

Глобални и локални величини при изучаване основите на електродинамиката¹

Всяко класификация предоставя възможност за поглед към изучаваните обекти под нов ъгъл и затова улеснява и обогатява тяхното изучаване. Величините, които се въвеждат при обучението по физика, могат да бъдат класифицирани по различни признаци. Един такъв признак е например видът на обекта, чиито свойства се характеризират с дадената величина. Според този признак величините може да се класифицират на такива, които характеризират свойствата на веществата (плътност, якост, показател на пречупване, електрична и магнитно проницаемост и др.); на величини, които характеризират процеси (скорост, ускорение, механична работа, количество топлина и др.) и т.н.

Една от възможностите за класифициране на величините е според това, дали те характеризират обекта², с който се свързват като цяло, т.е. – глобално, или във определена негова точка и в определен момент от времето, т.е. – локално. Първите се наричат *глобални величини*, а вторите – *локални величини*. При това на подобна класификация се поддават не само физични величини, но и въобще физичните характеристики (към които спадат например такива характеристики като форма, цвят, мирис и пр., които не подлежат на количествена оценка).

Отчитането на възможността величините да се класифицират като глобални или локални може, първо, да помогне на учениците в определени моменти по-лесно да вникнат в смисъла и да осъзнаят мястото на дадена величина в общата теоретична схема и, второ, да разкрие къде се коренят по принцип трудностите при изучаване на основите на един толкова важен раздел на физиката, какъвто е електродинамиката.

В обучението по физика зародишът на разграничението между глобални и локални характеристики може да се открие още при изучаване на човекът и природата, където, въпреки да не се разграничават строго, се говори за “свойства на телата” и за “Свойства на веществата”. Така например очевидно е, че масата, обемът и формата характеризират едно тяло в неговата цялост, т.е. те представляват негови глобални характеристики. В същото време, ако тялото е нехомогенно, неговите температура, плътност и цвят могат да бъдат на различни места различни – те представляват примери за локални характеристики на тялото. За да се елиминират усложненията на разглежданията в тези случаи често се говори не за тяло, а за вещество³ – когато говорим за цвят и плътност на веществото, имаме предвид тези характеристики, отнесени за хомогенно тяло от това вещество.

Изучаваните в механиката величини също се поддават на подобна класификация. Изминатият път, средната скорост и интервалът време са глобални характеристики на процеса на движение на една материална точка, а скоростта и ускорението – негови локални характеристики, които са определени за всяка точка от траекторията и във всеки момент от движението. Механичната работа е глобална характеристика на процеса на предаване (или преобразуване) на енергията, но мощността е локална (по времето) характеристика на този процес.

Обикновено локалните величини се дефинират чрез глобалните с помощта на граничен преход, който в обучението скриваме зад фрази от типа “... където ΔV е физически малък обем...”, “...където Δt е физически малък интервал време...” и др. (каквото и да означава в случая “физически малък”). Така например:

¹ Физика, 1988, 4, с. 14–16.

² Под “обект” на изучаване може да се разбира, тяло, вещество, поле, свойство, процес и т.н.

³ Тук терминът “вещество” се използва в смисъла, който обикновено му придаваме във физиката, т.е. той не означава непременно *чисто* вещество, както е прието в учебниците по химия.

– плътността ρ се определя чрез равенството $\rho = \frac{\Delta m}{\Delta V}$,

– мощността P на силата се определя чрез равенството $P = \frac{\Delta A}{\Delta t}$ и т.н.

Същият този граничен преход се подразбира и когато казваме, че плътността се измерва с масата в единица обем, или че мощността се измерва с работата, извършена за единица време.

По-долу ще приведем примери, в които обратно – глобални величини се дефинират чрез локални величини. В тези случаи определенията в скрита форма съдържат операцията интегриране.

Нека след тези разяснения за различията между локалните и глобалните величини разгледаме някои от величините, които се въвеждат при изучаване на електромагнитните явления. По-специално ще спрем вниманието си върху два вида величини: тези, които характеризират източниците на полето (заряди и токове) и онези, които характеризират самото поле. Те са разположени в следната таблица:

	Локални величини	Глобални величини
Характеристики на източниците на полето	1. Обемна плътност на зарядите k 2. Обемна плътност на тока \vec{I}	1. Заряд на тяло – q 2. Ток през повърхност – J
Характеристики на полето	1. Интензитет на електричното поле \vec{E} 2. Индукция на магнитното поле \vec{B}	1. Поток на електричното поле през повърхност – Φ_E 2. Циркулация на електричното поле по крива – Γ_E 3. Поток на магнитното поле през повърхност – Φ_B 4. Циркулация на магнитното поле по крива – Γ_B

В училище се въвеждат относително лесно две глобални характеристики на източниците на полето – общият заряд q на едно тяло и големината J на тока по един проводник (по-точно – през повърхността на напречното сечение на проводника).

Локалните характеристики на източниците – плътностите k и \vec{I} , в общозадължителния минимум не се изучават. В същото време от характеристиките на полето по-лесно се въвеждат и по-лесно се разкрива физическият смисъл на локалните, а не на глобалните характеристики, и затова се изучават и използват предимно те – \vec{E} и \vec{B} . (Въпреки че в

училище се дефинира чрез равенството $\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q}$, точното определение за \vec{E} съдържа

неявен граничен преход. Това определение има вида $\vec{E} = \frac{\Delta \vec{F}_e}{\Delta q}$, където Δq е физически

малък заряд, т.е. толкова малък, че силите, дължащи се на присъствието му в точката, за която определяме \vec{E} , да не могат да променят разположението на зарядите, които създават полето. Заради тази особеност понякога Δq се нарича *пробен заряд*.)

Потоците Φ_E и Φ_B на електричното и на магнитното поле през една повърхност S както и циркулациите Γ_E и Γ_B на полетата по една крива L са глобални характеристики на полетата, защото зависят от полето не в една точка, а от полето в точките на цяла повърхност или крива. Зависимостта им от локалните характеристики се изразява чрез повърхнинни или криволинейни интеграли от типа: $\Phi_E = \int_S \vec{E} \cdot d\vec{s}$, $\Gamma_E = \int_L \vec{E} \cdot d\vec{r}$ и т.н.

Потоъкът на едно поле има лесноразбираем **геометричен** смисъл – той е пропорционален на броя на векторните (силови, съответно индукционни) линии, които пробождат дадената повърхност. Циркулацията на едно силово поле (каквито са \vec{E} и \vec{B}) пък има лесноразбираем **физичен** смисъл – тя е пропорционална на работата на породените от полето сили при преместване на електричен заряд (съответно – на магнитен полюс) по разглежданата крива.

Въпреки тези относително нагледни представи за четирите глобални характеристики, в общозадължителната подготовка от тях се изучава само една – потокът Φ_B на магнитната индукция, без който е невъзможно да се формулира закона на Фарадей за електромагнитното индукция. Всъщност, неявно, без да се упоменава, се използва и циркулацията Γ_E на електричното поле по затворена крива, защото индуцираното електродвижещо напрежение, което фигурира в същия закон, не е нищо друго, освен въпросната циркулация – просто тя не се назовава с този термин, за да не се натрупват много нови понятия.

Основните уравнения на електродинамиката – *уравненията на Максвел*, задават връзки между характеристиките на източниците на електромагнитното поле (които смятаме известни) и характеристиките на самото поле (които обикновено търсим). В съответствие с проведеното разграничение между локални и глобални величини, и самите уравнения на Максвел може да се запишат по два начина: в локална форма, т.е. като връзки между локални величини, и в глобална (често наричана *интегрална*) форма, т.е. като връзки между глобални величини.

Локалната форма на уравненията на Максвел се реализира в известната система от четири частни диференциални уравнения и съответните им гранични условия, които по разбираеми причини в училище не се изучават. Глобалната форма, макар и страдаща от недостатъка, че е неудобна за решаване на разнообразни проблеми, от дидактична гледна точка притежава преимуществото, че физическият смисъл на всяко едно от уравненията може да се изясни със сравнително елементарни средства (вж. напр. 1).

И именно когато нещата се погледнат от този ъгъл се вижда на какво се дължи невъзможността да се изучат основните уравнения на електромагнитното поле в общозадължителната подготовка. Бедата е в това, че поради вече посочените особености на двата типа величини (локални и глобални), в училище изграждаме една **нехомогенна понятийна система** – за източниците изучаваме глобалните характеристики (q и J), а за полето – неговите локални характеристики (\vec{E} и \vec{B}). Оттук и невъзможността да запишем каквито и да е връзки между едните и другите.

Фактът, че учениците познават само локалните характеристики на полето, а достатъчно ясен физичен смисъл можем да вложим само в глобалната форма на уравненията, води до едно основно противоречие, което пречи на изучаването на законите на електромагнитното поле. Това противоречие поставя един чисто онтодидактически проблем, чието решение може да се търси в различни посоки и най-вече – чрез по ефективно използване на формите на диференцираното обучение. Кой от пътищата ще се окаже най-сполучлив обаче не е ясно отнапред и затова следва да се смята, че проблемът стои открит. Един начин за решаването му е посочен в (1), но той методически още не е достатъчно отработен и няма данни за неговата ефективност.

Литература

1. Попов Хр., В. Караиванов и др. *Учебно пособие за свободноизбираема подготовка по физика в 10. клас на ЕСПУ*, С., Народна просвета, 1986.