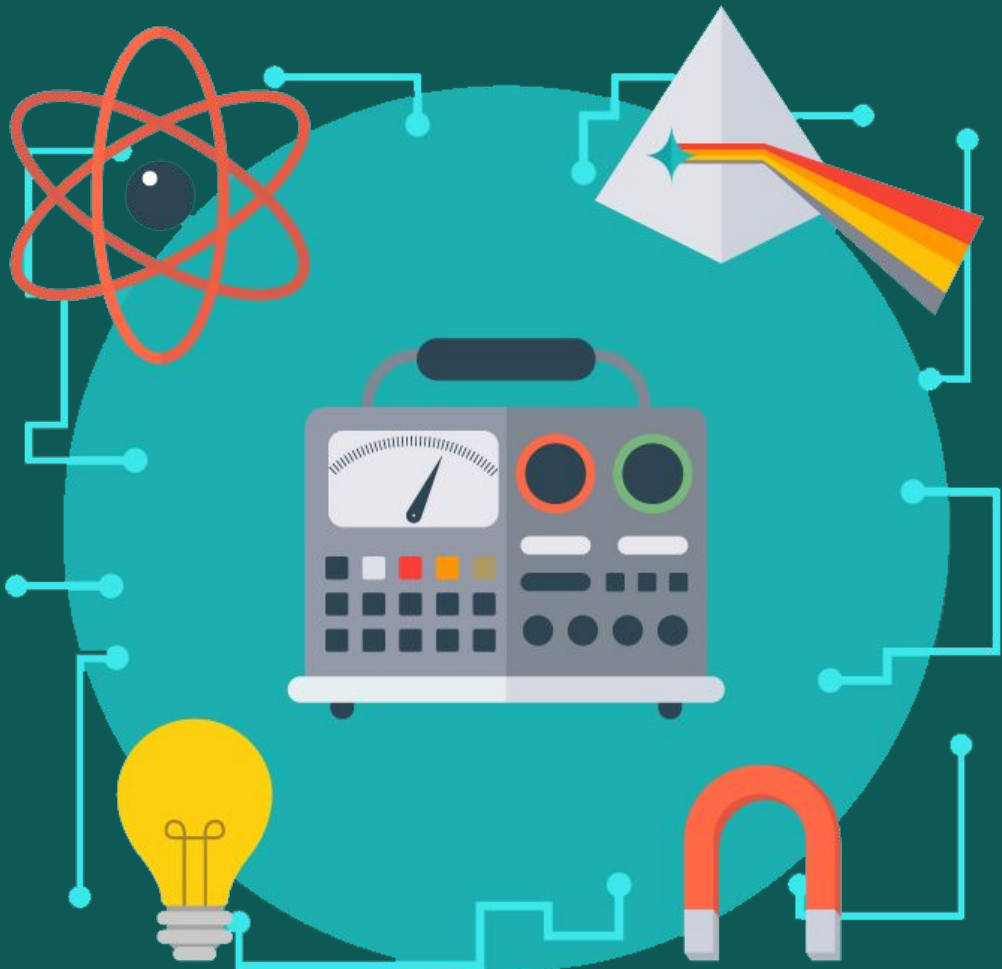


ПРАКТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

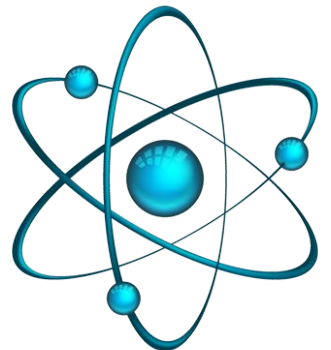


Доцент кафедры
экспериментальной
физики
Ерина Марина Васильевна

Лекция № 3

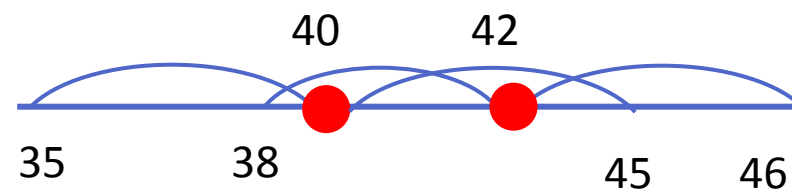
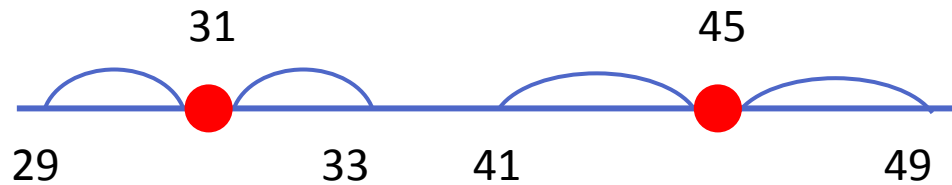
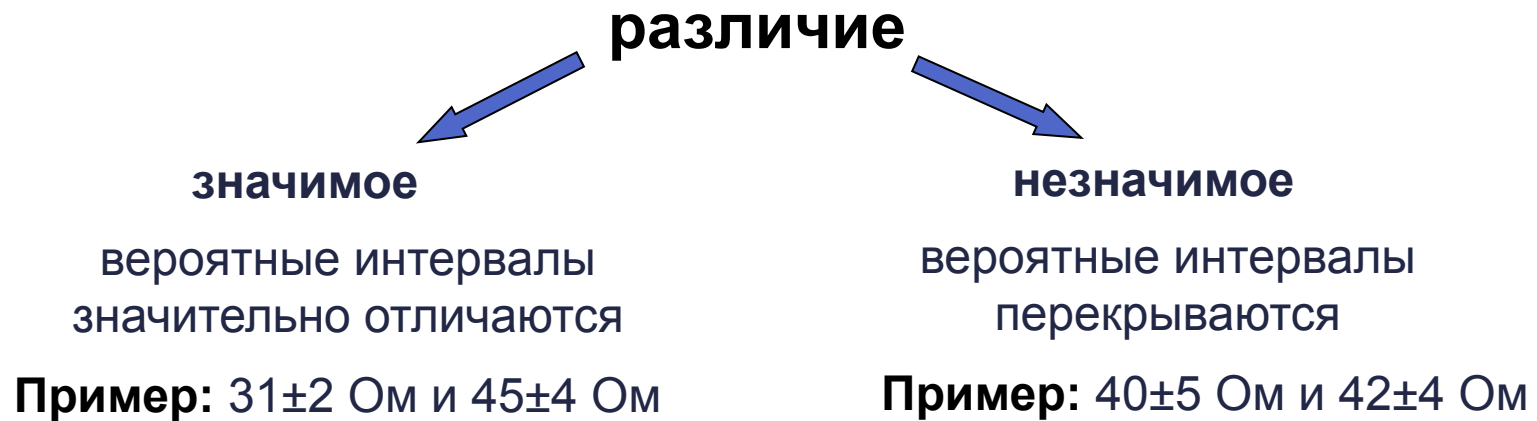
Представление результатов эксперимента

- Сравнение измеренных значений
- Действия над приближенными числами
- Основные требования, предъявляемые к построению графиков
- Содержание отчета



Сравнение измеренных значений

Различие между результатами - это разность между двумя измеренными значениями одной и той же величины.



Опыт с двумя тележками по проверке закона сохранения импульса

ИМПУЛЬС



Начальный
Конечный
импульс

$$p = \bar{p} \pm \Delta p$$
$$p' = \bar{p}' \pm \Delta p'$$

$p (\pm 0,04)$	$p' (\pm 0,06)$	$p-p'$
1,49	1,56	-0,07
2,10	2,12	-0,02
1,16	1,05	0,11

Наилучшая оценка разности $\bar{p} - \bar{p}'$

Наибольшее вероятное значение разности будет при $p = \bar{p} + \Delta p$ и $p' = \bar{p}' - \Delta p'$

Т. е. $(\bar{p} - \bar{p}')_{\max} = (\bar{p} - \bar{p}') + (\Delta p + \Delta p')$

Наименьшее вероятное значение разности будет при $p = \bar{p} - \Delta p$ и $p' = \bar{p}' + \Delta p'$

Т. е. $(\bar{p} - \bar{p}')_{\min} = (\bar{p} - \bar{p}') - (\Delta p + \Delta p')$ \rightarrow $p - p' = (\bar{p} - \bar{p}') \pm (\Delta p + \Delta p')$

Погрешность разности есть сумма абсолютных погрешностей $\boxed{\Delta p + \Delta p'}$

$p (\pm 0,04)$	$p' (\pm 0,06)$	$p - p' (\pm 0,1)$
1,49	1,56	-0,07
2,10	2,12	-0,02
1,16	1,05	0,11

По сравнению с погрешностью все значения разностей импульсов не отличаются от нуля

Некоторые простые правила вычисления ошибок в косвенных измерениях

Вид зависимости	Абсолютная погрешность	Относительная погрешность
$x+y$	$\Delta x + \Delta y$	$\frac{\Delta x + \Delta y}{x + y}$
$x-y$	$\Delta x + \Delta y$	$\frac{\Delta x + \Delta y}{x - y}$
$x \cdot y$	$x \cdot \Delta y + y \cdot \Delta x$	$\frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta y}{y}$
x/y	$\frac{x \cdot \Delta y + y \cdot \Delta x}{y^2}$	$\frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta y}{y}$

Пример:

Проводятся измерения двух чисел x и y . Результат дает $x=10\pm 1$ $y=20\pm 1$. Какова наилучшая оценка для произведения $q=x\cdot y$? Используя наибольшие вероятные значения для x и y (11 и 21), вычислите наиболее вероятное значение для q . Найдите аналогично наименьшее вероятное значение q и интервал, в котором лежит q . Сравните результат с абсолютной погрешностью произведения. Сделайте то же самое для измерений $x=10\pm 8$, $y=20\pm 15$.

Решение:

а) $q_{\text{наил}} = 10 \cdot 20 = 200$. Наибольшее вероятное значение $q_{\text{max}} = 11 \cdot 21 = 231$; наименьшее вероятное значение $q_{\text{min}} = 9 \cdot 19 = 171$.

Правило

$$q = x \cdot y \cdot \left(1 \pm \left(\frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta y}{y} \right) \right) \quad (*)$$

дает $q = 200 \pm 30$, что хорошо согласуется с полученными значениями.

б) Наибольшее вероятное значение $q_{\text{max}} = 18 \cdot 35 = 630$; наименьшее вероятное значение $q_{\text{min}} = 2 \cdot 5 = 10$. Правило (*) дает $q = 200 \pm 300$ (т.е. $q_{\text{max}} = 500$; $q_{\text{min}} = -100$).

Причина столь сильного расхождения состоит в том, что правило (*) применимо только тогда, когда относительные погрешности малы по сравнению с единицей. Это условие (которое обычно реализуется на практике) в данном случае нарушено.

Действия над приближенными числами

Правило 1. При сложении и вычитании приближенных чисел при записи результата следует сохранять столько десятичных знаков, сколько их в исходном приближенном числе с наименьшим количеством десятичных знаков.

Пример:

$$6,28 + 13,1 + 5,482 = 24,862 \approx 24,9.$$

Правило 2. При сложении и вычитании приближенных чисел в полученном результате по правилам округления нужно отбрасывать цифры тех разрядов справа, в которых отсутствуют значащие цифры хотя бы в одном из данных приближенных чисел.

Пример:

$$0,184 + 120,71 + 215 + 62,0 = 397,894 \approx 398.$$

Правило 3. При умножении и делении в результате следует сохранять столько значащих цифр, сколько их в приближенном числе, данном с наименьшим количеством значащих цифр.

Пример:

$$1,5 \cdot 25 = 37,5 \approx 38$$

Правило 4. При возведении числа в квадрат и куб в результате следует сохранять столько значащих цифр, сколько их в возводимом в степень приближенном числе.

Пример:

$$2,5^2 = 6,25 \approx 6,3$$

Правило 5. При извлечении квадратного и кубического корней в результате следует записывать столько же значащих цифр, сколько у подкоренного приближенного числа.

Пример:

$$\sqrt{3,2} \approx 1,8; \sqrt{8,0} \approx 2,8; \sqrt{16} \approx 4,0$$

Правило 6. При вычислении промежуточных результатов следует брать на одну значащую цифру больше, чем рекомендуют предыдущие правила.

Замечание. В окончательном результате эту «запасную» цифру отбрасывают.

Правило 7. Данные, у которых больше десятичных знаков или значащих цифр, чем у других, следует предварительно округлять, сохраняя лишь одну запасную цифру.

Пример:

$$13,5955 \cdot 25 \approx 13,6 \cdot 25 = 340 \approx 0,34 \cdot 10^3$$

Правило 8. Если угол задан с точностью до градусов, то у значения тригонометрической функции следует сохранять две значащие цифры.

Пример:

$$\frac{\sin 18^\circ}{\sin 12^\circ} \approx \frac{0,309}{0,208} \approx 1,49 \approx 1,5.$$

Правило 9. Если численное значение тригонометрической функции имеет не менее двух значащих цифр, то значение соответствующего угла записывают с точностью до градусов.

Пример:

$$\sin \alpha = 0,12, \alpha \approx 7^\circ; \quad \operatorname{tg} \beta = 0,716, \beta \approx 36^\circ$$

Основные требования, предъявляемые к построению графиков

1. Графики строят на бумаге (лучше миллиметровой) линейкой и карандашом, либо с помощью специальных компьютерных программ для построения графиков (затем распечатываются). Готовый график должен быть вложен в отчет по лабораторной работе. Размер графика должен быть не меньше листа А5.
2. На координатных осях должны быть указаны обозначения откладываемых величин и единицы их измерения.
3. Начало координат при необходимости может не совпадать с нулевыми значениями величин. Его выбирают таким образом, чтобы поверхность бумаги была использована максимально.
4. Экспериментальные точки изображаются четко и крупно в виде кружков, крестиков, разноцветных точек и т.п.

5. Масштабные деления на координатных осях следует наносить равномерно. Координаты экспериментальных точек на осях не указывают, а линии, определяющие эти координаты, не проводят.
6. Масштаб выбирают таким образом, чтобы:
 - а. Кривая была равномерно растянута вдоль обеих осей (если график представляет собой прямую, то угол ее наклона к осям должен быть близок к 45°).
 - б. Положение любой точки можно было определить легко и быстро. Масштаб по осям графика должен быть кратен 2, 5, 10, 50 и т. д. значениям единиц измеренной величины.
7. Учитывая, что экспериментальные данные содержат определенную случайную погрешность, кривую (прямую), изображающую экспериментальную зависимость, следует проводить не по точкам, а между ними – так, чтобы количество точек по обе стороны от нее было одинаковым. Кривая должна быть плавной.
8. На графике необходимо отложить погрешность измерения величин (доверительный интервал). Делается это с помощью вертикальных и горизонтальных отрезков, симметрично расположенных относительно экспериментальных точек.

Пусть требуется построить график зависимости пути от времени $S=f(t)$ при равномерном движении тела. Результаты измерений приведены в таблице:

t, с	10	12	14	15	16	18	19	22
S, м	20	23	30	31	34	34	38	43

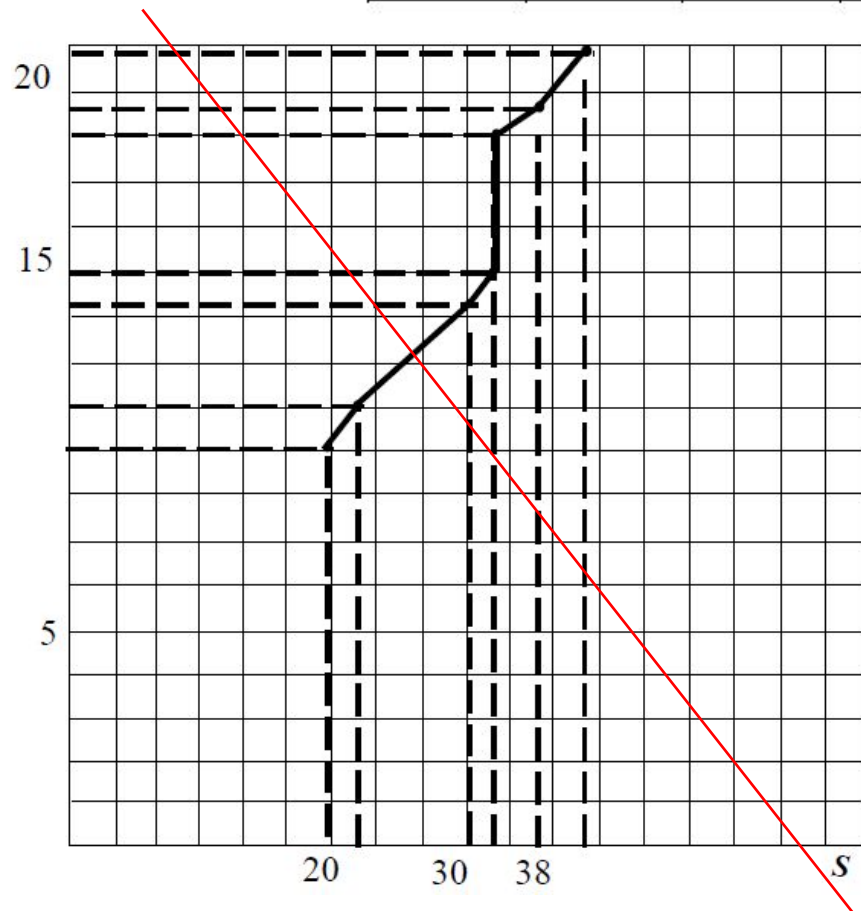


Рис. 1

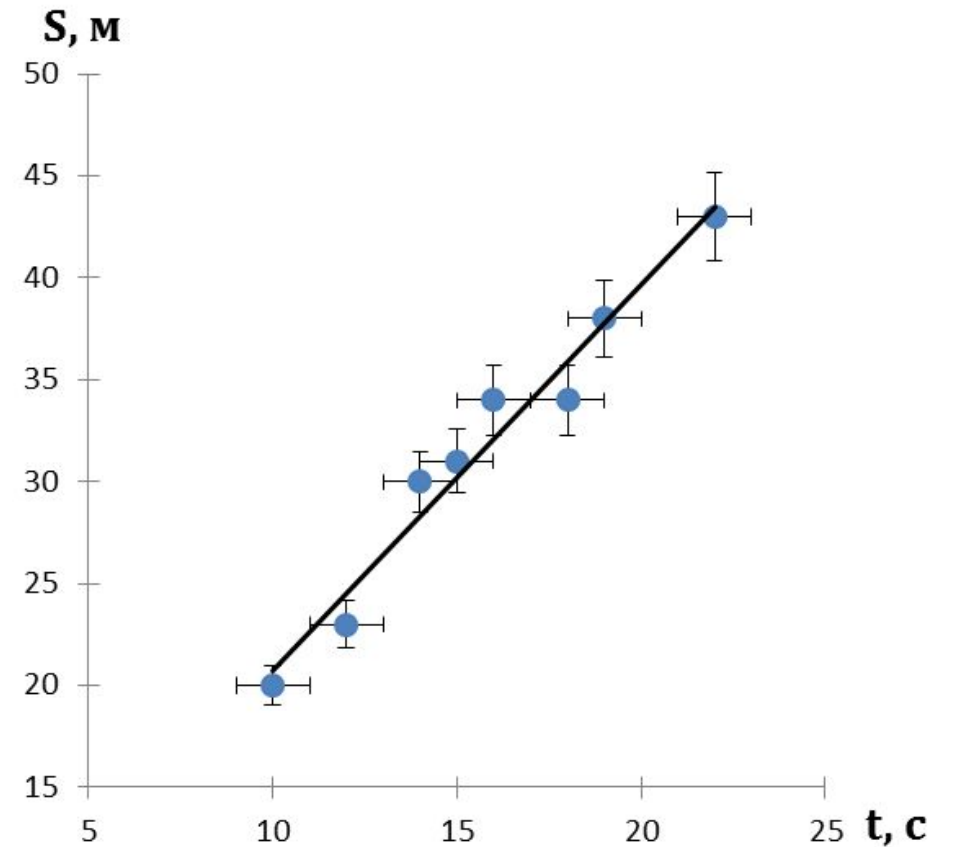
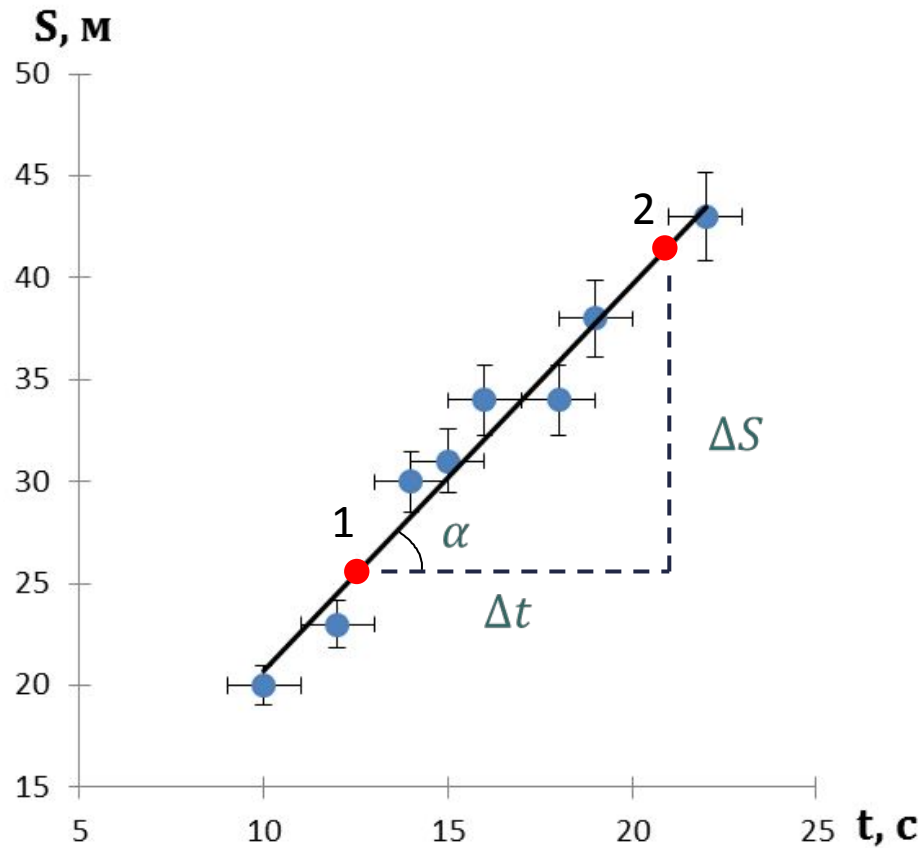


Рис. 2

Что можно определить из графиков?



$$S = S_0 + V_0 t$$

$$S_1 = S_0 + V_0 t_1$$

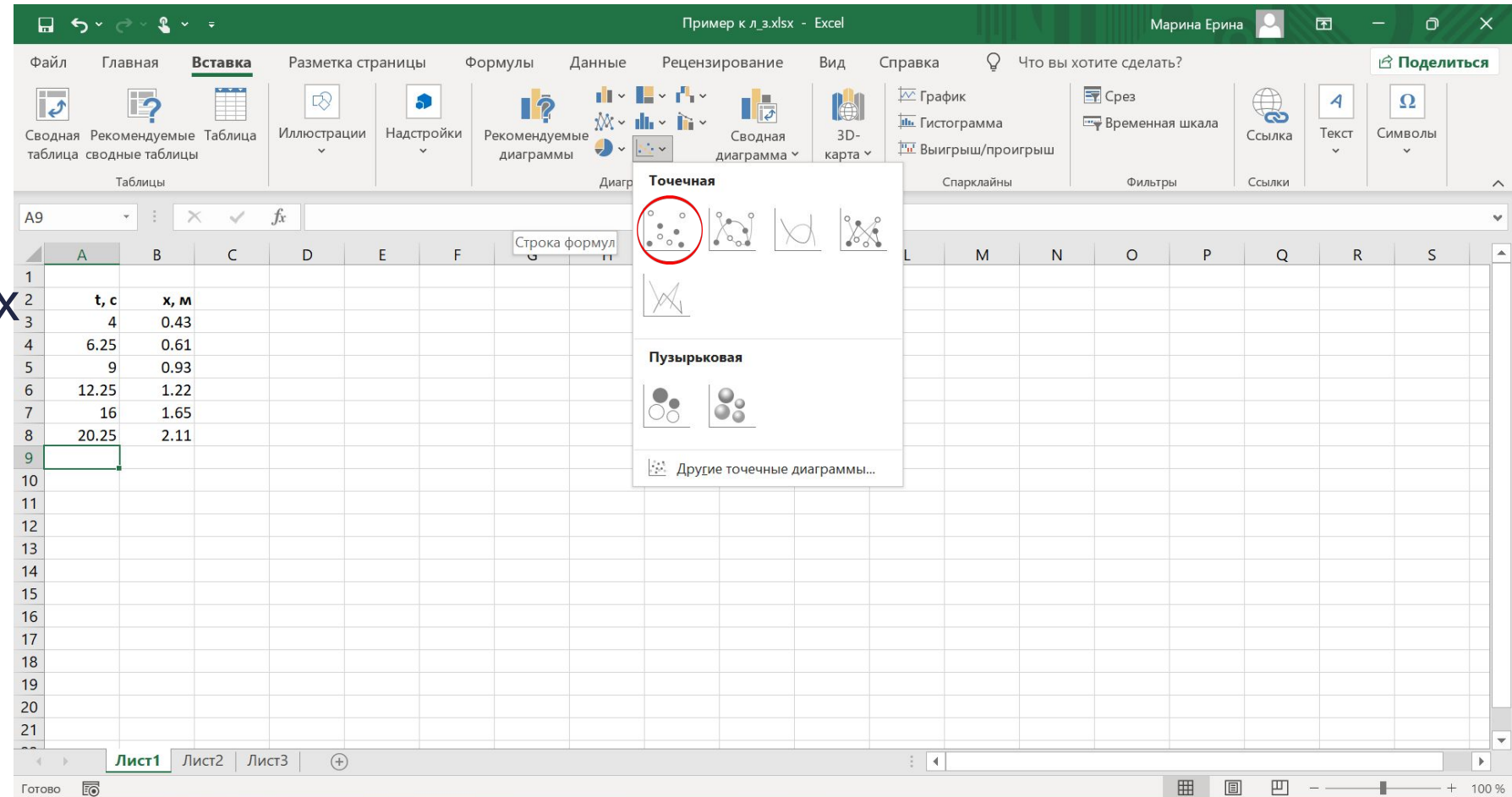
$$S_2 = S_0 + V_0 t_2$$

$$\Delta S = V_0 \Delta t \quad \Rightarrow \quad V_0 = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad \Rightarrow \quad V_0 = \operatorname{tg} \alpha$$

Построение графиков с помощью MS Excel

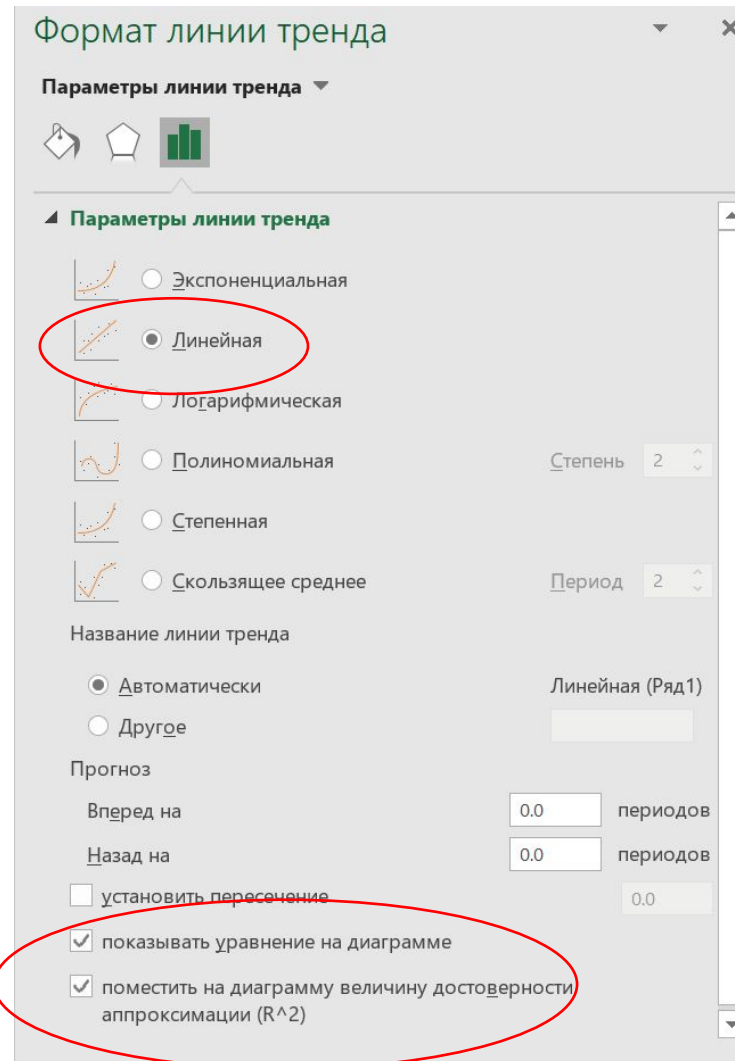
Для построения графиков при обработке экспериментальных результатов следует выбирать опцию **Точечная с маркерами**.



The screenshot shows the Microsoft Excel interface with the 'Вставка' (Insert) ribbon selected. A chart selection menu is open, showing various chart types. The 'Точечная' (Scatter) option is highlighted with a red circle. Below it, the 'Пузырьковая' (Bubble) option is visible. The spreadsheet contains the following data:

	A	B	C	D	E	F
1						
2		t, с	x, м			
3		4	0.43			
4		6.25	0.61			
5		9	0.93			
6		12.25	1.22			
7		16	1.65			
8		20.25	2.11			
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						

Добавить линию тренда (правой кнопкой мыши на любой точке)



Добавить интервалы ошибок

Пример к л_з.xlsx - Excel

Марина Ерина

Файл Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид Справка Конструктор диаграмм Формат Помощь Поделиться

Вставить Шрифт Выравнивание Число Стили Ячейки Редактирование

Диаграмм...

t, с	x, м
4	0.43
6.25	0.61
9	0.93
12.25	1.22
16	1.65
20.25	2.11

Зависимость пути от времени

$$y = 0,1042x - 0,0179$$
$$R^2 = 0,9983$$

Элементы диаграммы

- Оси
- Названия осей
- Название диаграммы
- Метки данных
- Пределы погрешностей
- Сетка
- Легенда
- Линия тренда

Стандартная погрешность
Процент
Стандартное отклонение
Дополнительные параметры...

Лист1 Лист2 Лист3

Готово 1 новое уведомление

Алгоритм построения графика в MS Excel

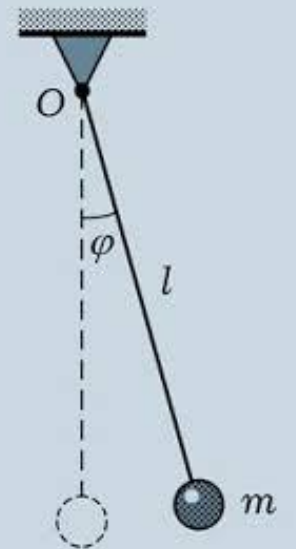
- Занести данные в таблицу MS Excel
- Выбрать необходимый диапазон и на вкладке «Вставка» выбрать «Диаграмма» - «Точечная диаграмма»
- Подписать оси и диаграмму.
- Правой кнопкой мыши на любой точке добавить линию тренда, в раскрывающемся окне добавить параметр линии, указать уравнение и величину достоверности аппроксимации R^2 .
- Добавить интервалы погрешностей.

Пример:

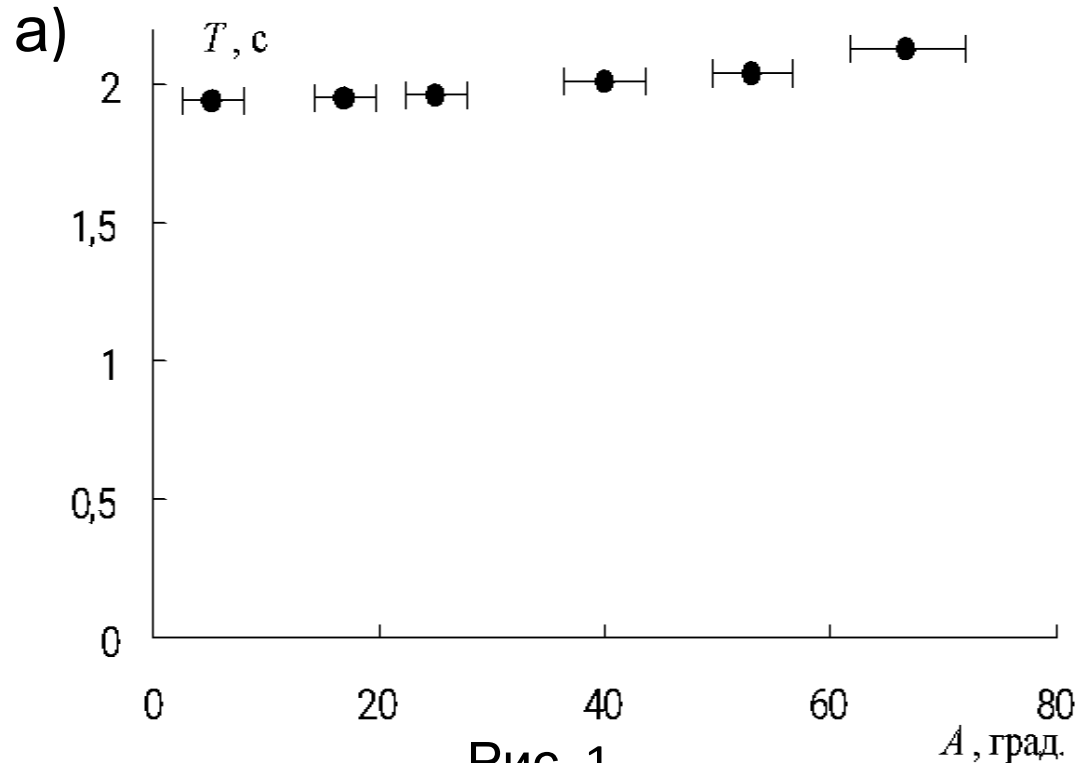
а) В эксперименте с математическим маятником студент решает проверить, действительно ли период T не зависит от амплитуды A (определенной как наибольший угол, на который отклоняется маятник от вертикали во время его колебаний). Он получает результаты, представленные в таблице. Постройте график зависимости T от A . Обратите внимание на выбор масштаба. Должен ли студент сделать вывод о том, что период не зависит от амплитуды?

б) Рассмотрите как изменились бы результаты пункта а), если все измененные значения T имели погрешность $\pm 0,3$ с.

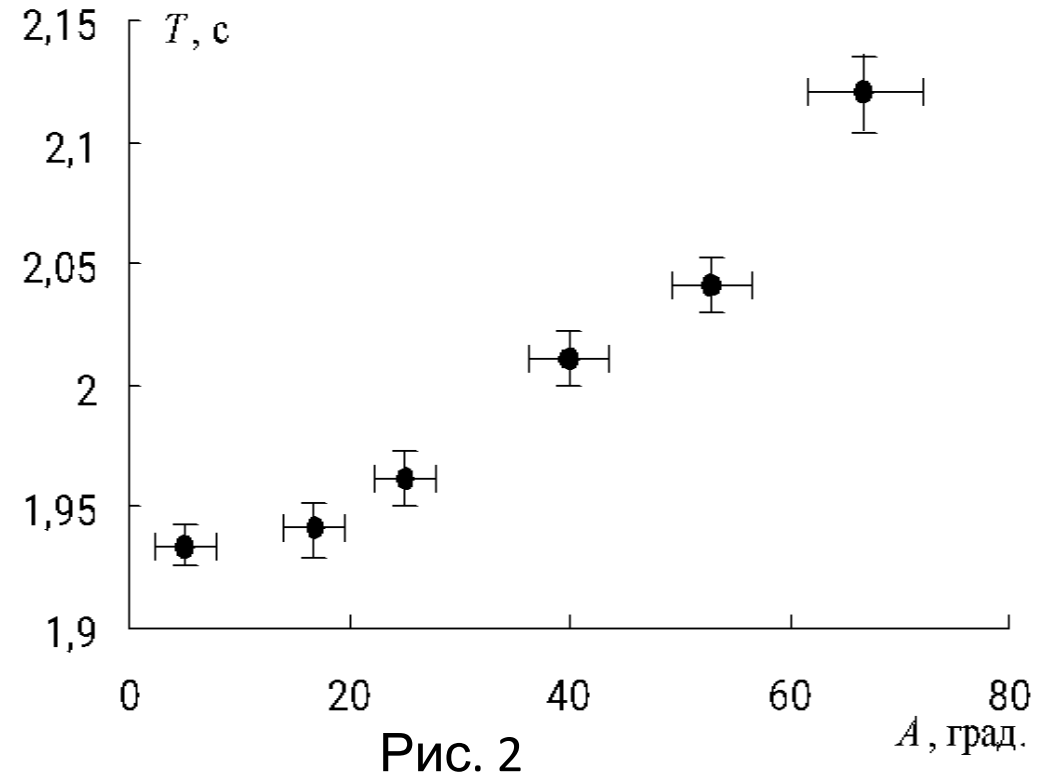
	Период T , с
5 ± 2	$1,932 \pm 0,005$
17 ± 2	$1,94 \pm 0,01$
25 ± 2	$1,96 \pm 0,01$
40 ± 4	$2,01 \pm 0,01$
53 ± 4	$2,04 \pm 0,01$
67 ± 6	$2,12 \pm 0,02$



Решение:



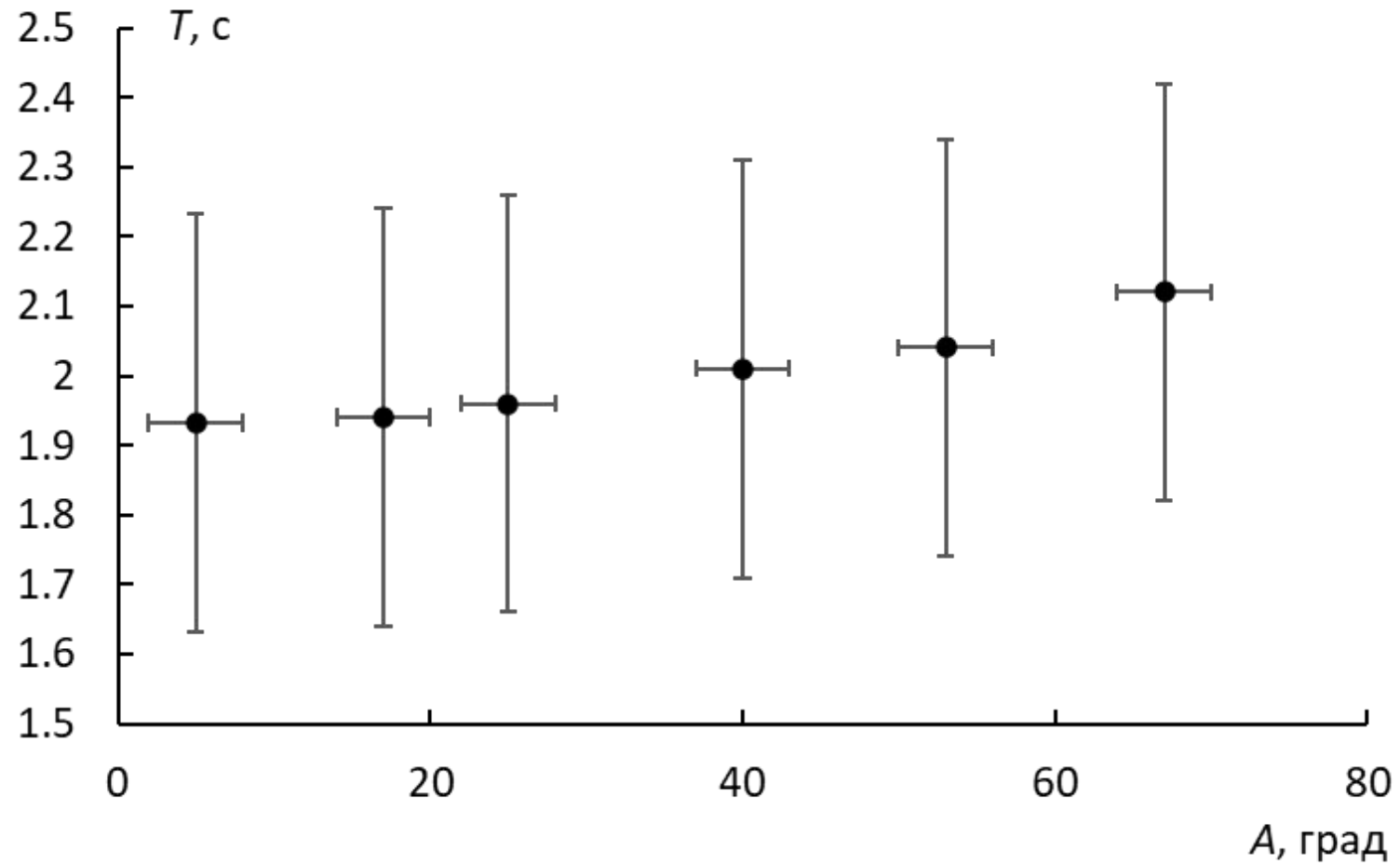
Вывод: Период не зависит от амплитуды



Вывод: Период зависит от амплитуды

Важно! Следует тщательно анализировать, какой выбор осей координат будет наиболее подходящим для данного конкретного случая.

б) Если перерисовать оба графика для случая, когда ошибки равны 0,3 с (вверх и вниз), то было бы ясно, что T не зависит от A .



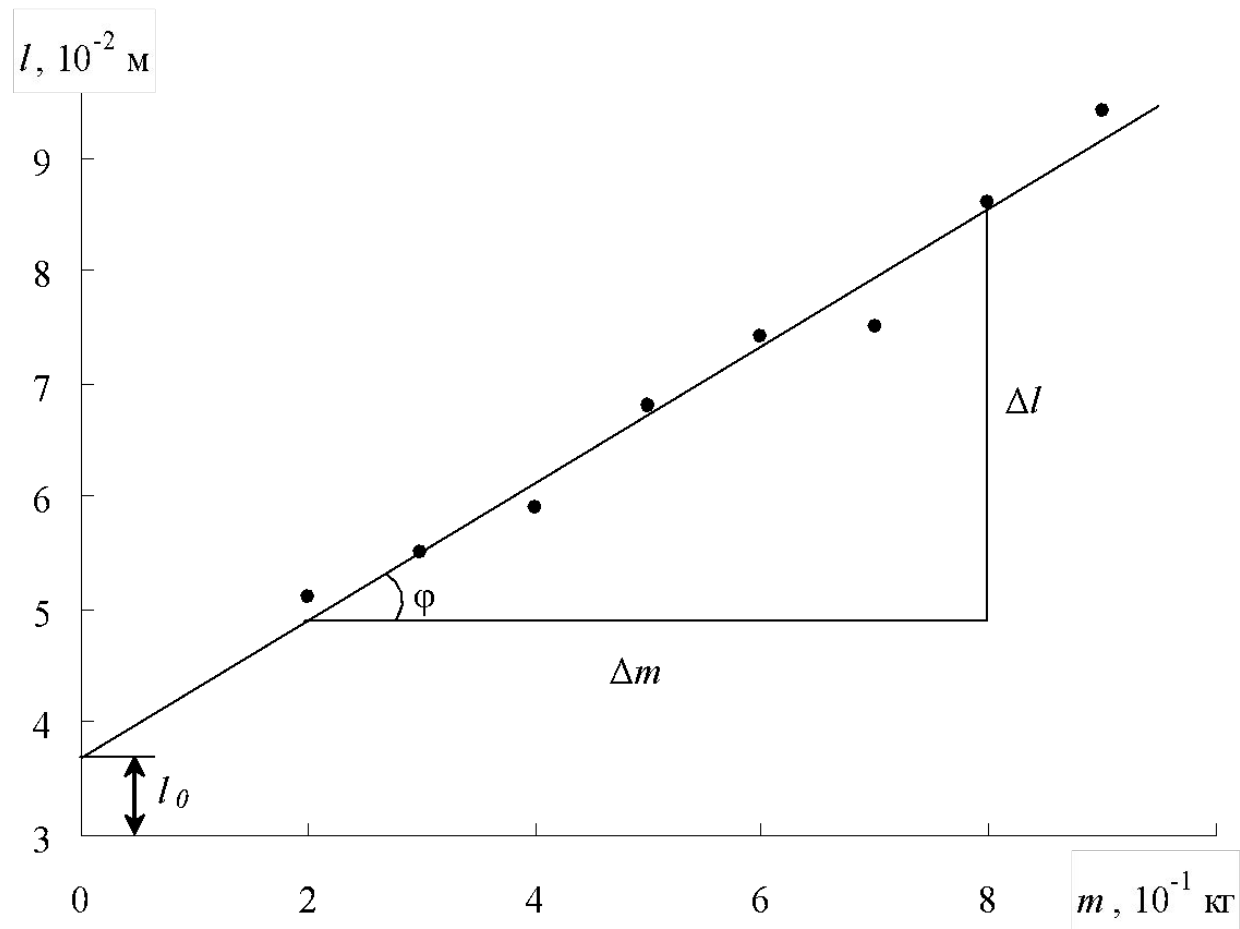
Пример:

Чтобы определить коэффициент упругости k пружины, студент подвешивает к ней различные массы m и измеряет соответствующие длины l . Его результаты приведены в таблице. Так как сила mg равна $k(l - l_0)$, где l_0 – длина пружины в нерастянутом состоянии, то эти данные должны ложиться на линию $l = l_0 + \left(\frac{g}{k}\right) m$. Найти собственную длину пружины l_0 и коэффициент упругости k .

200	5,1
300	5,5
400	5,9
500	6,8
600	7,4
700	7,5
800	8,6
900	9,4

Решение:

2	5,1
3	5,5
4	5,9
5	6,8
6	7,4
7	7,5
8	8,6
9	9,4



Исходя из того, что **теоретическая** зависимость должна быть линейной, линию необходимо проводить между экспериментальными точками, а **не соединять точки ломаной линией!**

$$k = \frac{g\Delta m}{\Delta l} = 9,8 \cdot \frac{(8 - 2) \cdot 10^{-1}}{(8,5 - 4,9) \cdot 10^{-2}} = 163 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

$$l_0 = 3,7 \cdot 10^{-1} \text{ м}$$

Содержание отчета

- Название лабораторной работы
- Кем выполнена
- Цель работы
- Оборудование и материалы
- Необходимые таблицы, расчеты, графики
- Ответ, погрешности
- Выводы

ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 1
Исследование колебательного движения математического маятника

выполненной студентом 1 курса, группы ФИЗ-6-о-21 Ивановым И.И.

24.09.2021

Цель работы: Изучить колебательное движение математического маятника, определить ускорение свободного падения

Оборудование и материалы: грузы разной массы, одинаковой формы; штатив; нить; секундомер

Задание 1. Исследование периода колебаний математического маятника в зависимости от массы груза

Таблица 1.

Вывод:

Задание 2. Исследование периода колебаний математического маятника в зависимости от длины

Таблица 2.

График зависимости (прилагается на миллиметровой бумаге)

Вычисление ускорения свободного падения по углу наклона прямой:

Ответ: $g = (10,2 \pm 0,5) \text{ м/с}^2$, $\varepsilon = 5\%$

Вывод: в работе определено ускорение свободного падения равное $g = (10,2 \pm 0,5) \text{ м/с}^2$ с относительной погрешностью $\varepsilon = 5\%$

Примерная
форма
отчета

СПАСИБО!

$$S = \frac{(v - v_0)}{2a}$$

$$\Delta U = A + Q$$

$$F = \frac{q_1 q_2}{R^2}$$

$$Q = \lambda m$$

$$X = X_{\max} \cdot \cos \omega t$$

$$N = N_0 \cdot 2^{-t/T}$$

$$A = FS \cos \alpha$$

$$P = \frac{F}{S}$$

$$\Delta d = \frac{(2k+1)\lambda}{2}$$

$$\phi = \frac{P}{P_0 \cdot 100\%}$$

$$Ft = \Delta p$$

$$F = mg$$

$$v_2 = \frac{(v_1 + v)}{1 + v_1 v / c^2}$$

$$t = \frac{t_1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\lambda = vT$$

$$T = 2\pi \sqrt{LC}$$

$$P = IU$$

СПАСИБО!

$$Z = \sqrt{(X_C - X_L)^2 + R^2}$$

$$E = \frac{mv^2}{2}$$

$$\eta = \frac{(Q_1 - Q_2)}{Q_1}$$

$$E = 2\pi k \sigma$$

$$F = \rho g V$$

$$Q = C(T_2 - T_1)$$

$$P = m(g+a)$$

$$\frac{v}{T} = \text{const}$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$p = mc = \frac{h}{\lambda} = \frac{E}{c}$$

$$T = \frac{2\pi\sqrt{l}}{g}$$

$$F = \frac{kq_1 q_2}{r^2}$$

$$F_{\text{упр}} = -kx$$