

Elektryczność i magnetyzm

adrian.lewandowski@pwr.edu.pl
al.kft.pwr.edu.pl

semestr zimowy 2024/2025

Zasady zaliczenia ćwiczeń...

... ustala ćwiczeniowiec

Zasady zaliczenia wykładu

Kolokwium na drugim wykładzie od końca semestru, max 20pkt. Kolokwium poprawkowe na ostatnim wykładzie, max 20pkt. Liczba punktów E z kolokwium przekłada się na ocenę z wykładu w następujący sposób

- $0 \leq E < 10$ – ndst
- $10 \leq E < 12$ – dst
- $12 \leq E < 14$ – dst+
- $14 \leq E < 16$ – db
- $16 \leq E < 18$ – db+
- $18 \leq E$ – bdb

Ocena końcowa = $0.4O_C + 0.6O_W$ zaokrąglone do najbliższej liczby półwkowej, jeśli obie pozytywne; w przeciwnym razie 2.0

Literatura

- [1] Wojciech Michalski, Romuald Nowicki, 'Zbiór zagadnień i zadań z pola elektromagnetycznego', PWr, 1995.
- [2] Wojciech Michalski, 'Podstawy teorii pola elektromagnetycznego', Cz.I – II, OWPW, 2009
- [3] Henryk Percak, 'Zbiór zadań z elektryczności i magnetyzmu', PWr, 1989.
- [4] David J. Griffiths, 'Podstawy elektrodynamiki', PWN, 2012.

Wektor położenia punktu

- ▶ początek układu współrzędnych $O = (0, 0, 0)$
- ▶ Punkтови $P_1 = (x_1, y_1, z_1)$ odpowiada wektor położenia

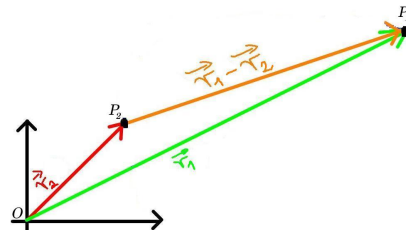
$$\vec{r}_1 = \overrightarrow{OP_1} = [x_1, y_1, z_1] = x_1 \vec{i} + y_1 \vec{j} + z_1 \vec{k}$$

- ▶ Punkтови $P_2 = (x_2, y_2, z_2)$ odpowiada

$$\vec{r}_2 = \overrightarrow{OP_2} = [x_2, y_2, z_2]$$

- ▶ Różnica tych wektorów to

$$\vec{r}_1 - \vec{r}_2 = [x_1 - x_2, y_1 - y_2, z_1 - z_2]$$



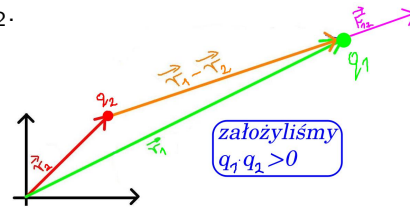
Siły elektrostatyczne

- ▶ Weźmy dwa spoczywające ciała punktowe w położeniach \vec{r}_1 oraz \vec{r}_2
- ▶ Przypuśćmy, że mają one ładunki elektryczne, wynoszące odpowiednio, q_1 oraz q_2 .
- ▶ Siła \vec{F}_{12} jaką punkt 2 działa na punkt 1 dana jest przez **prawo Coulomba (1785)**

$$\vec{F}_{12} = k_e q_1 q_2 \frac{\vec{r}_1 - \vec{r}_2}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|^3} \quad (1)$$

gdzie $k_e > 0$ jest stałą Coulomba, która jest jednakowa dla wszystkich par ładunków.

- ▶ Zgodnie z 3ZDN, siła \vec{F}_{21} działająca na ciało 2 wynosi $\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}$.

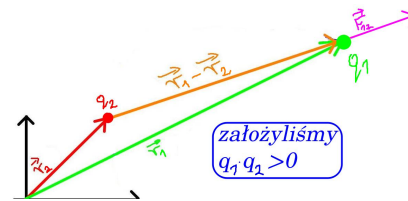


Siły elektrostatyczne

- ▶ Prawo Coulomba jest prawem odwrotnych kwadratów

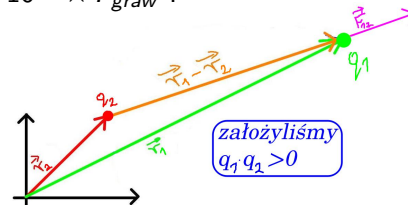
$$\vec{F}_{12} = k_e q_1 q_2 \frac{\vec{r}_1 - \vec{r}_2}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|^3} = k_e q_1 q_2 \frac{1}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|^2} \frac{\vec{r}_1 - \vec{r}_2}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|}$$

- ▶ Siła elektrostatyczna ma kierunek prostej łączącej oba ciała
- ▶ Siła wzajemnego oddziaływania między ładunkami o tym samym znaku jest siłą odpychającą (dla przeciwnych znaków ładunków mamy przyciąganie).



Siły elektrostatyczne

- ▶ Z mikroskopowego punktu widzenia, ciała zbudowane są z atomów. Atomy składają się z jąder (o ładunku umownie dodatnim) przyciągających elektrycznie elektrony (o ładunku ujemnym). Same jądra zbudowane są z protonów o ładunku dodatnim i neutronów o ładunku zerowym.
- ▶ Ładunek elektronu jest co do wartości bezwzględnej dokładnie równy ładunkowi protonu, ale ma przeciwny znak. Fakt ten jest potwierdzony doświadczalnie, jak również wyjaśniony teoretycznie w Modelu Standardowym Fizyki Cząstek Elementarnych.
- ▶ W oddziaływaniu protonu z elektronem
 $F_{Coulomb} = 10^{39} \times F_{grav}$.



Jednostka ładunku elektrycznego

$$\vec{F}_{12} = k_e q_1 q_2 \frac{\vec{r}_1 - \vec{r}_2}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|^3}$$

- ▶ Wartość bezwzględna ładunku elektronu nazywamy ładunkiem elementarnym i oznaczamy przez e .
- ▶ Ładunek ciał makroskopowych jest wielokrotnością ładunku elementarnego (**kwantyzacja ładunku**)
- ▶ Ładunek jest zachowany
- ▶ Jednostką ładunku w układzie SI jest kulomb (1C).
- ▶ Ściśle rzecz biorąc kulomb jest, jednostką pochodną, definiowaną przez (podstawową) jednostkę natężenia prądu jako ampero-sekunda ($1C = 1A \cdot s$).
- ▶ W praktyce, w 2019 roku zredefiniowano ampera w taki sposób, że kulomb wynosi **dokładnie**

$$1C = \frac{1}{1.602176634 \cdot 10^{-19}} e \approx 6.2415090744 \cdot 10^{18} e$$

Stała Coulomba

$$\vec{F}_{12} = k_e q_1 q_2 \frac{\vec{r}_1 - \vec{r}_2}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|^3}$$

- ▶ Przybliżona wartość stałej Coulomba to $k_e \approx 8.988 \cdot 10^9 \text{ N m}^2 / \text{C}^2$
- ▶ W praktyce, zamiast stałej Coulomba, stosuje się zwykle tzw. **przenikalność elektryczną próżni** ϵ_0 , związaną ze stałą Coulomba przez

$$k_e = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \quad (2)$$

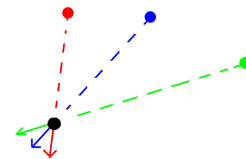
- ▶ Przybliżona wartość

$$\epsilon_0 \approx 8.8542 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N m}^2}$$

- ▶ W faradach, $1\text{F} = \frac{\text{C}^2}{\text{N m}}$,

$$\epsilon_0 \approx 8.8542 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}$$

Pole elektryczne i zasada superpozycji I



- ▶ Siła elektrostatyczna $\vec{F}(\vec{r})$ działająca na poruszający się ładunek punktowy q znajdujący się (w pewnej chwili) w położeniu \vec{r} , pochodząca od zbioru **nieruchomych** ładunków punktowych q_i w położeniach \vec{r}_i , jest sumą wektorów sił pochodzących od każdego z ładunków q_i z osobna:

$$\vec{F}(\vec{r}) = q \left\{ \sum_i k_e q_i \frac{\vec{r} - \vec{r}_i}{|\vec{r} - \vec{r}_i|^3} \right\} \quad (3)$$

- ▶ **Natężeniem pola elektrostatycznego** wytwarzanego przez rozważany układ ładunków punktowych q_i nazywamy wektor

$$\vec{E}(\vec{r}) = \sum_i k_e q_i \frac{\vec{r} - \vec{r}_i}{|\vec{r} - \vec{r}_i|^3} \quad (4)$$

- ▶ W skrócie mówimy, że $\vec{E}(\vec{r})$ **polem elektrostatycznym**.

Pole elektryczne i zasada superpozycji II

- ▶ Pole elektrostatyczne jest więc stosunkiem siły elektrostatycznej $\vec{F}(\vec{r})$ działającej na poruszający się punkt materialny przechodzący przez położenie \vec{r} do wartości ładunku elektrycznego q tego punktu

$$\vec{F}(\vec{r}) = q\vec{E}(\vec{r}) \quad (5)$$

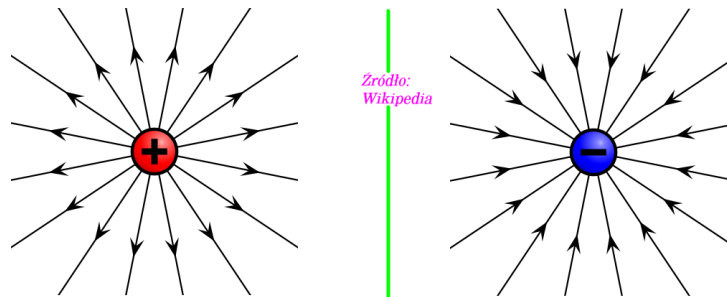
- ▶ Jednostką wektora $\vec{E}(\vec{r})$ jest niuton na kulomb $1\frac{N}{C}$, czyli volt na metr $1\frac{N}{C} = 1\frac{V}{m}$.

Pole elektryczne i zasada superpozycji III

$$\vec{E}(\vec{r}) = \sum_i k_e q_i \frac{\vec{r} - \vec{r}_i}{|\vec{r} - \vec{r}_i|^3}$$

- Pole elektryczne ładunku punktowego Q umieszczonego w początku układu współrzędnych ma postać

$$\vec{E}_{\text{ład.pkt.}}(\vec{r}) = k_e Q \frac{\vec{r}}{|\vec{r}|^3} \quad (6)$$



Pole elektryczne



Rysunek 1: Źródło: Wikipedia

Przykładowe zadanie

- ▶ Wyznaczyć wartość i kierunek natężenia pola elektrycznego \vec{E} w geometrycznym środku kwadratu o boku $a > 0$, w którego wierzchołkach rozmieszczono ładunki punktowe jak na rysunku. Podać wartość liczbową dla $q = 10^{-8} \text{ C}$ oraz $a = 5 \text{ cm}$.

