

## Фундаментални явления в електродинамиката

Съществена част от *основата* на електродинамиката се пада на нейната *емпирична база*. Най-важен елемент в тази емпирична база е една съвкупност от явления, които наричаме **фундаментални явления**. Тук излагаме в по-разгърнат вид въпроса за смисъла, който влагаме в този термин и кои явления следва да се разглеждат като фундаментални при структуриране учебното съдържание по електродинамика в училище. Това ще спомогне ясно да се открие мястото на тези явления в общата схема на построяване електродинамиката като цялостна физична теория.

### 1. Въвеждането на йерархия в една съвкупност от явления и принципът за простота

Електродинамиката като наука изучава разнообразни явления. Както при всяка наука, в развитието ѝ се очертават две тенденции. Докато едната тенденция води до непрекъснато разширяване съвкупността от явления, които са обект на изучаване от електродинамиката, другата се изразява в задълбочаване знанията за явленията, при което се оказва, че едни от тях могат да се обяснят чрез други. Именно този последен факт дава възможност съвкупността от явления да са разглеждат като система, в която може да се въведе йерархия.

Въпросът за това, как може да се изгради йерархия в една съвкупност от явления (каквато е например съвкупността от електромагнитните явления) може да се разбере в светлината на методологичния *принцип за простота* – един от важните принципи за теоретичното знание. Този принцип кристализира постепенно в дългата история на науката. Идеи, свързани с простотата в организацията на нашите знания, могат да се открият още у Аристотел, според който трябва да се предпочитат онези теоретични конструкции, при които даден резултат може да се получи с помощта на по-малко предпоставки. Подобен смисъл се съдържа и в твърдението, станало известно като "бръсначът на Окам", според който не трябва да се стремим към достигане на знание с помощта на голям брой принципи, ако това е достижимо с по-малък брой. Нютоновото виждане за простота личи в неговото прочуто първо правило за умозаключения във физиката: "Не трябва да се приемат в природата други причини освен тези, които са истинни и достатъчни за обясняването на явленията."

Класиците на съвременната физика, които, известно е, имат подчертан вкус към методологичните въпроси, също дават своя принос към изясняване на принципа за простота. Тук е достатъчно да споменем само двама – Айнщайн и Планк. Измежду многобройните изказвания на Айнщайн по въпроса за предпоставките на всяка теория ще припомним само думите му, че "Най-важната цел на всяка теория се състои 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 ще изхождаме от формулировката на Планк, според който "...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."

В духа на тези разбирания в нашия конкретен случай, принципът за простота ще бъде спазен, ако успеем да включим пълното многообразие от електромагнитни явления в една система, в основата на която стоят минимален брой явления, чрез които може да се обяснят всички останали.

При подобна постановка, обаче, следва да отделим внимание и на въпроса, какво означава едно явление да бъде обяснено чрез друго или чрез други явления. Този

въпрос е твърде обширен и тук ще бъде засегнат само дотолкова, доколкото е необходимо за конкретните ни цели.

## 2. Системата от обяснения – ключ към структурата на теорията

Обикновено в методическата литература под обяснение се разбира един от способите за преподаване на нов учебен материал. По-долу, обаче, този термин се използва в методологическия смисъл, т.е. за обозначаване на онази мисловна операция, която заедно с дефинирането и класифицирането спомага разглежданите индивидуални факти да се подредят в една дедуктивна система, в рамките на която те придобиват своя смисъл. Значението на обясненията в процеса на обучение е особено голямо, защото те способстват за развиване на такива качества на мисленето на учениците като системност, доказателственост, гъвкавост и способност за пренос на знанията в нови ситуации.

Смисълът на обяснението най-често се свежда до разкриване същността на обяснявания обект, до разкриване на свързаните с него причинни зависимости и на закономерностите на неговото функциониране и развитието. Когато става дума конкретно за обясняване на едно електромагнитно явление чрез друго (или други) явления, обикновено се имат предвид обяснения от вида на тези, които в методологията на науката се наричат дедуктивни фактологически обяснения (когато се тръгва от общ закон и от конкретни условия и чрез дедукция се стига до явлението, което трябва да се обясни) и дедуктивни номологически обяснения (когато се покаже, че дадено явление е частен случай на друго, по-общо).

Фактът, че при задълбочаване изучаването на една съвкупност явления едни от тях се обясняват чрез други, означава всъщност, че в тази съвкупност се задават връзки и, следователно, тя може да се разглежда като система – система, чиито елементи са самите явления, а връзките между елементите, т.е. структурата на системата се определя от обясненията, които свързват едни явления с други.

По такъв начин въпросът за разглеждане на една *съвкупност от явления* като система се свежда до въпроса за разглеждането на една *съвкупност от обяснения* като система. Последният въпрос, обаче, е изяснен<sup>1</sup>:

"Под система от обяснения се разбира такова множество от обяснения, което отговаря на три условия:

1. съдържа повече от едно обяснение;
2. за всяко обяснение  $O_1$  от множеството съществува поне едно друго обяснение  $O_2$  такова, че или едно от положенията на експлананса на  $O_1$  е експланандум на  $O_2$ , или експланандумът на  $O_1$  е едно от положенията на експлананса на  $O_2$ ;

3. всички обяснения са свързани в единна логическа структура така, че от всяко от тях може да се премине към кое да е чрез определен ред логически операции."

Именно разглеждането на дадена съвкупност от явления като система позволява в нея да се въведе определена йерархия, защото явлението, което участва в обяснението на дадено явление, само подлежи на обяснение с помощта на други явления. Явленията, които участват като експлананс в обяснението на едно явление, може да се разглеждат като такива от по-високо гносеологическо и логическо равнище, в известен смисъл като по-първични или по-прости. По-нататък, за краткост, при изразяване съотношението между две явления, ще бъдат използвани термините първично и вторично.

И така, едно явление е по-първично от друго, ако първото участва в обяснението на второто. По-първичното измежду две явления участва в обясненията на повече явления. Един от най-често привежданите за изясняване на тези твърдения пример е от

<sup>1</sup> Никитин Е. П. *Обяснение – функция науки*, М., Наука, 1971.

областта на механиката. Така твърдението "Всяко тяло, оставено без подпора, пада към Земята." описва явление, което е по-първично от падането на камък, на листо от дърво и т.н. В същото време обаче първото от тези явления се обяснява с привличането на всички тела, от страна на Земята, което пък от своя страна се обяснява чрез всеобщото привличане между телата – едно явление, явяващо се по смисъла на казаното по-горе най-първично в сравнение с изброените.

Ясно е, че постепенното подреждане в йерархична пирамида на явленията от една съвкупност, в края на краищата ще доведе до няколко явления, които в рамките на същата съвкупност не могат да бъдат обяснени. Именно тях можем да разглеждаме като първични или фундаментални явления. И така:

**фундаментални в рамките на една съвкупност от явления наричаме онези, които не обясняваме чрез други явления от съвкупността или чрез техни следствия.**

Открояването измежду всички на фундаменталните явления представлява всъщност реализация на една стратегия, водеща началото си още от Нютон, стратегия, 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."<sup>2</sup>

Ясно е, че така както структурата на една математическа теория зависи от това, кои твърдения ще бъдат подбрани като аксиоми, така и структурата на електродинамиката зависи от това, кои явления ще бъдат избрани за фундаментални. Въпреки че изборът не е единствен, той следва да отговаря на трите изисквания, които се предявяват към всяка система от аксиоми, лежащи в основата на определена дедуктивна система:

- Системата от фундаментални явления трябва да бъде непротиворечива, т.е. нито едно от тях да не да противоречи на някое от останалите или на техни следствия.
- Системата трябва да бъде пълна, т.е. с нейна помощ трябва да може да бъде обяснено всяко друго явление от разглежданата съвкупност.
- Фундаменталните явления трябва да бъдат независими, т.е. да е невъзможно някое от тях да може да се обясни чрез останалите или чрез техни следствия.

Само когато са изпълнени тези три изисквания към системата от фундаментални явления може да съществува увереност, че броят на участващите в нея явления е минимален и в този смисъл е удовлетворен принципът за простота в изграждането на дадена теория, разбираан като минимизация на броя на предпоставките, върху които се осъществява това изграждане. Същевременно това е и едно необходимо условие за разкриване вътрешното съвършенство на теорията. Подобно разкриване на съвършенството на теориите не е самоцелно, тъй като то допринася за формиране не само на убеденост в истинността на знанията, но и на отношение към природата като към стройно, хармонично, взаимно свързано цяло.

### 3. Относно терминологията

Употребеният термин "*фундаментално* явление", макар и широко използван, не е общоприет. Някои автори използват термините основни, несводими явления. В широко разпространения у нас университетски учебник на Матвеев<sup>3</sup> широко се ползва

<sup>2</sup> Пригожин И., И.Стежнер *Новата връзка. Метаморфоза на науката*, С., Наука и изкуство, 1989.

<sup>3</sup> Матвеев А. Н. *Електричество и магнетизм*, М., Высшая школа, 1973.

терминът фундаментално явление, като навсякъде авторът прокарва ясно разграничение между фундаментални и нефундаментални явления.

Някои автори – методици, обаче, използват термина фундаментално явление без да влагат в него изяснения по-горе смисъл. Това се вижда например в сборника<sup>4</sup>, където се твърди, че електромагнитната индукция е "едно от най-фундаменталните явления в електродинамиката". Самото допускане за степенуване на качеството фундаменталност показва, че смисълът, който се влага в него е по-друг от гореуказаня, който не допуска наличие на "по-фундаментални" и "най-фундаментални" явления.

Обстоятелството, че относително често авторите, които третират методологически проблеми на обучението по физика, са принудени да разглеждат въпроса за фундаменталните явления, употребявайки при това за тях различни термини, показва, че е наложително едно уточняване на терминологията в това отношение. Предпочитанието, което тук се дава на названието фундаментално явление се дължи както на все по-широката му употреба от други автори, така и на факта, че според нас то най-добре отразява същността на понятието.

И така, според нашата схема термините основен и фундаментален не са синоними и разграничението между тях следва да се прави достатъчно ясно в процеса на обучение. За фундаменталност може да претендира съвкупност от явления, която отговаря на изброените по-горе изисквания. След като е избрана съвкупността от фундаменталните явления, използването на термина *основен* за едно или друго от останалите явление допуска вече значителна доза субективизъм, влияе се от ролята на явлението в практиката и от други подобни фактори.

#### 4. Проблемът за единственост на избора

Удовлетворяването на условията за независимост, пълнота и непротиворечивост осигурява броят на фундаменталните явления в една теория да бъде минимален. Това обаче не определя по единствен начин съвкупността от явления, които могат да се положат в основата на теорията. Изборът на фундаменталните явления е наистина избор, т.е. той далеч не е единствен и се влияе от разнообразни фактори, измежду които често личните предпочитания не са на последно място. Тази нееднозначност например се визира с твърдението<sup>5</sup>, че "едни и същи факти често може да се обяснят различно в различни теоретични системи." Често тя е предмет на разглеждане и в методическата литература: "...както навсякъде в науката, не съществува единствена "коректна" схема, единствена "истинска" гледна точка. Съществува сложна мрежа от отношения и човек може да започне разглеждането ѝ от където иска и да я обходи по който път желае. Онова, което е дефиниция от една гледна точка, може да се окаже емпирично съотношение от друга. Онова, което от една гледна точка е измерима величина, от друга гледна точка може да се окаже величина, която се пресмята."<sup>6</sup>

Когато става дума за избор на фундаментални явления при построяване на една теория, която ще се изучава в средното училище, към общите изисквания за непротиворечивост, независимост и пълнота се добавят и ограниченията, налагани от дидактическите принципи и на първо място – от принципа за достъпност. Така например дидактическите ограничения предварително елиминират всички теоретични системи за обясняване на електромагнитните явления, в които се използват съображения, свързани със специалната теория на относителността. Основанията за това са очевидни – тъй като целта е създаване на система, обслужваща преподаването на електродинамиката в средното училище, при създаването ѝ трябва да се отчита фактът,

<sup>4</sup> *Научные основы школьного курса физики*, Под.ред. Шамаша С.Я., Э.Е.Эвенчик, М., Педагогика, 1985.

<sup>5</sup> Спиркин А.Г. *Основы философии*, М., Издательство политехнической литературы, 1988.

<sup>6</sup> *Physik*, Gross Berhag, Klett Verlag, Stuttgart, 1992.

че при всички възможни схеми на разположение на учебното съдържание по физика в училище, изучаването на електромагнитните явления предхожда това на специалната теория на относителността.

Отчитането и на дидактическите ограничения, въпреки че ограничава, също не е достатъчно за фиксиране на набора на фундаменталните електромагнитни явления. Все още свободата е твърде голяма и позволява построяването на различни схеми, някои от които твърде екзотични. Известен е например подходът на Я.И.Френкел, който изгражда електродинамиката, като в основата ѝ поставя не взаимодействието на електрични заряди, а на електрични диполи. Неговите аргументи в полза на този избор се основават на факта, че на практика при взаимодействията между макротелата ние се срещаме най-често именно с взаимодействия на електрични диполи, а не на заряди. При това положение взаимодействието на зарядите се явява вторично явление, което може да се обясни с помощта на взаимодействието на диполи.

Примерите в тази насока могат да бъдат множени почти неограничено, но един от тях не може да не се посочи – не е така далече времето, в което дори в университетски учебници изучаването на магнитните явления започваше с взаимодействията на постоянни магнити. Такъв подход също има своите положителни страни – той, например, позволява теорията на магнитостатичното поле да се изгради по една външна аналогия с електростатиката. Освен това при него изграждането на теорията най-последователно следва историческия път на развитие на физиката. Същевременно обаче, този подход притежава и редица слаби страни, поради които в съвременните учебници е изоставен. Така например при него трудно се преодолява **погрешното** впечатление, че аналог на интензитета на електричното поле е интензитетът на магнитното поле. Освен това, ако не се положат особени грижи, формулата за енергия на взаимодействието на магнитен дипол с външно поле се получава с неправилен знак и т.н..

### 5. Принцип за подбор на фундаменталните явления в електродинамиката

Посочените по-горе примери показват, че е наложително да се намери принцип, който да фиксира еднозначно онзи набор от фундаментални явления в електродинамиката, който ще се използва при изучаването ѝ в училище. Той трябва да бъде такъв, че поне в края на изучаването на тази теория направеният избор да изглежда на учениците максимално ясен и обоснован. Освен това, от само себе си се разбира, че въпросният принцип не трябва да води до противоречия с традиционните дидактически принципи, които се съблюдават при подбор на учебното съдържание.

Предлагаме в качеството на принцип за подбор на фундаментални явления в електродинамиката да се използва следното твърдение:

**Като фундаментални се разглеждат онези електромагнитни явления, на които съответстват членове в дясната страна на уравненията на Максвел.**

Разбира се, за да има смисъл това твърдение, трябва да направим уговорката, че имаме предвид стандартния запис на уравненията на Максвел, т.е. онзи, при който в левите страни на равенствата стоят само пространствените производни на характеристиките на полето, но не и производните им по времето:

$$\operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\operatorname{rot} \vec{B} = \mu_0 \vec{I} + \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

$$\operatorname{div} \vec{E} = \frac{1}{\epsilon_0} k$$

$$\operatorname{div} \vec{B} = 0.$$

Тук, както се приема обикновено, с  $k$  и  $\vec{I}$  са означени плътностите съответно на зарядите и на токовете.

Този принцип е в известен смисъл най-естествен, понеже при неговото спазване всяко фундаментално електромагнитно явление се оказва свързано с един от източниците на променливите електрично и магнитно полета, като терминът "източник на поле" се разбира в смисъла, изяснен в<sup>7</sup>.

Както ще стане ясно по-нататък, предложеният принцип има и това положително качество, че той не води до значителни отклонения от принципа за историчност при изграждането на теорията, което е предимство от дидактическа гледна точка. Същевременно, както свидетелства цялата досегашна практика, чрез него изискванията за независимост, непротиворечивост и пълнота на системата от фундаментални явления се оказват изпълнени. (Това твърдение, разбира се, отново е валидно само при условие, че не се използват съображения, външни по отношение на електродинамиката – например свързани със специалната теория на относителността.) При това положение, доколкото общият брой на членовете в дясната страна на уравненията на Максвел е четири, четири ще бъде и минималният брой на фундаменталните явления, посредством които могат да се обяснят всички останали електромагнитни явления.

## 6. Фундаменталните електромагнитни явления

*Изучаването на електродинамиката в средното училище следва пътя на последователните обобщения, т.е. започва от по-простите явления и постепенно обхваща и по-сложните.* Най-прости са взаимодействията на неподвижните заряди, изучавани в електростатиката. Съобразяването с формулирания по-горе принцип налага като първо фундаментално явление в електродинамиката да се избере наличието на електрични сили, с които си взаимодействат неподвижните заряди.

Същността на първото фундаментално явление е свързана с третото от уравненията на Максвел ( $\operatorname{div} \vec{E} = \frac{1}{\epsilon_0} k$ ) и може да бъде изразена по два начина – първо, в термините на сили, което съответства на разглеждане взаимодействията от гледна точка на принципа на далечното действие и, второ, в термините на полевия подход, съответстващ на принципа на близкото действие. Тези две възможности се дължат на известния факт, че наистина всички електростатични явления (както и стационарните) могат да се разгледат с еднакъв успех както от гледна точка на принципа на далечното действие, така и от гледна точка на принципа на близкото действие. (Фактът, че днес строим теорията на електромагнитните явления на основата на принципа на близкото действие не е основание за пренебрегване на принципа на далечното действие, защото, както отбелязва самият създател на полевия подход, Максвел<sup>8</sup>, "...винаги е важно да има две гледни точки на един и същи предмет и да се допуска, че са възможни две различни гледни точки към предмета."

По такъв начин *двете формулировки* на същността на *първото фундаментално явление в електродинамиката* са както следва:

<sup>7</sup> Попов Хр. *Източници на електромагнитното поле*, Физика, 6, 1991.

<sup>8</sup> *Максвел и развитие физики XIX - XX веков* Отв.ред. Л.С.Полак, М., Наука, 1985.

**а) неподвижните заряди си взаимодействат със сили, наречени електрични, които зависят от големините и взаимното разположение на зарядите;**  
**б) неподвижните заряди създават електрично поле, чиито характеристики зависят от разпределението на зарядите и което поле действа на всеки внесен в него заряд със сила, наречена електрична сила.**

Изучаването на електростатиката показва, че с помощта на това явление може да бъде обяснено всяко друго електростатично явление (електростатична индукция, електрична поляризация, екраниране на полето от проводници и т.н.).

Първата крачка по пътя на последователните обобщения включва изучаване на явленията, наблюдавани при постоянни електрични токове. Изборът на второто фундаментално явление е свързан с първия член в дясната страна на второто уравнение на Максвел ( $\text{rot } \vec{B} = \mu_0 \vec{I}$ ), т.е. с постоянните токове като източници на магнитни сили. Както в първия случай, така и сега са възможни *две формулировки* за същността на второто фундаментално явление:

**а) постоянните токове взаимодействат със сили, наречени магнитни сили, които зависят от големините и взаимното разположение на токовете;**  
**б) постоянните токове създават магнитно поле, чиито характеристики зависят от разпределението на токовете, а полето действа на всеки внесен в него ток със сила, наречена магнитна сила.**

Това явление е достатъчно за обясняване на всички други стационарни магнитни явления, както и част от магнитните свойства на веществата. (Не трябва да се забравя, че предмет на разглежданията е класическата теория, така че всички квантови ефекти остават извън техния обсег.)

Втората и последна крачка по пътя на последователните обобщения представлява включване в разглежданията на явленията, наблюдавани при произволни (в смисъл не непременно стационарни) движения на зарядите. Тук, разбира се, раз-нообразието от явления е най-голямо, но избраният принцип позволява да се фиксират фундаменталните измежду тях. В случая те са две и са свързани съответно с първото от уравненията на Максвел ( $\text{rot } \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ ) и с втория член от второто ( $\text{rot } \vec{B} = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$ )

за разлика от статичния и стационарния случай, имат своите имена: *електромагнитна индукция* и *ток на отместване*. Също за разлика от предишните два случая, в които за всяко явление могат да се дадат две формулировки, последните две имат формулировка само в полеви термини, което съответства на факта, че променливите електромагнитни явления са типично полеви явления и могат да се опишат само от гледна точка на принципа на близкото действие.

И така, *третото и четвъртото фундаментални явления* на електродинамиката са съответно:

– електромагнитната индукция, която се състои в пораждаване на електрично поле от промените на магнитно поле с времето;

– токът на отместване, който се състои в пораждаване на магнитно поле от промените на електричното поле с времето.

В случая на електромагнитната индукция, обаче, е необходимо да се направи следното уточнение. Известно е, че още от времето на Фарадей с това име се обозначават две групи явления. В едната група попадат явления, при които ток се индуцира в проводници, движещи се в стационарно магнитно поле. Както самите явления от тази група, така и всички наблюдавани при тях закономерности намират своите обяснения в рамките на теорията на стационарното магнитно поле. Към втората група принадлежат явленията, при които ток се индуцира в неподвижни проводници и чието обяснение не е възможно в рамките на стационарната теория. Именно това са случаите, които се обясняват чрез третото фундаментално явление.

Разграничаването на двете групи случаи на поява на индуциран ток в училище е наложително, защото само когато в разглежданията се включат съображения, свързани с относителността на движението се вижда, че двата типа явления всъщност са свързани, т.е. представляват две страни на едно и също явление.

На необходимостта да се различават и терминологично двата случая на електромагнитна индукция се указва например в цитирания вече учебник на Матвеев. В него се говори за "индукция на ток в движещ се проводник" и за "електромагнитна индукция на Фарадей". За да не се усложнява терминологията, тук се използва като термин само електромагнитна индукция (без добавката "на Фарадей"), който все повече се утвърждава в нашата учебна литература като название на фундаменталното явление.

Както вече бе отбелязано, досегашният опит потвърждава, че съвкупността на посочените четири явления удовлетворява изискванията за непротиворечивост, независимост и пълнота, поради което те наистина могат да претендират за качеството фундаменталност. Действително, нито едно от тези явления или някои негови следствия не противоречи на останалите фундаментални явления или техните следствия. В същото време нито едно от четирите явления не може да бъде обяснено чрез останалите или техните следствия, а всяко друго електромагнитно явление в края на краищата може да се обясни чрез фундаменталните.

Заявленията от последния абзац обаче поставят и един въпрос, който е свързан с основния недостатък на предлаганата схема: според нея се оказва, че четвъртото от уравненията на Максвел ( $\operatorname{div} \vec{B} = 0$ ) е като че ли излишно, защото то не е свързано с източник на полето. Докато съдържанието на първите три уравнения може да се изрази с положителни твърдения (зарядите са източник на поле, токовете са източник на поле и т.н.), съдържанието на четвъртото може да се изрази с *отрицателно* твърдение: не съществуват магнитни заряди! С това обаче не е свързано никакво явление.

Разбира се, четвъртото от уравненията на Максвел не е излишно, без него не могат да се обяснят *всички* електромагнитни явления. В общата схема на електродинамиката като физична теория обаче неговото съдържание трябва да се разглежда като израз на основно свойство на полето: магнитното поле няма скаларни източници.



## 7. Заключение

От всичко казано дотук става ясно, че въвеждането на йерархия в съвкупността от електромагнитните явления позволява сред тях да се открият четири фундаментални явления, които да залегнат в основата на теорията. Всички останали електромагнитни явления при това положение се класифицират към третата част на теорията – към нейните следствия. Ясно е освен това, че този подход съответства на аксиоматичния начин за изграждане на една наука. Известно е, че този начин не е нито единствен, нито може да се смята най-съвършен, но запознаването с него в училище е задължителен етап от формиране научен стил на мислене. Известно е също така, че строго аксиоматично излагане на физичните теории никога не е неоспоримо, но "разкриването на основните принципи и дедуктивното изложение изглеждат твърде целесъобразни както от дидактически позиции, така и от гледна точка на разкриването на общите граници между разнообразни физични обекти и теории."<sup>9</sup> До сега тази задача се изпълняваше преди всичко в обучението по математика. Проведеният по-горе анализ показва, че при изучаването на електродинамиката същата задача с успех може да се решава и от обучението по физика.

Обяснението на едно явление чрез други явления е по същество една силוגистична постройка. Когато се твърди, че по принцип всяко електромагнитно явление може в края на краищата да се обясни чрез съвкупността на четирите фундаментални явления, това означава, че може да се построи верига от съждения, които водят от едно или няколко фундаментални явления или техни следствия към явлението, което подлежи на обясняване. Ясно е, че тази верига може да има твърде много звена. Не може да се разчита, че учениците, след като изучат електродинамиката, ще бъдат в състояние да възстановят всички звена от веригата съждения, обясняващи всяко електромагнитно явление. Това не може да бъде и цел на обучението в училище. В същото време обаче, тази невъзможност не трябва да се превръща в причина за отказ от приучване учениците към силוגистични конструкции. Това също е въпрос, свързан с формирането стил на научно мислене: макар и да не са в състояние да обяснят последователно дадено конкретно явление, учениците трябва да са убедени в съществуването на подобна възможност. 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 трябва да започне нейното преустройство. Всичко това още веднъж доказва, че в процеса на обучение следва да се отделя необходимото внимание на *структурата* на научните знания, част от която в случая на електродинамиката са фундаменталните явления.

Повече от очевидно е, че проблемът за представяне съвкупността от електромагнитни явления като йерархична система не е решим в хода на запознаването с тези явления в рамките на общозадължителния минимум от знания (изучаван до сега в основния курс по физика в 7.–8. клас и в 9. клас на СОУ). Нито учебната програма, нито особеностите в умственото развитие на учениците в тази възраст позволяват това. Нещо повече – едва ли е оправдано да поставяме подобна амбициозна задача пред всички ученици. Този проблем обаче е напълно решим в рамките на следващото разширяване и задълбочаване на знанията за електромагнитните явления, което до приемане на държавните образователни изисквания се осъществяваше в 11. клас, а в бъдеще ще бъде предмет на разглеждане в разширения курс, когато физиката ще се изучава в часовете за свободноизбираема подготовка вече само от ученици с подчертани наклонности към точните науки и когато възможностите им за абстрактно

<sup>9</sup> Розенталь И.Л. *Геометрия, динамика, Вселенная*, М., Наука, 1987.

мислене са значително по-големи. Това се отнася, разбира се, и за обучението във физическите паралелки на природоматематическите гимназии.