

ление, которое получило название *электрического ветра*. Благодаря тому, что плотность электричества на острие весьма велика, молекулы воздуха вблизи острия оказываются под действием значительных электрических сил (рис. 20); в поле этих сил молекулы воздуха расщепляются на ионы — части, заряженные положительно и отрицательно (воздух всегда несколько ионизирован; острие наэлектризованного тела увеличивает его ионизацию). Ионы, заряженные однородно с телом, отталкиваются от острия, а заряженные противоположно притягиваются к нему; последние, соприкасаясь с телом, нейтрализуются и постепенно разряжают проводник; первые, удаляясь от острия, вызывают «электрический ветер», который может, например, отклонить пламя поднесенной к острию свечи (рис. 21) или реактивно привести во вращение легкое металлическое колесико (рис. 22).

Свойство электричества так легко «стекать» с острия нужно всегда иметь в виду в тех случаях, когда мы желаем удержать заряд на каком-нибудь проводнике. Для этого недостаточно окружить этот проводник изоляторами, но необходимо еще самым тщательным образом удалить с его поверхности все острия или зазубрины так, чтобы поверхность проводника была совершенно гладкой.

§ 11. Электризация проводников в поле и деформация поля проводниками

В любом проводнике можно получить электричество без трения и без соприкосновения его с заряженным телом, путем одного только влияния, которое оказывает на этот проводник расположенное вблизи заряженное тело.

В каждом проводнике находится всегда и положительное, и отрицательное электричество в равных количествах. Когда к проводнику приближается наэлектризованное тело, то оно притягивает к себе разноименное и отталкивает одноименное с ним электричество; вследствие этого и вследствие свободного перемещения зарядов в проводнике плотность распределения зарядов становится неравномерной; при этом на ближайшей к влияющему телу части поверхности проводника сосредоточивается электричество, противоположное влияющему, тогда как на более удаленных частях поверхности — одноименное с влияющим (рис. 23). Это явление но-

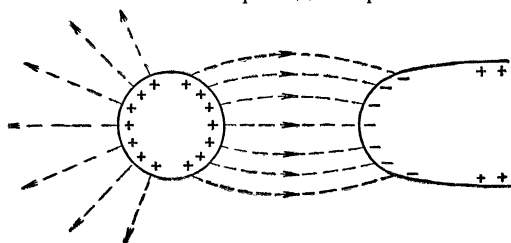


Рис. 23. Проводник в поле заряженного шара.

Рис. 23. Проводник в поле заряженного шара. Это явление но-

сит название *электростатической индукции*¹⁾, или *электризации посредством влияния*. Плотность зарядов, индуцируемых на небольших металлических пластинах, внесенных в электрическое поле и ориентированных перпендикулярно к линиям сил, равна (будучи умноженной на 4π) электрической индукции. При иной ориентации пластин плотность индуцированных зарядов определяется проекцией вектора индукции на нормаль к пластинам (стр. 32).

Так как явление электростатической индукции заключается в разведении зарядов, ранее содержавшихся в проводнике, то понятно, что *количества индуцированного положительного и отрицательного электричества всегда одинаковы*.

В растворах солей носителями электричества являются ионы. Здесь явление электростатической индукции сопровождается перемещением одновременно как отрицательных, так и положительных ионов.

В металлах подвижностью обладает только отрицательное электричество, носителями которого являются электроны. Положительные остовы атомов (положительные ионы металла) закреплены силами взаимодействия в узлах кристаллической решетки. Приближение положительно заряженного тела к куску металла вызывает перемещение электронов к поверхности, обращенной к заряженному телу; в связи с этим перемещением электронов на противоположном конце куска металла обнаруживается

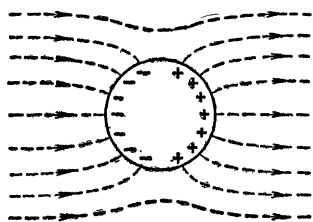


Рис. 24. Деформация однородного электрического поля, вызванная незаряженным металлическим шаром, внесенным в поле.

недостаток числа электронов в сравнении с числом положительных ионов, т. е. обнаруживается равная по величине положительная электризация металла. Когда влияющее заряженное тело удалено, электроны тотчас равномерно распределяются по всему объему металла и реют между положительными ионами.

Проводник, внесенный в поле, электризуясь по влиянию, изменяет картину поля. На рис. 24 показана деформация однородного электрического поля, вызванная незаряженным металлическим шаром, внесенным в это поле.

Так как электрические заряды внутри проводника могут свободно перемещаться под действием электрических сил, то для равновесия электричества на проводнике необходимо, чтобы действия всех электрических зарядов взаимно уничтожались во всех точках проводника.

Если незаряженный проводник внесен в пространство, в котором действуют электрические силы, то тотчас возникает явление

¹⁾ От лат. *induco* — навожу.

электростатической индукции, т. е. начинается разъединение и перемещение зарядов, присущих самому проводнику (в растворах солей — ионов, в металлах — электронов). Явление это продолжается до тех пор, пока индуцированные заряды не распределятся на поверхности проводника таким образом, что обусловленные этими индуцированными зарядами силы для всех точек внутри проводника окажутся равными по величине, но обратными по направлению тем силам, которые в этих точках существовали до явления индукции. Индуцированные заряды уравнивают для всех точек внутри проводника силы, вызванные действием внешних по отношению к проводнику наэлектризованных тел. Выражаясь фигурально, можно сказать, что явление индукции имеет назначение уничтожать электрические силы в пространстве, которое занято проводником.

Ту же самую мысль можно выразить и иначе. Можно сказать, что физическая сущность явления электростатической индукции заключается в *экранировании* электрических сил, причем это *экранирование распространяется на все пространство, ограниченное поверхностью проводника*.

Это последнее замечание весьма важно. Оно означает, что если в проводнике имеются *п о л о с т и*, то, *после того как явление индукции закончилось, в полостях, так же как и во всех точках самого проводника, никаких электрических сил не существует*. Действительно, всегда можно себе представить, что проводник сначала не имел полостей (например, можно представить себе, что полости были заполнены ртутью), и что полости были образованы в нем после того, как установилось состояние равновесия индуцированных зарядов на его поверхности. Поскольку полость заполнена (скажем, ртутью), в ней, согласно сказанному выше, при равновесии не может существовать электрических сил; понятно, что извлечение ртути из полости не нарушит равновесия, и следовательно, нет оснований для возникновения электрических сил в полости после того, как ртуть из нее будет извлечена.

Рис. 25 показывает, как выглядит однородное электрическое поле после того, как в него внесен полый металлический шар.

Из сказанного можно сделать такой вывод. Если какое-нибудь тело окружено со всех сторон проводящей оболочкой и мы приблизим к этой оболочке с наружной стороны какое-нибудь наэлектри-

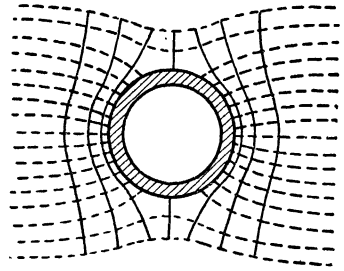


Рис. 25. Внутри полого металлического шара, внесенного в электрическое поле, нет действия сил внешнего электрического поля. (Сплошные линии указывают расположение эквипотенциальных поверхностей.)

зованное тело, то хотя на оболочке и возникнет электричество через влияние, но на теле, находящемся внутри, никакого перераспределения электричества не обнаружится.

Вот почему обыкновенно электроскопы и электрометры бывают снабжены проводящей оболочкой; эта оболочка охраняет помещенные внутри части прибора, как, например, алюминиевые листочки, от электрического влияния посторонних наэлектризованных тел.

Впервые явление электрической защиты было обнаружено Фарадеем (1836), который произвел опыт, демонстрирующий это явление. Он поместился сам с электроскопом внутри металлической клетки. Клетка была изолирована от земли и к ней через сильные искры подводились заряды. Никаких отклонений электроскопа при этом не наблюдалось, и сам Фарадей не испытывал никаких ощущений при проскакивании электрических искр на поверхности клетки (*клетка Фарадея*).

Когда мы вносим в электрическое поле проводник, силы поля вызывают в проводнике такое перераспределение внутренних, присущих самому веществу проводника зарядов, что в результате во всех точках внутри проводника напряженность поля становится равной нулю.

Иными словами, *происходит выравнивание потенциала*. Ввиду свободной подвижности зарядов в проводнике равновесие зарядов в нем возможно только в том случае, если напряженность поля всюду внутри проводника равна нулю. Но раз напряженность поля равна нулю, значит, перемещение заряда не связано с затратой работы, следовательно, *при равновесии зарядов потенциал всюду внутри и на поверхности проводника одинаков*.

Проводник, внесенный в поле, электризуется влиянием поля и так изменяет поле, что *поверхность проводника становится эквипотенциальной поверхностью*. Линии сил, которые в начальный момент пронизывали проводник, скользят по поверхности проводника до тех пор, пока не займут положения, при котором все они окажутся *перпендикулярными к поверхности проводника*.

На рис. 26, *a* несколькими поверхностями уровня представлено электростатическое поле от точечного положительного заряда Q . Представим себе, что в поле внесен проводник, изображенный заштрихованной площадью; в первый момент каждая точка проводника имеет потенциал, соответствующий еще не измененному полю; в точке P_1 проводника потенциал больше, чем в точке P_2 . Вследствие свободной подвижности электричества в проводнике в последнем немедленно начнется течение электричества от точек большего потенциала к точкам меньшего потенциала. В результате поверхность проводника делается поверхностью уровня и силовые линии установятся нормально к поверхности проводника.

Алгебраическая сумма зарядов внутри проводника останется равной нулю, поэтому число силовых линий, входящих в проводник, будет равно числу выходящих. Поле, измененное проводником, изображено на рис. 26, б (пунктиром показаны силовые линии).

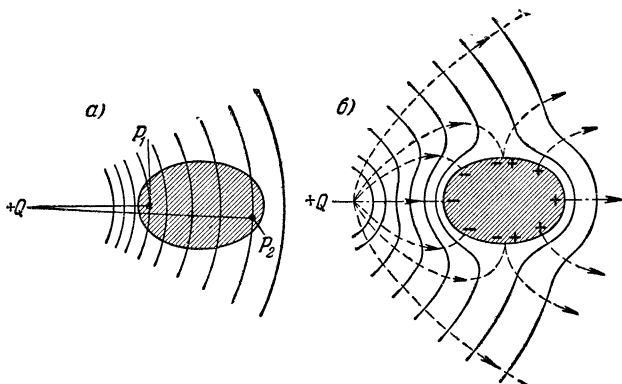


Рис. 26. Деформация поля, вызываемая проводником; а — поле точечного заряда $+Q$; б — присутствие проводника привело к деформации поля; поверхность проводника стала эквипотенциальной поверхностью (силовые линии перпендикулярны к поверхности проводника).

Благодаря явлению электростатической индукции проводники притягивают свободные электрические заряды, оказавшиеся вблизи от них. В некоторых случаях сила этого притяжения вычисляется легко. Пусть, например, заряд $+Q$ находится на расстоянии a от плоского массивного проводника, размеры которого велики в сравнении с a , так что этот проводник можно рассматривать как проводящее «полупространство» (рис. 27). Заряд $+Q$ индуцирует на поверхности проводника отрицательные заряды, которые и притягивают к себе заряд $+Q$. Чтобы вычислить эту силу притяжения, нет необходимости определять точное распределение индуцированных зарядов. Дело в том, что индуцированные на проводнике заряды создают вне проводника такое же поле, какое было бы создано «электрическим изображением» заряда $+Q$ в проводнике, т. е. зарядом $-Q$, расположенным на продолжении перпендикуляра, опущенного из $+Q$ на поверхность проводника; подобно зеркальному изображению, заряд $-Q$ нужно считать находящимся на та-

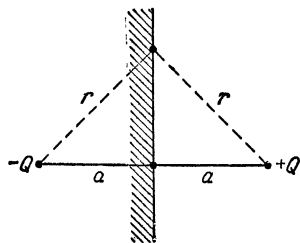


Рис. 27. Заряд $+Q$ индуцирует на поверхности проводника заряды, поле которых эквивалентно полю «электрического изображения» показанного на рисунке заряда $-Q$.

ком же расстоянии от поверхности проводника, на каком находится заряд $+Q$. В справедливости сказанного нетрудно убедиться, если учесть, что фактическое распределение индуцированных зарядов должно быть таким, чтобы поверхность проводника обращалась в эквипотенциальную поверхность. Но заряды $+Q$ и его «электрическое изображение» $-Q$, как расположенные симметрично по отношению к поверхности проводника, создают в любой точке указанной поверхности равные по величине и противоположные по знаку потенциалы $+\frac{Q}{r}$ и $-\frac{Q}{r}$, где r — расстояние какой-либо рассматриваемой точки поверхности от заряда $+Q$, а стало быть, и расстояние той же точки от заряда $-Q$.

Что поверхность проводника при симметрично расположенных зарядах $+Q$ и $-Q$ будет эквипотенциальной поверхностью, это сразу видно из рис. 17 на стр. 36. Если представленное там поле мы разрежем плоскостью, перпендикулярной к оси диполя, на две равные половины, то силовые линии поля будут всюду нормальны к указанной плоскости, а это и означает неизменность потенциала на плоскости.

Итак, заряды $+Q$ и $-Q$ обращают поверхность проводника в эквипотенциальную поверхность, а стало быть, заряд $-Q$ создает *вне* проводника такое же поле, как и фактически индуцированные на проводнике заряды.

Поэтому притяжение точечного заряда $+Q$ к проводнику будет таким же, как сила взаимного притяжения зарядов $+Q$ и $-Q$:

$$f = \frac{Q^2}{(2a)^2},$$

где a — расстояние заряда Q от поверхности проводника.

Аналогичным методом, но посредством несколько более сложного вычисления можно определить силу взаимного притяжения между точечным зарядом и проводящим шаром. Когда радиус r проводящего шара мал в сравнении с расстоянием a центра шара от точечного заряда Q (рис. 28), сила взаимного притяжения заряда и проводящего шара оказывается равной

$$f = \frac{2Q^2 r^3}{a^5}.$$

Достаточно заземлить проводящий шар, и сила, с которой он будет притягивать свободный точечный заряд, при малых размерах шара окажется равной

$$f = \frac{Q^2 r}{a^3}.$$

Земной шар в целом является проводником. Возможно, что Земле присущ некоторый электрический потенциал по отношению к удаленным точкам мирового пространства, и возможно, что другим небесным телам присущи другие значения потенциала.

Земля (если ее рассматривать отдельно от атмосферы) имеет отрицательный заряд порядка 500 000 кулонов. Примерно такой же положительный заряд распределен в атмосфере. Если бы заряда атмосферы не было, то Земля по отношению к каким-либо точкам мирового пространства, которые удалены от электрических зарядов, имела бы потенциал порядка 700 млн. в.

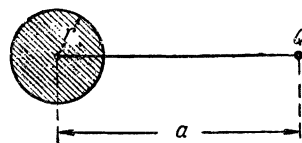


Рис. 28.

В электротехнике (а часто и в физике) потенциал земли принимают условно равным нулю. Термин «напряжение» обычно служит для обозначения потенциала поля по отношению к земле. Все проводники, которые соединены проводником с землей («заземлены»), в состоянии электрического равновесия имеют потенциал, по отношению к земле равный нулю. Но если состояние электрического равновесия нарушено, то потенциал заземленного (например, при помощи длинной тонкой проволоки) проводника по отношению к земле может быть и не равен нулю; тогда ток идет из проводника в землю, если напряжение проводника положительно, и в обратном направлении, если оно отрицательно.

В более широком смысле слова под «напряжением» понимают вообще разность потенциалов в двух точках проводника.

§ 12. Контактная разность потенциалов

Весьма важно, что при соприкосновении проводников различной химической природы электрическое равновесие устанавливается, вообще говоря, при *неодинаковых* потенциалах этих проводников. Для электрического равновесия необходимо, чтобы во всех точках внутри проводника потенциал был одинаков, но на границе соприкосновения (контакта) разнородных проводников значение потенциала может испытывать некоторый скачок, причем во всех точках другого проводника потенциал имеет также одинаковое значение, однако оно может быть отлично от значения потенциала в первом проводнике. Поле в каждом из соприкасающихся проводников отсутствует, но для перемещения небольшого пробного заряда Q из одного проводника в другой может потребоваться вследствие различной химической природы соприкасающихся проводников затрата некоторой работы A , пропорциональной величине заряда Q . Отношение этой работы к величине перемещаемого заряда и будет представлять собой разность потенциалов соприкасающихся про-