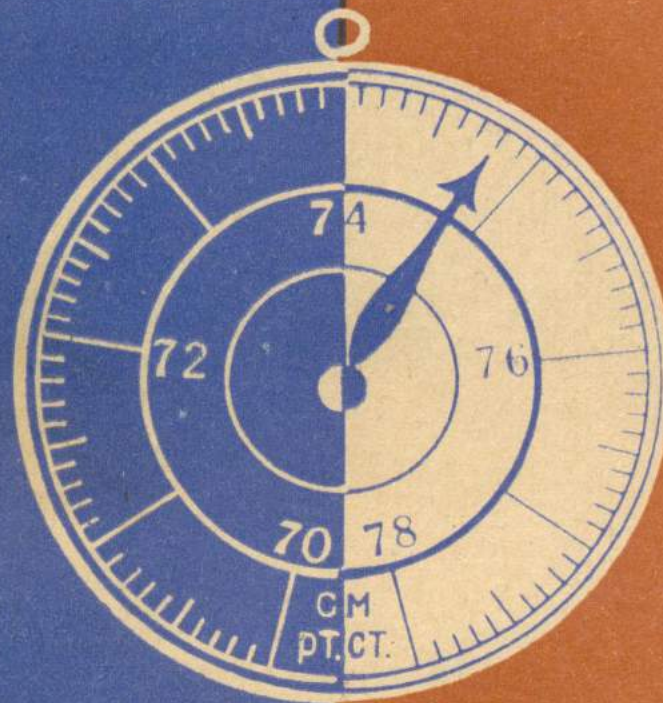


21 коп.

Л. И. СКРЕЛИН

ДИДАКТИЧЕСКИЙ  
МАТЕРИАЛ  
ПО ФИЗИКЕ

9 КЛАСС



Л. И. СКРЕЛИН

ДИДАКТИЧЕСКИЙ  
МАТЕРИАЛ  
ПО ФИЗИКЕ

---

9 класс

ПОСОБИЕ ДЛЯ УЧИТЕЛЕЙ

МОСКВА «ПРОСВЕЩЕНИЕ» 1976



Рекомендовано к изданию Главным управлением школ  
Министерства просвещения СССР

Скредлин Л. И.

С 45 Дидактический материал по физике. 9 кл. Пособие для  
учителей. М., «Просвещение», 1976.

143 с. с ил.

В пособии содержится набор дидактических карточек для организации самостоятельной работы учащихся и методические рекомендации учителю по их использованию. Карточки составлены в соответствии с программой и учебным пособием по физике для 9 класса.

С 60501—329  
103(03)—76 инф. письмо — 76

53

© Издательство «Просвещение», 1976 г.

Предлагаемое пособие представляет собой набор дидактических карточек для самостоятельной работы учащихся IX класса на уроках физики. В основу их построения положены действующая программа и учебное пособие по физике для IX класса Б. Б. Буховцева, Ю. Л. Климонтовича, Г. Я. Мякишева (М., 1975).

При составлении предлагаемых дидактических карточек приняты следующие соображения:

1. Необходимые исходные данные для упражнений учащиеся извлекают из рисунка на карточке.

2. Рисунок на карточке способствует развитию и выработке навыков отсчета по шкалам измерительных приборов или по графическим изображениям зависимостей между величинами.

3. С целью систематического повторения ранее пройденного материала на основе нового каждая карточка охватывает несколько тем программы. (Этим в какой-то мере сокращается и количество наборов карточек.)

4. Вопросы к каждому набору карточек для всех учащихся класса одинаковы, чтобы постановка их не затрудняла учителя.

5. Ответы на каждый вопрос и для каждого номера карточки имеются у учителя, облегчая тем самым руководство работой учащихся и быструю проверку полученных ответов.

6. Карточки обеспечивают самостоятельность работы каждого ученика и в какой-то мере дифференцированы по своей сложности, чтобы дать посильное задание и слабому, и сильному ученику.

7. Карточки дают возможность проводить по ним программированное обучение, как машинное, так и безмашинное.

8. Карточки не подменяют собой самостоятельную работу учащихся с приборами на лабораторных занятиях.

Предлагаемый набор дидактических карточек состоит из 12 серий, по 12 карточек в каждой серии. Из них десять карточек основных и две дополнительные. Основные карточки с номерами 1 и 2 составлены проще, а с номерами 9 и 10 несколько сложнее остальных. Это поможет учителю ориентироваться в выборе трудности заданий для отдельных учащихся.

Карточки с литерами «а» и «б» предназначены для дополнительных заданий тем учащимся, которые быстро выполняют основную работу. Кроме того, этими карточками учитель по своему усмотрению сможет заменить те из основных, которые, по его мнению, нежелательны.

Кроме номера и литеры, на каждой карточке поставлен индекс, указывающий римскими цифрами серию, которой принадлежит карточка.

Рисунки карточек напечатаны на обеих сторонах листка с таким расчетом, чтобы учитель имел два набора каждой серии. Тогда для обеспечения самостоятельной работой всех учащихся класса ему необходимо нарезать карточки только из двух книжек.

Для увеличения срока службы каждую карточку следует поместить в целлофановый конверт с картонной прокладкой. Хранить вырезанные карточки удобно в обычных конвертах по сериям.

К каждой серии в данной брошюре имеются вопросы и ответы. В таблицах ответы расположены по вертикали согласно номерам вопросов, а по горизонтали — номерам карточек.

Учитель по своему усмотрению может предложить учащимся не все вопросы, перечисленные в рекомендациях, а лишь те, которые соответствуют поставленной на уроке цели.

Следует иметь в виду, что вычисления при заполнении таблиц ответами делались в соответствии с правилами приближенных вычислений: в промежуточных ответах сохранялись три значащие цифры, а в окончательном результате — две. Округление чисел с добавлением единицы в последнюю цифру результата производилось тогда, когда последующая цифра была равна 5 или более.

Имея таблицу с ответами на каждый вопрос и ко всем номерам карточек, учителю легко следить за работой учащихся. В любой момент он может одним ученикам подтвердить правильность хода решения, другим предложить еще раз повнимательнее проверить ответ, а слабым помочь.

Чтобы учащиеся лучше воспринимали рисунок карточки, полезно на демонстрационном столе собрать установку, соответствующую той, которая изображена на дидактических карточках данной серии.

Для обеспечения лучшего контакта между учеником и учителем во время работы рекомендуется повесить плакат с увеличенным изображением рисунка какой-либо карточки из данной серии.

Опыт работы учителей школ Ленинграда и Ленинградской области показал, что использование дидактических карточек на уроках физики способствует более глубокому усвоению изучаемого материала и развитию важных навыков.

Автор благодарит Л. П. Свиткова и В. А. Грингауза за советы и рекомендации, данные ими при рецензировании рукописи.

Приводим перечисление названий отдельных серий карточек с указанием тех вопросов программы, по которым эти карточки могут обеспечить самостоятельную работу учащихся.

## I серия — Давление воздуха и пара

Повторение понятий «давление», «сила давления», «атмосферное давление» (§ 4)<sup>1</sup>.

Насыщающий пар. Влажность (§ 41, 42).

## II серия — Измерение давления газа манометрами

Закон Бойля — Мариотта (§ 12).

Уравнение состояния идеального газа (§ 17).

## III серия — График изотермы и адиабаты газа

Изотерма. Абсолютная температура (§ 12, 17).

Уравнение Менделеева — Клапейрона (§ 17).

## IV серия — Графики изменения состояния идеального газа в координатах $V$ , $T$ или $p$ , $T$

Изображение данных изменений газа на графике  $p$ ,  $V$  (§ 17, 18).

Работа при изменении объема газа (§ 21).

Тепловые двигатели и их к. п. д. (§ 27, 28).

## V серия — Изменение внутренней энергии теплопередачей

Количество теплоты. Уравнение теплового баланса (§ 22).

Эквивалентность работы и количества теплоты. Закон сохранения энергии. Внутренняя энергия (§ 23, 24).

Удельная теплота парообразования и конденсации (§ 37).

Влажность воздуха (§ 42).

Плавление твердых кристаллических тел и отвердевание жидкостей (§ 54).

## VI серия — Гидравлический пресс

Виды деформаций твердых тел. Механическое напряжение (§ 50).

Тепловое линейное расширение (§ 56).

## VII серия — Взаимодействие электрических зарядов

Основной закон электростатики — закон Кулона (§ 62).

Единицы электрических зарядов (§ 63).

Напряженность электрического поля (§ 67, 68, 69, 70).

<sup>1</sup> В скобках даны номера параграфов по учебному пособию для IX класса Б. Б. Буховцева, Ю. Л. Климонтовича, Г. Я. Мякишева. «Физика-9». М., 1975.



Потенциал электрического поля и разность потенциалов (§ 74, 75, 76, 77).

Потенциальная энергия заряженного тела в однородном электрическом поле (§ 73).

### VIII серия — Конденсаторы

Емкость. Единицы емкости (§ 78, 79)

Емкость плоского конденсатора (§ 80, 81).

Соединения конденсаторов. Различные типы конденсаторов (§ 82).

Период свободных электромагнитных колебаний (X класс, § 18).

### IX серия — Постоянный ток

Сила тока (§ 86).

Закон Ома для участка цепи. Сопротивление (§ 90, 91).

Электродвижущая сила (§ 95).

Закон Ома для замкнутой цепи (§ 96).

### X серия — Параллельное соединение проводников

Электрические цепи. Последовательное и параллельное соединение проводников (§ 93).

### XI серия — Тепловое и химическое действие тока

Работа и мощность постоянного тока (§ 94).

Законы Фарадея (§ 101).

### XII серия — Электронно-лучевая трубка

Свойства электронных пучков. Электронно-лучевая трубка (§ 108).

Повторение вопросов механики и электростатики.

Действие магнитного поля на движущийся заряд.

Сила Лоренца (§ 121).

## ОПИСАНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ СЕРИЙ И МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К НИМ

### I СЕРИЯ — ДАВЛЕНИЕ ВОЗДУХА И ПАРА

На правом рисунке карточки изображен барометр-анероид, показывающий истинное атмосферное давление (рис. 1), на левом — барометрическая трубка со ртутью, в которую после получения вакуума было пушено некоторое количество воды. Часть этой воды образовала над ртутью насыщающие водяные пары. О наличии этих паров можно судить по присутствию некоторого количества воды над поверхностью ртути и по соответствующему снижению уровня ртути вследствие давления водяных паров.

Первый раз эти карточки рекомендуется применить для самостоятельной работы в начале прохождения темы «Тепловые явления». Здесь приходится пользоваться важнейшими понятиями, изученными в VI классе: «давление», «атмосферное давление», «соотношение между единицами давления, выраженными в миллиметрах ртутного столба и ньютонах на квадратный метр». С этой целью учащимся предлагают ответить на вопросы 1—3 (см. таблицу 1).

Например, для карточки № 6 ответы ученика будут выглядеть так:

1. Цена деления шкалы барометра-анероида — 1 мм рт. ст.

2. Давление атмосферного воздуха по этому барометру — 768 мм рт. ст.

3. Сила давления атмосферы на площадку — 0,9 м<sup>2</sup>, считая 1 мм рт. ст. ≈ 133 н/м<sup>2</sup>:

$$F = 133 \text{ н/м}^2 \cdot 768 \cdot 0,9 \text{ м}^2 = 91929 \text{ н} \approx 92 \text{ кн.}$$

Второй раз карточки этой серии полезно использовать в теме «Взаимные превращения жидкостей и газов» при прохождении влажности. Предлагают вычислить давление сухого воздуха, если относительная влажность в атмосфере составляет 50%. Для решения этого вопроса учащимся надо ответить на вопросы 1, 2 и 4—8.

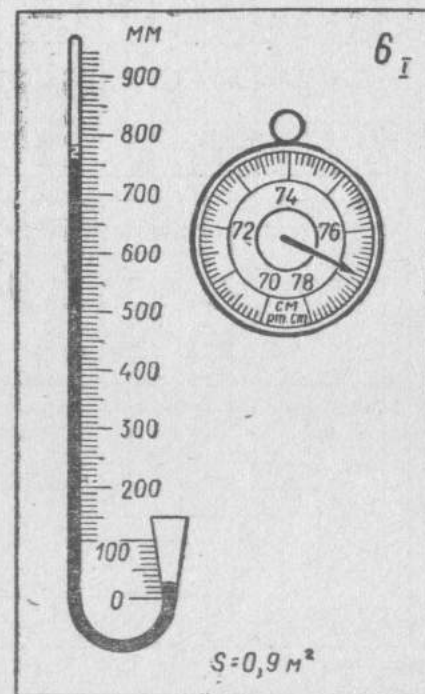


Рис. 1. Образец карточки I серии (№ 6)

Для ответа на вопрос 6 надо воспользоваться таблицей давления насыщающего водяного пара (таблица 14 на с. 253; Демкович В. П., Демкович Л. П. Сборник задач по физике. М., 1974) или плакатами, изображающими зависимость давления этих паров от температуры (рис. 2). На них же можно найти ответ и на вопрос 9.

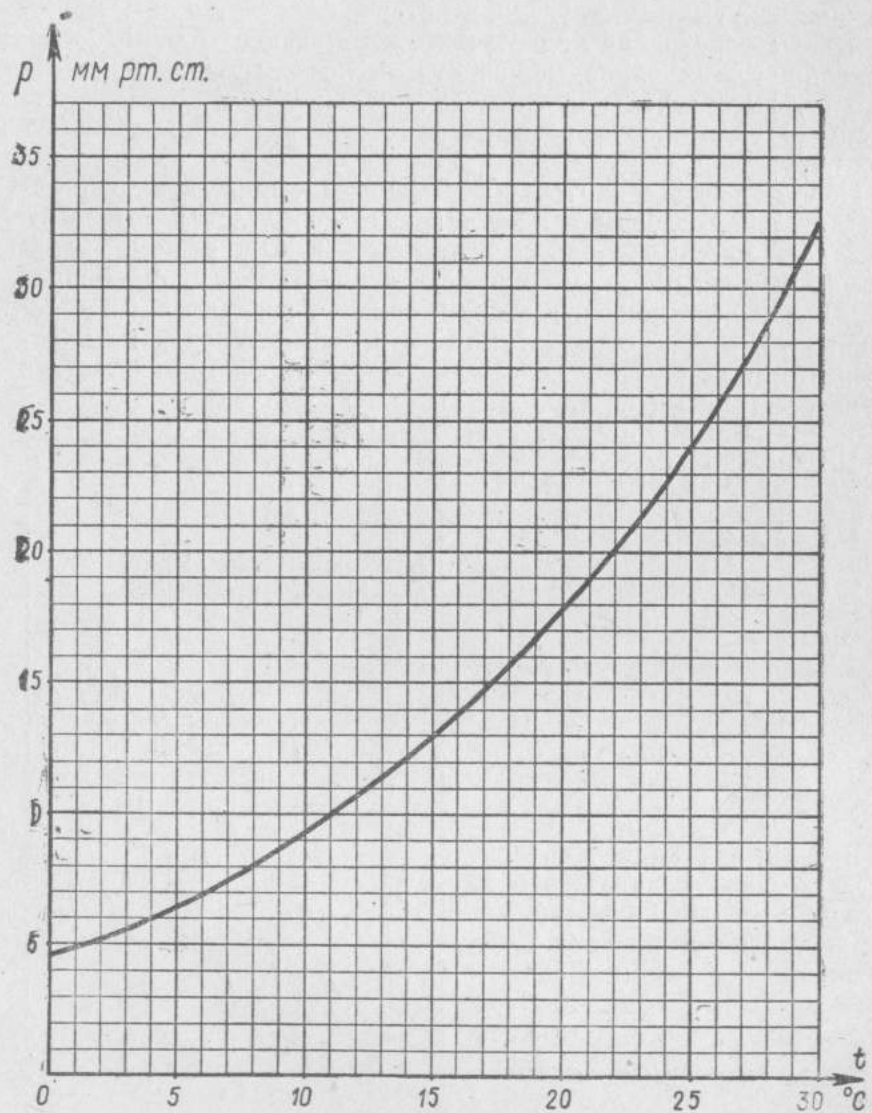
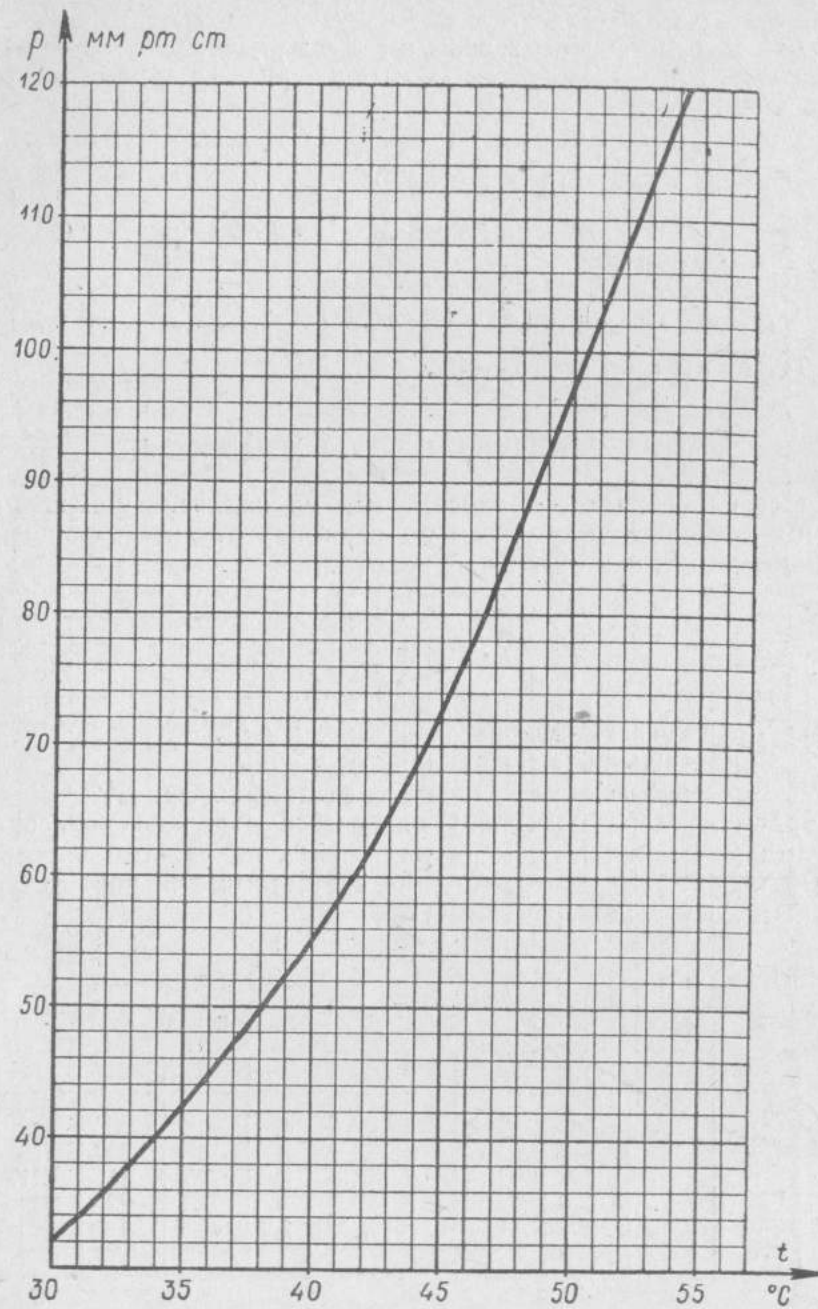


Рис. 2а и 2б. Плакаты, изображающие зависимость давления насыщающего водяного пара от температуры





Для той же карточки № 6 получается:

4. Разность гидростатических давлений столбиков ртути в барометрической трубке — 730 мм рт. ст.

5. Давление насыщающих водяных паров над ртутью:

$$p_{\text{нас. пар.}} = 768 \text{ мм рт. ст.} - 730 \text{ мм рт. ст.} = 38 \text{ мм рт. ст.}$$

6. Температура этих паров и окружающего трубку атмосферного воздуха (находим по таблице или плакату) — 33°C.

7. Давление водяных паров в воздухе:

$$p_{\text{вод. пар.}} = 38 \text{ мм рт. ст.} \cdot 0,5 = 19 \text{ мм рт. ст.}$$

8. Давление сухого воздуха:

$$p_{\text{сух. воз.}} = 768 \text{ мм рт. ст.} - 19 \text{ мм рт. ст.} = 749 \text{ мм рт. ст.}$$

9. Точка росы приближенно — 21°C.

### Пример программированного упражнения

На середине классной доски или на плакате помещают таблицу с общими вопросами ко всем карточкам, розданным ученикам для самостоятельной работы.

### Вопросы

I. Цена деления шкалы анероида, мм рт. ст.

II. Давление атмосферного воздуха, мм рт. ст.

III. Сила давления на площадку  $S$ , н.

IV. Давление водяных паров над ртутью, мм рт. ст.

Справа и слева помещают плакаты или делают запись с ответами для каждого номера карточек и на каждый поставленный вопрос. Например, таблица с ответами для карточек с нечетными и четными номерами:

Ответы к карточкам

№ 1, 3, 5, 7, 9

	I	II	III	IV
1.	2	755	15	86
2.	2,5	757	31	55
3.	1	743	50	18
4.	5	746	59	37
5.	0,5	768	20	93

Ответы к карточкам

№ 2, 4, 6, 8, 10

	I	II	III	IV
1.	1	745	20	38
2.	5	767	83	95
3.	2	775	11	117
4.	3	776	92	105
5.	2,5	768	41	46

Ответы распределены по строчкам согласно коду, который известен только учителю. Например, для нечетных карточек

правильные ответы будут расположены на следующих строчках: № 1 — 3254, № 3 — 4132, № 5 — 2345, № 7 — 2523, № 9 — 3411, а для четных карточек на следующих строчках: № 2 — 2354, № 4 — 1425, № 6 — 1541, № 8 — 2132, № 10 — 1213.

При правильном решении учащийся находит в соответствующем этому вопросу вертикальном столбце численный ответ на какой-то строчке. В верхнем правом углу листа с работой учащийся записывает номер строчки, на которой, по его расчету, находится ответ. Если найденного учащимся числового ответа нет в таблице, то он должен проверить решение и найти свою ошибку, в крайнем случае обратиться к учителю за советом и помощью. Из цифр, соответствующих номерам строчек с правильными ответами, ученик составляет в верхнем правом углу листа многозначное число (число знаков равно числу вопросов). Сопоставляя это число с кодом, учитель может быстро провести первую предварительную проверку правильности выполнения самостоятельной работы всех учащихся класса.

Таким образом обеспечиваются два важных преимущества программированного упражнения: постоянное подтверждение правильности решения на всех этапах благодаря обратной связи между учеником и учителем (через таблицу) и быстрая ориентация учителя в знаниях учащихся всего класса, дающая возможность вовремя прийти на помощь тем учащимся, которые в ней нуждаются.

### Вопросы к карточкам I серии — Давление воздуха и пара

1. Определите цену деления шкалы барометра-анероида.
2. Какое давление указывает этот барометр?
3. Вычислите силу давления атмосферного воздуха на площадку, размер которой указан в карточке.
4. Какова разность гидростатических давлений столбиков ртути в барометрической трубке в мм рт. ст.?
5. Вычислите давление насыщающих водяных паров над ртутью в барометрической трубке.
6. Определите по таблицам или графикам температуру насыщающих паров и окружающего воздуха.
7. Вычислите давление водяных паров в воздухе, если относительная влажность в атмосфере 50%.
8. Каково давление сухого атмосферного воздуха?
9. Определите точку росы.

Вопросы	Ответы на вопросы к карточкам <sup>1</sup>											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	а	б
1. Цена деления шкалы барометра-анероида, мм рт. ст.	1	5	5	1	2,5	1	2,5	5	1	1	2,5	2
2. Атмосферное давление, мм рт. ст.	757	775	755	776	743	768	768	745	746	767	743	735
3. Сила давления на площадку, кН	20	41	50	83	59	92	31	11	15	20	20	78
4. Разность гидростатических давлений ртути, мм рт. ст.	720	670	700	730	650	730	750	650	660	650	700	660
5. Давление насыщающих паров, мм рт. ст.	37	105	55	46	93	38	18	95	86	117	43	74
6. Температура паров и воздуха, °С	33	52	40	36	49	33	21	49	48	54	35	45
7. Давление паров в воздухе, мм рт. ст.	19	53	27	23	46	19	9	47	43	59	22	37
8. Давление сухого воздуха, мм рт. ст.	738	722	728	753	700	749	759	698	703	709	721	697
9. Точка росы, °С	20	39	27	24	36	21	10	37	35	41	24	33

<sup>1</sup> Напоминаем, что числовые значения ответов во всех таблицах приближенные и могут расходиться с ответами, полученными учащимися, не более как на одну последнюю значащую цифру.

## II СЕРИЯ — ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ ГАЗА МАНОМЕТРАМИ

На каждой карточке II серии изображены два сосуда, соединенные между собой в нижней части трубкой с краном (рис. 3). Жидкостный ртутный манометр указывает давление газа в левом сосуде, а металлический манометр — давление в правом сосуде. (Показания обоих манометров считать точными.)

На большинстве карточек изображены открытые жидкостные манометры, показывающие разницу между давлением газа в сосуде и давлением окружающего атмосферного воздуха. Это последнее давление принято за одну атмосферу и при расчетах принимается равным  $10^5 \text{ н/м}^2$ .

На карточках № 8, 10 и «б» показаны закрытые манометры. Они сразу дают величину давления в сосуде независимо от внешнего атмосферного давления.

Металлические манометры, по которым измеряется давление газа в правом сосуде, тоже разделены на два типа: «ати» и «ата». Надпись над манометром «ати» (карточки № 1, 2, 3, 5, 6, 9, «а») условно обозначает «избыточное давление», т. е. величину, на которую давление воздуха в сосуде превышает атмосферное давление. Надпись же «ата» (карточки № 4, 7, 8, 10, «б») указывает истинное значение давления газа (абсолютное) без учета внешнего атмосферного давления.

Обычно давление на металлических манометрах измеряется в технических атмосферах (ат):  $1 \text{ ат} = 1 \text{ кгс/см}^2 = 9,81 \cdot 10^4 \text{ н/м}^2$ , для упрощения расчетов рекомендуется округлять до  $100\,000 \text{ н/м}^2$  ( $10^5 \text{ н/м}^2$ ). С этой же целью рекомендуется давление  $1 \text{ мм рт. ст.} = 133,322 \text{ н/м}^2$  округлять до  $133 \text{ н/м}^2$ .

Температуру, при которой находятся оба газа в сосудах, считать равной  $27^\circ\text{C}$ .

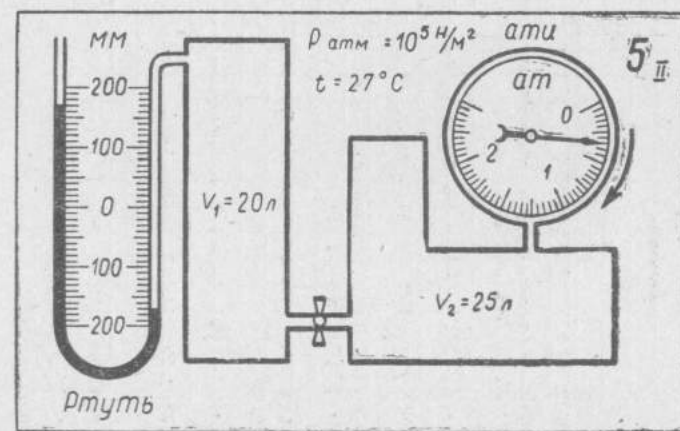


Рис. 3. Образец карточки II серии (№ 5)



Первый раз карточки с рисунками манометров целесообразно применить в самом начале изучения закона Бойля — Мариотта, после знакомства с изотермой и законом Дальтона. Учащимся предлагают ответить на первые 6 вопросов таблицы II и начертить изотерму для газа, находящегося во втором сосуде.

Пример решения для карточки № 5

1. Цена деления шкалы манометров:  
у жидкостного — 10 мм рт. ст.,  
у металлического — 0,05 ат.
2. Разность уровней ртути в открытом манометре:  $h = 340$  мм.
3. Абсолютное давление газа в объеме  $V_1 = 20$  л:

$$p_1 = p_{\text{атм}} + h, \quad p_1 = 100\,000 \text{ н/м}^2 + 133 \text{ н/м}^2 \cdot 340 = 145\,220 \text{ н/м}^2, \quad p_1 \approx 1,45 \text{ ат.}$$

4. Абсолютное давление газа в объеме  $V_2 = 25$  л:

$$p_2 = 1 \text{ ат} + 0,35 \text{ ат} = 1,35 \text{ ат.}$$

- Б. Абсолютное давление газа в обоих сосудах после открытия крана:

$$p(V_1 + V_2) = p_1 V_1 + p_2 V_2,$$

$$p = \frac{1,45 \text{ ат} \cdot 20 \text{ л} + 1,35 \text{ ат} \cdot 25 \text{ л}}{20 \text{ л} + 25 \text{ л}} = 1,4 \text{ ат.}$$

6. Показания манометров после открытия крана: у металлического:  $1,4 \text{ ат} - 1 \text{ ат} = 0,4 \text{ ат}$ , разность уровней на ртутном манометре:

$$\frac{0,4 \cdot 100\,000 \text{ н/м}^2}{133 \text{ н/м}^2} \approx 300 \text{ мм.}$$

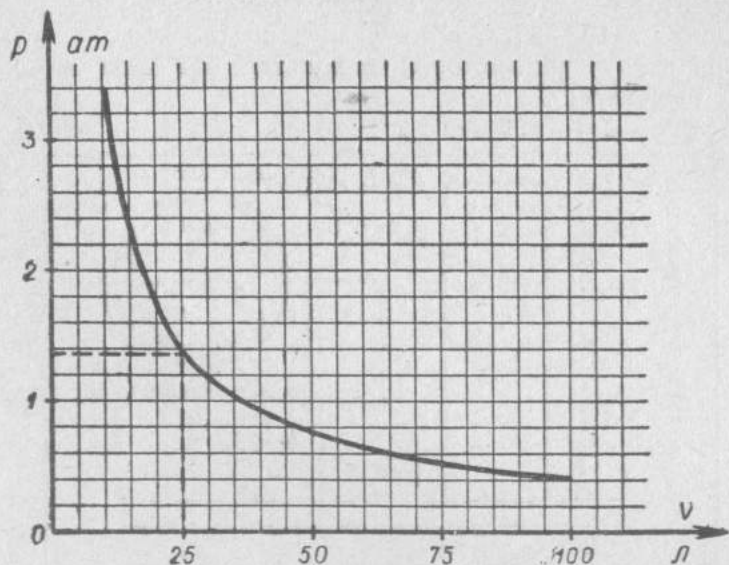


Рис. 4. Чертеж в тетради ученика (изотерма)

На рисунке 4 построена изотерма для газа во втором сосуде. После прохождения понятия абсолютной температуры и уравнения Клапейрона рекомендуется вторично использовать карточки с манометрами для самостоятельной работы учащихся. Им предлагают определить давление газа в сосуде  $V_2$  при охлаждении его до  $-73^\circ\text{C}$ . Начальная температура газа указана в карточке. Полезно начертить для этого случая изохору.

Пример решения для той же карточки

1. Цена деления шкалы манометра — 0,05 ат.
2. Абсолютное давление газа во втором сосуде:  $p = 1,35$  ат.
3. Абсолютное давление газа после охлаждения до  $-73^\circ\text{C} = 200^\circ\text{K}$ :

$$\frac{pV}{T} = \frac{p_1 V_1}{T_1},$$

но  $V = V_1$ , тогда

$$p_1 = \frac{p T_1}{T}, \quad p_1 = \frac{1,35 \text{ ат} \cdot 200^\circ}{300^\circ} = 0,90 \text{ ат.}$$

Изохора изображена на рисунке 5.

После вывода уравнения Менделеева — Клапейрона можно продолжить решение и найти массу газа во втором сосуде, если молекулярная масса этого газа  $\mu = 30$  г/моль, а универсальная постоянная  $R = 8,31 \cdot 10^3$  Дж/(град·кмоль), т. е. получить ответ на вопрос 8 таблицы II.

$$m = \frac{\mu p V}{RT}, \quad m = \frac{30 \text{ кг/кмоль} \cdot 10^5 \text{ н/м}^2 \cdot 1,35 \cdot 25 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3}{8,31 \cdot 10^3 \text{ Дж/(град} \cdot \text{кмоль)} \cdot 300^\circ} = 0,041 \text{ кг} \approx 41 \text{ г.}$$

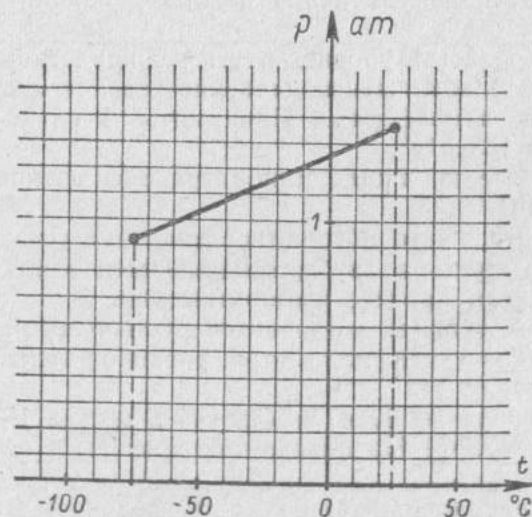


Рис. 5. Чертеж в тетради ученика (изохора)

## Пример программированного упражнения

### Вопросы

- I. Разность уровней ртути, мм.
- II. Абсолютное давление в сосуде  $V_1$ , ат.
- III. Абсолютное давление в сосуде  $V_2$ , ат.
- IV. Абсолютное давление после открытия крана, ат.

#### Ответы к карточкам

№ 1, 3, 5, 7, 9

	I	II	III	IV
1.	340	1,09	1,07	0,38
2.	-680	1,69	1,67	1,02
3.	68	1,37	1,26	1,40
4.	520	0,096	1,35	1,47
5.	280	1,45	0,87	1,44

#### Код для проверки:

- № 1 — 5324
- № 3 — 2431
- № 5 — 1543
- № 7 — 3152
- № 9 — 4215

#### Ответы к карточкам

№ 2, 4, 6, 8, 10

	I	II	III	IV
1.	180	0,080	1,28	0,88
2.	60	0,24	0,73	1,30
3.	-320	1,19	0,47	1,23
4.	140	1,16	1,80	0,48
5.	120	0,57	0,67	0,25

#### Код для проверки:

- № 2 — 3542
- № 4 — 4321
- № 6 — 5413
- № 8 — 1254
- № 10 — 2135

### Вопросы к карточкам II серии — Измерение давления газа манометрами

1. Определите цену деления шкалы у каждого вида манометров.
2. Какова разность уровней ртути в жидкостном манометре?
3. Вычислите абсолютное давление газа в сосуде  $V_1$ , выразив его в атмосферах. Принимать  $1 \text{ ат} \approx 10^5 \text{ н/м}^2$  и  $1 \text{ мм рт. ст.} \approx 133 \text{ н/м}^2$ .
4. Определите по шкале манометра абсолютное давление в сосуде объемом  $V_2$ .
5. Вычислите, какое абсолютное давление установится в сосудах, если открыть в трубе, соединяющей эти сосуды, кран. Считать при этом процесс изотермическим.
6. На каких уровнях установится ртуть и на каком делении шкалы металлического манометра расположится стрелка при открытом кране?
7. Какое давление будет иметь газ в сосуде  $V_2$  при охлаждении его до  $-73^\circ\text{C}$ ? Начальная температура и объем указаны в карточке.
8. В сосуде  $V_2$  находится воздух. Определите его массу, принимая молекулярную массу воздуха равной  $\mu \approx 30 \text{ г/моль}$ , а универсальную постоянную  $R = 8,31 \cdot 10^3 \text{ дж/(град} \cdot \text{кмоль)}$ .

Таблица II

Вопросы	Ответы на вопросы к карточкам											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	а	б
1. Цена деления шкалы манометров: жидкостного, мм рт. ст. металлического, ат	10	10	20	5	10	5	2	10	20	5	10	4
2. Разность уровней ртути: в открытом манометре, мм в закрытом, мм	280	-320	-680	140	340	120	68	180	520	-	140	-
3. В объеме $V_1$	1,37	0,57	0,096	1,19	1,45	1,16	1,09	0,24	1,69	0,080	1,19	0,20
4. « « $V_2$	1,67	1,80	1,26	0,73	1,35	1,28	0,87	0,67	1,07	0,47	1,60	0,17
5. Абсолютное давление после открытия крана, ат	1,47	1,30	0,38	0,88	1,40	1,23	1,02	0,48	1,44	0,25	1,40	0,19
6. Показания манометров после открытия крана: металлического, ат	0,47	0,30	Не показет	0,88	0,4	0,23	Не показет	0,48	0,44	Не показет	0,40	0,19
разность уровней, мм	300	220	360	-170	300	170	12	360	320	190	320	144
7. Давление при $-73^\circ\text{C}$	1,11	1,20	0,84	0,48	0,90	0,85	0,58	0,45	1,13	0,053	0,79	0,13
8. Масса газа в сосуде $V_2$ , г	41	5,2	76	4,4	41	4,6	0,16	20	150	1,1	39	0,41



На карточках III серии даны изображения графической зависимости давления одной и той же массы газа от его объема: а) при изотермическом, б) при адиабатическом процессах (рис. 6).

Первый раз рекомендуется использовать карточки данной серии при изучении закона Бойля — Мариотта. Учащимся предлагают установить, какая из данных кривых на графике соответствует адиабатическому, а какая изотермическому процессу изменения состояния газа.

По изотерме, изображенной на графике, надо вычислить, какому постоянному числу равно произведение объема газа на его давление.

После изучения уравнения состояния идеального газа целесообразно вторично использовать карточки III серии, предложив учащимся найти температуру газа в состояниях, отмеченных на графике буквами B, C, D, если в состоянии A газ имел температуру 27°C, и разницу в температурах газа между состояниями M и D.

После знакомства с уравнением Менделеева — Клапейрона учитель может дополнить работу вопросом: какова масса кислорода, изменение состояния которого описывается данным графиком?

Молекулярную массу кислорода считать равной 32 г/моль.

Универсальную постоянную для упрощения расчетов взять равной

$$8000 \text{ Дж/(град}\cdot\text{кмоль)} \text{ или } 0,08 \text{ л}\cdot\text{ат/(град}\cdot\text{моль)},$$

так как

$$1 \text{ л}\cdot\text{ат} = 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2 = 100 \text{ Дж}.$$

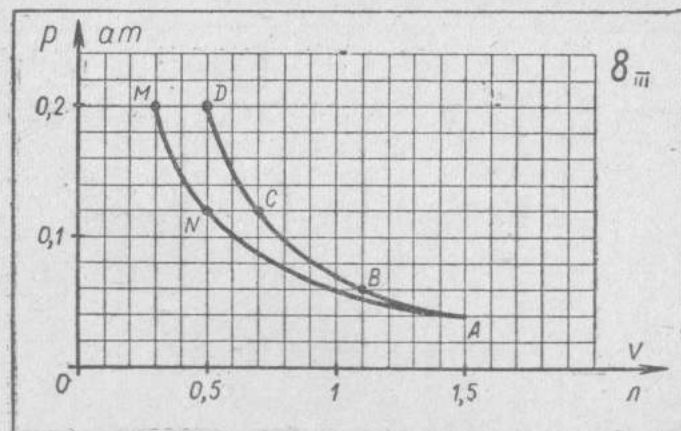


Рис. 6. Образец карточки III серии (№ 8)

1. Сторона клеточки соответствует:

объему 0,01 л,  
давлению 0,02 ат.

2. Изотермой на графике является кривая ANM, так как произведение давления газа на объем во всех состояниях, отмеченных точками на этой кривой, остается неизменным и равным 0,06 л·ат:

$$p_A V_A = 0,04 \text{ л} \cdot 1,5 \text{ ат} = 0,06 \text{ л}\cdot\text{ат} \quad (\text{в точке } A),$$

$$p_N V_N = 0,12 \text{ л} \cdot 0,5 \text{ ат} = 0,06 \text{ л}\cdot\text{ат} \quad (\text{в точке } N),$$

$$p_M V_M = 0,2 \text{ л} \cdot 0,3 \text{ ат} = 0,06 \text{ л}\cdot\text{ат} \quad (\text{в точке } M),$$

$$pV = 0,06 \text{ л}\cdot\text{ат}.$$

3. По уравнению Клапейрона вычисляют температуру данной массы газа в состояниях B, C, D, если в состоянии A температура газа  $T_A = 300^\circ\text{K}$ :

$$\frac{p_A V_A}{T_A} = \frac{p_B V_B}{T_B} = \frac{p_C V_C}{T_C} = \frac{p_D V_D}{T_D} = \frac{0,04 \text{ л} \cdot 1,5 \text{ ат}}{300^\circ} = 0,0002 \frac{\text{л}\cdot\text{ат}}{\text{град}}.$$

Следовательно,

$$T_B = \frac{p_B V_B}{0,0002} = \frac{0,06 \cdot 1,1}{0,0002} = 330, \quad T_B = 330^\circ\text{K};$$

$$T_C = \frac{p_C V_C}{0,0002} = \frac{0,12 \cdot 0,7}{0,0002} = 420, \quad T_C = 420^\circ\text{K};$$

$$T_D = \frac{p_D V_D}{0,0002} = \frac{0,2 \cdot 0,5}{0,0002} = 500, \quad T_D = 500^\circ\text{K}.$$

4. Разница в температуре между состояниями M и D газа равна  $T_D - T_M = 500^\circ\text{K} - 300^\circ\text{K} = 200^\circ\text{K}$ .

5. Масса газа вычисляется по уравнению Менделеева — Клапейрона:

$$m = \frac{\mu pV}{R\Gamma},$$

$$m = \frac{32 \text{ кг/кмоль} \cdot 0,06 \cdot 10^2 \text{ Дж}}{8000 \text{ Дж/(град}\cdot\text{кмоль)} \cdot 300^\circ} = 8 \cdot 10^{-5} \text{ кг} = 0,08 \text{ г}.$$

### Пример программированного упражнения

#### Вопросы

- I. Температура газа в состоянии B, °K.
- II. Температура газа в состоянии C, °K.
- III. Температура газа в состоянии D, °K.
- IV. Разница в температурах между состояниями M и D, °.
- V. Масса газа, г.

Вопросы	Ответы на вопросы к карточкам											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	а	б
1. Сторона клеточки соответствует:	2	1	10	20	2	100	0,1	0,1	0,2	0,4	1	10
объему, л	1	2	2	0,2	1	0,4	0,2	0,02	0,1	0,1	1	0,8
давлению, ат	56	60	240	72	36	800	0,72	0,06	0,3	2,4	12	144
2. Произведение $pV$ , л·ат	380	330	440	400	400	410	380	330	480	350	500	400
3. Температура газа, °К:	430	420	530	430	500	530	450	420	520	400	600	420
в состоянии <i>B</i>	510	500	600	450	600	600	500	500	600	450	700	450
« « <i>C</i>	210	200	300	150	300	300	200	200	300	150	400	150
« « <i>D</i>	75	80	320	96	48	1100	0,96	0,08	0,40	3,2	16	190
4. Разница в температуре между <i>M</i> и <i>D</i> , °												
5. Масса газа, г												

## Ответы к карточкам

№ 1, 3, 5, 7, 9

	I	II	III	IV	V
1.	300	530	510	100	48
2.	480	500	500	300	75
3.	400	430	600	200	0,40
4.	380	450	400	280	320
5.	440	520	580	210	0,96

Код для проверки:

№ 1 — 43 152  
 № 3 — 51 324  
 № 5 — 32 321  
 № 7 — 44 235  
 № 9 — 25 323

## Ответы к карточкам

№ 2, 4, 6, 8, 10

	I	II	III	IV	V
1.	350	300	500	300	96
2.	330	400	450	100	1100
3.	500	530	400	150	80
4.	410	430	500	200	3,2
5.	400	420	600	400	0,08

Код для проверки:

№ 2 — 25 143  
 № 4 — 54 231  
 № 6 — 43 512  
 № 8 — 25 445  
 № 10 — 12 234

Вопросы к карточкам III серии —  
 Графики изотермы и адиабаты газа

1. Какому объему и какому давлению соответствует сторона клеточки?

2. По изотерме найдите произведение давления газа на его объем.

3. Вычислите температуру газа в состояниях, отмеченных на адиабате точками *B*, *C*, *D*, если в состоянии *A* температура газа 27°C.

4. Какова разница в температуре газа между состояниями *M* и *D*?

5. Вычислите массу газа, если его молекулярная масса равна 32 г/моль. Универсальную газовую постоянную для упрощения расчетов принять равной 8000 Дж/(град·кмоль).



IV СЕРИЯ — ГРАФИКИ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА  
В КООРДИНАТАХ  $V, T$  ИЛИ  $p, T$

На карточках IV серии представлены графики изменения давления или объема идеального газа в зависимости от изменения температуры (рис. 7).

Первый раз эту серию карточек рекомендуется применить после вывода уравнения Менделеева — Клапейрона, предложив учащимся по двум данным параметрам  $p$  и  $T$  (или  $V$  и  $T$ ) вычислить третий параметр  $V$  (или  $p$ ) для газа в состояниях, отмеченных на графиках точками  $A, B, C$ . Масса газа указана в карточках, а молекулярную массу считать равной  $30 \text{ г/моль}$ .

По полученным данным, выбрав соответствующий масштаб, учащиеся должны построить график изменения давления этого газа в зависимости от изменения объема, указав при этом направление процесса изменения газового состояния стрелками. На данном и построенном графиках учащиеся должны показать, какие участки соответствуют известным им процессам: изотермическому, изобарическому и изохорическому.

При построении участка изотермы достаточно найти, кроме крайних точек, еще 3—4 точки, соответствующие одинаковым изменениям объема или давления.

Пример решения для карточки № 7

Из уравнения Менделеева — Клапейрона

$$pV = \frac{m}{\mu} RT$$

находим давление газа:

$$p = \frac{mRT}{\mu V}$$

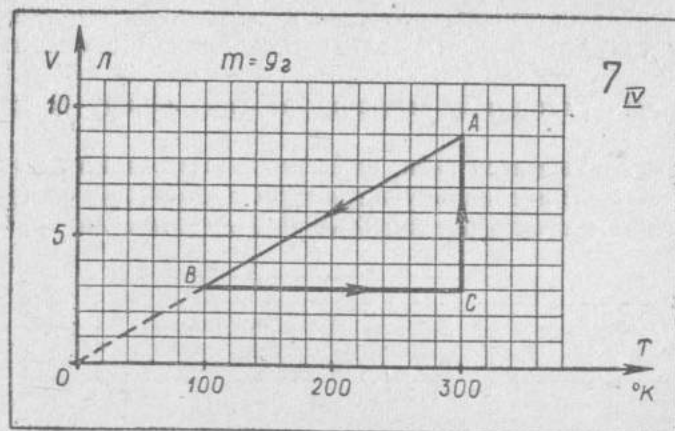


Рис. 7. Образец карточки IV серии (№ 7)

тогда

$$p_A = \frac{9 \text{ г} \cdot 0,08 \frac{\text{л} \cdot \text{ат}}{\text{град} \cdot \text{моль}} \cdot 300^\circ}{30 \text{ г/моль} \cdot 9 \text{ л}} = 0,8 \text{ ат},$$

$$p_B = \frac{9 \text{ г} \cdot 0,08 \frac{\text{л} \cdot \text{ат}}{\text{град} \cdot \text{моль}} \cdot 100^\circ}{30 \text{ г/моль} \cdot 3 \text{ л}} = 0,8 \text{ ат},$$

$$p_C = \frac{9 \text{ г} \cdot 0,08 \frac{\text{л} \cdot \text{ат}}{\text{град} \cdot \text{моль}} \cdot 300^\circ}{30 \text{ г/моль} \cdot 3 \text{ л}} = 2,4 \text{ ат}.$$

Выбрав удобные масштабы (например, сторона клеточки по вертикали равна  $0,2 \text{ ат}$ , а по горизонтали —  $0,5 \text{ л}$ ), строят график зависимости  $p$  от  $V$  (рис. 8).

Для построения изотермы  $CA$  надо найти промежуточные точки, соответствующие, например, объемам  $V_1 = 4,5 \text{ л}$ ,  $V_2 = 6 \text{ л}$  и  $V_3 = 7,5 \text{ л}$ . Тогда давления соответственно будут:

$$p_1 = \frac{2,4 \text{ ат} \cdot 3 \text{ л}}{4,5 \text{ л}} = 1,6 \text{ ат},$$

$$p_2 = \frac{2,4 \text{ ат} \cdot 3 \text{ л}}{6 \text{ л}} = 1,2 \text{ ат},$$

$$p_3 = \frac{2,4 \text{ ат} \cdot 3 \text{ л}}{7,5 \text{ л}} = 0,96 \text{ ат}.$$

После рассмотрения вопроса о работе в термодинамике имеет смысл снова обратиться к карточкам IV серии и предложить учащимся вычислить по построенному графику вели-

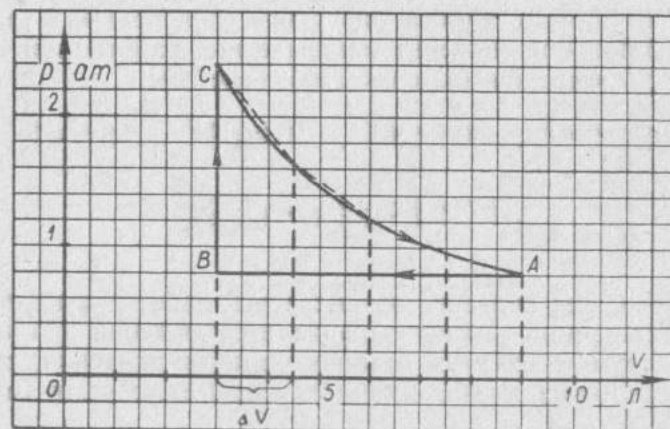


Рис. 8. Чертеж в тетради ученика (график зависимости  $p$  от  $V$ )

чину механической работы, совершаемой самим газом при его расширении или сжатии:

- а) при изотермическом изменении объема газа;
- б) при изобарическом изменении.

Подсчет работы в последнем случае довольно прост. Достаточно перемножить давление газа и изменение его объема:

$$A = p(V_2 - V_1).$$

Для карточки № 7 эта работа будет равна:

$$A = (3-9) \text{ л} \cdot 0,8 \text{ ат} = -4,8 \text{ л} \cdot \text{ат},$$

или приблизительно  $-480 \text{ дж}$ , считая, что  $1 \text{ л} \cdot \text{ат} \approx 100 \text{ дж}$ .

Знак «минус» указывает, что работу совершает не сам газ, а внешние силы.

В случае же изотермического изменения давления газа работу подсчитать несколько труднее, так как учащиеся незнакомы с приемами интегрирования функций. Поэтому им надо предложить произвести приближенный расчет, разбив весь участок гиперболы на 4—5 частей так, чтобы приращения объема  $\Delta V$  на этих участках были одинаковыми. Соединяя получившиеся точки на гиперболе прямыми отрезками, получают ломаную линию, которая ограничит площадь несколько большую, чем площадь, ограниченная линией гиперболы, осью объемов и двумя крайними ординатами давления. Понятно, чем на большее число частей разделить гиперболу, тем меньше будут отклонения вычисленной площади от истинной (идея интегрирования).

Каждый отрезок ломаной линии с его проекцией на ось объемов и с двумя ординатами, проведенными из концов отрезка, образуют трапецию. Площадь каждой такой трапеции нетрудно вычислить. Сумма площадей полученных трапеций даст приближенное значение механической работы при изотермическом расширении (или сжатии) (рис. 8):

$$A = \frac{(p_A + p_1)\Delta V}{2} + \frac{(p_1 + p_2)\Delta V}{2} + \frac{(p_2 + p_3)\Delta V}{2} + \frac{(p_3 + p_B)\Delta V}{2} = \\ = \frac{\Delta V(p_A + 2p_1 + 2p_2 + 2p_3 + p_B)}{2}.$$

Приближенное значение механической работы при изотермическом расширении равно половине произведения приращения объема на сумму из двух крайних ординат давления, сложенных с удвоенными значениями всех промежуточных ординат давления.

Для карточки № 7:  $\Delta V = 1,5 \text{ л}$ ,  $p_C = 2,4 \text{ ат}$ ,  $p_1 = 1,6 \text{ ат}$ ,  $p_2 = 1,2 \text{ ат}$ ,  $p_3 = 0,96 \text{ ат}$ ,  $p_A = 0,8 \text{ ат}$ .

Тогда

$$A = \frac{1,5 \text{ л}(0,8 \text{ ат} + 2 \cdot 1,6 \text{ ат} + 2 \cdot 1,2 \text{ ат} + 2 \cdot 0,96 \text{ ат} + 2,4 \text{ ат})}{2} \approx \\ \approx 8,0 \text{ л} \cdot \text{ат}, \text{ или } A \approx 800 \text{ дж}.$$

Эта работа будет положительной, так как она совершается самим газом при его расширении.

Другой путь для подсчета приближенного значения величины механической работы графический. Подсчитывают число клеток внутри площади, ограниченной линией графика, двумя крайними ординатами и осью абсцисс, т. е. осью объемов. Предварительно, конечно, определяют масштаб: какой механической работе соответствует площадь одной клетки.

На рисунке 8 площадь клеточки соответствует  $0,5 \text{ л} \cdot 0,2 \text{ ат} = 0,1 \text{ л} \cdot \text{ат}$ , или  $10 \text{ дж}$ . Число клеток внутри указанной выше площади равно 80, следовательно, работа при изотермическом расширении будет  $80 \cdot 10 \text{ дж} = 800 \text{ дж}$ . Эту работу в цикле называют полной работой газа. Работа же на участке  $AB$  цикла (по изобаре), как было показано выше, отрицательна и равна  $-480 \text{ дж}$ . На участке  $BC$  цикла (по изохоре) механическая работа не совершается. Поэтому полезная работа самого газа за весь цикл  $ABC$  будет равна  $800 \text{ дж} - 480 \text{ дж} = 320 \text{ дж}$ .

В других карточках направление процессов в цикле может быть противоположным разобранным. Тогда полезная работа окажется отрицательной, ибо производится внешними силами над газом. Примером тому может служить процесс в холодильной машине.

Отношение полезной работы к полной представляет собой теоретический коэффициент полезного действия для данного цикла. Для карточки № 7 он составит:

$$\text{к. п. д.} = \frac{320 \text{ дж}}{800 \text{ дж}} = 0,40, \text{ или } 40\%.$$

Полезно предложить учащимся вычислить к. п. д. для цикла Карно при том же перепаде температур, состоящем из двух изотерм и двух адиабат, затем сравнить эти к. п. д.

В примере карточки № 7 для цикла Карно:

$$\text{к. п. д.} = \frac{300 \text{ дж} - 100 \text{ дж}}{300 \text{ дж}} = 0,67, \text{ или } 67\%,$$

т. е. к. п. д. данного цикла в 1,5 раза меньше к. п. д. идеального цикла Карно.



Пример программированного упражнения

Вопросы

- I. Объем газа в состоянии *A*, л.
- II. Давление газа в состоянии *A*, ат.
- III. Объем газа в состоянии *B*, л.
- IV. Давление газа в состоянии *B*, ат.
- V. Объем газа в состоянии *C*, л.
- VI. Давление газа в состоянии *C*, ат.

Ответы к карточкам

№ 1, 3, 5, 7, 9

	I	II	III	IV	V	VI
1.	6	24	3	40	4	18
2.	4	0,8	4	32	5	6
3.	9	2	5	6	3	2,4
4.	0,5	6	0,3	2	6	32
5.	12	64	12	0,8	0,3	24

Код для проверки:

- № 1 — 532 412
- № 3 — 245 311
- № 5 — 155 244
- № 7 — 321 533
- № 9 — 414 155

Ответы к карточкам

№ 2, 4, 6, 8, 10

	I	II	III	IV	V	VI
1.	2,4	0,6	2	4	80	1
2.	16	0,4	2,4	2	4,8	1,2
3.	9600	5	400	0,6	8	20
4.	2	1	4800	10	64	2
5.	80	8	16	0,4	4800	5

Код для проверки:

- № 2 — 451 234
- № 4 — 132 425
- № 6 — 245 141
- № 8 — 523 514
- № 10 — 314 352

Вопросы к карточкам IV серии — Графики изменения состояния идеального газа в координатах *V*, *T* или *p*, *T*.

1. Сколько грамм-молекул содержится в газе, масса которого указана на карточке, если  $\mu = 30$  г/моль?
2. Определите температуру, объем и давление этого газа в состояниях, отмеченных на графике точками *A*, *B*, *C*. Для упрощения расчетов принять  $R \approx 8000$  дж/(град·моль) или  $0,08$  л·ат/(град·моль).
3. Указанный на графике процесс изобразите в координатах *p*, *V*.
4. Вычислите полную работу при изотермическом изменении газа.
5. Вычислите полезную работу за цикл.
6. Вычислите тепловой коэффициент полезного действия цикла.
7. Чему был бы равен этот к. п. д., если изменение газа происходило по циклу Карно с тем же перепадом температур?

Таблица IV

Вопросы	Ответы на вопросы к карточкам											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	а	б
1. Масса газа, моль	300	400	100	100	400	100	100	100	500	360	300	200
2. Температура, °K:	12	2	4	2,4	6	16	9	80	0,5	9600	2,4	40
Объем, л:	4	2	12	2,4	12	16	3	400	0,3	4800	1,6	40
Давление, ат:	4	8	4	4,8	6	64	3	80	0,3	4800	1,6	80
	2	8	6	5	64	1	0,8	0,4	24	0,6	10	4
	2	2	6	10	32	4	0,8	0,4	40	0,6	10	8
	6	2	18	5	32	1	2,4	2,0	24	1,2	15	4
3. Полная работа, кдж	2,7	-2,3	-8,0	1,7	26	9,4	0,8	-27	0,61	410	-0,98	23
4. Полезная работа, кдж	1,1	-1,1	-3,2	0,50	7,0	4,6	0,32	-14	0,13	120	-0,18	7,0
5. Тепловой к. п. д. цикла, %	40	48	40	30	30	46	40	50	22	30	18	30
6. К. п. д. цикла Карно, %	67	75	67	50	50	75	67	80	40	50	33	50

## V СЕРИЯ — ИЗМЕНЕНИЕ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕЙ

На левом рисунке карточки V серии изображены сосуд с водой, масса которой подписана внизу, и термометр, указывающий ее температуру (рис. 9). На правом рисунке — тот же сосуд с водой после погружения в нее тела, вещество и масса которого даны в карточке. На этом рисунке термометр показывает установившуюся температуру воды и тела.

После изучения закона сохранения с учетом теплопередачи рекомендуется провести самостоятельную работу учащихся с карточками V серии. В этой работе могут быть предложены первые 6 вопросов.

### Пример решения для карточки № 4

1. Цена деления шкалы термометра —  $1^\circ\text{C}$ .
2. Температура воды:
  - а) до погружения тела из меди:  $t_n = 16^\circ\text{C}$ ,
  - б) после погружения тела:  $\Theta = 38^\circ\text{C}$ .
3. Количество теплоты, полученное водой:

$$\Delta Q_v = c_v m_v (\Theta - t_n),$$

$$\Delta Q_v = 4200 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{град)} \cdot 0,25 \text{ кг} \cdot (38^\circ - 16^\circ) = 23\ 100 \text{ Дж} \approx 23 \text{ кДж}.$$

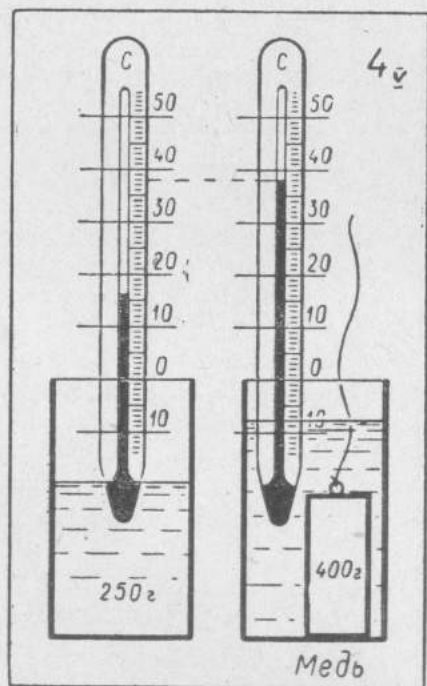


Рис. 9. Образец карточки V серии (№ 4)

4. Количество теплоты, отданное медным телом:

$$\Delta Q_m = \Delta Q_v + \Delta Q_c,$$

$$\Delta Q_m = 23\ 100 \text{ Дж} + 42 \text{ Дж/град} \cdot (38^\circ - 16^\circ) = 24\ 024 \text{ Дж} \approx 24 \text{ кДж}.$$

5. Температура медного тела до погружения:

$$\Delta Q_m = c_m m_m (t_m - \Theta),$$

откуда

$$t_m = \frac{\Delta Q_m}{c_m m_m} + \Theta,$$

$$t_m = \frac{24\ 000 \text{ Дж}}{390 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{град)} \cdot 0,4 \text{ кг}} + 38^\circ = 192^\circ,$$

$$t_m \approx 190^\circ\text{C}.$$

6. Для нагревания указанного в карточке количества воды до точки кипения ( $100^\circ\text{C}$ ) потребуется условного топлива при к. п. д. 20%:

$$m_{y.t} = \frac{c_v m_v (100 - t_n)}{q\eta},$$

$$m_{y.t} = \frac{4200 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{град)} \cdot 0,25 \text{ кг} \cdot (100^\circ - 16^\circ)}{30 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг} \cdot 0,2} = 0,0147 \text{ кг} \approx 15 \text{ г}.$$

Если учитель находит нужным составлять общее уравнение, то вопросы 3 и 4 исключаются, а это уравнение и его решение могут выглядеть так:

$$c_m m_m (t_m - \Theta) = c_v m_v (\Theta - t_n) + c_c m_c (\Theta - t_c),$$

но так как  $t_c = t_n$ , а  $c_c m_c = 42 \text{ Дж/град}$ , то уравнение можно упростить:

$$c_m m_m (t_m - \Theta) = (c_v m_v + 42) (\Theta - t_n),$$

откуда

$$t_m = \frac{(c_v m_v + 42) (\Theta - t_n)}{c_m m_m} + \Theta.$$

После изучения парообразования и конденсации рекомендуется вторично использовать карточки данной серии, предложив учащимся вопросы 1, 2 и 7. Имеется в виду вычисление количества теплоты, необходимое для нагревания воды с частичным испарением (5%), масса которой указана на левом рисунке карточки.

Для карточки № 4 это количество теплоты составит:

$$Q = cm(100 - t) + L \cdot 0,05 m,$$

$$Q = 4200 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{град)} \cdot 0,25 \text{ кг} \cdot (100^\circ - 16^\circ) + 226 \cdot 10^4 \text{ Дж/кг} \cdot 0,05 \cdot 0,25 \text{ кг} = 116\ 450 \text{ Дж} \approx 116 \text{ кДж}.$$



Третий раз карточки данной серии полезно использовать после изучения понятия влажности воздуха. Перед учащимися ставят вопросы 1, 2 а и 8.

#### Пример решения для той же карточки

Если в комнате размером  $5 \times 4 \times 2,5$  м испарится половина воды, указанной на левом рисунке карточки, т. е. 125 г, то абсолютная влажность воздуха в комнате составит:

$$\frac{125 \text{ г}}{5 \text{ м} \cdot 4 \text{ м} \cdot 2,5 \text{ м}} = 2,5 \text{ г/м}^3.$$

По таблице давления и плотности насыщающих водяных паров находим, что при температуре воздуха, равной половине температуры воды в сосуде ( $\frac{16^\circ\text{C}}{2} = 8^\circ\text{C}$ ), плотность насыщающего пара равна  $8,3 \text{ г/м}^3$ . Следовательно, относительная влажность будет равна:

$$r = \frac{2,5 \text{ г/м}^3}{8,3 \text{ г/м}^3} = 0,30, \text{ или } 30\%.$$

Четвертый раз карточки V серии можно дать при изучении плавления твердого тела, предложив учащимся вопросы 1, 2а и 9. Количество льда, которое нужно опустить в воду (ее масса дана на левом рисунке карточки), чтобы понизить температуру до  $2^\circ\text{C}$ , рассчитывают по следующему уравнению:

$$\lambda m_{\text{л}} + c_{\text{в}} m_{\text{л}} (\Theta - t_{\text{пл}}) = c_{\text{в}} m_{\text{в}} (t_{\text{в}} - \Theta) + c_{\text{с}} m_{\text{с}} (t_{\text{в}} - \Theta),$$

откуда

$$m_{\text{л}} = \frac{(c_{\text{в}} m_{\text{в}} + c_{\text{с}} m_{\text{с}}) (t_{\text{в}} - \Theta)}{\lambda + c_{\text{в}} (\Theta - t_{\text{пл}})}.$$

По данным карточки № 4 получим:

$$m_{\text{л}} = \frac{(4200 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{град)} \cdot 0,25 \text{ кг} + 42 \text{ Дж/кг}) (32^\circ - 2^\circ)}{340000 \text{ Дж/кг} + 4200 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{град)} \cdot (2^\circ - 0^\circ)} = 0,094 \text{ кг} = 94 \text{ г}.$$

#### Пример программированного упражнения

#### Вопросы

- I. Температура воды до погружения тела,  $^\circ\text{C}$ .
- II. Общая температура воды и тела после погружения,  $^\circ\text{C}$ .
- III. Температура тела до погружения,  $^\circ\text{C}$ .
- IV. Количество теплоты, полученное водой, кДж.

#### Ответы к карточкам

№ 1, 3, 5, 7, 9

	I	II	III	IV
1.	5	36	120	-10
2.	44	56	-10	11
3.	52	33	170	9,7
4.	22	28	120	14
5.	2	9,6	-44	-13

Код для проверки:

№ 1 — 5312  
 № 3 — 2451  
 № 5 — 3125  
 № 7 — 4234  
 № 9 — 1543

#### Ответы к карточкам

№ 2, 4, 6, 8, 10

	I	II	III	IV
1.	16	35	95	-29
2.	15	38	-40	28
3.	32	2	100	17
4.	8	26	220	40
5.	19	54	-60	23

Код для проверки:

№ 2 — 3542  
 № 4 — 1235  
 № 6 — 4415  
 № 8 — 2133  
 № 10 — 5321

#### Вопросы к карточкам V серии — Изменение внутренней энергии теплопередачей

1. Цена деления шкалы термометра.
2. Температура воды: а) до погружения тела; б) после погружения тела.
3. Какое количество теплоты получено водой?
4. Какое количество теплоты отдано телом, погруженным в воду, если теплоемкость сосуда и термометра  $42 \text{ Дж/град}$  (потерями энергии пренебречь)?
5. Вычислите температуру тела до погружения в воду.
6. Какая масса условного топлива потребуется для нагревания воды (левый рисунок) до точки кипения при нормальном давлении, если эффективность нагревателя  $20\%$  (испарение воды не учитывать)? Теплота сгорания условного топлива  $30 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$ .
7. Какое количество теплоты потребуется для нагревания воды и обращения  $5\%$  ее в пар при  $100^\circ\text{C}$ ?
8. Какую относительную влажность приобретет абсолютно сухой воздух в комнате размером  $5 \times 4 \times 2,5$  м, если в нее испарится половина воды, указанной на левом рисунке карточки? (Показания термометра в комнате в 2 раза меньше, чем у воды в сосуде.)
9. Какую массу льда при  $0^\circ\text{C}$  надо опустить в сосуд с водой (левый рисунок), чтобы понизить их температуру до  $2^\circ\text{C}$ ?

Вопросы	Ответы на вопросы к карточкам											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	а	б
1. Цена деления шкалы, °С	1	2	1	1	1	0,5	2	1	0,2	0,5	1	0,2
2. Температура воды, °С:												
а) до погружения тела	20	32	44	16	52	8	22	15	5	19	16	9,6
б) после погружения тела	33	54	28	38	36	26	56	35	9,6	2	44	3,6
3. Количество теплоты, полученное водой, кДж	11	28	-10	23	-13	23	14	17	9,7	-29	24	-12,6
4. Количество теплоты, отданное телом, кДж	11,4	28,6	-10,1	24	-14,1	23,4	15,7	17,6	9,85	-29,3	24,7	-12,9
5. Температура тела до погружения в воду, °С	130	220	-44	190	-10	95	170	190	120	-40	130	-51
6. Масса условного топлива, г	11	14	5,9	15	6,7	17	5,5	12	33	23	12	32
7. Количество теплоты, пошедшее на нагревание и испарение, кДж	90	220	52	116	63	130	44	90	260	180	93	250
8. Влажность, %	21	22	7,7	30	8,2	47	10	25	86	44	24	53
9. Масса льда, г	46	110	80	44	130	23	27	33	19	84	36	49

## VI СЕРИЯ — ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ПРЕСС

На карточках VI серии изображена принципиальная схема гидравлического пресса (рис. 10). Намеренно увеличенной показана шкала манометра, измеряющего давление масла. Это давление вызывается действием силы  $F$  на конец рукоятки рычага, движущего малый поршень вниз. Такое же давление передается на большой поршень, который сжимает брусок высотой 10 см. Площадь сечения этого бруска и материал, из которого сделан брусок, указаны на рисунках карточки.

Карточки VI серии рекомендуется применить при изучении темы «Свойства жидкостей и твердых тел». По напряжению, возникающему в бруске при деформации сжатия, предлагают найти то изменение температуры, при котором брусок получит такое же уменьшение длины, какое он получил при данной деформации на гидравлическом прессе.

Для решения поставленной задачи могут быть предложены вопросы, перечисленные в таблице VI.

## Пример решения для карточки № 5

1. Цена деления шкалы манометра — 3 ат.
2. Давление масла — 54 ат.
3. Сила, действующая на малый поршень:

$$F_1 = \rho S_1 h_1$$

$$F_1 = 10^5 \text{ н/м}^2 \cdot 54 \cdot 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 810 \text{ н}$$

(учитываем, что 1 ат  $\approx 10^5$  н/м<sup>2</sup>).

4. Сила, действующая на большой поршень:

$$F_2 = \rho S_2 h_2$$

$$F_2 = 10^5 \text{ н/м}^2 \cdot 54 \cdot 60 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 32400 \text{ н} \approx 32 \text{ кН}$$

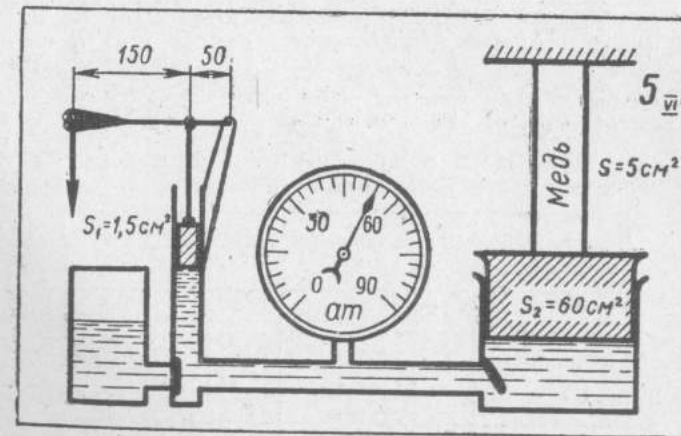


Рис. 10. Образец карточки VI серии (№ 5)



5. Сила, действующая на рукоятку рычага:

$$Fl = F_1 l_1,$$

$$F = \frac{F_1 l_1}{l},$$

$$F = \frac{810 \text{ н} \cdot 50}{200} = 202,5 \text{ н}, F \approx 200 \text{ н}.$$

6. Напряжение сжатия в бруске:

$$\sigma = \frac{F_2}{S},$$

$$\sigma = \frac{32\,400 \text{ н}}{500 \text{ мм}^2} = 64,8 \frac{\text{н}}{\text{мм}^2} \approx 65 \frac{\text{н}}{\text{мм}^2}.$$

7. Величина относительного сжатия:

$$\sigma = E \frac{\Delta l}{l_0}, \quad \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{\sigma}{E}, \quad \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{64,8 \text{ н/мм}^2}{10^5 \text{ н/мм}^2} = 0,648 \cdot 10^{-3} \approx 0,65 \cdot 10^{-3}.$$

8. Величина абсолютного сжатия:

$$\Delta l = \frac{\sigma}{E} l_0, \quad \Delta l = 0,648 \cdot 10^{-3} \cdot 100 \text{ мм} = 0,065 \text{ мм}.$$

9. Изменение температуры, вызывающее такое же укорачивание стержня:

$$\beta \Delta t = \frac{\Delta l}{l_0}, \quad \Delta t = \frac{\Delta l}{l_0 \beta}, \quad \Delta t = \frac{0,65 \cdot 10^{-3}}{17 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}} = 38^\circ \text{С}.$$

Ответы в таблице VI получены при следующих значениях:

Материал	Модуль упругости $E$ , н/мм <sup>2</sup>	Коэффициент линейного расширения $\beta$ , град <sup>-1</sup>
Сталь	$21 \cdot 10^4$	$12 \cdot 10^{-6}$
Медь	$10 \cdot 10^4$	$17 \cdot 10^{-6}$
Латунь	$11 \cdot 10^4$	$19 \cdot 10^{-6}$
Алюминий	$7 \cdot 10^4$	$26 \cdot 10^{-6}$

## Пример программированного упражнения

### Вопросы

- I. Давление масла, ат.
- II. Сила, сжимающая брусок, кн.
- III. Напряжение в бруске, н/мм<sup>2</sup>.
- IV. Относительное сжатие.
- V. Какое изменение температуры вызовет такое же относительное сжатие, °?

#### Ответы к карточкам<sup>1</sup> № 1, 3, 5, 7, 9

	I	II	III	IV	V
1.	27,5	36	65	0,54	60
2.	54	29	60	0,86	13
3.	45	17	110	0,65	35
4.	44	32	33	0,60	45
5.	72	23	95	0,16	38

Код для проверки:

№ 1 — 35 314  
№ 3 — 13 452  
№ 5 — 24 135  
№ 7 — 51 243  
№ 9 — 42 524

#### Ответы к карточкам № 2, 4, 6, 8, 10

	I	II	III	IV	V
1.	72	14	14	0,27	29
2.	27	53	19	0,26	14
3.	64	23	50	0,20	10
4.	45	45	18	0,50	18
5.	48	20	30	0,40	7,7

Код для проверки:

№ 2 — 43 135  
№ 4 — 34 512  
№ 6 — 51 423  
№ 8 — 25 341  
№ 10 — 13 213

### Вопросы к карточкам VI серии — Гидравлический пресс

1. Определите цену деления шкалы манометра.
2. Каково давление масла?
3. Вычислите силы, действующие: а) на малый поршень, б) на большой поршень, в) на рукоятку рычага.
4. Вычислите напряжение сжатия в бруске.
5. Какова величина относительного сжатия, вызванного этим напряжением?
6. На сколько миллиметров укоротилась длина бруска ( $l_0 = 10 \text{ см}$ ) под этим напряжением?
7. Какое изменение температуры даст такое же укорачивание?

<sup>1</sup> Ответы в таблицах к вопросу IV увеличены в 1000 раз.

Вопросы	Ответы на вопросы к карточкам											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	а	б
1. Цена деления, ат	2,5	2	2,5	2	3	2	4	1	2	3	1	0,5
2. Давление масла, ат	45	45	27,5	64	54	48	72	27	44	72	27	14
3. Сила, действующая на:												
а) малый поршень, н	540	540	410	1300	810	530	940	540	1100	580	810	560
б) большой поршень, кн	23	23	17	45	32	14	36	20	29	23	30	13
в) рукоятку рычага, н	180	140	100	180	200	120	310	150	310	180	200	160
4. Напряжение сжатия, н/м <sup>2</sup>	110	14	33	30	65	18	60	50	95	19	7,4	8,9
5. Относительное сжатие (увеличено в 1000 раз)	0,54	0,20	0,16	0,27	0,65	0,26	0,60	0,50	0,86	0,27	0,11	0,089
6. Изменение температуры, °	45	7,7	13	14	38	10	35	29	45	10	4,0	5,2

## VII СЕРИЯ — ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ

На рисунках карточек VII серии изображены два металлических шара, несущие на себе электрические заряды (рис. 11). Величины этих зарядов указаны на карточках. Для нахождения размеров шаров и расстояния между ними (их центрами) служит клетчатая сетка. На каждой карточке указана длина стороны клетки этой сетки. Масса шарика, на котором находится пробный заряд в точке  $B$ , и величина этого заряда тоже указаны на карточках.

Карточки данной серии помогут учащимся лучше освоиться с новыми для них, важнейшими понятиями из области электростатики.

После ознакомления учащихся с законом Кулона, установления единиц для измерения электрических зарядов и соотношения между ними рекомендуется поставить самостоятельную работу с карточками VII серии. Предлагают первые три вопроса. Для упрощения вычислений имеет смысл расчет вести в единицах СГСЭ. Расстояния вычислять по длине клеточек в соответствующем масштабе, используя теорему Пифагора.

Второй раз полезно применить карточки данной серии после изучения понятия напряженности электрического поля. Предложив учащимся вопросы 1, 4, 5 и 6, чтобы на первых порах не заслонять существа понятия, рекомендуется вычислять величину напряженности в системе СГСЭ (ед. напряженности СГСЭ). Учащимся следует перечертить расположение всех зарядов в свою тетрадь (разлинованную в клетку) и в выбранном масштабе начертить векторы  $\vec{E}_1$  и  $\vec{E}_2$  и их суммарный вектор  $\vec{E}$ . Интересно предложить учащимся начертить примерное расположение линии напряженности, проходящей через точку  $B$ ,

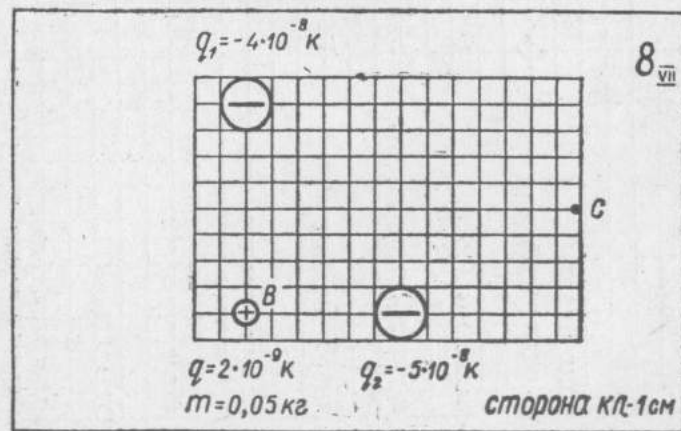


Рис. 11. Образец карточки VII серии (№ 8)



и высказать свои соображения о том, как будет меняться сила и ускорение при перемещении заряда  $q$ .

Третий раз карточки VII серии рекомендуется использовать после изучения понятия потенциала и разности потенциалов. Предлагают вопросы 7—9. Решение рекомендуется проводить в единицах СИ, при этом считать  $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ кг} \cdot \text{м}^3 / (\text{а}^2 \cdot \text{сек}^4)$  (или  $\text{н} \cdot \text{м}^2 / \text{к}^2$ ). Диэлектрическую проницаемость считать  $\epsilon \approx 1$  (для воздуха).

Пример решения для карточки № 8

1. Заряды  $q_1$  и  $q_2$  в единицах системы СГСЭ:

$$q_1 = -4 \cdot 10^{-8} \cdot 3 \cdot 10^9 = -120 \text{ ед. заряда СГСЭ,}$$

$$q_2 = -5 \cdot 10^{-8} \cdot 3 \cdot 10^9 = -150 \text{ ед. заряда СГСЭ.}$$

2. Расстояние между центрами шаров:

$$\sqrt{8^2 + 6^2} = 10, \quad r = 10 \text{ см.}$$

3. Модуль силы взаимодействия между зарядами  $q_1$  и  $q_2$ :

$$|\vec{F}_{1-2}| = \frac{q_1 q_2}{r^2}, \quad \frac{120 \cdot 150}{10^2} = 180, \quad |\vec{F}_{1-2}| = 180 \text{ дин.}$$

4. Модуль напряженности электрического поля в точке  $B$ :

$$|\vec{E}| = \frac{q}{r^2} \cdot \frac{120}{64} = 1,87, \quad |\vec{E}_1| = 1,87 \text{ ед. напряженности СГСЭ;}$$

$$\frac{150}{36} = 4,17, \quad |\vec{E}_2| = 4,17 \text{ ед. напряженности СГСЭ.}$$

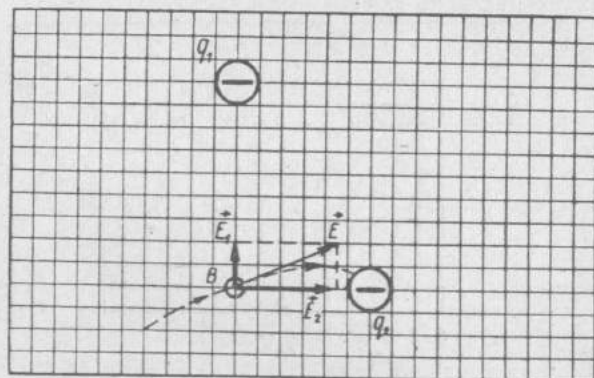


Рис. 12. Чертеж в тетради ученика

Изобразим векторы напряженности  $\vec{E}_1$  и  $\vec{E}_2$  на чертеже в масштабе: сторона клеточки равна 1 ед. напряженности СГСЭ (рис. 12). Построим вектор напряженности  $\vec{E}$ . Направление его указано на чертеже, а модуль вычисляем:

$$|\vec{E}| = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}, \quad \sqrt{1,87^2 + 4,17^2} \approx 4,56,$$

$$|\vec{E}| \approx 4,56 \text{ ед. напряженности СГСЭ.}$$

5. Модуль силы, с которой поле действует на пробный заряд  $q$  в точке  $B$ :

$$|\vec{F}| = qE, \quad 2 \cdot 10^{-9} \cdot 3 \cdot 10^9 \cdot 4,56 = 27,36, \quad |\vec{F}| \approx 27 \text{ дин.}$$

6. Модуль ускорения в точке  $B$  составит:

$$|\vec{a}| = \frac{|\vec{F}|}{m}, \quad |\vec{a}| = \frac{27,4 \text{ дин}}{50 \text{ г}} = 0,56 \text{ см/сек}^2.$$

Проведем примерную линию напряженности электрического поля через точку  $B$ . Эта линия должна быть касательной к направлению вектора  $\vec{E}$  и перпендикулярна к поверхности шара, несущего заряд  $q_2$ . Так как пробный положительный заряд  $q$  приближается к отрицательному заряду  $q_2$ , то сила и ускорение по мере движения заряда  $q$  будут увеличиваться.

7. Потенциалы на шарах, несущих заряды  $q_1$  и  $q_2$ .

В единицах СИ  $\phi$  определяется по формуле:

$$\phi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r},$$

где  $\epsilon = 1$ , а  $\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9}$  ед. СИ,

тогда

$$\phi = \frac{9 \cdot 10^9 q}{r},$$

$$\phi_1 = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot (-4 \cdot 10^{-8})}{10^{-2}} \text{ в} = -36 \text{ 000 в}, \quad \phi_1 = -36 \text{ кВ;}$$

$$\phi_2 = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot (-5 \cdot 10^{-8})}{10^{-2}} \text{ в} = -45 \text{ 000 в}, \quad \phi_2 = -45 \text{ кВ.}$$

8. Потенциалы в точке  $B$  от зарядов  $q_1$  и  $q_2$  будут во столько раз меньше потенциалов на шарах, во сколько расстояния от центров шаров до этой точки больше радиусов шаров. В данном примере соответственно в 8 и 6 раз. Поэтому общий потенциал в точке  $B$  равен:

$$\phi_B = \frac{-36 \text{ 000}}{8} \text{ в} + \frac{-45 \text{ 000}}{6} \text{ в} = -12 \text{ 000 в}, \quad \phi_B = -12 \text{ кВ.}$$

9. Потенциал в точке  $C$  от тех же зарядов определяют, предварительно найдя расстояния от шаров до этой точки:

$$\sqrt{13^2+4^2}=13,6; \quad r_1=13,6 \text{ см};$$

$$\sqrt{7^2+4^2}=8,06; \quad r_2=8,06 \text{ см};$$

$$\varphi_C = \frac{-36\,000}{13,6} \text{ в} + \frac{-45\,000}{8,06} \text{ в} = -8230 \text{ в}, \quad \varphi_C \approx -8,2 \text{ кв.}$$

10. Работа внешних сил, необходимая для перемещения пробного заряда  $q$  из точки  $B$  в точку  $C$ :

$$A = (\varphi_C - \varphi_B) q, \quad (-8230 + 12\,000) \cdot 2 \cdot 10^{-9} = 7540 \cdot 10^{-9},$$

$$A \approx 75 \cdot 10^{-7} \text{ Дж} = 7,5 \text{ мкДж.}$$

### Пример программированного упражнения

#### Вопросы

- I. Потенциал шара с зарядом  $q_1$ , в.
- II. Потенциал шара с зарядом  $q_2$ , в.
- III. Потенциал в точке  $B$ , в.
- IV. Потенциал в точке  $C$ , в.
- V. Работа для перемещения заряда  $q$  из точки  $B$  в точку  $C$ , мкДж.

#### Ответы к карточкам № 1, 3, 5, 7, 9

	I	II	III	IV	V
1.	4 500	-22 500	7200	2200	-8,6
2.	5 400	-7 200	0	2800	-7,5
3.	18 000	9 000	-57	350	-3,8
4.	3 200	18 000	640	-130	-3,6
5.	22 500	3 600	2000	62	22

#### Ответы к карточкам № 2, 4, 6, 8, 10

	I	II	III	IV	V
1.	9 000	-54 000	-12 000	-250	4,1
2.	-36 000	-9 000	380	-1400	-1,2
3.	36 000	-18 000	1 700	-8200	-1,0
4.	18 000	7 200	-2 300	1200	7,5
5.	27 000	-45 000	750	2300	-320

Код для проверки:

- № 1 — 25 431
- № 3 — 23 512
- № 5 — 34 125
- № 7 — 51 243
- № 9 — 12 354

Код для проверки:

- № 2 — 53 241
- № 4 — 42 513
- № 6 — 31 425
- № 8 — 25 134
- № 10 — 14 352

Таблица VII

Вопросы	Ответы на вопросы к карточкам											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	а	б
1. Заряд на шарах, ед. заряда СИЭ	4,5	90	18	120	60	6 · 10 <sup>3</sup>	150	-120	15	150	120	1500
2. Расстояние между центрами шаров, см	3	-60	30	-60	60	-9 · 10 <sup>3</sup>	-150	-150	-24	120	-90	-900
3. Модуль силы взаимодействия, дин	5	10	10	20	8	1000	16	10	20	50	50	80
4. Модуль напряженности в точке В, ед. напряженности СИЭ	0,54	54	5,4	18	56	54	88	180	0,90	7,3	4,3	210
5. Модуль силы, действующей на заряд, дин	0,44	2,2	0,68	0,63	2,9	0,027	1,8	4,6	0,023	0,11	0,13	0,78
6. Модуль ускорения в точке В, см/сек <sup>2</sup>	40	33	100	1,9	43	32	160	27	2,1	0,65	1,9	47
7. Потенциал шара с зарядом: $q_1$ , кв	20	1,6	1000	0,38	22	1,6	32	0,56	0,21	3,2	9,3	23
$q_2$ , кв	5,4	27	5,4	18	18	36	22,5	-36	4,5	9	7,2	45
8. Потенциал в точке В, кв	3,6	-18	9	-9	18	-54	-22,5	-45	-7,2	7,2	-5,4	-27
ε в точке С, кв	0,64	0,38	2	0,75	7,2	-2,3	0	-12	-0,057	1,7	0	3,6
9. Работа внешних сил, мкДж	0,35	1,2	2,2	-0,25	2,8	-1,4	-0,13	-8,2	0,062	2,3	0,44	4,8
	-8,6	4,1	-7,5	-1,0	22	-320	-3,8	7,5	-3,6	-1,2	2,2	-24



Вопросы к карточкам VII серии —  
Взаимодействие электрических зарядов

1. Выразите электрические заряды на шарах в единицах СГСЭ.
2. Каково расстояние между центрами шаров?
3. С какой силой взаимодействуют между собой заряды на шарах?
4. Перечертите расположение шаров и пробного заряда  $q$  к себе в тетрадь, вычислите и начертите в выбранном масштабе векторы напряженности электрического поля в точке  $B$  от каждого заряженного шара, найдите величину и направление суммарного вектора в этой точке поля.
5. С какой силой действует электрическое поле на помещенный в точку  $B$  пробный заряд?
6. Какое ускорение получает тело с пробным зарядом  $q$  в этой точке. (Масса тела указана на карточке.)
7. Определите по масштабу величину радиусов шаров и вычислите потенциалы на шарах в киловольтах.
8. Вычислите потенциалы электрического поля в точках  $B$  и  $C$ .
9. Какую работу должны совершать внешние силы для перемещения пробного заряда  $q$  из точки  $B$  в точку  $C$ ?

VIII СЕРИЯ — КОНДЕНСАТОРЫ

На карточках VIII серии дано схематическое изображение плоского конденсатора в двух проекциях (рис. 13).

По представленным размерам в миллиметрах можно судить о расстоянии между пластинами и о размерах самих пластин. Одна из пластин заземлена, потенциал  $\varphi$  другой пластины указан в вольтах относительно Земли. В воздушном промежутке между пластинами подвешен на шелковой нити металлический шарик, масса которого написана в карточке. На этом шарике имеется электрический заряд, величина которого тоже указана в карточке.

После изучения плоского конденсатора и вывода формулы для расчета его емкости рекомендуется поставить самостоятельную работу учащихся с карточками данной серии. Предлагают первые 6 вопросов. Среди них ряд таких вопросов, которые заставляют учащихся вспомнить основные закономерности из пройденного материала по электростатике и механике.

Расчеты в этой работе рекомендуется проводить в единицах системы СГСЭ.

Второй раз карточки VIII серии полезно использовать после изучения видов соединения конденсаторов в батарею и вывода формулы для расчета энергии заряженного конденсатора. В этой работе достаточно поставить вопросы 1, 7 и 8.

При изучении колебательного контура в теме «Электромагнитные колебания» (X класс) полезно вновь поставить самостоятельную работу учащихся с карточками VIII серии, предложив им вычислить собственную частоту колебательного контура, состоящего из конденсаторной батареи и катушки индуктивности, величина  $L$  которой указана на карточке. Следует поставить вопросы 1, 7 и 9.

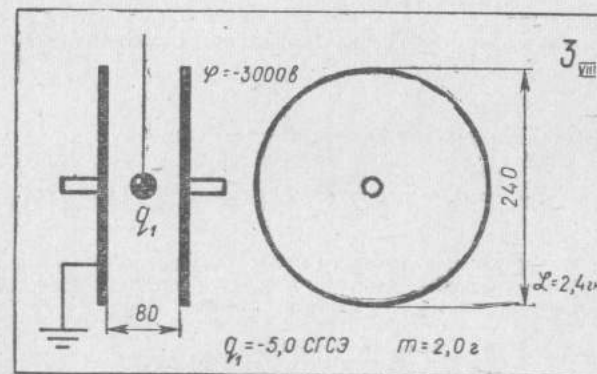


Рис. 13. Образец карточки VIII серии (№ 3)

Пример решения для карточки № 3 в системе СГСЭ

1. Активная площадь пластин:

$$S = \pi r^2,$$

$$S = 3,14 \cdot 12^2 \text{ см}^2 = 452 \text{ см}^2,$$

$$S \approx 450 \text{ см}^2,$$

2. Электроемкость конденсатора:

$$C = \frac{\epsilon S}{4\pi l},$$

$$C = \frac{\pi \cdot 12^2 \text{ см}^2}{4\pi \cdot 8 \text{ см}} = 4,5 \text{ см},$$

$$C = 4,5 \text{ см}.$$

3. Напряженность электрического поля между пластинами:

$$E = \frac{\Phi}{l},$$

$$E = \frac{-3000 \text{ ед. потенциала СГСЭ}}{300 \cdot 8 \text{ см}} =$$

$= -1,25$  ед. напряженности СГСЭ,  $E \approx -1,3$  ед. напряженности СГСЭ.

4. Заряд на пластине:

$$q = C\Phi, q = 4,5 \text{ см} \cdot \frac{-3000}{300} \text{ ед. потенциала СГСЭ} = -45 \text{ ед. заряда СГСЭ}.$$

5. Сила, действующая на шарик:

$$F = qE, F = -45 \text{ ед. заряда СГСЭ} \cdot (-1,25) \text{ ед. напряженности СГСЭ} = 6,25 \text{ дин},$$

$$F = 6,3 \text{ дин}.$$

6. Ускорение шарика под действием этой силы:

$$a = \frac{F}{m}, a = \frac{6,25 \text{ дин}}{2 \text{ г}} = 3,13 \text{ см/сек}^2, a \approx 3,1 \text{ см/сек}^2.$$

7. При соединении параллельно 100 подобных конденсаторов в батарею, у которых будет уменьшено расстояние между пластинами до 0,1 мм и заполнено слюдой, электроемкость батареи окажется:

$$C = \frac{\epsilon S n}{4\pi l} = \frac{6 \cdot \pi \cdot 12^2 \cdot 100}{4\pi \cdot 0,01} = 2\,160\,000,$$

$$C = 2\,160\,000 \text{ см}, C = 2,4 \text{ мкф}.$$

8. Потенциальная энергия такой батареи:

$$W = \frac{C(\Delta\Phi)^2}{2} = \frac{2,4 \cdot 10^{-6} \cdot (-3000)^2}{2} = 10,8,$$

$$W \approx 11 \text{ Дж}.$$

9. Контур, составленный из данной батареи конденсаторов и индуктивности 2,4 мГ, указанной на карточке, будет иметь собственную частоту:

$$\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \sqrt{2,4 \cdot 2,4 \cdot 10^{-6}}},$$

$$\nu = 67 \text{ Гц}.$$

### Пример программированного упражнения

#### Вопросы

- I. Электроемкость конденсатора, см.
- II. Напряженность электрического поля, ед. напряженности СГСЭ.
- III. Заряд на пластине, ед. заряда СГСЭ.
- IV. Сила, действующая на заряд, дин.
- V. Ускорение шарика, см/сек<sup>2</sup>.

#### Ответы к карточкам № 1, 3, 5, 7, 9

	I	II	III	IV	V
1.	13	-1,3	28	15	-13
2.	2,0	3,2	-38	6,3	-6,0
3.	4,5	5,0	80	-9,0	-3,3
4.	5,0	4,0	-45	-5,0	6,3
5.	5,6	-1,2	100	-6,4	3,1

Код для проверки:

№ 1 — 42 351  
 № 3 — 31 425  
 № 5 — 23 512  
 № 7 — 15 243  
 № 9 — 53 132

#### Ответы к карточкам № 2, 4, 6, 8, 10

	I	II	III	IV	V
1.	39	4,0	940	54	-32
2.	25	-14	500	-8,0	16
3.	28	2,0	-200	48	-15
4.	7,0	9,0	36	-6,0	-17
5.	6,0	6,0	250	-42	27

Код для проверки:

№ 2 — 34 215  
 № 4 — 53 421  
 № 6 — 21 543  
 № 8 — 15 132  
 № 10 — 42 354



Таблица VIII

Вопросы	Ответы на вопросы к карточкам											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	a	б
1. Активная площадь пластин, $см^2$	320	710	450	230	250	790	400	2000	70	180	140	580
2. Электроемкость, $см$	5,0	28	4,5	6,0	2,0	25	13	39	5,6	7,0	3,8	9,2
3. Напряженность, ед. напряженности СГСЭ	3,2	9,0	-1,3	2,0	5,0	4,0	-1,2	6,0	5,0	-14	5,0	1,6
4. Заряд на пластине, ед. заряда СГСЭ	80	500	-45	36	100	250	-38	940	28	-200	57	73
5. Сила, $дин$ (- вправо, + влево)	-6,4	54	6,3	-8,0	15	-6,0	-5,0	48	-9,0	-42	-20	13
6. Ускорение, $см/сек^2$	-13	27	3,1	-32	6,0	-15	-3,3	16	-6,0	-17	-100	2,1
7. Электроемкость батареев, $мкф$	1,7	3,8	2,4	1,2	1,3	4,2	2,1	10	0,37	9,4	0,76	3,1
8. Энергия заряженной батареи, $дж$	19	55	11	19	140	19	0,85	270	4,2	330	7,7	89
9. Частота колебаний контура, $гц$	100	42	67	130	120	38	76	16	430	17	210	51

## Вопросы к карточкам VIII серии — Конденсаторы

1. Вычислите активную площадь конденсатора.
2. Вычислите электроемкость конденсатора.
3. Какова напряженность поля между пластинами конденсатора?
4. Найдите величину заряда на конденсаторной пластине.
5. С какой силой действует поле конденсатора на заряд  $q_1$ , величина которого указана в карточке?
6. Какое ускорение получает тело с зарядом  $q_1$ , подвешенное на тонкой шелковой нити между пластинами конденсатора? Масса этого тела указана в карточке.
7. Какую электроемкость в микрофарадах будут иметь 100 таких же конденсаторов, соединенных параллельно, если расстояния между пластинами уменьшить до 0,1 мм, проложив между ними такой же толщины слюду. Диэлектрическую постоянную слюды считать равной 6.
8. Какой энергией будет обладать эта батарея конденсаторов при потенциале, указанном на карточке?
9. Какой собственной частотой будет обладать колебательный контур, составленный из данной батареи конденсаторов и катушки, величина индуктивности которой указана на карточке?

IX СЕРИЯ — ПОСТОЯННЫЙ ТОК

На карточках IX серии изображена схема электрической цепи для питания электрической лампы через реостат от батареи аккумуляторов (рис. 14). Сопротивление лампы и реостата указаны на схеме, а измерительные приборы показывают силу тока в цепи и напряжение на полюсах батареи при замкнутом ключе. (Размеры изображения измерительных приборов на схемах намеренно увеличены для более свободного размещения делений и оцифровки шкал.)

Самостоятельную работу по карточкам IX серии рекомендуется поставить в самом начале изучения темы «Постоянный электрический ток» с целью повторения и выявления знаний учащихся, полученных ими два года назад в VII классе.

Учащимся предлагают рассмотреть схему электрической цепи, определить силу тока и напряжение по показаниям соответствующих приборов и, используя известный им ранее закон Ома для участка цепи, вычислить напряжение на клеммах лампы и реостата.

Полезно предложить вычислить плотность тока в проводе реостата, задав диаметр сечения провода, например 0,8 мм, и в нити лампы, имеющей площадь поперечного сечения 0,08 мм<sup>2</sup>.

Пример решения для карточки № 8

1. Цена деления шкалы амперметра — 0,02 а.  
Сила тока в цепи:  $I = 0,12$  а.
2. Цена деления шкалы вольтметра — 0,4 в.
3. Напряжение на полюсах батарей:  $U = 4,8$  в.
4. Напряжение  $U = IR$ :

а) на лампе:

$$U_{\text{л}} = 0,12 \text{ а} \cdot 10 \text{ ом} = 1,2 \text{ в};$$

б) на реостате:

$$U_{\text{р}} = 0,12 \text{ а} \cdot 30 \text{ ом} = 3,6 \text{ в}.$$

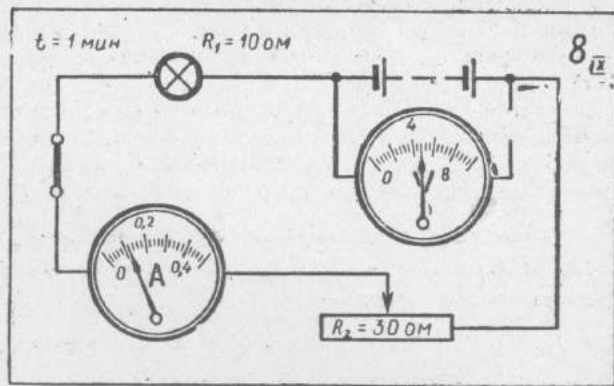


Рис. 14. Образец карточки IX серии (№ 8)

5. Плотность тока  $j = \frac{I}{S}$ :

а) в нити лампы  $S = 0,08 \text{ мм}^2$ :

$$j_{\text{л}} = \frac{0,12 \text{ а}}{8 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2} = 1,5 \cdot 10^6 \text{ а/м}^2;$$

б) в проводе реостата:

$$S = \frac{\pi d^2}{4}, \quad S = \frac{3,14 \cdot (8 \cdot 10^{-4})^2}{4} \text{ м}^2 = 50 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2,$$

$$j_{\text{р}} = \frac{0,12 \text{ а}}{50 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2} = 0,24 \cdot 10^6 \text{ а/м}^2.$$

Второй раз карточки IX серии полезно использовать для повторения вопросов работы, мощности тока и закона Джоуля — Ленца. Предлагают вопросы 1, 6 и 7.

6. Мощность тока  $P = I^2 R$ :

а) в лампе:

$$P_{\text{л}} = 0,12^2 \text{ а}^2 \cdot 10 \text{ ом} = 0,144 \text{ вт};$$

б) в реостате:

$$P_{\text{р}} = 0,12^2 \text{ а}^2 \cdot 30 \text{ ом} = 0,432 \text{ вт}.$$

7. Количество теплоты в джоулях  $Q = I^2 R t$ :

а) в лампе:

$$Q_{\text{л}} = 0,12^2 \text{ а}^2 \cdot 10 \text{ ом} \cdot 60 \text{ сек} \approx 8,6 \text{ дж};$$

б) в реостате:

$$Q_{\text{р}} = 0,12^2 \text{ а}^2 \cdot 30 \text{ ом} \cdot 60 \text{ сек} \approx 26 \text{ дж}.$$

Перед выполнением лабораторной работы по определению э. д. с. и внутреннего сопротивления источника тока рекомендуется поставить самостоятельную работу учащихся на уроке с карточками данной серии. Учащимся предлагают вычислить э. д. с. и внутреннее сопротивление батареи, если при переключении лампы и реостата с последовательного соединения на параллельное показания вольтметра на клеммах батареи уменьшатся на 30%.

После ответов на первые три вопроса надо вычислить основные характеристики цепи при параллельном соединении (вопрос 8) и по сопоставлению полученных данных рассчитать внутреннее сопротивление и э. д. с. батареи (вопрос 9).

Так, для карточки № 8 при последовательном соединении

$$I_{\text{пс}} = 0,12 \text{ а}, \quad U_{\text{пс}} = 4,8 \text{ в}, \quad R_{\text{пс}} = 10 \text{ ом} + 30 \text{ ом} = 40 \text{ ом}.$$

8. При параллельном соединении

$$U_{\text{ар}} = 0,7 U_{\text{пс}}, \quad U_{\text{ар}} = 0,7 \cdot 4,8 \text{ в} = 3,36 \text{ в}, \quad U_{\text{пр}} \approx 3,4 \text{ в};$$

$$R_{\text{ар}} = \frac{R_{\text{л}} \cdot R_{\text{р}}}{R_{\text{л}} + R_{\text{р}}}, \quad R_{\text{ар}} = \frac{10 \cdot 30}{10 + 30} \text{ ом} = 7,5 \text{ ом};$$



$$I_{np} = \frac{U_{np}}{R_{np}}, \quad I_{np} = \frac{3,36 \text{ в}}{7,5 \text{ ом}} = 0,448 \text{ а},$$

$$I_{np} \approx 0,45 \text{ а}.$$

9. Э. д. с. и внутреннее сопротивление батареи:

$$E = U_{nc} + I_{nc}r, \quad \text{или} \quad E = U_{np} + I_{np}r.$$

Приравнявая, получим:

$$U_{nc} + I_{nc}r = U_{np} + I_{np}r,$$

откуда

$$r = \frac{U_{nc} - U_{np}}{I_{np} - I_{nc}},$$

$$r = \frac{4,8 \text{ в} - 3,36 \text{ в}}{0,448 \text{ а} - 0,12 \text{ а}} = \frac{1,44}{0,328} \text{ ом} = 4,39 \text{ ом}.$$

Внутреннее сопротивление батареи:  $r \approx 4,4 \text{ ом}$ .

Э. д. с. батареи:

$$E = U_{nc} + I_{nc}r = 4,8 \text{ в} + 0,12 \text{ а} \cdot 4,39 \text{ ом} = 5,33 \text{ в},$$

$$E \approx 5,3 \text{ в}.$$

На факультативных занятиях полезно рассмотреть закон Ома для участка цепи, содержащего э. д. с. Для лучшего усвоения этого закона можно предложить учащимся самостоятельную работу на определение показания амперметра, если в цепь между амперметром и реостатом будет включен последовательно аккумулятор с э. д. с. 1,2 в и внутренним сопротивлением 0,2 ом. Рассмотреть два случая:

а) при направлении э. д. с., совпадающем с направлением основного источника тока;

б) при противоположном направлении.

Для облегчения работы учащихся данные для э. д. с. и внутреннего сопротивления батареи учитель дает готовые, взяв их из таблицы ответов к вопросу 9.

Округление ответов следует проводить с точностью до половины цены деления шкалы амперметра.

Пример решения для карточки № 8

10. Показания амперметра при включении во внешнюю цепь аккумулятора:

$$E = E_0 \pm IR,$$

где

$$R = R_n + R_p + r_0 + r_a.$$

а) при совпадающих э. д. с.

$$I_a = \frac{5,3 \text{ в} + 1,2 \text{ в}}{40 \text{ ом} + 4,4 \text{ ом} + 0,2 \text{ ом}} = \frac{6,5}{44,6} \text{ а} = 0,146 \text{ а},$$

$$I_a \approx 0,15 \text{ а};$$

б) при противоположных э. д. с.

$$I_6 = \frac{5,3 \text{ в} - 1,2 \text{ в}}{44,6 \text{ ом}} = 0,092 \text{ а},$$

$$I_6 \approx 0,09 \text{ а}.$$

### Пример программированного упражнения

#### Вопросы

- I. Сила тока, а.
- II. Напряжение на батарее, в.
- III. Напряжение на лампе, в.
- IV. Напряжение на реостате, в.
- V. Плотность тока в нити лампы,  $10^6 \text{ а/м}^2$ .

#### Ответы к карточкам № 1, 3, 5, 7, 9

	I	II	III	IV	V
1.	0,16	16	1,8	0,56	10
2.	0,30	3,2	4,8	1,6	3,5
3.	0,28	4,8	2,4	11,2	3,8
4.	1,6	1,4	3,2	3,0	2,0
5.	0,80	2,5	0,84	0,80	20

Код для проверки:

№ 1 — 53 421  
 № 3 — 41 235  
 № 5 — 34 512  
 № 7 — 23 143  
 № 9 — 12 354

#### Ответы к карточкам № 2, 4, 6, 8, 10

	I	II	III	IV	V
1.	0,60	18	6,4	3,6	1,0
2.	0,12	2,0	7,2	6,0	20
3.	3,0	10,5	1,2	4,8	1,5
4.	0,08	4,8	12	4,0	7,5
5.	1,6	12	5,0	0,80	38

Код для проверки:

№ 2 — 31 425  
 № 4 — 42 351  
 № 6 — 53 142  
 № 8 — 24 313  
 № 10 — 15 234

Вопросы	Ответы на вопросы к карточкам											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	а	б
1. Цена деления амперметра, а	0,1	0,5	0,2	0,02	0,04	0,2	0,05	0,02	0,04	0,1	0,2	0,05
б) сила тока, а	0,8	3,0	1,6	0,08	0,28	1,6	0,30	0,12	0,16	0,6	1,2	0,20
2. Цена деления вольтметра, в	0,2	2	1	0,1	0,1	0,5	0,2	0,4	0,2	0,5	1	0,4
б) напряжение на батарее, в	4,8	18	16	2,0	1,4	10,5	4,8	4,8	3,2	12	25	6,8
3. Напряжение, в:												
а) на лампе	3,2	12	4,8	1,2	0,84	6,4	1,8	1,2	2,4	7,2	17	3,2
б) на реостате	1,6	6,0	11,2	0,8	0,56	4,0	3,0	3,6	0,8	4,8	8,4	3,6
4. Плотность тока, $10^6$ а/м <sup>2</sup> :												
а) в лампе	10	38	20	1,0	3,5	20	3,8	1,5	2,0	7,5	15	2,5
б) в реостате	1,6	6,0	3,2	0,16	0,56	3,2	0,60	0,24	0,32	1,2	2,4	0,40
5. Мощность тока, вт:												
а) в лампе	2,6	36	7,7	0,096	0,24	10	0,54	0,14	0,38	4,3	20	0,64
б) в реостате	1,3	18	18	0,064	0,16	6,4	0,90	0,43	0,13	2,9	10	0,72
6. Количество теплоты, дж:												
а) в лампе	150	1100	4600	58	28	3100	160	8,6	460	130	2400	770
б) в реостате	77	540	1100	38	19	1900	270	26	150	86	1200	860
7. При параллельном соединении												
а) напряжение на батарее, в	3,4	13	11,2	1,4	0,98	7,4	3,4	3,4	2,2	8,4	18	4,8
б) сопротивление внешнее, ом	1,3	1,3	2,1	6,0	1,2	1,5	3,8	7,5	3,8	4,8	4,7	8,5
в) сила тока, а	2,5	9,7	5,3	0,23	0,82	4,8	0,90	0,45	0,60	1,8	3,7	0,56
г) внутреннее сопротивление, ом	0,83	0,80	1,3	3,9	0,78	0,99	2,4	4,4	2,2	3,1	3,0	5,6
8. Э. д. с. батареи, в	5,5	20	18	2,3	1,6	12	5,5	5,3	3,6	14	29	7,9
9. Сила тока на участке, содержащем э. д. с., а:												
а) совпадающие направления	0,9	3,0	1,6	0,12	0,48	1,7	0,35	0,12	0,20	0,65	1,3	0,23
б) противоположные направления	0,6	2,6	1,4	0,04	0,08	1,4	0,23	0,09	0,10	0,55	1,1	0,17

## Вопросы к карточкам IX серии — Постоянный ток

1. Определите цену деления шкалы амперметра и указываемую им силу тока.
2. Определите цену деления шкалы вольтметра.
3. Каково напряжение на полюсах батарей?
4. Вычислите напряжение: а) на лампе; б) на реостате.
5. Какова плотность тока: а) в проводе реостата, если диаметр его проволоки 0,8 мм; б) в нити лампы, если площадь поперечного сечения нити 0,08 мм<sup>2</sup>?
6. Рассчитайте мощность тока: а) в лампе; б) в реостате.
7. Какое количество теплоты выделится за  $t$  мин: а) в лампе; б) в реостате? (Время  $t$  указано в карточках.)
8. Какими станут напряжение, сопротивление и сила тока, если лампу включить параллельно реостату? При этом показания вольтметра уменьшатся на 30% (почему?).
9. Вычислите внутреннее сопротивление и э. д. с. батареи из сравнения показаний измерительных приборов при последовательном и параллельном соединениях лампы и реостата.
10. Что покажет амперметр, если между ним и реостатом включить аккумулятор с э. д. с. 1,2 в и внутренним сопротивлением 0,2 ом: а) при направлении э. д. с., совпадающем с направлением э. д. с. основного источника; б) при противоположном направлении.



## Х СЕРИЯ — ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ

На рисунках карточек Х серии приведены схемы параллельного соединения проводников, величина сопротивления которых указана (рис. 15). Крупное условное изображение амперметра несет на себе шкалу со стрелкой, показывающей силу тока в каком-либо разветвлении или во всей цепи. Для питания цепи служит батарея аккумуляторов с ничтожно малым сопротивлением. На вольтметре, подключенном к общим точкам разветвленной цепи, шкала не нанесена.

Карточки данной серии рекомендуется использовать в теме «Постоянный электрический ток» с целью повторения законов параллельного и последовательного соединений проводников, изученных в VII классе.

Перечертив схему с карточки в тетрадь, учащиеся вычисляют и проставляют на ней все числовые характеристики, затем сами вычерчивают схему для последовательного соединения тех же проводников и подписывают вычисленную для этого соединения силу тока.

### Пример решения для карточки № 7

1. Цена деления шкалы амперметра — 0,5 а.
2. Сила тока:  
в третьей ветви (по амперметру)  $I_3 = 3$  а;  
во второй ветви

$$\frac{I_3}{I_2} = \frac{R_2}{R_3}, \quad I_2 = \frac{I_3 R_3}{R_2}, \quad I_2 = \frac{3 \text{ а} \cdot 3 \text{ ом}}{6 \text{ ом}} = 1,5 \text{ а};$$

$$\text{в первой ветви } I_1 = \frac{I_3 R_3}{R_1}, \quad I_1 = \frac{3 \text{ а} \cdot 3 \text{ ом}}{9 \text{ ом}} = 1 \text{ а};$$

$$\text{общая } I_{\text{пр}} = I_1 + I_2 + I_3 = 1 \text{ а} + 1,5 \text{ а} + 3 \text{ а} = 5,5 \text{ а}, \quad I_{\text{пр}} = 5,5 \text{ а}.$$

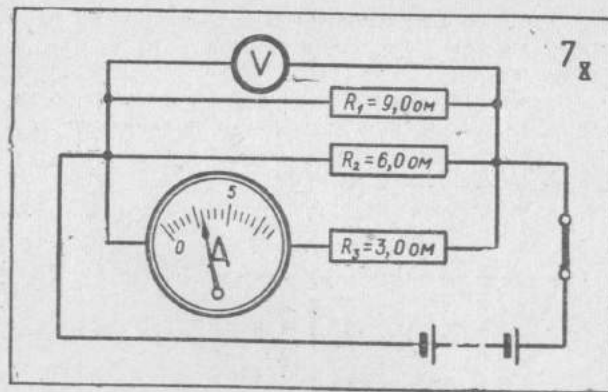


Рис. 15. Образец карточки Х серии (№ 7)

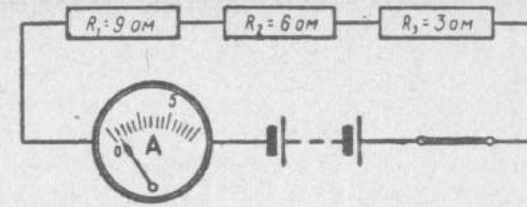


Рис. 16. Чертеж в тетради ученика

3. Напряжение:  $U = I_3 R_3$ ,  $U = 3 \text{ а} \cdot 3 \text{ ом} = 9 \text{ в}$ ,  $U = 9 \text{ в}$ .
4. Сопротивление всего разветвления:

$$R_{\text{пр}} = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_3 R_2 + R_3 R_1 + R_1 R_2}, \quad R_{\text{пр}} = \frac{9 \cdot 6 \cdot 3}{3 \cdot 6 + 3 \cdot 9 + 6 \cdot 9} \text{ ом} = \frac{162}{99} \text{ ом},$$

$$R_{\text{пр}} = 1,64 \text{ ом}.$$

Расчет общего сопротивления иногда проще производить, вычисляя общую проводимость в цепи:

$$\frac{1}{R_{\text{пр}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$$

При последовательном соединении проводников (рис. 16):

5. Общее сопротивление:  $R_{\text{пр}} = R_1 + R_2 + R_3 = 3 \text{ ом} + 6 \text{ ом} + 9 \text{ ом} = 18 \text{ ом}$ ,  $R_{\text{пр}} = 18 \text{ ом}$ .

6. Сила тока:  $I_{\text{пр}} = \frac{U}{R_{\text{пр}}}$ ,  $I_{\text{пр}} = \frac{9 \text{ в}}{18 \text{ ом}} = 0,5 \text{ а}$ ,  $I_{\text{пр}} = 0,5 \text{ а}$ .

### Пример программированного упражнения

#### Вопросы

- I. Сила тока по амперметру, а.
- II. Сопротивление разветвления, ом.
- III. Напряжение, в.
- IV. Сопротивление при последовательном соединении, ом.
- V. Сила тока при последовательном соединении, а.

#### Ответы к карточкам № 1, 3, 5, 7, 9

	I	II	III	IV	V
1.	3,0	4,1	7,2	710	0,32
2.	2,4	4,0	10,5	18	0,28
3.	0,15	1,6	12	25	0,24
4.	1,6	1,4	9,0	43	0,015
5.	0,8	70	8,0	30	0,50

#### Код для проверки

№ 1 — 42 531  
 № 3 — 35 214  
 № 5 — 51 342  
 № 7 — 13 425  
 № 9 — 24 153

Вопросы	Ответы на вопросы к карточкам											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	a	б
1. Цена деления амперметра, <i>a</i>	0,2	0,1	0,01	0,1	0,2	0,01	0,5	0,2	0,4	0,05	0,02	0,2
2. Сила тока $I_1$ , <i>a</i>	1,6	0,3	0,05	0,5	0,8	0,04	1,0	0,4	2,4	0,10	0,08	0,6
« « $I_2$ , <i>a</i>	0,4	1,5	0,03	0,4	1,5	0,08	1,5	0,6	1,2	0,2	0,04	1,2
« « $I_3$ , <i>a</i>	—	—	0,07	0,2	0,6	0,02	3,0	1,2	0,8	0,3	0,16	0,5
« « $I_4$ , <i>a</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	0,6	0,15	—	—
« « общая $I_{\text{дв}}$ , <i>a</i>	2,0	1,8	0,15	1,1	2,9	0,14	5,5	2,2	5,0	0,75	0,28	2,3
3. Напряжение, <i>b</i>	8,0	6	10,5	10	12	8	9	6	7,2	5,4	8,8	6
4. Общее сопротивление, <i>ом</i>	4,0	1,3	70	9,1	4,1	57	1,6	2,7	1,4	7,2	31	2,6
При последовательном соединении:												
5. Сопротивление общее, <i>ом</i>	25	24	710	95	43	700	18	30	30	135	385	27
6. Сила тока, <i>a</i>	0,32	0,25	0,015	0,11	0,28	0,011	0,5	0,2	0,24	0,04	0,023	0,22

Ответы к карточкам № 2, 4, 6, 8, 10

	I	II	III	IV	V
1.	1,2	9,1	8,0	24	0,04
2.	0,04	1,3	5,4	30	0,11
3.	0,75	2,7	10	700	0,25
4.	0,40	57	6,0	135	0,20
5.	1,5	7,2	9,3	95	0,011

Код для проверки:

№ 2 — 52 413  
 № 4 — 41 352  
 № 6 — 24 135  
 № 8 — 13 424  
 № 10 — 35 241

Вопросы к карточкам X серии — Параллельное соединение проводников

1. Определите цену деления шкалы амперметра и силу тока, которую он показывает.
2. Найдите силу тока в каждом разветвлении и общую во всей цепи.
3. Какое напряжение должен показывать вольтметр?
4. Вычислите общее сопротивление всего разветвления.
5. Начертите схему цепи с теми же сопротивлениями, включенными последовательно, и вычислите величину общего сопротивления при этом соединении.
6. Вычислите силу тока при последовательном соединении.



## XI СЕРИЯ — ТЕПЛОВОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ТОКА

На карточках XI серии дана схема электрической цепи с условным изображением сосуда с жидкостью и нагревательной спиралью (рис. 17). Шкалы амперметра и термометра намеренно увеличены. По ним учащиеся могут судить о силе тока в цепи и о начальной температуре жидкости.

Подписи дают представление о виде и количестве налитой в сосуд жидкости, времени нагревания и величине сопротивления нагревательной спирали (из константана). Эти данные позволяют производить количественные расчеты по тепловым действиям тока.

В левой верхней части карточки показана схема вольтметра с указанием химической формулы соли, растворенной в воде, и величины активной площади пластины, на которую будет осаждаться металл при электролизе. Этот вольтметр устанавливается вместо сосуда с нагревательной спиралью и термометром. При этом сила тока и время его прохождения берутся для расчетов такими же, как и при нагревании жидкости спиралью.

Первый раз карточки XI серии рекомендуется использовать с целью повторения закона Джоуля — Ленца, поставив первые 4 вопроса.

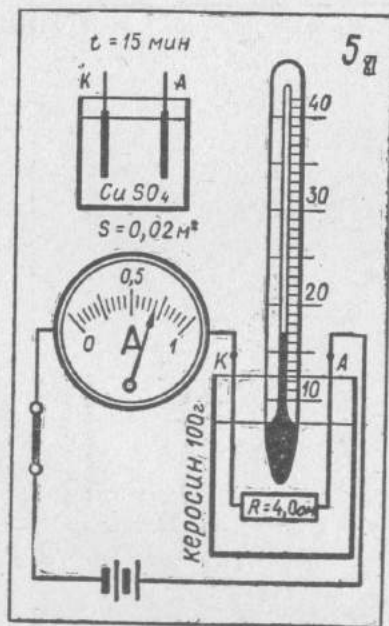


Рис. 17. Образец карточки XI серии (№ 5)

## Пример решения для карточки № 5

1. Цена деления шкалы амперметра — 0,05 а.  
Сила тока:  $I = 0,70$  а.
2. Цена деления шкалы термометра — 1°C.  
Начальная температура керосина:  $t_1 = 17^\circ\text{C}$ .
3. Количество теплоты, пошедшее на нагревание керосина:  
 $Q = I^2 R t \eta$ ,  $Q = 0,7^2 \text{ а}^2 \cdot 4 \text{ ом} \cdot 900 \text{ сек} \cdot 0,4 \approx 706 \text{ дж}$ ,  $Q \approx 710 \text{ дж}$ .
4. Температура керосина после нагревания:

$$Q = cm(t_2 - t_1), t_2 = \frac{Q}{cm} + t_1, t_2 = \frac{706 \text{ дж}}{2100 \text{ дж/(кг} \cdot \text{град)} \cdot 0,1 \text{ кг}} + 17^\circ = 20,4^\circ, t_2 \approx 20^\circ\text{C}.$$

Еще раз карточки данной серии можно применить после изучения законов Фарадея при электролизе. Вместо сосуда, изображенного на карточке, помещают вольтметр с водным раствором той соли, химическая формула которой указана на карточке. Учащиеся должны начертить схему с изображением вольтметра и ответить на вопросы 1, 5, 6 и 7.

## Пример решения для той же карточки

Схема с сосудом для электролиза дана на рисунке 18.

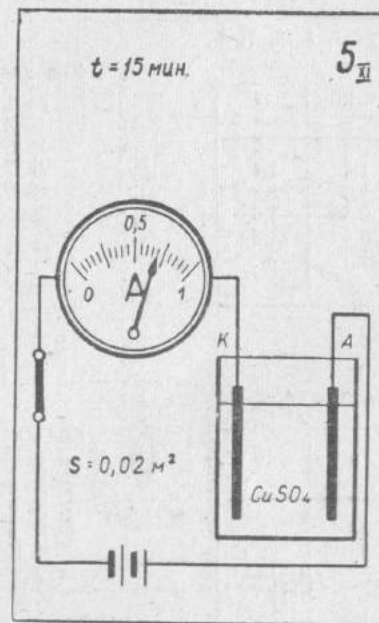


Рис. 18. Чертеж схемы с вольтметром

5. Количество меди, выделившейся на катоде:

$$m = kIt, m = 3,3 \cdot 10^{-7} \text{ кг/к} \cdot 0,7 \text{ а} \cdot 900 \text{ сек} = 2079 \cdot 10^{-7} \text{ кг}, m \approx 210 \text{ мг.}$$

6. Толщина слоя меди:

$$h = \frac{V}{S} = \frac{m}{\rho S}, h = \frac{210 \cdot 10^{-6} \text{ кг}}{8900 \text{ кг/м}^3 \cdot 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2} \approx 0,012 \cdot 10^{-4} \text{ м}, h = 1,2 \text{ мкм.}$$

7. Напряжение на электродах вольтметра, если э. д. с. поляризации  $E_{\text{пол}} = 1 \text{ в}$ :

$$U_{\text{в}} = IR - E_{\text{пол}}, U_{\text{в}} = 0,7 \text{ а} \cdot 4 \text{ ом} - 1 \text{ в} = 1,8 \text{ в.}$$

### Пример программированного упражнения

#### Вопросы

- I. Сила тока, а.
- II. Масса выделившегося на катоде вещества, мг.
- III. Толщина слоя выделившегося вещества, мкм.
- IV. Напряжение на вольтметре, в.

#### Ответы к карточкам № 1, 3, 5, 7, 9

	I	II	III	IV
1.	3,2	210	1,4	7,4
2.	1,4	290	5,0	5,8
3.	0,70	140	0,65	1,6
4.	1,6	240	0,40	1,8
5.	0,68	3200	1,2	7

Код для проверки:

- № 1 — 4235
- № 3 — 1523
- № 5 — 3154
- № 7 — 2341
- № 9 — 5412

#### Ответы к карточкам № 2, 4, 6, 8, 10

	I	II	III	IV
1.	1,4	370	4,3	9
2.	0,9	300	2,0	8,8
3.	3,0	350	0,36	13
4.	2,4	130	0,67	7,1
5.	1,8	910	1,7	11

Код для проверки:

- № 2 — 5321
- № 4 — 5153
- № 6 — 1432
- № 8 — 2514
- № 10 — 3245

Таблица XI

Вопросы	Ответы на вопросы к карточкам											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	а	б
1. Цена деления шкалы амперметра, а	0,2	0,1	0,4	0,1	0,05	0,2	0,1	0,05	0,04	0,5	0,2	0,04
2. Цена деления шкалы термометра, °С	1,6	1,8	3,2	1,8	0,70	1,4	1,4	0,90	0,68	3,0	1,4	0,48
Начальная температура, °С	22	24	24	16	17	18	20,6	19	18	21	2,3	18
3. Количество теплоты, дж	3100	3900	2900	6300	710	1600	1400	2600	2200	4300	7500	2100
4. Конечная температура, °С	29	30	28	26	20	28	22	22	25	23	38	21
5. Масса вещества, отложившегося на катоде, мг	290	350	3200	370	210	130	140	910	240	300	1900	150
6. Толщина слоя, мкм	0,65	2,0	5,0	1,7	1,2	0,36	0,40	4,3	1,4	0,67	6,0	2,1
7. Напряжение на вольтметре, в	7	9	1,6	13	1,8	8,8	7,4	7,1	5,8	11	10	11



**Вопросы к карточкам XI серии —  
Тепловое и химическое действие тока**

1. Определите цену деления шкалы амперметра и силу тока, которую он показывает.
2. Определите цену деления шкалы термометра и начальную температуру жидкости.
3. Вычислите количество теплоты, пошедшее на нагревание жидкости за время  $t$ , если эффективность нагревателя составляет 40%. Время  $t$  указано в карточке.
4. Какую температуру покажет термометр в конце нагревания?  
Вместо данного на карточке сосуда включили в цепь сосуд с водным раствором соли (вольтметр). Химическая формула соли приведена в карточке, на рисунке вольтметра.
5. Какое вещество и в каком количестве выделится на катоде за время  $t$  при том токе, какой указывает амперметр на карточке?
6. Какой толщины окажется слой выделившегося вещества? Площадь  $S$  активной части электрода указана в карточке.
7. Какое напряжение будет на электродах вольтметра, если э. д. с. поляризации равна примерно 1 в?

**XII СЕРИЯ — ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ТРУБКА**

На карточках XII серии изображена упрощенная схема электронно-лучевой трубки в масштабе, указанном на каждой карточке (рис. 19). Там же подписано анодное напряжение относительно катода и разность потенциалов на пластинках конденсатора, размеры которого даны в том же масштабе.

Предполагается, что на всем пути от анода до встречи с экраном трубки электроны в пучке вследствие значительного вакуума не тормозятся окружающей средой. Поэтому горизонтальная составляющая скорости движения электронов на всем пути от анода до экрана трубки остается неизменной.

После изучения устройства и принципа действия электронно-лучевых трубок рекомендуется поставить самостоятельную работу учащихся с карточками данной серии на расчет движения электронов в пучке трубки. Учащимся предлагают определить величину смещения пучка относительно горизонтальной оси  $h$  и то расстояние от оси трубки  $H$ , на котором электронный пучок встретит люминесцирующий экран. С этой целью ставятся первые 5 вопросов.

Пример решения для карточки № 6

1. Скорость, до которой разгоняются электроны анодным напряжением в направлении оси трубки, находится по закону сохранения и превращения энергии:

$$eU_a = \frac{mv_x^2}{2}, \quad v_x = \sqrt{\frac{2eU_a}{m}},$$

где  $e = 16 \cdot 10^{-20}$  к,  $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$  кг, а отношение заряда электрона к его массе  $\frac{e}{m} = 17,6 \cdot 10^{10}$  к/кг, тогда

$$v_x = \sqrt{2 \cdot 17,6 \cdot 10^{10} \text{ к/кг} \cdot 900 \text{ в}} = 17,8 \cdot 10^6 \text{ м/сек},$$

$$v_x \approx 18 \cdot 10^6 \text{ м/сек}.$$

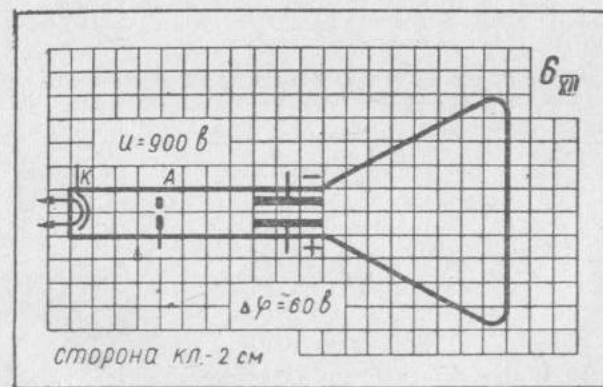


Рис. 19. Образец карточки XII серии (№ 6)

2. Под действием поля конденсатора электроны приобретают ускорение  $a$ , которое находим по II закону Ньютона. Это ускорение будет направлено перпендикулярно оси трубки:

$$a_y = \frac{F}{m} = \frac{eE}{m} = \frac{e\Delta\varphi}{md},$$

где  $d$  — расстояние между пластинами конденсатора,

$$a_y = 17,6 \cdot 10^{10} \text{ к/кг} \cdot \frac{60 \text{ в}}{2 \cdot 10^{-2} \text{ м}} = 528 \cdot 10^{12} \text{ м/сек}^2,$$

$$a_y \approx 5,3 \cdot 10^{14} \text{ м/сек}^2.$$

3. Время, в течение которого электроны движутся в поле конденсатора:

$$t = \frac{l}{v_x},$$

где  $l$  — длина пластин конденсатора,

$$t = \frac{6 \cdot 10^{-2} \text{ м}}{17,8 \cdot 10^6 \text{ м/сек}} = 0,337 \cdot 10^{-8} \text{ сек}, \quad t \approx 0,34 \cdot 10^{-8} \text{ сек}.$$

4. За это время пучок электронов сместится относительно оси на некоторую высоту  $h$  (в нашем примере — вниз):

$$h = \frac{at^2}{2}, \quad h = \frac{1}{2} \cdot \frac{e\Delta\varphi}{md} \cdot \frac{l^2}{2 \frac{e}{m} U_a} = \frac{\Delta\varphi l^2}{4dU_a};$$

$$h = \frac{60 \text{ в} \cdot 6^2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2}{4 \cdot 4 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot 900 \text{ в}} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}, \quad h = 1,5 \text{ мм}.$$

5. Расстояние от оси трубки до места встречи электронного пучка с люминесцирующим экраном рассчитывается из следующих соотношений (рис. 20):

$$\frac{H-h}{s} = \frac{v_y}{v_x},$$

но

$$v_y = at = \frac{al}{v_x},$$

тогда

$$\frac{H-h}{s} = \frac{al}{v_x v_x} = \frac{al}{v_x^2} = \frac{e\Delta\varphi l}{md \cdot 2 \frac{e}{m} U_a} = \frac{\Delta\varphi l}{2dU_a},$$

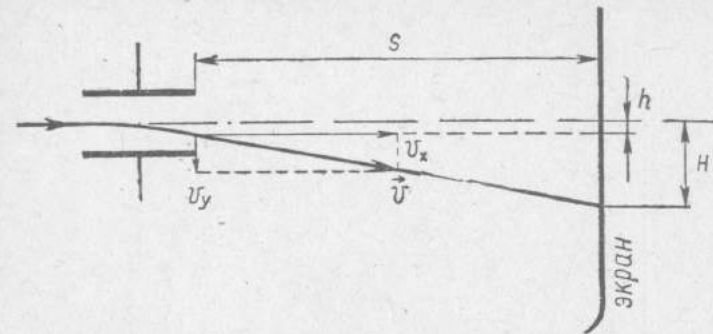


Рис. 20. Чертеж в тетради ученика (траектория электронов при отклонении в электрическом поле)

Отсюда

$$H = \frac{s\Delta\varphi l}{2dU_a} + h.$$

$$H = \frac{16 \cdot 10^{-2} \cdot 60 \cdot 6 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 2 \cdot 10^{-2} \cdot 900} \text{ м} + 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 17,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

$$H = 17,5 \cdot 10^{-3} \text{ м} \approx 18 \text{ мм}.$$

Второй раз карточки XII серии рекомендуется использовать после изучения силы Лоренца в разделе «Магнитное поле токов».

Учащимся предлагают выяснить, в каком направлении и на каком расстоянии от оси трубки электронный пучок попадет на экран, если на месте конденсатора будут поставлены две катушки (соленоиды) с током, образующие магнитное поле. Величина и направление магнитной индукции этого поля задаются. Магнитное поле однородно, направлено перпендикулярно чертежу и имеет ширину, равную длине пластин конденсатора.

Для решения поставленной задачи учащимся предлагают вопросы 1, 6, 7 и 8.

Пример решения для той же карточки

Скорость электронов вдоль оси трубки:

$$v_x = \sqrt{\frac{2eU_a}{m}}, \quad v_x = 17,8 \cdot 10^6 \text{ м/сек}.$$

6. Радиус окружности, по которой будут двигаться электроны в магнитном поле с магнитной индукцией  $B = 5 \cdot 10^{-4} \text{ тл}$ , обозначим буквой  $R$ . Вектор магнитной индукции перпендикулярен чертежу и направлен на читателя. В этом случае электроны в пучке станут двигаться по окружности и отклонятся вверх, что можно определить с помощью правила левой руки. Из



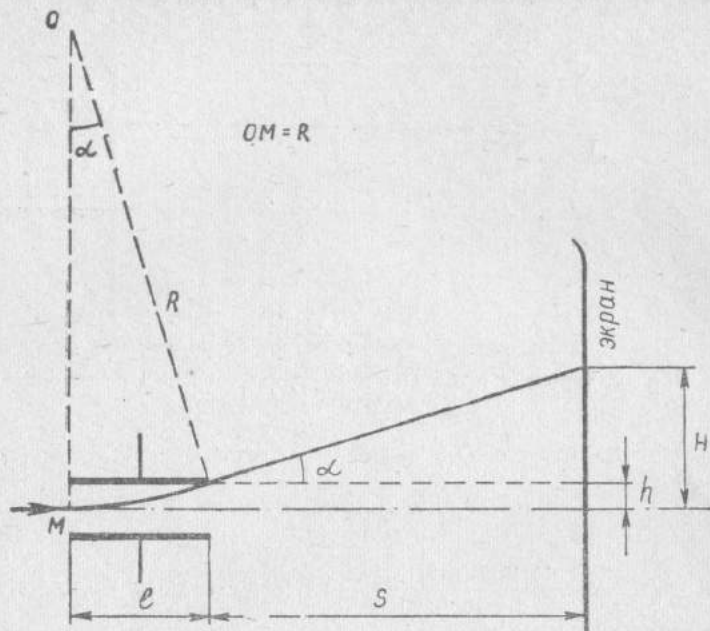


Рис. 21. Чертеж в тетради ученика (траектория электронов при отклонении в магнитном поле катушки)

электрон будет действовать сила Лоренца  $F = evB$ . Эта сила создаст центростремительное ускорение  $\frac{v^2}{R}$ . По второму закону Ньютона можем написать уравнение:

$$\frac{mv^2}{R} = evB,$$

откуда

$$R = \frac{mv}{eB}.$$

$$R = \frac{17,8 \cdot 10^6 \text{ м/сек}}{17,6 \cdot 10^{10} \text{ кг/кг} \cdot 5 \cdot 10^{-4} \text{ н/(а·м)}} = 0,20 \text{ м},$$

$$R = 0,20 \text{ м} = 20 \text{ см}.$$

7. Отклоненный магнитным полем электронный пучок встретит экран на расстоянии  $H$  вверх от оси трубки (рис. 21). Это расстояние можно вычислить:

$$h = R - \sqrt{R^2 - l^2}$$

$$20 - \sqrt{20^2 - 6^2} = 1, \quad h = 1 \text{ см}.$$

Из подобия прямоугольных треугольников можно написать:

$$\frac{H-h}{s} = \frac{l}{R-h},$$

откуда

$$H = \frac{ls}{R-h} + h, \quad \frac{6 \cdot 16}{20-1} + 1 \approx 6, \quad H = 6 \text{ см} = 60 \text{ мм}.$$

8. При воздействии одновременно электрического поля конденсатора и магнитного поля соленоида на люминесцирующем экране свечение окажется в точке, лежащей вверх от оси на расстоянии:

$$6 \text{ см} - 1,8 \text{ см} = 4,2 \text{ см} = 42 \text{ мм}.$$

### Пример программированного упражнения

#### Вопросы

- I. Скорость электронов при прохождении магнитного поля,  $10^6$  м/сек.
- II. Радиус траектории электронов, если  $B = 5 \cdot 10^{-4}$  тл, м.
- III. Смещение пучка относительно оси трубки на экране от магнитного поля, мм.

#### Ответы к карточкам

##### № 1, 3, 5, 7, 9

	I	II	III
1.	21	0,48	13
2.	42	0,31	16
3.	15	0,45	95
4.	27	0,23	8,6
5.	40	0,16	23

#### Код для проверки:

№ 1 — 352  
 № 3 — 143  
 № 5 — 421  
 № 7 — 534  
 № 9 — 215

#### Ответы к карточкам

##### № 2, 4, 6, 8, 10

	I	II	III
1.	13	0,64	14
2.	56	0,20	23
3.	23	0,40	26
4.	18	0,50	1,8
5.	30	0,26	60

#### Код для проверки:

№ 2 — 421  
 № 4 — 352  
 № 6 — 425  
 № 8 — 214  
 № 10 — 213

Таблица XII

Вопросы	Ответы на вопросы к карточкам											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	а	б
1. Скорость электронов вдоль оси трубки, $10^6$ м/сек	15	18	21	23	27	18	40	56	42	56	33	46
2. Ускорение от поля конденсатора, $10^{14}$ м/сек <sup>2</sup>	13	16	7,9	79	74	5,3	160	320	55	53	160	53
3. Время действия электрического поля на электрон, $10^{-6}$ сек	14	11	20	8,7	11	34	7,5	2,7	14	13	6,1	8,7
4. Смещение пучка при выходе из поля, мм	1,3	1,0	6,0	3,0	4,5	1,5	4,5	1,3	6,0	9,4	3,0	4,0
5. Смещение на экране от электрического поля, мм	16	14	39	87	40	18	35	10	36	59	42	52
6. Радиус дуги окружности, мм	160	200	230	260	310	200	450	640	480	640	370	520
7. Смещение на экране от магнитного поля, мм	16	14	95	23	13	60	8,5	1,8	23	26	8,0	20
8. Полное смещение, мм	32	0	56	64	27	42	26	8,2	13	85	34	72
	вверх	вниз	вверх	вниз	вниз	вверх	вниз	вниз	вниз	вверх	вниз	вверх

### Вопросы к карточкам XII серии — Электронно-лучевая трубка

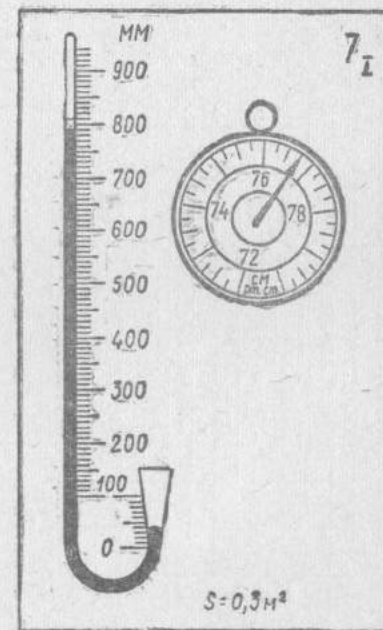
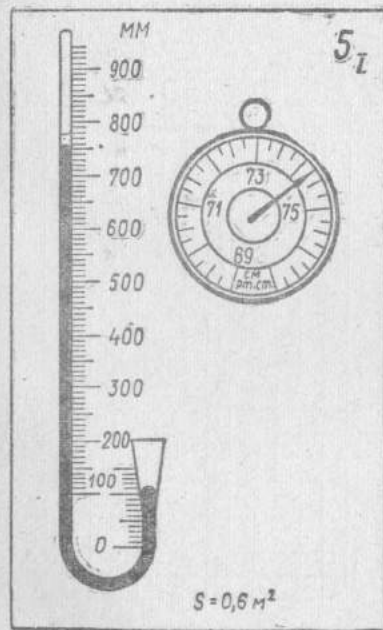
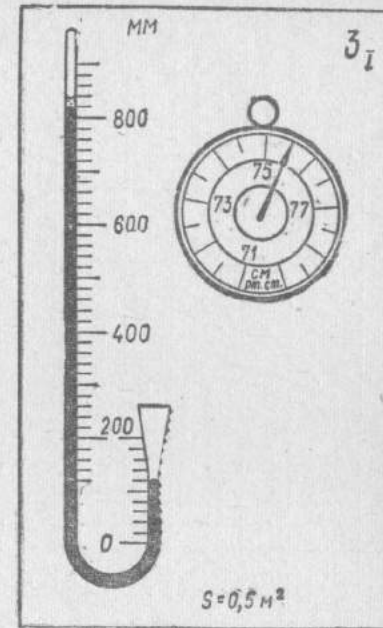
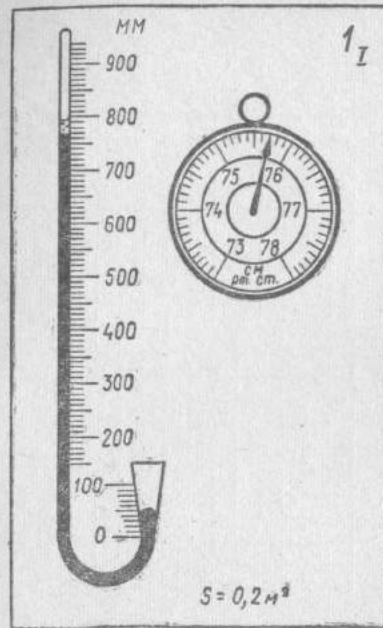
1. До какой скорости разгоняются электроны в пучке под действием анодного напряжения?
2. Какое ускорение получают электроны под действием электрического поля конденсатора?
3. В течение какого времени на электроны пучка действует электрическое поле конденсатора?
4. На какую величину сместится пучок электронов от оси трубки при выходе из поля конденсатора?
5. На каком расстоянии от оси трубки пучок электронов встретит люминесцирующий экран?
6. В том же месте, где стоит конденсатор, расположены катушки соленоида с током. Они образуют однородное магнитное поле, вектор магнитной индукции которого равен  $B=5 \cdot 10^{-4}$  тл и направлен на читателя перпендикулярно чертежу карточки. Определите радиус дуги окружности, по которой будут двигаться электроны пучка в этом магнитном поле.
7. На каком расстоянии от оси трубки пучок электронов, отклоненный магнитным полем, встретит люминесцирующий экран?
8. В какой точке трубки будет светиться люминесцирующий экран при одновременном существовании указанных выше электрического и магнитного полей?

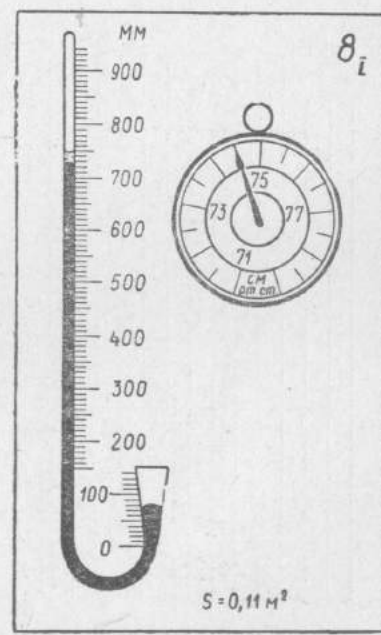
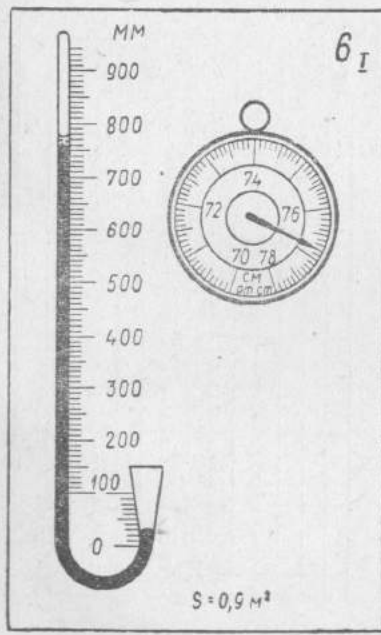
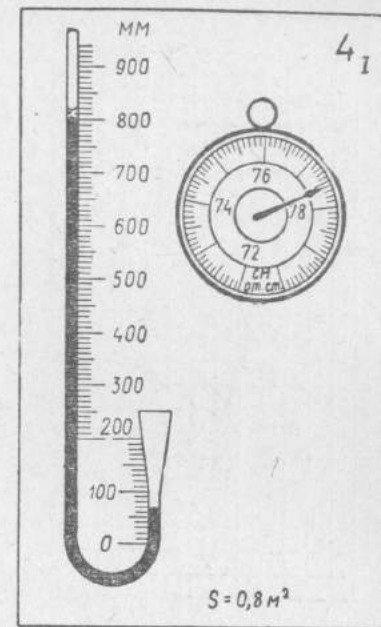
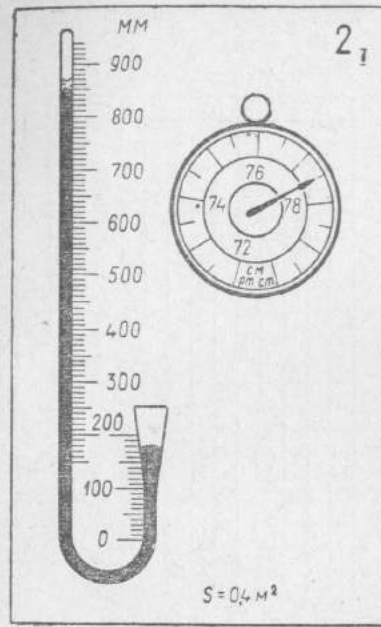
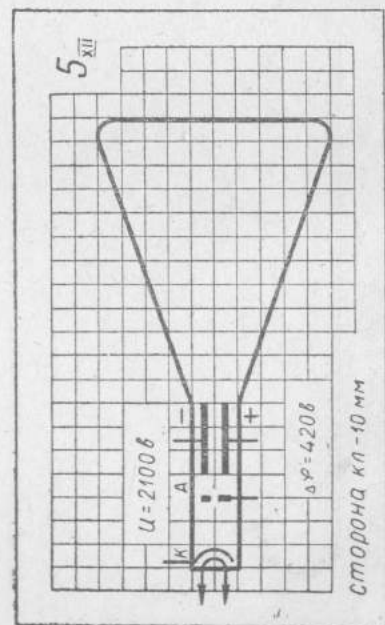
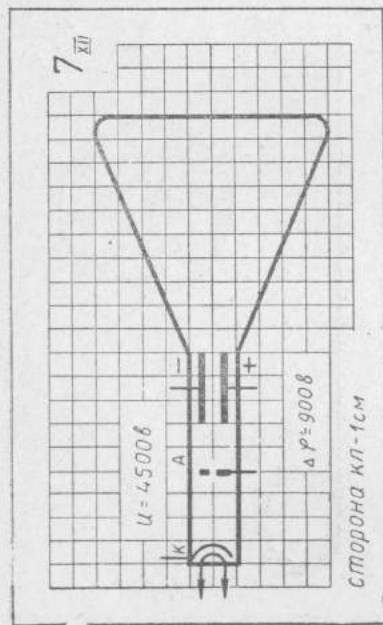
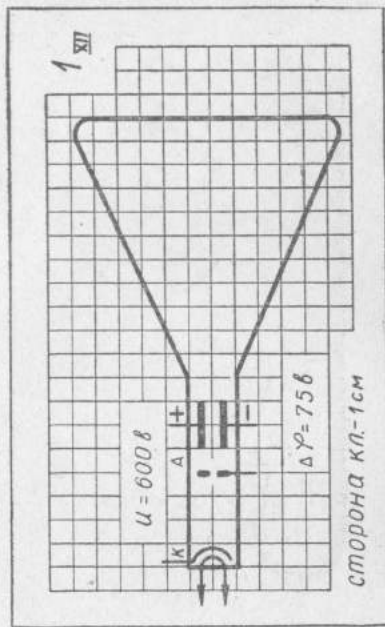
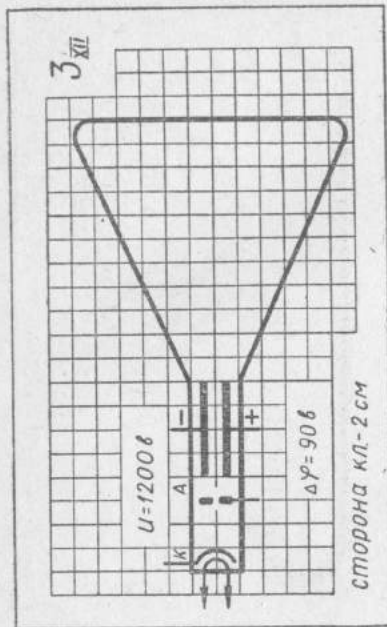
Кроме перечисленных в тексте вопросов к карточкам, учитель, используя рисунки, приведенные в работах, найдет и придумает много других интересных вопросов, которые будут способствовать развитию мышления учащихся.

В тексте даны примеры программированных упражнений, по одному на каждую серию. Основываясь на них, учитель сам может составлять необходимые для данного урока программированные упражнения, учитывая все имеющиеся в его распоряжении технические средства.

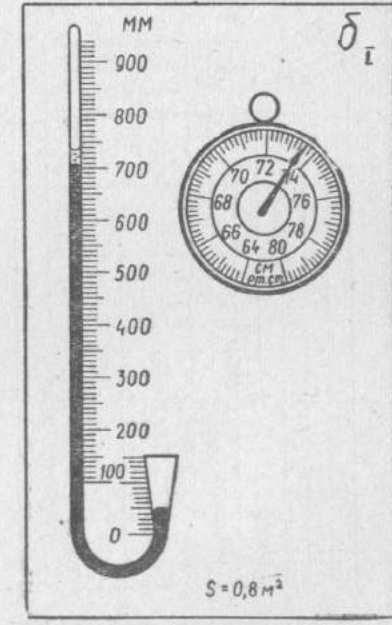
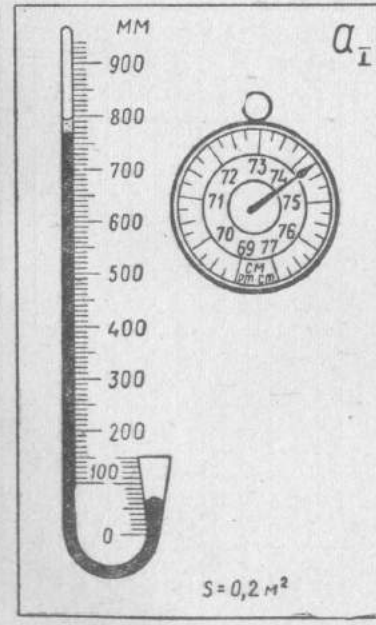
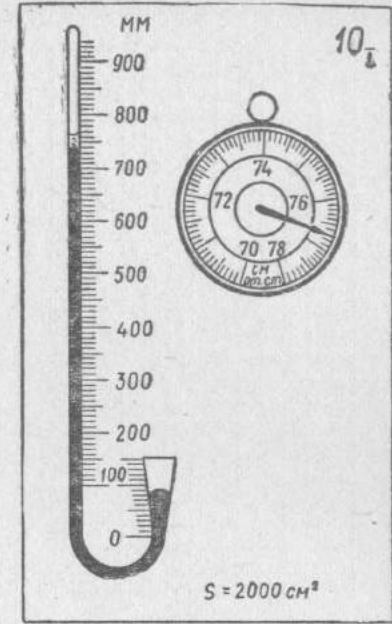
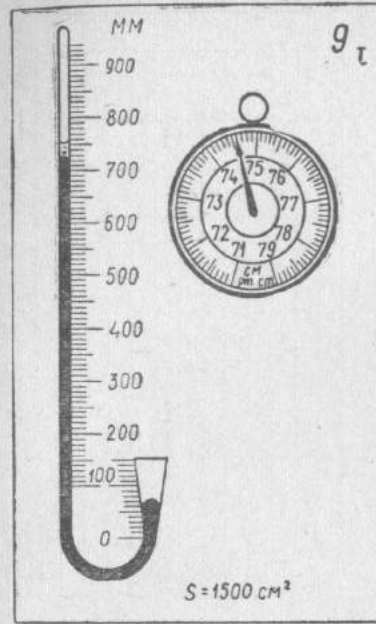
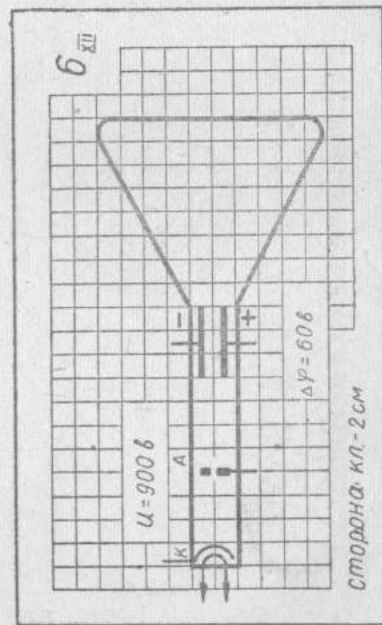
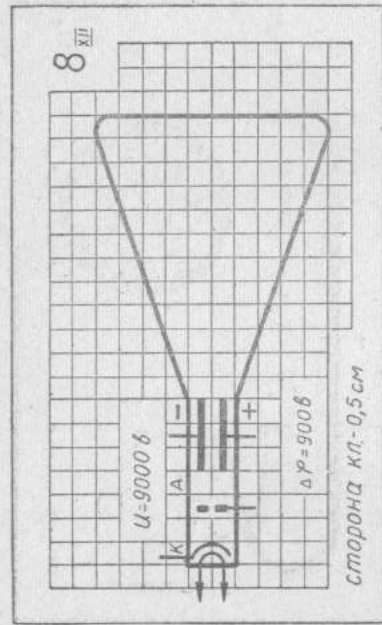
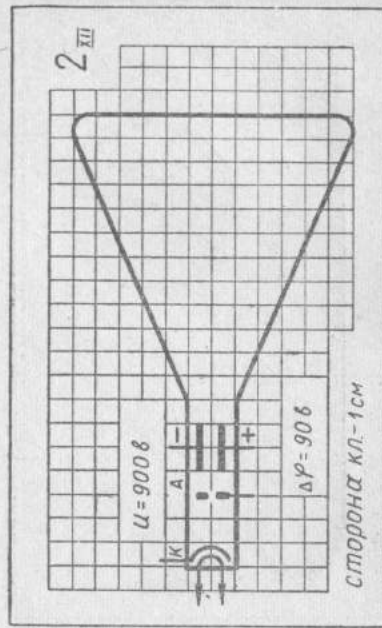
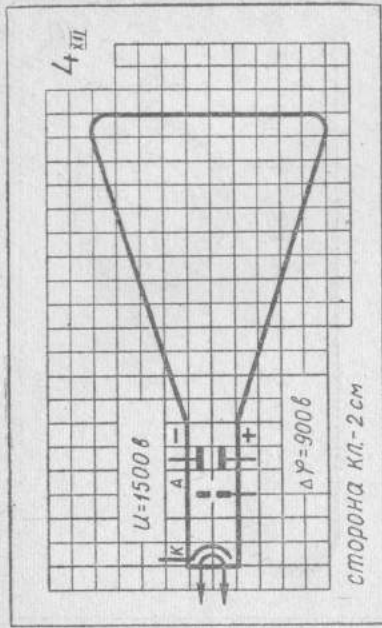
Некоторые доступные вопросы серий I, II, VI можно использовать для самостоятельных работ в VI классе в соответствующих темах, а серий V, IX, X и XI — в VII классе. Это позволит учителю начать раньше развивать необходимые навыки учащихся VI—VII классов.





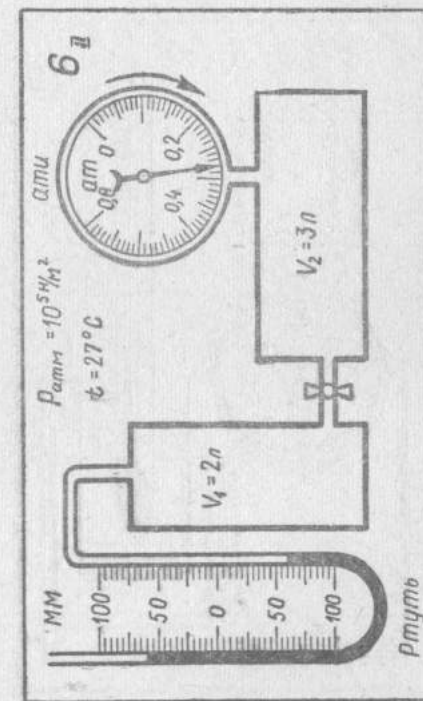
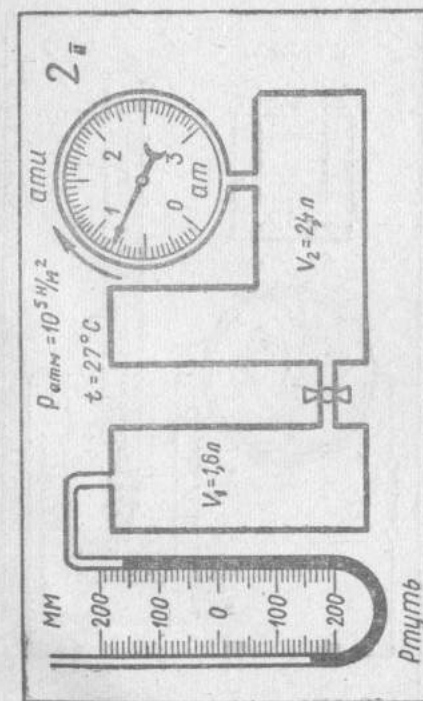
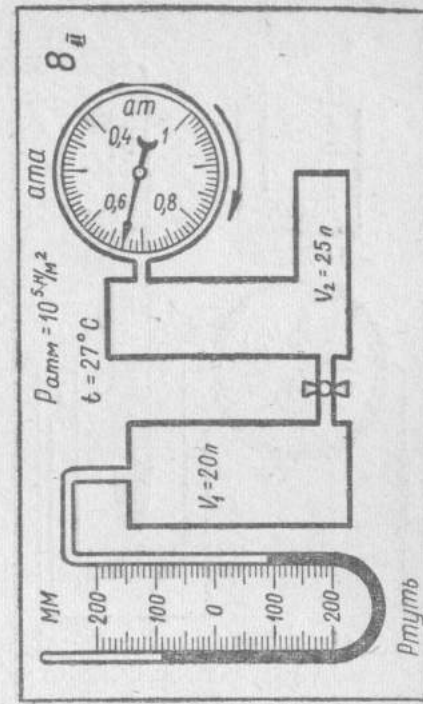
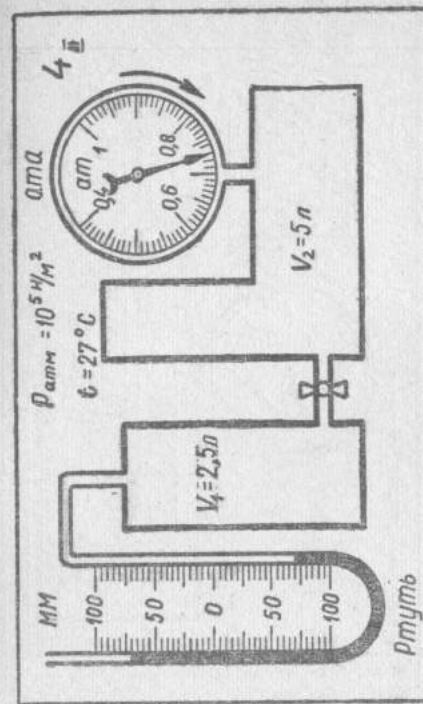
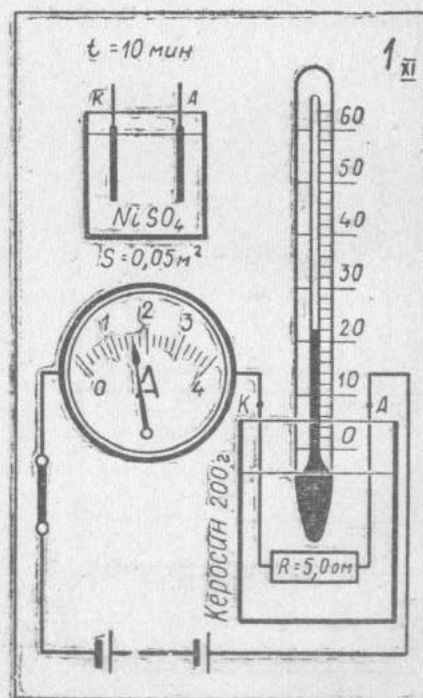
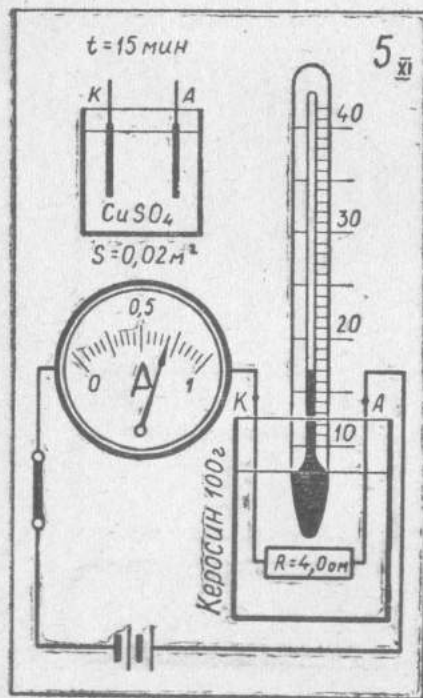
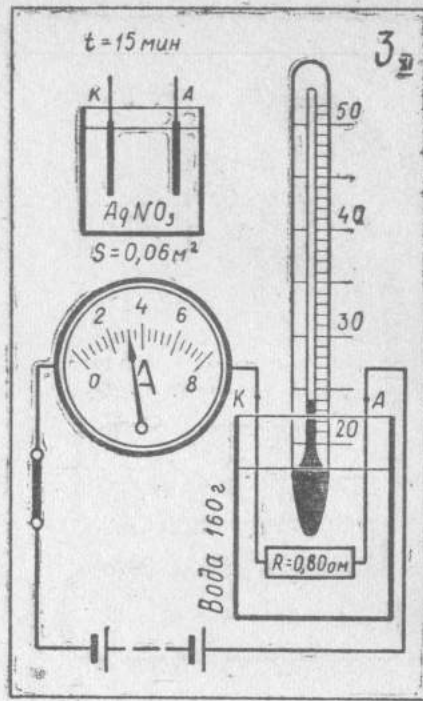
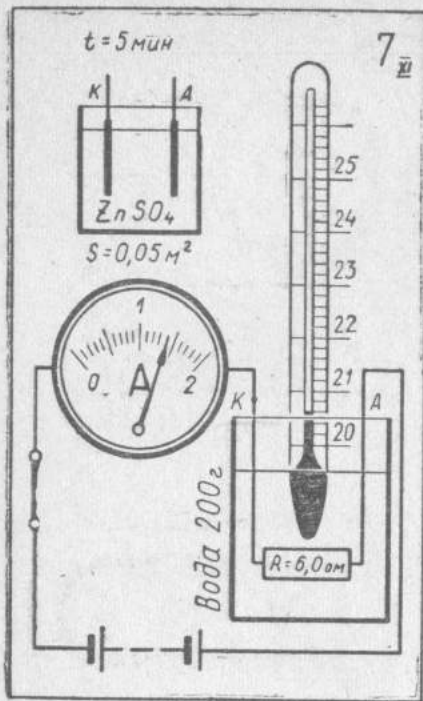


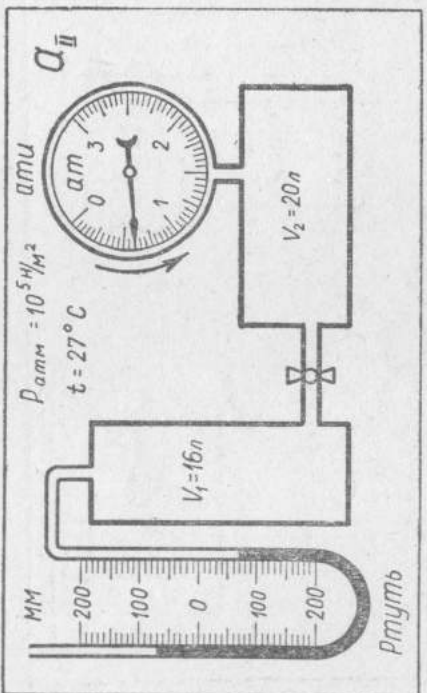
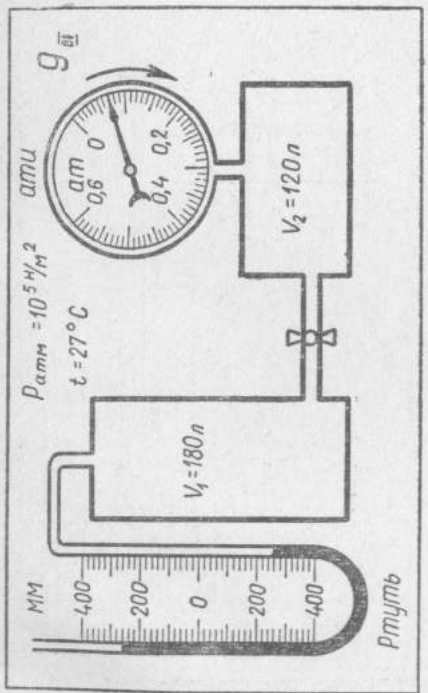
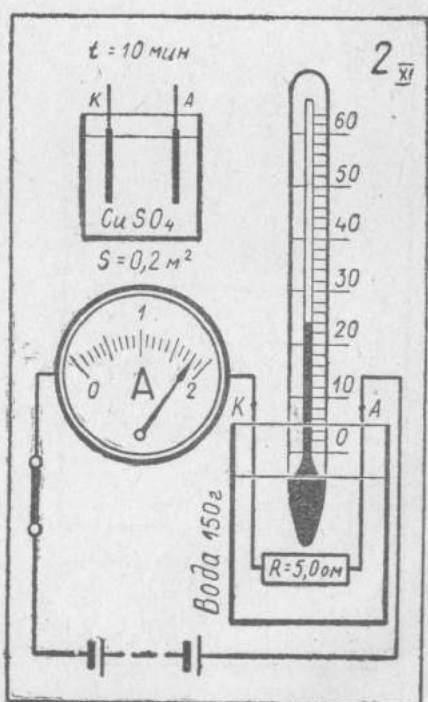
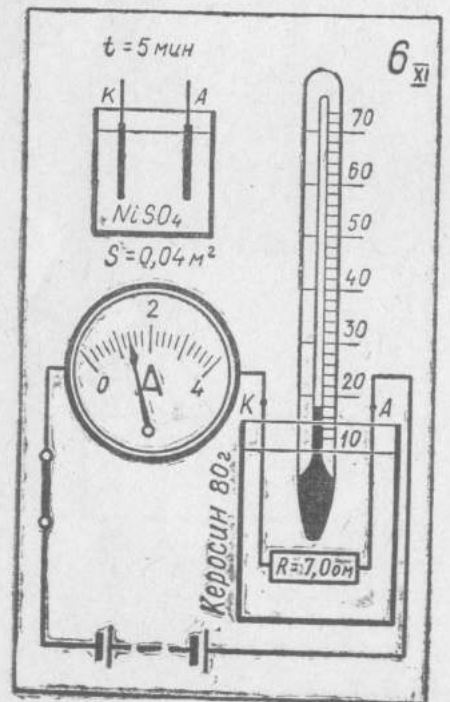
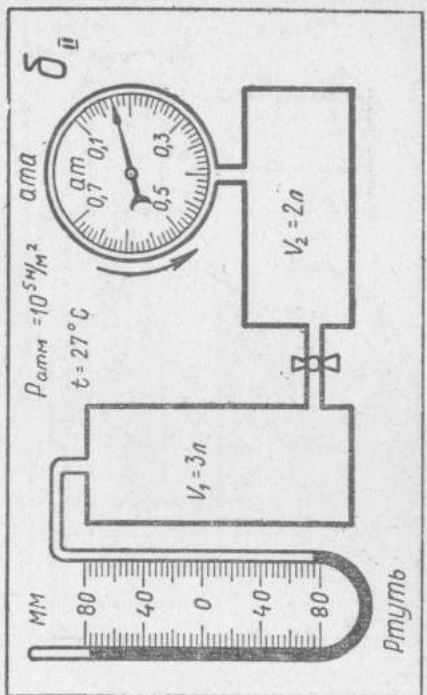
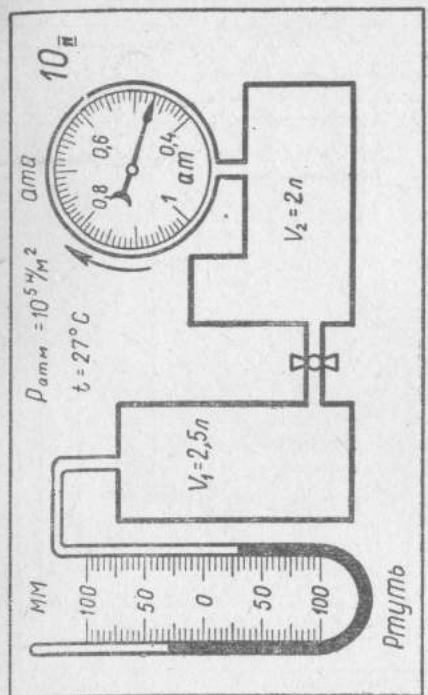
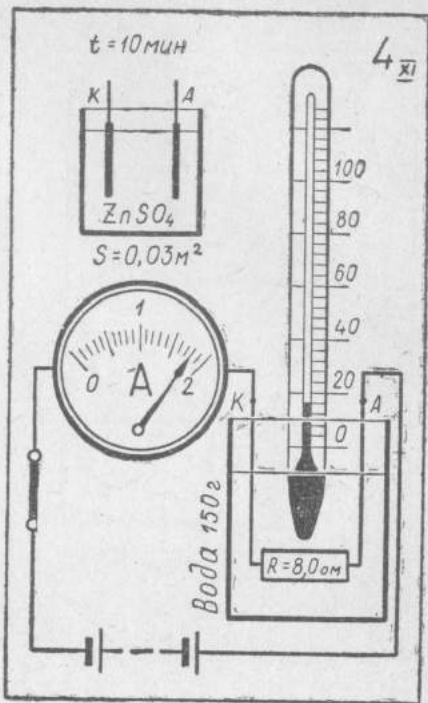
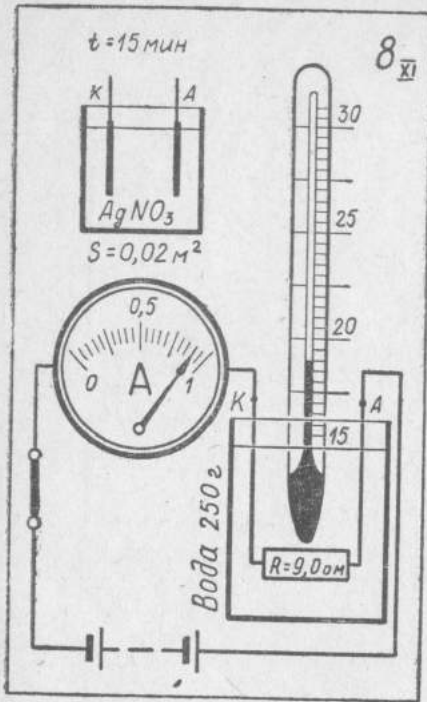




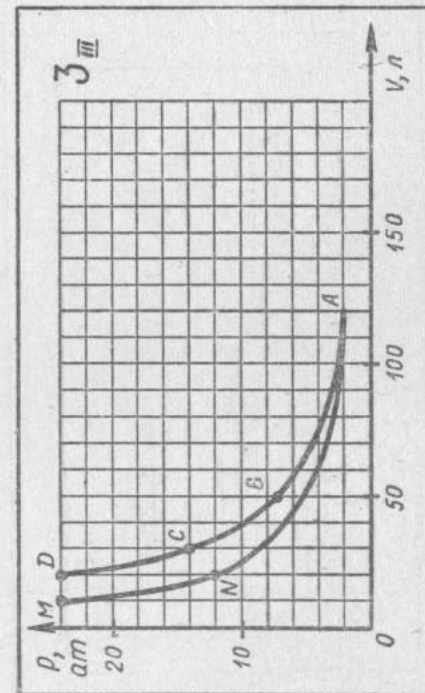
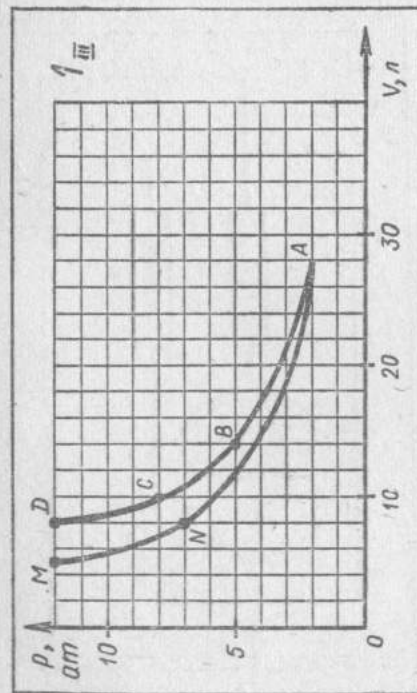
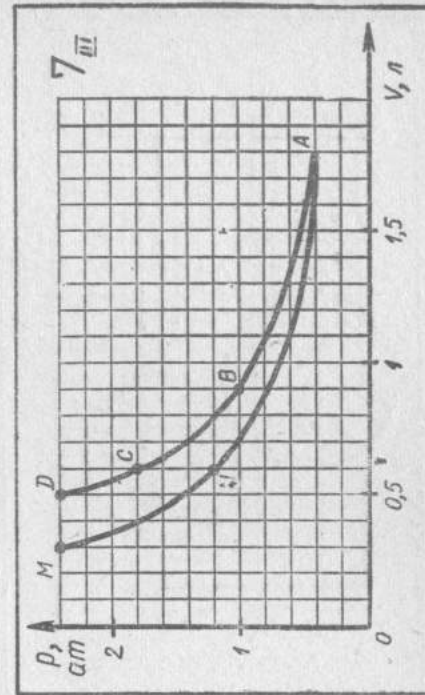
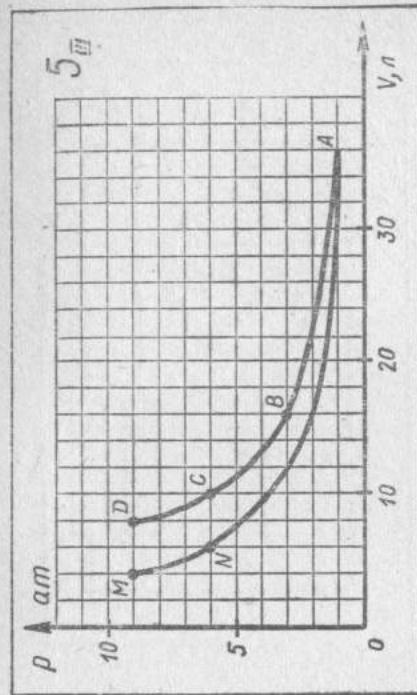
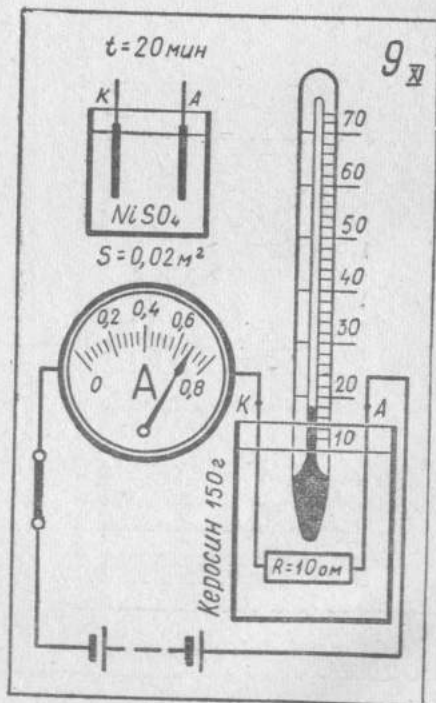
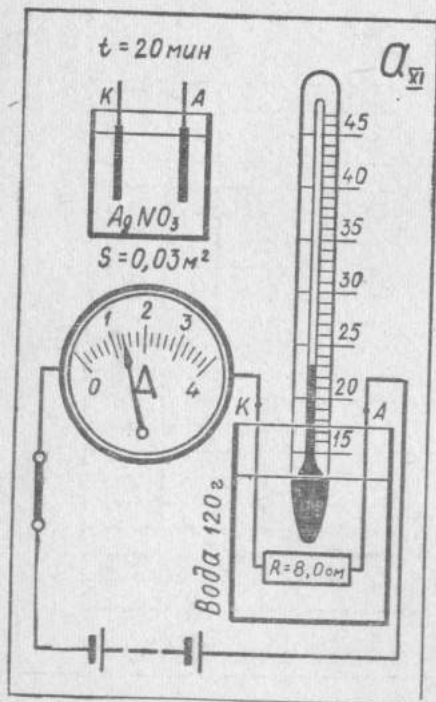
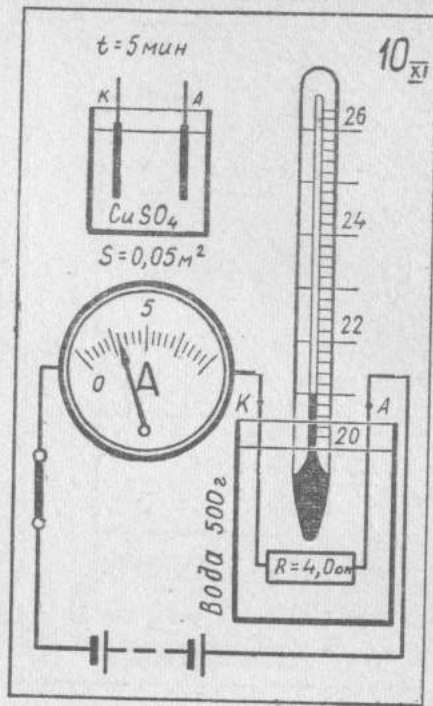
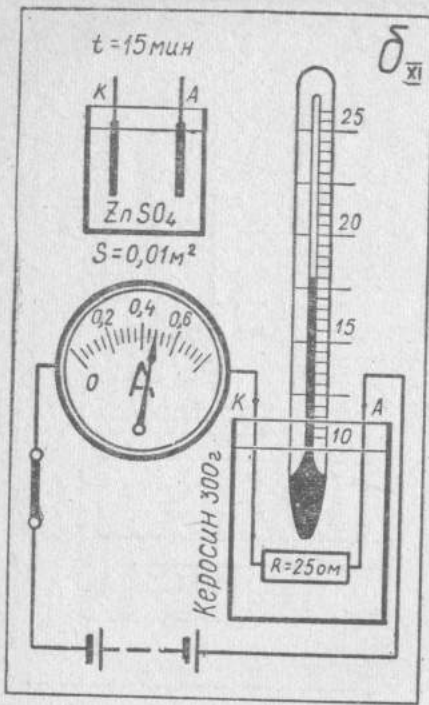


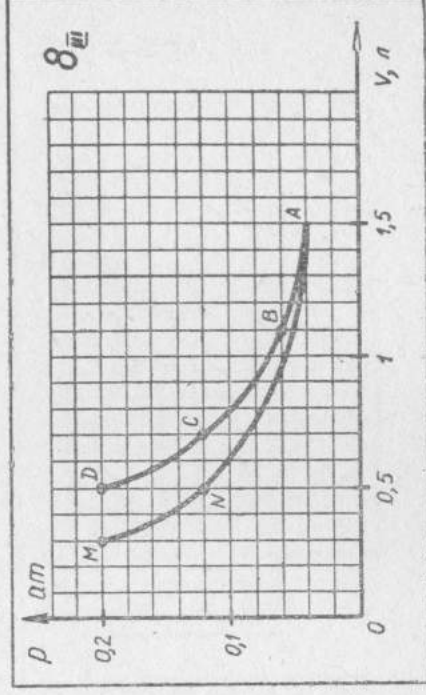
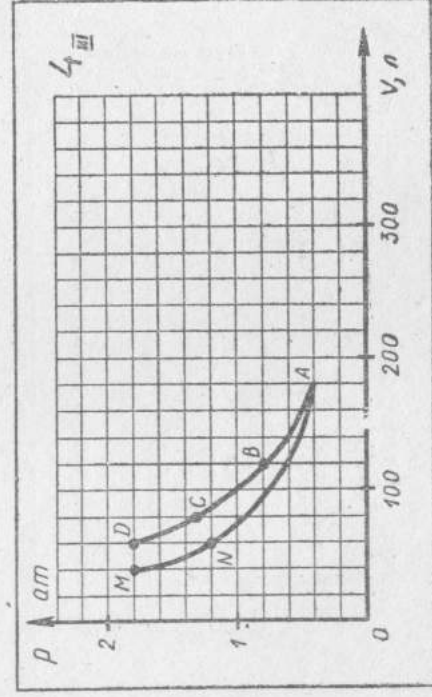
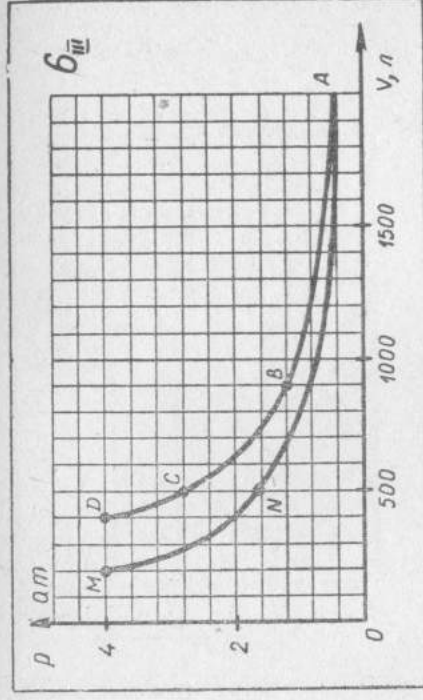
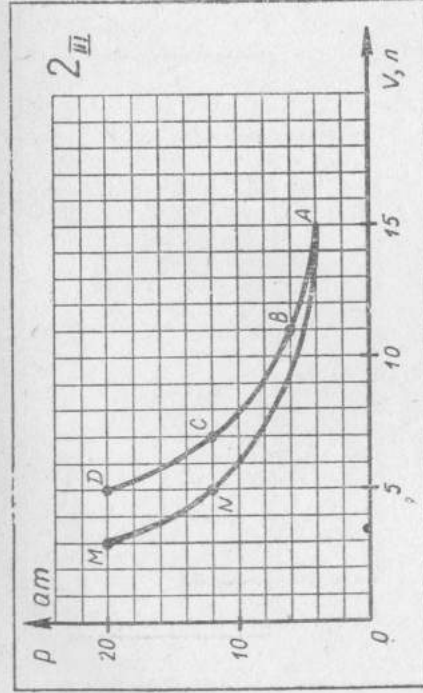
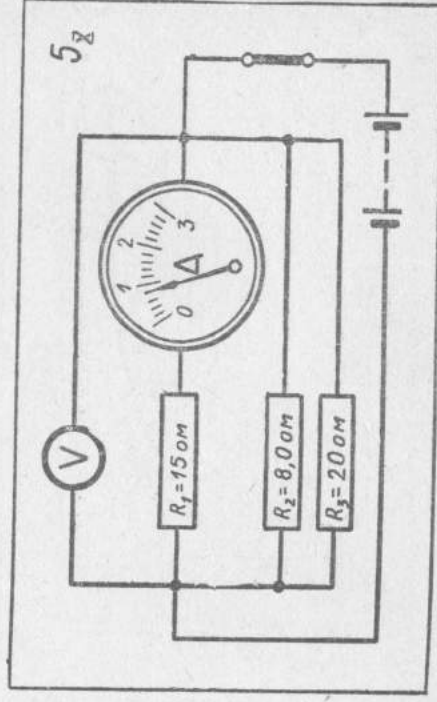
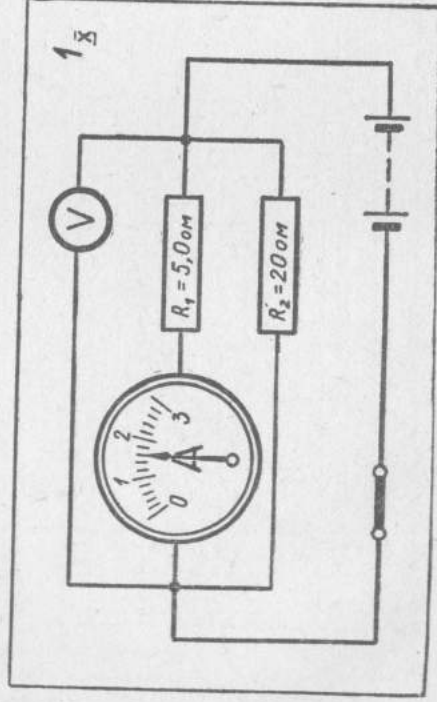
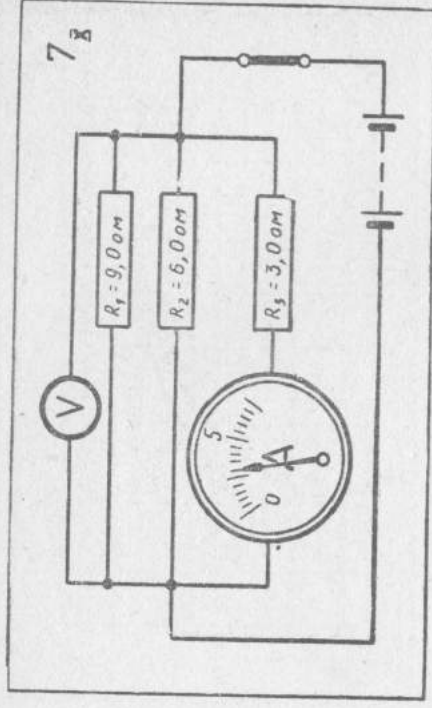
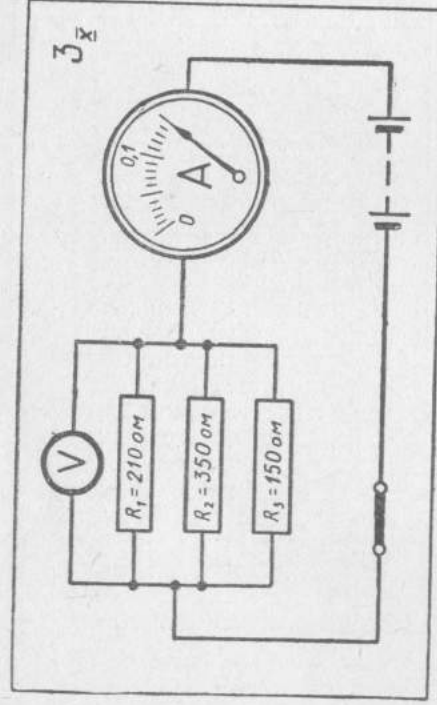




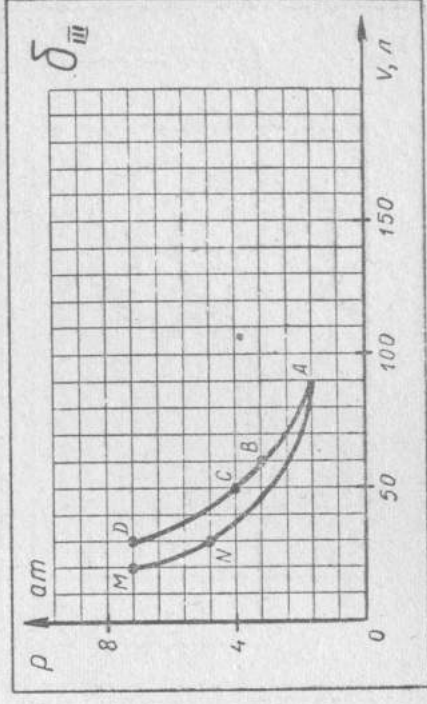
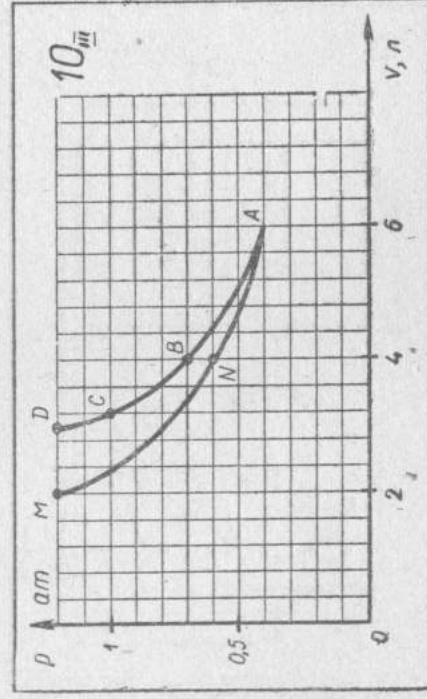
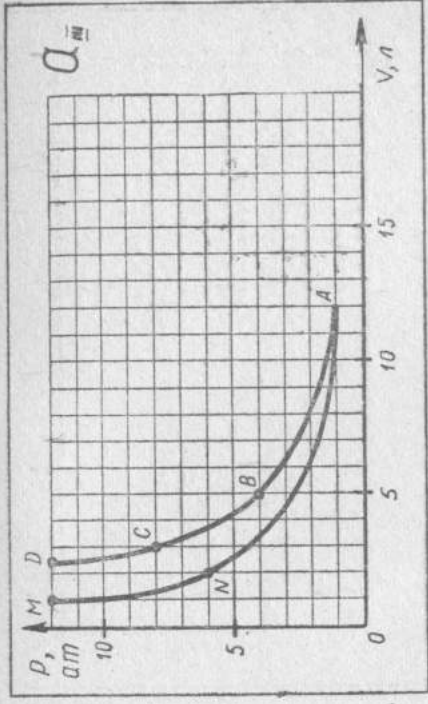
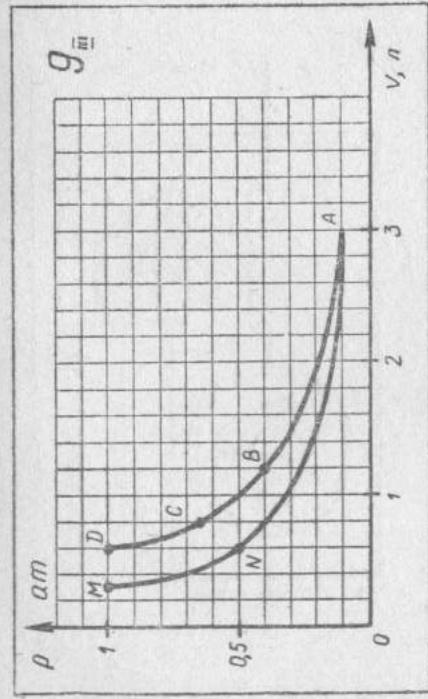
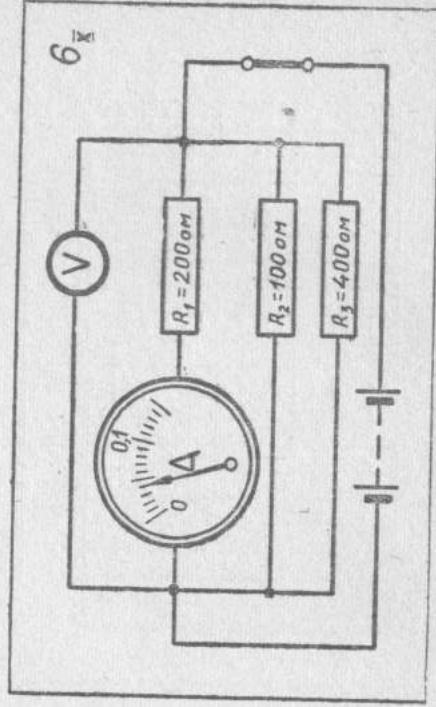
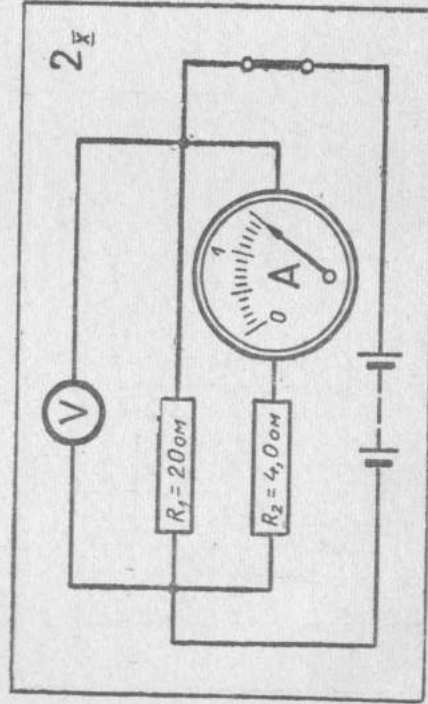
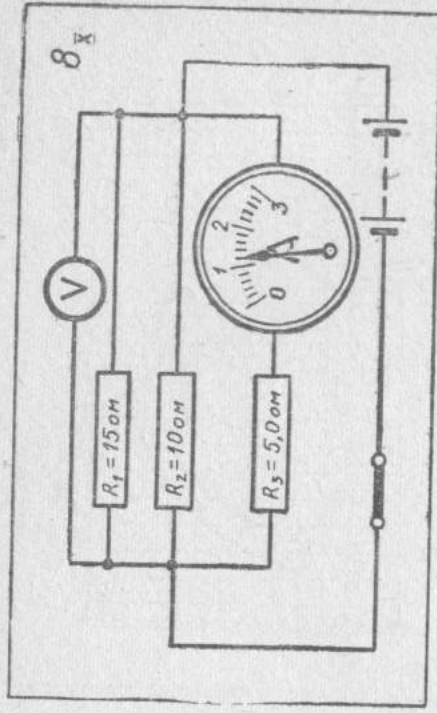
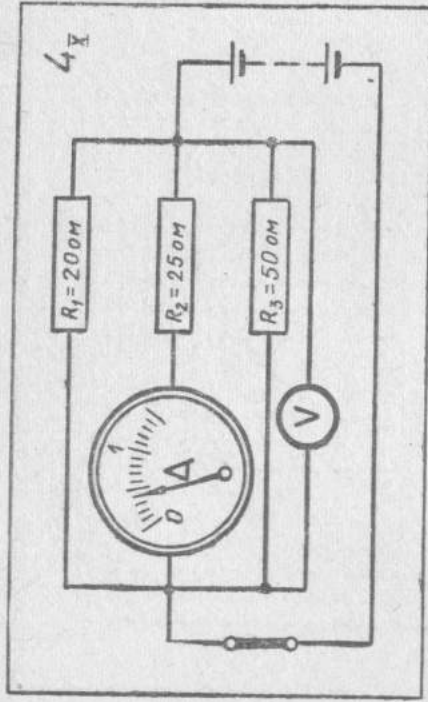




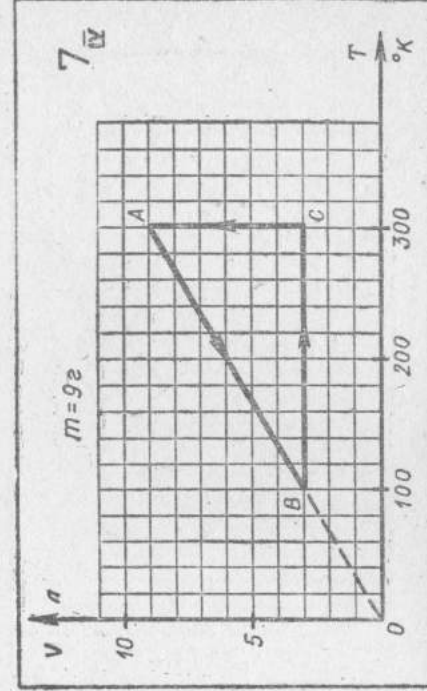
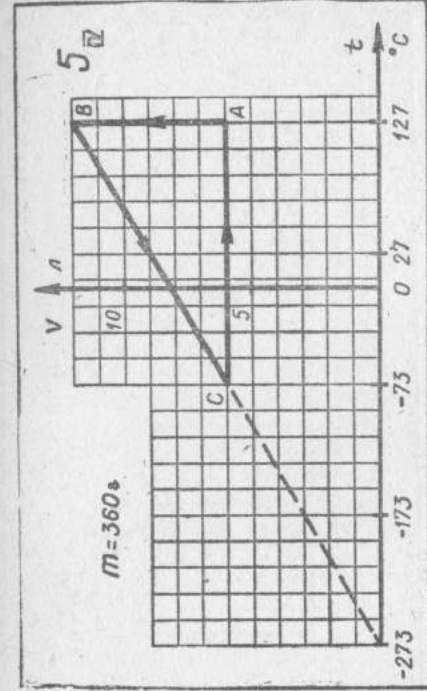
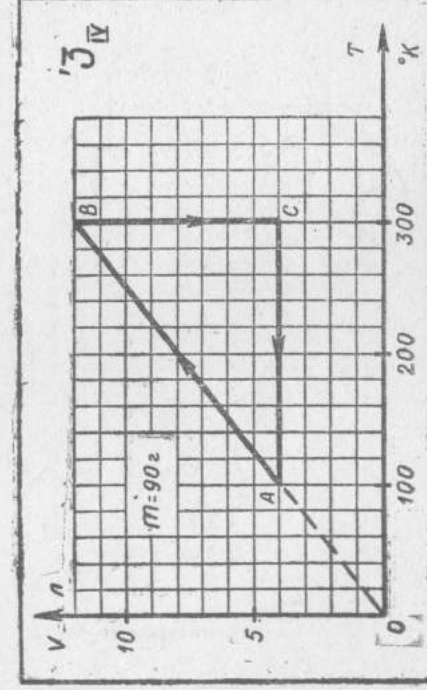
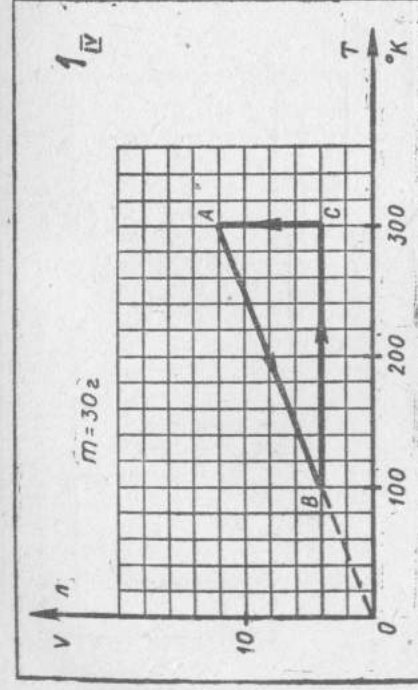
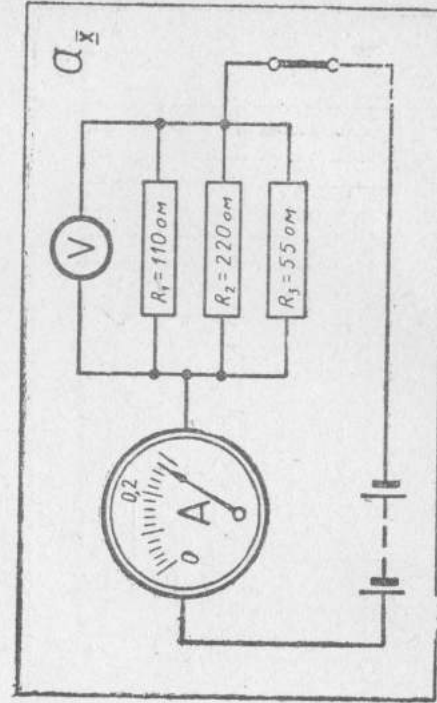
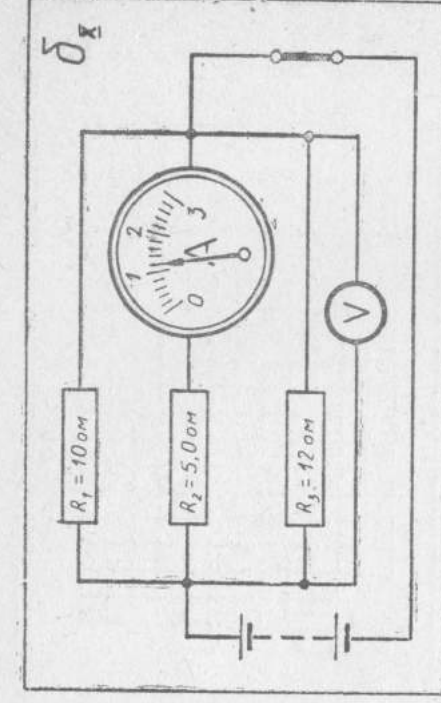
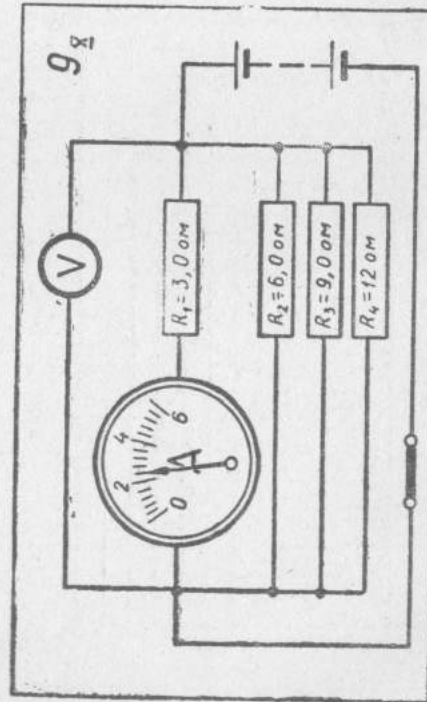
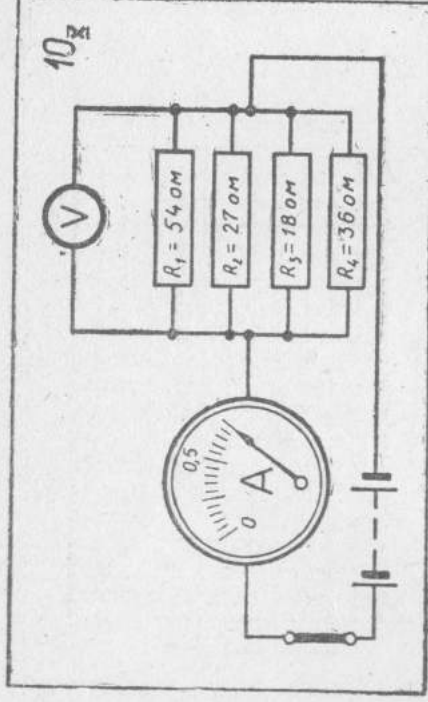


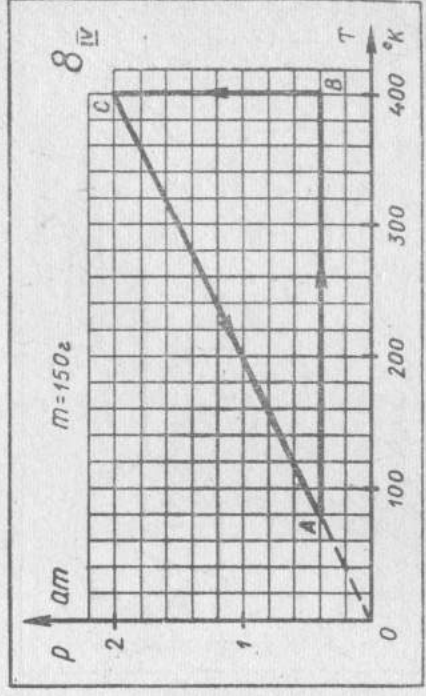
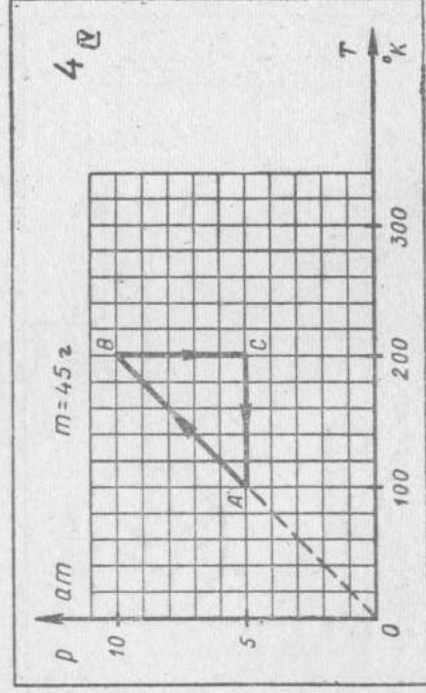
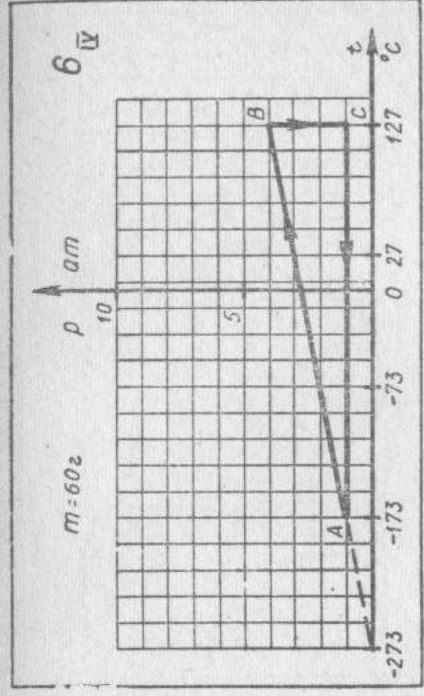
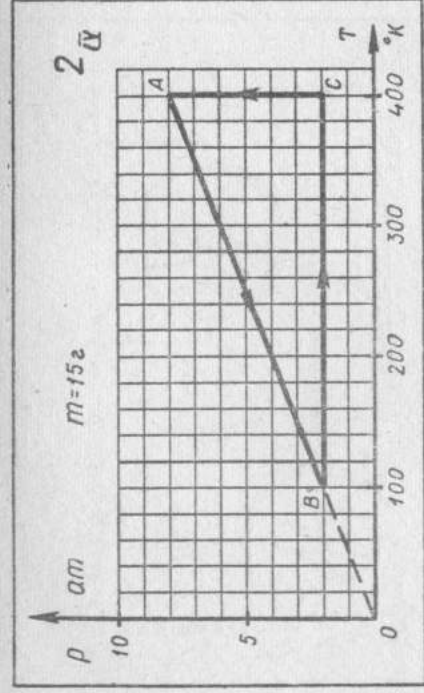
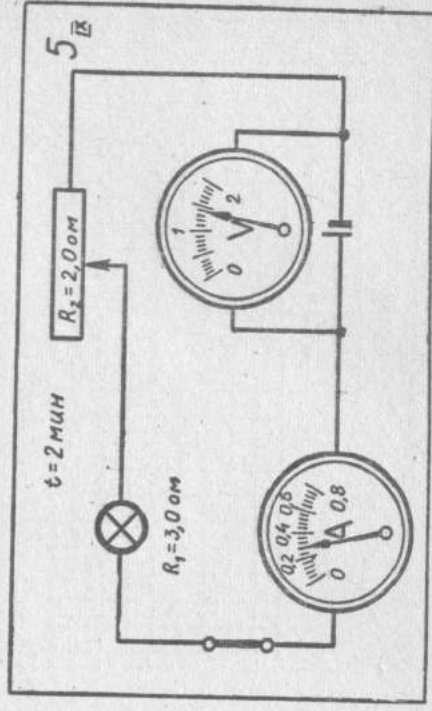
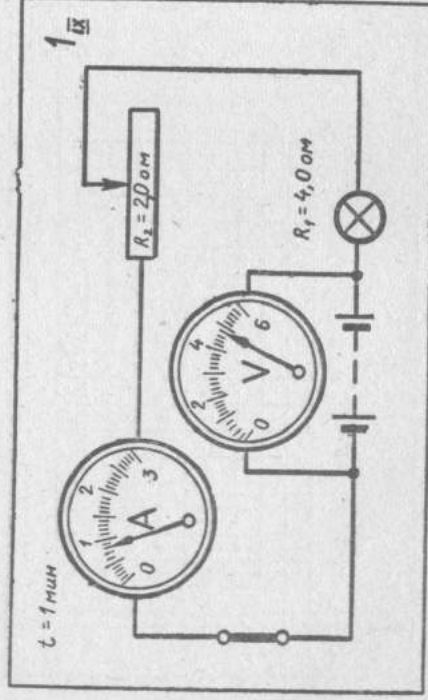
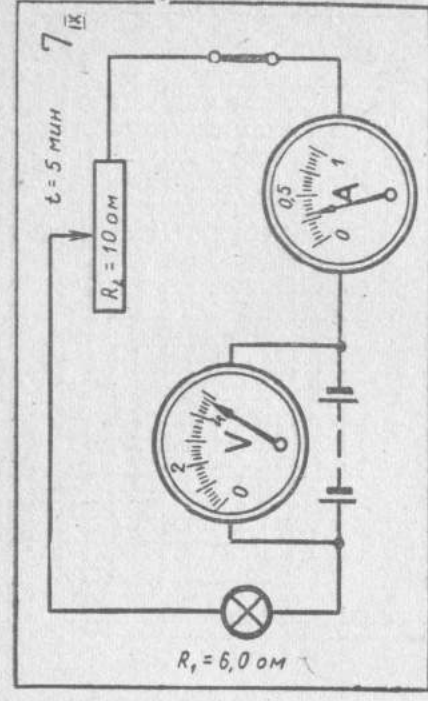
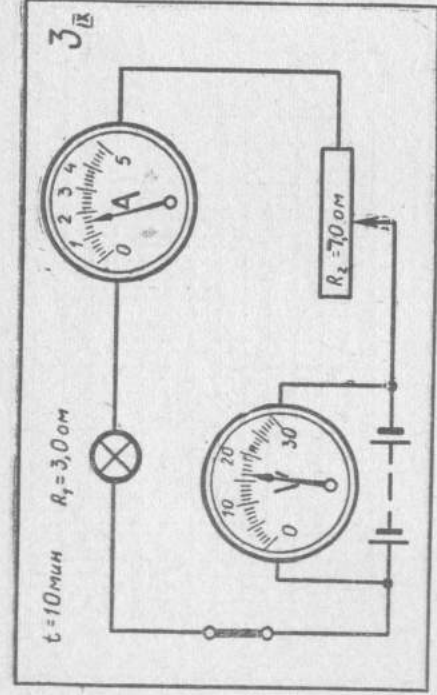




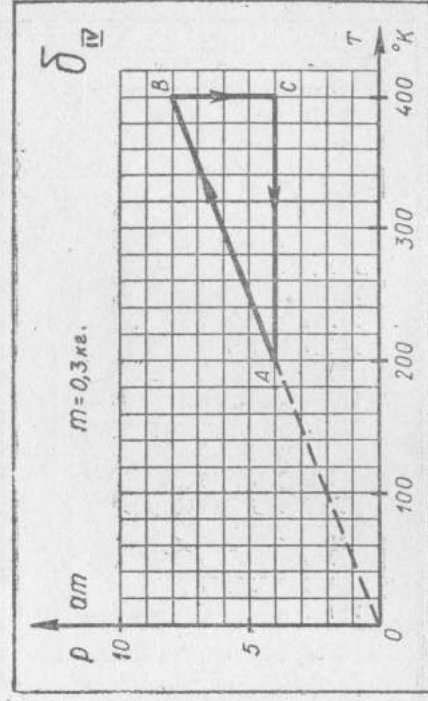
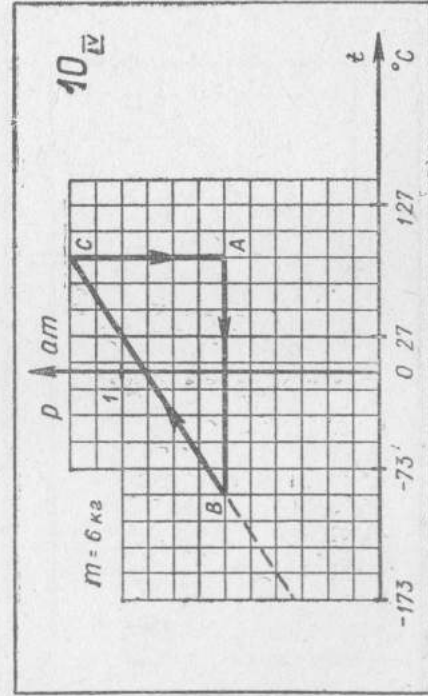
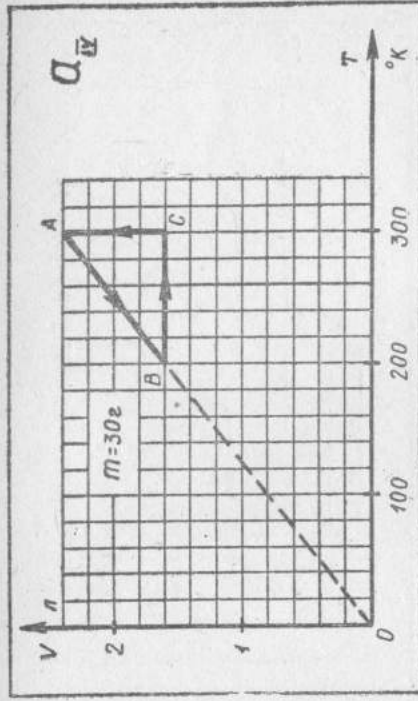
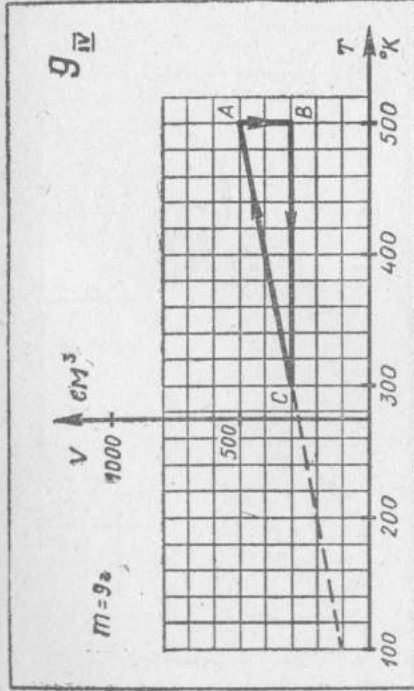
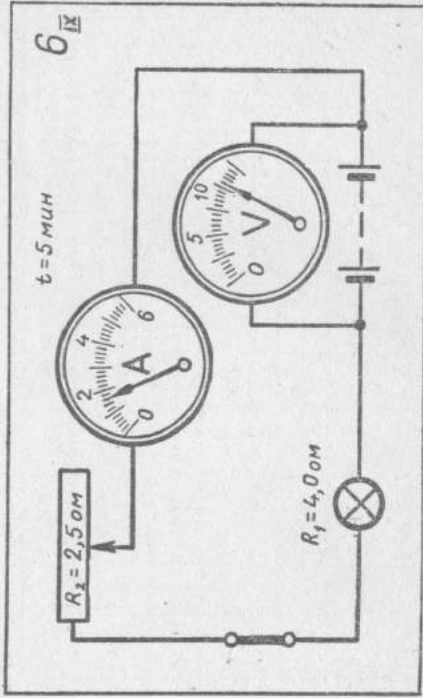
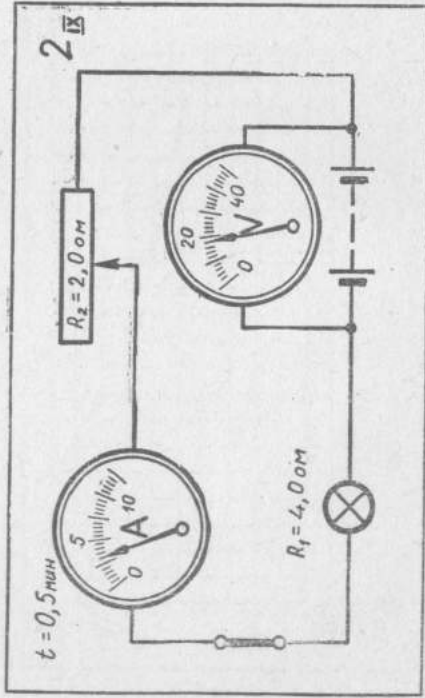
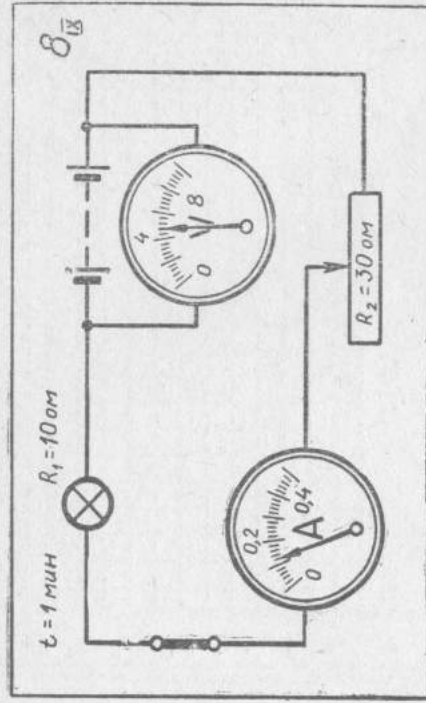
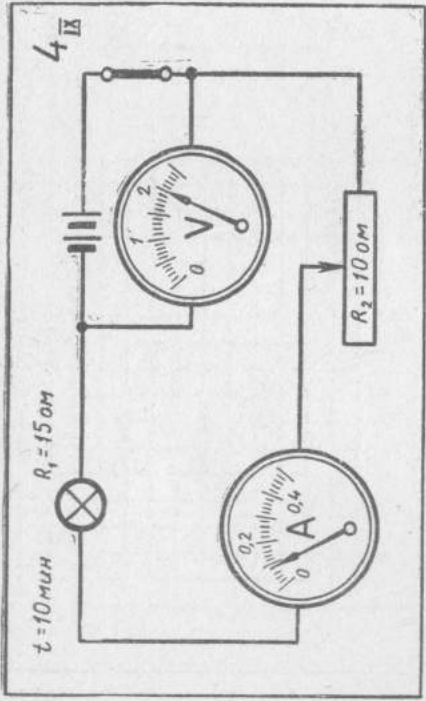




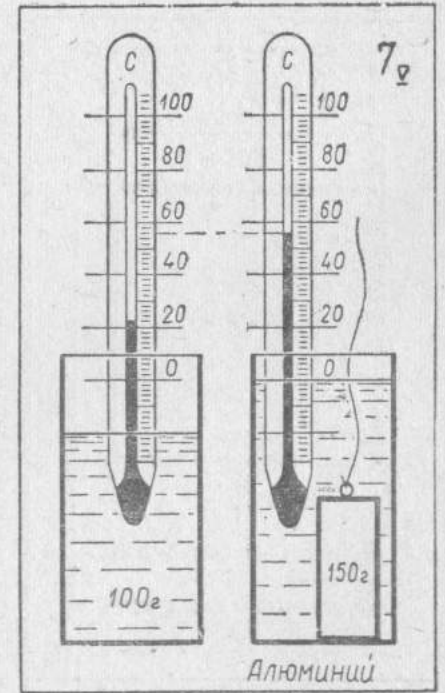
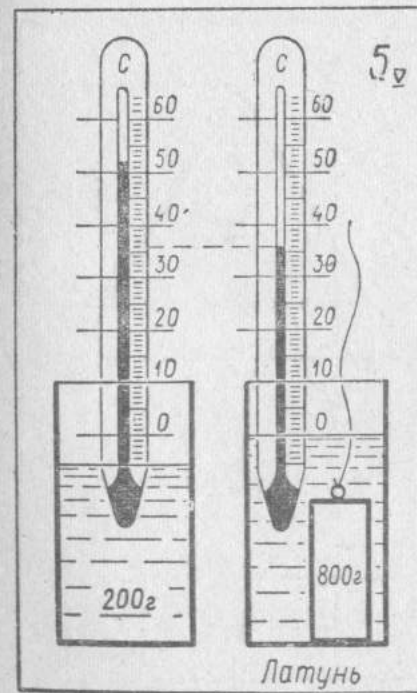
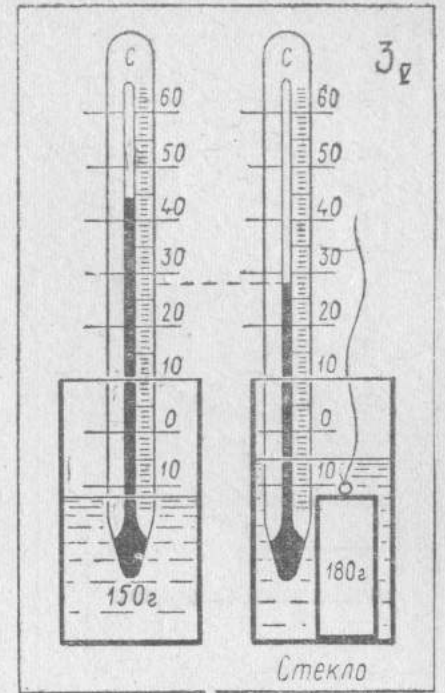
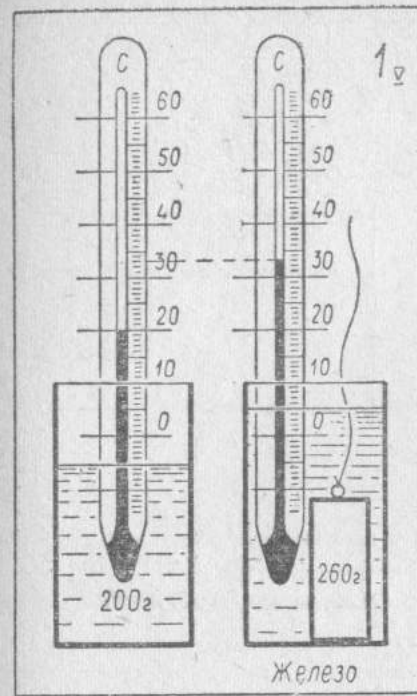
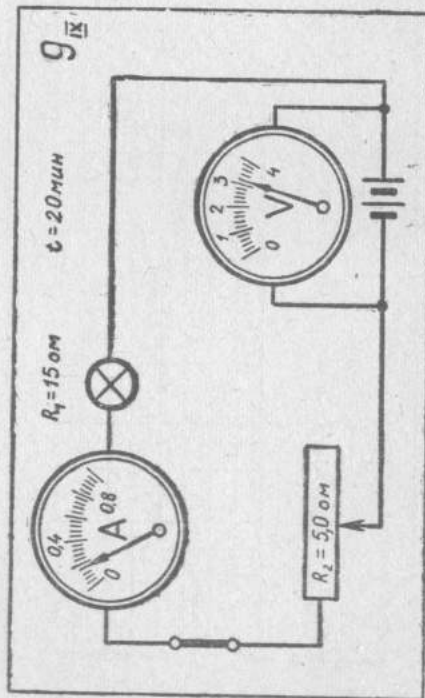
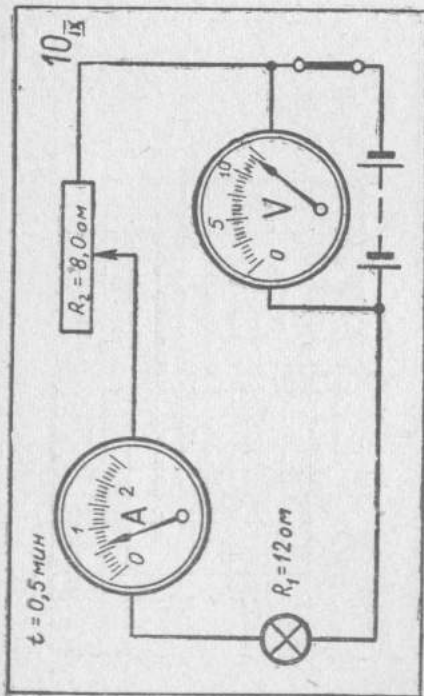
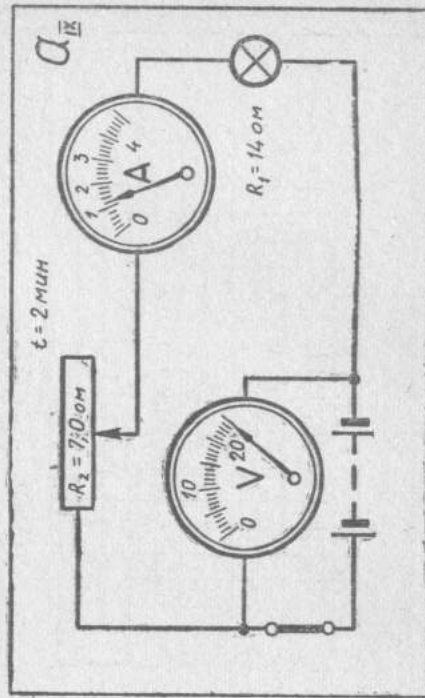
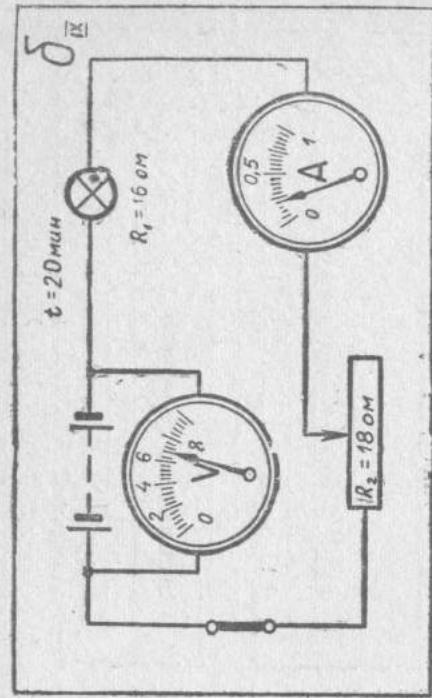


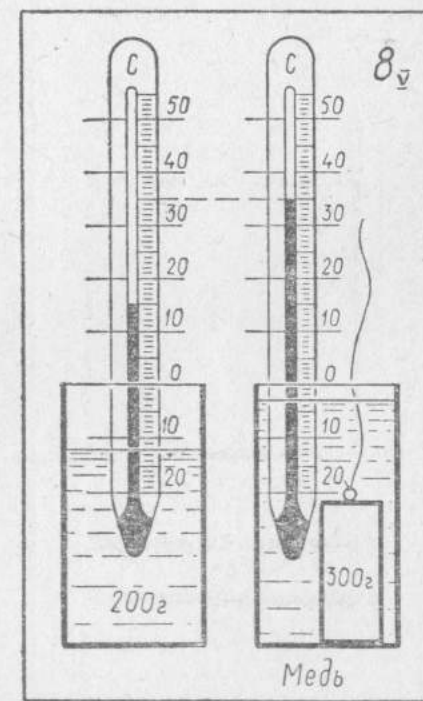
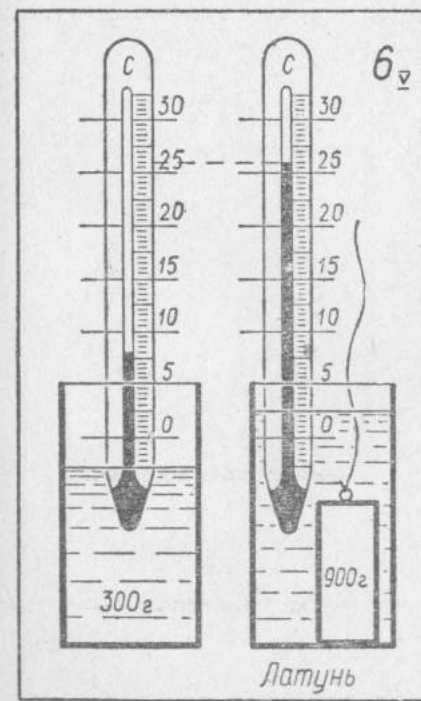
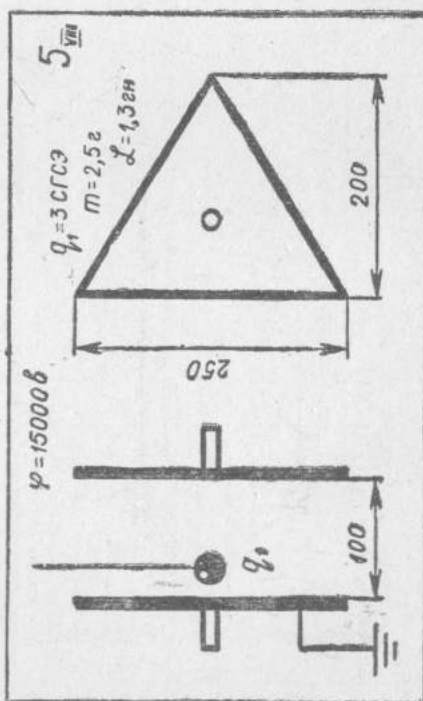
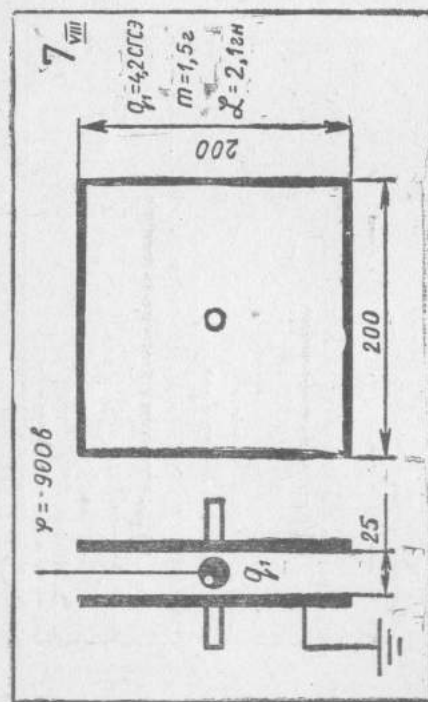
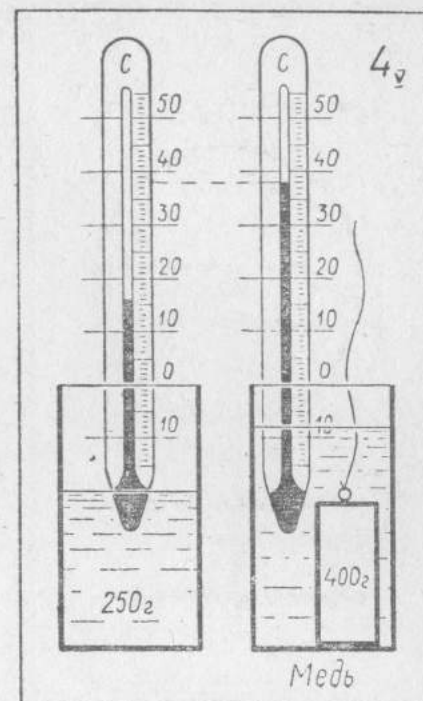
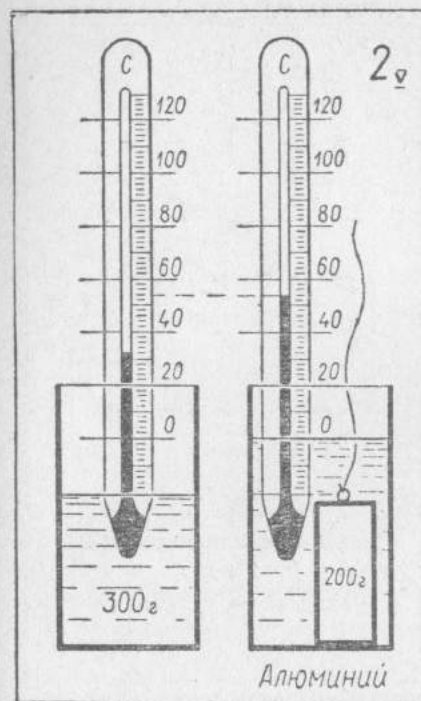
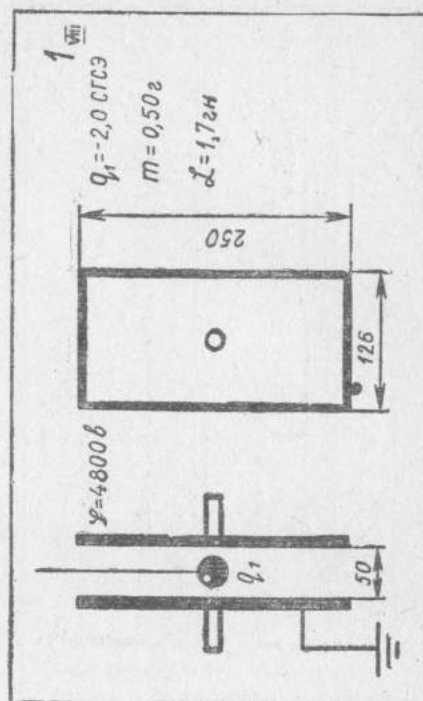
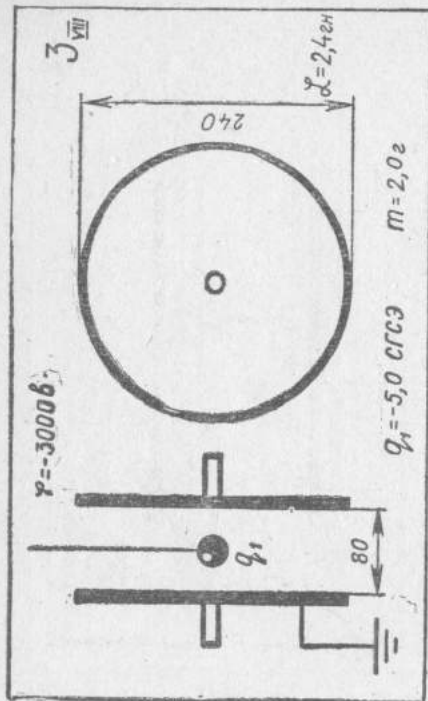




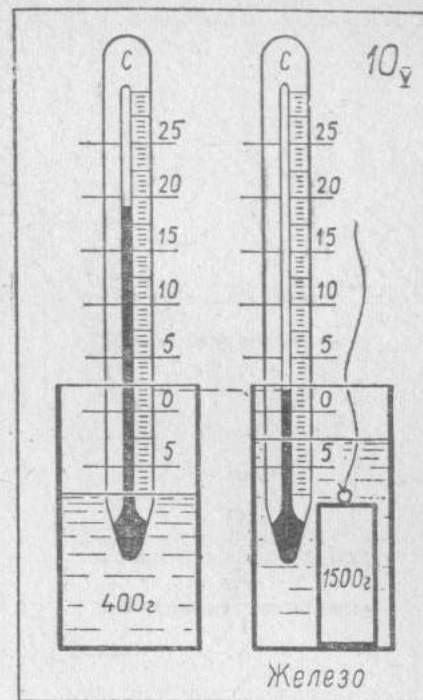
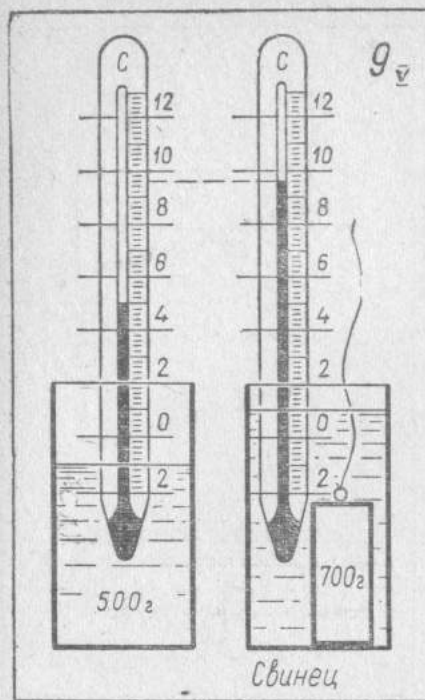
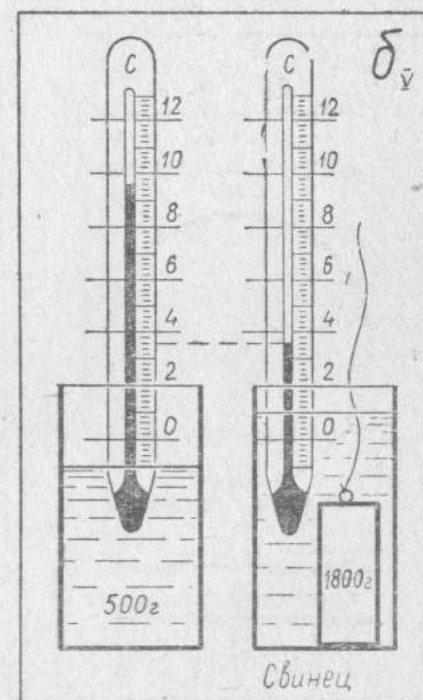
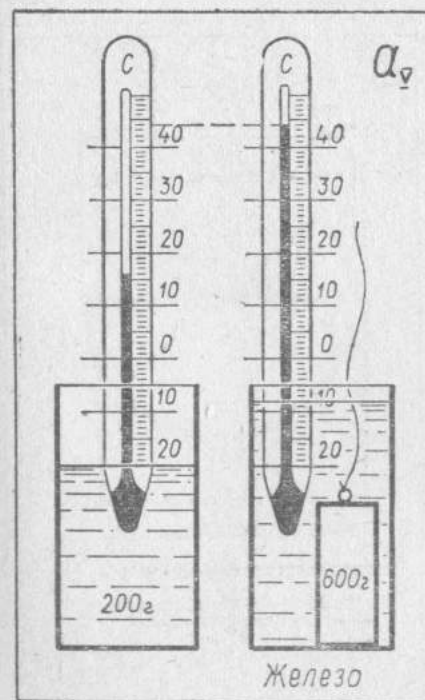
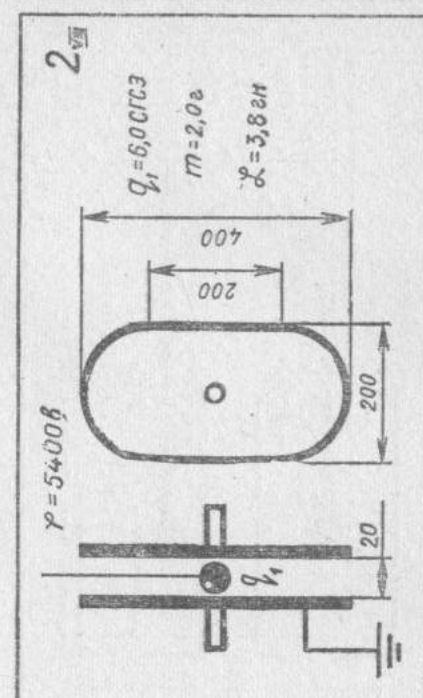
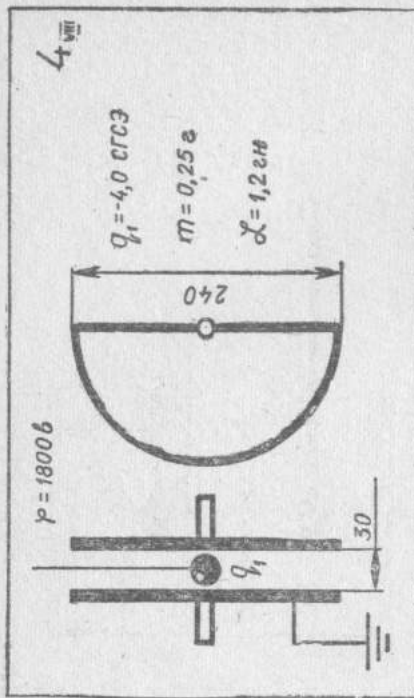
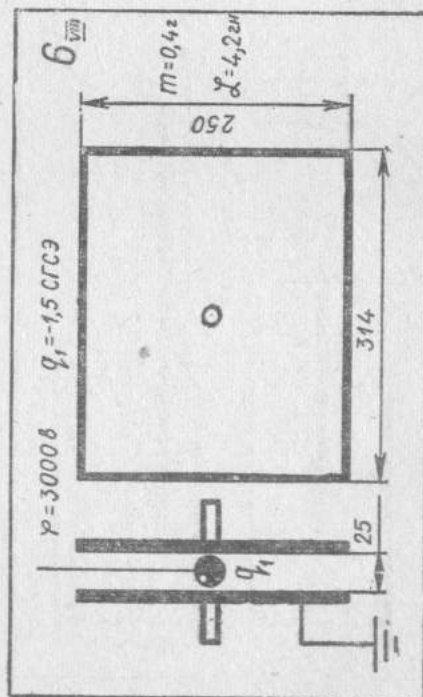
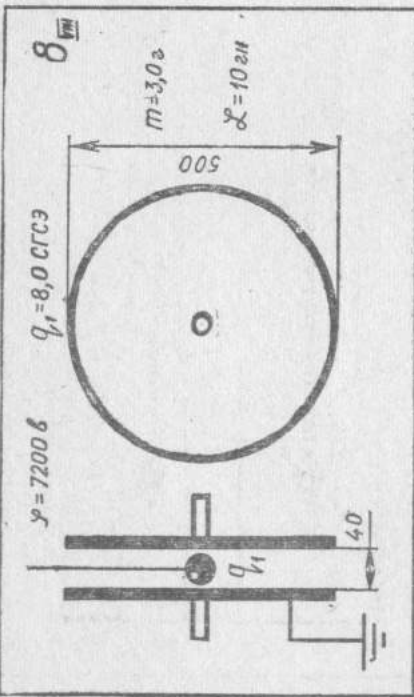






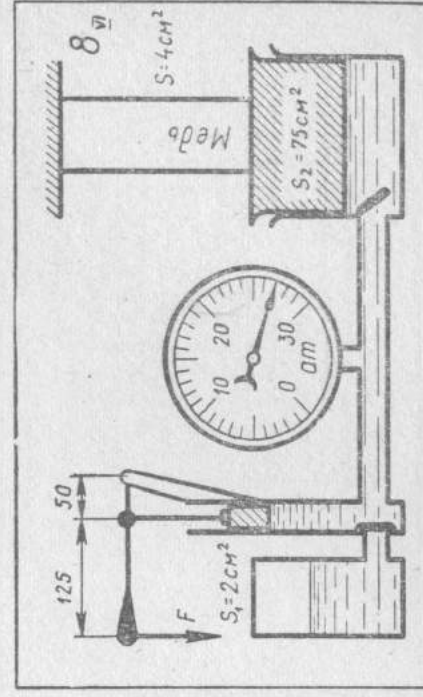
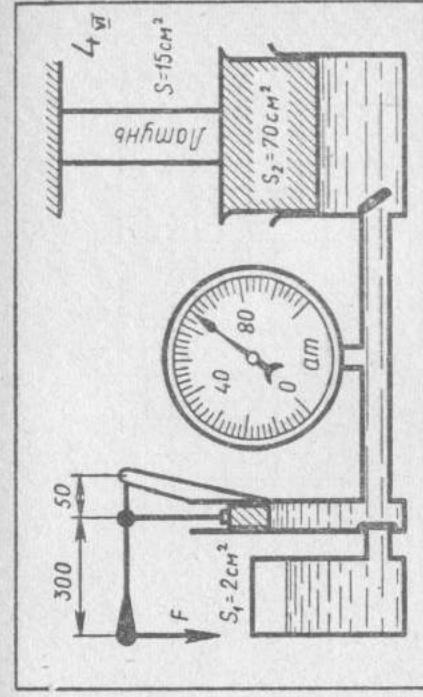
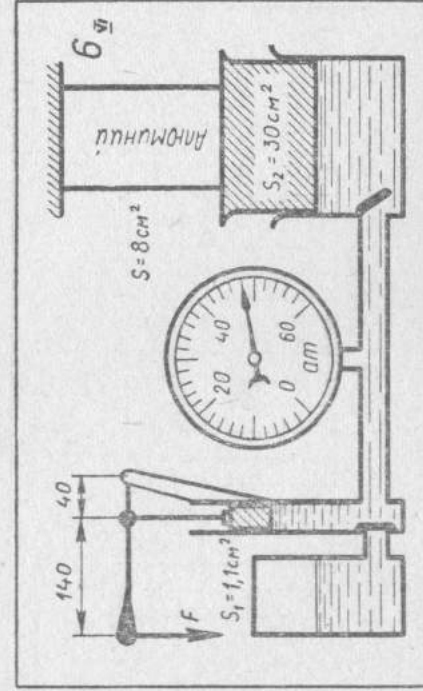
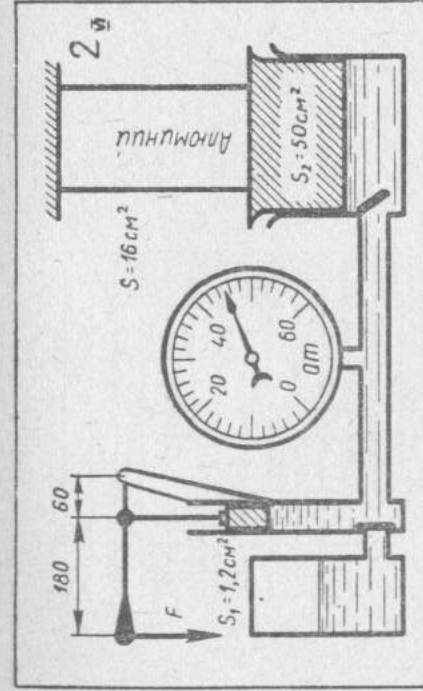
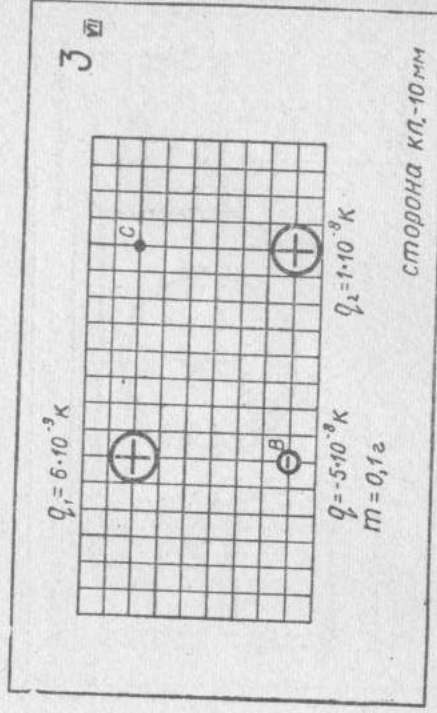
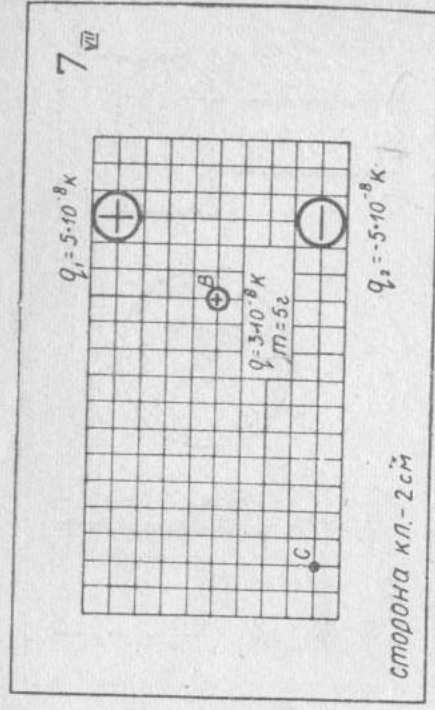
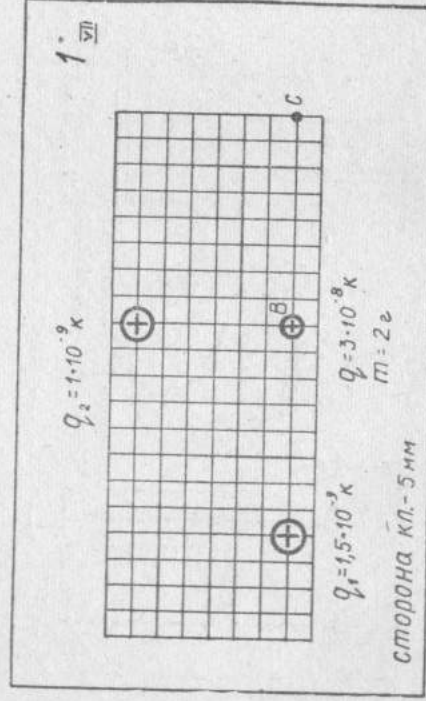
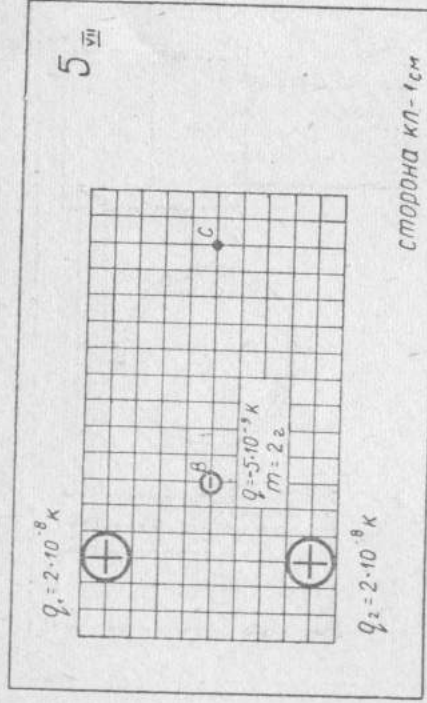




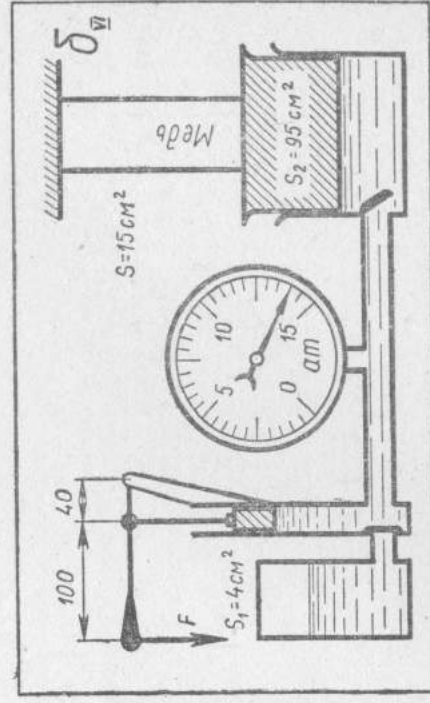
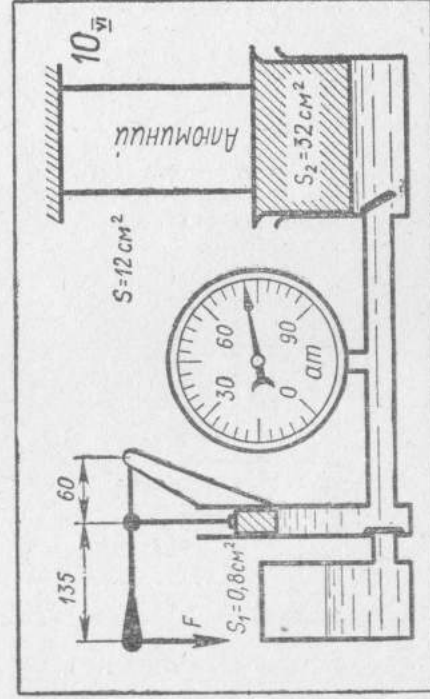
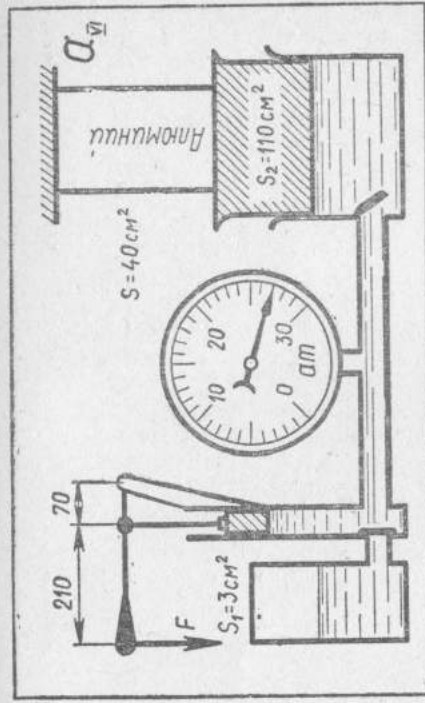
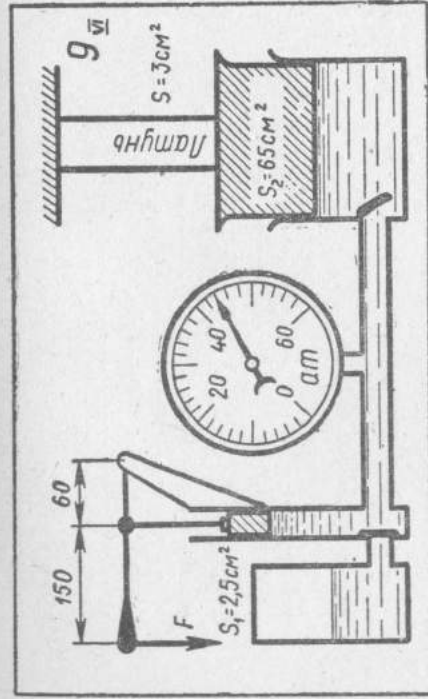
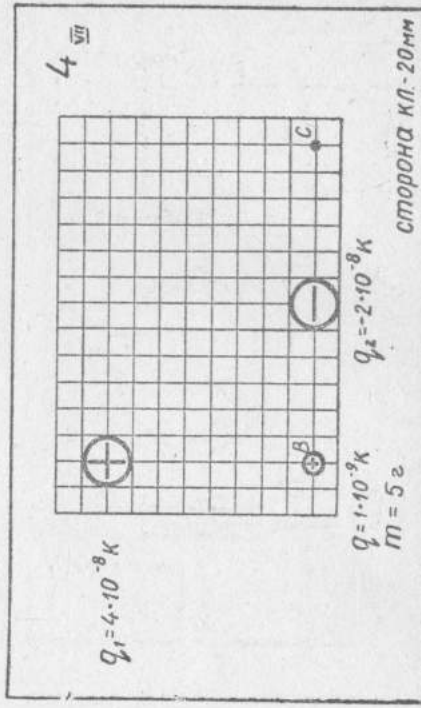
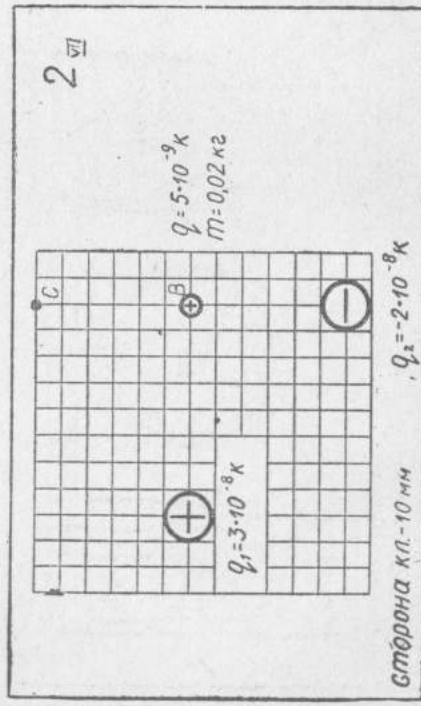
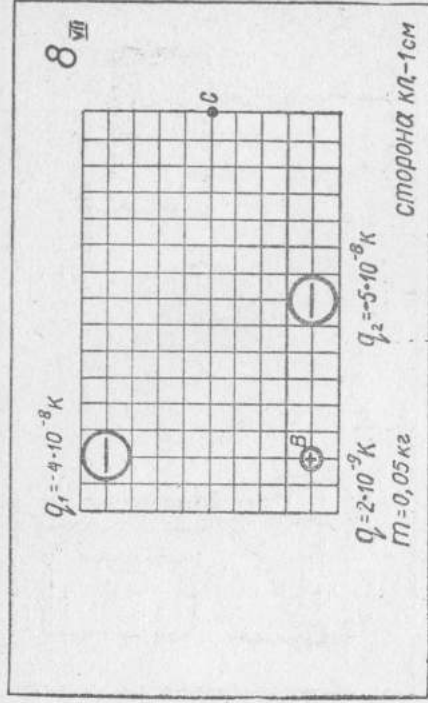
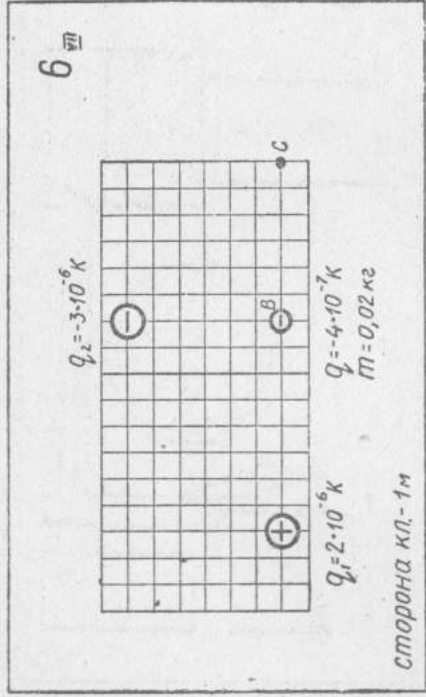




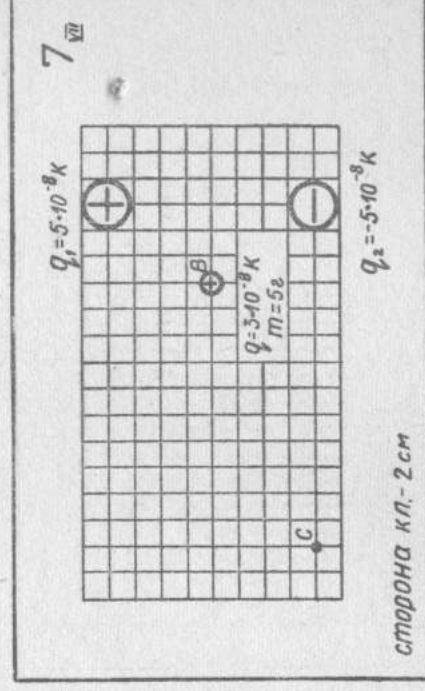
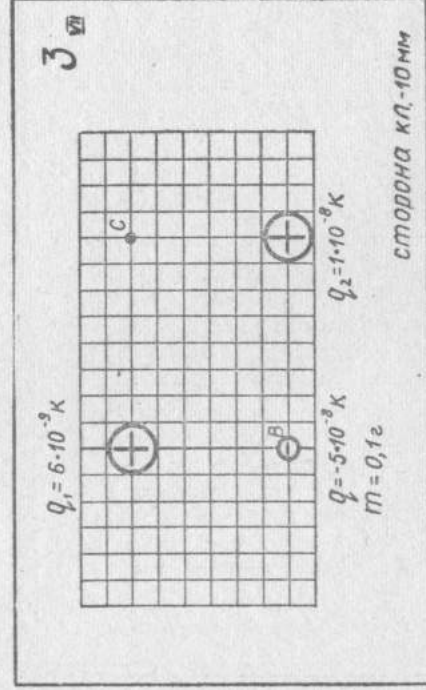
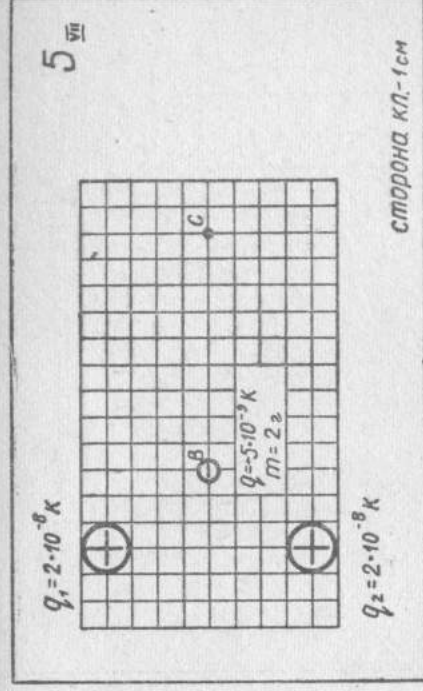
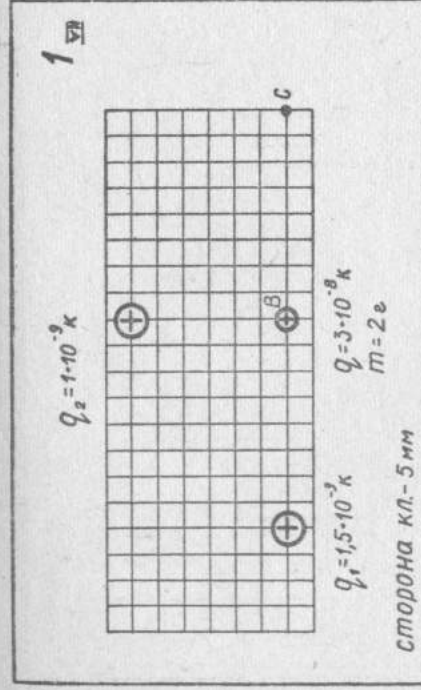
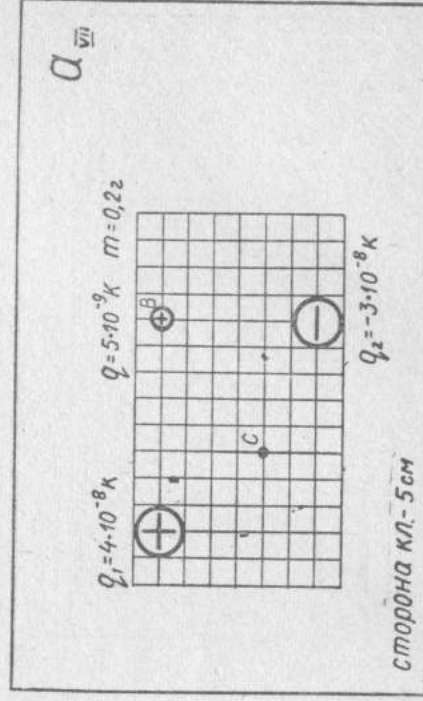
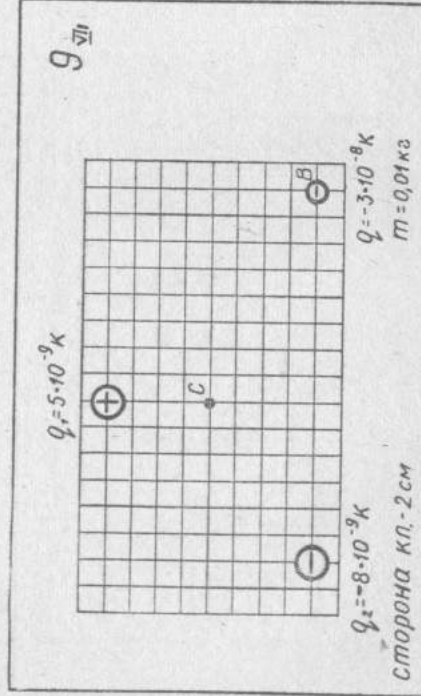
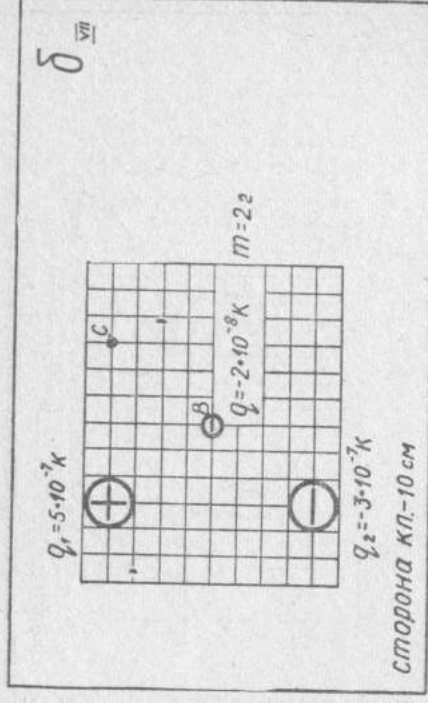
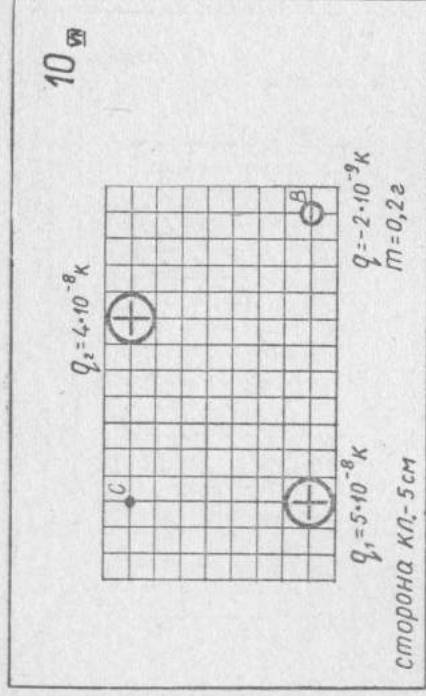


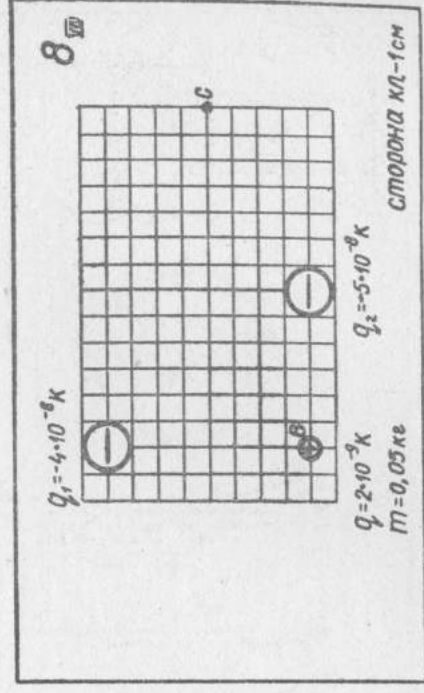
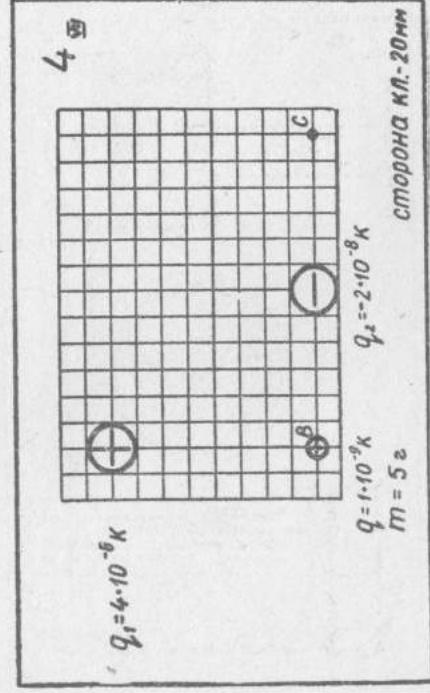
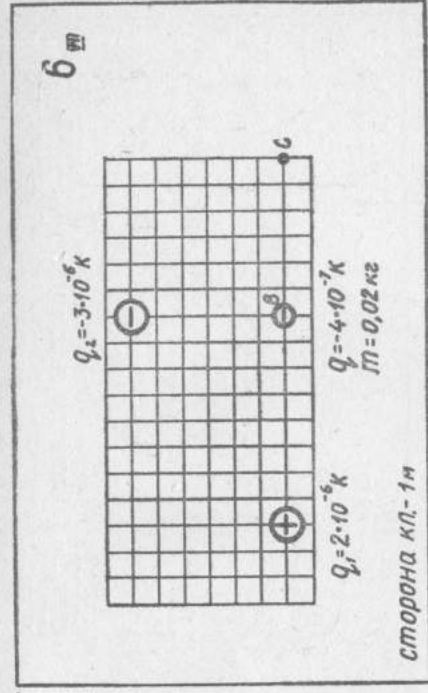
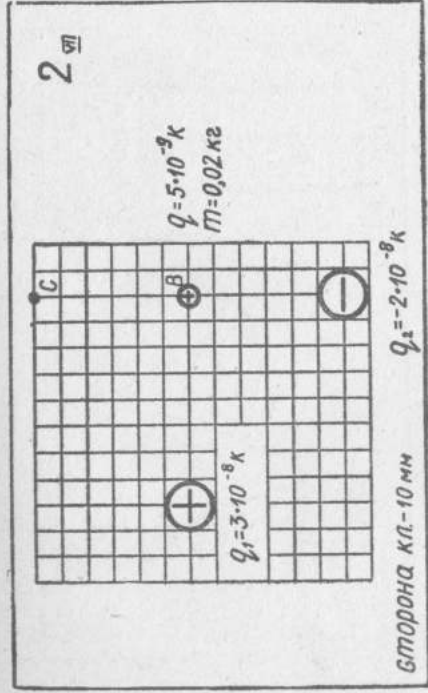
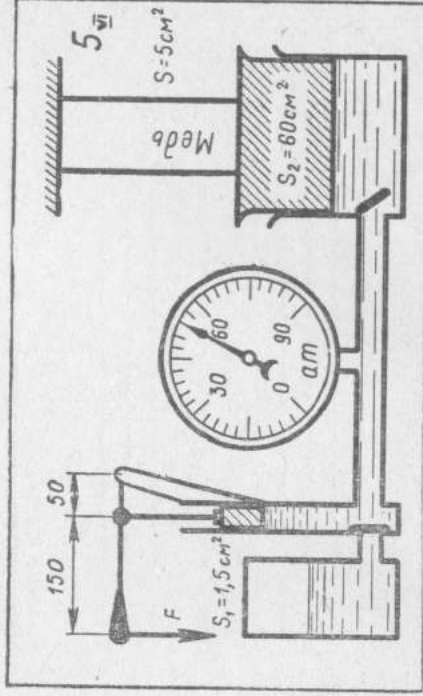
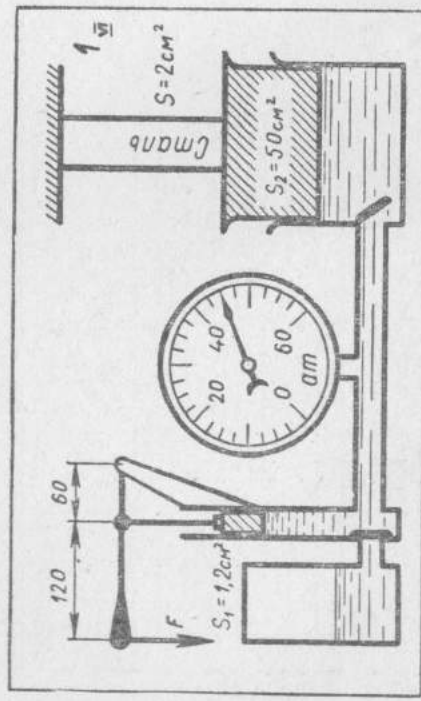
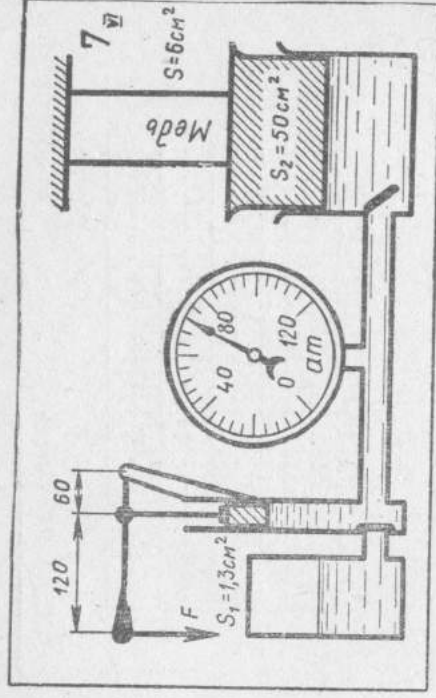
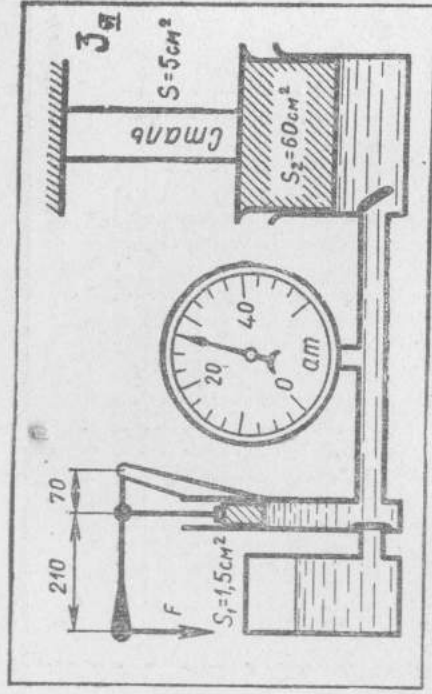




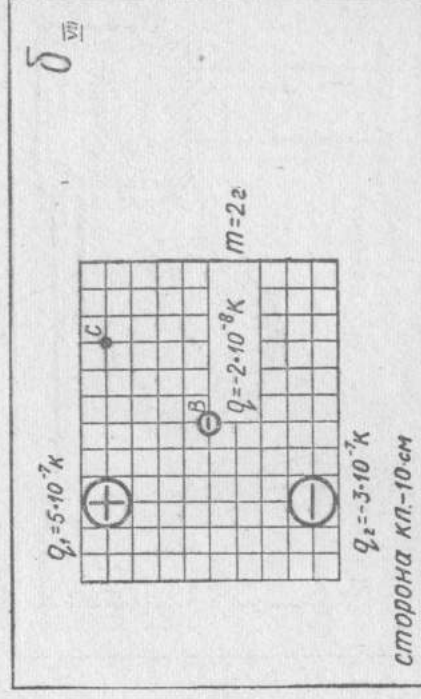
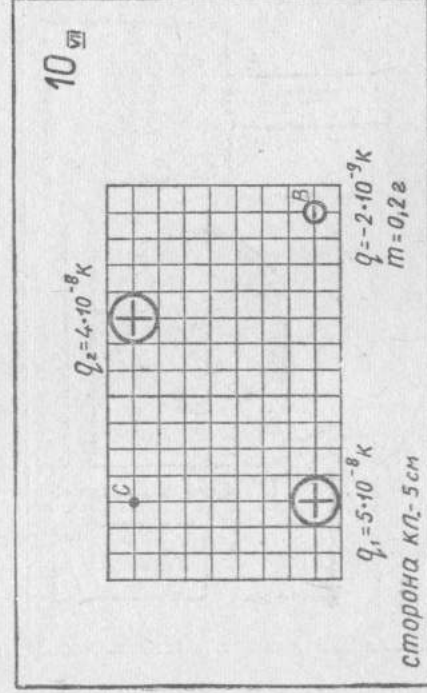
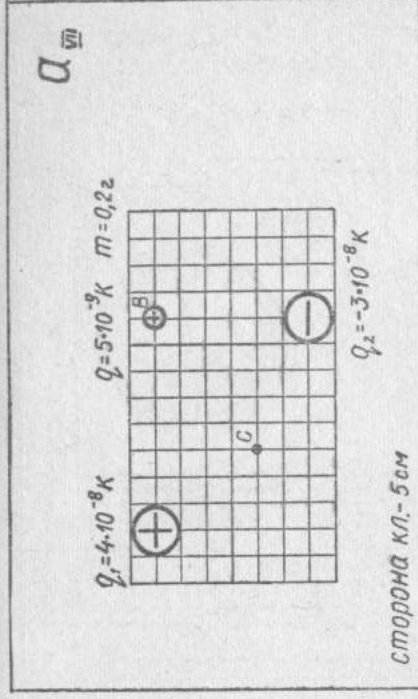
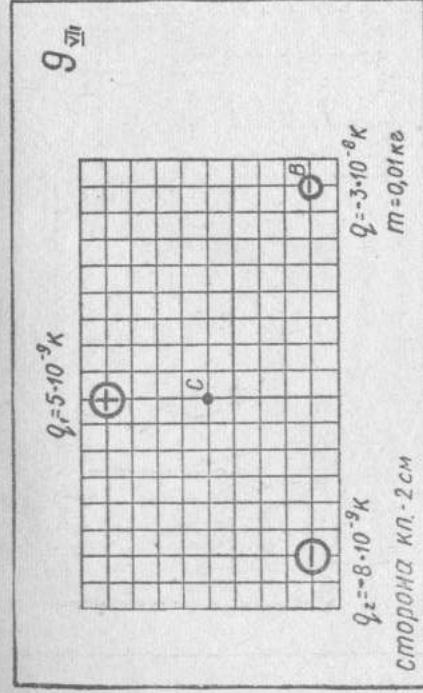
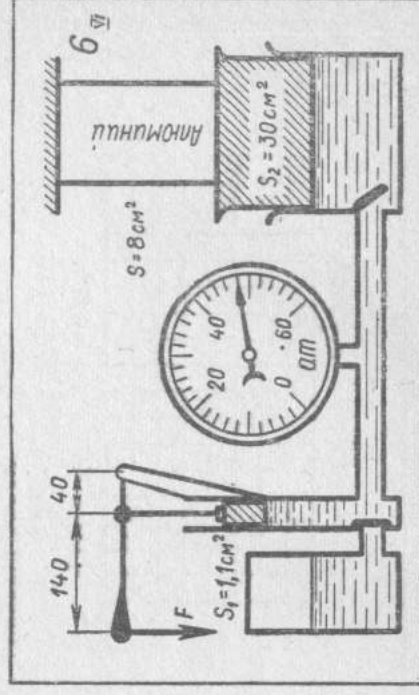
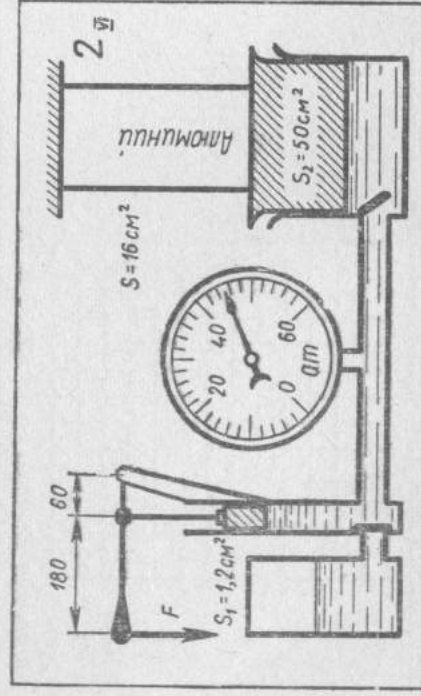
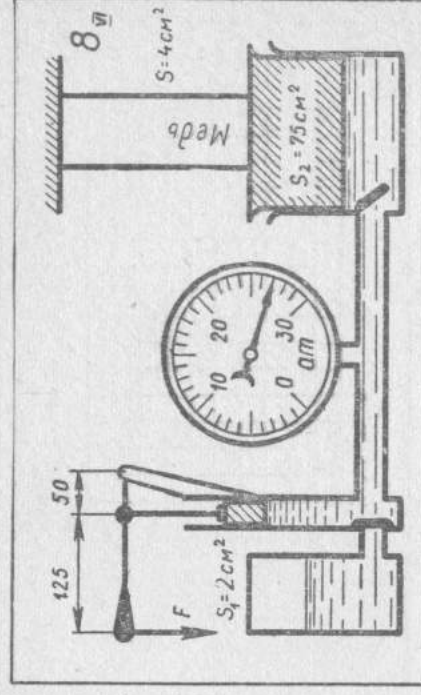
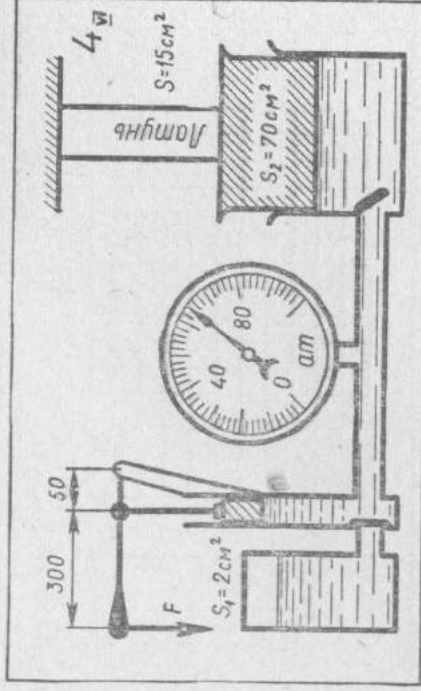




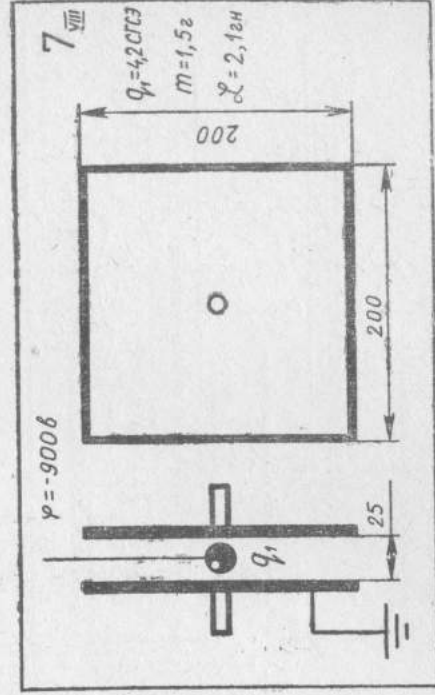
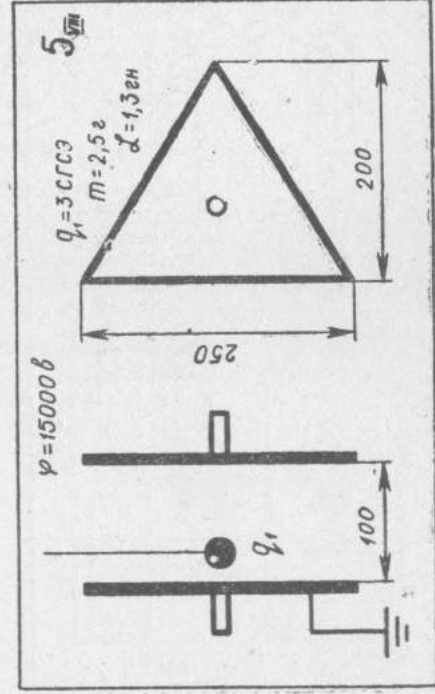
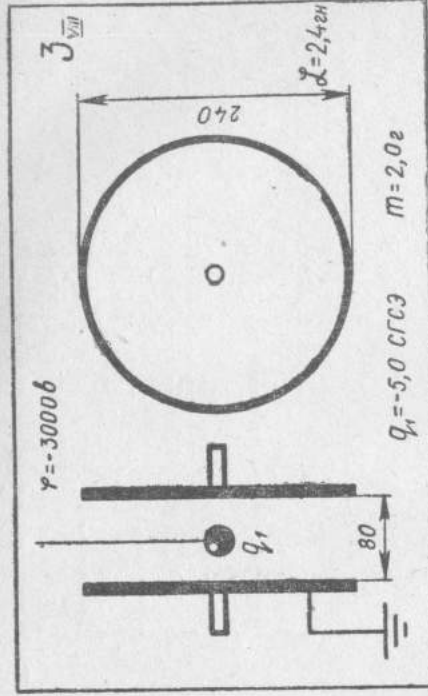
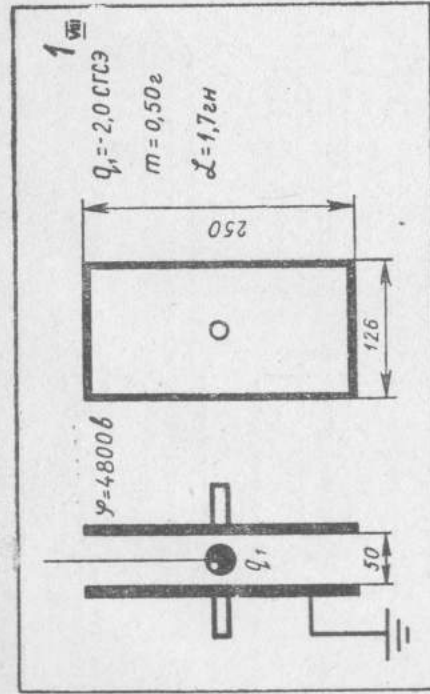
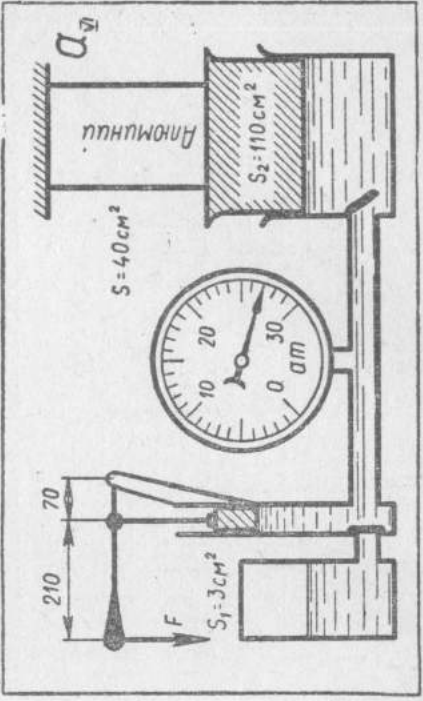
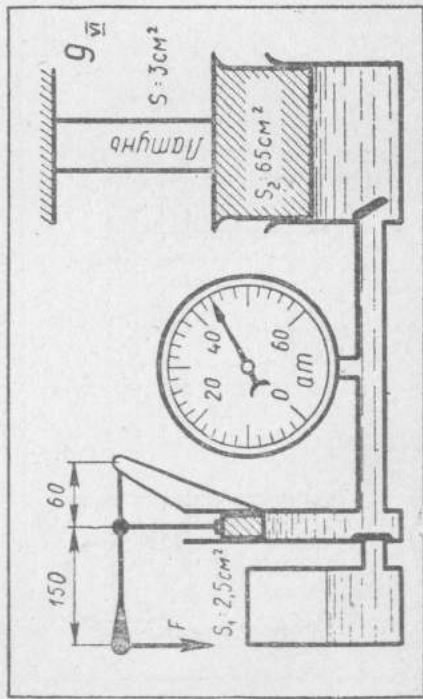
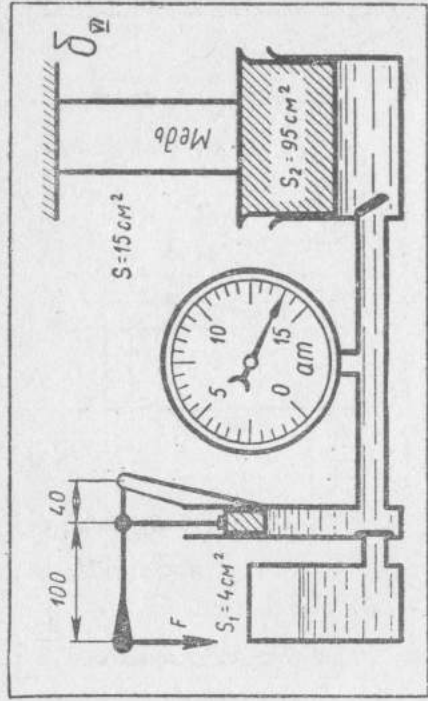
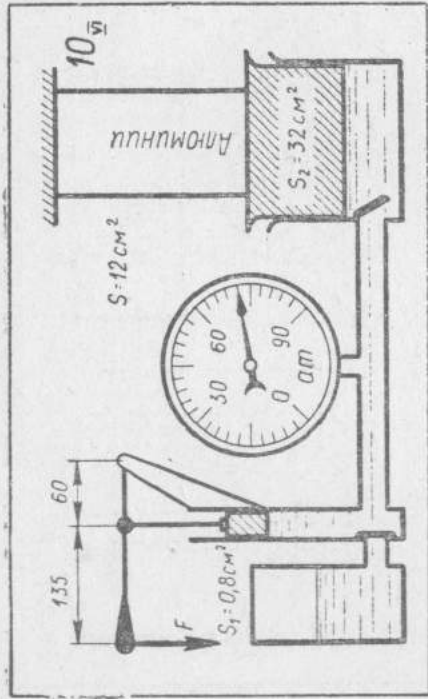


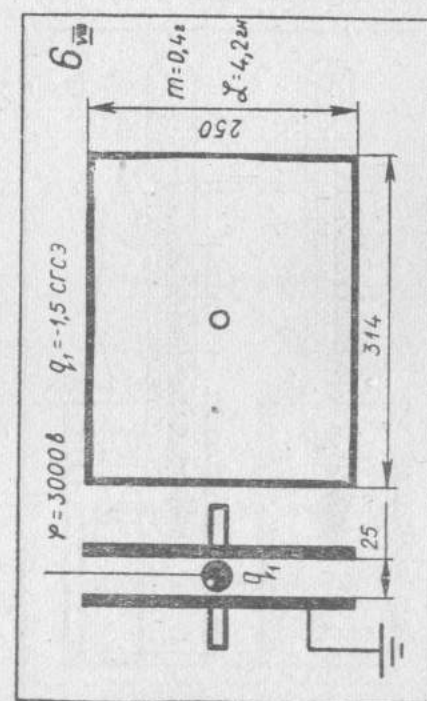
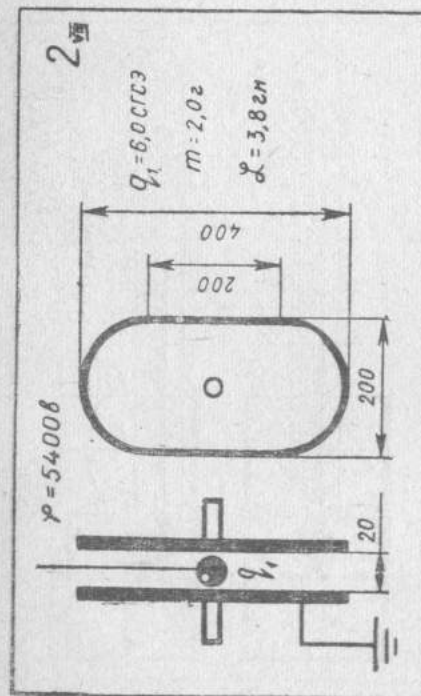
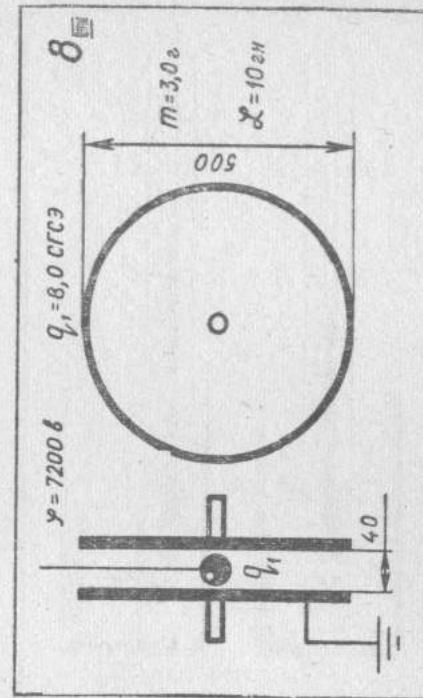
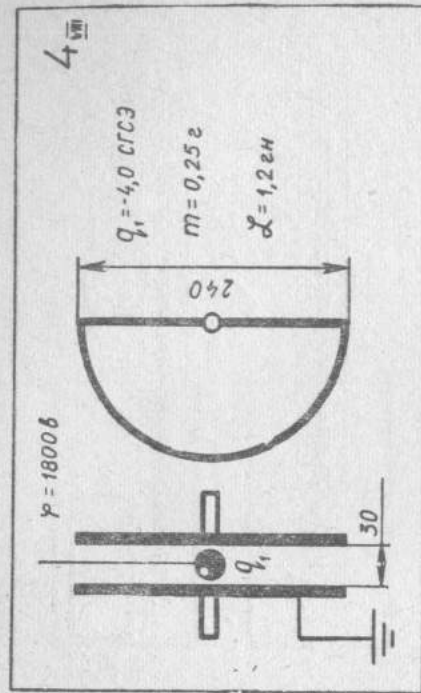
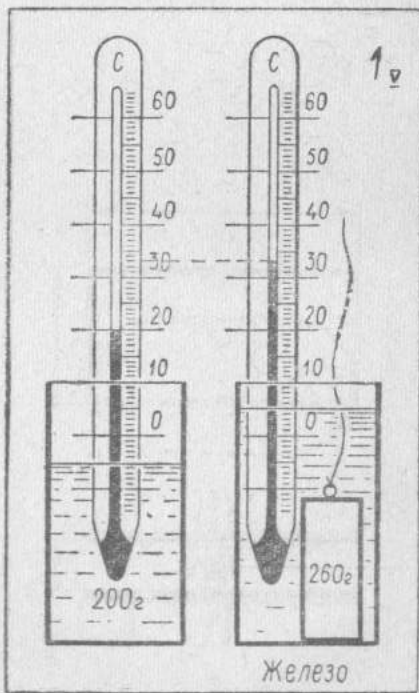
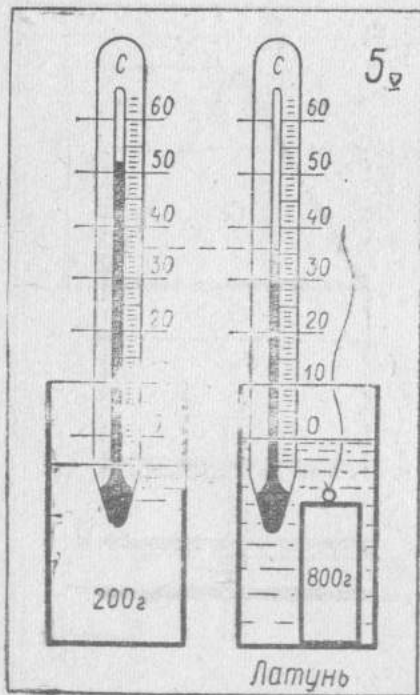
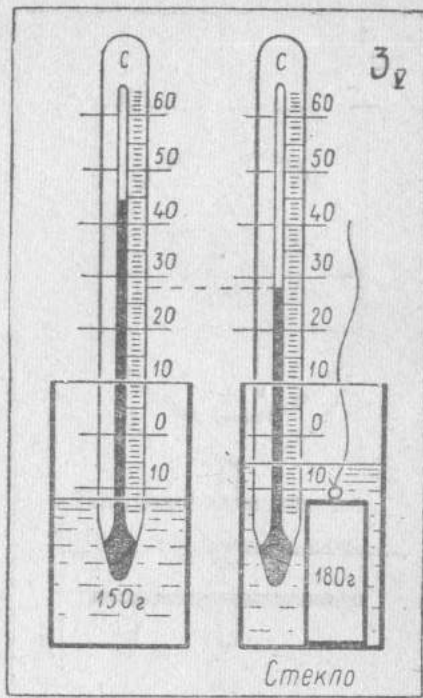
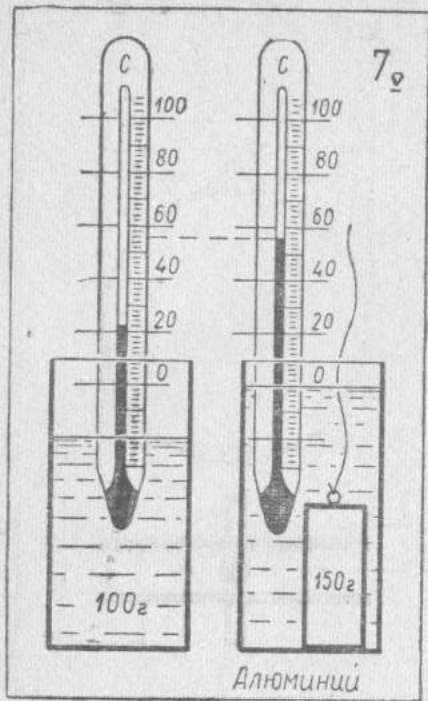




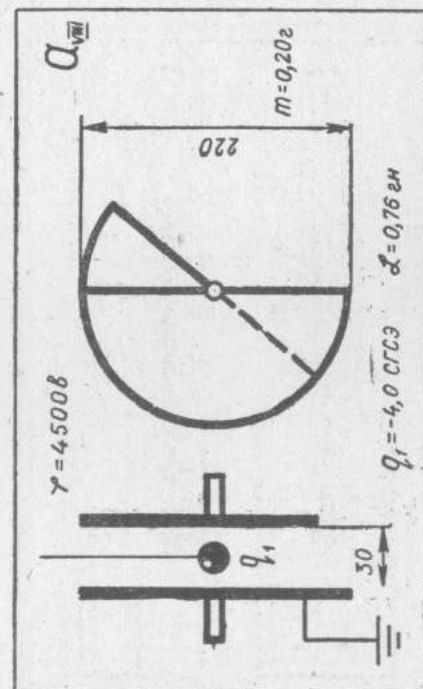
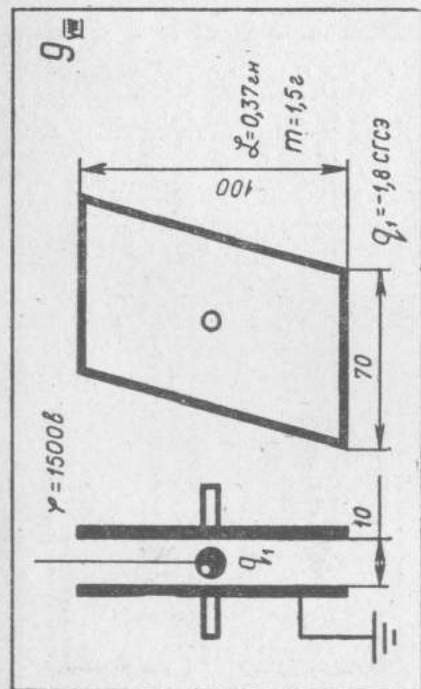
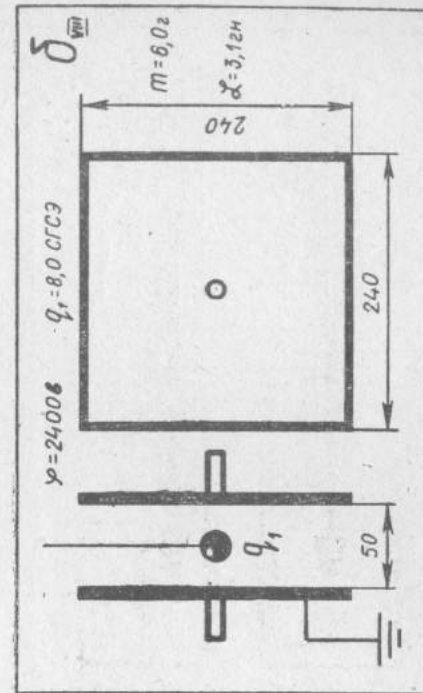
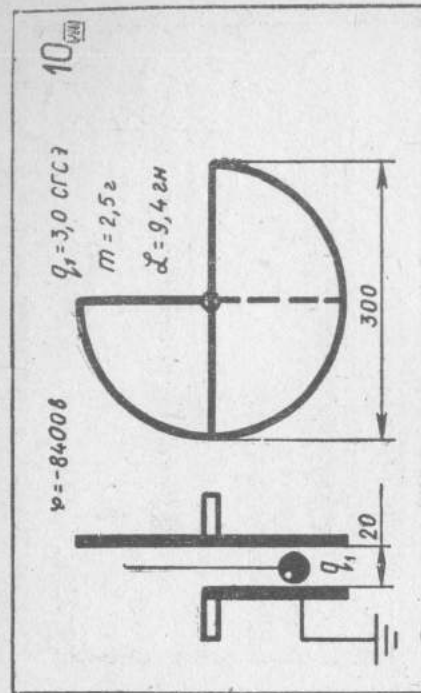
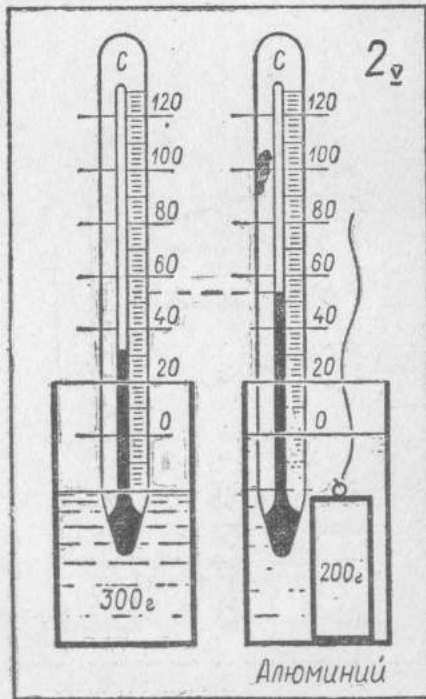
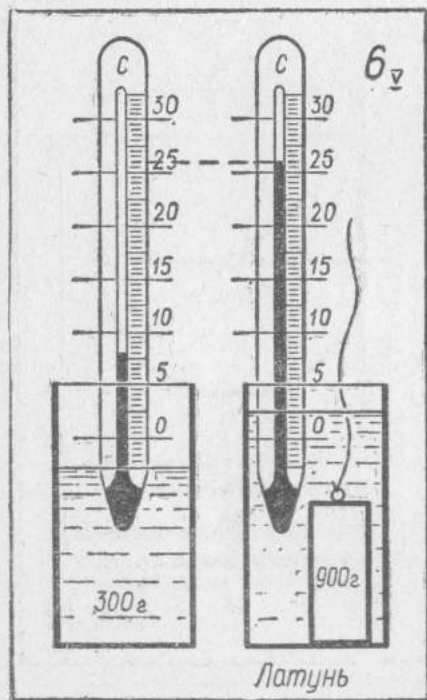
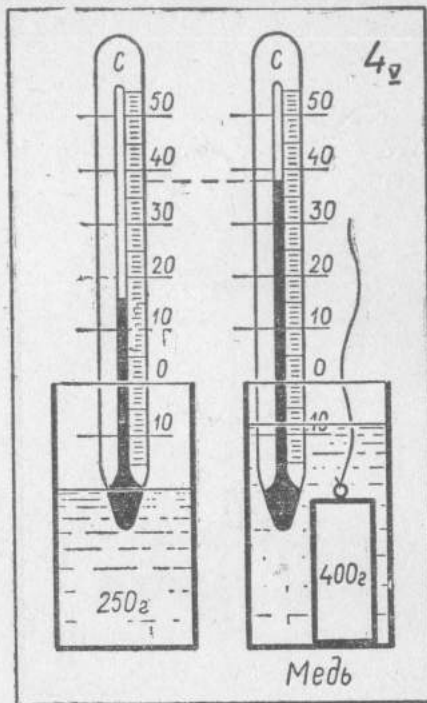
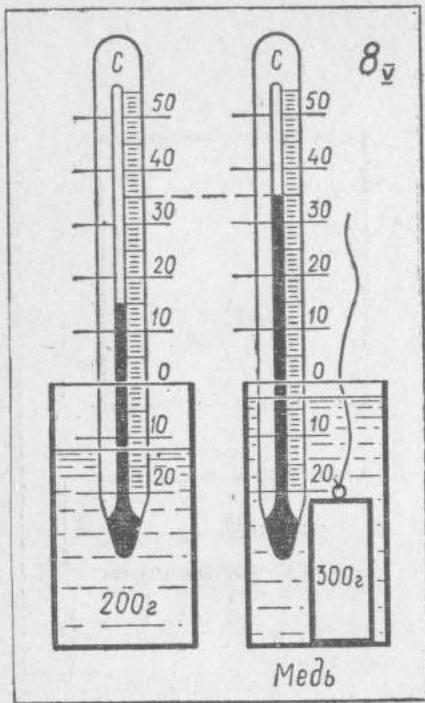




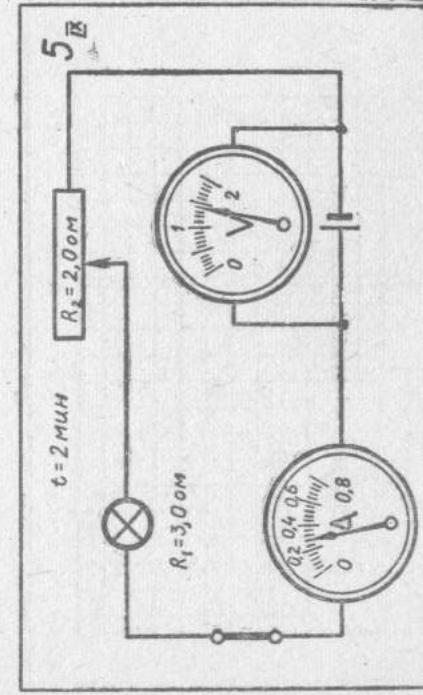
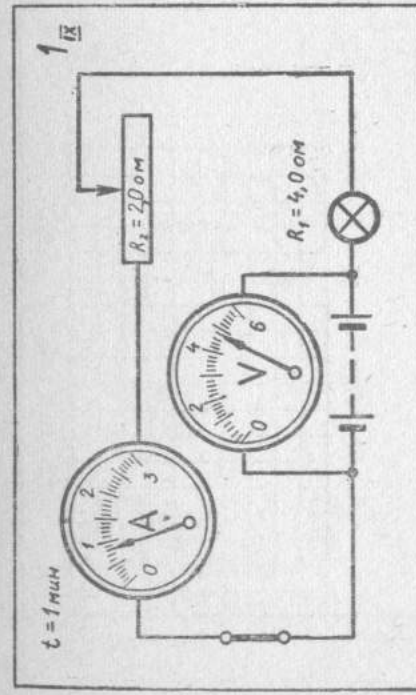
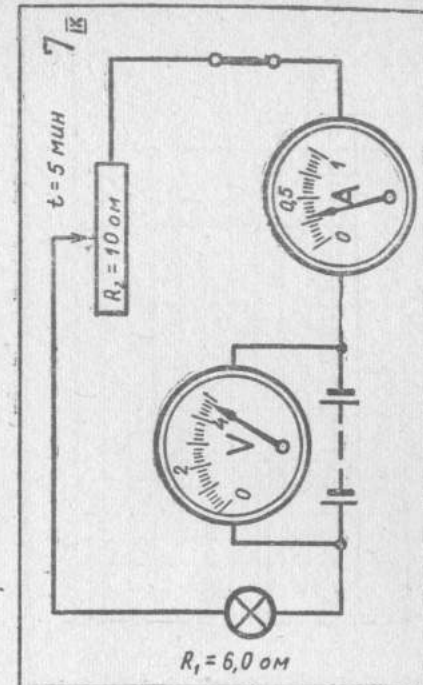
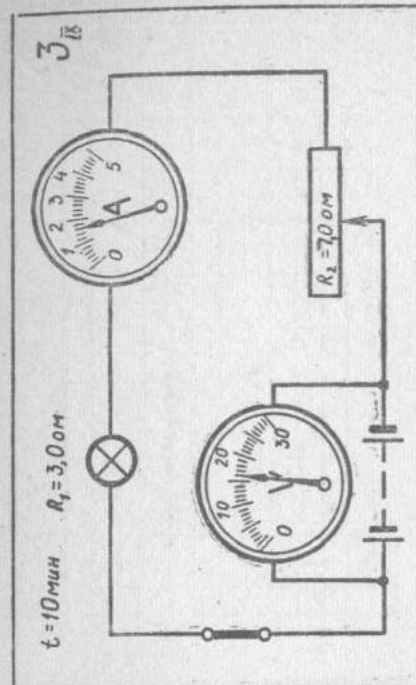
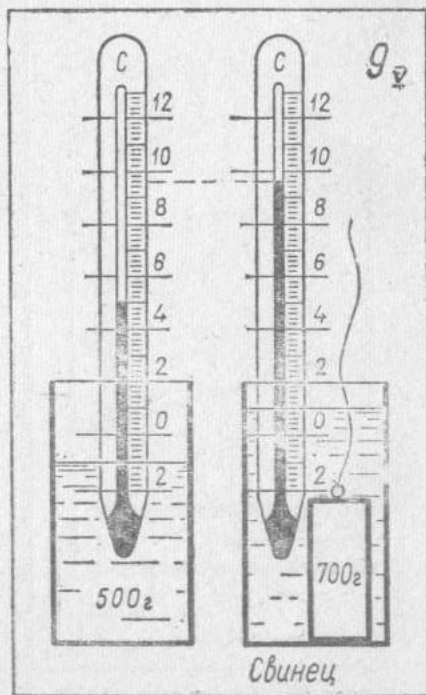
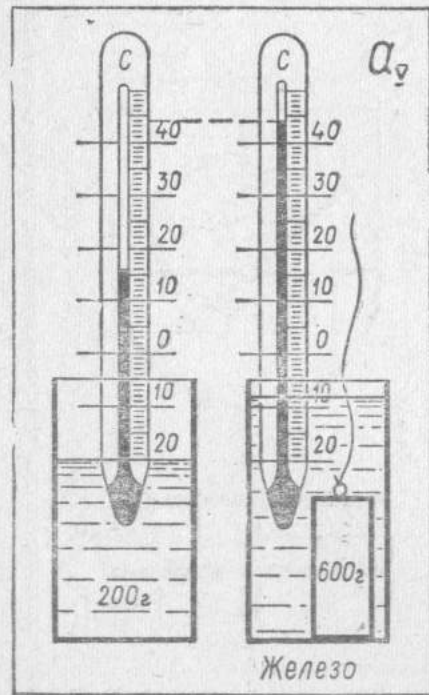
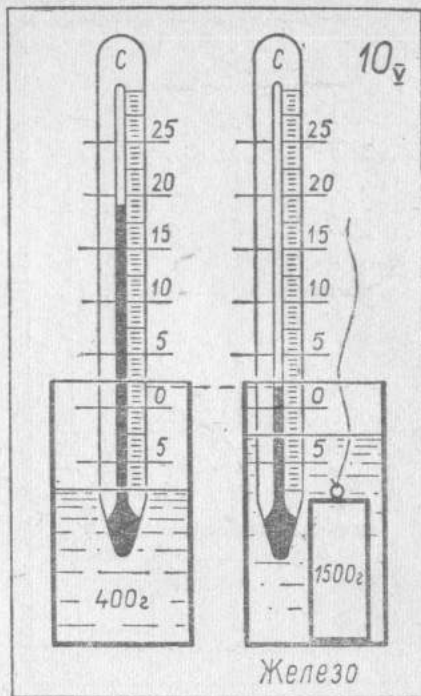
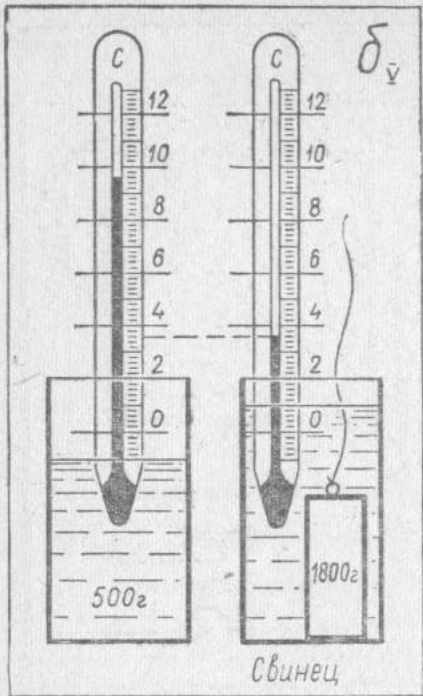


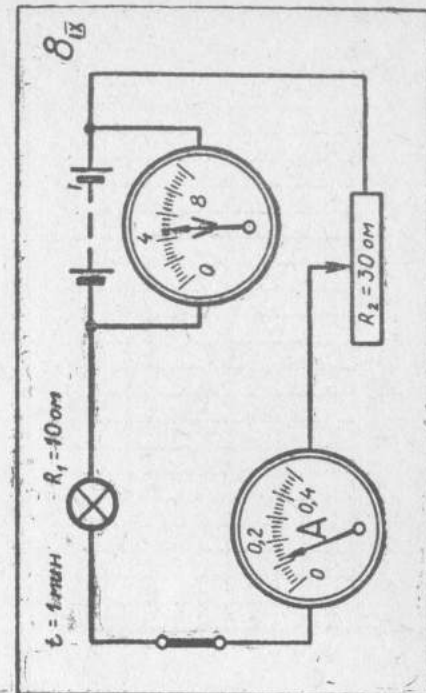
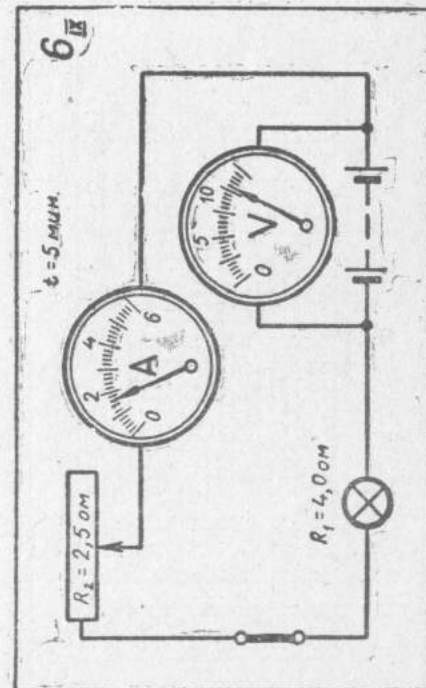
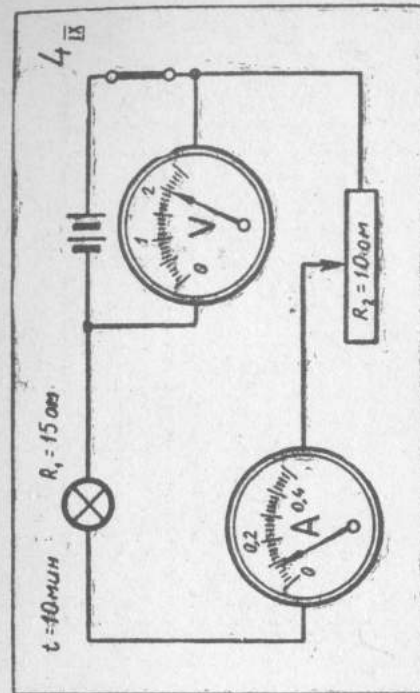
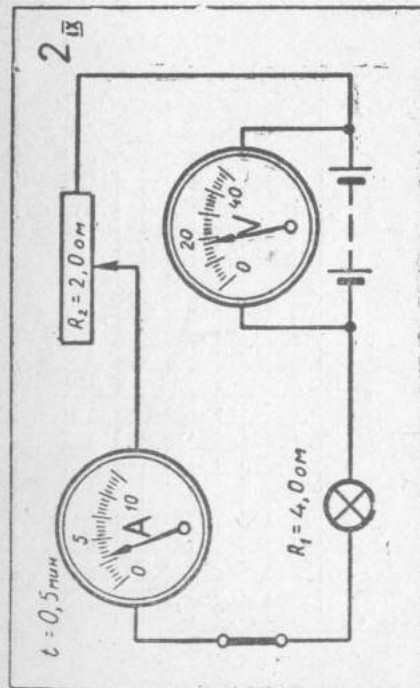
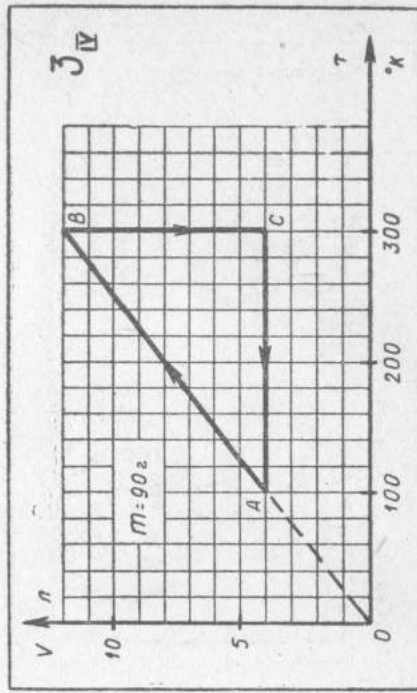
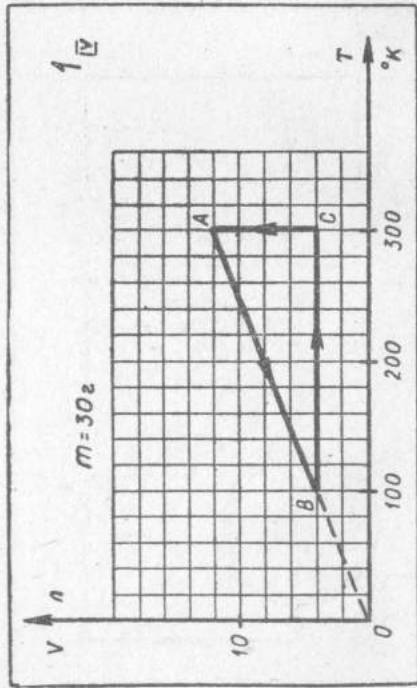
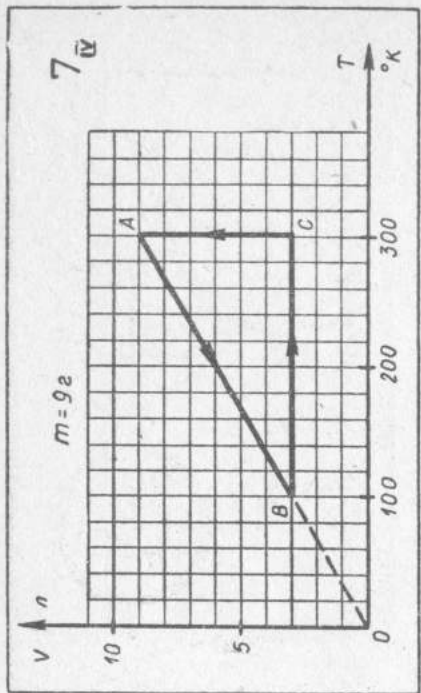
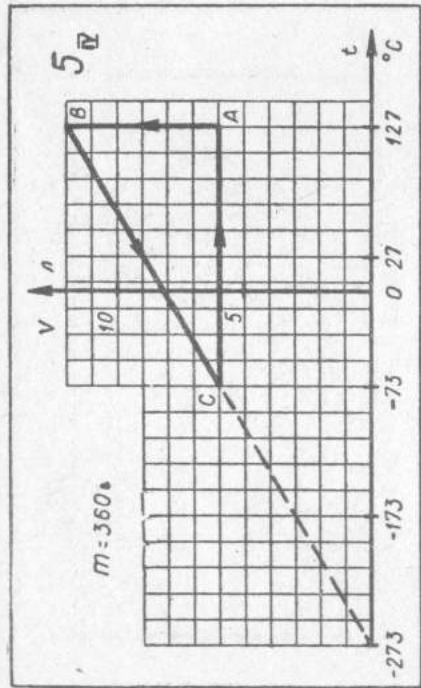




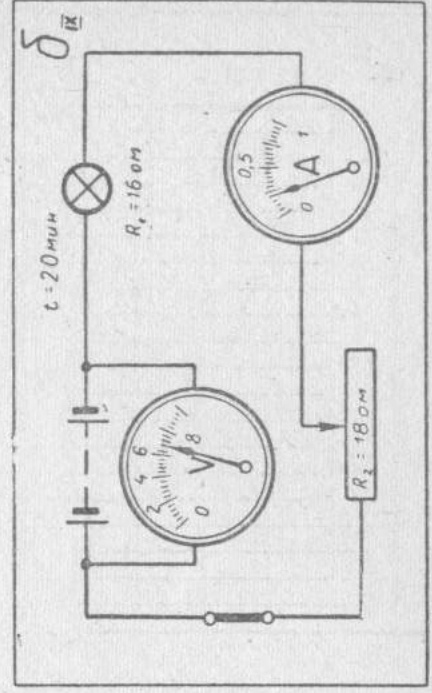
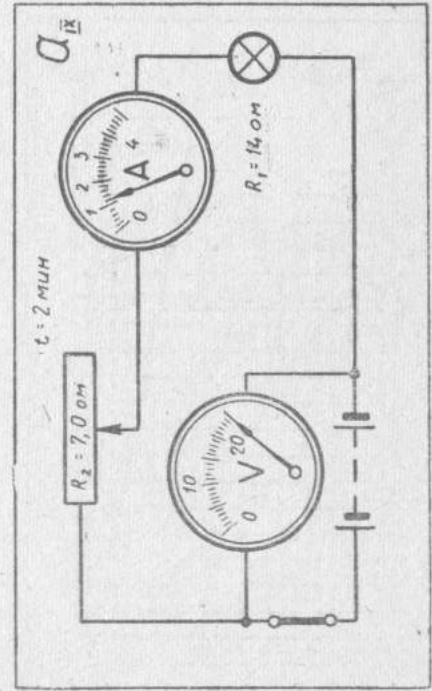
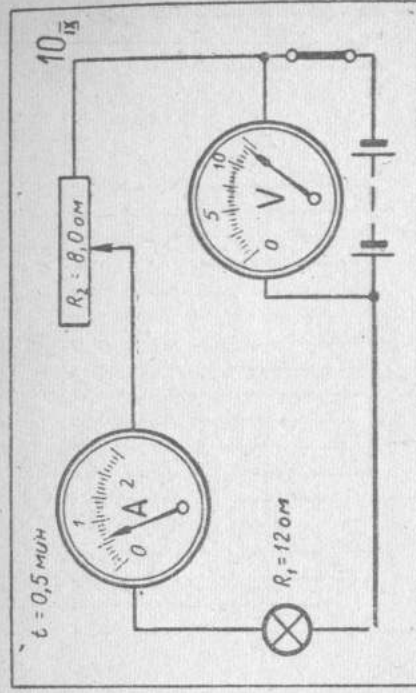
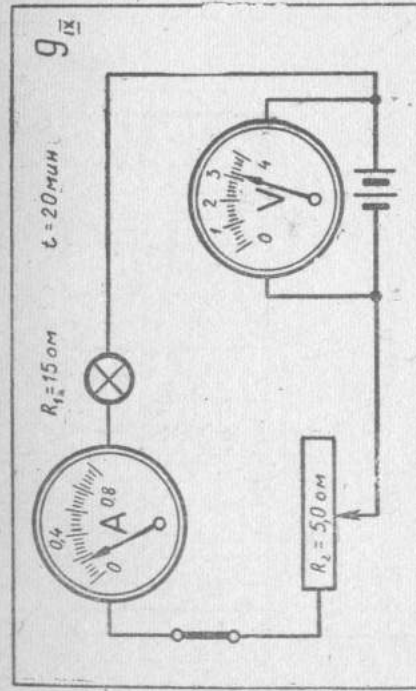
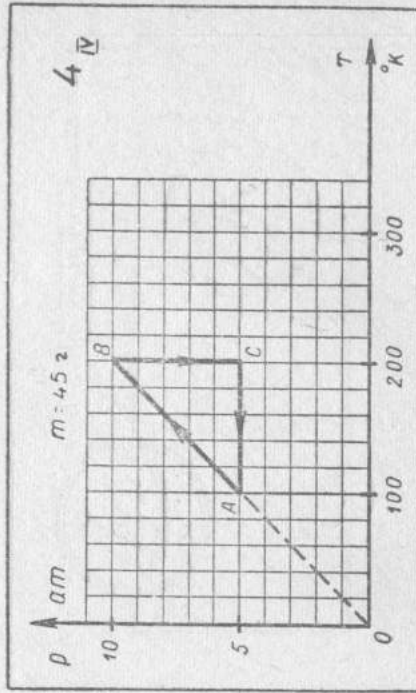
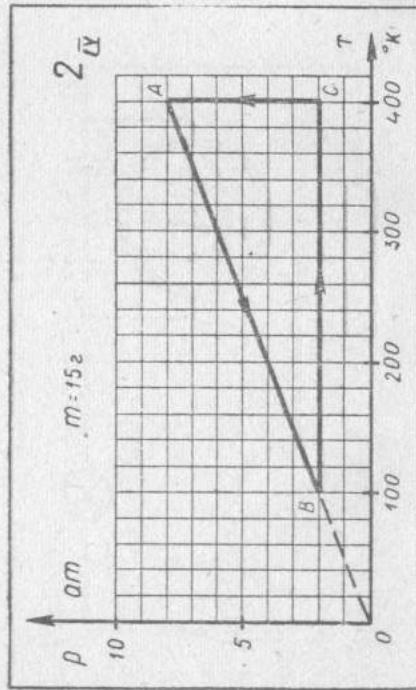
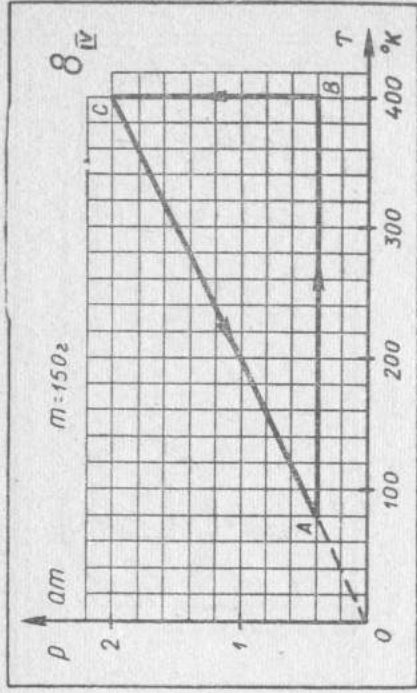
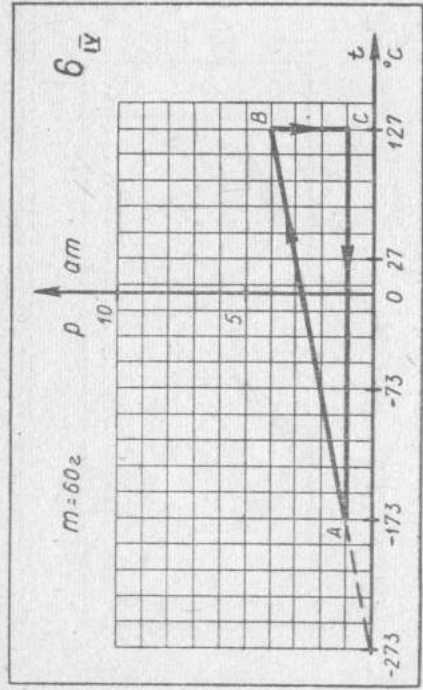




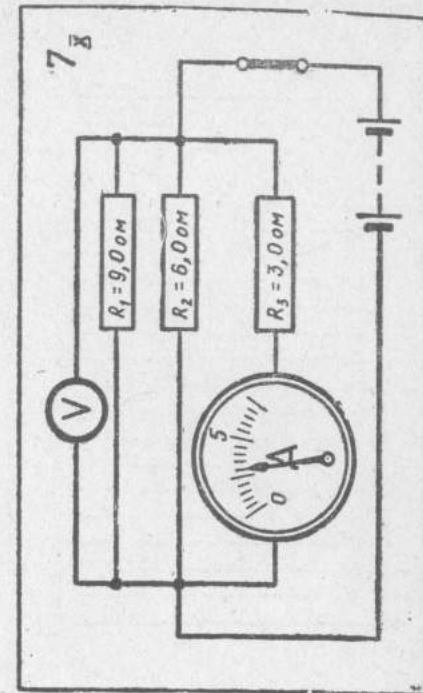
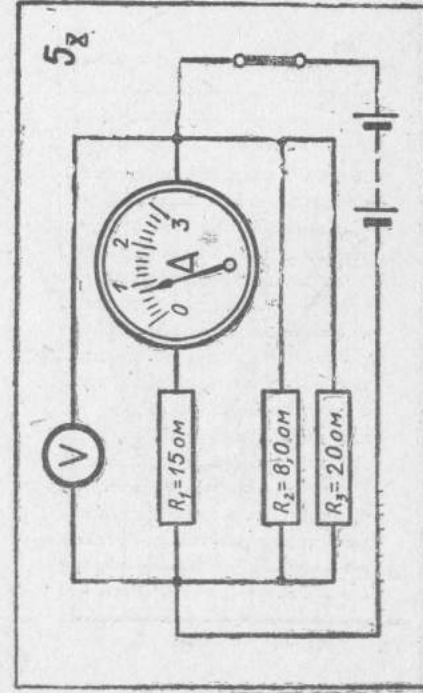
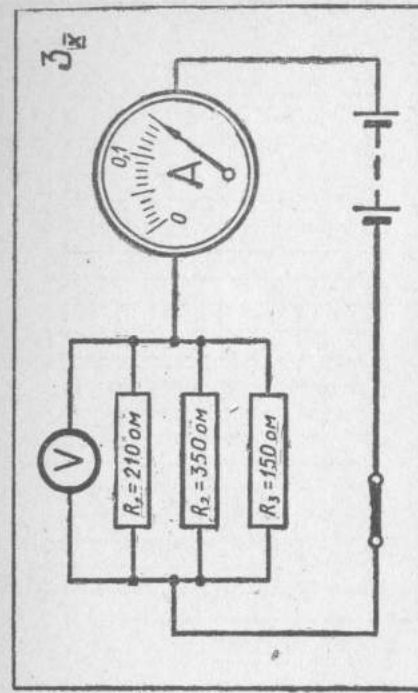
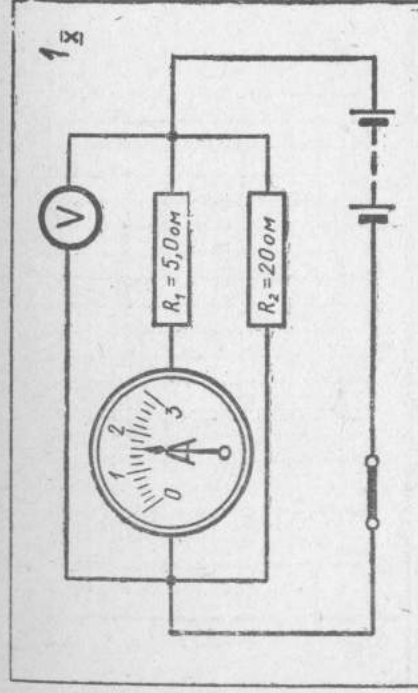
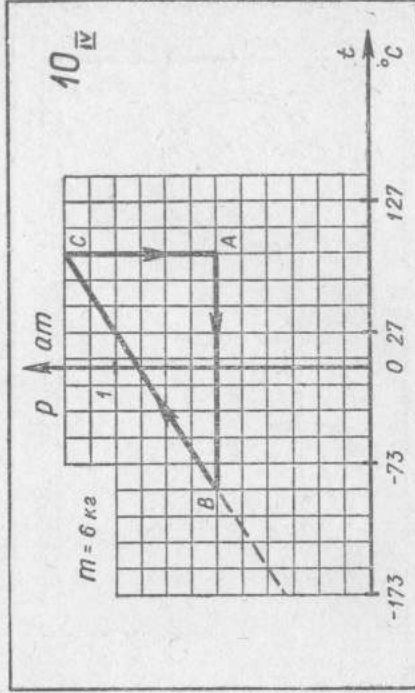
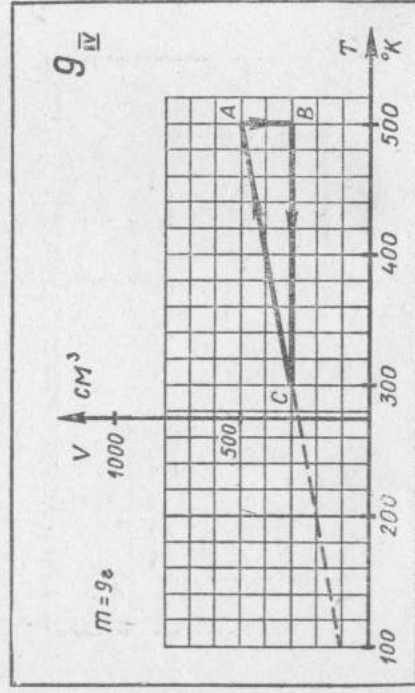
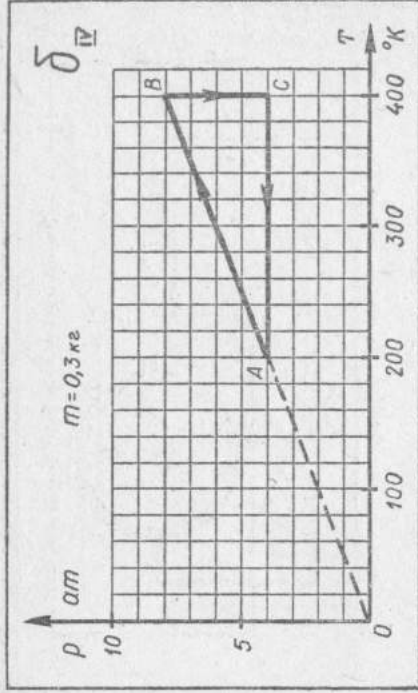
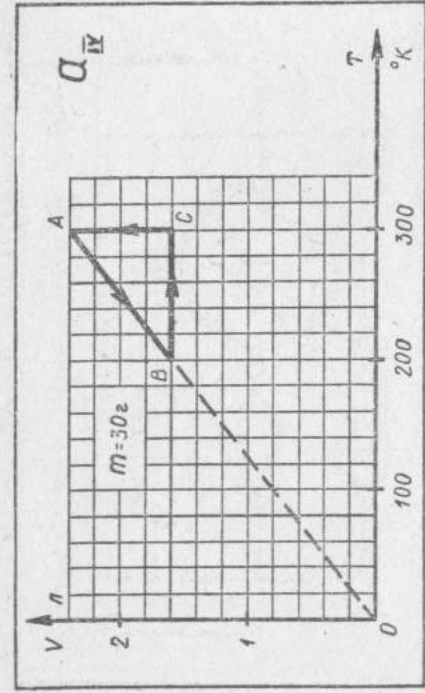


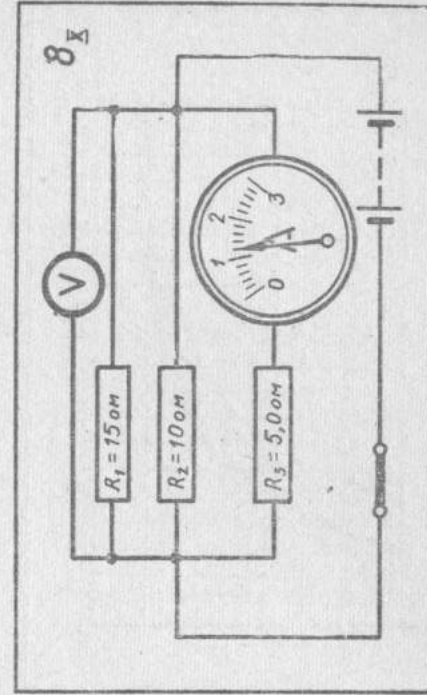
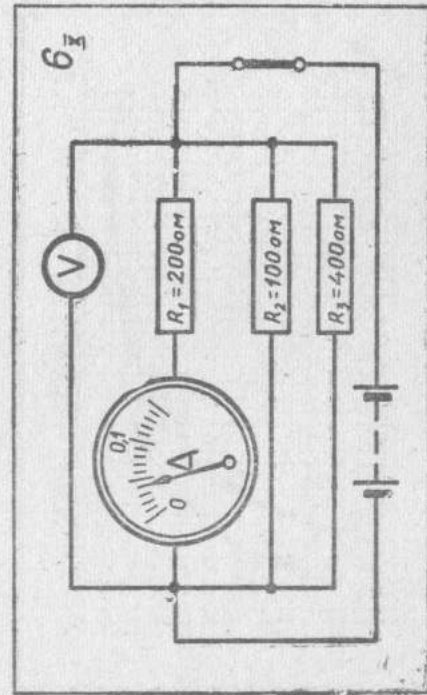
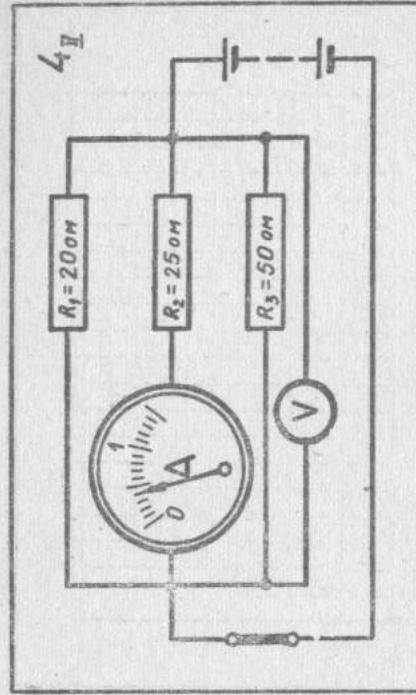
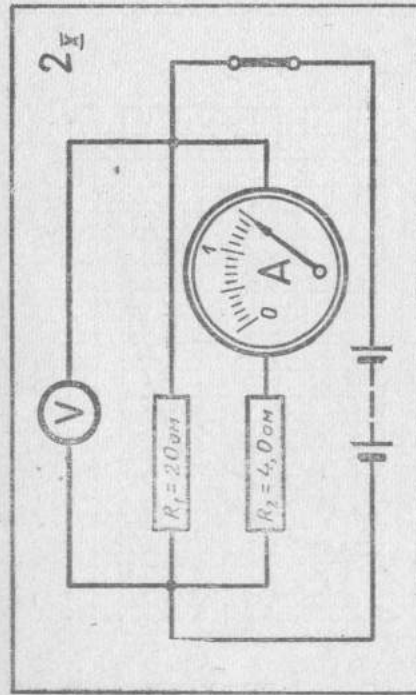
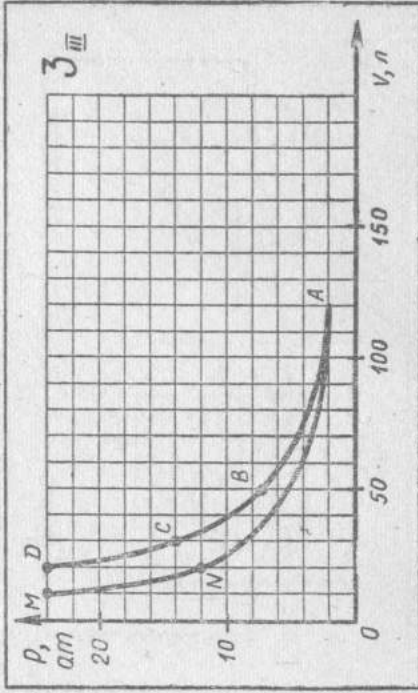
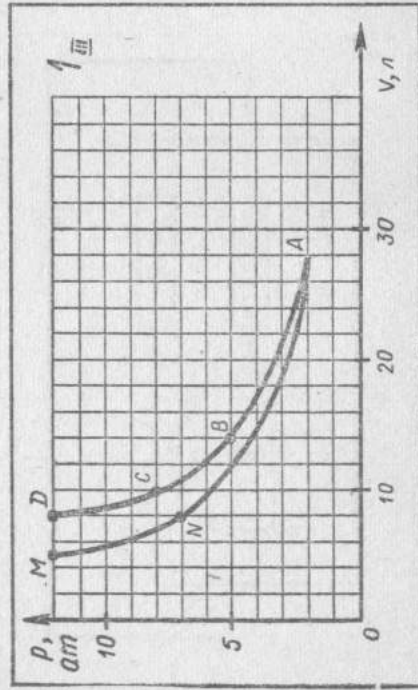
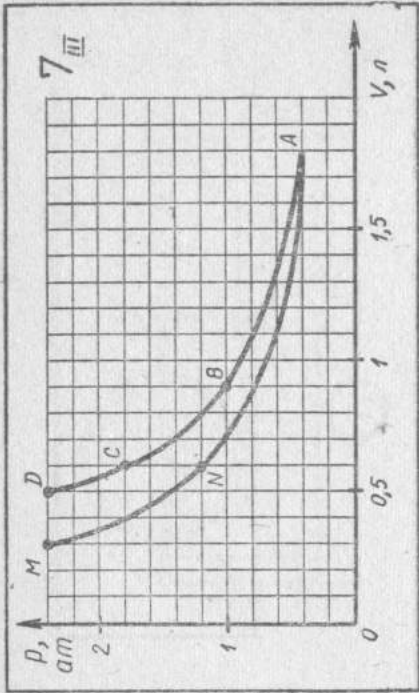
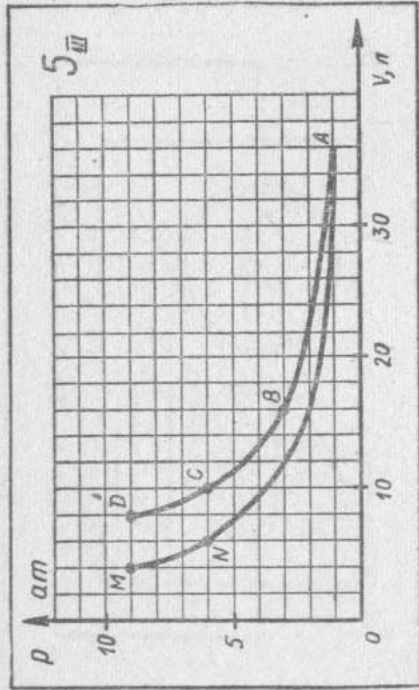


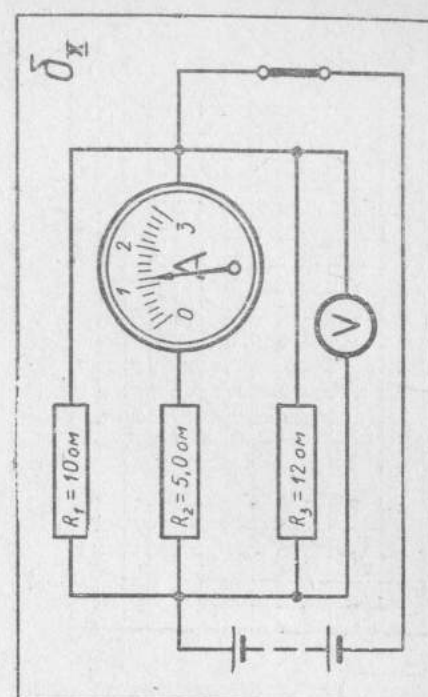
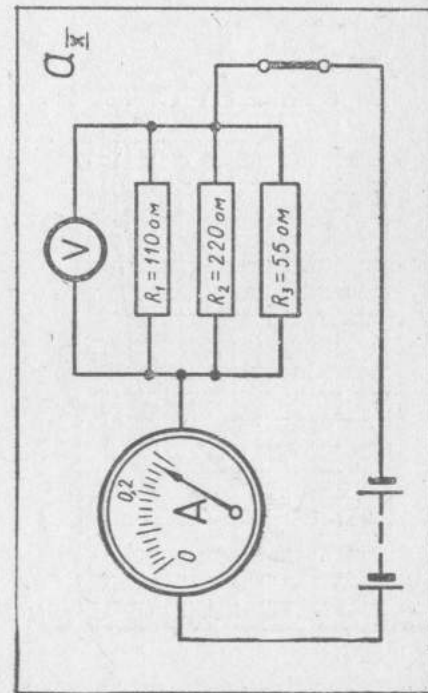
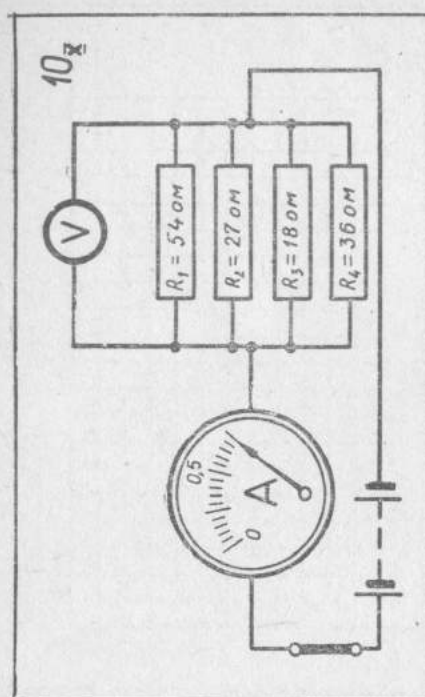
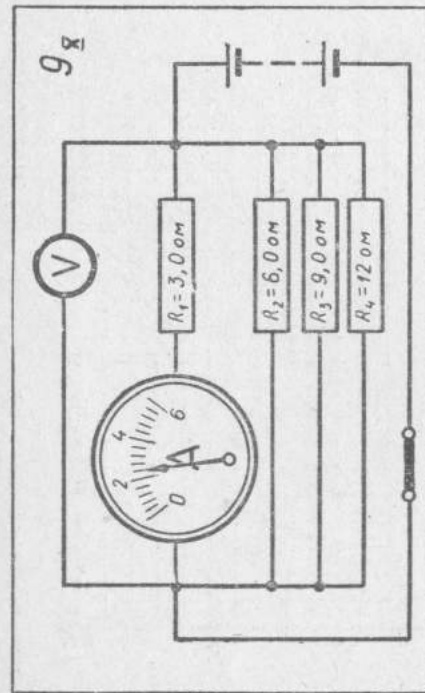
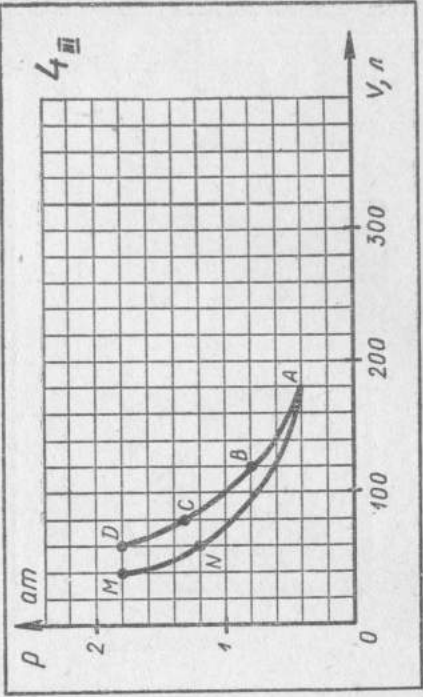
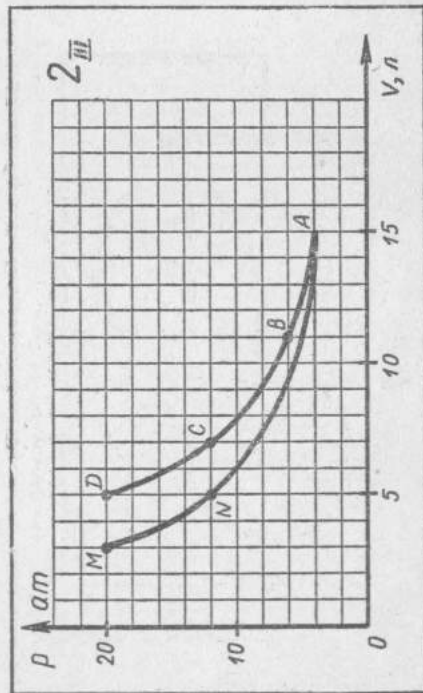
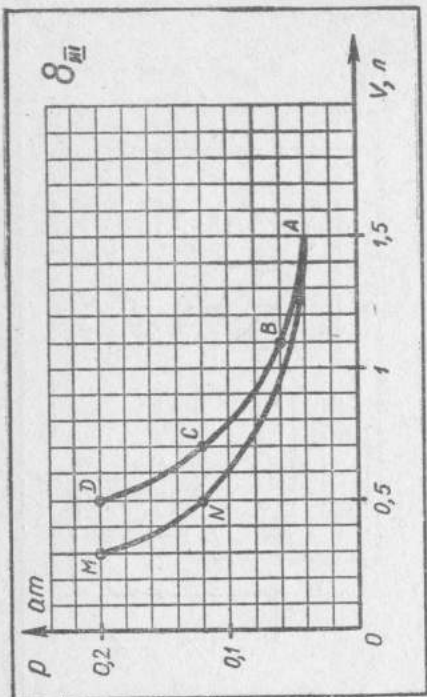
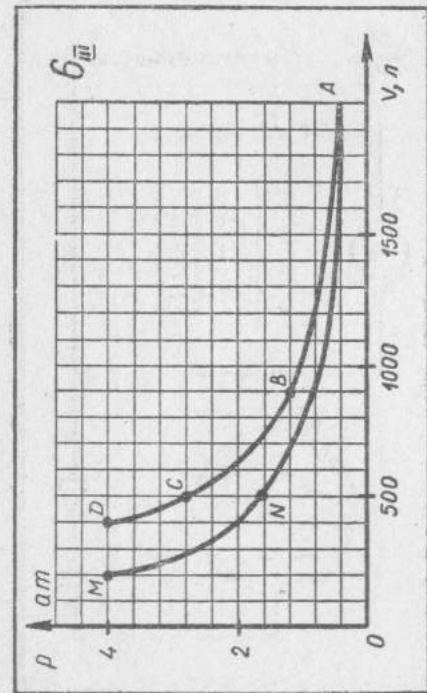




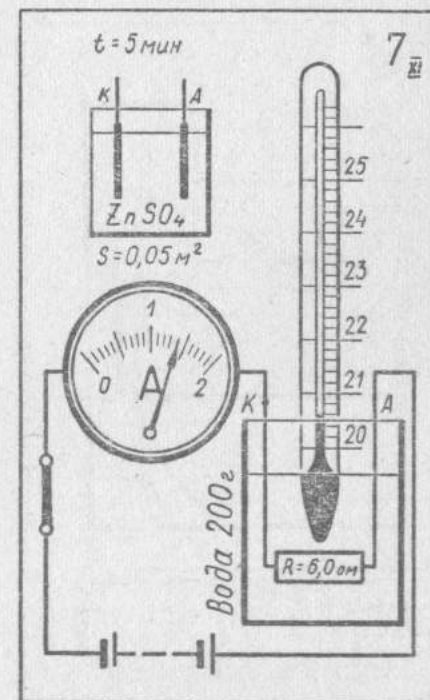
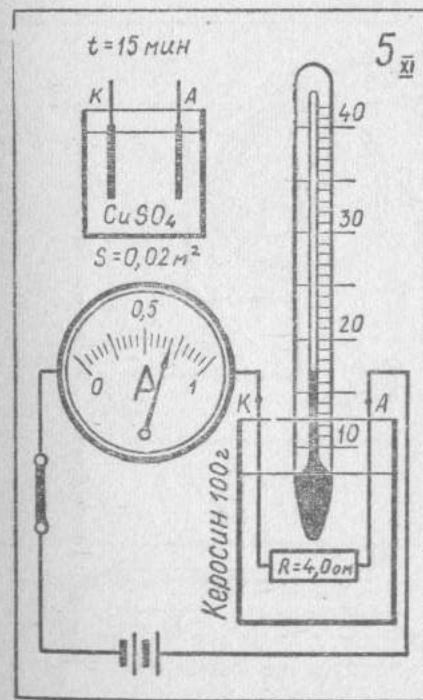
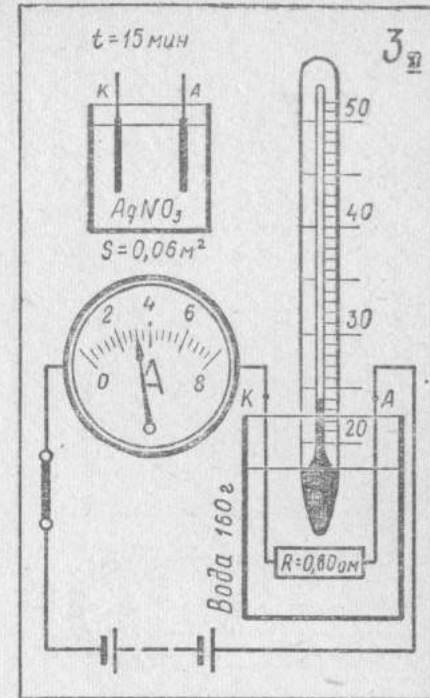
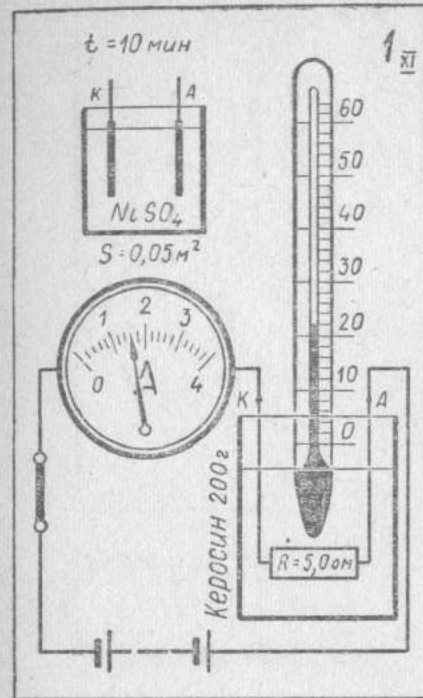
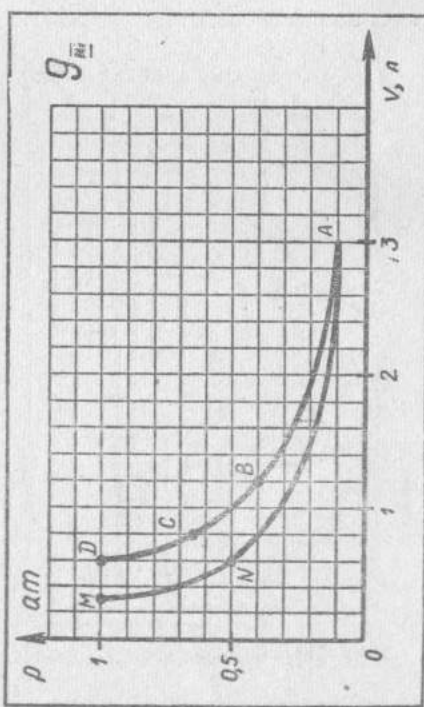
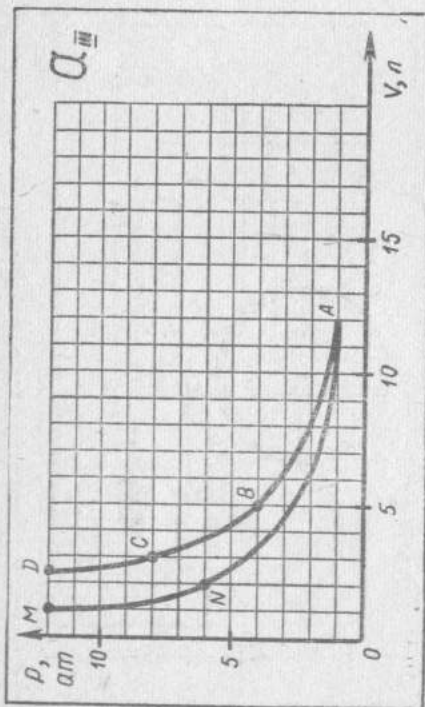
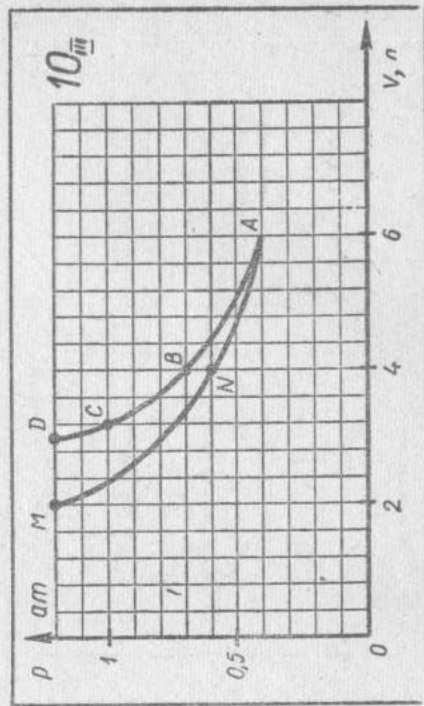
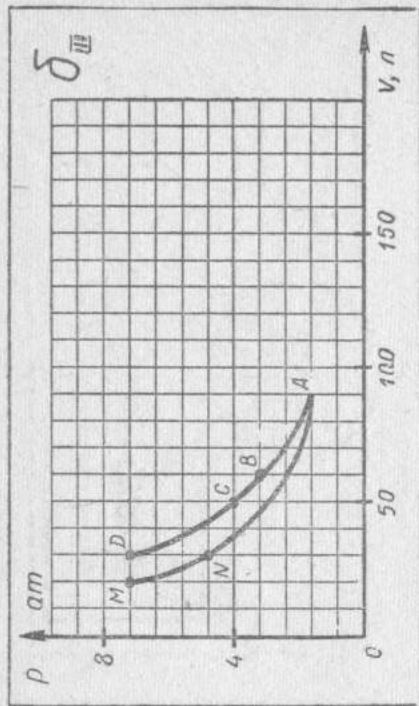


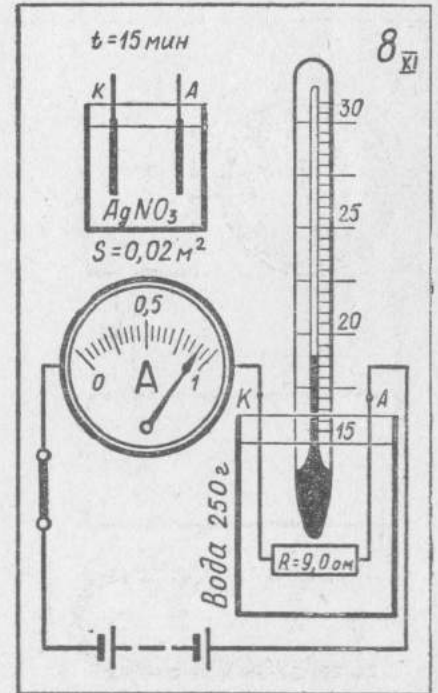
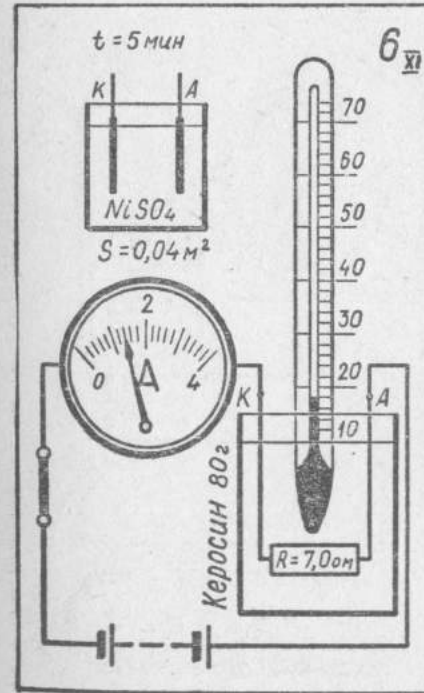
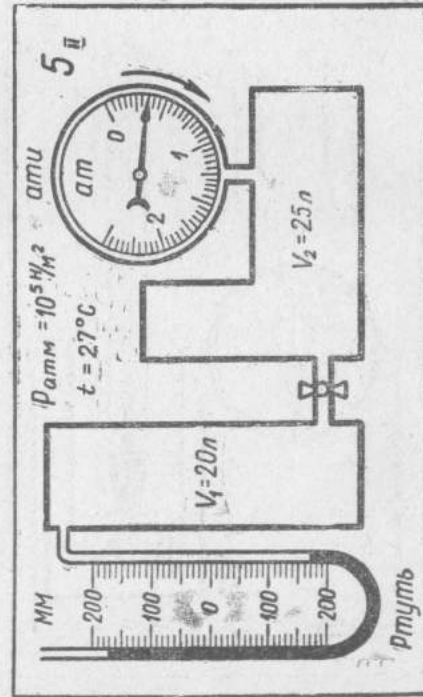
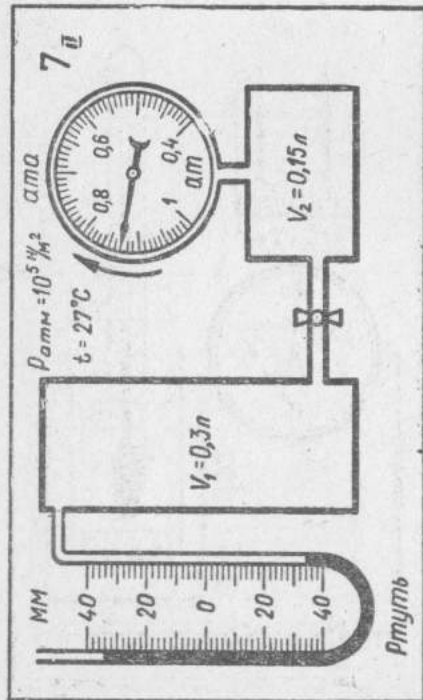
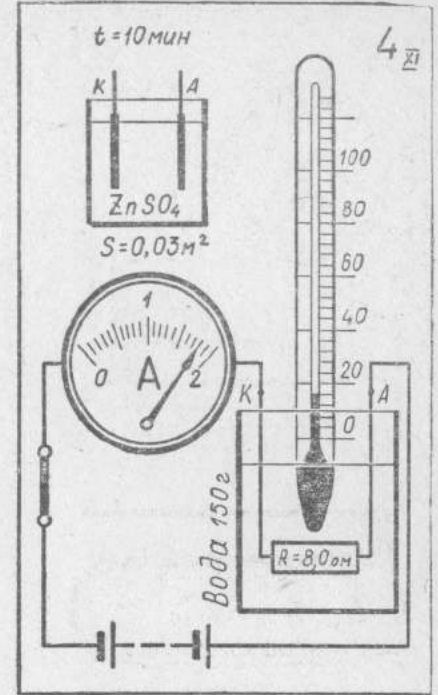
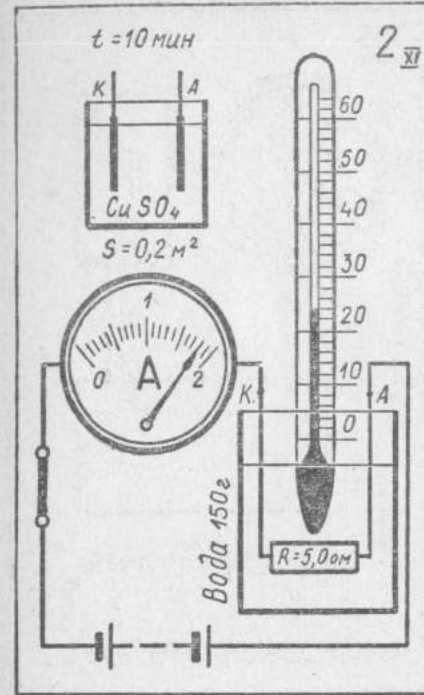
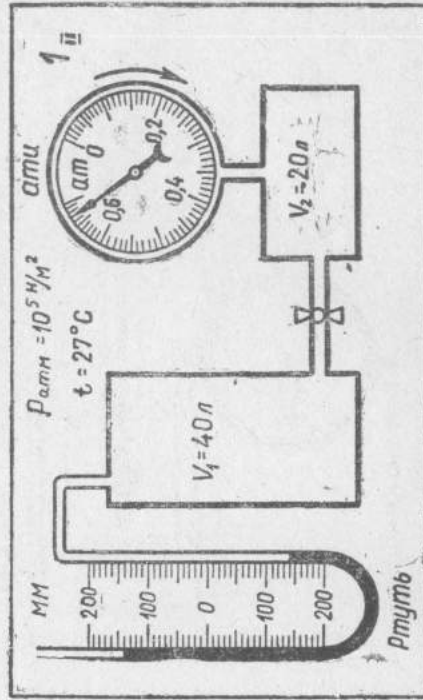
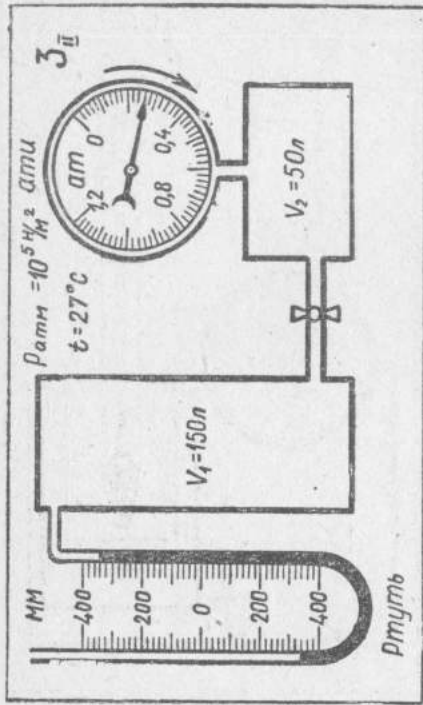




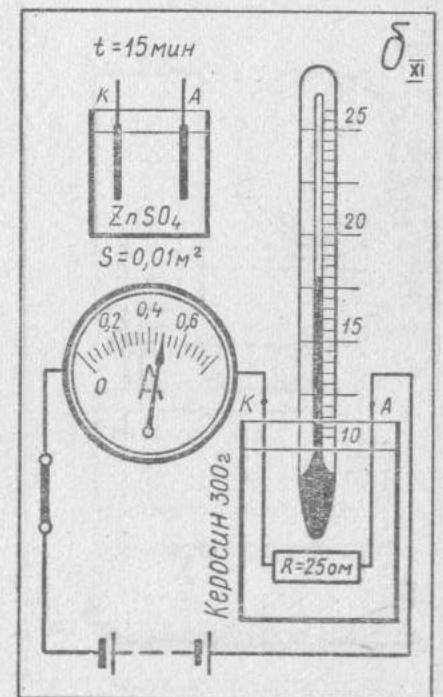
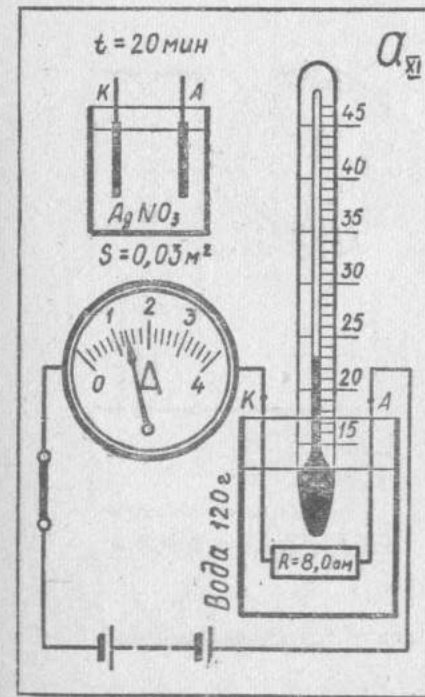
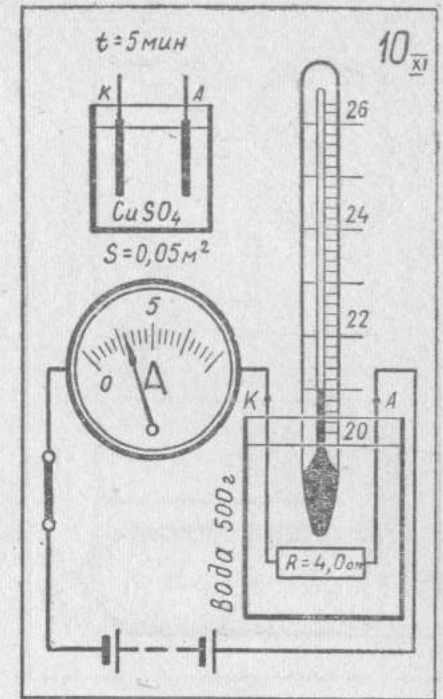
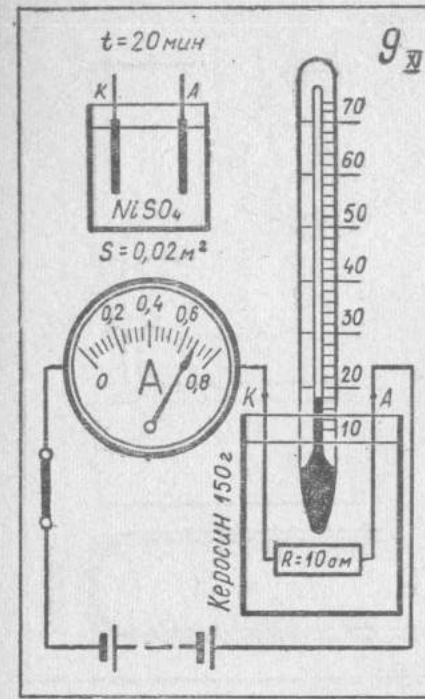
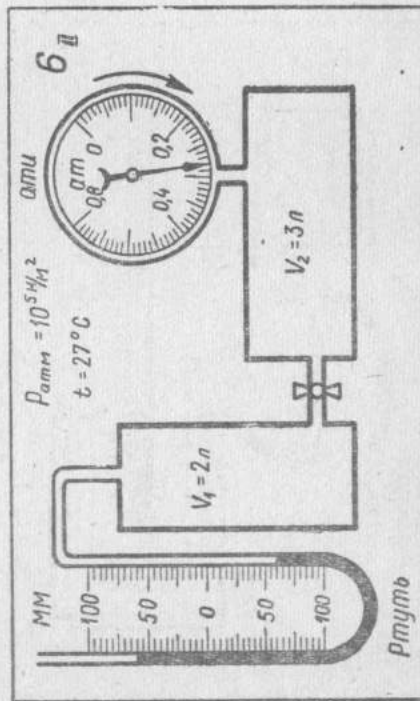
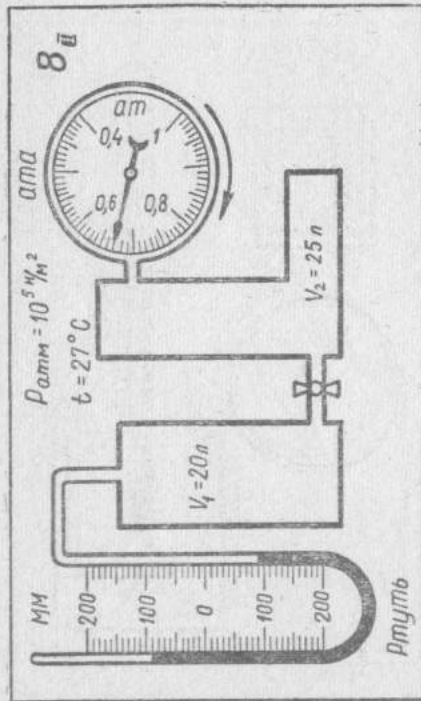
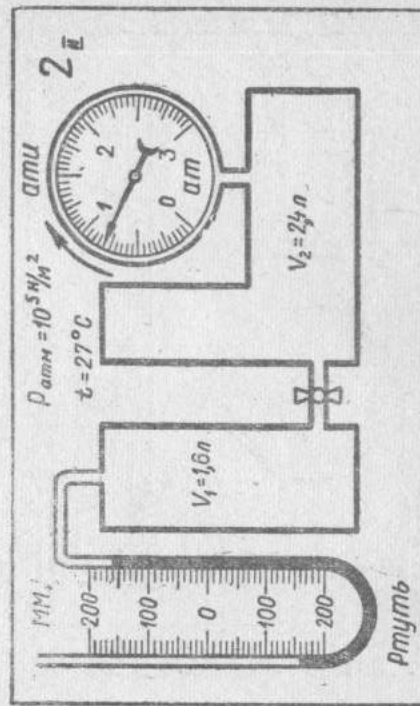
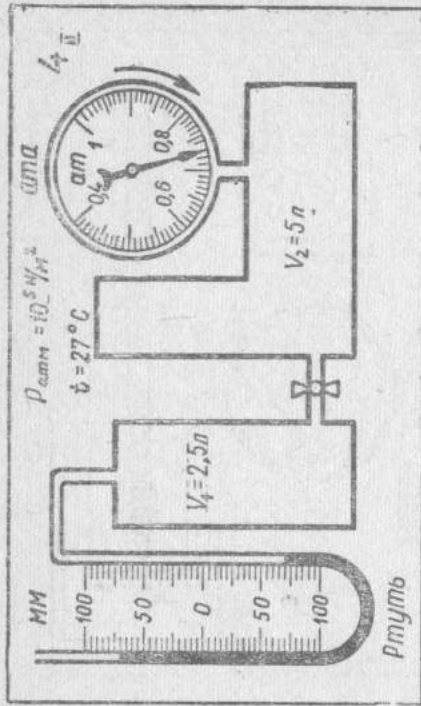




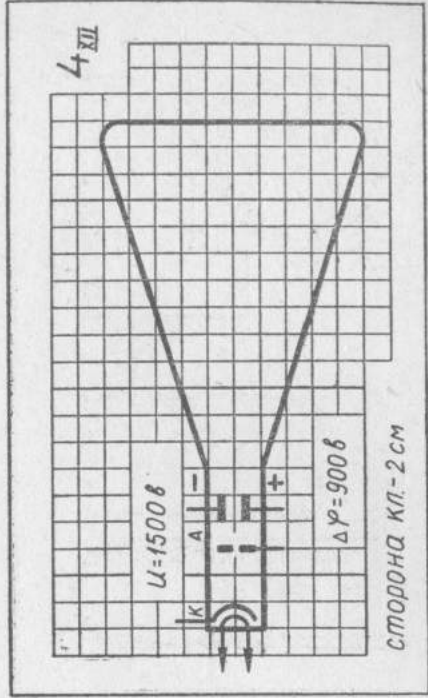
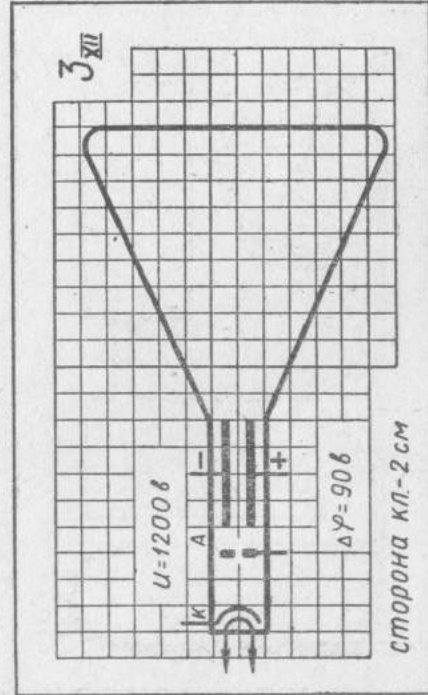
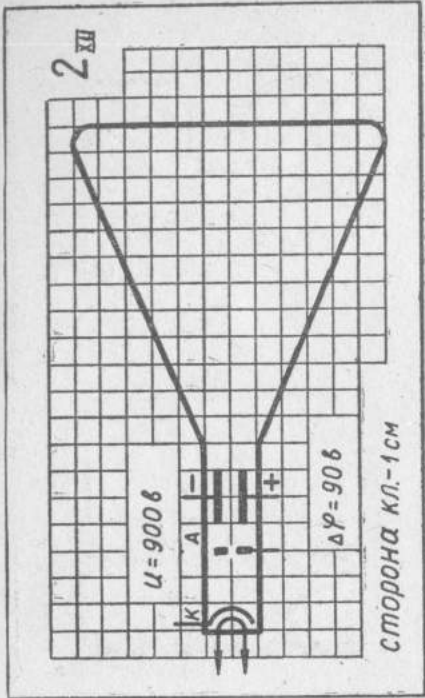
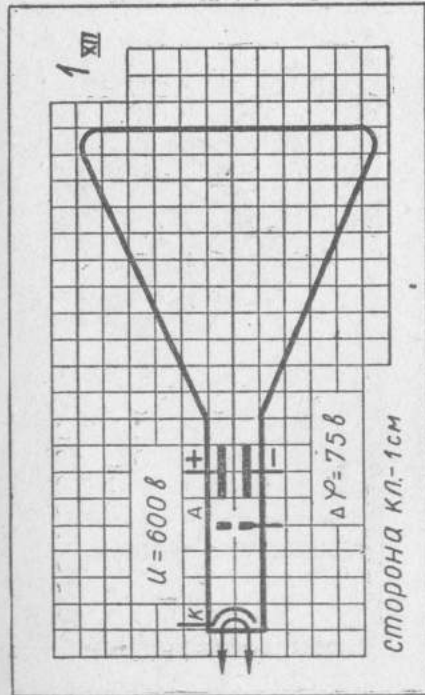
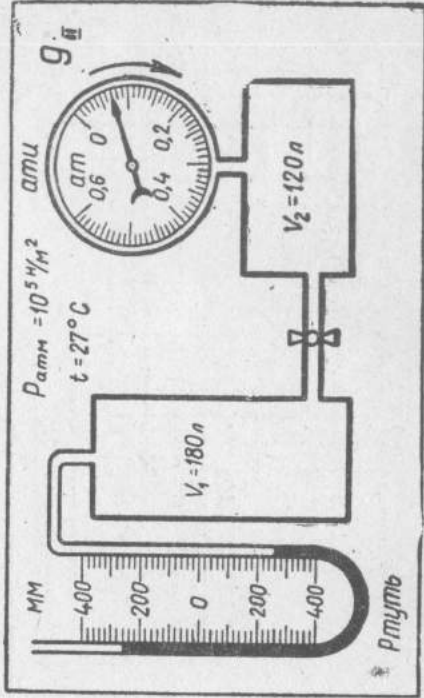
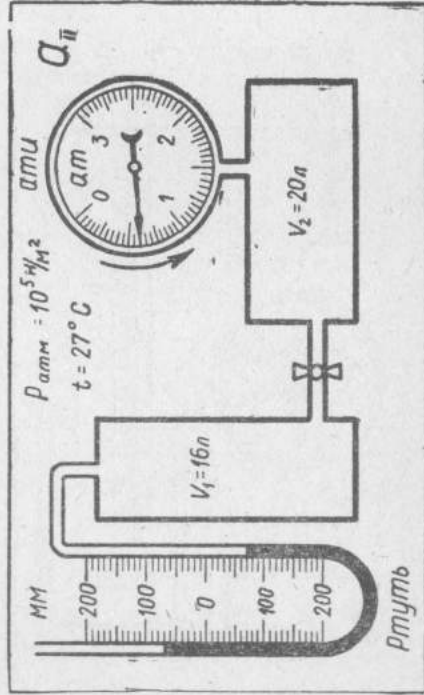
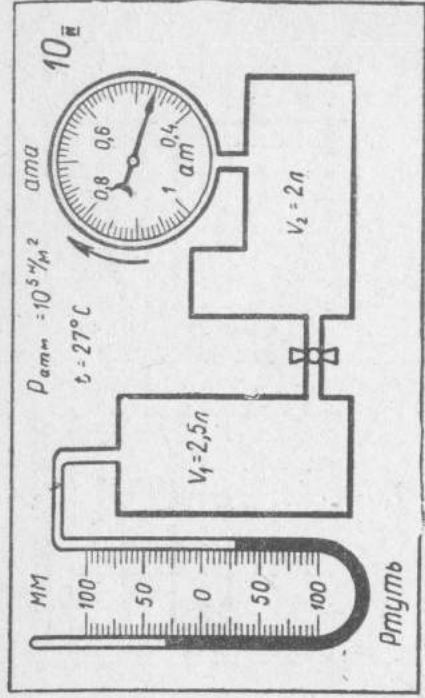
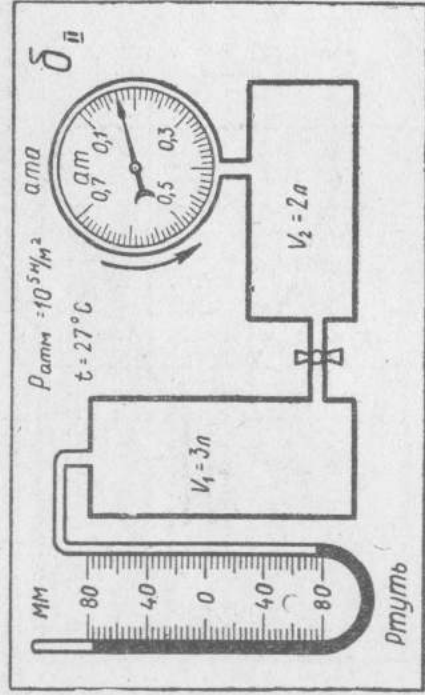


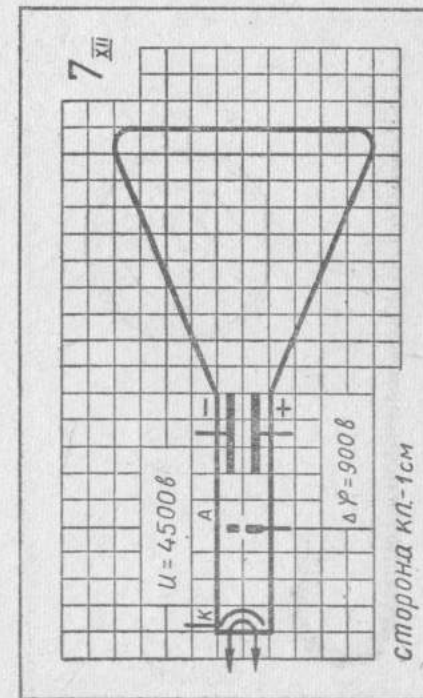
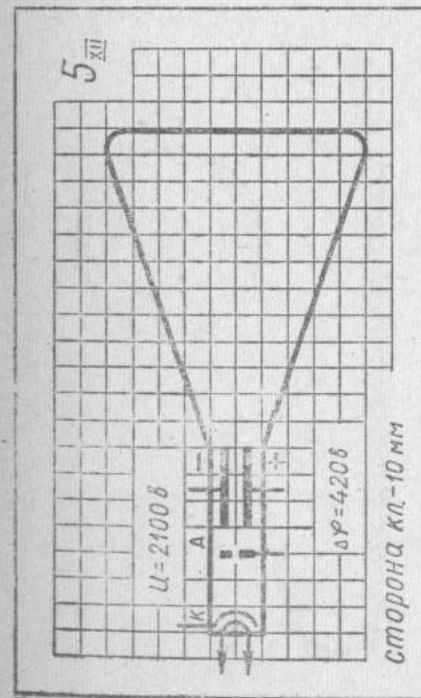
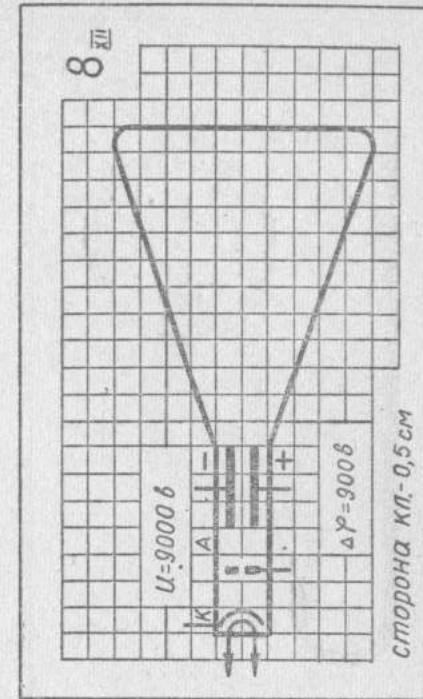
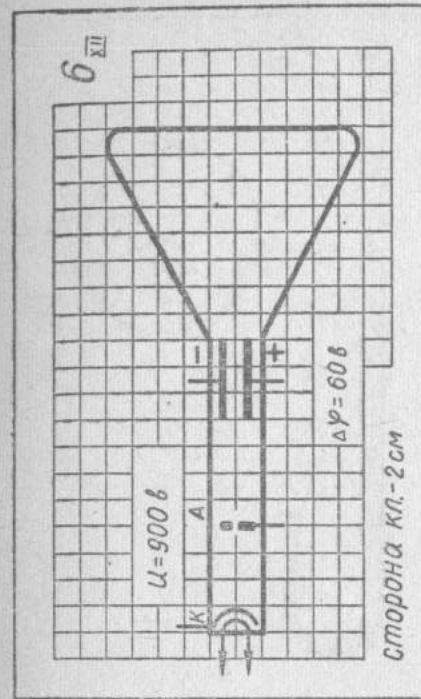
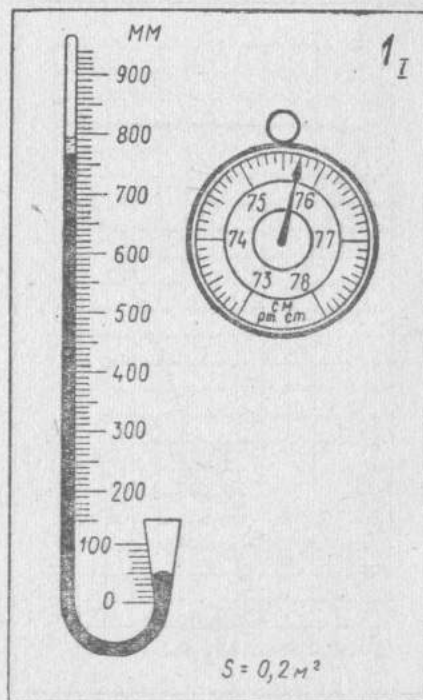
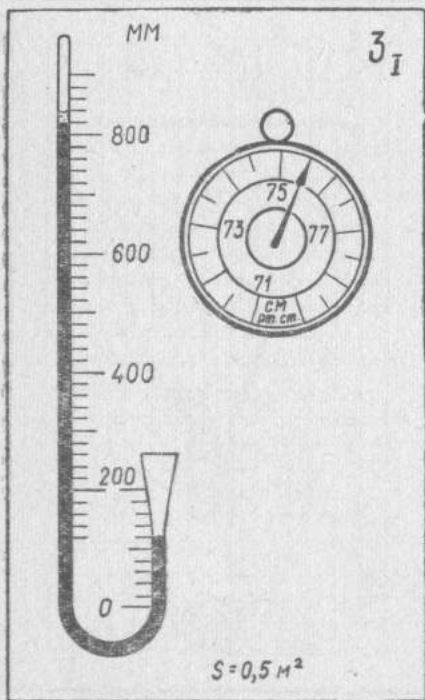
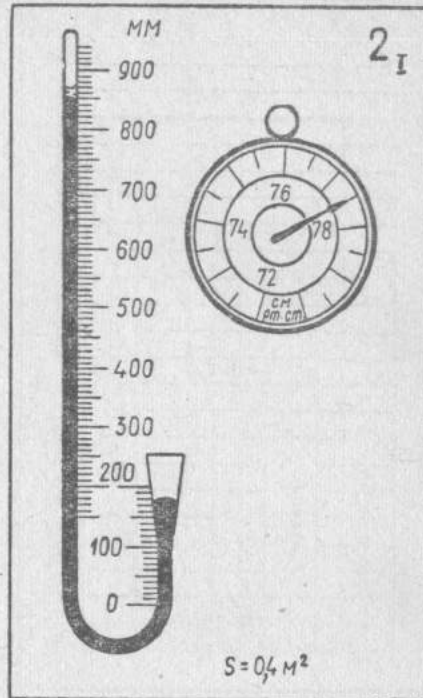
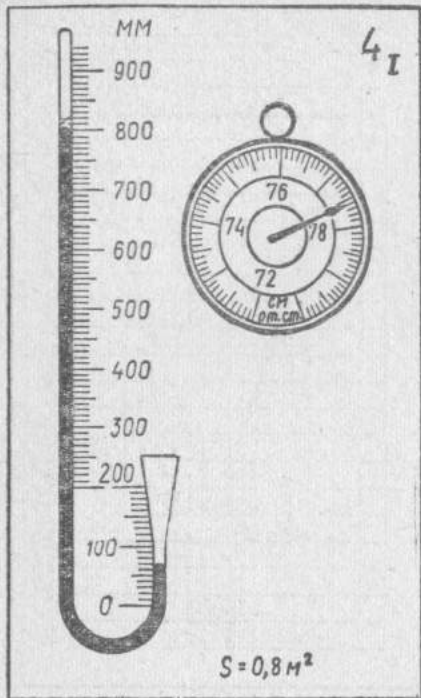




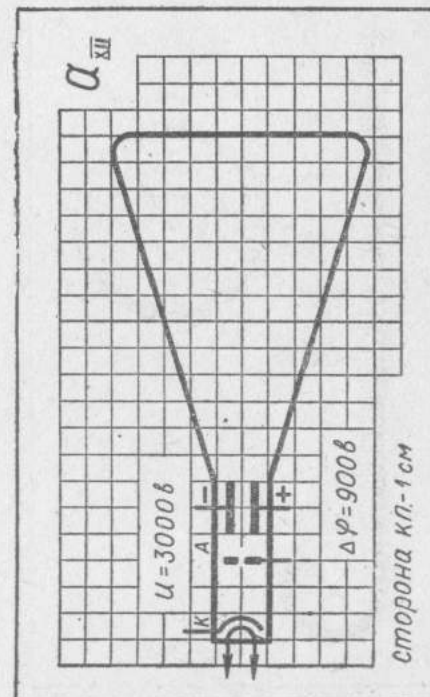
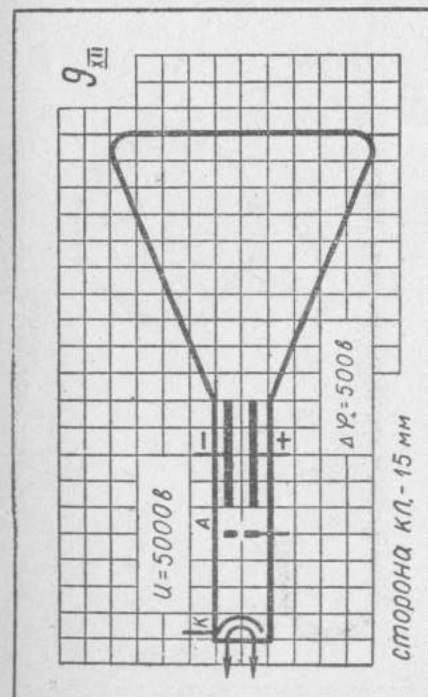
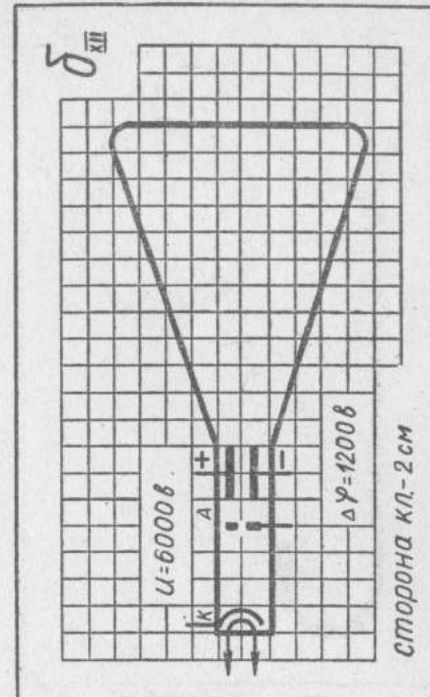
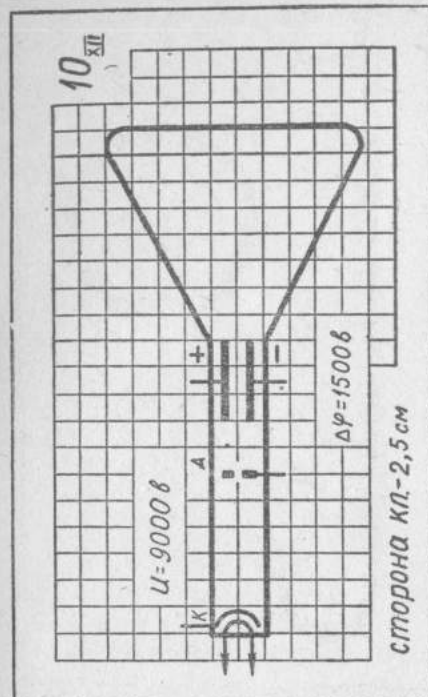
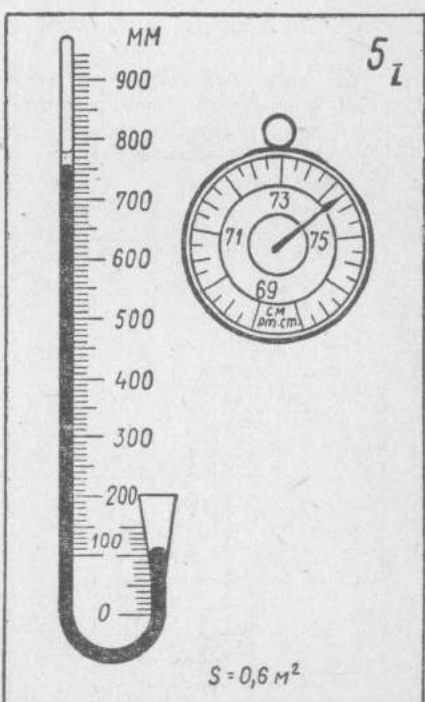
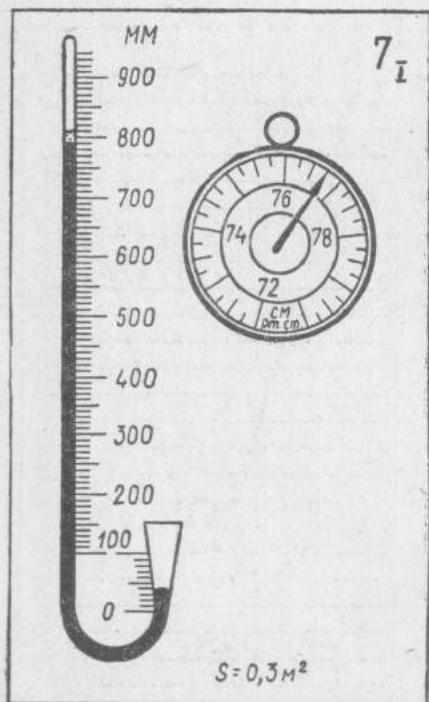
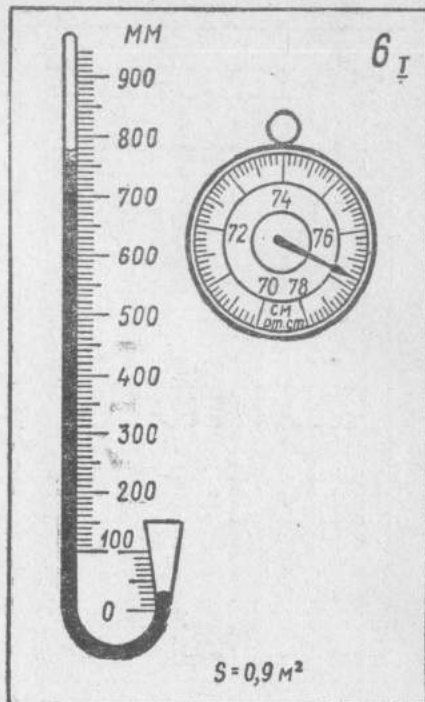
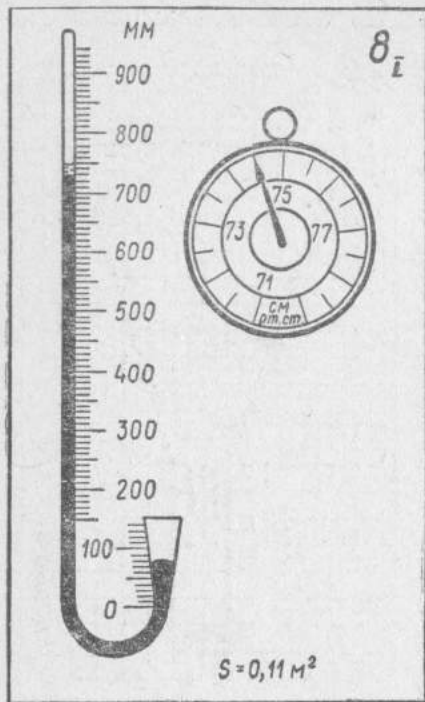




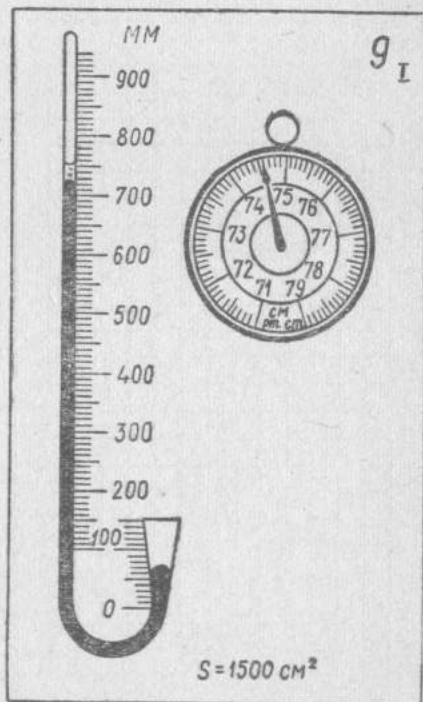
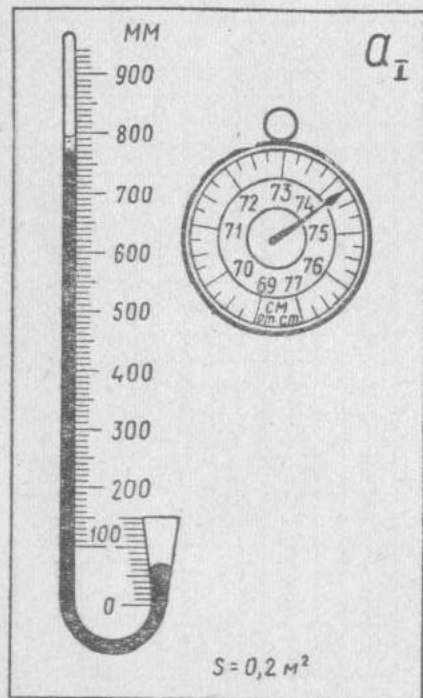
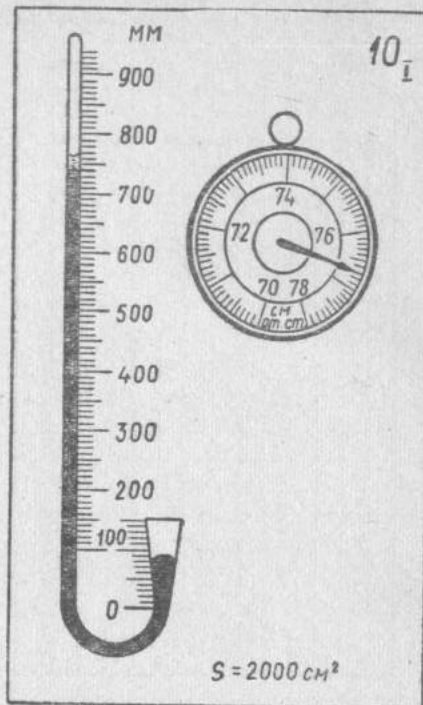
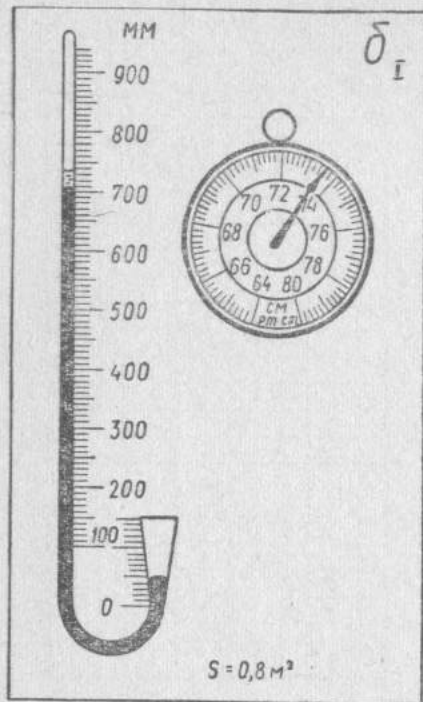












## СОДЕРЖАНИЕ

Введение . . . . .	3
Описание отдельных серий и методические рекомендации к ним . . . . .	7
I серия — Давление воздуха и пара . . . . .	—
II серия — Измерение давления газа манометрами . . . . .	13
III серия — Графики изотермы и адиабаты газа . . . . .	18
IV серия — Графики изменения состояния идеального газа в координатах $V, T$ или $p, T$ . . . . .	22
V серия — Изменение внутренней энергии теплопередачей . . . . .	28
VI серия — Гидравлический пресс . . . . .	33
VII серия — Взаимодействие электрических зарядов . . . . .	37
VIII серия — Конденсаторы . . . . .	43
IX серия — Постоянный ток . . . . .	48
X серия — Параллельное соединение проводников . . . . .	54
XI серия — Тепловое и химическое действие тока . . . . .	58
XII серия — Электронно-лучевая трубка . . . . .	63

Лев Иванович Скредин

**ДИДАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ ПО ФИЗИКЕ**  
**9 класс**

Редактор *Л. С. Мордовцева*  
Художник *Б. Л. Николаев*  
Художественный редактор *Т. А. Алябьева*  
Технический редактор *И. В. Квасницкая*  
Корректор *О. С. Захарова*

Сдано в набор 23/VI 1975 г. Подписано  
к печати 23/I 1976 г. 60×90<sup>1/16</sup>. Бумага  
тип. № 3. Печ. л. 9. Уч.-изд. л. 7,86.  
Тираж 300 тыс. экз. А 05515 Заказ 2200.

Ордена Трудового Красного Знамени  
издательство «Просвещение» Государст-  
венного комитета Совета Министров  
РСФСР по делам издательств, полиграфии  
и книжной торговли. Москва, 3-й проезд  
Марьиной рощи, 41

Типография им. Смирнова Смоленского  
облуправления издательств, полиграфии  
и книжной торговли, г. Смоленск,  
пр. им. Ю. Гагарина, 2.

Цена 21 коп.