

А. Пуанкаре

**Теория Максвелла и
герцевские колебания**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 53
ББК 22.3
А11

А11 **А. Пуанкаре**
Теория Максвелла и герцевские колебания / А. Пуанкаре – М.: Книга по Тре-
бованию, 2021. – 102 с.

ISBN 978-5-458-37379-1

ISBN 978-5-458-37379-1

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2021

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2021

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 первозданном 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.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

ГЛАВА I.

Общія понятія объ электрическихъ явленіяхъ.

1. Попытки механическаго объясненія. Попытка объяснить вполне механически электрическія явленія, сводя законы физики къ основнымъ положеніямъ динамики, соблазняла уже многихъ. Но стоитъ ли однако заниматься этимъ вопросомъ и терять даромъ силы и время?

Если бы его можно было рѣшить только однимъ способомъ, то до такого единственнаго рѣшенія, которое бы и представляло истину, слѣдовало бы дойти во что бы то ни стало. Но на самомъ дѣлѣ оказывается совсѣмъ не то. Можно безъ сомнѣнія изобрѣсти механизмъ, болѣе или менѣе вѣрно подражающій электростатическимъ и электродинамическимъ явленіямъ; но придумавъ такой механизмъ, можно придумать безконечное множество другихъ.

Повидимому ни одинъ изъ нихъ не выдѣляется своей простотою и совершенно не ясно, почему одинъ изъ нихъ могъ бы лучше другихъ помочь намъ проникнуть въ тайны природы.

Слѣдовательно, до сихъ поръ придуманные механизмы имѣютъ какой то искусственный характеръ, непріятно поражающій нашъ умъ. Одинъ изъ наиболѣе полныхъ разработанъ

Максвеллемъ въ то еще время, когда идеи его не вылились въ окончательную форму. Система его была странна и мало привлекательна, такъ какъ онъ предполагалъ весьма сложное строеніе эфира; можно было подумать, что читаешь описаніе завода съ цѣлою системою зубчатыхъ колесъ, рычагами, передающими движеніе и сгибающимися отъ усилія, центробѣжными регуляторами и передаточными ремнями.

Хотя Англичане очень любятъ подобныя истолкованія за ихъ кажущуюся конкретность, все таки Максвелль первый оставилъ свою теорію, и въ полное собраніе его сочиненій она не вошла. Но не нужно сожалѣть о томъ, что его мысль слѣдовала такимъ окольнымъ путемъ, она все таки привела его къ величайшимъ открытіямъ.

Слѣдуя по этому пути, едва-ли можно было бы сдѣлать что нибудь лучшее.

Насколько однако бесполезно стараться представить себѣ во всѣхъ подробностяхъ механизмъ электрическихъ явленій, настолько важно показать, что эти явленія повинуются общимъ законамъ механики.

Законы эти не зависятъ отъ того механизма, къ которому прилагаются, они должны неизмѣнно проявляться во всѣхъ, разнящихся по внѣшности, механизмахъ. Если электрическія явленія не подчиняются этимъ законамъ, надо отказаться отъ надежды механическаго объясненія; если же онѣ имъ повинуются, подобное объясненіе навѣрное возможно. Трудность представляетъ только выборъ одного изъ рѣшеній этой задачи. Но какимъ образомъ увѣриться, не прибѣгая къ математическому анализу, въ полномъ согласіи законовъ электростатическихъ и электродинамическихъ съ принципами динамики? Мы можемъ достигъ этого цѣлымъ рядомъ сравненій. Когда намъ надо будетъ разобрать какое нибудь электрическое явленіе, мы возьмемъ одно или два хорошо извѣстныхъ механическихъ явленія и постараемся показать, что между ними существуетъ строгая параллель.

Этотъ параллелизмъ обезпечить намъ возможность механическаго объясненія. Математическій анализъ могъ бы показывать намъ только, что эти сравненія не грубыя сопоставленія, но что онѣ простираются до самыхъ точныхъ подробностей. Предѣлы этого сочиненія не позволяютъ мнѣ распространяться такъ далеко и я долженъ буду ограничиться сравненіемъ такъ сказать качественнымъ.

2 Явленія электростатическія. Чтобы зарядить конденсаторъ, надо всегда потратить извѣстную механическую работу, если для этого надо вертѣть статическую машину, или извѣстную химическую энергію, если его надо зарядить помощью батарей.

Такимъ образомъ израсходованная энергія не потеряна, она собрана въ конденсаторѣ, который можетъ её возвратить при разрядѣ. Она возвратится въ видѣ теплоты, если мы просто соединимъ обѣ арматуры проволокой, которая нагрѣвается токомъ разряда, или въ видѣ механической работы, если токомъ разряда приводится въ дѣйствіе маленькій электрическій двигатель.

Точно такъ-же, для того, чтобы поднять воду въ резервуаръ, надо затратить извѣстную работу, которая тоже будетъ возвращена, если, напримѣръ, вода, находящаяся въ резервуарѣ, приводитъ въ движеніе гидравлическое колесо.

Если два заряженныхъ проводника находятся при одинаковомъ потенціалѣ и сообщаются помощью проволоки, равновѣсіе не нарушается; но если первоначальные потенціалы различны, изъ одного проводника въ другой будетъ проходить токъ до тѣхъ поръ, пока равенство потенціаловъ не установится. Совершенно такъ-же, если вода въ двухъ резервуарахъ стоитъ на разныхъ уровняхъ, она будетъ течь изъ одного въ другой, если мы соединимъ ихъ трубкой, до тѣхъ поръ, пока уровень не будетъ одинаковъ въ обоихъ резервуарахъ. И такъ, потенціалъ конденсатора соотвѣтствуетъ уровню воды въ резервуарѣ, а зарядъ конденсатора массѣ

воды, заключающейся въ резервуарѣ. Параллель очевидна въполнѣ.

Если, напримѣръ, горизонтальное сѣченіе резервуара равно 100 кв. метрамъ, понадобится 1 куб. метръ воды, чтобы уровень поднялся на одинъ сантиметръ. Её понадобится вдвое больше, если сѣченіе будетъ вдвое больше.

Это горизонтальное сѣченіе соотвѣтствуетъ слѣдовательно тому, что называютъ ёмкостью конденсатора.

Какъ же объяснить, стоя на этой точкѣ зрѣнія, притяженія и отталкиванія, которыя происходятъ между двумя наэлектризованными тѣлами?

Эти механическія дѣйствія стремятся къ тому, чтобы уменьшить разность потенциаловъ. Если ихъ преодолѣть, удалить напримѣръ два тѣла, которыя притягиваются, затратится извѣстная работа, соберется извѣстное количество электрической энергіи и разность потенциаловъ будетъ увеличена. Если, наоборотъ, мы предоставимъ проводникамъ свободно притягиваться, то электрическая энергія, такимъ образомъ накопившаяся, частью возвращается въ видѣ механической работы, и потенциалы стремятся къ равенству.

Эти механическія дѣйствія соотвѣтствуютъ давленію воды въ резервуарѣ на его стѣнки. Предположимъ, напримѣръ, что наши резервуары соединены горизонтальной цилиндрической трубкой широкаго сѣченія, и что въ этой трубкѣ движется поршень. Если толкнуть поршень такъ, чтобы вода ушла въ тотъ резервуаръ, гдѣ уровень выше другого, то придется затратить извѣстную работу; если же наоборотъ мы позволимъ поршню подчиниться давленію на него съ обѣихъ сторонъ, онъ будетъ перемѣщаться такъ, чтобы уровни резервуаровъ стремились уравниваться, и энергія, накопившаяся въ резервуарахъ, будетъ частью возстановлена. Это гидравлическое сравненіе самое полное и удобное, но не единственное. Мы можемъ, напримѣръ, сравнить работу, затраченную при заряданіи конденсатора, съ той, которая нужна

для того, чтобы поднять тяжесть или натянуть пружину. Затрата энергии въ этомъ случаѣ возмѣстится, когда тяжесть опустится или пружина растянется; совершенно то-же происходитъ, когда арматуры конденсатора свободно повинуются взаимному притяженію.

Мы будемъ пользоваться въслѣдствіи этими тремя сравненіями.

3. **Сопротивленіе проводниковъ.** — Соединимъ наши резервуары двойной горизонтальной трубкой узкаго сѣченія. Вода будетъ медленно вытекать по этой трубкѣ и конечно её тѣмъ болѣе утечетъ, чѣмъ больше будетъ разность уровней, чѣмъ шире сѣченіе и короче трубка.

Другими словами, сопротивленіе трубки въслѣдствіи внутренняго тренія будетъ возрастать при ея удлинении и уменьшаться, когда ея сѣченіе увеличивается.

Точно такимъ же образомъ соединимъ два проводника металлической длинной и тонкой проволокой. Сила тока, то есть расходъ электричества, будетъ возрастать одновременно съ разностью потенциаловъ и сѣченіемъ проволоки и наоборотъ будетъ тѣмъ меньше, чѣмъ болѣе будетъ удлиняться проволока.

Слѣдовательно электрическое сопротивленіе проволоки можно уподобить гидравлическому сопротивленію нашей трубки: и въ томъ и въ другомъ случаѣ это ничто иное, какъ треніе. Сходство дополняется еще тѣмъ, что это сопротивленіе нагрѣваетъ проволоку, т. е. производитъ теплоту, какъ и треніе.

Въ извѣстномъ опытѣ Фуко это сходство поразительно. Пусть мѣдный дискъ вращается въ магнитномъ полѣ; при этомъ придется преодолевать большое сопротивленіе и дискъ нагрѣется совершенно такъ-же, какъ еслибы онъ испытывалъ треніе о невидимый тормазъ.

4. **Индукція.** Когда двѣ проволоки помѣщены рядомъ и по одной изъ нихъ проходитъ назмѣняющійся токъ, то въ дру-

гой образуются токи, извѣстные подъ именемъ индукціонныхъ. Если первичный токъ возрастаетъ, вторичный токъ имѣетъ обратное ему направленіе, если же первичный токъ уменьшается, вторичный имѣетъ одинаковое съ нимъ направленіе. Это явленіе называется *взаимной индукціей*.

Но это еще не все. Измѣняющійся токъ производитъ электродвижушія силы индукціи въ той самой проволоцѣ, по которой онъ проходитъ. Эти силы будутъ оказывать сопротивление току, если онъ возрастаетъ, и напротивъ будутъ усиливать его, если онъ уменьшается. Это явленіе называется *самоиндукціей*.

Помощью нашего сравненія самоиндукція легко объясняется. Чтобы привести электричество въ движеніе, приходится какъ будто преодолевать сопротивление, подобное противной электродвижущей силѣ, но зато, разъ движеніе началось, оно какъ будто само стремится продолжаться. *Слѣдовательно самоиндукція есть родъ инерціи*.

Точно такъ же надо преодолѣть извѣстное сопротивление, чтобы сдвинуть повозку, но за то потомъ она продолжаетъ двигаться сама.

Въ концѣ концовъ можетъ случится, что току придется преодолѣть:

- 1) Омическое сопротивление проволоки (которое существуетъ всегда и всегда препятствуетъ току).

- 2) Самоиндукцію, если токъ измѣняющійся.

- 3) Противо-электродвижушія силы электростатическаго происхожденія, если по близости проволоки или на ней есть электрическіе заряды.

Впрочемъ, эти два послѣднихъ сопротивленія могутъ сдѣлаться отрицательными и стремиться усиливать токъ.

Сравнимъ эти сопротивленія съ тѣми, которыя преодо- лѣваетъ повозка, катящаяся по дорогѣ.

- 1) Омическое сопротивление, какъ мы видѣли, аналогично тренію.

2) Самоиндукція соотвѣтствуетъ инерціи повозки.

3) Наконецъ, силы электростатическаго происхожденія могли бы соотвѣтствовать тяжести, которая тормозитъ ходъ при подъѣмахъ и помогаетъ при спускахъ.

Установить сравненія для взаимной индукціи не такъ легко. Вообразимъ шаръ S значительной массы. Къ этому шару прикрѣплены два стержня, на діаметрально противоположныхъ концахъ которыхъ укрѣплены два малыхъ шара S_1 и S_2 .

S будетъ представлять эфиръ, S_1 первичный токъ, а S_2 вторичный.

Маленькій шаръ легко привести въ движеніе, большой же S гораздо труднѣе и въ первые моменты онъ будетъ неподвиженъ. Вся система будетъ вертѣться вокругъ S и при этомъ шаръ S_2 будетъ имѣть движеніе обратное шару S_1 . Это есть изображеніе взаимной индукціи. Шары S_1 и S_2 соотвѣтствуютъ двумъ проводникамъ, шаръ S , который предполагаемъ невидимымъ, представляетъ эфиръ, ихъ окружающій. Когда движеніе S_1 ускоряется, S_2 начинаетъ двигаться въ обратномъ направленіи. Совершенно такъ-же, когда первичный токъ увеличивается, то образуется вторичный токъ обратнаго ему направленія.

Будемъ продолжать сравненіе. Предположимъ, что S_1 и S_2 при движеніи преодолѣваютъ извѣстное сопротивленіе, вслѣдствіе тренія (это и есть омическое сопротивленіе проводниковъ), тогда какъ S долженъ преодолѣвать только свою инерцію. Предположимъ, что двигательная сила продолжаетъ дѣйствовать на S_1 ; вслѣдствіе этого режимъ наконецъ установится и шаръ S_1 будетъ имѣть однообразное движеніе увлекая S , который, придя въ движеніе, не будетъ оказывать сопротивленія. Наоборотъ S_2 , вслѣдствіе тренія остановится и вся система будетъ вертѣться вокругъ S_2 . Первичный токъ сдѣлался теперь постояннымъ, а вторичный исчезъ.

Наконецъ двигательная сила не дѣйствуетъ болѣе на S_1 и вслѣдствіе тренія его движеніе должно замедлиться. Но

S въ силу громадной инерціи, продолжаетъ двигаться, увлекая S_2 , который начинаетъ двигаться въ томъ же направленіи, что и S_1 .

Первичный токъ уменьшается, а индукціонный принимаетъ одинаковое съ нимъ направленіе.

Въ нашемъ сравненіи S представляетъ эфиръ, окружающій обѣ проволоки; инерція его и производитъ явленія взаимной индукціи.

Тоже самое происходитъ при самоиндукціи. Для того, чтобы произвести токъ въ проволокѣ, приходится преодолѣвать инерцію эфира, но не того, который заключается въ проволокѣ, а того, который ее окружаетъ.

5. Электродинамическія притяженія. Выше я старался, помощью примѣра, сдѣлать понятнымъ объясненіе электростатическихъ притяженій и явленій индукціи. Посмотримъ теперь, какъ понимаетъ Максвеллъ причины, порождающія взаимное притяженіе токовъ.

Электростатическія притяженія, по его мнѣнію, являются вслѣдствіе натяженія множества маленькихъ пружинокъ или, другими словами, упругости эфира, тогда какъ явленія индукціи и электродинамическія дѣйствія порождаются его живою силою и инерціей.

Полное вычисленіе слишкомъ длинно и здѣсь помѣстить его нельзя, поэтому я опять прибѣгну къ сравненію. Я обращусь къ хорошо извѣстному прибору, къ центробѣжному регулятору.

Живая сила этого прибора пропорціональна квадрату угловои скорости вращенія и квадрату отклоненія шаровъ.

По гипотезѣ Максвелля, эфиръ приходитъ въ движеніе, какъ только появляются вольтанческіе токи и живая сила его пропорціональна квадрату силы токовъ, которая такимъ образомъ соотвѣтствуетъ въ той параллели, которую я хочу установить, угловои скорости вращенія.

Въ двухъ токаxъ одного направленія эта живая сила,

при постоянствѣ токовъ, будетъ тѣмъ больше, чѣмъ токи болѣе сближены. Если же токи разныхъ направленій, она будетъ тѣмъ больше, чѣмъ они дальше другъ отъ друга.

Установивъ это, будемъ продолжать сравненіе. Чтобы увеличилась угловая скорость регулятора и слѣдовательно его живая сила, надо затратить на него работу и преодолѣвать извѣстное сопротивленіе, которое называется его *инерціей*.

Точно такъ же, чтобы увеличить силу токовъ, надо увеличить живую силу эфира; для этого надо затратить работу и преодолѣвать сопротивленіе, которое есть ни что иное, какъ инерція эфира, и которое называютъ *индукціей*.

Живая сила больше, когда токи одного направленія и сближены, поэтому и противная электродвижущая сила тоже должна быть больше также какъ и потребное количество работы. Обыкновенно, когда хотятъ это выразить, говорятъ, что взаимная индукція двухъ токовъ складывается съ ихъ самоиндукціей.

Если токи разныхъ направленій, то происходитъ обратное.

Если раздвинуть шарики регулятора, то для того чтобы поддержать угловую скорость, надо затратить извѣстную работу, потому что при равной угловой скорости, живая сила тѣмъ больше, чѣмъ болѣе раздвинуты шарики. Точно такъ же, если сблизить два тока одного направленія, надо, чтобы поддержать силу, затратить нѣкоторую работу, потому что живая сила увеличится. Придется, слѣдовательно, считаться съ электродвижущею силою индукціи, которая иначе стремилась бы уменьшить силу токовъ. Она стремилась бы, наоборотъ, увеличить ее, еслибы они были одного направленія и ихъ удаляли бы, или разнаго направленія и ихъ сближали бы.

Взаимныя механическія дѣйствія токовъ объясняются совершенно также.

Центробѣжная сила стремится раздвинуть шарики и

вслѣдствіе этого увеличивалась бы живая сила, если бы поддерживалась постоянная угловая скорость.

Такимъ же образомъ токи, когда они одного направленія, *притягиваются*, т. е. стремятся сблизиться и *вслѣдствіе этого живая сила увеличилась бы, еслибы поддерживалась постоянная сила тока*. Если они разныхъ направленій, они отталкиваются и стремятся удалиться, и это увеличиваетъ еще живую силу при постоянной силѣ тока.

И такъ, предполагается, что явленія электростатикн зависятъ отъ упругости эфира, а явленія электродинамики отъ его живой силы.

Что-же касается до самой упругости эфира, лордъ Кельвинъ думаетъ, что её можно объяснить вращеніемъ очень маленькихъ частицъ этого вещества.

По многимъ причинамъ эта гипотеза очень соблазнительна, но она не играетъ существенной роли въ теоріи Максвелля отъ нея независимой.

Я всё время дѣлалъ сравненія и притомъ довольно грубыя съ различными механизмами, въ книгѣ же Максвелля не надо искать полнаго механическаго объясненія электрическихъ явленій, а только изложенія условій, которымъ должно удовлетворять всякое объясненіе.

Твореніе Максвелля оттого и будетъ долговѣчно, что оно не зависитъ отъ какого либо частнаго объясненія
