

История на привличането¹

А. Левин

Човечеството събира сведения за магнитните явления не по-малко от три и половина хилядолетия (първите наблюдения на електрични сили се правят хиляда години по-късно). Преди четиристотин години, в зората на зараждане на физиката, магнитните свойства на веществото са отделени от електричните, след което едните и другите дълго време се изучават самостоятелно. Така се създава експерименталната и теоретичната база, която в средата на 19. век става основана единната теория на електромагнитните явления.

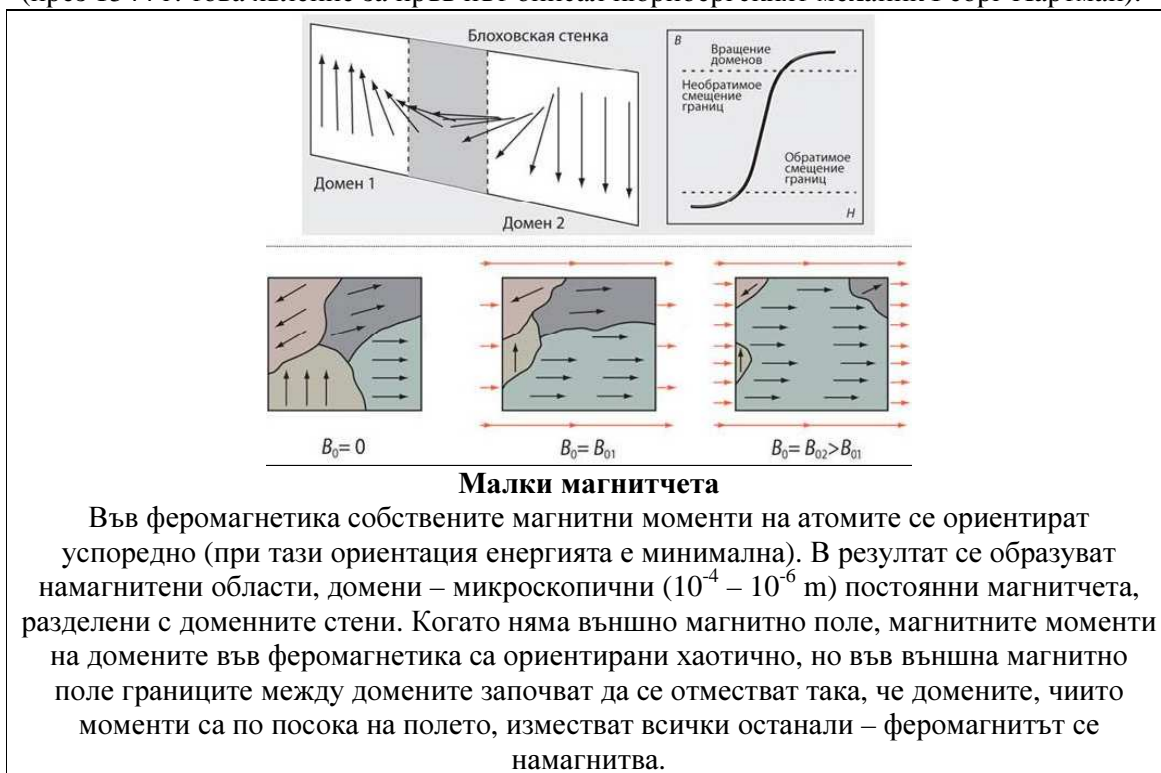
Най-вероятно необикновените свойства на природния минерал магнетит (Fe_3O_4) са били известни в Месопотамия още в бронзовата епоха. А след появата на желязната металургия не е било възможно да не се забележи, че магнетитът привлича желязните изделия. За причините на това привличане е разсъждавал още бащата на гръцката философия Талес Милетски (примерно 640–546 пр.Хр.), който го обяснявал с особената одушевеност на този минерал. (Талес знаел също така, че натрит с вълнен плат янтар привлича сухи листа и други малки тела, поради което приписвал и на него духовна сила.) По-късно гръцките мислители разсъждавали за някакви невидими пари, които обвиват желязото и магнетита и ги привличат един към друг. Не е удивително, че самата дума “магнит” също има гръцки корен. Най-вероятно тя произлиза от името Магнезия-у-Сипила, град в Мала Азия, близо до който има находище от магнетит. Гръцкият поет Никандър споменава за пастира Магнис, чиито желязен наконечник на гегата бил привлечен от една скала, когато минавал близо до нея. Това най-вероятно е красива легенда.

От природните магнити са се интересували и в древния Китай. Способността на магнетите да привлича желязо се упоменава в трактата “Пролетни и есенни записки на майстор Лю”, който се датира към 240 г. пр.Хр. След сто години китайците забелязали, че магнетитът не действа нито на медта, нито на керамиката. През 7.–8. век забелязали, че свободно окачена намагнитена желязна игла се завърта към Полярната звезда. В резултат през втората половина на 11. век в Китай се появили истински морски компаси, а европейските мореплаватели ги усвоили сто години по-късно. Горещо-долу по това време китайците забелязали, че намагнитената игла сочи източно от посоката север и по този начин открили магнитното отклонение. По този начин те значително изпреварили европейските мореплаватели, които стигат до този извод едва през 15. век.

Първото в Европа описание на свойствата на природните магнити направил французинът Пиер де Марикур. През 1269 г. той служил в армията на краля на Сицилия Карл Анжуйски, който обсаждал италианския град Лусера. Оттам той изпратил на свой приятел в Пикардия документ, който влиза в историята на науката като “Писмо за магнита” (*Epistola de Magnete*) и в който разказва за своите опити с магнетит. Марикур забелязал, че във всяко парче магнетит има две области, които привличат желязото особено силно. Той забелязал прилика между тези области и полюсите на небесната сфера и заимствал техните имена за областите с максимална магнитна сила – затова и сега говорим за северен и южен магнитен полюс. Ако се разчупи къс магнетит на две, пише Марикур, във всяко от парчетата се появяват собствени полюси. Марикур не само потвърдил, че между частите на магнетита възниква както привличане, така и отблъскване (това вече било известно), но за пръв пат свързва този ефект с взаимодействието между разноименни (северен и южен) или едноименни полюси (северен със северен или южен с южен).

¹ Превод от сайта Елементи Большой Науки.

Мнозина историци на науката смятат Марикур за безспорен пионер на европейската експериментална наука. Във всеки случай, неговите бележки за магнетизма се включвали в десетки списъци, а след появата на книгопечатането се издавали в отделна брошура. Много природоизпитатели ги цитират с уважение чак до 17. век. Този труд е добре известен и на английския природоизпитател и лекар (лейб-медик на кралица Елисавета и нейния приемник Яков I) Уилям Джилберт, който през 1600 г. публикува (както се полага – на латински) забележителния труд “За магнита, магнитните тела и големия магнит – Земята”. В тази книга Джилберт не само привежда всички известни сведения за свойствата на природните магнити и намагнитеното желязо, но и описва собствени опити с кълбо от магнетит, с чиято помощ възпроизвежда основните свойства на земния магнетизъм. Например, той забелязал, че на двата магнитни полюса на такава “мъничка Земя” (на латински – *terrella*) стрелката на компаса застава перпендикулярно на нейната повърхност, на екватора – успоредно, а на средни широчини – в промеждутъчно положение. По този начин Джилберт моделирал магнитната инклинация, за която в Европа знаели повече от половин век (през 1544 г. това явление за пръв път описал нюрнбергският механик Георг Хартман).



Със своя модел Джилберт възпроизвел и геомагнитната деклинация, която отдал на това, че повърхността на кълбото не е идеална сфера (и затова в планетен мащаб обяснявал този ефект с привличането на континентите). Той открил, че силно нагрятото желязо губи магнитните си свойства, но при охлаждане те се възстановяват. И накрая, Джилберт прав ясно разграничил привличането на магнита от привличането на натрит янтар, което той нарекъл електрична сила (от латинското име на янтара *electrum*). Изобщо, този труд бил извънредно новаторски, оценен по достойнство и от съвременниците, и от потомците. Твърдението на Джилберт, че трябва да разглеждаме Земята като един “голям магнит”, става втори по ред фундаментален научен извод за физичните свойства на нашата планета (първият е откриването на нейната кълбовидна форма, направен още в античността).

След Джилберт чак до началото на 19. век науката за магнитите напредва твърде малко. Направеното за това време може буквално да се изброи на пръстите на ръката. През 1640 г. ученикът на Галилей Бенедето Кастели обяснява привличането на магнетита с наличието в състава му на множество най-дребни магнитни частици – това е първата и твърде несъвършена догадка, че разкриването на природата на магнетизма следва да се търси на атомно равнище. Холандецът Себалд Бругманс през 1778 г. забелязал, че бисмутът и антимонът се отблъскват от полюсите на магнитната стрелка – това бил първи пример за физическото явление, което 67 години по-късно Фарадей нарекъл диамагнетизъм. През 1785 г. Шарл-Огюст Кулон чрез точни измервания с торзионна везна показал, че силата на взаимодействие между магнитните полюси е обратно пропорционална на квадрата на разстоянието между тях – точно така, както силата на взаимодействие между електричните заряди (през 1750 г. до аналогичен извод стигнал англичанинът Джон Мичъл, но заключението на Кулон било много по-надеждно).

			
ПАРАМАГНИТИ Магнитните моменти на атомите са разположени хаотично	ФЕРОМАГНИТИ Магнитните моменти на атомите са еднопосочни	АНТИФЕРОМАГНИТИ Магнитните моменти на атомите са разположени антипаралелно	ФЕРИМАГНИТИ Некомпенсирани магнитни моменти на атомите са разположени антипаралелно

Магнитни и не толкова

Различните вещества във външно магнитно поле се дължат различно. Това се дължи на различното поведение на собствените магнитни моменти на атомите. Най-известни са феромагнитите, съществуват парамагнити, антиферомагнити и феримагнити, а също диамагнити, чиито атоми не притежават собствен магнитен момент (във външно магнитно поле последните се намагнитват в посока, противоположна на посоката на полето).

В това време обаче изучаването на електричеството се развивало с огромни крачки. Не е трудно да се обясни този факт. Единствените първични източници на магнитна сила се оставали природните магнити – науката не познавала други. Тяхната сила е стабилна, но не може нито да се промени (освен да се унищожи чрез нагриване), нито да се генерира по собствено желание. Ясно е, че това обстоятелство силно ограничава възможностите на експериментаторите.

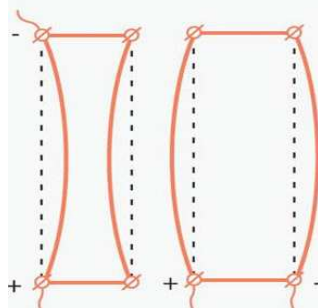
Електричеството било в много по-изгодно положение – нали било възможно и да се получава, и да се натрупва. Първият генератор на статични заряди построил през 1663 г. кметът на Магдебург Ото фон Гьорике (знаменитите магдебургски полусфери са също негови създания). Век по-късно такива генератори станали толкова разпространени, че ги демонстрирали даже на приемите във висшето общество. През 1744 г. немецът Евалд Георг фон Клайст и малко по-късно холандецът Питър ван Мушенбрук изобрели лайденската стъкленица – първия електричен кондензатор; тогава се появили и първите електрометри. В резултат към края на 18. век науката знаела за електричеството много повече, отколкото в началото. А за магнетизма това не може да се каже.

След това всичко се променя. През 1800 г. Алесандро Волта изобретил първия химичен източник на електричен ток – галваничната батерия, известна още като волтов стълб. След това откриването на връзката между електричеството и магнетизма става въпрос на време. То е могло да стане още на следващата година, когато френският химик Никола Готеро забелязал, че два успоредни проводника, по които тече ток, се привличат. Обаче нито той, нито великият Лаплас, нито забележителният физик – експериментатор Жан-Батист Био, които по-късно наблюдавали това явление, не му придали някакво значение. Затова приоритетът справедливо принадлежи на учения, отдавна предположил съществуването на подобна връзка и посветил много години на търсенето ѝ.

Всички са чели приказките и историите на Ханс Християн Андерсен, но малцина знаят, че когато бъдещият автор на “Кралят е гол” и “Палечка” като четиринадесет годишно момче се добрал до Копенхаген, той намерил приятел и покровител в лицето на двойния си адаш, редовен професор по физика и химия в Копенхагенския университет Ханс Християн Оерстед. И двамата прославили страната си по целия свят.

Започвайки от 1813 г. Оерстед напълно съзнателно започва да търси връзка между електричеството и магнетизма (той бил привърженик на великия философ Емануил Кант, според който всички природни сили са във вътрешно единство). В качеството на индикатори Оерстед използвал компаси, но дълго време безрезултатно. Той очаквал, че магнитната сила на тока е успоредна на него, и за получаване на максимален въртящ момент разполагал проводника с ток перпендикулярно на стрелката на компаса. Естествено, в този случай стрелката не реагирала на включването на тока. И едва през пролетта на 1820 г. по време на лекция Оерстед опънал проводника успоредно на магнитната стрелка (или, за да види какво ще се случи в този случай, или, за да провери нова хипотеза – за това историците и до днес спорят). И ето, в този случай стрелката трепнала – не твърде силно (батерията на Оерстед била маломощна), но все пак забележимо.

Взаимодействие на проводници с ток

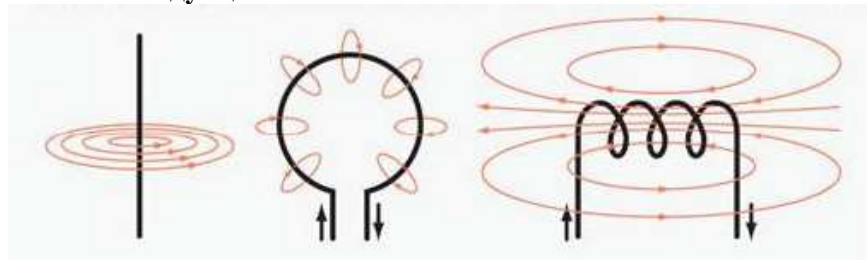


Вярно е, че великото откритие тогава още не е станало. Поради някаква причина Оерстед прекъснал опитите си за три месеца и се върнал към тях едва през юли. И тогава той разбрал, че “магнитното взаимодействие на електричния ток е насочено по окръжности, обхващащи този ток”. Този извод бил парадоксален, нали до тогава въртящи сили не са се появявали нито в механиката, нито в някой друг клон на физиката. Оерстед изложил идеите си в статия и на 21 юли я изпратил в няколко научни списания. След това той повече не се занимавал с електромагнетизъм и щафетата минала в ръцете на други учени.

Първи я приели парижаните. На 4 септември известният физик и математик Доминик Араго разказал за откритието на Оерстед на заседание на Академията на науките. Неговият колега Андре-Мари Ампер решил да се заеме с магнитното действие на токовете и буквално на следващия ден пристъпил към експериментиране. Най-напред повторил и потвърдил опитите на Оерстед, а в началото на октомври открил, че

успоредните проводници се привличат, ако токовете в тях текат в една и съща посока, и се отблъскват – ако текат в противоположни посоки. Ампер изучил и взаимодействието между неуспоредни проводници и представил формула за силата в този случай (закон на Ампер). Той показал също, че навити на спирала проводници с ток се завъртат в магнитно поле подобно на стрелката на компас (и между другото изобретил соленоида – магнитната намотка). Накрая той предложил смела хипотеза: вътре в намагнитените материали текат незатихващи микроскопични успоредни кръгови токове, които са и причината за магнитното действие. По същото време Био и Феликс Савар със съвместни усилия стигнали да математичната зависимост, позволяваща да се определи интензитетът на магнитното поле, създавано от постоянен ток (закон на Био – Савар).

Индукционни линии на магнитно поле на ток



Прав проводник Кръгов проводник Намотка

Многообразие на магнитните полета

Ампер изучил взаимодействието между успоредни проводници с ток. Неговите идеи развил Фарадей, който предложил концепцията за магнитните силови линии.

За да подчертае новостта на изучените ефекти, Ампер предложил термина “електродинамични явления” и постоянно го използвал в публикациите си. Това обаче все още не било електродинамика в съвременния смисъл. Оерстед, Ампер и техните колеги работели с постоянни токове, създаващи статични магнитни сили. На физиците все още предстояло да открият и обяснят наистина динамичните нестационарни електромагнитни процеси. Тази задача е решена в периода 1830–1870 г. В решаването ѝ са замесени около дузина изследователи от Европа (в това число и Русия – да си спомним за правилото на Ленц) и САЩ. Главната заслуга обаче, безспорно принадлежи на два титана на британската наука – на Фарадей и на Максвел.

За Майкъл Фарадей 1821 г. става наистина съдбоносна. Той получава заветната длъжност суперинтендант на лондонския Кралски институт и фактически случайно започва изследователската програма, благодарение на която заема уникално място в историята на световната наука.

Всичко станало по следния начин. Редакторът на списание “Философски годишник” Ричард Филипс предложил на Фарадей да напише критичен анализ на новите работи, посветени на магнитното действие на тока. Фарадей не само последвал този съвет и публикувал “Исторически ескиз на електромагнетизма”, но пристъпил и към собствени изследвания, които продължили дълги години. Отначало, както и Ампер, той повторил опита на Оерстед, след което продължил по-нататък. В края на 1821 г. той изготвил устройство, в което проводникът с ток се въртял около плосък магнит, а друг магнит се въртял около втори проводник. Фарадей предположил, че и магнитът, и проводникът с ток са заобиколени от концентрични силови линии, *lines of force*, които определят механичното действие. Това вече е зародиш на концепцията за магнитно поле, макар че самият Фарадей не е използвал този термин.

Поначало той разглеждал силовите линии като удобен начин за описване на наблюденията, но с течение на времето се убедил във физическата им реалност (още

повече, че открил начин да ги наблюдава с помощта на разсипани между магнитите железни стъргодини). Към края на 1830 г. той осъзнал ясно, че енергията, чиито източници са постоянните магнити и проводниците с ток е разпределена в пространството, запълнено със силови линии. Фарадей фактически мислел в теоретико-полеви термини, с което значително изпреварил съвременниците си.

Главното му откритие обаче е съвсем друго. През август 1831 г. Фарадей успял да накара магнетизма да генерира електричен ток. Неговият уред се състоял от железен пръстен с две противоположни намотки. Едната от намотките можело да се свърже към полюсите на електрична батерия, а другата се съединявала с проводник, опънат над магнитен компас. Стрелката на компаса не променяла положението си, когато по първата намотка текъл постоянен ток, но се залюлявала по време на неговото включване и изключване. Фарадей разбрал, че в тези моменти във втората намотка възникват електрични импулси, предизвикани от възникването или изчезването на магнитните силови линии. С други думи, той открил, че причина за появата на електродвижещата сила във втората намотка е промяната на магнитното поле. Същият ефект открил и американецът Джозеф Хенри, но той публикувал своите резултати по-късно от Фарадей и не направил толкова сериозни теоретични изводи.

Към края на живота си Фарадей стигнал до заключение, че новите знания за електромагнетизма имат нужда от математическо оформление. Той решил, че тази задача е по силите на Джеймс Клерк Максвел, млад професор в колежа Маришал в шотландския град Абърдийн, което му и написал в писмо от ноември 1857 г. И Максвел наистина обединил всички тогавашни знания за електромагнетизма в единна математизирана теория. Като цяло тази работа била изпълнена през първата половина на 60-те години, когато той станал професор по натурфилософия в лондонския Кингс-колидж. Понятието електромагнитно поле се появява за пръв път през 1864 г. в мемоар, представен пред Лондонското кралско общество. Максвел въвел този термин за означаване на “онази част от пространството, която съдържа и окръжава телата, пребиваващи в електрично или магнитно състояние”. При това той специално подчертал, че това пространство може да бъде както празно, така и запълнено с вещество от всякакъв вид.

Главен резултат от трудовете на Максвел става системата от уравнения, свързваща всички електромагнитни явления. В публикувания през 1873 г. “Трактат за електричеството и магнетизма” той ги нарекъл общи уравнения на електромагнитното поле, а днес те се наричат уравнения на Максвел. По-късно тях не веднъж са обобщавали (например за описание на електромагнитните явления в различни среди), а също пренаписвали с използване на все по-съвършен математичен формализъм². Максвел показал също, че тези уравнения допускат решения, включващи незатихващи напречни вълни, частен случай на които представлява светлината.

Теорията на Максвел представя магнетизма като особен род взаимодействие между електрични токове. Квантовата физика на 20. век добавя към тази картина само два нови момента. Днес ние знаем, че електромагнитното взаимодействие се пренася от фотони и че електроните и много други елементарни частици притежават собствени

² Максвел е записал уравненията на електромагнитното поле във възможно най-общия им вид – когато полето се характеризира с четири векторни величини (два интензитета и две индукции), вид който е валиден при взаимодействие в произволни среди. В тази форма обаче системата е непълна – тя не определя еднозначно характеристиките на полето. За да се решават конкретни проблеми са необходими допълнителни връзки между неизвестните – т.нар. материални уравнения, които са различни в зависимост от средите, в които се осъществява взаимодействието. Ето защо системата уравнения наистина е записвана в различна форма в зависимост от разглежданите частни случаи (напр. за вакуум, за линейни среди и т.н.), но това не може да се разглежда като тяхно “обобщение”. (Бел. прев.)

магнитни моменти. Върху тази основа са построени всички експериментални и теоретични работи в областта на магнетизма.