

Две бележки по урока “Закон на Кулон”¹

Фактът, че новите учебници по физика² за средните общообразователни училища и техникумите са написани на по-високо научно ниво от предишните, вече получи всеобщо признание. Тази констатация обаче едва ли може да се разпространи и върху урока “Закон на Кулон”, който, обща взето, е изложен така, както и преди. От друга страна, той е един от най-благогатните в смисъл, че е може би единственият, който предоставя възможност да се демонстрира пред учениците начинът, по който се въвежда една физична величина (в случая – *електричния заряд*), и пътят, по който се стига до един експериментален, при това такъв фундаментален закон, какъвто е *законът на Кулон*. Тази възможност не е използвана достатъчно.

Относно сегашното изложение на урока могат да се направят поне две бележки, засягащи недостатъци, породени от стремежа на авторските колективи към краткост – стремеж, наложен от тесните рамки на допустимия за един урок обем. По наше мнение обаче, предвид принципното значение на урока, би могло да се направи изключение и за сметка на малко разширение на обема да се постигне по-пълно и точно излагане на материала.

Първата бележка засяга онази част от опитите на Кулон, която се отнася до намиране на зависимостта на електричната сила F от разстоянието r между зарядите. По принцип е ясно, че описанието на кулоновата везна трябва да позволява на ученика да си представи ясно как се измерват тези две величини. За съжаление, сегашните описания създават погрешното впечатление, че това става с едно отчитане, направено по една скала. Наистина, и в двата учебника (за X клас и за II курс на техникумите³) цялото внимание е съсредоточено върху долната част на везната: двете топчета, скалата, противотежестта. Излиза така, като че ли отчитайки само положението на подвижното топче върху скалата, ние можем да пресметнем и F , и r . В описанието на уреда *липсва същественият детайл*, че горният край на нишката е закрепен в центъра на диск (копче), който има показалец. При завъртане на диска този показалец се движи около **втора скала**, която е аналогична на първата, но се намира в горния край на уреда. (Този диск, показалецът и втората скала се виждат много ясно на един от чертежите в учебника за X клас, но за ролята им не се говори. Нещо повече – изказано е твърдението, че разстоянието между топчетата се мени чрез усукване на нишката.)

При не усукана нишка показалецът върху горната скала и подвижното топче върху долната скала сочат едно и също деление. Когато нишката се усуче, ъгълът на завъртането ѝ е равен на разликата в показанията на двете скали. Именно тази разлика е пропорционална на момента на силата на еластичност и следователно е мярка за F .

Очевидно е, че това не са второстепенни детайли, които могат да се жертват с цел за опростяване, защото такова жертване прави методиката на измерванията по принцип неразбираема.

При това положение първата част от опитите на Кулон съдържа следните измервания: в началото, след като топчетата се наелектризират и установят в равновесие, по долната скала се определя разстоянието r между тях, а по разликата $\Delta\alpha$ от показанията на двете скали – ъгълът на усукване на нишката, т.е. – силата F . След това, **чрез подходящо завъртане на диска**, разстоянието между топчетата се удвоява и

¹ Сп. Математика и физика, 1974, 4, с. 47–50.

² Става дума за учебниците за 9–11 клас на СОУ, създадени под ръководството на проф. М. Борисов и за учебниците за 1. и 2. курс на техникумите, създадени под ръководството на проф. Ал. Раев.

³ Борисов М. и др. *Физика – учебник за 10. клас на общообразователните трудово политехнически училища*, С., Народна просвета, 1971.

Раев Ал. *Физика – учебник за първи курс на техникумите и средните професионално–технически училища*, С., Народна просвета, 1973.

се установява, че Δa (а заедно с него и силата F) при това намалява четири пъти. Ако разстоянието се утрои, Δa намалява девет пъти и т.н. Оттук веднага следва

$$\text{зависимостта } F \sim \frac{1}{r^2} .$$

Втората бележка засяга принципния въпрос за въвеждането на величината електричен заряд. Известно е, че в електростатиката зарядът се въвежда чрез самия закон на Кулон, чиято пълна формулировка гласи, че **всяко наелектризирано тяло може да се характеризира с една величина Q , наречена електричен заряд на тялото, по такъв начин**, че силата на взаимодействие между два точкови заряда е право пропорционална на големините на зарядите и обратно пропорционална на квадрата от разстоянието между тях.

Обикновено в учебниците за средните училища първата част на закона се изпуска и се формулира само втората, съдържаща количествените зависимости. Това е правилно, защото опасността първата част да остане неразбрана е голяма. Но заедно с това се открива и големият въпрос, как и къде да се въведе величината електричен заряд. Нещата се усложняват още повече, като се има предвид, че тази величина е необходима още в първия урок на раздела електростатика, където се разглеждат начините за наелектризиране на телата и се въвеждат основните представи на електронната теория. Там неизбежно става дума, че телата са изкрадени от наелектризираните частици и че общата сума от положителните и от отрицателните заряди в едно не наелектризирано тяло е нула. Освен това, пак в същия урок, се казва, че при натриване на две тела те получават **равни по големина** и с противоположни знаци заряди. Но как може да се разбере изразът “*равни по големина заряди*”, без да се знае как се измерват големините на зарядите? Очевидно е, че всички тези твърдения и разсъждения остават безсъдържателни, докато не се даде определение на самата величина *електричен заряд*.

Описаната трудност може да се преодолее, ако се вземе предвид, че всъщност за нуждите на първия урок не е необходимо точно познаване на стойността на заряда, а е достатъчно да се укаже само метод за сравняване на големините на зарядите. Тогава става възможна следната схема на изложение.

За изследване на големината на електричната сила е най-удобно да се наблюдава отклонението на известното махалце, състоящо се от окачено на копринена нишка бързо топче. След като се констатира, че силата F зависи от разстоянието, на което сме доближили зареденото тяло, тази зависимост може да се елиминира и да се премине към разглеждане на отклонението на махалцето при поднасяне към него на различни наелектризираните тела **на едно и също разстояние от него**. Изобщо казано, отклоненията ще бъдат различни. Точно това наблюдение дава основание да заключим, че съществува някаква характеристика на наелектризираните тела – величината **електричен заряд**, от която зависи отклонението на махалцето (т.е. – електричната сила) **при едно фиксирано разстояние до него**. Най-логичното (но не единствено!) предположение е да смятаме, че от два заряда по-голям е онзи, който от приетото разстояние отклонява махалцето на по-голям ъгъл. Разбира се, с това сме указали само критерий за сравняване на заряди, но не и начин за измерването им, но това е достатъчно за първия урок – да знаем кога два заряда са равни. Този критерий притежава и преимуществото, че лесно може да се онагледи. (Използването на електроскопа за сравняване на заряди, което се среща понякога, не е удобно, защото не е ясно каква част от заряда на едно наелектризирано тяло преминава при допир върху електроскопа и дали всички тела отдават една и съща част от заряда и на уреда – нещо, което със сигурност не е вярно.)

На това място възниква въпросът, дали с този критерий не се дублира, не се вмъква в замаскиран вид онази част от закона на Кулон, която утвърждава, че $F \sim Q_1 Q_2$? Отговорът на този въпрос е отрицателен. Наистина, от твърдението, че по-голям заряд поражда по-голяма сила, не следва, че $F \sim Q_1 Q_2$. За пример бихме могли да посочим, че и зависимостта $F \sim (e^{Q_1 Q_2} - 1)$ се съгласува с този критерий (както и всяка друга стриктно растяща функция $F(Q_1 Q_2)$ на произведението $Q_1 Q_2$, която удовлетворява допълнителното условие $F(0) = 0$). И само опитите на Кулон са тези, които измежду всички възможни зависимости отбират правилната и показват, че $F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$, а не

например $F = k \frac{e^{Q_1 Q_2} - 1}{r^2}$. (Откривайки скоба, трябва да отбележим, че ако критерият за

сравняване на зарядите се формулира както в едно от предварителните издания на учебника по физика за техникумите: *колкото* по-голям е товарът, *толкова* с по-големи сили действа на околните тела, то това наистина подменя закона на Кулон, защото конструкцията “*колкото...толкова*” вече предполага правопрпорционалната зависимост. Ето защо тази формулировка следва да се избягва.)

В светлината на казаното по-горе намира своя точен смисъл и описанието на втората част от опитите на Кулон. При това обикновено се разсъждава по следния начин: ако до наелектризираното неподвижно топче допрем второ метално топче със същия радиус, то зарядът ще се разпредели върху двете топчета *по равно*. Това, че зарядът ще се раздели на две равни части можем да очакваме от съображения за симетрия (при положение че влиянието на зарядите на другото, окачено на кобилицата топче, може да се пренебрегне). Сега обаче, след като знаем критерий за сравняване на заряди, това може да провери и опитно – достатъчно е да установим, че двете топчета от едно и също разстояние отклоняват наелектризирано махалце на един и същ ъгъл.

След като разполагаме с два пъти по-малък заряд, достатъчно е чрез въртене на диска на кулоновата везна да направим разстоянието между подвижното и неподвижното топче равно на първоначалното, т.е. – на съществуващото разстояние преди разполовяването на заряда на неподвижното топче. Разликата в показанията на двете скали този път ще се намали също два пъти, което е първата и решаваща стъпка към установяване на зависимостта $F \sim Q^4$.

Такъв начин на излагане на материала вече издържа една по-сериозна критика на логическата постройка, но остава недостатъкът, че принципната роля на закона на Кулон за въвеждането на **величината електричен заряд** не изпъква достатъчно ясно. В известна степен този недостатък може да се компенсира с решаване на подходящи задачи, с които да се покаже, че чрез измерване на механични величини (сили и разстояния) и чрез закона на Кулон могат да се определят зарядите на телата. Интересно в случая е това, че ако разполагаме само с две заредени тела, каквито и измервания на сили и разстояния да правим, т.е. – както и да ги разместваме, законът на Кулон винаги ще определя произведението $Q_1 Q_2$ от техните заряди, но не и заряда на всяко от тях поотделно. За определяне на заряда на едно тяло е необходимо да се направят измервания върху електричните сили, с които си взаимодействат *поне три*

⁴ Всъщност, описаните измервания с разполовен заряд и т.н., въпреки убедителността си, изглежда противоречат на историческата действителност. Най-вероятно след като установил, че подобно на гравитационната сила, и електричната сила е обратно пропорционална на квадрата от разстоянието между телата, по аналогия Кулон предположил, че както гравитиращите тела се характеризират с величината *маса*, така и наелектризираните тела се характеризират с една аналогична по ролята си величина – *електричен заряд*, като зависимостта на двете сили от тези характеристики е от един и същи вид: права пропорционалност.

тела. Ето защо е полезно да се реши следната елементарна задача: Да се определят големините на три точкови заряда, разположени във върховете на равностранен триъгълник, ако големините на електричните сили, с които те си взаимодействат два по два са съответно F_{12} , F_{23} и F_{31} . От трите равенства, които се получават от закона на Кулон за трите сили, лесно се проверява, че например:

$$Q_1^2 = k \frac{F_{12} F_{31}}{F_{23}}.$$

Този израз определя само големината на заряда Q_1 , но не и неговия знак⁵. Може да се провери, че дори и да се увеличава броят на заредените тела, с *никакви* измервания не може да се определи знакът на Q_1 . Това означава, че законът на Кулон оставя свобода да изберем знака на заряда на едно от телата произволно (да го наречем или положителен, или отрицателен). Направим ли този избор обаче, знаците на зарядите на всички останали тела стават определени от правилото, че едноименните заряди се отблъскват, а разноименните се привличат. (От историята на физиката е известно, че този избор е направен от Франклин, който нарекъл зарядите на заредена стъклена пръчка *положителни*.⁶)

Срещу тези бележки би могло да възрази, че те твърде детайлизират и усложняват материала. Такова възражение може би има смисъл, що се отнася до учебника за техникумите, но то няма място, когато става дума за учебника за 10. клас. Не бива да се забравя, че в последния са включени такива сложни неща като величината поток на електричното поле и теоремата на Остроградски – Гаус и пр. Поставянето на въпроса в такава светлина веднага показва, че в сравнение с тях законът на Кулон е изложен на по-ниско равнище, а той е **фундаментален експериментален закон** във физиката! Затова, позовавайки се още веднъж на неговата принципна важност и фактическа простота, смятаме, че изложението му може да бъде значително подобро.

⁵ Ситуацията в случая е различна от тази при гравитационните сили. От Нютонови времена астрономите знаят, че от измервания само върху движението на две свързани с гравитационни сили тела може да се пресметнат масите на всяко от телата. Дълбоката причина за различието между двата случая е равенството на гравитационната маса (гравитационния “заряд”) и инерчната маса, която фигурира във втория закон на динамиката.

⁶ Много по-удачно би било, ако той бе направил обратното, ако бе нарекъл зарядите на наелектризираната стъклена пръчка *отрицателни* – тогава електроните биха били частици с положителен заряд и посоката на дрейфа им в металните проводници би съвпадала с посоката на тока. (А не както е сега – токът тече в една посока, а електроните се движат в обратната.)