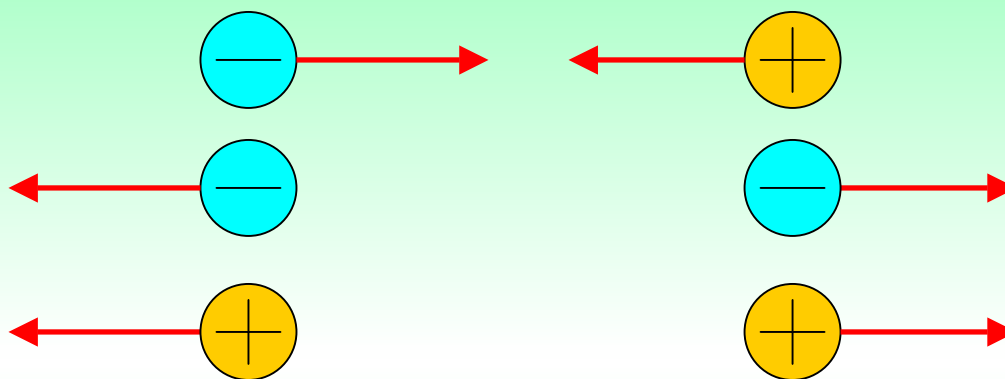


Ładunek elektryczny – zasada zachowania ładunku

Elektrostatyka – fizyka nieruchomych ładunków elektrycznych.

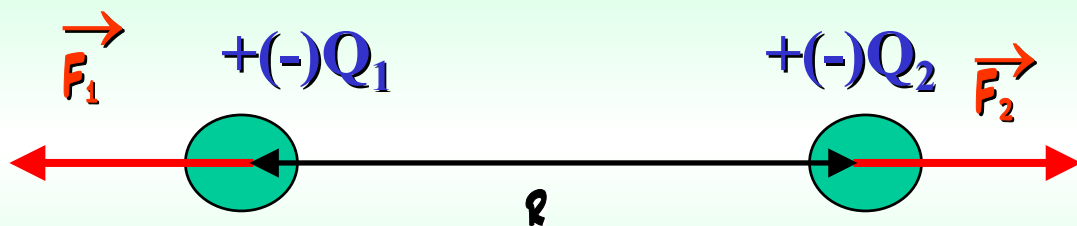
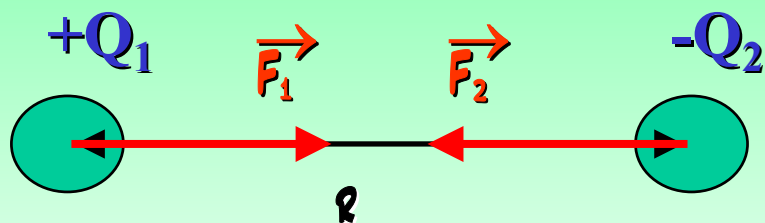


Dwa rodzaje ładunków – dodatnie i ujemne.

Każdy z ładunków jest stałą wielokrotnością ładunku elementarnego $e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

Całkowity ładunek elektryczny układu odosobnionego, tzn. algebraiczna suma dodatnich i ujemnych ładunków występujących w dowolnej chwili nie ulega zmianie.

Prawo Coulomba



$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$

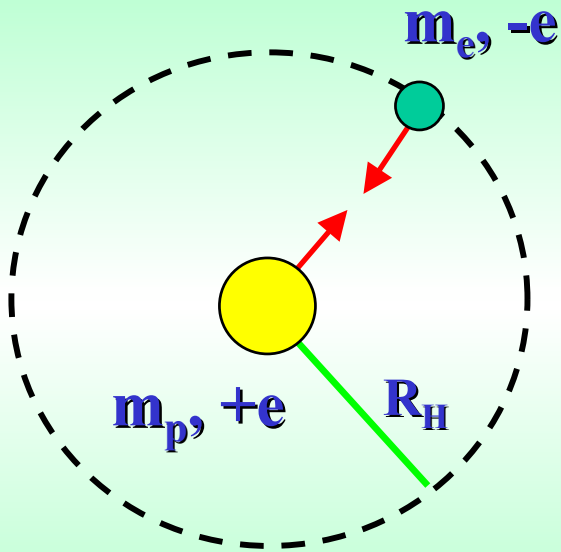
$$\vec{F} = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

Przenikalność dielektryczna próżni

$$\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$$

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 9 \cdot 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$$

Oddziaływanie elektrostatyczne a grawitacyjne w atomie wodoru

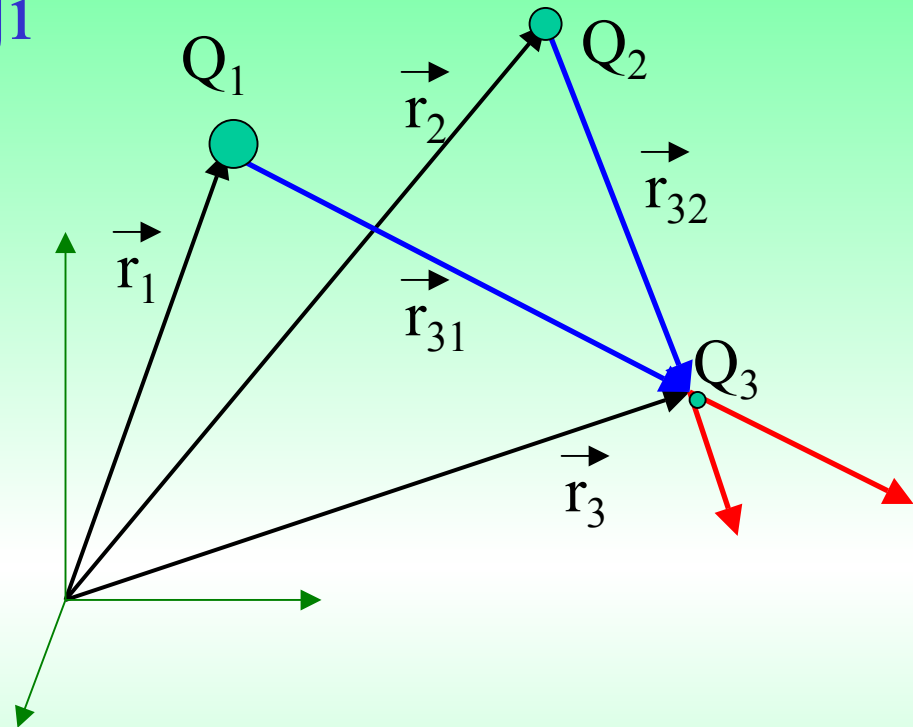


$$F_C = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{R_H^2} = 8.19 \cdot 10^{-8} [\text{N}]$$

$$F_G = G \frac{m_p m_e}{R_H^2} = 3.61 \cdot 10^{-47} [\text{N}]$$

$$\frac{F_C}{F_G} = 2.27 \cdot 10^{39}$$

Zasada superpozycji



$$\vec{F}_3 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_3}{r_{31}^2} \frac{\vec{r}_{31}}{r_{31}} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_2 Q_3}{r_{21}^2} \frac{\vec{r}_{21}}{r_{21}}$$

Siła wzajemnego oddziaływania dwóch ładunków nie zmienia się wskutek obecności trzeciego ładunku.

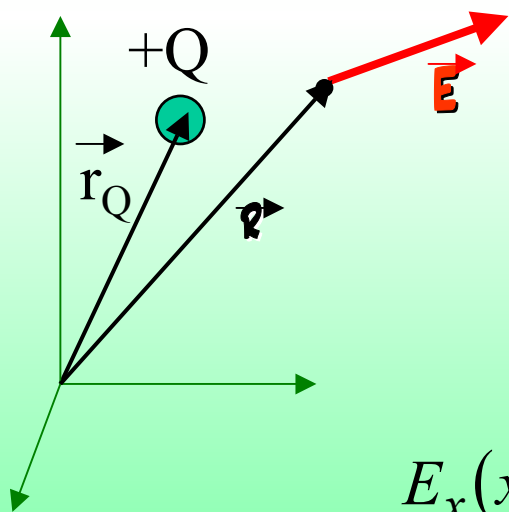
Natężenie pola elektrycznego

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

$$[E] = 1 \frac{N}{C}$$

Natężeniem $\vec{E}$ pola elektrycznego w danym punkcie nazywamy stosunek siły elektrycznej $\vec{F}$, działającej na umieszczony w tym punkcie ładunek próbny q do wielkości tego ładunku

Np. pole wytworzone przez pojedynczy ładunek punktowy:

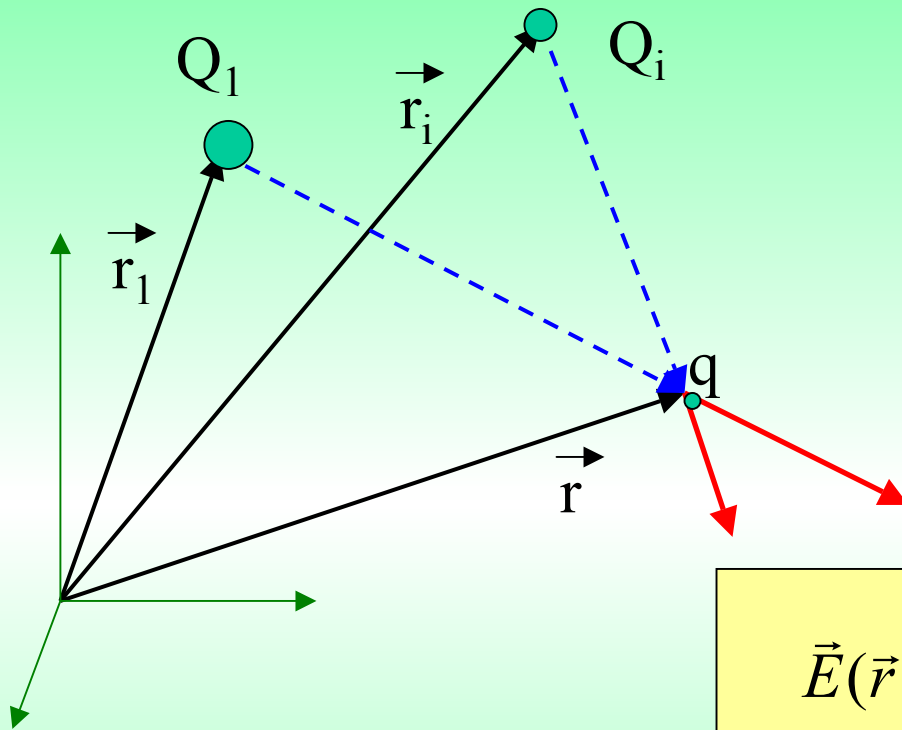


$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{|\vec{r} - \vec{r}_Q|^2} \frac{\vec{r} - \vec{r}_Q}{|\vec{r} - \vec{r}_Q|}$$

$$\vec{E} = E_x \vec{i} + E_y \vec{j} + E_z \vec{k} = (E_x, E_y, E_z)$$

$$E_x(x, y, z) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \frac{x - x_Q}{\left[(x - x_Q)^2 + (y - y_Q)^2 + (z - z_Q)^2 \right]^{3/2}}$$

Natężenie pola – układ ładunków punktowych

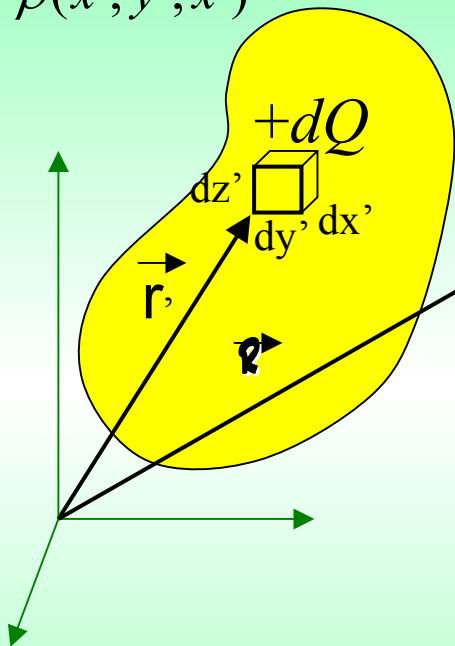


$$\vec{E}(\vec{r}) = \sum_i \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_i}{|\vec{r} - \vec{r}_i|^2} \frac{\vec{r} - \vec{r}_i}{|\vec{r} - \vec{r}_i|}$$

$$E_x(x, y, z) = \sum_i \frac{Q_i}{4\pi\epsilon_0} \frac{x - x_i}{\left[(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2 \right]^{3/2}}$$

Natężenie pola – ciągły rozkład ładunku

$$\rho(x', y', z')$$



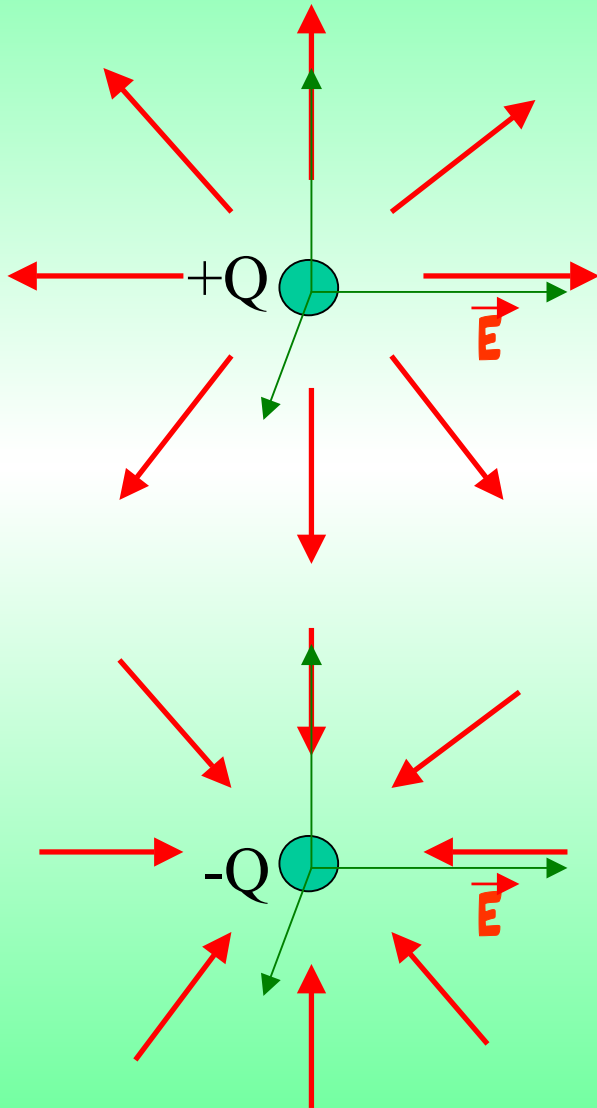
$$dQ = \rho(x', y', z') dV = \rho(x', y', z') dx' dy' dz'$$

$$d\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{|\vec{r} - \vec{r}'|^2} \frac{\vec{r} - \vec{r}'}{|\vec{r} - \vec{r}'|}$$

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_V \frac{\rho(\vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|^2} \frac{\vec{r} - \vec{r}'}{|\vec{r} - \vec{r}'|} dV'$$

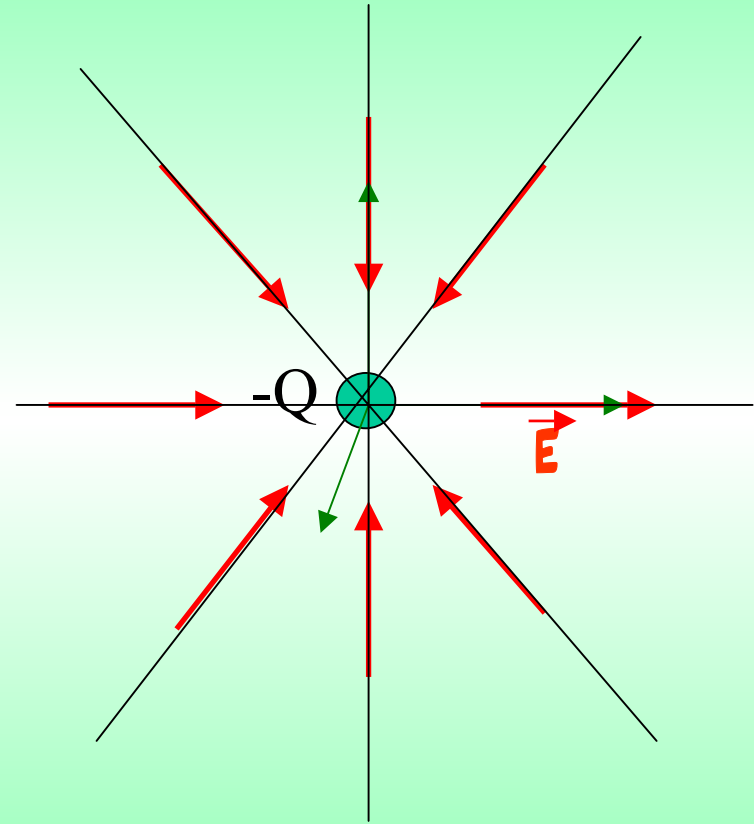
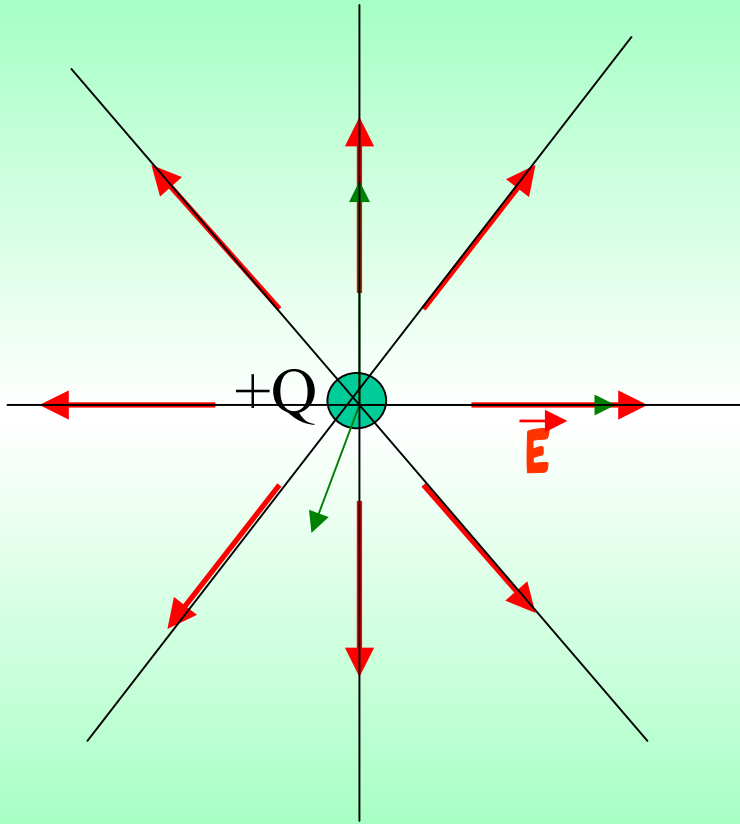
$$E_x(x, y, z) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_V \frac{(x - x')\rho(x, y, z) dx' dy' dz'}{\left[(x - x')^2 + (y - y')^2 + (z - z')^2 \right]^{3/2}}$$

Pole elektryczne ładunku punktowego



$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$

Linie pola elektrycznego (centralnego)



Pole elektryczne dipola _1

$$\vec{r} \parallel Oz \quad \vec{r} = \vec{r}(0,0,z)$$

$$E(z) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{\left(r - \frac{l}{2}\right)^2} - \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{\left(r + \frac{l}{2}\right)^2}$$

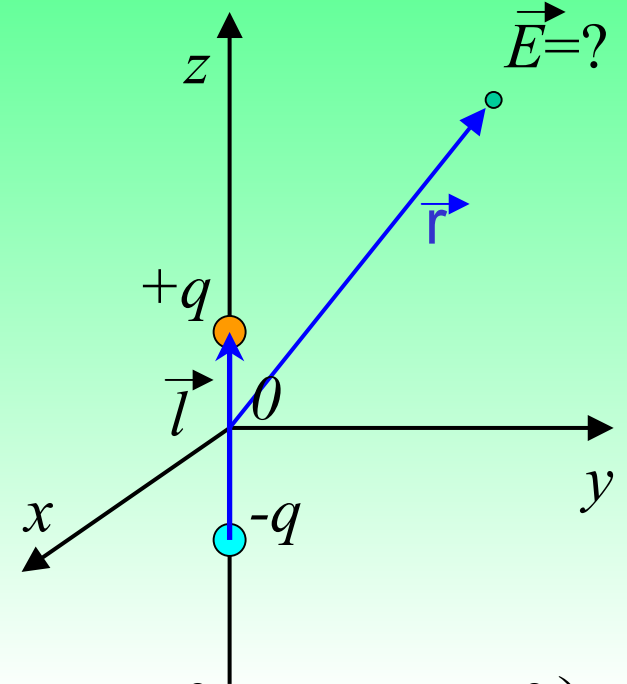
$$= \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{\left(r + \frac{l}{2}\right)^2 - \left(r - \frac{l}{2}\right)^2}{\left(r + \frac{l}{2}\right)^2 \left(r - \frac{l}{2}\right)^2} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{\left(r^2 + rl + \frac{l^2}{4} - r^2 + rl - \frac{l^2}{4}\right)}{\left(r^2 - \frac{l^2}{4}\right)^2}$$

$$l \ll r \Rightarrow l^2 \rightarrow 0$$

$$E(z) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2ql}{r^3} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2p}{r^3}$$

$$\vec{p} = q\vec{l}$$

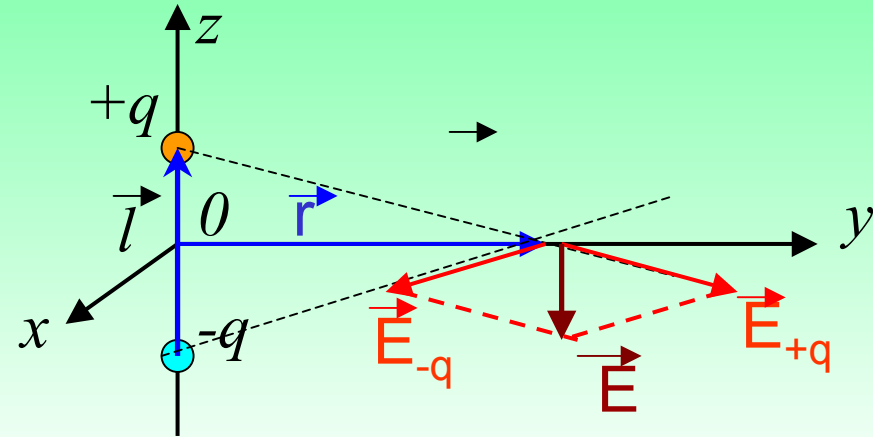
moment dipolowy



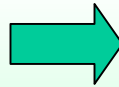
Pole elektryczne dipola _2

$$\vec{r} \parallel Oy \quad \vec{r} = \vec{r}(0, y, 0)$$

$$E_{-q} = E_{+q} = E_q$$



$$\frac{E}{E_q} = \frac{l}{\sqrt{r^2 + \frac{l^2}{4}}}$$

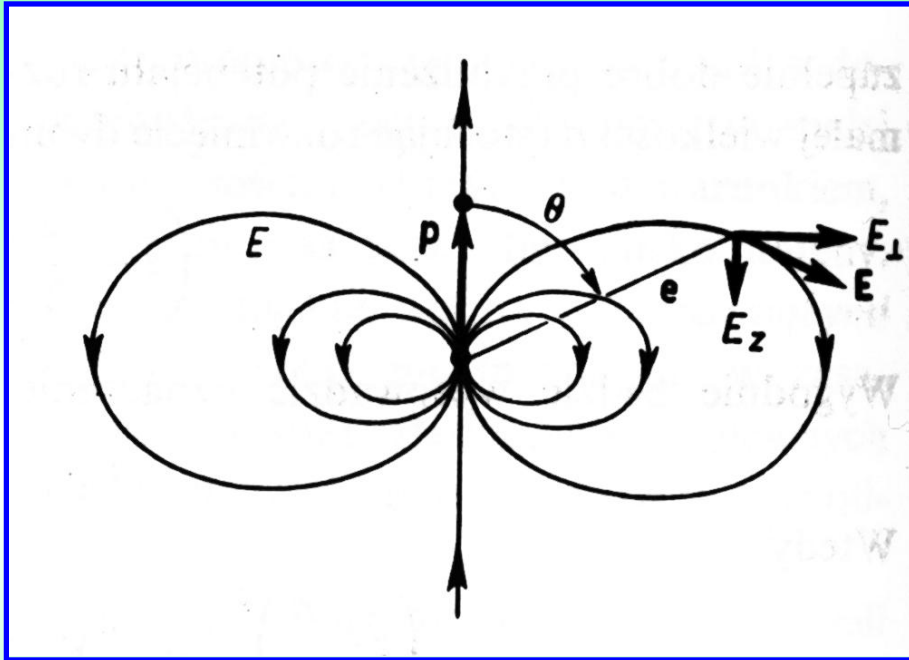


$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{ql}{\left(r^2 + \frac{l^2}{4}\right)^{3/2}}$$

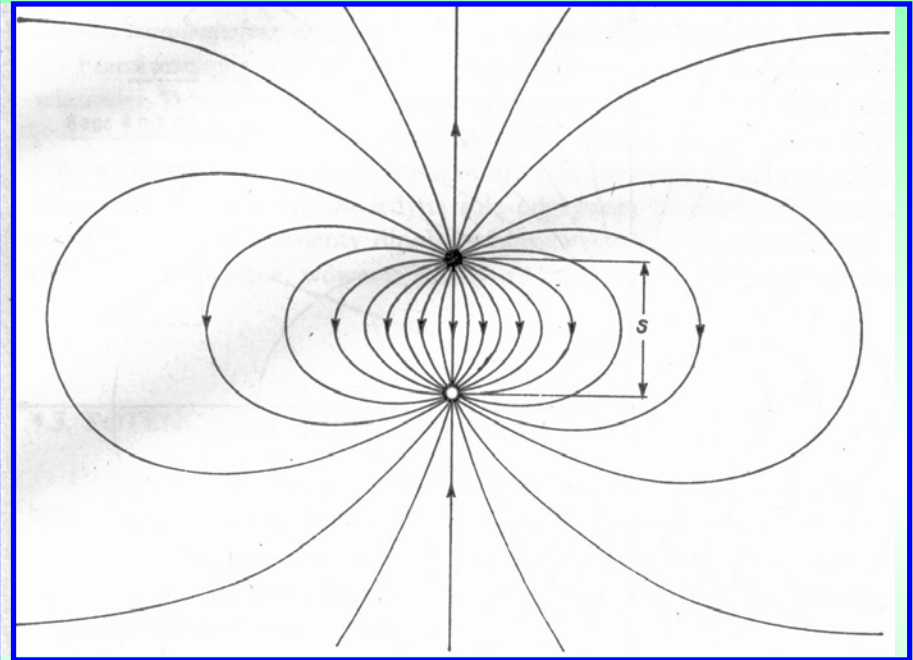
$$l \ll r \Rightarrow l^2 \rightarrow 0$$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{ql}{r^3} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p}{r^3}$$

Pole elektryczne dipola _3

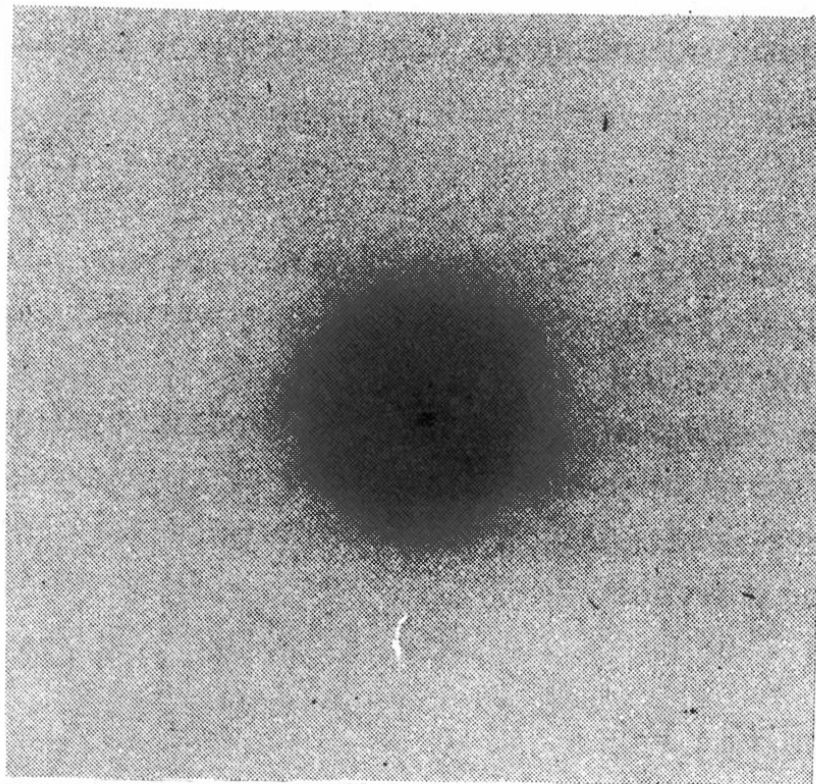


Pole elektryczne dipola

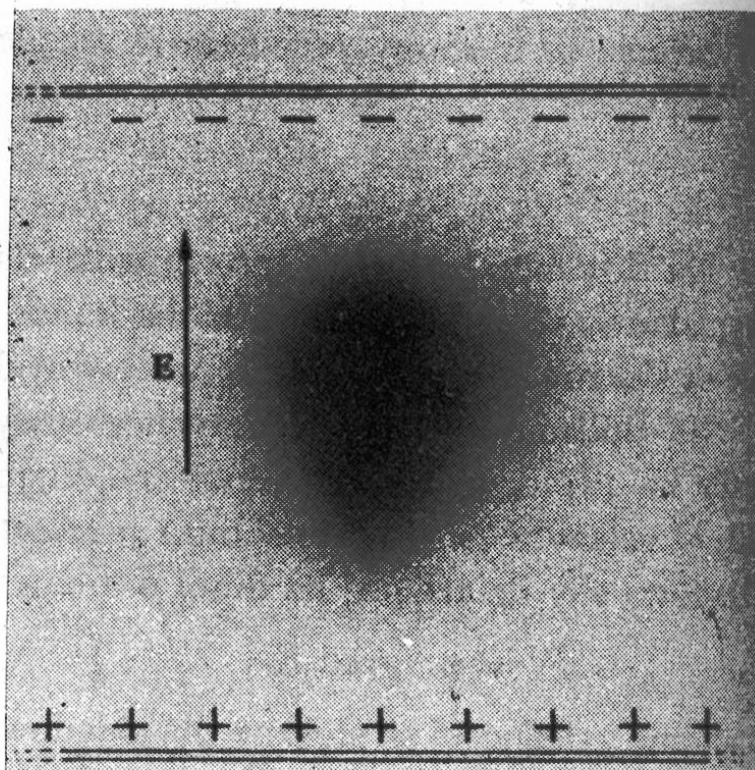


Pole elektryczne dwóch jednakowych ładunków różnoimiennych. W dużych odległościach w porównaniu z odległością między ładunkami jest podobne do pola dipola.

Dipole atomowe i cząsteczkowe



Rys. 9.9. Uśredniony w czasie rozkład ładunku atomu wodoru. Cieniowanie ilustruje gęstość ładunku ujemnego (elektronowego).

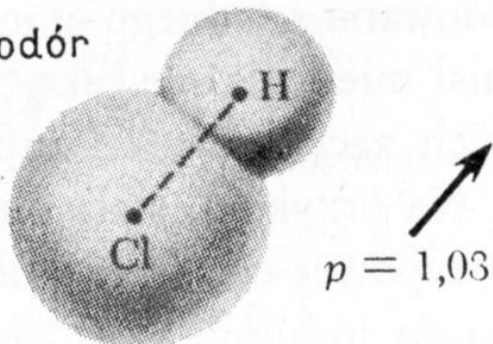


Rys. 9.10. W polu elektrycznym ładunek ujemny jest przesunięty w jedną stronę, a jądro — w drugą. Po osiągnięciu stanu równowagi atom jest nieco zniekształcony.

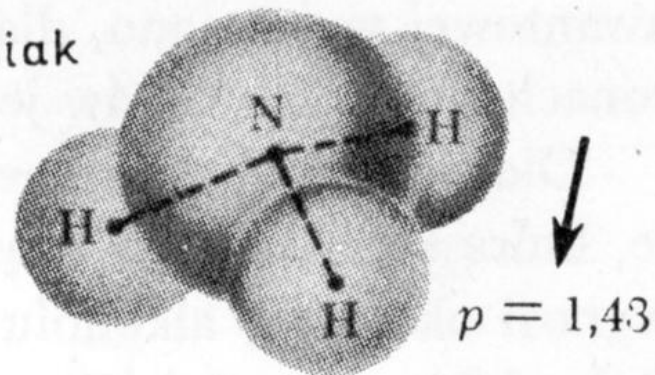
Momenty dipolowe atomów i zjonizowanych atomów są równe zero

Trwałe momenty dipolowe cząsteczek

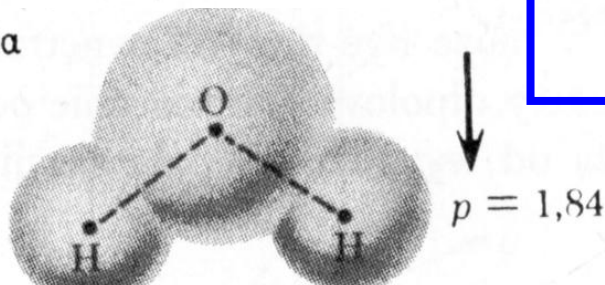
chlorowodór



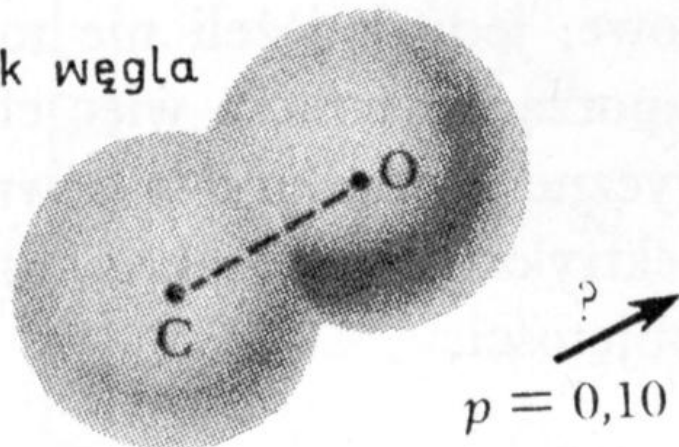
amoniak



woda



tlenek węgla



$$p_{HCl} \approx 3.4 \cdot 10^{-30} \text{ Cm}$$

$$p_{H_2O} \approx 6.1 \cdot 10^{-30} \text{ Cm}$$

$$p_{NH_3} \approx 4.8 \cdot 10^{-30} \text{ Cm}$$

$$p_{CO} \approx 0.3 \cdot 10^{-30} \text{ Cm}$$