4.66 \cdot 10^6 \frac{\text{А}}{\text{м}^3}$$

Однако замечаю, что $\left(\frac{dB}{dx}\right)(0) \neq 0$, т.к. катушка не является точечной. (и катушка $\neq 0$)

$$B(0) = \frac{2\pi k I}{r} = B_0 \Rightarrow r = \left(\frac{2\pi k I}{B_0}\right)^{-1/2} = \frac{B_0}{-k} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow r = \sqrt{\frac{B_0}{-k}} = 0.031 \text{ м} \approx 3.1 \text{ см}$$

$$\frac{\Delta r}{r} = \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta B_0}{B_0} + \frac{\Delta k}{k} \right) \approx \frac{1}{2} \frac{\Delta B_0}{B_0} \Rightarrow \Delta r = \frac{r}{2} \frac{\Delta B_0}{B_0} = 0.9 \text{ см}$$

Лист 5/5

Вывод к (4)

$$r = (3.1 \pm 0.5) \text{ мм} \quad \leftarrow \text{радиус катушки.}$$

(5)

$$I = \frac{K_0 r^3}{2\pi k} = 139 \text{ А}$$

$$\Rightarrow R = \frac{U}{I} \approx 0.0864 \text{ }\Omega \quad \leftarrow \text{активное сопротивление катушки.}$$

$$\rho l^2 = R \times m_0$$

$$l = \sqrt{\frac{R \times m_0}{\rho}} = 10.8 \text{ }\mu\text{м}$$

$$\text{Количество витков } N = \frac{l}{2\pi r} = (55 \text{ витков} \pm 56 \text{ витков})$$

$$d = \sqrt{\frac{4m_0}{\rho \pi}} \quad \text{м.к.} \quad \frac{1}{4} \pi d^2 \cdot l = \frac{m_0}{\rho} = V$$

$$d = \sqrt{\frac{4m_0}{\rho \pi}} = (1.6 \text{ мм})$$

Оценим погрешности d и N :

$$\frac{\Delta N}{N} \approx \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta r}{r} \approx 2 \frac{\Delta r}{r} = 0.3$$

$$\Delta N \approx 0.3 N = 17$$

$$\frac{\Delta d}{d} \approx \frac{1}{2} \frac{\Delta l}{l} \approx \frac{1}{4} \frac{\Delta R}{R} = \frac{1}{4} \frac{\Delta U}{U} = \frac{3}{84} \frac{\Delta r}{r} = 0.11$$

$$\Rightarrow \Delta d \approx 0.11 d = 0.2 \text{ мм}$$

Вывод к (5):

$$d = (1.6 \pm 0.2) \text{ мм}$$

$$N = (55 \pm 17) \text{ витков}$$

Погрешности вычислений
имеют
статистическую
характеристику
по сравнению
с измеренными.

pressure 1/1

$\frac{dB}{dx}(x) T_w/m \cdot 10^{-2}$

