

Корнеев Валерий Трофимович

*Почётный работник высшего профессионального
образования Российской Федерации.*

*Директор центра довузовской подготовки
БГТУ им. В.Г. Шухова,
старший преподаватель кафедры физики*



О расчете электрических схем

Статьи по электрическим схемам (это первая из таких статей) могут быть полезны тем, кто только приступил к изучению законов постоянного тока.

Рассмотрим расчет не содержащих источников энергии участков электрических цепей – от самых простых до достаточно сложных. Рассмотрение сопровождается решением задач, причем в каждом следующем примере или задаче добавляется новый элемент знаний.

Бывает так, что и преподаватель начинает думать, что «это всем известно», и ученик думает, что «все давно понятно», а в итоге при обучении пропускаются важные вещи, без которых потом становятся непонятными целые разделы. Поэтому в цикле этих статей рассмотрение начинается с самых простых случаев, а на каждом следующем шаге повторяется уже известное и добавляется элемент нового. Но кроме того, что проходят в каждой школе, в данных статьях содержится и материал, немного выходящий за пределы школьной программы.

И, конечно же, всегда полезно знакомиться с историей развития идей. Наука ведь не появилась в кристально совершенном виде, а зарождается всегда в мучениях. Нужно помнить, что путь первопроходца тернист. Это поможет и воспитанию личной устойчивости: ведь и «состоявшимся гениям» было нелегко, поэтому и мы будем упорны и настойчивы в своем развитии. Об этом – во второй части статьи.

Часть 1.

Резистор. Сопротивление

Элементом электрической цепи называют идеализированное устройство, отображающее какое-либо из свойств реальной электрической цепи. Различают активные и пассивные элементы электрической цепи.

Основное свойство активных элементов – способность отдавать электрическую энергию в цепь. Пассивные элементы преобразуют электрическую энергию в другие виды или накапливают энергию.

Резистор (от лат. *Resisto* – сопротивляюсь) – пассивный элемент электрических цепей, обладающий определённым или переменным значением электрического сопротивления.

Электрическое сопротивление – физическая величина, характеризующая свойство проводника препятствовать прохождению электрического тока и равная отношению напряжения на концах проводника к силе тока, протекающего по нему. Часто сопротивлением называют радиодеталь, резистор. Говоря строго, резистор – это деталь, а сопротивление – свойство этой детали.

Сопротивление проводника, резистора зависит и от свойств самого проводника, и от условий, при которых он работает – от тока и др. Сначала рассмотрим сопротивление проводника в цепях постоянного тока в таких пределах, в которых сопротивление можно считать неизменным.

Договоримся обозначать на схемах резисторы (или проводники, имеющие сопротивление) так:



Рис. 1. Обозначение сопротивления на электрической схеме

Причем размеры этого прямоугольника (4 x 10) мм. Если требуется нарисовать схему покрупнее или помельче, то можно увеличить или уменьшить все размеры обозначений в строго определённое число раз (в соответствии со стандартами).

К этому надо привыкнуть сразу, с первого знакомства со схемами. Очень часто, начиная небрежно рисовать вместо правильных обозначений какие-то небрежные прямоугольники, получают не просто плохие рисунки, но ошибочные обозначения: вместо сопротивления на схеме появляется предохранитель, или обмотка реле, или иной элемент. Всего-навсего отклонились от стандартных обозначений, но смысл схемы поменялся!

Если же в схеме присутствует просто линия, соединяющая элементы, то при расчетах её сопротивление считается равным нулю (если в задаче специально не оговорено, что линия изображает проводник, обладающий определённым сопротивлением).

Сопротивление часто обозначается буквой R или r . Единица измерения сопротивления названа в честь исследователя, впервые исследовавшего закон протекания тока по металлам, *Ом*. Величина, обратная сопротивлению, называется проводимостью.

Закон Ома

Гемфри Дэви (1778–1829) в 1821 году установил зависимость проводимости проводника от его длины и сечения (проводимость прямо пропорциональна сечению проводника и обратно пропорциональна его длине) и отметил зависимость электропроводности от температуры. Понятие проводимости нагляднее и интуитивно понятнее, чем сопротивление, хотя бы по аналогии с течением воды и пропускной способностью русла (трубы). Поэтому естественным образом оно было осознано раньше. Дэви построил ряд

металлов в порядке уменьшения проводимости: серебро, медь, свинец, золото, цинк, олово, платина, палладий, железо.

В определённых пределах, сопротивление проводника можно считать постоянной величиной для данного проводника. Ом исследовал прохождение тока по металлическим цилиндрическим проводникам и установил, что сопротивление проводника постоянно, а протекающий по проводнику ток прямо пропорционален напряжению на концах проводника.

*Isolte Länge mal gemessen, so konnte ich zeigen
wie das Quadrat der Gefährlichkeit. Ich konnte
füllen man*

$$-dv = \alpha v^2 dx \quad \text{oder}$$

$$-\frac{dv}{v^2} = \alpha dx \quad \text{oder}$$

$$\frac{1}{v} = \alpha x + C \quad d v^{-1} = -\frac{dv}{v^2}$$

Ich finde so $v = i$ für $x = 0$ so wie

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{i} = \alpha x \quad \text{oder}$$

$$v = \frac{1}{\frac{1}{i} + \alpha x} \quad \text{oder}$$

$$iv = i^2 = \frac{i^2}{1 + \alpha i x} \quad \text{J. 1}$$

$$x = \frac{a}{b + x} \quad x^0 = \frac{a}{b}$$

*man auf die Formelung kein Druck ist gemacht
man ist*

$$(b+x)x \text{ ist ein konstante Größe (für } x \text{ und } b \text{).}$$

Рис. 2. Первая формулировка закона из записной книжки Ома

Точнее, Ом установил, что показания измерительного прибора в опытах подчиняются соотношению

$$X = \frac{a}{b+x} \quad (\text{см. рис. 2}), \text{ где } X - \text{интен-}$$

сивность воздействия магнитного поля проводника длиной x на магнит, подвешенный в «крутильных весах», a и b – константы, зависящие от батареи и прочих частей цепи. Сейчас мы знаем это соотношение в виде $I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$, где $\mathcal{E}$ – электродвижущая сила батареи, R и r – внешнее сопротивление цепи и внутреннее сопротивление источника.

Для участка цепи ток прямо пропорционален напряжению, приложенному к этому участку, $I = \frac{1}{R}U$.

Где R – *омическое сопротивление* или просто *сопротивление*, (Ом – ом);

U – разность электрических потенциалов (напряжение) на концах проводника, (В – вольт);

I – сила тока, протекающего между концами проводника под действием разности потенциалов, (А – ампер).

Сразу подчеркнем, что сопротивление проводника принимается постоянным только в определенных пределах. Кроме того, для многих материалов и устройств сопротивление меняется нелинейно. К этому мы вернемся позже.

Закон Ома для однородного участка цепи:

$$I = \frac{1}{R}U.$$

Зависимость тока от напряжения можно представить не только формулой, но и графически. Такой график называется *вольт-амперной характеристикой (ВАХ)*.

Для проводников, подчиняющихся закону Ома, ВАХ представляет прямо пропорциональную зависимость (рис. 3).

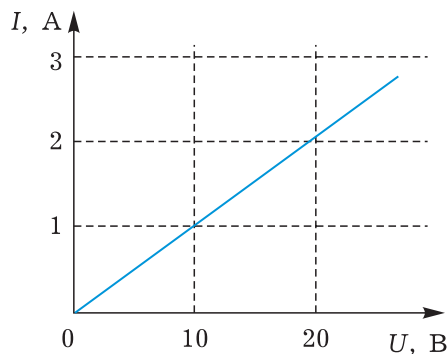


Рис. 3. ВАХ линейного сопротивления

Задача 1. По ВАХ (рис. 3) определить величину сопротивления.

Ответ: 10 Ом.

(В дополнение см. Часть 2. Георг Симон Ом).

Последовательное соединение резисторов

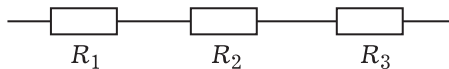


Рис. 4. Последовательное соединение сопротивлений

При последовательном соединении проводников к концу одного проводника подключается следующий проводник, причем разветвления нет: подключается только один проводник, весь ток, прошедший через первый проводник, переходит

во второй проводник. К концу второго проводника подключается третий и так далее. Сила тока в любых частях цепи одна и та же.

Сила тока, по определению, равна заряду, проходящему через сечение проводника в единицу времени:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}.$$

В металлических проводниках (их и исследовал Ом) носителями тока являются электроны. Это выяснилось на полвека позже исследований Ома. Заряд электрона неизменен, сила тока поэтому определяется количеством электронов, проходящих через поперечное сечение проводника. Если в цепи нет разветвлений, то

все электроны в ней будут переходить из одного проводника в другой, не теряясь и не добавляясь в пути.

Полное напряжение в цепи при последовательном соединении равно сумме напряжений на отдельных участках цепи: $U = U_1 + U_2 + U_3$.

Учитывая закон Ома, запишем: $IR = IR_1 + IR_2 + IR_3$.

Здесь R – полное сопротивление цепи. Так как ток через все сопротивления протекает одинаковый, то получим: $R = R_1 + R_2 + R_3$.

Таким образом,

При последовательном соединении общее сопротивление равно сумме сопротивлений:

$$R = R_1 + R_2 + R_3.$$

Что получим теперь?

Добавим в нашу схему переключки, как указано на рис. 5. Сможете ли вы рассчитать сопротивление такого участка цепи?

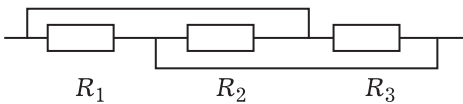


Рис. 5. Участок цепи с перемычками

Можно предложить пронумеровать выводы каждого сопротивления, обозначить крайние точки

(клеммы) схемы и проследить, куда подключен каждый отдельный вывод. На рис. 6 видно, что вывод 1 напрямую подключен к клемме А, вывод 2 – к клемме В. Проследим подключение каждого вывода и получим схему, представленную на рис. 7. Это – параллельное соединение.

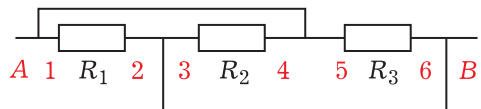


Рис. 6. Перечерчивание схемы

Параллельное соединение сопротивлений

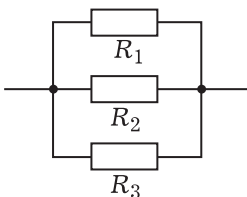


Рис. 7. Параллельное соединение

При параллельном соединении сопротивлений напряжение на каждом сопротивлении будет одинаковым, а токи через сопротивления будут определяться законом Ома, причем сумма токов даст общий ток в цепи (общий заряд, проте-

кающий по элементам цепи, сохраняется):

$$I = I_1 + I_2 + I_3;$$

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}.$$

Получим:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}.$$

При параллельном соединении общее сопротивление находим из суммы обратных сопротивлений:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}.$$

(Не забудьте при вычислении сопротивления перевернуть полученную дробь!)

Например, для двух параллельно соединенных сопротивлений получим формулу:

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

Величина, обратная электрическому сопротивлению, называется электрической проводимостью:

$$G = \frac{1}{R}.$$

Единица электрической проводимости – *сименс* (См). Названа по имени Вернера фон Сименса (правильнее было бы писать Зименс, но такая транскрипция уже стала у нас традиционной).

$$1 \text{ См} = \frac{1}{10 \text{ м}}.$$

Чем больше сопротивление проводника, тем меньше его проводимость, и наоборот. Таким образом, проводимость характеризует способность проводника проводить электрический ток.

Еще одна схема

Заменим на участке цепи, схема которого изображена на рис. 5, перемычки сопротивлениями.

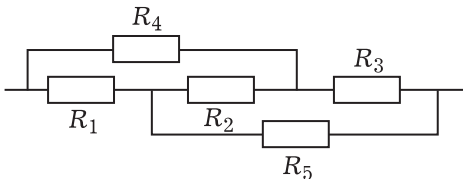


Рис. 8. Новая схема

Мы уже знакомы с приемом, который позволит перечертить схему в более наглядном виде. Схема будет выглядеть так (см. рис. 9).

Мостиковая (или мостовая) схема часто применяется, например, в приборостроении.

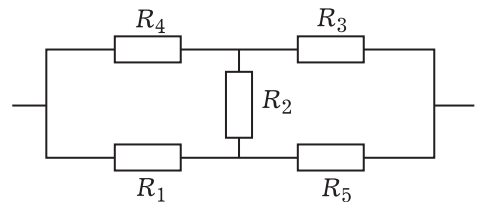


Рис. 9. Мостиковая схема

Задача 2. Уитстон ввел единицу сопротивления, а именно фут медной проволоки массой в сто гран (в системе английских мер торговый, аптекарский и тройский $1 \text{ гран} = 64,8 \text{ мг}$; в русском аптекарском весе $1 \text{ гран} = 62,209 \text{ мг}$), и показал, как ее можно применить для измерения длины проволоки по ее сопротивлению.

Выразить единицу сопротивления, введенную Уитстоном, в Омах.

Решение. $1 \text{ фут} = 0,3048 \text{ м}$.

Плотность меди

$$d = 8,93 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3.$$

Объем медной проволоки массой

$$6,5 \text{ г, равен } V = \frac{m}{d} = \frac{6,48}{8,93} = 0,726 \text{ см}^3.$$

Площадь поперечного сечения про-

$$\text{волоки } S = \frac{V}{l} = \frac{726}{304,8} \approx 2,38 \text{ мм}^2.$$

Сопротивление проволоки

$$R = \rho \frac{l}{S} = 0,017 \frac{0,3048}{2,38} =$$

$$= 2,18 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \approx 2 \text{ мОм}.$$

Ответ: $\approx 2 \text{ мОм}$.

Мост Уитстона

Вернемся к рис. 9 и заменим в схеме сопротивление R_2 гальванометром. Заменим сопротивление R_4 регулируемым переменным сопротивлением R , а вместо R_1 будем подключать неизвестное сопротивление R_x , которое необходимо измерить (Рис. 10).

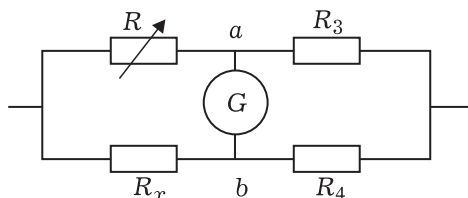


Рис. 10. Измерительная мостовая схема

Встречаются высказывания, что принцип измерения сопротивления основан на уравнивании потенциала средних выводов (а и b) двух ветвей. Если потенциалы $\varphi_a = \varphi_b$, ток через гальванометр не протекает, и его показания равны нулю.

Но можно привести примеры, когда потенциалы между точками какого-то участка цепи считаются равными, однако ток по этому участку протекает. Рассмотрим задачу, предложенную на школьном этапе Всероссийской олимпиады школь-

ников по физике 2021 г. (в изложении, акцентируемом на этот вопрос).

Задача 3. В схеме цепи, представленной на рис.11, сопротивления $R_1 = R_2 = 1 \text{ Ом}$, $R_3 = R_4 = 2 \text{ Ом}$. Напряжение на участке AB $U_{AB} = 6 \text{ В}$. Определить ток через перемычку CB.

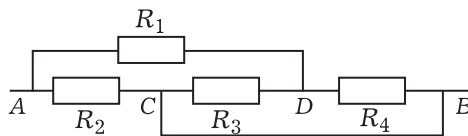


Рис. 11. К задаче 3

Решение. Перечертим схему в другом виде (рис.12):

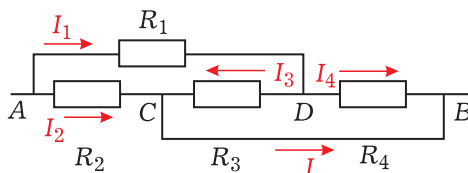
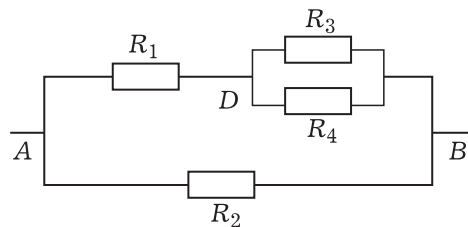


Рис. 12. К решению задачи 3



Видно, что потенциалы точек С и В равны. Ток, протекающий по верхней ветви,

$$I_1 = \frac{U_{AB}}{R_1 + \frac{R_3 R_4}{R_3 R_4}} = \frac{6}{1 + \frac{2 \cdot 2}{2+2}} = 3A.$$

Ток, протекающий в нижней ветви, $R_3 = R_4$, поэтому ток I_1 разделяется на два равных тока

$$I_3 = I_4 = \frac{I_1}{2} = \frac{3}{2} = 1,5A.$$

Искомый ток через перемычку равен $I = I_2 + I_3 = 6 + 1,5 = 7,5A$.

Ответ: $I = 7,5A$.

Заметим, что потенциалы на концах перемычки равны, но ток через неё протекает. Это противоречит соотношению $I = \frac{1}{R}U$. На самом деле, проводник имеет сопротивление, хотя и малое по сравнению с другими участками схемы. Поэтому на участке имеется падение напряжения, потенциалы точек немного различаются. Мы условно можем говорить о том, что разность потенциалов стремится к нулю, потенциалы на концах перемычки *практически* равны.

Задача 4. Получить условие сбалансированности измерительного моста (то есть условие, при котором ток через гальванометр равен 0).

Решение.

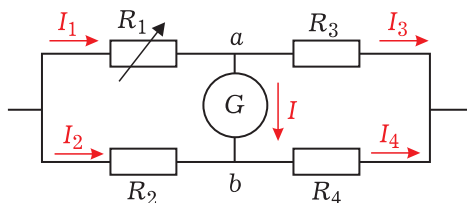


Рис. 13. К решению задачи 4

На мостиковой схеме (рис. 13) обозначим токи и запишем уравнения для суммы токов (следствие закона сохранения зарядов) и для суммы падений напряжений при обходе контуров.

Учтем, что при разветвлении заряды не теряются, не появляются ниоткуда, поэтому алгебраическая сумма токов в узлах равна нулю (это положение называется первым правилом Кирхгофа, узел – место соединения ветвей). Понятно, что при замкнутом обходе по элементам электрической цепи (говорят: при обходе по контуру), если не встречается источников электрической энергии, сумма падений напряжений будет равна нулю. (В дальнейшем мы рассмотрим второе правило Кирхгофа, которое здесь используется).

Получим:

$$\begin{cases} I_1 - I_3 - I = 0, \\ I_2 - I_4 + I = 0, \\ I_1 R_1 + I R_2 - I_2 R_2 = 0, \\ I_3 R_3 - I_4 R_4 - I R_2 = 0. \end{cases}$$

Мы добиваемся, чтобы ток через гальванометр был равен нулю $I = 0$.

С учетом этого условия система уравнений примет вид:

$$\begin{cases} I_1 = I_3, \\ I_2 = I_4, \\ I_1 R_1 = I_2 R_2, \\ I_3 R_3 = I_4 R_4. \end{cases}$$

Поделим третье уравнение на четвертое и получим условие сбалансированности моста:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}.$$

Отсюда, например, для нахождения неизвестного сопротивления в измерительной мостовой схеме (рис. 10) получим:

$$R_x = R \frac{R_4}{R_3}.$$

В решении последней задачи использованы правила Кирхгофа. К ним мы в дальнейшем еще вернемся.

(В дополнение см. Часть 2. «Алмазный метод»).

Часть 2

Георг Симон Ом



Георг Симон Ом
(<http://may-ekb.ru/?p=13298>)

Удивительный человек!

Да и время было удивительное (а когда оно не удивительно?).

Ом родился 16 марта 1787 в Эрлангене, а умер 6 июля 1854 в Мюнхене.

Его мать Элизабет Мария происходила из семьи портного. Умерла, когда Георгу исполнилось девять лет. Отец, слесарь Иоганн Вольфганг, был весьма просвещенным человеком, много занимался образованием сына и самостоятельно преподавал ему математику, физику и

философию. Далее – гимназия, Эрлангенский университет, в котором Георг изучал математические науки. После трёх семестров в 1806 году, бросив университет, Георг занимает место учителя в монастыре Готштадт.

Вот только некоторые из событий, которые произошли в период от отрочества Ома до его смерти.

В ведущих государствах мира происходит промышленная революция – массовый переход от ручного труда к машинному, от мануфактуры к фабрике. Общество трансформируется от преимущественно аграрного к индустриальному.

Война России и Австрии с Наполеоном, битва при Аустерлице (1805 г.).

Отечественная война 1812 года.

1803–1813 – Война с Пруссией.

Создание Священного союза России, Австрии и Пруссии (1815 г.).

Год без лета (1816), когда в Западной Европе и Северной Америке была необычайно холодная погода. До сегодняшнего дня он остаётся самым холодным годом с начала документирования погодных наблюдений. Необычный холод привёл к катастрофическому неурожаю. Весной 1817 года цены на зерно выросли в десять раз, а среди населения раз-

разился голод. Десятки тысяч европейцев, к тому же всё ещё страдавших от разрушений Наполеоновских войн, эмигрировали в Америку.

1820 г. – открытие Антарктиды.

1825 г. – восстание декабристов в России.

1830–1831 гг. – массовая эпидемия холеры в Европе.

1836 г. – начало строительства железных дорог в России.

Европейские революции 1848–1849, имевшие антифеодальный и национально-освободительный характер. Участники выступлений декларировали требования демократизации общественной жизни.

1853–1856 – Крымская война.

Современниками Ома были немецкий поэт Г. Гейне (1797–1856), польский поэт А. Мицкевич (1798–1855), французский писатель О. де Бальзак (1799–1850), русский поэт А.С. Пушкин (1799–1837).

В 1820 году Ом приступил к самостоятельным исследованиям в области электромагнетизма, в 1825 году появилось его «Предварительное сообщение о законе, по которому металлы проводят контактное электричество».

Еще не было представления об электрическом сопротивлении, еще не умели измерять электрические величины, да и сами понятия, связанные с электричеством, только начинали осознаваться.

Ом исследовал количественно протекание электрических зарядов в проводниках. В качестве измерительного устройства Ом создал конструкцию по аналогии с крутильными весами Кулона.

Крутильные весы Ома измеряли угол отклонения магнита под воз-

действием возникавшего в цепи электрического тока (школьники, знакомые с устройством аналоговых электроизмерительных приборов, с восхищением обнаружат, что Ом создал прообраз таких измерительных систем).

Крутильные весы изобретены Кулоном в последней четверти XVIII века, использовались для измерений взаимодействия электрических зарядов (на самом деле, очень малых!). В конце XVIII века Г. Кавендиш использовал конструкцию крутильных весов для измерения гравитационной постоянной и средней плотности Земли.

В качестве источника электричества Ом использовал гальванические батареи. Но батареи быстро разряжались, результаты опытов были неудачными. Работа Ома была воспринята плохо, результаты не принимались как достоверные, репутация Ома как исследователя пострадала.

В дальнейшем в качестве источника Ом выберет только что открытую Зеебеком термопару, будет пытаться отбирать более чистые металлы для проводников.

В работе, опубликованной в 1826 году, Ом формулирует свой знаменитый закон. Ом даёт теоретический вывод своего закона по аналогии с теорией теплопроводности Фурье. В 1827 году в монографии, посвященной этим исследованиям, Ом впервые вводит термин сопротивление.

Это сейчас школьники могут пошутить: «Не знаешь закона Ома – сиди дома!». А в 1826 году Ом только пытается проломить льды недоверия со стороны других ученых. В 1826 году по личному указанию

министра образования Ома увольняют с работы в школе за публикацию в газетах своих открытий в области физики. В «награду за научный подвиг» – очень стесненное материальное положение, научная деятельность без должности, непонимание со стороны очень многих исследователей.

Лишь в 1833 году он принимает предложение занять должность профессора физики в политехнической школе в Нюрнберге.

Еще раз вернемся в Россию 1825–26 гг., чтобы немного яснее почувствовать эту эпоху. 1 декабря 1825 года умер Александр I. Император не оставил наследников. Предполагаемый император Константин, следующий по старшинству брат, от престола отрекся. Претендентом на власть стал Николай Павлович. Междувластием решили воспользоваться члены Северного тайного общества. На утро 26 декабря было назначено восстание.

Восстание декабристов. Расправа...

В 1826 году вышел первый сборник «Стихи Александра Пушкина». Огромный успех. Пушкин пишет главы «Евгения Онегина».

20 сентября 1826 года Пушкина вызвали на аудиенцию к царю Николаю I. Царь возвращает из ссылки любимого обществом поэта, пытается расположить к себе общество.

1819–1821 гг. произошла первая русская антарктическая экспедиция Ф.Ф. Беллинсгаузена, М.П. Лазарева.

В это время в мире: в 1821 году Ампер сконструировал «аstaticкий аппарат», представлявший собой две жестко связанные параллельные магнитные стрелки. Полюса

стрелок были направлены в противоположные стороны, поэтому направление стрелок не зависело от направления магнитного поля Земли. Нити были подвешены над проводником. Устройство показало, что магнитная стрелка, избавленная от влияния магнитного поля Земли, ориентируется перпендикулярно проводнику с током.

В 1825 году Леопольдо Нобили представил первый «аstaticкий гальванометр» (рис. 14). Аппарат представлял собой сочетание «аstaticкого аппарата» Ампера с подвеской на нити. Этот прибор на протяжении нескольких десятков лет

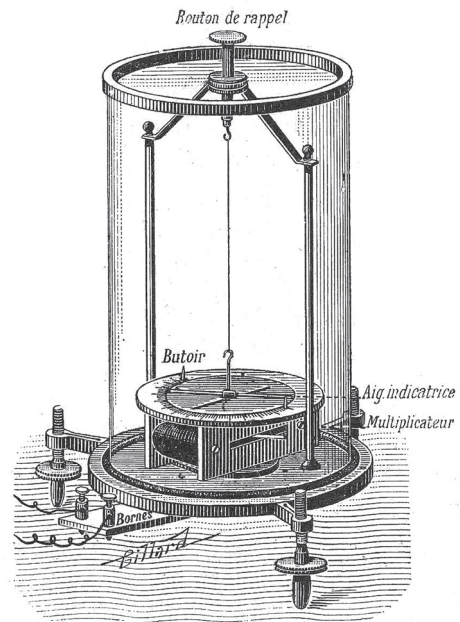


Fig. 335. — Galvanomètre de Nobili.

Рис. 14. Гальванометр Нобили (в науке часто востребованные изобретения появляются независимо: сравни с крутильными «электрическими весами» Ома!)

оставался наиболее чувствительной разновидностью гальванометров.

В 1826 году Поггендорф ввёл метод зеркального отсчёта, развитый впоследствии Гауссом (1832) и при-

менённый в «зеркальном гальванометре» Вебером (1846).

В 1825 году Антуан Беккерель предложил эскиз «дифференциального гальванометра».

«Алмазный метод»

Мостовую схему («алмазный метод» – так назвал её автор) изобрел Самуэль Хантер Кристи в 1833 году.

Трудно распознать идею метода Кристи в весах для точных измерений (аптечные, ювелирные весы), предложенных Жюлем Робельвалем (рис. 15, 16).



Рис. 15. Весы Робельваля

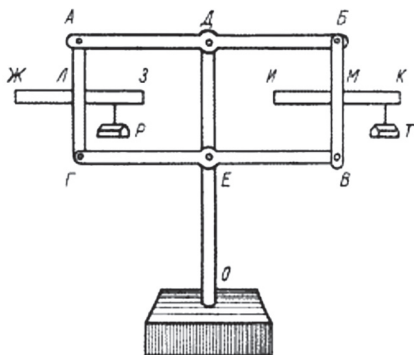


Рис. 16. Схема весов Робельваля. Показания весов не зависят от положения груза на чашках

Но не случайно Кристи свой метод назвал «алмазным»: умение увидеть и применить аналогию в столь, казалось бы, далеких друг от друга областях, как механическое взвешивание и электрические измерения, свойственно развитым изобретательным умам. И урок всем нам: чтобы быть еще более ценным специалистом в своей области, нужно стать широко эрудированным человеком и в других областях. Вспомним крутильные весы Кулона, Кавендиша, Ома! Один принцип, разные задачи!

В год изобретения «алмазного метода» Кристи в 1833 году, Ом, после нескольких лет непризнания,



Кристи Сэмюэл Хантер (1784–1865)



Уитстон Чарльз (1802–1875)
(<http://velchel.ru/biography/index.php?cnt=3&sub=3&bio=571>)

становится профессором физики в политехнической школе в Нюрнберге. Мостовую схему измерений могли бы назвать мостиком Кристи.

Но пройдет еще десятилетие, прежде чем Уитстон предоставит Королевскому обществу «Отчет о нескольких новых способах определения констант гальванической цепи». В отчете описана мостовая схема – «весы» для измерения электрического сопротивления проводника. Теперь она приобретет название мостик Уотстона – по имени человека, чьи труды «появились вовремя» и открыли эту схему миру.