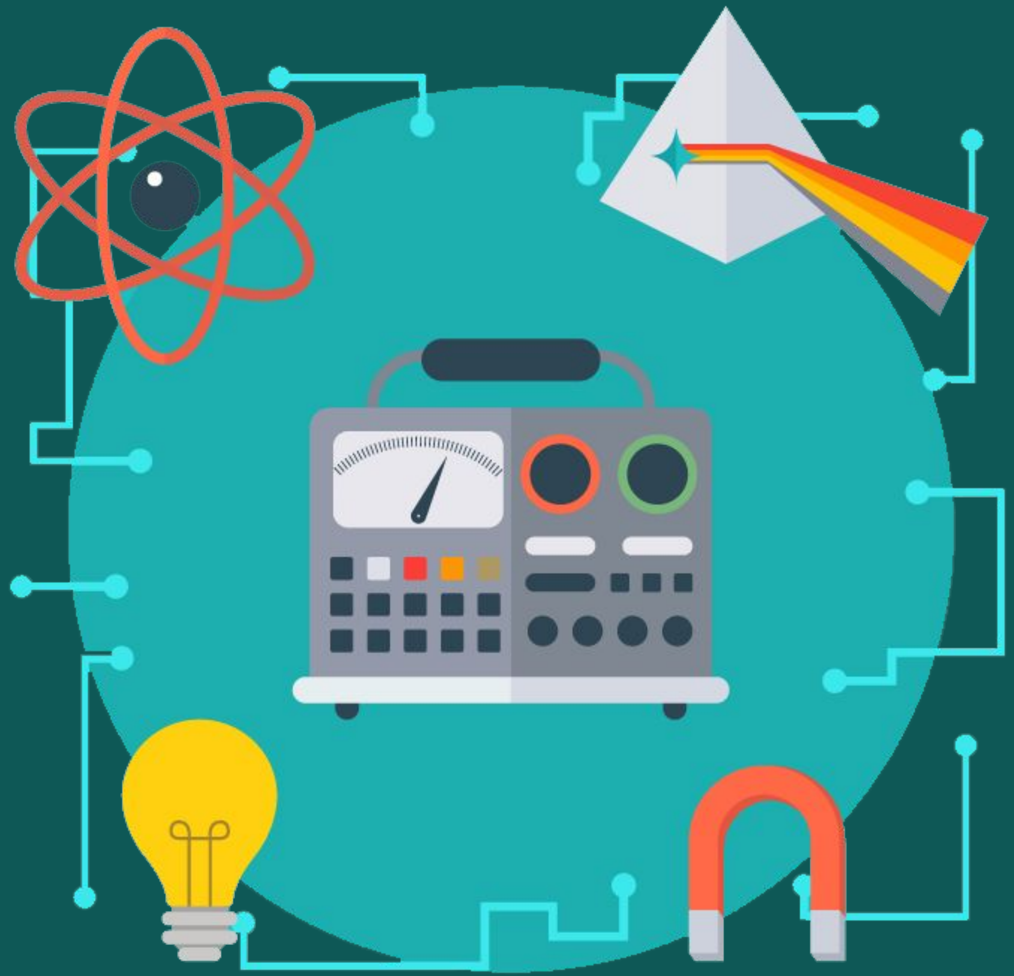
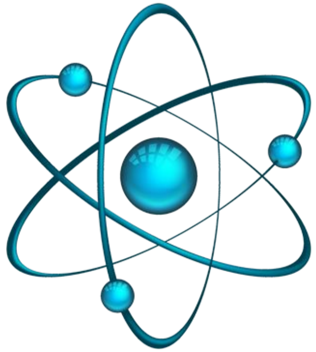
ПРАКТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА



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.

различие

значимое

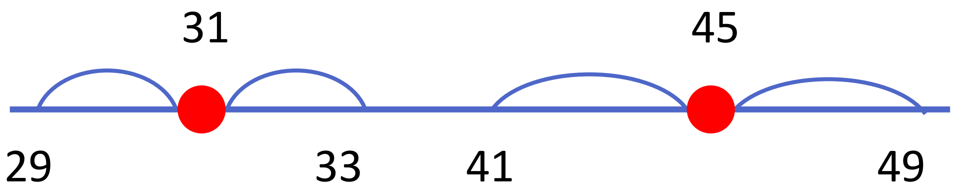
вероятные интервалы значительно отличаются

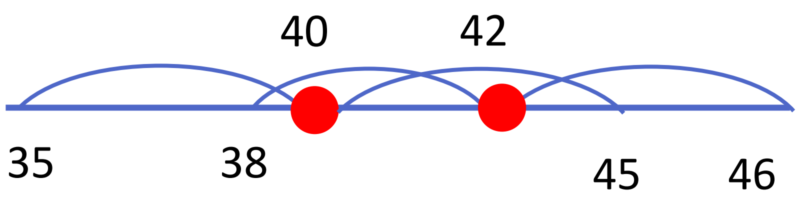
Пример: 31±2 Ом и 45±4 Ом

незначимое

вероятные интервалы перекрываются

Пример: 40±5 Ом и 42±4 Ом





Опыт с двумя тележками по проверке закона сохранения импульса

Начальный импульс

Конечный импульс

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

p (±0,04)	**p' (±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 $\overline{p} - \overline{p}'$

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

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

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

т. е. $(\overline{p} - \overline{p}')_{\min} = (\overline{p} - \overline{p}') - (\Delta p + \Delta p')$ $\Rightarrow$ $p - p' = (\overline{p} - \overline{p}') \pm (\Delta p + \Delta p')$

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

p **(±0,04)**	***p'*** **(±0,06)**	***p-p'*** **(±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
$x+y$	$\Delta x+\Delta y$	$\dfrac{\Delta x+\Delta y}{x+y}$
$x-y$	$\Delta x+\Delta y$	$\dfrac{\Delta x+\Delta y}{x-y}$
$x\cdot y$	$x\cdot\Delta y+y\cdot\Delta x$	$\dfrac{\Delta x}{x}+\dfrac{\Delta y}{y}$
x/y	$\dfrac{x\cdot\Delta y+y\cdot\Delta x}{y^2}$	$\dfrac{\Delta x}{x}+\dfrac{\Delta y}{y}$

Пример:

Проводятся измерения двух чисел x и y. Результат дает $x=10\pm1$ $y=20\pm1$. Какова наилучшая оценка для произведения $q=x\cdot y$? Используя наибольшие вероятные значения для x и y (11 и 21), вычислите наибольше 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 $x=10\pm8$, $y=20\pm15$.

Решение:

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

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

дает q=200±30, что хорошо согласуется с полученными значениями.

б) Наибольшее вероятное значение q_{max}=18·35=630; наименьшее вероятное значение q_{min}=2·5=10. Правило (*) дает q=200±300 (т.е. q_{max}=500; q_{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:

$$\frac{sin18°}{sin12°} \approx \frac{0,309}{0,208} \approx 1,49 \approx 1,5.$$

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

Пример:

$sin\alpha = 0,12, \alpha \approx 7°; \quad tg\beta = 0,716, \beta \approx 36°$

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:

a. Кривая была равномерно растянута вдоль обеих осей (если график представляет собой прямую, то угол ее наклона к осям должен быть близок к 45°).

b. 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

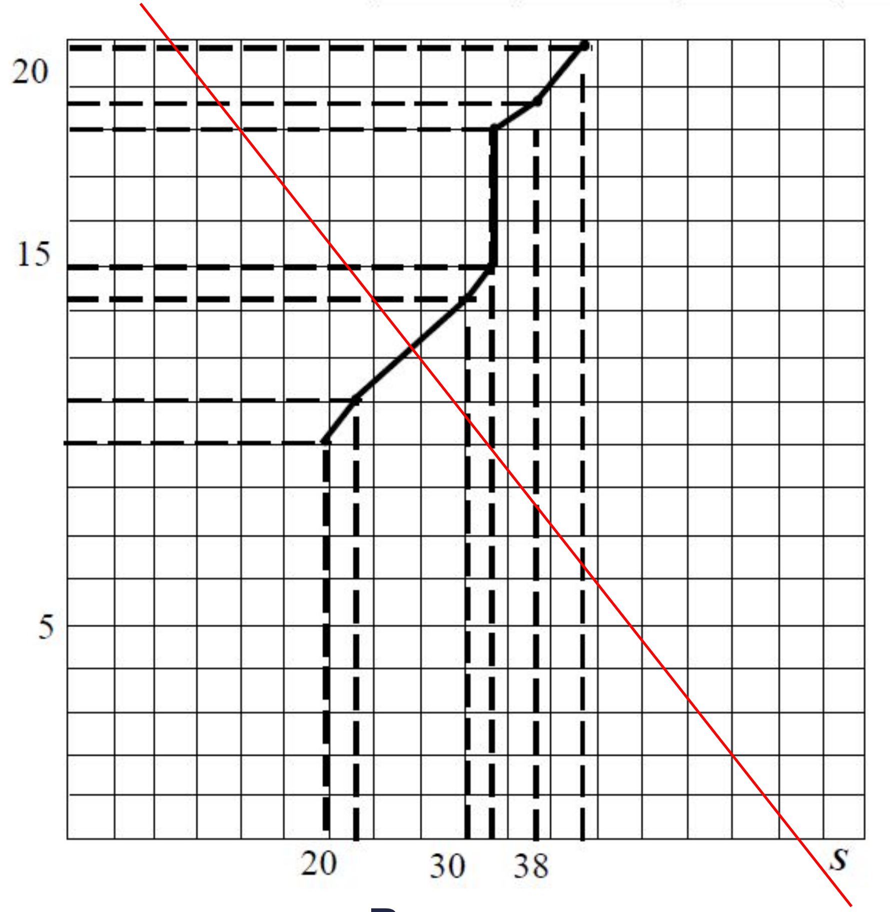


Рис. 1

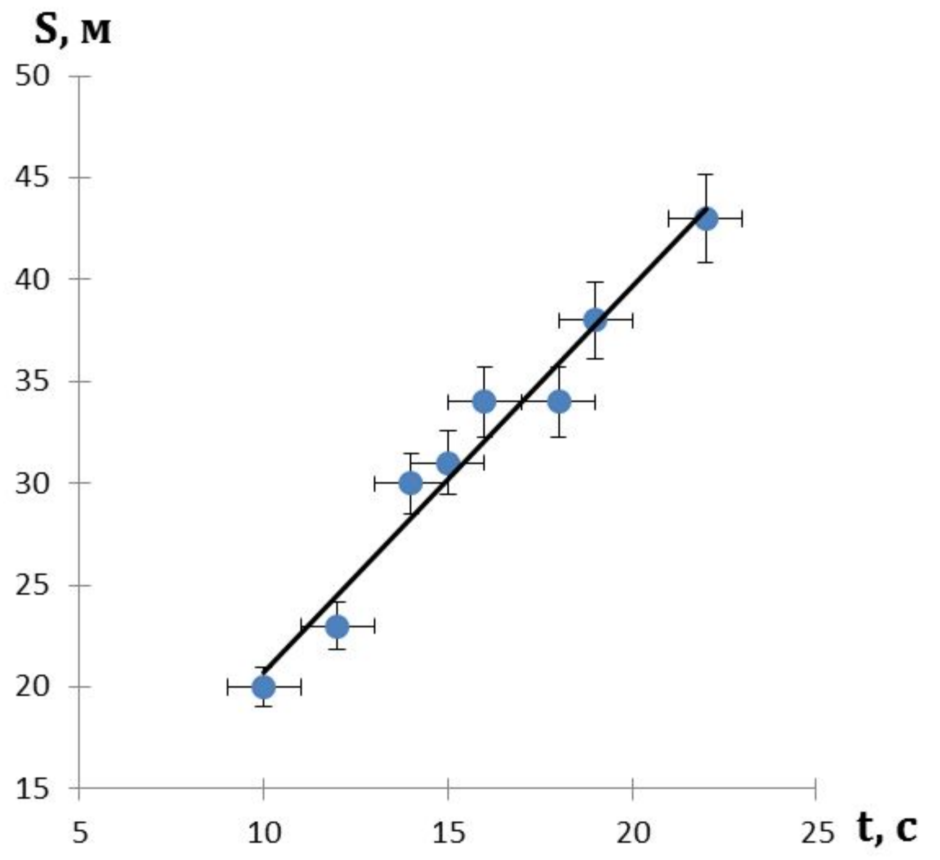
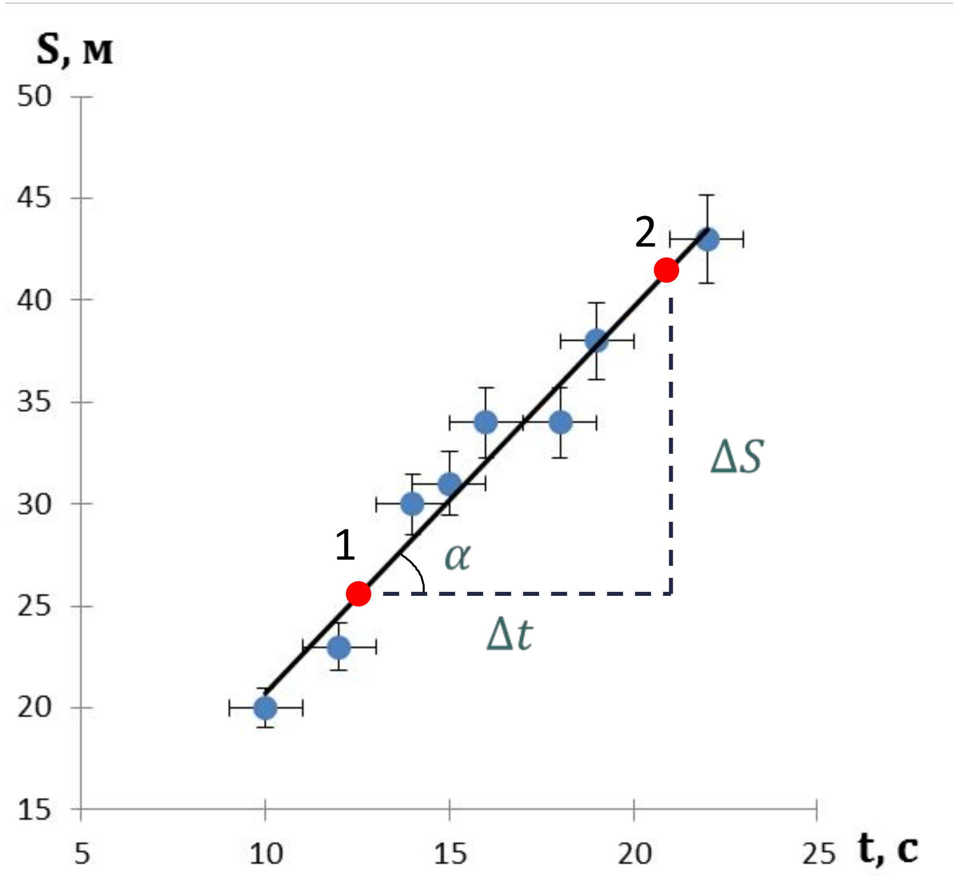


Рис. 2

Что можно определить из графиков?



$$S = S_0 + V_0 t$$

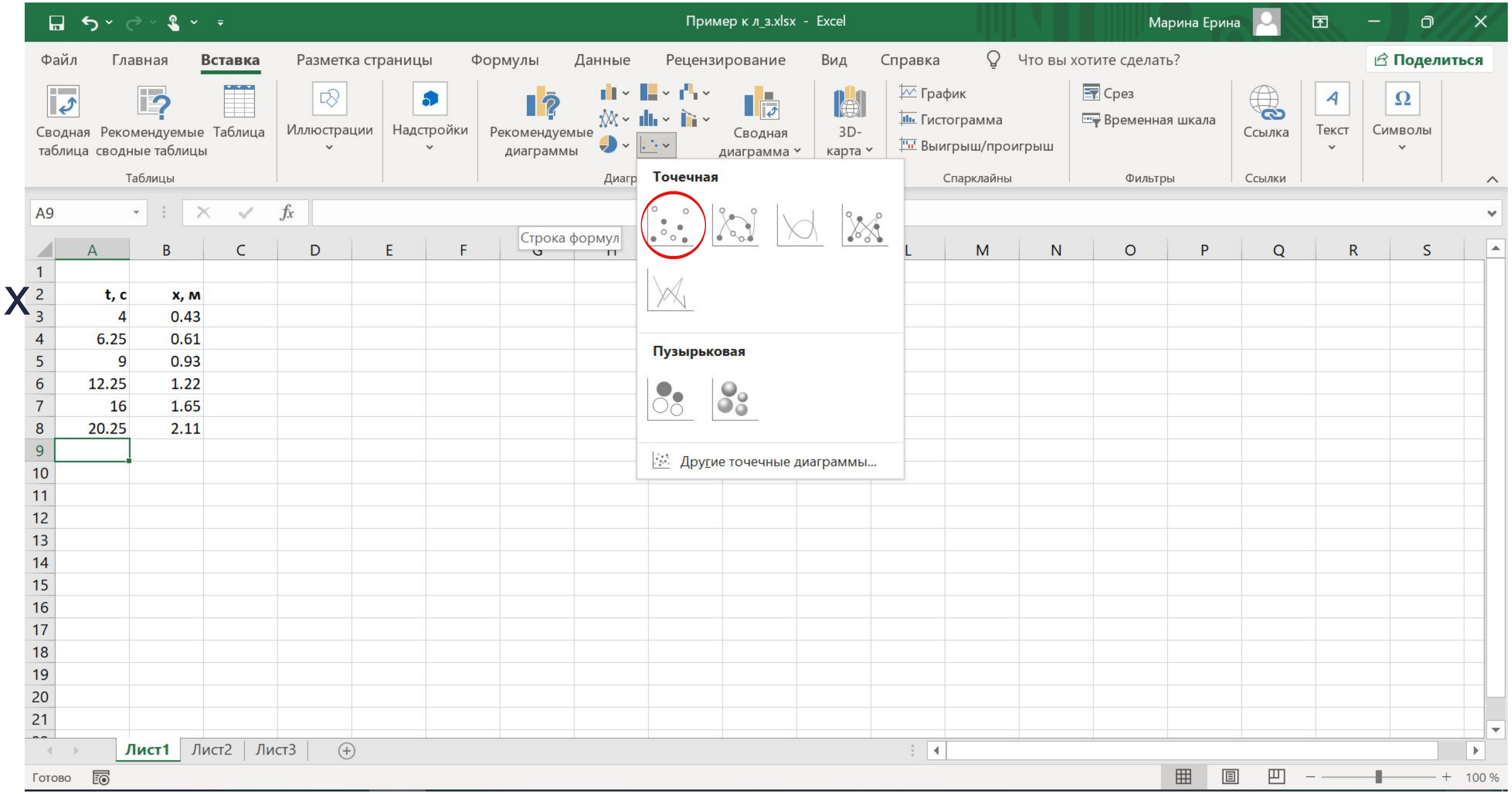
$$\left.\begin{aligned} S_1 &= S_0 + V_0 t_1 \\ S_2 &= S_0 + V_0 t_2 \end{aligned}\right\} \Rightarrow$$

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

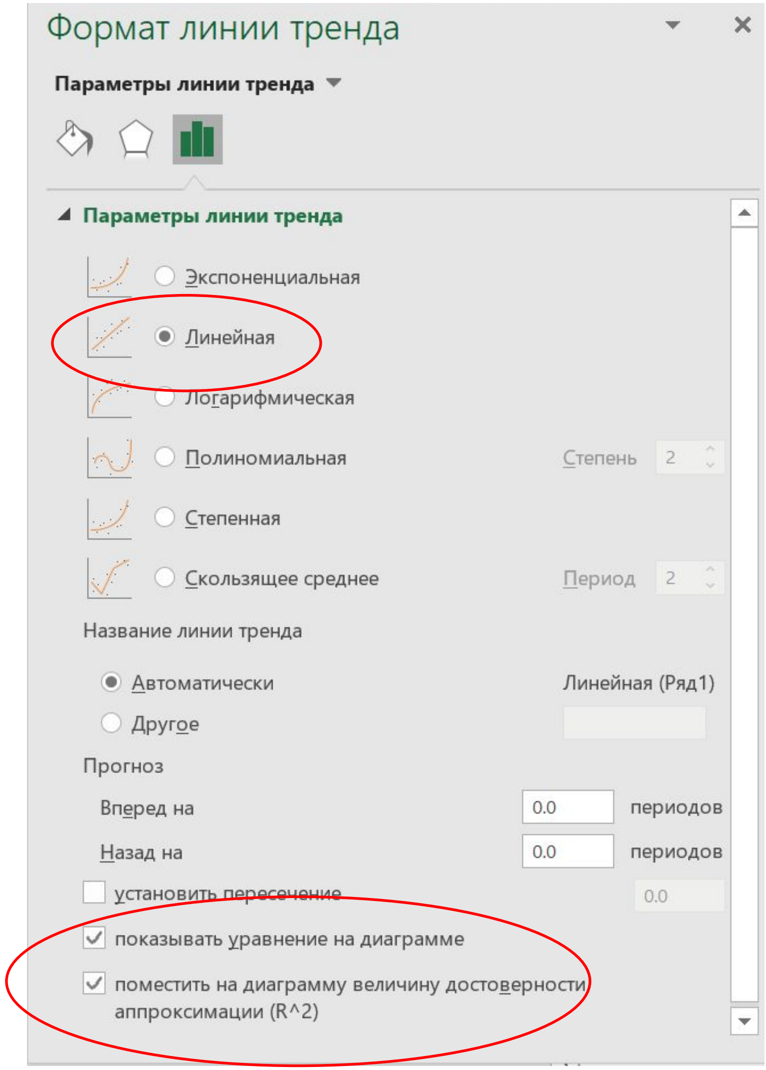
$$\mathrm{tg}\alpha = \frac{\Delta S}{\Delta t} \Rightarrow V_0 = tg\alpha$$

Построение графиков с помощью MS Excel

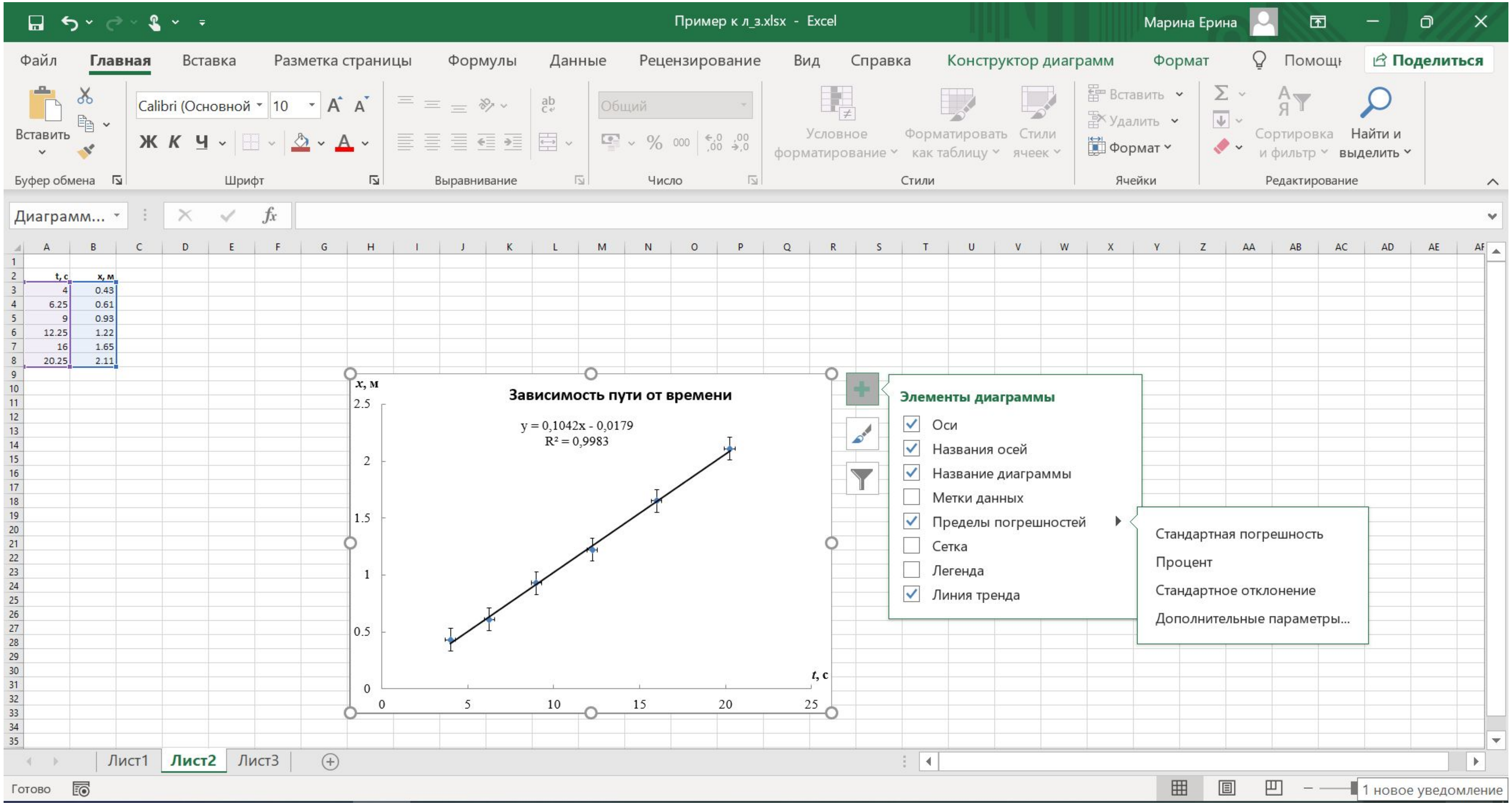
Для построения графиков при обработке экспериментальных результатов следует выбирать опцию **Точечная с маркерами.**



Добавить линию тренда (правой кнопкой мыши на любой точке)



Добавить интервалы ошибок



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

Алгоритм построения графика в MS Excel

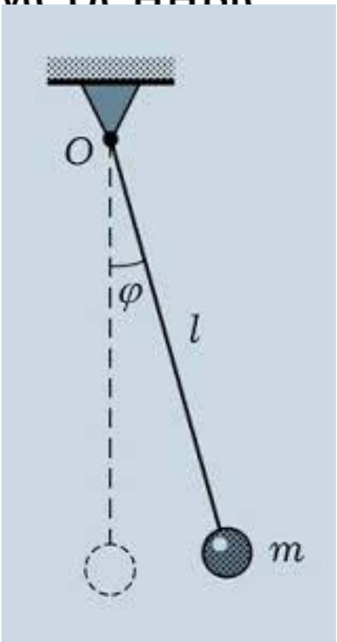
- Занести данные в таблицу MS Excel
- Выбрать необходимый диапазон и на вкладке «Вставка» выбрать «Диаграмма» - «Точечная диаграмма»
- Подписать оси и диаграмму.
- Правой кнопкой мыши на любой точке добавить линию тренда, в раскрывающемся окне добавить параметр линии, указать уравнение и величину достоверности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

Пример:

а) В эксперименте с математическим маятником студент решает проверить, действительно ли период Т не зависит от амплитуды А (определенной как наибольший угол, на который отклоняется маятник от вертикали во время его колебаний). Он получает результаты, представленные в таблице. Постройте график зависимости Т от А. 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 измеренные значения Т имели погрешность $\pm$0,3 с.

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



Решение:

а)

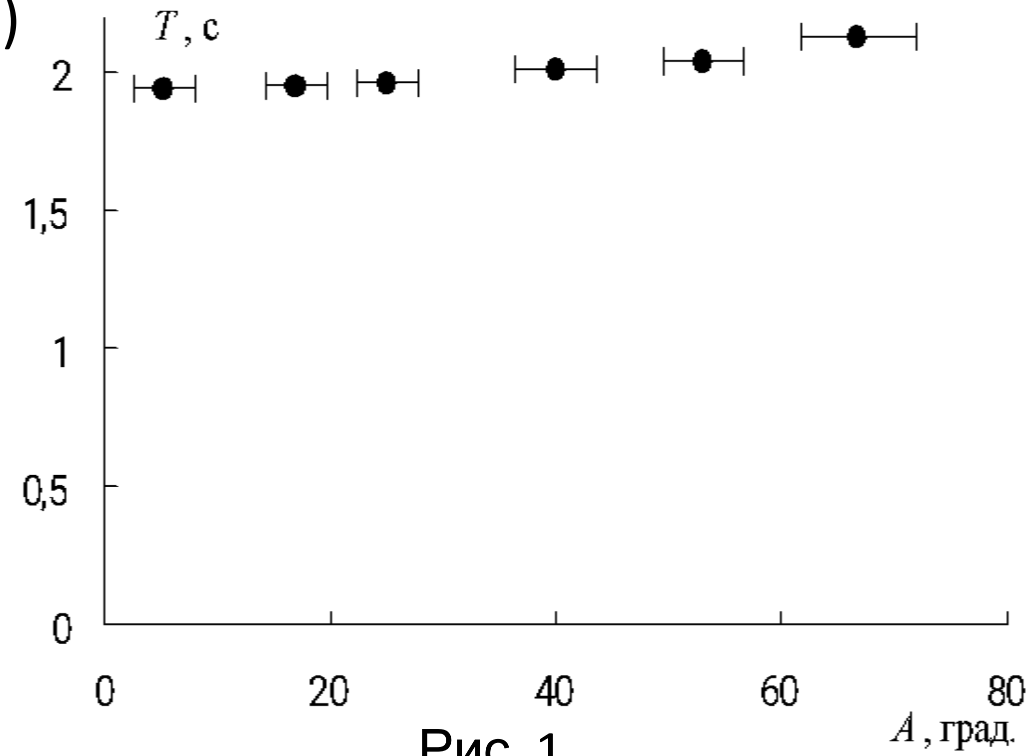


Рис. 1

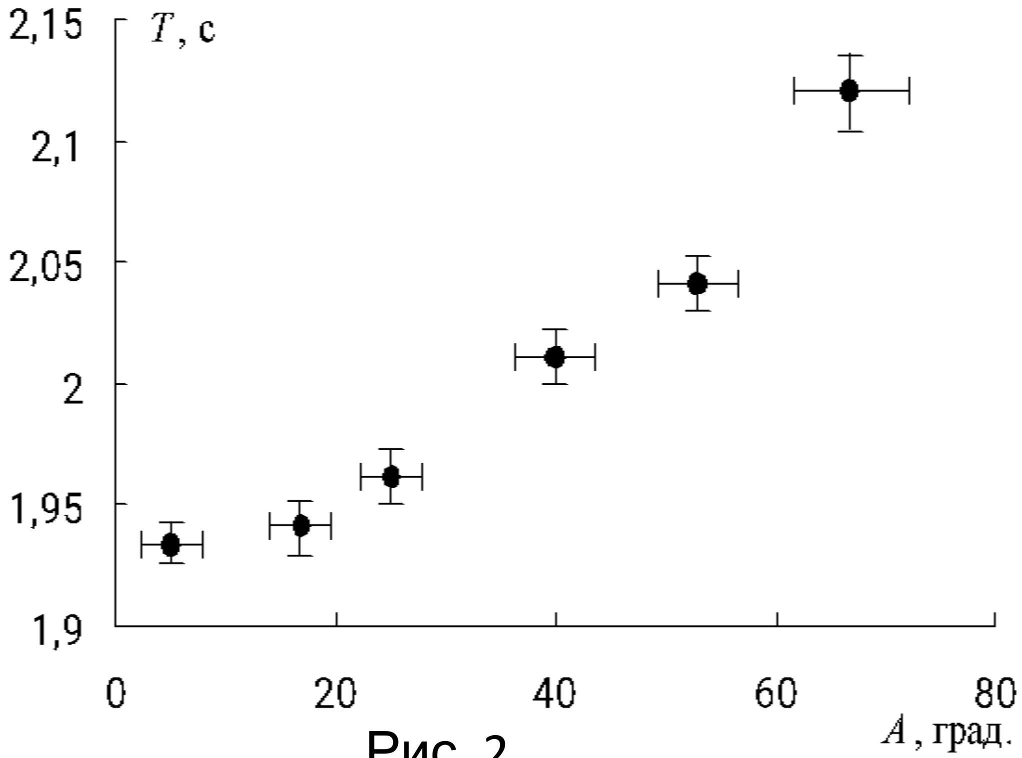


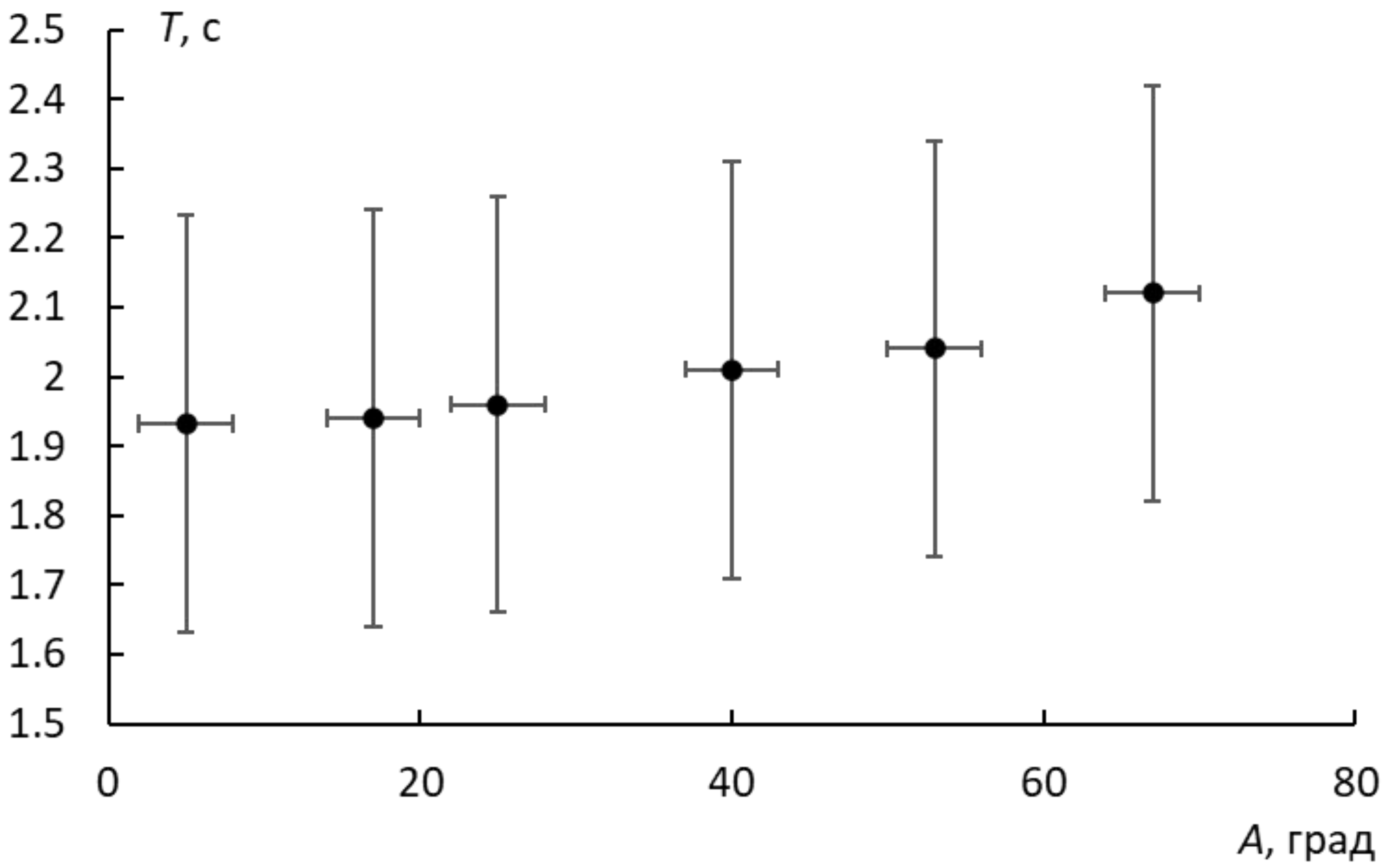
Рис. 2

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



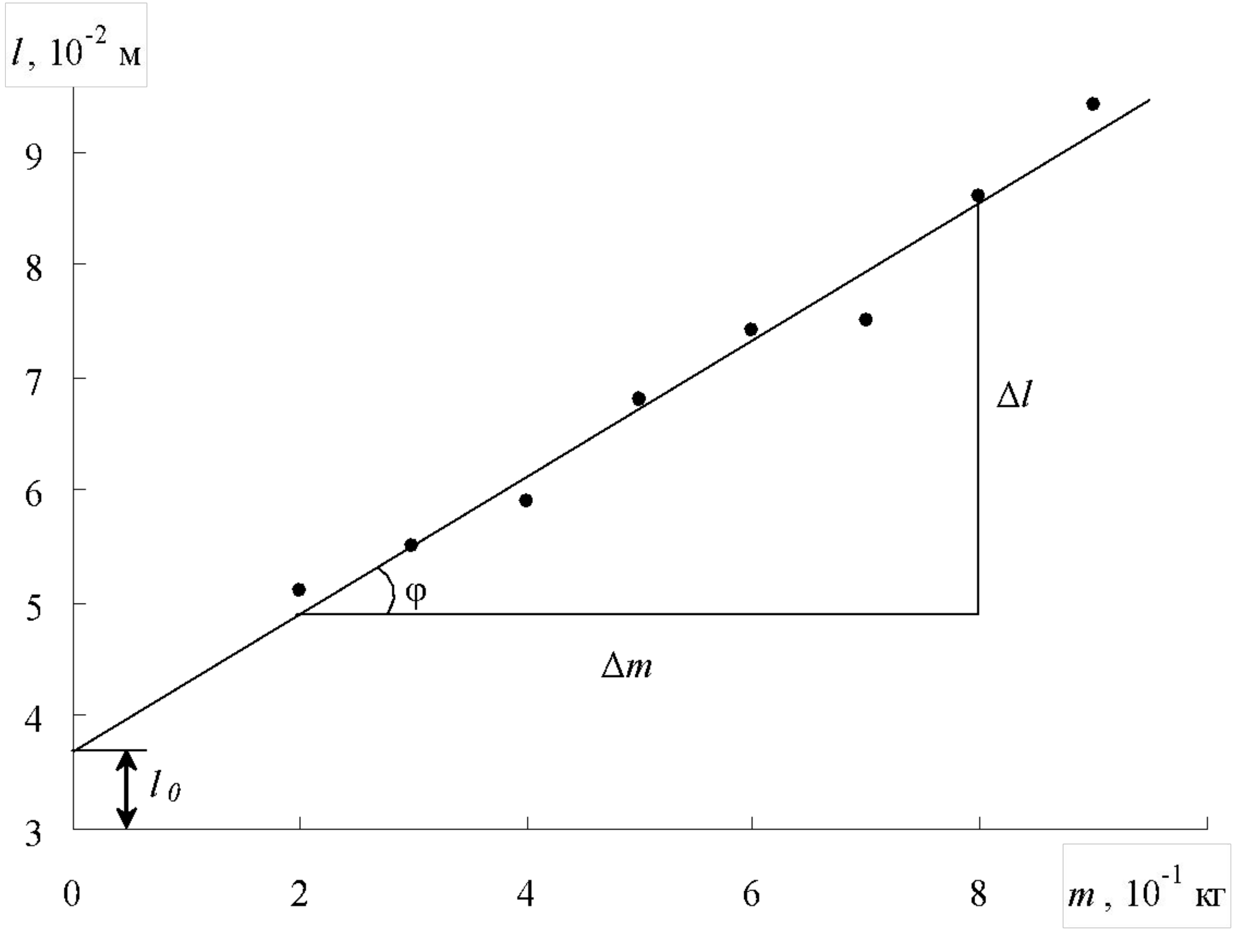
Пример:

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

Примерная форма отчета

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

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

СПАСИБО!