

60/I

Электротехни

лекции

проф. В. С. Щеляева

Получено 1902

1893

Получено
1902

И. Т. У.

18 ⁸⁹/₉₀ года



Р 141865

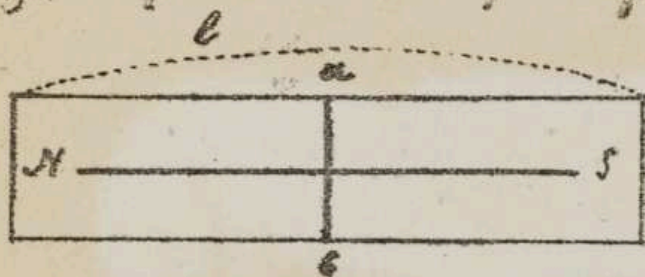
141865

Магнитизмъ

Провер. 1935

Магнитные полюсы; ось магнита. Силы магнитного взаимодействия...

Магниты и магнитные руды обладают свойством притягивать железо; это притяжение сильнее всего проявляется на концах магнита, которые наз. полюсами. Строго говоря, полюсы в магните расположены не совсем отстоя от концов; такъ-что если длина магнита = l , то расстояние (фиг. 1) между полюсами — около $\frac{5}{6} l$. Линия ab , проведенная через середину магнита, наз. безразличной, такъ какъ въ средине магнита не существует притяжений. Линия NS , соединяющая полюсы, наз. магнитной осью. Если



Фиг. 1.

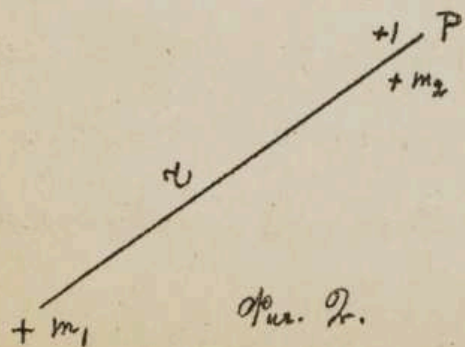
магнитъ подвешенъ свободно на нити, то одинъ полюсъ обращается къ географическому северу, а другой къ географическому югу; первый полюсъ наз. севернымъ, а другой — южнымъ. Однородные полюсы отталкиваются, а разнородные — притягиваются. Если допустить предположить, что и земля есть магнитъ съ южнымъ полюсомъ, расположеннымъ въ северномъ географическомъ полюсе и, наоборотъ, съ севернымъ — на южномъ географическомъ полюсе.

их полюсов. Изучая силы притяжений и отталкиваний магнитных масс, мы приходим к заключению, что они зависят прямо пропорционально массам и обратно пропорционально квадратам расстояний, так что сила взаимодействия двух полюсов с массами m_1 и m_2 выражается так: $f = k \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$, где k есть коэффициент пропорциональности; его можно будет принять за единицу; для этого положим, что $m_1 = m_2 = 1$ (масса одного полюса); $r = 1$ см и $f = 1$ дин; тогда и $k = 1$; следовательно $f = \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \dots (1)$. Так как нам уже известно, что вообще сила $F = m \cdot \frac{v}{T} = m \cdot \frac{L}{T^2}$ или $F = m \cdot L \cdot T^{-2}$, то мы можем определить размерность силы f . Искен из формулы (1), полагая, что $m_1 = m_2 = m$, имеем что $f = \frac{m^2}{r^2}$; откуда $m = r \sqrt{f}$ или размерность $(m) = \text{раз.}(r) \cdot \text{раз.}(\sqrt{f})$; но так как в данном случае $r = L$ и $f = F$, то след. поставив, получим, что $\text{раз.}(m) = L \cdot M^{1/2} \cdot L^{1/2} \cdot T^{-1}$ или $\text{раз.}(m) = (M^{1/2} \cdot L^{3/2} \cdot T^{-1})$; таким образом мы можем изобрести единицу массы по этим данным. Если в формуле (1) положить, что $r = 1$, $f = 1$ и $m_1 = m_2$, то след. $m_1 = m_2 = 1$, т.е. масса магнитного полюса равна единице, если он отталкивается с силой одной дин от такой же полюса, помещенный от него в расстоянии

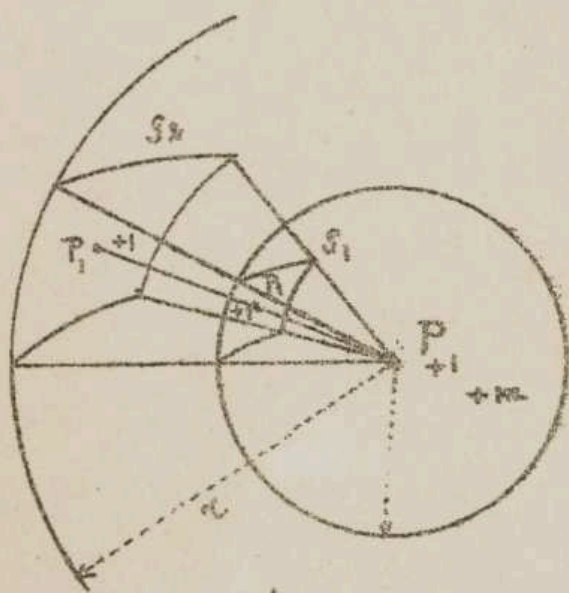
длин единицы. Будем обозначать северный полюс (+), а южный (-). Тогда отталкивательная сила будет положительна, а притягивающая - отрицательна и выраж. вообще $f = \pm \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$.

Магнитное поле и его напряжённость

То пространство, в пределах которого существует действие магнита, наз. магнитным полем. Если внести в магнитное поле полюс с + / магнитизма, то тогда действием магнитной силы он будет двигаться. Путь это движение называет линией силы. Силу, действующую на полюс с + / магнитизма в данном месте, мы будем называть напряжённостью магнитного поля в данном месте. Таким образом действие магнитного поля в определенном месте, можно определить величиною и направлением силы, которая действует на полюс + /, помещенный в данное место, т.е. посредством измерений напряжений поля в данном месте и построения силовых линий. Если в точке P поля действие магнитной массы m_1 поместить (Фиг. 2) массу m_2 , то сила, действующая на этот полюс, пропорциональна массе m_2 . Обозначим напряжённость поля через H , т.е. $H = \frac{m_1}{r^2}$. Тогда сила



взаимодействия масс m_1 и m_2 есть: $f = \frac{m_1 m_2}{r^2} = m_2 \cdot H$.
 Если $m_2 = 1$ и $f = 1$, то $H = 1$. Таким образом напря-
 жение поля, действующего на полюс $+1$ с силой $= 1$,
 равно единице. Словом линия одного полюса есть
 прямая, расходящаяся лучеобразно из полюса во все
 стороны. Поместим в Р магнитную массу $= +1$ и опи-
 шем из этой точки сферу радиуса $= 1$ и поверхность
 ее разделим на квадратные сантиметры. Поверхность



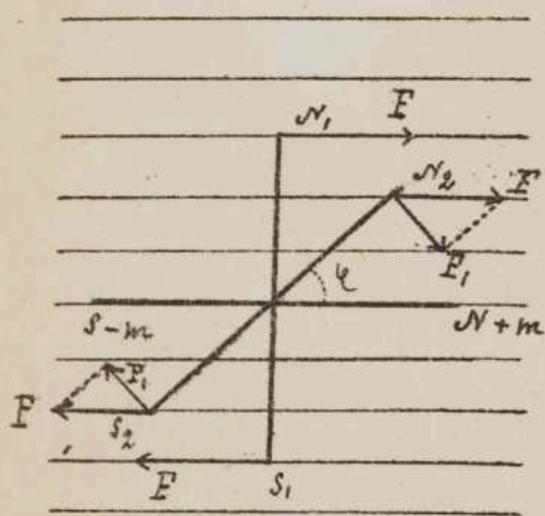
Фиг. 3.

сферы вообще равна $4\pi r^2$,
 или, если будет 4π
 кв. сантиметров. Через
 центр каждого квадрата по-
 верхности сферы проведем,
 по радиусу, силовую линию. Рас-
 положим в центре одного из
 элементов сферы (Фиг. 3) массу

с $+1$ магнитизма; тогда сила, с которой на него в
 точке P_1 действует полюс P , измерится напряжением
 поля в данной точке P_1 . Очевидно оно равно: $H_1 = \frac{1}{r^2}$.
 Изменим из P сферу радиуса r и перенесем на
 нее полюс $P_1 = +1$. Сила напряженности в этой
 точке равно: $H_2 = \frac{1}{r^2}$. Проктируем элемент
 S_1 на эту сферу, получим элемент S_2 ; причем,
 как известно из геометрии, $\frac{S_1}{S_2} = \frac{1}{r^2}$. Если $S_1 = 1$ кв. см,
 то $S_2 = r^2$ кв. см; а стало быть, если на единицу
 поверхности сферы, радиуса единицы, приходится

силовых линий $N_1 = 1$, то на единицу поверхности
 сферы, радиуса r , придется силовых линий равно
 $N_2 = \frac{1}{r^2}$, потому что на элементарную поверхность
 S_2 сферы приходится 1 силовых линий, а на 1 поверх-
 ности придется сила $\frac{1}{S_2} = \frac{1}{r^2}$ силовых линий. Отсюда
 видно, что $N_1 = N_1$ и $N_2 = N_2$. Если ... в точке
 находится масса + m магнитная, то будем стро-
 ить силовые линии так, чтобы на единицу поверх-
 ности S_1 приходилось m силовых линий, а сила
 на S_2 придется тоже m линий, а на единицу по-
 верхности придется сила $\frac{m}{S_2} = \frac{m}{r^2}$ силовых ли-
 ний, а потому по предположению, что $N_1' = N_1' = m$
 и $N_2' = N_2' = \frac{m}{r^2}$. И так напрядение магнитного
 поля в данной точке = числу силовых линий,
 которые в данной ^{точке} проходят через единицу по-
 щадн, нормальную к силовым линиям. Та-
 ким образом силовые линии определяют силу
 магнитного поля по величине и направлению и
 стало быть определяют поле вполне. — поле,
 в котором силовые линии располагаются парал-
 лельно друг другу и на равных расстояниях, наз-
 вается равномерным или однородным. Такое однородное
 магнитное поле представляет земля, так как в
 ней силовые линии, идя от N к S, на
 некотором ограниченном пространстве имеют си-
 милье параллельности. Если магнитные ...

равновесное магнитное поле (Фиг. 4) магниты с пополами (+m) и (-m), то на них будут действовать две равные параллельные силы, направленные в противоположные стороны. Эти две силы составляют пару, которая дает момент вращений. Свободно подвешенный магнит под действием земного магнетизма располагается в плоскости магнитного меридиана. Магнитные линии проходят параллельно магнитному меридиану. Расположив магнит,



Фиг. 4.

силы которого = ϵ , перпендикулярно меридиану в положении $N_1 S_1$; но он будет вращаться и придет в первоначальное положение $N_2 S_2$; тогда момент вращений, который производят силы F , действующий на магнит, будет $D = F \cdot \epsilon$. Но сила F , действующая на N , полагая, равна: $+m \cdot H$, где H напряженность магнитного поля, а $(+m)$ есть масса в N , полагая; точно также для S , полагая считать, что $F = -m \cdot H$, где H то же, так как поле равнодействующее, а $(-m)$ есть масса на S , полагая; мы видим, что силы F действительно равны и противоположны; сумм. момент вращений можно написать так: $D = m H \epsilon$. Теперь покажем, что магнит наклонен к магнитному меридиану под углом ϕ в положении $N_2 S_2$.

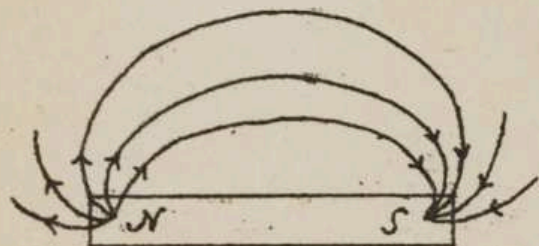
Сила, действующая на N , полагая, равна: $+m \cdot H$, где H напряженность магнитного поля, а $(+m)$ есть масса в N , полагая; точно также для S , полагая считать, что $F = -m \cdot H$, где H то же, так как поле равнодействующее, а $(-m)$ есть масса на S , полагая; мы видим, что силы F действительно равны и противоположны; сумм. момент вращений можно написать так: $D = m H \epsilon$. Теперь покажем, что магнит наклонен к магнитному меридиану под углом ϕ в положении $N_2 S_2$.

При этом же повороте положения магнита, момент вращений обуславливается силой F_1 , перпендикулярной к оси магнита $N_2 S_2$; при этом силе F_1 суть соответствующая силе F . Из чертежа видно, что $F_1 = F \sin \varphi$, момент же вращений будет $D_1 = l \cdot F_1 = l \cdot F \sin \varphi$ или $D_1 = m l H \sin \varphi$. Из этой формулы видно, что момент вращений D_1 достигает наибольшей величины при $\varphi = 90^\circ$, т.е. когда магнит находится перпендикулярно к магнитному меридиану, т.е. в положении N, S . Если напряженность магнитного поля $H = 1$, то $D = m l$. Эту величину называют магнитным моментом данного магнита момента магнита, как мы видели, есть момент той пары, которая вращает магнит из положения перпендикулярного к магнитному меридиану в самый магнитный меридиан в поле, напряженность которого = единице.

Распределение магнитных (силовых) линий в магнитном поле.

Для изучения распределения магнитных линий в поле можно с удобством пользоваться так называемыми магнитными спектрами. Это те рисунки, которые получаются при помещении экрана, находящегося в магнитном поле, железных опилок. В самом деле опилки, на-

магнитных, представляют ряды маленьких магнитных стрелок, которые располагаются по направлению магнитной силы и дают возможность проследить их вид и направление. Вид магнитных линий

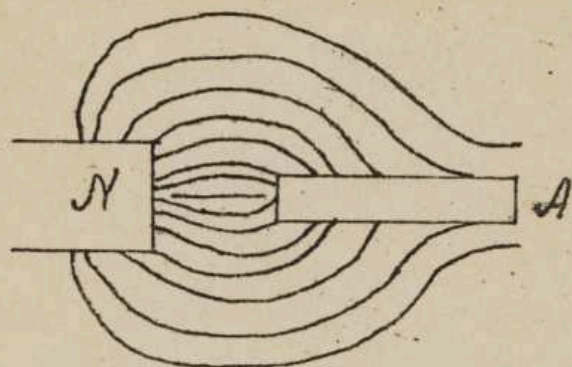


Фиг. 5.

для одного магнитного стержня с полюсами N и S изображены на (Фиг. 5). За положительное направление мы будем считать направление от N полюса к S полюсу. Таким образом все линии выходят из северного полюса и входят в южный полюс. Если внести в магнитное поле кусок мягкого железа, то заметим, что распределение силовых линий изменится. Этого притянет к себе магнитные линии. Парадокси объясняется это тем, что магнитные линии стремятся распространяться там, где встречают меньшее сопротивление своему распространению (подобно электрическому току). Этого представляет меньшее сопротивление магнитным линиям, чем воздуха, а потому и вбирает в себя магнитные линии. При этом оно само приобретает магнитные свойства — намагничивается. Такое намагничивание мы называем магнитным наведением. Из (Фиг. 6) мы видим, что в пространстве между полюсами и железом линии сближаются

и концентрируются в железе, что указывает на то, что железо имеет меньшее сопротивление магнитному полю, чем воздух. Это явление называется магнитным наведением. При этом железо само приобретает магнитные свойства — намагничивается. Такое намагничивание мы называем магнитным наведением. Из (Фиг. 6) мы видим, что в пространстве между полюсами и железом линии сближаются

ся; число нитей на единицу квадратной поверхности увеличивается; стало-быть

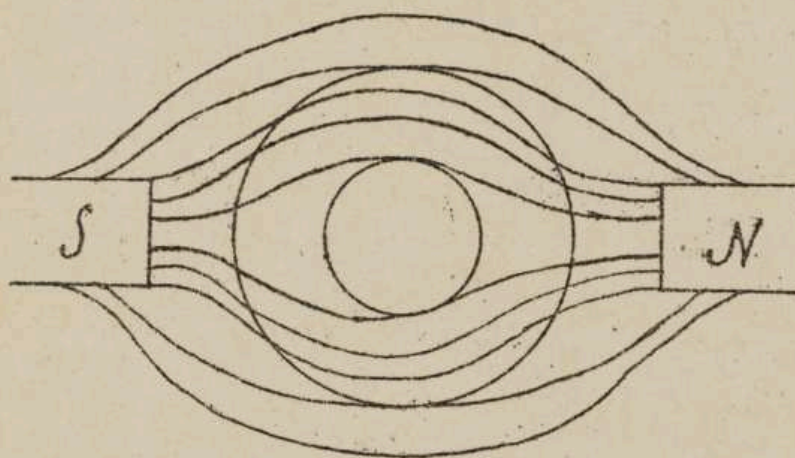


Фиг. 6.

мягкое железо усиливает магнитное поле в стальной сердечник. Мелкозернистый металл не вызывает указанного изгибания в магнитном поле.

Свойство железа, стали, ко-

бальта и никеля поощаемо линии силы называются магнитными проникновениями или индукцией намагничивания. Возмем цилиндр из мягкого железа и поместим его в магнитное поле между двумя полюсами магнита N и S. Мы увидим (Фиг. 7), что силовые линии не входят внутрь цилиндра, а все поощаются его створками. На этом основывается устройство магнитных щитов. С помощью их можно защищать снаряды от действия выходящих маг-



Фиг. 7.

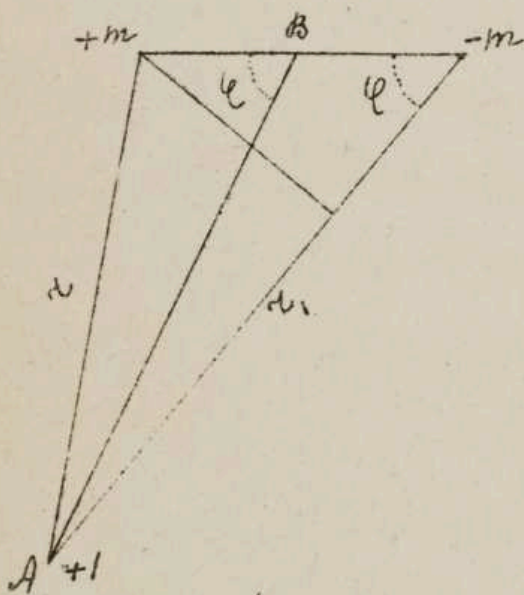
нитов. Если дуго железного подвергнуть намагничиванию, то оно само станет магнитом. Этот намагниженный железный называется остаточным магнетизмом; а причина,

его подвергнуть намагничиванию, то оно само становится магнитом. Этот намагниженный железный называется остаточным магнетизмом; а причина,

сохраняющая магнитность ферромагнетика — задерживающего силой ферромагнетика.

О магнитном потенциале.

Ознакомившись с общими явлениями магнетизма, обратимся теперь к определению магнитного потенциала. Рассмотрим элементарный магнит (Фиг. 8), который состоит из двух полюсов с массами $(+m)$ и $(-m)$. Потенциал такого магнита на какую либо точку A с массой $(+1)$, отстоящую от полюсов в расстояниях r и r_1 , будет: $V = m\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_1}\right) = m \cdot \frac{r_1 - r}{r r_1}$. Если магнит очень мал, то расстояние между полюсами $(+m)$ и $(-m)$ можем обозначить через dl ; при этом пусть φ есть угол между осью магнита и линией AB , соединяющей середину



Фиг. 8.

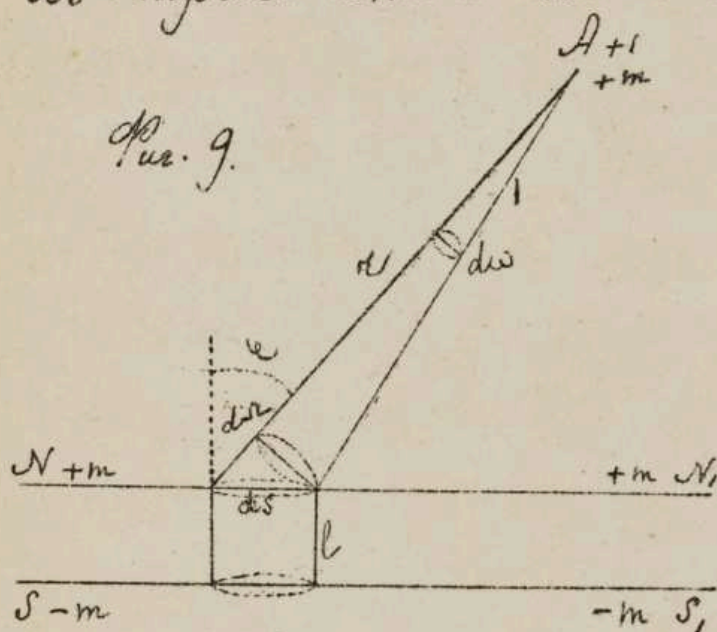
магнита с весами отдаленного точкою A . Тогда можем принять, что $r_1 - r = dl \cos \varphi$ и $r r_1 = r^2$. Если этого потенциала рассматриваемого элементарного магнита, можно представить в форме: $dV = \frac{m dl \cos \varphi}{r^2} = d\mu / r^2 \cos \varphi$, где $d\mu = m dl$

есть магнитный момент элементарного магнита.

Рассмотрим теперь такъ называемый магнит-
ный слой. Представимъ себѣ, что одна поверх-
ность NN , намагничена стѣржнемъ магнетизма,
а другая SS , весьма близкая и параллельная ей,
намагничена розеткою, или поперечнымъ магнит-
нымъ слоемъ. Пусть на элементъ поверхности (Фиг. 9)
 ds приходится магнитная масса m , тогда

$\rho = \frac{m}{ds}$ будемъ называть
магнитную плотность
слоя; это есть магнитная
масса, находящаяся на
единицѣ поверхности слоя.

Видимъ изъ слоя стол-
бикъ безконечно малого сече-
нiя ds и высоты l . На



основанiи этого цилиндра находится магнит-
ная масса $\rho \cdot ds$ и $-\rho \cdot ds$; стало быть магнитный
моментъ такого элементарнаго магнита есть
 $dl = \rho \cdot l \cdot ds$, а потенциалъ его на точкѣ A , отсто-
ящую въ разстоянiи r будетъ равенъ: $dV = \frac{\rho \cdot l \cdot ds}{r^2} \cos \theta$.
Далѣе будемъ называть магнитный моментъ каждаго
элементарнаго столбика, стоящаго на площадѣ
его поперечнаго сеченiя: $dl/ds = \rho l$ напреженiемъ
магнитнаго слоя и обозначимъ черезъ f ; тогда
слож. $dV = \int \frac{ds \cdot \cos \theta}{r^2}$. Упростимъ это выраженiе.

Построим из точки A конус, опирающийся на одно основание нашего элементарного магнита ds ; дайте очко A , какъ центра, опишемъ две сферы: радиусомъ $= 1$ и радиусомъ $= r$. Пусть $d\omega$ и $d\Omega$ суть элементы, вырезанные изъ этихъ сферъ конусомъ. Тогда $d\omega/d\Omega = 1/r^2$; но съ другой стороны: $d\Omega = ds \cdot \cos\varphi$, а стало быть $\frac{ds \cdot \cos\varphi}{r^2} = d\omega$.

Следовательно: $dV = \int d\omega$, где $d\omega$ есть телесный уголъ, подъ которымъ элементъ ds виденъ изъ точки A . Интегрируя это выражение по всей поверхности магнитнаго слоя, найдемъ полный потенциалъ его на точку A : $V = \int \omega$, где ω есть телесный уголъ, подъ которымъ слой виденъ изъ точки A . Такимъ образомъ потенциалъ магнитнаго слоя въ какой либо точке найденъ равенъ произведению напряженій слоя на телесный уголъ, подъ которымъ видна контуръ слоя изъ данной точки. Если въ точке A поместимъ не $(+1)$ магнитизма, а массу m , то потенциалъ въ ней будетъ равенъ: $mV = \int m\omega$. Этому выражению мы можемъ дать иной видъ. Запомнимъ, что мы условились ранее строить силовые линии, выходящія изъ точки A такъ, что на единицу поверхности (1 см^2) ω приходится одна линия, если въ A имеемъ

(+1) магнитизма и M линий, если в A помещена масса m . Стало быть переберем всю поверхность ω пройдем количество линий: $Q = m \cdot \omega$. Сила $mV = j \cdot Q$. Таким образом потенциал магнитного поля на полюсе M равен его коэффициенту (j), помноженному на число силовых линий, который, выйдя из полюса (M), пронизывают поверхность поля. Если магнитный полюс M из точки A_1 , где потенциал поля V_1 , перемещается в точку A_2 (рис. 10), где потенциал V_2 , то работа, затраченная на это перемещение, может быть выражена так:

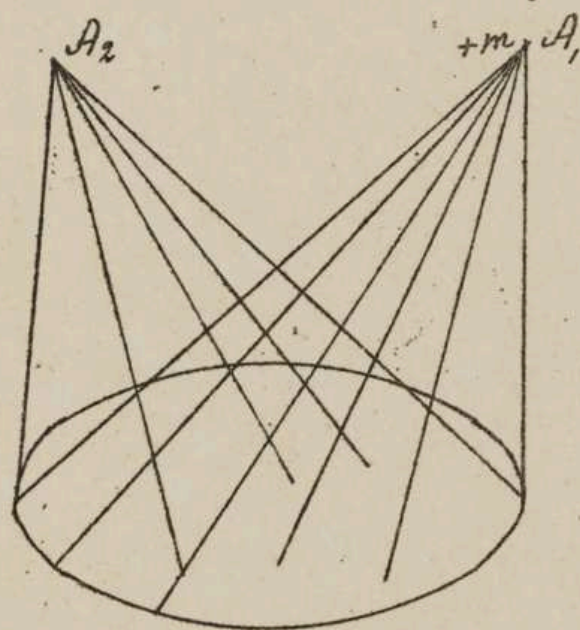


Рис. 10.

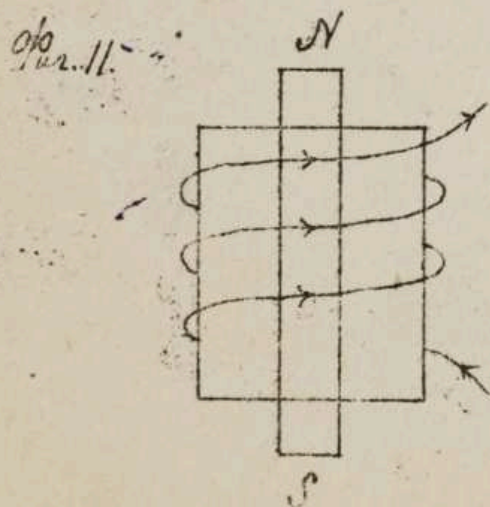
$W = m(V_1 - V_2)$. Назовем перебер Q_1 и Q_2 числа силовых линий, пронизывающих поверхность поля соответственно из точек A_1 и A_2 ; тогда имеем, что $mV_1 = j \cdot Q_1$ и $mV_2 = j \cdot Q_2$. Следовательно $W = j(Q_1 - Q_2)$. Отсюда

видим, что если в присутствии магнитного поля перемещается магнитный полюс, то работа, которая затрачивается или приобретается

тается при этомъ перемещении, измѣняется
произведеніе напряженій магнитнаго
слова на увеличеніе или уменьшеніе числа
силовыхъ линий, пронизывающихъ собой.
Замѣтимъ, что если переводимъ полюсъ отъ
нижнего потенциала къ верхнему, мы дол-
жны затратить вѣнчающую работу, ибо
будемъ предоставлять силу, которая направ-
лена всегда въ сторону уменьшеній потен-
циала. Наоборотъ, переходя отъ верхняго потен-
циала къ нижнему, полюсъ самъ будетъ
производить работу.

Объ электромагнитѣ.

Если обмотаемъ кусокъ мягкаго желѣза прово-
домъ, по которой пропустимъ электрическій токъ,
то желѣзо обратится въ магнитъ — это
такъ называемый электромагнитъ. Для
опредѣленій, на какомъ концѣ образуется (Фиг. II)



сѣверный полюсъ и на ка-
комъ южный полюсъ, мы
можемъ воспользоваться
существующимъ правиломъ
Ампера. Представимъ,
что мы живемъ въ эл-

ктрических токов в направлении самого то-
ка и смотрящих на железный стержень, то-
гда северный конец (полюс) будет находи-
ться от нас в левой стороне. Иначе это
правило можно сказать так: если смотреть на
стержень с того конца, где ток пред-
ставляется нам идущим против стрел-
ки часов, то этот конец есть северный
полюс. - Для устройства электромагнита де-
лать железный стержень, называемый якорем,

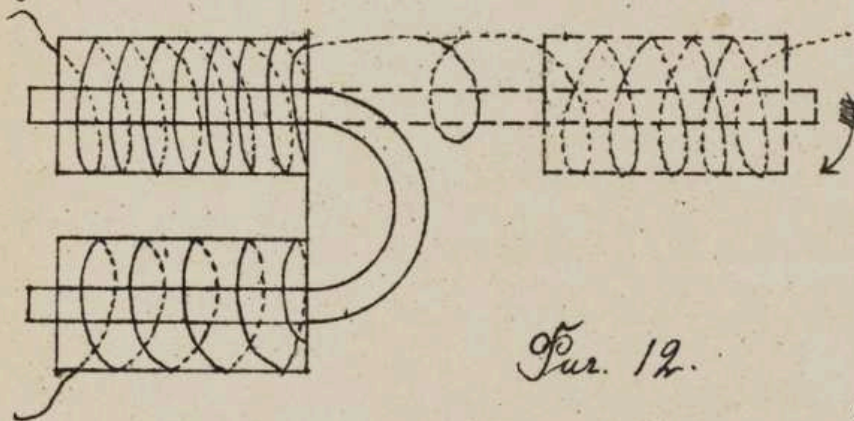


Fig. 12.

и снабжать его двумя
катушками (Fig. 12);
провода наматывается
в одну и ту же сто-
рону на несколько
еще якорь, как показано

на чертеже пунктиром; затем, когда намотка
изматованной проволоки окончена, якорь сдвигают
в подкову. Теперь, если по проволоке пропустит ток,
то якорь приобретает магнитные свойства. Сила
электромагнита возрастает пропорционально
тока, проходящего по обмотке; но при этом
предельно. Когда якорь намагнитится до насыщения,
то увеличивая силу тока, мы уже не будем увели-
чивать магнитную силу электромагнита. Но сфо-



меру: напряжение электромагнита пропорционально длине, которой tg есть сила намагничивающего тока, такъ - что:

I. $H = A \cdot \sin t g i$, где i - сила тока, а A - величина постоянная, зависящая отъ конструкции электромагнита, какъ - то: 1) отъ величины ферромагнетика стержня и 2) отъ числа обмоток катушки.

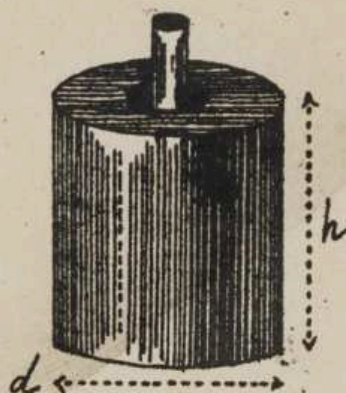
II. Дальше оказалось, что напряжение возрастаетъ пропорционально числу обмотокъ. Но увеличивая число обмотокъ, мы увеличивали сопротивление, следовательно ослабляли токъ, пускаемый по проволоке; такимъ образомъ видно, что увеличивая число обмотокъ, мы влиять отъ того же тока усиливать токъ (i - сила тока).

III. Сила магнитное напряжение электромагнита не зависитъ отъ свойствъ материала проволоки; последний влиять только на силу тока, представляя болѣе или менѣе сопротивление.

IV. Напряжение не зависитъ отъ ширины обмотокъ, т.е. будетъ ли катушка плотно прилегать къ стержню или нѣтъ - все равно. Обыкновенно берутъ катушку близко прилегающую къ стержню и диаметр катушки вдвое менѣе высоты, такъ - что получаются: $d = h/2$. (Фиг. 13).

V. Токъ требуетъ времени для намагничивания

фигурного сферид. до наибольшаго его напряженія.

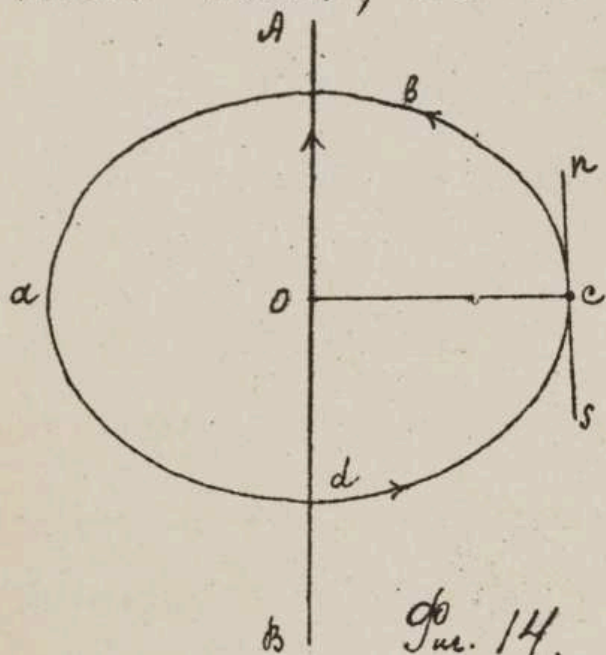


Фиг. 13.

Электромагнитизмъ.

Обратимся теперь къ изученію взаимодействій между электрическимъ токомъ и магнитомъ. Глава ученія объ электричествѣ, разсматривающая эти явленія, называется электромагнитизмомъ. Изученіе электромагнитныхъ явленій основывается на слѣдующемъ опытѣ Датскаго ученаго Эрштеда (1820.). Если приблизимъ къ магнитной стрѣлкѣ проводникъ, по которому идетъ токъ, то стрѣлка отклонится отъ первоначальнаго положенія равновѣсія. А теперь даемъ правило для опредѣленія направленія этого отклоненія. Представимъ себѣ наблюдателя, расположеннаго вблизи тока такимъ образомъ, что токъ входитъ въ его ноги и выходитъ черезъ голову и обращеннаго лицомъ къ стрѣлкѣ; тогда онъ увидитъ, что стѣржневій полюсъ отклоняется влево. Опытъ Эрштеда показываетъ, что вкругъ проводника, несущаго электри-

тесный ток, возникает магнитное поле, которое действует на магнитную стрелку. Изобразим силовые линии и направление этого поля. Будем перемещать магнитную стрелку (NS) в плоскости, параллельной к проводнику AB и при этом так, чтобы точка привеса стрелки (Фиг. 14)



двигалась по окружности $abcd$, центр которой O лежит на проводнике. Мы заметили, что стрелка NS будет всегда касательна к кругу. А так как мы уже говорили, что магнитная стрелка распадается все-

гда по касательной к силовой линии, то указанный круг будет в данном случае силовой линией. За направление силы мы принимаем то направление, куда обращен северный полюс стрелки. В данном случае это будет сила, направленная так, как показывает стрелка. Всякая другая окружность, concentрическая с данным $abcd$, будет тоже силовой линией. И так силовые линии во поле, развиваемом электрическим током, будут окружности с общим центром, помещенным на

проводника, и проведенный в плоскости, нормаль-
ной к проводнику. Сила, действующая на посылку,
направлена перпендикулярно к плоскости, проводя-
щей через проводник и посылку. Силы и линии
тока можно считать видными при помощи
магнитного спектра. Для этого берут стек-
лянную пластинку с отверстием, в которое
пропускают проводник, несущий ток. Если пла-
стинку покрыть флуоресцирующими опилками, то они
расположатся по кругу с общим центром
на проводнике. Чтобы определить величину
силы, с которой действует ток, воспользуемся
следующим опытом Максвелла. Возьмем (рис. 15)

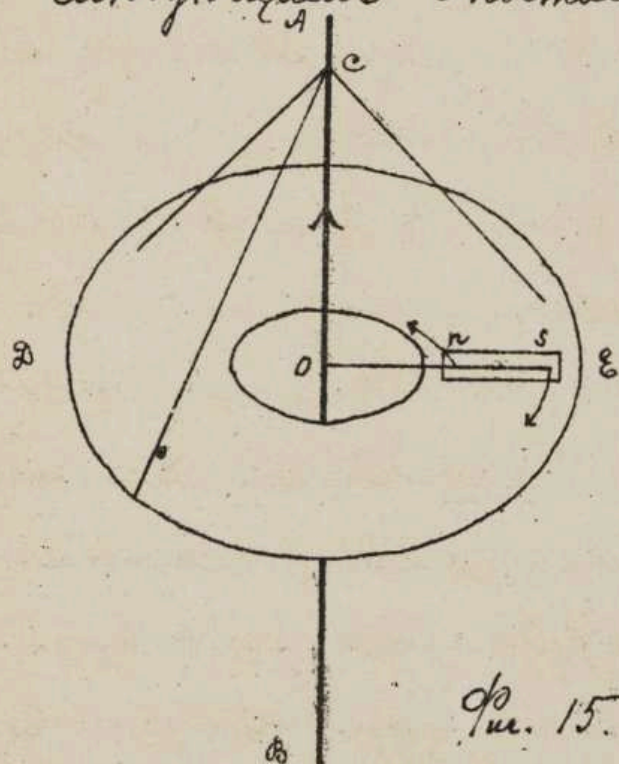


Рис. 15.

проводник AB , по которо-
му идет ток и на него
повесили концевую
подставку DE , удобную
около точки C . На
радиусе кольца DE рас-
положили магнит NS . Опы-
ты показывают, что такой
магнит остается в равно-

весии и не стремится вращаться около тока AB ,
не смотря на удобную подставку DE . Вы-
разим аналитически условие этого равновесия.

Пусть направление тока в точке N с массой $(+m)$ есть H_1 , а в точке S с массой $(-m)$ есть H_2 ; тогда на полюс N действует сила $f_1 = mH_1$, направленная в нашем случае за черту; а на полюс S действует сила $f_2 = -mH_2$, направленная в выпуклую сторону черты. Оба полюса удовольствуются около точки O , лежащей на проводнике. Постоянство всего линия On мы можем рассматривать как рычаг, удовольствующийся около точки O , к которому приложены силы в точках N и S . Так как рычаг находится в равновесии, то этот момент пары к нему приложенной равен нулю. Полагая, что $On = r_1$ и $Os = r_2$, мы получим выражение этого момента в следующем виде: $m.H_1.r_1 - m.H_2.r_2 = 0$; откуда $H_1.r_1 = H_2.r_2$. Отсюда видим, что направление магнитного поля, обусловленного бесконечным прямым током, изменяется обратно пропорционально расстоянию рассматриваемой точки поля от тока. Далее можно удовольствоваться непосредственным опытом, что это направление изменяется пропорционально силе тока, идущего по прямому проводнику. Соединив оба эти закона в одно выражение, мы можем написать, что напряже-

Нил магнитного поля тока будет: $H = \frac{2\kappa \cdot i}{r}$,
 где κ есть коэффициент пропорциональности,
 зависящий от выбора единицы силы
 тока i и напряженности H . Если в рассматри-
 ваемой точке поля находилась некоторая
 масса μ , то сила, с которой на нее действо-
 вует ток i , выразится так: $F = \mu \cdot H = \frac{2\kappa \mu i}{r}$.
 Очевидно, что направление силы F изгибается
 с изменением направления тока i и знака
 при массе μ . Возьмем за единицу силы тока
 i такой ток, который действует на единицу
 массы: $\mu = 1$, находящейся от него в расстоянии
 одного сантиметра: $r = 1$, давая-же силу F
 равную двум динам: $F = 2$. При таком
 выборе единицы силы тока очевидно коэффи-
 циент пропорциональности $\kappa = 1$ и мы можем
 написать просто: $F = \frac{2\mu \cdot i}{r}$. Указанная едини-
 ца тока представляет, так называемую,
 электромагнитную единицу тока.

Размер ее будет таков: $\text{разм.}(i)_m = \frac{\text{разм.}(F) \cdot \text{разм.}(r)}{\text{разм.}(\mu)}$;
 но $(F) = (M \cdot L \cdot T^{-2})$; $(r) = (L)$; и наконец
 $(\mu) = (M^{1/2} L^{3/2} T^{-1})$; а стало быть получим, что
 $(i)_m = (M^{1/2} L^{1/2} T^{-1})$.

Равно мы даем электростатическую
 единицу тока, определенную на основании поля-

тнз обз электрической массы ($i = \frac{e}{t}$) (стр. 59).

Размеръ ея въихъ таковъ:

$$(i)_e = (L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-2}).$$

Взявши отношение этихъ двухъ единицъ, мы получимъ: $\frac{(i)_e}{(i)_m} = \frac{L}{T}$. Замѣтимъ, что это отношение представляетъ некоторую скорость. Мы указали въсводствѣ электромагнитной единицы и для другихъ величинъ, при чемъ увидимъ, что отношение электростатической единицы къ соответственной электромагнитной всегда равно указанной скорости. Слово на опытъ определить числовую величину ея, при чемъ оказывается, что она равна скорости свѣта; именно 300.000 километровъ въ секунду.

Потенціалъ безконечнаго прямого тока.

Представимъ себѣ безконечной длинной прямой проводникъ, по которому идетъ токъ. Пусть проводникъ этотъ (См. 16.) перпендикуляренъ къ чертежу и пересѣкаетъ его въ точкѣ О начало координатъ x, y, z . Пусть токъ направленъ за чертежъ. Разсмотримъ дѣйствіе магнитнаго поля, обусловленнаго этимъ токомъ, на полюсъ m съ массой $(+1)$. Напряженіе поля

направлен через H , а разность потенциалов M от
тока через Z , а угол θ через α . Если потенциал
 M свободен, то под действием тока он будет
двигаться. Рассмотрим безконечно малое перемеще-
ние потенциала из M в M_1 ; приведем угол α из-
менения на $d\alpha$. Пусть по-

тенциал в точке M есть
 V ; в точке M_1 он равен
 $V + dV$, ибо сила направлена
всегда в сторону убывания
потенциала. Работа этого ра-
бота, совершаемая током при
перемещении MM_1 , равна
 $= -dV$. С другой стороны

эта работа $= H \cdot mm_1$; но из чертежа видно, что
 $mm_1 = Z \cdot d\alpha$, следовательно $-dV = H \cdot Z d\alpha$. Если же
известно, что $H = \frac{2i}{Z}$, где i сила тока; тогда
этого $-dV = 2i d\alpha$. Проведем из точки M ли-
нию M_1K , перпендикулярно оси X и проведем угол
от K $= \beta$. Очевидно, что $\beta = 90^\circ - \alpha$; отсюда
 $d\beta = -d\alpha$; тогда $dV = 2i d\beta$. Интегрируя
это выражение, получаем, что $V = 2i\beta + C$,
где C есть постоянная интегрирования, которую
мы определить не будем. Угол β есть ли-
нейный угол между плоскостью, содержащей

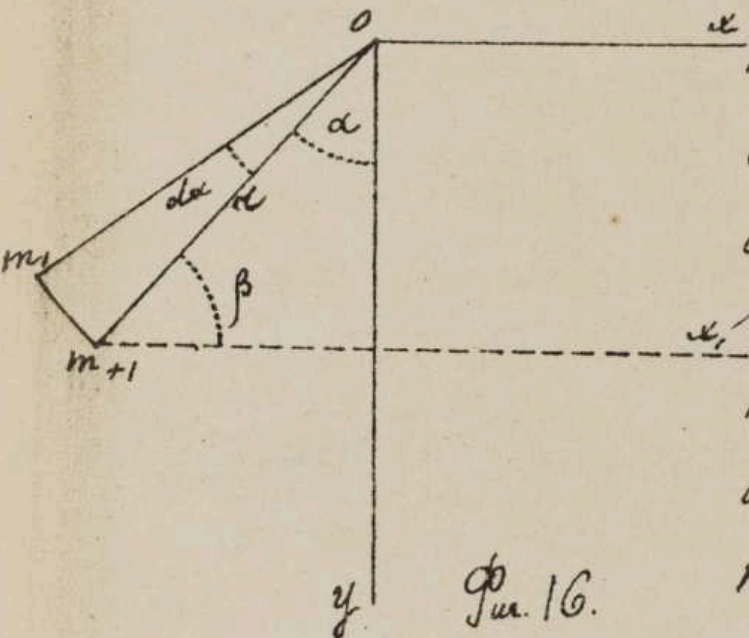
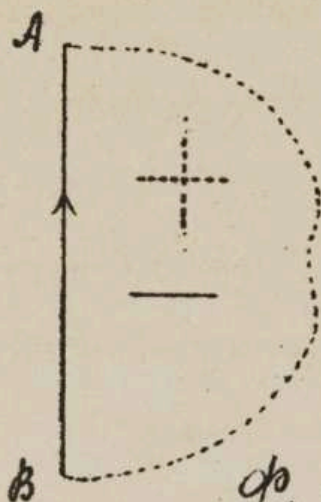


Рис. 16.

через точку m и проводник, расположенный по оси Z и плоскости, проведенного через ту же точку m параллельно плоскости координат XZ . Замкнувши β соответствующим тороидальным углом ω . Так как β и ω измеряются одинаковыми частями окружности и сферы радиуса единицы, то $\beta : 2\pi = \omega : 4\pi$; откуда $\omega = 2\beta$; следовательно окончательно потенциал безконечного тока выразится так: $V = i\omega + C$, где ω есть тороидальный угол, под которым из точки m видна плоскость XZ , ограниченная с одной стороны линией проводника (данного тока). —

Плоскость, проходящая через безконечный ток и ограниченная с одной стороны этим ток, называется плоскостью Даммаго тока. Смысл будем различать стороны этой плоскости: по правилу Ампера, вообразив человека, живущего по направлению тока и смотрящего на плоскость тока, то ту сторону этой плоскости, которая будет по левую руку человека, условимся считать положительною, а — по правую сторону — отрицательною. Так, если через проводник AB (Фиг. 17), по которой идет ток, проведем по направлению X плоскость тока AXB , т.е. возмем ее вправо, и будем смотреть на нее

по направлению X , то левая сторона этой



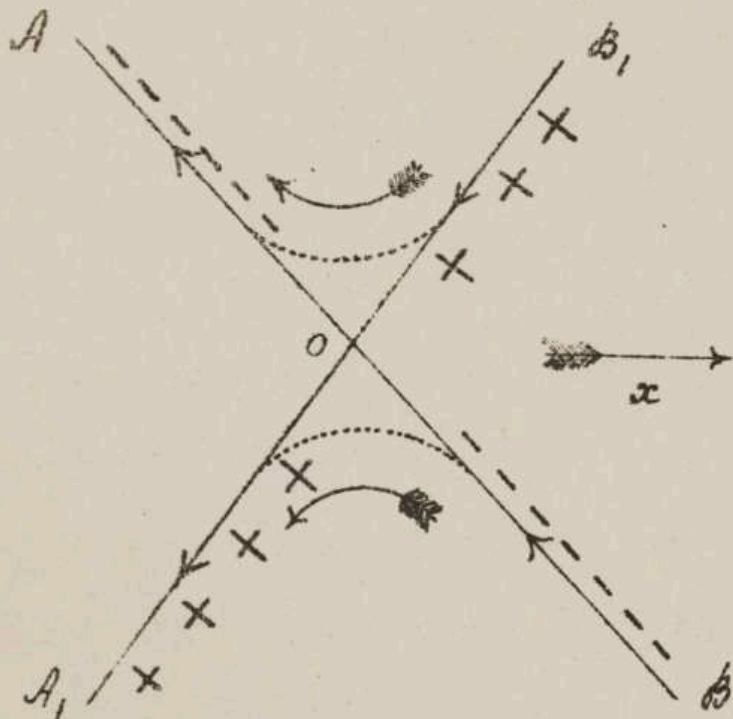
Фиг. 17.

плоскости будет положительной, а правая отрицательной. Можно так же, если будем смотреть из точки, лежащей с левой стороны плоскости тока, то угол ω будем считать положительным,

а если точка находится с правой стороны плоскости тока, то угол ω будем считать отрицательным. —

Рассмотрим теперь случай, когда мы имеем два параллельные безконечные тока AB и A_1B_1 (Фиг. 18), расположенные в одной плоскости; направления этих токов указаны стрелками. Пусть плоскости наших токов совпадают с плоскостью чертежа, в которой лежат наши проводники; найдем потенциалы наших токов для точки, лежащей с правой стороны плоскости чертежа; для тока A_1B_1 по правилу Ампера ставим виток, а для тока AB — лупу. Если обозначим потенциалы тока AB для данной точки через V_a , то имеем, что $V_a = -i \cdot (ABX) + C_1$, где (ABX) есть телесный угол, под которым из данной точки видна плоскость тока ABX ;

принимая этот вещественный угол отрицательным по принятому нами повороту. Потенциал же тока A, B , для той же точки, называя его через V_e , будет: $V_e = i \cdot (A, B, x) + C_2$. Теперь поворотив, что именованное совмещенное двойство токов; тогда на-



Фиг. 18.

зывая искомым потенциалом двойства токов через V_{ab} , именованное, что $V_{ab} = V_a + V_e$ или $V_{ab} = -i \cdot (A, B, x) + C_1 + i \cdot (A, B, x) + C_2$. Далее угол A, B, x можно разложить на составные из двух углов: A, O, B , и B, O, B ; можно также

угол A, B, x составить из двух углов B, O, B и A, O, B ; наконец поворотив, что $(C_1 + C_2) = C_m$; тогда подставляя все эти величины в наше выражение искомого потенциала и раскрывая скобки, получим, что $V_{ab} = -i \cdot A, O, B_1 - i \cdot B, O, B + i \cdot B, O, B + i \cdot A, O, B$; или сокращая, именованное, что $V_{ab} = i \cdot (A, O, B - A, O, B_1) + C_m$, т.е. для двух токов потенциал = произведению силы тока на разность вещественных углов, под которыми видны из данной точки угловые токи A, O, B и A, O, B_1 , + некоторой постоянной

величина C_m . Пусть наши токи перекрещива-
лись в точке O ; но мы получили две токи
самые, если бы токи и не перекрещивались бы,
как это показано на чертеже пунктиром;
следовательно наше рассуждение будет справед-
ливо для двух проводников, симметричных та-
ким образом. —

Теперь присоединим еще третий безконечный
ток CD (рис. 19), лежащий в плоскости пер-
вых двух и рассмотрим следовательно сущ-
есть трех токов. Для плоскости тока CD
по правилу Ампера получим магнетизм. Но
предложу потенциал тока CD для данной то-
чки, называя его через V_c , будет такой:
 $V_c = -i \cdot (CD \cdot L) + C_3$, где $CD \cdot L$ есть то же
нью, под которым из данной то-
чки видна плоскость тока $CD \cdot L$ и этот
угол отрицательный по принятому посто-
яно. Для токов AB и A_1B_1 мы нашли
прежде такое выражение потенциала, что
 $V_{ab} = i(A_1OB - AOB_1) + C_m$. Если сложим
эти две формулы, то получим выражение
искомого потенциала для всех трех то-
ков при одновременном их действии;
называя искомый потенциал через V_{abc} ,

получив, что $V_{abc} = i(A, OB - AO B_1) + C_m - i(CD L) + C_3$; но телесный угол CDL можно записать —

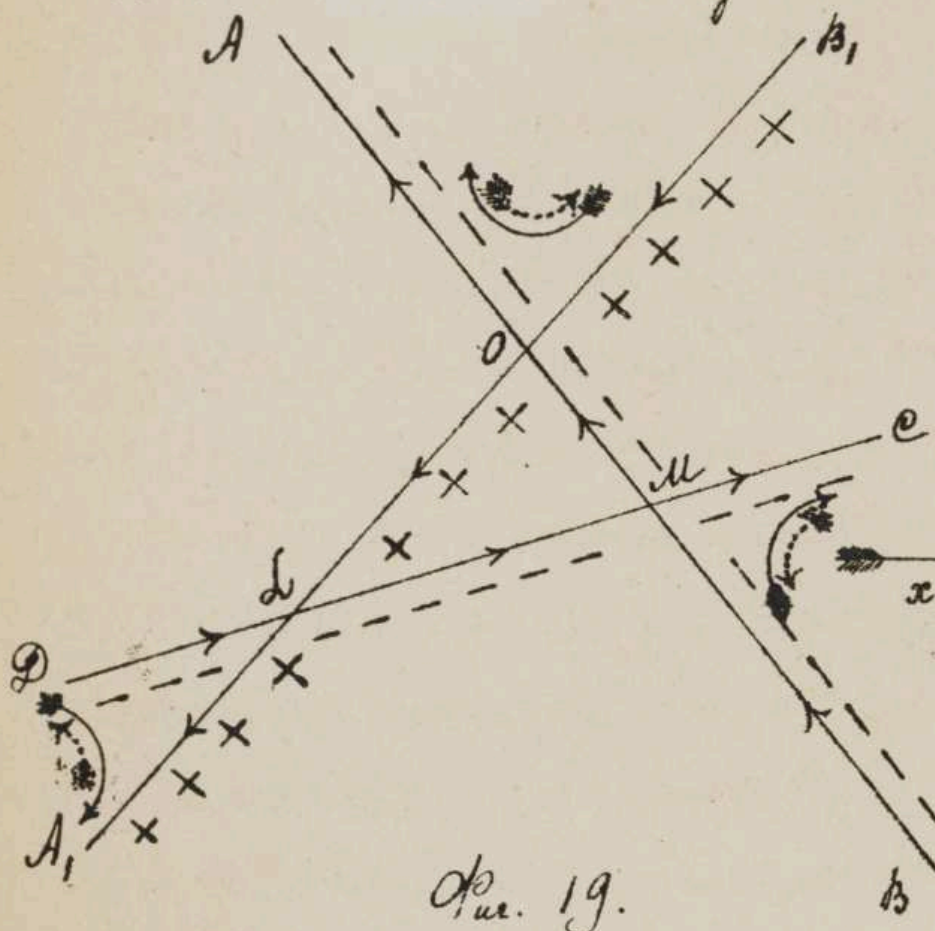
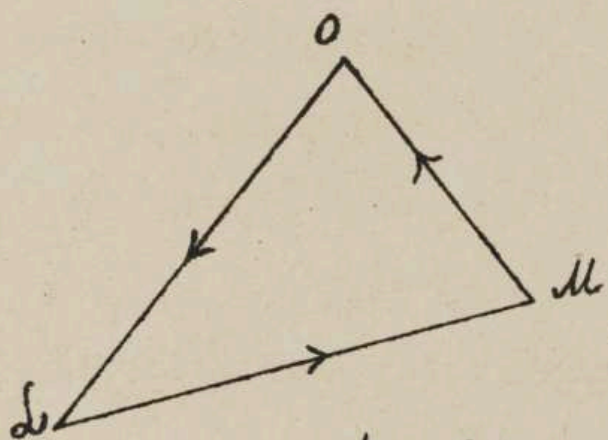


Рис. 19.

соответствующими поверхностями DA_1L , A, LMB и $BMLC$; точно так же телесный угол AOB можно записать телесным углом, соответствующим поверхностям $OLML$ и A, LMB ; наконец получив, что $C_m + C_3 = C$; тогда подставляя и раскрывая скобки, получив, что

$V_{abc} = i. OLML + i. A, LMB - i. AOB_1 - i. DA_1L - i. A, LMB - i. BMLC + C$; или сокращая, найдено, что $V_{abc} = i(O LML - AOB_1 - DA_1L - BMLC) + C$; в это выражение, как мы видим, входит алгебраическая сумма телесных углов, под которыми видны из данной точки замкнутый контур тока $OLML$ и три угла тока AOB_1 , DA_1L и $BMLC$. Поднесем теперь такие же угловые токи, но идущие обратно, как показано пунктиром на чертеже, то получим попутные члены: $i(AOB_1)$, $i(DA_1L)$ и $i(BMLC)$

и следовательно при суммировании какъ эти, такъ и другіе отрицательные члены сократятся, т.е. видимый условный токъ не будетъ и у насъ останется только замкнутый контуръ тока OLM (Фиг. 20), потенциалъ котораго $V_{ole} = i(OLM) + C$, т.е. потенциалъ тока, идущаго по замкнутому контуру



Фиг. 20.

равенъ произведенію силы тока на телесный уголъ, подъ которымъ этотъ контуръ виденъ изъ разсѣиваемой точки + некоторой постоянной величины C . — Косвенное правило справедливо для проводника всякой формы съ замкнутыми токами. —

Мы получили, что потенциалъ замкнутого проводника съ токомъ i , видимого подъ угломъ ω изъ данной точки, будетъ для этой точки: $V = i \cdot \omega + C$. Раньше же мы видели, что магнитный свой напряженіи f обуславливается въ точке, изъ которой оно видимо подъ телеснымъ угломъ ω , потенциалъ $V = f \cdot \omega$. Если приидтъ, что $i = f$, то потенциалъ совпадаетъ какъ мы видимъ, только лишь

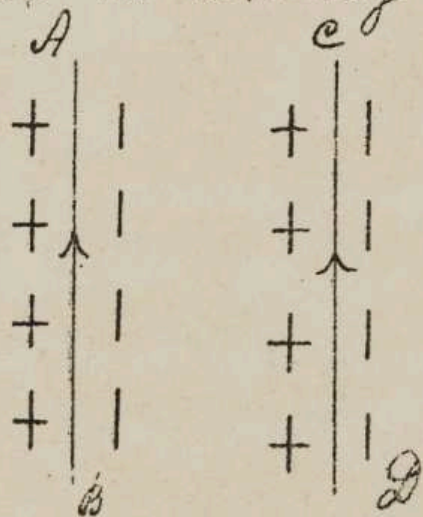
постоянной величиной C ; следовательно их производные одинаковы; отсюда такое заключение: по отношению кь обусловливаемому потоку проводникъ съ токомъ эквивалентенъ магнитному слою того-же контура, напряжений равнаго силъ данного тока и положительная сторона которого совпадаетъ съ положительною стороною проводника. — Исключъ этого все выводы, сделанные нами для магнитныхъ слоевъ, применимы и кь проводникамъ; такъ, напримеръ, по аналогіи заключаемъ: при измѣненіи системы, состоящей изъ магнитныхъ полюсовъ и проводника съ токомъ, совершается работа равная произведенію силы тока на приращеніе пучка силовыхъ линий, производящихъ контуръ проводника. Поэтому когда проводникъ съ токомъ перемѣщается въ поле и производяющій его пучекъ силовыхъ линий, измѣняется изъ P въ P_1 , то силами поля совершается работа: $W = i(P - P_1)$.



Взаимодѣйствіе токовъ.

Почти непосредственно послѣ открытій Эрште-
даиъ дѣйствія тока на магнитъ, Амперъ
открылъ, что токъ дѣйствуетъ на другой токъ,
притягивая или отталкивая его по нѣкоторымъ
опредѣленнымъ законамъ; въ этомъ состо-
итъ основное положеніе электродинамики.
Амперъ изслѣдовалъ это взаимодѣйствіе опы-
тными путями и на основаніи своихъ опы-
товъ построилъ теорію, объясняющую дѣйствіе
одного тока на другой. Разсмотримъ все
эти законы последовательно. —

I. Представимъ себѣ два параллельныхъ про-
водника АВ и СD (Фиг. 21), по которымъ токи
идутъ по одному направленію и пусть АВ



Фиг. 21.

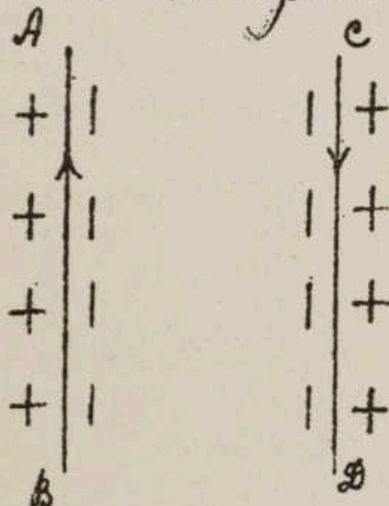
удобно допустить; тогда мы за-
мѣтимъ, что наши провод-
ники притягиваются.

Въ самомъ дѣлѣ, если черезъ
АВ проведемъ плоскость тока
то по правилу Ампера, на-
кладываемъ магнитный полюсъ,

съ лѣвой стороны АВ получимъ полюсъ, а съ
правой — полюсъ; если же проведемъ черезъ

CD перекресток тока, то по той же правили, сь левой стороны CD получимъ также кресток, а сь правой - крестокъ. Такимъ образомъ мы видимъ, что между проводниками АВ и CD действуют магнитныя силы сь разнонаправленными полюсами, следовательно проводники должны притягиваться.

Теперь возьмемъ такие-же проводники АВ и CD (Фиг. 22), но токи пусть идутъ по противоположнымъ направлениямъ. Проведемъ, какъ и раньше,



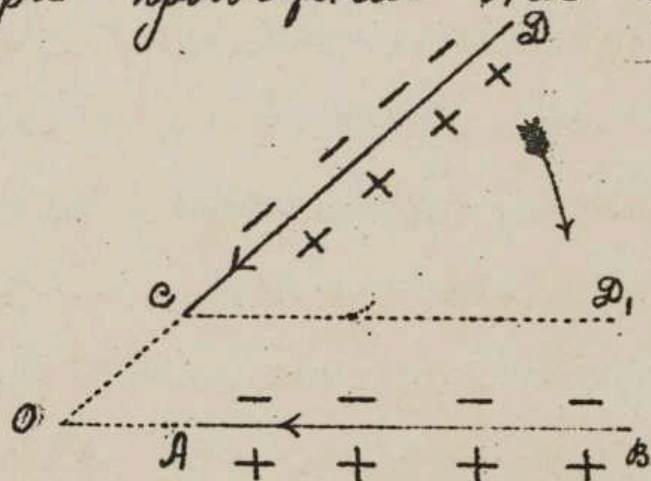
Фиг. 22.

черезъ наши проводники плоскости тока; тогда по правили Ампера на АВ распределение магнитныхъ силъ останется по прежнему, а на CD оно распределится обратно прежнему; такимъ образомъ мы видимъ, что между АВ и CD действуют магнитныя силы сь противоположными полюсами, следовательно проводники должны отталкиваться.

Изъ этихъ двухъ случаевъ вытекаетъ первый законъ Ампера: два параллельныхъ проводника притягиваются, если токи идутъ вь нихъ по одному направлению и отталкиваются,

тея, если токи идут по противоположным направлениям. Этот закон не зависит от того, представляют ли параллельные проводники части двух разных проводников, или они суть части одного и того-же проводника. Также, например, можно обнаружить, что отталкивающие обороты спирали притягиваются друг к другу при расположении по спирали тока, так как ток идет по направлению движения одинаковому во прилегающих одна к другой частям спирали; такая спираль поэтому укорачивается при пропускании через нее тока. —

II. Возмем два проводника АВ и CD (рис. 23), наклоненные друг к другу под углом и пусть при продолжении они пересекаются в точке О;



даже пусть оба тока приближаются к этой точке О; тогда мы заметим, что проводники притягиваются. Также, если оба тока удаляются от точки пересечения О (рис. 24), то

Рис. 23.

проводники также притягиваются и если

проводника CD вращается около точки C , то в обоих случаях CD стремится стать в положение CD_1 , параллельное проводнику AB , как показано на чертеже пунктиром. Проведя плоскости тока и накладывая по правилу Ампера магнитные массы, как показано на чертеже, мы

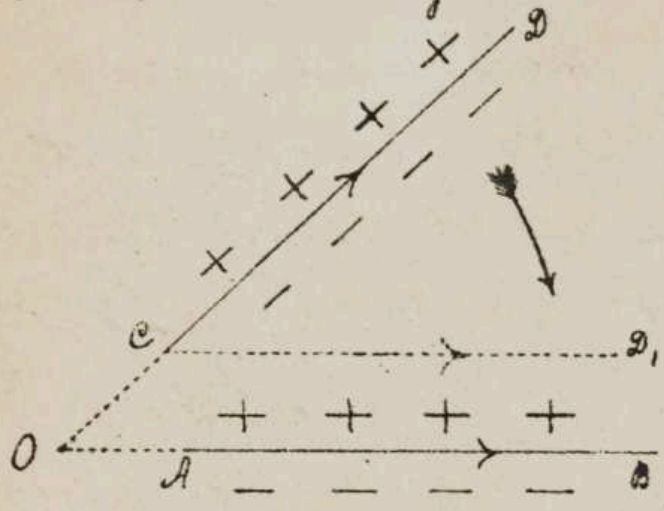


Рис. 24.

видим, что проводники взаимно притягиваются. Теперь возьмем такие же проводники AB и CD (рис. 25), но токи пусть направлены так, что один приближается к точке пересечения O , а другой удаляется от нее; тогда мы заметим, что проводники отталкиваются и если проводник CD вращается около точки C , то он стремится

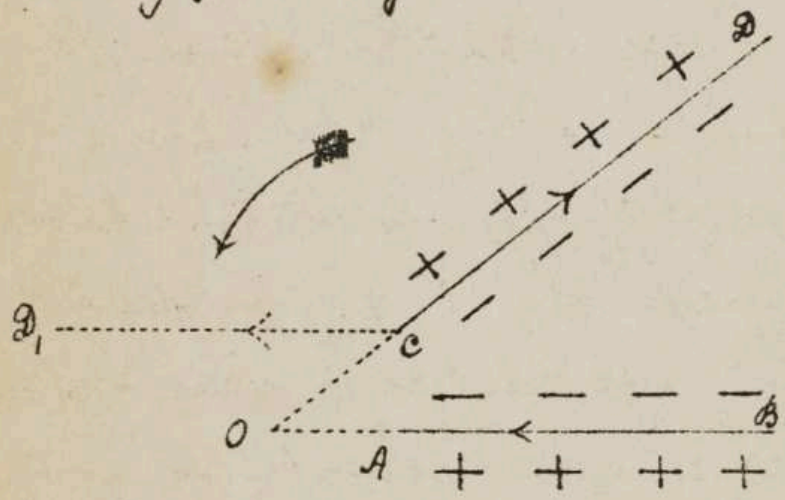


Рис. 25.

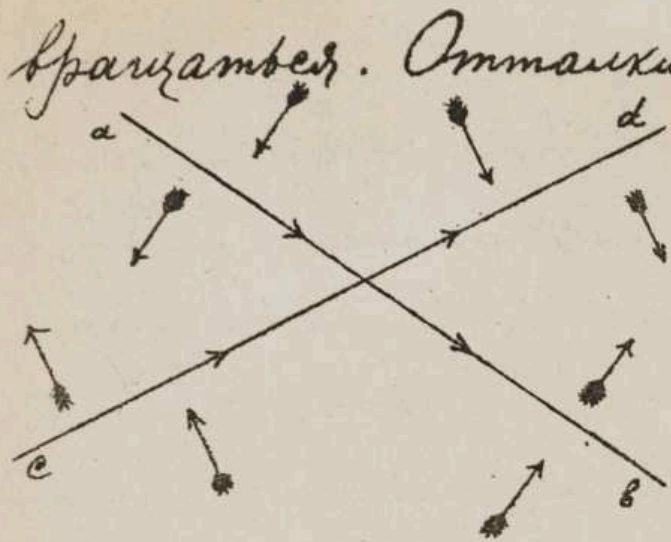
стать в положение CD_1 , параллельное AB . Проведя плоскости тока и накладывая по правилу Ампера магнитные массы, как показано на чертеже, мы видим,

что проводники отталкиваются и если проводник CD вращается около точки C , то он стремится стать в положение CD_1 , параллельное AB . Проведя плоскости тока и на-

что проводники должны отталкиваться. Из
этих двух примеров следует второй
закон Ампера: два проводника, нахо-
дясь друг к другу под углом, при-
тягиваются, когда оба тока направлены
одинаково по отношению к точке пересече-
ний проводников (или к точке пересечения
одного проводника с проекцией другого, если провод-
ники лежат в разных плоскостях) и от-
талкиваются, когда направления токов
относительно точки пересечения про-
тивоположны.

III. Сила, с которой элемент провод-
ника действует на элемент другого
проводника, всегда стремится заста-
вить последний прийти в движение по
направлению, составляющему прямую
угол к его собственному направлению.
Так, например, в случае двух параллель-
ных проводников сила притяжения или от-
талкивания действует под прямым уг-
лом к направлению токов.

Примеры для II и III законов представ-
ляет случай, изображенный на рисунке 26.
Здесь два проводника ab и cd могут

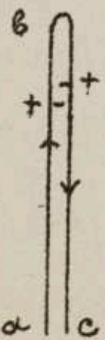


Фиг. 26.

вращается. Отталкивание будет между a и d и между c и b ; тогда как во втором случае будет притяжение: именно a к c и b к d . Наконец наши проводники принимают положение, параллельное друг другу; отсюда вытекает общий закон: если токи перекрещиваются, то стремятся стать в параллельное положение.

IV. Сила, действующая между параллельными частями проводников, прямо пропорциональна произведению из сил обоих токов и длины частей проводников и обратно пропорциональна расстоянию между ними.

Далее Ампер заметил, что если взять проводник и согнуть его в виде узкой щели (Фиг. 27), то взаимодействия между частями проводника не будет, так как закон действия или взаимного расстояния приводит к бытию одной проводки на другую и следовательно совпадение разноименных маг-



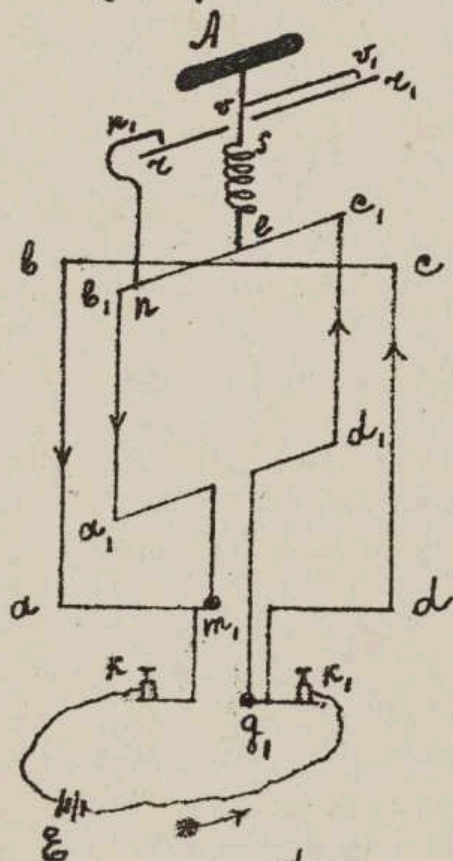
Фиг. 27.

на другую и следовательно совпадение разноименных маг-

нитивных масс.

Электродинамометр Вилленса.

Электродинамометр Вилленса основан на взаимодействии двух проводников, по которым течет ток. Устройство его состоит из следующего: подвижной проволоки, изогнутой в виде прямоугольника (Фиг. 28) $abcd$, плоскость которой будет совпадать с плоскостью чертежа; концы этого проводника помощью клемм K и K_1 соединены с батареей $\mathcal{E}$. К этому неподвижному прямоугольнику присоединены другой подвижной $a_1b_1c_1d_1$, при этом плоскость этого последнего перпендикулярна к плоскости прямоугольника $abcd$. Подвижность прямоугольника $a_1b_1c_1d_1$ достигается тем, что он подвешен на пружине rs и концами своими погружен в медные чашечки g_1 и m_1 со ртутью. Чашечки эти соединены с $abed$, как



Фиг. 28.

показано на чертеже. Ток из батареи, выходя по проводкам, входит в оба прямоугольника и протекает в них по одному и тому же направлению, заставляет части ab и a_1b_1 , cd и c_1d_1 притягиваться и раздвигаться параллельно

плоскости этого последнего перпендикулярна к плоскости прямоугольника $abcd$. Подвижность прямоугольника $a_1b_1c_1d_1$ достигается тем, что он подвешен на пружине rs и концами своими погружен в медные чашечки g_1 и m_1 со ртутью. Чашечки эти соединены с $abed$, как

другъ другу; при этомъ вѣрно преобладающая,
противодѣйствіе пружины раскручивается; тѣмъ силь-
нѣе токъ, тѣмъ стремленіе къ притяженію будетъ.
Замѣте. Измѣреніе силы тока ведется такъ: сна-
чала рамка a, b, c, d , установленная перпендикулярно
къ плоскости $abcd$, что можно видѣть по указа-
телю kk , прикрѣпленному къ a, b, c, d , и стоящему
на нитѣ неподвижнаго диска zz . Когда вѣствующее
ѣе тока, который мы измѣряемъ, проводникъ a, b, c, d ,
повернется на некоторый уголъ. Когда проводникъ
успокоится, то его поможетъ головка A , соединен-
ной со спиралью es , приводимъ въ первоначаль-
ное положеніе; поможетъ для этого намъ при-
дется повернуть головку A на уголъ φ , кото-
рый видѣть по указателю vv , прикрѣпленному
къ пружинѣ проводника a, b, c, d . Слѣд., повер-
нувъ проводникъ въ первоначальное положеніе, мы
имѣемъ электрическаго притяженій уравновѣсивающихъ
силою крученій пружины и слѣд. моментъ элек-
трической пары равняется моменту круче-
ній. Но моментъ электрической пары, какъ
показываетъ теорія, пропорціоналенъ квадрату
силы тока, т.е. $M_e = C \cdot i^2$; а моментъ
крученій, пропорціоналенъ углу крученій и слѣд.
 $M_k = C_1 \cdot \varphi$. При равновѣсін имѣемъ, что

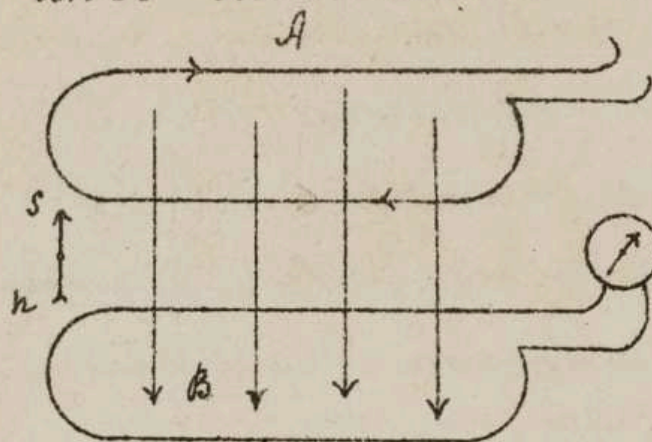
$M_e = M_k$ или $C_i^2 = C_i \varphi$; откуда $i = \sqrt{\frac{C_i}{C}} \cdot \sqrt{\varphi}$.
 Коэффициенты C и C_i зависят от конструкции аппарата и для каждого из них есть величина постоянная; так же - что полагать, что $\sqrt{\frac{C_i}{C}} = A$, величину постоянной, получим: $i = A \cdot \sqrt{\varphi}$.
 Чтобы учесть действие аппарата, беруть в неподвижной рамке не одну, а несколько обмоток. В приборе обыкновенно намотка проволоки делается так: несколько оборотов отклоняют из толстой проволоки, чтобы она могла выносить действие сильного тока, на софроваль; затем несколько обмоток из тонкой проволоки и каждую из обмоток можно вводить в щиты соответственно; если ток сильный, то вводят толстую обмотку, а при слабом токе - тонкую. В таком аппарате нужно одновременно определить два коэффициента A и A_i , для действия аппарата при толстой и тонкой проволоке. Для определения коэффициента A нужно знать силу тока i и отклонение φ , соответствующее этой силе: первое находят помощью вольтметра из известного напряжения $E_{\text{ист}} \text{ вольт}$, в котором количество оседающей меди пропорционально силе тока и времени; а второе определяется указателем $V V_i$.

Найденные величины A и A_1 вычитая на кривую; такъ въ величии снарида $A = 31,44\%$; $A_1 = 10,74\%$; кривую A — для толстой и A_1 — для тонкой проволоки.

Индукція.

Въ 1831 году Фарадей открылъ, что въ замкнутых проводниках могут быть возбуждены токи движением магнита вблизи проводника или движением самого проводника через магнитное поле; продолжая свои изыскания, онъ нашелъ, что токъ, который сила магнетизма, можетъ также возбуждать вторичный токъ въ другомъ замкнутомъ проводникѣ, находящемся вблизи перваго. Такие токи возбуждаются и они магнитами или другими токами, называются индукционными токами, или токами наведения. Действие магнита или тока, производящее такие индукционные токи, наз. электромагнитной индукціей. Рассмотримъ теперь подробные способы наведения токовъ и объяснимъ ихъ причины. Если имеемъ кольцевой токъ A (Фиг. 29), направленный по стрелкѣ, то онъ распространяется, какъ уже извѣстно, силовыя линии, направленные сверху внизъ (нужно предполо-

гитб; что плоскость проводника A перпендикулярна к плоскости чертежа), сдв стверный по-
иное магнитной стрелки, находящейся сбоку



проводника, смотритъ вни-
Зведемъ зъедро въ магнит-
ное поле проводника A дру-
гой проводникъ B , не име-
ющий тока и следовательно
не влияющий на магнит-
ное поле. Тогда составные про-

Рис. 29.

водника B иривлется въ такое состояние, что
въ плоскость его будутъ входить силовые линии
и вследствие этого измѣненія по B пойдетъ
токъ, что покажетъ гальванометръ, соединен-
ный съ B . Если прекратимъ движеніе про-
водника B , то токъ въ немъ затихаетъ.

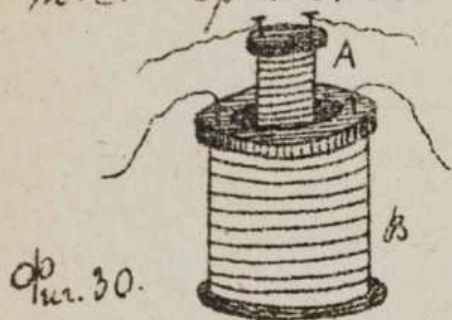
Токъ проводника B назыв. наведеннымъ,
а A — наводящимъ. — Если B теперь

будемъ удалять отъ A , то въ немъ опять
явится токъ, причемъ направленіе этого
тока обратное току приближенія провод-
ника; онъ также затихаетъ, если проводникъ
 B перестанетъ удаляться отъ A . —

Если проводникъ B приближаемъ къ A , то въ B
является токъ обратный A ; при удаленіи
же B отъ A , токъ въ B имеетъ такое на-

продвижение, что и в A .

Вместо одной петли A и B можно брать катушку, т.е. деревянный цилиндр с обмотками из изо-



лированной проволоки (Фиг. 30). При введении катушки A в B , в B наводится ток обратный A и наоборот при выведении

- ток одинаковый с A .

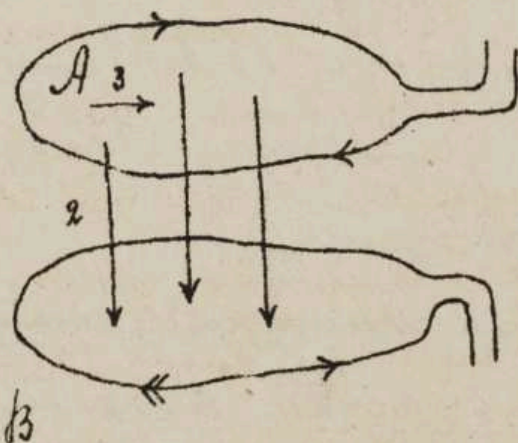
Прерывание батарейного тока в A в то время, когда индуктирующая катушка A находится внутри индукционной B , производит такое действие, какъ если бы индуктирующая катушка B была востро удалена на бесконечно-большое расстояние.

Защелкивание тока в то время, когда первая спираль находится внутри второй, действует какъ вострое вдвижение первой катушки с постоянным в ней током. В той же катушке B (Фиг. 30) возбуждается мгновенный ток при востром введении магнита внутрь катушки. В то время, когда магнит находится внутри катушки в покое, безъ движений, онъ не возбуждаетъ тока. Но если его востро вывести из катушки, то наводится опять мгновенный ток, который направлением противоположно направлению

первого тока: Индукционный ток, возникающий при введении магнита во внутренность катушки есть обратный ток, т.е. направление его противоположно тому, при котором ток, намагнитив ферромагнитный стержень, распространившийся во внешнюю часть тока, как если распространился во замкнутом магните. Индукционный ток, возникающий при выдвигании магнита, есть прямой ток. Совершенно такое явление, какое происходит при введении магнита внутрь катушки и обратно, наблюдается и во том случае, когда оставляя магнит неподвижным, двигают катушку; такое явление, такое явление индукционный ток.

Величина и направление тока во наводимом проводнике.

Из выше сказанного можно вывести правила для определения направления наводимого тока.



Фиг. 31.

Пусть имеем (Фиг. 31) проводник А, в котором ток идет по часовой стрелке. Для наблюдателя, смотрящего на проводник А сверху; тогда силовые линии его будут направлены сверху вниз, и если к такому проводнику будем приближать

и если к такому проводнику будем приближать

проводникъ В или все равно увеличится число силовыхъ линий, то въ немъ (т.е. въ проводникѣ В) возбудится токъ, имѣющій направление обратное часовой стрѣлкѣ, если смотреть по направле-
нію силовыхъ линий (2). Если проводникъ В будемъ удалять отъ А, что соответствуетъ уменьшенію числа силовыхъ линий В отъ неко-
торого магнитнаго до 0, то наведенный токъ В будетъ идти по стрѣлкѣ часовой. Эти два пра-
вила составляютъ первый законъ индукціи. Если токъ въ проводникѣ А будетъ имѣть обрат-
ное направление (по стрѣлкѣ 3), то вышеприведенное правило не измѣнится, ибо въ этомъ случаѣ нап-
равленіе силовыхъ линий магнитнаго поля будетъ противоположно первому.

Токъ, направленный по часовой стрѣлкѣ будемъ называть положительнымъ (+); обратный же токъ — отрицательнымъ (-).

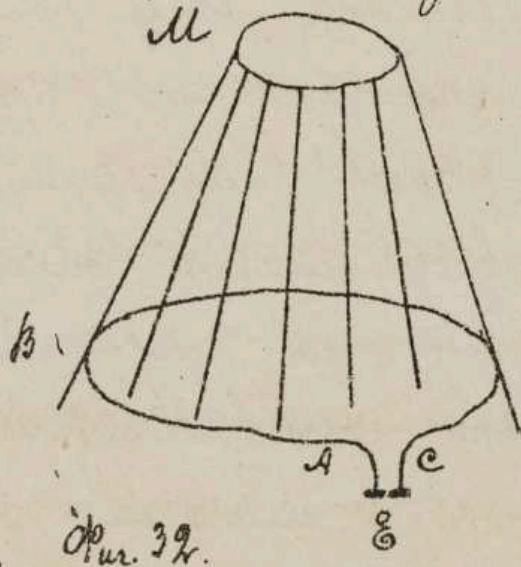
Есть еще другое правило для опредѣленія направле-
нія наводимого тока, данное въ 1834 году Ленцомъ и извѣстно подъ именемъ „Закона Ленца“, ко-
торое состоитъ въ слѣдующемъ:

Во всякомъ случаѣ электромагнитной индукціи индукционные токи имѣютъ такое направление,
что ихъ дѣйствіе стремится остановить движеніе, вызывающее токи. Въ самомъ дѣлѣ, при

приближении проводника B к A , во обоих проводниках идут токи противоположного направления, а такие токи, как мы видели раньше, отталкиваются, т.е. противодействуют приближению проводников. Наоборот при удалении проводника B от A по обоим проводникам идут токи одинакового направления, вследствие чего токи стремятся сблизиться.

Основной закон индукции

Установим теперь теоретически основной закон индукции, выведенный Ф. Нейманом, В. Максвеллом и Гельмгольцом. Рассмотрим контур ABE с некоторым сопротивлением R (Фиг. 32), замыкающий батарею, которой электродвижущая сила есть $\mathcal{E}$; пусть сила тока есть I . Мы уже знаем, что энергия, потребляемая батареей, за



Фиг. 32.

данной промежуток времени dt , будет: $(v-v_1)e = \mathcal{E}e = \mathcal{E}I \cdot dt$; но эта энергия сплошь превращается в теплоту внутри контура и слвд. по закону Джоуля имеем, что: $\mathcal{E}I \cdot dt = I^2 R \cdot dt$.

Предположим теперь, что контур находится в магнитном поле M . Тогда энергия

нашей Батарей будет расходоваться не только на сопротивление контура, но и на перемагничивание проводника. А так как ток I в Батарее не будет, а будет ток i . Обозначая работу перемагничиваний через dT , имеем след., что: $\mathcal{E} \cdot i \cdot dt = i^2 R \cdot dt + dT$. Обозначим число силовых линий, пронизывающих наш контур вначале, через Q_1 ; а число силовых линий в конце перемагничиваний, т.е. по истечении времени dt , через Q_2 ; тогда след. при перемагничивании проводника число силовых линий изменится на $dQ = (Q_2 - Q_1)$. Но работа перемагничиваний dT пропорциональна силе тока и изменению числа силовых линий dQ ; след. $dT = i \cdot dQ$. Подставив в прежнее выражение, получим, что: $\mathcal{E} \cdot i \cdot dt = i^2 R \cdot dt + i \cdot dQ$; отсюда сила наведенного тока $i = \frac{\mathcal{E} - \frac{dQ}{dt}}{R}$. Сравнивая эту формулу с формулой Ома, мы видим, что величина $(-\frac{dQ}{dt})$ играет здесь роль электро-движущей силы, которая изменяет силу тока из I в i ; поэтому она называется электродвижущей силой наведенного тока; обозначая ее через $\mathcal{E}$, имеем, что $(-\frac{dQ}{dt}) = \mathcal{E}$, т.е. наведенная электро-движущая сила данного проводника =

отнесенному къ единице времени измѣне-
 нно пучка силовыхъ нитей, пронизываю-
 щихъ его контуръ; это будетъ законъ
 Ф. Неймана. Мы видимъ, что она по знаку
 противоположна первоначальной электродвижущей
 силѣ $\mathcal{E}$ и вычитается изъ ней, если dQ поло-
 жительное, т.е. при приближеніи проводника;
 наоборотъ прилагается къ ней, если dQ отри-
 цательное, т.е. при удаленіи проводника. При
 этомъ величина этой электродвижущей силы $\mathcal{E}$
 не зависитъ отъ постоянной электродвижущей
 силы $\mathcal{E}$, замыкающей въ контуръ. Опытъ
 показываетъ, что величина $\mathcal{E}$ будетъ таже самая
 да и въ томъ случаѣ, когда $\mathcal{E} = 0$, т.е.
 когда контуръ есть простой проводникъ, зам-
 кнутый въ самомъ себѣ (безъ батареи). —
 Мы получили, что: $i = \frac{\mathcal{E}}{R} - \frac{1}{R} \frac{dQ}{dt}$; но для случая,
 когда $\mathcal{E} = 0$, имѣемъ отсюда, что $i_1 = -\frac{1}{R} \frac{dQ}{dt}$;
 такъ выразимъ силу наведеннаго тока. Мы
 знаемъ уже, что силой тока мѣр. количество
 электричества, пронесеннаго въ единицу времени
 черезъ какое нибудь сѣченіе проводника; следовательно
 если въ единицу времени пронесетъ количество
 электричества i_1 , то за время dt пронесетъ
 количество электричества равное $i_1 dt$; обозначимъ

его через dm , имеем, что: $dm = i \cdot dt$ или
 $dm = -\frac{1}{R} \cdot dQ$. Полагая, что приведенный ток
 продолжается в течение некоторого времени; тогда
 сумм. полное количество электричества для этого
 времени получим, интегрируя последнее выра-
 жение: $\int dm = -\frac{1}{R} \int dQ$ или $m = -\frac{1}{R} (Q_2 - Q_1)$,
 т.е. полное количество электричества, приведенное
 в действие индукцией = полному извлечению
 числа силовых нитей, разбитому на
 сопротивление контура; зная Q_1 , есть число
 силовых нитей, пронизывающих контур в начале
 движения, а Q_2 — в конце движения. Напишем
 это выражение так: $mR = (Q_1 - Q_2) = \mathcal{E}_i$;
 эта величина $mR = \mathcal{E}_i$ наз. интегральной
 электродвижущей силой; а величина m
 наз. интегральным током; причем ве-
 личина mR не зависит ни от того сколько
 времени продолжалось извлечение, ни от того
 каким образом это извлечение происходило,
 а зависит только от числа силовых нитей,
 пронизывающих контур в начале и в конце.

Частные случаи наведения тока

I. Возьмем два проводника АВ и СД (Фиг. 33),
 соединенные проводником, сопротивление которой
 R ; наложим на них проводник МН, который

может передвигаться параллельно самому себе; полагая, что вся эта система находится в равномерном магнитном поле, которое силовыми линиями, параллельными между собой, направлено перпендикулярно к плоскости чертежа. Пусть H будет напряжение магнитного поля, т.е. есть число силовых линий, падающих на единицу поверхности ($1 \square \text{ c/m}$).

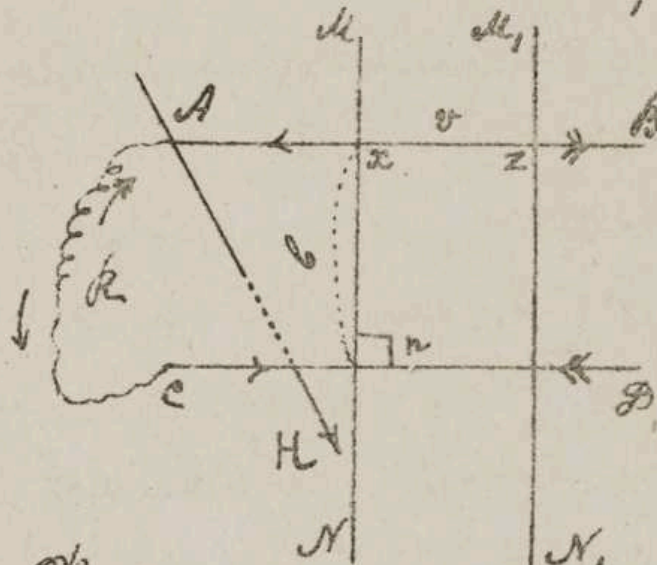
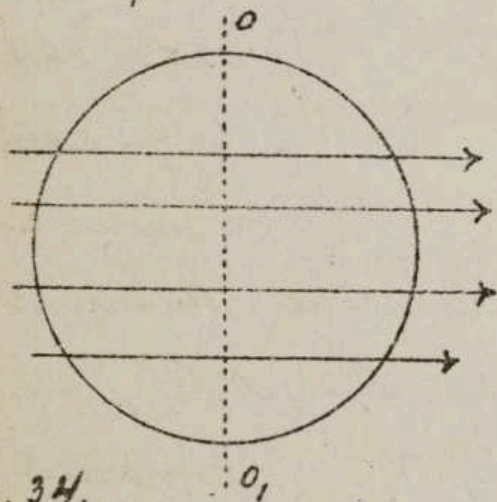


Рис. 33.

и пусть $H = H_0$; далее полагая, что в единицу времени (1 сек.) проводник $МN$ переместился в положение $М_1N_1$; следовательно расстояние $ММ_1 = v$ есть скорость перемещения проводника $МN$; обозначим расстояние между AB и CD через b . Как уже известно, сила наведенного тока есть: $i = -\frac{1}{R} \frac{dQ}{dt}$; здесь отношение $\frac{dQ}{dt}$ есть изменение числа силовых линий в единицу времени; определим это отношение. Площадь контура $AMNC$ изменилась в AM_1N_1C , т.е. увеличилась на площадь MM_1N_1N , которая $= bv$. Если на единицу площади в единицу времени падает H силовых линий, то на площадь bv упадет: bvH силовых линий; следовательно $\frac{dQ}{dt} = bvH = bvtH$. Подставляя в вы-

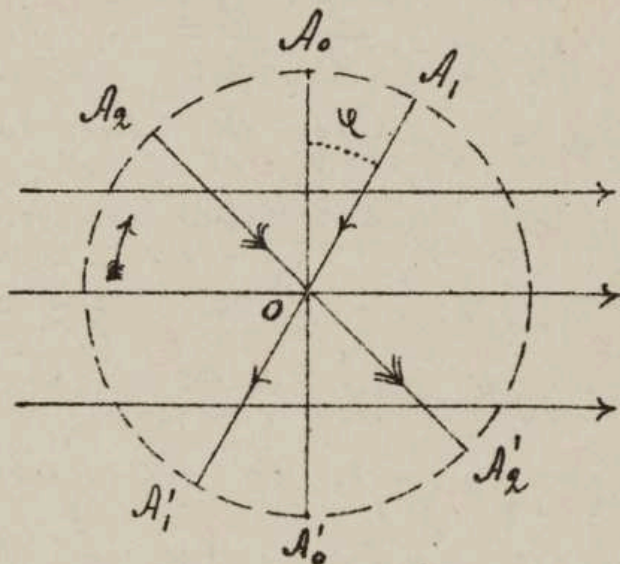
различия силы наведенного тока, получимъ, что: $i_1 = -\frac{1}{R} \frac{d\Phi}{dt}$. Если будемъ смотреть по направлению силовыхъ нитей, то индуктивный токъ здесь направится противъ часовой стрелки, что также случай соответствуетъ увеличенію числа силовыхъ нитей, т.е. приближенію проводника. Наоборотъ, если станемъ двигать проводникъ съ вѣтви, то отношение $\frac{d\Phi}{dt}$ будетъ отрицательное, а сльд. $i_1 = +\frac{1}{R} \frac{d\Phi}{dt}$ и токъ пойдетъ по часовой стрелкѣ, такъ какъ этотъ случай соответствуетъ уменьшенію числа силовыхъ нитей, т.е. удаленію проводника.

II. Представимъ себѣ равноширокое магнитное поле, силовыя нити котораго параллельны, между собою; внесемъ въ это поле замкнутый кольцевой проводникъ (Фиг. 34) и будемъ вращать его около оси OO_1 ; при такомъ вращеніи число силовыхъ нитей, попадающихъ на кольцо проводникъ, будетъ измѣняться, а потому будутъ наводиться индуктивные токи. Рассмотримъ кольцо сверху въ разные моменты вращеній. Положимъ что, вращая кольцо по стрелкѣ часовъ, оно изъ положенія $A_0 A'_0$ (Фиг. 35) перешло въ положеніе



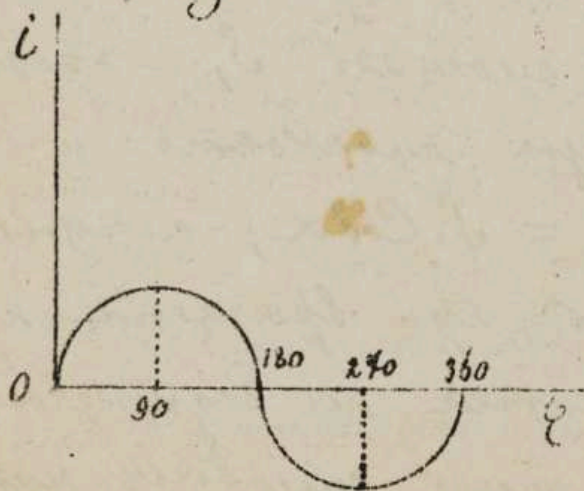
Фиг. 34.

A, A' . При перемещении из $A_0 A'_0$ в A, A' число силовых нитей, падающих на кольцо, увеличивается; поэтому введенный ток пойдет по стрелкам часов. Далее пусть кольцо переместилось из положения A, A' в положение $A_2 A'_2$; тогда число силовых нитей, падающих на него, увеличится; след. введенный ток пойдет против стрелки часов. Плоскость, проходящая через положение $A_0 A'_0$ и перпендикулярная к си-



Фиг. 35.

ловых нитей, наз. Экваториальной плоскостью; при переходе через эту плоскость ток в кольце меняет свое направление; если при вращении плоскость кольца совпадает с плоскостью силовых нитей, то тока не получится. Представим графически это изменение



Фиг. 36.

тока. Вид этого на оси абсцисс (Фиг. 36) будет отклонение угла поворота ϕ от экватора, а на оси ординат — соответствующий ток: положительный (по стрелкам часов) вверх, и отрицательный (против стрелки часов) вниз.

Таким образом найдем, что кривая изгиб-
лений тока есть синусоида. —

Введем выражение электродвижущей силы и
силы тока, наводимые в круглом проводнике,
вращающемся в равнодействующем магнитном
поле: $\mathcal{E} = - \frac{d\Phi}{dt}$ и $i = - \frac{1}{R} \cdot \frac{d\Phi}{dt}$. Пусть
проводник, площадь которого равна S , находится
расположен вертикально к силовым линиям
магнитного поля, напряжением которого $= H$.

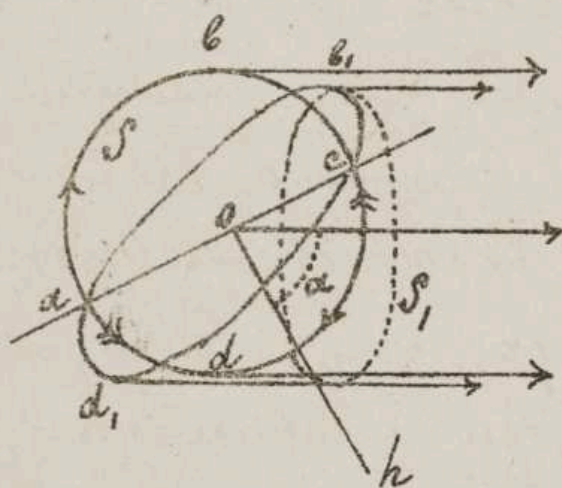


Рис. 37.

Число силовых линий,
попадающих в провод-
ник равно: $\Phi_0 = H \cdot S$.

Повернем проводник (рис. 37)
около оси AC на неко-
торый угол α в по-
ложение ab, cd . Число си-
ловых линий, попадаю-
щих теперь в площадь

проводника S очевидно равно числу силовых
линий, проходящих через площадь S_1 — проекцию
площади S на вертикальную плоскость и бу-
дет: $\Phi = H \cdot S_1$. Но $S_1 = S \cdot \cos \alpha$; следовательно.

$\Phi = H \cdot S \cdot \cos \alpha$. Если теперь, при вращении про-
водника, угол α изменится на бесконечно
малую величину $d\alpha$, то число силовых линий

Φ изменится на величину $d\Phi$. Дифференцируя

последнее выражение, именуя, что: $dQ =$
 $= -H.S. \sin \alpha. d\alpha$. Именуя этого видя, что электродвижущая сила E выражается так:

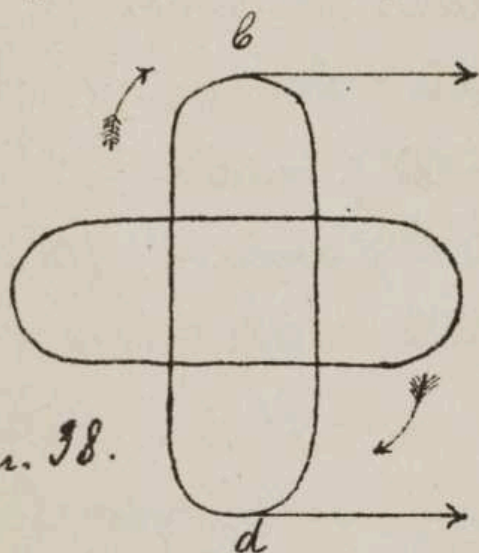
$E = - \frac{dQ}{dt} = H.S. \sin \alpha \frac{d\alpha}{dt}$; но $\frac{d\alpha}{dt}$ есть угол, на который повернется проводник в единицу времени, т.е. угловая скорость вращений проводника; назовем ее через ω ; тогда именуя, что: $\frac{d\alpha}{dt} = \omega$ или $d\alpha = \omega dt$; откуда $\int d\alpha =$
 $= \omega \int dt$ или $\alpha = \omega t$. Отсюда электродвижущая сила выражается так: $E = H.S.\omega. \sin \alpha t$.

Мы видим, что наведенная электродвижущая сила зависит от напряжений магнитного поля H , от площади проводника S и от скорости вращений проводника ω ; кроме того она измещается периодически со временем t . Напишем наше выражение электродвижущей силы в таком виде:

$E = H.S.\omega. \sin \alpha$ и рассмотрим ее подробно.

Когда $\alpha = 0^\circ$, то $E = 0$, т.е. при вертикальном положении проводника (нормально к силовым линиям) электродвижущей силы (Фиг. 38) в нем нет; при $\alpha = 90^\circ$, $\sin \alpha = \sin 90^\circ = 1$ и слгд. $E = H.S.\omega = \text{максимум}$, т.е. при совпадении плоскости проводника с направлением силовых линий электродвижущая сила в нем достигает наибольшей величины. (Фиг. 38).

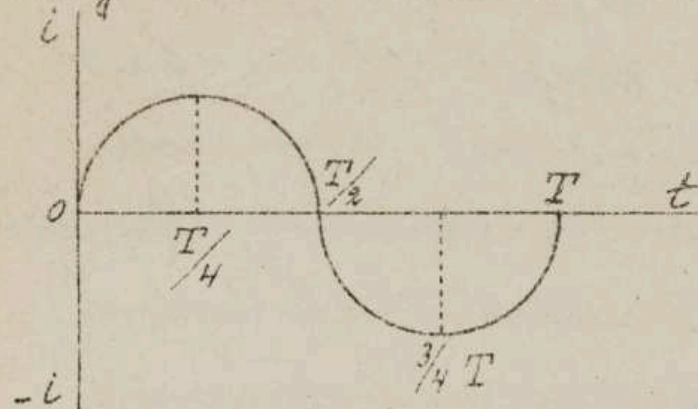
При изменении α от $\frac{\pi}{2}$ до π электродвижущая сила снова увеличивается до нуля, оставаясь того-же знака, т.е. давая ток того-же направления. При изменении α от π до 2π электродвижущая сила проходит через нуль, но имеет знак отрицательный; стало быть ток во вторую половину вращения проходит по проводнику в противоположную сторону, чем в первую половину вращения.



Фиг. 38.

Получим, что полный оборот на угол 2π проводник делает во время T , а на угол ω в 1 сек. Тогда имеем: $\omega : 2\pi = 1 : T$; откуда $\omega = \frac{2\pi}{T}$. Подставляя в выражение электродвижущей силы, получим, что: $\mathcal{E} = \frac{2\pi \cdot H \cdot S}{T} \ln 2\pi \frac{t}{T}$. Назовем через $\mathcal{E}_0 = \frac{2\pi \cdot H \cdot S}{T}$; это очевидно наибольшая величина электродвижущей силы, получаемая при $\ln 2\pi \frac{t}{T} = 1$, что мы видели раньше; сделав такое обозначение, получим, что: $\mathcal{E} = \mathcal{E}_0 \cdot \ln 2\pi \frac{t}{T}$. Если этого сила наведенного тока выразится так: $i_1 = \frac{\mathcal{E}}{R} \cdot \ln 2\pi \frac{t}{T}$. Построим этот результат графически, откладывая на оси

абсциссе время t , а на оси ординат соответствующая величина силы тока i , получим (Фиг. 39)



Фиг. 39.

кривую, характеризующую ход изменения силы тока, введенного в проводник.

Также при $t=0$ и $i=0$;

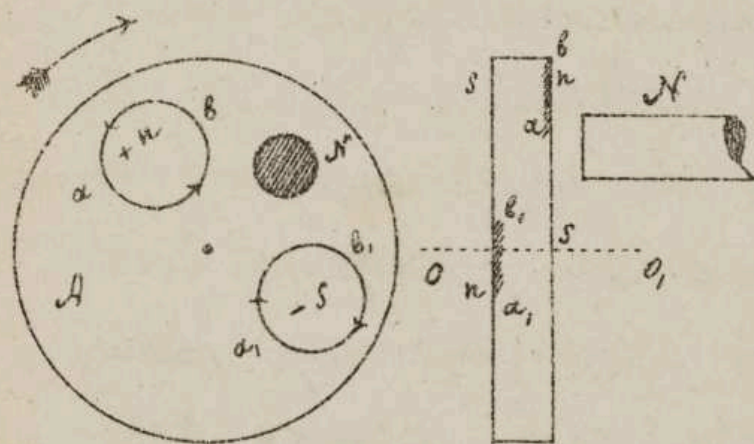
при $t = \frac{T}{4}$, $i = I = \text{максимум}$

при $t = \frac{T}{2}$, $i = 0$ и т.д.

Полученная кривая есть синусоида.

III. Умкнем металлический кружок A , могущий вращаться на оси OO_1 (Фиг. 40); около кружка расположим магнит, как показано на чертеже. Разберем, как здесь будут вливаться токи.

Возьмем на диске небольшой круглый элемент ab и будем вращать

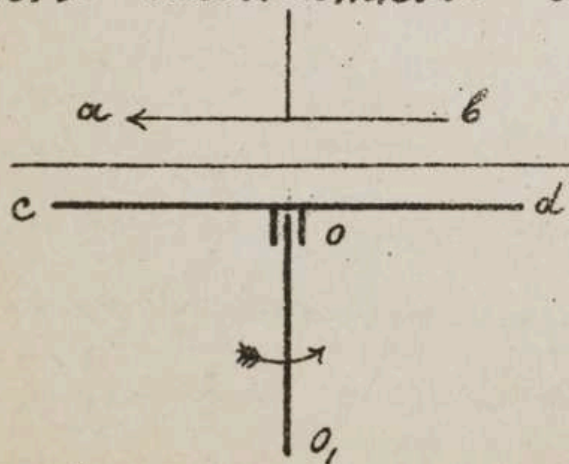


Фиг. 40.

кружок по часовой стрелке, тогда наш элемент будет приближаться к магниту, что соответствует увеличению числа силовых линий, попадающих в него, а след. в нем будет на-

водиться ток, обратный часовой стрелке. Элементарный ток ab можно рассматривать, как магнитный шток, с северным магнитиз-

магнит на одной стороне и ее южный полюс на другой; в самом деле, если наблюдатель будет сидеть по току, смотря в центр круга ab , то полюс (верх круга) будет накаливающим северный, а сзади (низ круга) южный магниты. Теперь видно, что приближающийся элемент ab будет отталкиваться северным полюсом магнита N . Элемент a, b , удаляющийся от магнита, будет действовать обратно, так как распределение магнитных масс у него будет обратно, именно: вверх — южный, а вниз — северная масса; поэтому он будет притягивать магнит N . Если вместо неподвижного северного полюса магнита, возмем подвижную стрелку, то при вращении металлического круга она будет вращаться под влиянием токов, наведенных в круге и в ту же сторону, как и круг. Это можно наглядно показать на приборе (Фиг. 41), который состоит из подвижной магнитной стрелки ab , круга cd ,



Фиг. 41.

надвигаемого на ось вращения oo_1 . Круг cd отодвигается от магнитной стрелки в указанном месте, чтобы вращение cd не влияло

на движение магнитной стрелки. ав. Если вращающийся кружок cd разрывным по радиусам, то, как показывает опыт, индуктивный ток ослабнет, что фактически по мере скорости вращения стрелки; теоретически это объясняется тем, что разрывы помешают движению некоторых круговых токов ab и количество таких токов уже уменьшается. Сила тока зависит от Rt , сопротивления индуцируемого проводника; это и здесь также имеет место, в самом деле, если кружок cd возмещен цинковой и потонкой медной, то при первом сила тока будет меньше, ибо сопротивление цинка больше сопротивления меди. Взяв деревянный кружок, мы совсем не получим тока.

Если медный кружок A будем вращать между неподвижными полюсами электромагнита N и S , то оба полюса будут действовать также, как и раньше один северный полюс, т.е. будут отталкивать приближающийся элемент ab и притягивать удаляющийся $a'b'$; другими словами будут затруднять движение кружка A (Фиг. 42); такое колесо A имеет вращение сильно на-

продвигается. Такое затруднение вращения и направление диска A зависят отъ выше-

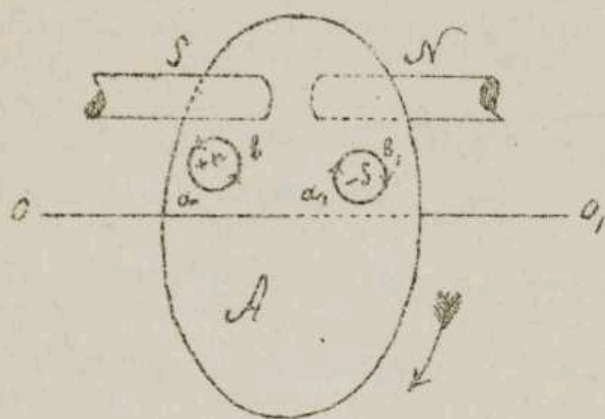


Рис. 42.

упомянутыхъ круговыхъ токовъ (ab), которые наз. токами Фуко, ибо они первый объясняютъ эту причину. Если около массивнаго проводника будемъ двигать магнитъ,

то въ проводникѣ будутъ наводиться токи. Эти токи противодействуютъ движению магнита или, какъ говорятъ, деформируютъ. На этой свойствѣ иже, основано устройство тормозовъ, такъ называемыхъ Гальванодвигателей въ чувствительныхъ гальванометрахъ для скорѣйшей остановки движущейся магнитной стрелки. Устройствомъ иже довольно легко; для чего внутрь деревянной катушки вставляютъ латунную коробку, въ которой иже находится магнитная стрелка. Если стрелка будетъ колебаться, то въ коробкѣ будутъ развиваться индукционные токи, вследствие чего магнитная стрелка остановится. —

Электрическія единицы.

Система абсолютных единиц (С. Г. С.). Общеупотребительный новый электрический единицы вводятъ въ составъ системы такъ называемыхъ абсолютныхъ единицъ. Эта система основана на естественныхъ: изучение физическихъ явлений всегда можно привести къ рассмотренію трехъ элементовъ: длины, массы и времени. Для каждаго изъ этихъ элементовъ, условившись выбрать совершенно определенную и неизмѣнную единицу. За три основныя единицы выбрали были следующие:

единица длины L — сантиметръ.

— " — времени T — секунда.

— " — массы M — граммъ; это

есть масса одного куб. сантиметра дистиллированной воды при 4°C . Выше всего была выбрана эта масса, потому-что легче измерить ее шириной и длиной, такъ-что куб. сантиметръ какого нибудь тѣла не вѣситъ одинаково во всѣхъ точкахъ земнаго шара; масса-же, напротивъ, не измѣняется. Система единицъ, введенная изъ этихъ основныхъ единицъ, была названа системою сантиметръ — граммъ — секунда, или сокращенно системою С. Г. С. три эти единицы образуютъ

собой основу системы, а для измерения других величин пользуются связанными с ними производными единицами. Эта формула, которую каждый из этих величин выражается в функции от основанной единицы, наз. ед. измерения.

Производные единицы, геометрический и механический. Мы указали сейчас измерения различных этих единиц.

Площадь. — Единица площади системы СГС есть кв. сантиметр: ед. измерения — L^2 .

Объем. — Единица объема системы СГС есть куб. сантиметр; ед. измерения — L^3 .

Скорость. — Единица скорости системы СГС есть скорость точки, проходящего равномерного движения /сант. в одну секунду; ед. измерения: $\frac{L}{T} = L \cdot T^{-1}$.

Ускорение. — Единица ускорения системы СГС есть ускорение равномерного движения, скорость которого увеличивается на /сант. в /секунду; ед. измерения:

$$\frac{L}{T^2} = L \cdot T^{-2}; \text{ оно выводится из формулы: } v = gT,$$

подстановкой в ней вместо v введенного выше измерения скорости.

Сила. — Единица силы системы СГС носит название дин. Дина есть сила, способная сообщить в /секунду единице

массы скорость, равную 1. Ед. измерения есть:

$$\frac{ML}{T^2} = MLT^{-2}; \text{ выводится оно из формулы:}$$

$f = Mg$, в которую вместо g нужно подставить его измерение. Работа. — Единица работы

Система СГС наз. эргов. Эрг есть работа, производимая силой в одну дину при перемещении точечного заряда этой силой / сантиметра. В измерение: $\frac{ML^2}{T^2}$ или ML^2T^{-2} ; это произведение силы MT^{-2} на длину L . —

Электрические единицы СГС. Рассмотрим теперь, какими образом измерение электрических величин можно было связать с вышеуказанной системой. Пусть i обозначает силу тока от электродвижущей силы $\mathcal{E}$, которая есть разность потенциалов в цепи $= \mathcal{U}$; сопротивление в цепи — $\mathcal{Z}$; пусть q есть количество электричества, проходящего по этой цепи в течение времени t ; W — произведенная работа, а C — электроемкость цепи. Связи ищутся с помощью зависимости: $i = \frac{\mathcal{E}}{\mathcal{Z}}$; $q = i \cdot t$; $W = q\mathcal{U}$; $C = \frac{q}{\mathcal{U}}$. Очевидно, что для определения по этим формулам всех величин входящих в них величин, достаточно связать одну из последних с системой С.Г.С. Для этого можно взять произвольно, или количество электричества, которое определяется на основании явления электрического притяжения и отталкивания, или же силу тока, которую определяют на основании взаимной индукции между токами и магнитным полем силы. Отсюда является 2 системы электри-

чекель единицы; первая наз. электростатическою, а вторая — электромагнитною:—

Система электромагнитная. Международным на-
рическим конгрессом электриков в 1881 году
была принята электромагнитная система. Из-
ложим ее.

Величина магнитной напряженности какого либо
полюса есть напряженность такого полюса, который,
действуя на второй поперечный сечением m полюс,
отстоящий от него на 1 сантиметр, развивает отточи-
вательную силу в 1 дина. Пусть m и m_1 обо-
значают две магнитных массы, f — силу
взаимодействия между ними, а d — расстояние
их отделяющее; мы имеем: $f = \frac{mm_1}{d^2}$.
Если в этой формуле мы сравним m и
 m_1 , а f заменим изобретенной единицы силы
 MLT^{-2} и вместо d поставим L , то полу-
чим равенство: $ML^3T^{-2} = m^2$, что дает нам
для изобретенной единицы магнитной напряжен-
ности: $M^{1/2}L^{3/2}T^{-1}$.

Величина силы тока. Определим единицу магни-
тной напряженности, или за единицу силы тока ве-
берем силу такого тока, который, проходя по про-
воднику длиной в 1 сантиметр, соединенному по дуге
круга радиуса 1² сантиметр, действует с силой в 1
дину на магнитный полюс, помещенный в

центр проводника, и напряженность которого $= 1$. Пусть f обозначает силу, развиваемую круговым током, сила которого $= i$, а длина $= S$, при действии своей на магнитный полюс, помещенный в центр сферического проводника и напряженность которого $= M$; пусть d есть радиус этого кругового тока, тогда:

$f = \frac{m \cdot i \cdot S}{d^2}$, откуда $i = \frac{f d^2}{m S}$. Если в эту формулу вместо букв мы подставим измѣренія соответствующихъ единицъ, то получимъ:

$i = \frac{M \cdot L \cdot T^{-2} L^2}{M^{1/2} L^{3/2} T^{-1} L}$; откуда мы имеемъ для измѣренія единицы силы тока: $M^{1/2} L^{1/2} T^{-1}$

Единица количества электричества. Единица количества электричества системы СГС есть то, которое доставляется въ течение 1 секунды токомъ силой въ 1. Подставляя въ формулу $q = i \cdot t$ вместо i и t ихъ измѣренія, получимъ измѣреніе количества электричества: $M^{1/2} L^{1/2}$

Единица электровозбудительной силы. Единица электровозб. силы системы СГС есть та, которая имеетъ место, когда при прохожденіи по проводнику единицы количества, развивается работа, равная 1 эргу. Опредѣливъ ее изъ формулы: $W = q e$; измѣрение ее слѣдующее: $M^{1/2} L^{3/2} T^{-2}$

Единица сопротивлений. Изъ формулы: $i = \frac{e}{r}$ мы можем определить единицу сопротивлений системы СГС. Это есть сопротивление длины, по которой проходит ток, силой равный единице, подъ действием электровозбудительной силы, равной также единице. Измерение единицы сопротивлений: $L T^{-1}$.

Единица электроемкости. Электроемкость конденсатора равна единице системы СГС, когда онъ содержитъ въ себѣ количество электричества, равное единице при напряженіи или возбудительной силѣ, равной единице. Измерение этой единицы выводится изъ формулы: $C = \frac{q}{e}$; оно равно: $L^{-1} T^2$.

Практическія единицы электричества.

Въ виду того, что введенныя нами выше электрическія единицы СГС по своимъ размерамъ неудобны для измѣреній на практикѣ, условившись принять систему практическихъ единицъ, выбранную сообразно съ обыкновенно употребляющимися на дѣлѣ величинами. Эти единицы представляютъ собою величины, кратныя соответствующимъ единицамъ СГС отъ 10^9 до 10^{10} . Ихъ выбрали такъ, чтобы они удовлетворяли формуламъ, связывающимъ между собою силу тока, количество электричества,

электровозбудительную силу, сопротивление, электро-емкость. Каждой из этих практических единиц присвоено особое название. Вот определение этих единиц в том же его виде, в котором оно принято было международным конгрессом электриков:

- 1). Амперъ. практическая единица силы тока есть амперъ; она равна одной десятий части (10^{-1}) соответствующей единицы СГС.
 - 2). Кулонъ. практ. едич. количества электричества есть кулонъ. Это количество электричества, вставленное токочувствительным прибором в один амперъ, в течение одной секунды. Кулонъ = $\frac{1}{10}$ части (10^{-1}) соответствующей единицы СГС.
 - 3). Вольтъ. практ. едич. возбудительной силы есть вольтъ. Онъ = ста миллионная (10^{-8}) соответствующей единицы СГС.
 - 4). Омъ. практ. едич. сопротивления есть омъ. Омъ = тысячная миллионная (10^{-9}) соответствующей единицы СГС.
 - 5). Фарадъ. практическая единица электро-емкости есть фарадъ; онъ в тысячу миллионных разъ (10^{-9}) меньше соответствующей единицы СГС.
-

Способъ выражения эрговъ въ килограммиметрахъ.

Какъ мы сказали это выше, единица работы системы СГС есть эргъ. Слѣдуя тому въ механикѣ работу обыкновенно выражаютъ въ килограммиметрахъ (работа, производимая грузомъ въ 1 килогр. при прохожденіи имъ пространства въ 1 метр.).

Поэтому необходимо уметь выразить эрги въ килограммиметрахъ. Напомнимъ, что ед. СГС силы есть дина, т.е. такая сила, которая при дѣйствіи своемъ на массу 1 грамма, сообщаетъ ей въ теченіе 1^{го} секунды ускореніе въ 1 см. слѣдуя тому въ Парижѣ сила тяжести сообщаетъ телу ускореніе въ 981 сантим. въ секунду. Такъ какъ двѣ силы пропорціональны ускореніямъ, сообщаемымъ имъ одному и тому-же телу, то мы имѣемъ равенство: $\frac{1 \text{ дина}}{\text{сила въ 1 граммъ}} = \frac{1 \text{ сантим.}}{981 \text{ сантим.}}$; откуда $1 \text{ дина} = \frac{1 \text{ гр.}}{981 \text{ см.}} \cdot 1 \text{ сантим.} = \frac{1}{981} \text{ грам.}$ Но эргъ = едик. силы, помноженной на единицу длины, т.е. 1 эргъ = 1 дина · 1 сантим. Поэтому имѣемъ: 1 эргъ = $\frac{1 \text{ гр.}}{981} \cdot 1 \text{ сантим.} = \frac{9,001 \text{ килогр.}}{981} \cdot 0,01 \text{ метр.}$; или 1 эргъ = $\frac{1}{98.100000} \text{ килограммиметра.}$

Зная эту зависимость, мы теперь можемъ выразить въ килограммиметрахъ какую угодно электрическую работу, вычисленную по выше введеннымъ практическимъ единицамъ (амперамъ, вольтамъ и пр.).

Действительно, мы знаем, что работа тока выражается в ваттах — кулонах, т.е. произведение электродвигательной силы в ваттах на количество электричества в кулонах.

С другой стороны ватт = 100.000.000 соответствующих единиц СГС, а кулон = $\frac{1}{10}$ соответствующей — е единиц СГС. Следовательно $\frac{100.000.000}{10} = 10.000.000$ соответствующих единиц СГС. Другими словами ватт — кулон = 10.000.000 грамм. Заменяя его введенным нами выше значением его в функции от килограмма метра.

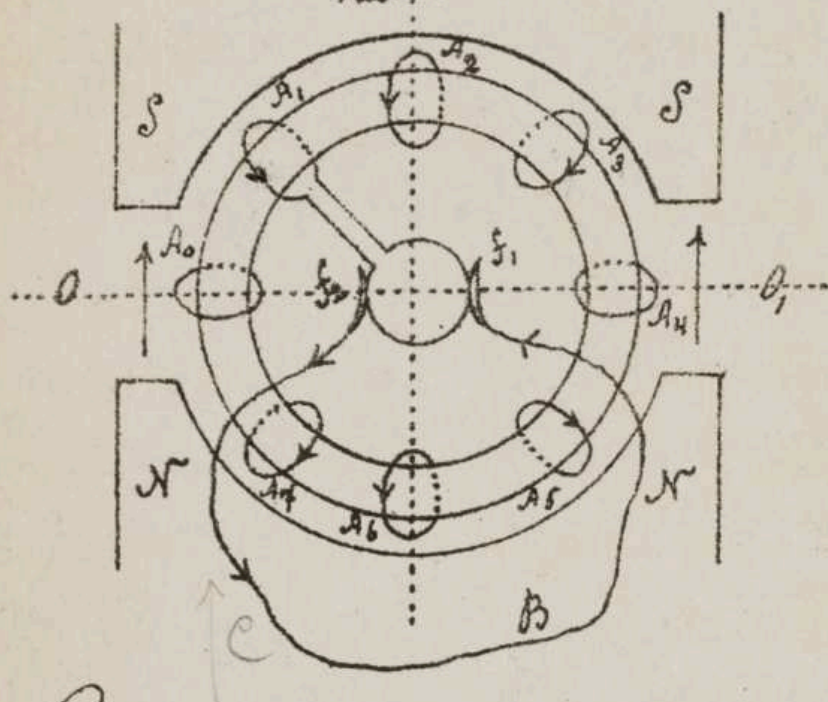
Ватт — кулон = 10.000.000. $\frac{1}{98.100.000}$ килограмма метра; ватт — кулон = $\frac{1}{9,81}$ килограмма метра.

Отсюда вытекает следующее правило: чтобы выразить в килограмма метра работу, выраженную в ватт — кулонах, нужно разделить число ватт — кулонов на 9,81, т.е. на ускорение силы тяжести.

Динамашны Обмотка Грама-Баццони

Имеется деревянное кольцо $A_0 A_2 A_4 A_6$ (Фиг. 43) в поле действия магнитов N, S ; по этому кольцу может свободно двигаться кольцевой проводник A_0 , расположенный так, что плоскость его

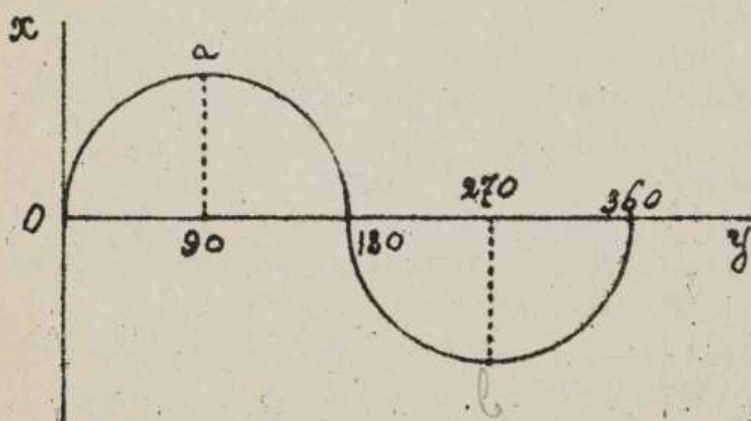
направится в экваториальной плоскости магнитного
поля OO_1 , или все равно, перпендикулярно к на-
пряженности течения. Будем считать проводник перемещать
последовательно и



изъять посредствомъ нѣ-
которыхъ A_0 въ A_1, A_2 и
такъ далѣе до A_7 , и
рассмотрѣвъ какіе токи
будутъ наводиться вслѣд-
ствіе измѣненій числа
силовыхъ нитей, попадаю-
щихъ въ площадь, огра-
ниченную проводниками A_0 .

Силы магнитные идут по стержню, т.е. с N на S и когда проводник находится в A₀, то в него попадает наибольшее количество силовых линий. В A₁ число силовых линий уменьшается, что соответствует уменьшению проводника и по правилу Ампера наведенный ток имеет направление часовой стрелки для наблюдателя, смотрящего по направлению силовых линий. В A₂ число силовых линий будет уже увеличиваться от нуля силовых линий (положение проводника A₂) и, следовательно, ток для того-же наблюдателя должен пойти против часовой стрелки, т.е. течение его в проводнике останется тоже самое, что и в A₁. Таким же рассуждением убеждаемся, что ин-

дуктивной ток в положении A_5 и A_7 будет. и то направление обратное направлению токов в A_1 и A_3 . Таким образом ток проводника ^{A_1} имеет различное направление по обе стороны экваториальной плоскости магнитного полюса, а, следовательно, в момент перехода чрез экватор (в A_0 и A_4) тока в проводнике нет; в положениях же A_2 и A_6 , где число силовых линий O , как показывает опыт ток имеет наибольшую величину. Изобразим графически наметку результатов измерений силы тока и наметим, что кривая $O, a, 180, b, 360$ (Фиг. 44) будет синусоида, так как ее уравнение будет выражаться уравнением: $I = C \cdot \sin \varphi \dots (1)$, где C — есть коэффициент, зависящий от площади обмотки (от числа ее оборотов); это уравнение показывает, что сила

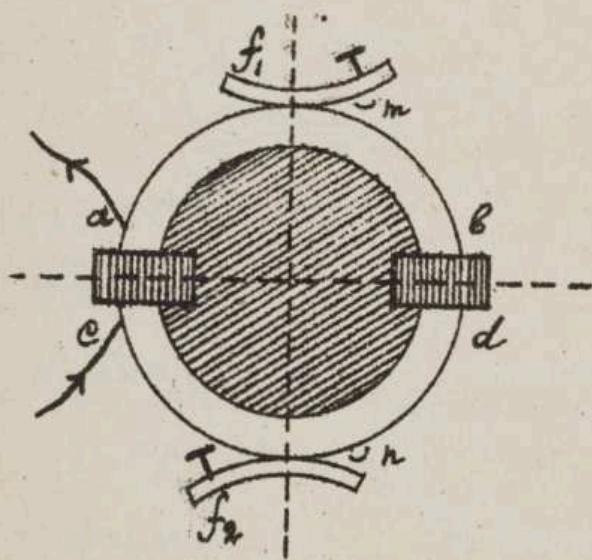


Фиг. 44.

тока будет различна при различных положениях магнитного проводника и пропорциональна синусу угла φ , считаемому от OO , по часовой стрелке. Пусть обмотка A делает полный

оборот во время T , а угол φ во время t ; тогда: $\varphi : 2\pi = t : T$; откуда $\varphi = 2\pi \frac{t}{T}$ и слог. $I = C \cdot \sin \frac{2\pi t}{T} \dots (2)$; это уравнение показывает

наших зависимость величины тока I от времени
движений проводника по катушке. В нашем выше-
рассмотренном проводнике возбуждается ток пере-
менный; выводиме обратим его в ток постоян-
ный, т.е. устроим так, чтобы, не смотря на
переход обмотки из северной широты в южную,
ток во внешней цепи шел бы не изменяя
своего направления. Это достигается особым при-
бором, который называется Коммутатором
или Коллектором. Коммутатор состоит
из двух полуцилиндров (в нашем разби-
раемом случае) ab и cd (фиг. 45) из мягкой
железы. Эти полуцилиндры надрезаны на ось O ,

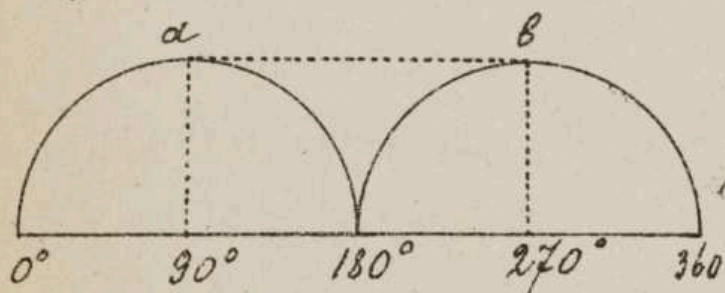


Фиг. 45.

на которую насажено катушко
 $A_0 A_1 A_2 A_3 A_4 A_5$ с прикре-
пленным к нему проводни-
ком A_0 ; в точках a и b
находятся изоляции из
резины. Для того, чтобы до-
стигнуть одинаковости на-
правления тока в проводнике
 A_0 , его разрезают и отводят концы: один конец
проводника припаивают к полуцилиндру ab , другой
— к полуцилиндру cd ; в точках m и n , на-
ходясь в экваториальной плоскости, к цилиндру
 ad касаются две щетки f_1 и f_2 , представляющие

свободу пучки тонких подвижных проволок; щетки
находятся на концах длинных зажимов про-
волоки выходящей из них. При таковой устрой-
стве прибора, вращая ось O , мы будем вращать
колесо $A_0 A_4 A_6 A_8$, а следовательно и перемещать
в магнитном поле наши проводники A_0 ;
при этом щетки будут свободно скользить
по цилиндру ad . Разматывая теперь наши
проводники в двух диаметрально противополо-
жных положениях A_1 и A_5 , мы легко видим из
(фиг. 43), что ток во внешней цепи $f_2 CB f_1$
всегда будет при нашем вращении идти по
одному и тому же направлению, указанному стрел-
кой от C к B , ибо хотя ток в провод-
никах A_0 и A_5 имеет разное направле-
ние, но в то же время и полуцилиндры касают-
ся то одной, то другой щетки, так что во
внешней цепи ток не меняет своего на-
правления. Щетки являются магнитными соответ-
ствуют полюсам Гатареи. Поэтому мы и
присваиваем название положительной щетки
или положительного полюса, отрицательной
щетки или отрицательного полюса. Криво-
матом так же, подобно таому, как и в Гата-
реях, что внутри магнитных токов направление

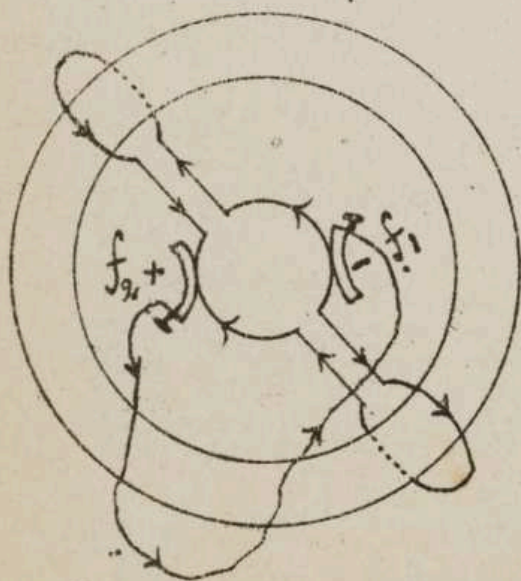
от отрицательной щетки к положительной, а во внешней от положительной щетки к отрицательной, так-что в рассматриваемом случае щетка f_1 будет отрицательной кистью, а f_2 — положительной. Нами же вышеописанным путем — разрывными коммутаторами мы достигли того, что ток во внешней цепи имеет постоянное направление, но все же от величины совершает колебания от 0 до максимума $= 90^\circ$ (Фиг. 46). Если же к малому проводнику А, присоединим диаметрально противоположный проводник А₅ (Фиг. 47), также разрыванный и соединенный своими концами с разрывными коммутаторами коммутатора, то в этом случае ток будет представлять собой один проводник, только разрывающийся так, что сила возбуждаемого тока будет уже вдвое больше, чем прежде (то же направление силы от 0 до максимума и тоже постоянство направлений). — Для изображения этого



Фиг. 46.

как показано тот же предвзятый случай одного проводника, только разрывающийся так, что сила возбуждаемого тока будет уже вдвое больше, чем прежде (то же направление силы от 0 до максимума и тоже постоянство направлений). — Для изображения этого

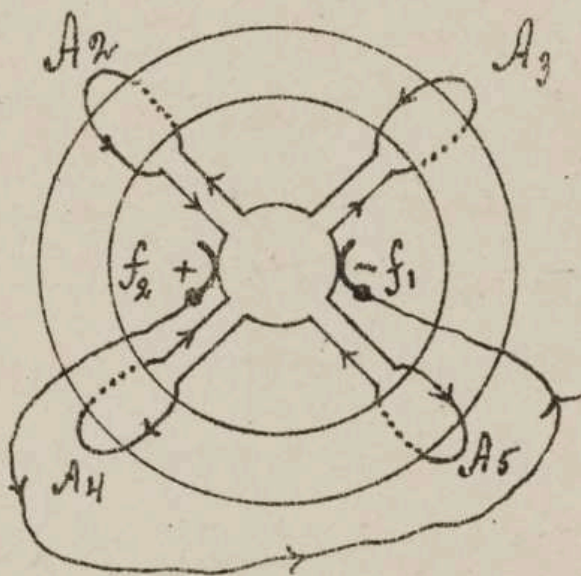
Фиг. 47.



прерывание тока берут не одну пару обмоток, а

и т.д.; возмемъ одну пару обмотокъ и разсмотримъ, каково происходитъ возбужденіе тока въ нихъ. Въ этомъ случае коммутаторъ делится на четыре части, какъ выше сказано, отдѣленныя одна отъ другой непроводниками (напр. резинового). Каждый проводникъ соединяется съ коммутирующимъ проводомъ предвѣдущему, какъ показано на Фиг. 48.

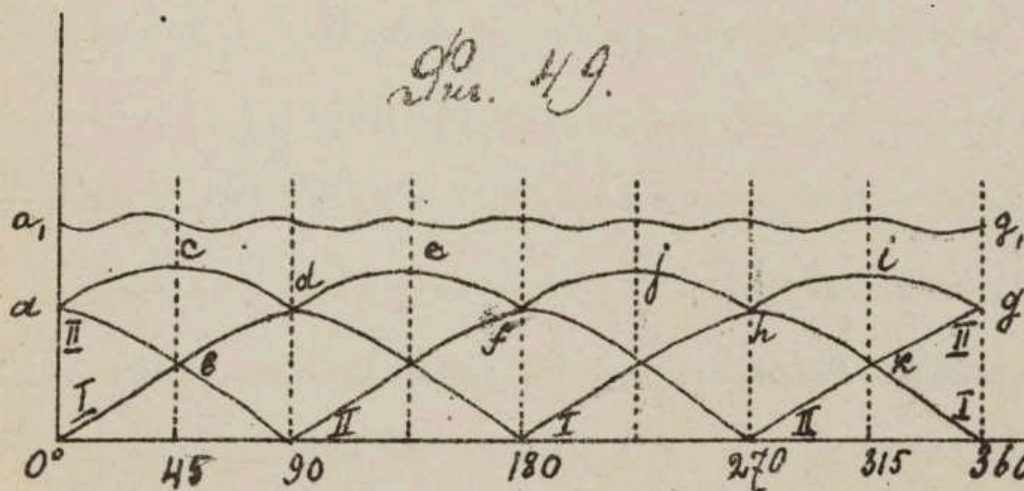
Фиг. 48.



При вращеніи колеса одна изъ паръ проводниковъ остается отъ другой на четверть оборота или 90° , такъ-что когда въ одной парѣ, напр. $A_2 A_5$ сила тока $= 0$, въ другой въ этотъ моментъ

онъ будетъ имѣть максимумъ своей величины $= 0a$ (Фиг. 49); но когда колесо еще повернется на $1/4$ своего оборота, то величины тока въ парѣ проводниковъ сдѣлаются обратныя предвѣдущимъ величинамъ, такъ-что вообще законъ измѣ-

Фиг. 49.



Нельзя силъ тока для паръ $A_2 A_5$ и $A_3 A_4$ выразить двумя кривыми ($0, d, 180, k, 360$),

гдѣ парѣ $A_2 A_5$ и $A_3 A_4$ выражены двумя кривыми ($0, d, 180, k, 360$),

помощью, для пары $A_2 A_5$ и $(\alpha, 90, f, 270, g)$ для другой пары. Все эти токи идут во внешней цепи по одному и тому же направлению и следовательно суммируются в суммарной кривой, выражающей графически изменение силы тока во время двух паре обмоток будет $(\alpha \text{ с } \beta \text{ и } g)$; она получится сложением сил токов, соответствующих различным полюсным проводникам; так при $\varphi = 0^\circ \dots i_{\text{сум}} = 0 + 0\alpha = 0\alpha \dots$ точка A ;

при $\varphi = 45^\circ \dots i_c = 45^\circ \alpha + 45^\circ \beta = 45^\circ \text{ с } \dots \dots \dots \text{ с };$

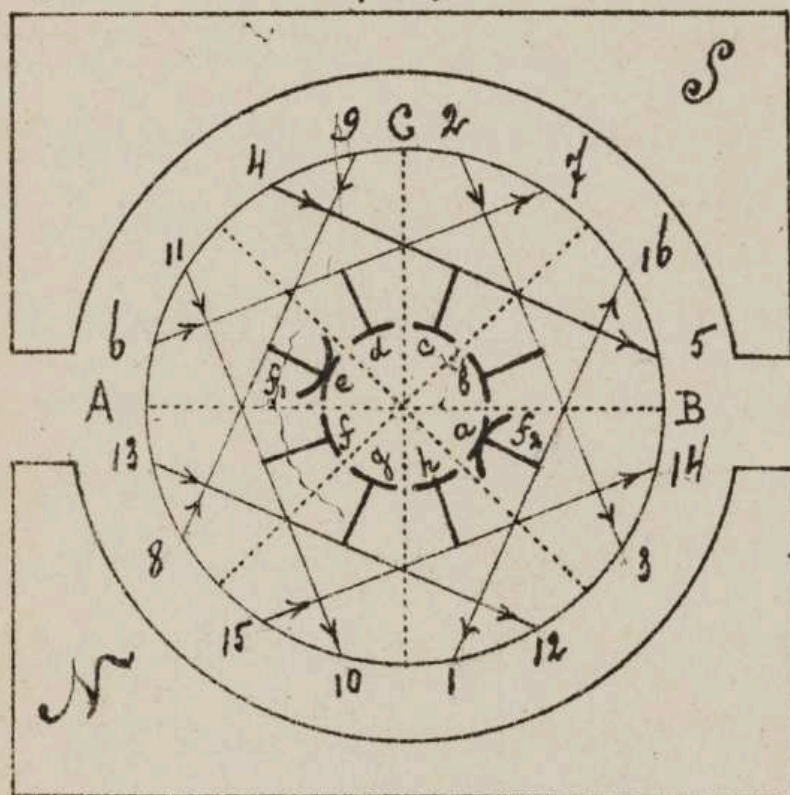
" $\varphi = 180^\circ \dots i_c = 0 + 180^\circ f = 180^\circ f \dots \dots \dots \text{ с } f;$

" $\varphi = 315^\circ \dots i_c = 315^\circ \kappa. 2 = 315^\circ i \dots \dots \dots \text{ с } i;$

Таким образом мы найдем все точки суммарной кривой силы тока. Во время случая ординаты кривой не обращаются в 0; следовательно сложением двух пар полученных токов не обрывается и гораздо ровнее, чем и колеблющийся между определенными максимумами и минимумами. Поэтому большое число обмоток, при чем количество разбивается на соответствующее число частей, мы можем, на основании предыдущего, получить ток почти ровный, не колеблющийся и постоянного направления; во время случая кривая результирующего тока обратится почти в прямую слегка волнообразную линию $\alpha, g, \dots$

Обмотка Теслеръ фронтъ-машинки

Автоматъ для устройства динамомашинки изобретена обмотка, которая имеет такое отличие от обмотки Грамма. На цилиндръ АСВ (Фиг. 50), насаженный на ось, наводится проволока следующим образом. Начиная от намотки проволоку изъ точки (1) и опоясавъ цилиндръ выводятъ проволоку въ точку (2); такимъ образомъ мы получимъ одну обмотку. Изъ точки (2) проволоку ведемъ по основанию цилиндра въ (3) — опять опоясываемъ нашъ цилиндръ и выводимъ проволоку въ диаметрально



Фиг. 50.

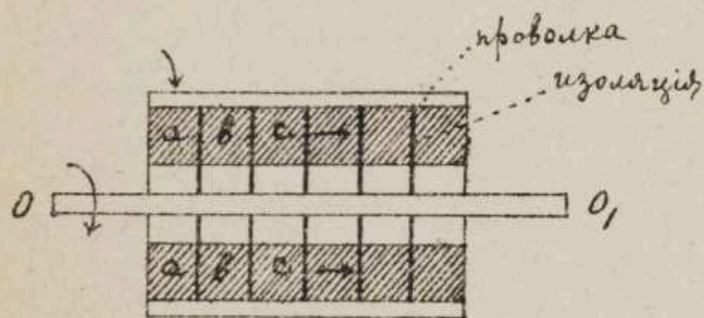
противоположную точку (4); изъ (4) проволока идетъ въ (5) по основанию цилиндра и еще разъ опоясавъ цилиндръ выводитъ въ (6) и т. д. по тому же закону, который явствуетъ изъ рассмотреннаго чертежа, т.е. нужно изъ каждой точки обращеннаго къ намъ основания (напр. 8) вести проволоку въ точку, отстоящую отъ взятой точки на три диаметра, считая по часовой стрелке (для взятой точки 8 это будетъ точка 9); отъ этой точки проволоку ведутъ,

определяя по образующим и, выводя ее в точку
симметрично расположенную относительно начальной
взятой точки (т.е. для нашей примерной точки по-
лучили (10)). При такой намотке проволоки дости-
гается то, что имеет проволоки, имеющие большое
электрическое напряжение, а через это изоб-
жается нарушение изоляции, вследствие образова-
ния избыточных токов. В нашем случае на ба-
рабане намотано восемь секций, по две по ко-
левым проводникам Траппа. При вращении
барабана в проводниках будут наводиться токи,
которые помощью коммутатора, устроенного
также как и в машине Траппа, принимают
одно и то же направление во внешней цепи. К ко-
мектору также прикладывается пара щеток, устро-
енных из двух кусков мягкой проволоки, спаянной на
одном конце. Коммутатор в рассматриваемом
случае (когда 8 обмоток) нужно разрезать на 8
частей; с каждой частью соединяются концы
обмоток проволоки таким образом, чтобы
каждая обмотка соединялась своими концами
с двумя различными рядами левых частей чис-
ловой коммутатора; так видно из чертежа,
что обмотка (1, 2) своими концами соединя-
ется с частями (а) и (б) коммутатора. Пусть

в данный момент соприкасаются со щетками
 части (а) и (е) коллектора, тогда наведенные токи
 будут идти в каждой обмотке по указанной стрел-
 чке, и направление их будет взаимно соизвено,
 т.е. токи идут на своем пути не будут встреч-
 нутся, и продолжатся следующие пути: одна
 часть тока через указанный коллектор (а) —
 в 1, 2, — в — 3, 4 — с — 5, 6 — d — 7, 8; из 8 через (е)
 пойдет в щетку f_1 во внешнего уровня; вто-
 рая половина совершит такой путь: из а
 в 16, 15 — k — 14, 13 — g — 12, 11 — f — 10, 9; из 9 она
 в (с) и через щетку тоже f_1 во внешнего уровня;
 таким образом две половины ^{в обмотке} возбужденного тока, сливаясь ^{вместе} и идя из
 щетки f_1 во внешнего уровня. Щетка f_1 , слуга-
 щая источнику выхода во внешнего уровня, назы-
 вается положительным полюсом, а f_2 — отри-
 цательным. При рассмотрении арматуры
 Траппа и Альтенка мы увидим, что у
 Траппа канцы, а у Альтенка цилиндр были
 сделаны из дерева. Если тогда считать части
 арматуры (канцы и цилиндр) сделаны из ма-
 гнетного железа, то сила наведенного тока будет
 гораздо больше; это объясняется тем, что же-
 лезо, впитывая в себя силовые магнитные
 линии будет создавать поле, в котором вра-

щается проводник, а сирд., и изматерий числа си-
ловых нитей, попадающих въ проводник будутъ
гораздо больше, а потому и сила индуцированного тока
больше. Но какъ мы знаемъ въ такомъ ферромаг-
нитномъ или цинковомъ будутъ наводиться Фуксовы-
токи, о которыхъ говорилось раньше. Для
уничтожения или Антенны свой барабанъ устроя-
ивать следующимъ образомъ: на ось OO , (Фиг. 51)
онъ надеваемъ рядъ ферромагнитныхъ дисковъ aa , bb ,
 cc и т.д., между которыми находятся прокладки
изъ гуттаперчи или просмоленного бумажка и на

Фиг. 51.



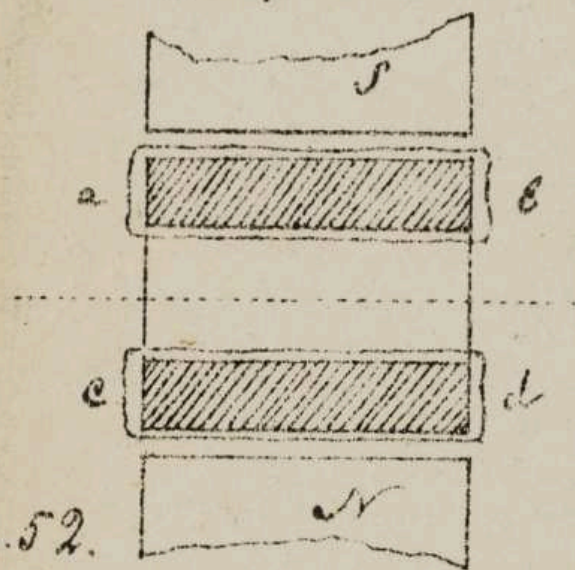
такой приотвинченный ци-
линдр намотывается про-
волока, какъ и раньше.

Здесь Фуксовы токи
ослаблены вследствие раз-
рывовъ, перпендикулярныхъ

къ ихъ направлению (Фуксовы токи направлены
перпендикулярно осевымъ нитямъ и направлению
вращения, т.е. въ нашемъ случае параллельно
оси OO). Въ кобальте Траппа достигаются ослаб-
лений Фуксовыхъ токовъ такихъ, что делаютъ
якорь катушки изъ пучка ферромагнитныхъ проволокъ,
соединенныхъ въ видъ катушки, на которое на-
матывается медная проволока.

Типы арматуры

Арматурою у нас называют обмотку проволоки, в которой кажутся индуктивные токи. Кроме 2^х выше упомянутых типов Траппа, Тейнера и Штенке встречаются большое разнообразие арматуры машин. Но все эти арматуры есть так сказать производные первых двух, ибо они в главном подходят к той или другой обмотке (Траппа или Штенке). Иногда ширина аб кольца Траппа (чер. 52) делается больше диаметра его и, следовательно, получается сплюснутое кольцо Траппа. На такой широкий обод абcd намотывается проволока так же как и в кольцо Траппа. Полосы магнитов N и S берутся весьма широкие и тонкие и располагаются как можно ближе к ободу колеса, так что зазор достигнет нескольких мм, это делается с



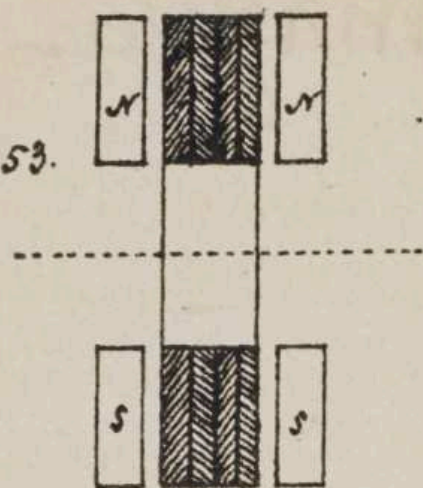
того целью, чтобы как можно больше увеличить число силовых нитей, попадающих в проволоку обмотки.

Шукерт кольцо Траппа увеличил по направлению прямо противоположному (чер. 53) и получил тонкое кольцо Траппа большого диаметра. Магнитное поле отдалось из двух частей для чего брались два магнита.

Физика.

и расположились так, чтобы северные полюсы, а также

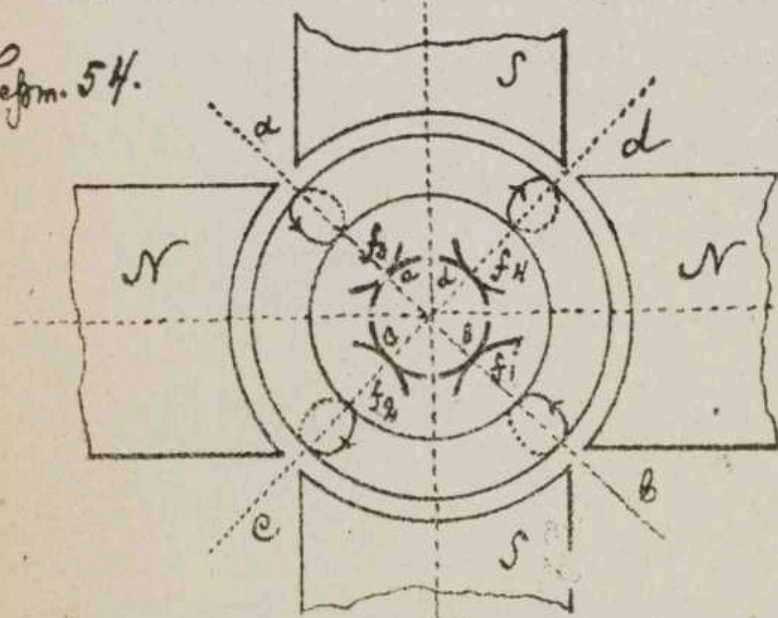
Черт. 53.



и южные находящиеся по opposite сторонам обода кольца. Здесь устройство Оружьевского то-
кова достигается тем, что обод кольца делается из ряда железных колец, расположенных друг возле друга и изолированных один от другого.

С магнитное поле в некоторых машинах делается из нескольких магнитов (или электромагнитов) тогда получается многополюсная машина. На кажем примере (Черт. 54)

Черт. 54.



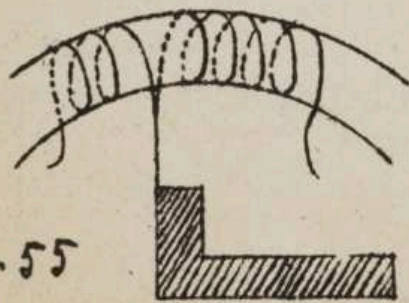
взято 4 полюса, расположенные попеременно так, как показано на чертеже. В этом поле и вращается кольцо Грамма, имеющее 4 секции обмотки; слоб. коллектор будет разрезан также на 4 части;

поэтому при вращении якоря в обмотках его будет происходить перемена тока два раза в плоскостях ab и cd , а поэтому, при этой машине нужны две пары щеток для того, чтобы ток во внешней цепи имел постоянное направление. В четвертях кольца ток наводится так, что две диаметрально противоположные щетки принимают ток, а две его выпускают (это видно по правилу Ампера). Щетки f_1 и f_3 - принимают, а f_2 и f_4 - выпускают ток, слоб. f_2 и f_4 будут

положительные полюсы, а f_1 и f_3 — отрицательные. Для упрощения конструкции машины можно щетки f_1 и f_3 ввести в одну общую клемму и более самое соблюдать с f_2 и f_4 . Или можно сделать иначе, именно, соединить противоположные части коллектора а с в и с с d. Тогда щетки f_3 и f_2 можно уничтожить и, следовательно, у нас останутся две щетки, расположенные под углом = 90° . При устройстве арматуры машины нужно соблюдать следующее:

длину и толщину проволоки нужно выбирать по условиям машины, именно: если от машины требуется большое напряжение, то проволока должна быть тонкая и длина много оборотов; если же напряжение невелико, а сила тока, то проволока берется толстая. По Уппенбергу требуется, чтобы через 10^м стечения талетой проволоки протекало не более 3^{кв} Амперовых тока, а тонкой 2^{кв}, но от этого правила обыкновенно отступают как в ту, так и в другую сторону. При наливке проволоки на якорь нужно, чтобы места проволоки, имеющие большое напряжение электричества, по возможности были удалены друг от друга во избежание местного соединения, а через это нарушения изоляции и порчи арматуры. Проволка, в которой наводится ток должна быть хорошо изолирована, что достигается, заключая ее в уттанер. трубку или обвивая ее пропитанной уттанером джутовой тканью. Арматура состоит из ряда секций катушек (или из обмоток барабана Альтенека), имеющих одинаковое сопротивление и располо-

железные симметрично по отношению к оси якоря так, чтобы центр тяжести колеса совпадал с осью вращения для избежания разбалтывания машины. Нулено избегали употребления лишней проволоки увеличивающей внутреннее сопротивление машины, а поэтому соединения обмотки с коллектором делают не из проволоки, а из толстых медных стержней. Фукавтовские токи, которые развиваются в Гальванической массе мягкого железа (кабы Траппа или барабан Аленекса) как упоминалось выше могут быть больше или меньше ослаблены, но вполне их устранить невозможно, чтобы они не будут существовать и производить нагревание якоря. Также точно будет нагреваться проволока под действием проходящего по ней тока, что может вредно образоваться на изоляции. Тогда уничтожатся нагревание стержней в ней благодаря отверстиям и воздуху, производя вентиляцию, а также и охлаждение. Прелесть состоит в том, что проволока прижатый якорь, не касаясь его, на ось и вращается в магнитном поле с той скоростью, которую он должен иметь при работе; по большему или меньшему сопротивлению якоря под действием Фукавтовских токов будут достаточно устранены эти токи. Схемы индукционной спирали соединены друг с другом так, что выходящий конец (фиг. 55) каждой из них принадлежит к входящему концу следующей; так что все секции проволоки образуют вместе одну обмотку бесконечную обмотку. Ось вращения, на которой

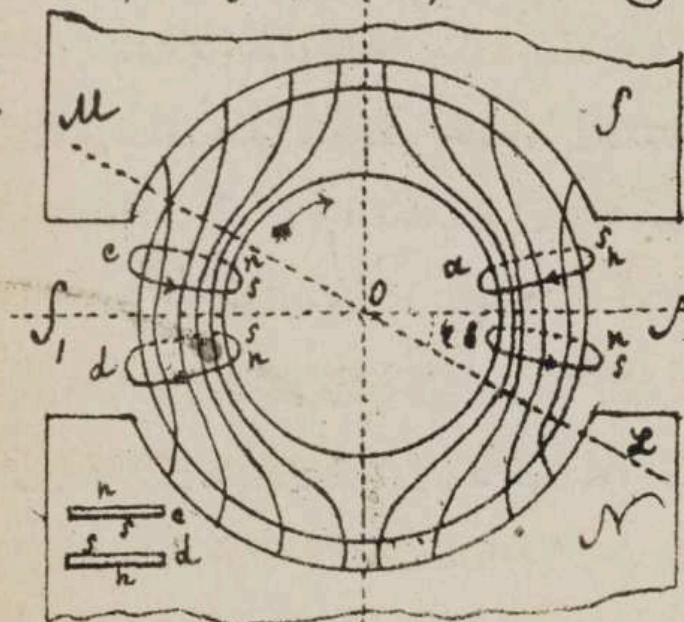


Фиг. 55

укреплено каблу, носит на себѣ рядъ медныхъ угольниковъ, укрепленных такъ, что они образуютъ въ видѣ вѣнцы оси цилиндръ; этотъ-то цилиндръ и составляетъ собою коллекторъ машины. Угольники ставятся на каблу, каждаго угольника соединяется съ секцией обмотки. Угольники изолированы другъ отъ друга прокладкою изъ асбеста, слюды или какими либо другими изолирующими веществами. Въ старыхъ машинахъ употребляется воздушная изоляция и Виленсу удалось, выбирая определенные размеры борозды достигнуть хорошихъ результатовъ при такого рода изоляции; но происходило засорение борозды стружками въследствіе того, что центробѣжная сила была настолько велика, что выбрасывала стружки. Стружки все являлись въ стирании угольниковъ коллектора прижатіемъ щетками машины. Концы секцій можно соединить съ коллекторомъ двумя; или винтами, при этомъ удобно ремонтировать машину, но не достигается хорошаго соприкосновения; или припаивать - тутъ неудачливо ремонтъ, но зато плотность соприкосновения достигается въ полной мѣрѣ. Щетки, которые соприкасаются съ коллекторомъ должны быть, или изъ туго тонкой, медной проволоки, или изъ медныхъ пластинокъ съ пропилами. Щетки прикрываются ко-
 обцей стоникомъ діаметра въ - противоположно одна другой и могутъ вращаться около общей оси машины. Удачное расположение щетокъ будетъ такое, при которомъ будетъ издѣ ными являться наименьшее количество искръ. Далѣе можно избѣгать смазывать коллекторъ масломъ, ибо это

уменьшающей электропроводности и вводимая горючий материал. — Железный якорь машины (как у Траппа или барабан Алленека), помещенный в магнитное поле, производит изгибание в распределении силовых нитей. Это объясняется следующим: мы знаем, что и прежде, кабы не обличного e (чер. 56), полагая не e рассуждения, что и раньше, найдем, что в ней ток пойдет по указанию стрелки; тогда мы этот проводник можем рассмотреть, как магнит с южного полюса внизу и северного — сверху (по правилу, пlying по току и считая в центре проводника магнит).

Чер. 56.



делит и имеет северную массу на юго). В проводнике все массы расположены иначе: северная внизу, а южная сверху; таким образом в двух рядах находящихся проводниках c и d произойдет соединение южной массы в обличной южной полюс, северной в экваториальной плоскости. Также ясно, если разберем два положения a и b проводника, то увидим, что в южной массе — южная масса расположена таким образом, что дадут обличной север. полюс N , северной тоже в экваториальной плоскости. Таким образом внешнее железного якоря характеризуется образованием новых полюсов N и S , расположенных в экваториальной плоскости. Эти полюса заставляют силовые нити изогнуться в направлении движения, так что наибольшее сгущение силовых нитей будет

делит и имеет северную массу на юго). В проводнике все массы расположены иначе: северная внизу, а южная сверху; таким образом в двух рядах находящихся проводниках c и d произойдет соединение южной массы в обличной южной полюс, северной в экваториальной плоскости. Также ясно, если разберем два положения a и b проводника, то увидим, что в южной массе — южная масса расположена таким образом, что дадут обличной север. полюс N , северной тоже в экваториальной плоскости. Таким образом внешнее железного якоря характеризуется образованием новых полюсов N и S , расположенных в экваториальной плоскости. Эти полюса заставляют силовые нити изогнуться в направлении движения, так что наибольшее сгущение силовых нитей будет

будет на линии ML , образующей съ экватором угол φ в сторону вращенія; на этой линии ML , обыкновенно и помещаются щетки, ибо при этом положеніи будетъ выскакивать изъ подъ нихъ наименьшее количество искръ. —

Магнитно и динамо-электрическія машины.

Въ предыдущихъ разсужденіяхъ мы не обратили никакого предположенія касательно происхожденія магнитнаго поля, среди котораго вращается катушка Грания, такъ при этомъ было совершенно безразлично, каково бы нибудь происхожденіе этого поля. Отсюда вытекаетъ, что это последнее можетъ происходить къ отъ магнита, такъ и электромагнита, тогда и обуславливаемая существованіемъ снующихъ двухъ типовъ электрическихъ машинъ:

Магнитно-электрическія машины, въ которыхъ магнитное поле происходитъ отъ постоянного магнита.

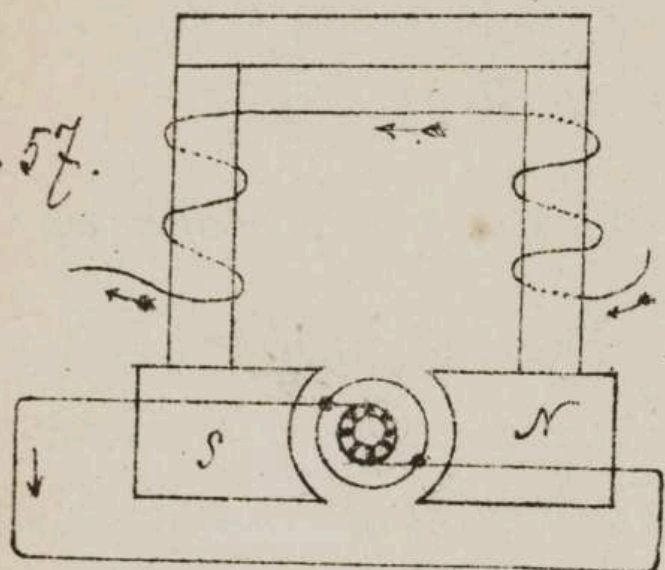
Динамо-электрическія машины или динамо-машины, въ которыхъ поле происходитъ отъ электро-магнитовъ. Они обладаютъ, сравнительно съ первыми, только преимуществами, что доставляютъ значительно сильнѣйшее магнитное поле. —

Различные способы возбужденія.

Динамо машины отличаются другъ отъ друга способами возбужденія въ нихъ магнитнаго поля, смотря по тому именно, производится ли это возбужденіе особымъ машиннымъ, или же самого динамо-машиннымъ. Въ первомъ случаѣ (стр. 57) динамо-машина наз. съ независимымъ возбужденіемъ или съ отдѣльнымъ воз-

будителем. — Подобное возбудение представляет на се-
бе преимущества. Оно дозволяет возбудить току си-
лу, независимую от сопротивления вращающейся части и дает
возможность изменять по ве-
личине напряженіе магнитнаго
поля измѣненіемъ въ возбуждаю-
щей части или возбудительной
смы, или сопротивленія. Эта

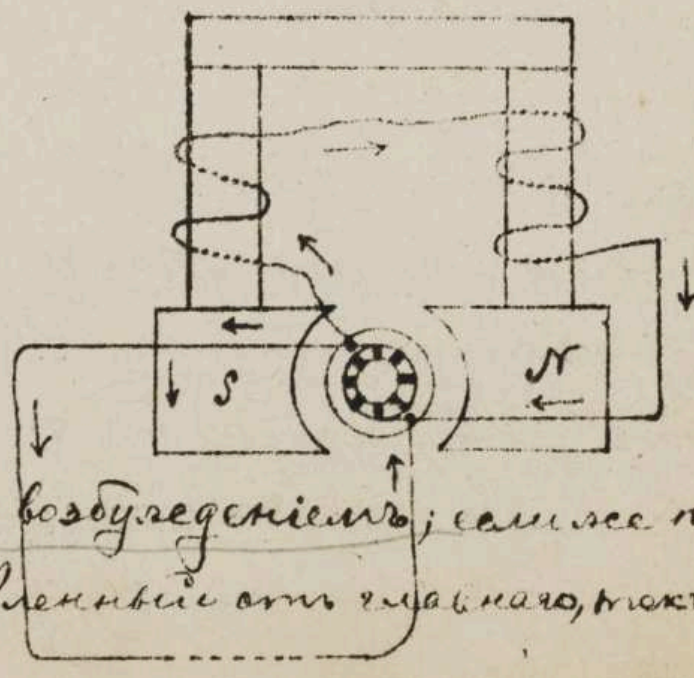
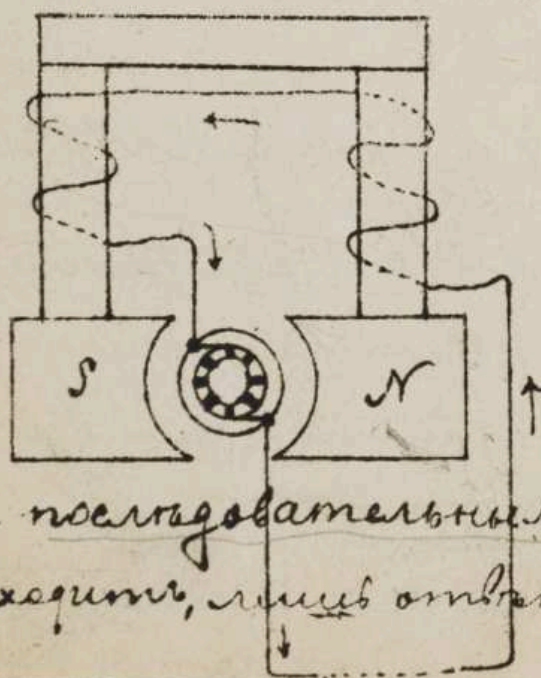
Фиг. 57.



система необходима при машинках переменнаго тока, если
не имется, впрочем, особаго коммутатора, выпрямляющаго
токъ, идущій въ обмотки индукторовъ. Недостатокъ его
тоже, что онъ требуетъ отъ отдельной возбуждающей машины;
или, какъ говорятъ, отдельнаго возбудителя.

Возбужде же бываетъ выгодно производить возбуденіе самого
машинки, которая наз. тогда самовозбуждающаяся. Если
при этомъ, то обмотками ^{индукторовъ} магнитовъ индукторовъ предъ-
заетъ все токъ (фиг. 58), то машина наз. и простыми

Фиг. 58.



Фиг. 59.

или последовательнымъ возбужденіемъ; сам же по ниму
проходитъ, лишь отвлеченный отъ главнаго, токъ (фиг. 59),

то про машину говорятъ, что она возбуждается отъ тѣлеснаго. Но конечно, оба эти слагаемые могутъ быть слиты въ одну и тогда машина носитъ названіе кампанго-машины (машина съ слитымъ обмоткою). Принципъ самовозбужденія основанъ на законѣ магнетизма. Если бы контуръ электро-магнитной машины былъ химически чистъ и не представлялъ бы и слѣды магнетизма, то вращеніе грамотской катушки не породило бы никакого тока. Но, въ моментъ начала вращенія этого катушки, въ электромагнитѣ существуетъ уже остаточный магнетизмъ, который и возбуждаетъ токъ, хотя и слабый, но достаточный для того, чтобы образовался электромагнетизмъ. Последний, въ свою очередь, при своемъ вращеніи на катушку и, такимъ образомъ, происходитъ рядъ послѣдовательныхъ взаимодѣйствій, который постепенно увеличиваетъ силу тока до той поры, пока она не достигнетъ нормальной своей величины. Впрочемъ, эти явленія занимаютъ собою незначительный промежутокъ времени.

Возбужденіе электромагнитовъ введеніемъ ихъ обмотокъ въ цѣпь послѣдовательно. (Возбужденіе послѣдовательнымъ соединеніемъ). Устройство динамо-машины, возбуждаемой послѣдовательнымъ соединеніемъ пружины и другихъ самовозбуждающихся машинъ. Недостатокъ же въ томъ, что она крайне чувствительна къ измѣненіямъ (вер. 50) въ сопротивленіи внешней цѣпи.

Дѣйствительно, предполагая, что это сопротивленіе увеличилось; отъ этого, въ силу закона Ома, уменьшится сила тока. Это уменьшеніе тотчасъ же каскадируетъ и въ катушкахъ электро-

магнитовъ, напряженіе магнитнаго поля факте уменьшится и возбу-
дительная сила въ индукционной цепи упадетъ въ тотъ самый мо-
ментъ, когда ей надобно бы возрости. Въ этомъ заключается дова-
но важный недостатокъ. — Кроме того, чтобы машина на-
чала действовать, т.е. чтобы токъ возбудился, необходимо сообщитъ
машинѣ достаточно большую скорость при весьма сильномъ сопротивле-
ніи, не слишкомъ значительномъ. Между тѣмъ, при электри-
ческихъ освещеніи накаливаніемъ, лампы представляютъ
въ холодномъ состояніи гораздо большее сопротивление, чѣмъ въ
раскаленномъ; поэтому, то сопротивление, которое рассчитано для
цѣпи при нормальномъ ходѣ освещенія, можетъ оказаться слиш-
комъ большимъ для начала дѣйствія машины. Такъ, обра-
зительно бываетъ замыкать машину на время первыхъ оборо-
товъ короткими проводниками на себя, что сопровождается внезап-
нымъ поглощеніемъ силы, вредно дѣйствующимъ на самой маши-
ну. Наконецъ, если машина работаетъ въ общей цѣпи съ при-
боромъ развивающимъ противоэлектрическую силу, то послѣдняя можетъ,
въ извѣстный моментъ, перевести въ возбужденную силу динамо-
машины. Въ такомъ случаѣ, токъ меняетъ направленіе и пере-
магничиваетъ электромагнитъ обратно противъ прележия; въ
этомъ заключается серьезное неудобство, когда машина употреб-
ляется для электризма гальванопластической ванны или за-
раженія аккумуляторовъ. Возбужденіе палубователенки
соединеніемъ можетъ быть примѣнено при параллельномъ ра-
положеніи лампъ. При этомъ, включеніемъ новой лампы, со-
противленіе внешней цѣпи уменьшается, а вольтажъ

этого сила тока увеличивается, что и требуется.

Возбуждение электромагнитовъ введеніемъ ихъ обмотокъ въ охватъ отъ шавной щетки. (Возбужденіе отъ шавной щетки.)

При возбужденіи отъ шавной щетки (стр. 59), съ увеличеніемъ сопротивленія внешней щетки проходящей въ электромагнитный токъ, увеличивается, что увеличиваетъ возбуждающую силу. Поэтому, можно сказать, что машина доставляетъ энергию, въ которой ровн пропорциональную требуемой работѣ. Прилагаемая такую машину къ освещенію должно располагать лампы последовательно. Машина, возбуждаемая отъ шавной щетки всегда, какова бы ни была внешняя щетка, даже въ случаѣ полной отсутствія последней, какъ разъ образно тамъ, что происходитъ въ машинахъ, возбуждаемыхъ последовательно, при которыхъ внешняя щетка обязательно должна быть замкнута.

Не смотря на преимущества, представляемые подобными возбужденіемъ, возбужденіе или ^{отра}растѣвая медленно, такъ какъ при такомъ устройствѣ машина отходитъ дороже, а размеры электромагнитовъ выходятъ больше.

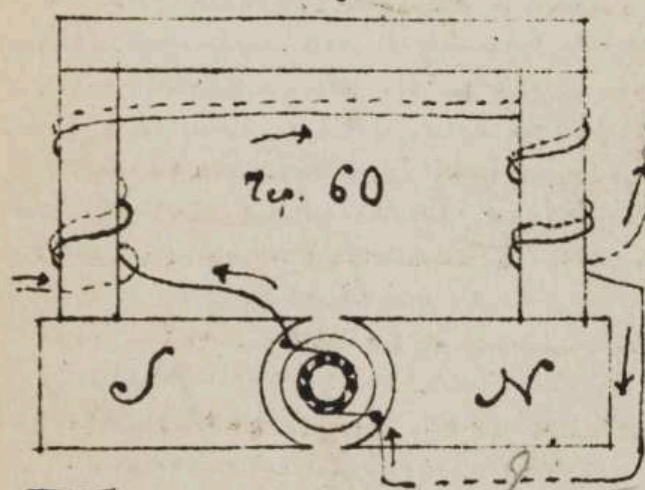
Смѣшанный способъ возбужденія. (Въ

будущемъ смѣшанного щетки). Т. Бреши придумалъ смѣшанный способъ возбужденія, соединивъ оба предвѣдущихъ способа.

Усовершенствованія, внесенныя въ него позже. Марселемъ Депре, придали ему большое значеніе. Въ способѣ Бреши, который ^{машинъ} применялся былъ сперва для гальваномасштабическихъ ^{сѣ} тѣхъ, чтобы воспрепятствовать случайной перемѣнѣ въ направленіи тока, электромагниты возбуждаются отъ части главныхъ

тока, отчасти же от возбуждения, взятым от двигателя машины. Этих достигают всегда выгоды, присущие самодействию возбуждения в отдельности; однако, предполагаемое действие для решения этой задачи предпочтительнее.

Предположим (рис. 60), что две машины на катушке электромагнитной системы имеют две обмотки, из которых одна представляет собой обмотку самой динамо-машины, а другая - обмотку отдельной машины



возбудителя. Когда же пройдены в ход машины, то обмотка возбуждающей силы может быть разложена на две, одну E_i , проходящую от независимого возбуждения, и другую E_e , проходящую от самовозбуждения.

Поставив, обозначив силу тока через I , внутреннее сопротивление машины через r , а сопротивл. внешней цепи через R , мы можем написать:

$$\frac{E_i + E_e}{I} = R + r \dots \dots (1)$$

В этом равенстве E_i и r величины постоянные, а E_e , I и R переменные. Подберем для машины такую скорость, чтобы удовлетворилось равенство:

$$\frac{E_e}{I} = r \dots \dots (2);$$

$$\text{тогда равенство (1) обратится в: } \frac{E_i}{I} = R, \text{ или } RI = E_i, \text{ т.е. произведение } RI,$$

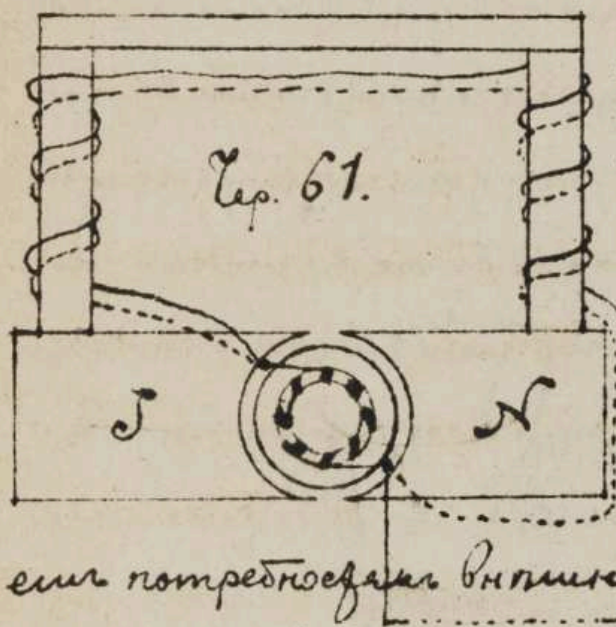
представляющее собой нечто иное, как разность потенциалов заземленной машины, остается постоянным; эта разность потенциалов постоянно равна величине E_i ; с изменением же

R изменяется лишь I (а именно обратно пропорционально R).

Итак, возбуждение с помощью обмотки дает у двигателя, при известной скорости, неизменную разность потенциалов.

Необходимая для этого скороспб определенная турбулс опыта тах, чтобы удовлетворено было равенство (2).

Динамо машинный комплект. Общеподобная
ная книга система динамо-машинки делается так же с двумя облож-
ками, но обе обложки принадлежат самой машинке, а именно: одна
из них вводится в сошник малой шпильки, а другая в шпильку от-
ветственную от концевости большой шпильки (чер. 61). След. устройство



производится сразу и обратным, и посто-
довашелью, а потому эти динамо-машинки
обладают преимуществами от них систем,
взявших отрубень. Разность потенциалов
у зажимов машины асфальта погуби не-
измощного, а сила тока всегда сообразу-
ется с потребностью. В эрмитаже сущая динамо-машина
и коммутатор.

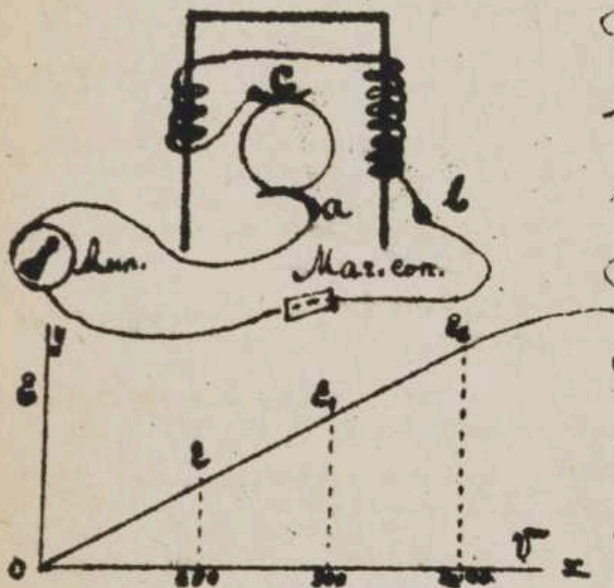
Характеристика динамо машинъ

Въ 1829 Топкинсонъ далъ способъ построения диаграммъ (характеристикъ) подобно диаграммамъ, получаемымъ при паровыхъ машинахъ. Построивъ диаграмму можно судить о работѣ машины, силѣ ея тока, электродвижущей силѣ и сопротивленіи, преобладающемъ машинномъ. Электродвижущая сила машины зависитъ отъ: 1) скорости вращенія якоря, 2) напряженія магнитнаго поля и 3) отъ проводимости магнитнаго поля (способа возбужденія). Разсмотримъ въ отдельности каждую изъ вышеупомянутыхъ причинъ.

Влияние скорости. Пусть имеем машину постоянного возбуждения (сер. 62), скорость вращения индуктора

которой изменяемая. Для того, чтобы найти закон изменения электродвижущей силы, вращаем сначала индукторъ съ определенной скоростью, положили 250 обор. в 1'; при этомъ Амперметръ

Чер. 62.



находимъ силу тока I , зная сопротивление R , тогда по ур-ю $I = \frac{E}{R}$ находимъ $E = RI$,

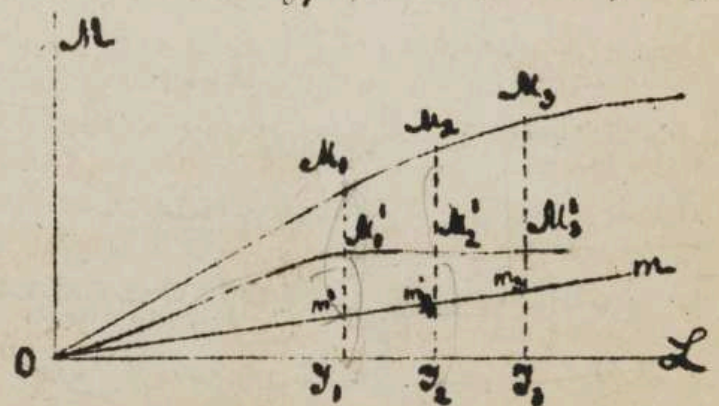
при этомъ мы сопротивлениемъ проволоки пренебрегаемъ, ибо оно очень мало сравнительно съ R . Теперь вращаемъ индукторъ съ другою скоростью $v = 500$ обор. и такъ находимъ E и измеримъ новую силу тока I , и при томъ же сопротивленіи R . Увеличивая скорость,

мы будемъ находить разныя E . Откладывая скорости v по оси абсцисс, а E по ординатамъ, мы получимъ точки $E_1, E_2, E_3, \dots$, соединивъ которые мы получимъ прямую OE_2 .

Такимъ образомъ электродвижущая сила машины возрастаетъ прямо пропорціонально скорости вращения. Если скорость вращения будетъ очень велика (болѣе 3000 обор. в 1'), то эта пропорціональнѣе зависимость и прямая обратится въ кривую, загибающуюся къ оси абсцисс; при этомъ говорятъ, что машина не додѣлывается.

Измеримъ измѣненіе магнитнаго поля въ зависимости отъ силы намагничивающаго электрическаго тока. Измеримъ векторъ магнитн. (чер. 63).

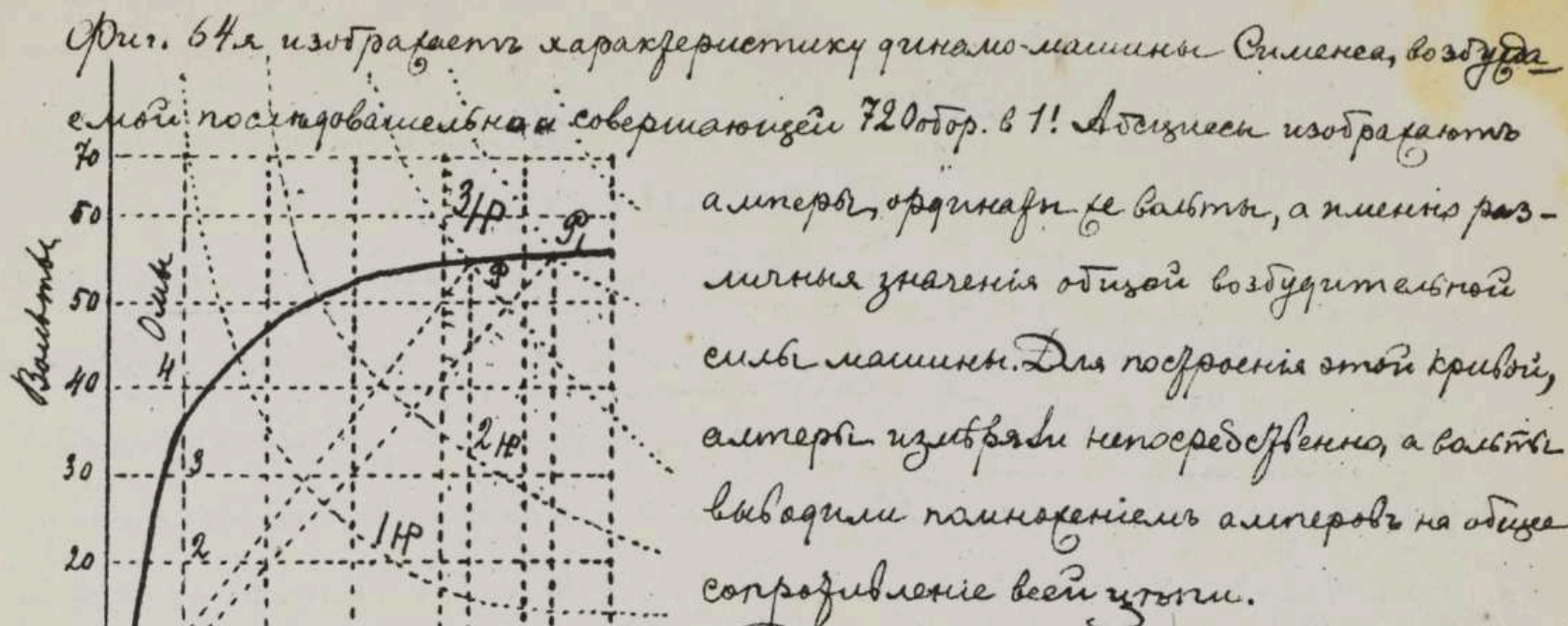
Чер. 63.



представляющий собой, как известно катушку (А) с якорем (В), соединенный с батареею, магнитным сопротивлением, который будем пользоваться для измерения силы тока в электромагните и амперметр, для измерения силы тока, проходящего по проводу. Электромагнит одним своим концом смотрит на запад, т.е. лежит в плоскости перпендикулярной магнитному меридиану. Против него висит магнит NS на нитке в O с прикрепленным к нему зеркальцем (такой магнит наз. магнитометром). Пускаем по электромагниту определенный ток; якорь намагнитится, вследствие чего магнит NS отклонится пропорционально магнитному моменту электромагнита. Пусть величина тока есть I , отклонение магнитной стрелы φ . Пускаем больший ток I_2 - тогда отклонение будет φ_2 и т.д. Пускаем все больший и больший ток дойдя до I_n , получим угол будет φ_n ; углы $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_n$ прямо пропорциональны магнитному моменту намагнитившегося электромагнита, т.е. $M_1 = k\varphi_1; M_2 = k\varphi_2, \dots, M_n = k\varphi_n$.

Эти результаты строим графически, откладывая на оси абсцисс величину тока, а на оси ординат - магнитные моменты электромагнита, тогда получим кривую OM , характеризующую увеличение силы электромагнита в зависимости от тока, через него проходящего. Из рассмотренного чертежа видно, что вначале магнитный момент возрастает пропорционально силе тока (т.е. OM есть прямая линия) потом эта пропорциональность нарушается и прямая OM переходит в кривую. Следовательно, если будем увеличивать ток, то сила электромагнита не будет увеличиваться до ∞ . Эта постановка зависит от того, что действо электромагнита имеет предел намагничивания; так, образ. намагнитившегося пускаем

только известной величины ток, необходимый и впасть достаточный для данного электромагнита. Вынем якорь и исследуем действие бобины без якоря на магнит $МБ$. Бобина с тем же электромагнитом и магнитным моментом этого электромагнита выражает прямо пропорционально силе тока, текущего по ней (число витков то же, что и раньше). Результатом наблюдения выражается графически прямою от, расположенной над $ОМ_2$, следовательно момент одной бобины меньше момента бобины с якорем, действие ее слабее. Если от оси $О$ и $ОМ_2$, мы можем найти магнитные моменты, соответствующие одному якорю; для этого от точек $М_1, М_2$ и т.д. откладываем вниз $М_1М'_1 = I_1m_1, М_2М'_2 = I_2m_2$ и т.д. получим некую линию $ОМ'_2$. Из разности точек $ОМ'_2$ видно, что сначала намагничивание якоря пропорционально силе тока ($ОМ'_2$ есть прямая линия), потом при дальнейшем увеличении тока, намагничивание не увеличивается (ибо $М'_1М'_2$ - прямая $\parallel$ оси абсцисс). Это соответствует насыщению якоря. Так образ., на основании предыдущего мы можем наглядным образом комбинировать ток, текущий в электромагните. Исследуем теперь каждую машину в отдельности и построим для них характеристики. Для этого, пусть машина с известною номинальною скоростью, имеем известное сопротивление и каждый раз записываем, возбуждающую силу и силу тока. Откладываем по оси абсцисс силу тока, а по оси ординат возбуждающую силу, строим кривую, изображающую собою свойства машины и называемую, поэтому, ее характеристикой. Эта кривая для известной скорости, зависит только от конструкции машины; она изображает собою ее действие и характеризуется ею, точно также как диаграммы, полученные у паровой машины индикатором I атта, определяющим собою свойства последней.



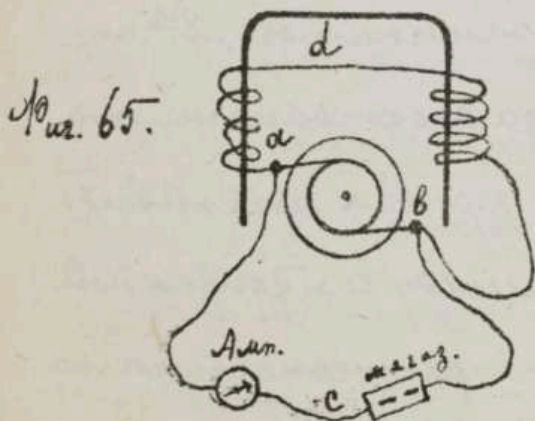
Фиг.
64.

Разсматривая эту кривую, мы заключаем, что она начинается немного выше начала ординат. Это есть следствие сущего в электромагнитах остаточного магнетизма. — Затем мы видим, что кривая направлена вверх, почти в виде прямой и под значительным углом к оси абсцисс, до известной точки, от которой она отгибается книзу. И очевидно, так как скорость вращения остается постоянной, то возбуждающая сила машины растет вместе с силой тока, так как электромагниты введены в цепь постоянно. Магнитная напряженность тоже стремится к известному максимуму, образуемому соединением насыщения электромагнитов, и кривая следует формуле изменения. Первая часть кривой, идущая под большим углом к оси абсцисс, изображает собою то, что происходит до насыщения электромагнитов, 2^{ая} же часть кривой относится до того периода, когда электромагниты, практически говоря, уже насыщены. Эта кривая показывает нам наглядно зависимость, существующую между возбуждающей силой и силой тока. На той же кривой — характеристика можно изобразить графически сопротивления, предлагаемые машинами.

иной во внешней цепи. Возьмем, например, точку P , и имеем (рис. 64) $R = \frac{PM}{OM}$, между тем $\frac{PM}{OM} = \tan \angle POM$; следовательно,

$$R = \tan \angle POM.$$

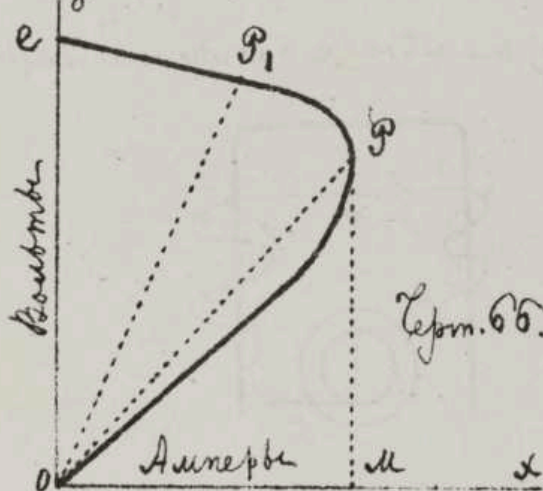
Итак, если соединить какую-либо точку кривой с началом координат, то $\tan$ угла, образуемого этой прямой с осью X , дает соответствующее этой точке сопротивление. Проведем теперь через начало O прямую под углом в 45° к оси, т. е. проходящую через точку, для которой $X = 10$ ампер, а $Y = 10$ вольт; $\tan$ этого угла $= 1$ и ордината этой точки может изображать собою единицу сопротивления, т. е. 1 ом. Если теперь на параллели к оси ординат, проведенной через точку P , отложим ряд точек, отстоящих все друг от друга на расстоянии, равное единице сопротивления, то мы сможем построить масштаб, помощью которого мы сможем непосредственно получить в омах величину сопротивления изги. Таким образом, чтобы получить сопротивление в точке P , нужно провести прямую PO и заметить точку пересечения ее с масштабом сопротивлений; тогда расстояние этой точки от точки R и даст нам искомое сопротивление. Разсмотрим теперь машину с отводом и построим для нее характеристику. Рисунком 65^а изображает схему такой машины; здесь (adb) — внутренняя цепь, а (bcd) — внешняя.



Если уничтожим внешнюю цепь и будем вращать машину, то весь ток пройдет по ней самой и слог., получим предвудий слрай, т. е. машину постоянного возду-

федения; характеристика будет та же, что и раньше. Если внешнюю

цать будет, тогда она получит свою самосфокусирующуюся характеристику. Слѣб., у насъ получается двѣ отгнѣбныя характеристики: внутренняя и внешняя. Построение первой знаемъ, слѣд., остается рассмотреть построение второй. Пусть имеемъ машину съ опредѣленною скоростью, поворота, 630 обор. в. 1; введемъ различное сопротивление R (магнитное), измеримъ амперметромъ соотвѣствующую величину тока I , по выраженію $E = I \cdot R$ вычисляемъ возбудительную силу. Результаты наблюдений наносимъ также графически по осямъ координатъ (абсциссы соотвѣствуютъ I , а ординаты E); тогда получимъ кривую (чер. 66) OPe - ха-



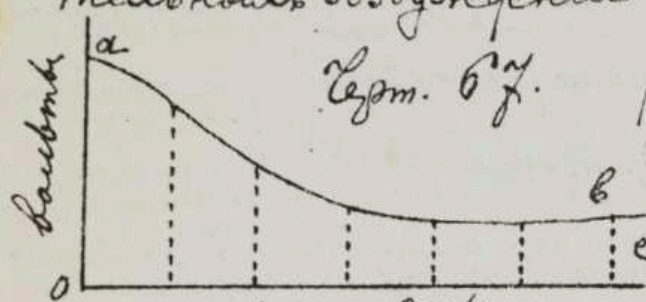
рактеристику. По этой характеристике можемъ судить о сопротивленіи, преодолѣваемомъ машиною, палбывая флмѣе пріемлемы, что и равнѣе. По черт. видно, что наибольшая сила тока машины = 31 амперу, а при сопротивленіи равномъ $\tan$ угла POM .

Если точку P будемъ перемѣщать въ P , и дальше, то сила тока уменьшается, но зато E (возбудительная сила) увеличивается и въ e , когда сила тока = 0, будетъ максимумъ E , при этомъ $R = \tan 90^\circ = \infty$, т. е. внешняя цѣпь разомкнута, слѣд., въ машинѣ ея отвлѣченіемъ при увеличеніи R , будетъ E также увеличиваться до извѣстнаго максимума; въ машинѣ послѣдовательная возбуденія, какъ мы знаемъ, даетъ инае; - съ увеличеніемъ R - уменьшается E . - Вышеизложенное можно изобразить графически, откладывая на оси абсциссъ сопротивления въ

Попровка. Стр. 53, строка 15 сверху.

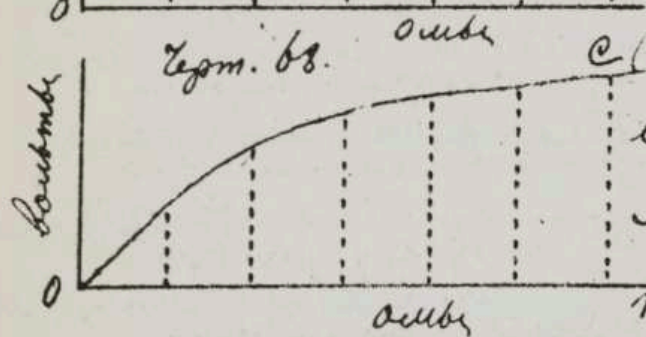
Надо читать: если при вращеніи плоскость катушки совпадаетъ съ плоскостью силовыхъ нѣтъ, то сила тока будетъ наибольшая.

омах; а на оси ординат соответствующую электровозбудительную силу в вольтах. Тогда получим для машины постоянного тока кривую ab (чер. 67), а для машины 2^{го} рода кривую ac (чер. 68.)



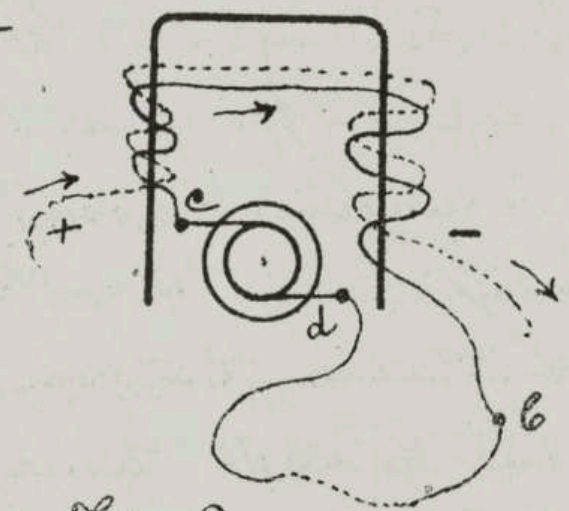
Черт. 67.

рода кривую ac (чер. 68.)



Черт. 68.

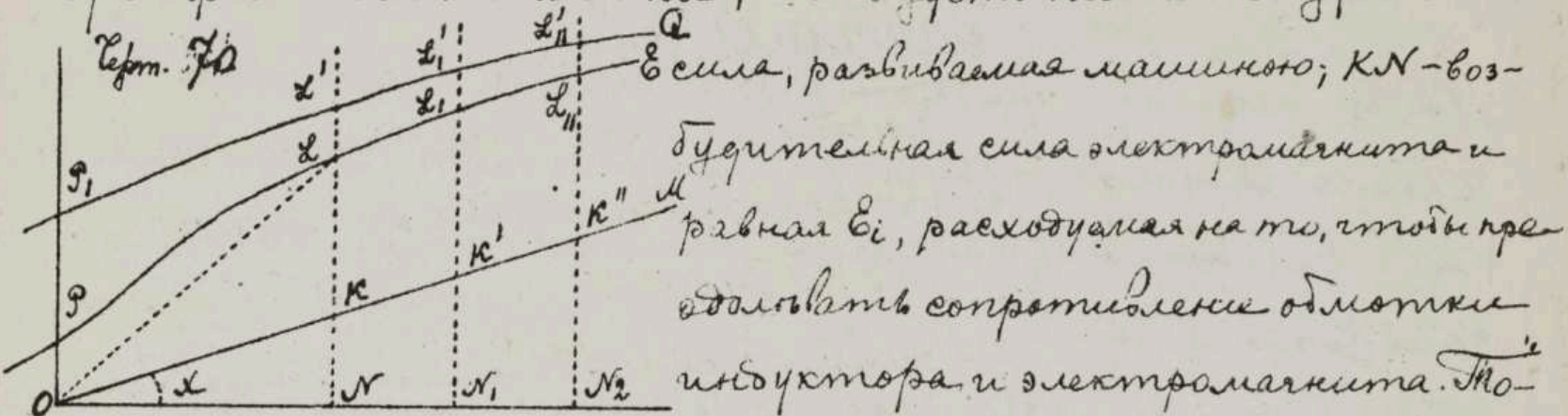
Пустим теперь машину с любым способом возбуждения (чер. 69). Пунктирная линия, соединяемая с посторонним возбудителем. Вращаем также машину с определенной скоростью и, зная сопротивление, определяем Ампера, соответствующую различным R . По найденным R и I найдем вольты по выражению $E = R \cdot I$; в этом случае, кривая начинается из точки D , причем OD есть возбудительная сила от постороннего возбудителя, которая возникла бы в индукторе при вращении его, если бы второй обмотки электромагнита и не было. За точкой D кривая (DE) идет, возвышаясь над осью X . Найдем, как изгибается характеристика, если фемалы у борнов (a и b) получить постоянную возбудительную силу. Полная электровозбудительная сила состоит из 2^х частей; одна часть ее дает ток в обмотках индуктора, другая дает ток во внешней цепи и $E = E_1 + E_2$, где E_1 - внутренняя возбудительная сила, а E_2 - внешняя. Проведем линию OM так, чтобы tg угла $X =$ сопро-



Черт. 69.

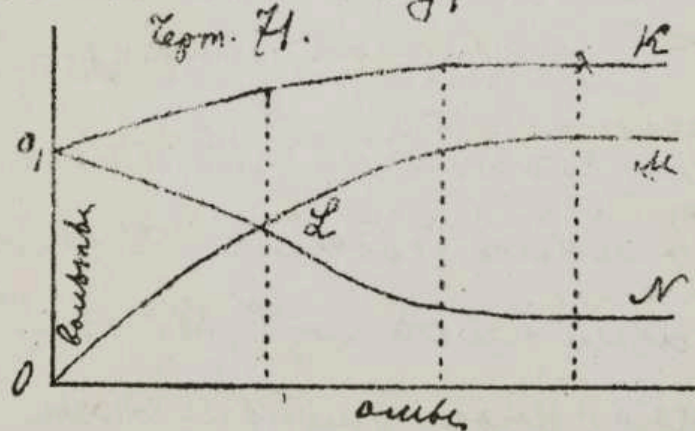
кла бы в индукторе при вращении его, если бы второй обмотки электромагнита и не было. За точкой D кривая (DE) идет, возвышаясь над осью X . Найдем, как изгибается характеристика, если фемалы у борнов (a и b) получить постоянную возбудительную силу. Полная электровозбудительная сила состоит из 2^х частей; одна часть ее дает ток в обмотках индуктора, другая дает ток во внешней цепи и $E = E_1 + E_2$, где E_1 - внутренняя возбудительная сила, а E_2 - внешняя. Проведем линию OM так, чтобы tg угла $X =$ сопро-

тивленю обмотки электромагнита и его обмотки. Если какую-нибудь точку L (чер. 70) кривой $РВ$ соединим с O , то OLN = полному сопротивлению машины, LN - будет полная возбуждающая



будителная сила электромагнита и равная E_i , расходуемая на то, чтобы преодолеть сопротивление обмотки индуктора и электромагнита. Тогда разность их $LN - KN$ даст электровозбудительную силу (напряжение) у борновой машины. Для постоянства этой силы нужно, чтобы линия $LK = L'K' = L''K'' = \text{const.}$ Если мы будем изменять скорость вращения индуктора, то можно будет подобрать ее такой величины, что характеристика машины будет изображаться линией P, Q , которая почти $\parallel O, M$; тогда величина $LK' = \text{const.}$, а след., возбуждающая сила в машине почти будет const.

Динамо-машина Каппаунда, как мы знаем, представляет машину постоянного и обратимого возбуждения и для получения ее характеристик нужно суммировать характеристики L^{12} вышеупомянутой машины. На рис. 71 OLM представляют зависимость возбуждающей силы и сопротивления для постоянного возбуждения; а $O'L'M'$ - для постоянного обратимого. Суммируя ординаты этих кривых, мы получили характеристику $(O'K)$ для Каппаунд-машины; видно, что эта кривая близка к прямой параллельной оси X ; след., для этой машины



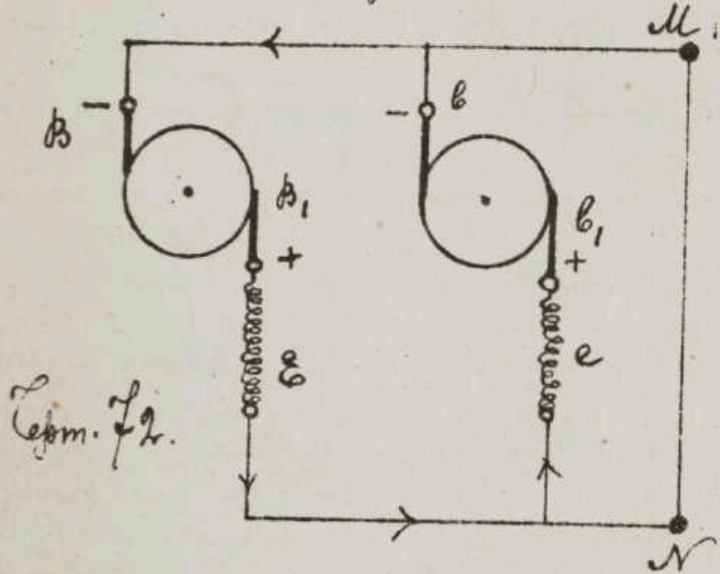
близка к прямой параллельной оси X ; след., для этой машины

Электромагнитная сила почти постоянна.

Соединение динамо-машин друг с другом

Нам остается рассмотреть способы соединения электрических машин друг с другом. Действительно, так как всякую электрическую машину можно сравнить с гидравлического насоса, то можно соединить их несколько вместе или последовательно, или же параллельно. Соединение двух машин последовательно не представляет

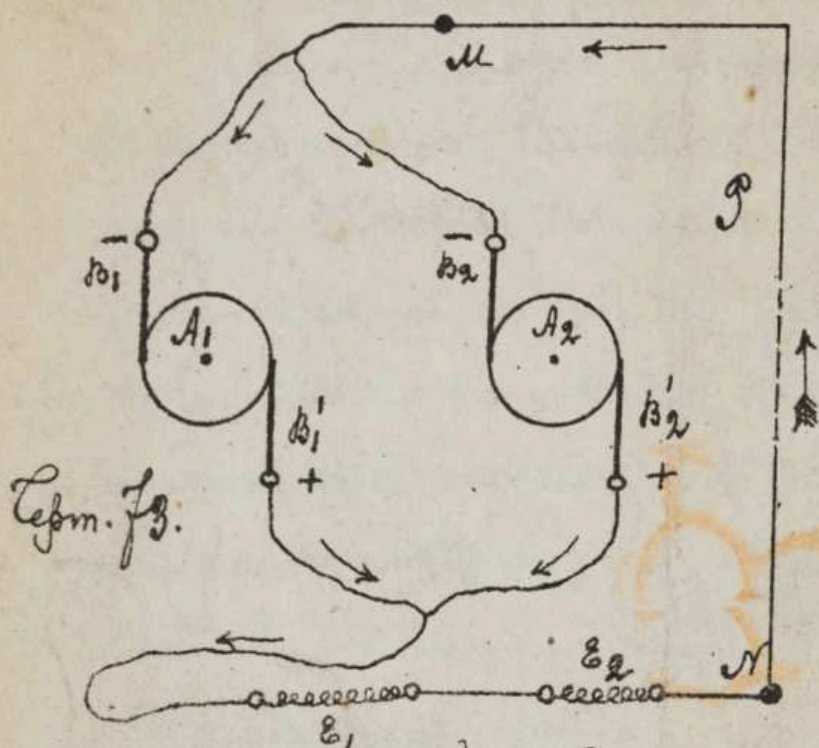
никакого затруднения. Нельзя сказать того же о параллельном соединении. Две динамо-машины никогда не могут быть настолько совершенными, чтобы давать, даже при одной и той же скорости, одну и ту же возбудительную силу; отсюда происходит то, что если соединить их параллельно, то часть тока одной машины пойдет через другую, как и имеет это место при таком же соединении двух неравных, но с одной силой, элементов. Это, однако, значение этого неудобства значительно больше. Так как во второй машине ток пойдет обратным путем прежнего направления; то во электромагнитных возбуждающих ток уменьшится, а вследствие этого уменьшится также индукционный ток, как показано это схема-



Схем. 72.

тически на карт. (72), на которых от щетки машины изображены в ВВ, и вв,; Еи Е представляют электромагниты; МХ — щетк. Сигналов, различие между машинами при совмещении их в отношении статоров, все равно, и одна из них помогает значительную часть тока другой, если не производит при этом никакой работы. Здесь следует заметить, что при таких соединениях машин не только расходуется мощность безрезультатно часть работы, а расходуется, что неслучайно опасно, часть собственной машины. Действительно, начиная с того момента, когда направление тока, протекающего по обмотке машины меняется, другая машина как бы замыкается на цепи весьма незначительного сопротивления, и потому сила тока немедленно возрастает до громадной величины; от этого обмотка слабойшей машины может моментально разрушиться. Это случается, например, в центральной электрической станции в Нью-Йорке, внаслідок ее отключения. Для избежания этого, предотвращают следующее расположение. Если обмотки машин соединяются параллельно, и ток от них протекает в электромагниты, соединив их друг с другом последовательно. Таким образом, по обмотке индуктора проходит тот же ток; следовательно, напряжение обмотки магнитных полюсов будет одинаково и никаких пер-

турбации произойти не может. Рис. 73 показывает схематическое расположение щеток. Щетки A_1, A_2 — щетки машины;



B_1, B_2 — отрицательные щетки;

B_1', B_2' — положительные щетки;

E_1, E_2 — индукторы;

M, N — зажимы внешней цепи;

M, P, N — выходящий щеток.

Соединение машин может быть последовательным или параллельным, также как и соединение гальванометрических проводов.

Смотря на предыдущий опыт, можно заметить, что при работе и той противоположной силе, которую требуется производить. Сложно руководствоваться в этом отношении правилами, данными.

Зеркала: наилучшим образом условия для производства магнитной работы достигаются тогда, когда противоположная сила во внешней цепи равна половине общей возбуждающей силы машины.

Конец.

Изд. Духовенство.