

Точков заряд – заредено тяло¹

Понятието *точков заряд* е включено в програмата за задължителна подготовка по физика в 9. клас². Определението кога едно заредено тяло може да се разглежда като точков заряд не е сложно, но въпреки това значението на тази идеализация остана недостатъчно разкрито. Едно от малкото места, където ясно се поставя ударение върху факта, че дадено твърдение е валидно само за точкови заряди, е законът на Кулон. В останалите случаи като че ли е все едно дали ще кажем “точков заряд” или “заредено тяло”.

Трудностите, които настъпват, когато заредените тела не могат да се разглеждат като точкови заряди, са два вида – от математично и от физично естество.

Когато размерите на едно тяло не може да се пренебрегнат спрямо разстоянията до телата, с които то взаимодейства, и когато *познаваме разпределението на зарядите в телата*, трудностите при намиране на създаденото поле са само математични. Пътят на преодоляването им е споменат и в учебниците – мислено разделяме всяко тяло на части, които са толкова малки, че техните заряди да може да се смятат за точкови, намираме и след това векторно сумираме полетата на всяка от тези части. На практика всичко се свежда до пресмятане на интеграли и при днешното равнище на компютърния софтуер от физична гледна точка тези трудности не може да се разглеждат като принципни.

От физична гледна точка усложненията при намиране на полето на едно заредено тяло се дължат на свойствата на веществата, изграждащи тялото. Тези вещества грубо делим на проводници и диелектрици и, когато са поставени в електрично поле, в тях протичат съответно явленията електростатична индукция и електрична поляризация. Общото в двете явления е *разместването на заряди* – разместване на свободните електрони в проводниците и разместване на свързаните заряди в диелектриците. (Общ е и резултатът – и в двата случая полето намалява, но докато в проводниците то просто става нула, в диелектриците запазва някаква крайна стойност.) И доколкото тези размествания зависят от това, което всъщност търсим – полето, този факт наистина усложнява задачата и то- усложнява я принципно. Въпросните размествания са пренебрежими само ако зареденото тяло може да се разглежда като точков заряд. Само в този случай няма значение кой (проводник или диелектрик) носи заряда и може да говорим просто за “електричен заряд”.

Разбира се, подобни абстрактни разсъждения нямат място в час по физика. Възможно е обаче да покажем на учениците, че има случаи, в които е съществено дали става дума за точков заряд или за заредено тяло. По-долу привеждаме два примера, които с привидно парадоксалните си изводи са подходящи за изясняване на разликата между точков заряд и заредено тяло.

Първият пример може да се развие около въпроса:

*Възможно ли е между всяка двойка от **три точкови заряда** да действат електрични сили на привличане?*

Отговорът е почти очевиден: **не е възможно**. Доколкото електричните заряди са само два вида, измежду трите заряда непременно има поне два едноименни и, според закона на Кулон, между тях ще действат електрични сили на отблъскване.

Не е толкова просто да се отговори на следната модификация на същия въпрос:

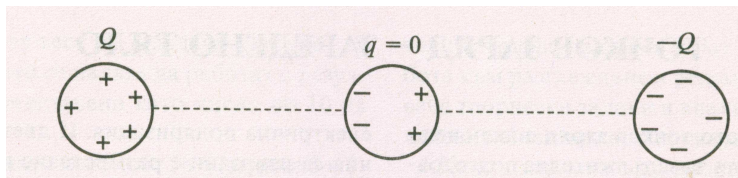
*Възможно ли е между всяка двойка от **три заредени тела** да действат електрични сили на привличане?*

Че отговорът в този случай е утвърдителен, се убеждаваме от анализа на следната ситуация. Да разгледаме първо три еднакви метални сфери, чиито центрове са

¹ Физика, 2004, 3, с. 43–45.

² Става дума за програмата по физика и астрономия, валидна през 2004 г.

разположени върху една права, а самите сфери носят заряди съответно $+Q$, 0 и $-Q$ (фиг. 1).



фиг. 1.

Ясно е, че двете заредени с разноименни заряди сфери, се привличат. Благодарение на индуцираните върху средната сфера заряди обаче сили на привличане действат и между нея и всяка от заредените сфери. Наистина, разстоянието от положително заредената сфера до индуцираните отрицателни заряди е по-малко, отколкото до индуцираните положителни заряди. И тъй като големините на двата вида индуцирани заряди са равни, силата на привличане между разноименните заряди ще бъде по-голяма от силата на отблъскване, т.е. общата сила ще бъде сила на привличане. Аналогични разсъждения, разбира се, са валидни и за силите, с които си взаимодействат отрицателно заредената и незаредената сфера.

Доколкото формулировката на въпроса визира три заредени тела, а в разглеждания случай едното тяло е незаредено, необходимо е да обобщим направеното разглеждане и за по-общия случай. За целта да си представим, че предадем на средната сфера някакъв заряд q . Ясно е, че независимо от знака му, когато големината му е достатъчно малка спрямо Q , характерът на действащите сили няма да се промени – т.е. и в този случай между всяка двойка от трите тела ще действат сили на привличане³.

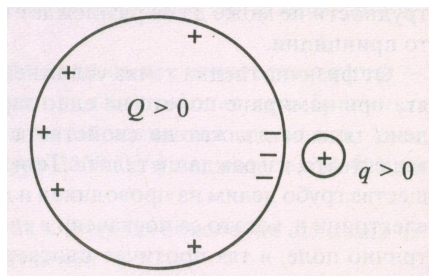
И така, възможно е три заредени тела да се привличат взаимно, т.е. това, което е невъзможно за точковите заряди, може да се окаже възможно за заредените тела. (Обърнете внимание обаче на факта, че при друго разположение на **същите** сфери между някоя двойка може да действат сили на отблъскване – достатъчно е за целта да разменим местата на средната и една от крайните сфери. При точкови заряди подобна зависимост на *характера* на силите (на привличане или на отблъскване) от разположението няма.)

Вторият пример може да се свърже с анализ на въпроса:

Възможно ли е две заредени с едноименни заряди тела да се привличат?

Ако телата може да се разглеждат като точкови заряди, отговор дава самият закон на Кулон – не е възможно. Нека обаче едното тяло е метална сфера със заряд $+Q$, а другото – точков заряд $+q$. Точковият заряд индуцира върху сферата разноименни заряди (фиг. 2). Когато $+q$ е достатъчно близо до повърхността на сферата, разстоянието до едноименните заряди остава крайно, докато разстоянието до разноименните заряди може да се окаже достатъчно малко, така че силата на привличане между тях и $+q$ да бъде по-голяма от силата на отблъскване. При това положение ще се окаже, че общата сила е наистина сила на привличане.

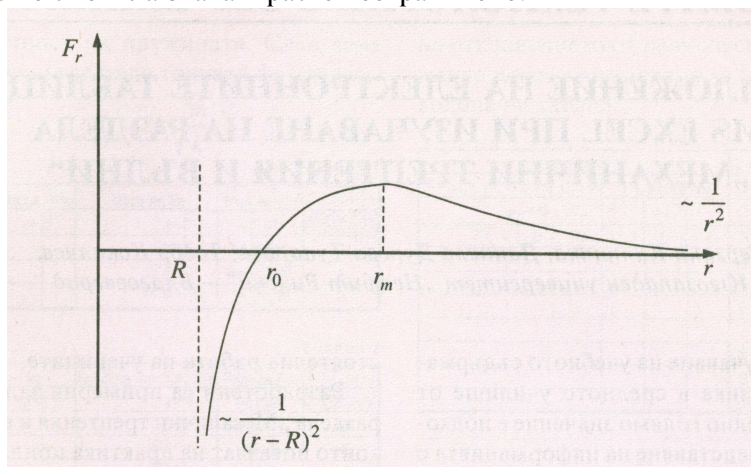
³ Тук неявно използваме т.нар. *принцип на непрекъснатостта*, който сме използвали и в други ситуации. Според този принцип една достатъчно малка промяна във физическата ситуация обикновено не предизвиква коренно различни резултати. Често вместо за принцип на непрекъснатостта се казва *от съображения за непрекъснатост*.



Фиг. 2.

В проведеното разсъждение използвахме точков заряд $+q$, но то очевидно ще остане валидно и когато зарядът е върху сфера с достатъчно малък радиус⁴.

Примерът с точковия заряд и заредената сфера може да се използва и за следното разсъждение, което позволява чрез чисто качествени разглеждания да определим характера на взаимодействието между точков заряд $+q$ и заредена сфера при различни разстояния r от заряда до центъра на сферата. При разстояния, големи в сравнение с радиуса R на сферата, взаимодействието е кулоново – на $+q$ действа сила на отблъскване, която расте с намаляване на r като $\frac{1}{r^2}$. На фиг. 3 е показана графика на зависимостта на проекцията на тази сила от r . От проведените по-горе разсъждения се вижда обаче, че при малки разстояния, т.е. при $r \rightarrow R$, силата е сила на привличане, т.е. проекцията ѝ си е сменила знака и расте неограничено.



Фиг. 3.

От тези разсъждения и от съображения за непрекъснатост следва, че при намаляване на r от безкрайност до R нарастването на силата при някаква определена стойност r_m спира, там силата на отблъскване е максимална, след което започва да намалява, при някакво r_0 става нула и при по-нататъшно намаляване на r е вече сила на привличане и големината ѝ започва да расте. Този ход на зависимостта е показан качествено на фиг. 3. Ситуацията е достатъчно проста и допуска точни количествени разглеждания, които позволяват да се намери например как r_m и r_0 зависят от R , q и Q , но пресмятанятия са свързани с решаване на алгебрични уравнения от степени, по-високи от втора. Интересуващите се могат да ги намерят в книгата на Дж. Джексон “Классическая электродинамика” (М. Мир, 1965).

За тези, на които приведените два примера изглеждат твърде сложни, за да ги използват в клас, а все пак искат да посочат на учениците пример, в който ясно да личи разликата между точков заряд и заредено тяло, може да предложим следния прост

⁴ Отново принципът за непрекъснатост!

случай: силата на взаимодействие между два точкови заряда е различна от нула, само ако големините и на двата заряда са различни от нула. Силата на взаимодействие между точков заряд и едно тяло обаче може да е различна от нула, дори когато общият заряд на тялото е нула, т.е. – когато тялото е незаредено. Пример: взаимодействие на точков заряд и индуцираните върху незаредена метална сфера разноименни заряди.

Друг пример е привличането между заредена стъклена пръчка и *незаредени* хартиени късчета, но неговото обяснение е малко по-сложно, защото докато в металите появата на индуцирани заряди е някак си по-естествено заради наличието на свободни електрони, в случая трябва да се намесва поляризацията на диелектрика, което не е толкова очевидно.