クーロンの法則

２個の点電荷の間の静電気力

- **作用反作用の法則**
  - ２点を結ぶ直線に平行
  - どちらの電荷にも同じ大きさ，逆向きの力
- **逆2乗則**
  - 万有引力と同じ性質
- **電荷の種類と力の向き**
  - 異種（異符号）：引力
  - 同種（同負号）：反発力
- 両者が**静止**していても作用する
- 力の**大きさ**：1C×1C/1m^2,真空中→９×10^9 N

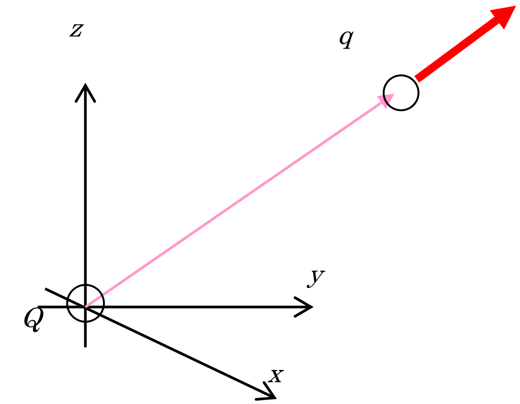
物体の形を決めるクーロン力

- 物質　→　分子　→　原子　→　電子＋原子核
- 電子：負電荷，原子核：正電荷
- クーロン力による原子の大きさ，分子の形

ベクトルによる表現(式と図)

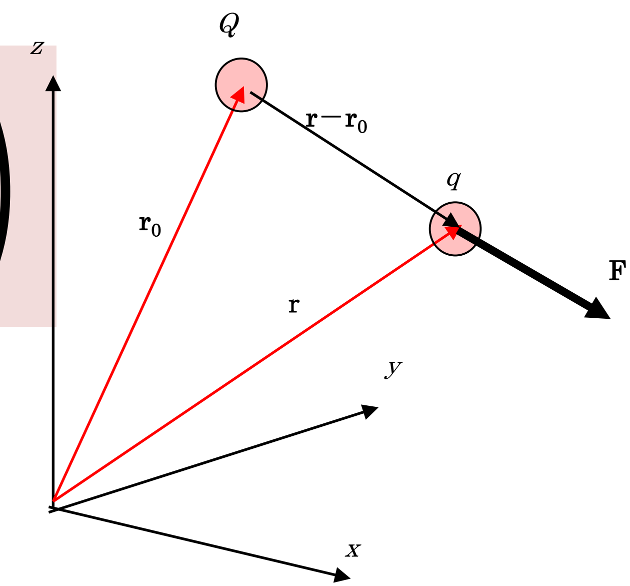
原点に電荷Q, 位置$\vec{r}$ にq

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{qQ}{r^2}\left(\frac{\vec{r}}{r}\right),\ r = |\vec{r}|$$



位置$\overrightarrow{r_0}$ に電荷Q, 位置$\vec{r}$ にq

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{qQ}{|\vec{r}-\vec{r}_0|^2}\left(\frac{\vec{r}-\vec{r}_0}{|\vec{r}-\vec{r}_0|}\right)$$



真空の誘電率

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi k_0} \simeq 8.9 \times 10^{-12}\,\mathrm{C^2/Nm^2}$$

クーロン力の重ね合わせ

- 重ね合わせ
  - ベクトル和，成分ごとの和

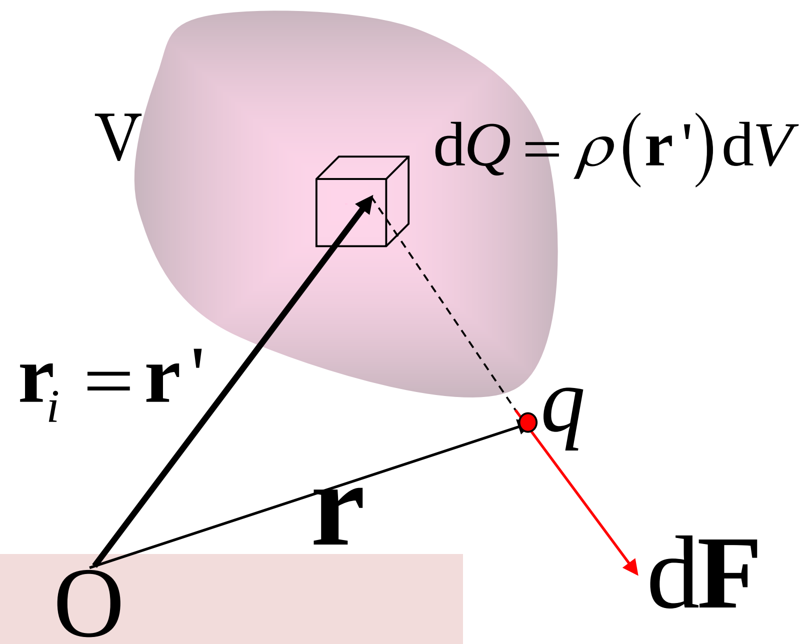
$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

- 他の種類の力（e.g. 重力）との重ね合わせ

- 複数の電荷によるクーロン力

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} q \sum_{j=1,N} \frac{Q_j}{\left|\vec{r} - \vec{r}_j\right|^2} \left(\frac{\vec{r} - \vec{r}_j}{\left|\vec{r} - \vec{r}_j\right|} \right)$$

連続な電荷分布によるクーロン力



$$\vec{F}(\vec{r}) = \iiint_V d\vec{F}$$

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} q \iiint_V \frac{\rho(\vec{r}')}{|\vec{r}-\vec{r}'|^2} \frac{\vec{r}-\vec{r}'}{|\vec{r}-\vec{r}'|} dV'$$

クーロン力の位置エネルギー

- 点電荷Q(原点), q（ $\vec{r}$ ）が持つ位置エネルギー

$$U(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{qQ}{r}$$

$$\because\ \vec{F} = -\nabla U = \left(-\frac{\partial U}{\partial x}, -\frac{\partial U}{\partial y}, -\frac{\partial U}{\partial z}\right) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{qQ}{r^2}\left(\frac{\vec{r}}{r}\right)$$

- 位置エネルギーの基準は無限遠（力=0）

$$U(\infty) = 0$$

位置エネルギーの重ね合わせ

$$U(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} q \sum_{j=1,N} \frac{Q_j}{|\vec{r} - \vec{r}_j|}$$

$$U(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} q \iiint_V \frac{\rho(\vec{r}\,')}{|\vec{r} - \vec{r}\,'|} dV'$$

$$U = U_1 + U_2 + \cdots + U_N$$

$$\begin{aligned} \vec{F} &= -\nabla U = -\nabla(U_1 + U_2 + \cdots + U_N) \\ &= -\nabla U_1 - \nabla U_2 \cdots - \nabla U_1 \\ &= \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \cdots + \vec{F}_N \end{aligned}$$