

Wykład 2

Prawo Coulomba i pole elektryczne

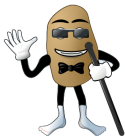
(oraz krew kozła i czosnek)

Maciej J. Mrowiński

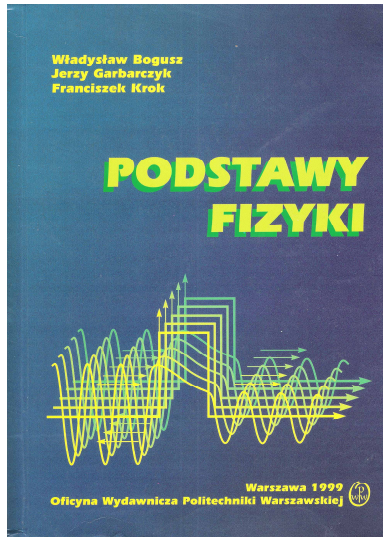
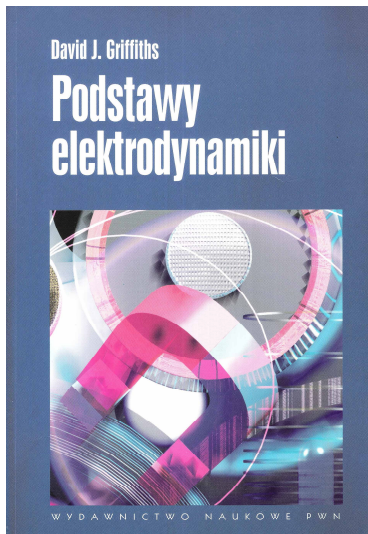
mrow@if.pw.edu.pl

Wydział Fizyki
Politechnika Warszawska

1 marca 2017



Literatura

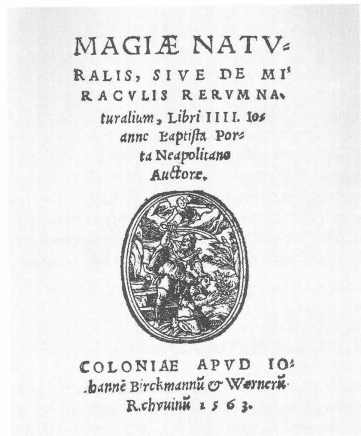


Efekt bursztynu

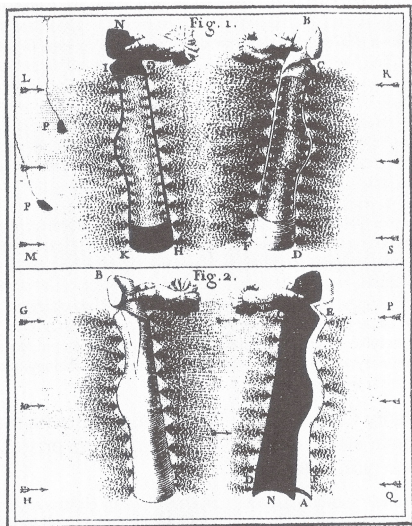
Po grecku: ἤλεκτρον (elektron)



Giambattista della Porta (1535-1615)



Robert Symmer (1707–1763)



[340]

XXXVI. *New Experiments and Observations concerning Electricity*; by Robert Symmer, Esq; F. R. S.

PAPER I.

Of the Electricity of the human Body, and the Animal Substances, Silk and Wool.

Read Feb. 1. ¹⁷⁵⁹ I had for some time observed, that upon pulling off my stockings in an evening they frequently made a crackling or snapping noise; and in the dark I could perceive them to emit sparks of fire. I made no doubt but that this proceeded from a principle of electricity; and I was confirmed in this opinion, by observing that, in weather favourable for electrical experiments, those appearances were more remarkable than at other times. I mentioned this observation to several of my friends, and some of them told me, they likewise had often perceived the snapping, and the emission of fire from their stockings upon pulling them off, especially in the winter evenings: but I could not hear of any body that had taken this phenomenon into consideration in a philosophical way. For my own part, I could not but think that so striking an appearance, one that seems to have an immediate connexion with the human body, or is at least as much about us as the cloaths we wear, and is obvious to the perception of our senses, merited not only a philosophical attention, but the strictest inquiry possible. I was the more induced

4

duced

Stephen Gray (1666–1736)

Peppers Adventures in Time (Sierra, 1993)



Peppers Adventures in Time (Sierra, 1993)



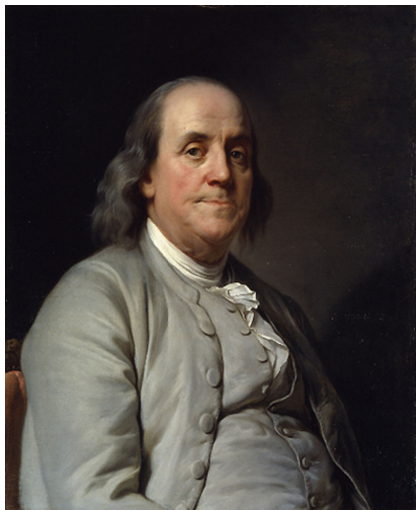
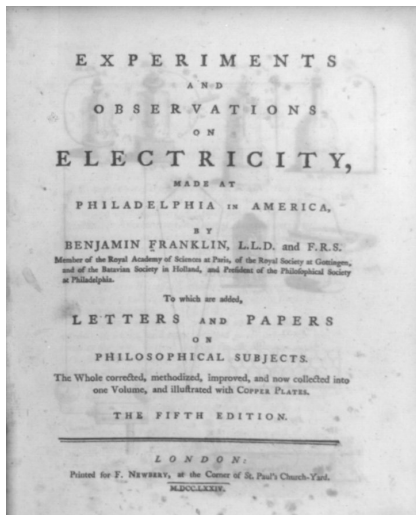
Peppers Adventures in Time (Sierra, 1993)



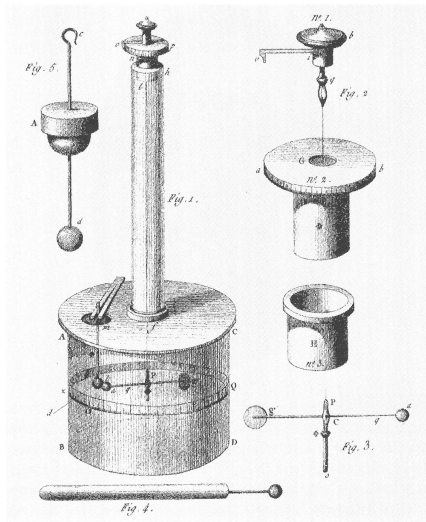
Peppers Adventures in Time (Sierra, 1993)



Benjamin Franklin (1706-1790)



Charles-Augustin de Coulomb (1736–1806)



Ładunki elektryczne

Dwa rodzaje ładunków:

- ładunki dodatnie
- ładunki ujemne

Zasada zachowania ładunku

W układzie izolowanym ładunek jest zachowany.

Kwantyzacja ładunku

- elektrony

Masa: $m_e = 9.1095 \times 10^{-31} [kg]$

Ładunek: $q_e = -e = -1.6021917 \times 10^{-19} [C]$

- protony

Masa: $m_p = 1.67261 \times 10^{-27} [kg]$

Ładunek: $q_p = +e = +1.6021917 \times 10^{-19} [C]$

- neutrony

Masa: $m_n = 1.67492 \times 10^{-27} [kg]$

Ładunek: $q_n = 0 [C]$

Ładunek jest wielokrotnością ładunku elementarnego: $Q = Ne$

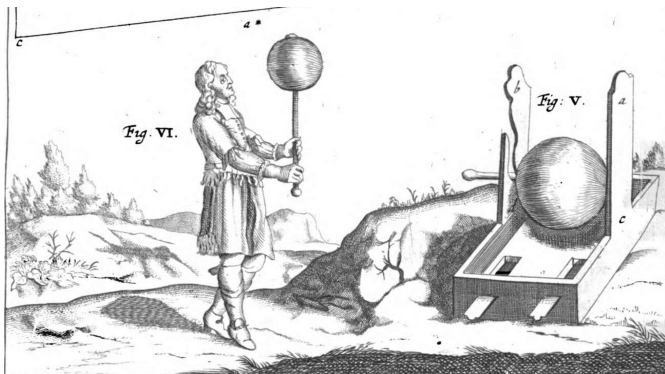
Klasyfikacja ciał

Klasyfikacja ciał:

- przewodniki - materiały ze swobodnymi elektronami
Na przykład złoto, żelazo miedź aluminium.
- izolatory - elektrony związane z atomami
Na przykład ebonit, drewno, szkło.

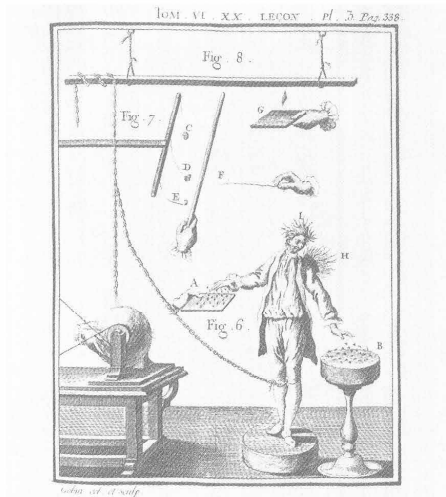
Ładowanie ciał

- Ładowanie przez tarcie



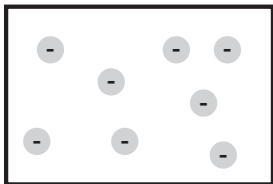
Ładowanie ciał

- Ładowanie przez tarcie



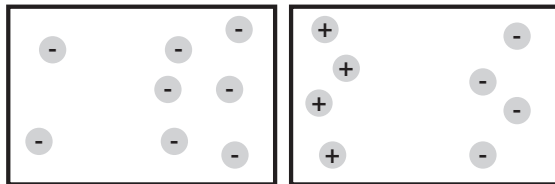
Ładowanie ciała

- Ładowanie przez indukcję



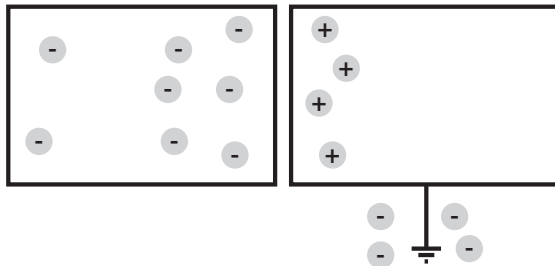
Ładowanie ciał

- Ładowanie przez indukcję



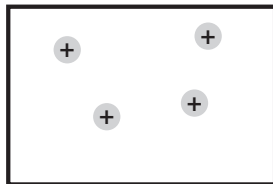
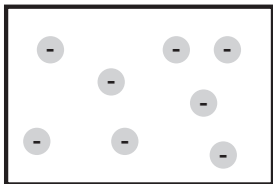
Ładowanie ciał

- Ładowanie przez indukcję



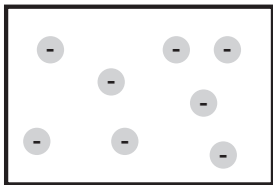
Ładowanie ciał

- Ładowanie przez indukcję



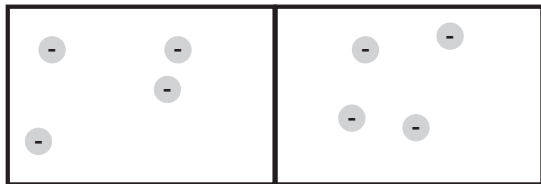
Ładowanie ciał

- Ładowanie przez kontakt



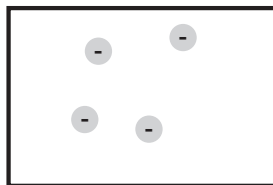
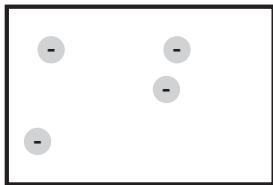
Ładowanie ciał

- Ładowanie przez kontakt



Ładowanie ciał

- Ładowanie przez kontakt



Oddziaływania między ładunkami

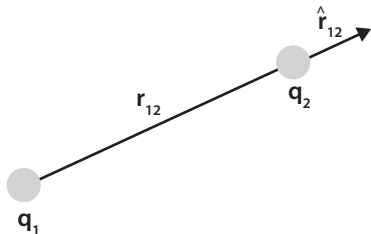
Prawo Coulomba:

$$\mathbf{F}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{\mathbf{r}}_{12}$$

gdzie $k = 8.9875 \times 10^9 [Nm^2/C^2]$.

Inaczej $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$, gdzie

$\epsilon_0 = 8.8542 \times 10^{-12} [C^2/Nm^2]$ to
przenikalność elektryczna próżni.



Porównanie z grawitacją - atom wodoru

Dla atomu wodoru średnio

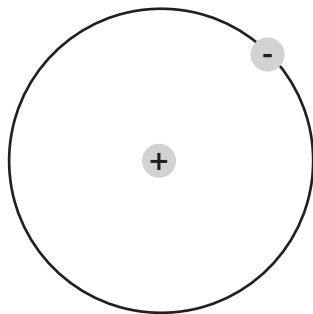
$$R = 5.3 \times 10^{-11} [m]$$

Siła Coulomba:

$$F_c = k \frac{e^2}{R^2} = 8.2 \times 10^{-8} [N]$$

Siła grawitacyjna:

$$F_g = G \frac{m_e m_p}{R^2} = 3.6 \times 10^{-47} [N]$$



Wektor natężenia pola elektrycznego

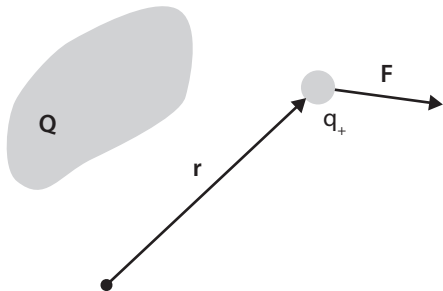
Wektor natężenia pola elektrycznego

E:

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

Dla ładunku punktowego Q :

$$\mathbf{E} = k \frac{Q}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$



Wektor natężenia pola elektrycznego

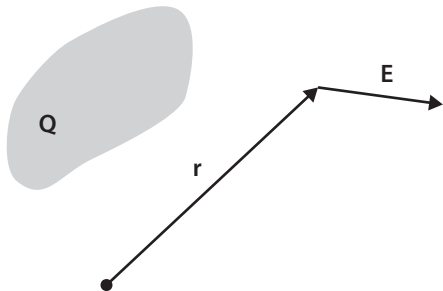
Wektor natężenia pola elektrycznego

E:

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

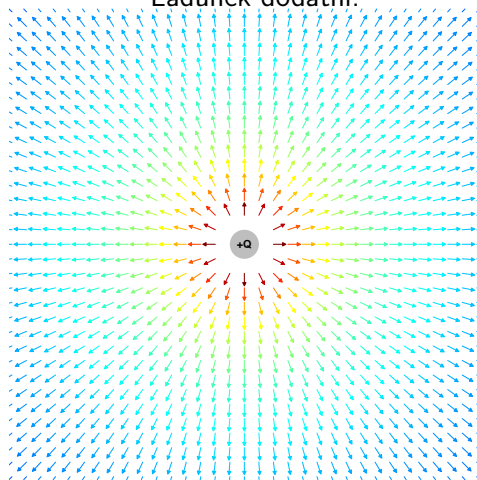
Dla ładunku punktowego Q :

$$\mathbf{E} = k \frac{Q}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$



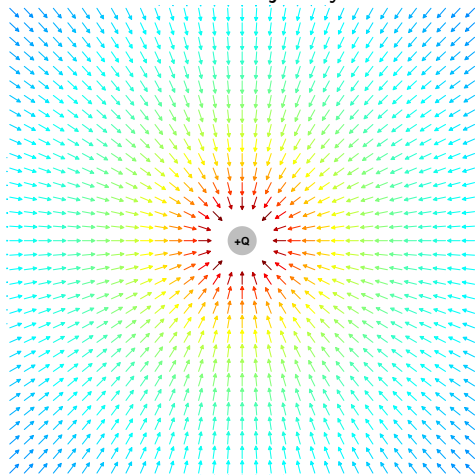
Pole elektryczne

Ładunek dodatni:



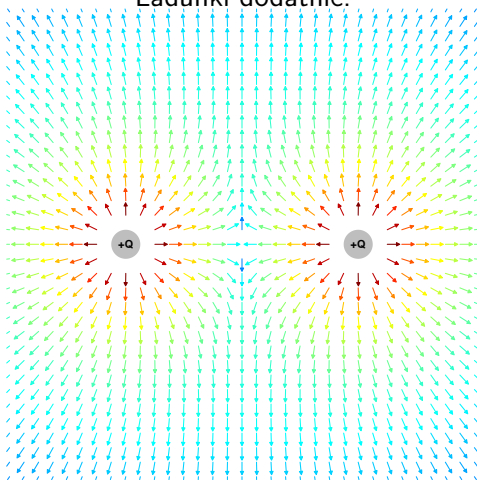
Pole elektryczne

Ładunek ujemny:



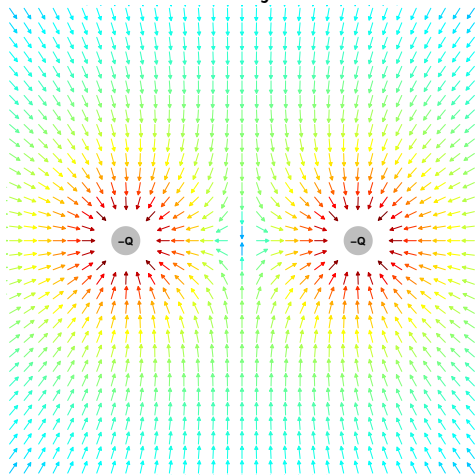
Pole elektryczne

Ładunki dodatnie:



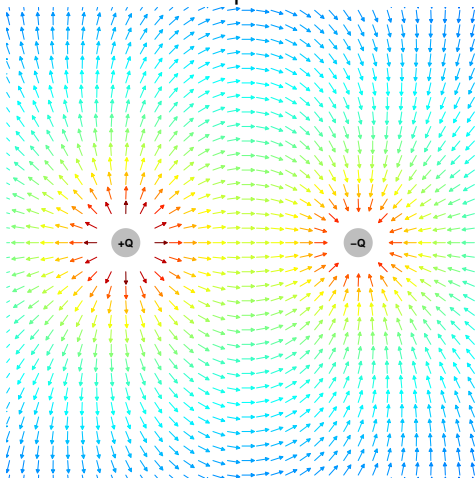
Pole elektryczne

Ładunki ujemne:



Pole elektryczne

Ładunki przeciwne:



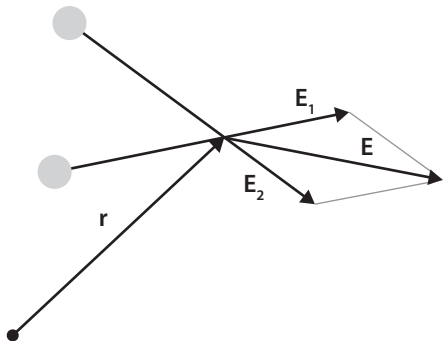
Addytywny charakter pola

Dla rozkładów o znanych polach $\mathbf{E}_i(\mathbf{r})$:

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \sum_i \mathbf{E}_i(\mathbf{r})$$

Dla rozkładu ciągłego:

$$\mathbf{E} = \sum_i k \frac{\Delta q_i}{w^2} \hat{\mathbf{w}} = \int_{\text{po rozkładzie}} k \frac{dq}{w^2} \hat{\mathbf{w}}$$



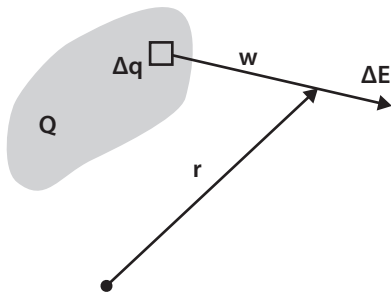
Addytywny charakter pola

Dla rozkładów o znanych polach
 $\mathbf{E}_i(\mathbf{r})$:

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \sum_i \mathbf{E}_i(\mathbf{r})$$

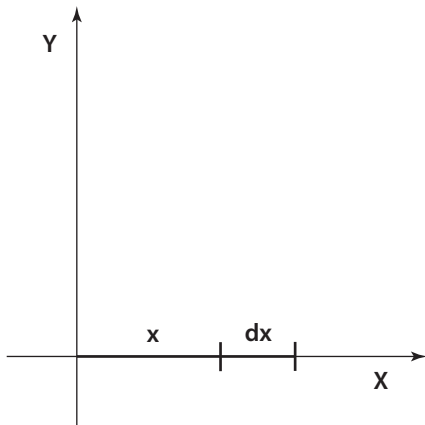
Dla rozkładu ciągłego:

$$\mathbf{E} = \sum_i k \frac{\Delta q_i}{w^2} \hat{\mathbf{w}} = \int_{\text{po rozkładzie}} k \frac{dq}{w^2} \hat{\mathbf{w}}$$



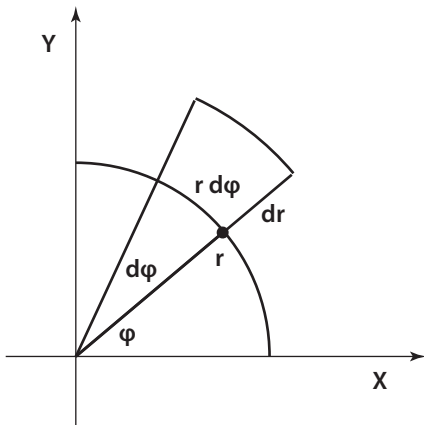
Ciągłe rozkłady ładunków

- gęstość liniowa λ
 Rozkład jednorodny: $\lambda = \frac{Q}{L}$
 Element długości:
 $dl = dx = r d\varphi$
 Ładunek: $dq = \lambda dl$
- gęstość powierzchniowa σ
 Rozkład jednorodny: $\sigma = \frac{Q}{A}$
 Element powierzchni:
 $da = dx dy = r d\varphi dr$
 Ładunek: $dq = \sigma da$
- gęstość objętościowa ρ
 Rozkład jednorodny: $\rho = \frac{Q}{V}$
 Element powierzchni:
 $dv = dx dy dz = r^2 \sin \theta d\varphi d\theta dr$
 Ładunek: $dq = \rho dv$



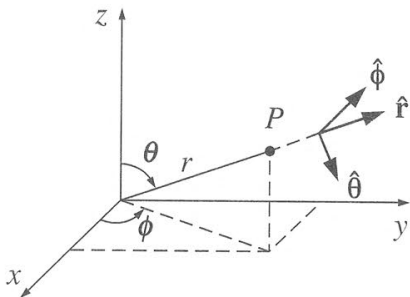
Ciągłe rozkłady ładunków

- gęstość liniowa λ
 Rozkład jednorodny: $\lambda = \frac{Q}{L}$
 Element długości:
 $dl = dx = r d\varphi$
 Ładunek: $dq = \lambda dl$
- gęstość powierzchniowa σ
 Rozkład jednorodny: $\sigma = \frac{Q}{A}$
 Element powierzchni:
 $da = dx dy = r d\varphi dr$
 Ładunek: $dq = \sigma da$
- gęstość objętościowa ρ
 Rozkład jednorodny: $\rho = \frac{Q}{V}$
 Element powierzchni:
 $dv = dx dy dz = r^2 \sin \theta d\varphi d\theta dr$
 Ładunek: $dq = \rho dv$



Ciągłe rozkłady ładunków

- gęstość liniowa λ
Rozkład jednorodny: $\lambda = \frac{Q}{L}$
Element długości:
 $dl = dx = r d\varphi$
Ładunek: $dq = \lambda dl$
- gęstość powierzchniowa σ
Rozkład jednorodny: $\sigma = \frac{Q}{A}$
Element powierzchni:
 $da = dx dy = r d\varphi dr$
Ładunek: $dq = \sigma da$
- gęstość objętościowa ρ
Rozkład jednorodny: $\rho = \frac{Q}{V}$
Element powierzchni:
 $dv = dx dy dz = r^2 \sin \theta d\varphi d\theta dr$
Ładunek: $dq = \rho dv$



Przykład