

電位分布の測定

[実験テーマの概要]

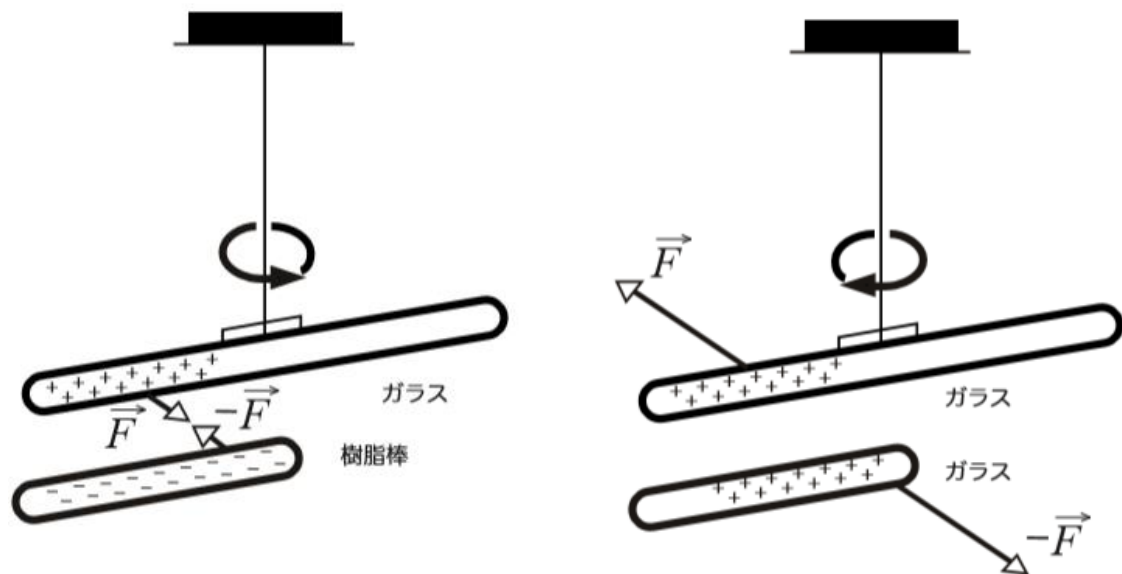
帯電した金属の周囲に生じる電位の分布を測定する

予習項目

- (1) 電荷、電場(電界)、電位、等電位線の定義や単位、概念を調べておきなさい。
- (2) 点電荷周囲の電位分布を導出せよ。

電荷

異なる物体をこすり合わせると、電気が発生することは古くから知られていた。この電気には正と負があり、同種の電気を帯びた物体は反発し、異種の電気を帯びた物体は引き合う性質をもつ。このような電気の量を電気量と呼び、電気量をもつ粒子を電荷と呼ぶ。また、生じた力を静電気力と呼ぶ。

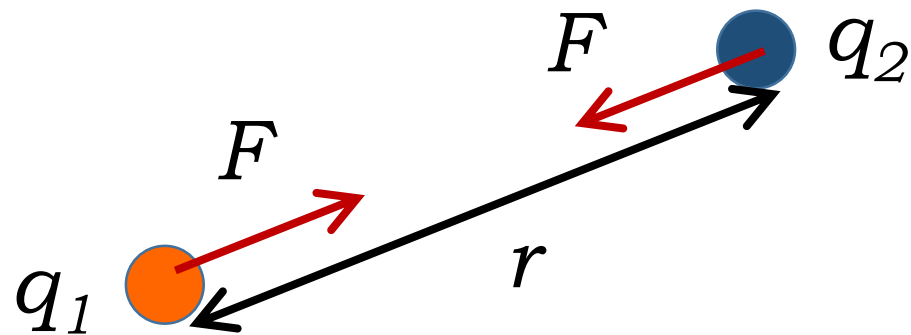


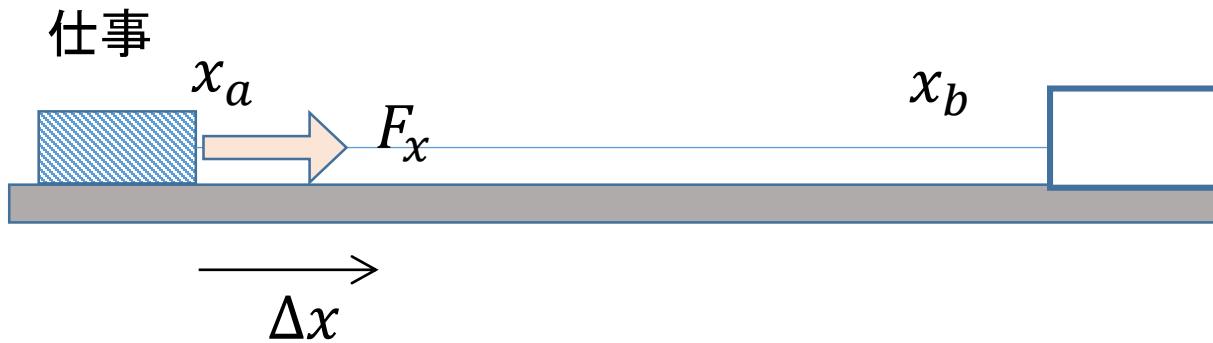
クーロンの法則

距離 r [m] 離れた電気量 q_1 [C]、 q_2 [C] の電荷間に働く引力、あるいは斥力の大きさを F [N] は次のように書ける。

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

ここで、電気量は、電子1個の電気量を $1.602176634 \times 10^{-19}$ C と定義する。この式で、比例定数 ϵ_0 は真空の誘電率と呼ばれ、 $\epsilon_0 = 8.85418782 \times 10^{-12}$ C²/(N·m²) となる。



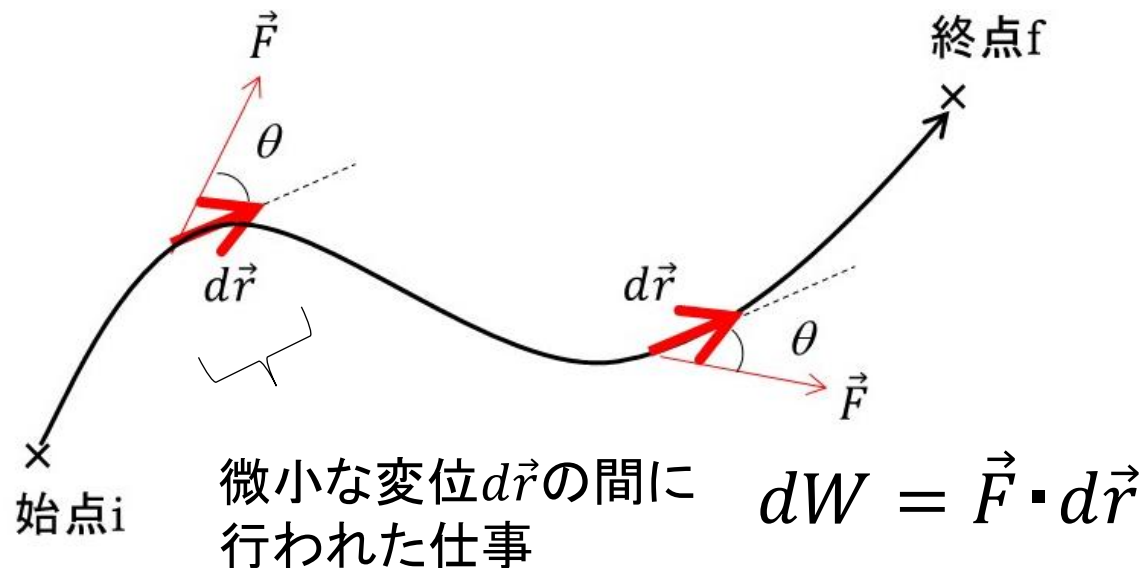


物体にひもを取り付けて、ひもを力 F_x で引き続けることで物体を動かす。物体が変位したとき、力は物体に仕事をしたという。始点*i*から終点*f*まで運動する間に行われる仕事は次の式で表す。

$$W = \int_i^f F_x(x) dx$$

次に、物体の移動が一直線上ではない場合を考えよう。このとき、微小な変位 $d\vec{r}$ の間に行われる仕事 dW を次のように書くことにする。

$$dW = \vec{F} \cdot d\vec{r}$$



従って、始点から終点まで運動する間に行われた仕事は、次のように書ける。

$$W = \int_i^f \vec{F} \cdot d\vec{r}$$

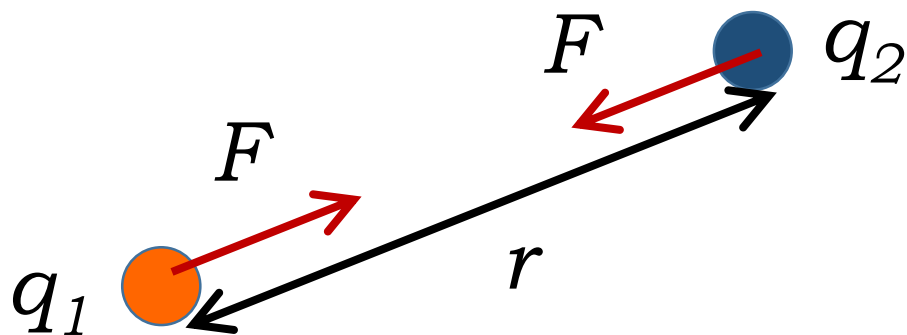
このとき、 $\Delta U = -W$ で計算される量をポテンシャルエネルギーの変化量と呼ぶ。

$$\Delta U = -W = - \int_i^f \vec{F} \cdot d\vec{r}$$

電場

前頁で確認したように、力学では多くの場面で、物体に直接接触したり、ひもや棒をとりつけることで力を与えている。

物体間(電荷間)に作用する静電気力の場合、離れた電荷間に力が生じる。これを、「電荷の周囲には電氣的な空間(電場)が作られており、そのやりとりによって、静電気力が発生する」と考えよう。



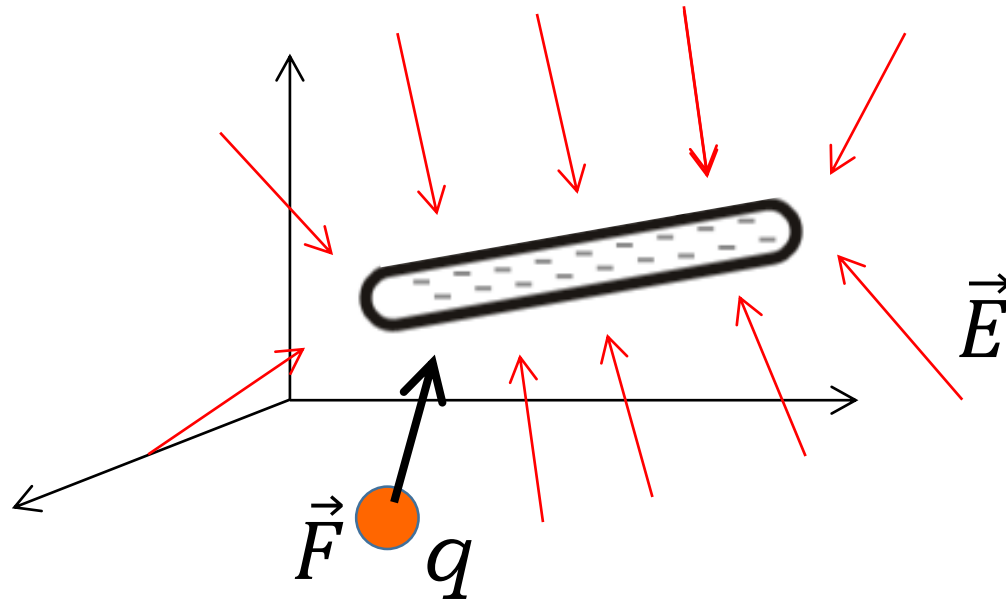
力が大きさと方向性を持つベクトルなので、電場もベクトルで表したい。一方で、場の概念は抽象的(目にみえない)なので、その定義や単位が既知の量である力($F[\text{N}]$)を基にして電場を定義しよう。

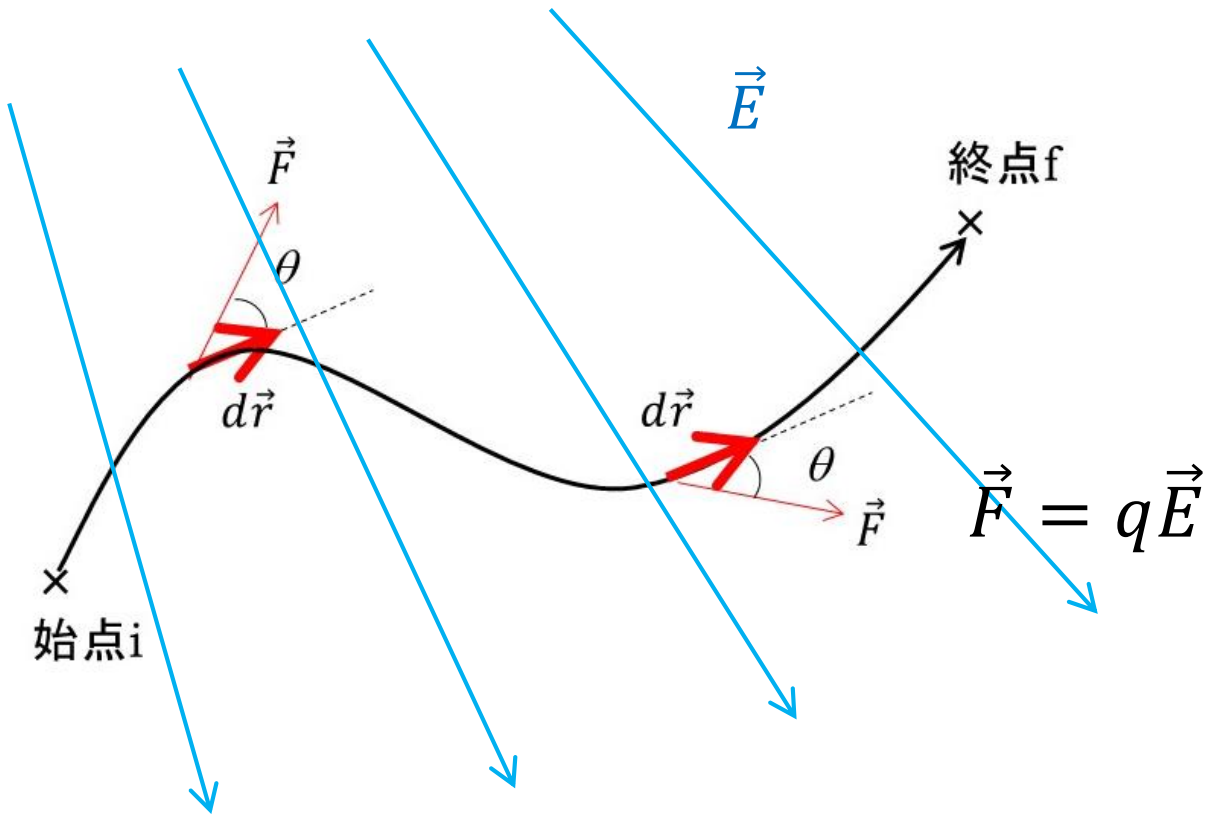
電場

電場という未知の空間を調べるために、探査器具[プローブ:ここでは電気量 q の試験電荷]を置いて位置を変えていき、そのプローブに作用する力のベクトル(\vec{F})を測定していったとしよう。このとき電場ベクトル \vec{E} を次のように定義する。

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

この定義では、電場の単位は「力と電気量の単位」を用いて、 E [N/C]とする(電気量1 Cあたりに作用する力と表す)。次々と、プローブを置きながら作用する力を測定していくことで、電場ベクトル \vec{E} の全容(位置の関数)が調べられる。調べられたこの電場中に電気量 q_x の電荷を置けば、その位置から、電荷に作用する力の大きさと向きが $\vec{F} = q_x \vec{E}$ から解る。





電気ポテンシャルエネルギー

電荷に力(静電気力)が作用すると、ポテンシャルエネルギーが計算できる。電場内に置かれた電荷を始点から終点まで、静電気力と釣り合いながら(加速度が生じないように)、物体を移動させた。

静電気力が行った仕事は、

$$W = \int_i^f \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int_i^f q\vec{E} \cdot d\vec{r}$$

と書けるので、電気ポテンシャルエネルギーは

$$\Delta U = -W = -\int_i^f q\vec{E} \cdot d\vec{r}$$

となる。また、1 Cあたりの電気ポテンシャルエネルギーを電位差(電圧) ΔV [V] と呼ぶ。

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q} = V_f - V_i$$

このとき、電位差の基準は実験者が決めて良いので、始点や、終点、無限遠などを基準にすることが多い。

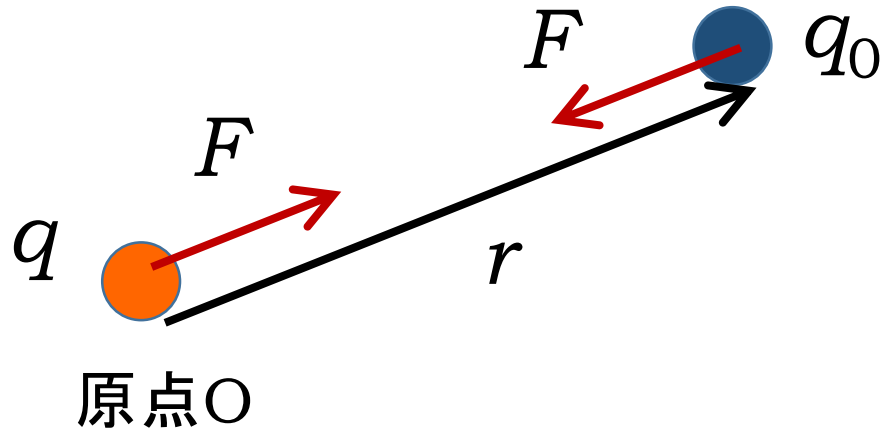
点電荷周囲の電場と電位

電荷量 q の電荷が原点 O に固定されている。電荷量 q_0 の試験電荷を位置 r に置いた。試験電荷に作用する静電気力の大きさは

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_0}{r^2}$$

なので、電場の大きさは

$$E = \frac{F}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}$$



$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q} = - \int_i^f \vec{E} \cdot d\vec{r}$$

を用いれば、位置 r での電位差が求まる。このとき、電位の基準を無限遠とする。

$$\begin{aligned} \Delta V &= \frac{\Delta U}{q} = - \int_i^f \vec{E} \cdot d\vec{r} = - \int_i^f \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} dr \\ &= - \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \int_{\infty}^r \frac{dr}{r^2} \\ &= - \frac{q}{4\pi\epsilon_0} [-r^{-1}]_{\infty}^r = \end{aligned}$$

電場の大きさは r^2 に比例し、電位差は r^1 に比例する。