

Фундаментални понятия на електродинамиката

За описание на една съвкупност от явления се използват определен брой понятия. Една част от тези понятия принадлежат към основата на теорията, обясняваща разглежданите явления. Доколкото общата цел е разкриване на основите на електродинамиката, след като вече бе изяснено кои явления могат да се причислят към тези основи, сега предстои да се изясни кои са нейните фундаментални понятия.

1. Усвояването на понятията в системи – необходимо условие за ефективен учебен процес

В методологията на науката се приема безусловно, че необходимо условие, за да може една област да се смята изградена като наука, е "понятията, които тя съдържа да образуват относително затворена логическа система"¹. От гледна точка на психологията "...разбирането на взаимоотношенията между понятията служи за основа на усвояването на системата от понятия, отразяващи реалните връзки и зависимости на предмети и явления от действителността."² Първичната роля на физичните понятия по отношение на средствата на физиката и нейните приложения се подчертава широко в методичната литература³.

Електродинамиката, като относително обособена физична теория, също се изгражда върху определена система от понятия, която следва да намери адекватно отражение в учебното съдържание. Усвършенстването на представянето на тази системата повишава степента на евристичност на теорията, като по такъв начин увеличава косвено и ефективността от обучението по физика въобще. Това усвършенстване може да се реализира по различни начини, един от които е изграждането на класификации на използваните понятия по отношение на определени признаци. Както ще се види от посочените по-долу примери, употребата на термини като основни, фундаментални, първични, изходни и т.н. понятия в учебната и в методичната литература е твърде свободно, за да може да се счита, че се основава на някакъв стабилен класификационен принцип. А същевременно е известно, че разграничаването на тези понятия спомага за открояване на светогледния аспект при тяхното изучаване, което е важно условие за формиране на научен светоглед при изучаване на физиката.

При днешната структура на нашата образователна система, в която изучаването на предмета логика не намира място в учебния план за средното общообразователно училище, ролята на учебните предмети, съответстващи на частните науки, за формиране на научен стил на мислене нараства твърде много. С особена сила може би това важи за предмета физика, възможностите на който в това отношение са големи ако не заради друго, то поне поради факта, че в него се изучават няколко обособени научни теории, една от които е електродинамиката. Именно, когато изучаването на физиката и в частност – на електродинамиката, бъде построено по подходящ начин, то, наред с дидактическите задачи, може да спомогне и за усвояване на уменията да се дават точни определения на понятията, да се знае как се съставят подобни определения въобще, да се разбират връзките между понятията, защото, както отбелязва Пуанкаре⁴, "Не може да има строгост в разсъжденията, без да има строгост в определенията". Усвояването на подобни умения е необходимо, защото то⁵ "придава на мисленето такива важни качества като точност, яснота, определеност и води след себе си и изработването на

¹ Апостолова Ив. *Светогледният смисъл на проблема за стил на мислене във физиката*, В сб. *Формиране на научен светоглед чрез обучението по природните науки*, С., Народна просвета, 1987.

² Смирнова А. *Психология*, М., Учпедгиз, 1962.

³ Hewitt P.G. *Concepts before Computations*, The Physics Teacher, 32, №4, 1994.

⁴ Пуанкаре А. *Ценност на науката*, в сб. "О наука", М., Наука, 1983.

⁵ Решанова В.И. *Развитие логическото мислене учащих се при обучението по физика*, М., Просвещение, 1985.

логически умения за: анализ, сравнение, различаване, абстрахиране и обобщение." В същото време усвояването на уменията да се дават определения за различните понятия е безусловно необходимо за достигане на една от най-важните задачи на преподаването на физиката – "целенасоченото, постепенно и логически последователно формиране у учащите се на система от научни понятия."⁶ Като един от съществените недостатъци на съвременното изучаване на физиката, обаче, същият автор посочва непълното разкриване на връзките между понятията в дадена област, което всъщност означава, че тези понятия не се представят като елементи от една стройна система със строго определени връзки между тях.

Различните физични теории, които се изучават в училище, предоставят в различна степен възможност за разкриване структурата на системата от понятия, върху която се изграждат. Електродинамиката е една от тези, които по различни причини предоставят в това отношение най-добра възможност. С особена сила това важи за нейното изучаване на второ равнище, когато може в явен вид да се разкрие структурата на понятийната й система и така да се спомогне за отстраняване на горепосочения недостатък. Тази възможност се обуславя от два фактора. Първо, учениците вече имат известни знания за повечето от разглежданите понятия, което позволява сега вниманието да се разпредели по-равномерно между разширяването и задълбочаването на тези знания от една страна и разкриването и подчертаването на връзките между тях – от друга. Второ – при изучаването на електродинамиката на второ равнище способността на учениците да мислят абстрактно е значително по-голяма, отколкото при първото запознаване с електричните и с магнитните явления.

2. Фундаменталност на понятието от гледна точка на логиката

2.1. Въвеждането на йерархия в една система от понятия

От гледна точка на логиката въпросът за структурата на една система от понятия е ясен. В процеса на изграждане на всяка теория стремежът е "...с една или друга пълнота да се отрази йерархично организираната структура на абстрактните обекти в логически подредена система от понятия и твърдения. За целта обикновено се обособяват основни, неопределяеми и производни, определяеми понятия на теорията."⁷ По такъв начин в резултат от развитието на научното познание се открояват фундаменталните понятия, които придобиват смисъл на категории, тъй като по отношение на другите понятия от конкретната научна област изпълняват същата роля, каквато във философията изпълняват категориите.

Необходимостта от ясно обособяване групата на фундаменталните понятия се подчертава например в⁸: "Необходимо е да се осъзнае, че във физиката има два вида величини: едни, които се дефинират и други, които не се дефинират. Тези, които не се дефинират, представляват имена на преки сетивни възприятия, такива като преместване, време, сила. Тези, които се дефинират, имат определения във форма на комбинации от недефинирани понятия. Например скорост и ускорение се дефинират като комбинации от преместване и време." (Необходимо е да се обърне внимание върху терминологията на автора, която е различна от възприетата у нас – всички величини, с които работи физиката са добре определени. В приведения цитат очевидно става дума за понятия, а не за величини.)

Същата мисъл за наличие на особена група понятия се развива и в⁹: "Някои от идеите и понятията във физиката са основни... Физиците ги използват..., но те не могат

⁶ Ефименко В.Ф. *Методологические вопросы школьного курса физики*, М., Педагогика, 1976.

⁷ Рузавин Г.И. *Научная теория – логико-методологический анализ*, М., Мысль, 1978.

⁸ Gibson J.W. *Comment "On the definition of the electric charge"*, Am.J.of Phys., 40, 1972.

⁹ Rigden J.S. *Introductory Physics and the burden of the truth*, Am.J.of Phys., 55, 1987.

да ги облекат с разбиране,...не могат да ги сведат до думи по-основни, не могат да демонстрират физичен аргумент, който представя тези основни понятия като следствия."

За разкриване на фундаменталните понятия е необходимо в съвкупността от определения на всички понятия, влизащи в една система да се проследят родово – видовите връзки между тях. По този начин може да се въведе йерархия в съвкупността, като понятие, указващо родовата принадлежност на дадено понятие се счита за по-първични от последното. Ясно е, че по този път всички понятия може да се подредят в една йерархична пирамида по такъв начин, че колкото по-високо в нея се намира едно понятие, толкова по-първично е то. На върха на тази пирамида се намират понятията, за които *в рамките на дадената система* не могат да бъдат дадени родово – видови определения. Точно за тези понятия тук резервираме термина **фундаментални понятия**. (Въпросът с терминологията е по-сложен и разглеждането му ще бъде отложено за по-късно.)

И така, от *гледна точка на логиката*:

Фундаментални в една система понятия са онези, за които в рамките на системата не съществуват по-обща понятия, които могат да се използват като родови в определението им.

С други думи, ако разглеждаме системата от понятия в една частна наука или в една нейна теория (каквото е разглежданият случай), фундаментални понятия са тези, които играят ролята на частнонаучни категории. Стеснено и приложено за система физични понятия, това твърдение гласи, че от гледна точка на логиката:

Качеството фундаменталност 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 в неговото определение.

Макар че като цяло въпросът не е спорен, в литературата не винаги определението "фундаментален" се използва с достатъчно ясен логически смисъл. Така например в цитирания по нмер 5 източник се твърди, че "Има фундаментални понятия, които нямат строго научни определения (например – заряд)." Това твърдение трябва да се разглежда най-малкото като неясно, тъй като не е известно какво разбира авторът под "строго научно" определение. Доколкото логиката е наука, за понятието заряд може да се даде строго логично определение (т.е.такова, което указва както родовата принадлежност, така и видовите особености на определяемото понятие). Друг е въпросът, че в едно такова определение родовото понятие няма да бъде физично и в този смисъл определението не може да се разглежда като задоволително, т.е.разкриващо физическата същност на понятието.

Отделянето на специално внимание на фундаменталните за дадена теория понятия е необходимо условие за усвояването на цялата изучавана система от понятия – както като съвкупност, така и като структура. В това отношение казаното за обучението по математика¹⁰, че "В процеса на обучение такива понятия трябва специално да бъдат отделени, а вземането им за основни да бъде мотивирано." важи напълно и за обучението по физика. Тази необходимост от построяване на учебното съдържание на

¹⁰ Колягин Ю.М. и др. *Методика на преподаването по математика в средното училище*, С., Народна просвета, 1978.

основата на обособяването на фундаменталните понятия бе обоснована и реализирана в учебника за свободноизбираема подготовка по физика за 9.клас от 1989 г.

2.2. Относителност на фундаменталността на понятията

Фундаменталността на едно понятие е относителна в два аспекта. Тя е относителна преди всичко в исторически аспект – на даден етап от развитието на науката едно понятие може да играе роля на фундаментално, но на следващия – не. Типичният пример, който се посочва обикновено в случая, е понятието температура. В рамките на термодинамиката от началото на XIX 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 градусните частици на веществото – т.е. с понятия, известни от механиката. По подобен начин по-нататък ще разгледаме как 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 по-общата теория, обаче – в рамките на електродинамиката, токът вече не е фундаментално понятие, защото се свежда до движението на електричните заряди.

2.3. Структурата на понятийните системи и обучението по математика

Започвайки да изучават електродинамиката на второ равнище, учениците са отчасти подготвени в обучението по математика да възприемат структурирането на съвкупността от разглежданите понятия и отделянето измежду тях на фундаменталните. Така например още от 7. клас знаят, че процесът "на дефиниране на едно понятие чрез известни други понятия трябва да има начало. Започва се с понятия, които не могат да се дефинират, тъй като нямат предхождащи ги понятия. Затова тези понятия се приемат без да се дефинират. Те се наричат първични понятия. Всяко понятие, за което се дава определение, се нарича производно понятие."¹¹

По подобен начин в 9.клас, след като се изясни, че всяко ново понятие трябва да се определя чрез вече въведени понятия, се казва "Тъй като и този процес не може да бъде безкраен, ще има понятия (едно или няколко), които не могат да се дефинират, защото преди това не сме дефинирали нито едно понятие. Такива понятия се наричат първични."¹²

Фактът, че в обучението по математика се отделя толкова внимание на подобни, по същество методологични, въпроси, както и фактът, че измежду природните науки физиката е най-близо до нея, показват, че тенденция в развитието на обучението по физика трябва да бъде засиленото внимание към тях. При това обучението по физика е в по-изгодно положение, тъй като чрез обучението по математика учениците са подготвени достатъчно, за да възприемат и системата от понятия в електродинамиката, като при изграждането ѝ се следва същата схема на разсъждение, използвана и в математиката. Наблягайки върху аналогията с математиката следва да обърнем

¹¹ Кучинов Й. и др. *Геометрия за 7.клас на ЕСПУ* – I свитък, С., СУ "Св.Кл.Охридски", ФМИ, 1990.

¹² Станилов Гр. и др. *Геометрия за 9.клас на ЕСПУ*, С., Народна просвета, 1987.

внимание само на различието в терминологията – това, което в математиката се нарича първично понятие, във физиката наричаме **фундаментално понятие**.

3. Фундаменталността на понятията от гледна точка на физиката

За фундаменталните понятия на една частна наука е валидно това, което е валидно например за философските категории: и те, както категориите "...може да се определят само чрез установяване на такива отношения между тях, които биха отразявали обективно съществуващите отношения между явленията."¹³ Все в този смисъл на същото място същият автор отбелязва, че "Определянето на категориите извън тяхната система е безсмислена работа, водеща да 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."

Ясно е, че когато става дума за физична теория, като имаме предвид, че физиката е експериментална наука, установяването на въпросните отношения между нейните фундаментални понятия е проблем преди всичко експериментален. Поради тази причина приемаме, че от гледна точка на физиката:

Едно понятие е фундаментално, ако всички наши знания за свойствата на свързания с него обект са резултат единствено от систематизиране и обобщаване на експерименталните данни от изучаването му, т.е. не могат да намерят своето обяснение в рамките на теорията.

В подкрепа на едно подобно схващане на физическата страна на фундаменталността може да се приведе и казаното в¹⁴ за феноменологичността на физичните теории: "Всяка теория е в известна степен феноменологична. Това означава, че всяка теория съдържа величини, които тя не може да определи и които трябва да бъдат внесени в нея на основата на подходящи измервания." (к.м.).

Понятията, които не са фундаментални, очевидно не отговарят на формулираното по-горе условие. Така например с понятието потенциал в електростатиката се свързват разнообразни свойства (адитивност, намалява по продължение на една силова линия, описва се с хармонични функции в свободното от заряди пространство и т.н.), но всички те намират своето обяснение в рамките на тази теория.

Всичко казано дотук за произхода на нашите знания за фундаменталните понятия не бива да се смесва с въпроса за генезиса на самите понятия, защото¹⁵ "...изходните абстракции не се образуват по пътя на простото движение от конкретното, дадено в съзercанието, а предполагат сложна мисловна дейност, включваща в себе си издигане на хипотези, актове на идеализация и образуване на абстрактни обекти, създаване на математически модели, използване на вече натрупания запас от теоретични конструкции и т.н.". Цялата дейност на Фарадей и Максвел, довела до кристализирането на понятието поле е най-добрата илюстрация на този сложен процес.

Трябва да се отбележи, че в литературата по методика на обучение на физиката нерядко се смесват логичната и физичната страна в определенията на понятията. Типично в това отношение е твърдението, че "...във всеки раздел на физиката има

¹³ Копнин П.В. *Философские идеи В.И.Ленина и логика*, М., Наука, 1969.

¹⁴ Rohrlich F. *Classical Charged Particles*, Addison – Wesley publishing company inc., Reading, Massachusetts, Syracuse, N.Y., 1964.

¹⁵ Баженов Л.Б. *Строение и функции естественнонаучной теории*, М., Наука, 1978.

величини, които са първични, изходни. Естествено, те не могат да бъдат определени по логичен път, тъй като въвеждайки изходните величини, ние нямаме други величини, чрез които бихме могли да ги определим."¹⁶ Като оставим настрана смесването на термините "величина" и "понятие", трябва да отбележим, че по логичен път тези понятия могат да бъдат определени, не може да им се даде задоволително от физична гледна точка определение.

При изучаване понятията, които в математиката се наричат първични, се разчита на интуицията, на жизнения опит, на нагледността (в геометрията напр.). При повечето от понятията, обаче, които са фундаментални за различните физични теории жизненият опит и интуицията не допринасят (или допринасят малко) за тяхното определяне, не дават възможност да възникнат "от само себе си". Такъв, както ще стане ясно по-долу, е случаят и с фундаменталните понятия в електродинамиката. Тези понятия, в случая електричен заряд и електромагнитно поле, възникват и се обогатяват само в резултат на експерименталните изследвания и тази съществена разлика от математиката трябва да бъде добре очертана при изграждане на представите за тях.

4. Избор на фундаментални понятия в електродинамиката

Във физичната литература, още повече в литературата по методика на физиката, няма единство по въпроса кои понятия в електродинамиката следва да се смятат фундаментални. Причина за това е може би недостатъчното внимание, което се отделя на въпроса за критерия за фундаменталност. Редица автори, които отделят внимание на въпроса за фундаменталните понятия, посочват като такова **само** понятието електромагнитно поле. Така например от твърдението¹⁷ "Решението на общообразователните задачи в основном се свежда до това, че в дадения раздел трябва да се въведе основното за съвременната физика понятие електромагнитно поле, а също физичните понятия: електричен заряд, електромагнитни трептения, електромагнитна вълна и скоростта \dot{y} ." следва, че авторът разглежда зарядът като понятие от ранга на понятието електромагнитно трептене и далеч под ранга на понятието поле. Други автори като второ фундаментално понятие посочват и понятието електричен заряд. Това убедително личи например в¹⁸:

"Електричният заряд е повече от всичко друго признат като друга недефинирана величина. Зарядът може да се открие чрез опити и чрез една операционна процедура може да му се съпостави число. Зарядът може да се използва в определенията за други величини..., но сам по себе си остава недефинирана величина, регистрирана чрез сетивните възприятия, получени в опитите."

Изхождайки от формулираните по-горе критерии за фундаменталност както от логична, така и от физична гледна точка, ние се присъединяваме към тези, които считат, че **фундаменталните понятия в електродинамиката са две – електричен заряд и електромагнитно поле**. Наистина, нито едно от изброените по-нататък свойства на електричния заряд (с изключение на запазването му) не може да се изведе от уравненията на Максвел, които определят в количествено отношение електромагнитното поле.

Един преглед на учебната литература (не само за средните училища) показва, че съзнавайки фундаменталността на заряда и полето, като правило авторите избягват да изказват за тях твърдения, които имат формата на дефиниции. А когато подобни

¹⁶ Мошчански В.Н. *Формиране на мироглед у учащите се при изучаване на физика*, С., Народна просвета, 1977.

¹⁷ *Методика преподавания физики в средней школе*, под ред. С.Е.Каменецкого и Л.А.Ивановой, М., Просвещение, 1987.

¹⁸ Gibson J.W. Comment "On the definition of the electric charge", Am.J.of Phys., 40, 1972.

твърдения фигурират, не е трудно в тях да се види, че те само подчертават фундаменталността на заряда и полето. Пример в това отношение е твърдението "Зарядът е характеристика на частиците, която определя способността им да участват в електромагнитни взаимодействия.". Ясно е, че родовото понятие в това определение – понятието "характеристика", не е физично понятие – тук то е употребено в неговия общонаучен (ако не и в житейския му) смисъл.

По аналогичен начин стоят нещата и с понятието поле. Анализът на твърденията, които по един или друг начин целят изясняване смисъла на това понятие показва, че в тях ролята на родови понятия играят термини като "материален обект", "носител на новите свойства в пространството", "особена форма на материята" и др.п., нито едно от които не може да претендира да обозначава физично понятие.

По такъв начин се вижда, че наистина всички опити да се даде определение за заряд или поле, макар и логически издържани, не разкриват физическата същност на понятията, което само подчертава тяхната фундаменталност.

Накрая, значението на обособяването на електричния заряд и на електромагнитното поле при изучаването на електродинамиката в особена група на фундаментални понятия се обуславя и от факта, че самите понятия заряд и поле не са специфични само за електродинамиката – те са понятия общофизични, които лежат в основите не само на класическата, но и на съвременната физика. Усвоявайки смисъла на тези понятия при изучаване на електромагнитните явления, ученикът се подготвя по-добре за разбиране ролята на масата в гравитационните взаимодействия, на цвета на кварките в силните взаимодействия, за възможността за описване на гравитационните сили посредством гравитационно поле и т.н.

5. Електричният заряд като фундаментално понятие

5.1. Заряд–свойство и заряд–характеристика

Както бе вече отбелязано, поради фундаменталността на понятието, задоволително от гледна точка на физиката определение за електричен заряд **по принцип** не може да бъде дадено. Това, разбира се, не означава, че не може да се дадат определения, които са издържани от гледна точка на логиката и един пример за това бе вече приведен. В литературата (научна, учебна, справочна) се срещат разнообразни определения за електричен заряд, които могат да бъдат разделени в две големи групи. В първата от тях като родово за електричния заряд се използва понятието свойство. В литературата на руски език този факт е кодифициран: според терминологията на теоретичната електротехника, разработена в АН СССР¹⁹:

"Електричният заряд е свойство на частиците на материята или на телата, характеризиращо взаимовръзката със собственото им електромагнитно поле и взаимодействието с външни полета...".

На тази вече "законова" основа в учебната и в методическата литература на руски език зарядът се разглежда именно като *свойство* на телата и частиците.

Подобни определения се срещат и в английската, и в немската литература. За илюстрация посочваме две от тях. Така например в²⁰ зарядът се определя като "основно свойство на елементарните частици, изграждащи материята" (basic property). По подобен начин в²¹ зарядът също се определя като "основно свойство" на материята (Grundeigenschaft).

¹⁹ Методика преподавания физики в средней школе, Под ред.С.Е.Каменецкого и Л.А.Ивановой, М., Просвещение, 1987.

²⁰ Mc Graw-Hill Dictionary of Physics and Mathematics, N.Y.,1978.

²¹ Brockhaus ABC der Naturwissenschaft und Technik, Leipzig, 1961.

Следва да се отбележи, че в тези случаи терминът "свойство" се използва в неговия най-широк смисъл, а именно, като²² "страна на предмета, която обуславя неговото различие или сходство с други предмети и се проявява във взаимодействието с тях.". Това е смисълът, например, в който се твърди, че движението е атрибут, т.е. свойство на материята.

Наред с тази, съществува една втора голяма група определения, в които зарядът се определя като характеристика или направо – като физична величина. Така например в²³ в определението за електричен заряд се използва терминът "вътрешна характеристика на елементарните частици". В²⁴ се използва още по-тясно определение и зарядът се дефинира направо като "величина, определяща...". Последното издание на Физическая енциклопедия²⁵ дава определение за заряд, в което термините "физична величина" и "характеристика" се употребяват като синоними:

"Зарядът е физична величина, източник на полето, посредством която се осъществяват взаимодействията на частиците, притежаващи тази характеристика."

Този преглед на най-типичните определения за електричен заряд показва, че в тях в качеството на родови понятия се използват най-вече три – понятията свойство, характеристика и физична величина. Както ще стане ясно по-долу, трите типа определения не са равностойни и изясняването на разликите между тях ще направим на два етапа.

Нека първо разгледаме съображения, които могат да помогнат в избора измежду двата термина "характеристика" и "величина". Строго погледнато, понятието характеристика е по-общо от понятието физична величина, защото всяка величина представлява в същото време и характеристика, без обратното да бъде вярно. (Така например една от характеристиките на дадено вещество е неговият мирис, но няма величина, която да се съпостави на тази характеристика.) Тази разлика, обаче, едва ли може да бъде направена в училище (и едва ли си струва да се полагат усилия да бъде правена). За нуждите на училищната практика може би е оправдано отъждествяването на двете понятия, поради което ние възприемаме смисловата еквивалентност на термините *характеристика* и *физична величина*. В областта на учебния предмет физика подобно отъждествяване е оправдано още повече, тъй като в качеството си на точна наука физиката борави с количествени съотношения и се стреми на всяка характеристика в крайна сметка да съпостави конкретна физична величина.

Въпреки въпросното отъждествяване, обаче, и въпреки, че в училищната практика терминът "физична величина" е много по-широко застъпен, за случая с определението на електричния заряд смятаме по-уместен термина "характеристика". Причина за такова предпочитание е фактът, че заедно с него се указва и характеристика на какво е зарядът – на телата и частиците. (В другия случай, когато се казва "зарядът е физична величина, която характеризира способността на телата и частиците..." отношението "заряд – тяло" отново е изявено, но по-непряко.) Именно поради тези съображения ние настоявахме и в нашата учебна литература за средното училище в последните години се възприе определение за заряда като характеристика на телата.

Все още, обаче стои въпросът за избор на родово понятие в определението за електричен заряд между "свойство" и "характеристика". От приведените по-горе цитати се вижда, че единство в терминологията в това отношение няма. Докато, обаче, дилемата "характеристика – величина" е терминологична, според нас проблемът "свойство – характеристика" е по-дълбок. Изясняването на проблема, обаче, се

²² *Философски речник*, С., Партиздат, 1985.

²³ *Физический энциклопедический словарь*, М., Советская энциклопедия, 1984.

²⁴ *Советский энциклопедический словарь*, М., Советская энциклопедия, 1980.

²⁵ *Физическая энциклопедия*, 2, М., Советская энциклопедия, 1990.

затруднява от едно случайно обстоятелство – от това, че и понятието, в което се отразява обсъждания обект, и съответната физична величина, се обозначават с един и същ термин – с термина *заряд*. За да бъде ясна позицията ни трябва да се има предвид, че когато говорим за понятие, ние разбираме понятието като мисловен образ на обекта, който е отразен в него, а когато говорим за физична величина, имаме предвид съответната количествена характеристика на този обект.

От гледна точка на науката разграничение би могло да се направи сравнително лесно: когато трябва да се "определи" фундаменталното понятие електричен заряд, като родово се използва понятието свойство, а когато се определя характеристиката електричен заряд, като родово понятие се използва понятието величина. С други думи твърдейки, че зарядът е свойство и т.н., ние имаме предвид фундаменталното понятие електричен заряд, а когато казваме, че зарядът е характеристика, ние имаме предвид количествената мярка на това свойство. Разликата би могла да се направи още по-ясна ако се смята, че само терминът "електричен заряд" означава не физична величина, а физични величини са например "електричният заряд на конкретно тяло", "плътността на електричния заряд" и др.п. характеристики, които се въвеждат за описание на разпределението на зарядите в пространството. Разбира се, ние не сме поддръжници на идеята въпросното смислово разграничение да се прави в училище, но по принцип то следва да се има предвид. (Подобно неудобство в случая с другото фундаментално понятие на електродинамиката не съществува, тъй като на понятието електромагнитно поле и на характеристиките му (E, B) съответстват различни термини.)

И така, връщайки се отново към двете възможности за избор в определението за електричния заряд (заряд–свойство или заряд–характеристика), ще подчертаем още веднъж, че приемаме следното разграничение:

Когато зарядът се определя като свойство, се има предвид зарядът като фундаментално понятие, когато зарядът се определя като характеристика, се има предвид зарядът като физична величина.

На кой от двата вида определения следва да се отдаде предпочитание в училищната практика? За да отговорим на този въпрос трябва да отчетем няколко обстоятелства. Преди всичко в българския език думата "свойство" се използва и в един по-тесен от използвания тук до сега смисъл. Езиково той може да бъде разпознат по това, че с всяко конкретно свойство (като термин) може да бъде образувано изречение със следната конструкция: "(терминът) – е свойството на ...да (глагол) + (останалата част на изречението)". Като най-прости примери бихме посочили няколко от областта на физиката:

Еластичност е свойството на телата да възвръщат формата си след деформация.

Електропроводност е свойството на веществата да провеждат електричен ток.

Адитивност е свойството на зарядите q_1 и q_2 да взаимодействат с останалите като един заряд $q = q_1 + q_2$, когато бъдат поставени на едно място.

Очевидно е, че примерите, илюстриращи това схващане за употребата на термина "свойство" могат да се множат почти неограничено. В училище този термин се използва тъкмо в този му по-тесен смисъл. От тази гледна точка вече е трудно електричният заряд да се схваща като свойство на телата, тъй като с него не може да се конструира твърдение от горепосочения тип. Телата имат свойство да си взаимодействат (при определени условия) с електрични сили, а зарядът само характеризира това свойство.

Разглеждането на заряда като свойство поражда и едно чисто смислово неудобство, тъй като за децата в училище не е ясно може ли едно свойство като такова, самото то да притежава свойства. А именно този въпрос възниква, ако кажем, че зарядът е свойство на телата, защото по-нататък, изучавайки това "свойство", стигаме до извода, че зарядът е адитивен, т.е. притежава свойството адитивност и в края на краищата излиза, че "адитивността е свойство на свойството електричен заряд". Явно е, че подобна конструкция не може да доведе до нищо друго освен до объркване. И ако адитивността не винаги се споменава експлицитно, то свойството на заряда да се запазва е измежду задължителните елементи на учебното съдържание и в този случай проблемът възниква неизбежно.

Накрая, използването на термина "свойство" в определението за електричен заряд внася известно неудобство, произтичащо от това, че един и същи термин веднъж се използва за обозначаване на свойството, а втори път – в качеството на количествена характеристика на това свойство, т.е. – като физична величина.

Приведените съображения показват, че въвеждането на заряда като свойство в училище е свързано с определени неудобства. Освен това при решаване на въпроса кой от двата типа определения да се възприеме следва да се отчитат и две други немаловажни обстоятелства. Преди всичко дори за най-големите ученици, които имат специален интерес към физиката, разликата между заряд като свойство и заряд като характеристика ще остане извън кръга на разбираемото. Най-вероятно е необходимостта от подобно различаване да изглежда за тях немотивирана. От друга страна, потяното разглеждане на заряда – като характеристика, не води до никакви противоречия. Като отчитаме и тези обстоятелства, стигаме до заключението, че всички посочени неудобства отпадат, ако в училище по начало зарядът се определи не като свойство, а като характеристика на свойството на телата да си взаимодействат с електрични сили (или по-кратко – като характеристика на телата). Това в крайна сметка означава отказ в училище да се прави разлика между понятието електричен заряд и физичната величина електричен заряд.

5.2. Видови особености на понятието електричен заряд

Дотук се занимавахме 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 сложен. Сложността произтича от невъзможността да се разкъсат, да се разглеждат поотделно определенията за двете фундаментални понятия заряд и поле, тъй като, както бе отбелязано при разглеждане на физическия смисъл на фундаменталността, фундаменталните понятия могат да се определят само чрез разкриване на отношенията между тях. Този факт се демонстрира например от цитираните по-горе енциклопедични определения за заряд, в които фигурира и понятието поле. Отношенията заряд – поле ще бъдат коментирани по-пълно при разглеждане на въпроса за фундаменталността на полето. Тук ни занимава само въпросът, представляващ чисто дидактически интерес: *как да се избегне необходимостта при първото запознаване с електричните заряди да се използва понятието поле*. Отговорът на този въпрос е отдавна утвърден от училищната практика – като за опора се използват житейски знания и лесно наблюдаеми явления. Именно поради това изучаването на електростатиката започва с демонстриране явлението наелектризиране на телата, наличието на електрични сили и т.н., за да се достигне до необходимостта от въвеждане на характеристика на телата, която позволява да се оцени способността им да пораждат и изпитват действието на такива сили. По такъв начин при изясняване видовите особености на понятието заряд

се използват именно тези предварително въведени или познати от житейската практика понятия като наелектризиране, електрична сила и пр.

5.3. Зарядът като физична величина

Като се имат предвид направените по-горе терминологични уточнения, на различията между физичната и логичната страна в определенията за електричен заряд може да се погледне и от друг ъгъл. Всъщност, и в случая става дума за обсъжданата вече разлика между заряда като понятие и на заряда като физична величина. Когато твърдим, че няма физически удовлетворително определение за заряд, ние имаме предвид заряда като такъв, понятието за заряд. Всяко от логически издържаните определения, в които той се определя като характеристика е фактически определение за величината електричен заряд. Или по-скоро – в тези определения само се утвърждава, че на всяко тяло може да се съпостави величина, която определя способността му да участва в електромагнитни взаимодействия, без да се указва алгоритъм за получаване стойността на тази величина. С други думи – тези определения не съдържат операциите, процедурата, която се споменава в работата, упомената в бележката под линия с номер 18, а само утвърждават съществуването на такава процедура.

Операционно определение за заряд може да се даде само на основата на определена количествена зависимост, в която фигурира величината електричен заряд. Както е добре известно, такава зависимост е законът на Кулон. Тази страна на закона, обаче, в която той утвърждава съществуването на величината заряд, възможността на всяко тяло да се съпостави число, което определя способността му да участва в електромагнитни взаимодействия, обикновено в процеса на обучение в училище остава скрита. При първото запознаване със закона това е оправдано – не бива вниманието на учениците да се разсейва между множество факти, защото това затруднява степенуването им по важност и оттам – трайното им овладяване. Поради това на въпроса за значението на закона на Кулон като утвърждаващ наличието на величина електричен заряд следва да се обърне внимание в следващия етап на изучаване електромагнитните явления, когато знанията се задълбочават и систематизират на по-високо равнище. На необходимостта от това се указва например в²⁶. Тогава вече е възможно да се обърне внимание и на факта, че само след тази дефиниция на величината заряд, която се съдържа в закона на Кулон, може да се говори за свойства на зарядите.

Методическата страна на въпроса за дефинирането на величината електричен заряд и за разглеждането на някои нейни свойства бе разработена в²⁷. В нея, наред с другото, се указва къде в рамките на структурата на нашето обучение да се намери място, за да се покаже на учениците как чрез измерване на силите, с които си взаимодействат три заряда, може да се определи зарядът на всяко от тях.

5.4. Свойства на електричния заряд

След като величината електричен заряд е определена количествено, може да се поставя и въпросът за нейните свойства. Както бе вече отбелязано, от физична гледна точка фундаменталността на понятието електричен заряд се изразява в това, че ние познаваме редица негови свойства, които се установяват само експериментално, т.е. сега нямат теоретично обяснение. Този факт рефлектира, разбира се, и върху свойствата на характеристиката, която съпоставяме на това понятие, т.е. върху свойствата на величината електричен заряд. От тази гледна точка като свойства на заряда е подходящо да се представят следните:

²⁶ Nicola M. *On the definition of the electric charge*, Am.J.of Phys., 40, 1972.

²⁷ Попов Хр. *Още веднъж за електричните заряди*, Математика и физика, 1, 1975.

1. Електричните заряди са два вида – положителни и отрицателни.
 2. Няма безмасови заредени частици.
 3. Зарядът не зависи от скоростта на тялото.
 4. Съществува елементарен 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 на два заряда не зависи от наличието на други около тях.
- (Едва през последните десетилетия, при разработване на калибровъчните теории на взаимодействията между елементарните частици, се разкри, че не всички от изброените свойства са независими едно от друго.)

Осмислянето на тези свойства в училище се осъществява най-лесно при съпоставянето им със свойствата на зарядите, определящи другите фундаментални взаимодействия в природата. Така например масата (гравитационният заряд) е само един вид (положителна), зависи от скоростта, не е адитивна, не съществува елементарна маса и т.н. Цветовите заряди на кварките пък са три вида, т.е. силното взаимодействие има три вида заряди и т.н. Именно при подобни съпоставки, при изтъкване тези различия в свойствата на различните видове заряди става ясно, че наистина в случая става дума за експериментални факти, а не за нещо, което следва например от теоретични съображения.

Излагането на гореизброените седем твърдения именно в качеството им на *свойства* на зарядите не е неоспоримо. Обикновено в учебната и в методичната литература, в която се засяга този въпрос, като свойства на зарядите се изброяват само някои от тях (най-често се пропускат посочените по-горе с номера 2, 3 и 5, а тези с номера 6 и 7 не се причисляват директно към свойствата). В най-типичния случай като свойства на зарядите се посочват само тези с номера 1 и 4, адитивността се подразбира, а законът за запазване на заряда и принципът на суперпозицията (номер 7) се формулират не като свойства на зарядите. От тази гледна точка посочената система има известни претенции за пълнота.

Въпросната съвкупност от свойства е оспорима и терминологично. Така например в²⁸ подобни свойства на електричните заряди се наричат "фундаментални закони". Не е трудно освен това в твърдението, формулирано под №6 да се разпознае закона за запазване на електричния заряд. Поднасянето на този закон като свойство на зарядите, обаче, не е методическа новост²⁹.

Последното от седемте свойства по същество съдържа принципа на суперпозицията в електродинамиката и понякога терминологично се отъждествява с него. Формулирането на това свойство като един от резултатите на експерименти със заряди притежава следното преимущество. Известно е, че в механиката като принцип на суперпозицията учениците изучават твърдението, че общата действаща на едно тяло сила е векторна сума от отделните действащи му сили. Ако при изучаване на електродинамиката принципът на суперпозицията се формулира както в³⁰:

"Силата, която изпитва един точков заряд, е векторна сума от електростатичните сили, с които му действат всички останали заряди. Поотделно тези сили не зависят от това дали присъствуват, или не други заряди.",
това пречи на учениците да разграничат смислово двата принципа – тъй като те не обръщат достатъчно внимание на втората част от цитираната формулировка (която в случая е съществената), остават с впечатление за идентичност между двата принципа

²⁸ Астахов А.В., Ю.М.Широков *Курс физики II, Электромагнитное поле*, М., Наука, 1980, т.2.

²⁹ Вольштейн С.А. *Элементы Максвелловской электродинамики в школе*, Минск, Народная асвета, 1973.

³⁰ Борисов М. и др. *Физика за 10. клас на общообразователните трудово-политехнически училища*, С., НП, 1972.

(още повече, че за това са подведени и от еднаквите им названия). От същия недостатък страда и другата често срещана формулировка на принципа:

"Силата, която действа на един заряд е векторна сума от кулоновите сили, с които му действат останалите заряди."³¹

И в нея съществената за електродинамиката част – определението на силите като *кулонови*, т.е. като такива, които се определят именно чрез закона на Кулон, не изпъква достатъчно.

И така, възниква въпросът оправдано ли е твърдения, които учениците могат да срещнат квалифицирани например като закони (или дори принципи) да се излагат тук в качеството на свойства на обекта електричен заряд? Нашето схващане е, че от дидактична гледна точка подобно изложение е оправдано, тъй като то опростява структурата на знанията по електродинамика. Наистина, при традиционното структуриране на учебния материал електростатиката се гради върху закона на Кулон, закона за запазване на електричния заряд, принципа на суперпозицията и другите свойства на зарядите. Сега, с причисляване на закон за запазване на заряда и на принципа на суперпозицията към свойствата на зарядите се оказва, че всеки електростатичен проблем може да се реши само чрез закона на Кулон при отчитане на тези свойства. Подобно опростяване, разбира се, способства за по-лесното усвояване на материала.

В полза на предложението закони и принципи при определени обстоятелства да се представят например като свойства говори и липсата на определена физична терминология в това отношение. Както се отбелязва³²: "В естествените науки понякога различават принципи от закони. Според нас основанията за такова различаване са лишени от достатъчно ясна логическа база. Обикновено под принцип се разбира някое общо изходно положение на теорията, задачата за обосноваването на което излиза извън рамките на дадената теория... Терминологията в тази част от физичната наука не може да се счита окончателно установена."

Разбира се, запознаването със свойствата на зарядите в училище се осъществява поетапно. Най-простите (например тези с номера 1, 4, 5 и 6) се изучават още при първоначалното изучаване на електромагнитните взаимодействия, принципът на суперпозицията влиза за сега в учебното съдържание за 9. клас на второ равнище, а независимостта на заряда от скоростта се дискутира при изучаване специалната теория на относителността.

За изграждане на пълна картина за свойствата на заряда, обаче, е необходимо в рамките на преговорно-обобщителните уроци да се разгледа още веднъж системата от свойства в нейната цялост, за да се закрепят в съзнанието на учениците именно като такава. При това може да се отбележи, че разглеждането на второто свойство (че няма безмасови заряди) не следва да се разглежда като задължително, тъй като в училищния курс няма въпрос, чието изясняване изисква познаване на това свойство. (То е необходимо когато например се прави баланс на енергиите в една област, в която протичат нестационарни процеси и трябва да се отчитат промените на кинетичните енергии на заредените частици – например при разглеждане на въпросите на излъчването на електромагнитни вълни и др.п.) В цялост въпросът за свойствата на електричния заряд може да бъде разгледан в рамките на часовете за обобщение на знанията за електромагнитното поле, която се предвижда в програмата за свободноезбираема подготовка по физика в 9. клас и е развита в съответното помагало³³.

³¹ Bueche F.J. *College Physics*, McGraw-Hill Book comp., N.Y., 1989.

³² Горский Д.П. *Проблемы общей методологии наук и диалектической логики*, М., Мысль, 1966.

³³ Попов Хр. и др. *Физика – учебно помагало за свободноезбираема подготовка по физика в 9. клас на ЕСПУ*, С., Народна просвета, 1989.

С казаното дотук смятаме въпроса за свойствата на величината електричен заряд, изчерпан. Трябва да се има предвид, обаче, че освен като величина зарядът има смисъл и на свойство, и този смисъл, както вече бе отбелязано преди, може да се разкрие само при едновременното разглеждане на двете фундаментални за електродинамиката понятия – заряд и поле. Свойствата на заряда, разбираан в този смисъл, се разглеждат в 6.2, където се разкрива отношението заряд – поле. Това всъщност означава, че с изброените седем свойства не приключва изучаването на заряда – представата за него се гради постепенно.

6. Електромагнитното поле като фундаментално понятие

От дидактична гледна точка всяка теория е ценна със своята евристичност. Евристичността на една теория може да се повиши чрез усъвършенстване на нейния понятиен апарат. Като типичен пример в това отношение обикновено се сочи въвеждането на понятието поле във физиката, което скокообразно повишава евристичността на теорията на електромагнитните явления. "Въвеждането на това понятие дава възможност да се направят предсказания за количествените закономерности, свързващи електричното поле и магнитното поле. Прилагането на идеализиращ експеримент към тези съотношения дава възможност на Максвел да сформулира уравнения, изразяващи структурата на полето." (вж. бел. 17). Този факт намира отражение и в учебното съдържание – при изучаване на електродинамиката на второ равнище, в 11. клас³⁴ основните закони на теорията вече се формулират като закони за съответните полета, т.е. като връзки между характеристиките на източниците на полето и характеристиките на самото поле.

Известно е, че за *описание* на електромагнитните взаимодействия са възможни два подхода, опиращи се съответно върху *принципа на далечното действие* и върху *принципа на близкото действие*. Според водещата началото си от Нютон версия на **принципа на далечно действие** (или действие от разстояние), **взаимодействието на зарядите в даден момент се определя напълно от моментното им разпределение и от моментните им скорости**, а това вече предполага разпространение на взаимодействието с безкрайно голяма скорост.

За създаването на Максвеловата електродинамика роля на теоретична предпоставка изиграва принципът за близкото действие, според който "...всички електромагнитни явления в дадена точка на пространството могат да бъдат определени напълно от явленията, протичащи в съседните точки на пространството."³⁵ Една по-пълна формулировка на този принцип би добавила още изискването електромагнитните явления в даден момент да се определят само от явления, протичащи в съседните моменти на разглеждания. Изразен с по-абстрактни термини, принципът на близкото действие утвърждава, че електромагнитното взаимодействие е *локално*.

Конкретна реализация на принципа на близкото действие е полевият подход, в който полето се въвежда в качеството на посредник на електромагнитното взаимодействие на зарядите във вакуум. С въвеждането на полето равноправието между взаимодействащите заряди, което се утвърждава със закона на Кулон се нарушава. Както се отбелязва³⁶, въвеждането на електромагнитното поле "разделя понятиено източниците на полето от пробните тела, върху които действат електромагнитни сили. Ако различни разпределения на зарядите създават в дадена точка едни и същи E и B , силите, които действат върху един заряд или ток в тази точка

³⁴ Попов Хр., Т. Сугарев, Др. Иванов *Физика за 11. клас на СОУ, Електродинамика*, С., Просвета, 1992.

³⁵ Коноплева Н.П. *Максвел и современные теории поля*, в сб. "Максвел и развитие физики XIX–XX веков", под. ред. на Л.С. Полак, М., Наука, 1985.

³⁶ Jackson J.D. *Classical Electrodynamics*, Second Ed., John Wiley&Sons, N.Y., 1975.

ще бъдат еднакви, независимо от различията в разпределението на източниците. Това придава на E и B във формулата $\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$ самостоятелен смисъл, независим от източниците."

По такъв начин с въвеждането на концепцията за полето вече се различават две страни във взаимодействието – активната страна в него са зарядите (и токовете), които създават полето, неговите източници, а пасивната страна са зарядите (и токовете), които изпитват определени механични въздействия от страна на полето. И точно фактът, че тези механични въздействия се определят напълно от характеристиките на полето в момента и на мястото, където се намира един "пасивен" заряд показва, че полевият подход наистина съответства на принципа на близкото действие. (Тук ние избягваме използването на термина "пробен" заряд (или ток) поради това, че пробният заряд е по определение достатъчно малък, за да не предизвиква промяна в разпределението на източниците на полето. За разлика от него пасивният заряд може да бъде с произволна големина, тъй като ние разглеждаме взаимодействия във вакуум и разпределението на източниците се счита зададено, без да се обръща внимание на проблема как може да се осъществи това.) Както ще покажем по-късно, това принципно разделение на зарядите на два вида е съществено за обосноваване използването на полевия подход в училище.

6.1. За "определенията" на понятието поле

Вече бе отбелязано, че, първо, всички автори, които се занимават с въпроса за класификацията на понятията във физиката, отнасят електромагнитното поле към фундаменталните понятия и, второ, че поради това не може да му се даде съдържателно от физична гледна точка определение. Разбира се, в учебната литература при въвеждането на това понятие въпросът за неговото определение не може да се заобиколи, така че авторите винаги привеждат едно или няколко твърдения, които имат структурата на дефиниции и служат поне за начално изясняване смисъла на понятието. За разлика от случая с първото фундаментално понятие – електричният заряд, където възможностите за избор на родово понятие са три (свойство, характеристика, величина), тук разнообразието е по-голямо. (Тъй като запознаването с електромагнитните взаимодействия започва с частния случай на електростатичните, първите определения са не за електромагнитно, а за електрично (или електростатично) поле.) Ние ще приведем няколко примера само от учебната литература за средните училища.

Вероятно като далечен отглас от силното някога немско влияние върху нашето обучение по физика, у нас допреди няколко десетилетия като родово понятие в определенията за поле се използва понятието пространство, т.е. полето се разглежда като *част от пространството*, в което на внесените заряди действат електрични сили. Подобен подход намира отражение не само в учебниците за средното училище, но и в университетската литература. Тази традиция се е запазила и в много съвременни немски учебници. Първоизточник на тези определения е самият Максвел, според който "Електромагнитното поле – това е онази част от пространството, която съдържа в себе си и огражда телата, които се намират в електрично или в магнитно състояние."³⁷ За Максвел, обаче, пространството е запълнено с етер, посредством който взаимодействието се предава от точка в точка, а известно е, че, след създаването на специалната теория на относителността, етерът изпадна от понятийния апарат на физиката.

³⁷ Максвелл и развитие физики XIX - XX веков, Отв.ред. Л.С.Поллак, М., Наука, 1985.

Малко по-опосредствена е връзката поле – пространство в твърдението, че полето "описва особено състояние на пространството"³⁸. Твърде рядко в немската литература тази връзка се разкъсва и полето се разглежда като "среда", която посреднички на отдалечените заряди да взаимодействат."³⁹.

Доколкото от гледна точка на науката физика е ясно, че полето не е пространство, ние няма да се спираме на тези определения и само можем да изразим съжалението си, че не разполагаме с немска методическа литература, в която да се проследят съображенията на немските методици, поради които се придържат към подобен подход.

Схващането за полето като пространство намира отражение и в съветската методическа литература, което се вижда например от следния цитат⁴⁰: "Пространството между телата...играе съществена роля в предаването на тези взаимодействия...То е наречено "електрично поле"...". (Същият автор, обаче, е в противоречие сам със себе си, като твърди още, че "видът материя, посредством който взаимодействат електрически заредените тела, се нарича електрично поле.". Така полето се оказва едновременно и "пространство", и "вид материя".)

Една немалка група автори избягва да посочи родово понятие за понятието поле. Така например в⁴¹ се казва "Присъствието на зарядите променя физичните свойства на пространството в т. А. Казва се, че в А съществува електростатично поле." По подобен начин в⁴² авторите, без да казват какво е поле, се задоволяват с посочване на критерий за откриването му: "Електрично поле съществува във всяка точка на пространството, където на един пробен заряд действа електрична сила."

От научна гледна точка най-правилен е подходът, използван в⁴³, където полето се разглежда като "много полезен модел за обясняване на статическите ефекти." По-долу, обаче, ще приведем аргументи, които показват нецелесъобразността му в условията на нашата училищна практика (вж. 6.3.1).

Авторите на учебници на руски език рядко свързват понятието поле с някакво родово понятие. (Едно от малкото изключения в това отношение се намира в⁴⁴, където в качеството на такова е използвано понятието "передатчик" на взаимодействието между зарядите. Най-удачният еквивалент на български очевидно е посредник, а не "предавател".) Така например в най-разпространения учебник⁴⁵ просто се заявява, че всеки заряд "създава в околното пространство електрично поле. Полето на единия заряд действа на другия заряд и обратно." Дори в следващата рубрика, озаглавена "Какво представлява електричното поле?" липсва директен отговор на поставения въпрос. В традициите на съветската методика, обаче, се отделя доста място за твърдения относно реалното съществуване на полето, неговата материалност, т.е. независимото му съществуване от нас и знанията ни за него.

По същество същият подход се използва и в нашите учебници от последните двадесетина години. Изхождайки от съображението, че за фундаментално понятие не може да се даде съдържателно от физична гледна точка определение, в нашите учебници от 80-те години е възприет подход, при който не се посочва директно родово понятие за полето. Вече бе отбелязано, че от научна гледна точка е най-правилно

³⁸ Beyer J.u.a. *Physik 12*, Berlin, Volk und Wissen, 1981.

³⁹ Kuhn W. *Physik*, б.ПИС, *Felder und Ladungen*, Braunschweig, Westermann, 1976.

⁴⁰ Ерунова Л.И. *Урок физики и его структура при комплексном решении задач обучения*, М., Просвещение, 1988.

⁴¹ Degurse A.-M. et all. *Physique*, premieres s/e, Paris, Hatier, 1988.

⁴² Bueche F.J. *College Physics*, McGraw-Hill Book comp., N.Y., 1989.

⁴³ Суорц К.Э. *Необыкновенная физика обыкновенных явлений*, ч. 2, М., Наука, 1987.

⁴⁴ Кикоин А.К. и др. *Физика для 9 класса средней школы*, М., Просвещение, 1979.

⁴⁵ Мякишев М., Б.Буховцев *Физика, учебник для 10. класса средней школы*, М., Просвещение, 1990.

електричното поле да се разглежда като модел, но следва да се има предвид, че учебникът (вж. бел. 43) е предназначен за колежи, където обучението е на значително по-високо равнище, отколкото това на общозадължителната подготовка у нас. На това по-високо равнище има възможност да се обясни защо за статичните и стационарните полета полето е само модел, а реално съществуващият обект е само електромагнитното поле, докато у нас тази възможност липсва. Поради това ние сме принудени да бъдем крайно предпазливи в твърденията си и да градим понятието поле постепенно.

Това, обаче, което считаме за правилно, и което не сме успели още да наложим в учебната литература е да не се избързва и да не се акцентува твърде много върху твърдения за материалността на полето, за това, че то е "особен вид материя" и за реалното му съществуване. Простото методическо съображение за това е, че в рамките на електростатиката те остават с нищо не подкрепени декларации, а освен това могат да доведат и до неправилни представи. (Типичен пример за подобна неправилна представа намираме в книгата, визирана в бел. под линия с номер 17, където се твърди буквално, че "Електромагнитното поле е съвкупност от взаимно свързани и пораждащи се едно друго променливи електрични и магнитни полета.". Че цитираното не е случайно личи и от това, че същият автор говори за електричното и магнитното поле като *съставящи* електромагнитното поле. По такъв начин, въпреки заявлението му, че "електричното поле на неподвижни заряди и магнитното поле на постоянен ток строго погледнато не са самостоятелни форми на материята, а представляват само частни прояви на електромагнитното поле", поради употребата на термини като "съвкупност" и "съставящи", все пак се създава впечатление, че обективно съществува електрично поле, обективно съществува и магнитно поле и когато са променливи, те се оказват взаимно свързани. Нашата идея е да се избегне именно това схващане за електромагнитното поле като съвкупност, като едновременно съществуване на две полета – електрично и магнитно.)

Друг, алтернативен на обсъдения, подход е предложен в⁴⁶. Там авторите като основен недостатък на досегашното структуриране на електродинамиката отбелязват късната поява на понятието електромагнитно поле и факта, че въведените преди него електрично и магнитно полета се изучават без връзка помежду си и не като частни случаи на общото електромагнитно поле. Поради тази причина те предлагат още в началото на раздела да се въведе общото понятие за електромагнитно поле, като на качествено равнище се изложат сведения за електромагнитните явления и полето, а после като частни случаи да се изучат електричното и магнитното поле. Макар идеята да е логична и привлекателна, фактът, че не намира развитие в методичната и в учебната литература не говори в полза на плодотворността ѝ, без това да означава, че не следва да се провери на практика приложимостта на отделни нейни елементи.

6.2. Свойства на електромагнитното поле

Както бе отбелязано в 3., всички знания за фундаменталните понятия са резултат само на експеримента. В 5.4 бяха систематизирани в седем пункта известните от експеримента свойства на първото фундаментално понятие на електродинамиката – понятието електричен заряд, но разбирано като физична величина. Пак там припомним, че свойствата на понятието заряд, схващано като свойство, не могат да се разглеждат откъснато от свойствата на второто фундаментално понятие на електродинамиката – електромагнитното поле. Тук ще обърнем внимание именно на тези свойства.

⁴⁶ Бордонская Л.А., С.Е.Каменецкий *О введении понятия электромагнитного поля в разделе "Основы электродинамики"*, Физика в школе, 3, 1976.

Опити за обобщено представяне на свойствата на електромагнитното поле могат да се открият по-рядко в учебната, отколкото в методичната литература. Трябва да се отбележи, обаче, че в това отношение описанията на свойствата на електромагнитното поле страдат от известна едностранчивост и непълнота. Така например в⁴⁷ като главно свойство на електричното поле се посочва само действието на полето с определена сила върху внесените в него заряди.

Подобно е положението и в методическата литература: в⁴⁸ например се подчертава: "С всяко заредено тяло е свързано електрично поле. Основното свойство на това поле се състои в това, че на всяко заредено тяло, поместено в него, то действа с определена сила."

От приведените цитати се вижда преди всичко, че и по отношение названията на свойствата няма единство – най-често те се наричат "основни" или "главни". В това отношение ние имаме предпочитание към термина "най-общи", защото той най-пълно отразява същността на това, за което става дума. Вижда се освен това, че в литературата се обръща внимание само на едната страна на взаимодействието – на това, че полето действа на внесените в него заряди. При такова изложение на "главното" или "основното" свойство на полето се акцентува само върху пасивната роля на зарядите. Както бе изяснено по-преди, обаче, при взаимодействията зарядите играят и активна роля – те са тези, които създават полето. Затова като свойство на полето трябва да се формулира и способността на зарядите да създават поле, или, може би по-точно – това, че полето в дадена точка се определя от разпределението и движението на неговите източници. Това разбиране бе обосновано в⁴⁹ и намери най-пълна реализация в помагалото, цитирано под линия с номер 17:

"Най-общо погледнато, свойствата на електромагнитното поле са две:

– полето се поражда от електрични заряди, което по-конкретно означава, че характеристиките на полето се определят от характеристиките, с които се описва разположението и движението на зарядите;

– полето се проявява чрез силите, с които действа на зарядите."

Съвместното, едновременно разглеждане на тези две свойства на полето има принципно важно значение, което се определя от вече отбелязания факт, че съдържанието на фундаменталните понятия може да се определи само чрез разкриване отношенията между тях. Трябва да се признае, че разделянето, което се прави в училище (отделно изучаване свойствата на заряда и свойствата на полето), макар и дидактически обосновано, от методологична гледна точка е неправилно. Най-пълно смисълът на тези понятия се разкрива при едновременното им изучаване и този смисъл се съдържа в гореизброените две твърдения, представени като свойства на полето – ясно е, че те касаят колкото полето, толкова и самите заряди.

Именно при подобен подход към свойствата на електричния заряд изпъква едно друго свойство на величината електричен заряд, което обикновено остава извън полезрението при първото запознаване с тях. Става дума за това, че *една и съща физична величина характеризира и свойството на заредените тела да създават поле, и свойството им когато са поставени в поле да изпитват от негова страна определена сила*. На тази страна на въпроса ние обърнахме внимание в⁵⁰: "От никъде не следва, че

⁴⁷ Буховцев Б.Б., Ю.Л.Климонтович, Г.Я.Мякишев *Физика для 9 класса средней школы*, М., Просвещение, 1980.

⁴⁸ *Научные основы школьного курса физики*, Под.ред. Шамаша С.Я., Э.Е.Эвенчик, М., Педагогика, 1985.

⁴⁹ Попов Хр. "Основни понятия в електродинамиката", в сб. *Изграждане основните понятия на класическата физика*, С., Народна просвета, 1986.

⁵⁰ Попов Хр. *Относно преговорно-обобщителната тема "Основни закони на електромагнитното поле"*, Физика, 3-4, 1983.

за характеризирание способността на едно тяло да действа върху другите с електрични сили и за характеризирание способността му да изпитва силови взаимодействия от другите заредени тела, е достатъчна една единствена величина. И само законът на Кулон (т.е. в крайна сметка – експериментът), в който двата заряда участват симетрично, гарантира, че една и съща величина, зарядът q , характеризира тялото както в активно отношение (интензитетът на създаденото от него електрично поле е пропорционален на заряда), така и в пасивно (действащата върху тялото електрична сила също е пропорционална на q)."

Накрая ще засегнем един въпрос, който касае, така да се каже симетрията в разглеждането на заряда и полето. Тук ние се спряхме на техните свойства, които разкриват смисъла им като фундаментални понятия. В 5.4 изброихме седем свойства на заряда, схващан като количествена характеристика на съответното свойство на телата. За симетрия би следвало да се коментират и свойствата на величините, които характеризират и другото фундаментално понятие. Тези величини са двете векторни полета интензитет на електричното поле (\vec{E}) и индукция на магнитното поле (\vec{B}). (Както бе вече отбелязано, в случая няма припокриване между термина, с който се обозначава фундаменталното понятие и термините, с които се обозначават неговите количествени характеристики, благодарение на което не се срещат трудностите, обсъждани в 5.1.) Въпросът със свойствата на характеристиките е, обаче, далеч по-сложен отколкото при съответните свойства на заряда – да се изброят тези свойства означава всъщност да се изложи същността на теорията на електромагнитното поле. Очевидно е, че това е предмет за разглеждане в целия раздел от учебната програма, посветен на електромагнитните явления и не може да се представи в относително простия вид, в който изброихме свойствата на величината електричен заряд.

6.3. Електромагнитно поле, електрично поле, магнитно поле

Проблемът за това, кой е реално съществуващият обект – електромагнитното поле или електричното и магнитното поле поотделно, вече бе отчасти дискутиран в 6.1. Поради това, обаче, че в училище за трите полета се говори по един и същ начин, което води до изграждане на превратни представи в съзнанието на учениците, се налага този проблем да се разгледа и от друга страна.

6.3.1. Електричното и магнитното полета – характеристики на електромагнитното поле

Известно е, че при употребата на термина "поле" във физиката могат да се различат смислово три случая:

– Преди всичко като поле се разглежда всяка локална функция, т.е. всяка функция на мястото и времето. В този смисъл се говори например за барично поле, за поле на скоростите в движещ се флуид и т.н.

– В по-тесен смисъл поле се нарича всяка локална **функция**, която определя *силово* взаимодействие. В този смисъл полето се схваща като *силово поле*. Примери за такива полета са интензитетът E на електричното и индукцията B на магнитното поле.

– Накрая с термина поле в доквантовата физика се означава онзи самостоятелен физически обект, посредством който се осъществяват взаимодействията.

Ясно е, че във всички досегашни разсъждения за електромагнитното поле терминът "поле" бе използван в смисъла, изяснен на последно място. Ясно е също така, че в пълната тази страна на въпроса "какво представлява електромагнитното поле" може да бъде разгледана само в рамките на преговорно–обобщителната тема със същото название. И едва в нея може да се разграничи смисълът, който влагаме в термина "електромагнитно поле" от този, който влагаме, когато говорим за "електрично поле" и за "магнитно поле". В указания по-горе смисъл електричното поле E и

магнитното поле B са силови полета, т.е. те са локални **функции**, позволяващи да изразим и опишем силовите въздействия на електромагнитното поле. Едва когато се разгледат в този смисъл, става ясно, че електричното поле и магнитното поле не са самостоятелни физични обекти, а представляват фактически характеристики на електромагнитното поле. Това схващане бе застъпено например в⁵¹, където се разработва въпросът за източниците на полетата (вж. по-долу 6.3.2).

В този смисъл електричното и магнитното полета могат да бъдат разглеждани като предварителни, подготвителни *модели*, изграждането на които трябва да улесни усвояването на въпросите, свързани с електромагнитното поле. Както бе бегло споменато в 6.1, обаче, разглеждането на тези полета като модели в училище на практика е невъзможно. Наистина, въпросните понятия се появяват за пръв път съдържателно в 9.клас и е трудно да се обясни на учениците, че отначало, когато се говори за електрично и за магнитно поле, се изгражда само един математичен модел, а почти веднага след това да се обосновава реалността на друг обект, описван със същия термин (*поле*), но придружен с друго прилагателно (електромагнитно). Поне на нас подобен опит не е известен.

И така, от терминологична гледна точка положението при двете фундаментални понятия е различно. Първото фундаментално понятие се характеризира с една величина (скалар) и както понятието, така и характеристиката му носят едно и също название – *електричен заряд*. Второто фундаментално понятие се означава с термина *електромагнитно поле*. То, обаче, се характеризира с шест локални характеристики, които в тримерния вариант на електродинамиката, който се използва в училище, се групират в две векторни силови полета – електричното поле \vec{E} и магнитното поле \vec{B} , всяко с по три компоненти. (В четиримерния вариант на теорията, използван в специалната теория на относителността електромагнитното поле се характеризира с една величина – тензорът на електромагнитното поле, който, разбира се, има също шест независими компоненти.) За съжаление, на равнището на разглежданията в средното училище няма възможност да се дискутира въпросът за преобразованията на електромагнитното поле при преход от една инерциална отправна система в друга, а оттам и въпроса за относителността на самостоятелното разглеждане на електрично и на магнитно поле. Поради това в⁵² бе разработен въпросът за една аналогия с механиката, която особено добре подчертава смисълът на понятията електрично и магнитно поле. Изложена кратко, нейната същност е следната: така както спрямо една координатна система компонентите на един и същ вектор са едни, а спрямо друга – други, така и спрямо различните инерциални отправни системи двете характеристики на електромагнитното поле могат да бъдат различни. В частност, за някои електромагнитни полета, за които в една система $E \neq 0$ и $B \neq 0$, може да се намери отправна система, в която $E = 0$ и в нея те да се проявяват само като магнитни полета. Съществуват, разбира се, и електромагнитни полета, за които може да се намери система, в която $B = 0$ и т.н. По такъв начин да се твърди, че електричното и магнитното полета съществуват обективно, тъй като има системи, в които $E = 0$ (или обратно) е все едно да смятаме, че компонентите v_x и v_y на скоростта v на една материална точка имат право на независимо разглеждане, защото има координатни системи, в които или едната, или другата е нула.

Трябва да отбележим, че от тази гледна точка неправилното възприемане на електричното (респ. – на магнитното) поле като самостоятелен обект се подпомага от

⁵¹ Попов Хр. *Източници на електромагнитното поле*. Физика, 6, 1991.

⁵² Попов Хр. *Една полезна аналогия*, Физика, 6, 1993.

следния допълнителен факт. Както бе вече отбелязано, следвайки пътя на последователните обобщения, за пръв път се въвежда понятието електрично, а не понятието електромагнитно поле. Успоредно с това се въвежда и характеристиката на електричното поле – неговият интензитет. Това вече е предпоставка да се смята, че електричното поле е нещо съществуващо обективно, което ние характеризираме с интензитета му.

Не са редки случаите, когато в методическата (а оттам и в учебната) литература не се разграничават смислово понятията поле като физичен обект и поле като характеристика на този обект. Типичен пример в това отношение е например⁵³, където при изброяване на елементите, принадлежащи към основата на електродинамиката, електромагнитното поле, интензитетът и индукцията на полето се третираат равноправно.

От нашата гледна точка електричното поле и интензитетът му са еквивалентни – и в двата случая се визира характеристика на електромагнитното поле. Затова по-добре би било да се говори само за електрично поле E , като при това се подразбира интензитетът му, както е обикновено в научната физична литература. От терминологична гледна точка, т.е. доколкото това е допустимо от съществуващите държавни стандарти за единици, въпросът бе разгледан в⁵⁴, където бе показано, че подобно отъждествяване не противоречи на стандартите. Учебната литература обаче е система с огромна инертност и повече от очевидно е, че не сега е времето да се правят опити за подобни понятийни и терминологични уточнения.

6.3.2. Източници на полетата

Направеното смислово разграничение позволява вече да се уточни терминологично и въпросът за източниците на различните полета. Понятието *източник на полето* не е измежду онези, които според учебната документация следва да се формират в обучението по физика. В последните версии на нашите учебници по физика обаче, това понятие се среща все по-често. Трябва да се отчете и фактът, че изискването понятийният апарат на учебния предмет физика да съответства максимално на понятийния апарат на науката физика очертава трайната тенденция за все по-системно включване на понятието източник на полето в кръга на основните за училищния курс по физика.

Въпросът за източниците на електромагнитното поле (което е по принцип винаги променливо) се решава от основните закони на полето, т.е. от уравненията на Максвел. От тях следва, че най-общо погледнато, източник на електромагнитното поле са зарядите. Смисълът на това твърдение е, че характеристиките на полето (E и B) се определят от разпределението и движението на зарядите. И доколкото това движение се нарича ток, то по-детайлният вариант на същото твърдение е:

Източници на електромагнитното поле са зарядите и токовете.

Тази терминология, която признава като източници на електромагнитното поле само зарядите и токовете се използва широко както в учебната, така и в методическата литература.

Въпреки, че на променливото електрично поле $E(r,t)$ и на променливото магнитно поле $B(r,t)$ гледаме като на локални характеристики на електромагнитното поле, можем да говорим и за *техни източници* и отговор на въпроса кои са те дават отново Максвеловите уравнения. От тях следва, че:

⁵³ *Совершенство преподавания физики в средней школе социалистических стран* Под.ред. Разумовского В.Г., М., Просвещение, 1985.

⁵⁴ Попов Хр. *Защо?*, Физика, 4, 1993.

Източници на променливото електрично поле са зарядите и промените на магнитното поле с времето, а източници на променливото магнитно поле са движенията на зарядите и промените на електричното поле с времето (токовете на отместване).

При това уравненията показват, че докато и двата източника на магнитното поле са векторни, т.е. създават вихрово поле, то единият от източниците на електричното поле е скаларен, т.е. създава потенциално (консервативно) поле.

В стационарния случай системата от четирите уравнения на Максвел се разпада на две независими системи от по две уравнения за стационарното електрично и за стационарното магнитно поле. Всяко от тези полета вече има само по един източник:

Източник на стационарното електрично поле са зарядите, а на стационарното магнитно поле – тяхното движение, т.е. токовете.

В статичния случай магнитно поле няма:

източници на електростатичното поле са неподвижните заряди.

Особеността на тази схема за използване термина "източник на поле" е, че промените на електричното и на магнитното поле **не се причисляват** към източниците на електромагнитното поле. Това следва от схващането за електричното и магнитното поле като характеристики на електромагнитното поле и от линейността на Максвеловата електродинамика – в една линейна теория полето не може да бъде само източник на себе си.

Освен изясняване въпроса кои са източниците на полетата, проблемът има и още една страна – каква е ролята на тези източници, т.е. какво е отношението им с полетата – дали ги "пораждат", "създават", "предизвикват" и т.н.. Тази страна е значително по-сложна и ще бъде дискутирана по-нататък във връзка с начините за изразяване на основните закони на полетата.

Разгледаните въпроси за източниците на полето са разработени в⁵⁵, където бе предложена поместената по-долу таблица. В нея се систематизира изложеното по-горе и може да се използва в училище в преговорно - обобщителните занятия.

**Таблица
за източниците на различните полета**

Поле	Източници
Електромагнитно	Заряди (заряди и токове)
Променливо електрично	Заряди, промени на магнитното поле с времето
Променливо магнитно	Токове, промени на електричното поле с времето
Стационарно електрично	Заряди
Стационарно магнитно	Постоянни токове
Статично електрично	Заряди
Статично магнитно	Постоянни магнити

⁵⁵ Попов Хр. *Източници на електромагнитното поле*, Физика, 1991, 6.

7. Някои терминологични въпроси

Дотук съсредоточихме вниманието си върху смисъла, който влагаме в определението (в граматичния смисъл на думата, т.е. като част на речта) "фундаментален", когато го отнасяме към понятията. Тук ще приведем някои съображения, които разкриват защо се спираме на употребата на точно този термин. От многобройните приведените примери от учебната и методичната литература се вижда, че липсва установена терминология за класифициране на използваните при изучаване на електродинамиката понятия. Нещо повече – в работата на едни и същи автори нерядко може да се намери противоречива употреба на термините.

Други автори използват термина фундаментални, но в много по-широк (и главното – неопределен) смисъл. Така например в⁵⁶ се изброяват толкова много "фундаментални" понятия, че между тях попада например и плътността на електричния заряд. В източника, цитиран под черта с номер 23., пък се допуска степенуване на качеството фундаменталност като се твърди, че "В теорията на електромагнитните явления електричният заряд е едно от най-фундаменталните понятия." Ясно е, че, както и във вече отбелязания случай с явленията, само при липса на строго определение за фундаменталността може да се говори за "по-фундаментални" и "най-фундаментални" понятия.

Практиката показва, че с термина *основни* не се подчертава достатъчно мястото на съответните понятия в теорията, тъй като от широката му употреба неговият смисъл е до голяма степен девалвиран. Така че нашето предпочитание към термина *фундаментален* пред други термини (*основни*, *водещи*, *първични*, *изходни*, *неопределяеми* и пр., и пр.) се основава на

- широката употреба на това определение в методичната литература именно в използвания тук смисъл;
- по-широкият смисъл, който обикновено се придава на термина "основни понятия" (вж. по-долу .7.1);
- неприличността за обучението по физика на употребявания в математиката термин "първични понятия" и другите, подобни нему определения.

7.1. Основни понятия на електродинамиката

Всъщност въпросът за класификацията на понятията е по-общ, защото същата липса на единство в терминологията се констатира и в другите раздели на учебния предмет физика. Както често в подобни случаи, при по-подробно разглеждане се оказва, че зад терминологичния може да се открие един по-дълбок проблем, свързан със смисъла на използваните термини. По-долу, на основата на анализа на този проблем, е предложена една възможност за влагане точно определен смисъл в термините *фундаментални*, *изходни* и *основни* понятия. При този анализ се излиза от приетото вече от нас определение, че фундаментални за една теория са онези понятия, за които няма по-общи понятия в рамките на същата теория (т.е. за електродинамиката – електричен заряд и електромагнитно поле).

При разглеждане на отношението между основни и фундаментални понятия ние се абстрахираме от факта, че думата "основни" представлява превод на чуждицата "фундаментални" – необходимостта от разграничаването на повече групи понятия налага използването *и на двата* термина.

От не един пример вече се разбира, че редица автори използват термина "основни понятия" в смисъла, в който ние говорим за "фундаментални понятия". Много повече са, обаче, авторите, които в термина "основни понятия" влагат значително по-широк

⁵⁶ Кузнецов И.В. *Избранные труды по методологии физики*, М., Наука, 1975.

смисъл. Така например в източника, посочен под черта с номер 48., след заглавието "Научно-методичен анализ на основните понятия и закони на темата "Електрично поле" следват подзаглавия "Електричен заряд", "Електрично поле", "Потенциал. Разлика на потенциали. Напрежение." и т.н., от които се вижда широкото разбиране на авторите за смисъла на термина "основни понятия".

Самият факт, че в посочения набор от "основни понятия" има такива, които се определят чрез останалите показва, че това не са фундаментални в употребявания от нас смисъл на думата понятия. А фактът, от друга страна, че различни автори сочат различни набори като основни за една и съща физична теория, показва пълната липса на критерий, който определя дали едно понятие е основно или не е.

Докато за фундаменталните понятия ние даваме строго определение, за основните понятия не сме в състояние да се обвържем с такова. Затова тях определяме описателно, като изхождаме от общоприетия факт, че в учебните предмети от природонаучния цикъл се изучават основите на съответните науки. Поради това:

Към основните понятия на електродинамиката включваме всички понятия, които са задължителни за изучаване според учебната документация.

Задължение на експертите, съставляващи тази документация е да решават кои от понятията на електродинамиката като физична теория следва да се включат в програмата по физика. Ясно е, че основните понятия включват всички фундаментални понятия, но освен тях и много други, които са необходими за постигане на учебните цели.

Тези пояснения дават възможност към основните понятия на електродинамиката да се причислят освен електричния заряд и електромагнитното поле например още всички локални и глобални характеристики на източниците на полето (заряд на тяло, големина на ток и др.п.), всички локални и глобални характеристики на самото поле (интензитет и индукция на електричното поле, индукция и интензитет на магнитното поле, техните потоци през произволна повърхнина и техните циркулации по произволни криви, потенциалът на дадена точка, напрежението между две точки и др.), всички веществени константи (електрична и магнитна проницаемост, проводимост, електродвижеща сила), характеристики на елементи на уреди и устройства (капацитет на кондензатор, съпротивление на проводник, индуктивност на намотка, електродвижещо напрежение на източник и др.п.).

Във физиката, обаче, както и в обучението по физика, се говори не за понятия, а за величини, защото¹⁶ "Езикът на физиката е езикът на физичните величини, въз основа на чието използване се формулират и законите, и принципите, и теорията. Затова няма да бъде преувеличено да се каже, че да се познава физиката значи преди всичко да се разбира езикът и смисълът на физичните величини.". Затова е важно казаното по-горе да се пречупи през призмата на нуждите на обучението, т.е. разработваната класификация на понятията да се прехвърли и върху изучаваните величини.

От приведените примери се вижда, че като се изключат фундаменталните понятия, всички останали основни понятия представляват всъщност физични величини. От тази гледна точка всички тези величини може да се разглеждат като основни величини за теорията. Използването на този термин, обаче, следва да се съпътства с необходимата 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 ще се считат 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 това, което е най-естествено -

че на всяко основно понятие съответства основна величина, ще се окаже, че единиците за повечето от основните величини съвсем не са основни единици. Така например интензитетът на електричното поле несъмнено трябва да се причисли към основните величини, но единицата му е производна.

Тук е мястото да отбележим, че макар да настояваме на въвеждането на термина *фундаментално понятие*, ние не смятаме целесъобразно използването и на термин фундаментална величина. Причината е във факта, че при въвеждането на величините винаги има елемент на субективност. В различните дидактически схеми за излагане на една теория едно фундаментално понятие може да се описва с различни величини. Така, както бе вече отбелязано, в рамките на тримерния формализъм електромагнитното поле се характеризира с две векторни величини, но във формализма на специалната теория на относителността – с един четиритензор. Ясно е, че ако в единия случай векторите се разглеждат като фундаментални величини, в другия – няма да бъдат такива. Освен това, единственото логично определение за фундаментална величина би било това, което съпоставя на фундаменталните понятия фундаментални величини. Ако се приеме това, обаче, и се отчете, че за характеризиране на едно понятие могат да се използват няколко величини, броят на фундаменталните величини ще се окаже твърде голям, което неминуемо ще доведе до девалвация на термина. Именно тези две съображения показват нецелесъобразността на въвеждането на термин фундаментална величина.

7.2. *Изходни понятия на електродинамиката*

Терминът *изходни понятия* в методическата литература понякога се среща употребен в смисъла, в който тук употребяваме фундаментални понятия. Най-често, обаче терминът се използва в по-широк и, като правило, без изрично указан смисъл. Нашето предложение е освен съвкупностите на фундаменталните и на основните понятия на една теория, да се разграничи и съвкупността от нейните *изходни* понятия. За тях, както и за фундаменталните, може да се даде точно определение по следния начин:

Изходните за една теория понятия включват нейните фундаментални понятия и всички понятия от други теории, както и житейските понятия, които се използват в определенията на основните понятия на теорията.

На необходимостта при изграждане на една теория да се използват наред с научните още и житейски понятия се указва например в⁵⁷. Наистина, системата от понятия на електродинамиката не може да се изгради без използването на такива понятия като наелектризиране, привличане, отблъскване, електрична сила и др. п., които считаме житейски, защото поясняваме смисъла им с редица известни от житейския опит случаи на наелектризиране на телата, на проява на електрични сили и пр. (Разбира се, самото по-общо понятие сила е общофизично.) Системата от величини в електродинамиката не може да се изгради без използване на такива понятия от механиката като работа, енергия и др.п.

Приложено към понятията, срещани в електродинамиката, даденото 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

⁵⁷ Ефименко В.Ф., В.К.Батурин *О взаимосвязи научных и обыденных представлений при формировании физических понятий*, Физика в школе, 6, 1981.

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 при нашите разглеждания), но и електродинамиката на непрекъснатите среди. Тогава към изходните понятия следва да се причислят и такива общофизични понятия като молекула, атом, електрон и т.н.

И така, ако трябва да сумираме в едно изречение казаното дотук, то би звучало по следния начин:

При излагане основите на една физична теория в училище в съвкупността на всички използвани понятия би следвало да разграничаваме типа: *фундаментални понятия, основни понятия и изходни понятия.*