

Фундаментални понятия на електродинамиката¹

Към експерименталната база на електродинамиката се причисляват фундаменталните явления, фундаменталните експерименти, фундаменталните експериментални закони и фундаменталните понятия. Тук ще бъде разгледан последният елемент на базата – *фундаменталните понятия*, като освен това ще бъдат поставени и някои въпроси, свързани с използването на термини като *основни понятия*, *изходни понятия* и др.п.

Подобно на всяка относително обособена физична теория, и електродинамиката се изгражда върху система от понятия. Известно е, че колкото по-ясно се разкрие структурата на тази система в учебното съдържание, толкова по-висока е степента на евристичност на теорията², а това косвено увеличава и ефикасността от обучението по физика въобще. При началното запознаване с електромагнитните явления обикновено няма време за разглеждане на подобни въпроси, в които трудно се прокарва граница между тяхната физична и тяхната методологична страна. Когато обаче електродинамиката се изучава на второ равнище, за това вече има възможност, тъй като и знанията на учениците по фактологията са значителни, и способностите им за абстрактно мислене – по-големи.

Фундаменталността от гледна точка на логиката

От времето на Аристотел е известно, че класическото определение на всяко понятие трябва да съдържа два елемента: да указва неговата *родова принадлежност* и да изброява *видовите му особености*. Благодарение на това изискване всяка система от понятия може да се представи като една йерархична система, тъй като всяко родово понятие е по-общо от понятието, в чието определение фигурира. Ясно е, че в системата от понятия, с които борави една теория, ще има и такива, които са най-общи, т.е. за които не могат да се намерят родови понятия в рамките на същата система. (В противен случай в системата от определенията биха съществували порочни кръгове.) За философията такива най-общи понятия са философските категории (материя, съзнание, движение и пр.), за една частна наука – съответните частнонаучни категории и т.н. Понятията, които са най-общи в рамките на един отделен раздел на физиката (каквато е електродинамиката), играят особена роля в изграждането на теорията и следва да бъдат отделени терминологично от съвкупността на останалите понятия. Именно за тях използваме термина *фундаментални понятия*.

И така, от гледна точка на логиката:

Фундаментални в една система от понятия са онези, за които в нейните рамки не съществуват по-общи понятия, които могат да се използват като родови в определенията им.

Стеснено и приложено за система от физични понятия, това твърдение гласи, че от гледна точка на логиката:

Фундаменталността на едно физично понятие се изразява в това, че в рамките на разглежданата теория не съществува по-общо физично понятие, което може да се използва като родово при неговото определение.

¹ Физика, 1994, 1, с.22–27.

² Горский Д. П. *Проблемы общей методологии наук и педагогической логики*, М., Мысль, 1966.

Разбира се, това не означава, че фундаменталните понятия нямат определения. Съществен обаче е фактът, че в техните определения родовите понятия са извън кръга на понятията на разглежданата теория и принадлежат на някаква по-голяма съвкупност. Ето защо *от физична гледна точка* тези определения са незадоволителни – те не разкриват физичната същност на определяемото понятие.

Фундаменталността на едно понятие е относителна в два аспекта. Тя е относителна преди всичко в исторически аспект – на определен етап от развитието на науката едно понятие може да притежава качеството фундаменталност, но на следващия – не. Типичен пример в това отношение е понятието температура. В рамките на термодинамиката от началото на 19. век температурата е фундаментално понятие, но с развитието на молекулно-кинетичната теория тя губи това си качество, тъй като в рамките на тази теория (и на статистическия подход въобще) съществува определение за температурата, което я свързва с понятието средна кинетична енергия на градивните частици на веществото – т.е. с понятия известни от механиката. По подобен начин при прехода от класическата към квантовата електродинамика понятието електромагнитно поле губи своята фундаменталност.

Фундаменталността като качество на едно понятие е относителна и в друг аспект – ако едно понятие е фундаментално в рамките на една теория, в рамките на по-широката теория то може да загуби това си качество. Така например в рамките на теорията на стационарните магнитни взаимодействия понятието ток е фундаментално – цялата теория може да се построи (и историческото развитие на физиката потвърждава това), без да се знае и използва, че токът е движение на електрични заряди. В рамките на общата теория обаче – електродинамиката, токът вече не е фундаментално понятие, защото се свежда да движението на електричните заряди.

Фундаменталността на понятията от физична гледна точка

За фундаменталните понятия на една частна наука е валидно това, което е валидно например и за философските категории: както категориите, и те “...може да се определят само чрез установяване на такива отношения между тях, които биха отразявали обективно съществуващите отношения между явленията.”³ Все в този смисъл на същото място се отбелязва, че “Определението на категориите извън тяхната система е безсмислена работа, водеща до чисто словесни хитрости. Да се определи съдържанието на някоя категория – това значи да се разкрие ... отношението ѝ към другите, *тъй като само в тези отношения тя придобива съдържание.*” (к.м.).

Ясно е, че когато става дума за физиката, установяването на въпросните отношения е въпрос на експеримента. Поради тази причина още в⁴ бе възприето, че:

от физична гледна точка фундаменталността на едно понятие се изразява във факта, че всички знания за свойствата на обекта, свързан с него, са резултат единствено от систематизиране и обобщаване на експерименталните данни от изучаването му, т.е. не могат да намерят обяснение в рамките на някаква теория.

И от логична, и от физична гледна точка *фундаменталните понятия на електродинамиката са две: понятието електричен заряд и понятието електромагнитно поле.*

³ Копнин П. *Философские идеи В. И. Ленина и логика*, М., Наука, 1969.

⁴ Попов Хр. *Изучаване основите на електродинамиката*, С., МНП, 1989.

Електричният заряд Като фундаментално понятие

Преди всичко ще обърнем внимание върху различието между *понятието* електричен заряд и *величината* електричен заряд. В училище, разбира се, е трудно то да бъде направено. Различието обаче проличава, ако се направи преглед на определенията за електричен заряд в научната, в методическата и в учебната литература. Този преглед показва, че в едни случаи зарядът се определя като **свойство** на телата и частиците (най-често подобни определения се срещат на руски език). Следва да се отбележи, че в тези случаи терминът *свойство* се използва в неговия най-широк смисъл, а именно, като “страна на предмета, която обуславя неговото различие или сходство с други премети и се проявява във взаимодействието между тях.”⁵ Това е смисълът, например, който се влага в твърдението, че движението е атрибут, т.е. свойство на материята. В случаите, когато зарядът се определя като *свойство* се има предвид именно **фундаменталното понятие електричен заряд**.

Съществува обаче и втора група определения, в които зарядът се определя като характеристика на телата и частиците. В тези случаи вече става дума за *величината електричен заряд*. А за тази величина вече съществува операционално определение, т.е. може да се посочи поредица от процедури (измервания и пресмятания), които позволяват да намерим значението ѝ.

Разбира се, нито едно от двете определения не изяснява физичната същност на електричния заряд – нещо невъзможно заради фундаменталността на понятието. Интересно е, че в случая със заряда термините, с които се означават понятието и величината съвпадат, което е и причината за трудното им разграничаване.

Дотук отделяхме внимание само на родовото понятие, което следва да се използва в “определението” на понятието електричен заряд (свойство или характеристика). Въпросът за видовите особености на това понятие от гледна точка на дидактиката е по-сложен. Сложността произтича от невъзможността да се разкъсат, да се разглеждат отделно едно от друго определенията за двете фундаментални понятия *заряд* и *поле*, той като, както бе отбелязано при разглеждане на физичния смисъл на фундаменталността, фундаменталните понятия могат да се определят само чрез разкриване на отношенията между тях. В училищната практика обаче не можем да въведем двете понятия едновременно, за да коментираме свойствата им заедно: въвеждането на електричния заряд винаги изпреварва във времето въвеждането на понятието за поле. Изход от това положение предлага обстоятелството, че у нас зарядът се въвежда като характеристика на телата, т.е. – като величина, а свойствата на тази величина могат да се изучават опитно независимо от това, дали използваме полевия подход, или смятаме, че взаимодействието се осъществява от разстояние. Именно от тази гледна точка свойствата на електричния заряд могат да се систематизират и формулират по следния начин:

1. Електричните заряди са два вида – положителни и отрицателни.
2. Няма безмасови заредени частици.
3. Зарядът не зависи от скоростта на движение на тялото.
4. Съществува елементарен електричен заряд $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ С.
5. Зарядът е адитивна величина.
6. Зарядът на система, която не обменя частици, е постоянен с времето.
7. Взаимодействието между два заряда не се влияе от наличието на други заряди.

⁵ *Философски речник*, С., Партиздат, 1985.

Очевидно е, че в съответствие с казаното по-горе за фундаменталните понятия, нито едно от изброените свойства не може да се обясни в рамките на съществуващата теория.

Причисляването на гореизброените седем твърдения към *свойствата* на електричния заряд не е неоспоримо. Обикновено в учебната и в методическата литература, която засяга този въпрос, като свойства на заряда се изброяват само част от тях (най-често се пропускат посочените по-горе под номера 2, 3 и 5, а тези с номера 6 и 7 не се причисляват директно към свойствата – първото от тях се формулира като експериментален закон – закон за запазване на електричния заряд, а второто – като принцип – принцип за суперпозиция. В най-типичния случай като свойства се посочват само тези с номера 1 и 4, а адитивността се подразбира.

Ясно е, че седемте свойства на електричния заряд не могат да се изучат наведнъж, още в 9. клас. Те обаче може да се имат предвид именно в тази им съвкупност при изучаване на електродинамиката на второ равнище, когато знанията се задълбочават и систематизират.

Електромагнитното поле като фундаментално понятие

При второто фундаментално понятие отсъства неприятното съвпадение между термина, обозначаващ понятието, и термините за величините, които го характеризират – първият термин е *електромагнитно поле*, а характеристиките са съответно интензитетът на електричното и индукцията на магнитното поле, или, кратко, електрично и магнитно поле. Известно е, че в науката понятието поле се появява в качеството на една конкретна реализация на принципа на близкото действие, като полето представлява посредник, с чиято помощ се разрушава онова равноправие между взаимодействащите заряди, когато взаимодействието им се разглежда от гледна точка на действието от разстояние (принципа на далечното действие): сега едните заряди са **активната** страна във взаимодействието, зарядите, които създават, които са източници на полето, докато другите заряди са **пасивната** страна във взаимодействието – те изпитват въздействието на полето. Или, както се отбелязва⁶, въвеждането на електромагнитното поле “разделя концептуално източниците на полето от пробните тела, върху които действат електромагнитните сили.” На тази основа може да се формулират и двете най-обща свойства на електромагнитното поле⁷:

**“ – полето се поражда от електрични заряди, което означава, че неговите характеристики се определят от характеристиките, с които се описва разпределението и движението на зарядите;
– полето се проявява чрез силите, с които действа върху зарядите.”**

Съвместното, едновременното разглеждане на тези две свойства на полето има принципно значение, защото, както бе отбелязано, съдържанието на едно фундаментално понятие може да се разкрие само чрез отношенията му с другите такива понятия. От методологична гледна точка трябва да се признае, че разделянето, което се прави в училище (отделното изучаване на свойствата на заряда и на свойствата на полето), макар и дидактически обосновано, е фактически погрешно. Най-пълно смисълът на тези понятия се разкрива при едновременното им изучаване и този смисъл

⁶ Джексон Дж. *Классическая электродинамика*, М., Мир, 1965.

⁷ ?

се съдържа в гореизброените, представени като свойства на полето, две твърдения – ясно е, че те засягат колкото полето, толкова и самите заряди.

По друг начин стои въпросът за свойствата на електричното и на магнитното поле, разбирани като две векторни функции, характеристики на електромагнитното поле ($\vec{E}(\vec{r}, t)$ и $\vec{B}(\vec{r}, t)$). Тези свойства намират израз в конкретните връзки между двете полета и техните източници и по същество представляват предмет на изучаване в цялата теория на електромагнитното поле във вакуум, т.е. едва ли е възможно да се формулират във вид на малък брой твърдения.

Фундаментални, основни и изходни понятия

Не е необходимо да се прави много задълбочен анализ на учебната и методичната литература, за да се установи, че за понятията, които тук наричаме *фундаментални*, се използват твърде разнообразни термини – например основни, изходни, първични, неопределяеми и др.п. липсата на общоприета терминология пречатства разграничаването на ролите на различни групи понятия в изграждането на теорията. Както се случва често в подобни случаи, при едно по-подробно разглеждане се оказва, че зад терминологичния може да се разкрие един по-дълбок проблем, свързан със смисъла, който се влага в използваните термини. По-долу, на основа на анализ на проблема, е предложена една възможност за влагане на точно определен смисъл в термини като фундаментални, изходни и основни понятия, като при това се абстрахираме от факта, че думата *основни* е фактически превод на чуждицата *фундаментални* – необходимостта от разграничаване на повече групи понятия налага използването и на чуждици.

Докато за *фундаменталните понятия* в началото дадохме строго определение, за основните понятия не можем да се обвържем с такова. Затова ги определяме описателно, като изхождаме от общоприетия факт, че в учебните предмети от природонаучния цикъл се изучават **основите** на съответните науки. От тази гледна точка е подходящо да приемем, че:

Основните понятия на електродинамиката включват всички задължителни за изучаване според учебната програма понятия.

(Задължение на експертите, изработващи програмата, е да решават кои от понятията на електродинамиката като физична теория следва да се включат в програмата). Ясно е, че основните понятия ще включват фундаменталните понятия, но освен тях и много други, които са необходими за постигане на учебните цели.

При такъв подход, освен фундаменталните, към *основните* понятия следва да се причислят например всички **локални и глобални характеристики на източниците на полето** (заряд на тяло, ток, обемни, повърхнинни и линейни плътности на зарядите и на токовете), **всички локални и глобални характеристики на самото поле** (интензитет и индукция на електричното, индукция и интензитет на магнитното поле, техните потоци през произволна повърхност и техните циркулации по произволна крива, потенциал на точка, напрежение между две точки и т.н.), всички **веществени константи** (електрична и магнитна проницаемост, проводимост, ЕДС), **характеристики на елементи на уреди и устройства** (капацитет на кондензатор, съпротивление на резистор, индуктивност на намотка, ЕДН на източник и др.п.).

От приведените примери се вижда, че като се изключат фундаменталните понятия, всички останали **основни** понятия представляват всъщност **физични величини**. (По-горе бе показано, че при фундаменталните понятия такова припокриване между понятие и величина не винаги съществува.) От тази гледна точка

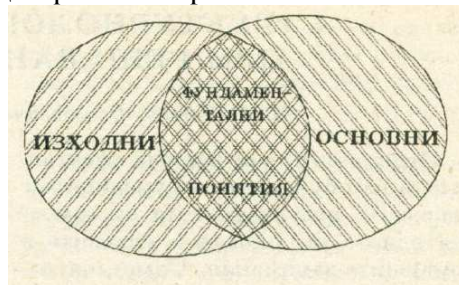
не всички величини могат да се разглеждат като **основни величини** за теорията. Използването на този термин следва да се съпътства с необходимото доза внимание, защото в училищната практика често не се разграничава *понятието величина* от *понятието единица за величината*. А добре известно е, че въпросът за това, кои единици се смятат основни въобще не е свързан с логиката на дадената теория и се решава от съвсем други съображения, предмет на разглеждане от международни конвенции. По тази причина, ако приемем, че на всяко основно понятие съответства основна величина, ще се окаже, че единиците на повечето основни величини съвсем не са основни единици.

Освен групите на фундаменталните и на основните понятия на една теория предлагаме да се разграничи и групата на нейните *изходни понятия*. Тази група може да се определи по следния начин:

Изходните за една теория понятия включват нейните фундаментални понятия и всички понятия от други области, включително и житейски понятия, които се използват за изясняване видовете особености на основните понятия на теорията.

Приложено към понятията, срещани в електродинамиката, това определение води до заключението, че към изходните й понятия следва да се отнесат такива философски категории като например пространство, време, взаимодействие, редица понятия от механиката (маса, сила, работа, енергия и пр.). Още по-голям брой понятия влизат в групата на изходните, ако имаме предвид не само електродинамиката на вакуума, т.е. теорията на електромагнитното поле (както най-често се подразбира тук), но и електродинамиката на непрекъснатите среди. Тогава към изходните понятия следва да се причислят и такива общофизични понятия като молекула, атом, електрон и мн.др.

От горекананото следва, че взаимоотношенията между трите групи понятия, които предлагаме да се разграничат – *фундаменталните*, *основните* и *изходните* – може да се илюстрират с диаграмата от фиг. 1.



Фиг. 1.

От диаграмата се вижда, че фундаменталните понятия представляват всъщност сечение на съвкупностите на основните и на изходните понятия на теорията.