

6. Правила проведения измерений и обработки их результатов

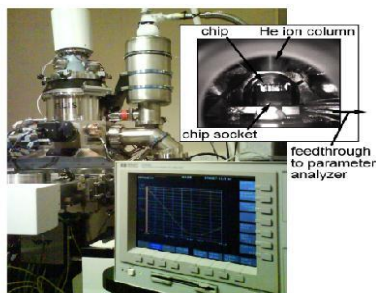


6.1. Уяснить задачу эксперимента и ознакомиться с метрологическими характеристиками предоставленных средств измерений или выбрать средства измерений, обладающие метрологическими характеристиками адекватными решаемой задаче. Установить систематические погрешности средств измерений.



6.2. Оценить оптимальное соотношение между точностью измерений и временем для проведения измерений для каждой из измеряемых величин (точность отсчёта и количество измерений).

6.3. Провести измерения каждой величины ($N = 3 \div 10$), стараясь реализовать условия максимальной идентичности и объективности условий измерений.



4. Принимаем нормальными или проверяем характер распределений результатов измерений

6.5. Вычислить средние значения, оценки СКО результатов наблюдений и СКО среднего арифметического :

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad S_x = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}; \quad S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{N}} = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

6.6. Провести проверку результатов на наличие «промахов» (критерий Грабса):

- задаться уровнем значимости;
- вычислить значение максимального отклонения Δ_{\max} (Δ_{\min}) подозрительного результата измерений x_{extr} ;
- сравнить с критическим отклонением из таблицы $\Delta_{кр}$;
- при $\Delta_{\max} > \Delta_{кр}$ считать результат промахом, исключить его из выборки;
- повторить анализ с количеством измерений $N-1$

$$\Delta_{\max} = \left| \frac{x_{extr} - \bar{x}}{S} \right|$$

Оценка выскакивающих измерений на промах

N	β			N	β		
	0,1	0,05	0,01		0,1	0,05	0,01
3	1,41	1,41	1,41	13	2,26	2,43	2,71
4	1,65	1,69	1,72	14	2,30	2,46	2,76
5	1,79	1,87	1,96	15	2,33	2,49	2,80
6	1,89	2,00	2,13	16	2,35	2,52	2,84
7	1,97	2,09	2,27	17	2,38	2,55	2,87
8	2,04	2,17	2,37	18	2,40	2,58	2,90
9	2,10	2,24	2,46	19	2,43	2,60	2,93
10	2,15	2,29	2,54	20	2,45	2,62	2,96
11	2,19	2,34	2,61	22	2,49	2,66	3,01
12	2,23	2,39	2,66	25	2,54	2,72	3,07

6.7. Определить доверительные интервалы для каждой измеряемой величины:

- задаться доверительной вероятностью;
- для данных N и P по таблице определить коэффициент Стьюдента;
- определить доверительный интервал:

$$\Delta^0 x_i = t S_{\bar{x}_i}$$

6.8. Определить полную случайную погрешность при косвенных измерениях

$$\ln y = \ln f(x_1, x_2 \dots x_n); \quad \Delta^0 y = \left(\sqrt{\left(\frac{\partial \ln f}{\partial x_1} \Delta^0 x_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial \ln f}{\partial x_2} \Delta^0 x_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial \ln f}{\partial x_n} \Delta^0 x_n \right)^2} \right) y$$

6.9. Определить полную систематическую погрешность при косвенных измерениях

$$\ln y = \ln f(x_1, x_2, \dots, x_n); \quad \Delta_c y = \left(\sqrt{\left(\frac{\partial \ln f}{\partial x_1} \Delta_c x_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial \ln f}{\partial x_2} \Delta_c x_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial \ln f}{\partial x_n} \Delta_c x_n \right)^2} \right) y$$

6.10. Определить полную погрешность:

-систематическая погрешность $\Delta_c y$

-случайная погрешность $\Delta^0 y$

$$\Delta y = \sqrt{(\Delta_c y)^2 + (\Delta^0 y)^2};$$

6.11. Записать

результат:

$$y(\bar{x}_i) \pm \Delta y; \quad P$$

6.12. При прямых измерениях пункты 6.8, 6.9 опускаются. При необходимости полученный результат корректируют для получения заданной точности:

- задаться новым доверительным интервалом Δ ;
- найти ε при заданном P ;
- по таблице определить новое N

$\varepsilon = \frac{\Delta}{S}$	P			
	0,9	0,95	0,99	0,999
1,0	5	7	11	17
0,5	13	18	31	50
0,4	19	27	46	74
0,3	32	46	78	130
0,2	70	100	170	280
0,1	270	390	700	1100
0,05	1100	1500	2700	4300
0,01	27000	38000	66000	110000

6.13. При необходимости строят график полученной функции.

6.1. Правила представления экспериментальных данных в виде таблиц.

Для записи результатов большого количества однотипных измерений удобно использовать таблицы. С их помощью удастся избежать ненужной многократной записи обозначений измеряемых величин, единиц измерений, используемых множителей и т. п. В таблицы, помимо экспериментальных данных, могут быть сведены промежуточные результаты обработки этих данных.

Правила, которыми следует руководствоваться при составлении таблиц:

1. Форма таблицы должна быть удобной для записи и дальнейшей обработки экспериментальных данных. Для этого необходимо предварительно продумать, значения каких физических величин или какие результаты расчетов будут помещены в таблицу. Тем самым, определяют количество необходимых столбцов. Количество строк зависит от числа измерений, проводимых при выполнении лабораторной работы. После этого столбцы и строки вычерчивают карандашом по линейке, формируя графический контур таблицы.
2. В первой строке таблицы в каждом столбце записывают название или символьное обозначение измеряемых или расчетных физических величин, а затем через запятую указывают их единицы измерений. Иногда символьные обозначения измеряемых величин и их единицы измерения удобно указывать в боковике (первом столбце) таблицы

3. В таблицу числа записывают таким образом, чтобы они находились в интервале от 1,00 до 1000, при необходимости используются приставки и десятичные множители.

Так, значение удельной теплоты кристаллизации воды, равное $q = 334,1 \cdot 10^3$ Дж/кг, можно представить, по-разному, как это показано в таблице

$q, 10^3$ Дж/кг	q , кДж/кг	$q \cdot 10^{-3}$, Дж/кг
334,1	334,1	334,1

В первом столбце табл. записано значение физической величины q в единицах измерения 10^3 Дж/кг. Поэтому к значению, взятому из таблицы, дописывают единицу измерения, в результате получают $q = 334,1 \cdot 10^3$ Дж/кг.

Если десятичный множитель имеет соответствующую приставку, то он записывается с помощью обозначения данной приставки, как это указано во втором столбце.

В третьем столбце табл. представлено значение физической величины q , умноженное на число 10^{-3} . В этом случае значение, указанное в таблице, необходимо разделить на 10^{-3} и дописать его размерность. Таким образом, имеем $q = 334,1/10^{-3} = 334,1 \cdot 10^3$ Дж/кг.

Предпочтительным следует считать способы записи, рассмотренные в первом и втором столбцах, так как они не требуют вычислений, как при составлении, так и чтении таблицы.

Следует обращать внимание на правильную и четкую постановку знака умножения и запятой в заголовке таблицы.

Табл. иллюстрирует правильное применение вышеуказанных правил. В ней приведены результаты косвенных измерений удельного сопротивления ρ платины при разных температурах. Первые три столбца содержат результаты однократных прямых измерений силы тока I через проводник, падения напряжения U на нем и термоЭДС U_T термопары, служащей датчиком температуры T . В четвертом и пятом столбцах указаны расчеты температуры и удельного сопротивления платиновой проволоки.

Температурная зависимость удельного сопротивления платиновой проволоки

$I, \text{мА}$	$U, \text{мВ}$	$U_T, \text{мВ}$	$T, \text{К}$	$\rho, 10^{-7} \text{ Ом}\cdot\text{м}$
1,0	2,78	0	293	1,02
1,0	2,83	0,20	298	1,04
...

Основные ошибки, которые допускают студенты при составлении таблиц, показаны в табл. 7.3.

Таблица № 7.3

$I, \text{А}$	$U, \text{В}$	$U_T, \text{В}$	T	$\rho \cdot 10^{-7}, \text{ Ом}\cdot\text{м}$
$1,0 \cdot 10^{-3}$	0,00278	0	293	1,02
$1,0 \cdot 10^{-3}$	0,00283	0,00020	298	1,04
...

Температурная зависимость удельного сопротивления платиновой проволоки

$I, \text{ mA}$	$U, \text{ mV}$	$U_T, \text{ mV}$	$T, \text{ K}$	$\rho, 10^{-7} \text{ Ом}\cdot\text{м}$
1,0	2,78	0	293	1,02
1,0	2,83	0,20	298	1,04
...

Основные ошибки, которые допускают студенты при составлении таблиц, показаны в табл. 7.3.

Таблица № 7.3

$I, \text{ A}$	$U, \text{ B}$	$U_T, \text{ B}$	T	$\rho \cdot 10^{-7}, \text{ Ом}\cdot\text{м}$
$1,0 \cdot 10^{-3}$	0,00278	0	293	1,02
$1,0 \cdot 10^{-3}$	0,00283	0,00020	298	1,04
...

При составлении табл. допущены следующие ошибки:

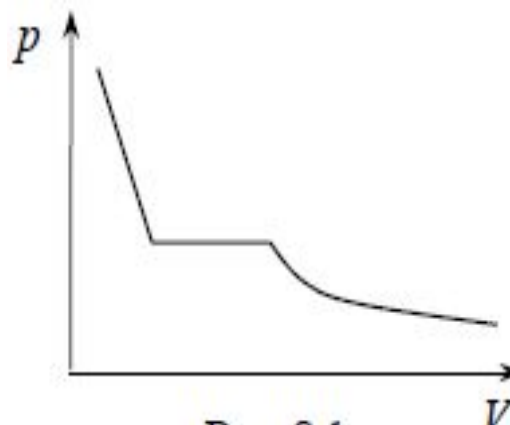
- в первом столбце не вынесен в заголовок общий множитель 10^{-3} ; (приходится много раз повторять в столбце);
- во втором и третьем столбцах не вынесена в заголовок приставка; (приходится много раз повторять в столбце громоздкие цифры)
- в заголовке четвертого столбца нет единицы измерения;
- в заголовке пятого столбца неправильно поставлены точка и запятая по отношению к множителю;
- перед номером таблицы знак “№” не указывается.

7. Правила построения графиков

7.1. Общие правила построения графиков

Графики используются для качественного и количественного описания зависимостей физических величин вида $y(x)$.

Качественные графики широко применяются в учебной литературе и при изложении лекционного материала. Отличительной особенностью данного вида графиков является то, что на координатных осях указываются только обозначения физических величин и отсутствует масштабно-координатная сетка. Для примера на рис. представлен качественный график, отражающий зависимость давления от объема реального газа в изотермическом процессе.



Количественные графики отражают результаты измерений или расчетов, показывая наглядно связь между физическими величинами с учетом их значений. Количественные графики используются не только для наглядного изображения зависимости, но и для нахождения каких-либо физических величин, которые требуются для дальнейшей работы.

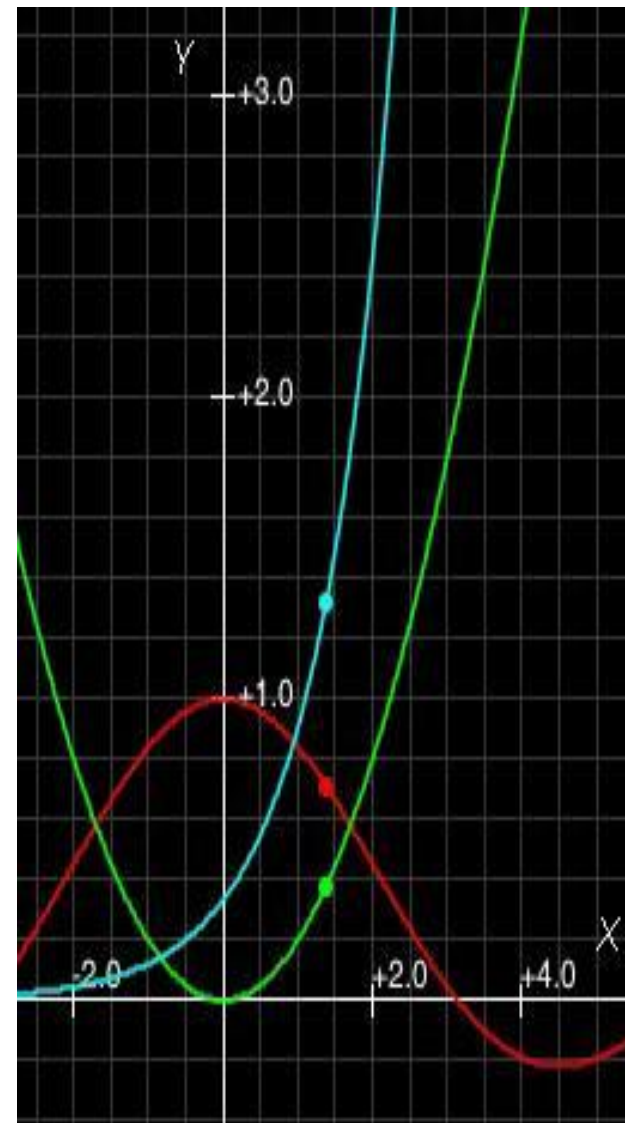
При построении количественных графиков при выполнении лабораторных работ необходимо следовать следующим правилам:

1. Выбор бумаги. Графики выполняют на миллиметровой бумаге размером не менее, чем $10 \times 15 \text{ см}^2$. Поле графика ограничивается прямоугольной рамкой. Допускается выполнение графиков с помощью компьютерных программ, но и в этом случае графики должны соответствовать всем изложенным ниже требованиям (в частности, иметь масштабную-координатную сетку).

2. Выбор осей. В прямоугольной системе координат независимую переменную – аргумент – следует откладывать на горизонтальной оси (оси абсцисс), а по вертикальной оси (оси ординат) – функцию, зависимую физическую величину.

Положительные значения величин откладывают на осях, как правило, вправо и вверх от точки начала отсчета.

Начало координатных осей, если это не оговорено особо, может не совпадать с нулевыми значениями величин. Его выбирают таким образом, чтобы график занимал максимально возможную площадь чертежа.



3. Выбор масштаба. Обычно график строят на основании заполненной таблицы экспериментальных данных, откуда легко установить интервалы, в которых изменяются аргумент и функция. Их наименьшее и наибольшее значения определяют масштаб координатных осей.

3.1. Масштаб изображения может быть как линейным, так и нелинейным (например, логарифмическим). Масштаб для каждого направления может быть разным, например: по одной оси 1; 2; 3; 4; 5; ..., а по другой – 5; 10; 15; 20; или по одной оси линейный, а по другой – логарифмический.

При необходимости масштаб по одной и той же оси для положительных и отрицательных значений откладываемой величины может быть выбран разным, но только в том случае, если эти значения отличаются не менее чем на порядок, т. е. в 10, 100, 1000 и более раз.

Например, вольт-амперная характеристика диода, когда прямой и обратный токи отличаются в тысячу раз (т. е. на три порядка): прямой ток составляет миллиамперы, обратный – микроамперы.

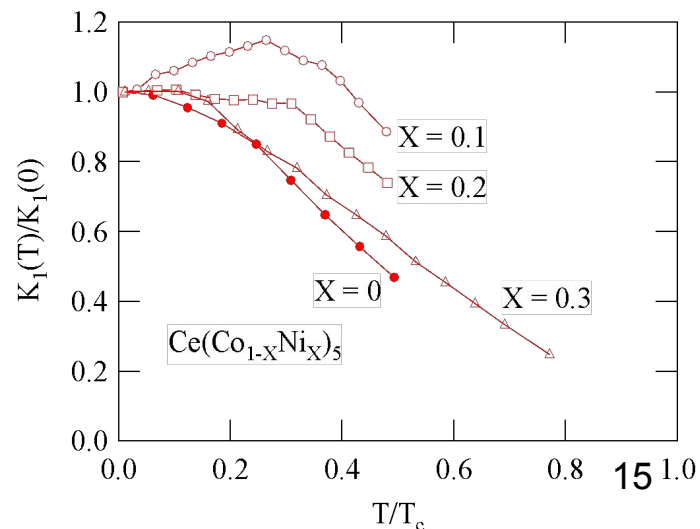
3.2. Масштаб выбирают таким образом, чтобы:

– график был равномерно растянут вдоль обеих осей (если график представляет собой прямую, то угол ее наклона к осям должен быть по возможности близок к 45°);

– положение любой точки графика можно было определить легко и быстро.

Масштаб является удобным для чтения графика, если в одном сантиметре содержится одна (или две, пять, десять, двадцать, пятьдесят и т. д.) единица величины кратная 1, 2, 5, например: 1; 2; 3; 4; 5; ..., или 2; 4; 6; 8; ..., или 5; 10; 15; 20;

Распространенной ошибкой является выбор неправильного масштаба: три сантиметра на единицу величины или в одном сантиметре три единицы (например, 1; 3; 6; 9; ...).



4. Нанесение шкал. На координатных осях должны быть указаны обозначения величин с единицами их измерения и шкала числовых значений.

4.1. Обозначение физических величин и их единицы измерений следует размещать в конце шкалы вместо последнего числа. Между обозначением величины и единицей измерения должна быть запятая, например: $p, Па$; $T, К$.

4.2. Числовые значения шкал следует размещать вне поля графика и располагать горизонтально. Многозначные числа выражают как кратные 10^n (n – целое число) для данного диапазона шкалы, например: $p, 10^6 Па$; или $p, МПа$; $h, 10^{-3} м$ или $h, мм$.

Масштабные деления и числовые значения на координатных осях следует наносить равномерно по всей оси и без пропусков. Числовые значения должны быть высотой 3 – 5 мм.

5. Нанесение точек. Экспериментальные или расчетные точки на графике должны изображаться четко в виде кружков, крестиков и других символов. Размер символа должен быть в 2 – 3 раза больше толщины линии. Координаты экспериментальных точек на осях не указывают и линии, определяющие их положение, не проводят.

Если в одних осях строят несколько зависимостей, то обозначения точек должны отличаться друг от друга формой или цветом.

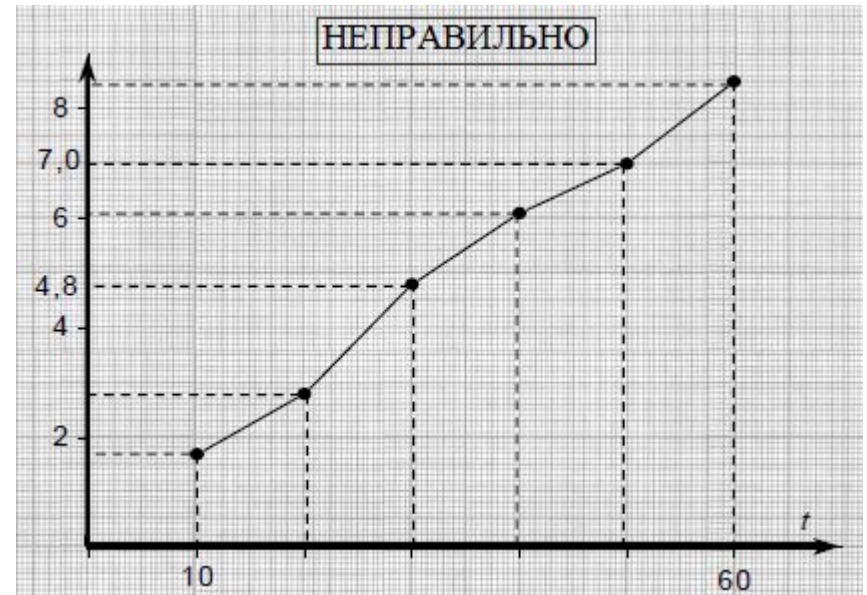
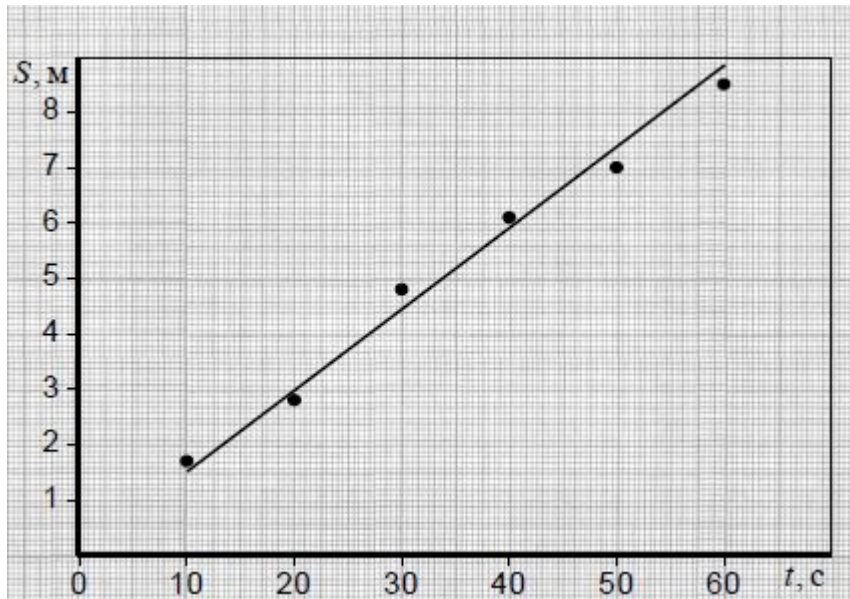
6. Проведение кривых. Кривая должна быть плавной. Кривую (прямую) следует проводить так, чтобы количество точек по обе стороны от нее было приблизительно одинаковым. Кривую (прямую) следует проводить как можно ближе к точкам, но, не обязательно пересекая их. Кривая (прямая) не должна выходить за область экспериментальных значений аргумента и функции.

Форма кривой и особые точки, через которые она должна проходить, определяются, как правило, из теории.

Если на графике представлены несколько зависимостей, то для их изображения необходимо использовать различные цвета, типы линий, либо нумерацию.

Пример. Построить график зависимости пути S от времени t при равномерном движении тела по экспериментальным данным, приведенным в таблице.

$t, \text{с}$	10	20	30	40	50	60
$S, \text{м}$	1,7	2,8	4,8	6,1	7,0	8,5



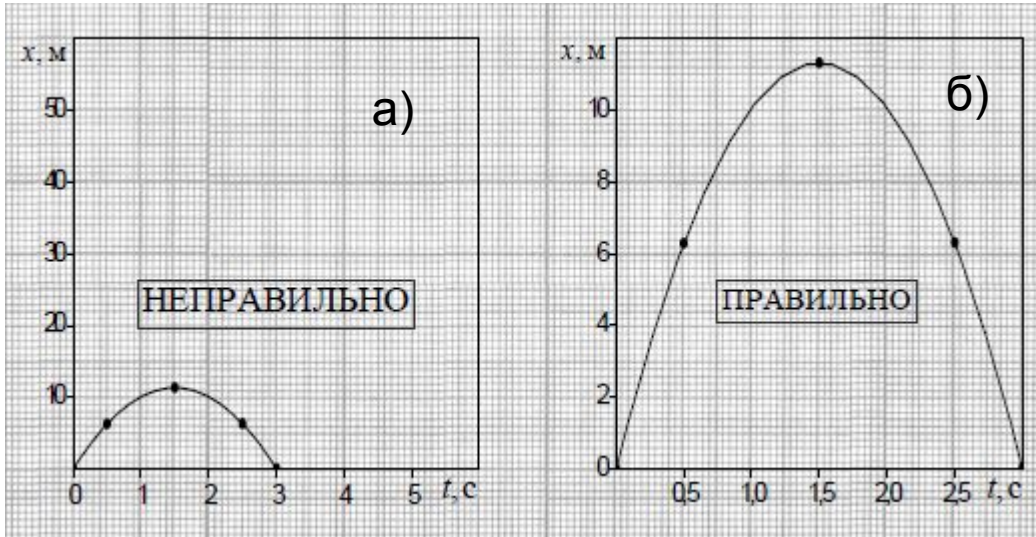
- На рис. показаны наиболее типичные ошибки, допускаемые при построении графиков:
- на оси абсцисс не указана единица измерения времени t ;
 - обозначение величины t написано на поле графика;
 - на оси ординат (ось пути) не указаны отложенная величина S и единица ее измерения;
 - не указано начало координат – точка $(0;0)$;
 - масштабные деления на оси абсцисс нанесены неравномерно. Отсутствуют значения 20, 30, 40, 50;
 - на оси ординат нанесены координаты некоторых точек;

- проведены лишние пунктирные линии;
- неправильно построен график функции в виде ломанной линии; зависимость пути от времени при равномерном движении заведомо линейна, и график должен представлять собой прямую линию.



На рисунках (а) показаны ошибки, связанные с неправильным выбором масштаба по осям. В результате чего не полностью использована площадь графика, что затрудняет графическую обработку экспериментальных зависимостей. Кроме того, на рис. (а) допущены следующие неточности:

- разные зависимости обозначены одинаковыми символами;
- по оси абсцисс выбран неправильный масштаб;
- по оси ординат не вынесен общий множитель 10^{-3} .



Рисунки (а) демонстрируют неправильно построенные графики.

Рисунки (б) демонстрируют правильно построенные графики.

