

授業予定(変更されたシラバス)

- | | |
|---------------|---------------|
| ①原子の構造と電気力 | ⑨電流が作る磁場1 (小) |
| ②クーロンの法則 | ⑩電流が作る磁場2 |
| ③電場1 (小) | ⑪ローレンツ力1 (小) |
| ④電場2 (小) | ⑫ローレンツ力2 (小) |
| ⑤電位1 (小) | ⑬電磁誘導 (小) |
| ⑥電位2 | ⑭発展 (+確認試験2) |
| ⑦電流1 (小) | ⑮まとめ |
| ⑧電流2 (+確認試験1) | ⑯期末試験 |

木曜3限の受講生

本日のレポートの×切は, 11月6日(水)17時

基礎物理A ≪ 学習到達目標 ≫

- 1) 電気力と電場の関係を説明できる。
- 2) 電位と静電エネルギーを説明できる。
- 3) ミクロな視点で電流を説明できる。
- 4) ローレンツ力と磁場(磁束密度)の関係を説明できる。
- 5) 直線電流がつくる磁束密度を図を使って説明できる。

第6回目 電位2

今日の授業の目的

- ⊙ 電位差(電圧)と電気力がした仕事の間係を理解する.
- ⊙ 一様な電場における電位差.
- ⊙ 点電荷のまわりの電位.
- ⊙ 重ね合わせの原理(電位の場合).

§ 4 電位

(つづき)

◇電位と電位差（電圧）

（テキスト p.42～43）

点Oを基準（0V）としたときの
点Pの電位が ϕ [V]

点Pに q [C]の電荷を置く。
電荷の静電エネルギー U は、

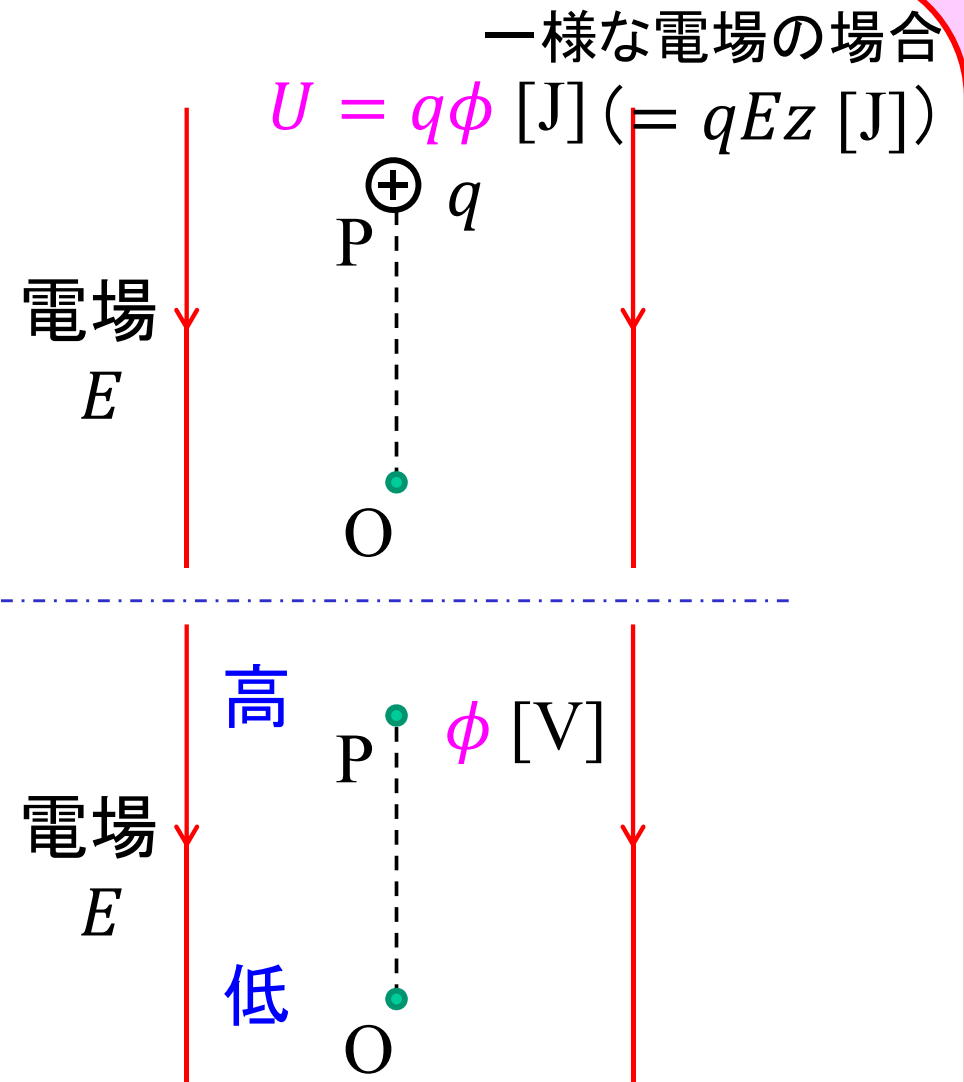
$$U = q\phi \text{ [J]}$$

電位の単位は J/C

電位の単位 V （ボルト）

と名付ける。

一様な電場でなくても、電位という考え方は適用できる。



◇電位と電位差(電圧)

(テキスト p.43)

電位の計算

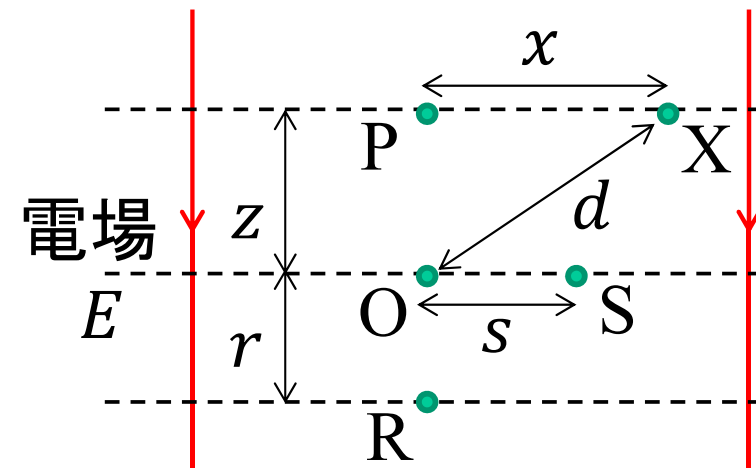
$$U_P = 120 \text{ J}$$

点Pの電位 ϕ_P は, $U_P = q\phi_P$ より

$$\phi_P = \frac{U_P}{q} = \frac{120 \text{ J}}{2 \text{ C}} = 60 \text{ V}$$

静電エネルギー

$$U = qEz \text{ [J]}$$



$$E = 15 \text{ N/C} \quad q = +2 \text{ C}$$

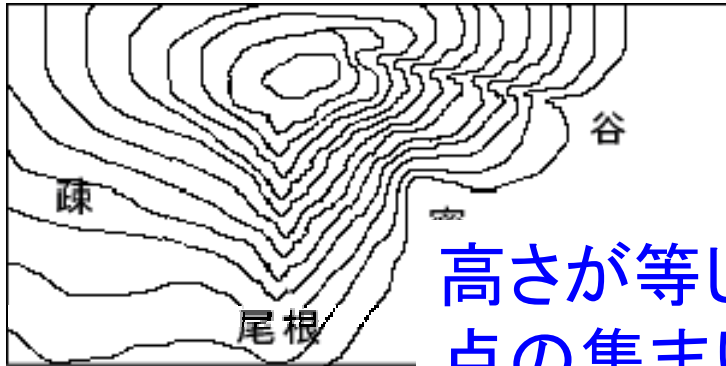
$$z = 4 \text{ m}, \quad r = 3 \text{ m}, \quad s = 3 \text{ m}$$

$$d = \sqrt{41} \text{ m}, \quad x = 5 \text{ m}$$

◇等電位面

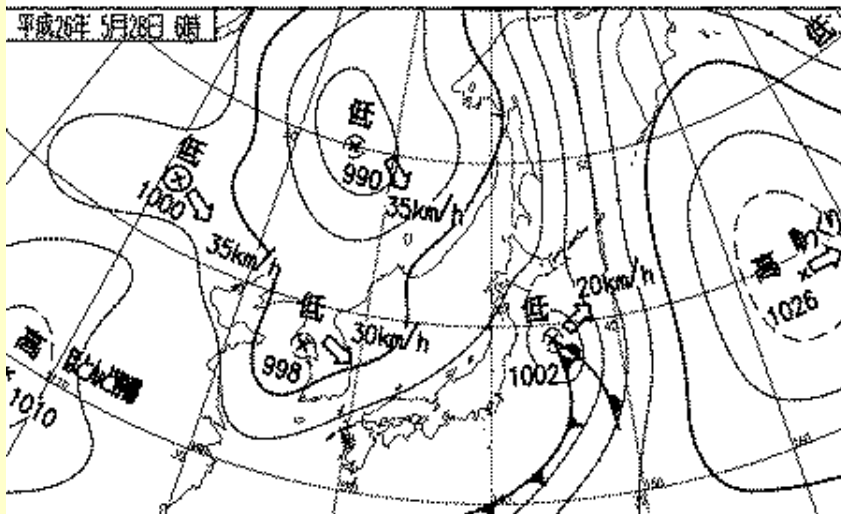
(テキスト p.44～45)

地図の等高線



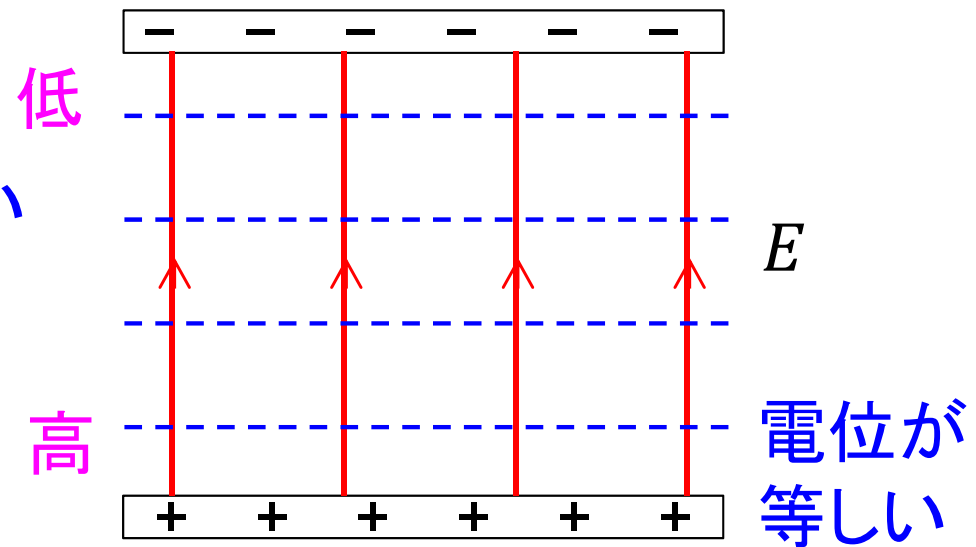
高さが等しい
点の集まり

天気図の等圧線



気圧が等しい点の集まり

電気力線と等電位面



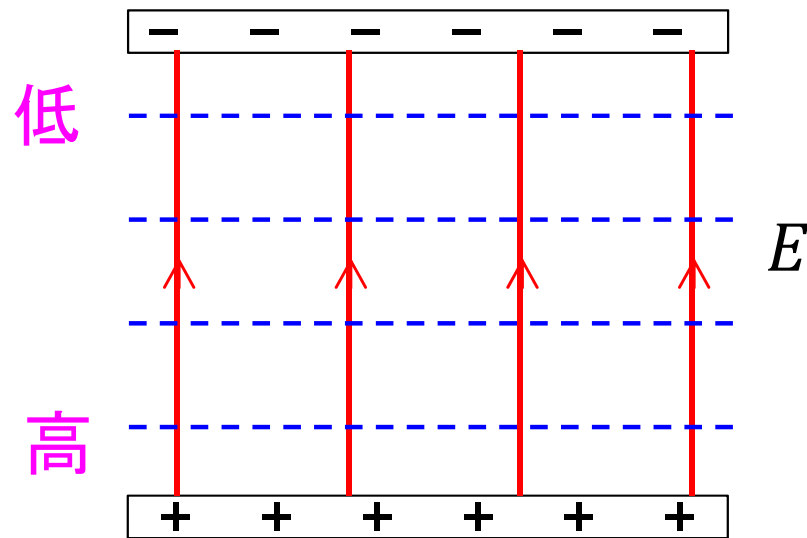
等電位面

電位が等しい点の集まり(面)

◇等電位面

(テキスト p.45～46)

一様な電場と等電位面



- ①等電位面は？
- ②電気力線の向きは？
- ③電位が高いのはどちら？

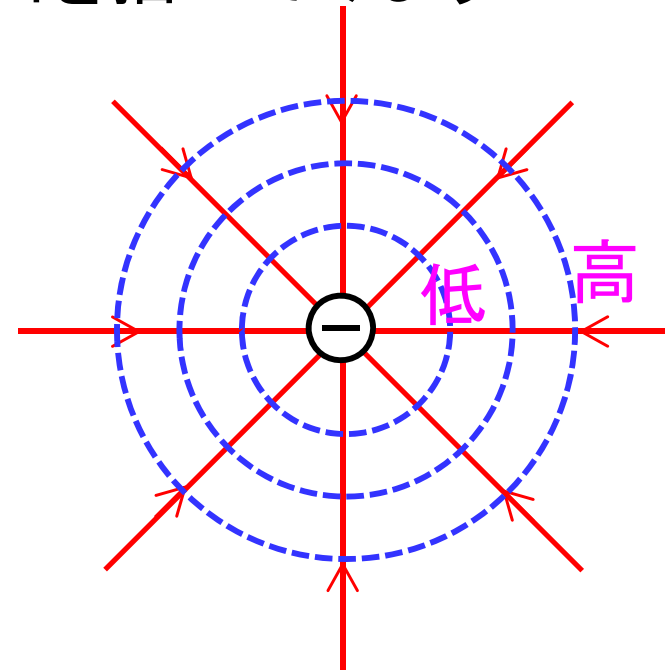
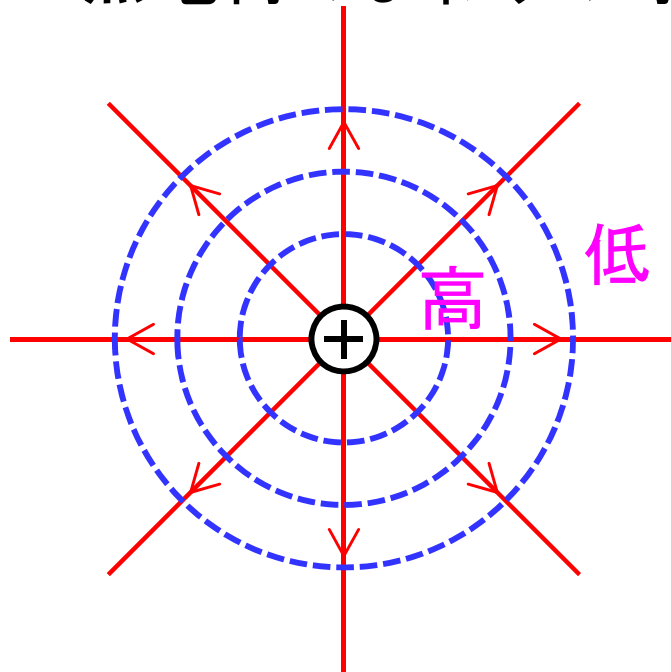
- 等電位面は電気力線と垂直に交わる。
- 各々の等電位面での電位は、電気力線の向きに沿って低くなる。
(電気力線は電位が高い方から低い方へ向かう。)

◇等電位面

(テキスト p.44～45)

電気力線と等電位面

点電荷のまわりの等電位面を描いてみよう



- 電気力線は電位が高い方から低い方へ向かっている
- 等電位面は電気力線と垂直に交わっている

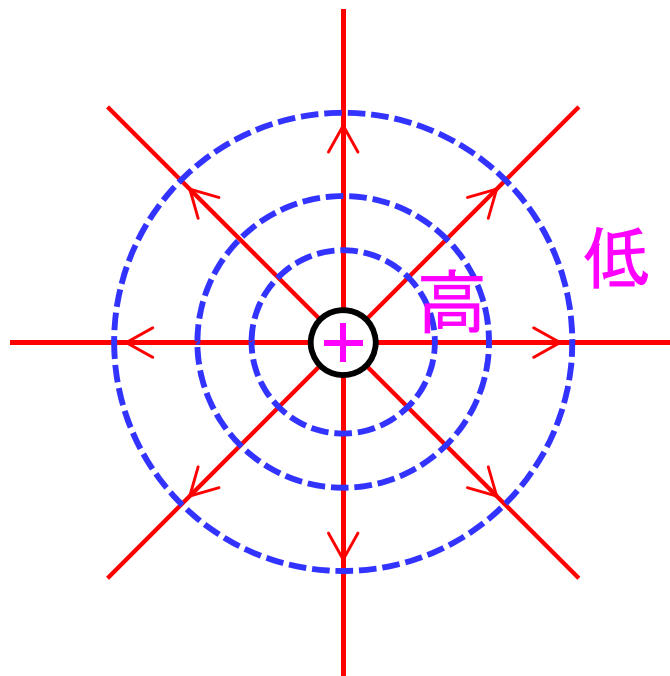
◇等電位面

(テキスト p.45～46)

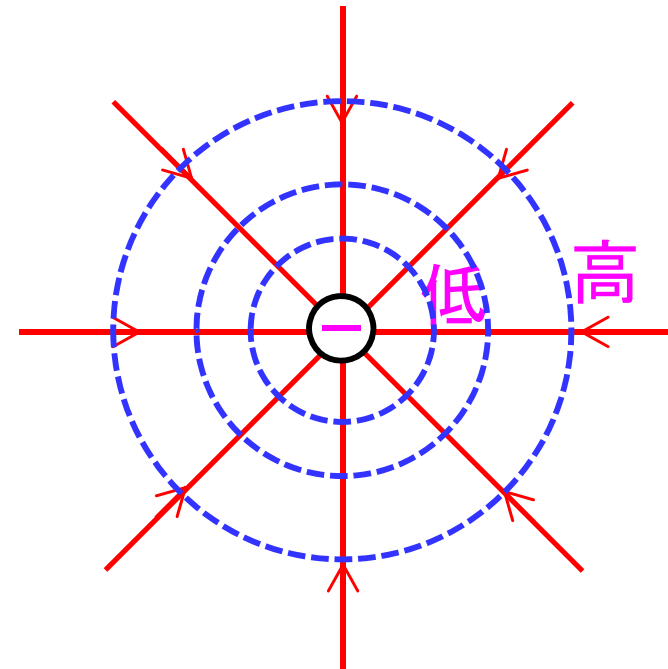
点電荷 Q のまわりの電気力線と等電位面

等電位面から電場の様子(電気力線や電荷)が分かる

- ①電気力線の向きは？
- ②中心の点電荷 Q は正か負か？



$Q > 0$ 正電荷



$Q < 0$ 負電荷

◇電位と電位差(電圧)

(テキスト p.43)

$q = 3\text{C}$ を点P, R, Sに置いた
ときの静電エネルギーは？

$$U_P = q\phi_P = 3\text{C} \times 60\text{V} = 180\text{J}$$

$$U_R = q\phi_R = -135\text{J}$$

$$U_S = q\phi_S = 0\text{J}$$

$q' = -3\text{C}$ を点P, R, Sに置いた
ときの静電エネルギーは？

$$U_P' = q'\phi_P = -180\text{J}$$

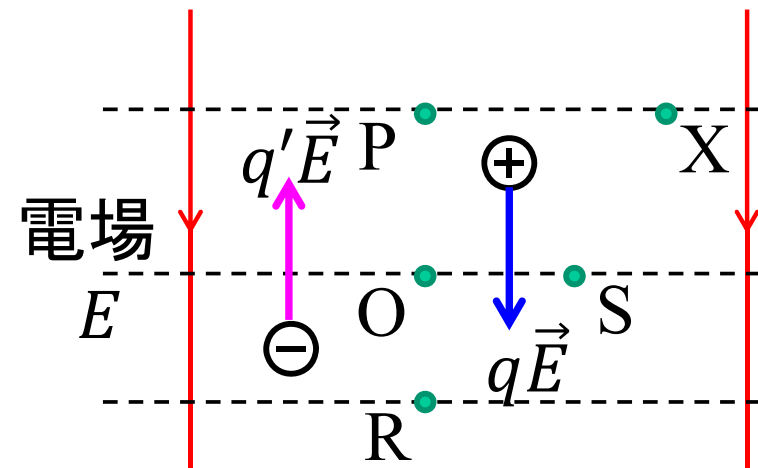
$$U_R' = q'\phi_R = 135\text{J}$$

$$U_S' = q'\phi_S = 0\text{J}$$

電荷が**正**か**負**かで, 静電エネルギーの符号が逆になる

静電エネルギー

$$U = q\phi [\text{J}]$$



$$E = 15\text{ N/C}$$

$$\phi_P = \phi_X = 60\text{ V}$$

$$\phi_O = \phi_S = 0\text{ V}$$

$$\phi_R = -45\text{ V}$$

◇電位と電位差(電圧)

(テキスト p.43～44)

空間内の2点の間の電位の差：
電位差(電圧)

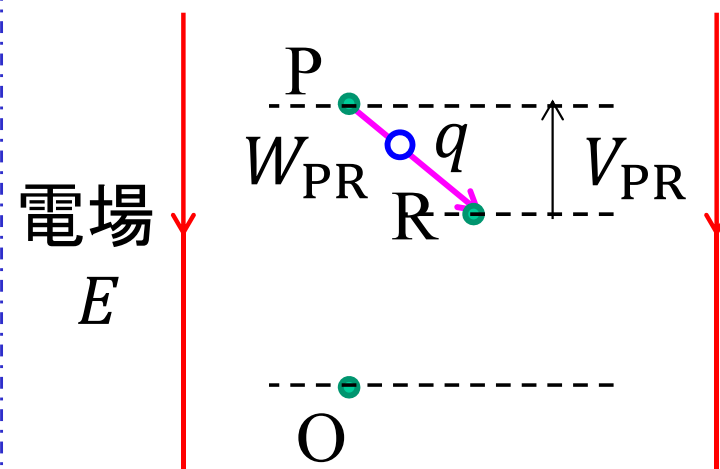
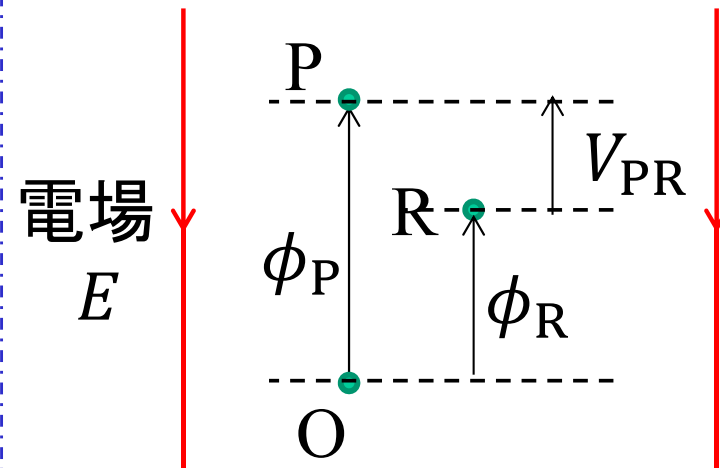
$$V_{PR} = \phi_P - \phi_R$$

電荷 q が点PからRまで移動する
間に電気力がする仕事 W_{PR} は？

$$W_{PR} = qV_{PR}$$



乾電池の電圧は約1.5V



◇電位と電位差(電圧)

(テキスト p.43～44)

$q = 3\text{C}$ が点Xから点Rまで移動する間に電気力がした仕事は？

$$V_{XR} = \phi_X - \phi_R = 60\text{V} - (-45\text{V}) = 105\text{V}$$

$$W_{XR} = qV_{XR} = 3\text{C} \times 105\text{V} = 315\text{J}$$

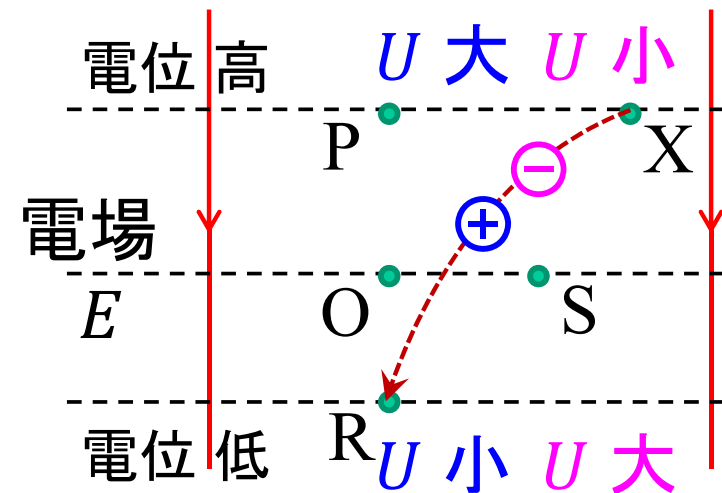
$q' = -3\text{C}$ が点Xから点Rまで移動する間に電気力がした仕事は？

$$V_{XR} = \phi_X - \phi_R = 105\text{V}$$

$$W_{XR} = qV_{XR} = -3\text{C} \times 105\text{V} = -315\text{J}$$

電気力がした仕事

$$W = qV [\text{J}]$$



$$E = 15\text{ N/C}$$

$$\phi_P = \phi_X = 60\text{V}$$

$$\phi_O = \phi_S = 0\text{V}$$

$$\phi_R = -45\text{V}$$

◇一様な電場における電位差

(テキスト p.46)

強さ E の一様な電場

2点P, Rの電位差の絶対値 $V = |V_{PR}|$

$$V = Ed$$

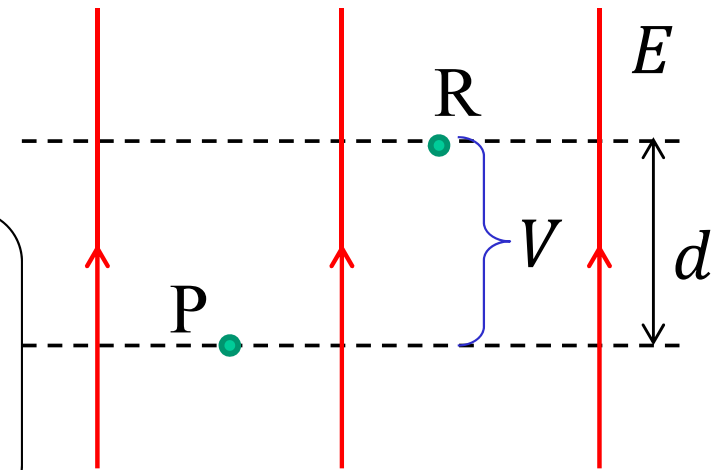
で表わされる。

1C当たりの仕事 V
= 1C当たりの力 E
×電気力線に沿った距離 d

$$E = \frac{V}{d} \quad \left(\begin{array}{l} E \text{の単位: V/m} \\ \text{とも表せる。} \end{array} \right)$$

より,

- 等電位面の間隔が狭い場所ほど,
その場所での電気力線の本数が多い(電場は強い)



$$\begin{array}{ll} \text{仕事} & W = fs \cos \theta = fd \\ \text{電気力} & f = qE \end{array}$$

◇一様な電場における電位差

(テキスト p.46)

強さ E の一様な電場

$$V = Ed$$

$$E = 50\text{N/C}$$

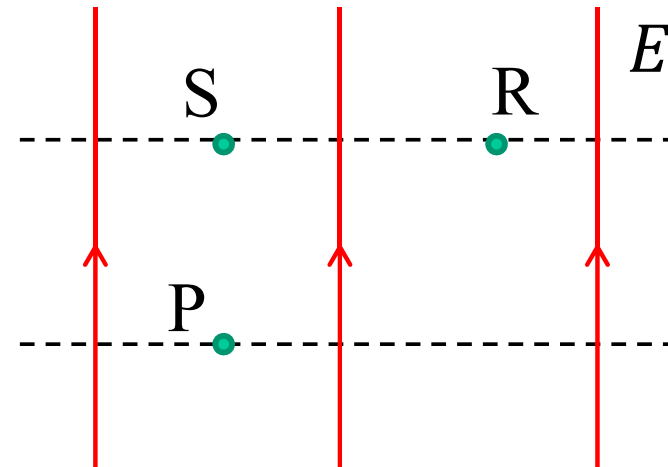
PR, RS, SP間の距離が
0.5m, 0.4m, 0.3mのとき

PR間, RS間, SP間の電位差？
(絶対値でよい)

$$V_{PR} = Ed = 50\text{N/C} \times 0.3\text{m} = 15\text{V}$$

$$V_{RS} = Ed = 50\text{N/C} \times 0\text{m} = 0\text{V}$$

$$V_{SP} = Ed = 50\text{N/C} \times 0.3\text{m} = 15\text{V}$$



◇点電荷のまわりの電位

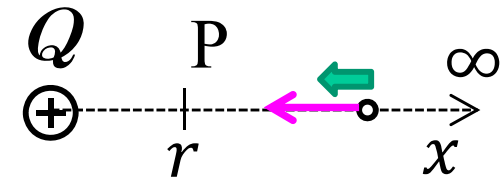
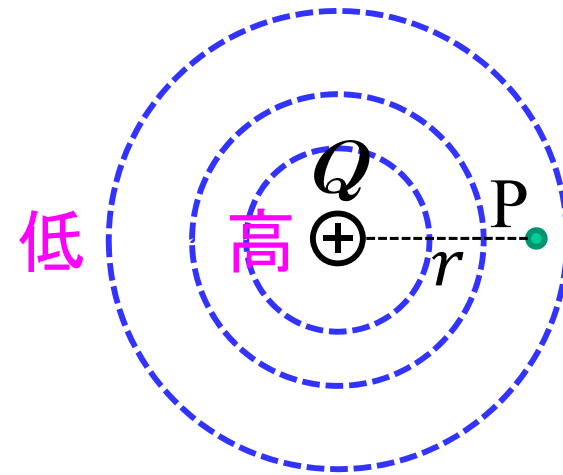
(テキスト p.47～48)

点Pでの電位 ϕ ϕ は r だけで値が決まる関数 $\phi(r)$ 。
無限遠 ∞ を電位の基準(0 V)とする。

$$\phi(r) = k \frac{Q}{r} \text{ [V]}$$

参考)

$$\begin{aligned}\phi(r) &= \frac{U(r)}{q} = \frac{1}{q} \int_{\infty}^r dW_{\text{外}} \\ &= \frac{1}{q} \int_{\infty}^r \{-qE(x) \cos 0\} dx \\ &= - \int_{\infty}^r k \frac{Q}{x^2} dx = -kQ \int_{\infty}^r \frac{1}{x^2} dx \\ &= -kQ \left[-\frac{1}{x} \right]_{\infty}^r = -kQ \left\{ -\frac{1}{r} - \left(-\frac{1}{\infty} \right) \right\} = k \frac{Q}{r}\end{aligned}$$

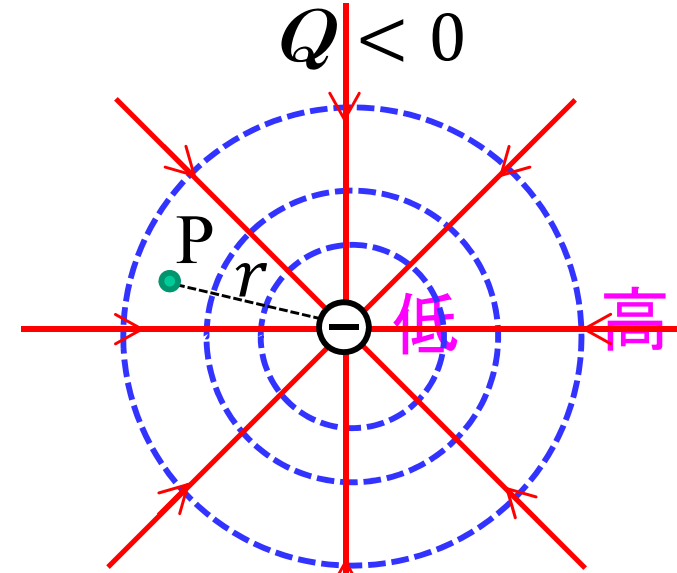
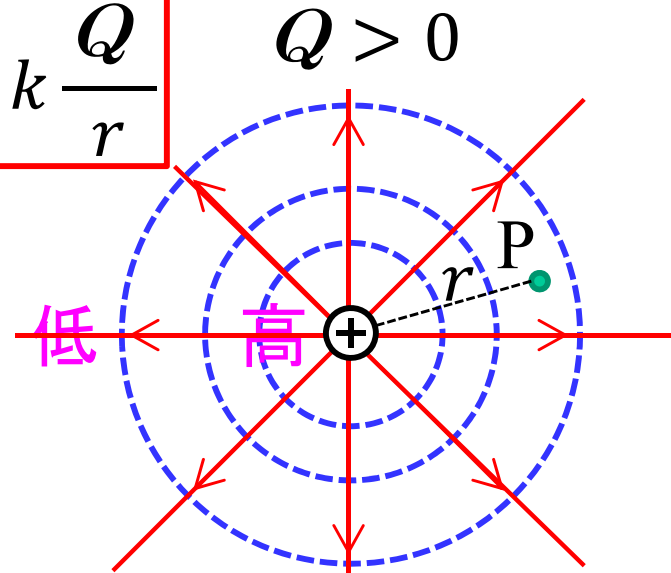


◇点電荷のまわりの電位

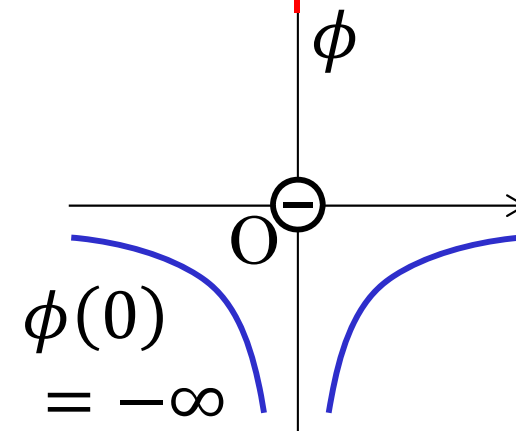
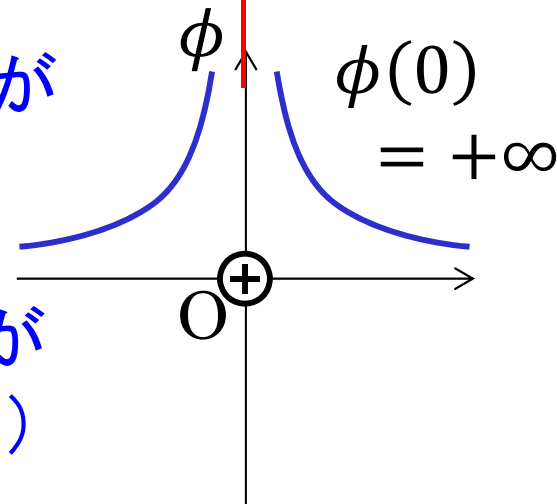
(テキスト p.47～48)

無限遠 ∞ を電位の基準とする。

$$\phi(r) = k \frac{Q}{r}$$



- 等電位面の間隔が狭い場所ほど、その場所での電気力線の本数が多い(電場は強い)



◇重ね合わせの原理(電位の場合)

(テキスト p.48)

Q_1 だけがある場合の点Pの電位 ϕ_1

Q_2 だけがある場合の点Pの電位 ϕ_2

Q_1, Q_2 の両方ともある場合の点Pでの電位

$$\phi = \phi_1 + \phi_2$$

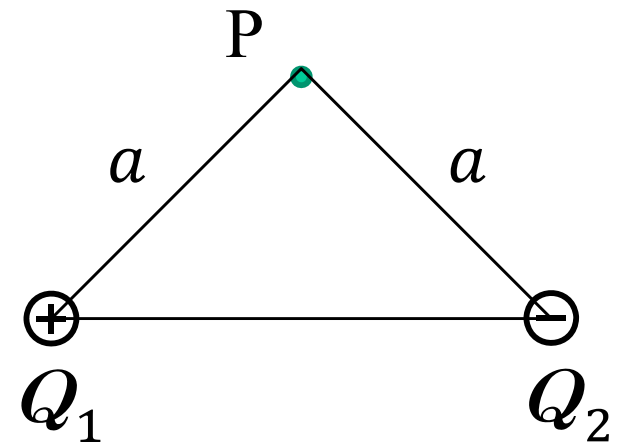
真空中で $Q_1 = +2C$, $Q_2 = +2C$,
 $a = 3\text{m}$ 。 Q_1, Q_2 の両方ともある
場合の点Pでの電位 ϕ は？

$$\begin{aligned}\phi &= \phi_1 + \phi_2 = k_0 \frac{Q_1}{a} + k_0 \frac{Q_2}{a} \\ &= 9.0 \times 10^9 \text{N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2 \cdot \frac{2\text{C}}{3\text{m}} \times 2 \\ &= 12 \times 10^9 \text{N} \cdot \text{m}/\text{C} = 12 \times 10^9 \text{V}\end{aligned}$$

⇒いろいろな場所で ϕ を求め
等電位面を描く

$$\phi(r) = k \frac{Q}{r}$$

$$k_0 = 9.0 \times 10^9 \text{N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$$



$\vec{E}$ の重ね合わせと
どちらが楽？

◇静電場での力学的エネルギー保存則 (テキスト p.49～50)

仕事と運動エネルギーの関係

$$\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = W = qV_{12}$$

力学的エネルギー保存則

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + q\phi_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 + q\phi_2$$

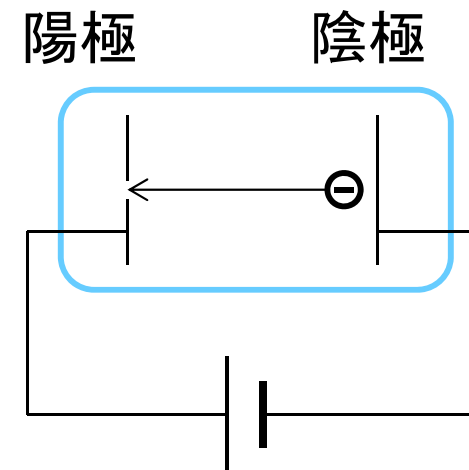
加速電圧10kVで電子を加速する。

初速 $v_1 = 0 \text{ m/s}$ とする。

$$\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}m \cdot 0^2 = eV$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2eV}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \times 10 \times 10^3 \text{ V}}{9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}}}$$

$$= 5.9 \times 10^7 \text{ m/s}$$



$$V = 10 \text{ kV}$$

$$q = -e = -1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$m = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

・レポート問題（解答用紙付き）
を必ず持って帰ること