

Отново изгубена енергия

Следната ситуация от електростатиката представлява класически пример за парадокс от типа “изгубена” енергия.

Електродите на зареден кондензатор се свързват с електродите на идентичен с него, но незареден кондензатор. Елементарното пресмятане показва, че електростатичната енергия на крайното състояние е два пъти по-малка от началната. Къде се “губи” половината енергия?

Наистина, ако C и Q са капацитетът и заряда на кондензатора, то в съответствие с известната формула началната енергия на системата от двата кондензатора е $W_1 = \frac{Q^2}{2C}$.

След свързване на двата кондензатора зарядът се разпределя между тях по равно (капацитетите им са еднакви!), т.е. всеки носи заряд $Q/2$ и следователно енергията му е $\frac{(Q/2)^2}{2C} = \frac{W_1}{4}$. Така в крайното състояние общата енергия на системата е

$W_2 = \frac{W_1}{4} + \frac{W_1}{4} = \frac{W_1}{2}$. Оказва се, че наистина:

$$W_1 - W_2 = \frac{W_1}{2} \neq 0.$$

Отговорът на въпроса къде отива “изгубената” енергия зависи от конкретните условия – в частност, например, от съпротивления R и индуктивностите L на проводниците, с които осъществяваме връзката между кондензаторите. При прехвърлянето на заряд $Q/2$ през проводниците протича ток и част от енергията се отделя в тях като джаулева топлина. При протичане на ток през проводниците възниква магнитно поле, което също притежава енергия. Фактически прехвърлянето на половината от началния заряд не е мигновен процес – в системата възникват електромагнитни трептения. Тези трептения затихват, като част от енергията им се излъчва, а друга се отделя като джаулева топлина. Именно съотношението между тези две части зависи от конкретните условия – от геометрията на електродите на кондензаторите и съединителните проводници и от техните характеристики R , L и C .

Не уточняването на въпросните условия не позволява да се докаже, че “се губи” точно половината от началната енергия.

Съществува обаче и друга гледна точка към ситуацията. Тъй като тя по същество е електростатична, то и парадоксът с “губенето” на енергия трябва да има обяснение в рамките на статиката, без позовавания на протичане на ток, джаулеви загуби, излъчена енергия и т.н. В този случай трябва да си представяме, че върху системата освен вътрешните (електрични) сили действа и някаква абстрактна **външна** сила с доста специфични свойства. Източникът на тази сила взема един електрон от отрицателния електрод на заредения кондензатор и **безкрайно бавно** го отнася върху незаредения кондензатор. Тъй като останалите електрони отблъскват този електрон, за да бъде преместването безкрайно бавно, външната сила трябва да компенсира във всеки момент вътрешната и щом ѝ противодейства, посоката ѝ ще бъде противоположна на посоката на преместването, а работата ѝ по знак – отрицателна. И така, “електрон по електрон” – докато прехвърлим половината от началния заряд.

При този начин на разсъждение е ясно, че част от началната електрична енергия, посредством работата на външната сила, се преобразува в енергия на източника на тази сила. А детайлното проследяване на процеса на прехвърляне на безкрайно много безкрайно малки порции заряд вече лесно може да даде и количествен резултат – че се “губи” точно половината от началната енергия.

Помислете. Крайната ситуация в разгледания случай представлява два еднакви успоредно свързани кондензатора. Ще се промени ли енергията на системата, ако направим още една промяна и свържем кондензаторите последователно? А ако капацитетите им не са еднакви?

Други подобни парадокси. Други подобни парадокси се получават винаги, когато енергията на една система зависи от квадрата на величината, която е определяща за енергията. В нашия случай това бе зарядът на един кондензатор. В други това може да бъде токът през намотка, удължението на пружина или еластична нишка и т.н.