

第2章 静電場

2.1 クーロン (Coulomb) の法則

2.1.1 電荷

- 電氣的な力は「電荷」を持つ物質の間に働く。
- 電荷には正と負があり，同じ符号の電荷 (を持つ物質) どうしには斥力，異なる符号の電荷間には引力が働く。
- 電荷の単位

(1) C (クーロン) $\equiv A \cdot s$ (アンペア・秒).

A(アンペア) は電流の単位. (その定義は第3章で.)

- 素電荷 (電気素量): e

(2) $e \equiv | \text{電子の電荷} | \simeq 1.602 \times 10^{-19} C.$

物質のミクロに見ると，電子 ($-e$)，陽子 (e)，中性子 (0) から出来ていることを反映.

2.1.2 この講義で用いる単位系

国際単位系 (SI, MKSA 有理単位系)

長さ: m(メートル), 質量: kg(キログラム), 時間: s(秒),
電流: A(アンペア).

2.1.3 クーロンの法則

- 互いに静止している 2 つの (点) 電荷の間に働く力. (真空中)

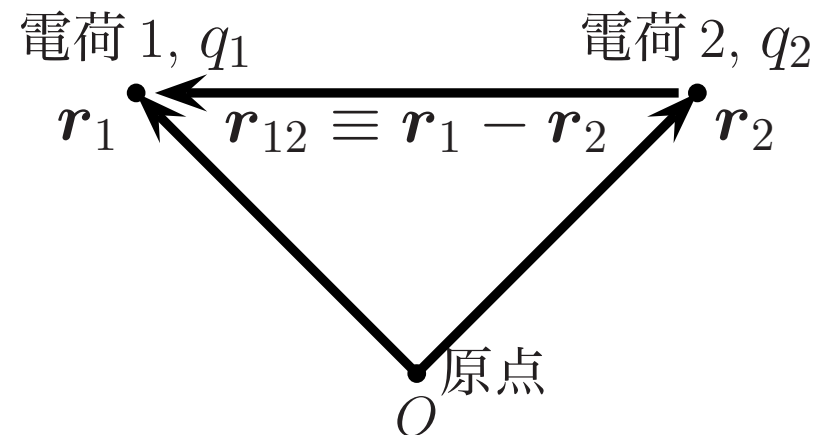
それぞれの電荷の大きさに比例, 電荷間の距離の 2 乗に反比例.

$$\mathbf{r}_1 = (x_1, y_1, z_1), \quad \mathbf{r}_2 = (x_2, y_2, z_2),$$

$$\mathbf{r}_{12} \equiv \mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2, \quad r_{12} \equiv |\mathbf{r}_{12}|,$$

$$\hat{\mathbf{r}}_{12} \equiv \mathbf{r}_{12}/r_{12}$$

(\mathbf{r}_{12} 方向の単位ベクトル).



注) 太字 (\mathbf{r} など) はベクトルを表す.

電荷 1 が電荷 2 から受ける力

$$(3) \quad \mathbf{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{\mathbf{r}}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{|\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2|^3} (\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2).$$

電荷 2 が電荷 1 から受ける力 ($\mathbf{r}_{21} \equiv \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1 = -\mathbf{r}_{12}$)

$$\mathbf{F}_{21} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2 q_1}{r_{21}^2} \hat{\mathbf{r}}_{21} = -\mathbf{F}_{12}. \quad (\text{作用反作用の法則})$$

○ ϵ_0 : 真空の誘電率

$$(4) \quad \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 10^{-7} c^2, \quad c \equiv \text{光速} \equiv 2.99792458 \times 10^8 \text{ m/s}.$$

注) c の値は厳密. (これが長さ m を定義している.)

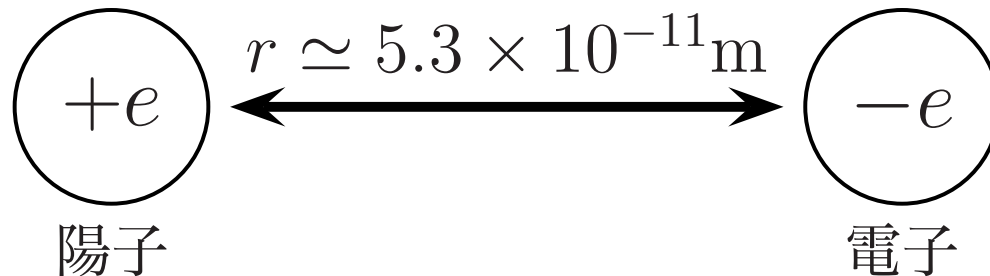
$$(5) \quad \epsilon_0 = 8.854 \dots \times 10^{-12} \boxed{}.$$

● 重力との比較

質量 m_1 と m_2 の間に働く引力

$$(6) \quad F_N = G_N \frac{m_1 m_2}{r_{12}^2}, \quad G_N \simeq 6.7 \times 10^{-11} \text{ m}^3 / (\text{kg} \cdot \text{s}^2).$$

○ 例：水素原子



$$(7) \quad |F_C| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2} \simeq \boxed{} \text{ N}.$$

$m_p \simeq 1.7 \times 10^{-27} \text{ kg}$ (陽子の質量), $m_e \simeq 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ (電子の質量)
を用いると,

$$(8) \quad |F_N| = G_N \frac{m_p m_e}{r^2} \simeq 4 \times 10^{-47} \text{ N}.$$

すなわち, $|F_C| \gg |F_N|$.

ミクロなスケール (原子, 分子) では, クーロン力が重要で, 重力は無視してよい.

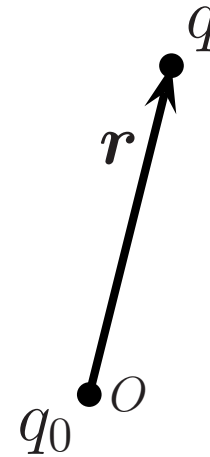
しかし, マクロなスケール (天体) では, 重力が支配的となる. ほとんどの物質では正負の電荷が正確に打ち消し合っていて, マクロに見ればクーロン力は働かないからである.

- 対称性

原点に電荷 q_0 を置き, 点 r に電荷 q を置く.

q_0 が q におよぼす力は,

$$(9) \quad \mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_0 q}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$



力は常に動径方向を向き, その大きさは r のみの関数. (中心力)

\implies 点電荷による力は球対称. (特別な方向が無い. 回転対称.)