**Закон Кулона, конденсатор, сила тока, закон Ома, закон Джоуля – Ленца**

### Закон Кулона

Закон Кулона — это один из основных законов электростатики. Он определяет величину и направление силы взаимодействия между двумя неподвижными точечными зарядами.

*Под точечным зарядом понимают заряженное тело, размер которого много меньше расстояния его возможного воздействия на другие тела.* В таком случае ни форма, ни размеры заряженных тел не влияют практически на взаимодействие между ними.

Закон Кулона экспериментально впервые был доказан приблизительно в 1773 г. Кавендишем, который использовал для этого сферический конденсатор. Он показал, что внутри заряженной сферы электрическое поле отсутствует. Это означало, что сила электростатического взаимодействия меняется обратно пропорционально квадрату расстояния, однако результаты Кавендиша не были опубликованы.

В 1785 г. закон был установлен Ш. О. Кулоном с помощью специальных крутильных весов.

Опыты Кулона позволили установить закон, поразительно напоминающий закон всемирного тяготения.

**Сила взаимодействия двух точечных неподвижных заряженных тел в вакууме прямо пропорциональна произведению модулей зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.**

В аналитическом виде закон Кулона имеет вид:

F=k|q1|·|q2|r2

где |q1| и |q2| — модули зарядов; r — расстояние между ними; k — коэффициент пропорциональности, зависящий от выбора системы единиц. Сила взаимодействия направлена по прямой, соединяющей заряды, причем одноименные заряды отталкиваются, а разноименные — притягиваются.

Сила взаимодействия между зарядами зависит также от среды между заряженными телами.

В воздухе сила взаимодействия почти не отличается от таковой в вакууме. Закон Кулона выражает взаимодействие зарядов в вакууме.

**Кулон — единица электрического заряда.** Кулон (Кл) — единица СИ количества электричества (электрического заряда). Она является производной единицей и определяется через единицу силы тока 1 ампер (А), которая входит в число основных единиц СИ.

**За единицу электрического заряда принимают заряд, проходящий через поперечное сечение проводника при силе тока 1А за 1с.**

То есть 1 Кл=1А·с.

Заряд в 1 Кл очень велик. Сила взаимодействия двух точечных зарядов по 1 Кл каждый, расположенных на расстоянии 1 км друг от друга, чуть меньше силы, с которой земной шар притягивает груз массой 1 т. Сообщить такой заряд небольшому телу невозможно (отталкиваясь друг от друга, заряженные частицы не могут удержаться в теле). А вот в проводнике (который в целом электронейтрален) привести в движение такой заряд просто (ток в 1 А вполне обычный ток, протекающий по проводам в наших квартирах).

Коэффициент k в законе Кулона при его записи в СИ выражается в Н·м2 / Кл2. Его численное значение, определенное экспериментально по силе взаимодействия двух известных зарядов, находящихся на заданном расстоянии, составляет:

k=9·109H·м2/Кл2

Часто его записывают в виде k=14πε0, где ε0=8.85×10−12Кл2/H·м2 - электрическая постоянная.

### Электрическая емкость конденсатора

#### Электроемкость

**Электроемкостью проводника С называют численную величину заряда, которую нужно сообщить проводнику, чтобы изменить его потенциал на единицу:**

C=qφ

Емкость характеризует способность проводника накапливать заряд. Она зависит от формы проводника, его линейных размеров и свойств среды, окружающей проводник.

Единицей емкости в СИ является *фарада*(Ф) — емкость проводника, в котором изменение заряда на 1 кулон меняет его потенциал на 1 вольт.

#### Электрический конденсатор

**Электрический конденсатор (от лат. condensare, буквально сгущать, уплотнять) — устройство, предназначенное для получения электрической емкости заданной величины, способное накапливать и отдавать (перераспределять) электрические заряды.**

Конденсатор — это система из двух или нескольких равномерно заряженных проводников с равными по величине зарядами, разделенных слоем диэлектрика. Проводники называются *обкладками конденсатора.* Как правило, расстояние между обкладками, равное толщине диэлектрика, намного меньше размеров самих обкладок, так что *поле в конденсаторе практически все сосредоточено между его обкладками.*Если обкладки являются плоскими пластинами, поле между ними однородно. Электроемкость плоского конденсатора определяется по формуле:

C=qU=ε0εSd

где q — заряд конденсатора, U — напряжение между его обкладками, S — площадь пластины, d — расстояние между пластинами, ε0 — электрическая постоянная, ε — диэлектрическая проницаемость среды.

Под зарядом конденсатора понимают абсолютное значение заряда одной из пластин.

### Энергия поля конденсатора

**Энергия заряженного конденсатора**выражается формулами

En=qU2=q22C=CU22

которые выводятся с учетом выражений для связи работы и напряжения и для емкости плоского конденсатора.

**Энергия электрического поля.** Объемная плотность энергии электрического поля (энергия поля в единице объема) напряженностью Е выражается формулой:

ω=εε0E22

где ε — диэлектрическая проницаемость среды, ε0 — электрическая постоянная.

### Сила тока

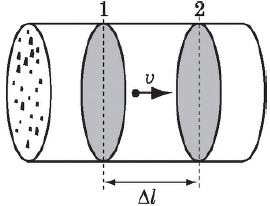
**Электрическим током называется упорядоченное (направленное) движение заряженных частиц.**

**Сила электрического тока — это величина (I), характеризующая упорядоченное движение электрических зарядов и численно равная количеству заряда ∆q, протекающего через определенную поверхность S (поперечное сечение проводника) за единицу времени:**

I=∆q∆t

Итак, чтобы найти силу тока I, надо электрический заряд ∆q, прошедший через поперечное сечение проводника за время ∆t, разделить на это время.

Сила тока зависит от заряда, переносимого каждой частицей, скорости их направленного движения и площади поперечного сечения проводника.



Рассмотрим проводник с площадью поперечного сечения S. Заряд каждой частицы q0. В объеме проводника, ограниченном сечениями 1 и 2, содержится nS∆l частиц, где n — концентрация частиц. Их общий заряд q=q0nS∆l. Если частицы движутся со средней скоростью υ, то за время ∆t=∆lυ все частицы, заключенные в рассматриваемом объеме, пройдут через поперечное сечение 2. Сила тока, следовательно, равна:

I=∆q∆t=q0nS∆l·υ∆l=q0nυS

В СИ единица силы тока является основной и носит название *ампер* (А) в честь французского ученого А. М. Ампера (1755-1836).

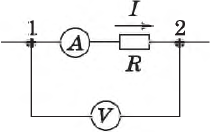
Силу тока измеряют амперметром. Принцип устройства амперметра основан на магнитном действии тока.

Оценка скорости упорядоченного движения электронов в проводнике, проведенная по формуле для медного проводника с площадью поперечного сечения 1мм2, дает весьма незначительную величину — ∼0.1 мм/с.

### Закон Ома для участка цепи

**Сила тока на участке цепи равна отношению напряжения на этом участке к его сопротивлению.**

Закон Ома выражает связь между тремя величинами, характеризующими протекание электрического тока в цепи: силой тока I, напряжением U и сопротивлением R.



Закон этот был установлен в 1827 г. немецким ученым Г. Омом и поэтому носит его имя. В приведенной формулировке он называется также *законом Ома для участка цепи*. Математически закон Ома записывается в виде следующей формулы:

I=UR

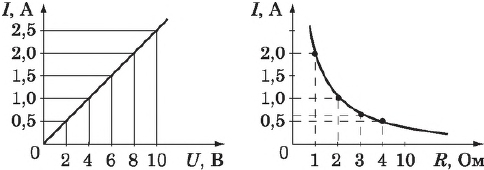
Зависимость силы тока от приложенной разности потенциалов на концах проводника называется *вольт-амперной характеристикой* (ВАХ) проводника.

Для любого проводника (твердого, жидкого или газообразного) существует своя ВАХ. Наиболее простой вид имеет вольт-амперная характеристика металлических проводников, заданная законом Ома I=UR, и растворов электролитов. Знание ВАХ играет большую роль при изучении тока.

Закон Ома — это основа всей электротехники. Из закона Ома I=UR следует:

1. сила тока на участке цепи с постоянным сопротивлением пропорциональна напряжению на концах участка;
2. сила тока на участке цепи с неизменным напряжением обратно пропорциональна сопротивлению.

Эти зависимости легко проверить экспериментально. Полученные с использованием схемы, графики зависимости силы тока от напряжения при постоянном сопротивлении и силы тока от сопротивления представлены на рисунке. В первом случае использован источник тока с регулируемым выходным напряжением и постоянное сопротивление R, во втором — аккумулятор и переменное сопротивление (магазин сопротивлений).



### Электрическое сопротивление

**Электрическое сопротивление — это физическая величина, характеризующая противодействие проводника или электрической цепи электрическому току.**

Электрическое сопротивление определяется как коэффициент пропорциональности R между напряжением U и силой постоянного тока I в законе Ома для участка цепи.

**Единица сопротивления** называется *омом* (Ом) в честь немецкого ученого Г. Ома, который ввел это понятие в физику. Один ом (1 Ом) — *это сопротивление такого проводника, в котором при напряжении 1 В сила тока равна 1 А.*

#### Удельное сопротивление

Сопротивление однородного проводника постоянного сечения зависит от материла проводника, его длины l и поперечного сечения S и может быть определено по формуле:

R=ρlS

где ρ — удельное сопротивление вещества, из которого изготовлен проводник.

**Удельное сопротивление вещества — это физическая величина, показывающая, каким сопротивлением обладает изготовленный из этого вещества проводник единичной длины и единичной площади поперечного сечения.**

Из формулы R=ρlS следует, что

ρ=RSl

Величина, обратная ρ, называется *удельной проводимостью* σ:

σ=1ρ

Так как в СИ единицей сопротивления является 1 Ом, единицей площади 1м2, а единицей длины 1 м, то единицей удельного сопротивления в СИ будет 1 Ом·м2/м, или 1 Ом·м. Единица удельной проводимости в СИ — Ом−1м−1.

На практике площадь сечения тонких проводов часто выражают в квадратных миллиметрах (мм2). В этом случае более удобной единицей удельного сопротивления является Ом·мм2/м. Так как 1мм2=0.000001м2, то 1 Ом·м м2/м=10−6 Ом·м. Металлы обладают очень малым удельным сопротивлением — порядка (1·10−2) Ом·мм2/м, диэлектрики — в 1015−1020 раз большим.

#### Зависимость сопротивления от температуры

С повышением температуры сопротивление металлов возрастает. Однако существуют сплавы, сопротивление которых почти не меняется при повышении температуры (например, константан, манганин и др.). Сопротивление же электролитов с повышением температуры уменьшается.

*Температурным коэффициентом* сопротивления проводника называется отношение величины изменения сопротивления проводника при нагревании на 1°С к величине его сопротивления при 0°С:

α=Rt−R0R0t

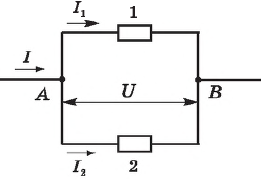
Зависимость удельного сопротивления проводников от температуры выражается формулой:

ρ=ρ0(1+αt)

В общем случае α зависит от температуры, но если интервал температур невелик, то температурный коэффициент можно считать постоянным. Для чистых металлов α=(1273)K−1. Для растворов электролитов α<0. Например, для 10%-го раствора поваренной соли α=−0.02K−1. Для константана (сплава меди с никелем) α=10−5K−1.

Зависимость сопротивления проводника от температуры используется в *термометрах сопротивления.*

### Параллельное и последовательное соединение проводников



Для **параллельного соединения** проводников справедливы следующие соотношения:

1) электрический ток, поступающий в точку А разветвления проводников (она называется также*узлом*), равен сумме токов в каждом из элементов цепи:

I=I1+I2;

2) напряжение U на концах проводников, соединенных параллельно, одно и то же:

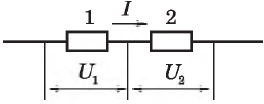
U=U1=U2;

3) при параллельном соединении проводников складываются их обратные сопротивления:

1R=1R1+1R2,R=R1·R2R1+R2;

4) сила тока и сопротивление в проводниках связаны соотношением:

I1I2=R2R1



Для **последовательного соединения проводников в цепи** справедливы следующие соотношения:

1) для общего тока I:

I=I1=I2,

где I1 и I2 — ток в проводниках 1 и 2 соответственно; т. е. при последовательном соединении проводников сила тока на отдельных участках цепи одинакова;

2) общее напряжение U на концах всего рассматриваемого участка равно сумме напряжений на отдельных его участках:

U=U1+U2;

3) полное сопротивление R всего участка цепи равно сумме последовательно соединенных сопротивлений:

R=R1+R2;

4) также справедливо соотношение:

U1U2=R1R2

### Работа электрического тока. Закон Джоуля-Ленца

Работа, совершаемая током, проходящим по некоторому участку цепи, согласно (U=φ1−φ2=Aq) равна:

A=qU

где А — работа тока; q — электрический заряд, прошедший за данное время через рассматриваемый участок цепи. Подставляя в последнее равенство формулу q=It, получаем:

A=IUt

**Работа электрического тока на участке цепи равна произведению напряжения на концах этого участка на силу тока и на время, в течение которого совершалась работа.**

#### Закон Джоуля-Ленца

**Закон Джоуля — Ленца гласит: количество теплоты, выделяемое в проводнике на участке электрической цепи с сопротивлением R при протекании по нему постоянного тока I в течение времени t равно произведению квадрата тока на сопротивление и время:**

Q=I2Rt

Закон был установлен в 1841 г. английским физиком Дж. П. Джоулем, а в 1842 г. подтвержден точными опытами русского ученого Э. X. Ленца. Само же явление нагрева проводника при прохождении по нему тока было открыто еще в 1800 г. французским ученым А. Фуркруа, которому удалось раскалить железную спираль, пропустив через нее электрический ток.

Из закона Джоуля — Ленца следует, что при последовательном соединении проводников, поскольку ток в цепи всюду одинаков, максимальное количество тепла будет выделяться на проводнике с наибольшим сопротивлением. Это используется в технике, например, для распыления металлов.

При параллельном соединении все проводники находятся под одинаковым напряжением, но токи в них разные. Из формулы (Q=I2Rt) следует, что, так как, согласно закону Ома I=UR, то

Q=U2tR

Следовательно, на проводнике с меньшим сопротивлением будет выделяться больше тепла.

Если в формуле (A=IUt) выразить U через IR, воспользовавшись законом Ома, получим закон Джоуля-Ленца. Это лишний раз подверждает тот факт, что работа тока расходуется на выделение тепла на активном сопротивлении в цепи.

### Мощность электрического тока

Действие тока характеризуют не только работой A, но и мощностью Р.*Мощность* тока показывает, какую работу совершает ток за единицу времени. Если за время t была совершена работа А, то мощность тока P=At. Подставляя в это равенство выражение (A=IUt), получаем:

P=IU

Это выражение можно переписать в разных формах, воспользовавшись законом Ома для участка цепи:

P=IU=I2R=U2R

Из соотношения для ЭДС легко получить мощность источника тока:

Pε=εI

В СИ работу выражают в джоулях (Дж), мощность — в ваттах (Вт), а время -в секундах (с). При этом

1Вт=1Дж/с, 1Дж=1Вт·с.

Рассчитаем наибольшую допустимую мощность потребителей электроэнергии, которые могут одновременно работать в квартире. Так как в жилых зданиях сила тока в проводке не должна превышать I=10А, то при напряжении U=220В соответствующая электрическая мощность оказывается равной:

Р=10А·220В=2200Вт=2.2кВт.

Одновременное включение в сеть приборов с большей суммарной мощностью приведет к увеличению силы тока, и потому недопустимо.

В быту работу тока (или израсходованную на совершение этой работы электроэнергию) измеряют с помощью специального прибора, называемого *электрическим счетчиком* (счетчиком электроэнергии). При прохождении тока через этот счетчик внутри его начинает вращаться легкий алюминиевый диск. Скорость его вращения прямо пропорциональна силе тока и напряжению. Поэтому по числу оборотов, сделанных им за данное время, можно судить о работе, совершенной током за это время. Работа тока при этом выражается обычно в *киловатт-часах* (кВт·ч).

1кВт·ч — это работа, совершаемая электрическим током мощностью 1кВт в течение 1ч. Так как 1кВт=1000Вт, а 1ч=3600с, то 1кВт·ч=1000Вт·3600с=3600000Дж.