



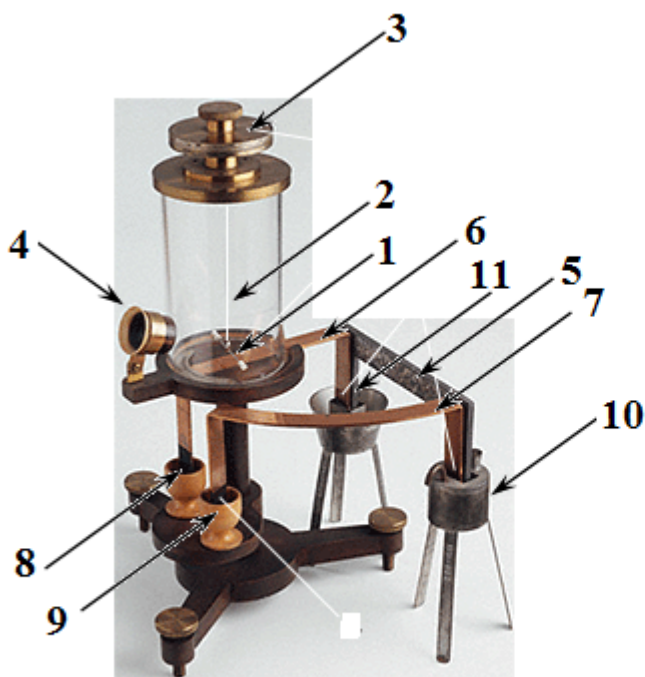
### Задача 9-3. Опыты Георга Ома.

Конечно, Вам известен закон Ома для участка цепи! Скорее всего, вы даже проверяли его экспериментально! Что может быть проще: взяли батарейку, вольтметр, амперметр, переменный резистор, соединительные провода; собрали простенькую электрическую цепь и убедились, что сила тока в цепи пропорциональна приложенному напряжению.

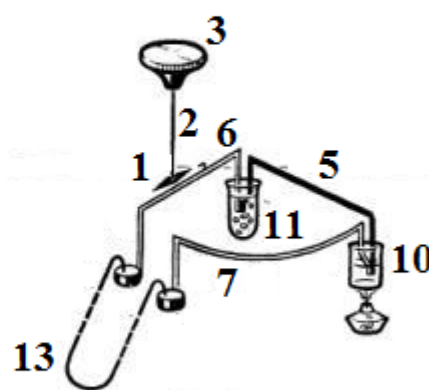
Но задумывались ли Вы, как этот закон был открыт экспериментально в 1826 году, когда розеток в доме, и батареек в магазине не было, не говоря уж о вольтметрах и амперметрах. Более того, в то время еще не было таких понятий как напряжение, сила тока, электрическое сопротивление!

В данной задаче вам предстоит разобраться с тем, как Георгу Симону Ому удалось провести эксперименты, приведшие к открытию закона Ома. Описание установки и все экспериментальные данные, приведенные в этой задаче, взяты из работы Г.С. Ома «Определение закона, по которому металлы проводят контактное электричество...»

#### Часть 1. Экспериментальная установка.



Прибор Г. Ома



Электрическая схема прибора Г. Ома

На рисунке приведена фотография модели прибора Ома, рядом показана электрическая схема этого устройства. Нумерация деталей установки одинакова на обоих рисунках. В качестве чувствительного элемента используется магнитная стрелка 1, подвешенная на тонкой полоске 2 из расплющенной золотой проволоки. Сверху полоска прикреплена к небольшому цилиндру 3, который можно вращать и с помощью угломерной шкалы измерять угол закручивания золотой полоски. В качестве источника тока использовалась термоэлектрическая батарея, состоящая из П-образной пластины 5, отлитой из висмута, к которой прикреплены две медные полоски 6 и 7. Вторые концы этих полосок помещены в чашки 8 и 9, заполненные ртутью. Концы пластины из висмута с медными полосками помещены в два сосуда 10 и 11, одном из которых (11) находится вода с плавающим льдом, во втором (10) – кипящая вода. В чашечки со ртутью (8-9) помещались куски 13

исследуемых проволок различной длины. Одна из медных полосок (6) располагалась горизонтально, строго вдоль магнитного меридиана. Магнитная стрелка размещалась над этой полоской, причем при отсутствии электрического тока в цепи стрелка ориентировалась строго вдоль полоски, при этом ее подвес (золотая полоска) не был закручен.

Принцип действия прибора и методика измерений заключались в следующем. Если концы термоэлектрической батареи (места стыков висмута и меди) находятся при разных температурах, то в ней возникает постоянное напряжение<sup>2</sup>, которое зависит от разности температур стыков. При замыкании цепи (т.е. при подключении провода 13 к чашечкам со ртутью) в ней возникает электрический ток. Электрический ток, протекающий по медной полоске, находящейся под магнитной стрелкой, создает магнитное поле, стремящееся повернуть стрелку перпендикулярно протекающему току. При этом момент силы, действующий на стрелку пропорционален силе тока и зависит от ориентации стрелки относительно направления тока. Стрелка поворачивается на некоторый угол. Затем, вращая верхний цилиндр, стрелку возвращают в исходное положение, вдоль магнитного меридиана и медной полоски. При этом с высокой точностью измеряют угол поворота верхнего цилиндра. По измерениям Г. Ома при закручивании золотой полоски в ней возникает момент сил упругости, пропорциональный углу закручивания, причем эта пропорциональность соблюдается, даже если угол закручивания достигает трех оборотов. Таким образом, Г. Ом измерял зависимость угла закручивания  $X$  золотой полоски от длины  $x$  и материала проволоки 13, подключенной к ртутным контактам.

Прежде чем приводить результаты измерений и их обработку кратко ответьте на следующие вопросы.

- 1.1 Чему равен момент силы, действующий на магнитную стрелку со стороны магнитного поля Земли, в положении равновесия стрелки при отсутствии тока в цепи?
- 1.2 Почему в экспериментах Г. Ома нет необходимости учитывать влияние магнитного поля Земли?
- 1.3 Покажите, что измеряемый угол закручивания золотой полоски пропорционален силе тока в цепи.
- 1.4 Зачем в данной установке использовались чашки со ртутью?

## Часть 2. Теоретическое описание.

В результате анализа экспериментальных данных Г. Ом пришел к выводу, что зависимость угла закручивания полоски подвеса  $X$  (в угловых градусах) от длины подключенной проволоки  $x$  (в дюймах) может быть описана формулой

$$X = \frac{a}{x + b}, \quad (1)$$

Где  $a$  и  $b$  - постоянные для данной серии опытов величины.

Как уже было сказано, угол закручивания пропорционален силе тока в цепи, поэтому будем считать, что  $X = cI$ , где  $c$  - постоянный для всех опытов коэффициент. Обозначим сопротивление единицы длины проволоки  $r$  (для разных материалов оно различно); постоянное сопротивление всей цепи без проволоки  $R_0$ ; напряжение, создаваемое батареей  $U_0$  (оно зависит только от разности температур концов батареи).

- 2.1 С помощью закона Ома, выразите зависимость угла закручивания  $X$  от длины присоединенной проволоки  $x$ , используя введенные физические параметры  $r, R_0, U_0, c$ .
- 2.2 Выразите параметры Ома  $a$  и  $b$  через физические параметры  $r, R_0, U_0, c$ .

<sup>2</sup> Точнее надо говорить об электродвижущей силе (ЭДС), но в данном случае это различие не слишком существенно.

### Часть 3. Результаты измерений и их обработка.

Во всех своих расчетах постарайтесь использовать все приведенные экспериментальные данные — это повышает точность результатов и обоснованность выводов. Оценивать погрешности не требуется. Необходимые графики постройте на отдельном бланке к данной задаче.

В первом эксперименте Г. Ом использовал куски разной длины медного провода, вырезанные из одного куска полоскового медного провода. Один конец термобатареи все время находился в чашке с плавающим льдом (его температура<sup>3</sup>  $0^{\circ}R$ ). В первой серии измерений второй конец термобатареи находился в сосуде с кипящей водой (ее температура  $80^{\circ}R$ ), во второй серии измерений второй конец термобатареи находился при комнатной температуре (которая равнялась  $7,0^{\circ}R$ ). В Таблице 1 приведены результаты измерений угла закручивания подвеса  $X$  от длины подключенной проволоки  $x$  для двух серий измерений.

Таблица 1 Медная проволока.

$x$ , дюйм	2,0	4,0	6,0	10,0	18,0	34,0	66,0	130,0
$X^{\circ}$ (при $80^{\circ}R$ )	305,25	281,50	259,00	224,00	178,50	124,75	79,00	44,50
$X^{\circ}$ (при $7,0^{\circ}R$ )	27,00	25,00	23,33	20,00	15,50	10,75	6,50	3,67

3.1 Покажите, что в обеих сериях измерений полученные результаты хорошо описываются формулой Ома (1). Для этого постройте графики полученных зависимостей, в таких координатах, чтобы они были линейны.

3.2 Рассчитайте значения коэффициентов Ома  $a_1, b_1$  и  $a_2, b_2$  для обеих серий измерений.

3.3 Покажите, что значение параметра  $R_0$  можно считать примерно одинаковым в обоих случаях. Объясните возможные причины их различия.

3.4 Рассчитайте длину (в дюймах) использованной проволоки, которая имеет сопротивление равное сопротивлению  $R_0$ , когда второй конец термобатареи помещен в кипящую воду.

3.5 Покажите, что напряжение, создаваемое термобатареей, пропорционально разности температур ее концов.

3.6 Зимой или летом были проведены представленные измерения?

В таблице 2 приведены результаты измерений угла закручивания подвеса при использовании латунной проволоки (второй конец батареи в кипящей воде).

Таблица 2

$x$ , дюйм	2,0	4,0	8,0	16,0
$X^{\circ}$ (при $80^{\circ}R$ )	111,50	64,75	37,00	19,75

3.6 Покажите, что и в этом случае значение параметра  $R_0$  можно считать таким же, как и при использовании медной проволоки.

3.7 Найдите длину (в дюймах) медной проволоки, сопротивление которой равно сопротивлению 1 дюйма использованной латунной проволоки.

<sup>3</sup> Г. Ом использовал шкалу Реомюра. Приведенных в условии данных хватает, чтобы при необходимости перейти к шкале Цельсия.