

Олимпиада "Физтех".

2024 год, профиль «научно-технический»

9 класс. Решение экспериментального тура.

1. Падение ко дну

I. Теория

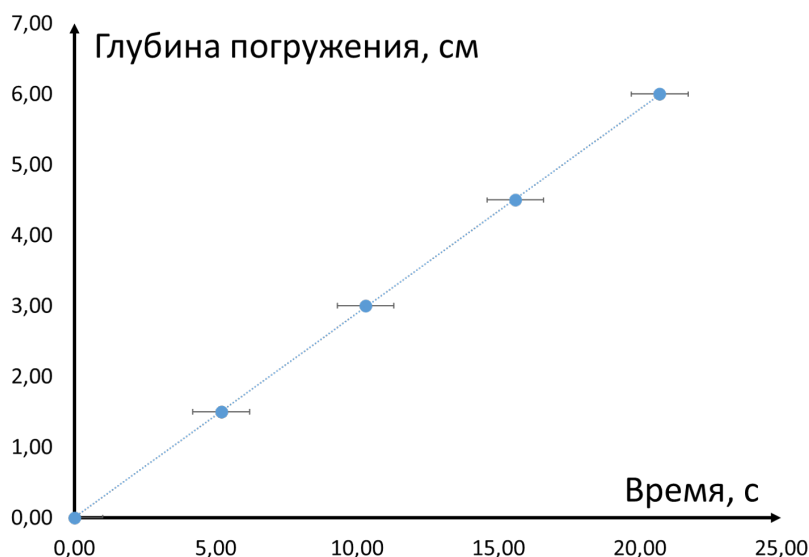
Распишем второй закон Ньютона для установившейся скорости v шарика и выразим скорость через остальные величины:

$$mg - \rho_2 g V = 6\pi\eta r v,$$
$$\frac{4}{3}\pi r^3 g(\rho_1 - \rho_2) = 6\pi\eta r v,$$
$$v = \frac{2}{9\eta} r^2 g(\rho_1 - \rho_2),$$

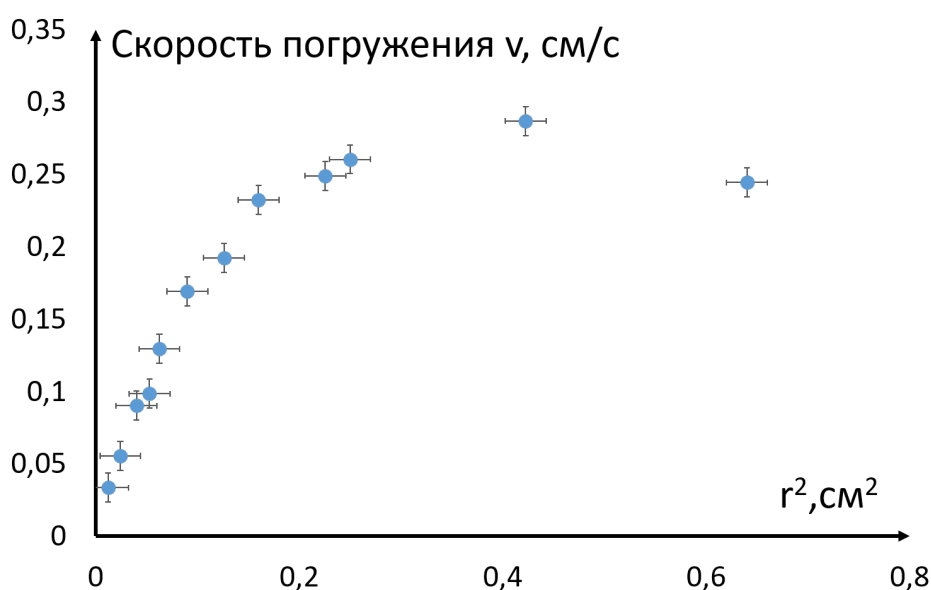
где ρ_1 - плотность шарика, ρ_2 - плотность жидкости.

II. Эксперимент

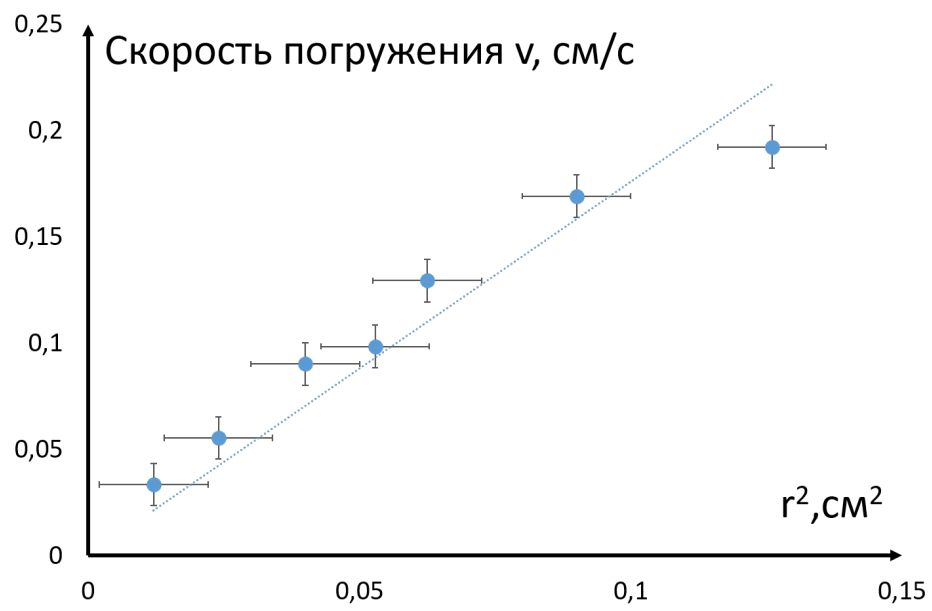
1. Слепим шарик из пластилина, запустим его тонуть, снимем глубину погружения от времени при помощи секундомера и линейки. В рамках погрешности измерения времени достижения риски на мерном цилиндре ($\Delta t \approx 1$ с) график движения можно считать прямой. С угловым коэффициентом $v = 0.29$ см/с.



2. Для того, чтобы измерить плотность исследуемой жидкости, отольем немного в маленький мерный цилиндр на весах (предварительно его затарируем!). При $m = 12.38 \pm 0.01$ г, $V = 12 \pm 1$ мл. Значит $\rho = 970 \pm 10$ кг/м³. Уточнить результаты можно при помощи шприца.
3. Добавив в мерный цилиндр кусочек пластилина измеряем изменение объема в нём, а также изменение показаний весов. $\Delta m = 3.35 \pm 0.01$ г, $\Delta V = 2.5 \pm 0.5$, а $\rho = 1340 \pm 300$ кг/м³
4. Шарики измеряем штанген-циркулем в 3 перпендикулярных измерениях для нахождения средней величины и среднего отклонения, дабы уточнить результаты измерения диаметра. Построив график в приближении линеаризации выведенного в теории уравнения замечаем, что данные не ложатся на прямую. А значит теория Стокса не применима на всем диапазоне радиусов.



5. Однако, если мы хотим определить вязкость, нам нужно найти линейную область. Она находится при малых радиусах шарика относительно радиуса трубки. Находим угловой коэффициент $k = 1.75 \pm 0.05$ 1/(с * см). Зная плотности жидкости и шара находим вязкость (не забывая о размерности коэффициента). $\eta = \frac{2}{9k} g(\rho_1 - \rho_2) = 4.6$ Па/с.



Олимпиада "Физтех".

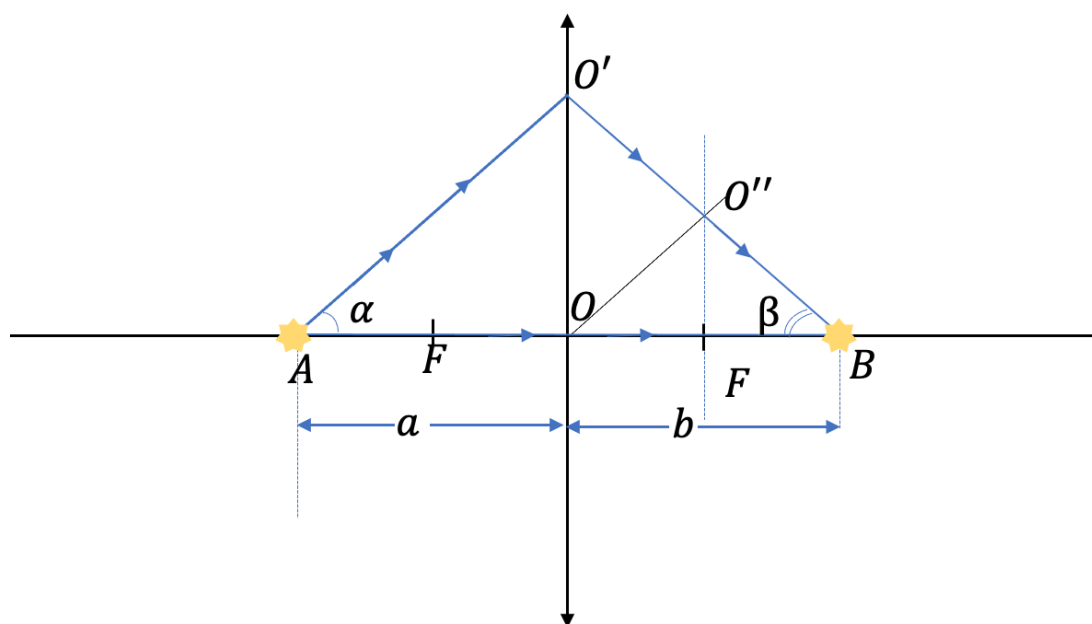
2024 год, профиль «научно-технический»

9 класс. Решение экспериментального тура.

2. Оптика на дне

I. Теория

1. Построим изображение объекта A в тонкой линзе. Проведем луч AO' . Построим луч OO'' , исходящий из точки O параллельно лучу AO' . Проведем фокальную плоскость. Через точку пересечения фокальной плоскости и луча OO'' и точку O' проведем луч. В точке пересечения данного луча и главной оптической оси находится изображение.



2. Рассмотрим треугольники AOO' и OFO'' . Определим тангенс угла α :

$$\tan \alpha = \frac{OO'}{a} = \frac{FO''}{F} \quad (1)$$

Рассмотрим треугольники BOO' и BFO'' . Определим тангенс угла β :

$$\tan \beta = \frac{OO'}{b} = \frac{FO''}{b - F} \quad (2)$$

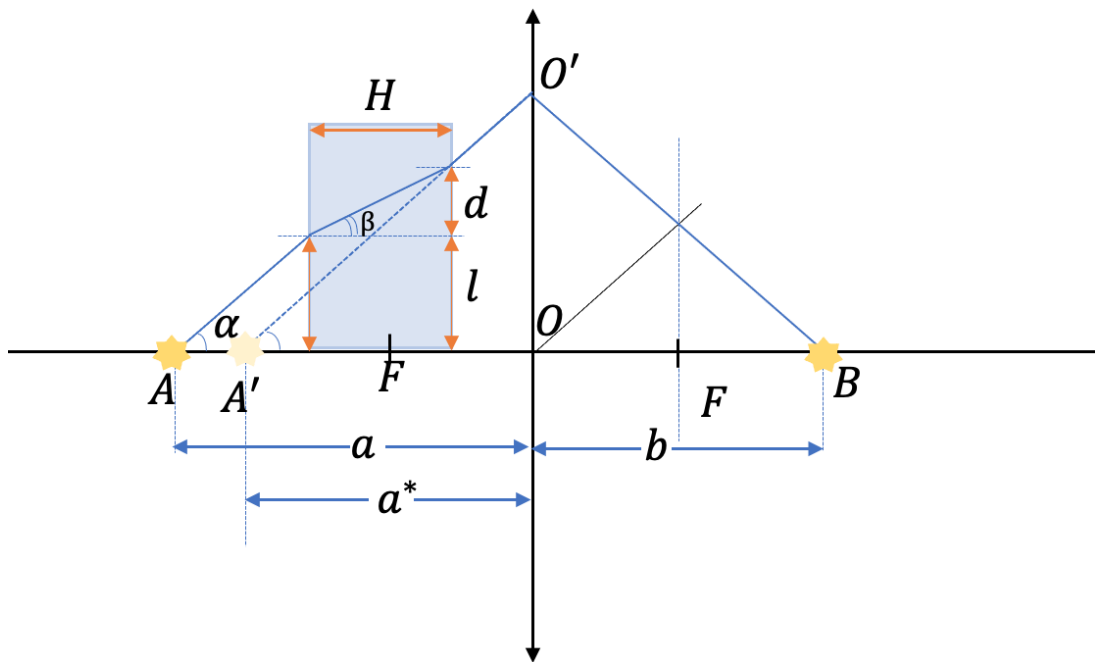
Из формул (1) и (2) выражаем FO'' и получаем:

$$\frac{a}{b} = \frac{F}{b - F} \quad (3)$$

Преобразовывая данное соотношение, получим итоговую формулу:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} \quad (4)$$

3. При добавлении слоя с показателем преломления n изменяется ход лучей от источника A как показано на рисунке. Проведем луч $A'O'$, показывающий как бы распространялся свет в отсутствии слоя жидкости при фиксированном положении экрана b .



A' - источник света, для которого выполняется формула тонкой линзы

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{a^*} + \frac{1}{b} \quad (5)$$

По закону Снеллиуса на границе слоя и воздуха:

$$n \sin \beta = \sin \alpha \rightarrow n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \quad (6)$$

Из геометрии следует, что:

$$\tan \alpha = \frac{l + d}{H} = \frac{l}{a - a^*} \quad (7)$$

$$\tan \beta = \frac{d}{H} \quad (8)$$

В приближении малых углов

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\tan \alpha}{\tan \beta}$$

Из формулы (8) и второго равенства в формуле (7) следует:

$$\frac{\tan \alpha}{\tan \beta} = \frac{l}{d} \frac{H}{a - a^*} \quad (9)$$

Выразим из формулы (7) отношение l/d :

$$\frac{l}{d} = \frac{a - a^*}{H + a^* - a} \quad (10)$$

Из (6),(9),(10) получаем:

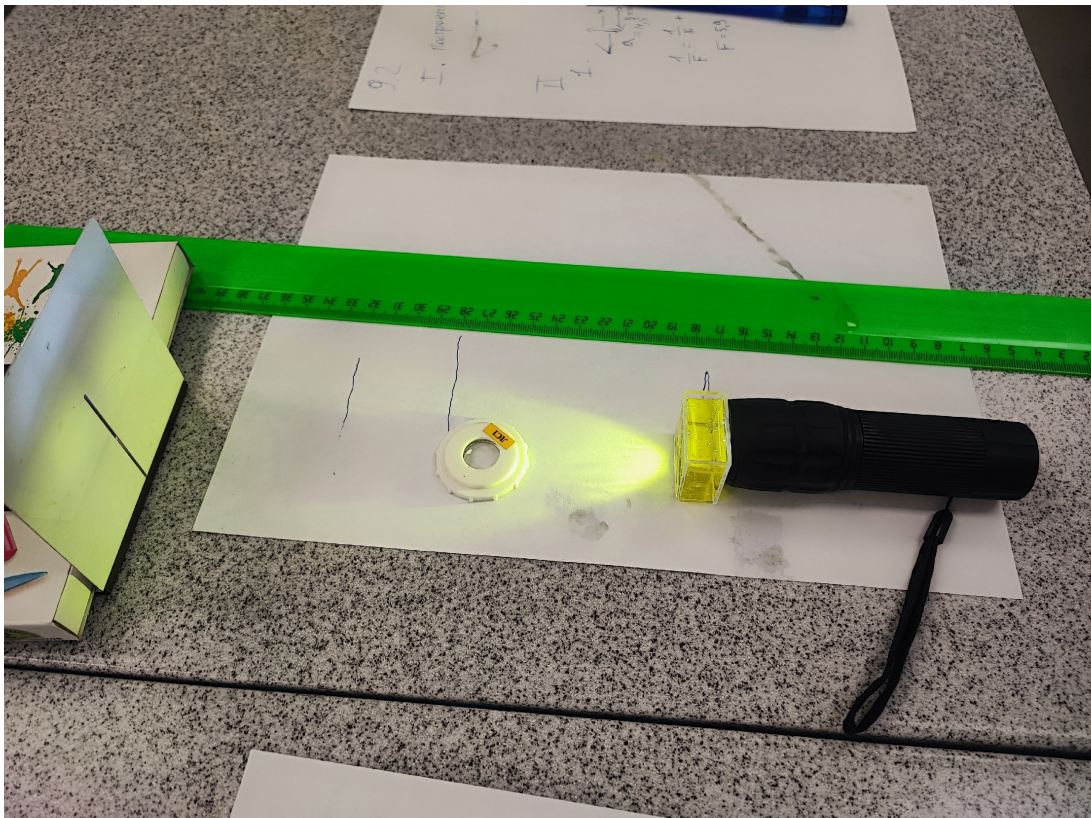
$$n = \frac{H}{H + a^* - a} \quad (11)$$

Используя формулу (5), получаем итоговое выражение для показателя преломления:

$$n = \frac{H}{H + \frac{Fb}{b-F} - a} \quad (12)$$

II. Эксперимент

1. Соберем установку как показано на рисунке. Перемещая экран, получим на нем четкое изображение источника света от фонарика.



Измерим расстояния от экрана и фонарика до линзы. По формуле (4) рассчитаем фокусное расстояние $F = 5.2 \pm 0.1$ см.

2. Поставим кювету вблизи фонарика. Сформируем четное изображение на экране. Измерим расстояния от экрана и фонарика до линзы, а также толщину кюветы. По формуле (12) рассчитаем показатель преломления жидкости в кювете $n = 1.5 \pm 0.1$.

Олимпиада "Физтех".

2024 год, профиль «научно-технический»

10 класс. Решение экспериментального тура.

1. Падение ко дну 2.0

I. Теория

1. Распишем второй закон Ньютона для установившейся скорости v шарика и выразим скорость через остальные величины:

$$\begin{aligned}mg - \rho_2 g V &= 6\pi\eta r v, \\ \frac{4}{3}\pi r^3 g(\rho_1 - \rho_2) &= 6\pi\eta r v, \\ v &= \frac{2}{9\eta} r^2 g(\rho_1 - \rho_2),\end{aligned}$$

где ρ_1 - плотность шарика, ρ_2 - плотность жидкости.

2. Распишем добавочную силу, и проинтегрируем по площади:

$$\begin{aligned}dF &= \eta \frac{v}{d} dS, \\ F &= \eta v \int \frac{dS}{d}.\end{aligned}$$

Пользуясь указанием и упуская сложное интегрирование по углам, получаем приближенный к реальному результат:

$$F = \frac{4\pi r^2}{R - \frac{2}{3}r} \eta v.$$

Видно, что при $r \mapsto R$ данная сила быстро увеличивается. Распишем второй закон Ньютона для движения шарика повторно с новым слагаемым:

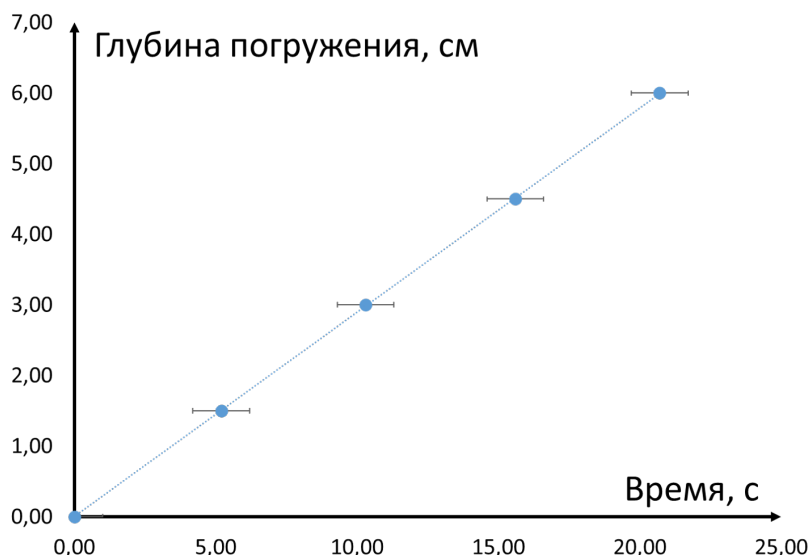
$$\frac{4}{3}\pi r^3 g(\rho_1 - \rho_2) = \left(6\pi r + \frac{4\pi r^2}{R - \frac{2}{3}r}\right) \eta v.$$

Отсюда получим v :

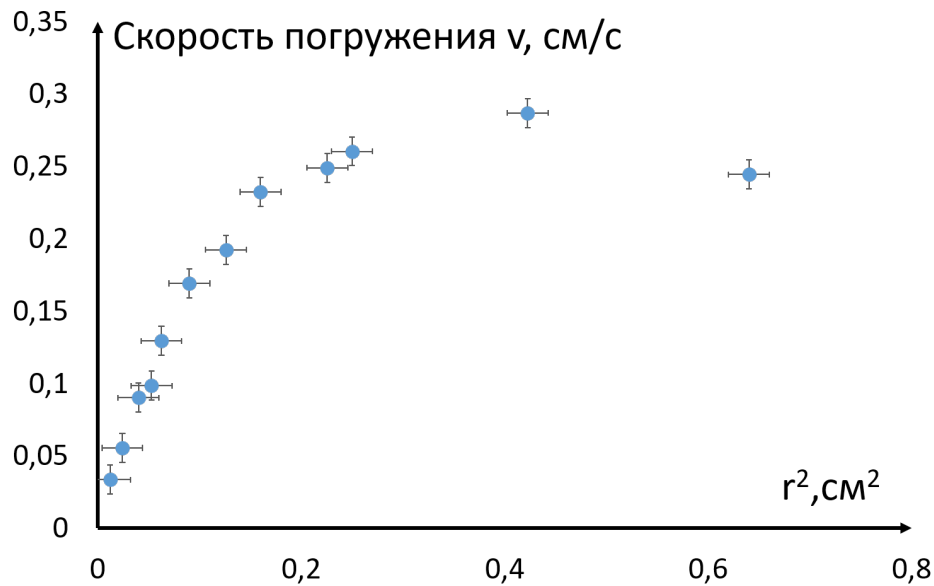
$$v = \frac{\frac{4}{3}r^2(R - \frac{2}{3}r)}{6 + 4r} \frac{g}{\eta} (\rho_1 - \rho_2)$$

II. Эксперимент

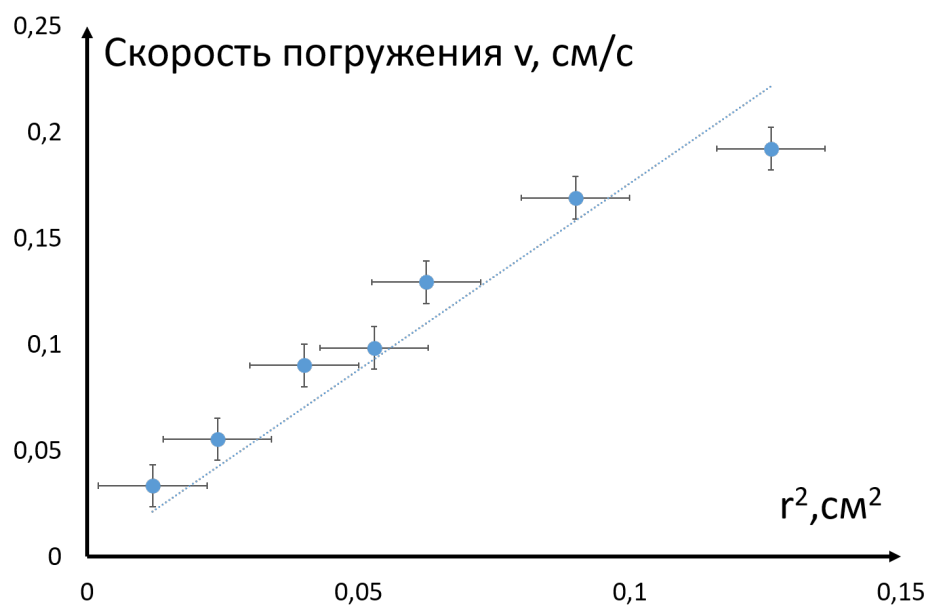
1. Слепим шарик из пластилина, запустим его тонуть, снимем глубину погружения от времени при помощи секундомера и линейки. В рамках погрешности измерения времени достижения риски на мерном цилиндре ($\Delta t \approx 1$ с) график движения можно считать прямой. С угловым коэффициентом $v = 0.29$ см/с.



2. Для того, чтобы измерить плотность исследуемой жидкости, отольем немного в маленький мерный цилиндр на весах (предварительно его затариваем!). При $m = 12.38 \pm 0.01$ г, $V = 12 \pm 1$ мл. Значит $\rho = 970 \pm 10$ кг/м³. Уточнить результаты можно при помощи шприца.
3. Добавив в мерный цилиндр кусочек пластилина измеряем изменение объема в нём, а также изменение показаний весов. $\Delta m = 3.35 \pm 0.01$ г, $\Delta V = 2.5 \pm 0.5$, а $\rho = 1340 \pm 300$ кг/м³
4. Шарики измеряем штанген-циркулем в 3 перпендикулярных измерениях для нахождения средней величины и среднего отклонения, дабы уточнить результаты измерения диаметра. Построив график в приближении линеаризации выведенного в теории уравнения замечаем, что данные не ложатся на прямую. А значит теория Стокса не применима на всем диапазоне радиусов. Что мы получили в пункте I.2.



5. Однако, если мы хотим определить вязкость, нам нужно найти линейную область. Она находится при малых радиусах шарика относительно радиуса трубки. Находим угловой коэффициент $k = 1.75 \pm 0.05 \text{ 1/(с * см)}$. Зная плотности жидкости и шара находим вязкость (не забывая о размерности коэффициента). $\eta = \frac{2}{9k} g(\rho_1 - \rho_2) = 4.6 \text{ Па/с}$.



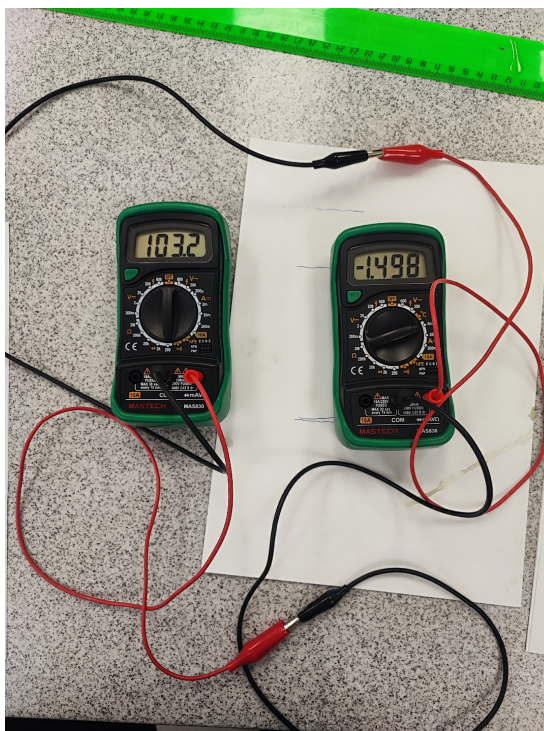
Олимпиада "Физтех".

2024 год, профиль «научно-технический»

10 класс. Решение экспериментального тура.

2. Мультиметр-ВАХметр

1. Для начала подключим мультиметры друг к другу (порты COM и универсальный), один в режиме амперметра, другой в режиме омметра. В таком случае можно будет внутреннее сопротивление мультиметра в режиме амперметра для каждого из доступных режимов.

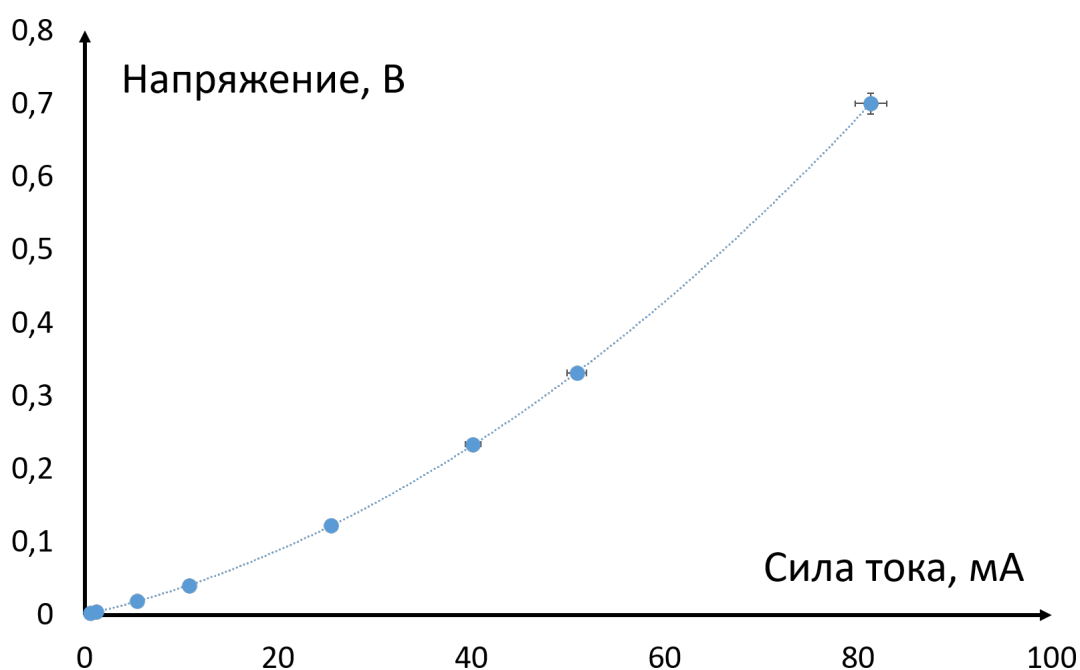


Режим	Значение г, Ом
200μ	1010
2m	104.6
20m	11.8
200m	2.4

*Примечание: Выданные мультиметры не имеют режима 200μ.
Количество точек в итоговом ВАХ будет 6, а не 8.*

2. В нашем наборе появляются 4 резистора, мы можем измерить 4 точки ВАХ лампочки. Соберем цепь последовательно батарейка-амперметр-лампочка. Параллельно будем подключать второй мультиметр в режиме вольтметра и снимать напряжение сначала на амперметре (для вычисления силы тока в цепи), а затем на лампочке. После данных измерений мы получим 4 точки на ВАХ (они кстати уже хорошо показывают нелинейность для лампочки), для более точного измерения подключим вторую лампочку. Если последовательно, тогда будет падать напряжение на второй лампочке вдвое, если параллельно, тогда на второй лампочке ток будет падать вдвое. Так мы сможем получить 8 точек ВАХ.

Примечание: Возможно снять дополнительную точку на 1.2 Вольты, где батарейка подключена последовательно к лампочке. Тогда лампочку необходимо отдельно измерить на омметре.



Примечание: ВАХ на графике снят для лампочки 3.5В, 1.00Вт.

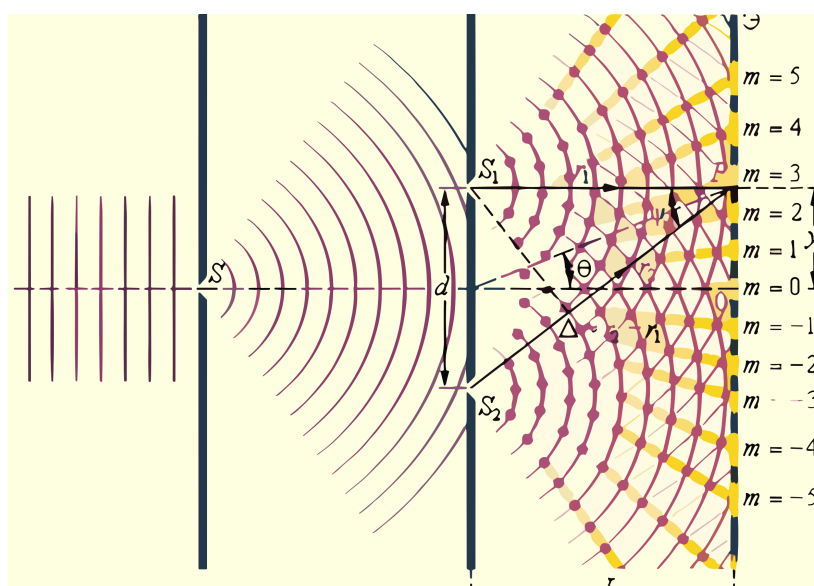
Олимпиада "Физтех".

2024 год, профиль «научно-технический»

11 класс. Решение экспериментального тура.

1. Дифракция на CD

I. Теория



Рассматриваем разность оптического хода и записываем условие разности оптического хода на кратность длине волны, получаем необходимую формулу.

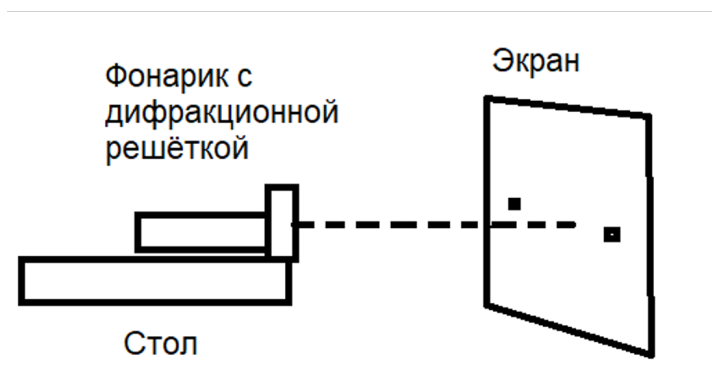
$$d \sin \alpha = m \lambda,$$

где λ - длина волны, α - угол под которым виден максимум, m - порядок максимума, d - период решетки.

II. Эксперимент

1. Посветим фонариком через дифракционную решетку с известным периодом $d = 0.002$ мм. Найдем соответствие каждого цвета длине волны. Погрешность измерения оценивается исходя из толщин получаемых максимумов.

В данном опыте использовался фонарик с дальним светом (параксиальный пучок). В вашем опыте такое поведение фонарика заменяется фонариком с точечным источником и линзой.



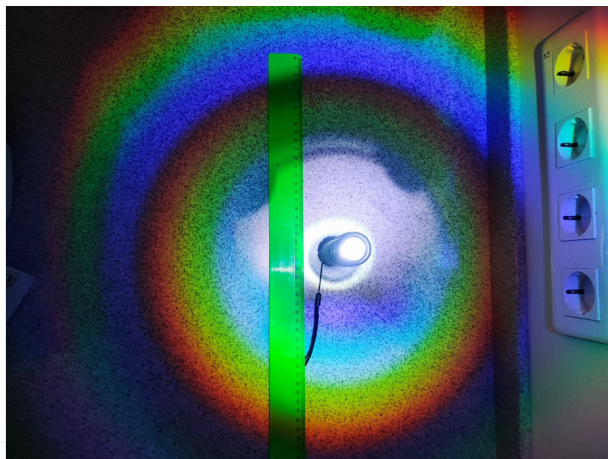
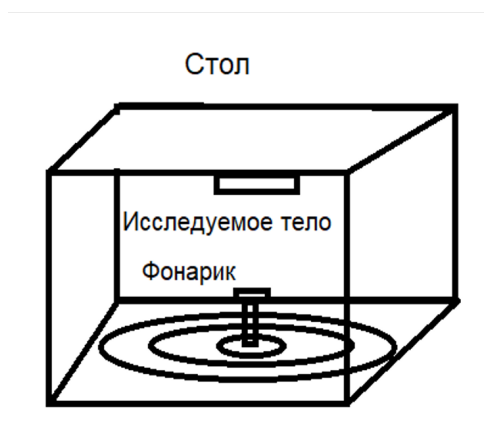
Цвет	L, см	$\tan \alpha$	λ , нм
красный	61	0,36	727
оранжевый	49	0,27	537
желтый	45	0,29	578
зеленый	42	0,25	504
голубой	37	0,22	435
синий	33	0,19	388
фиолетовый	29	0,17	340

$$\Delta L = \Delta l = 1 \text{ см}$$

$$\Delta \tan \alpha = \Delta \sin \alpha = 0,02$$

$$\Delta \lambda = 15 \text{ нм}$$

2. После установления соответствия цветов длинам волн и установления погрешностей. Проведем измерение для диска в отраженном свете. Высота стола $L = 71.5$ см. Анализ погрешностей также сводится к измерению толщины полоски каждого цвета.



Цвет	L, см	$\tan \alpha$	λ , нм	d, мкм
красный	26	0,36	727	2,0
оранжевый	25	0,35	537	1,5
желтый	24	0,34	578	1,7
зеленый	23	0,31	504	1,6
голубой	20	0,28	435	1,6
синий	17	0,24	388	1,6
фиолетовый	14	0,19	340	1,8

$$\Delta L = \Delta l = 0,5 \text{ см}$$

$$\Delta \tan \alpha = \Delta \sin \alpha = 0,02$$

$$\Delta \lambda = 15 \text{ нм}$$

Усредняя получаем $d_{mean} = 1.7 \pm 0.3$ мкм. В измерении можно легко ошибиться перепутав порядок максимума, при небольшом смещении фонарика, можно потерять первый максимум.

Примечание: Усреднение не самый лучший способ, можно построить график $\sin \alpha$ от λ и найти d из углового коэффициента.

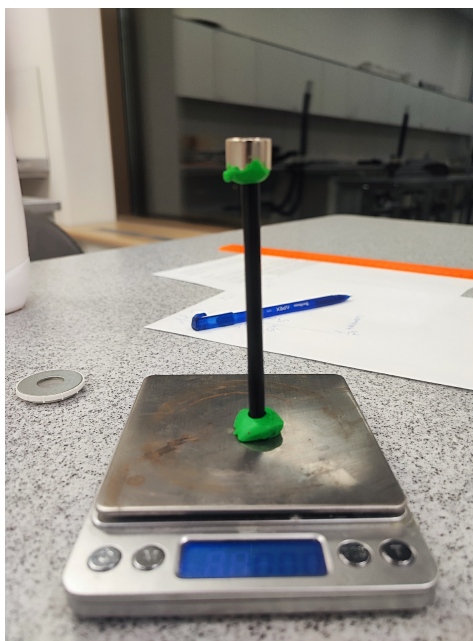
Олимпиада "Физтех".

2024 год, профиль «научно-технический»

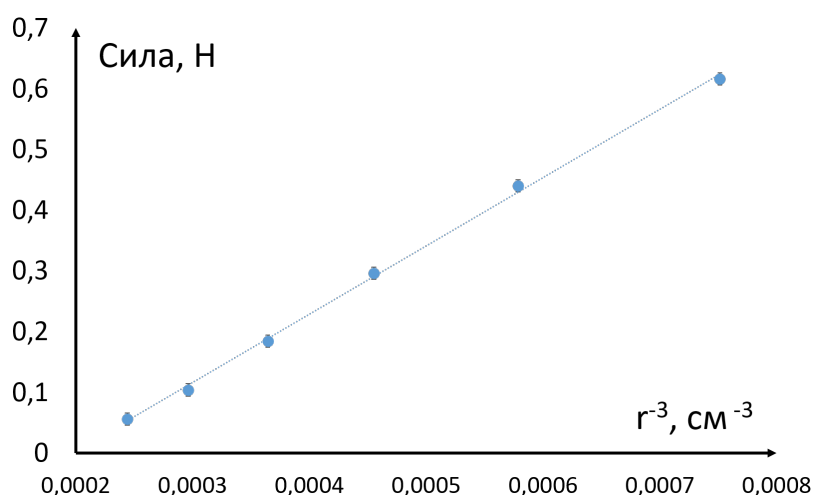
11 класс. Решение экспериментального тура.

2. Магнитные колебания

1. Нижняя часть описанной установки 1 выглядит следующим образом:



Поднося магнит к этой установке сверху вдоль линейки можно получать довольно точные измерения для силы удельной на g на весах. Измерив все показания весов m от r , домножив их на g найдем линеаризацию $n = -3$. Допускается построение $\log\log$ масштаба и получение коэффициента из него.



2. Установка в собранном виде выглядит следующим образом:

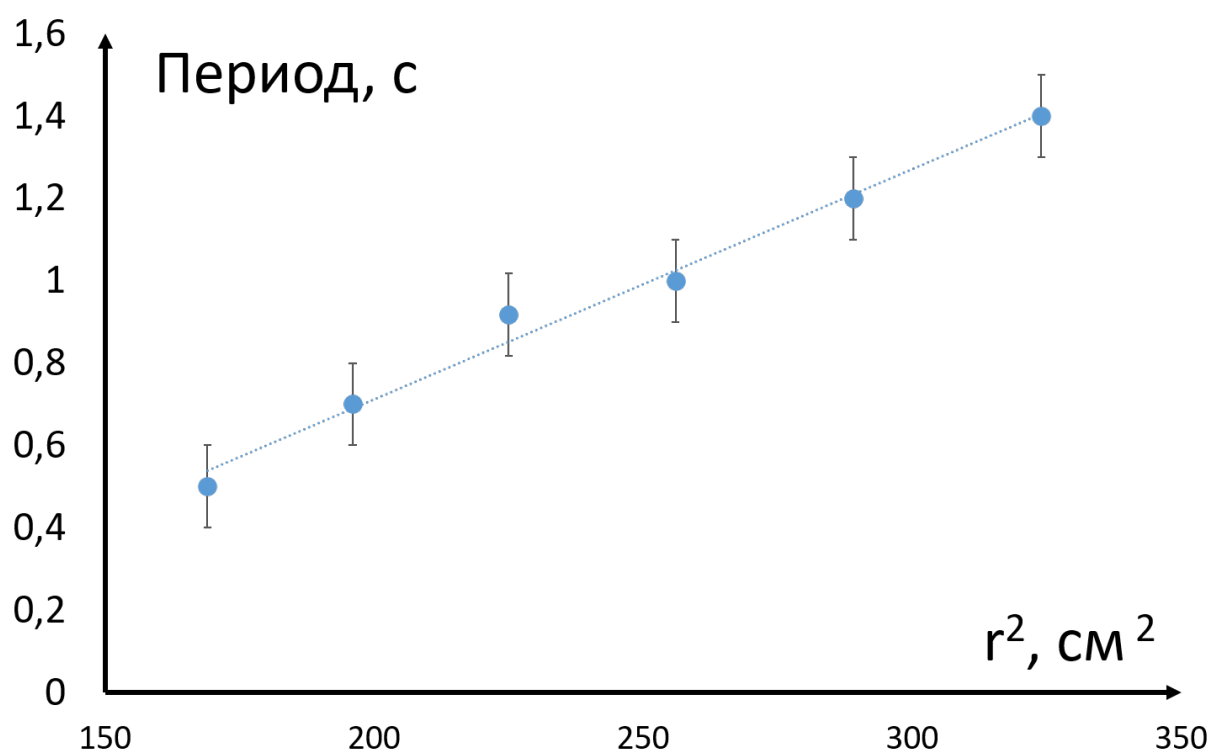


Для вывода периода запишем возвращающую силу действующую на второй магнит:

$$F = F_m \frac{x}{r},$$

где F_m - сила взаимодействия между магнитами, x - смещение магнита 2 (при малых колебаниях), r - расстояние между магнитами. Тогда можно выразить период колебательной системы:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{mr}{F_m}},$$
$$F_m \propto r^3 \mapsto T \propto r^2.$$



9-1 Падение ко дну

Критерий	MAX
K1. Выведена зависимость скорости от радиуса	1
K2. Показано, что скорость падения постоянная	1
K3. Описан метод измерения плотности жидкости	1
K4. Получена плотность жидкости 1,014-1,64 г/см ³	1
K5. Описан метод измерения плотности пластилина	1
K6. Получена плотность пластилина 1,2-1,6 г/см ³	1
K7. Оценена погрешность плотности	0,5
K8. Измерена скорость в линейной области	1
K9. Таблица прямых измерений η , t не менее 4-х измерений	2
K10. Построен график зависимости скорости от радиуса	2
K11. Найден угловой коэффициент	1
K12. Найдена вязкость	1
K13. Вязкость киселя в интервале 2-10 Па*с	1
K14. Оценена погрешность	0,5
Сумма	15

9-2 Оптика на дне

Критерий	MAX
K1. Построен ход лучей в линзе	1
K2. Выведена формула тонок линзы (без вывода - 1)	2
K3. Качественно пояснено как влияет жидкость на ход лучей	1
K4. Получена формула для показателя преломления	1
K5. Описан метод измерения фокусного расстояния линзы	2
K6. Получено действительное изображение	0,5
K7. Фокусное расстояние 5-10 см	3
K8. Измерено расстояние с кюветой	2
K9. Определен показатель преломления 1.1-1.7	2
K10. Оценена погрешность	0,5
Сумма	15

10-1 Падение ко дну 2.0

Критерий	MAX
K1. Получена зависимость скорости от радиуса	1
K2. Выведена зависимость в сложной модели	1
K3. Описан метод измерения плотности жидкости	1
K4. Получена плотность жидкости 1,014-1,64 г/см ³	1
K5. Описан метод измерения плотности пластилина(объем вычислен из радиуса - 0.5 баллов)	1
K6. Получена плотность пластилина 1,2-1,6 г/см ³	1
K7. Оценена погрешность плотности	0,5
K8. Показано, что падение равномерно	1
K9. Таблица прямых измерений τ , t не менее 4-х измерений	2
K10. Построен график зависимости скорости от радиуса	2
K11. Найден угловой коэффициент	1
K12. Найдена вязкость	1
K13. Вязкость в интервале 2-10 Па*с	1
K14. Оценена погрешность	0,5
Сумма	15

10-2 Мультиметр-ВАХметр

Критерий	MAX
K1. Описан метод	1
K2. Измерены сопротивления на 3 диапазонах амперметра	1
K3. Указана погрешность полученных R	1
K4. Сняты 3 измерения для одной лампочки	3
K5. Сняты 3 измерения для двух лампочек	3
K6. Посчитаны погрешности результатов	2
K7. Построен график $I(U) / U(I)$	2
K8. Полученные точки попадают в ВАХ лампочки	2
Сумма	15

11-1 Дифракция на CD

Критерий	МАХ
K1. Верно построена оптическая схема	1
K2. Получена формула дифракционной решетки	2
K3. Построена схема эксперимента для пункта 1	1
K4. Проведены прямые измерения угла отклонения для цвета (до 6 цветов по 0,5 балла)	3
K5. Проведена калибровка длины волны от видимого цвета через угол отклонения	2
K6. Построена оптическая схема эксперимента для пункта 2	1
K7. Проведены прямые измерения угла отражения для цвета (до 6 цветов по 0,5 балла)	3
K8. Получено расстояние между дорожками CD диска через среднее / через угловой коэффициент	1
K9. Значение попадает в диапазон 1-5 мкм (при оцененном пункте K8)	1
Сумма	15

11-2 Магнитные колебания

Критерий	МАХ
K1. Получены точки F от r на весах в первой установке (до 6 точек по 0,5 балла)	3
K2. Построен график F от r в координатах, в которых зависимость линейна	2
K3. Получен показатель степени n из графика / из отдельных точек	1
K4. Показатель степени n лежит в диапазоне от -2 до -3,5	1
K5. Получено приближение для гармонической природы колебаний / показана гармоничность	1
K6. Получено верное выражение для периода колебаний	2
K7. Проведены прямые измерения периода от расстояния между магнитами (до 4 точек по 1 баллу)	4
K8. Пропорциональность для периода колебаний доказана построением графика в линейных координатах	1
Сумма	15