Pole elektrostatyczne

PEŁNA · CC BY 4.0

Ładunek elektryczny

ładunek jako wielokrotność e ····· $q = ne$

Ładunek ciała jest zawsze całkowitą wielokrotnością ładunku elementarnego e; ujemny ładunek oznacza nadmiar elektronów.

Centralne pole elektrostatyczne

prawo Coulomba ★ ····· $F_e = \frac{kQq}{r^2}$

Prawo Coulomba w próżni, dla ładunków punktowych: F jest wartością siły, a Q i q oznaczają moduły ładunków. Ładunki jednoimienne odpychają się, różnoimienne przyciągają; r > 0.

stała elektrostatyczna ····· $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$

natężenie pola ····· $E = \frac{F_e}{q} = \frac{kQ}{r^2}$

Wzór skalarny na wartość natężenia pola: F, Q i q oznaczają moduły; q > 0, r > 0. E = F/q działa w każdym polu (q to mały ładunek próbny), a postać kQ/r² tylko dla pola ładunku punktowego w próżni. Pole ładunku dodatniego jest skierowane od niego, a ujemnego do niego.

potencjał ····· $\varphi = k\frac{Q}{r}$

Pole ładunku punktowego w próżni; Q jest ładunkiem ze znakiem, r > 0. Potencjał zerowy w nieskończoności.

energia potencjalna ····· $E_{\text{pot}} = \frac{kQq}{r}$

Ładunki punktowe w próżni; Q i q są ładunkami ze znakiem, r > 0. Energia potencjalna zerowa w nieskończoności.

praca sił pola przy przeniesieniu ładunku z A do B

$$W_{AB} = kQq\left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B}\right)$$

Pole ładunku punktowego Q w próżni; Q i q są ładunkami ze znakiem. To praca sił pola przy przenoszeniu q, a odległości r_A i r_B są dodatnie.

prawo Gaussa dla pola elektrycznego

$$\oiint \vec{E}\cdot \mathrm{d}\vec{A} = \frac{Q}{\varepsilon_0}$$

W próżni całkujemy po zamkniętej powierzchni. Wektor elementu powierzchni dA jest skierowany na zewnątrz; Q to algebraiczna suma ładunków wewnątrz. Iloczyn skalarny uwzględnia składową pola prostopadłą do powierzchni.

Gęstość ładunku

gęstość liniowa ładunku ····· $\lambda = \frac{Q}{l}$

λ = Q/l jest średnią liniową gęstością ładunku na odcinku długości l > 0. Dla jednorodnego rozkładu jest też stałą gęstością lokalną; w rozkładzie niejednorodnym gęstość lokalna może być inna.

gęstość powierzchniowa ładunku ····· $\sigma = \frac{Q}{S}$

gęstość objętościowa ładunku ····· $\rho = \frac{Q}{V}$

Jednorodne pole elektrostatyczne, kondensator

natężenie między okładkami ★ ····· $U = Ed$ $E = \frac{U}{d}$

Jednorodne pole między dużymi, równoległymi okładkami; pomijamy efekty brzegowe. E i U oznaczają wartości (moduły), d > 0.

pojemność kondensatora ····· $C = \frac{q}{U}$

Warunki [1]

pojemność kondensatora płaskiego ····· $C = \varepsilon_0\frac{S}{d}$

Kondensator płaski w próżni, w przybliżeniu także w powietrzu; pole między okładkami jednorodne, pomijamy efekty brzegowe.

pojemność kondensatora płaskiego z dielektrykiem

$$C = \varepsilon_r\varepsilon_0\frac{S}{d}$$

Kondensator płaski całkowicie wypełniony jednorodnym liniowym dielektrykiem; pomijamy efekty brzegowe.

energia kondensatora ····· $E_C = \frac{q^2}{2C} = \frac{1}{2}qU = \frac{1}{2}U^2C$

Warunki [1]

łączenie szeregowe kondensatorów

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \cdots + \frac{1}{C_n}$$

C to pojemność zastępcza całego układu, a C_1 … C_n pojemności kolejnych kondensatorów połączonych jeden za drugim.

łączenie równoległe kondensatorów

$$C = C_1 + C_2 + \cdots + C_n$$

C to pojemność zastępcza całego układu, a C_1 … C_n pojemności kondensatorów podłączonych do tych samych dwóch punktów.

Praca w polu elektrostatycznym

praca a napięcie ····· $W = qU$

W = qU to praca sił pola przy przeniesieniu ładunku q z A do B. Ładunek q i napięcie U podstawiaj ze znakiem; U = φ(A) − φ(B). W polu elektrostatycznym praca nie zależy od drogi.

Pole elektrostatyczne

PEŁNA · CC BY 4.0

Równania pola

równanie Poissona potencjału ····· $\Delta\varphi = -\dfrac{\rho}{\varepsilon_0}$

$\Delta\varphi$ to laplasjan potencjału (suma drugich pochodnych po x, y i z), a nie przyrost potencjału. Elektrostatyka w próżni; dla obszaru bez ładunku otrzymujemy równanie Laplace'a.

natężenie pola z potencjału ····· $\mathbf{E} = -\nabla\varphi$

Pole elektrostatyczne; potencjał określony z dokładnością do stałej.

[1] Gdy kondensator jest podłączony bezpośrednio do idealnego źródła stałego napięcia, U = const. Po odłączeniu i odizolowaniu kondensatora, przy pominięciu upływu, q = const. q jest modułem ładunku jednej okładki, a U wartością napięcia między okładkami.

Symbole i jednostki

symbol	znaczenie	jednostka
A	pole powierzchni; dA to zorientowany element powierzchni	m^2
C	pojemność	F
d	odległość między okładkami	m
e	ładunek elementarny	C
E	natężenie pola	$\mathrm{N/C} \cdot = \cdot \mathrm{V/m}$
E	wartość natężenia pola elektrycznego	$\mathrm{N/C}$
E	wartość natężenia pola elektrycznego	$\mathrm{V/m}$
$\mathbf{E}$	natężenie pola	$\mathrm{V/m}$
E_C	energia zgromadzona w kondensatorze (nie mylić z natężeniem pola E)	J
E_{pot}	energia potencjalna	J
F	siła	N
F_e	siła elektrostatyczna (kulombowska)	N
k	stała elektrostatyczna, (nie mylić ze stałą Boltzmanna) ≈ 9 · 10⁹	$\mathrm{N \cdot m^2/C^2}$
l	długość naładowanego przewodnika	m
n	liczba ładunków elementarnych (ze znakiem, gdy ładunek jest ujemny)	bez jednostki
$Q,\ q$	ładunek	C
r	odległość od źródła pola	m
r_A	odległość punktu A od ładunku Q	m
r_B	odległość punktu B od ładunku Q	m
S	powierzchnia	m^2
U	napięcie	V
V	objętość	m^3
W	praca	J
ε_0	przenikalność elektryczna próżni ≈ 8,85 · 10⁻¹²	$\mathrm{C^2/(N \cdot m^2)}$
ε_r	względna przenikalność dielektryka	$-$
λ	liniowa gęstość ładunku	$\mathrm{C/m}$
ρ	objętościowa gęstość ładunku (średnia; równa lokalnej, gdy ładunek rozłożony jest równomiernie)	$\mathrm{C/m^3}$
σ	powierzchniowa gęstość ładunku (średnia; równa lokalnej, gdy ładunek rozłożony jest równomiernie)	$\mathrm{C/m^2}$
φ	potencjał	V