

Elektrostatyka

Już starożytni Grecy wiedzieli, że potarty o tkaninę bursztyn przyciąga drobne lekkie przedmioty.

Pozostawało to odosobnioną ciekawostką aż do XVIw., kiedy William Gilbert wykazał, że podobną właściwość

mają różne inne ciała. On też utworzył nazwę *sił elektrycznych*, od greckiego słowa elektron-bursztyn.

Istnienie dwóch typów ładunków elektrycznych wykazano w roku 1734 (Charles Francois du Fay). Przyjęto (dość nieszczęśliwie) nazywać je **dodatnim** (typu szklanego) i **ujemnym** (typu ebonitowego).

Istnienie dwóch typów ładunku elektrycznego jest jego podstawową własnością. Jeżeli ładunki A i B się odpychają, a ładunek A przyciąga ładunek C, to ładunek B będzie również przyciągał ładunek C.

W roku 1729 S. Gray wprowadził pojęcia przewodników i izolatorów. Przewodnik to takie ciało, po którym wprowadzony ładunek rozprzestrzenia się na całej powierzchni. Na izolatorze przeciwnie - ładunek pozostaje w miejscu wprowadzenia. W rzeczywistości sytuacja nie jest tak prosta...

Oddziaływanie ładunków elektrycznych można opisywać dwojako. Jedną możliwość to traktowanie ładunków jako działających siłą *na odległość* na inne ładunki. Druga możliwość (zaproponowana przez Michała Faradaya) to przyjęcie, że otoczenie ładunku znajduje się w specyficznym stanie, który oddziałuje na inne ładunki. Takie podejście bywa wygodne, a często konieczne - mówimy wtedy o *polu elektrycznym*.

Z biegiem czasu nauczyliśmy się uważać pole elektryczne za coś więcej niż tylko metodę opisu oddziaływań między ładunkami.

Elektrostatyka zajmuje się oddziaływaniem układów ładunków spoczywających. Bardziej ogólny dział fizyki, zajmujący się również przepływem ładunków oraz ładunkami (i polami) zmiennymi w czasie nosi nazwę elektrodynamiki.

Ładunek elektryczny

Jedną z charakterystycznych cech ładunku jest to, że wytwarzaniu ładunku jednego znaku zawsze towarzyszy powstanie ładunku o znaku przeciwnym. Wierzymy, że jest to jedno z najbardziej fundamentalnych praw przyrody!

Prawo zachowania ładunku

Całkowity ładunek układu odosobnionego nie ulega zmianie

Jednostką ładunku elektrycznego jest *kulomb*. W układzie SI przyjmuje się za pierwotną jednostkę prądu elektrycznego - *amper*. Czyli:

$$I(t) = \frac{dQ}{dt} \Rightarrow Q = \int_0^t I(t) dt \Rightarrow [Q] = [I] * [t] = A * s = C$$

Pomiar prądu w określonym czasie jest jedną z metod pomiaru ładunku.

Ładunek elektryczny jest bardzo elementarną własnością materii. W elektrostatyce często zakładamy, że jest to wielkość ciągła, ale w rzeczywistości ładunek elektryczny charakteryzuje się *ziarnistością*, jest zawsze wielokrotnością minimalnego ładunku, zwanego **elementarnym**.

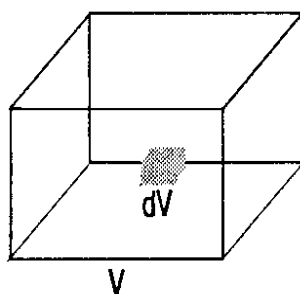
Fakt ten stwierdził (i po raz pierwszy zmierzył ładunek elementarny) Millikan rozważając siły działające na naładowane mikroskopijne kropelki rozpylonego oleju.

$$e = 1.58 * 10^{-19} C$$

Obecnie zdajemy saobie sprawę, że ładunek o tej właśnie wielkości posiadają elektrony i protony - podstawowe składniki atomów.

Współczesna fizyka cząstek elementarnych postuluje istnienie również“drobniejszych” ładunków.

Niekiedy rozważamy wyidealizowany ładunek punktowy, ale częściej traktujemy ładunek jako *rozłożony*

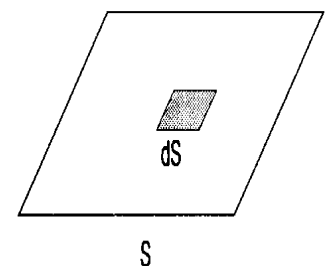


w objętości (gęstość objętościowa ładunku):

$$Q = \int_V \rho dV \Rightarrow \rho = \frac{dQ}{dV} \Rightarrow [\rho] = \left[\frac{Q}{V} \right] = \frac{C}{m^3}$$

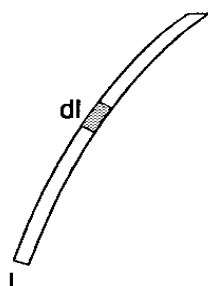
na powierzchni (gęstość powierzchniowa ładunku):

$$Q = \int_S \sigma dS \Rightarrow \sigma = \frac{dQ}{dS} \Rightarrow [\sigma] = \left[\frac{Q}{S} \right] = \frac{C}{m^2}$$



liniowo (gęstość liniowa ładunku):

$$Q = \int_l \lambda dl \Rightarrow \lambda = \frac{dQ}{dl} \Rightarrow [\lambda] = \left[\frac{Q}{l} \right] = \frac{C}{m}$$



Prawo Culomba

Prawo Culomba sformułowane w 1785 roku określa siłę działającą pomiędzy dwoma ładunkami. Colomb badał oddziaływanie między ładunkami o różnych wartościach za pomocą precyzyjnej wagi skręceń i stwierdził, że:

siła oddziaływania między dwoma ładunkami jest wprost proporcjonalna do iloczynu ich wielkości i odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości

Uwzględniając znaki ładunków i kierunki sił możemy to zapisać tak:

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qq}{r^2} \hat{r}$$

W zasadzie możemy potraktować prawo Culomba jako definicję ładunku - istnienie ładunków rozpoznaje się właśnie poprzez fakt ich oddziaływania.

Zwróć uwagę na podobieństwo siły Culomba do siły powszechnego ciężenia. Jakie widzisz różnice?

Odwrotna proporcjonalność siły do kwadratu odległości ma bardzo poważne następstwa (już Cavendish współczesny Culombowi, a wcześniej Priestley postulowali, że oddziaływania elektrostatyczne są odwrotnie proporcjonalne do kwadratu odległości, ponieważ zanikają we wnętrzu ładunków kulistych).

Warto uświadomić sobie, że prawo Culomba ma szeroki zakres stosowania - aż do rozmiarów kosmicznych. Przy bardzo małych odległościach konieczne staje się stosowanie praw mechaniki kwantowej, ale postać oddziaływania elektrostatycznego jest taka sama.

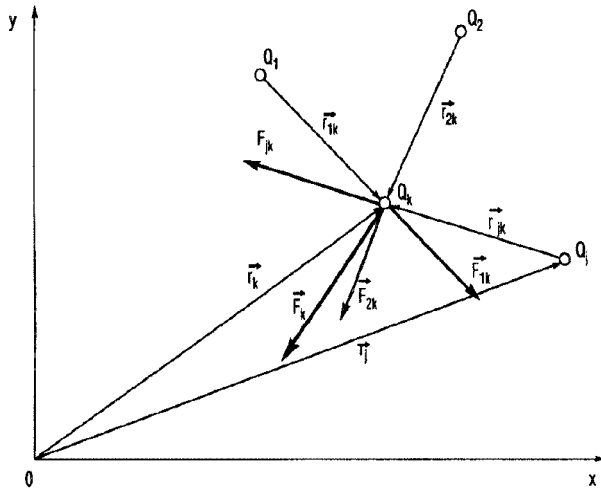
Wybiegnijmy trochę w przyszłość: prawa elektrodynamiki **są relatywistyczne!**

Stałe występujące w prawie Culomba:

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 * 10^9 C^{-2} N m^2 ; \epsilon_0 = 8.85 * 10^{-12} C^2 N^{-1} m^{-2}$$

Jeżeli mamy do czynienia z ładunkami rozciągłymi, to w celu policzenia siły musimy posumować (pocałkować) wkłady od wszystkich elementów ładunku.

Zasada superpozycji



Siła działająca na ładunek Q_k jest równa (wektorowej) sumie sił pochodzącej od wszystkich pozostałych ładunków. (Tą cechą odziedziczy wiele wielkości używanych do opisu pola elektrycznego)

Czy zasada superpozycji jest oczywista? **NIE...**

Dlaczego w nią wierzymy i mocno jej używamy? Bo nasze doświadczenie zebrane w ciągu paru wieków wskazuje na to, że obowiązuje...

Do policzenia...

-- Po dwa ładunki Q i q rozmieszczono w narożach kwadratu w ten sposób, że jednakowe ładunki leżą na przeciwległych końcach przekątnych. Jaki warunek muszą spełniać Q i q , aby po oswobodzeniu jednego z ładunków Q pozostawał on w równowadze. Czy jest to równowaga trwała?

-- Jaką siłą działa jednorodna naładowana z gęstością powierzchniową σ kolistą tarcza o promieniu B na ładunek Q umieszczony na jej osi symetrii obrotowej?

Do przemyślenia w długie zimowe wieczory:

Siły elektrostatyczne są naprawdę duże...

- Z jaką siłą przyciągałyby się dwie monety 5 zł z odległości 1 m, gdyby z każdego atomu jednej z nich przenieść po jednym elektronie do drugiej?
- Siły występujące w naszych eksperymentach z elektrostatyki były co najwyżej rzędu drobnego ułamka Newtona. Oszacuj jaki procent elektronów został przeniesiony pomiędzy ciałami naelektryzowanymi przez pocieranie.
- Porównaj działające pomiędzy dwoma elektronami siły elektryczne i grawitacyjne.