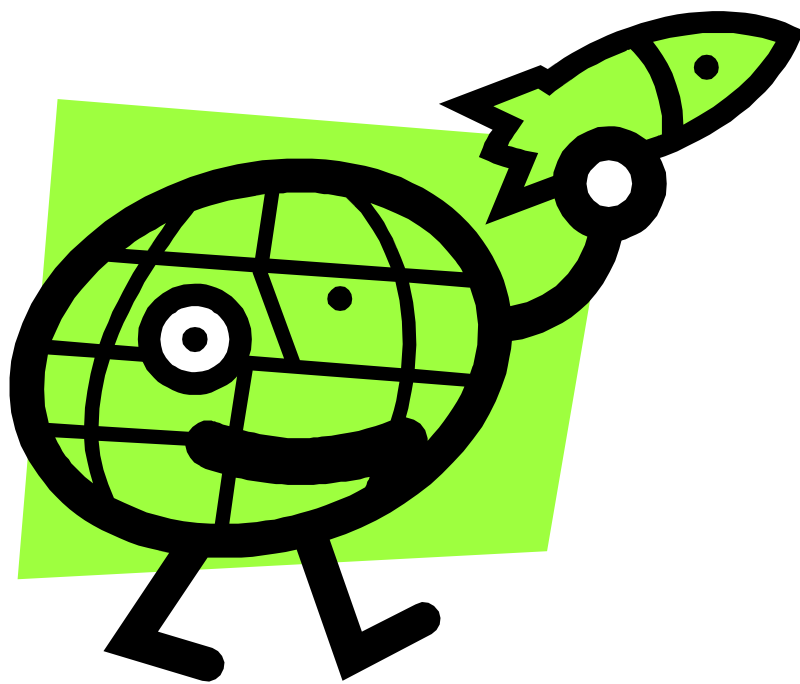


Тетрадь для лабораторных работ по физике 10 класс.



П. Строитель 2002 г

Содержание.

1. Справочный материал	3
2. Знакомство с методами измерения и расчета абсолютной и относительной погрешности прямых измерений. Урок 1. Прямое измерение	9
3. Знакомство с методами измерения и расчета абсолютной и относительной погрешности прямых измерений. Урок 2. Косвенное измерение	10
4. Измерение ускорение свободного падения	11
5. Изучение движения тела, брошенного горизонтально.	14
6. Движение тела по окружности под действием силы тяжести и упругости.	17
7. Измерение коэффициента трения скольжения.	20
8. (Дополнительная работа) «Измерение жесткости пружины».	23
9. Проверка закона сохранения энергии при действии сил тяжести и упругости.	24
10. Опытная проверка закона Гей-Люссака.	26
11. Измерение относительной влажности воздуха с помощью термометра и гигрометра.	28
12. Изучение капиллярных явлений, обусловленных поверхностным натяжением жидкости.	29
13. Измерение удельной теплоемкости вещества.	30
14. Измерение электроемкости конденсатора.	31

Тетрадь для лабораторных работ по физике 10 класс.

Данная тетрадь может быть использована как инструкция для проведения лабораторных работ, или же, как рабочее пособие для ученика которую он может заполнять. Тетрадь снабжена справочным материалом, который необходимо использовать при расчете погрешностей. В данной тетради используются основные, простейшие способы определения погрешностей. Обращаясь к справочному материалу, учащиеся учатся определять погрешности. Можно использовать для учащихся профильных классов или для учащихся, интересующихся физикой. В данной тетради использованы инструкции лабораторных работ из тетради Касьянова В.А, Коровина В.А. переработанные с учетом использования справочного материала и немного видоизменены с учетом того оборудования, которое есть в Цнинской средней школы № 1, да и практически в любой школе. Дополнена тетрадь несколькими работами, которые учитель считает необходимыми для учебного процесса. Составил и переработал учитель Цнинской средней школы №1 Ишков А.И.



Справочный материал.

Лабораторные работы. Как оформлять лабораторные работы.

1. Лабораторная работа №
2. Наименование работы.
3. Цель работы.
4. Приборы и материалы.
5. Чертеж или схема установки (если требуется).
6. Формулы искомых величин и их погрешностей.
7. Таблица с результатами измерений и вычислений погрешностей (если требуется).
8. Вычисления результатов.
9. Окончательный результат, вывод и прочее (согласно цели работы).

Как записать результат измерения.

$$A = A_{\text{изм}} \pm \Delta A$$

$$\varepsilon = \dots \%$$

Как определять погрешности измерений.

Выполнение лабораторных работ связано с измерением различных физических величин и последующей обработкой их результатов.

Измерение – нахождение значения физической величины опытным путем с помощью средств измерений.

Прямое измерение – определение значения физической величины непосредственно средствами измерения.

Косвенное измерение – определение значения физической величины по формуле, связывающей ее с другими физическими величинами, определяемыми прямыми измерениями.

Процесс любого измерения считается полностью завершенным, когда указаны абсолютная и относительная погрешности результата измерения.

Погрешности измерений в соответствии с причиной их возникновения классифицируются на *случайные, систематические и промахи*.

Результаты повторных измерений одной и той же величины, проведенных с одинаковой тщательностью и в одинаковых условиях, всегда несколько отличаются друг от друга. Нельзя обеспечить одинаковость условий при повторных испытаниях. Нельзя устранить трение в оси, влияние потоков воздуха, одновременность начатия всех опытов и т. д. Погрешности, возникающие из-за таких причин, называют *случайными*.

Погрешности связанные с влиянием измерительных приборов на исследуемые процессы называют *систематическими*.

Промах – погрешность, которая существенно превышает систематические и случайные погрешности. Причинами промахов обычно являются ошибки наблюдателя, неисправность средств измерений. Промах обычно возникает при проведении первого опыта.

Введем следующие обозначения:

A, B, C, \dots - *физические величины*.

$A_{\text{изм}}$ - *приближенное значение физической величины*, т. е. значение, полученное путем прямых или косвенных измерений.

ΔA – абсолютная погрешность измерения физической величины, показывает, на сколько можно ошибиться при измерениях физической величины.

ε – относительная погрешность измерения физической величины, равная $\frac{\Delta A}{A_{изм}} * 100\%$,

определяет качество измерения. Показывает, какую часть абсолютная погрешность составляет от измеренного результата.

$\Delta_{и}A$ – абсолютная инструментальная погрешность, определяемая конструкцией прибора (**см. табл.1**)

$\Delta_{о}A$ – абсолютная погрешность отсчета (получающаяся от недостаточно точного отсчета показаний средств измерения). **Она равна в большинстве случаев половине цены деления;** при измерении времени – цене деления секундомера или часов.

Прямые измерения.

Максимальная абсолютная погрешность **прямых измерений** складывается из абсолютной инструментальной погрешности и абсолютной погрешности отсчета при отсутствии других погрешностей:

$$\Delta A = \Delta_{и}A + \Delta_{о}A \quad (\text{таблица 1}). \quad \varepsilon = \frac{\Delta A}{A_{изм}} 100\%$$

Абсолютная погрешность измерения обычно округляют до одной значащей цифры ($\Delta A = 0,17 = 0,2$); численное значение результата измерений округляют так, чтобы его последняя цифра оказалась в том же разряде, что и цифра погрешности ($A = 10,332 = 10,3$).

При выполнении школьных лабораторных работ необходимо определять максимальные погрешности измерения физических величин. При этом для получения результата достаточно одного измерения.

Абсолютные инструментальные погрешности средств измерений.

Таблица 1

№ п/п	Средства измерений	Предел измерения	Цена деления	Абсолютная инструментальная погрешность
1	Линейка ученическая	До 50 см	1 мм	1 мм
2	Лента измерительная	До 150 см	0,1 см	0,2 см
3	Измерительный цилиндр	До 250 см ³	2 см ³	2 см ³
4	Штангенциркуль	До 150 мм	0,1 мм	0,05 мм
5	Микрометр	25 мм	0,01 мм	0,005 мм
6	Динамометр учебный	4 Н	0,1 Н	0,05 Н
7	Весы учебные	200 г	--	0,1 г
8	Секундомер	0- 30 мин	1 с	1 с за 30 мин
9	Барометр – aneroid	720 – 780 мм рт. ст.	1 мм рт. ст.	3 мм рт. ст.
10	Термометр лабораторный	0 – 100 ⁰ С	1 ⁰ С	1 ⁰ С
11	Амперметр школьный	2 А	0,1А	0,05А
12	Вольтметр школьный	6В	0,2В	0,15В

Косвенные измерения.

Относительная погрешность **косвенных измерений** определяется так, как показано в таблице 2. Сначала определяется относительная погрешность используя табл.2, а затем определяется абсолютная погрешность косвенных измерений по формуле $\Delta A = A_{\text{изм}} * \varepsilon$ (ε выражается десятичной дробью).

Таблица 2.

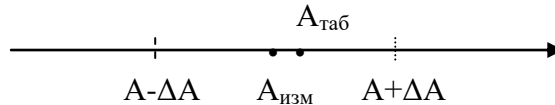
№ п/п	Формула физической величины	Формула относительной погрешности
1	$A = BCD$	$\varepsilon = \frac{\Delta B}{B} + \frac{\Delta C}{C} + \frac{\Delta D}{D}$
2	$A = \frac{BC}{D}$	Та же что и выше
3	$A = B \pm C$	$\varepsilon = \frac{\Delta B + \Delta C}{B \pm C}$
4	$A = B * (C - D)$	$\varepsilon = \frac{\Delta B}{B} + \frac{\Delta C + \Delta D}{C - D}$
5	$A = B^k * C * D^n$	$\varepsilon = \frac{k * \Delta B}{B} + \frac{\Delta C}{C} + \frac{n * \Delta D}{D}$
6	$A = \frac{1}{B} + \frac{1}{C}$	$\varepsilon = \frac{1}{C + B} \left(\frac{C * \Delta B}{B} + \frac{B * \Delta C}{C} \right)$

Как сравнить полученный результат с табличным

Простейший способ **оценки** погрешности это сравнение результата с табличным:

$$\Delta = |X_{\text{изм}} - X_{\text{таб}}|, \quad \varepsilon = \frac{\Delta}{X_{\text{изм}}}, \text{ это может служить простой оценкой}$$

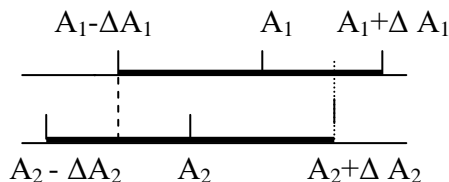
качества измерения.



Как сравнивать результаты измерений.

$$A_1 = A_2$$

Записать результаты измерений в виде двойных неравенств, полученные интервалы указать на оси в одинаковом масштабе. Если интервалы не пересекаются, то результаты неодинаковы, если перекрываются – одинаковы при данной относительной погрешности измерений.



Если при проверке законов *оценку погрешностей провести трудно*, то можно **рассчитать отклонение** отношения A_1/A_2 от 1. Тогда разность $\left| \frac{A_1}{A_2} - 1 \right|$ позволяет *сделать заключение о качестве экспериментальной проверки равенства $A_1 = A_2$* . Пример, изучение закона сохранения энергии дало результаты. Уменьшение потенциальной энергии $E_p=52$ Дж, увеличение кинетической энергии $E_k=49$ Дж. Отношение $E_p/E_k = 1,06$. Вывод, экспериментальная проверка закона сохранения выполнена с относительной погрешностью 6%, $\left| \frac{A_1}{A_2} - 1 \right| = 0,06$, $\varepsilon = 6\%$.

Электроизмерительным приборам приписывают класс точности k , который позволяет найти абсолютную погрешность прибора: $\Delta A_{\text{прибора}} = \frac{k * A_{\text{max}}}{100}$

A_{max} - предел измерения прибора. Если указатель прибора совпадает со штрихом шкалы, то абсолютную погрешность считают равной абсолютной погрешности прибора.

Если указатель прибора не совпадает со штрихом шкалы, то за результат измерения принимается числовое значение, соответствующее ближайшему штриху прибора. Абсолютная погрешность при этом определяется суммой погрешности прибора и погрешности отсчета, которая не превосходит половины цены деления шкалы прибора.

$\Delta A = \Delta A_{\text{прибора}} + C/2$ где C цена деления прибора.

Если появляются **случайные погрешности**, то для их нахождения измерения повторяют и за результат измерения принимают среднее арифметическое результатов отдельных измерений. Например, проведено n измерений и получены числовые значения $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, то за результат измерений принимается:

$$x_{cp} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

Но и среднее арифметическое не совпадает с истинным значением измеряемой величины. Чтобы найти погрешность результата измерений, рассчитывают среднюю абсолютную погрешность:

$$\Delta x_{cp} = \frac{|x_1 - x_{cp}| + |x_2 - x_{cp}| + \dots + |x_n - x_{cp}|}{n}$$

максимальное значение абсолютной погрешности $\Delta A = \Delta A_{\text{изм}} + \Delta A_{\text{сл}}$

$$A = A_{cp} \pm (\Delta A_{\text{изм}} + \Delta A_{\text{сл}})$$

Также при случайных погрешностях может определяться среднее квадратичное отклонение σ , которое при очень большом числе опытов может быть рассчитано по

формуле $\sigma = \sqrt{\frac{(x_1 - x_{cp})^2 + (x_2 - x_{cp})^2 + \dots}{n}}$ Оно имеет следующий смысл: 68%

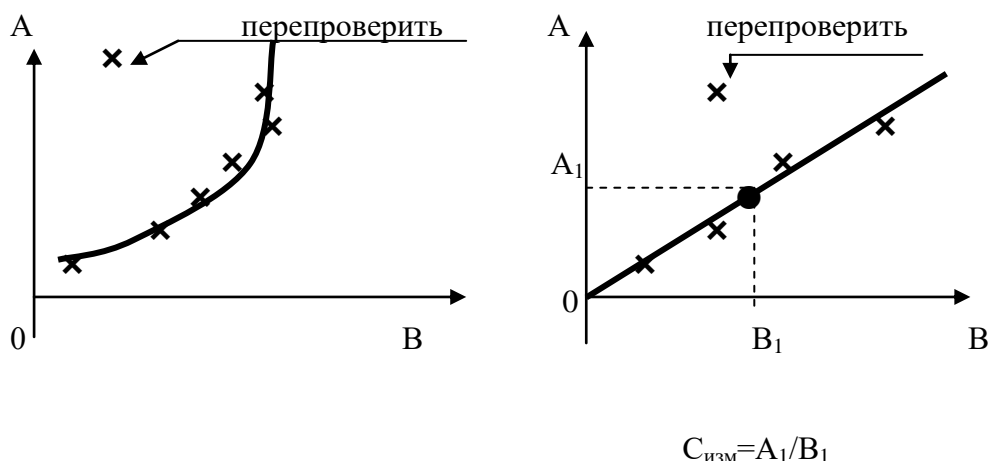
результатов измерений находится в интервале $[x_{cp} \pm \sigma]$, 95% в интервале $[x_{cp} \pm 2\sigma]$ и 99% в интервале $[x_{cp} \pm 3\sigma]$. Поэтому применяют «правило 3 σ », согласно которому граница случайной погрешности может быть принята равной 3 σ . Вероятностный смысл этого состоит в следующем: если по результатам большого числа опытов определены x_{cp} и 3 σ , то можно утверждать, что результат любого однократного измерения величины x в неизменных условиях будут принадлежать интервалу $[x_{cp} \pm 3\sigma]$.

Графическое представление результатов эксперимента полезно, когда устанавливают вид функциональной связи между величинами; определяют среднее значение при известной функциональной связи; изучают связь, между величинами которых трудно представить функцию в виде формулы (аналитически).

В результате измерений величин x и y мы получаем не точку, а область со сторонами $2\Delta x$ и $2\Delta y$. Поэтому проводить линию графика надо через эти области.

При построении графика по результатам измерений надо проводить плавную линию так, чтобы примерно одинаковое число экспериментальных точек оказалось по разные стороны от кривой.

Экспериментальные точки, лежащие далеко от графика, перепроверяются, это промахи.



Если знакомы с понятием **производной**, то абсолютную погрешность можно найти как производную функции по всем переменным величинам которые мы измеряем при проведении эксперимента или опыта.

Пример.

$$A = B \cdot (C - D), \text{ то } \Delta A = B' \cdot (C - D) + B \cdot (C - D)' = \Delta B(C - D) + B(\Delta C + \Delta D)$$

$$\varepsilon_A = \frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta B(C - D) + B(\Delta C + \Delta D)}{B \cdot (C - D)} = \frac{\Delta B}{B} + \frac{\Delta C + \Delta D}{C - D}$$

Литература, которую можно прочитать для изучения нахождения погрешностей:

Для ученика

1. Гоциридзе Г.Ш.. Практические и лабораторные работы по физике. 7-11 классы. М. Классик стиль. 2002.
2. Касьянов В.А, Коровин В.А.. Тетрадь для лабораторных работ по физике 11 класс. М. Дрофа. 2002.
3. Касьянов В.А., Коровин В.А.. Тетрадь для лабораторных работ по физике 10 класс. М. Дрофа. 2002.
4. Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б., Сотский Н.Н.. Физика. Учебник для 10 класса. М. «Просвещение». 2001.

Для учителя

1. Практикум по физике в средней школе. Пособие для учителя. Под редакцией Ю.И. Дика, В.А. Бурова. М. «Просвещение». 1987.
2. Фетисов В.А.. Лабораторные работы по физике. Пособие для учителя. М. «Просвещение». 1979.
3. Фетисов В.А.. Оценка точности измерений в курсе физики средней школы. Пособие для учителей. М. «Просвещение». 1974.
4. Физический практикум для классов с углубленным изучением физики. Дидактический материал 9 – 11 классы. Под редакцией Ю.И. Дика, О.Ф. Кабардина. М. «Просвещение». 1993.
5. Эвенчик Э.Е., Шамаш С.Я, Орлов В.А.. Методика преподавания физики в средней школе. М. «Просвещение». 1986.

Урок №2**Знакомство с методами измерения и расчета абсолютной и относительной погрешности косвенных измерений.**

Цель: обсудить с учителем понятия абсолютной и относительной погрешности, вычислить абсолютную и относительную погрешность при косвенных измерениях некоторых физических величин (площади, объема). Сделать сравнения измеренных величин.

Косвенное измерение – определение значения физической величины по формуле, связывающей ее с другими физическими величинами, определяемыми прямыми измерениями.

1) Как получить формулу относительной погрешности при измерении площади круга (Смотри таблицу 2)

$$S = \pi R^2; \quad \varepsilon_s = \dots, \quad \Delta S = \dots$$

2) при измерении ускорения $a = \frac{2S}{t^2}$. $\varepsilon_a = \dots, \quad \Delta a = \dots$

3) Измерим площадь крышки стола S .

Воспользуемся формулой:

$$S =$$

4) Сначала определяем относительную погрешность, а затем абсолютную. Как определять относительную погрешность косвенных измерений смотрите в справочном материале, таблица № 2.

$$\varepsilon_s = (\text{формула, расчет})$$

$$\Delta S = (\text{Формула, расчет})$$

Запишем результат измерения.

$$S = \dots \quad \varepsilon_s = \dots$$

5) Измерим объем цилиндра V

$$\text{Формула } V =$$

б) Рассчитаем погрешности измерений.

$$\varepsilon_v =$$

$$\Delta V =$$

7

9) Найдем плотность вещества с помощью мензурки и весов.

$$\rho = \dots$$

$$\varepsilon = \dots$$

$$\Delta \rho =$$

Запишем результат:

Лабораторная работа № 2

Измерение ускорения свободного падения

- **Цель работы:** изучить свободное падение тел и измерить ускорение свободного падения с помощью прибора для изучения движения тел.
- **Оборудование, средства измерения:** 1) металлический брусок размером 4 x 25 x 40 мм, 2) бумажная лента размером 20 x 300 мм, 3) полоска копировальной бумаги размером 20 x 300 мм, 4) желоб, 5) штатив лабораторный, 6) электромагнитный отметчик времени, 7) линейка измерительная.
- **Теоретическое обоснование**

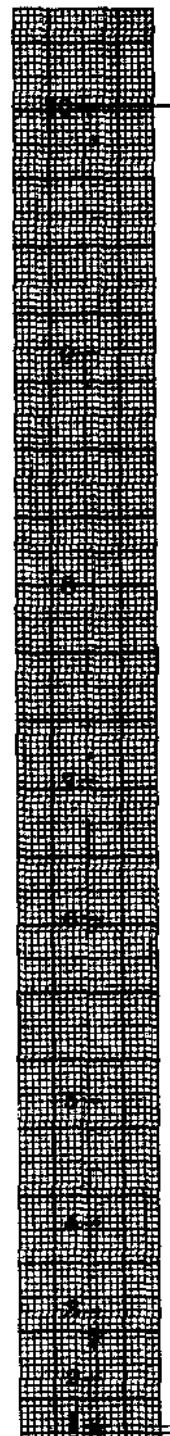
Схема экспериментальной установки для изучения свобода падения тел приведена на рисунке 1.

К грузу 1 прикреплен длинная бумажная лента 2 с миллиметровыми делениями, покрытая сверху полоской копировальной бумаги 3. Лента с грузом удерживается зажимом 4 в верхней части желоба 5. Желоб крепится на штативе 6 и представляет собой планку с бортиками, образующими паз для движения ленты. При освобождении зажима груз начинает свободно падать, увлекая за собой бумажную ленту.

Перемещения груза в различные моменты времени фиксируются электромагнитным отметчиком времени 7, включаемым до освобождения зажима кнопкой 8. Через каждые 0,02 с заостренный металлический боек 9 (рис. 2) притягивается к катушке 10, оставляя отметки на копировальной бумаге и соответственно на бумажной ленте. Пренебрегая сопротивлением воздуха, можно считать, что свободно падающий груз движется равноускоренно с ускорением $g = 9,8 \text{ м/с}^2$. Тогда перемещение груза (относительно начальной точки подвеса) по оси Y , направленной вниз, зависит от времени по закону

$$y = \frac{gt^2}{2} \quad (1)$$

По меткам, оставленным на бумажной ленте электромагнитным отметчиком времени (рис. 3), можно найти перемещение y_n груза относительно начальной точки подвеса в любой момент времени $t_n = nT$, где n — число интервалов между указанными метками, а $T = 0,02 \text{ с}$.



5. Пользуясь данными табл. 1, убедитесь, что свободное падение груза является равноускоренным движением. Для этого вычислим коэффициент k , из формулы $y = kn^2$, перемещение пропорционально квадрату n при равноускоренном движении, проверим это соотношение:

Найдем отношение $y_n/n^2 = k$, если оно постоянно, то движение равноускоренное
результаты вычислений занесите в табл. 2.

Таблица 2

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
y_n										
k										

Вывод: _____

6. Вычислите значение ускорения свободного падения g по формуле (5) для различных моментов времени: (Для 4 значений $n = 1, n = 3, n = 7, n = 10$)

Таблица 3

t_n, c	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,12	0,14	0,16	0,18	0,2
$g \text{ м/с}^2$										

7. Рассчитаем относительную погрешность косвенного измерения u свободного падения для t_7 , (см. табл. 2) $\varepsilon_7 = \dots$

8. Рассчитайте абсолютную погрешность измерения ускорения свободного падения.

$$\Delta g_7 = \dots$$

9. Запишите окончательный результат в виде $g_7 = g_{\text{изм}7} \pm \Delta_7 = \dots$

Дополнительное задание. Доказать, что модуль ускорения свободного падения не зависит от массы тела.

- 1) Скрепите изоляционной лентой два груза и повторите пункты 2—4 основного задания.
- 2) Сравните расстояние между метками на двух бумажных лентах, полученных при падении грузов разных масс, и сделайте вывод.

Вывод:

Лабораторная работа № 3

Изучение движения тела, брошенного горизонтально.

Цель работы: измерить начальную скорость тела, брошенного горизонтально в поле силы тяжести Земли.

Оборудование, средства измерения: стальной шарик, лоток дугообразный, штатив лабораторный, фанерная доска, два листа белой бумаги, копировальная бумага, линейка измерительная

Теоретическое обоснование:

Схема экспериментальной установки приведена на рисунке. Шарик, начинающий движение в верхней части дугообразного лотка вылетает горизонтально в точке O с начальной скоростью v_0 , пролетая вдоль вертикальной фанерной доски. Желоб закреплен в штативе так, что точка O находится на высоте h над горизонтальной фанерной доской, на которую падает шарик.

Для фиксации точки падения шарика на доску помещают лист белой бумаги, а сверху прикрепляют лист копировальной бумаги. Падение шарика на доску оставляет метку на белой бумаге.

Движение шарика, брошенного горизонтально с высоты h , происходит в вертикальной плоскости XU (X – горизонтальная ось, направленная вправо, U – вертикальная ось, направленная вниз). За начало отсчета выбрана точка вылета шарика. (рис 2).

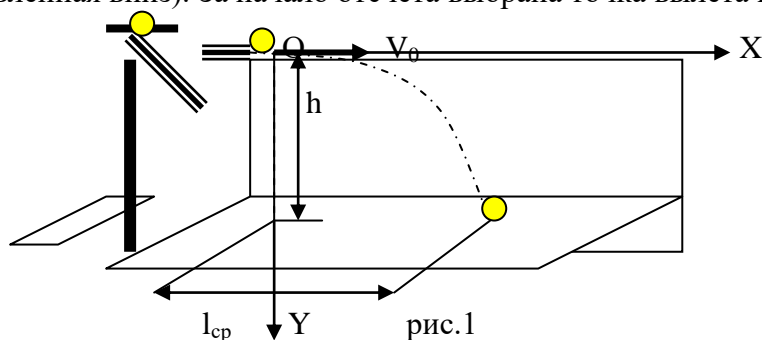


рис.1

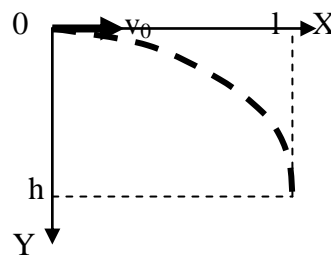


рис. 2

По измеренным данным, высоте h и дальности полета l , можно найти время полета, и начальную скорость шарика и записать уравнение траектории движения $y(x)$.

Для нахождения этих величин запишем закон движения шарика в координатной форме. Ускорение свободного падения g направлено вертикально вниз. По оси X движение будет равномерным, а по оси U – равноускоренным.

Следовательно, координаты (x, y) шарика в произвольный момент времени определяются уравнениями $x = v_0 t, (1)$ $y = \frac{gt^2}{2} (2)$

в точке падения $y = h$, поэтому из уравнения (2) можно найти время его полета:

$$t_n = \sqrt{\frac{2h}{g}}. \quad (3)$$

Координата x шарика в точке падения равна дальности полета шарика l , которая измеряется в работе линейкой. Из уравнения (1) легко найти начальную скорость шарика с

учетом выражения (3). $v_0 = \frac{l}{t_n} = l\sqrt{\frac{g}{2h}}$

Порядок выполнения работы:

1. Соберите экспериментальную установку, установите высоту вылета шарика около 20 см. Измерьте высоту h линейкой с миллиметровыми делениями. Определите абсолютную погрешность измерения $\Delta h =$

2. Запишите полученный результат высоты $h_{\text{изм}} = h \pm \Delta h$

3. Вычислите время полета шарика по формуле (3). При этом $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

$t_n =$

4. Для измерения дальности полета проведите пять пусков шарика из одной и тоже точки дугообразного лотка. Результаты измерений l_k ($k = 1, \dots, 5$) занесите в таблицу 1.

Таблица 1

Номер опыта, k	1	2	3	4	5
$l_k, \text{ м}$					

5. Вычислите среднюю дальность полета $l_{\text{ср}} =$

6. Найдите модуль отклонения каждого измерения от среднего арифметического значения $|l_k - l_{\text{ср}}|$. Запишите в таблицу 2.

Таблица 2.

Номер опыта, k	1	2	3	4	5
$ l_k - l_{\text{ср}} , \text{ м}$					

7. Рассчитайте случайную погрешность $\Delta l_{\text{ср}} =$

8. Вычислите максимальную абсолютную погрешность $\Delta l = \Delta l_{\text{ср}} + \Delta l_{\text{пр}} =$

9. Запишите результат измерения дальности полета $l =$

5. Вычислите начальную скорость шарика по формуле (4) $v_0 =$

11. Рассчитайте относительную погрешность косвенного измерения начальной скорости (см. табл. 2 справочного материала).

12. Найдите абсолютную погрешность косвенного измерения начальной скорости

$\Delta v_0 =$

13. Запишите окончательный результат измерения начальной скорости шарика.

$v_0 =$

Дополнительное задание. Сравните реальную баллистическую траекторию шарика с расчетной.

1. Для получения расчетной траектории движения $y(x)$ шарика, брошенного

горизонтально, выразите время t из уравнения (1): $t = \frac{x}{v_{0cp}}$.

Подставляя его в уравнение (2), получите уравнение параболы $y = \frac{g}{2v_{0cp}^2} \cdot x^2$ (5)

2. Используя уравнения (1), (2) и зная v_{0cp} , найдите координаты x и y шарика через каждые 0,05 с. Постройте расчетную траекторию движения на листке бумаги, прикрепленной к вертикальной фанерной доске. Для удобства используйте табл. 3.

t, с	0	0,05	0,10	0,15	0,20
y, м					
x, м					

3. Пустите шарик по желобу, сравните его реальную баллистическую траекторию с расчетной траекторией.

4. Сделайте вывод:

Лабораторная работа № 4

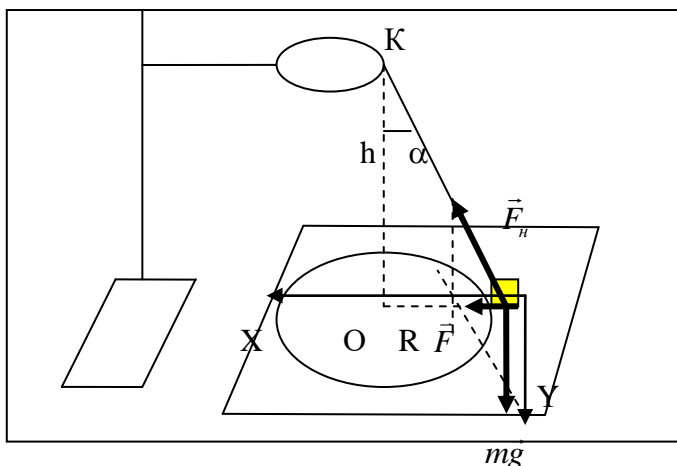
Движение тела по окружности под действием силы тяжести и упругости.

Цель работы: проверить справедливость второго закона Ньютона для движения тела по окружности под действием нескольких сил.

Оборудование, средства измерения: груз; нить; штатив с муфтой и кольцом; лист бумаги; измерительная лента; часы с секундной стрелкой.

Теоретическое обоснование:

Экспериментальная установка состоит из груза, привязанного на нити к кольцу штатива. На столе под маятником располагают лист бумаги, на котором нарисована окружность радиусом 10 см. Центр окружности находится на вертикали под точкой подвеса маятника. При движении груза по окружности, изображенной на листе, нить описывает коническую поверхность. Поэтому такой маятник называют *коническим*.



(рис.1)

1. Центробежное ускорение a_n маятника, направленное к точке O, создается одновременным действием на него силы тяжести mg и силы натяжения нити F_n . Второй закон Ньютона для движения груза в векторной форме имеет вид

$$m\vec{a}_n = m\vec{g} + \vec{F}_n \quad (1) \quad \text{уравнение в проекциях на оси принимает вид}$$

$$(X) \quad ma_n = F_n \cdot \sin\alpha \quad (2)$$

$$(Y) \quad 0 = mg - F_n \cdot \cos\alpha,$$

где α - угол, образуемый нитью с вертикалью

Выразим F_n из последнего уравнения и подставим в уравнение (2). Тогда, $a_n = g \cdot \tan\alpha$ (3)

Известно $a_n = \frac{4\pi^2}{T^2} R$. Период можно определить, измерив время t , за которое маятник

совершает N оборотов: $T = t/N$, из рисунка видно $\tan\alpha = R/h$, h - расстояние от точки подвеса до центра окружности O, радиуса R. Собрав в одну формулу (3) получим

$\frac{4\pi^2 N^2}{t^2} R = g \frac{R}{h}$ (4), формула (4) – прямое следствие второго закона Ньютона. Таким

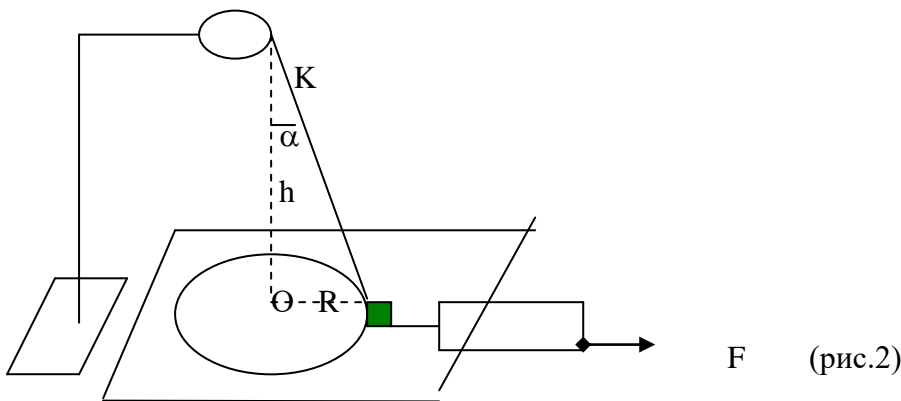
образом, первый способ проверки справедливости второго закона Ньютона сводится к экспериментальной проверке тождественности левой и правой части равенства.

2. Второй способ основан на непосредственном измерении равнодействующей силы \vec{F} силы тяжести $m\vec{g}$ и силы натяжения \vec{F}_n : $\vec{F} = m\vec{g} + \vec{F}_n$

Сила \vec{F} сообщает маятнику центростремительное ускорение $a_n = F/m$. С учетом формул ускорения и периода второй закон Ньютона принимает вид

$\frac{4\pi^2 N^2}{t^2} R = \frac{F}{m}$ (5), сила измеряется с помощью динамометра. Маятник оттягивают от

положения равновесия на расстояние равное радиусу окружности R , и снимают показания динамометра. Масса груза считается известной.



Следовательно, еще один способ проверки справедливости второго закона Ньютона, сводится к экспериментальной проверке тождественности левой и правой частей равенства (5). Так как у (4) и (5), левые части равенств равны, то можно сравнить выражения

$$\frac{4\pi^2 N^2}{t^2} R = \frac{F}{m} = g \frac{R}{h}$$

Порядок выполнения работы:

1. Соберите экспериментальную установку по рис. 1, выбирая длину маятника около 50 см.
2. На листе бумаги начертите окружность радиусом 10 см. (Погрешность измерения здесь $\Delta R = 0,2$ см.)
3. Лист бумаги расположите так, чтобы центр окружности находился под точкой подвеса маятника по вертикали, чуть касаясь бумаги.
4. Измерьте расстояние h между точкой подвеса K и центром окружности O сантиметровой лентой. $h =$

5. Погрешность определите используя справочный материал. $\Delta h =$
6. Приведите в движение конический маятник вдоль начерченной окружности с постоянной скоростью. Измерьте время t , в течении которого маятник совершает 10 оборотов. $t =$.
7. Определите абсолютную погрешность времени $\Delta t =$
8. Вычислите центростремительное ускорение груза – левую часть равенства (4)
- $$L_4 = a_n = \frac{4\pi^2 N^2}{t^2} R =$$
9. Рассчитайте относительную и абсолютную погрешности левой части равенства (4).
Смотри справочный материал, как рассчитать погрешность косвенных измерений.
 $\varepsilon =$; $\Delta L_4 = \Delta a_n =$;
10. Вычислите правую часть равенства (4) $\Pi_4 = gR/h =$
11. Рассчитайте относительную и абсолютную погрешности правой части
 $\varepsilon =$; $\Delta \Pi_4 =$
12. Запишите результат измерения правой и левой частей равенства
 $L_4 = L_{4\text{изм}} \pm \Delta L_4$ $\Pi_4 = \Pi_{4\text{изм}} \pm \Delta \Pi_4$
13. Сравните полученные результаты (см. справочный материал), сделай вывод
14. Оттяните маятник от положения равновесия на расстояние равное радиусу окружности R , и определите показания динамометра. $F =$,
15. при этом погрешность измерения силы определите используя справочный материал.
 $\Delta F =$
16. Вычислите правую часть формулы (5). При этом масса груза равна: $m = m \pm \Delta m =$
 $(100 \pm 0,5)$ г $\Pi_5 = F/m =$
17. Рассчитайте относительную и абсолютную погрешности Π_5 (смотри пункт 7):
 $\varepsilon =$ $\Delta \Pi_5 =$
18. Левые части равенств (4) и (5) равны то, $\Delta L_4 = \Delta L_5$
19. Запишите результат измерения правой и левой частей равенства
 $L_5 = L_{5\text{изм}} \pm \Delta L_5$ $\Pi_5 = \Pi_{5\text{изм}} \pm \Delta \Pi_5$
20. Сравните полученные результаты (см. справочный материал), сделай вывод
- Вывод:
-
-
-

Лабораторная работа № 5

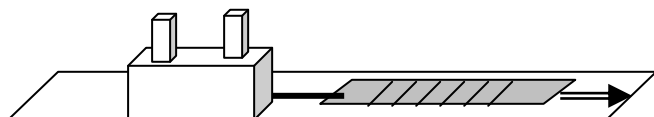
Измерение коэффициента трения скольжения.

Цель работы: измерить коэффициент трения скольжения деревянного бруска по деревянной линейке двумя различными способами.

Оборудование, средства измерения: 1) деревянный брусок, 2) набор грузов, 3) динамометр, 4) деревянная линейка, 5) измерительная лента.

Теоретическое обоснование

1. Принципиальная схема первого способа измерения коэффициента трения скольжения приведен на рисунке 1.



Деревянный брусок, на котором сверху помещаются грузы, присоединен к динамометру.

При приложении к динамометру внешней силы брусок может перемещаться по горизонтально расположенной деревянной линейке. При равномерном движении бруска его ускорение равно нулю. Согласно второму закону Ньютона, геометрическая сумма сил действующих на брусок в этом случае, равна нулю. Это означает, что сила трения скольжения уравновешивает силу растяжения пружины динамометра и может быть измерена динамометром.

Коэффициент трения скольжения определяется как коэффициент пропорциональности между силой трения $F_{тр}$ и силой нормального давления бруска F_{\perp} с грузами на опору (или весом тела), то есть остается постоянным: $F_{тр} = \mu F_{\perp}$ (1)

Сила нормального давления F_{\perp} в данном случае равна весу бруска вместе с грузом и определяется взвешиванием с помощью динамометра. Тогда по результатам измерений $F_{тр}$ и

F_{\perp} можно вычислить коэффициент трения скольжения: $\mu = \frac{F_{мп}}{F_{\perp}}$ (2)

Согласно формуле (1) графиком зависимости $F_{тр}$ от силы нормального давления F_{\perp} является прямая линия (рис 2). Как видно из графика, $\mu = \operatorname{tg}\alpha$ (где α – угол наклона прямой к оси абсцисс).

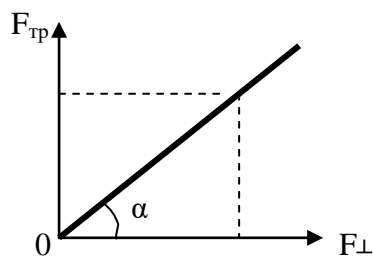


Рис. 2

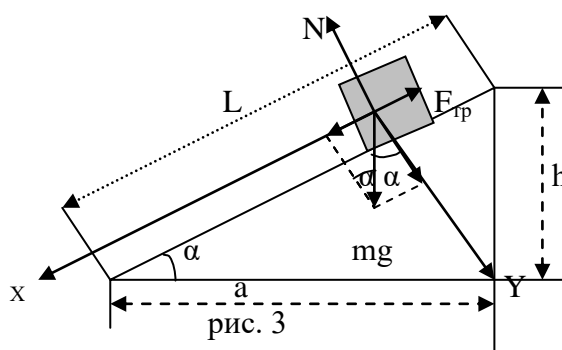


рис. 3

Второй способ измерения коэффициента трения скольжения не требует непосредственного измерения сил и соответственно использования динамометра. В этом случае один из концов линейки с помещенным на него бруском и грузом постепенно приподнимают до тех пор, пока при небольшом толчке брусок не начинает равномерно скользить вниз равномерно по

линейке (рис. 3). В этот момент линейка образует угол α с горизонталью, а сумма сил на оси X и Y, действующих на тело, будет равна нулю:

$$(X) \quad mg \sin \alpha - F_{\text{тр}} = 0,$$

$$(Y) \quad mg \cos \alpha - N = 0. \quad (3)$$

Учитывая, что $F_{\text{тр}} = \mu F_{\perp}$, а $F_{\perp} = N$ по третьему закону Ньютона, можно представить систему уравнений (3) в виде

$$\begin{cases} mg \sin \alpha = \mu N, \\ mg \cos \alpha = N. \end{cases} \quad (4)$$

беря отношения правых и левых частей системы получаем; $\mu = \operatorname{tg} \alpha$.

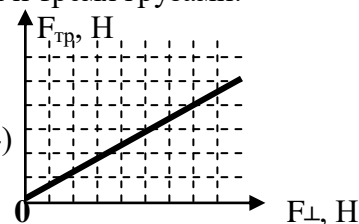
Как видно из рисунка 3 $\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{a}$, $a = \sqrt{l^2 - h^2}$, а следовательно $\mu = \frac{h}{\sqrt{l^2 - h^2}}$. (5)

Ход работы.

1. С помощью динамометра определите вес деревянного бруска P_0 , бруска вместе с одним грузом ($P_0 + P$), бруска с двумя грузами ($P_0 + 2P$), бруска с тремя грузами ($P_0 + 3P$). Результаты занесите в табл. 1 (в графу F_{\perp}). (Почему?)

	P_0	$P_0 + P$	$P_0 + 2P$	$P_0 + 3P$
F_{\perp}				
$F_{\text{тр}}$				

2. Динамометром равномерно тяните брусок по линейке, измеряя силу тяги F_T ($F_T = F_{\text{тр}}$). Опыт повторите, нагрузив брусок одним, потом двумя и тремя грузами. Результаты измерений $F_{\text{тр}}$ запишите в таблицу 1.
3. Постройте график зависимости $F_{\text{тр}}(F_{\perp})$ (рис. 4), используя данные табл.1. Через начало отсчета проведите прямую линию так, чтобы число точек над прямой (рис. 4) равнялось числу точек под прямой.



(Масштаб взять необходимо как можно больше) (Выберите сами удобный масштаб для построения графика).

4. Найдите коэффициент трения скольжения μ по формуле (5) как тангенс угла наклона прямой линии к ос абсцисс. (**Тангенс, это отношение ...!!!**)
Для этого выберите произвольную точку с координатами (F_{\perp} , $F_{\text{тр}}$) на прямой и найдите μ как отношение $\mu = \frac{F_{\text{тр}}}{F_{\perp}}$. (а это и есть тангенс угла наклона)
5. Через начало отсчета проведите прямую линию под минимальным углом наклона к горизонтали через экспериментальную точку. Рассчитайте минимальное значение коэффициента трения скольжения. $\mu_{\min} = \operatorname{tg} \alpha_{\min} =$
6. Оцените абсолютную погрешность измерения коэффициента трения скольжения.
 $\Delta\mu = \mu - \mu_{\min} =$

!!! Если все точки лежат на одной прямой графика, найдите табличное значение коэффициента трения и оцените погрешность измерения. (Смотри справочный материал).(Это бывает если масштаб берется малым).

7. Запишите окончательный результат: $\mu_1 \pm \Delta\mu_1 =$

Второй способ определения коэффициента трения.

1. Измерьте длину линейки $l = \dots$ (Пусть $\Delta l = 1 \text{ см}$).
2. На один из концов линейки поместите брусок с одним грузом и медленно приподнимите его (см. рис. 3). Измерьте высоту подъема h конца линейки, когда при небольшом толчке брусок начинает скользить вниз равномерно: $h = \dots$ (пусть $\Delta h = 1 \text{ см}$)
3. Вычислите коэффициент трения по формуле (5). $\mu = \dots$
5. Рассчитайте относительную погрешность косвенного измерения коэффициента трения скольжения по формуле $\varepsilon = \frac{\Delta\mu}{\mu} = \frac{\Delta h}{h} + \frac{l\Delta l + h\Delta h}{l^2 - h^2} = \dots$
6. Вычислите абсолютную погрешность косвенного измерения коэффициента трения скольжения $\Delta\mu = \dots$
7. Запишите окончательный результат.
 $\mu_2 \pm \Delta\mu_2 = \dots$
8. Сравните величины коэффициента трения скольжения, измеренные двумя различными способами. (См. справочный материал.)

9. Вывод: _____

Дополнительное задание: Доказать, что сила трения не зависит от площади трущихся поверхностей.

1. Деревянный брусок равномерно тяните динамометром по горизонтальной линейке, измеряя силу тяги.
2. Опыт повторите при перестановке бруска на другие грани с различной площадью поверхности.
3. Убедитесь, что сила трения скольжения не зависит от площади трущихся поверхностей, сделайте вывод.

Вывод: _____

(Дополнительная работа) Лабораторная работа «Измерение жесткости пружины»

Цель работы: найти жесткость пружины.

Материалы: 1) штатив с муфтами и лапкой; 2) спиральная пружина; 3) набор грузов известной массы.

Порядок выполнения работы:

1. Закрепите на штативе конец спиральной пружины (другой конец пружины снабжен стрелкой - указателем и крючком).

2. Рядом с пружинной или за ней установите и закрепите линейку с миллиметровыми делениями.

3. Отметьте и запишите то деление линейки, против которого приходится стрелка-указатель пружины $x_0 =$.

4. Подвесьте к пружине груз известной массы и измерьте вызванное им удлинение пружины $x_1 = x - x_0$.

5. Рассчитайте силу упругости при подвешивании первого груза, она равна силе тяжести $F_{упр} = F_t = mg$

6. К первому грузу добавьте второй, третий и т. д. грузы, записывая каждый раз удлинение $/x/$ пружины и силу упругости. По результатам измерений заполните таблицу (рис. 59):

Номер опыта	m , кг	mg Н	$/X/$ м
1			
2			
3			
4			

7. По результатам измерений постройте график зависимости силы упругости от удлинения и, пользуясь им, определите среднее значение жесткости пружины $k_{ср}$.

8. Найдите жесткость пружины по формуле как тангенс угла наклона прямой линии к ос абсцисс. (**Тангенс, это отношение ...!!!**)

Для этого выберите произвольную точку с координатами (mg , x) на прямой и найдите k

как отношение $k = \frac{mg}{x}$. (*a это и есть тангенс угла наклона*)

9. Через начало отсчета проведите прямую линию под минимальным углом наклона к горизонтали через экспериментальную точку. Рассчитайте минимальное значение жесткости. $k_{min} = \text{tg } \alpha_{min} =$

10. Оцените абсолютную погрешность измерения жесткости.

$$\Delta k = k - k_{min} =$$

!!! Если все точки лежат на одной прямой графика, найдите табличное значение жесткости и оцените погрешность измерения. (Смотри справочный материал). (Это бывает если масштаб берется малым).

11. Запишите окончательный результат: $k_1 \pm \Delta k_1 =$

Проверка закона сохранения энергии при действии сил тяжести и упругости.

Цель работы: измерить максимальную скорость тела, колеблющегося на пружине, с использованием закона сохранения энергии.

Оборудование, средства измерения: 1) динамометр, 2) штатив лабораторный, 3) груз массой 100 г – 2 шт., 4) измерительная линейка,

Теоретическое обоснование.

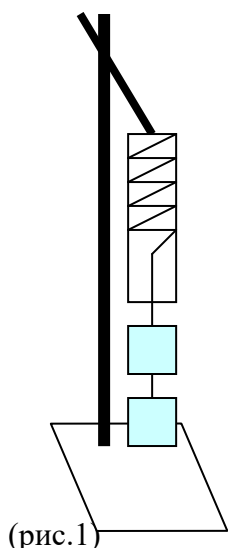
Схема экспериментальной установки приведена на рисунке 1.

Динамометр укреплен вертикально в лапке штатива. При подвешивании к динамометру грузов растяжение пружины определяется положением указателя. При этом максимальное удлинение (или статическое смещение) пружины x_0 возникает тогда, когда сила упругости пружины с жесткостью k уравнивает силу тяжести груза массой m : $kx_0 = mg$,

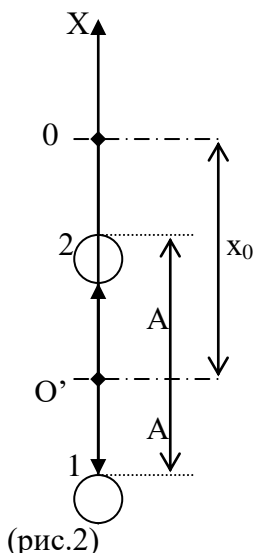
(1) где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения.

Следовательно,
$$x_0 = \frac{mg}{k}, \quad (2)$$

Статическое смещение характеризует новое положение равновесия O' нижнего конца пружины (рис. 2).



(рис.1)



(рис.2)

Если груз оттянуть вниз на расстояние A от точки O' и отпустить в точке 1, то возникают периодические колебания груза. В точках 1 и 2, называемых точками поворота, груз останавливается, изменяя направление движения на противоположное. Поэтому в этих точках скорость груза равна 0.

Максимальной скоростью v_{\max} груз будет обладать в средней точке O' . На колеблющейся груз действуют две силы: постоянная сила тяжести mg и переменная сила kx ,

Потенциальная энергия тела в поле силы тяжести в произвольной точке с координатой x равна mgx . Потенциальная энергия деформированного тела соответственно равна $\frac{kx^2}{2}$.

При этом за нуль отсчета потенциальной энергии для обеих сил принята точка $x = 0$, соответствующая положению указателя для нерастянутой пружины.

Полная механическая энергия груза в произвольной точке складывается из его потенциальной и кинетической энергии. Пренебрегая силами трения, воспользуемся законом сохранения полной механической энергии.

Приравняем полную механическую энергию груза в точке 2 с координатой $-(x_0 - A)$ и полную механическую энергию груза в точке O' с координатой (x_0) :

$$W_{T2} + W_{y2} + W_{k2} = W_{T0} + W_{y0} + W_{k0}$$

$$mg[-(x_0 - A)] + \frac{k[-(x_0 - A)]^2}{2} + \frac{m \cdot 0^2}{2} = mg(-x_0) + \frac{k(-x_0)^2}{2} + \frac{mv_{\max}^2}{2} \quad (3)$$

Раскрывая и делая преобразования выражения (3), получаем формулу $\frac{kA^2}{2} = \frac{mv^2}{2}$ (4)

Тогда модуль максимальной скорости грузов $v_{\max} = A\sqrt{\frac{k}{m}}$ (5)

Жесткость пружины можно найти, измерив статическое смещение x_0 . Как следует из формулы (1) $k = \frac{mg}{x_0}$. Соответственно $v_{\max} = A\sqrt{\frac{g}{x_0}}$ (7).

Порядок выполнения работы:

1. Соберите экспериментальную установку (см. рис. 1).
2. Измерьте линейкой статическое смещение пружины (новое положение равновесия нижнего конца пружины динамометра) при подвешивании груза. $X_0 =$, $\Delta x =$
3. Оттяните груз вниз на 5 – 6 см от нового положения равновесия, это будет амплитуда колебания A . Измерьте амплитуду колебания $A =$, $\Delta A =$
4. Рассчитайте модуль максимальной скорости колеблющегося груза по формуле (7) $v_{\max} =$; вычислите относительную погрешность $\varepsilon =$; рассчитайте абсолютную погрешность измерения скорости $\Delta v_{\max} =$ (См. справочный материал).

Запишите окончательный результат.

Дополнительное задание: Измерьте период колебания тела на пружине и определите его максимальную скорость.

Как известно, период колебания пружинного маятника связан с его массой и жесткостью по закону $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$. Максимальная скорость колебаний равна (из закона сохранения

энергии) $v_{\max} = \frac{2\pi A}{T}$, а период колебания можно определить как $T = \frac{t}{N}$, с учетом этих

формул можно получить $v_{\max} = \frac{2\pi AN}{t}$

Измерьте амплитуду колебаний A и время t десяти колебаний ($N = 10$) маятника и рассчитайте модуль максимальной скорости груза. (при измерении колебаний разверните указатель динамометра, чтобы он имел меньшую силу трения, совершая колебания вдоль шкалы).

$v_{\max} =$

Сравните результат с полученным ранее другим способом. (Обратись к справочному материалу).

Вывод: _____

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАКОНА СОХРАНЕНИЯ И ПРЕВРАЩЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Для выполнения этой работы на линейку трибометра помещают брусок и динамометр, связанные нитью (рис. 1). Если динамометр вместе с линейкой прижать рукой к столу, а брусок оттянуть, что бы динамометр показывал некоторую силу F , то потенциальную энергию пружины можно записать так:

$$E_p = \frac{Fx}{2}$$

где F — показание динамометра, x — растяжение пружины. После освобождения брусок будет двигаться до остановки и потенциальная энергия пружины израсходуется на совершение работы по преодолению силы трения на пути S . Эту работу можно представить таким выражением:

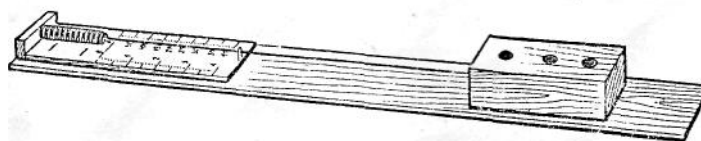
$$A = \mu mgS$$

где μ — коэффициент трения; m — масса бруска; g — ускорение свободного падения; S — путь бруска. По закону сохранения энергии

$$\frac{Fx}{2} = \mu mgS$$

следовательно,

$$\mu = \frac{Fx}{2mgS}$$



Силу F упругости пружины измеряют динамометром, деформацию пружины x — линейкой, путь S , пройденный бруском, — линейкой, массу m бруска — взвешиванием, g — величина постоянная.

Выполнение работы

Оборудование: 1) трибометр лабораторный с бруском; 2) динамометр пружинный на нагрузку 4Н; 3) линейка измерительная. 30—35 см с миллиметровыми делениями; 5) весы технические с разновесом; 6) набор грузов по механике; 7) прочная нить длиной 20—30 см.

1. Определите взвешиванием массу бруска m . $\Delta m = \dots$
2. К крючкам динамометра и бруска привяжите нить так, чтобы расстояние между ними было примерно 10 см, брусок с динамометром поместите на линейку, как показано на рисунке 1.
3. сделайте схему опыта.
4. Конец динамометра с петлей совместите с концом линейки и прижмите их рукой к столу. Затем оттяните брусок так, чтобы динамометр показывал силу $F = 1 \text{ Н}$ $\Delta F = \dots$
5. измерьте линейкой растяжение пружины. $X = \dots$, $\Delta x = \dots$,
6. Отметьте положение бруска и отпустите его.
7. Измерьте линейкой расстояние $S = \dots$, $\Delta S =$ пройденное бруском,
8. вычислите коэффициент трения μ .
9. Опыт повторите, изменив один раз массу бруска (поместите на него стограммовый груз), а другой раз — растяжение пружины (увеличьте показание динамометра на 1 Н).
10. найдите среднее значение коэффициента трения μ и вычислите абсолютную и относительную погрешность результата.

11. Если осталось время, определите коэффициент трения, пользуясь формулой, $\mu = \frac{F}{mg}$ Для

этого силу трения определите по показанию динамометра при равномерном перемещении бруска вдоль линейки, а массу бруска возьмите из первого опыта. Сравните полученные результаты.

Контрольные вопросы

1. Зависит ли коэффициент трения скольжения от изменения нагрузки на брусок и от изменения силы упругости пружины?
2. Какие приборы из оборудования к данной работе следует заменить, чтобы получить другое значение коэффициента трения?
3. Какое преобразование энергии происходит при выполнении описанного опыта?

Лабораторная работа № 7

Опытная проверка закона Гей-Люссака.

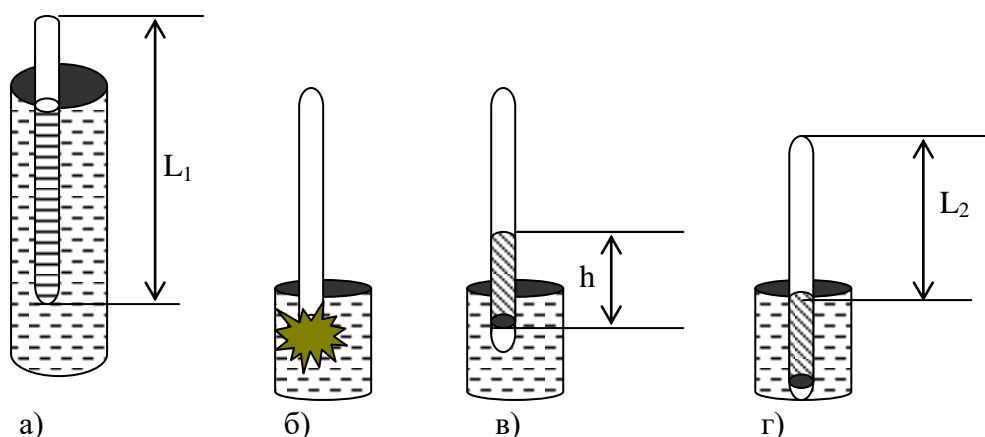
Цель работы: сделать заключение о качестве экспериментальной проверки закона Гей-Люссака путем сравнения параметров газа в двух термодинамических состояниях.

Оборудование, средства измерения: 1) стеклянная трубка, запаянная с одного конца, длиной 600 мм и диаметром 8 – 10 мм, 2) цилиндрический сосуд высотой 600 мм и диаметром 40 – 50 мм, наполненный горячей водой, 3) стакан с водой комнатной температуры, 4) пластилин.

Теоретическое обоснование.

Чтобы проверить закона Гей-Люссака, достаточно измерить объем и температуру газа в двух состояниях при постоянном давлении и проверить справедливость равенства $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$

получаемого из закона Гей-Люссака $\frac{V}{T} = const$. Это можно осуществить, используя воздух при атмосферном давлении.



Стеклянная трубка открытым концом помещается на 3 – 5 мин в цилиндрический сосуд с горячей водой (рис а). В этом случае объем воздуха равен $V_1 = SL_1$, температура – температуре горячей воды T_1 . Это первое состояние. Чтобы при переходе воздуха во второе состояние его количество не изменилось, открытый конец стеклянной трубки, находящейся в горячей воде, закрывают пластилином. После этого трубку вынимают из сосуда с горячей водой и закрытый конец быстро опускают в стакан с водой комнатной температуры (рис.б), а затем под водой снимают пластилин. По мере охлаждения воздуха в трубке вода в ней будет подниматься. После прекращения подъема воды в трубке (рис. в) объем воздуха в ней станет равным $V_2 = SL_2 < V_1$, а давление $P = P_{атм} - \rho gh$. Чтобы давление воздуха в трубке вновь стало равным атмосферному, необходимо увеличить глубину погружения трубки в стакан до тех пор, пока уровни воды в трубке и стакане не выровняются (рис. г). Это будет второе состояние воздуха в трубке при температуре T_2 окружающего воздуха. Отношение объемов воздуха в трубке в первом и втором состояниях можно заменить отношением высот воздушных столбов в трубке в этих состояниях, если сечение трубки постоянно по всей длине. $(\frac{V_1}{V_2} = \frac{SL_1}{SL_2} = \frac{L_1}{L_2})$. Поэтому в работе следует сравнивать отношения L_1/L_2 и T_1/T_2 .

Длина воздушного столба измеряется линейкой, температура – термометром.

Порядок выполнения работы:

1. Измерьте длину L стеклянной трубки. $L_1 = \dots$; $\Delta L_1 = \dots$.
2. Опустите стеклянную трубку в цилиндрический сосуд с горячей водой. Измерьте температуры воды в цилиндрическом сосуде с горячей водой. $T_1 = \dots$; $\Delta T = \dots$.
3. Подержав 3 – 5 мин в цилиндре стеклянную трубку, закройте стеклянную трубку пластилином, приведите воздух в трубке во второе состояние так, как об этом рассказано выше в теоретическом обосновании. Измерьте длину воздушного столба L_2 как показано на рисунке (в) $L_2 = \dots$; $\Delta L_2 = \dots$.
4. Измерьте температуру окружающего воздуха $T_2 = \dots$; $\Delta T_2 = \dots$.
5. Вычислите отношения L_1/L_2 и T_1/T_2 , $L_1/L_2 = \dots$;
 $T_1/T_2 = \dots$
6. Вычислите относительные и абсолютные погрешности измерений этих отношений. (См. справочный материал). $\varepsilon_1 = \dots$; $\varepsilon_2 = \dots$
 $\Delta (L_1/L_2) = \dots$ $\Delta (T_1/T_2) = \dots$
7. Запишите полученные результаты $L_1/L_2 =$
 $T_1/T_2 = \dots$
8. Сравните полученные результаты и сделайте заключение о качестве экспериментальной проверки закона Гей-Люссака путем сравнения параметров газа в двух термодинамических состояниях.
9. Сделайте вывод о справедливости закона Гей-Люссака.

Лабораторная работа № 8

Измерение относительной влажности воздуха с помощью термометра и гигрометра.

Цель работы: Измерить относительную влажность воздуха в классной комнате с помощью волосяного гигрометра и используя термометр и психометрическую таблицу.

Оборудование, средства измерения: 1) гигрометр волосяной, 2) термометр, 3) стакан с водой комнатной температуры, 4) таблица психометрическая, кусочек марли или ваты.

Теоретическое обоснование.

Волосяной гигрометр непосредственно измеряет относительную влажность воздуха в процентах. Основным элементом является обезжиренный конский волос, который меняет длину при изменении влажности воздуха. Проверку и установку волосяного гигрометра производят на основании определения относительной влажности воздуха с помощью психометра. Для установки стрелки гигрометра на соответствующее деление шкалы служит регулировочный винт.

Психометр определяет относительную влажность воздуха по разности температур термометров, термометра в сухом состоянии и термометра резервуар, которого окружен полоской влажной ткани. Затем используется специальная психометрическая таблица для определения относительной влажности воздуха.

Порядок выполнения работы:

1. Измерьте температуру воздуха в классной комнате $T_1 = \dots$
2. Измерьте температуру воды в стакане находящемся в классной комнате. $T_2 = \dots$
3. Сравните температуры, насколько они отличаются или нет?
 T_1 _____ T_2
4. Резервуар термометра оберните кусочком увлажненной ткани или ваты, подождите до тех пор, пока понижение температуры не прекратится. Снимите показания термометра.
 $T_3 = \dots$
5. Найдите разность температур «сухого» и «влажного» термометров.
 $T_1 - T_3 = \dots$
6. С помощью психометрической таблицы определите относительную влажность в воздухе класса.
 $\varphi_1 = \dots$
7. Определите относительную влажность в воздухе классе с помощью гигрометра.
 $\varphi_2 = \dots$
8. Сделайте вывод:

Лабораторная работа № 9

Изучение капиллярных явлений, обусловленных поверхностным натяжением жидкости.

Цель работы: измерить средний диаметр капилляров.

Оборудование, средства измерения: 1) сосуд с подкрашенной жидкостью, 2) полоска фильтровальной бумаги, 3) полоска хлопчатобумажной ткани, 4) линейка измерительная

Теоретическое обоснование

Смачивающаяся жидкость втягивается внутрь капилляра. Подъем жидкости в капилляре происходит до тех пор, пока результирующая сила, F_B действующая на жидкость вверх, не уравнивается силой тяжести mg столба жидкости высотой h : $F_B = mg$.

По третьему закону Ньютона сила F_B , действующая на жидкость, равна силе поверхностного натяжения $F_{\text{пов}}$, действующей на стенку капилляра по линии соприкосновения ее с жидкостью: $F_B = F_{\text{пов}}$.

Таким образом, при равновесии жидкости в капилляре (рис. 1) $F_{\text{пов}} = mg$. (1)

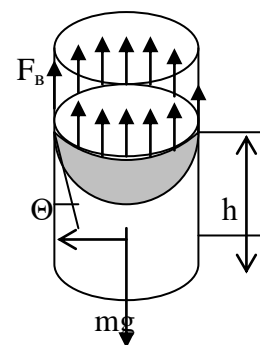
Будем считать, что мениск имеет форму полусферы, радиус которого равен радиусу r капилляра. Длина контура, ограничивающего поверхность жидкости, равна длине окружности: $l = 2\pi r$.

Тогда сила поверхностного натяжения равна: $F_{\text{пов}} = \sigma * 2\pi r$. (2), где σ – коэффициент поверхностного натяжения жидкости.

Масса столба жидкости объемом $V = \pi r^2 h$ равна: $m = \rho V = \rho \pi r^2 h$. (3)

Подставляя выражение (2) для $F_{\text{пов}}$ и массы (3) в условие равновесия жидкости в капилляре, получим

$$\sigma * 2\pi r = \rho \pi r^2 h g \quad \text{откуда диаметр капилляра } D = 2r = \frac{4\sigma}{\rho g h}. \quad (4)$$



Порядок выполнения работы.

1. Полосками фильтровальной бумаги и хлопчатобумажной ткани одновременно прикоснитесь к поверхности подкрашенной воды в стакане, наблюдая поднятие воды в полосках.

2. Как только прекратится подъем воды, полоски выньте и измерьте линейкой высоты поднятия в них воды h_1 и h_2 .

$$h_1 = \quad \quad \quad h_2 =$$

3. Абсолютные погрешности измерения принимают равными удвоенной цене деления линейки. $\Delta h =$

4. Рассчитайте диаметр капилляров по формулам (4)

$$D_1 = \frac{4\sigma}{\rho g h} =$$

$$D_2 = \frac{4\sigma}{\rho g h} =$$

Для воды $\sigma \pm \Delta \sigma = (7,3 \pm 0,05) * 10^{-2}$ Н/м.

5. Рассчитайте абсолютные и относительные погрешности при косвенном измерении диаметра капилляров. $\varepsilon_1 = \dots$; $\varepsilon_2 = \dots$

Погрешностями Δg и $\Delta \rho$ можно пренебречь.

6. Запишите окончательный результат измерения диаметра капилляров.

Лабораторная работа № 10

Измерение удельной теплоемкости вещества.

Цель работы: определить удельную теплоемкость металла.

Оборудование, средства измерения: 1) калориметр с водой, 2) чайник (один на класс), 3) цилиндр металлический на нити, 4) бумага фильтровальная, 5) весы с гирями, 6) термометр.

Теоретическое обоснование

В калориметр массой m_1 налита вода массой m_2 при температуре t_1 . Из чайника с кипящей водой достают металлический цилиндр массой m , имеющий температуру t_2 , и погружают его в калориметр. Когда температура воды в калориметре перестанет повышаться, снимают показания термометром это значение Θ .

Количество теплоты $Q_{\text{отд}}$, отданное металлическим цилиндром при остывании до температуры Θ , равно: $Q_{\text{отд}} = cm(t_2 - \Theta)$, (1) где c – удельная теплоемкость вещества цилиндра.

Количество теплоты $Q_{\text{пол}}$, полученное калориметром и водой при нагревании до температуры Θ , $Q_{\text{пол}} = c_1m_1(\Theta - t_1) + c_2m_2(\Theta - t_1)$, (2)

Где c_1 – удельная теплоемкость металла, из которого сделан калориметр, c_2 – удельная теплоемкость воды.

При теплообмене количество теплоты, отданное нагретым телом (металлическим цилиндром), равно количеству теплоты, полученному холодными телами (калориметром и водой): $Q_{\text{отд}} = Q_{\text{пол}}$, или $cm(t_2 - \Theta) = c_1m_1(\Theta - t_1) + c_2m_2(\Theta - t_1)$ (3)

Из уравнения теплового баланса можно найти неизвестную удельную теплоемкость металла, из которого изготовлен цилиндр:

$$c = \frac{(c_1m_1 + c_2m_2)(\Theta - t_1)}{m(t_2 - \Theta)} \quad .(4)$$

Порядок выполнения работы.

1. В чайник с водой поместите цилиндр, изготовленный из металла с неизвестной удельной теплоемкостью. Воду в чайнике нагрейте до кипения.

2. Определите на весах массу внутреннего сосуда калориметра. $m_1 = \dots$, $\Delta m_1 = \dots$

3. Налейте воду в калориметр (менее половины объема) и определите массу калориметра с водой. $m_1 + m_2 = \dots$, $\Delta(m_1 + m_2) = \dots$

4. Определите массу воды в калориметре $m_2 = \dots$ $\Delta m_2 = \dots$

5. Собрав калориметр, измерьте начальную температуру воды термометром. $t_1 = \dots$

6. Из чайника с кипящей водой достаньте металлический цилиндр при температуре, близкой к $t_2 = 100^\circ\text{C}$, и быстро перенесите его в калориметр.

10. Измерьте температуру воды Θ при установлении теплового баланса, т.е. когда температура воды перестанет повышаться. $\Theta = \dots$

8. Выньте металлический цилиндр из воды и осушив фильтровальной бумагой, определите его массу. $m = \dots$ $\Delta m = \dots$

9. Вычислите удельную теплоемкость металла, из которого изготовлен цилиндр, по формуле (4) $c = \dots$ (где $c_1 = 920 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$; $c_2 = 4180 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$).

10. Абсолютные погрешности измерения масс Δm_1 , Δm_2 , Δm определяются массой минимальной разновески при взвешивании. Из-за выполнения неравенств $\Delta m_1 \ll m_1$; $\Delta m_2 \ll m_2$; $\Delta m \ll m$ погрешностями при измерении масс можно пренебречь. Поэтому относительную погрешность при косвенном измерении удельной теплоемкости можно представить выражением

$$\varepsilon = \frac{\Delta c}{c} = \frac{\Delta(\Theta - t_1)}{\Theta - t_1} + \frac{\Delta(t_2 - \Theta)}{t_2 - \Theta} =$$

11. Рассчитайте абсолютную погрешность измерения удельной теплоемкости $\Delta c = \dots$

12. Запишите окончательный результат.

Лабораторная работа № 11

Измерение емкости конденсатора.

Цель работы: изучить устройство плоского конденсатора и рассчитать его емкость.

Оборудование, средства измерения: 1) пластинки металлические – 2 шт., 2) пластинка стеклянная, 3) штангенциркуль, 4) линейка измерительная.

Теоретическое обоснование.

Электрическая емкость конденсатора – физическая величина, равная отношению заряда одного из проводников к разности потенциалов между этим проводником и соседним:

$$C = Q/U \quad (1)$$

В работе измеряется емкость плоского конденсатора – системы двух плоскопараллельных пластин площадью S , находящихся на расстоянии d друг от друга.

Пространство между пластинами заполнено диэлектриком с относительной диэлектрической проницаемостью ϵ (вставлена стеклянная пластина толщиной d).

Вычисление емкости сводится к расчету разности потенциалов U между пластинами. В однородном поле плоского конденсатора с напряженностью E между пластинами $U = Ed$. (2)

Напряженность E складывается (по принципу суперпозиции) из напряженностей полей, созданных положительной E_+ и отрицательной E_- пластинами: $E = E_+ + E_-$. (3)

В свою очередь, в среде с относительной диэлектрической проницаемостью ϵ

$$E_+ = E_- = \frac{Q}{2S\epsilon\epsilon_0}, \quad (4) \quad \text{где } \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}^2/(\text{Н} \cdot \text{м}^2) \text{ – электрическая постоянная.}$$

Следовательно, разность потенциалов между пластинами плоского конденсатора:

$$U = \frac{Qd}{S\epsilon\epsilon_0}. \quad (5)$$

Подставляя значение U в формулу (1), находим емкость плоского конденсатора с диэлектриком. $C = \frac{S\epsilon\epsilon_0}{d}$. (6)

Емкость конденсатора зависит как от его геометрических характеристик (площади пластин, расстояние между ними), так и от относительной диэлектрической проницаемости вещества, заполняющего пространство между пластинами. Емкость не зависит от заряда на пластинах и разности потенциалов, приложенной к ним.

Порядок выполнения работы.

1. Соберите из двух металлических пластин и одной стеклянной плоский конденсатор.
2. Разберите плоский конденсатор, измерьте длину a и ширину b металлической пластины линейкой. $a = \dots$; $b = \dots$. $\Delta a = \dots$; $\Delta b = \dots$.
3. Рассчитайте площадь пластин S и погрешности измерения $S = \dots$; $\epsilon = \dots$; $\Delta S = \dots$
4. Измерьте штангенциркулем толщину стеклянной пластины. $d = \dots$; $\Delta d = \dots$.
5. Найдите относительную диэлектрическую проницаемость $\epsilon = \dots$;
6. Рассчитайте емкость плоского конденсатора с диэлектриком по формуле (6) $C = \dots$
7. Вычислите относительную и абсолютную погрешность косвенного измерения емкости. $\epsilon = \dots$; $\Delta C = \dots$
11. Запишите окончательный результат измерения емкости плоского конденсатора с диэлектриком.