

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЗАКОНУ КУЛОНА ДО ВЗАЄМОДІЇ ЗАРЯДЖЕНИХ СТРИЖНІВ

*Чамара Д.О., Івашина Ю.К.
Херсонський державний університет*

Взаємодія між зарядженими тілами має важливе практичне і методичне значення. З практичної точки зору силу взаємодії потрібно визначати при проектуванні і аналізі роботи різних електротехнічних пристроїв. З методичної точки зору становить інтерес вибір моделі заряджених тіл – точкового чи неперервно розподіленого заряду.

Актуальність роботи - визначення сили взаємодії між зарядженими тілами має важливе практичне та методичне значення. В основі його лежить експериментальний закон Кулона. Але він визначає взаємодію між точковими зарядами.

У випадку визначення взаємодії між зарядженими тілами необхідно розбивати їх на елементи, які розглядають як точкові заряди і визначити силу взаємодії між двома елементами тіл. Сумарну силу взаємодії між тілами визначають як результуючу елементарних сил шляхом їх інтегрування на об'ємах тіла. Така задача має суттєві математичні складності. Вирішення цієї задачі можна значно спростити якщо є можливість застосувати закон Кулона. Відомо, що чим ближча форма заряджених тіл до сфери, поле якої еквівалентне полю точкового заряду, тим більш точно до тіла можна застосувати модель точкового заряду. Найбільше від сферичної симетрії відрізняються видовжені тіла, ідеальною моделлю яких є стрижні.

Мета роботи: визначення можливості застосування закону Кулона до розрахунку сили взаємодії заряджених стрижнів.

Так як можливість застосування моделі точкового заряду залежить від відстані до точки спостереження і розмірів зарядженого тіла, будемо використовувати відносну відстань $\frac{r}{L}$. Розглянемо силу взаємодії двох однорідно заряджених стрижнів, що мають однакову довжину $L_1=L_2$, та рівномірно заряджені q_1 і q_2 .

Стрижень L_2 розташований на осі симетрії стрижня L_1 . Відстань від першого стрижня до центра другого стрижня –а.

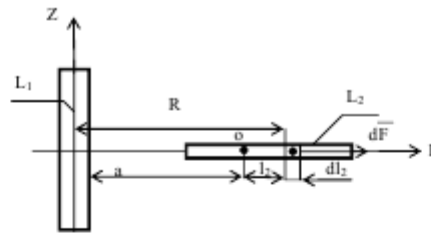


Рис. 1 Схема розташування стрижнів і елементів

Визначимо силу взаємодії стрижнів на основі закону Кулона – F_k і істинну силу F , яка визначається шляхом інтегрування сил взаємодії між елементами стрижнів.

Сили, що діють на всі елементи стрижня 2 направлені вздовж осі R , тому сумарна дія першого стрижня на другий направлена вздовж осі R і рівна

$$F = F_R = \frac{kq_1 \cdot q_2}{L} \int_{a-\frac{L}{2}}^{a+\frac{L}{2}} \frac{dR}{R \sqrt{R^2 + \frac{L^2}{4}}} \quad (1)$$

Сила взаємодії між стрижнями, визначена на основі закону Кулона

$$F_k = \frac{kq_1 \cdot q_2}{a^2} = \frac{kq_1 \cdot q_2}{L^2 \cdot \left(\frac{a}{L}\right)^2} \quad (2)$$

Визначимо на основі (1) і (2) сили F , F_k , абсолютну і відносну похибки $\Delta F = |F - F_k|$ і $\varepsilon = \frac{\Delta F}{F}$ в залежності від відносної відстані $\frac{a}{L}$. Результати приведені в таблиці 1.

Залежності істинної сили взаємодії між зарядженими стрижнями F , кулонівської сили F_k , абсолютної ΔF і відносної ε похибок в залежності від відносної відстані $\frac{a}{L}$ при перпендикулярному розташуванні стрижнів

Таблиця 1.

$\frac{a}{L}$	2	3	4	5
$F_k, \frac{kq_1 \cdot q_2}{L^2}$	0,2500	0,1111	0,0625	0,0400
$F, \frac{kq_1 \cdot q_2}{L^2}$	0,2575	0,1126	0,0630	0,0402
$\Delta F, \frac{kq_1 \cdot q_2}{L^2}$	0,0075	0,0015	0,0005	0,0002
$\varepsilon, \%$	2,9	1,3	0,8	0,5

Однорідно заряджені стрижні довжиною L із зарядами q_1 і q_2 розташовані вздовж осі z на відстані між центрами a . Всі елементарні сили dF направлені вздовж осі z . Сила дії першого стрижня на другий

$$F = \frac{kq_1 q_2}{L^2} \left(\int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \frac{dl_2}{a - \frac{L}{2} + l_2} - \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \frac{dl_2}{a + \frac{L}{2} + l_2} \right) = \frac{kq_1 q_2}{L^2} \ln \frac{a^2 + L^2}{a^2} = \frac{kq_1 q_2}{L^2} \ln \left(1 + \frac{1}{\left(\frac{a}{L}\right)^2} \right) \quad (3)$$

Сила взаємодії визначена на основі закону Кулона

$$F_k = \frac{kq_1 \cdot q_2}{a^2} = \frac{kq_1 \cdot q_2}{L^2 \cdot \left(\frac{a}{L}\right)^2} \quad (4)$$

Визначимо залежність істинної і кулонівської сил, абсолютної та відносної похибок a/L .

Залежність істинної сили F і сили визначення за законом Кулона F_k абсолютної ΔF і відносної похибок $\varepsilon = \frac{\Delta F}{F}$ від відносної відстані $\frac{a}{L}$ при розташуванні стрижнів на одній осі.

Таблиця 2

a/L	3	4	5	6	8	10
$F_{k'}, \frac{kq_1q_2}{L^2}$	0,1111	0,0625	0,0400	0,0278	0,0156	0,01
$F, \frac{kq_1q_2}{L^2}$	0,1178	0,0645	0,0408	0,0282	0,0157	0,00995
$\Delta F, \frac{kq_1q_2}{L^2}$	0,0067	0,0020	0,0008	0,0004	0,0001	0,00005
$\epsilon, \%$	5,68	3,1	2	1,42	0,64	0,5

Розрахунки взаємодії двох однорідно заряджених стрижнів дали, що похибка застосування закону Кулона не перевищує: 0,5% при $\frac{a}{L} \geq 5$ при розташуванні одного стрижня на перпендикулярній осі симетрії іншого; і при $\frac{a}{L} \geq 10$ при розташуванні стрижнів на одній лінії.

Приведені результати показують, що закон Кулона можна застосувати до взаємодії стрижнів і при невеликих значеннях відносної відстані.

Література:

1. Калануша Л.Р. Моделі в науці та навчальному процесі з фізики Ч. I, II//Фізика та астрономія в школі.- 2007.-№1.-с.10-13, -2007.-№ 3, -С.13-17.