

電磁気学 諸注意、成績の付け方など

担当者：7号館・3階・P303号室(市田)  
 パーポイントの資料は、前日までにご、学内から取り出せるように  
 します。

成績評価

宿題、小テスト、期末試験、出席率を総合的に判断。  
 10点 30点 60点 +α

10回以上の出席をすることと足りないとは原則的に不可。

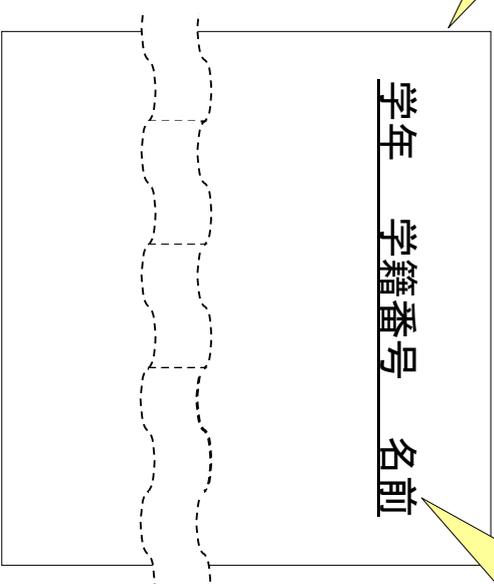
宿題→次回・授業の始めに提出。  
 小テスト→授業の最初に行う。

宿題の様式

A4サイズ

学年 学籍番号 名前

名前などを上  
 に書く



- 第1回 [1. 静電場]
  - 電荷とクーロンの法則、電磁気の単位系
  - スカラー積、ベクトル積とその応用
  - 電場の概念の導入、いろいろな電荷分布による静電場
  - 電気力線の概念の導入とガウスの法則
  - ガウスの法則の応用
  - 電位と等電位面
  - 渦なしの法則と電場・電位
  - 電気双極子による電場
- 第2回
- 第3回
- 第4回
- 第5回
- 第6回
- 第7回
- 第8回
- 第9回 [2. 導体]
  - 静電誘導と電場、導体と電荷
  - 静電誘導と鏡像法
  - キャパシターと電気容量
  - 静電気エネルギーと電場のエネルギー
  - マクスウェルの応力
  - 静電場の法則の微分形式
  - 電磁気学まとめ
- 第10回
- 第11回
- 第12回
- 第13回
- 第14回
- 第15回
- 第16回 試験

C クーロンの法則

1785年、フランスのクーロンは2つの電荷  $q_1$  [C] と  $q_2$  [C] を距離  $r$  [m] だけ離して置いたとき、その間の静電気力の大きさ  $F$  [N] は  $q_1$ ,  $q_2$  に比例し,  $r$  の2乗に反比例することを発見した。これらの電荷がたがいにおよぼし合う力は

$$F = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \quad (1)$$

である。ここで、 $k$  の値は2つの電荷が置かれる空間をしめる物質によって決まる正の比例定数である。真空中での比例定数  $k_0$  は

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

である。空気中での  $k$  の値は真空中とほとんど等しく、近似的に  $k_0$  を用いることが多い。(1)式で表される関係を静電気力に関するクーロンの法則という。(1)式においてはたらく力の向きは2つの電荷を結ぶ直線方向であり、2つの電荷の符号が等しいときに  $F$

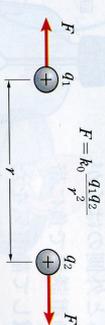
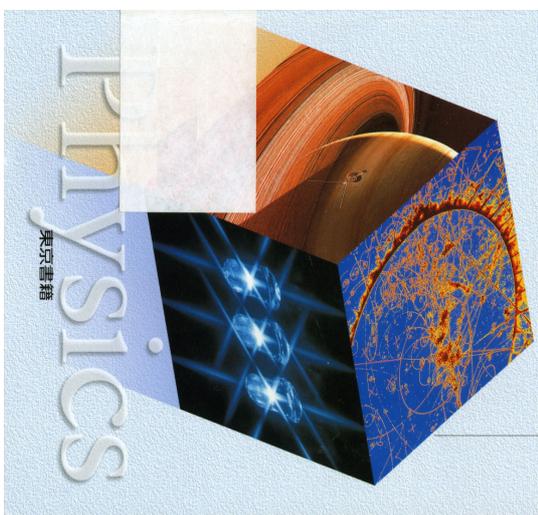


図1 2つの電荷  $q_1$ ,  $q_2$  にはたらく力  
 この図の場合は同符号の電荷、力は距離の2乗に反比例するので2つの電荷が遠ざかるほど弱くなる。

# 物理 II



**必修**  
**2編 電気と磁気** 77

**1章 静電気** 78

**1 電荷と静電気** 78

**2 電界** 82

**3 電位** 88

**4 コンデンサー** 96

● 探究 1 等電位線と電気力線 104

**2章 電流と直流回路** 106

**1 電流** 106

**2 直流回路** 107

**3章 磁界と電流** 116

**1 磁界** 116

**2 電流のつくる磁界** 118

**3 磁界が電流におよぼす力** 121

**4 磁束密度と物質の透磁率** 124

**5 ローレンツ力** 127

**4章 電磁誘導と電磁波** 132

**1 電磁誘導** 132

**2 電磁波** 161

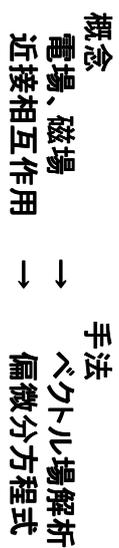
**電磁気学I**

**電磁気学II**

**電磁気学III**

同じ現象をあつかうので、高校の物理と「内容」は同じ！  
→手法、概念が異なる。

高校の物理との違い



マクスウェルの方程式で統一的に理解

電気 (Electricity) ←ギリシャ語のコハク(エレクトロン)

正 (+) の電気、負 (-) の電気

電荷 (electric charge) : **電気現象を担うもの**

電子 (electron) :  $-e$

陽子 (proton) :  $+e$

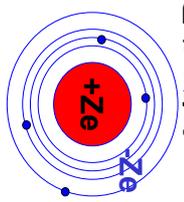
中性子 (neutron) :  $\pm 0$

$e$  : 電気素量 (最小の電荷の量)  $1.60 \times 10^{-19} \text{C}$

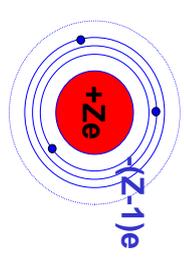
物理現象の裏にそれを担う**もの」が必ずある。**

全ての電荷は  $e$  を単位として「量子化」されているが、巨視的な量に比べると非常に小さいので、たとえば、電流の大きさは「連続的」に見える。

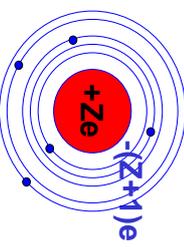
通常の原子



1価の正イオン



1価の負イオン

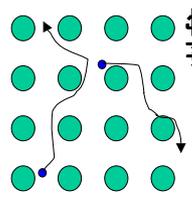


通常の原子: 電子の個数 = 陽子の個数 (電荷の中性条件)

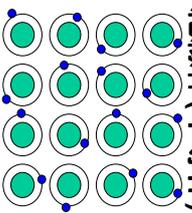
負のイオン: 電子の個数  $\geq$  陽子の個数

正のイオン: 電子の個数  $\leq$  陽子の個数

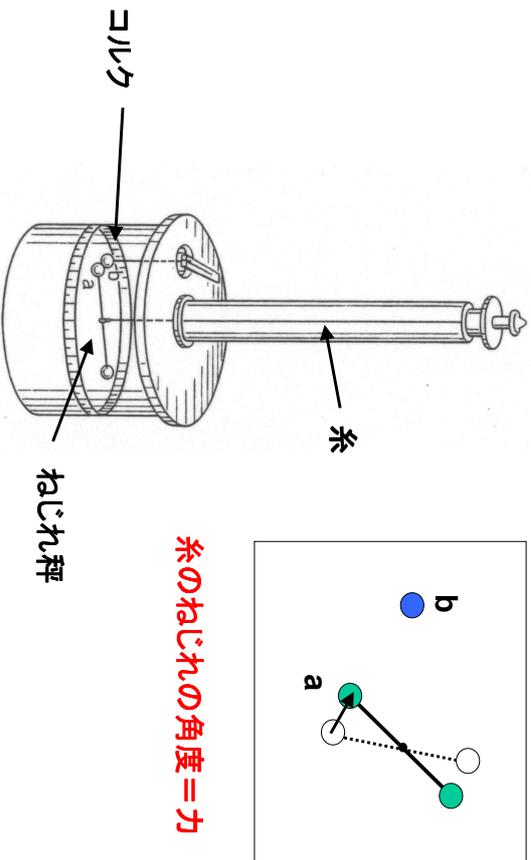
導体



絶縁体 (半導体)



## クーロンの実験



糸のねじれの角度=力

## 単位系

MKS単位系 (m, kg, second を使った単位系)

長さ: L [m]  
 質量: M [kg]  
 時間: T [s]

} これらを組み合わせて単位を作る

力の単位

$$F = m\alpha \quad [N] = [Kg \ m \ s^{-2}]$$

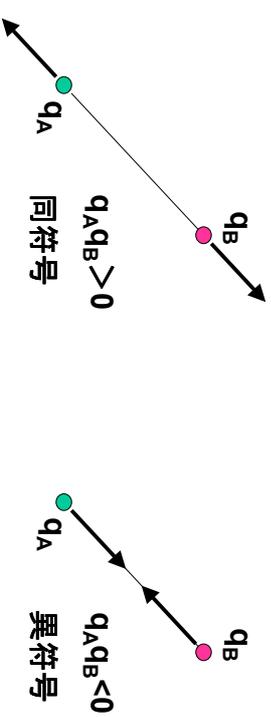
仕事の単位

$$W = Fl \quad [J] = [Kg \ m^2 \ s^{-2}]$$

## クーロンの法則

静止した2つの点電荷の間に働く力は、両者を結ぶ直線の方向を向き、その大きさは各々の電荷の積に比例し、電荷の距離の2乗に反比例する。

$$F_{AB} = k \frac{q_A q_B}{r_{AB}^2}$$



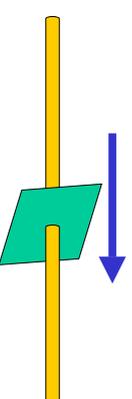
## 電荷の単位

MKSA単位系 (m, kg, second, A を使った単位系)

長さ: L [m]  
 質量: M [kg]  
 時間: T [s]  
 電流: I [A]

} これらを組み合わせて単位を作る

$$Q (C) = I (A) t (s) \quad [C] = [A \cdot s]$$



## MKSA有理単位系

$$F_{AB} = k \frac{q_A q_B}{r_{AB}^2} \quad k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

## 真空の誘電率

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{C}^2 \text{N}^{-1} \text{m}^{-2}$$

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9.00 \times 10^9 \text{Nm}^2 \text{C}^{-2}$$

問1  $r=50\text{m}$ 離れた $2\text{C}$ と $4\text{C}$ の電荷の間に働くクーロン力の大きさは?

問2  $1\text{m}$ 離れた時に $1\text{N}$ のクーロン力が働く2つの電荷の大きさは?

問1 鉄の原子核中の陽子間の距離は $4 \times 10^{-15}\text{m}$ 。陽子間のクーロン力の大きさを求めよ。

## 例題

水素原子のボーア半径は $a_B = 5.3 \times 10^{-11}\text{m}$ 、陽子の質量 $m_p = 1.7 \times 10^{-27}\text{kg}$ 、電子の質量 $m_e = 9.1 \times 10^{-31}\text{kg}$ 、万有引力定数 $G = 6.7 \times 10^{-11}\text{Nm}^2\text{kg}^{-2}$ 。電子と陽子の間のクーロン力と万有引力を比較せよ。

## 最終目標

## マクスウェルの方程式

$$\nabla \cdot \mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \frac{\rho(\mathbf{r}, t)}{\epsilon_0} \quad \mathbf{E}(\mathbf{r}, t) : \text{電場}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B}(\mathbf{r}, t) = 0 \quad \mathbf{B}(\mathbf{r}, t) : \text{磁束密度}$$

$$\nabla \times \mathbf{B}(\mathbf{r}, t) = \mu_0 \mathbf{i}(\mathbf{r}, t) + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}(\mathbf{r}, t)}{\partial t}$$

$$\nabla \times \mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = -\frac{\partial \mathbf{B}(\mathbf{r}, t)}{\partial t} \quad \epsilon_0 : \text{真空の誘電率}$$

$\mu_0$  : 真空の透磁率

## 静電場におけるマクスウェルの方程式

$$\nabla \cdot \mathbf{E}(\mathbf{r}) = \frac{\rho(\mathbf{r})}{\epsilon_0} \quad \mathbf{E}(\mathbf{r}) : \text{電場}$$

$\varphi(\mathbf{r})$  : 静電ポテンシャル

$$\nabla \times \mathbf{E}(\mathbf{r}) = 0 \quad \rho(\mathbf{r}) : \text{電荷密度}$$

$\epsilon_0$  : 誘電率

$$\nabla^2 \varphi(\mathbf{r}) = -\frac{1}{\epsilon_0} \rho(\mathbf{r})$$