

# ТЕТРАДЬ

для лабораторных работ  
по физике для 10 класса

Пособие для учащихся учреждений  
общего среднего образования  
с русским языком обучения

- Рекомендовано  
Научно-методическим учреждением  
«Национальный институт образования»  
Министерства образования  
Республики Беларусь

8-е издание



Минск  
«Аверсэв»  
2020

УДК 53(075.3=161.1)  
ББК 22.3я721  
Т37

*Серия основана в 1999 году*

**Авторы:**

Е. В. Громько, В. И. Зенькович, А. А. Луцевич, И. Э. Слесарь

**Рецензент**

учитель физики квалификац. категории «учитель-методист»  
гос. учреждения образования «Гимназия № 1 г. Жодино» **Э. Н. Якубовская**

**Тетрадь для лабораторных работ по физике для 10 класса :**  
T37 пособие для учащихся учреждений общ. сред. образования  
с рус. яз. обучения / Е. В. Громько [и др.]. — 8-е изд. — Минск:  
Аверсэв, 2020. — 48 с. : ил. — (Рабочие тетради).

ISBN 978-985-19-4566-1.

Тетрадь составлена в соответствии с учебными программами по физике для 10 класса базового и повышенного уровней и является частью учебно-методического комплекса, обеспечивающего изучение физики. В пособии представлен перечень лабораторных работ, а также алгоритм их выполнения, который предполагает измерения и вычисления физических величин, умение делать самостоятельные выводы, давать обстоятельные ответы на контрольные вопросы. Использование тетради сокращает и облегчает работу ученика и учителя при оформлении и проверке работ, освобождает время для выполнения творческих заданий.

Рекомендуется учащимся 10 класса учреждений общего среднего образования, изучающим физику как на базовом, так и на повышенном уровне.

УДК 53(075.3=161.1)  
ББК 22.3я721

*Учебное издание*

РАБОЧИЕ ТЕТРАДИ

**Громько** Елена Владимировна  
**Зенькович** Владимир Иванович  
**Луцевич** Александр Александрович  
**Слесарь** Инесса Эдуардовна

**ТЕТРАДЬ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ФИЗИКЕ ДЛЯ 10 КЛАССА**

Пособие для учащихся учреждений общего среднего образования  
с русским языком обучения

*8-е издание*

Ответственный за выпуск *Д. Л. Дембовский*

Подписано в печать 09.06.2020. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 2,06. Тираж 40 000 экз. Заказ 1047.

Общество с дополнительной ответственностью «Аверсэв».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 1/15 от 02.08.2013. Ул. Н. Олешева, 1, офис 309, 220090, г. Минск.

**E-mail: info@aversev.by; www.aversev.by**

Контактные телефоны: (017) 378-00-00, 379-00-00. Для писем: а/я 3, 220090, г. Минск.

Государственное предприятие «Издательство «Белорусский Дом печати»».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 2/102 от 01.04.2014. Пр. Независимости, 79/1, 220013, г. Минск.

ISBN 978-985-19-4566-1

© Оформление. ОДО «Аверсэв», 2015

**От авторов**

Уважаемые учащиеся! В 10 классе вы продолжаете изучение тепловых и электромагнитных явлений в разделах «Молекулярная физика» и «Электродинамика».

Учебной программой по физике для базового уровня предусмотрены четыре лабораторные работы: «Изучение изотермического процесса», «Изучение изобарного процесса», «Измерение относительной и абсолютной влажности воздуха», «Измерение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока». Учебной программой по физике для повышенного уровня предусмотрены пять лабораторных работ: «Изучение изотермического процесса», «Изучение изобарного процесса», «Измерение поверхностного натяжения», «Измерение относительной и абсолютной влажности воздуха», «Измерение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока». Инструкции по выполнению всех лабораторных работ (при изучении физики как на базовом, так и на повышенном уровне) приведены в данном пособии.

Для успешного выполнения лабораторных работ советуем вам придерживаться следующих рекомендаций:

- ознакомьтесь с темой, целью и порядком выполнения работы;
- проверьте наличие на вашем столе необходимого оборудования;
- придерживайтесь инструкции и соблюдайте последовательность выполнения заданий;
- проанализируйте полученные результаты и сформулируйте вывод в соответствии с целью работы.

При выполнении лабораторных работ соблюдайте правила безопасного поведения.

3

### Изучение изотермического процесса

**Цель:** исследовать зависимость давления газа данной массы от занимаемого им объема при постоянной температуре.

**Оборудование:** прозрачная силиконовая трубка диаметром 8–10 мм с зажимом или пробкой на конце (стеклянная трубка диаметром 10–12 мм и длиной 60 см, запаянная с одного конца); мензурка (250 мл) с водой комнатной температуры; поддон; измерительная лента (линейка); барометр-анероид (один на класс).

#### Вывод расчетной формулы

Согласно закону Бойля – Мариотта при постоянной температуре параметры  $p_1$  и  $V_1$  начального состояния газа данной массы и параметры  $p_2$  и  $V_2$  его конечного состояния связаны соотношением

$$p_1 V_1 = p_2 V_2.$$

Исследуемым газом в выполняемой работе является воздух, находящийся внутри прозрачной силиконовой трубки с зажимом или пробкой на конце (стеклянной трубки) (рис. 1, а (б)).

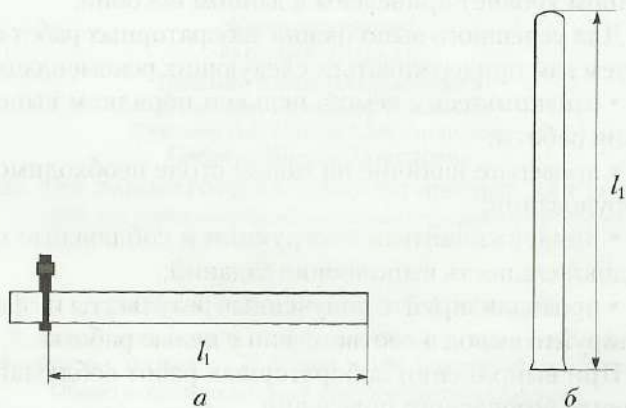


Рис. 1

Поскольку внутренняя полость трубки имеет форму цилиндра и площадь  $S$  ее поперечного сечения одинакова по всей длине труб-

ки, то  $V_1 = Sl_1$  и  $V_2 = Sl_2$ , где  $l_1$  и  $l_2$  — длины столба воздуха в трубке в начальном и конечном состояниях соответственно.

Следовательно,

$$p_1 Sl_1 = p_2 Sl_2$$

или

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{l_1}{l_2}.$$

При выполнении работы проверяют справедливость этого равенства.

#### Порядок выполнения работы

1. Закройте зажим на конце силиконовой трубки и измерьте длину  $l_1$  столба воздуха в трубке в начальном состоянии. Результат измерения занесите в таблицу.
2. Измерьте давление  $p_1$  воздуха в начальном состоянии, используя барометр-анероид. Результат измерения занесите в таблицу.
3. Поставьте мензурку на поддон и заполните ее водой комнатной температуры так, чтобы при погружении трубки вода в мензурке поднялась до ее верхнего края.
4. Погрузите в воду трубку так, чтобы ее открытый конец оказался у дна мензурки (рис. 2).
5. Наблюдайте за поступлением воды в трубку. Когда оно прекратится, измерьте длину  $\Delta L$  столба воды, вошедшей в трубку. Результат измерения занесите в таблицу.
6. Измерьте разность уровней  $h$  воды в мензурке и трубке. Результат измерения занесите в таблицу.
7. Вычислите длину  $l_2$  столба воздуха в трубке в конечном состоянии:  $l_2 = l_1 - \Delta L$ . Результат вычисления занесите в таблицу.

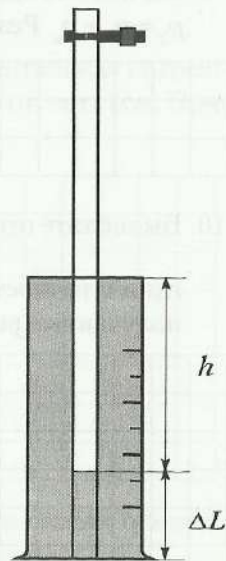


Рис. 2


8. Вычислите давление  $p_n$  столба воды по формуле  $p_n = \rho gh$ , где  $\rho$  — плотность воды (примите  $\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ). Значение ускорения свободного падения примите  $g = 9,810 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ . Результат вычисления занесите в таблицу.

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

9. Вычислите давление  $p_2$  воздуха в трубке в конечном состоянии:  $p_2 = p_1 + p_n$ . Результат вычисления занесите в таблицу.

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

10. Вычислите отношения  $\frac{p_2}{p_1}$  и  $\frac{l_1}{l_2}$ . Результаты вычислений, округлив с точностью до тысячных, занесите в таблицу. Сравните полученные результаты и сделайте вывод.

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Таблица

$l_1$ , м	$p_1$ , Па	$\Delta L$ , м	$h$ , м	$l_2$ , м	$p_n$ , Па	$p_2$ , Па	$\frac{p_2}{p_1}$	$\frac{l_1}{l_2}$

11. Вычислите относительную погрешность  $\varepsilon_1$  измерения отношения  $\frac{p_2}{p_1}$

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta p}{p_1} + \frac{\Delta p}{p_2}$$

где  $\Delta p = \Delta_n p + \Delta_o p$  ( $\Delta_n$  — абсолютная инструментальная погрешность прибора;  $\Delta_o$  — абсолютная погрешность отсчета (см. Приложение)).

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

12. Вычислите абсолютную погрешность  $\Delta_1$  измерения отношения  $\frac{p_2}{p_1}$

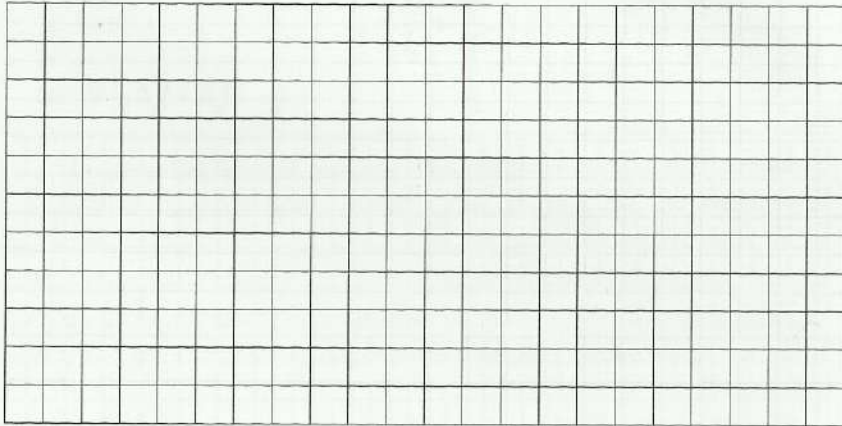
$$\Delta_1 = \varepsilon_1 \frac{p_2}{p_1}$$

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

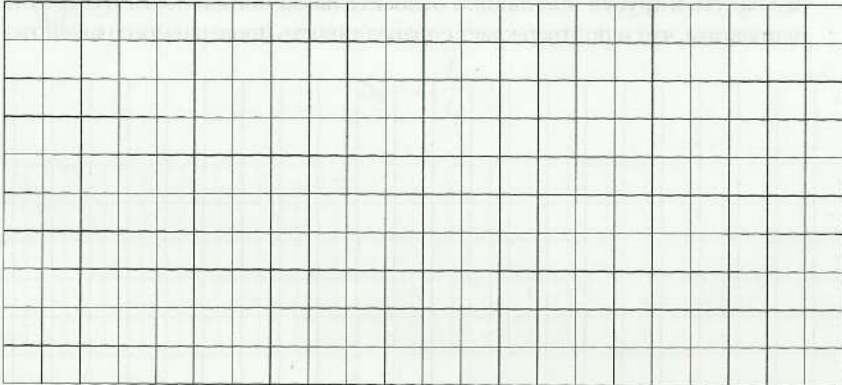


**Контрольные вопросы**

1. При каких условиях для определения параметров состояния газа можно использовать уравнение  $pV = \text{const}$ ?



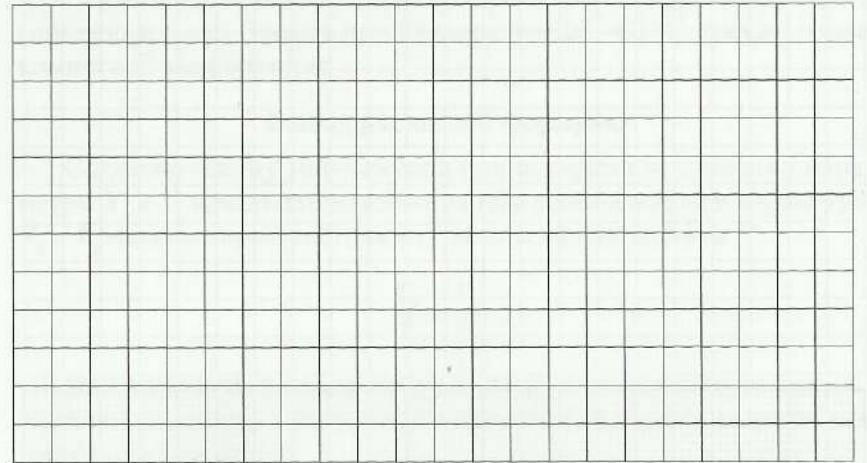
2. Почему при выполнении данной работы процесс изменения объема воздуха можно считать практически изотермическим?



3. Что влияет на точность полученных результатов?

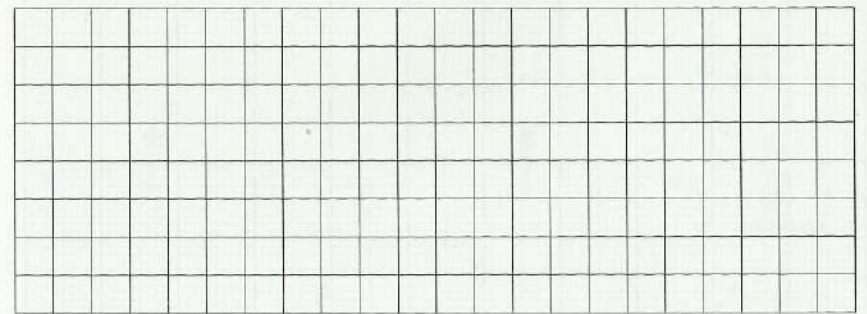


**Выводы:**



***Суперзадание***

Определите математическую зависимость между плотностью и давлением воздуха в трубке. Используя результаты, полученные при выполнении данной работы, и термометр, постройте график зависимости плотности воздуха в трубке от давления.



### Изучение изобарного процесса

**Цель:** исследовать зависимость объема газа данной массы от температуры при постоянном давлении.

**Оборудование:** прозрачная силиконовая трубка диаметром 8–10 мм и длиной 80–100 см с двумя зажимами (пробками) на концах; термометр; внешний стакан калориметра; измерительная лента (линейка); сосуд с водой при температуре 55–60 °С; сосуд с водой комнатной температуры.

#### Вывод расчетной формулы

Согласно закону Гей-Люссака при постоянном давлении параметры  $V_1$  и  $T_1$  начального состояния газа данной массы и параметры  $V_2$  и  $T_2$  его конечного состояния связаны соотношением

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}.$$

Исследуемым газом в выполняемой работе является воздух, находящийся внутри прозрачной силиконовой трубки с зажимами (пробками) на концах.

Поскольку внутренняя полость трубки имеет форму цилиндра и площадь  $S$  ее поперечного сечения одинакова по всей длине трубки, то  $V_1 = Sl_1$  и  $V_2 = Sl_2$ , где  $l_1$  и  $l_2$  — длины столба воздуха в трубке в начальном (рис. 1) и конечном (рис. 2) состояниях соответственно.

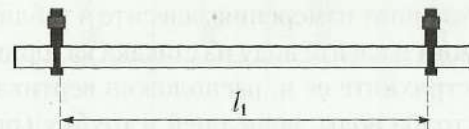


Рис. 1

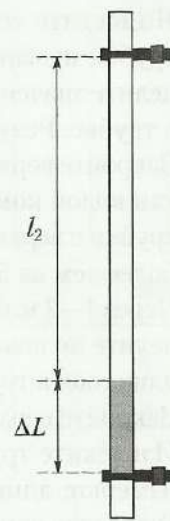
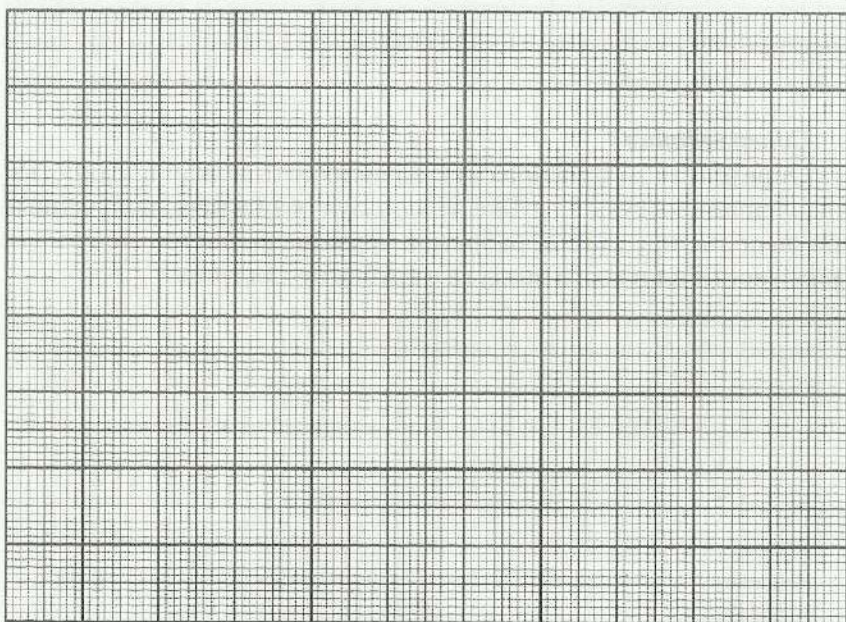
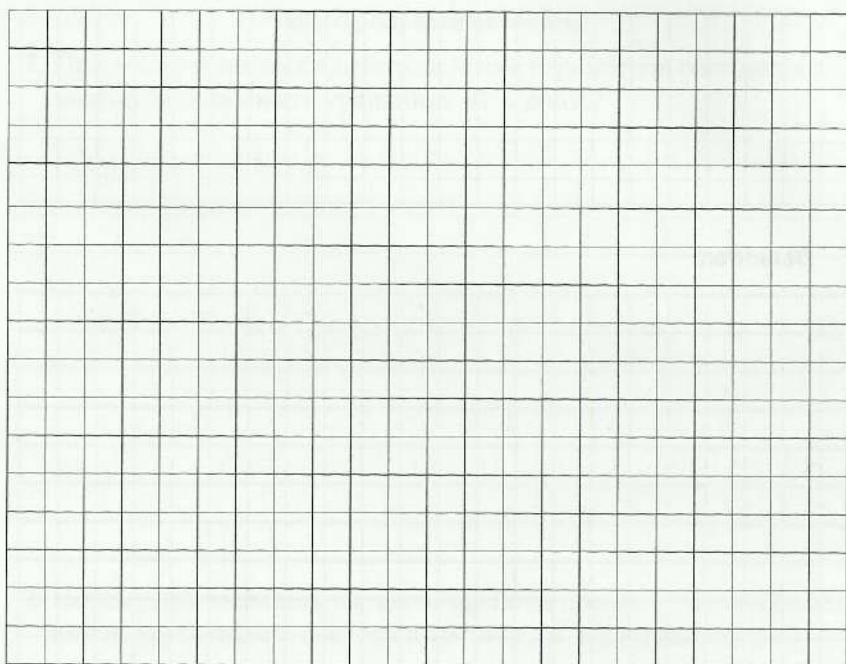


Рис. 2







10. Вычислите относительную погрешность  $\varepsilon_1$  измерения отношения  $\frac{T_1}{T_2}$

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta T}{T_1} + \frac{\Delta T}{T_2},$$

где  $\Delta T = \Delta_n T + \Delta_o T$ .


11. Вычислите абсолютную погрешность  $\Delta_1$  измерения отношения  $\frac{T_1}{T_2}$

$$\Delta_1 = \varepsilon_1 \frac{T_1}{T_2}$$


12. Вычислите относительную погрешность  $\varepsilon_2$  измерения отношения  $\frac{l_1}{l_2}$

$$\varepsilon_2 = \frac{\Delta l}{l_1} + \frac{\Delta l}{l_2},$$

где  $\Delta l = \Delta_n l + \Delta_o l$ .


13. Вычислите абсолютную погрешность  $\Delta_2$  измерения отношения  $\frac{l_1}{l_2}$

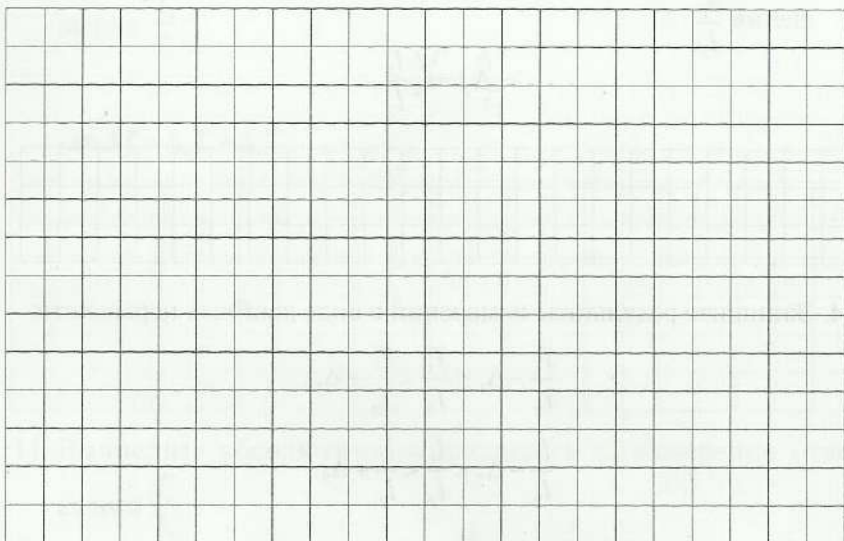
$$\Delta_2 = \varepsilon_2 \frac{l_1}{l_2}$$


14. Запишите результаты измерений в виде двойных неравенств:

$$\frac{T_1}{T_2} - \Delta_1 < \frac{T_1}{T_2} < \frac{T_1}{T_2} + \Delta_1;$$

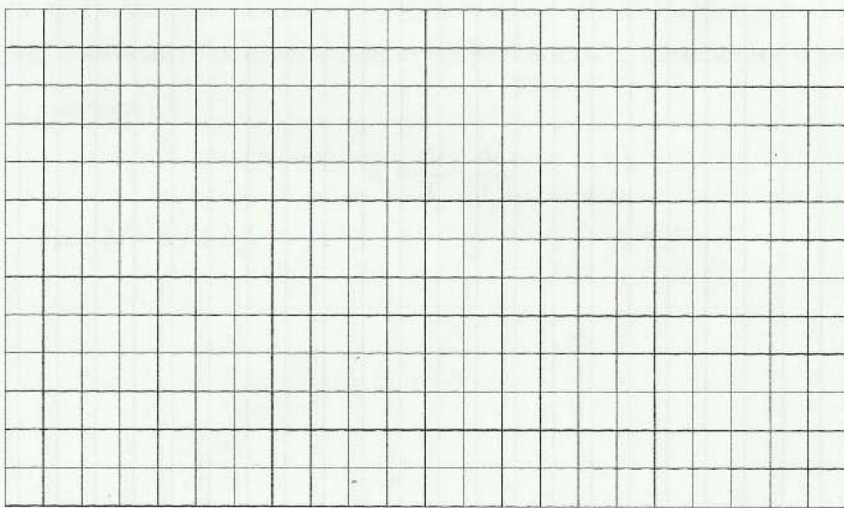
$$\frac{l_1}{l_2} - \Delta_2 < \frac{l_1}{l_2} < \frac{l_1}{l_2} + \Delta_2.$$


15. Сравните полученные интервалы значений и сделайте вывод.

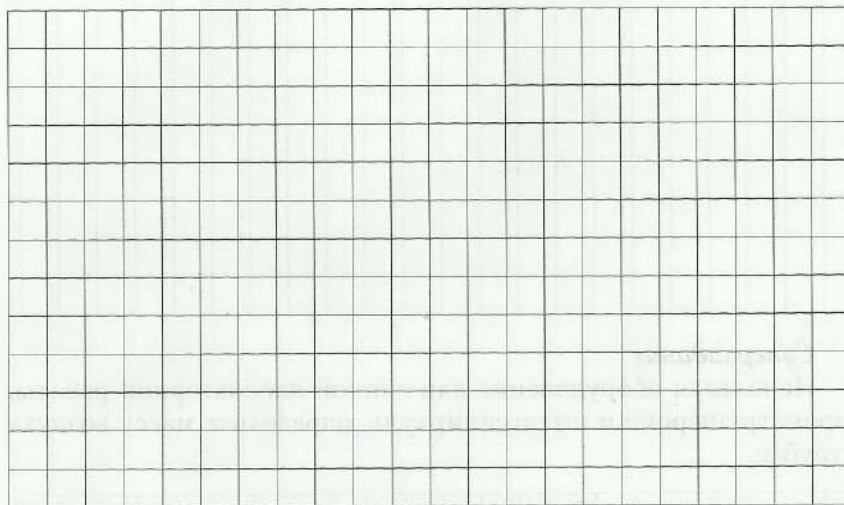


### Контрольные вопросы

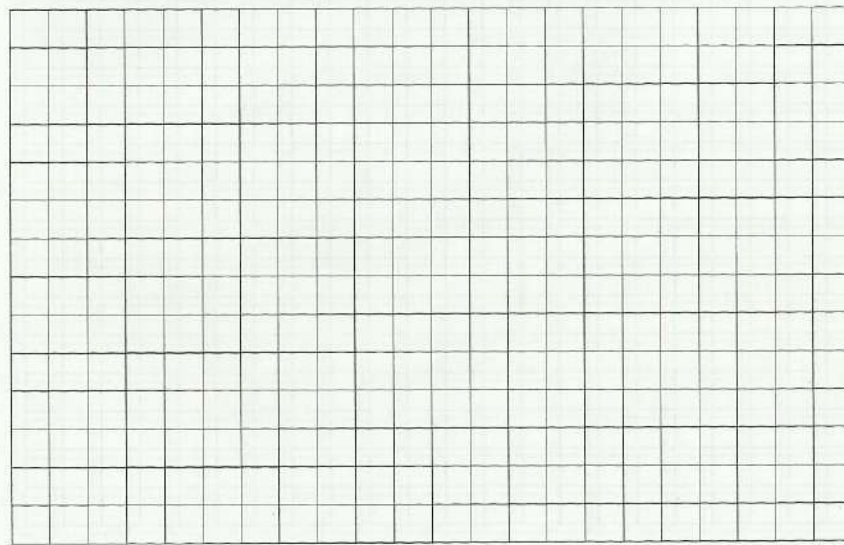
1. При каких условиях для определения параметров состояния газа можно использовать уравнение  $V = \text{const}T$ ?



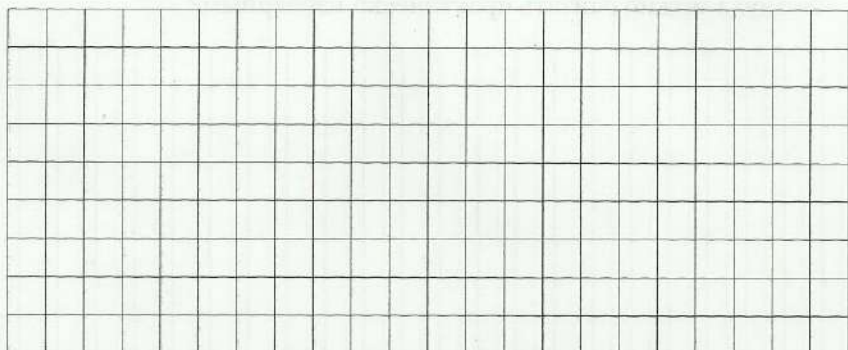
2. Почему при выполнении данной работы процесс охлаждения воздуха можно считать практически изобарным?



3. Как определить, когда наступило выравнивание температуры воздуха в трубке и температуры нагретой воды в стакане калориметра?

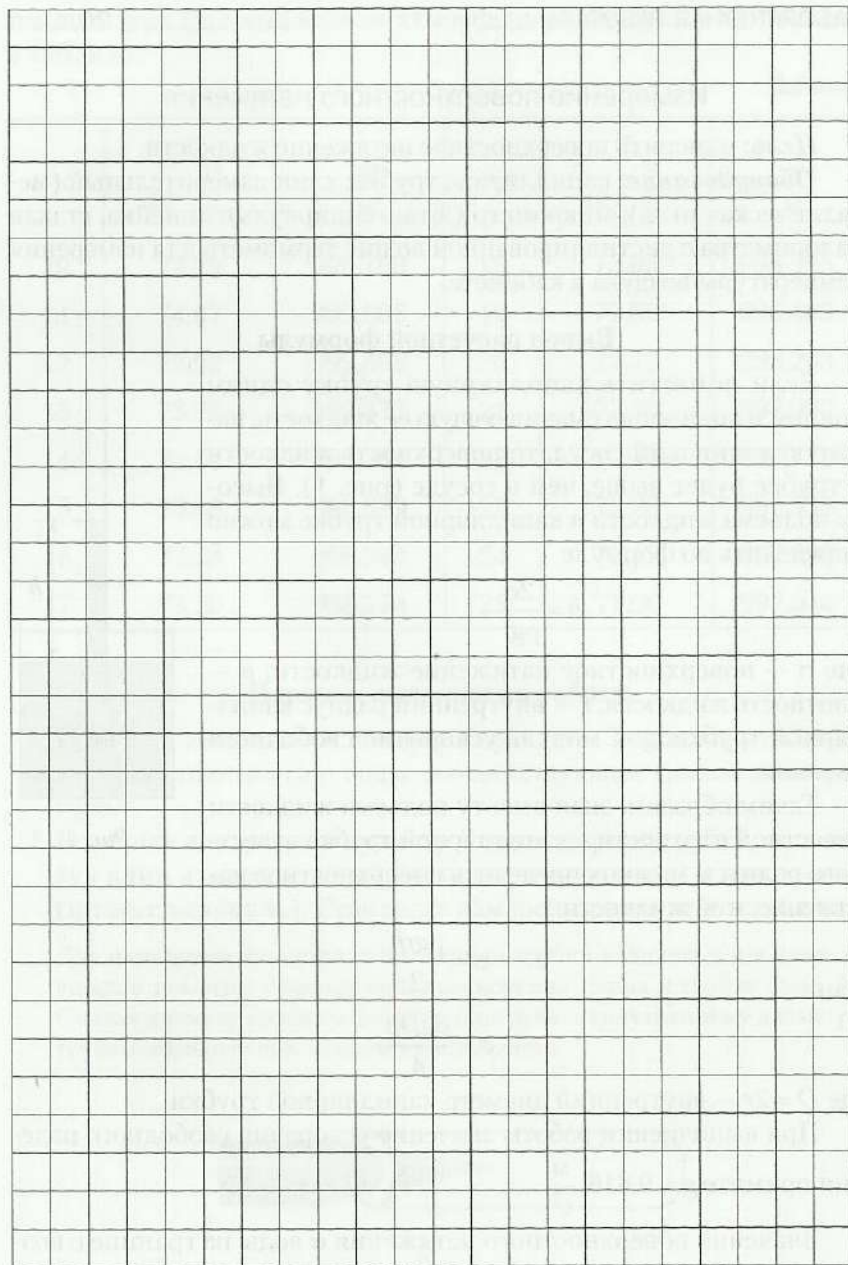
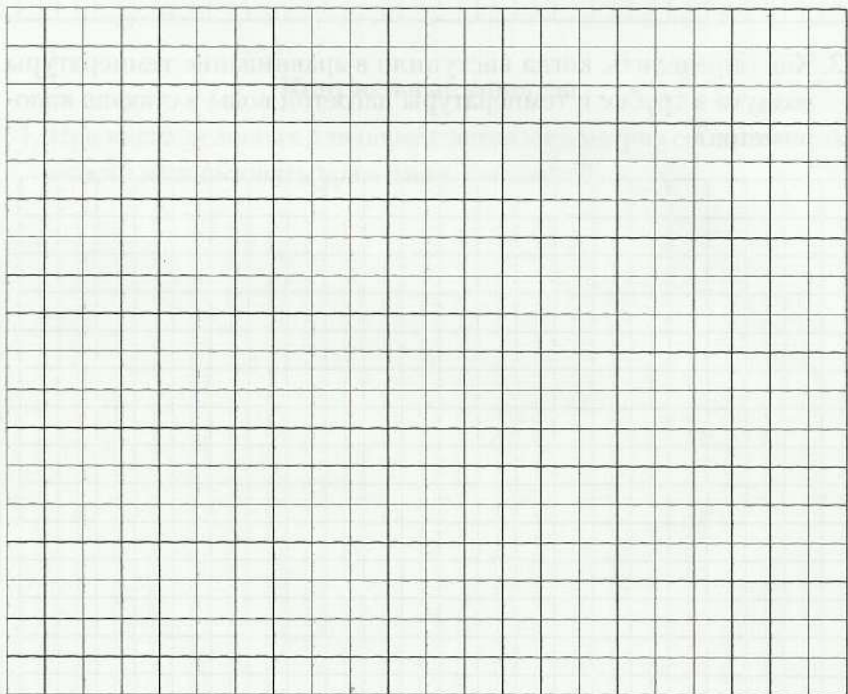


**Выводы:**



**Суперзадание**

Используя оборудование для данной лабораторной работы, барометр-анероид и штангенциркуль, определите массу воздуха в трубке.



### Измерение поверхностного натяжения

**Цель:** измерить поверхностное натяжение жидкости.

**Оборудование:** капиллярная трубка; клин измерительный (металлическая игла); микрометр (штангенциркуль); линейка; стакан калориметра с дистиллированной водой; термометр для измерения температуры воздуха в кабинете.

#### Вывод расчетной формулы

Если поместить капиллярную трубку одним концом в полностью смачивающую ее жидкость, налитую в широкий сосуд, то поверхность жидкости в трубке будет выше, чем в сосуде (рис. 1). Высоту подъема жидкости в капиллярной трубке можно определить по формуле

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r},$$

где  $\sigma$  — поверхностное натяжение жидкости;  $\rho$  — плотность жидкости;  $r$  — внутренний радиус капиллярной трубки;  $g$  — модуль ускорения свободного падения.

Таким образом, зная высоту подъема жидкости известной плотности в капиллярной трубке известного радиуса, можно определить поверхностное натяжение этой жидкости:

$$\sigma = \frac{\rho g r h}{2}$$

или

$$\sigma = \frac{\rho g D h}{4},$$

где  $D = 2r$  — внутренний диаметр капиллярной трубки.

При выполнении работы значение ускорения свободного падения примите  $g = 9,810 \frac{м}{с^2}$ .

Значения поверхностного натяжения  $\sigma$  воды на границе с воздухом и плотности  $\rho$  дистиллированной воды при различной

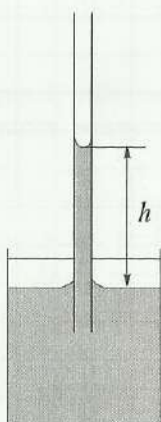


Рис. 1

температуре  $t$  и нормальном атмосферном давлении приведены в таблице.

Таблица

$t, ^\circ\text{C}$	$\sigma, 10^{-3} \frac{Н}{м}$	$\rho, \frac{кг}{м^3}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\sigma, 10^{-3} \frac{Н}{м}$	$\rho, \frac{кг}{м^3}$
10	74,20	999,700	18	73,05	998,595
11	74,07	999,605	19	72,89	998,405
12	73,92	999,498	20	72,75	998,203
13	73,78	999,377	21	72,60	997,992
14	73,64	999,244	22	72,44	997,770
15	73,48	999,099	23	72,28	997,538
16	73,34	998,943	24	72,12	997,296
17	73,20	998,774	25	71,96	997,044

#### Порядок выполнения работы

1. Измерьте температуру воздуха в кабинете. Запишите в таблицу значение плотности  $\rho$  воды, соответствующее данной температуре.
2. Измерьте внутренний диаметр  $D$  капиллярной трубки, используя клин измерительный (металлическую иглу) и микрометр (штангенциркуль). Результат измерения занесите в таблицу.

Для измерения диаметра капиллярной трубки вдвиньте в нее клин до упора и пометьте границу соприкосновения клина и трубки (рис. 2). Считая диаметр клина на этой границе равным внутреннему диаметру трубки, измерьте его, используя микрометр.

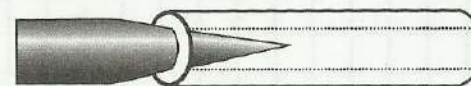


Рис. 2

3. Опустите капиллярную трубку в стакан с водой комнатной температуры. Наблюдайте подъем воды в капиллярной трубке. Через небольшой промежуток времени (примерно 1 мин), расположив капиллярную трубку так, чтобы она не касалась дна стакана, измерьте высоту  $h$  подъема воды в трубке. Результат измерения занесите в таблицу.
4. Вычислите поверхностное натяжение  $\sigma$  воды. Результат вычисления занесите в таблицу.


Таблица

$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$D, \text{м}$	$h, \text{м}$	$\sigma, \frac{\text{Н}}{\text{м}}$

5. Вычислите относительную погрешность  $\varepsilon_\sigma$  косвенного измерения поверхностного натяжения воды

$$\varepsilon_\sigma = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta g}{g} + \frac{\Delta D}{D} + \frac{\Delta h}{h},$$

где  $\Delta D = \Delta_{\text{н}} D + \Delta_{\text{о}} D$ ;  $\Delta h = \Delta_{\text{н}} h + \Delta_{\text{о}} h$ .



6. Вычислите абсолютную погрешность  $\Delta \sigma$  косвенного измерения поверхностного натяжения воды  $\Delta \sigma = \varepsilon_\sigma \sigma$ .


7. Запишите результат измерения поверхностного натяжения воды в виде:

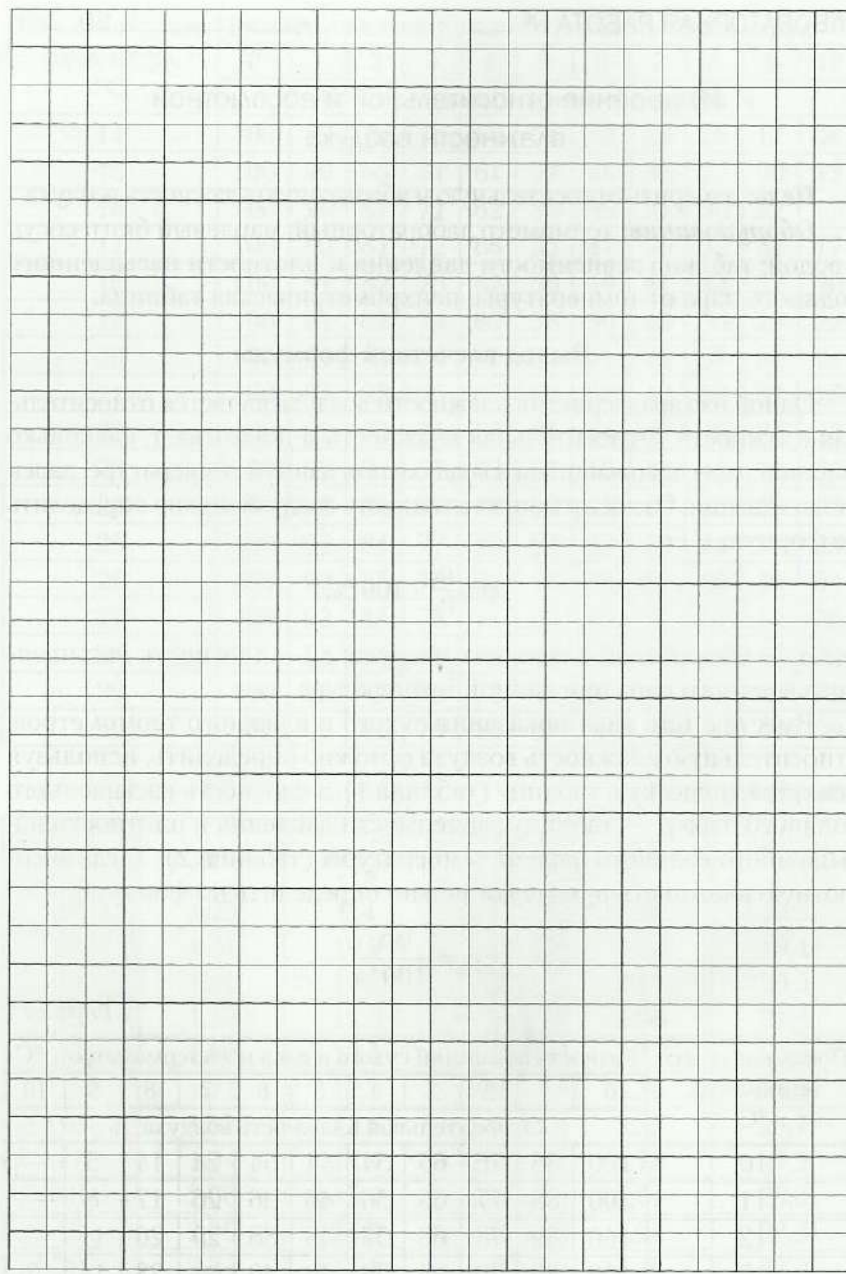
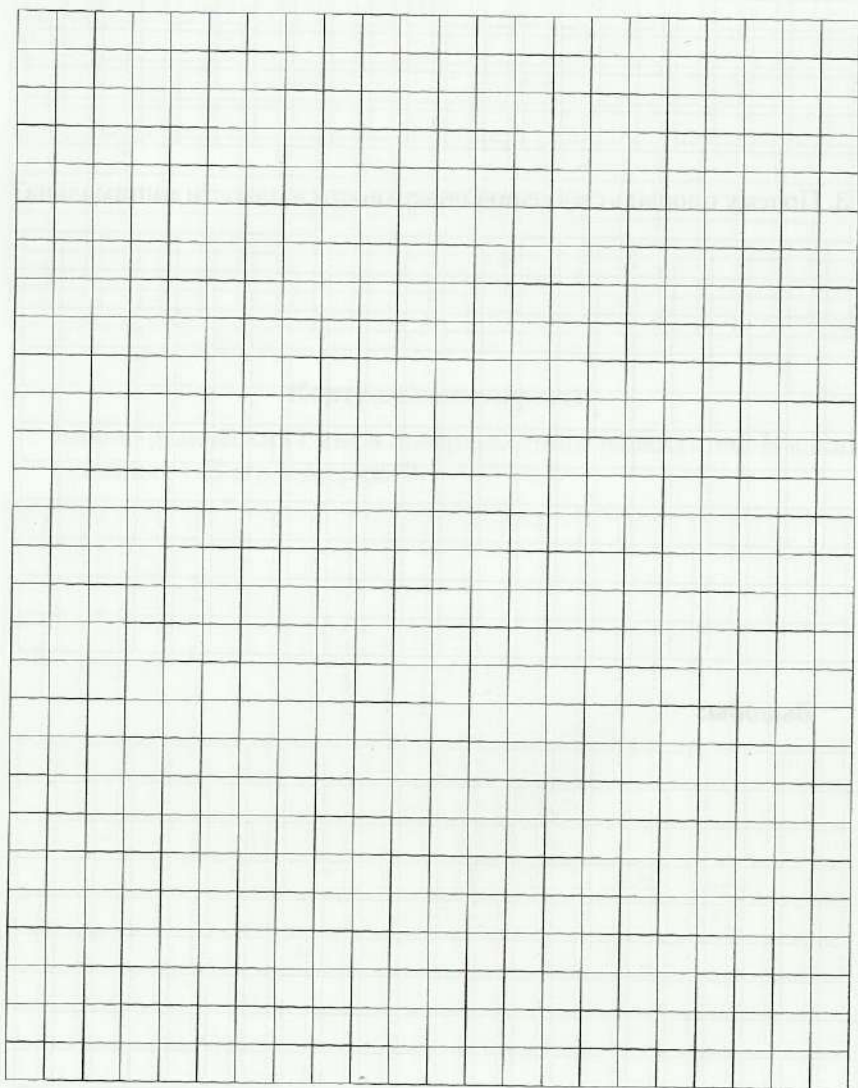
$$\sigma = (\sigma \pm \Delta \sigma) \frac{\text{Н}}{\text{м}};$$

$$\varepsilon_\sigma = \quad \%$$




**Суперзадание**

Проанализируйте зависимость поверхностного натяжения данной жидкости от температуры, используя таблицу (с. 23). Как будет изменяться высота подъема жидкости в капиллярной трубке при изменении температуры жидкости?



### Измерение относительной и абсолютной влажности воздуха

**Цель:** измерить относительную и абсолютную влажность воздуха.

**Оборудование:** термометр лабораторный; марлевый бинт; сосуд с водой; таблица зависимости давления и плотности насыщенного водяного пара от температуры; психрометрическая таблица.

#### Вывод расчетной формулы

Одной из характеристик влажности воздуха является относительная влажность. Относительная влажность  $\phi$  показывает, насколько водяной пар, содержащийся в воздухе при данной температуре, далек от насыщения. Относительную влажность воздуха можно определить по формуле

$$\phi = \frac{\rho_n}{\rho_{n1}} \cdot 100 \%,$$

где  $\rho_n$  – абсолютная влажность воздуха;  $\rho_{n1}$  – плотность насыщенного водяного пара при данной температуре.

Вместе с тем, зная показания сухого и влажного термометров, относительную влажность воздуха  $\phi$  можно определить, используя психрометрическую таблицу (таблица 1), а плотность насыщенного водяного пара  $\rho_{n1}$  – таблицу зависимости давления и плотности насыщенного водяного пара от температуры (таблица 2). Тогда абсолютную влажность  $\rho_n$  воздуха можно определить по формуле

$$\rho_n = \frac{\phi \rho_{n1}}{100 \%}$$

Таблица 1

Показания сухого термометра, °С	Разность показаний сухого и влажного термометров, °С										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Относительная влажность воздуха, %										
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	5	—
11	100	88	77	66	56	46	36	26	17	8	—
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11	—
13	100	89	79	69	59	49	40	31	23	14	6

Показания сухого термометра, °С	Разность показаний сухого и влажного термометров, °С										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Относительная влажность воздуха, %										
14	100	89	79	70	60	51	42	34	25	17	9
15	100	90	80	71	61	52	44	36	27	20	12
16	100	90	81	71	62	54	46	37	30	22	15
17	100	90	81	72	64	55	47	39	32	24	17
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27	20
19	100	91	82	74	65	58	50	43	35	29	22
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24
21	100	91	83	75	67	60	52	46	39	32	26
22	100	92	83	75	68	61	54	47	40	34	28
23	100	92	84	76	69	61	55	48	42	36	30
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31
25	100	92	84	77	70	63	57	50	44	38	33
26	100	92	85	78	71	64	58	51	46	40	34
27	100	92	85	78	71	65	59	52	47	41	36
28	100	93	85	78	72	65	59	53	48	42	37
29	100	93	85	79	72	66	60	54	49	43	38
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44	39

Таблица 2

$t, ^\circ\text{C}$	$p_n, \text{кПа}$	$\rho_n, \frac{\text{г}}{\text{м}^3}$	$t, ^\circ\text{C}$	$p_n, \text{кПа}$	$\rho_n, \frac{\text{г}}{\text{м}^3}$
10	1,23	9,4	21	2,49	18,3
11	1,31	10,0	22	2,64	19,4
12	1,40	10,7	23	2,81	20,5
13	1,50	11,3	24	2,98	21,8
14	1,60	12,1	25	3,17	23,0
15	1,71	12,8	26	3,36	24,4
16	1,82	13,6	27	3,57	25,7
17	1,94	14,4	28	3,78	27,2
18	2,06	15,4	29	4,01	28,8
19	2,20	16,3	30	4,24	30,3
20	2,34	17,3	31	4,49	32,0



### Порядок выполнения работы

1. Измерьте температуру  $t_1$  воздуха в кабинете (показание сухого термометра). Результат измерения занесите в таблицу.
2. Оберните резервуар термометра влажным марлевым бинтом. Подождите (примерно 15 мин), пока температура установится, и снимите показания влажного термометра  $t_2$ . Результат измерения занесите в таблицу.
3. Определите разность показаний сухого и влажного термометров  $t_1 - t_2$ . Результат вычисления занесите в таблицу.
4. Используя психрометрическую таблицу, определите относительную влажность  $\varphi$  воздуха в кабинете. Результат занесите в таблицу.
5. Вычислите абсолютную влажность  $\rho_{\text{п}}$  воздуха. Результат вычисления занесите в таблицу.


Таблица

$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	$t_1 - t_2, ^\circ\text{C}$	$\varphi, \%$	$\rho_{\text{п}}, \frac{\text{г}}{\text{м}^3}$

6. Вычислите абсолютную погрешность  $\Delta t$  прямого измерения температуры (для одного из измерений)

$$\Delta t = \Delta_{\text{и}} t + \Delta_{\text{о}} t.$$


7. Вычислите относительную погрешность  $\varepsilon_t$  прямого измерения температуры

$$\varepsilon_t = \frac{\Delta t}{t}.$$


8. Запишите результат измерения температуры в виде:

$$t = (t \pm \Delta t) ^\circ\text{C};$$

$$\varepsilon_t = \quad \%$$


- 9<sup>1</sup>. Определите относительную влажность воздуха в школьном коридоре (на улице). Сравните значения относительной влажности в кабинете и коридоре (на улице). Сделайте вывод.

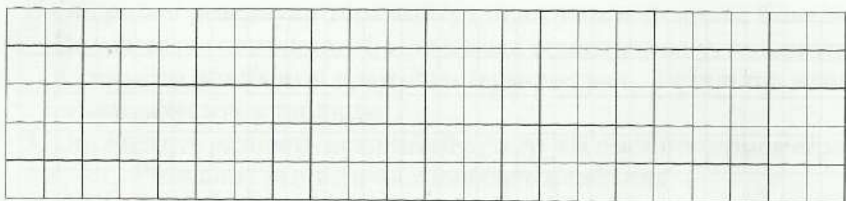

### Контрольные вопросы

1. Какова относительная влажность воздуха, если показания сухого и влажного термометров одинаковы?

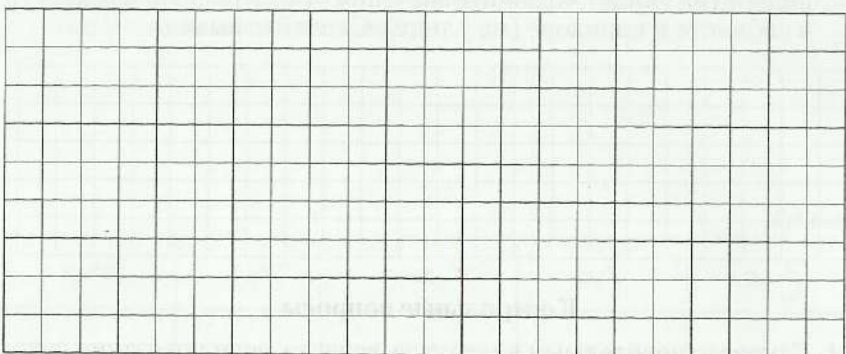

2. Как изменится абсолютная и относительная влажность воздуха в помещении при понижении температуры?


<sup>1</sup> Задание выполняется по усмотрению учителя.

3. Как будет изменяться разность показаний сухого и влажного термометров при понижении температуры воздуха, если его абсолютная влажность остается постоянной?

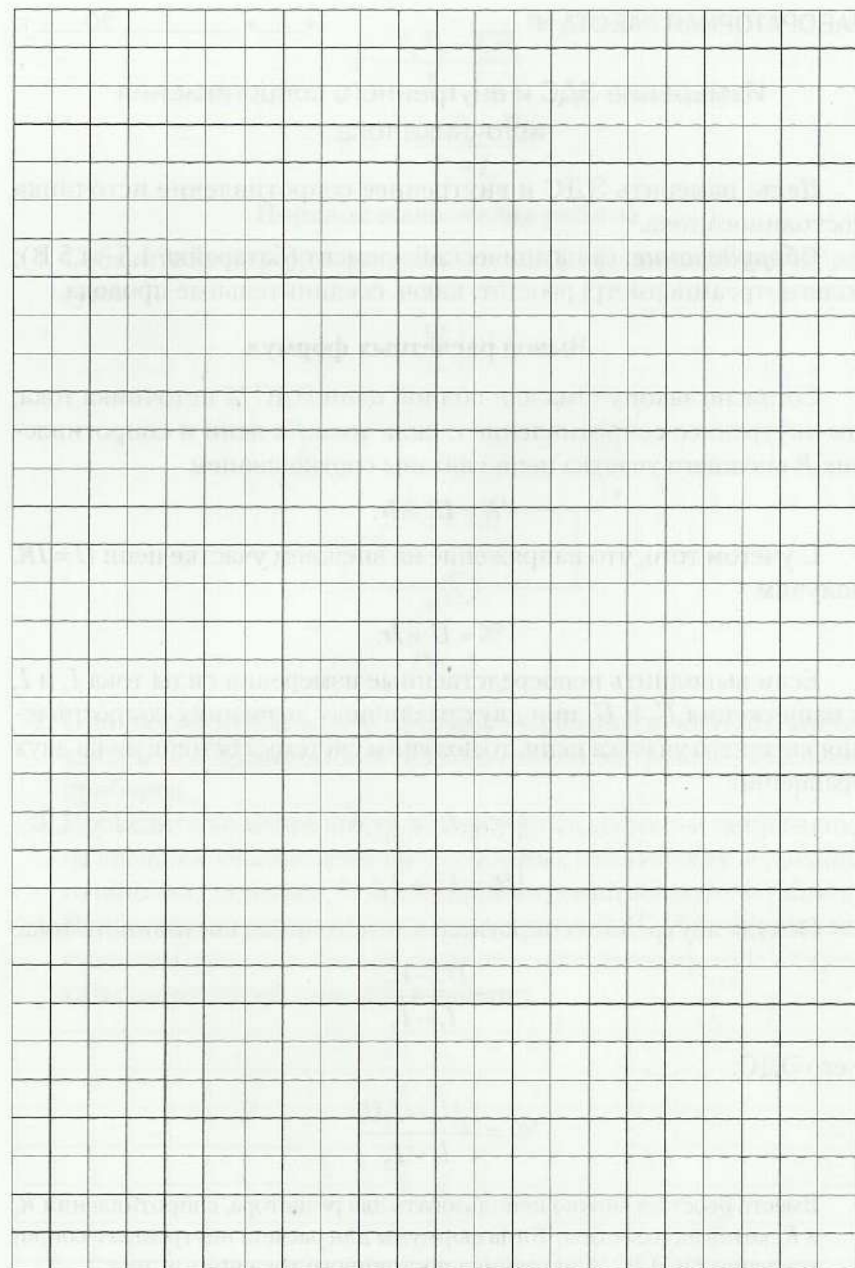
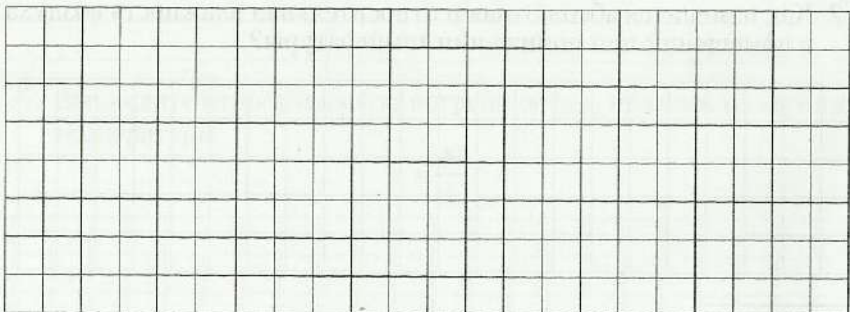


**Выводы:**



**Суперзадание**

Используя результаты, полученные при выполнении данной работы, определите массу воды, которую надо испарить в вашем кабинете, чтобы относительная влажность воздуха повысилась на  $\Delta \varphi = 10\%$ .



### Измерение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока

**Цель:** измерить ЭДС и внутреннее сопротивление источника постоянного тока.

**Оборудование:** гальванический элемент (батарейка 1,5–4,5 В); вольтметр; амперметр; реостат; ключ; соединительные провода.

#### Вывод расчетных формул

Согласно закону Ома для полной цепи ЭДС  $\mathcal{E}$  источника тока, его внутреннее сопротивление  $r$ , сила тока  $I$  в цепи и сопротивление  $R$  внешнего участка цепи связаны соотношением

$$\mathcal{E} = IR + Ir.$$

С учетом того, что напряжение на внешнем участке цепи  $U = IR$ , получим

$$\mathcal{E} = U + Ir.$$

Если выполнить непосредственные измерения силы тока  $I_1$  и  $I_2$  и напряжения  $U_1$  и  $U_2$  при двух различных значениях сопротивления внешнего участка цепи, то получим систему, состоящую из двух уравнений:

$$\begin{cases} \mathcal{E} = U_1 + I_1 r, \\ \mathcal{E} = U_2 + I_2 r. \end{cases}$$

Откуда внутреннее сопротивление источника постоянного тока:

$$r = \frac{U_2 - U_1}{I_1 - I_2},$$

а его ЭДС:

$$\mathcal{E} = \frac{I_1 U_2 - I_2 U_1}{I_1 - I_2}.$$

Вместо реостата можно использовать два резистора, сопротивления  $R_1$  и  $R_2$ , которых известны. Тогда формулы для расчета внутреннего сопротивления  $r$  и ЭДС  $\mathcal{E}$  источника постоянного тока примут вид:

$$r = \frac{I_2 R_2 - I_1 R_1}{I_1 - I_2};$$

$$\mathcal{E} = \frac{I_1 I_2 (R_2 - R_1)}{I_1 - I_2}.$$

#### Порядок выполнения работы

1. Соберите электрическую цепь по схеме, представленной на рисунке 1.

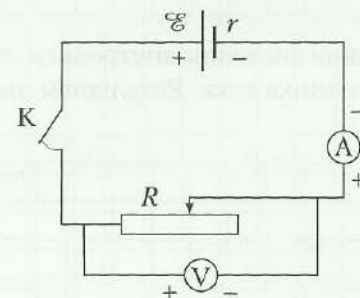
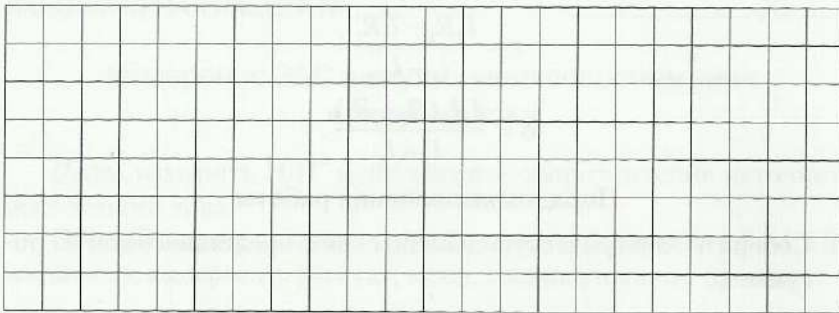
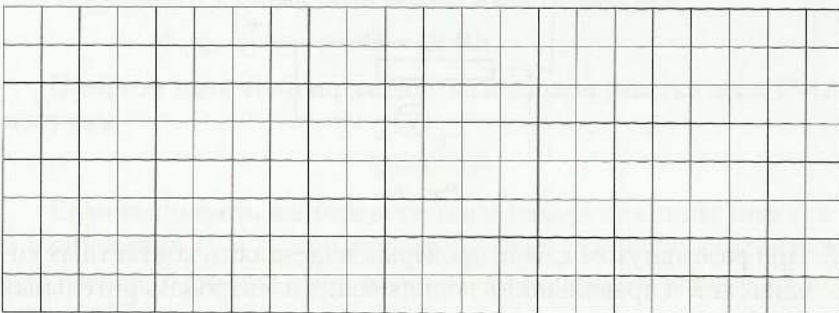


Рис. 1

2. При разомкнутом ключе проверьте надежность контактных соединений и правильность подключения электроизмерительных приборов.
3. Проведите не менее шести измерений силы тока и напряжения на внешнем участке цепи при различных положениях подвижного контакта реостата. Результаты измерений занесите в таблицу.
4. Вычислите внутреннее сопротивление  $r$  и ЭДС  $\mathcal{E}$  источника постоянного тока для каждой пары результатов измерений. Результаты вычислений занесите в таблицу.

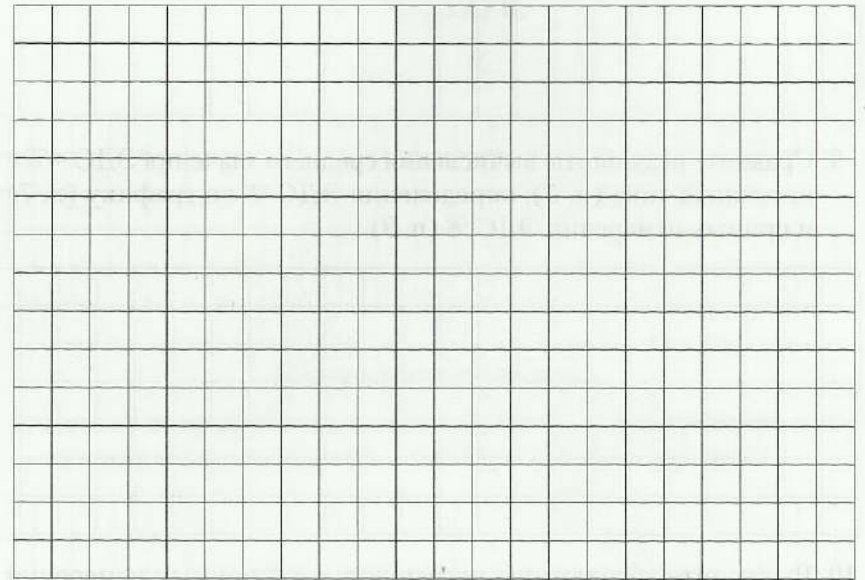
5. Вычислите средние значения внутреннего сопротивления  $\langle r \rangle$  и ЭДС  $\langle \mathcal{E} \rangle$  источника тока. Результаты вычислений занесите в таблицу.



Таблица

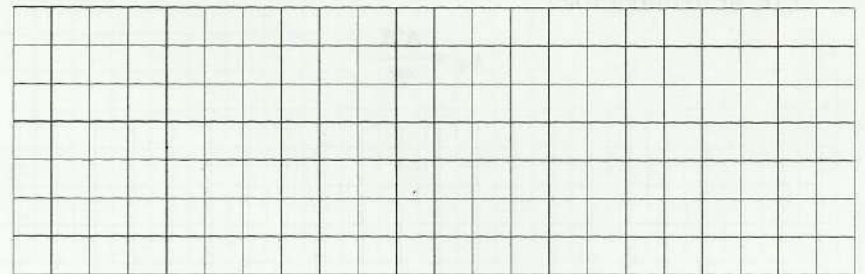
№ опыта	$U, \text{В}$	$I, \text{А}$	$r, \text{Ом}$	$\langle r \rangle, \text{Ом}$	$\mathcal{E}, \text{В}$	$\langle \mathcal{E} \rangle, \text{В}$
1						
2						
3						
4						
5						
6						

6. Постройте график зависимости напряжения  $U$  на внешнем участке цепи от силы тока  $I$  в цепи.



7. Продлите график до пересечения с координатными осями. По графику определите ЭДС  $\mathcal{E}$  источника тока. Используя данные графика, определите внутреннее сопротивление  $r$  источника тока.

Из графика и уравнения  $\mathcal{E} = U + Ir$  следует, что при  $I = 0$  (цепь разомкнута)  $\mathcal{E} = U$ ; при  $U = 0$  сила тока в цепи максимальна, и внутреннее сопротивление источника тока можно вычислить по формуле  $r = \frac{\mathcal{E}}{I_{\text{max}}}$ .



8. При разомкнутом ключе подключите вольтметр к источнику тока и измерьте его ЭДС  $\mathcal{E}$ .


9. Сравните результаты вычисления среднего значения ЭДС  $\langle \mathcal{E} \rangle$  источника тока (п. 5), определения ЭДС  $\mathcal{E}$  по графику (п. 7) и прямых измерений ЭДС  $\mathcal{E}$  (п. 8).


10. Вычислите абсолютную погрешность  $\Delta \mathcal{E}$  прямых измерений ЭДС источника тока

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta_{\text{и}} \mathcal{E} + \Delta_{\text{о}} \mathcal{E}.$$


11. Вычислите относительную погрешность  $\varepsilon_{\mathcal{E}}$  прямых измерений ЭДС источника тока

$$\varepsilon_{\mathcal{E}} = \frac{\Delta \mathcal{E}}{\mathcal{E}}.$$


12. Запишите результат прямых измерений ЭДС источника тока в виде:

$$\mathcal{E} = (\mathcal{E} \pm \Delta \mathcal{E}) \text{ В};$$

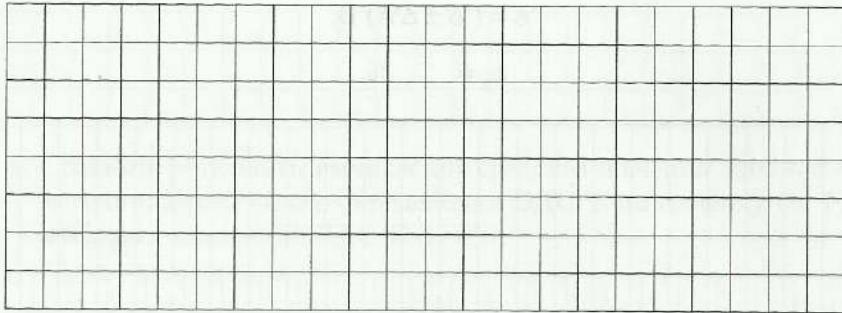
$$\varepsilon_{\mathcal{E}} = \quad \%$$


### Контрольные вопросы

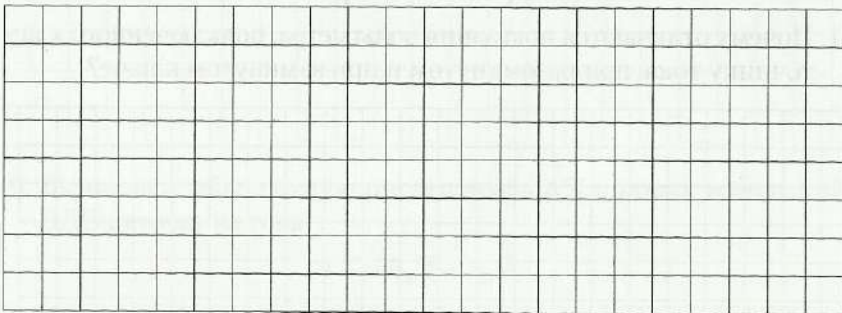
1. Почему отличаются показания вольтметра, подключенного к источнику тока, при разомкнутом и при замкнутом ключе?


2. От чего зависит мощность тока на внешнем участке цепи для данного источника тока?


3. Как изменяется коэффициент полезного действия источника тока при увеличении длины активной части реостата?

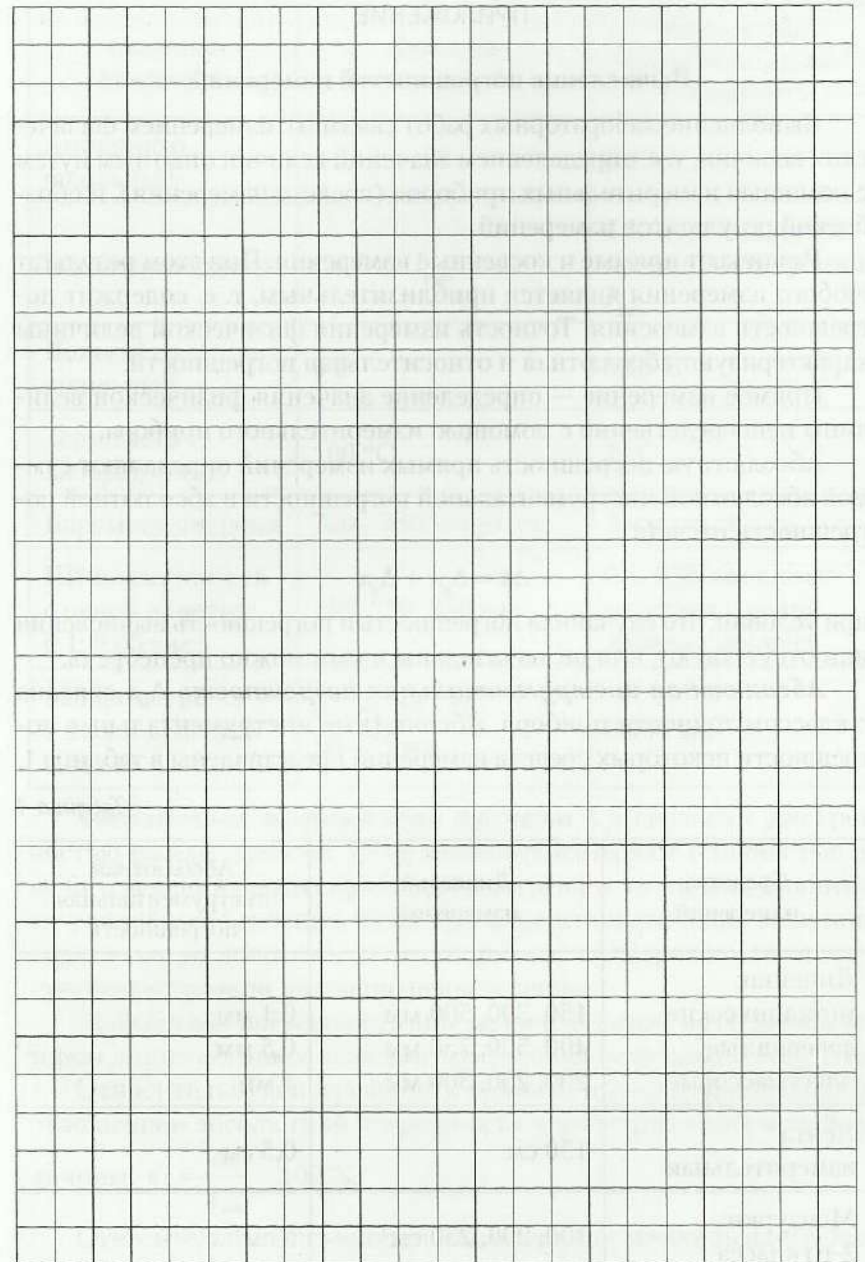
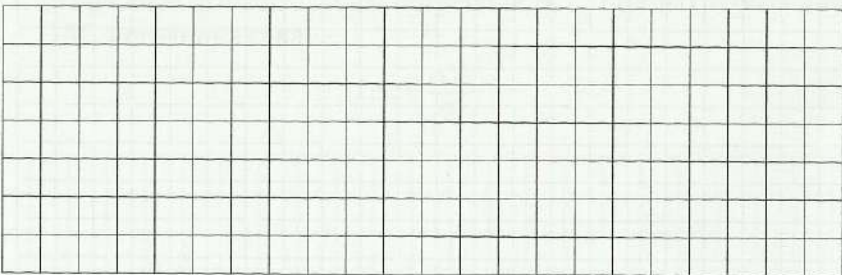


**Выводы:**



**Суперзадание**

Используя результаты, полученные при выполнении данной работы, определите максимальную мощность тока на внешнем участке полной цепи.



## ПРИЛОЖЕНИЕ

### Вычисление погрешностей измерений

Выполнение лабораторных работ связано с измерением физических величин, т. е. определением значений величин опытным путем с помощью измерительных приборов (средств измерения), и обработкой результатов измерений.

Различают прямые и косвенные измерения. При этом результат любого измерения является приблизительным, т. е. содержит погрешность измерения. Точность измерения физической величины характеризуют абсолютная и относительная погрешности.

Прямое измерение — определение значения физической величины непосредственно с помощью измерительного прибора.

Абсолютную погрешность прямых измерений определяют суммой абсолютной инструментальной погрешности и абсолютной погрешности отсчета

$$\Delta x = \Delta_{\text{и}} x + \Delta_{\text{о}} x$$

при условии, что случайная погрешность и погрешность вычисления или отсутствуют, или незначительны и ими можно пренебречь.

**Абсолютная инструментальная погрешность**  $\Delta_{\text{и}} x$  связана с классом точности прибора. Абсолютные инструментальные погрешности некоторых средств измерений представлены в таблице 1.

Таблица 1

Средства измерений	Диапазон измерений	Абсолютная инструментальная погрешность
Линейки: металлические деревянные пластмассовые	150, 300, 500 мм	0,1 мм
	400, 500, 750 мм	0,5 мм
	200, 250, 300 мм	1 мм
Лента измерительная	150 см	0,5 см
Мензурки 2-го класса	100, 200, 250 см <sup>3</sup>	5 см <sup>3</sup>

Средства измерений	Диапазон измерений	Абсолютная инструментальная погрешность
Амперметр школьный	2 А	0,05 А
Миллиамперметр	От 0 до $I_{\text{max}}$	4 % максимального предела измерений $I_{\text{max}}$
Вольтметр школьный	6 В	0,15 В
Термометр лабораторный	100 °С	1 °С
Барометр-анероид	720—780 мм рт. ст.	3 мм рт. ст.
Штангенциркули с ценой деления 0,1; 0,05 мм	155, 250, 350 мм	0,1; 0,05 мм в соответствии с ценой деления нониуса
Микрометры с ценой деления 0,01 мм	0—25, 25—50, 50—75 мм	0,004 мм

**Абсолютная погрешность отсчета**  $\Delta_{\text{о}} x$  связана с дискретностью шкалы прибора. Если величину измеряют с точностью до целого деления шкалы прибора, то погрешность отсчета принимают равной цене деления. Если при измерении значение величины округляют до половины деления шкалы, то погрешность отсчета принимают равной половине цены деления.

Абсолютная погрешность определяет значение интервала, в котором лежит истинное значение измеренной величины:  $x = x_{\text{изм}} \pm \Delta x$ .

Относительную погрешность прямого измерения определяют отношением абсолютной погрешности к значению измеряемой величины:

$$\epsilon_x = \frac{\Delta x}{x_{\text{изм}}} \cdot 100 \%$$

Относительная погрешность характеризует точность измерения: чем она меньше, тем точность измерения выше.

Косвенное измерение — определение значения физической величины с использованием формулы, связывающей ее с другими величинами, измеренными непосредственно с помощью приборов.

Одним из методов определения погрешности косвенных измерений является метод границ погрешностей. Формулы для вычисления абсолютных и относительных погрешностей косвенных измерений методом границ погрешностей представлены в таблице 2.

Таблица 2

Вид функции $y$	Абсолютная погрешность $\Delta y$	Относительная погрешность $\frac{\Delta y}{y}$
$x_1 + x_2$	$\Delta x_1 + \Delta x_2$	$\frac{\Delta x_1 + \Delta x_2}{ x_1 + x_2 }$
$x_1 - x_2$	$\Delta x_1 + \Delta x_2$	$\frac{\Delta x_1 + \Delta x_2}{ x_1 - x_2 }$
$Cx$	$C\Delta x$	$\frac{\Delta x}{x}$
$x_1 x_2$	$ x_1  \Delta x_2 +  x_2  \Delta x_1$	$\frac{\Delta x_1}{ x_1 } + \frac{\Delta x_2}{ x_2 }$
$\frac{x_1}{x_2}$	$\frac{ x_1  \Delta x_2 +  x_2  \Delta x_1}{x_2^2}$	$\frac{\Delta x_1}{ x_1 } + \frac{\Delta x_2}{ x_2 }$
$x^n$	$ n   x ^{n-1} \Delta x$	$ n  \frac{\Delta x}{ x }$
$\ln x$	$\frac{\Delta x}{x}$	$\frac{\Delta x}{x  \ln x }$

Вид функции $y$	Абсолютная погрешность $\Delta y$	Относительная погрешность $\frac{\Delta y}{y}$
$\sin x$	$ \cos x  \Delta x$	$\frac{\Delta x}{ \operatorname{tg} x }$
$\cos x$	$ \sin x  \Delta x$	$ \operatorname{tg} x  \Delta x$
$\operatorname{tg} x$	$\frac{\Delta x}{\cos^2 x}$	$\frac{2\Delta x}{ \sin 2x }$

**Абсолютную погрешность табличных величин и фундаментальных физических постоянных** определяют как половину единицы последнего разряда значения величины.



## Содержание

<i>От авторов</i> .....	3
<i>Лабораторная работа</i> Изучение изотермического процесса.....	4
<i>Лабораторная работа</i> Изучение изобарного процесса.....	13
<i>Лабораторная работа</i> Измерение поверхностного натяжения .....	22
<i>Лабораторная работа</i> Измерение относительной и абсолютной влажности воздуха.....	30
<i>Лабораторная работа</i> Измерение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока.....	36
Приложение.....	44