



Dziedzina fizyki zajmująca się oddziaływaniami pomiędzy nieruchomymi ładunkami elektrycznymi.

# Elektrostatyka

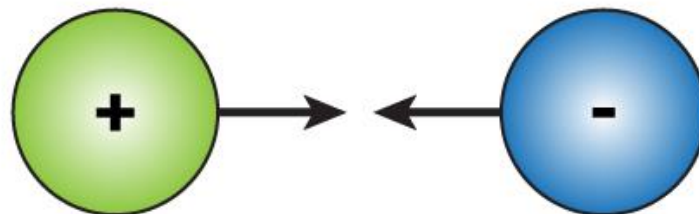
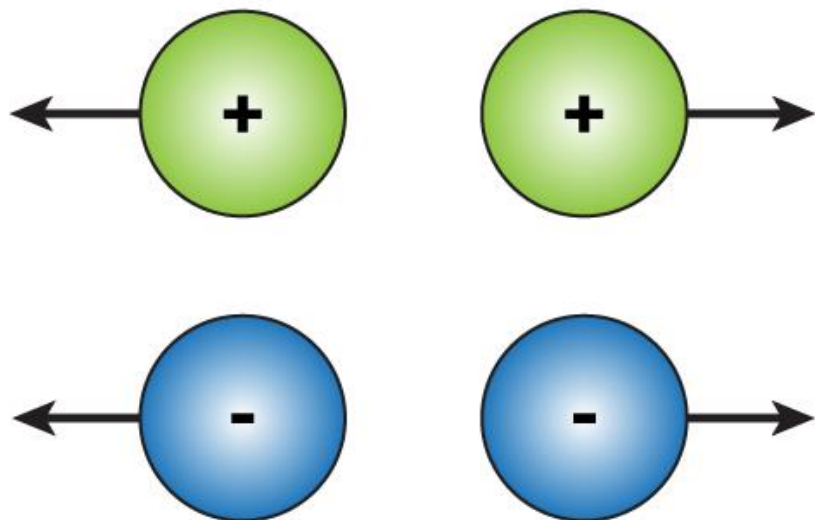
Katarzyna Gwóźdź

# Ładunek elektryczny



Proton  
Kation  
Pozyton  
Jądro helu

Elektron  
Anion  
Mion



# Własności ładunku

## Skwantowany

- Może przyjmować tylko określone wartości
- $q = ne$
- $e = 1.602 * 10^{-19} C$

## Zachowany

- Wypadkowy ładunek układu odosobnionego jest zawsze zachowany
- Ładunek jest przekazywany, nie znika

# Prawo Coulomba

$$\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r} \quad k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

---

$\vec{F}$  [N] – siła Coulomba

---

$k = 8.99 * 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$  – stała Coulomba

---

$q_1$  [C] - ładunek cząstki 1

---

$q_2$  [C] - ładunek cząstki 2

---

$r$  – odległość między ładunkami

---

$\hat{r}$  – wektor jednostkowy

---

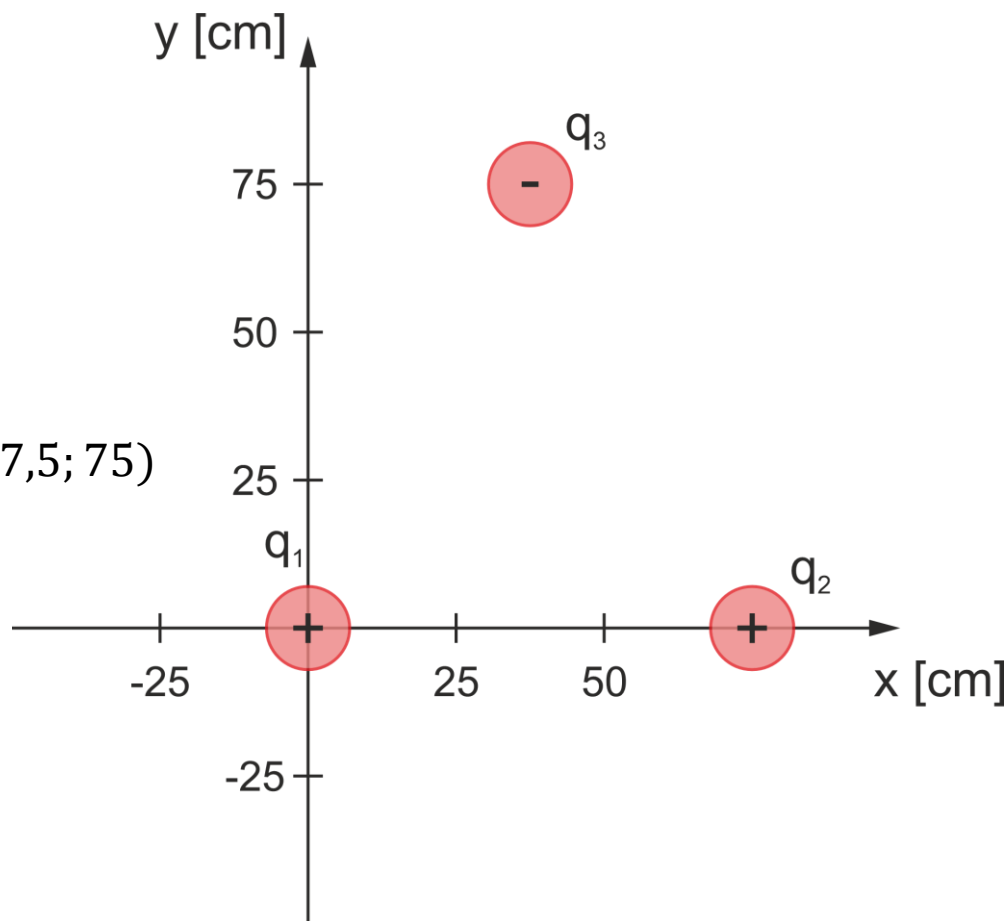
$\epsilon_0 = 8.85 * 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$  - przenikalność elektryczna próżni

# Prawo Coulomba - przykład

Dla układu naładowanych cząstek przedstawionego na rysunku obok, oblicz siłę wypadkową działającą na cząstkę  $q_1$ . Określ zwrot i kierunek tej siły.

$$q_1 = 1 \text{ C} \quad q_2 = 2 \text{ C} \quad q_3 = 3 \text{ C}$$

$$P_{q_1} = (0; 0) \quad P_{q_2} = (75; 0) \quad P_{q_3} = (37,5; 75)$$



# Prawo Coulomba - przykład

Obliczymy rozmieszczenie ładunków wg danego układu współrzędnych.

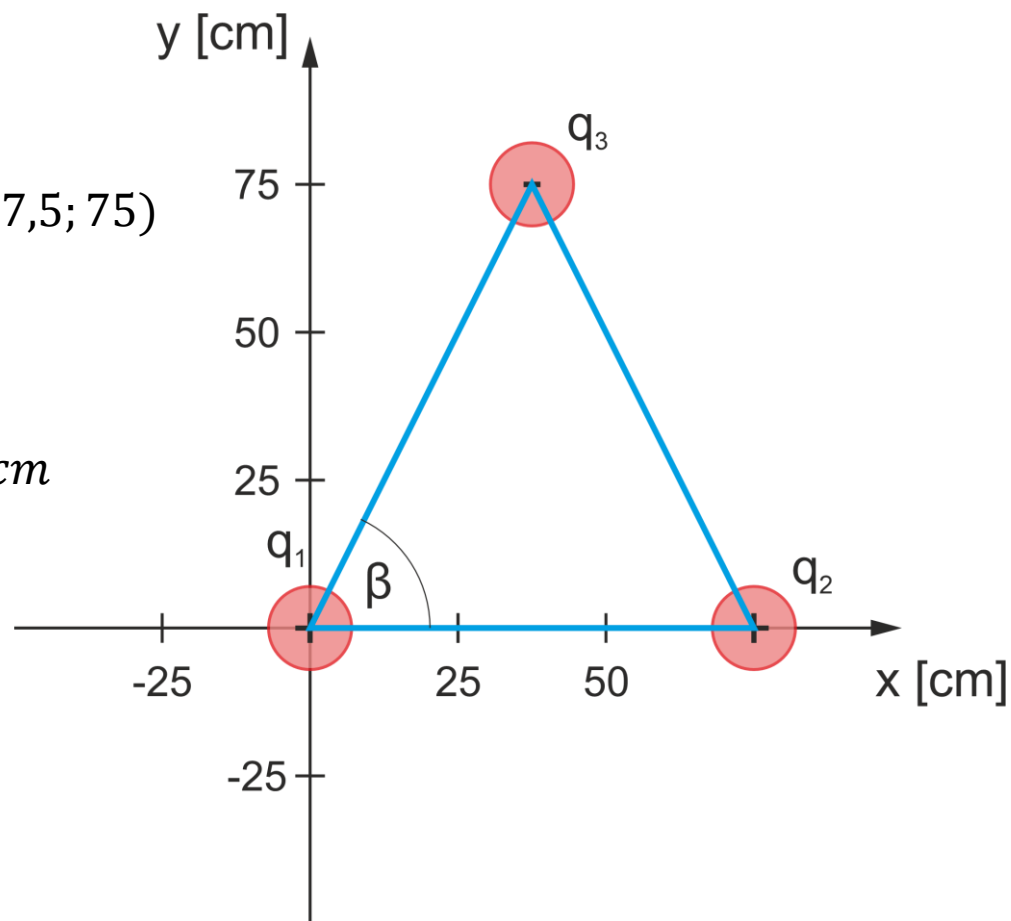
$$P_{q_1} = (0; 0) \quad P_{q_2} = (75; 0) \quad P_{q_3} = (37,5; 75)$$

$$r_{12} = 75 \text{ cm}$$

$$r_{23} = r_{31} = \sqrt{37,5^2 + 75^2} = 37,5\sqrt{5} \text{ cm}$$

$$\cos \beta = \frac{37,5}{37,5\sqrt{5}} = \frac{\sqrt{5}}{5}$$

$$\beta \cong 63^\circ$$



# Prawo Coulomba - przykład

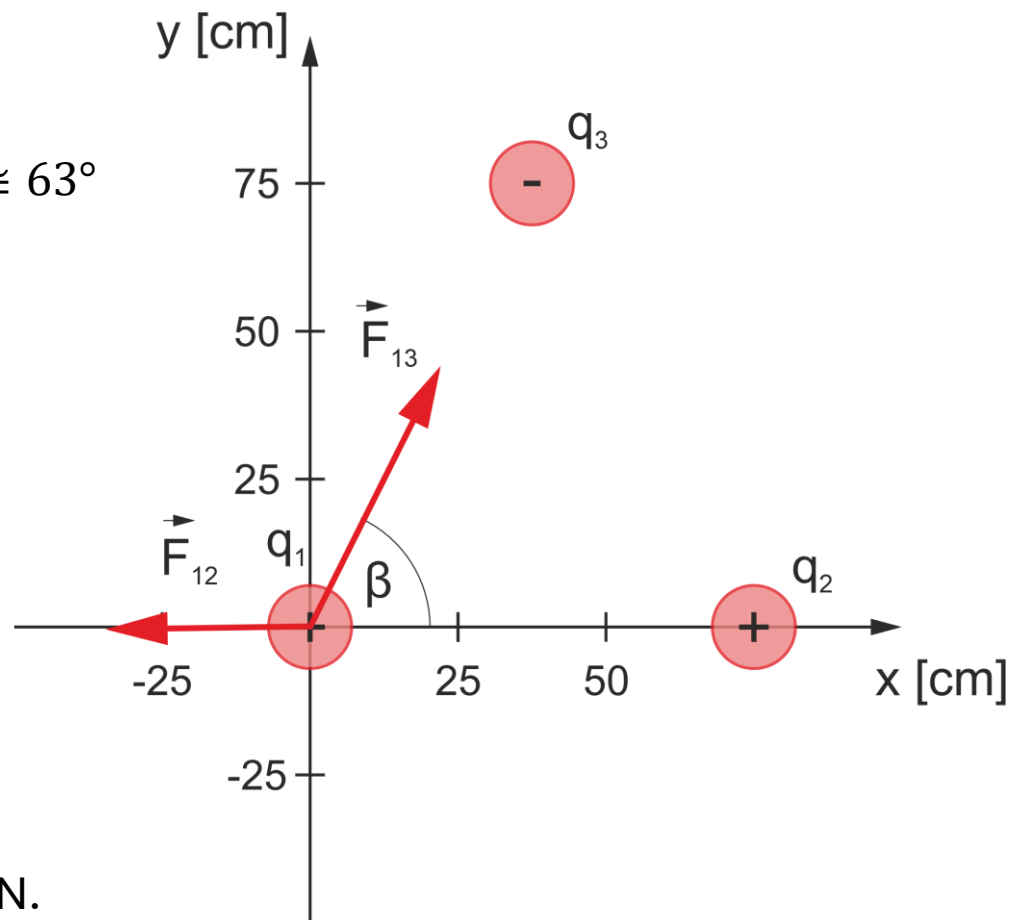
Ustalmy kierunki działających sił i obliczmy ich wartość.

$$r_{12} = 75 \text{ cm} \quad r_{31} = 37,5\sqrt{5} \text{ cm} \quad \beta \cong 63^\circ$$

$$q_1 = 1 \text{ C} \quad q_2 = 2 \text{ C} \quad q_3 = 3 \text{ C}$$

$$F_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} = 8,99 * 10^9 * \frac{1 * 2}{(0,75)^2} \cong 3,2 * 10^{10} \text{ N}$$

$$F_{13} = k \frac{q_3 q_1}{r_{31}^2} = 8,99 * 10^9 * \frac{3 * 1}{(0,375\sqrt{5})^2} \cong 3,8 * 10^{10} \text{ N}$$



Ciąg rakiety Saturn V wynosił około  $3 \times 10^7 \text{ N}$ .  
Ładunek 1 C jest ogromny!

# Prawo Coulomba - przykład

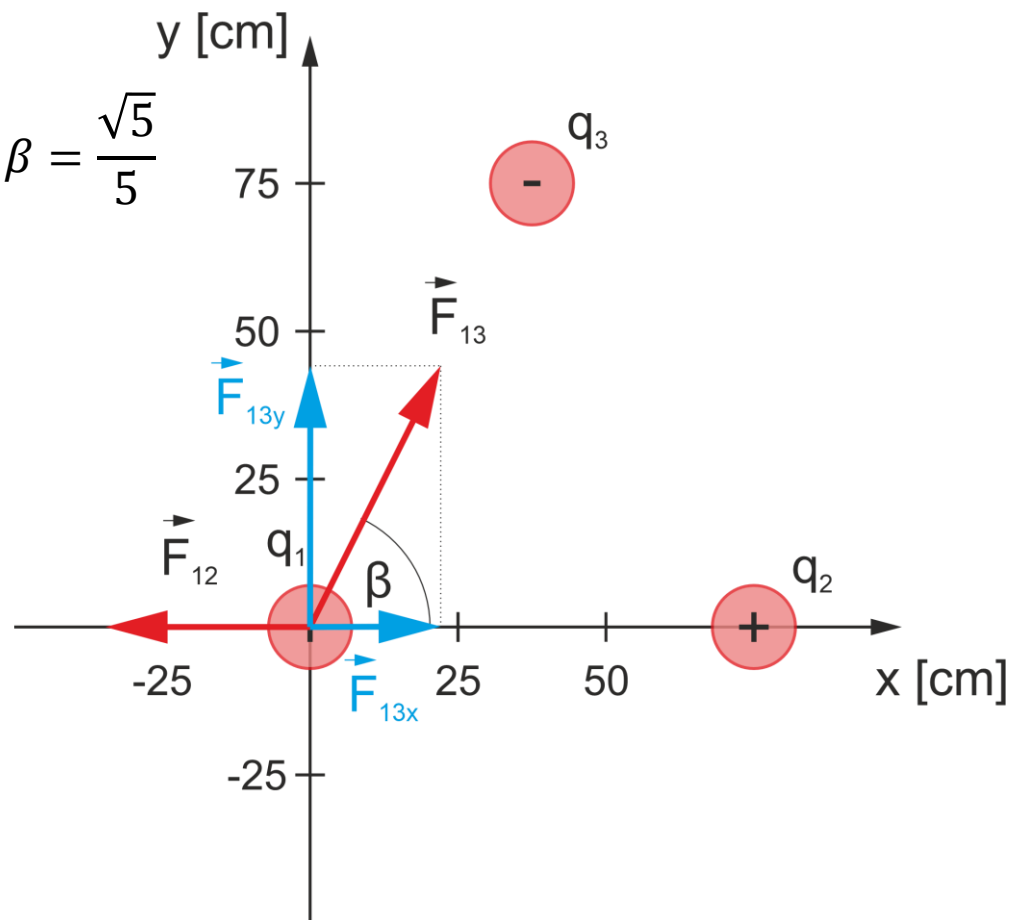
Obliczmy wartość składowych siły  $F_{13}$ .

$$F_{12} = 3,2 * 10^{10} N \quad F_{13} \cong 3,8 * 10^{10} N \quad \cos \beta = \frac{\sqrt{5}}{5}$$

$$\sin \beta = \sqrt{1 - \cos^2 \beta} = \frac{2\sqrt{5}}{5}$$

$$F_{13x} = \cos \beta * F_{13} = \frac{\sqrt{5}}{5} * 3,8 * 10^{10} \\ \cong 1,7 * 10^{10} N$$

$$F_{13y} = \sin \beta * F_{13} = \frac{2\sqrt{5}}{5} * 3,8 * 10^{10} \\ \cong 3,4 * 10^{10} N$$





# Prawo Coulomba - przykład

Obliczmy wartość siły wypadkowej.

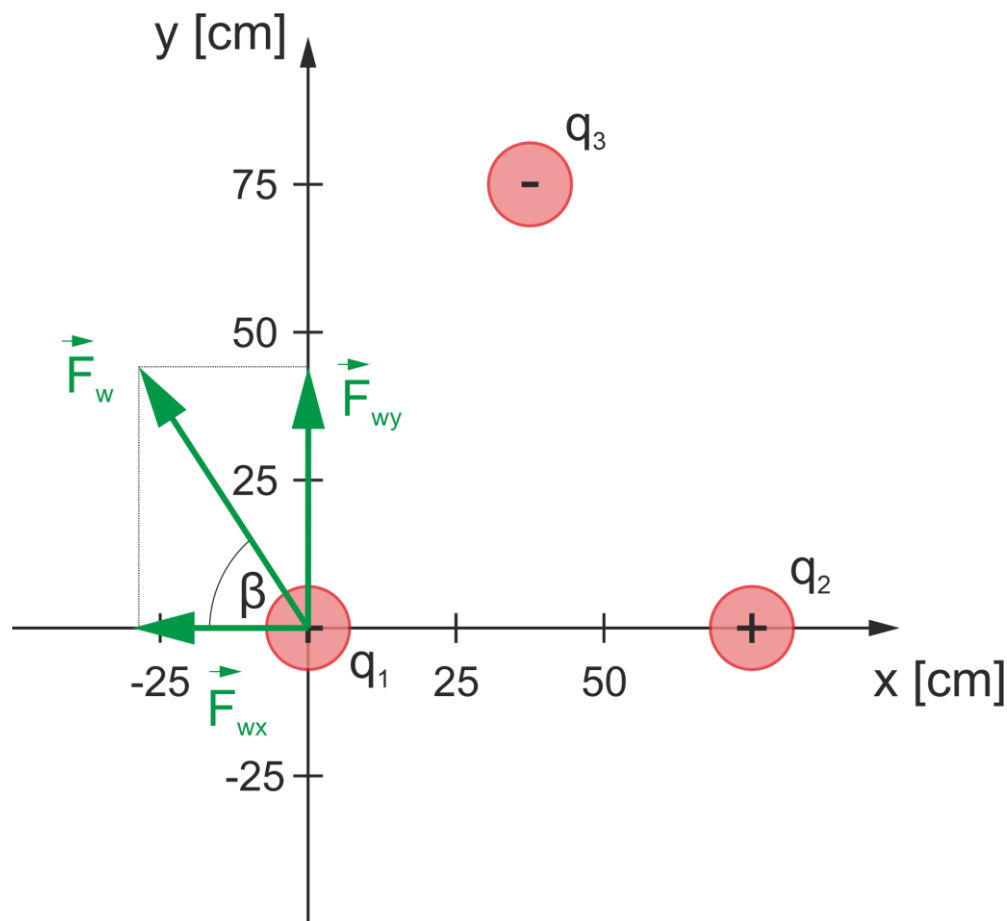
$$F_{12} = 3,2 * 10^{10} N$$

$$F_{13x} = 1,7 * 10^{10} N \quad F_{13y} = 3,4 * 10^{10} N$$

$$F_{wx} = F_{12} - F_{13x} = 1,5 * 10^{10} N$$

$$F_{wy} = F_{13y} = 3,4 * 10^{10} N$$

$$\begin{aligned} F_w &= \sqrt{F_{wx}^2 + F_{wy}^2} \\ &= \sqrt{(1,5 * 10^{10})^2 + (3,4 * 10^{10})^2} \\ &\cong 3,7 * 10^{10} N \end{aligned}$$



# Pole elektryczne

Właściwość przestrzeni, w której działa siła Coulomba.  
Na ładunek próbny (zawsze dodatni) umieszczony w polu elektrycznym  
działa siła Coulomba.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

---

$\vec{E}$  [ $\frac{N}{C} = \frac{V}{m}$ ]- natężenie pola elektrycznego

---

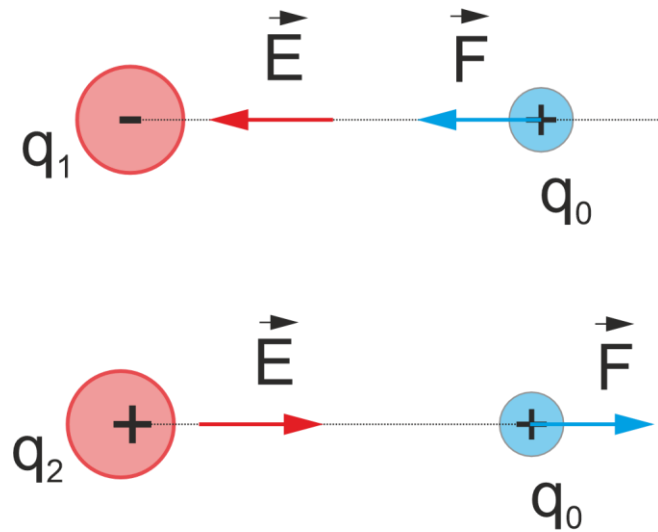
$\vec{F}$  [N]- siła Coulomba

---

$q_0$  [C] - ładunek próbny (dodatni)

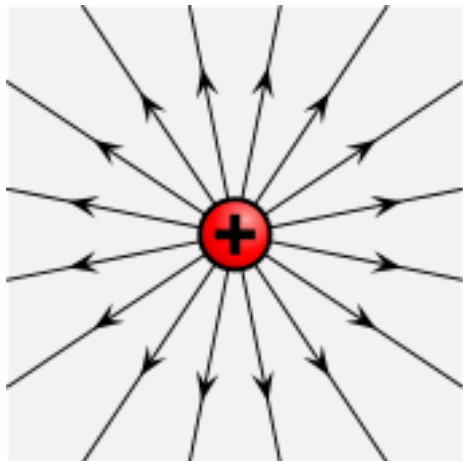
# Kierunek wektora natężenia pola elektrycznego

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

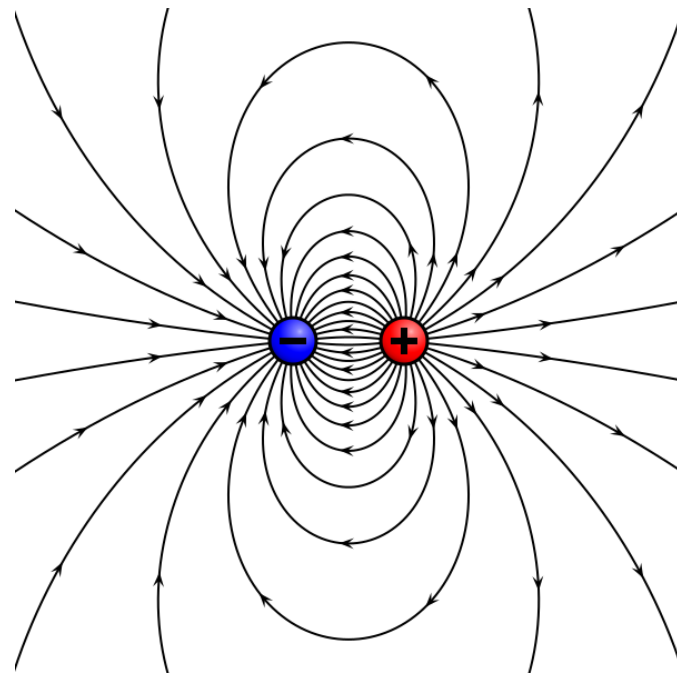
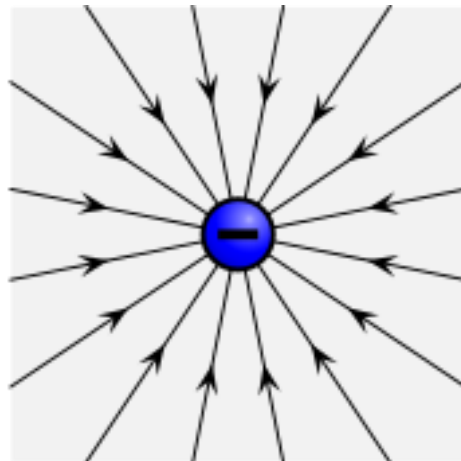


# Linie pola elektrycznego

Ładunek dodatni



Ładunek ujemny

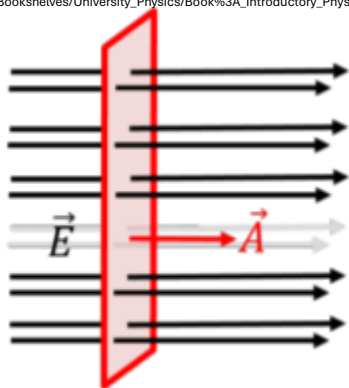


Dipol elektryczny

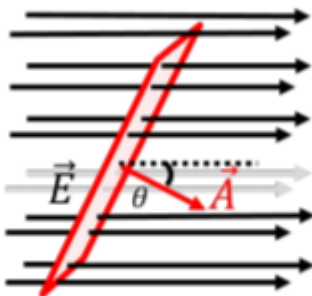
# Strumień pola elektrycznego

Strumień pola elektrycznego ( $\Phi$ ) odpowiada „ilości” pola elektrycznego przenikającego przez tę powierzchnię.

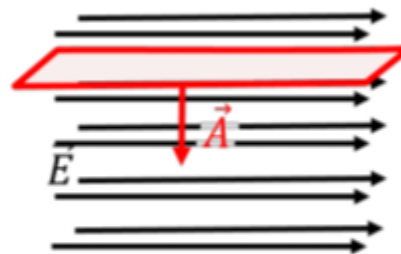
[https://phys.libretexts.org/Bookshelves/University\\_Physics/Book%3A\\_Introductory\\_Physics\\_-\\_Building\\_Models\\_to\\_Describe\\_Our\\_World\\_%28Martin\\_Neary\\_Rinaldo\\_and\\_Woodman%29/17%3A\\_Gauss\\_Law/17.01%3A\\_Flux\\_of\\_the\\_Electric\\_Field](https://phys.libretexts.org/Bookshelves/University_Physics/Book%3A_Introductory_Physics_-_Building_Models_to_Describe_Our_World_%28Martin_Neary_Rinaldo_and_Woodman%29/17%3A_Gauss_Law/17.01%3A_Flux_of_the_Electric_Field)



$$\Phi_E = EA$$



$$\Phi_E = \vec{E} \cdot \vec{A}$$



$$\Phi_E = 0$$

Dla pola jednorodnego:  $\Phi = \vec{E} \cdot \vec{A}$

# Prawo Gaussa

$$\Phi = \int \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

---

$\Phi \left[ \frac{Nm^2}{C} = Vm \right]$  - strumień pola elektrycznego

---

$\vec{E} \left[ \frac{N}{C} = \frac{V}{m} \right]$  - natężenie pola elektrycznego

---

$d\vec{S}$  - powierzchnia

---

$Q[C]$  - ładunek

---

$\epsilon_0 = 8.85 * 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$  - przenikalność elektryczna próżni

# Prawo Gaussa

Pole elektryczne jest źródłowe

- Źródłem pola elektrycznego są ładunki elektryczne

Jest jednym z równań Maxwella

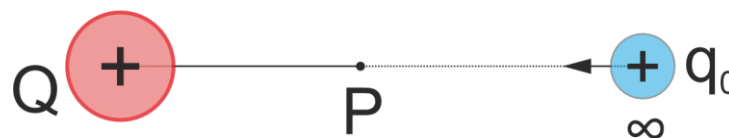
- Pozwalają na opis zależności pomiędzy polem elektrycznym i magnetycznym oraz fali elektromagnetycznej

Można wykorzystać do obliczenia natężenia pola elektrycznego różnych naładowanych elementów

# Potencjał elektryczny

Potencjał elektryczny definiuje jaką pracę na jednostkowy ładunek wykonuje pole elektryczne, aby przenieść go z nieskończoności do danego punktu P.

$$V = - \frac{W_{\infty}}{q_0} = \frac{E_p}{q_0}$$



---

$v \left[ \frac{J}{C} = V \right]$  - potencjał elektryczny

---

$W [J]$  - praca potrzebna do przeniesienia ładunku próbnego z nieskończoności

---

$E_p [J]$  - energia potencjalna

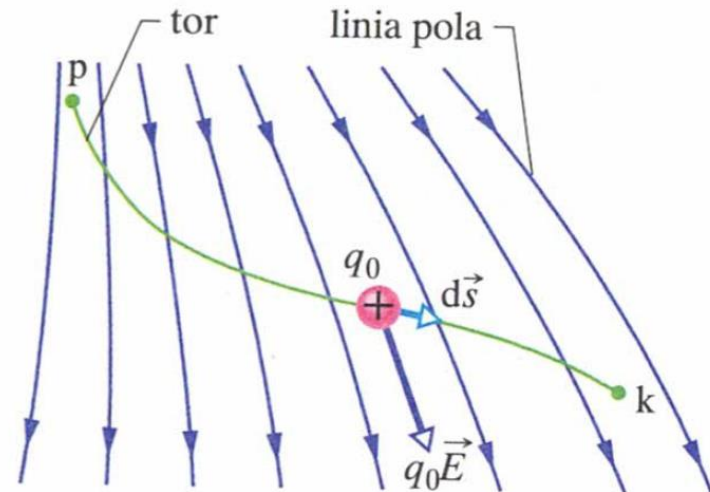


# Potencjał elektryczny a natężenie pola elektrycznego

Jeśli ładunek próbny porusza się z punktu p do punktu k wzdłuż pewnej drogi, pracę, którą wykonuje pole elektryczne nad ładunkiem próbnym, można przedstawić jako:

$$W = q_0 \int_p^k \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

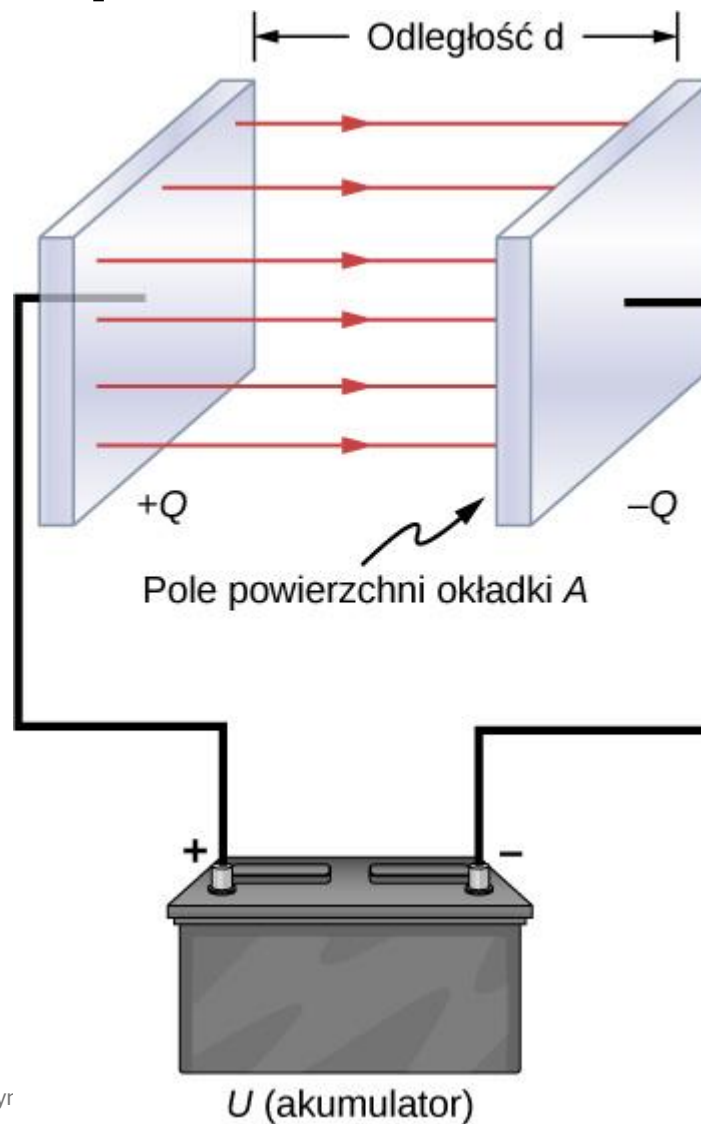
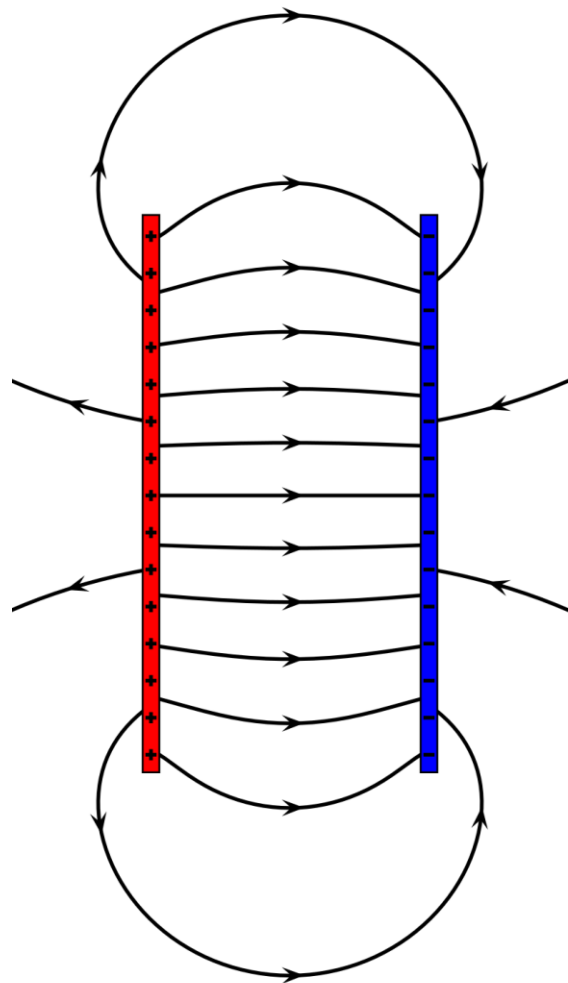
$$U_{kp} = V_k - V_p = - \int_p^k \vec{E} \cdot d\vec{s}$$



U [V]- napięcie elektryczne

Podstawy fizyki. Tom 3 Halliday David Resnick Robert Walker Jearl

# Kondensator płaski



# Pojemność elektryczna

Jest miarą ilości ładunku, który należy umieścić na okładkach, aby wytworzyć pewną różnicę potencjału między nimi.

$$Q = C * U$$

---

$Q [C]$  – ładunek

---

$C [F]$  – pojemność elektryczna

---

$U [V]$  – napięcie (różnica potencjałów)

# Pojemność kondensatora płaskiego

Pojemność zależy tylko od wielkości geometrycznych

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$$

---

$C[F]$  - pojemność kondensatora płaskiego

---

$\epsilon_0 = 8.85 * 10^{-12} \frac{F}{m}$  - przenikalność elektryczna próżni

---

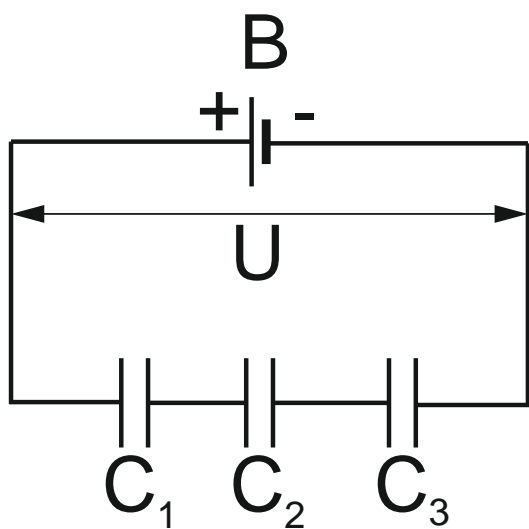
$S$ - powierzchnia

---

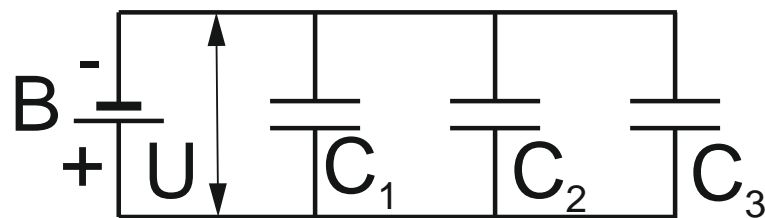
$d$ - odległość pomiędzy okładkami kondensatora

# Łączenie kondensatorów

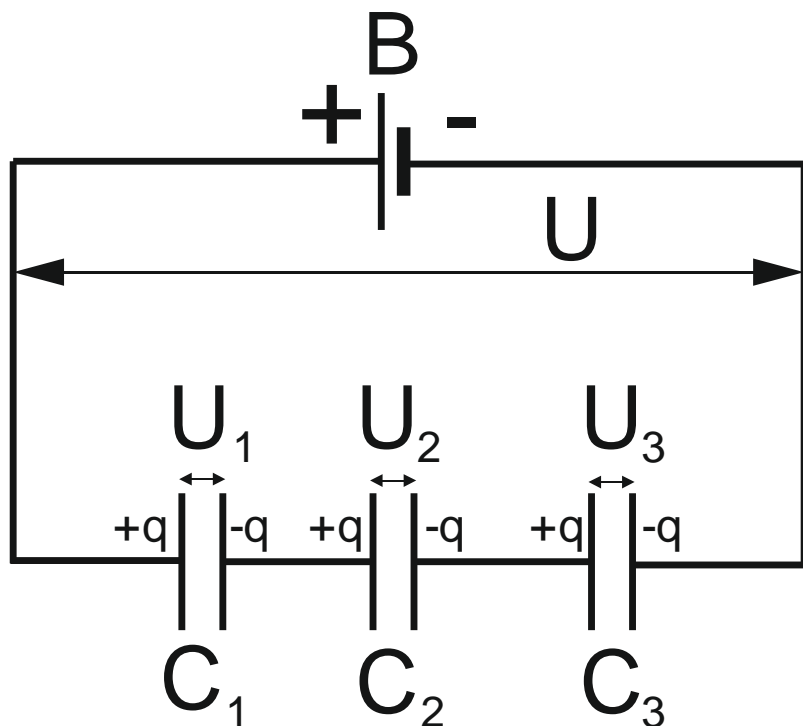
Szeregowe



Równoległe



# Połączenie szeregowe



$$U_1 = \frac{Q_1}{C_1} \quad U_2 = \frac{Q_2}{C_2} \quad U_3 = \frac{Q_3}{C_3}$$

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3$$

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = \\ = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3} = Q \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right)$$

$$\frac{1}{C_z} = \frac{Q}{U} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

# Połączenie równoległe

$$Q_1 = C_1 * U_1$$

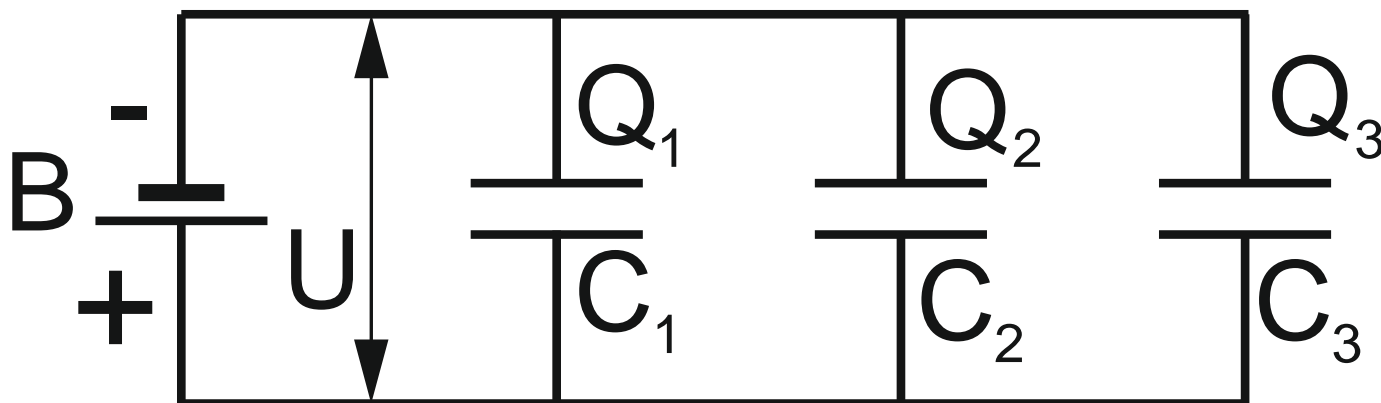
$$U = U_1 = U_2 = U_3$$

$$Q_2 = C_2 * U_2$$

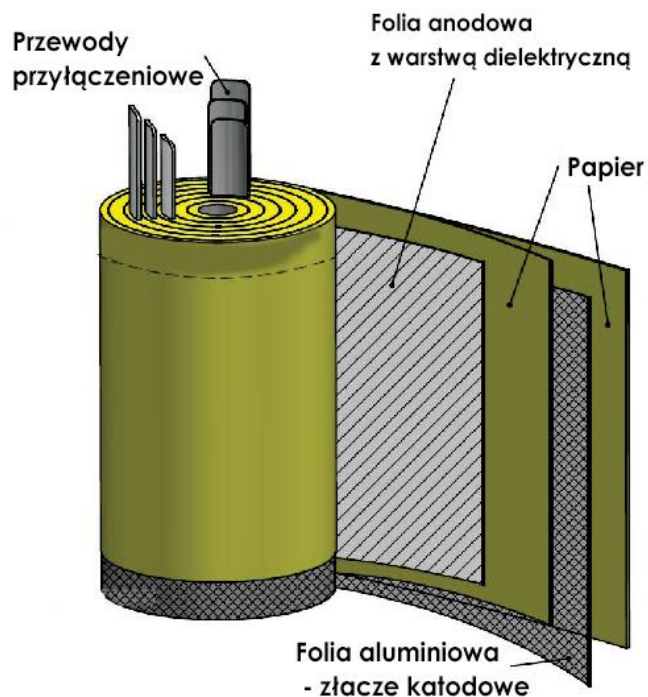
$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q_3 = C_3 * U_3$$

$$C_z = \frac{Q}{U} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{U} = \frac{Q_1}{U} + \frac{Q_2}{U} + \frac{Q_3}{U} = C_1 + C_2 + C_3$$



# Zastosowania kondensatorów



<https://www.dacpol.eu/pl/Baza-Wiedzy/wpis/co-to-jest-kondensator-elektrolityczny-budowa-zalety-i-rodzaje.html>

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:C2kjdsksjdbkds.jpg>

Magazynowanie energii

Tłumienie skoków napięcia

Filtrowanie sygnałów





Dziękuję za uwagę!