

# 第2章 静電場

# 2.1 クーロン (Coulomb) の法則

電磁気学詳論 I (2022)

田中担当クラス

<http://www-het.phys.sci.osaka-u.ac.jp/~tanaka/teaching.html>

## 第 2 章 静電場

## 2.1.1 電荷 (静止している場合)

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: C(クーロン)

$$|\text{電子の電荷}| = e := 1.602\,176\,634 \times 10^{-19} \text{ C} \quad (1)$$

と定義する。(2019年5月20日のSIの改定による。)

$e$  を素電荷，電気素量ともいう。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 国際単位系 (SI)

### 時間: s (秒)

$^{137}\text{Cs}$  のある遷移の周波数を 9 192 631 770 Hz と定義する。  
(Hz =  $\text{s}^{-1}$ . いわゆる原子時計. )

### 長さ: m (メートル)

真空中の光速  $c$  を 299 792 458 m/s とする。  
(光速度不変の原理, 特殊相対性理論による. )

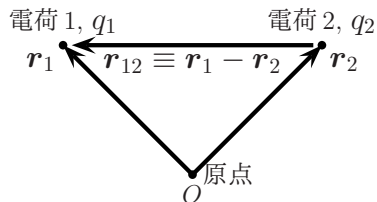
### 質量: kg (キログラム)

プランク定数  $h$  を  $6.626\,070\,15 \times 10^{-34}$  J s (ジュール 秒) と定義する。  
(2019年5月20日のSIの改定による. 量子論にもとづく. )

<https://www.bipm.org/en/publications/si-brochure/>  
<https://unit.aist.go.jp/nmij/info/redefinition/>

## 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。



$$\begin{aligned}\mathbf{r}_1 &= (x_1, y_1, z_1), \quad \mathbf{r}_2 = (x_2, y_2, z_2), \\ \mathbf{r}_{12} &:= \mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2, \quad r_{12} := |\mathbf{r}_{12}|, \\ \hat{\mathbf{r}}_{12} &:= \mathbf{r}_{12}/r_{12} \\ &(\mathbf{r}_{12} \text{ 方向の単位ベクトル}).\end{aligned}$$

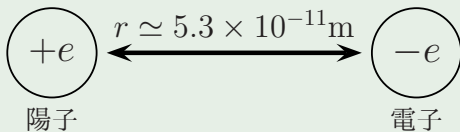
注) 太字 ( $\mathbf{r}$  など) はベクトルを表す。

電荷1が電荷2から受ける力(クーロン力)

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



## 例：水素原子



$$\text{クーロン力 } |F_C| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2} \simeq \boxed{\phantom{00000}} \text{ N.} \quad (5)$$

$m_p \simeq 1.7 \times 10^{-27} \text{ kg}$ (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,

$$\text{重力 } |F_N| = G_N \frac{m_p m_e}{r^2} \simeq \boxed{\phantom{00000}} \text{ N.} \quad (6)$$

すなわち,  $|F_C| \gg |F_N|$ .

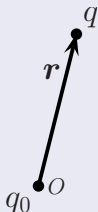
ミクロなスケール(原子, 分子)では, クーロン力が重要で, 重力は無視してよい.

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,

$$\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_0 q}{r^2} \hat{\mathbf{r}} \quad (7)$$



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.)