

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 |

木曜の受講生へ 本日のレポートの×切・・・通常通り

休講:10月31日(木)

補講:11月2日(土)3時限目 @D0311講義室

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 |

火曜の受講生へ

本日のレポートの×切・・・来週の木曜13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5回目 電位1

今日の授業の目的

- ⊙ 電場に関する**ガウスの法則**.
- ⊙ 平板間の一様な電場の強さを求める.
- ⊙ **電位**の定義式より, 電位と静電エネルギーの関係を理解する.
- ⊙ 電位差(電圧)と電気力がした仕事の関係を理解する.
- ⊙ **等電位面**と電気力線の対応関係を理解する.
- ⊙ 一様な電場における電位差. **電気力線の本数 Φ_E** の定義を理解する

§ 3 ガウスの法則 (つづき)

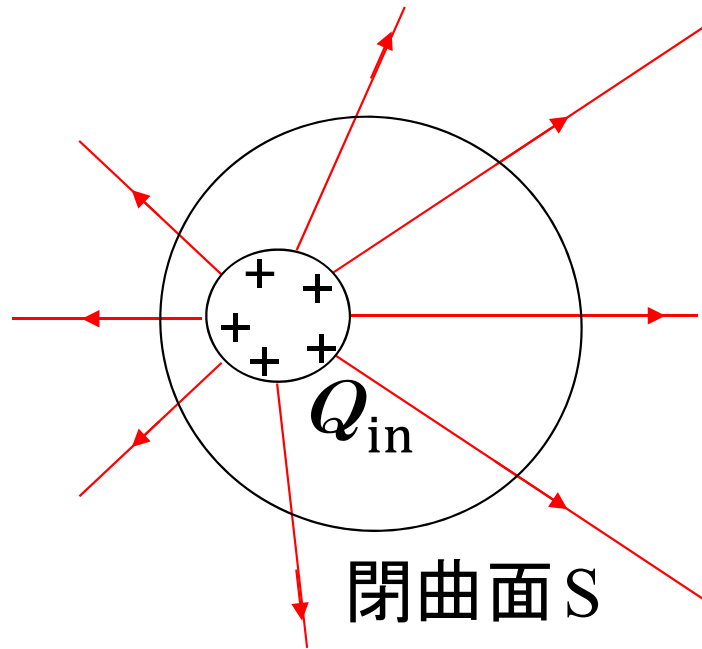
静電場に関するガウスの法則の適用例



- 1個の点電荷 Q
- 平板間の一様な電場の強さ

◇静電場に関するガウスの法則

(テキスト p.33～34)



貫いて入る電気力線は
負の本数が外に出るとして数える

静電場に関するガウスの法則

任意の閉曲面Sに対し、
Sを貫いて外へ出る電気力線
の本数 ϕ_E をとし、
Sの内部にある全電気量 Q_{in}
とする。このとき、

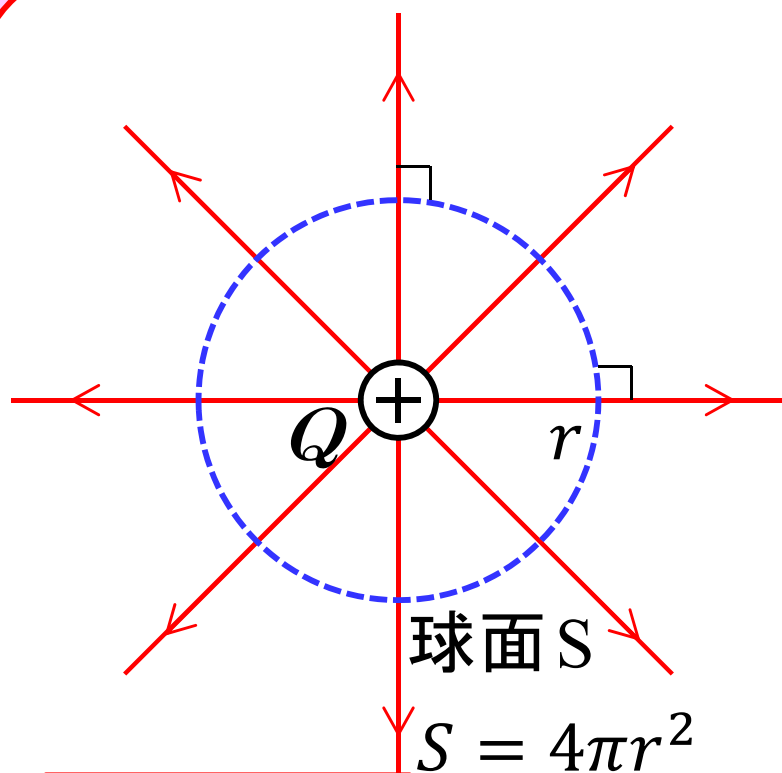
$$\phi_E = \frac{Q_{in}}{\varepsilon}$$

が成り立つ。

(発展)より専門的・理論的に取り扱うときは、積分や
微分を用いて表現する。36ページ参照。

◇ガウスの法則を1 個の点電荷 Q に適用

(テキスト p.35)



$$\Phi_E = \frac{Q_{\text{in}}}{\epsilon}$$

点電荷 Q を中心, 半径 r の球面 S を考える。 S の外へ出る電気力線

の本数を Φ_E とする。

$$\Phi_E = E \cdot S = E \cdot 4\pi r^2$$

S の内部の全電気量は

$$Q_{\text{in}} = Q$$

となる。ガウスの法則に代入,

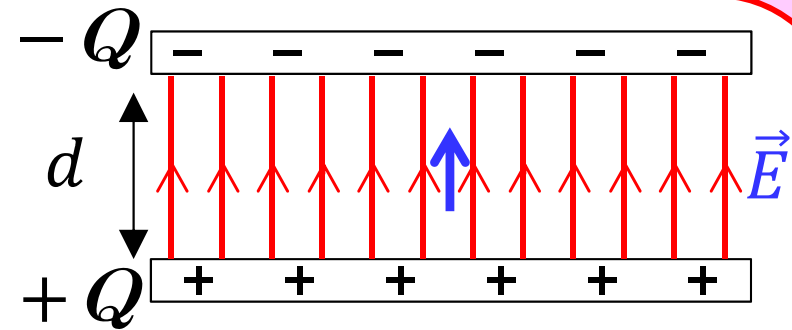
$$E \cdot 4\pi r^2 = \frac{Q}{\epsilon}$$

$$\therefore E = \frac{1}{4\pi r^2} \cdot \frac{Q}{\epsilon} = k \frac{Q}{r^2}$$

◇平板間の一様な電場の強さ

(テキスト p.35)

面積 S の十分に広い2枚の平板
正電荷 $+Q$ と負電荷 $-Q$ を
向かい合わせる



閉曲面 S として底面積 A の
円筒を考える。

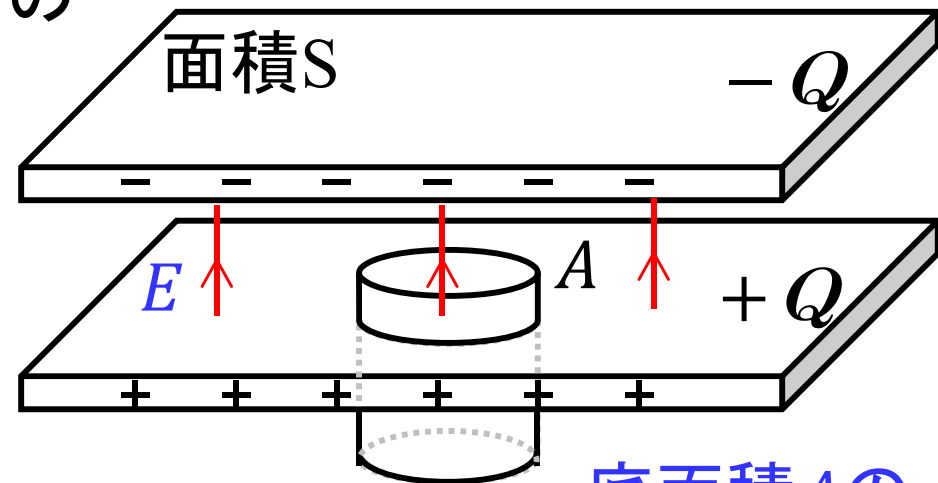
$\Phi_E = E \cdot A + 0 \times A$
円筒内の全電気量

$$Q_{\text{in}} = \frac{Q}{S} \cdot A$$

ガウスの法則に代入

$$E \cdot A = \frac{QA}{\epsilon \cdot S}$$

一様な電場の強さ $E = \frac{Q}{\epsilon S}$



外側は
 $E=0$

底面積 A の
円筒

$$\Phi_E = \frac{Q_{\text{in}}}{\epsilon}$$

◇積分を用いて電場を求める方法

(参考)

ガウスの法則(ファラデーの電気力線の方法)を用いないと、電場を求めることがいかに大変かを知るために、
以下、積分を用いて電場を求める計算を参考として示す。

積分を用いる計算は、授業内容の範囲でないことに注意。飛ばしてかまわない。

◇1枚の平板がつくる電場の強さ

(参考)

面積 L^2 の十分に広い1枚の平板に正電荷 $+Q$ が一様に分布

閉曲面 S として底面積 A の円筒を考える。(上下の底面から外へ出ていくので)

$$\Phi_E = E \cdot A + E \cdot A$$

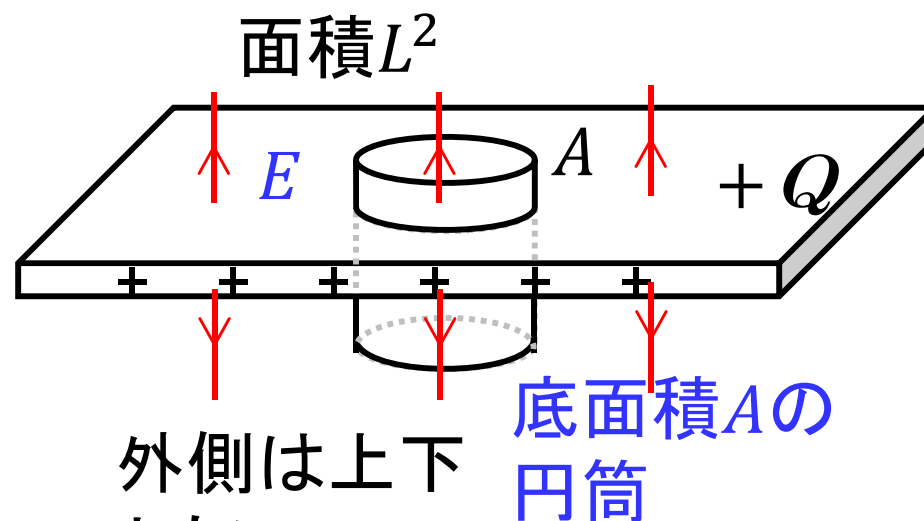
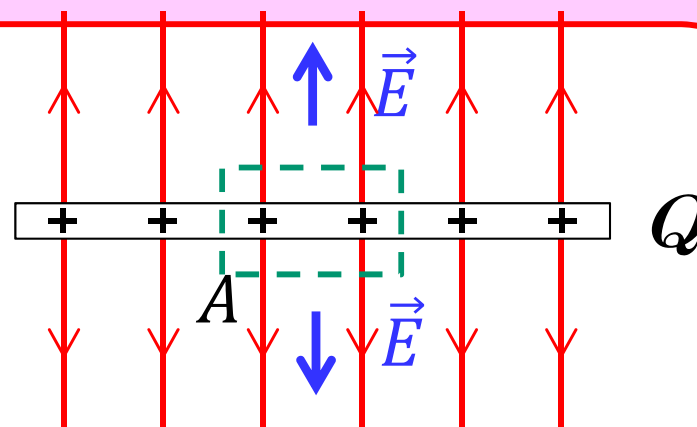
円筒内の全電気量

$$Q_{\text{in}} = \frac{Q}{S} \cdot A$$

ガウスの法則に代入

$$2E \cdot A = \frac{QA}{\epsilon \cdot S}$$

電場の強さ $E = \frac{Q}{2\epsilon S}$



$$\Phi_E = \frac{Q_{\text{in}}}{\epsilon}$$

◇1枚の平板がつくる電場の強さ

(参考)

面積 L^2 の十分に広い1枚の平板
に正電荷 $+Q$ が一様に分布

板の中心の原点 O

図のように x, y, z 軸をとる。

z 軸上の $(0, 0, z)$ に

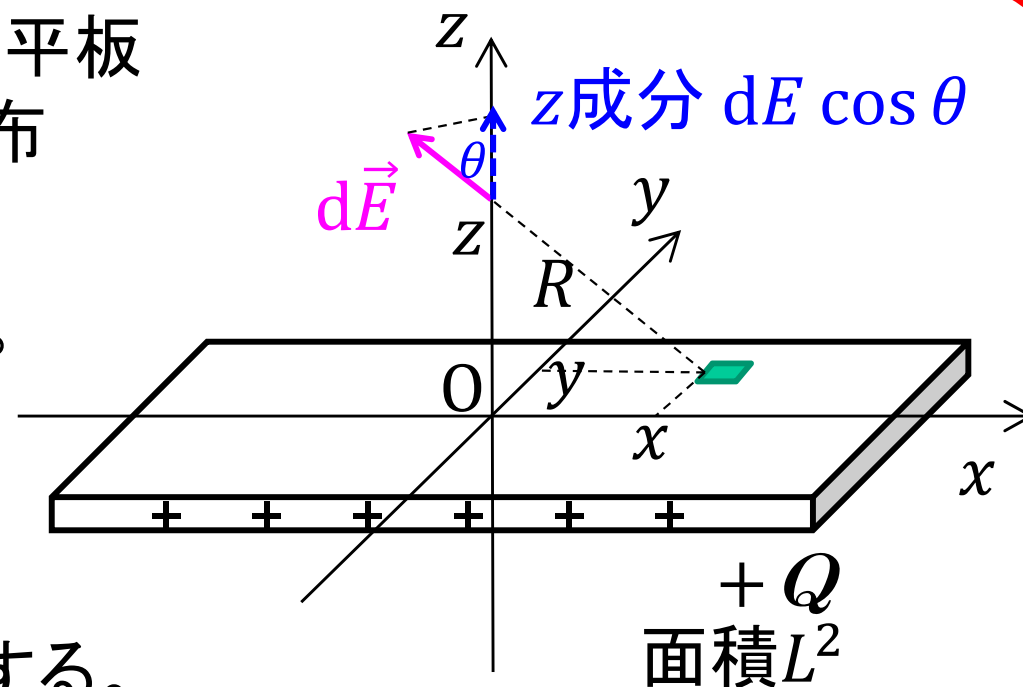
平板上の $(x, y, 0)$ にある

微小面積部分 $dx dy$

がつくる微小電場を $d\vec{E}$ とする。

この微小電場 $d\vec{E}$ を平板上の全ての微小面積部分について
平行四辺形の法則で足し合わせれば(積分すれば), $\vec{E}$ が
求まる。

$d\vec{E}$ の x 成分, y 成分は, $(-x, -y, 0)$ の部分がつくる電場と打ち消し合うので, z 成分だけが残る。 $\vec{E} = (0, 0, E_z)$



◇1枚の平板がつくる電場の強さ

(参考)

面積 L^2 の十分に広い1枚の平板
に正電荷 $+Q$ が一様に分布

$z > 0$ の場合を考える。

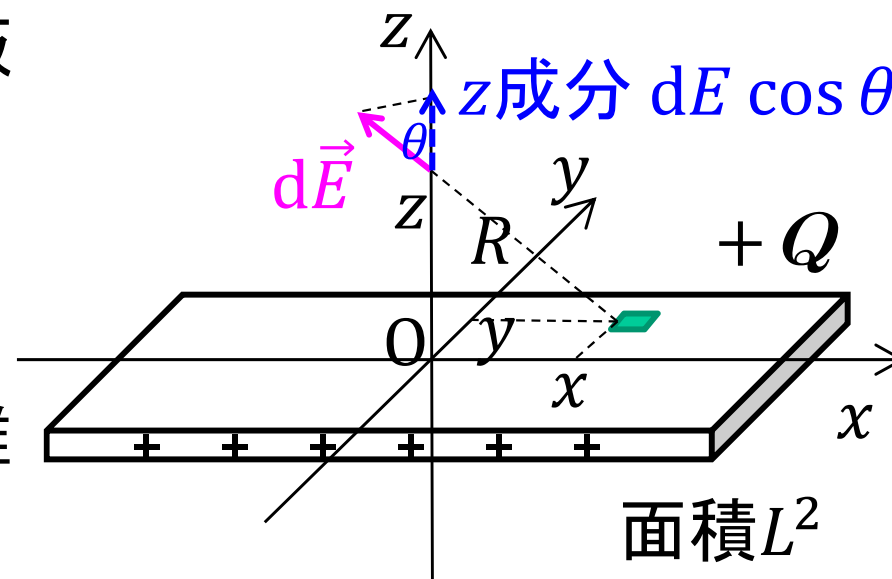
$$\vec{E} = (0, 0, E_z)$$

R は $(0, 0, z)$ と $(x, y, 0)$ の距離

$$R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

$$\cos \theta = \frac{z}{R}$$

$$\begin{aligned} E_z &= \int_{-L/2}^{L/2} \int_{-L/2}^{L/2} k \frac{\frac{Q}{L^2} dx dy}{R^2} \cos \theta = \frac{k Q}{L^2} \int_{-L/2}^{L/2} \int_{-L/2}^{L/2} \frac{dx dy}{R^2} \frac{z}{R} \\ &= \frac{k Q z}{L^2} \int_{-L/2}^{L/2} \int_{-L/2}^{L/2} \frac{1}{(x^2 + y^2 + z^2)^{3/2}} dx dy \end{aligned}$$



◇1枚の平板がつくる電場の強さ

(参考)

面積 L^2 の十分に広い1枚の平板
に正電荷 $+Q$ が一様に分布

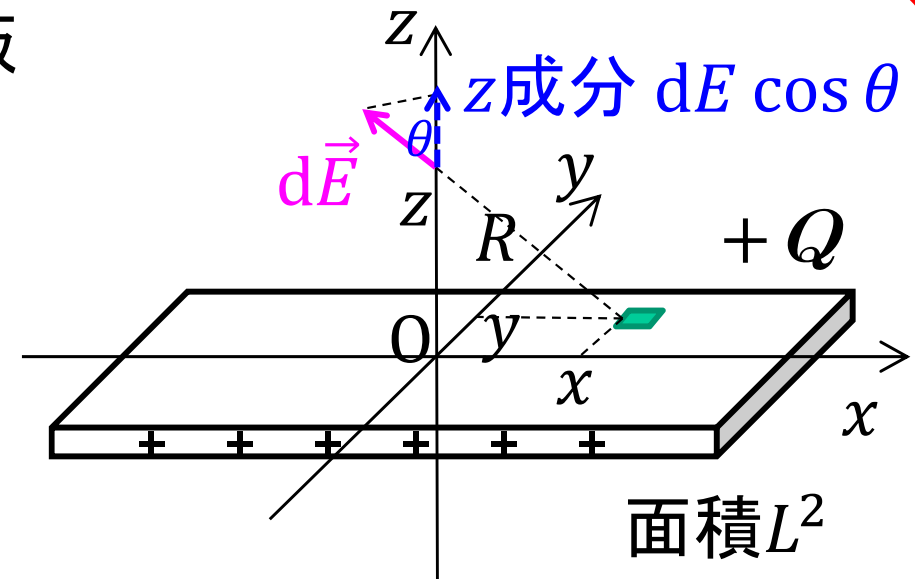
積分を計算すると,
 L が十分に大きいとき,

$$\vec{E} = (0, 0, E_z)$$

$$E_z = \frac{k Q z}{L^2} \int_{-L/2}^{L/2} \int_{-L/2}^{L/2} \frac{1}{(x^2 + y^2 + z^2)^{3/2}} dx dy$$

$$\doteq \frac{2\pi k Q}{L^2} = \frac{4\pi k Q}{2S} = \frac{Q}{2\epsilon S} \quad \left(z < 0 \text{ のときは } E_z = -\frac{Q}{2\epsilon S} \right)$$

ファラデーが電気力線を用いて求めた結果(ガウスの法則の結果)と一致する。



§ 4 電位

電場をエネルギーの視点で考え直す



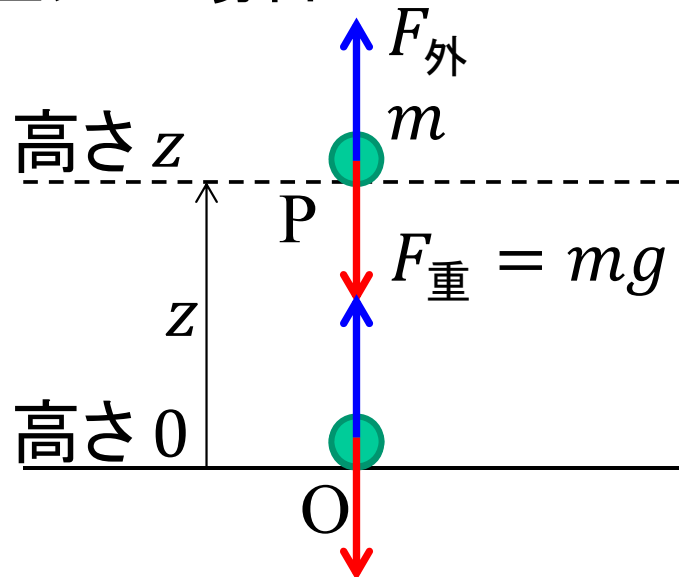
- 静電気力による位置エネルギー
＝ 静電エネルギー
- 電位(電圧)
: 電気力の意味での“高さ”
〔 高い低いに意味があるのは
下向きの重力があるから 〕

◇静電エネルギー

(テキスト p.40)

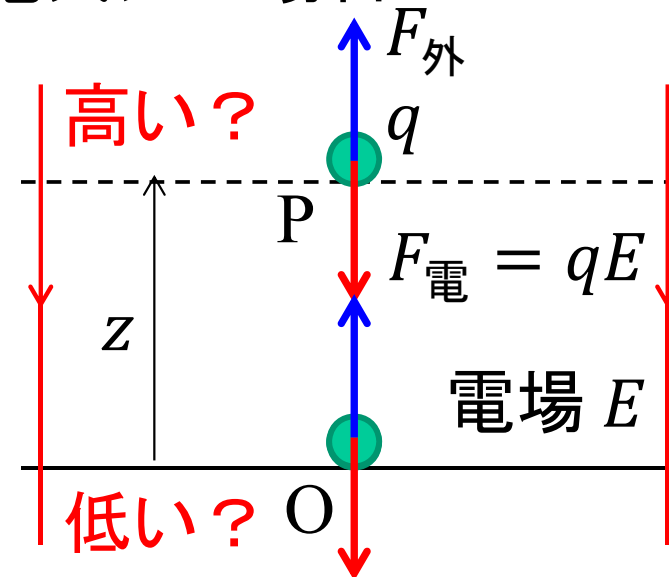
重力との対比で考える。仕事の定義 $W = fs \cos \theta$ [J]
点Oから点Pまで、力をつり合わせてゆっくりと運ぶ。

重力の場合



$$\begin{aligned} W_{\text{重}, O \rightarrow P} &= mgz \cos 180^\circ \\ &= -mgz \text{ [J]} \end{aligned}$$

電気力の場合

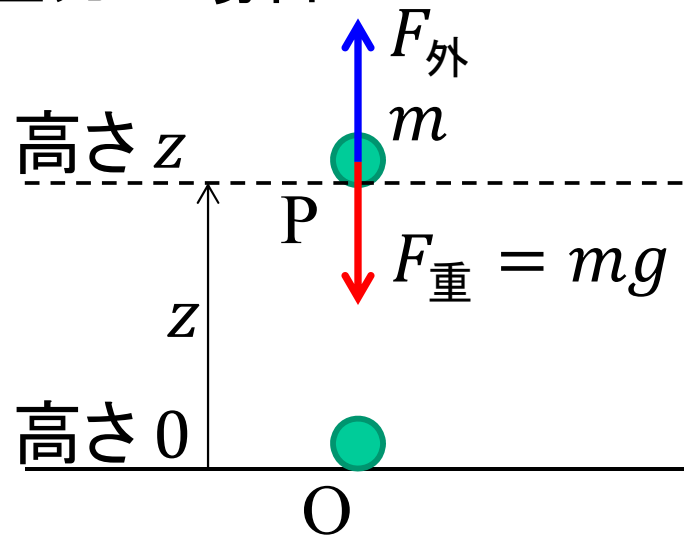


$$\begin{aligned} W_{\text{電}, O \rightarrow P} &= qEz \cos 180^\circ \\ &= -qEz \text{ [J]} \end{aligned}$$

◇静電エネルギー

(テキスト p.40)

重力の場合



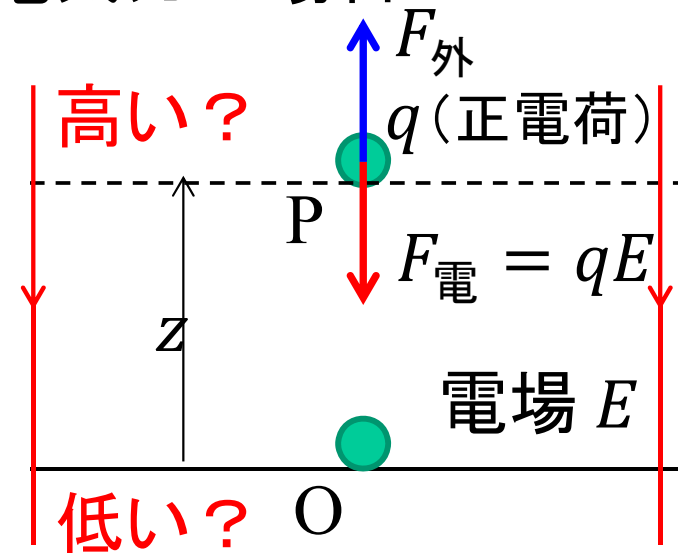
$$W_{\text{外}, O \rightarrow P} = mgz \cos 0^\circ \\ = mgz \text{ (これが蓄えられた)}$$

重力による位置エネルギー

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

z は高さ

電気力の場合



$$W_{\text{外}, O \rightarrow P} = qEz \cos 0^\circ \\ = qEz \text{ (これが蓄えられた)}$$

静電エネルギー

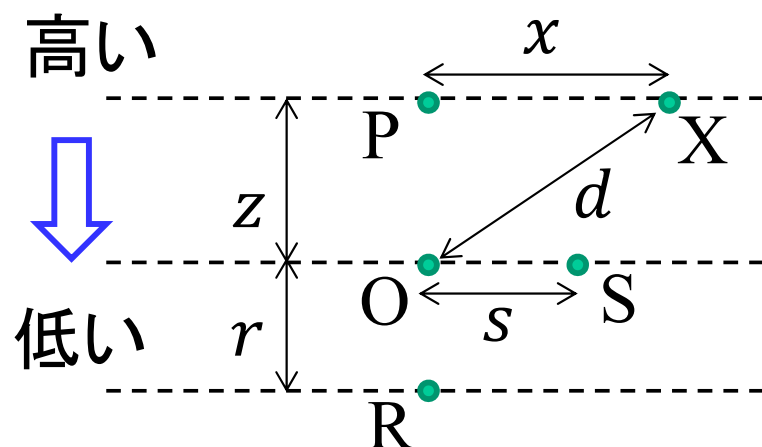
$$U = qEz \text{ [J]}$$

z は電気力線に平行な距離

◇静電エネルギー

(テキスト p.41)

重力の場合

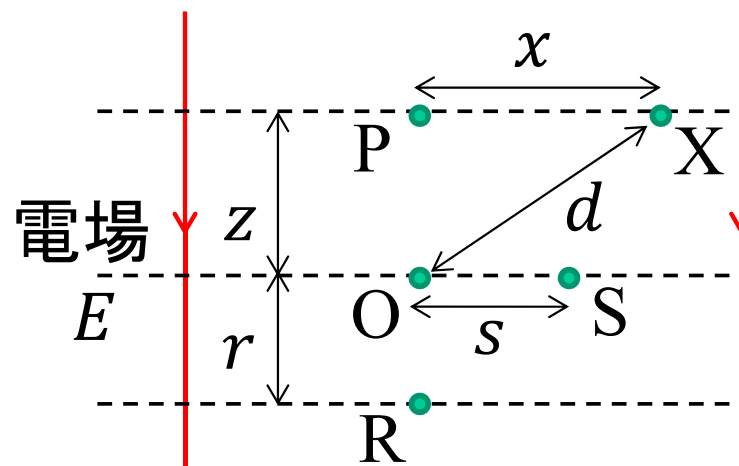


重力による位置エネルギー

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

水平(重力と垂直方向)に
移動しても位置エネルギー
は変化しない

電気力の場合



静電エネルギー

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

電気力線と垂直な方向に
移動しても静電エネルギー
は変化しない

◇静電エネルギー

(テキスト p.41)

静電エネルギーの計算

$E = 15 \text{ N/C}$ の一様な電場に
 $q = +2 \text{ C}$ の点電荷を置く。

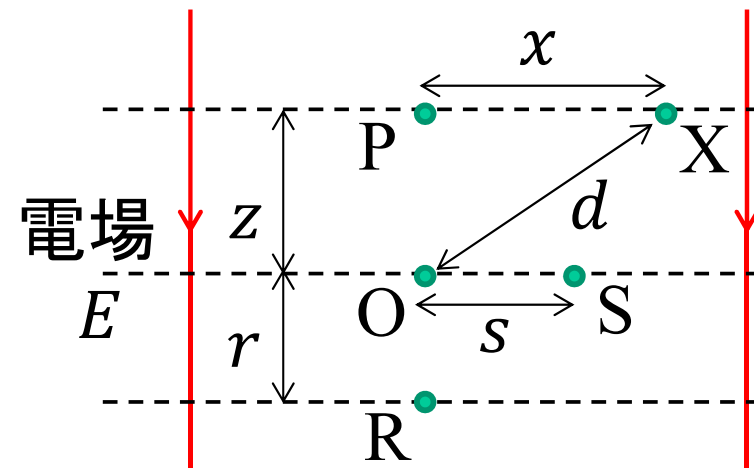
$z = 4 \text{ m}$, $r = 3 \text{ m}$, $s = 3 \text{ m}$
 $d = \sqrt{41} \text{ m}$, $x = 5 \text{ m}$ とする。

各点で点電荷が持つ静電エ
ネルギーを計算せよ。

点Oを静電エネルギーの基
準点とする。

静電エネルギー

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



~~4~~分

◇静電エネルギー

(テキスト p.41)

静電エネルギーの計算

電気力線に逆らって動くとき仕事を与える必要がある。

$$\begin{aligned}U_P &= qEz \\&= 2\text{C} \times 15\text{ N/C} \times 4\text{ m} \\&= 120\text{ J}\end{aligned}$$

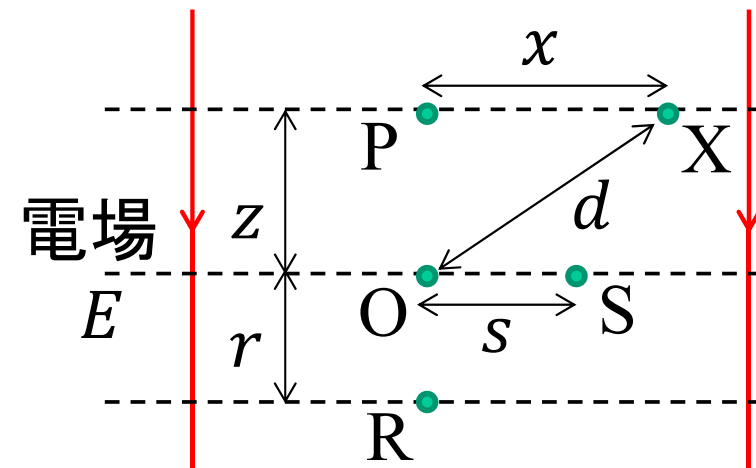
$$\begin{aligned}U_R &= 2\text{C} \times 15\text{ N/C} \times (-3\text{ m}) \\&= -90\text{ J}\end{aligned}$$

$$U_S = 2\text{C} \times 15\text{ N/C} \times 0\text{ m} = 0\text{ J}$$

$$\begin{aligned}U_X &= 2\text{C} \times 15\text{ N/C} \times 4\text{ m} \\&= 120\text{ J}\end{aligned}$$

静電エネルギー

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



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

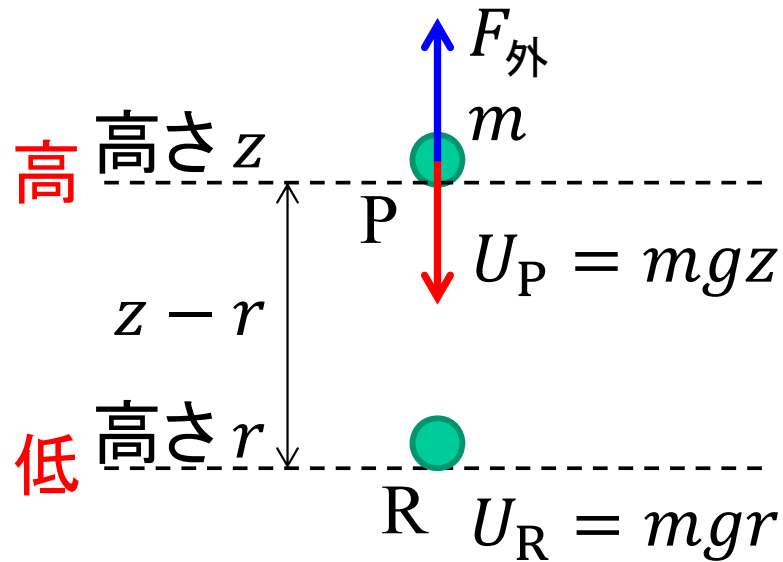
$$z = 4\text{ m}, \quad r = 3\text{ m}, \quad s = 3\text{ m}$$

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

◇静電エネルギー

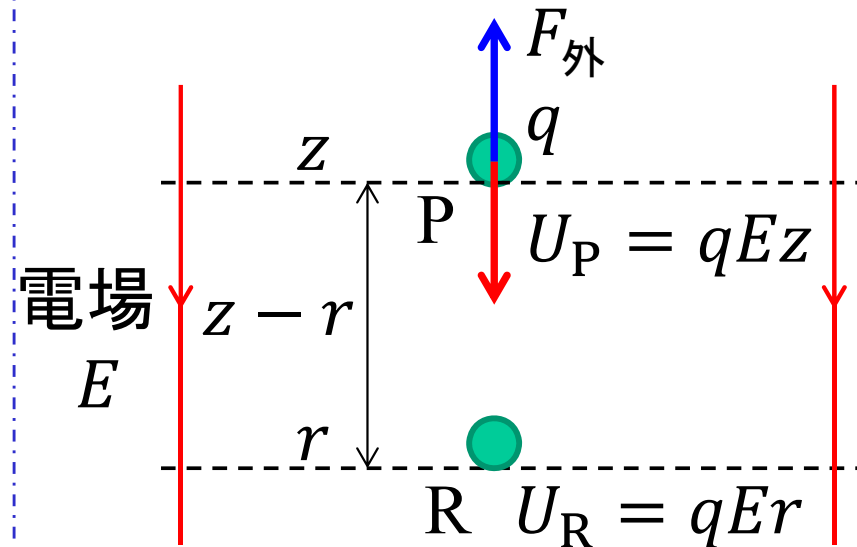
(テキスト p.42)

重力がする仕事



$$W_{\text{重}, P \rightarrow R} = mg(z - r) \\ = U_P - U_R$$

電気力がする仕事



$$W_{\text{電}, P \rightarrow R} = qE(z - r) \\ = U_P - U_R$$

仕事は経路によらない (参考: 保存力@力学2)

重力は位置エネルギーが最も減少する方向を向く

電気力は静電エネルギーが最も減少する方向を向く

◇電位と電位差(電圧)

(テキスト p.42～43)

電場中の位置を決めたとき、
静電エネルギーは、そこに
置く電荷の量 q に比例する。

$$U = q\phi$$

電位 ϕ は、点Oを基準とした
ときの点Pの電氣的な高さ。

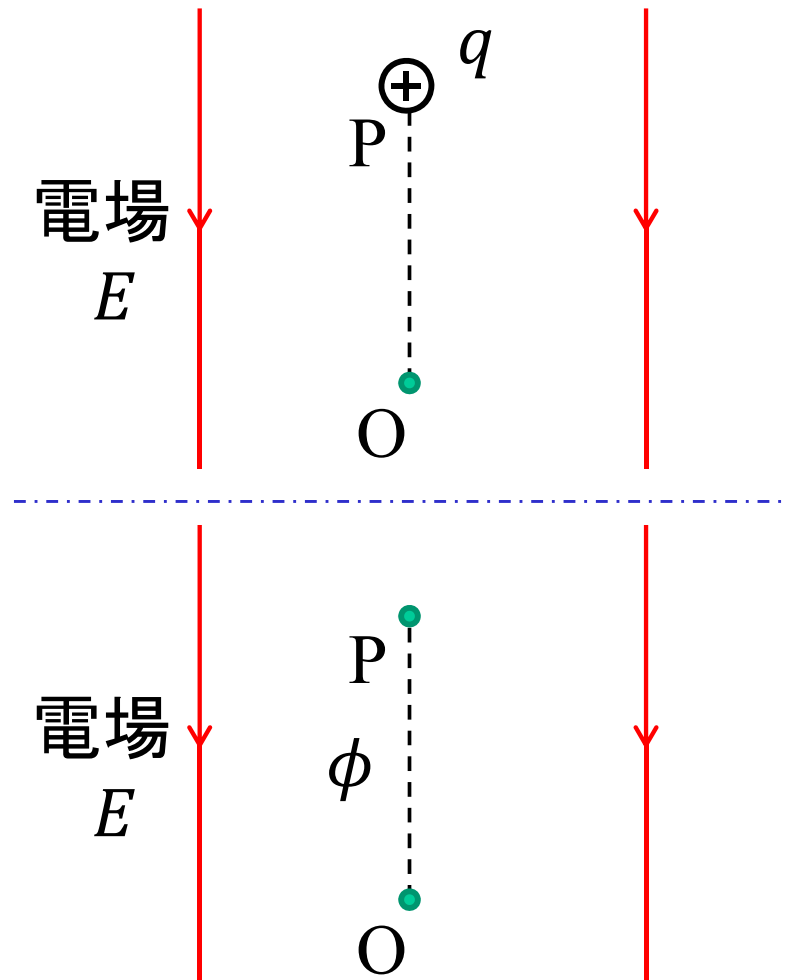
エネルギー U の単位: J

電荷 q の単位: C

より、電位の単位は J/C

電位の単位 V (ボルト)

と名付ける。



◇電位と電位差(電圧)

(テキスト p.43)

電位の計算

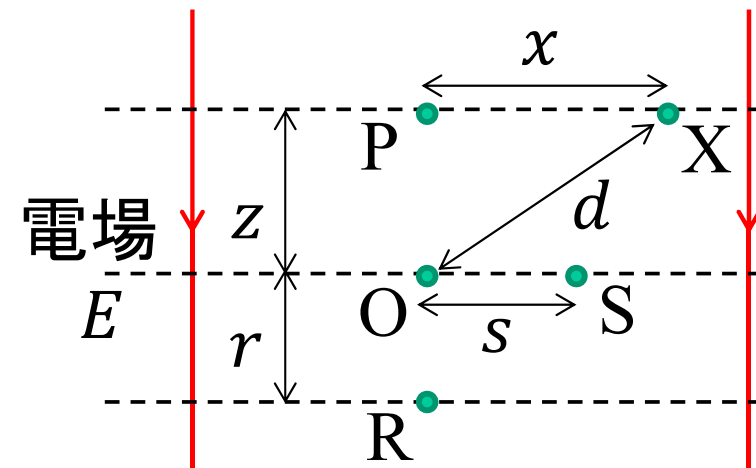
$$U_P = 120 \text{ J}$$

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

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



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

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

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

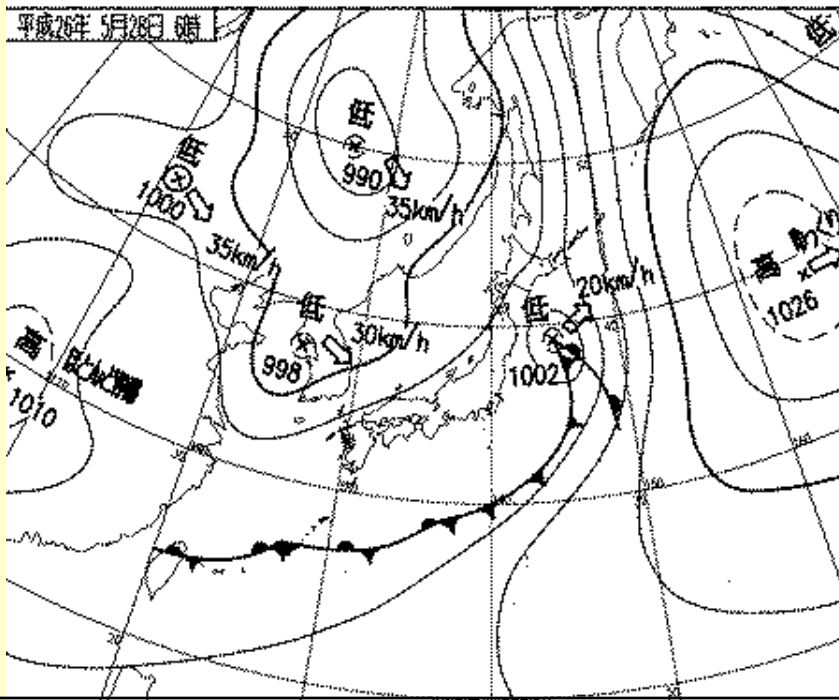
◇等電位面

(テキスト p.44～45)

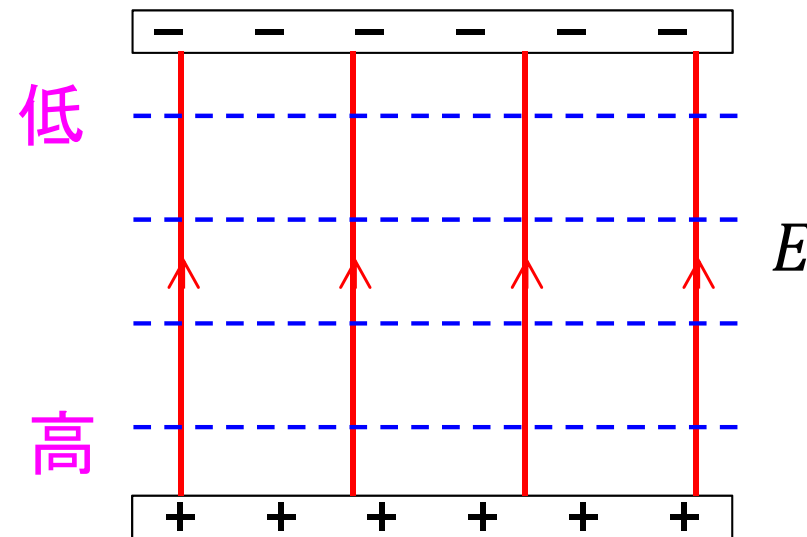
地図の等高線



天気図の等圧線



電気力線と等電位面

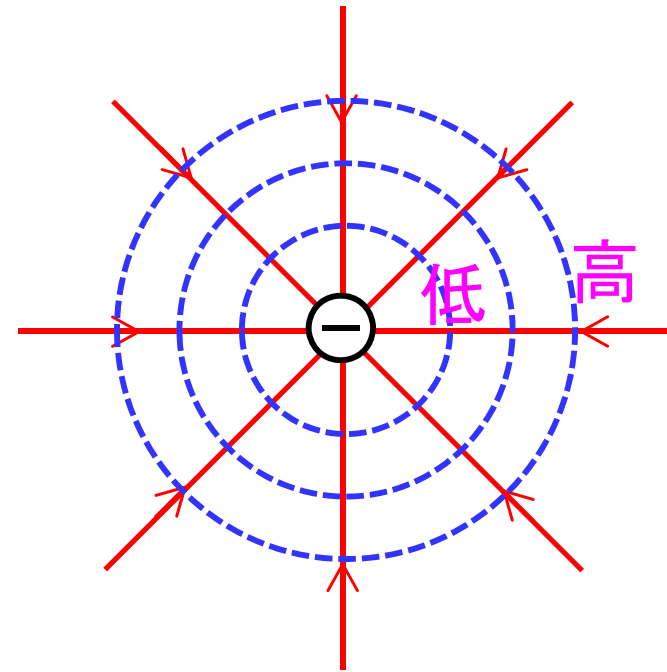
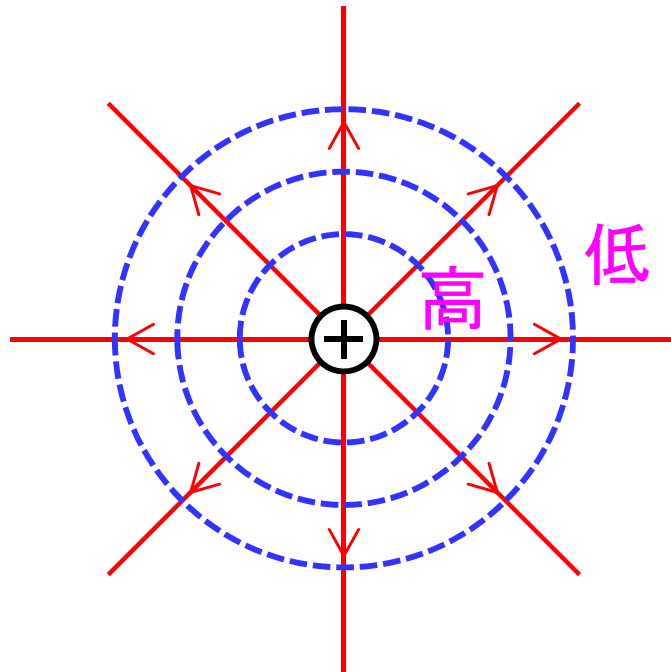


- 電気力線は電位が高い方から低い方へ向かっている
- 等電位面は電気力線と垂直に交わっている

◇等電位面

(テキスト p.44～45)

電気力線と等電位面



- 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

・レポート問題（解答用紙付き）
を必ず持って帰ること

木曜の受講生へ 本日のレポートの×切・・・通常通り

休講:10月31日(木)

補講:11月2日(土)3時限目 @D0311講義室