



Електричне поле. Напруженість поля

Дослідження фундаментальних властивостей електричних полів та їх
кількісних характеристик

Перевірка домашнього завдання

1 Електричний заряд

Фундаментальна властивість елементарних частинок. Буває позитивний та негативний. Мінімальний заряд дорівнює заряду електрона.

2 Взаємодія зарядів

Однорідні заряди відштовхуються, різноіменні — притягуються. Сила взаємодії залежить від величини зарядів та відстані між ними.

3 Закон Кулона

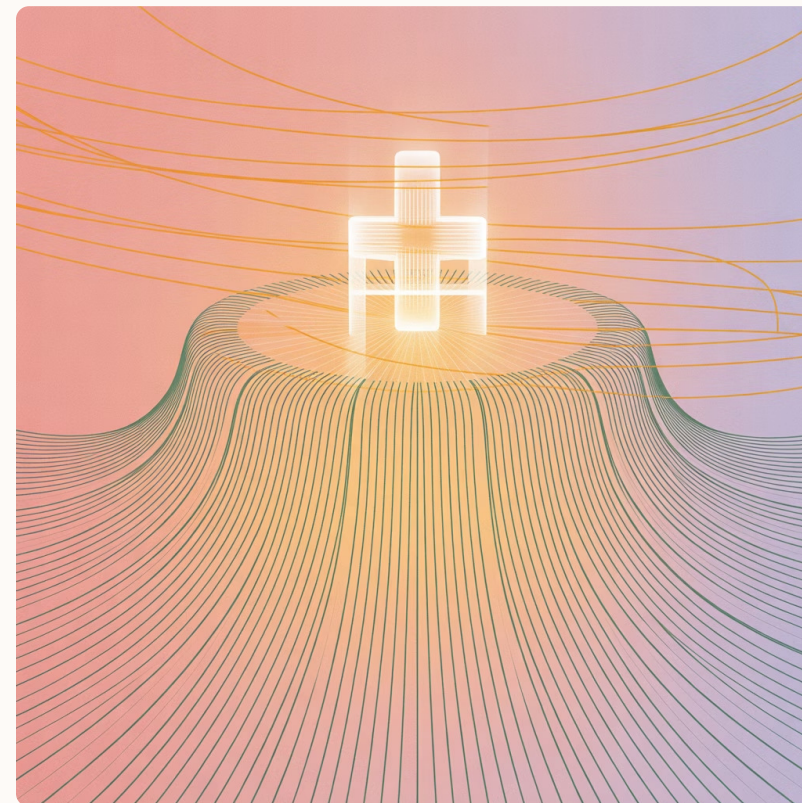
$F = k \times |q_1| \times |q_2| / r^2$, де $k = 9 \times 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$ — коефіцієнт пропорційності.

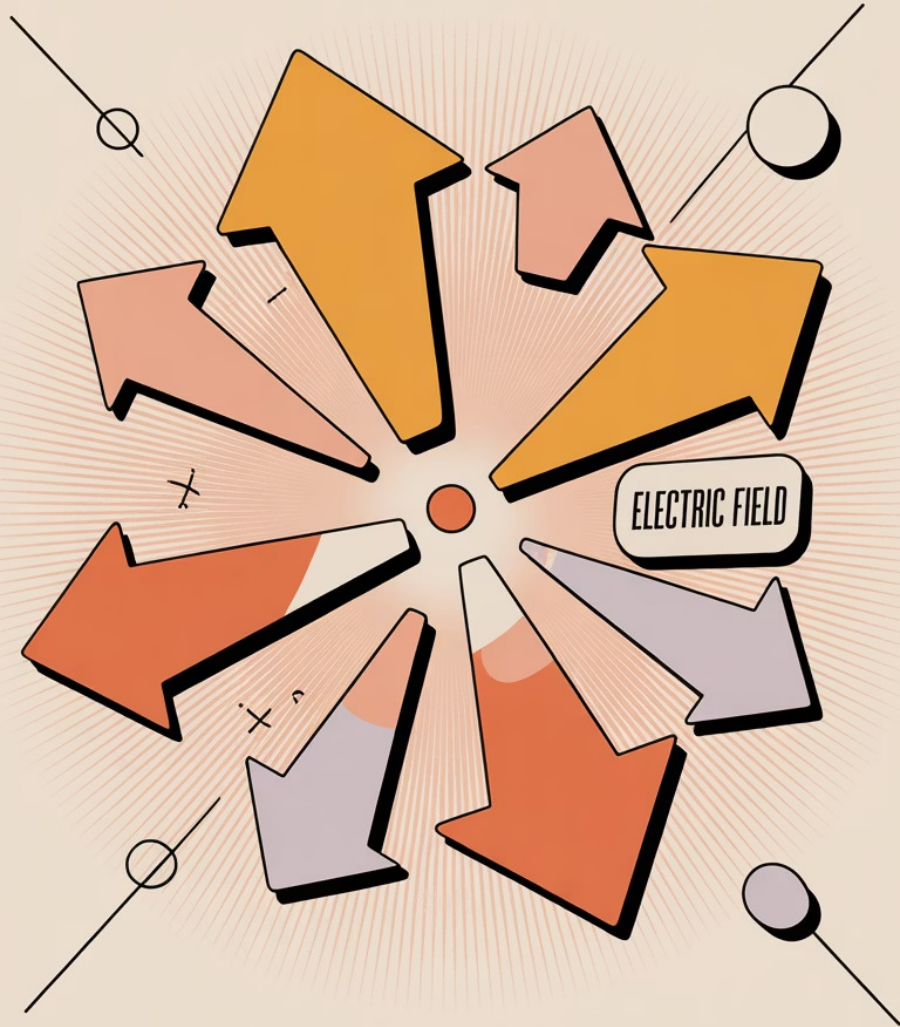
Що таке електричне поле?

Електричне поле — це особлива форма матерії, що існує навколо будь-якого електричного заряду. Воно проявляється через силову дію на інші заряди, розміщені в цьому просторі.

i Поле невидиме для очей, але його вплив можна зафіксувати за допомогою спеціальних приладів або через поведінку заряджених частинок.

Силкові лінії допомагають візуалізувати напрямок та інтенсивність поля у різних точках простору.





Напруженість електричного поля (E)

Визначення

Векторна фізична величина, що характеризує силу дію електричного поля на одиничний позитивний заряд.

Напрямок

Збігається з напрямком сили, що діятиме на позитивний пробний заряд у даній точці поля.

Одиниці виміру

Ньютон на кулон (Н/Кл) або вольт на метр (В/м) у системі СІ.

Формула напруженості поля точкового заряду

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

де F — сила, що діє на пробний заряд q .

- Одиниці вимірювання: Н/Кл (ньютон на кулон).
- Векторна величина: напрям збігається з напрямом сили, що діє на позитивний заряд.

Компоненти формули:

- $k = 9 \times 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$ — коефіцієнт пропорційності
- q — величина заряду (Кл)
- r — відстань від заряду до точки (м)

Напрямок поля:

✔ Від позитивного заряду — радіально назовні

⚠ До негативного заряду — радіально всередину

Принцип суперпозиції електричних полів

1

Поле заряду 1

E_1 діє незалежно від інших зарядів

2

Поле заряду 2

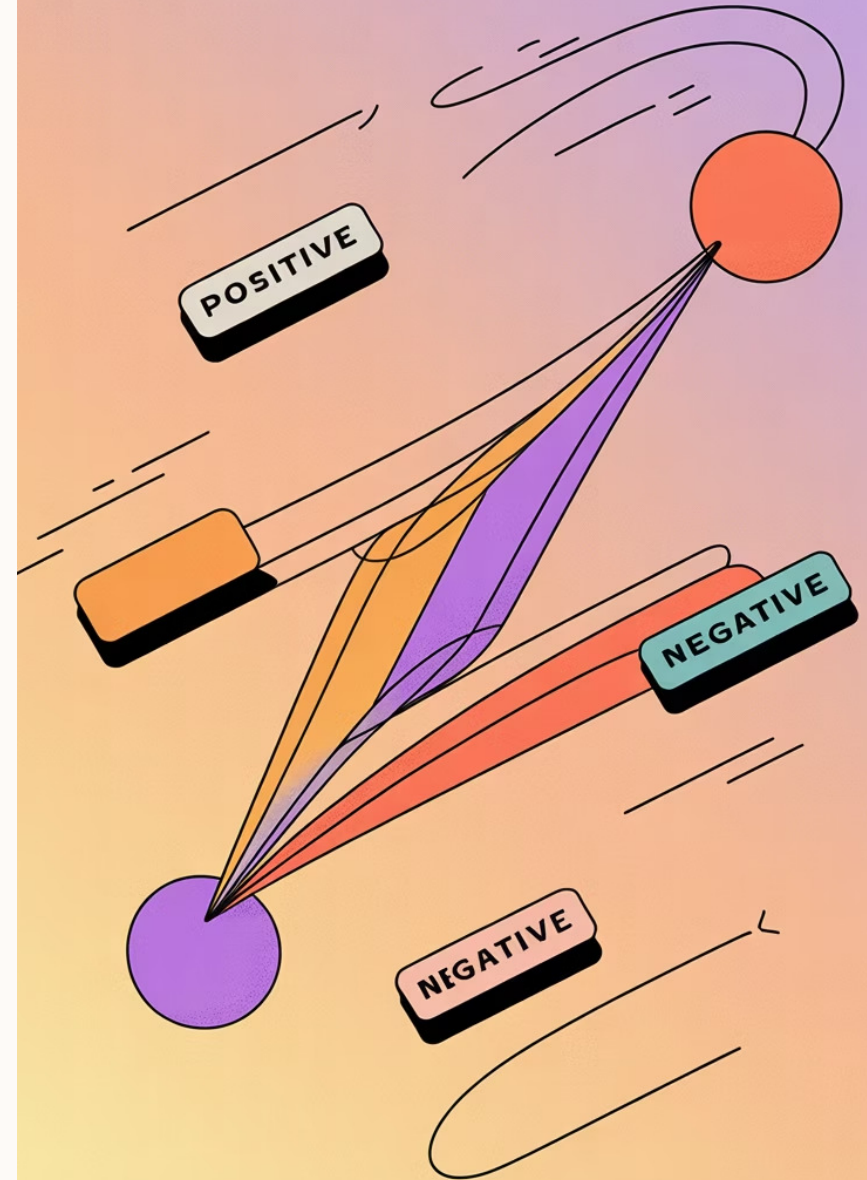
E_2 також діє незалежно

3

Результуюче поле

$E_{\text{рез}} = E_1 + E_2 + \dots + E_n$ (векторна сума)

Напруженість поля від системи зарядів дорівнює векторній сумі напруженостей полів, створюваних кожним зарядом окремо.





Сила, що діє на заряд у
електричному полі

$$F = k \frac{|Q| \cdot |q|}{r^2}.$$

$$E = k \frac{|Q| \cdot |q|}{r^2 \cdot |q|} = k \frac{|Q|}{r^2}.$$

Електричні силові лінії

Силові лінії — це уявні лінії, дотична до яких у будь-якій точці вказує напрям вектора напруженості електричного поля в цій точці.

- Починаються на позитивних зарядах
- Закінчуються на негативних зарядах
- Вказують шлях руху позитивного заряду

Густота ліній відображає силу поля

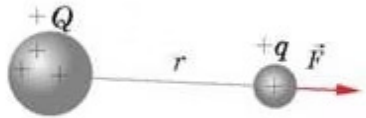


Рис. 2.1. Електричне поле точкового заряду Q діє на пробний заряд q

Властивості силових ліній



Не перетинаються

Перетин означав би існування двох різних напрямків поля в одній точці, що неможливо.



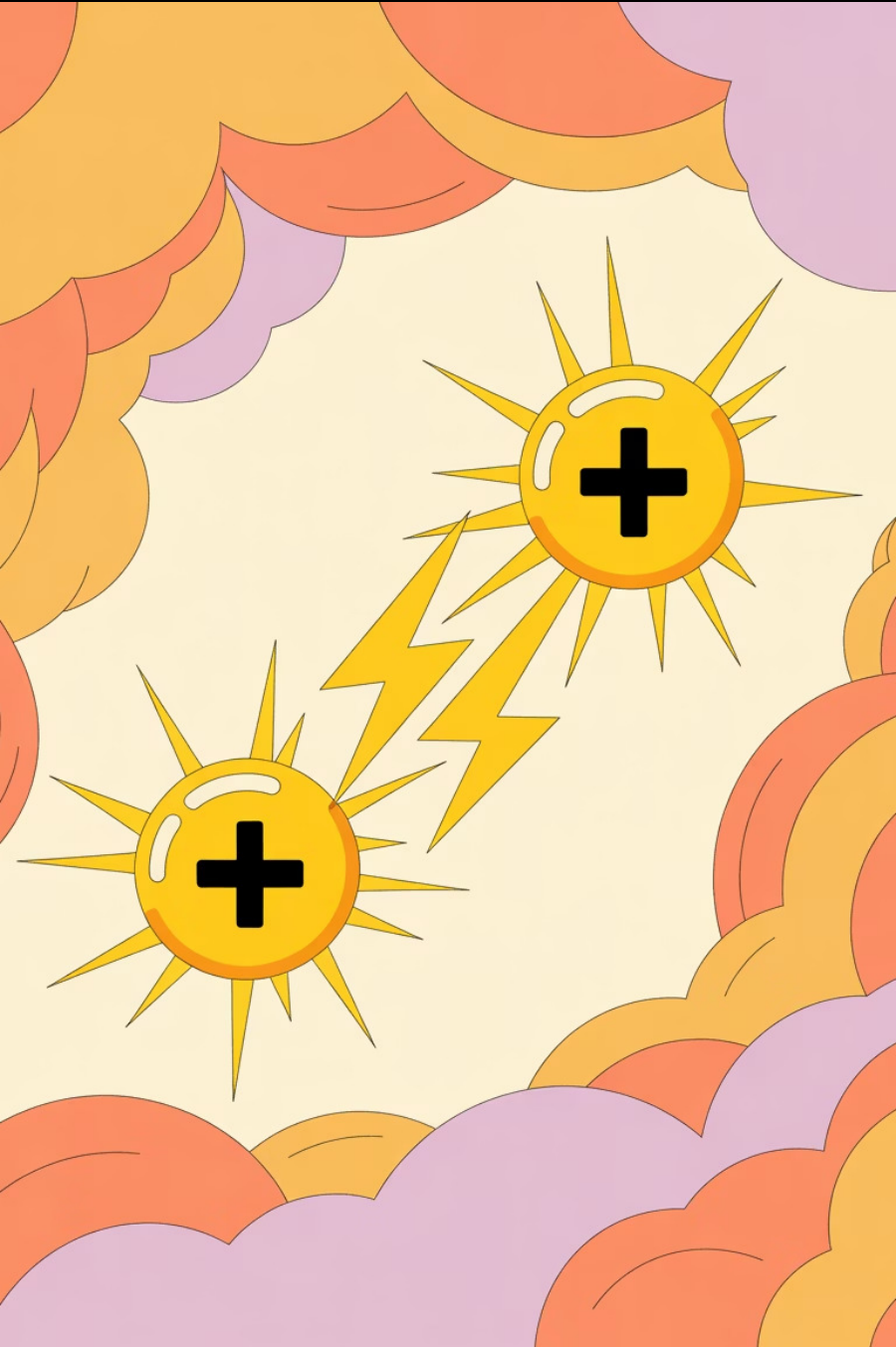
Перпендикулярність

Завжди перпендикулярні до поверхні зарядженого провідника в точках дотику.



Густина ліній

Пропорційна величині напруженості поля — чим густіше, тим сильніше поле.



Поле двох однакових позитивних зарядів

Між однойменними зарядами спостерігається зона зниженої напруженості поля, оскільки силові лінії відхиляються одна від одної.

Поблизу зарядів

Висока напруженість поля

Між зарядами

Мінімальна напруженість через відштовхування ліній

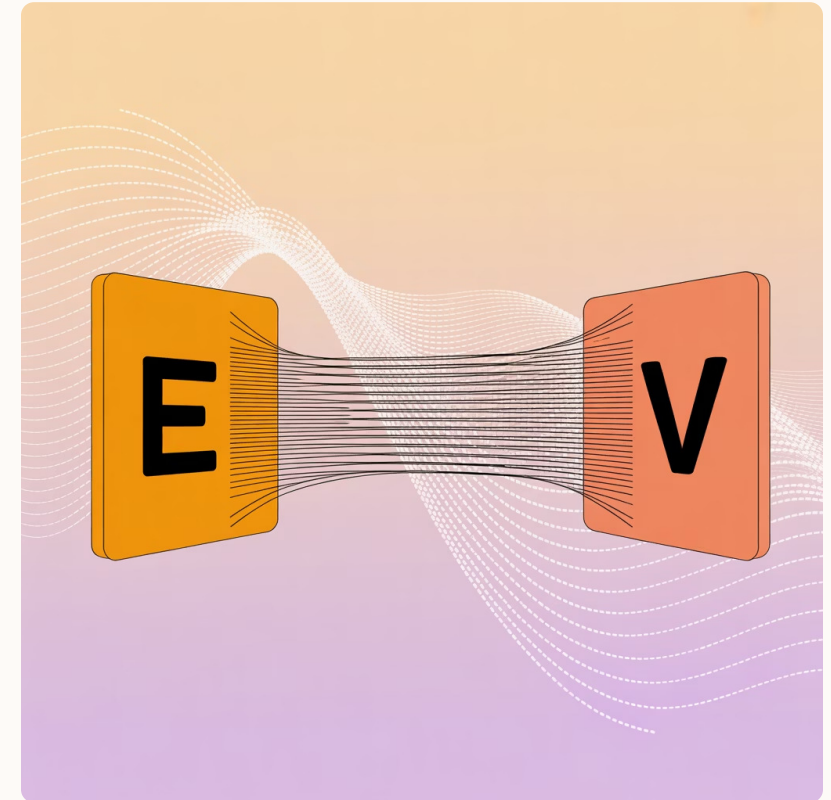
Однорідне електричне поле

Однорідне поле характеризується постійною напруженістю за величиною та напрямком у всіх точках простору.

Характеристики:

- Напруженість $E = \text{const}$
- Силі лінії паралельні та рівномірно розподілені
- Створюється між двома паралельними зарядженими пластинами

✓ Ідеальне однорідне поле існує тільки у нескінченних пластинах



Приклад розрахунку напруженості

Задача (приклад):

Знайти напруженість електричного поля на відстані 0,2 м від точкового заряду $q = 2 \cdot 10^{-6}$ Кл.

Розв'язання:

$$E = k \frac{q}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{2 \cdot 10^{-6}}{0,2^2} = 4,5 \cdot 10^5 \text{ Н/Кл.}$$

Дано:

$$q_1 = 7,5 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$q_2 = -14,7 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

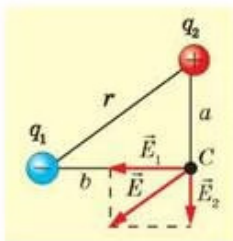
$$a = 3 \text{ см} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$b = 4 \text{ см} = 4 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$r = 5 \text{ см} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$E = ?$

Розв'язування



Зробимо рисунок і позначимо точку C , в якій потрібно знайти напруженість результуючого поля E .

Напруженість результуючого поля визначається за принципом суперпозиції (формула 3) як геометрична сума напруженостей полів, створених зарядами q_1 і q_2 : $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$.

$$\text{За теоремою косинусів: } E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 - 2E_1 \cdot E_2 \cos(\vec{E}_1 \wedge \vec{E}_2)}.$$

Кут між векторами $\vec{E}_1$ та $\vec{E}_2$ дорівнює куту $\angle C$ між сторонами a і b трикутника $q_1 C q_2$, оскільки трикутник зі сторонами $\vec{E}_1$ і $\vec{E}_2$ та трикутник $q_1 C q_2$ — подібні.

$\angle C = 90^\circ$ (дійсно, $\Delta q_1 C q_2$ — прямокутний, оскільки для нього $c^2 = a^2 + b^2$, тобто $5^2 = 3^2 + 4^2$, або $\cos \angle C = \frac{a^2 + b^2 - r^2}{2a \cdot b} = \frac{3^2 + 4^2 - 5^2}{2 \cdot 3 \cdot 4} = 0$).

$$\text{Тому } E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}.$$

Враховуючи, що напруженість електричного поля точкового заряду визначається за формулою $E = k \cdot \frac{q}{r^2}$, отримаємо:

$$E = \sqrt{k^2 \frac{q_1^2}{b^4} + k^2 \frac{q_2^2}{a^4}} = k \cdot \sqrt{\frac{q_1^2}{b^4} + \frac{q_2^2}{a^4}}.$$

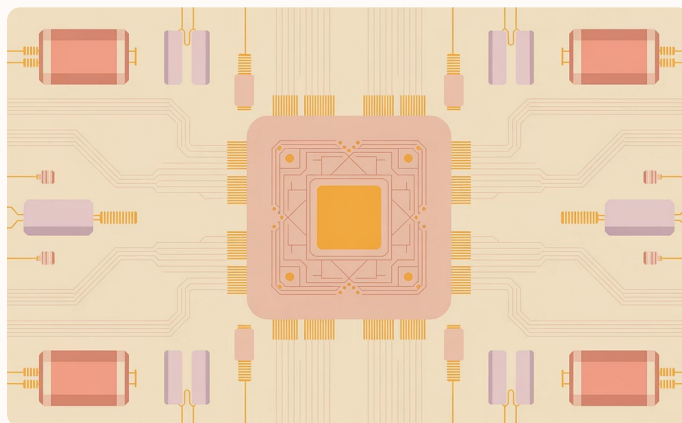
Два точкові заряди $q_1 = -14,7 \text{ нКл}$ і $q_2 = 7,5 \text{ нКл}$ розміщені на відстані $r = 5 \text{ см}$. Знайти напруженість E електричного поля у точці, що знаходиться на відстанях $a = 3 \text{ см}$ від позитивного та $b = 4 \text{ см}$ від негативного.

Практичне значення електричного поля



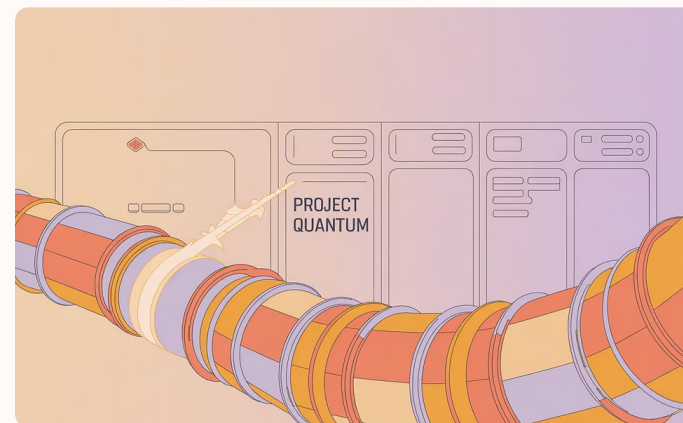
Конденсатори

Накопичення електричної енергії у полі між пластинами. Основа для фільтрів та схем живлення.



Електронні пристрої

Керування рухом електронів у транзисторах, діодах та інтегральних схемах.



Прискорювачі частинок

Розгін заряджених частинок до високих швидкостей для наукових досліджень.

Висновки

Фундаментальність

Електричне поле — основне поняття для розуміння електричних явищ у природі та техніці.

Кількісна оцінка

Напруженість поля дає змогу точно розрахувати силу взаємодії зарядів та рух частинок.

Практичне застосування

Розуміння електричного поля — ключ до сучасних технологій, від мікроелектроніки до енергетики.

Електричне поле — основа сучасного технологічного світу

