

Нарушаване принципа на суперпозицията – един привиден парадокс¹

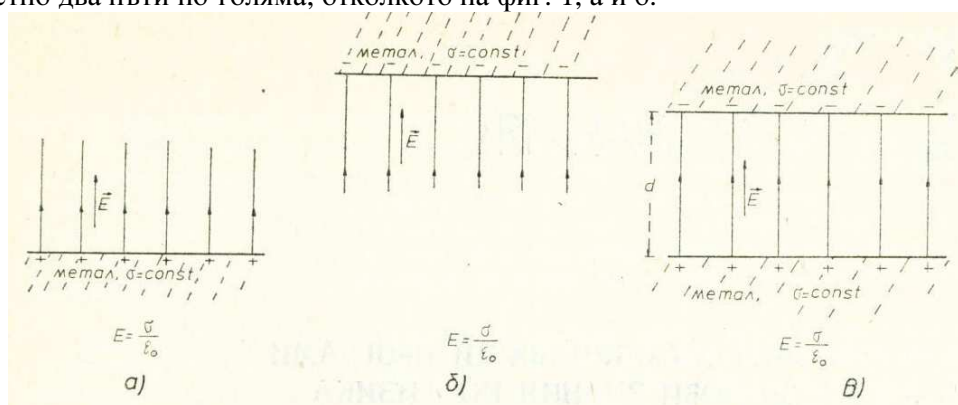
Известно е, че в електростатично поле, близо до повърхността на зареден проводник интензитетът на полето е перпендикулярен на тази повърхност и има големина, която се описва с формулата:

$$(1) \quad E = \frac{\sigma}{\epsilon_0},$$

където σ е повърхнинната плътност на електричните заряди, а ϵ_0 – електричната константа.

На фиг. 1,а са изобразени няколко силови линии на полето, създадено от безкраен плосък проводник, носещ положителни повърхнинни заряди с плътност $\sigma = \text{const}$. По аналогичен начин, на фиг. 1,б са изобразени няколко силови линии на полето, създадено от подобен проводник, но зареден с отрицателни заряди със същата по големина плътност. Двата проводника са разположени така, че полетата им са еднопосочни. Големината на интензитета на всяко от полетата се описва с формула (1), поради което очакваме, че ако направим суперпозиция от двете полета – както на фиг.

1,в – интензитетът на общото поле ще бъде $2E = \frac{2\sigma}{\epsilon_0}$ и гъстотата на силовите линии – съответно два пъти по-голяма, отколкото на фиг. 1, а и б.



Фиг. 1.

Всъщност нищо подобно не се наблюдава – на фиг. 1,в е изобразено полето вътре в плосък кондензатор, за което е известно, че е точно $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$, а не $E = \frac{2\sigma}{\epsilon_0}$. Оттук

и парадоксът – валиден ли е всъщност принципът на суперпозицията за този случай? Защо “наслагването” на двете полета не променя нищо, защо интензитетът си остава същият?

Към поставения въпрос може да се подходи от различни страни. Преди всичко ще отбележим, че когато става дума за безкрайни обекти (в случая – проводници), често може да се натъкнем на подобни ситуации. Причината обикновено е в това, че в тези случаи не са изпълнени някои от условията, при които са валидни съответните теореми за единственост на решението на уравненията на полето. Когато става дума за преподаване в училище обаче, подобни доводи нямат място и трябва да търсим други начини за обясняване на парадоксите.

Един възможен начин за разплитане на конкретния парадокс е да възприемем, че *всяка силова линия има непременно и начало, и край*. Физическият смисъл на това твърдение съответства на днешната ни представа за света: то всъщност означава, че

¹ По статията *Какво ни говори теоремата на Гаус–Остроградски, гледана “наотъки”*, Физика, 1981, 2, с. 25–27.

общият електричен заряд на Вселената е нула. Затова на всеки положителен заряд, от който започва някоя силова линия, непременно някъде съответства същия по големина отрицателен заряд, върху който тази линия завършва.

Как *хипотезата*, че общият заряд на Вселената е нула, може да помогне да обясним описания парадокс? От гледна точка на тази хипотеза, в случая не става дума за наслагване на две различни полета: *на фиг. 1,а и фиг. 1,б е изобразено едно и също поле, но не са показани всичките му източници!*

Наистина, на фиг. 1,а са изобразени положителни заряди и започващи от тях силови линии. Тези линии обаче непременно трябва да завършват върху отрицателни заряди. Къде са тези заряди – очевидно в безкрайност и затова “не се виждат”. По същия начин на фиг. 1,б са изобразени само отрицателните заряди, създаващи *същото* поле. Ситуацията е такава, като че ли имаме зареден плосък кондензатор, разстоянието между плочите на който е безкрайно голямо. Известно е обаче, че интензитетът на полето в плоския кондензатор не зависи от това разстояние – затова и нищо не се променя, когато поставим тези плочи на крайно разстояние, както на фиг. 1,в.

И така, парадоксът се оказва привиден – в описания случай няма суперпозиция на две различни полета, а просто на фиг. 1,а и фиг. 1,б са показани различни части от едно и също поле. Тези части се получават от фиг. 1,в чрез отнасяне или на горната, или на долната плоча на кондензатора в безкрайност.