

Александр Александрович Эйхенвальд

Электричество

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 50
ББК 22
31

Э1 **Эйхенвальд А.**
Электричество / Александр Александрович Эйхенвальд – М.: Книга по Требованию, 2023. –
784 с.

ISBN 978-5-521-39098-4

ISBN 978-5-521-39098-4

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2023
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2023

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг — не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель — вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания — решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

Ч А С Т Ь П Е Р В А Я

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

ЭЛЕКТРОСТАТИКА

1. ОСНОВНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

1. **Электризация трением.** — Возьмем палочку сургуча, потрем ее о шерстяную материю и приблизим к какому-нибудь легкому телу, например к кусочкам папиросной бумаги, к перышкам или соломинкам: тотчас же все эти тела притянутся сургучом (рис. 1).

Притянутые кусочки остаются некоторое время прилипшими к сургучу, но затем опадают; а иногда они даже отскакивают, оттолкнутые сургучом.

Этот опыт может каждый легко произвести сам. Но несмотря на кажущуюся незначительность наблюдаемых при этом явлений, опыт этот имеет основное значение для всего учения об электричестве, и мы к нему неоднократно будем возвращаться.

Мы выбрали для опыта сургуч и бумажки только потому, что эти предметы часто под рукою; однако те же явления можно наблюдать, если вместо сургуча взять стекло, янтарь, или если вместо шерсти употребить для трения шелк, бумагу, кожу и т. п. Вообще этот опыт можно произвести более или менее удачно со всякими двумя телами, и все они после трения друг о друга обнаружат свойство притягивать к себе легкие тела, — свойство, которого у них до этого не замечалось.

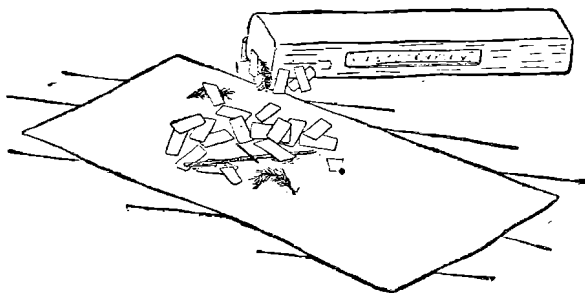


Рис. 1. Сургуч притягивает бумажки.

Наблюдаемые в подобных опытах силы как по способу их возбуждения, так и по некоторым другим своим свойствам отличаются от всех других сил природы, например от магнитных сил и от сил всемирного тяготения, а потому Джилберт (Gilbert, 1600 г.), впервые выяснивший это отличие, предложил для них особое название; Джилберт назвал эти силы электрическими, от греческого слова *ἤλεκτρον* (электрон), что значит янтарь; в янтаре эти силы были замечены гораздо ранее, чем в других телах.

Сообразно с этим установилась следующая терминология. Тела, в которых обнаруживаются электрические силы, называются наэлектризованными телами; мы будем также часто употреблять термин — тела, заряженные электричеством, приписывая таким образом наблюдаемые нами притягательные силы не столько самим телам, сколько особому деятелю — электричеству или электрическому заряду, возникающему в этих телах при трении.

Впоследствии мы увидим, что электричество получается не только посредством трения; его можно получить и посредством теплоты, света, магнетизма и наконец химическим путем. Однако все эти способы возбуждения электричества мы пока оставим в стороне, ибо наша ближайшая задача будет состоять в том, чтобы изучить по возможности всесторонне электрические силы, а для этого наиболее удобно получать электричество посредством трения.

2. Взаимная электризация. — Прежде всего заметим, что когда какое-нибудь тело *A* трется о тело *B*, то в то же самое время и тело *B* трется об *A*. Поэтому, если сургуч при трении о шерсть электризуется, то естественно спросить себя, не приходит ли шерсть при этом тоже в электрическое состояние. И действительно опыт вполне подтверждает это предположение: при трении сургуча о шерсть и сургуч и шерсть приобретают свойство притягивать к себе легкие тела.

Вообще опыты показали, что всякие два тела при трении друг о друга электризуются.

3. Передача электрического заряда. — Электрическое состояние может передаваться от одного тела к другому простым прикосновением.

Для того чтобы показать это, повесим какое-нибудь легкое тело, например соломинку или папиросную бумажку, на некрученной шелковинке. Если прикоснуться к этой соломинке натертым о шерсть сургучом, то она сама наэлектризуется, и если приблизить к ней обрывок папиросной бумажки, то она притянет к себе эту бумажку.

Это показывает, что электричество, возникшее на сургуче от трения, может быть передано простым прикосновением соломинке; точно так же электричество можно передать бумажке и вообще любому другому телу.

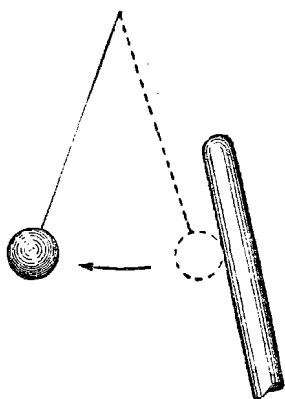


Рис. 2. Электрическое отталкивание.

4. Электрическое отталкивание. — Производя опыт передачи заряда и внимательно наблюдая происходящие при этом явления, мы заметим следующее. Когда мы приближаем наэлектризованный сургуч к ненаэлектризованной бумажке и пока еще сургуч к ней не прикоснулся, бумажка притягивается сургучом, но как только произошло между ними соприкосновение, они тотчас же стали отталкиваться друг от друга (рис. 2). Точно так же при опыте с двумя бумажками: пока одна из них наэлектризована, а другая нет, мы наблюдаем взаимное притяжение обеих бумажек, но как только обе бумажки соприкоснутся, т. е. как только обе они зарядятся электричеством, мы наблюдаем между ними отталкивание.

На основании этих опытов можно было бы заключить, что между двумя телами наблюдается электрическое притяжение тогда, когда только одно из них заряжено; отталкивание же тогда, когда оба тела заряжены электричеством. Однако такое заключение, как увидим ниже, не подтверждается дальнейшими опытами.

Как бы то ни было, но замеченными нами отталкивательными силами удобно воспользоваться для устройства прибора — указателя электри-

чества, которым мы в дальнейшем постоянно будем пользоваться и который носит название *электроскопа*.

5. **Электроскоп.** — Самый простой электроскоп состоит из подвешенных на крючке двух соломинок или бумажек (две папиросных гильзы) (рис. 3а). Когда соломинки или бумажки заряжены, они отталкиваются друг от друга и образуют друг с другом некоторый угол; по величине этого угла мы можем судить о том, насколько сильно бумажки зарядились.

Впрочем электроскоп такого устройства обладает многими недостатками, которые будут выясняться нам лишь при дальнейшем изучении свойств электричества.

Обыкновенно электроскопу придают следующее устройство.

К медной проволоке *D* (рис. 3б), снабженной сверху медным шариком *C*, приделывают два тонких листочка из алюминия *EE* и при помощи эбонитовой пробки *B* помещают эти листочки внутри металлической коробки *A* со стеклянными окошками, сквозь которые можно наблюдать положение листочков. Алюминиевые листочки в этом приборе служат тем же, чем в наших прежних опытах служили две соломинки или две папиросных гильзы. Если шарик *C* сообщить электрический заряд путем прикосновения к нему наэлектризованным телом, то алюминиевые листочки наэлектризуются и, оттолкнувшись друг от друга, образуют между собою некоторый угол, который и наблюдают в окошечко.

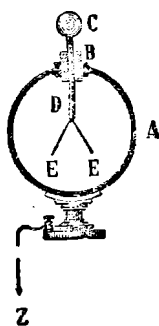


Рис. 3б. Электроскоп с алюминиевыми листочками.

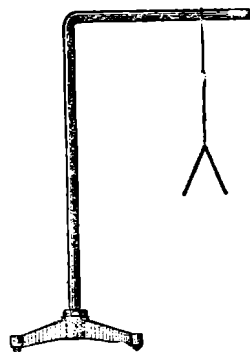


Рис. 3а. На стеклянном крючке при помощи шелковинки подвешены две гильзы.

Этим прибором легко обнаружить электричество, появляющееся на любых двух телах при трении их друг о друга.

6. **Проводники и изоляторы.** — Пользуясь двумя электроскопами, можно очень наглядно показать явление передачи заряда. Зарядим для этого один из электроскопов электричеством, прикоснувшись к нему каким-нибудь наэлектризованным телом, например сургучом, потертым о шерсть. Если теперь привести шарики обоих электроскопов в соприкосновение, то мы увидим, что листочки незаряженного электроскопа немного разойдутся; следовательно он после соприкосновения с первым электроскопом приобрел некоторый заряд; в то же время угол расхождения листочков первого электроскопа уменьшился, т. е. электричества на нем стало меньше, вообще все явление происходит так, как будто электричество при соприкосновении двух электроскопов частью перешло от одного из них к другому.

Для того чтобы наблюдать такой переход электричества от одного электроскопа к другому, нет необходимости приводить их шарики в непосредственное соприкосновение; достаточно соединить эти шарики

между собою посредством какого-либо третьего тела; только не все физические тела оказываются пригодными для этого в одинаковой степени.

Пусть E_1 и E_2 (рис. 4, 5) — два электроскопа, шарики которых соединены между собою каким-нибудь стержнем AB . Если этот стержень металлический, и мы зарядим электроскоп E_1 , то, как бы ни был длинен стержень, листочки обоих электроскопов разойдутся одновременно. Это показывает, что металлы способны *быстро* передавать, или *проводить* электричество; их поэтому называют *хорошими проводниками* электричества (рис. 4).

Если промежуточным телом AB между электроскопами будет служить *деревянная палочка*, то, зарядив электроскоп E_1 , мы должны будем подождать некоторое время, пока листочки E_2 тоже начнут расходиться. Деревянная палочка следовательно — *плохой проводник* электричества. Одновременно с расхождением листочков электроскопа E_2 листочки в E_1

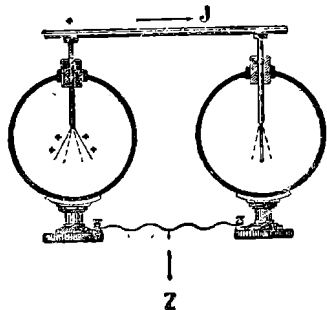


Рис. 4. Два электроскопа соединены проводником.

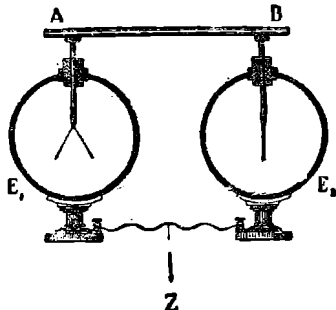


Рис. 5. Два электроскопа соединены изолятором.

будут сходиться, так что очевидно электрический заряд понемногу переходит по *деревянной палочке* из E_1 в E_2 .

Наконец, если стержень AB будет *стеклянный* (рис. 5), *эбонитовый* или *сургульный*, то электроскоп E_2 не зарядится вовсе, а весь заряд останется на электроскопе E_1 . Таким образом сургуч и эбонит, как оказывается, совсем неспособны проводить электричество: электроскоп E_1 остается несоединенным с E_2 , или, как говорят, *изолированным* от E_2 . Такие тела, как стекло, сургуч, эбонит, называют *непроводниками электричества*, или *изоляторами*, или *диэлектриками*.

Основываясь на подобных опытах, мы можем установить три класса тел: *проводники*, *полупроводники* и *изоляторы*. Наиболее часто нам будут встречаться следующие тела.

Проводники: металлы, в том числе и ртуть, растворы солей и кислот, человеческое тело, земля, раскаленные газы (пламя), сильно разреженные газы и т. д.

Полупроводники: спирт, эфир, дерево, бумага, солома, шифер, мрамор и т. д.

Изоляторы: стекло, парафин, смолы, каучук, сера, шелк, большинство кристаллов, фарфор, масла, все пары и газы в обыкновенном состоянии, безвоздушное пространство и т. д.

Само собою разумеется, что такое деление тел на три класса вполне произвольное и имеет значение только общей ориентировки. В природе же эти классы не разграничены, и все тела более или менее проводят электричество.

Кроме того необходимо еще добавить, что степень проводимости тела зависит от многих побочных причин. Так например совершенно чистая вода представляет собою дурной проводник электричества, но уже малейшие примеси делают ее хорошим проводником. Вода, оседающая на аппаратах из влажного воздуха, увлекает с собою и вещества, бывшие в воздухе, а потому уже не представляет собою чистой воды. Большею частью это — раствор различных солей и хорошо проводит электричество.

Пары и газы, как сказано, суть хорошие изоляторы. Так например наши два электроскопа (рис. 5) без соединяющего их стержня соприкасаются с окружающим их воздухом, и тем не менее они в электрическом отношении оказываются хорошо изолированными друг от друга. Однако в разреженном, а также и в раскаленном состоянии газы тоже проводят электричество.

Стекло плохо проводит электричество, но если в комнате воздух влажный, то на поверхность стекла оседает тонкая водяная пленка, служащая проводником, и изолирующие свойства стекла тогда пропадают. При нагревании стекла пленка исчезает, и поверхность стекла вновь делается изолятором. Однако если нагреть стекло слишком сильно, до того, что оно станет мягким, то уже само стекло, а не только его поверхность, делается хорошим проводником.

Английское стекло (флинтглас) менее гигроскопично, чем обыкновенное, и потому его поверхность не так легко покрывается водяной пленкой, и оно лучше изолирует. В большинстве электрических приборов употребляют обыкновенное стекло, покрытое на поверхности шеллаком, который не так гигроскопичен.

Эбонит (твердый каучук) очень хорошо изолирует и благодаря своей прочности часто употребляется в различных аппаратах. Но со временем, в особенности под действием света, эбонит химически разлагается и покрывается проводящей пленкой, которую приходится счищать наждачной бумагой. Наилучшим твердым изолятором нужно считать янтарь.

7. Соединение с землею. — Когда два проводника соприкасаются друг с другом, электричество распределяется как на том, так и на другом проводнике. Земля представляет собою проводник огромной величины, и опыт показывает, что если какой-нибудь заряженный проводник соединить с землею, то почти все электричество уходит в землю, так что на долю нашего проводника приходится такое ничтожное количество электричества, что мы не в состоянии даже обнаружить его нашими приборами. В этом легко убедиться на любом электроскопе. Зарядим электроскоп и затем прикоснемся к его шарiku пальцем. Так как человеческое тело — проводник электричества, и мы стоим на полу, соединенном с землею, то все электричество с электроскопа тотчас же утечет в землю, и листочки его сойдутся. То же самое произойдет, если прикоснуться к электроскопу металлической палочкой, находящейся в руке.

Мы видим из этого, что всякий проводник, который мы желаем зарядить заметным образом электричеством, должен быть прежде всего

изолирован от земли. Наоборот, всякое соединение проводника с землею разряжает его.

Вот почему, заряжая соломинку, мы должны были повесить ее на шелковинке и на стеклянном крючке (рис. 3а), потому что шелк и стекло суть изоляторы.

Наружная оболочка электроскопа обыкновенно соединяется проводником с землею (на рис. 3б— Z), для того чтобы она была свободна от зарядов и не влияла на показания прибора. Наоборот, стержень D (рис. 3б) и листочки E изолированы от оболочки A , а следовательно и от земли Z эбонитовой пробкою B . Таким образом системе CDE можно сообщить заряд, отчего листочки разойдутся. Но если на пробке B осядут из воздуха пары воды настолько, что пробка покроется тонкою водяною пленкою, то CDE окажется соединенным с AZ , и на электроскопе заряд держаться не будет: листочки будут более или менее быстро опускаться.

8. Электризация проводников посредством трения. — В прежнее время полагали, что не все тела могут быть приведены в электрическое состояние путем трения и что между прочим металлы представляют такое исключение. Но это было заблуждение, которое происходило оттого, что все металлы — проводники, и поэтому в опытах с металлами необходимо принимать меры для их изоляции.

Возьмем в руку металлическую палочку и будем натирать ее шелковою материею; на палочке не окажется и следа электричества, тогда как материя окажется наэлектризованною. Но если к металлической палочке приделать стеклянную ручку и повторить опыт, держа палочку за ручку, то опыт окажется удачным.

Ясно, что в первом случае все возникшее на металлической палочке электричество тотчас же передавалось нашей руке и нашему телу, которые хорошо проводят электричество, и затем утекало в землю, тогда как во втором случае стеклянная палочка мешала утеканию заряда.

Открытие этого важного различия между телами было сделано Грэм (Graham, 1729 г.), и им же был впервые наэлектризован проводник.

Различие между изоляторами и проводниками проявляется еще в следующем явлении. Когда мы прикасаемся натертым сургучом к шарiku электроскопа, то листочки сперва расходятся лишь на небольшой угол; это потому, что при этом на электроскоп переходит только то электричество, которое находилось в непосредственной близости от точки соприкосновения сургуча с шариком электроскопа. Если мы затем прикоснемся к шарiku еще другим местом сургуча, то можем получить и более сильное расхождение листочков. Поэтому при заряде электроскопа сургучом или другим каким-либо изолятором полезно передвигать наэлектризованный изолятор так, чтобы различные его точки приходили в соприкосновение с шариком электроскопа. Когда же мы желаем передать электроскопу заряд наэлектризованной металлической палочки, то этот способ бесполезен: при соприкосновении металлической палочки с шариком электроскопа, даже в одной точке, все электричество тотчас же распределяется по обоим проводникам, и соприкосновение в других точках не дает ничего нового.

9. Два рода электричества. — Возьмем стеклянную палочку и эбонитовую пластинку и, потерев их друг о друга, приведем их в электрическое состояние.

Прикоснувшись стеклянной палочкой к электроскопу, мы увидим, что листочки его разошлись; прикоснемся к электроскопу каким-нибудь другим местом той же стеклянной палочки — теперь листочки разошлись еще сильнее. Если же дотронуться до шарика электроскопа пальцем, то листочки его быстро сходятся: все электричество, как говорят, утекло ^сз землю.

То же самое получится, если проделать все эти опыты, пользуясь эбонитовой пластинкой вместо стеклянной палочки.

Отсюда мы заключаем, что электричество на проводнике, в данном случае на электроскопе, способно увеличиваться и уменьшаться; следовательно можно говорить о количестве электричества.

Кроме того заметим, что как в опыте со стеклянной палочкой, так и в опыте с эбонитовой пластинкой электричества, получившиеся при трении на разных местах одного и того же тела, складывались друг с другом.

Но совершенно другое произойдет, если мы, зарядивши электроскоп одним из натираемых тел, например стеклом, прикоснемся к нему другим, например эбонитом; тогда мы увидим, что угол расхождения листочков уменьшится. Продолжая прикасаться к электроскопу различными точками наэлектризованного эбонита, мы можем довести листочки до соприкосновения, т. е. уничтожить весь заряд электроскопа, полученный им от стекла.

Куда же девалось электричество, полученное электроскопом от стекла?

Так как стекло и эбонит — оба хорошие изоляторы, и электричество не могло уйти по ним в землю, то мы должны принять, что заряды, получаемые на стекле и эбоните при их трении друг о друга, взаимно уничтожились на электроскопе.

Два количества, которые способны взаимно уничтожать друг друга, непременно должны быть разных знаков. Следовательно мы должны электричеству стекла и эбонита тоже приписать знаки, и притом разные.

Какой знак мы будем приписывать электричеству стекла или электричеству эбонита — это безразлично; опыт требует только, чтобы знаки их были противоположны.

Условимся электричеству стекла приписывать положительный знак, а электричеству эбонита — отрицательный.

Спрашивается теперь: можем ли мы наши результаты, полученные со стеклом и эбонитом, распространить и на другие тела? — Опыт показывает, что можно. Действительно, если зарядить электроскоп стеклянной палочкой, то всякий новый заряд, переданный электроскопу от другого любого тела, наэлектризованного каким угодно способом, повлечет за собою либо увеличение, либо уменьшение угла расхождения листочков. В первом случае мы скажем, что данное тело заряжено таким же электричеством, как стекло, т. е. положительным, во втором случае, наоборот, назовем его электричество противоположным электричеству стекла, т. е. отрицательным.

Если бы до начала опытов электроскоп был заряжен не стеклом, а эбонитом, то все показания электроскопа переменили бы знак; так например увеличение угла расхождения листочков показывало бы, что испытуемое тело заряжено так же, как эбонит, т. е. отрицательным электричеством, и наоборот.

На основании подобных опытов найдено следующее.

Стекло при трении о металлы и о каучук электризуется положительно.

Металлы при трении о стекло и шерсть электризуются отрицательно, при трении же о каучук — положительно.

Янтарь, сургуч и каучук при трении о стекло, мех и шерсть электризуются отрицательно.

Впрочем необходимо оговориться, что стекло не всегда бывает положительно наэлектризованным, но что знак электричества зависит от того, чем стекло было натерто. Более того, иногда две стеклянные палочки одного и того же сорта, потертые об один и тот же мех, заряжаются — одна положительным, другая отрицательным электричеством. То же самое нужно сказать и о других телах. Общие правила электризации или какие-либо законы до сих пор окончательно не установлены, так как знак получаемого при трении электричества зависит в сильной степени от состояния поверхностей натираемых друг о друга тел.

Единственное общее правило состоит в том, что при трении двух тел друг о друга на каждом из них возникает электрический заряд, причем оба эти заряда *всегда противоположных знаков*.

Для опытов с электричеством важно заметить себе, что *стекло* при трении об амальгмированную кожу всегда электризуется *положительно*; *эбонит* (твердый каучук) при трении о шерсть всегда электризуется *отрицательно*.

10. Взаимодействия наэлектризованных тел. — Мы уже знаем, что наэлектризованное тело способно притягивать к себе легкие тела, хотя эти последние сами не были наэлектризованы. Займемся теперь исследованием, какие силы возникают между телами наэлектризованными. Для этого подвесим на шелковинках две гильзы.

Если зарядить обе гильзы положительным электричеством (рис. 6) или обе гильзы отрицательным электричеством, то заметим, что они всегда отталкиваются друг от друга. Если же зарядить одну гильзу положительным электричеством, а другую отрицательным, то получим притяжение (рис. 7).

Если одну гильзу наэлектризовать $+e$, другую $-e$, то при приближении наэлектризованной стеклянной палочки ($+e$) первая оттолкнется (рис. 8), а вторая притянется; наоборот, при приближении наэлектризованного эбонита ($-e$) первая притянется, а вторая оттолкнется.

Производя подобные опыты с различными наэлектризованными телами, Дюфе (Dufay, 1754 г.) установил следующее общее правило: *тела, наэлектризованные одноименными электричествами, отталкиваются, тогда как наэлектризованные электричествами разного знака притягиваются*.

Первую половину этого правила можно также подтвердить на любом электроскопе. Действительно, чем бы мы ни наэлектризовывали электро-