

Фундаментални явления в електродинамиката¹

Под печат е учебник по физика за 11. клас, който ще се използва в групите за задължително избираема подготовка и в природо-математическите гимназии. Първата от двете части на учебника е посветена на въпроси от електродинамиката, които се разглеждат на едно по-високо (в сравнение с 9. клас) равнище. В структурирането и в изложението на учебното съдържание е отделено повече внимание на ясното очертаване на електродинамиката като физична теория. Във връзка с това измежду множеството изучавани електромагнитни явления особена роля е отделена на една група, наречени *фундаментални явления*. Въпросът за фундаменталните явления в електродинамиката бе поставен в една предишна работа (8). Целта тук е да се даде малко по-разгърнато изложение на въпроси от рода на това, кои явления *по принцип* може да се разглеждат като фундаментални, от какви съображения се излиза при техния избор, до какъв резултат водят тези съображения конкретно в електродинамиката и др.п., за да се открие по-ясно ролята на фундаменталните явления в общата схема на излагане на електродинамиката като физична теория.

Принципът на простотата в схемата на физичните теории

Електродинамиката като наука изучава разнообразни явления. Както при всяка наука, в развитието ѝ могат да се проследят две тенденции: тенденция към разширяване съвкупността от обхванатите явления и със задълбочаване на знанията – редукционистката тенденция за обясняване на едни явления посредством други. Именно този последен факт дава възможност съвкупността от електромагнитните явления да се структурира, да се разглежда като система с йерархична структура от пирамидален тип.

Въпросът за изграждане на йерархия в една съвкупност от явления може да се разбере от гледна точка на методологичния **принцип за простота**, който е *“един от важните принципи на съвременното теоретично знание”* (11, с. 301) и който служи за организация на знанията (1, с. 301). Този принцип кристализира постепенно в дългата история на науката. Без да проследяваме генезиса му, ще припомним само свързани с него твърдения на класиците на съвременната физика. Като отбелязва, че във всяка теория съществуват няколко основни твърдения, Айнщайн (12, с. 183) вижда целта на теорията *“... в това, броят на тези основни, несводими елементи да бъде колкото може по-малък и те да бъдат колкото може по-прости, обаче така, че това да не изключва точното отразяване на онова, което се съдържа в опита”*.

В по-нататъшните разглеждания се излиза от формулировката на Планк (6, с. 23), че *“... откак съществува изучаването на природата, пред себе си то има като идеал висшата задача да обясни пълното многообразие от физични явления в единна система, а ако е възможно – и в една-единствена формула.”*

И така, принципът за простота ще бъде удовлетворен, ако успеем да включим пълното многообразие от електромагнитни явления в една система, в основата на която стоят минимален брой явления, чрез които могат да се обяснят останалите и нито едно от тях, не може да се обясни чрез другите.

Кои явления наричаме фундаментални

Приведената по-горе постановка изисква изясняване на въпроса, какво означава едно явление да бъде обяснено чрез друго (или други) явление. Без да отиваме много по-далеч от интуитивното разбиране за отговора на този въпрос, ще отбележим, че като мисловна операция обяснението обикновено се схваща като разкриване на същността

¹ Физика, 5, 1992, с. 23–27.

на обяснявания обект (5, с. 14), като “разкриване причинната зависимост на изследвания обект, постигане закономерностите на функционирането и развитието му” (11, с. 319). Когато става дума конкретно за обясняване на явление, обикновено се имат предвид обяснения от вида на тези, които се наричат “*подвеждане под закон*” (7, с. 281).

Фактът, че едни явления се обясняват чрез други, позволява съвкупността от разглежданите явления да се разглежда като **система**, т.е. като съвкупност, между елементите на която има определени връзки – обясненията, като структурата на системата се определя от обясненията, които свързват някои елементи на системата. При това положение процедурата на обясняване на едно явление наистина се свежда до “...процеса на включване *разнообразието на явленията в системата на теорията*” (7, с. 300).

По такъв начин въпросът за разглеждане на една съвкупност от **явления** като система се свежда до разглеждане на една съвкупност от **обяснения** като система – въпрос, който по принцип е изяснен (вж. напр. (5), с. 242). Явленията, които участват в обяснението на дадено явление, може да се разглеждат като такива от по-дълбоко гносеологическо и логическо равнище и затова, в известен смисъл – като по-прости. Именно този факт дава възможност да се говори за **йерархична структура** на въпросната система от явления. В тази йерархия едно явление е по-първично, по-просто от друго, ако пряко или опосредствано (посредством други явления) участва в неговото обяснение. Ясно е при това, че по принцип по-простото измежду две явления участва в обясненията на по-голям брой явления, отколкото по-сложното.²

Изграждането на йерархия в системата от явления дава като резултат една пирамида, на върха на която остават явленията, за които няма обяснение в рамките на разглежданата теория.

Фундаментални наричаме явленията, които в рамките на дадена теория нямат обяснение.

От една страна трябва да се има предвид, че използваният тук термин *фундаментално явление*, макар и широко разпространен, не е общоприет. Като негови синоними от различни автори се използват термините *основно явление*, *несводимо явление*, *първично явление* и т.н. От друга страна трябва да се отчита, че има автори, които използват термина *фундаментално явление*, но не в смисъла, който влагаме тук. В потвърждение на последното може да се посочи случай, в който се допуска степенуване на качеството *фундаменталност*, като се говори за “*най-фундаментални явления*” (4, с. 127). Предпочитанието, което даваме на термина *фундаментално явление*, се дължи както на все по-широкото му разпространение, така и на факта, че според нас той е най-адекватен на съдържанието на понятието.

Условия, предявявани към системата от фундаментални явления

Открояването на фундаменталните явления измежду останалите представлява всъщност реализация на една стратегия, водеща начало още от Нютон, според която “*от множеството на явленията в дадена област се избира едно основно, характерно и несводимо към другите явления, от което обаче е възможно да се изведат дедуктивно всички останали*” (9, с.47). (Авторите говорят за основно явление в единствено число, защото имат предвид гравитационните явления.)

² Очевидно е, че в случая “простота” не означава лесно разбираем, а се използва като синоним на “първичен”. Токът на проводимост е явление, просто за описание, но не е първично, защото се обяснява с помощта на електричните сили, които действат на токовете носители. Обратно, токът на отместване е сложно за описание явление, но, както ще се окаже по-нататък, в нашата схема то е първично и в този смисъл – по-просто от явлението ток на проводимост.

Подобно на аксиомите в една дедуктивна математическа система, и фундаменталните явления в една физична теория трябва да удовлетворяват изискванията за **независимост, непротиворечивост и пълнота** (10, с. 213-214).

Условието за *независимост* изисква нито едно от фундаменталните явления да не може да се обясни чрез останалите.

Условието за *непротиворечивост* изисква нито едно от фундаменталните явления или някое от неговите следствия да не противоречи на останалите или на техните следствия.

Условието за *пълнота* изисква всяко друго явление от разглежданата област да може да бъде обяснено чрез фундаменталните явления и/или чрез техните следствия.

Само в случай, че са изпълнени тези три условия, може да съществува увереност, че броят на фундаменталните явления е минимален, което пък от своя страна е гаранция за вътрешното съвършенство на теорията. Подобно разкриване на съвършенството на теориите не е самоцел, тъй като то допринася както за формиране на увереност в тяхната истинност, така и за формиране “... *отношение към природата като към стройна, хармонична, взаимосвързана вселена*” (3, с.16).

Проблемът за единственост на избора

Изискванията за независимост, непротиворечивост и пълнота не осигуряват еднозначен избор на фундаменталните явления. Този избор зависи от редица фактори, измежду които личните предпочитания на авторите невинаги могат да се поставят на последно място. Тази нееднозначност се има предвид например в твърдението, че “... *едни и същи факти често може да се обяснят различно в различни теоретични системи*” (2, с. 319). В нашия случай, в който става дума за представяне на една физична теория в учебното съдържание в средното училище, очевидно трябва да се отчитат както общата структура на курса по физика, така и изискванията, произтичащи от дидактическия принцип за достъпност. От такива съображения например следва да се елиминират всички теоретични системи, в които се използват съображения, свързани със специалната теория на относителността. Дори и това изискване обаче оставя немалка свобода в избора на системата от фундаментални явления.

Поради тази причина е желателно въпросът да се постави по-общо и да се намери критерий, който да осигури единственост на избора. В качеството на такъв критерий използваме твърдението:

Към фундаменталните причисляваме онези явления, които са свързани с източниците на електричното и на магнитното поле.

Както ще стане ясно по-нататък, предложеният критерий притежава и това положително качество, че спазването му не води до значителни отклонения от *принципа за историчност*, който винаги е имал място при изграждане на курса по физика в училище. Същевременно той осигурява автоматично удовлетворяване на изискванията за непротиворечивост, независимост и пълнота.

Четири фундаментални електромагнитни явления

В средното училище електродинамиката се изучава по пътя на последователните обобщения, т.е. – върви се от по-простите към по-сложните случаи. Най-напред се изучават взаимодействия на неподвижни заряди – електростатика; след това – стационарно движещи се заряди (постоянни токове) и създаденото от тях стационарно магнитно поле; и, едва накрая, взаимодействията на произволно движещи се заряди – (променливо) електромагнитно поле. Известно е, че в първите два случая са възможни два подхода за описание на взаимодействията: от една страна, подходът, основан на *принципа на далечното действие*, при който взаимодействието се описва в термините

на сили, зависещи от моментното разпределение на зарядите и токовете, и от друга страна, подходът, основан на *принципа на близкото действие*, при който силите са резултат от действието на полетата върху зарядите (съответно – токовете). О тези две възможности следва, че в електростатиката и в теорията на стационарното магнитно поле съществуват два начина за формулиране на съответните фундаментални явления – в термините на сили и заряди (токове), от една страна, и от друга – в термините на полета и източниците им.

1. От предложения по-горе критерий следва, че като фундаментално явление в електростатиката трябва да се разглежда наличието на електрични сили, с които си взаимодействат неподвижните електрични заряди. Гореспоменатите две формулировки биха изглеждали примерно по следния начин:

1А) Неподвижните заряди си взаимодействат със сили, наречени електрични, и тези сили зависят от големините и взаимното разположение на зарядите.

1Б) Неподвижните заряди са източници на електрично поле, чиито характеристики зависят от разпределението на зарядите, и което поле действа на всеки внесен в него заряд със сила, наречена електрична сила.

С помощта на това явление, при известни предположения за структурата на веществата (проводници и диелектрици), могат да бъдат обяснени всички електростатични явления (електростатична индукция, електрична поляризация, екраниращо действие на проводниците и т.н.).

2. От същия критерий следва, че в случая на стационарни взаимодействия като фундаментално явление трябва да се разглежда наличието на магнитни сили, с които си взаимодействат постоянните токове. Съответните две формулировки на същността на това явление гласят:

2А) Постоянните токове си взаимодействат със сили, наречени магнитни сили, които зависят от големините и взаимното разположение на токовете.

2Б) Постоянните токове създават магнитно поле, чиито характеристики зависят от разпределението на токовете, и което поле действа на всеки внесен в него ток със сила, наречена магнитна сила.

С това явление се обясняват всички стационарни магнитни явления, включително и голяма част от магнитните свойства на веществото.

При произволни движения на зарядите, т.е. в случая на променливи с времето полета, където разнообразието от явления е най-голямо, подходът на далечното действие е неприложим (не принципно, а технически!) и затова за всяко от фундаменталните явления може да се даде само по една формулировка – в полеви термини. От критерия за определяне на фундаменталност следва, че в този случай фундаменталните явления са две, при това, за разлика от предишните два случая, те имат свои наименования – това са *електромагнитната индукция* и *токът на отместване*. Формулировките, които изразяват същността на двете явления, са съответно:

3. Електромагнитна индукция се нарича явлението, при което в резултат от промените с времето на магнитното поле възниква електрично поле.

4. Ток на отместването се нарича явлението, при което в резултат от промените с времето на електричното поле възниква магнитно поле.

Целият досегашен опит свидетелства, че съвкупността от посочените четири фундаментални явления удовлетворява изискванията за независимост, непротиворечивост и пълнота: поне за сега не е открито нито едно *електромагнитно*

явление, което да не може да се обясни в края на краищата чрез тях или чрез техните следствия.

Заклучение

И така, за изучаване на електромагнитните явления предлагаме една схема, на “върха” на която стоят четири *фундаментални явления*, които кратко може да се формулират по следния начин:

- **електричните заряди създават електрично поле;**
- **движението на електричните заряди създава магнитно поле;**
- **промените с времето на магнитното поле създават електрично поле (*електромагнитна индукция*);**
- **промените с времето на електричното поле създават магнитно поле (*ток на отместване*).**

Обяснението на едно явление с помощта на други явления е по същество една силогистична постройка. Когато се твърди, че всяко електромагнитно явление може да се обясни чрез четирите фундаментални явления, това означава, че може да се построи верига от съждения, които водят от едното към другото. Тази верига може да съдържа повече или по-малко на брой звена. Не може да се разчита, че учениците, след като изучат електродинамиката, ще бъдат в състояние да възстановят всички звена на всяка такава верига. Това не може да бъде и цел на обучението в училище. В същото време обаче тази невъзможност не бива да се превръща в причина за отказ да приучваме учениците да използват силогистични конструкции. Това е въпрос, свързан с формирането на научен стил на мислене: макар и да не са в състояние да обяснят *последователно* дадено явление, учениците трябва да живеят със съзнанието, с убеждението, че подобно обяснение съществува. Въпросният стил на мислене е от особено значение в науката, защото при откриване на нов факт, който не се вмести в рамките на една теория, само чрез него може да се разбере от кое звено на йерархичната мрежа от твърдения в теорията следва да се откажем и да започнем преустройството ѝ. Всичко това още веднъж показва, че в процеса на обучение следва да се отделя необходимото внимание на структурата на научното знание, чест от която в случая на електродинамиката са фундаменталните явления.

Литература

1. Мамчур Е. А., Н. Ф. Овчинников, А. И. Уемов *Принцип простотѝ и мерѝ сложности*, М., Наука, 1989.
2. Матеев А. Н. *Електричество и магнетизм*, М., ВЪСшая школа, 1973.
3. Мошчански В. Н. *Формиране на мироглед у учащите се при изучаване на физика*, С., Народна просвета, 1977.
4. *Научньѝе основѝ школьного курса физики*, под. ред. Шамаша С. Я., З. Е. Эвенчик, М. педагогика, 1985.
5. Никитин Е. П. *Объяснение – функция науки*, М., Наука, 1971.
6. Планк М. *Единство физической картинѝ мира*, М. Наука, 1966.
7. Плесский Б. В., Л. Н. Терентьева *К проблеме простотѝ физических законов*, в *Логика и методология науки*, М., Наука, 1967.
8. Попов Хр. *Формиране стил на научно мислене при изучаване основите на електродинамиката*, в *XVII Национална конференция по въпросите на обучението по физика*, Пловдив, 1989.
9. Пригожин И., И. Стежнер *Новата връзка. Метамрфоza на науката* С. , Наука и изкуство, 1989.

10. Рузавин Г. И. *Научная теория – логико-методологический анализ*, М., Мысль, 19778.
11. Спиркин А. Г. *Основы философии*, М., Издательство политической литературы, 1988.
12. Эйнштейн А. *Сборник научных трудов*, т. 4., М., Наука, 1965.