

Тема 1. Електричне поле

Питання теми

- 1.1. Електричні явища. Електричні поля.
- 1.2. Електрична взаємодія. Закон Кулона.
- 1.3. Принцип суперпозиції полів.
- 1.4. Потік вектора напруженості і вектора зміщення електричного поля.

1.1. Електричні явища. Електричні поля

Електричні явища здавна відомі людині: блискавка – електричний розряд між хмарами чи між хмарию і землею, свічення загострених предметів у передгроззя (вогні святлого Ельма на мачтах кораблів), притягування клаптиків паперу натертим бурштином, електризація шовкової тканини внаслідок тертя. Слово електрика походить від слова електрон – так грецькою називається закам'яніла смола бурштин (янтар). Вважається, що в природі існують заряди, які створюють навколо себе електричні поля, через які заряджені тіла взаємодіють – притягуються чи відштовхуються. Ми будемо користуватися цими поняттями, хоча встановити наявність заряду як чогось виокремленого не вдалося – заряд завжди пов'язаний з масою. Нам невідомо, що являє собою електричне поле – чи то певне середовище в просторі, чи може потік якихось частинок. Але достеменно відомо, що навколо заряджених тіл воно існує. Електричне поле є також складовою так званого електромагнітного поля – електромагнітних хвиль, зокрема світла.

Нати
сніть
на
символ



29Kulon.pdf

1.2. Електрична взаємодія. Закон Кулона

У природі існує два роди електрики – додатні і від’ємні заряди. Носіями елементарних від’ємних зарядів є електрони ($e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$), а додатних – протони. Заряд протона за величиною рівний заряду електрона. Заряди між собою взаємодіють через **електричні поля**, створені навколо електричними зарядами: різнойменні притягуються, а однойменні відштовхуються.

Розглянемо взаємодію двох точкових зарядів. Нехай точковий заряд q у вакуумі створює навколо себе електричне поле (рис. 1.1).

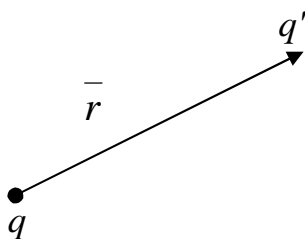


Рис. 1.1

Помістимо в деяку точку цього поля на відстані r інший пробний точковий заряд q' . На цей заряд q' з боку заряду q буде діяти сила, величина якої визначається законом Кулона.

У системі *SI* закон Кулона має вигляд:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q \cdot q'}{r^2}. \quad (1)$$

Оскільки сила – вектор, то закон Кулона у векторному вигляді можна записати:

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q \cdot q'}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}. \quad (2)$$

Нати
снить
на
сим-
вол



01Indyk.flv



02lindyk.flv



29Kulon.pdf

Тут $\frac{\mathbf{r}}{r}$ одиничний вектор, який і визначає напрям сили; $\epsilon_0 = 8,8 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ – електрична стала.

**Зазначимо, що закон
Кулона справедливий тільки
для **ТОЧКОВИХ** зарядів**

Напруженість електричного поля. Згідно з (1), чим більша величина q' , тим більша діюча на нього сила, однак відношення сили F до величини пробного заряду q' залишається незмінним (від q' не залежить) і є характеристикою поля, що дістала назву напруженості:

$$E = \frac{F}{q'} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}. \quad (3)$$

Напруженість – це так звана силова характеристика поля, бо вона визначається через силу.

У векторному вигляді напруженість поля точкового заряду

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q'} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q \cdot q'}{r^2} \cdot \frac{\mathbf{r}}{q'} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2} \cdot \frac{\mathbf{r}}{r}. \quad (4)$$

Як бачимо, напруженість поля \vec{E} співпадає з напрямком сили, що діє на пробний заряд q' у даній точці з боку заряду q . Якщо заряд q додатній,

то ця сила направлена від заряду вздовж радіус-вектора (рис. 1.2а). Коли ж заряд q від'ємний, то сила на пробний заряд діятиме в сторону заряду q (рис. 1.2б).

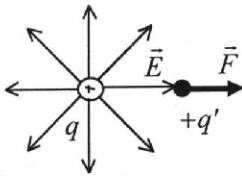


Рис. 1.2а

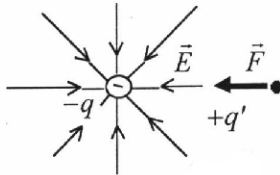


Рис. 1.2б

Натисніть на символ



03P_cyl.flv

Лінії, вздовж яких напрямлений вектор \vec{F} , називаються **лініями напруженості** або **силовими лініями**. Лінії напруженості проводяться таким чином, що в кожній точці дотична до них співпадала з вектором \vec{E} .

За допомогою **ліній напруженості (силових ліній)** можна представити величину електричного поля – чим густіше йдуть лінії, тим більше поле. **Густота ліній – це кількість ліній, які проходять через одиницю поверхні, перпендикулярну до цих ліній** (рис. 1.3). Тому прийнято **напруженість поля характеризувати густотою ліній**:



04P_sf.flv

$$\langle \text{густота ліній} \rangle = |E|. \quad (4)$$

Лінії напруженості проводять так, щоб їх густота чисельно дорівнювала напруженості поля.

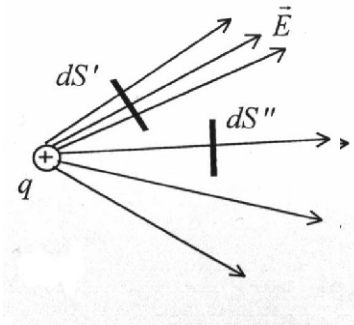


Рис. 1.3

Наприклад, через одиничний елемент площини $dS' = 1$ проходить більше ліній, ніж через такий самий елемент $dS'' = 1$ в іншій точці простору.

**Величина
напруженості
електричного поля
чисельно дорівнює
густоті ліній
напруженості**

1.3. Принцип суперпозиції полів

Однією з найважливіших властивостей електричних полів є принцип **накладання** або **принцип суперпозиції**. Якщо, наприклад, пробний заряд знаходиться в полі декількох зарядів, то сила, яка діє на нього, дорівнює векторній сумі сил полів цих зарядів, що діють зокрема. Тому принцип суперпозиції можна сформулювати так:

вектор напруженості результуючого електрич-

ного поля дорівнює векторній сумі напруженостей полів, які створює кожен із зарядів системи зокрема:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_k = \sum_{i=1}^k \vec{E}_i. \quad (5)$$

Принцип суперпозиції дає можливість розраховувати електричні поля системи нерухомих зарядів, розглядаючи їх як сукупність точкових зарядів. На рис. 1.4 зображено силові лінії для системи зарядів $+q$ і $-q$, як результат суперпозиції.

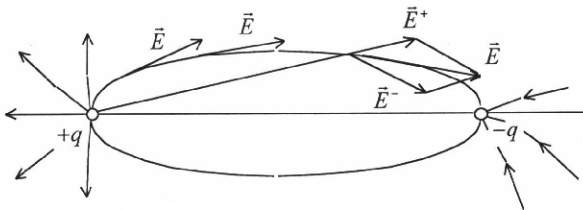


Рис. 1.4

Поряд з вектором \vec{E} для опису електричного поля в діелектриках вводиться поняття **електричної індукції** або **вектора електричного зміщення**:

$$\vec{D} = \epsilon \epsilon_0 \vec{E} \quad (6)$$

де ϵ – діелектрична проникність. Для вакууму $\epsilon = 1$ і $\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E}$.

Натисніть на символ



05Pol2sf.flv

1.4. Потік вектора напруженості і вектора зміщення електричного поля

Потік вектора \vec{E} – це кількість ліній напруженості dN , що проходять через перпендикулярну поверхню dS_n , яка характеризується нормаллю \vec{n} – одиничним вектором, перпендикулярним до елемента площини (рис. 1.5).

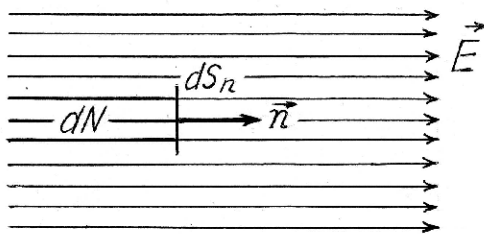


Рис. 1.5.

Якщо вектор \vec{n} паралельний до \vec{E} , то

$$dN = EdS_n. \quad (7)$$

де E – густина ліній, dS – поверхня, через яку ці лінії проходять.

В загальному випадку потік залежить від орієнтації поверхні (рис. 1.6).

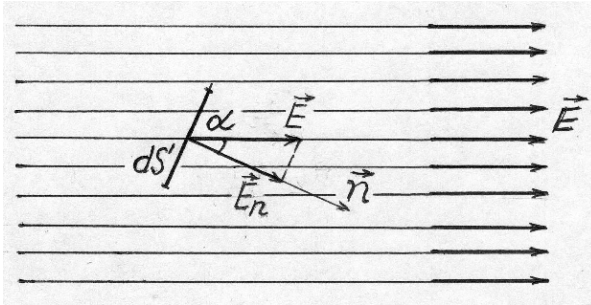


Рис. 1.6

. Якщо поверхня dS орієнтована відносно вектора \vec{E} під кутом α , то можна записати:

$$dN = E dS \cos \alpha = E \cos \alpha dS$$

чи
$$dN = E_n dS, \quad (9)$$

де
$$E_n = E \cos \alpha \quad (10)$$

– складова поля в напрямку нормалі \vec{n} .

Якщо поле неоднорідне, то через різні ділянки поверхні S проходить різна кількість силових ліній (рис. 1.7).

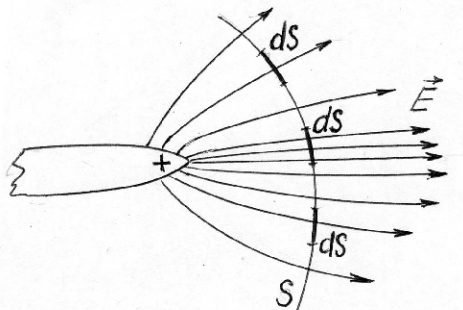


Рис. 1.7

Тоді загальний потік вектора напруженості

$$N_E = \int_S E_n dS \quad (11)$$

або для вектора електричного зміщення

$$N_D = \int_S D_n dS \quad (12)$$

Розрахунок потоку вектора \vec{E} (чи вектора \vec{D}) через замкнену поверхню дає можливість знайти напруженість електричного поля. Це робиться за допомогою теореми Остроградського-Гаусса, що є предметом розгляду наступної теми.

Питання для контролю:

1. Що таке електричне поле ? Якими величинами воно характеризується ?
2. У чому полягає принцип суперпозиції електричних полів ?
3. Дати визначення напруженості електричного поля.
4. Що таке лінії напруженості електричного поля? Що характеризує густина ліній напруженості ?
5. Що таке вектор електричного зміщення ? Як він пов'язаний з вектором напруженості електричного поля ?
6. Що таке потік вектора напруженості або вектора електричного зміщення ?

Допоміжна література

1. Савельев И. В. Курс общей физики. Т. 2.
– Москва: Наука, 1978, § 5, 13, 14.