

Плотность шариков

Задание

Используя предоставленное оборудование, определите среднюю плотность шариков и оцените погрешность измерения. Для этого:

1. Постройте график зависимости объёма шариков от их количества.
2. Постройте график зависимости массы шариков от их количества;
3. Определите угловой коэффициент указанных зависимостей;

Оборудование.

Большой прозрачный пластиковый стакан (200 мл, 2 шт), маленький прозрачный пластиковый стакан (75 мл), шарики (10 шт), вода, салфетки для поддержания чистоты рабочего места, стикер, миллиметровая бумага для построения графика, малярный скотч, маленький шприц (5 мл), большой шприц (20 мл).

В задаче требуется оценка погрешностей!

Справочная информация

Плотность воды примите равной 1 г/см^3 .

Полученные результаты

	Величина	Погрешность
Плотность шариков, г/см^3		

1. Рекомендуемая методика измерений зависимости массы шариков от их количества.

- Налейте воду в большой и маленький стакан.
- Поместите маленький стакан внутрь большого (маленький стакан будет плавать). Проверьте, нет ли пузырька под дном маленького стакана.
- Отметьте уровень воды в большом стакане с помощью малярного скотча (стикера).
- Положите в маленький стакан один шарик. Положение уровня воды в большом стакане изменится.
- Уберите из маленького стакана воду шприцем так, чтобы уровень воды в большом стакане достиг отметки.
- Запишите полученный объём, используя в качестве измерителя шприц.
- Определите массу убранной воды. Это и будет искомая масса шарика.
- Оцените погрешность измерения.
- Повторите эксперимент с другим числом шариков.

Число шариков, шт.							
Объём воды, мл							
Масса шариков, г							
Число шариков, шт.							
Объём воды, мл							
Масса шариков, г							

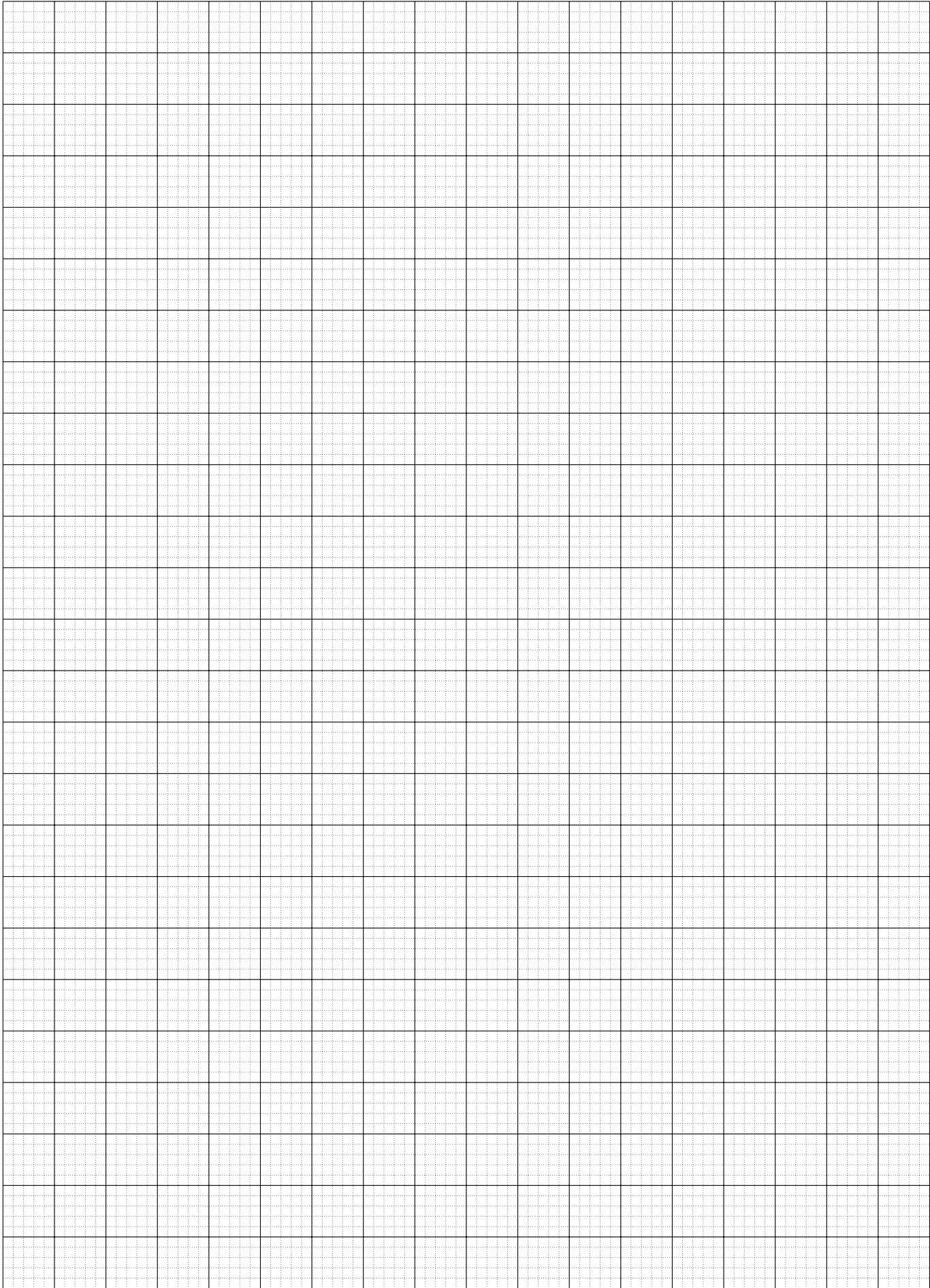
2. Рекомендуемая методика измерений зависимости объёма шариков от их количества

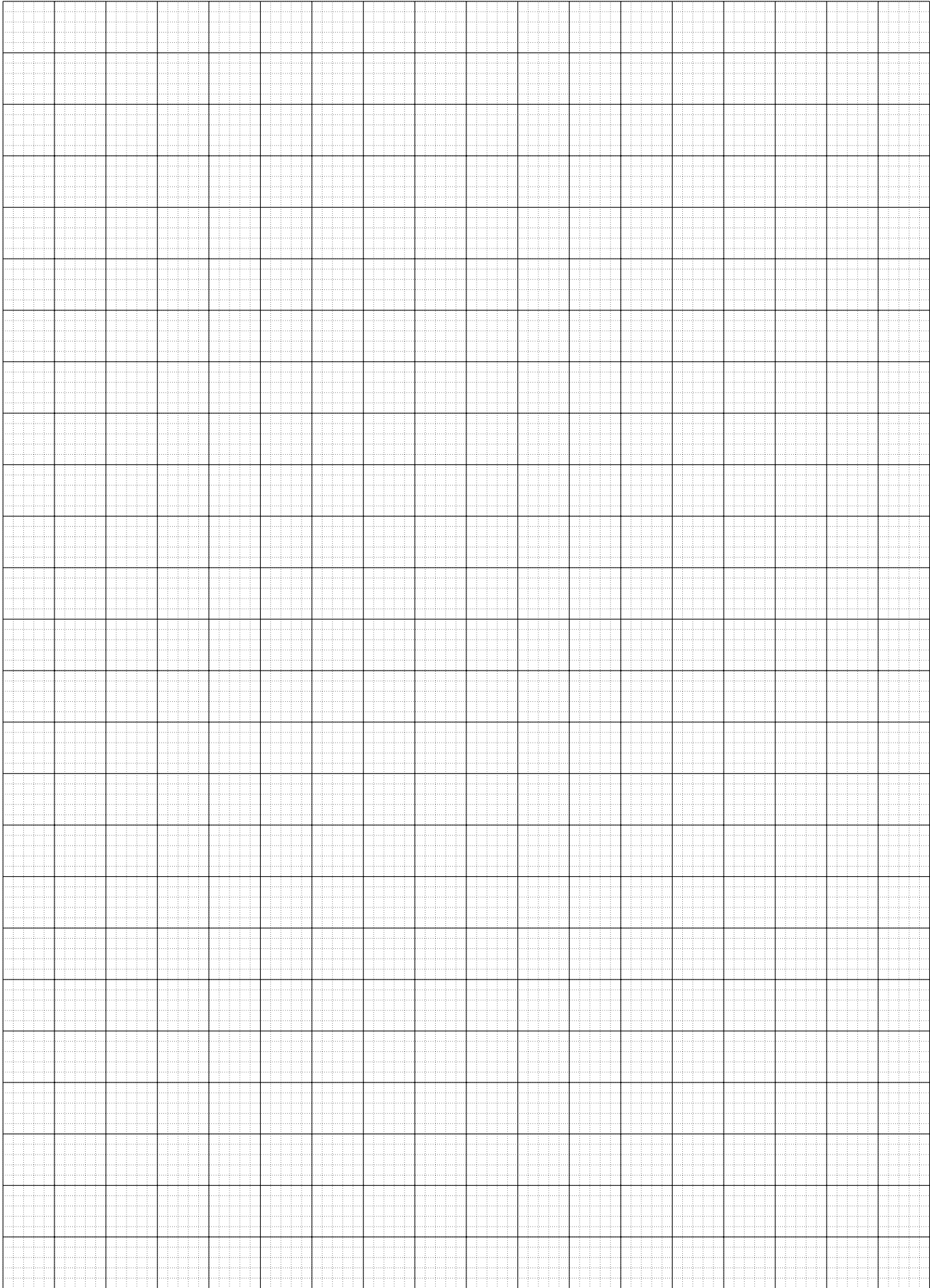
- Налейте воду в маленький стакан.
- Отметьте уровень воды в маленьком стакане с помощью малярного скотча (стикера).
- Положите в маленький стакан один шарик. Положение уровня воды в стакане изменится.
- Уберите из маленького стакана воду шприцем так, чтобы уровень воды достиг отметки.
- Запишите полученный объём, используя в качестве измерителя шприц. Это и будет искомый объём шарика.
- Оцените погрешность измерения.
- Повторите эксперимент с другим числом шариков.

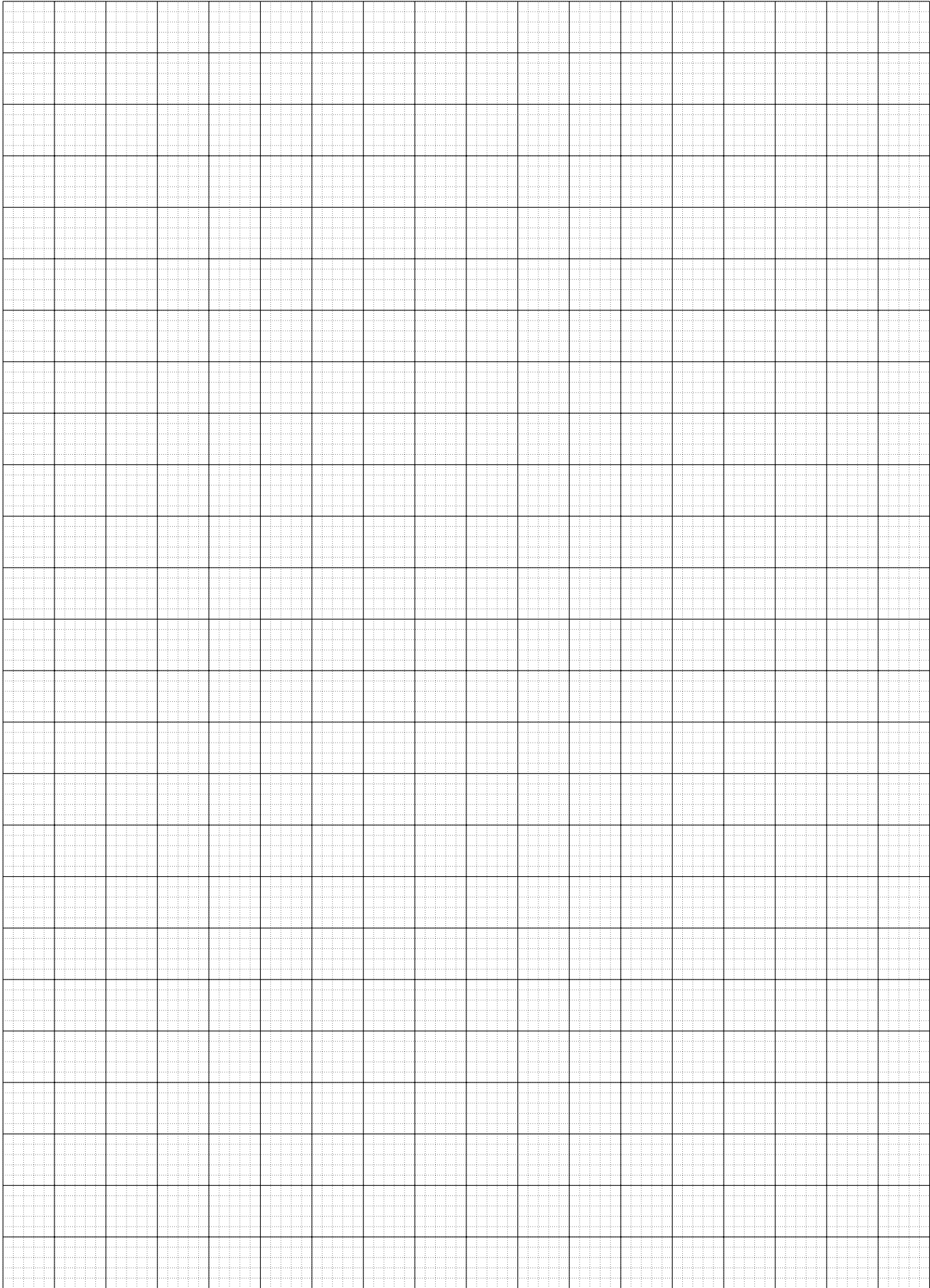
Число шариков, шт							
Объём шариков, мл							
Число шариков, шт							
Объём шариков, мл							

3. Используя миллиметровку, постройте измеренные зависимости и определите угловой коэффициент каждой зависимости и оцените погрешность. По этим данным определите среднюю плотность шариков и оцените погрешность.

4. Для максимального количества шариков оцените массу и объём одного шарика. По полученным значениям определите среднюю плотность шарика и оцените погрешность. Сравните с результатом, полученном в пункте 3.





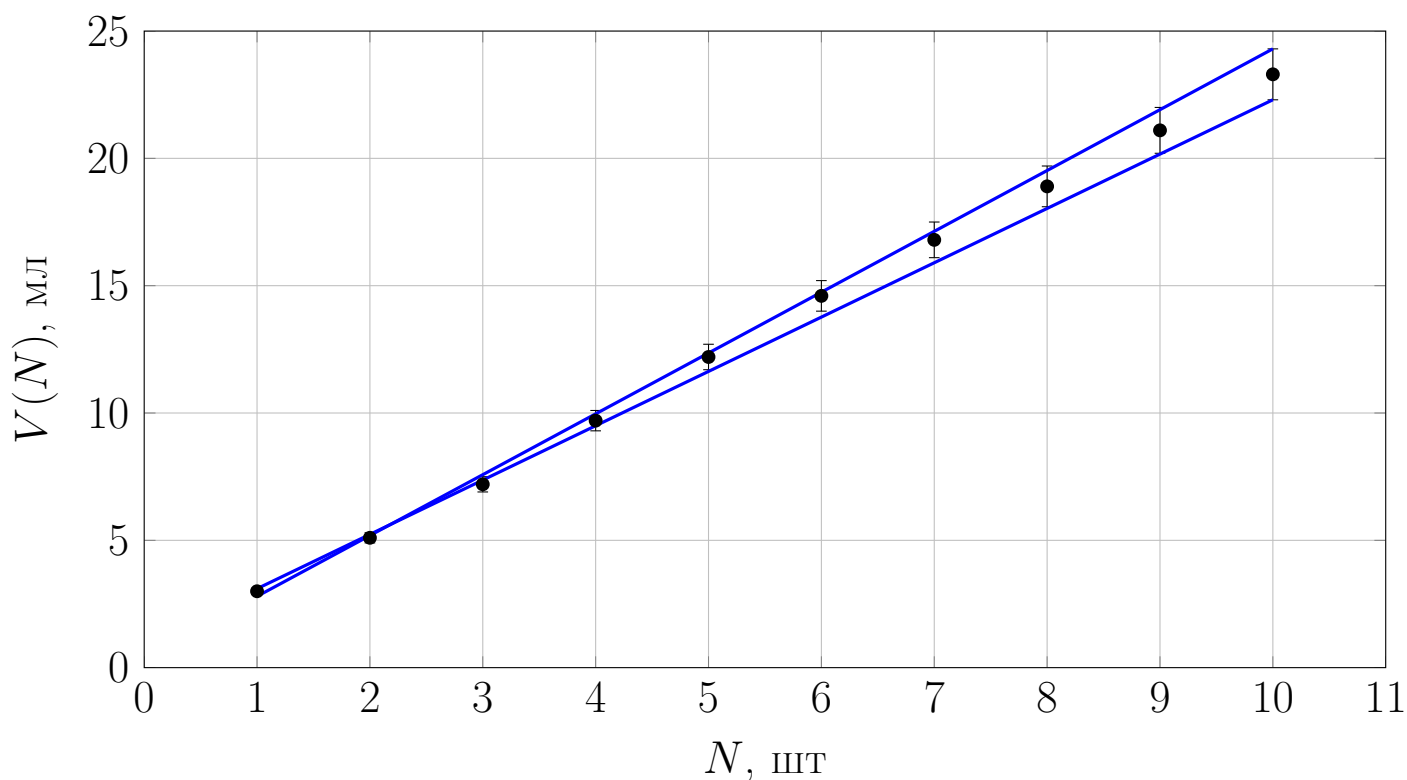


Авторское решение

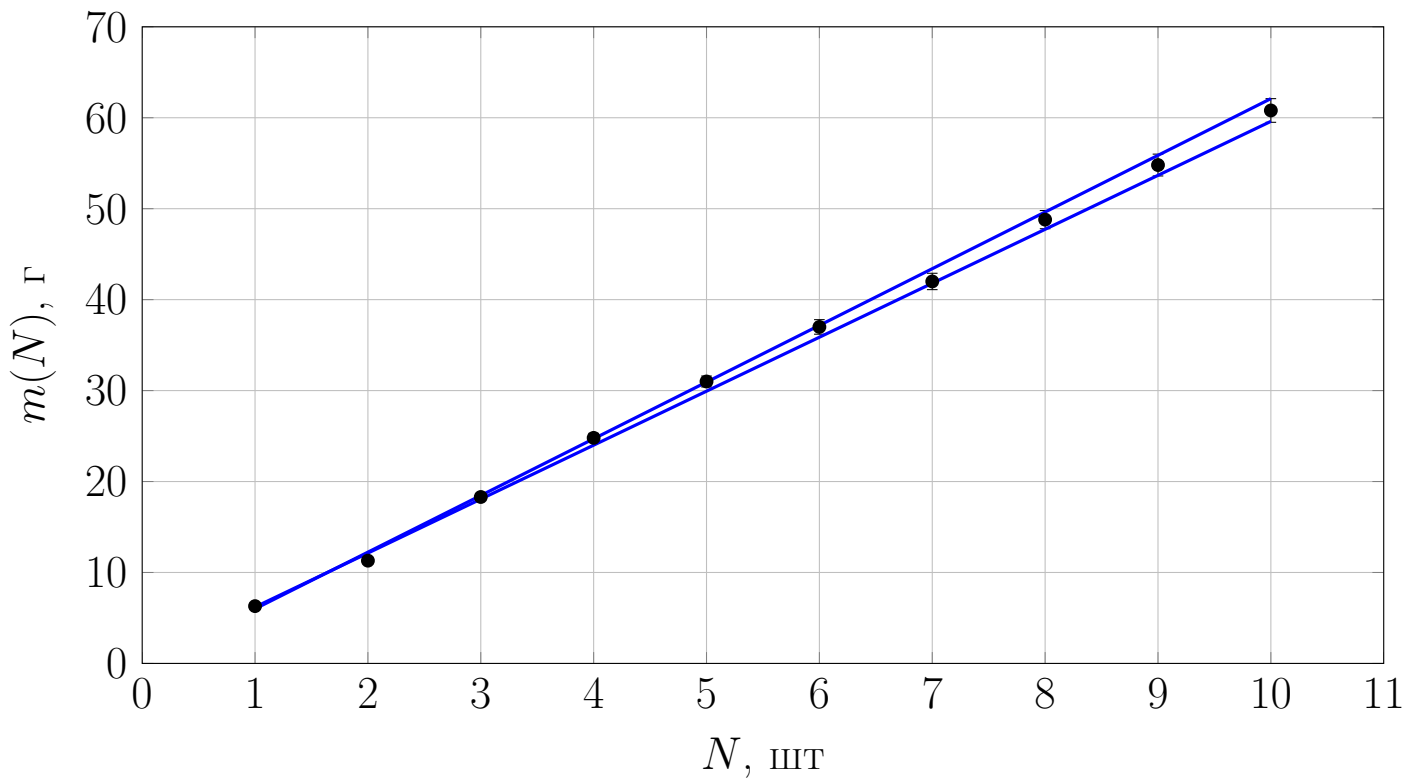
Число шариков, шт	1	2	3	4	5
Объём шариков, мл	3,0	5,1	7,2	9,7	12,2
Число шариков, шт	6	7	8	9	10
Объём шариков, мл	14,6	16,8	18,9	21,1	23,3

Число шариков, шт	1	2	3	4	5
Масса шариков, г	6,3	11,3	18,3	24,8	31,0
Число шариков, шт	6	7	8	9	10
Масса шариков, г	37,0	42,0	48,8	54,8	60,8

Для выбранного числа шариков проводилось измерение объёма и массы, после чего к выбранным шарикам добавлялся ещё один. Этим обеспечивалось соответствие объектов, для которых были измерены масса и объём.



$$V = k^V N + B, k_{min}^V = 2,133... \text{ мл}, k_{max}^V = 2,389... \text{ мл}, k^V = 2,26 \pm 0,13 \text{ мл}.$$

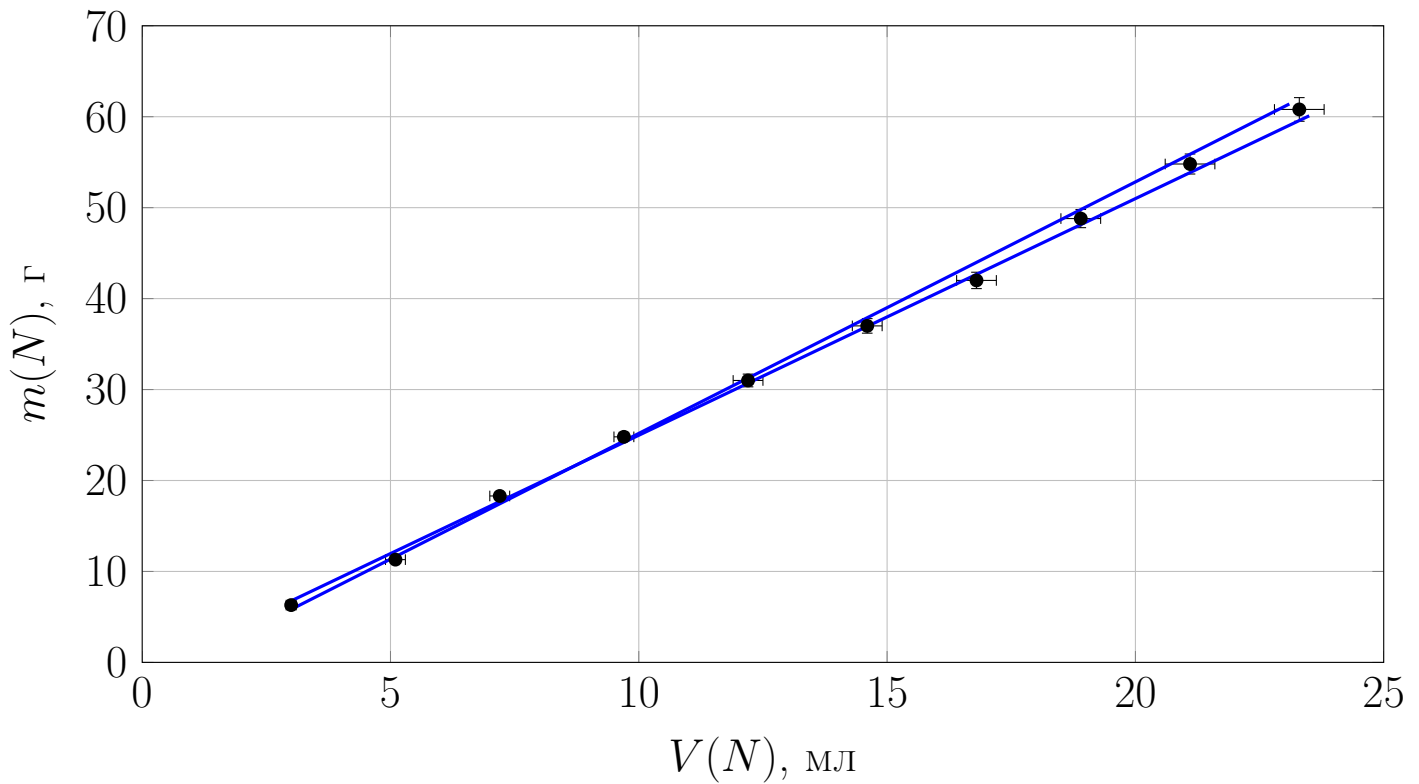


$$m = k^m N + B, k_{min}^m = 5,933... \text{ г}, k_{max}^m = 6,233... \text{ г}, k^m = 6,08 \pm 0,15 \text{ г}.$$

$$\rho_{\text{сред}} = \frac{k^m}{k^V} = 2,69 \text{ г/мл}, \frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{\Delta k^m}{k^m} + \frac{\Delta k^V}{k^V} \approx 0,0247 + 0,057 = 0,0817,$$

$$\Delta \rho \approx 0,22 \text{ г/мл}, \rho = 2,69 \pm 0,22 \text{ г/мл}.$$

Альтернативный метод нахождения плотности.



$$m = \rho V + B, \rho_{max} = 2,76 \text{ г/мл}, \rho_{min} = 2,60 \text{ г/мл}, \rho = 2,68 \pm 0,08 \text{ г/мл}.$$

Работа с графиками

На настоящий момент правила построения графиков для цели проведения ЕГЭ не разработаны и не утверждены. В контексте олимпиад школьников существуют рекомендации по построению графиков, разработанные на основе рекомендаций центральной предметно-методической комиссии по физике. Эти рекомендации можно найти по ссылке:

цпм.пф/wp-content/uploads/2022/12/postroenie-grafikov-2.pdf.

Обратите внимание на некоторые комментарии относительно построения графиков¹:

- В рекомендациях П. С. Тихонова указано, что в качестве подписи к оси используется обозначение физической величины и её единицы измерения, записанные через запятую. Помимо такого варианта единицы измерения физической величины можно, например, записывать в скобках или между последним и предпоследним подписанными делениями.
- Ряд чисел с шагом 4 (4, 8, 12, 16 и т.д.) лучше не использовать никогда, поскольку такой вариант может быть не засчитан проверяющими.
- Пример 1 и 2 про оцифровку осей относится к тексту перед обсуждением шага сетки (числа клеток масштабной-координатной бумаги между подписанными штрихами оси).
- Если кресты ошибок сравнимы с размером точки, то это лучше отдельно указать в отчёте в виде комментария (например, в подписи к графику).
- В рекомендациях П. С. Тихонова указано, что название графика нужно писать сверху. Но в русско-язычной литературе обычно подписи к рисункам (в том числе и графикам) располагаются под изображениями, а подписи к таблицам — над таблицами.

Построению графиков на физическом факультете отводится одно занятие практикума на первом курсе. На этом занятии мы рассказываем основные правила построения графиков и поясняем их на примерах.

¹Подробные рекомендации, которые мы используем на практикуме со студентами младших курсов на физическом факультете, можно найти по ссылке genphys.phys.msu.ru/rus/lab/vtek/Graf_of_rez_eksp_2016.pdf

Подготовительная работа

Читаем задание

λ (нм)	$\Delta\lambda$ (нм)	ρ (%)	$\Delta\rho$ (%)
357	2	27	2
385	2	29	2
420	2	33	2
450	2	37	2
500	2	45	2
550	2	48	2
600	2	72	2
650	2	80	2
700	2	82	2

Вариант 00

Построить график зависимости коэффициента отражения ρ света поверхностью меди от длины волны λ .
Использовать *координатную сетку*.
Переменные величины обозначить:
по оси X — наименованием,
по оси Y — наименованием.
 $\Delta\rho$ и $\Delta\lambda$ — погрешности соответствующих величин.

Считаем максимальное и минимальное значения (с учётом погрешности)

λ (нм)	$\Delta\lambda$ (нм)	ρ (%)	$\Delta\rho$ (%)
357	2	27	2
385	2	29	2
420	2	33	2
450	2	37	2
500	2	45	2
550	2	48	2
600	2	72	2
650	2	80	2
700	2	82	2

$$\lambda_{max} = 700 + 2 = 702 \text{ (нм)}$$

$$\lambda_{min} = 357 - 2 = 355 \text{ (нм)}$$

$$\rho_{max} = 82 + 2 = 84 \text{ (%)}$$

$$\rho_{min} = 27 - 2 = 25 \text{ (%)}$$

Выбираем шаг основных делений

λ (нм)	$\Delta\lambda$ (нм)	ρ (%)	$\Delta\rho$ (%)
357	2	27	2
385	2	29	2
420	2	33	2
450	2	37	2
500	2	45	2
550	2	48	2
600	2	72	2
650	2	80	2
700	2	82	2

$$\lambda_{max} = 700 + 2 = 702 \text{ (нм)}$$

$$\lambda_{min} = 357 - 2 = 355 \text{ (нм)}$$

$$\rho_{max} = 82 + 2 = 84 \text{ (%)}$$

$$\rho_{min} = 27 - 2 = 25 \text{ (%)}$$

$$\lambda: 300 - 800 \text{ нм, шаг } 100 \text{ нм}$$

$$\rho: 20 - 90 \text{ %, шаг } 10 \text{ %}$$

Выбираем шаг основных делений в см

λ (нм)	$\Delta\lambda$ (нм)	ρ (%)	$\Delta\rho$ (%)
357	2	27	2
385	2	29	2
420	2	33	2
450	2	37	2
500	2	45	2
550	2	48	2
600	2	72	2
650	2	80	2
700	2	82	2

$$\lambda_{max} = 700 + 2 = 702 \text{ (нм)}$$

$$\rho_{max} = 82 + 2 = 84 \text{ (\%)}$$

$$\lambda_{min} = 357 - 2 = 355 \text{ (нм)}$$

$$\rho_{min} = 27 - 2 = 25 \text{ (\%)}$$

λ : 300 — 800 нм, шаг 100 нм

5 промежутков — 12,5 см

(100 нм в 2,5 см)

ρ : 20 — 90 %, шаг 10 %

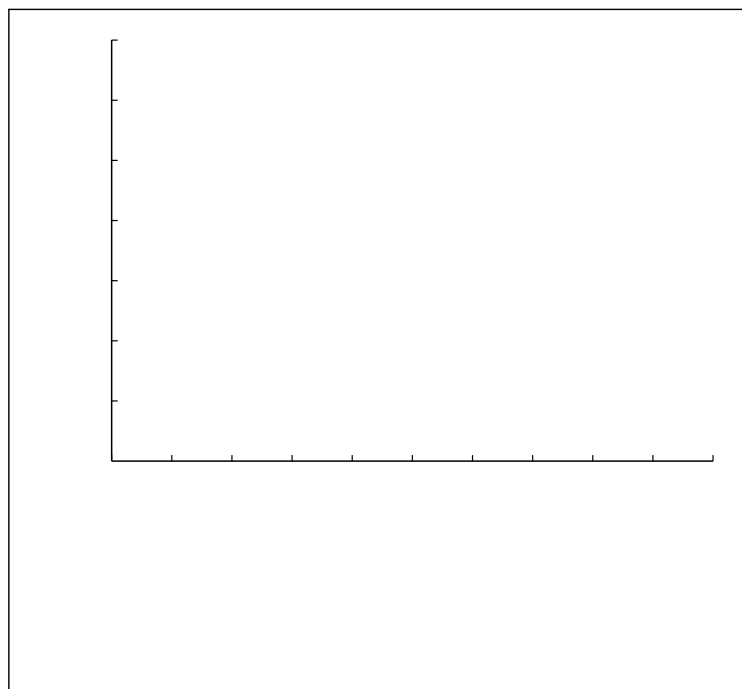
7 промежутков — 17,5 см

(10 % в 2,5 см)

Строим на листочке в клетку эскиз
графика

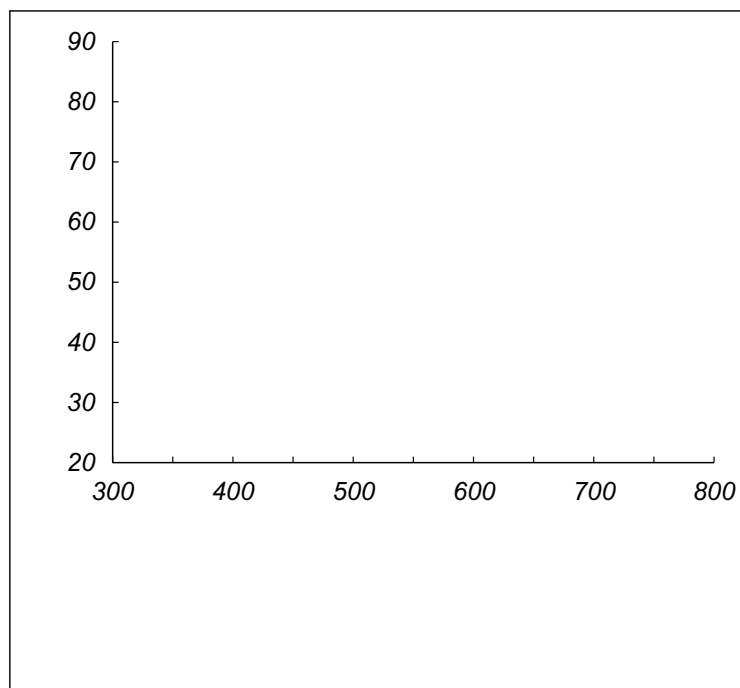
Поле для графика и оси

λ : 300 — 800 нм,
 шаг 100 нм
 (100 нм в 2,5 см)
 ρ : 20 — 90 %,
 шаг 10 %
 (10 % в 2,5 см)



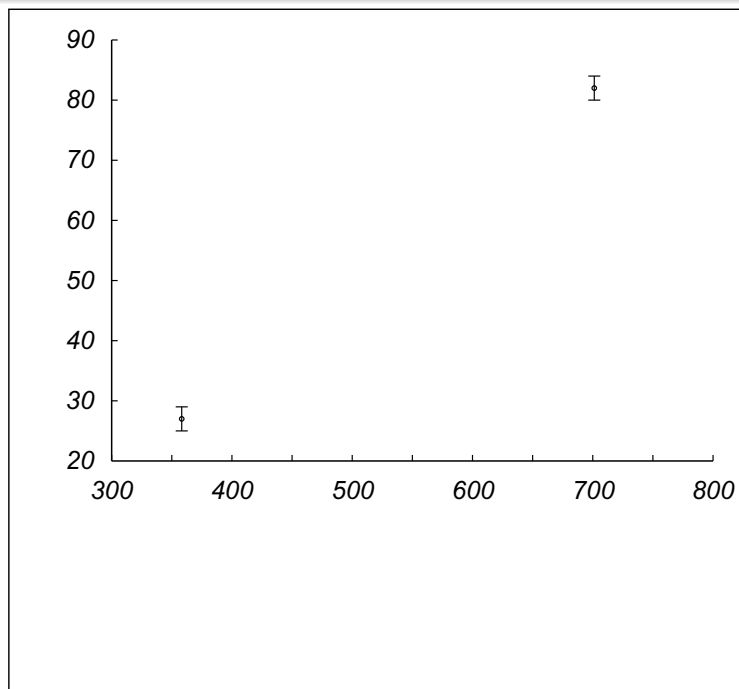
Деления шкалы и подписи к ним

λ : 300 — 800 нм,
 шаг 100 нм
 (100 нм в 2,5 см)
 ρ : 20 — 90 %,
 шаг 10 %
 (10 % в 2,5 см)

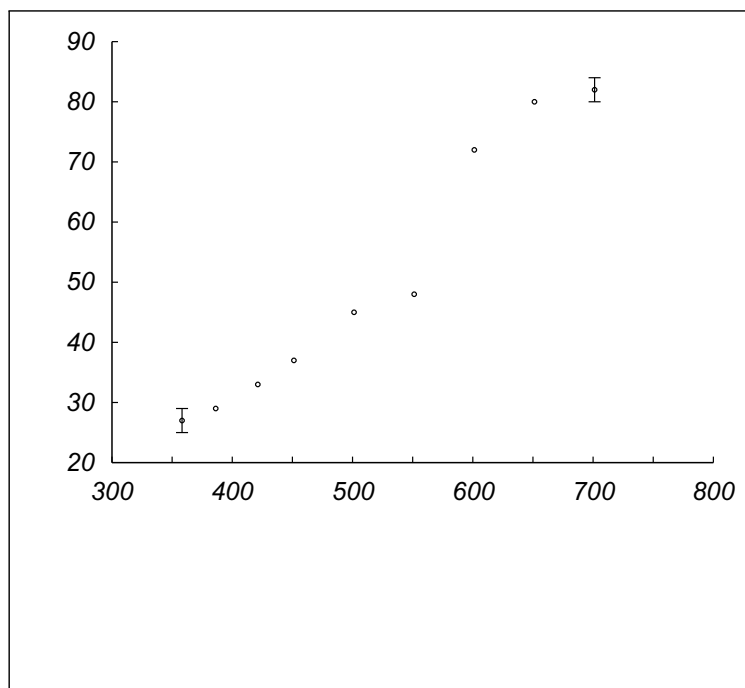


Наносим максимальное и минимальное значения с крестами погрешностей

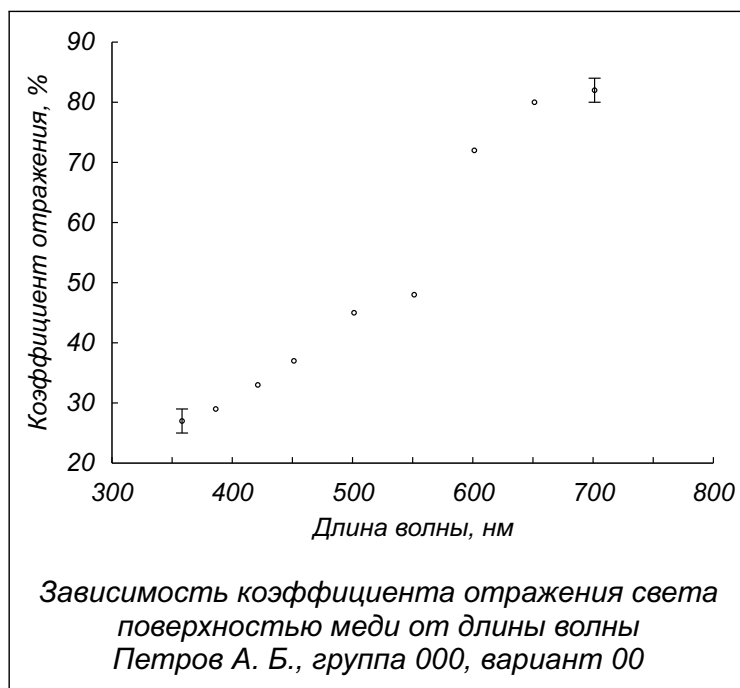
λ : 300 — 800 нм,
 шаг 100 нм
 (100 нм в 2,5 см)
 ρ : 20 — 90 %,
 шаг 10 %
 (10 % в 2,5 см)
 «Крайние точки»:
 702 (нм); 82%
 357 (нм); 27 (%)



Наносим остальные точки



Наносим подписи

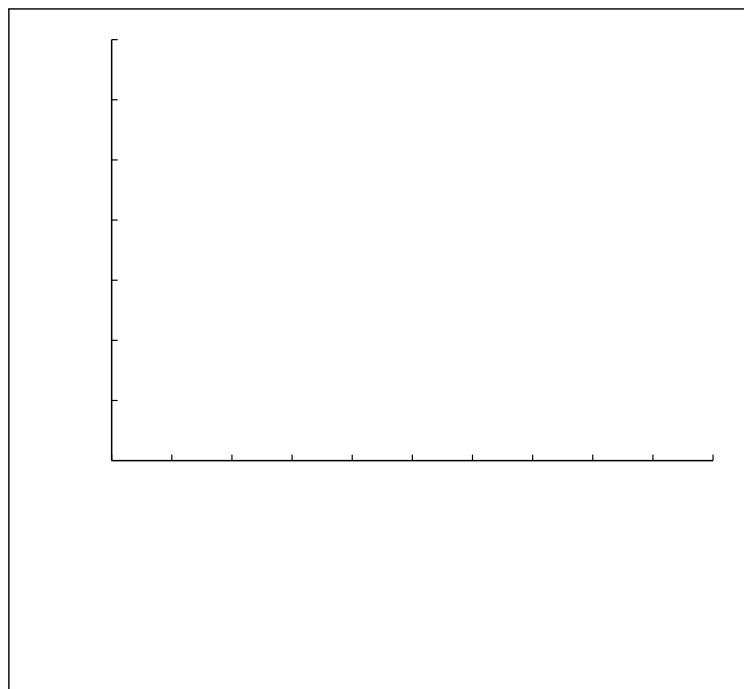


Показываем эскиз преподавателю

Строим график на миллиметровке

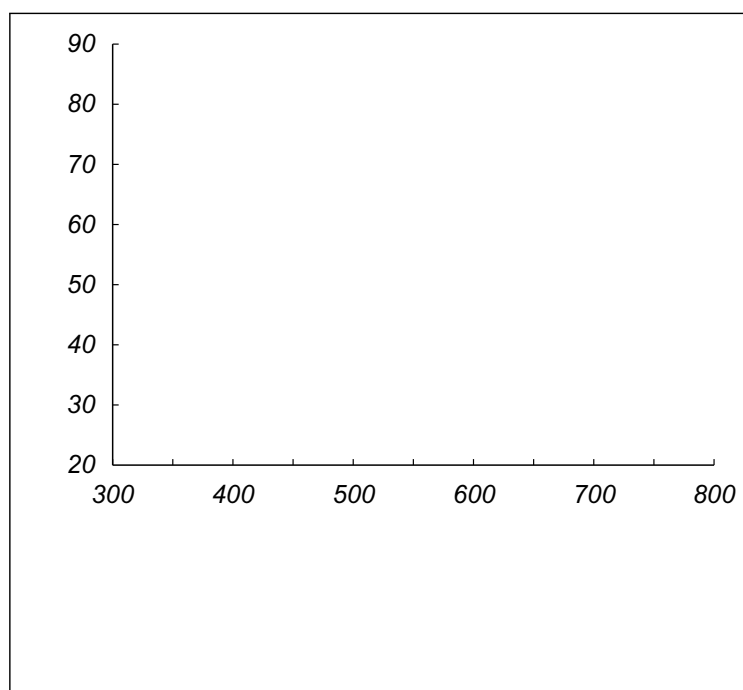
Поле для графика и оси

λ : 300 — 800 нм,
шаг 100 нм
(100 нм в 2,5 см)
 ρ : 20 — 90 %,
шаг 10 %
(10 % в 2,5 см)



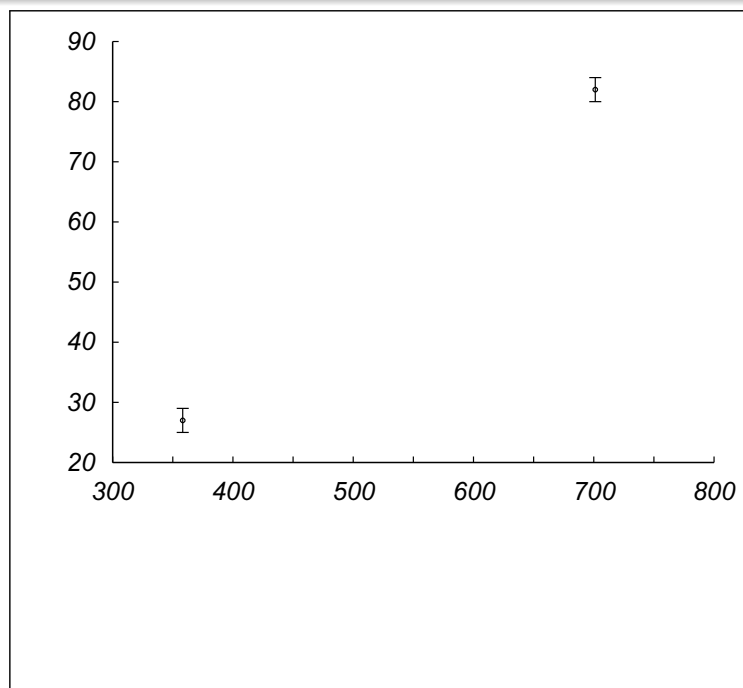
Деления шкалы и подписи к ним

λ : 300 — 800 нм,
шаг 100 нм
(100 нм в 2,5 см)
 ρ : 20 — 90 %,
шаг 10 %
(10 % в 2,5 см)

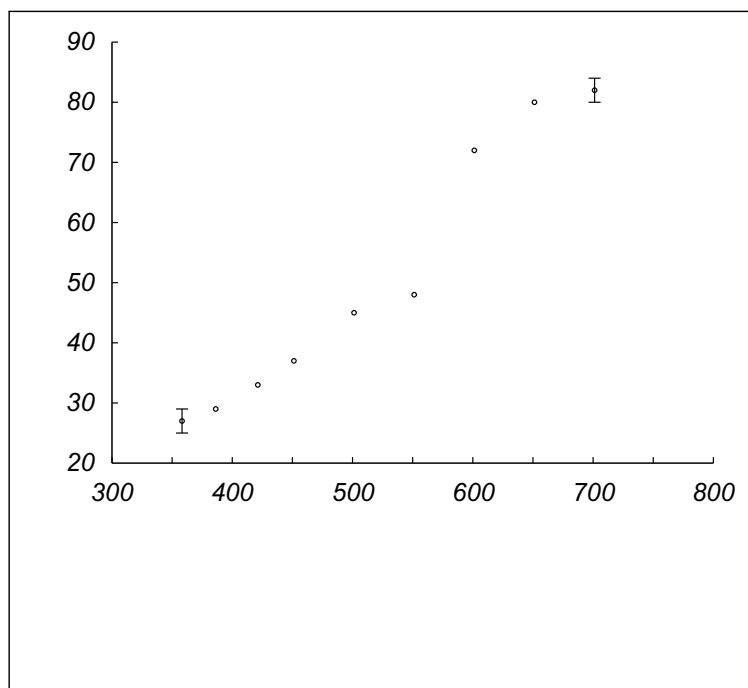


Наносим максимальное и минимальное значения с крестами погрешностей

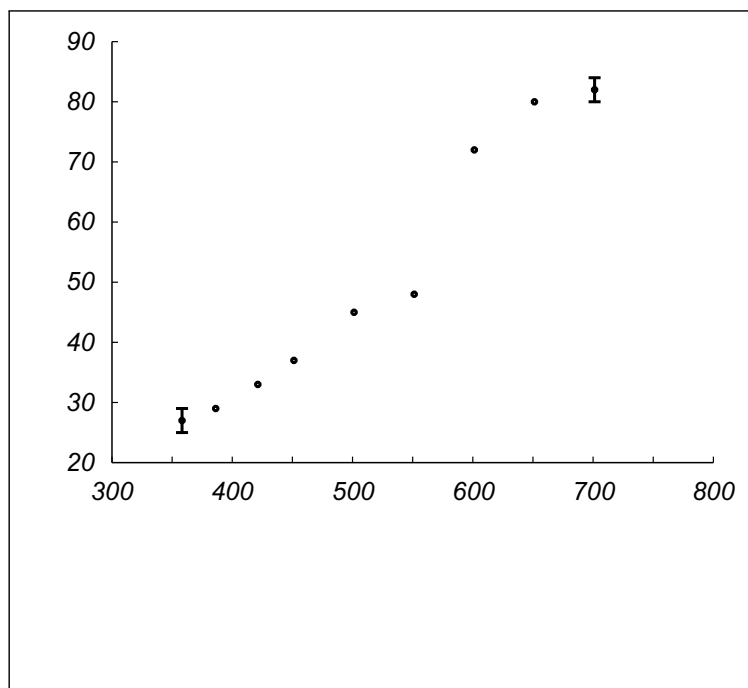
λ : 300 — 800 нм,
шаг 100 нм
(100 нм в 2,5 см)
 ρ : 20 — 90 %,
шаг 10 %
(10 % в 2,5 см)
«Крайние точки»:
702 (нм); 82%
357 (нм); 27 (%)



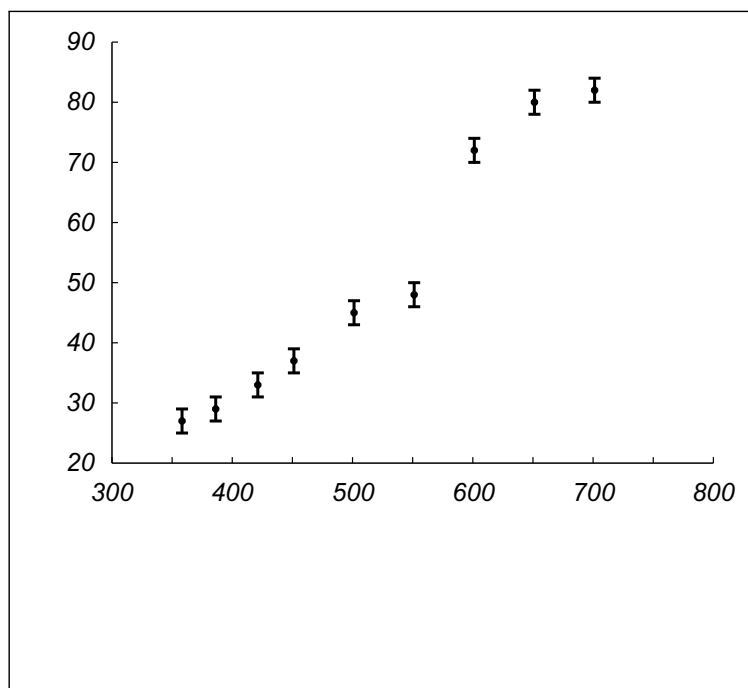
Наносим остальные точки



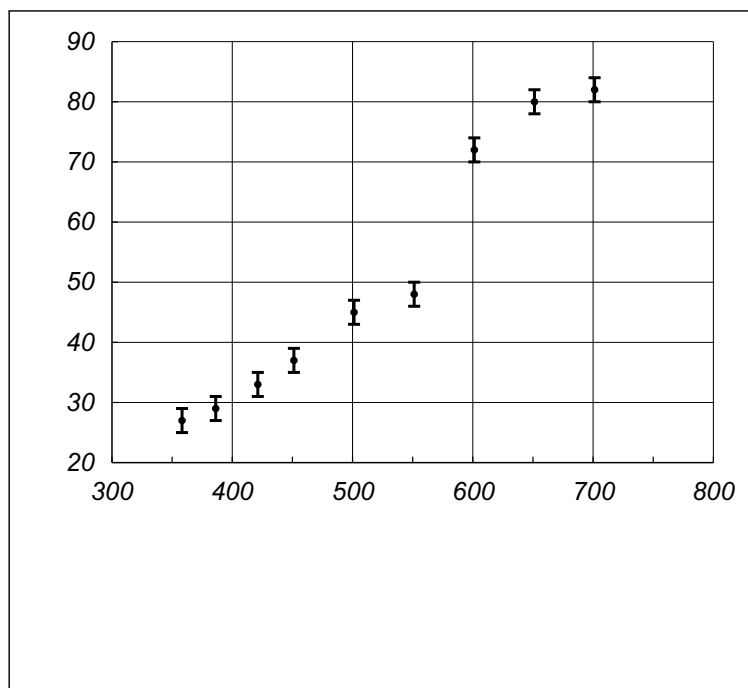
Делаем точки заметными



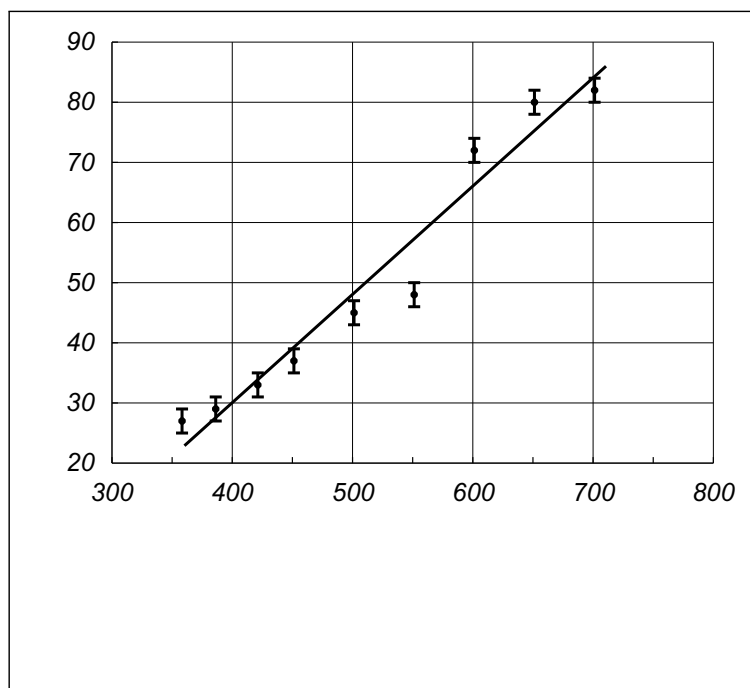
Наносим кресты погрешностей



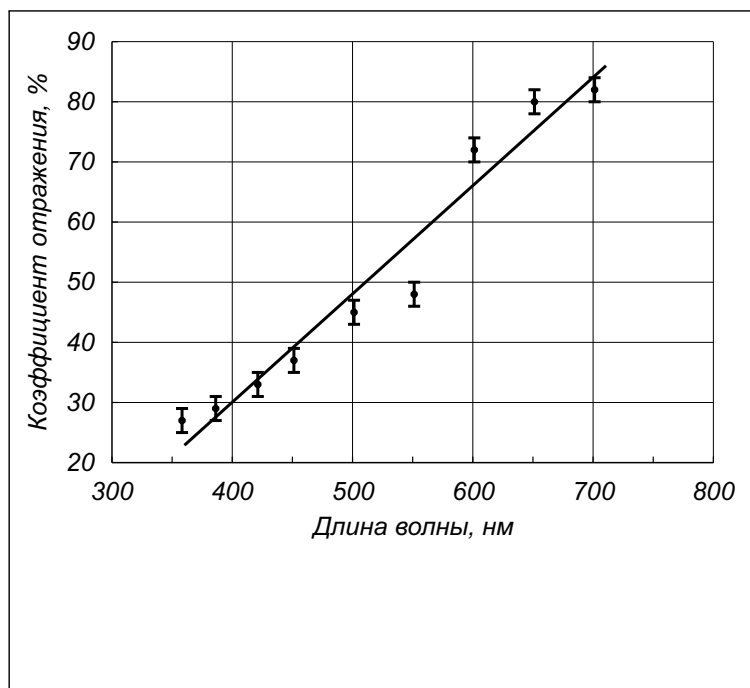
Наносим сетку



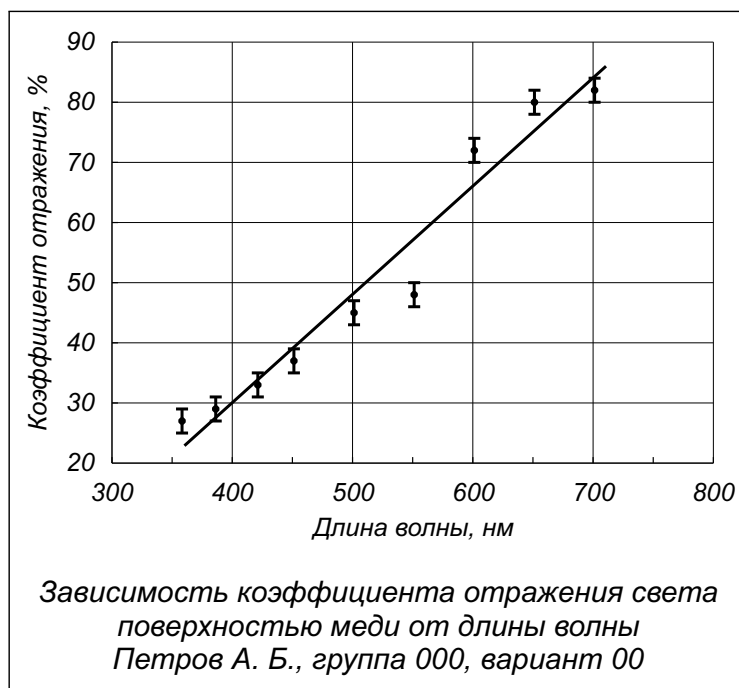
Наносим предполагаемую зависимость



Подписываем оси



Подписываем график



Сдаём работу

Оценка погрешностей

Погрешность измерения физических величин — это оценка интервала, в который скорее всего попадёт результат измерения, проведённого независимо другой научной группой в тех же условиях. В связи с этим нельзя точно определить значение погрешности, но его можно оценить, учитывая по возможности все факторы, которые влияют на результат измерения. Подробнее про оценку погрешности (на уровне 1 курса физического факультета) можно найти в пособии И.В. Митина и В.С. Русакова https://portal.tpu.ru/SHARED/s/SHAMSHUT/study/labs/Tab1/I_V_Mitin_V_S_Rusakov.pdf.

Если целью наших измерений является определение значения физической величины по показаниям прибора, то такое измерение называется прямым (например, в этой работе — измерение объёма). Среди факторов, которые влияют на результат прямых измерений, можно выделить

- неидеальность прибора. Погрешность в этом случае называется приборной. Она указывается в паспорте прибора или в условии задачи. Если такой информации нет, то для цифровых приборов обычно можно брать 2–3 единицы младшего разряда. Для приборов со шкалой обычно оценка приборной погрешности равна половине цены деления. Для линейки рекомендуется брать одну цену деления прибора, а для рулетки — две цены деления.
- неидеальность наблюдателя. Погрешность в этом случае называется субъективной. В нашей задаче можно действовать следующим образом. Из стакана нужно убрать чуть больше жидкости, так, чтобы уровень был заведомо ниже стикера. Дальше постараться зафиксировать момент, когда мы уже можем говорить, что уровень жидкости соответствует отметке (объём воды в шприце в этот момент V_1). Далее, отметить момент, когда уровень жидкости станет заведомо выше отметки (объём воды в шприце в этот момент V_2). Разница объёмов $V_1 - V_2$ определяет разброс значений, значит, половина этой величины является хорошей оценкой для субъективной погрешности измерения объёма.

- допущения модели и метода измерений. Погрешность в этом случае называется погрешностью метода. Любой метод использует допущения. Для оценки погрешности метода нужно постараться из теоретических соображений определить поправки к результату, связанные с допущениями.
- все остальные факторы, которые мы не можем контролировать. Такая погрешность называется случайной. В этом случае нужно провести несколько измерений и усреднить результат (например, с помощью метода границ).

Если целью наших измерений является определение значения физической величины по формуле, в которую мы подставляем результаты прямых измерений, то такое измерение называется косвенным (например, в этой работе — измерение плотности). Погрешность такого измерения оценивается по следующим правилам:

- Сумма или разность. В этом случае складываются абсолютные погрешности величин.
- Умножение и деление. В этом случае складываются относительные погрешности величин.