高校物理

第 1 章　力学

1-1　速度と加速度

1-1-1　$\boxed{\text{基礎}}$ 運動の表し方

等速直線運動

速さ v で等速直線運動している物体が時間 t で移動する距離 x は

$$x = vt$$

平均の速さ

x–t グラフにおいて，2 点を通る直線の傾きが平均の速さを表す。

$$\bar{v} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

瞬間の速さ

x–t グラフにおいて，接線の傾きが瞬間の速さを表す。

合成速度

物体 A が物体 B から見て速度 v_{BA} で動いており，物体 B が観測者から見て速度 v_{B} で動いているとき，観測者から見た物体 A の速度は

$$v_{\mathrm{A}} = v_{\mathrm{BA}} + v_{\mathrm{B}}$$

相対速度

観測者から見て物体 A が速度 v_{A}，物体 B が速度 v_{B} で動いているとき，物体 B に対する物体 A の相対速度は

$$v_{\mathrm{BA}} = v_{\mathrm{A}} - v_{\mathrm{B}}$$

1-1-2　基礎　直線運動の加速度

平均の加速度

v–t グラフにおいて，2 点を通る直線の傾きが平均の加速度を表す。

$$\bar{a} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

（瞬間の）加速度

v–t グラフにおいて，接線の傾きが瞬間の加速度を表す。

移動距離

v–t グラフにおいて，t 軸とグラフに囲まれた部分の面積が移動距離を表す。

等加速度直線運動

原点を初期位置とし，初速度 v_0，加速度 a で等加速度直線運動している物体について，時刻 t における速度 v と変位 x は

$$v = v_0 + at$$
$$x = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$$

2 つ目の式の両辺を $2a$ 倍し，$at = v - v_0$ を代入して整理すると，

$$v^2 - v_0^2 = 2ax$$

1-1-3　曲線運動の速度と加速度

ベクトルは文字の上に矢印をつけて表すが，太字でベクトル量を表すこともある。この本では表記を簡潔にするため，ベクトルを太字で表す。たとえば $\boldsymbol{r} = \vec{r}$，$\boldsymbol{v} = \vec{v}$，$\boldsymbol{a} = \vec{a}$ である。

平均の速度

$$\bar{\boldsymbol{v}} = \frac{\boldsymbol{r}_2 - \boldsymbol{r}_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t}$$

瞬間の速度

$$\boldsymbol{v} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t} = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{r}$$

合成速度と相対速度

$$\boldsymbol{v}_{\mathrm{A}} = \boldsymbol{v}_{\mathrm{BA}} + \boldsymbol{v}_{\mathrm{B}}$$

$$\boldsymbol{v}_{\mathrm{BA}} = \boldsymbol{v}_{\mathrm{A}} - \boldsymbol{v}_{\mathrm{B}}$$

平均の加速度

$$\bar{\boldsymbol{a}} = \frac{\boldsymbol{v}_2 - \boldsymbol{v}_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t}$$

（瞬間の）加速度

$$\boldsymbol{a} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t} = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{v} = \frac{\mathrm{d}^2}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{r}$$

変位

$$\boldsymbol{r} = \int_{t_1}^{t_2} \boldsymbol{v}\,\mathrm{d}t$$

$\boxed{\text{ポイント}}$ 速度と加速度の向きがもつ意味

　速度の向きは物体の運動の方向を表し，どちらへ向かって運動しているかを表す。加速度の向きは物体にはたらく合力の方向を表し，運動の様子の**変化**を表す。

1-2　落下と投射

1-2-1　基礎 物体の落下運動

落下運動を扱うときは，どちら向きを正として考えているのか，特に注意する。

重力加速度

重力加速度の向きは下向きであり，大きさは

$$g \fallingdotseq 9.8\,\mathrm{m/s^2}$$

自由落下運動

鉛直下向きを正とする。原点を初期位置とし，加速度 g で自由落下している物体について，時刻 t における速度 v と変位 y は

$$v = gt$$
$$y = \frac{1}{2}gt^2$$

鉛直投射

鉛直下向きを正とする。原点を初期位置とし，初速度 v_0，加速度 g で運動している物体について，時刻 t における速度 v と変位 y は

$$v = v_0 + gt$$
$$y = v_0 t + \frac{1}{2}gt^2$$

2つ目の式の両辺を $2g$ 倍し，$gt = v - v_0$ を代入して整理すると，

$$v^2 - v_0^2 = 2gy$$

水平投射

水平方向と鉛直方向に分解して考えると，水平方向の運動は等速直線運動，鉛直方向の運動は自由落下運動とみなせる。

1-2-2　放物運動

斜方投射

水平方向と鉛直方向に分解して考えると，水平方向の運動は等速直線運動，鉛直方向の運動は鉛直投射の運動とみなせる。

放物運動

初速度 v_0，水平方向からの角度 θ で原点から投射した物体の運動について，鉛直上向きを y 軸の正の向きとすると

$$\text{水平方向}\begin{cases} v_x = v_0 \cos\theta \\ x = v_0 \cos\theta \cdot t \end{cases} \qquad \text{鉛直方向}\begin{cases} v_y = v_0 \sin\theta - gt \\ y = v_0 \sin\theta \cdot t - \dfrac{1}{2}gt^2 \end{cases}$$

斜面と放物運動

斜面が絡む放物運動（斜面上での放物運動，斜面への斜方投射）は，斜面を下る方向とそれに垂直な方向とに分解して考える。

1-3　様々な力と運動

1-3-1　基礎 様々な力

力の基本的性質

物体が受ける力は，必ず他の物体によって生じている。

力の三要素

大きさ，向き，作用点の 3 つが，力を考えるうえで重要である。

圧力

圧力とは，単位面積あたりにはたらく力の大きさである。

$$P = \frac{F}{S}$$

様々な力

- **垂直抗力**　2 物体の接触面において面と垂直な方向にはたらく力 $\boldsymbol{N}$
- **摩擦力**　2 物体の接触面において面と平行な方向にはたらく力 $\boldsymbol{f}$
- **弾性力**　変形した弾性体が元の形に戻ろうとして生じる力
- **張力**　ひも状の物体がぴんと張ることで生じる力 $\boldsymbol{T}$
- **浮力**　流体（液体や気体）内の圧力差で生じる鉛直上向きの力
- **重力**　天体と物体がもつ質量によって物体に生じる引力 $\boldsymbol{W}$
- **静電気力**　物体のもつ電気によって生じる力
- **磁力**　物体のもつ磁気によって生じる力

垂直抗力，摩擦力，張力，浮力など，接触している物体間にはたらく力を **接触力** といい，重力や静電気力など，離れている物体間でもはたらくような力を **遠隔力** という。

摩擦力

- **静止摩擦力**

  静止している物体にはたらいている摩擦力。他の力の，接触面と平行な成分とつり合うような力が生じている。

- **最大静止摩擦力（最大摩擦力）**

  物体が動き出す直前にはたらいている静止摩擦力。最大静止摩擦力 f_0 は垂直抗力 N に比例し，静止摩擦係数を μ とするとき

$$f_0 = \mu N$$

- **動摩擦力**

  動いている物体にはたらいている摩擦力。動摩擦力 f は垂直抗力 N に比例し，動摩擦係数を μ' とするとき

$$f = \mu' N$$

フックの法則（弾性力）

変形量が $\boldsymbol{x}$ であるとき，弾性力 $\boldsymbol{F}$ は物体による定数 k を用いて

$$\boldsymbol{F} = -k\boldsymbol{x}$$

と表される。ばねを扱うとき，この定数 k を **ばね定数** という。

水圧

水面にはたらく大気圧を p_0，水の密度を ρ とするとき，水深 h の点にはたらく水圧 p は重力加速度の大きさ g を用いて

$$p = p_0 + \rho h g$$

と表される。水深 h の面にのしかかる力を考えると導きやすい。

浮力

密度 ρ の流体中で，物体が体積 V だけの流体を押しのけたとき，浮力 $\boldsymbol{F}$ は重力加速度 $\boldsymbol{g}$ を用いて

$$\boldsymbol{F} = -\rho V \boldsymbol{g}$$

と表され，これは押しのけた流体にはたらく重力の大きさと等しい。

1-3-2 基礎 力のつり合い

力の合成

たとえば $\boldsymbol{F}_1$，$\boldsymbol{F}_2$，$\boldsymbol{F}_3$ の 3 つの力の合力 $\boldsymbol{F}$ は

$$\boldsymbol{F} = \boldsymbol{F}_1 + \boldsymbol{F}_2 + \boldsymbol{F}_3$$

力の分解

分解する向きは無数に考えられるが，運動方向に対して平行な方向と垂直な方向とに分解すると扱いやすいことが多い。

力のつり合い

物体にはたらく力の合力が $\mathbf{0}$ のとき，これらの力はつり合っている。

1-3-3 基礎 運動の法則

ニュートンの運動三法則

- **第１法則（慣性の法則）**

  物体にはたらくすべての力がつり合っているとき，静止している物体は静止し続け，動いている物体は等速直線運動を続ける。

- **第２法則（ニュートンの運動方程式）**

  質量 m の物体にはたらく力の合力が $\boldsymbol{F}$ であるとき，この物体に生じる加速度 $\boldsymbol{a}$ は

$$\boldsymbol{a} = \frac{\boldsymbol{F}}{m}$$

- **第３法則（作用・反作用の法則）**

  物体 A が物体 B から作用を受けているとき，必ず物体 B は物体 A から反作用を受けている。作用・反作用は同一作用線上にあり，逆向きで大きさが等しい。

ポイント 運動方程式を立てるために図（力の矢印）をかくときのコツ

図は物体を 1 つずつ別々に取り出して，それにはたらくすべての力をかき込む。物体ごとに図を分けてかくことで，正しい運動方程式を立てやすくなる。

重力

質量 m の物体にはたらく重力 $\boldsymbol{W}$ は，重力加速度 $\boldsymbol{g}$ を用いて

$$\boldsymbol{W} = m\boldsymbol{g}$$

1-3-4　剛体のつり合い

作用線の法則

剛体にはたらく力を作用線上で移動してもはたらきは変わらない。

力のモーメント

点 O から作用線までの距離が ℓ である大きさ F の力が剛体にはたらくとき，点 O のまわりに生じる力のモーメントの大きさ M は

$$M = F\ell$$

と表される。ℓ が作用点までの距離ではなく，作用線までの距離であることに注意する。

並進運動と回転運動

並進運動は，剛体が向きは変えずに位置だけを変える運動であり，回転運動は，剛体がある軸のまわりで回転して向きを変える運動である。一般の運動は並進運動と回転運動とが組み合わさっている。

剛体のつり合い

剛体が静止しているとき，合力 $\boldsymbol{F}$ と力のモーメント $\boldsymbol{M}$ がともに $\mathbf{0}$ となっている。

$$\begin{cases} \boldsymbol{F} = \mathbf{0} & \text{（並進運動に関わる）} \\ \boldsymbol{M} = \mathbf{0} & \text{（回転運動に関わる）} \end{cases}$$

1-3-5　円運動

角速度

半径 r の円周上を一定の速さ v で運動する物体について，時間 Δt の間に角度 $\Delta\theta$ だけ動くとすると，角速度 ω は

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{v}{r}$$

周期

半径 r の円周上を一定の速さ v で運動する物体の角速度を ω とするとき，この物体の円運動の周期 T は

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi}{\omega}$$

等速円運動

$$\begin{cases} v = r\omega \\ a = \dfrac{v^2}{r} = r\omega^2 \end{cases}$$

向心力

等速円運動を行う物体には，常に円の中心方向に向かう力（**向心力**）が加わっている。この向心力によって物体に加速度が生じ，等速円運動を続けることができる。

$$\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a} = -m\boldsymbol{r}\omega^2$$

慣性力（見かけの力）

観測者の運動のせいで，運動の法則が成り立っていないように見えることがある。このようなとき，実際にははたらいていない「見かけの力」を考えると辻褄が合うようになることがある。辻褄合わせのこのような見かけの力を **慣性力** という。

遠心力

円運動している物体から見ると，向心力と反対向きに慣性力がはたらいているように見える。円の外側に向かうこの見かけの力を遠心力といい，その大きさは向心力の大きさと等しい。遠心力は慣性力であり，**実際にははたらいていない見かけの力**であることに注意が必要である。

等速でない円運動

速さが $v(t)$ となる時刻 t における加速度 $a(t)$ は，円の中心方向の成分 $a_{\mathrm{c}}(t)$ と運動方向（円の接線方向）の成分 $a_{\mathrm{t}}(t)$ に分解すると

$$\begin{cases} a_{\mathrm{c}}(t) = \dfrac{\{v(t)\}^2}{r} & \text{（向きだけを変える）} \\ a_{\mathrm{t}}(t) = \dfrac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}v(t) & \text{（速さ(大きさ)だけを変える）} \end{cases}$$

$\boxed{\text{ポイント}}$ **複雑な運動を扱うコツ**

加速度の向きが変化するような複雑な運動は，一旦，運動方向とそれに垂直な方向とに分解してみる。

1-3-6　単振動

単振動

時刻 t における変位 x が，定数 A，ω，θ_0 を用いて

$$x = A\sin(\omega t + \theta_0)$$

と表される運動を単振動という。この運動について，

$$\begin{cases} v = A\omega\cos(\omega t + \theta_0) \\ a = -A\omega^2\sin(\omega t + \theta_0) = -\omega^2 x \end{cases}$$

となる。定数 A，ω，θ_0 をそれぞれ振幅，角振動数，初期位相という。

角振動数と周期

角振動数 ω で単振動する物体の運動について，周期 T は

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

復元力

単振動する物体には振動の中心方向に向かう力がはたらいており，この力を復元力という。復元力 $\boldsymbol{F}$ は

$$\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a} = -m\omega^2\boldsymbol{x}$$

弾性力 $\boldsymbol{F} = -k\boldsymbol{x}$ による単振動

$$\begin{cases} \omega = \sqrt{\dfrac{k}{m}} \\ T = \dfrac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}} \end{cases}$$

振れ角 θ_0 が十分に小さい単振り子 $(|\theta| \leqq \theta_0 \ll 1)$

長さ ℓ の糸につるされた質量 m のおもりを鉛直面内で振るような単振り子について，振れ角 θ_0 が十分に小さいとき，おもりの運動は単振動とみなせる。鉛直下向きとのなす角を θ，半径 ℓ の円弧に沿った変位を x とするとき，復元力は

$$F = -mg\sin\theta = -mg\sin\frac{x}{\ell} \fallingdotseq -mg\frac{x}{\ell} = -m\frac{g}{\ell}x$$

となる。したがって，角振動数 ω と周期 T はそれぞれ

$$\begin{cases} \omega = \sqrt{\dfrac{g}{\ell}} \\ T = \dfrac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\dfrac{\ell}{g}} \end{cases}$$

1-4　力学的エネルギーと運動量

1-4-1　基礎 運動エネルギーと位置エネルギー

仕事

一定の力 F を加えているとき，この力のした仕事 W は，力の向きへの移動距離 s を用いて

$$W = Fs\left(= \int_{\mathrm{A}}^{\mathrm{B}} \boldsymbol{F} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{s}\right)$$

運動エネルギー K

速さ v で運動する質量 m の物体がもつ運動エネルギー K は

$$K = \frac{1}{2}mv^2\left(= \int_{t_0}^{t_v} m\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t} \cdot \boldsymbol{v}\,\mathrm{d}t\right)$$

位置エネルギー U

・重力による位置エネルギー

基準面からの高さを h とすると, 重力による位置エネルギー U は

$$U = mgh\left(= -\int_{h_0}^{h_0+h} (-mg)\,\mathrm{d}y\right)$$

・**弾性力による位置エネルギー**

自然長からの変形量を x とすると，弾性力による位置エネルギー U は

$$U = \frac{1}{2}kx^2 \left(= -\int_0^x (-kx)\,\mathrm{d}x \right)$$

1-4-2　$\boxed{\text{基礎}}$ 力学的エネルギーの保存

保存力と非保存力

した仕事が移動経路によらず，始点と終点の位置だけによって決まるような力を **保存力** といい，保存力でない力を **非保存力** という。

力学的エネルギー保存則

運動エネルギー K と位置エネルギー U を足し合わせたものを力学的エネルギーといい，その大きさ E は**非保存力がはたらいていなければ**一定である。

$$E = K + U = \left(\text{一定}\right)$$

力学的エネルギーと仕事

力学的エネルギーの変化は，非保存力のした仕事に等しい。

$$\Delta E = W_{\text{非保存力}}$$

1-4-3　運動量と力積

運動量

速度 $\boldsymbol{v}$ で運動する質量 m の物体の運動量 $\boldsymbol{p}$ は

$$\boldsymbol{p} = m\boldsymbol{v}$$

力積

力 $\boldsymbol{F}$ が時間 t の間に物体に与える力積 $\boldsymbol{I}$ は

$$\boldsymbol{I} = \boldsymbol{F}t\left(= \int \boldsymbol{F}\,\mathrm{d}t\right)$$

運動量と力積

運動量の変化は，物体が受けた力積に等しい。

$$\Delta\boldsymbol{p} = \boldsymbol{I}$$

1-4-4　運動量の保存

運動量保存則

いくつかの物体が，内力を及ぼし合うだけで外力を受けていないとき，これらの物体の運動量の総和は一定である。

$$\boldsymbol{p}_{\text{総和}} = m_1\boldsymbol{v}_1 + m_2\boldsymbol{v}_2 + \cdots = m_1\boldsymbol{v}_1' + m_2\boldsymbol{v}_2' + \cdots = (\text{一定})$$

外力がつり合っているときの運動量

水平面内での運動のように，外力がつり合っているときにも運動量保存則が成り立つ。

1-4-5　衝突と力学的エネルギー

反発係数（はね返り係数）

2 物体の衝突前の速さを v_1，v_2，衝突後の速さを v_1'，v_2' とすると，この 2 物体の反発係数 e は

$$e = -\frac{v_2' - v_1'}{v_2 - v_1} = -\frac{v_{12}'}{v_{12}}$$

である。これは 2 物体の離れる速さと近づく速さの比であり，

$$0 \leqq e \leqq 1$$

弾性衝突と非弾性衝突

- **（完全）弾性衝突**

　反発係数が $e = 1$ の衝突。力学的エネルギーが保存する。

- **非弾性衝突**

　反発係数が $0 \leqq e < 1$ の衝突。力学的エネルギーが保存しない。

- **完全非弾性衝突**

　非弾性衝突のうち，特に反発係数が $e = 0$ の衝突。

1-5　万有引力

1-5-1　惑星の運動

ケプラーの法則

・第１法則（楕円軌道の法則）

惑星は、太陽を焦点の 1 つとする楕円軌道上を動く。

・第２法則（面積速度一定の法則）

惑星と太陽とを結ぶ線分が単位時間に通過する面積（面積速度）は一定である。（発展 この法則は，**角運動量保存則** に関係する。）

$$\frac{1}{2}rv_{\perp} = (\text{一定})$$

・第３法則（調和の法則）

惑星の公転周期 T の 2 乗と，軌道楕円の長半径 a の 3 乗の比は，すべての惑星で一定である。

$$\frac{T^2}{a^3} = (\text{一定})$$

1-5-2　万有引力

万有引力の法則

中心間が距離 r だけ離れた 2 物体の質量を m_1，m_2 とするとき，この 2 物体間にはたらく万有引力の大きさは

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

万有引力定数

$$G \fallingdotseq 6.674 \times 10^{-11}\,\mathrm{N{\cdot}m^2/kg^2}$$

重力と万有引力

地球の半径を R，地球の質量を M とすると，地表面にある質量 m の物体にはたらく重力は

$$mg = G\frac{Mm}{R^2}$$

であるから，地表面における重力加速度の大きさ g は

$$g = \frac{GM}{R^2}$$

万有引力による位置エネルギー

地球（質量 M）の中心から距離 r だけ離して置かれた質量 m の物体がもつ位置エネルギー U は，無限遠を基準として

$$U = -G\frac{Mm}{r}\left(= -\int_{\infty}^{r} G\frac{Mm}{r^2}\,\mathrm{d}r\right)$$

第 2 章　波動

2-1　波

2-1-1　基礎 波の性質

2-1-2　波の伝わり方

2-1-3　波の干渉と回折

2-2　音

2-2-1　$\boxed{\text{基礎}}$ 音と振動

2-2-2　音の干渉と回折

2-2-3　ドップラー効果

2-3　光

2-3-1　光の伝わり方

2-3-2　光の回折と干渉

第 3 章　熱

3-1　熱

3-1-1　基礎 熱と温度

3-1-2　基礎 熱の利用

3-2　気体

3-2-1　気体分子の運動と圧力

3-2-2　気体の内部エネルギー

3-2-3　気体の状態変化

第 4 章　電磁気学

4-1　電気

4-1-1　基礎 物質と電気抵抗

静電気と帯電

異なる物質を擦り合わせると内部の電子が移動して，一方の物質が正，他方の物質が負に帯電する。

電気素量

$$e \fallingdotseq 1.602 \times 10^{-19}\,\mathrm{C}$$

電子の移動と電流

t[s] の間に導線の断面を q[C] の電荷が通過したとき，この断面を流れる電流の大きさ I[A] は

$$I = \frac{q}{t}$$

オームの法則

$R[\Omega]$ の抵抗に $V[\mathrm{V}]$ の電圧を加えたとき，この抵抗に流れる電流の大きさ $I[\mathrm{A}]$ は

$$I = \frac{V}{R}$$

抵抗率

抵抗 R は，導体の長さ ℓ に比例し，断面積 S に反比例する。このとき，比例定数 ρ を抵抗率といい，物質に固有の値である。

$$R = \rho\frac{\ell}{S}$$

導体，半導体，不導体

- **導体**

  電気を通しやすいもの（目安：$\sim 10^{-6}\,\Omega{\cdot}\mathrm{m}$）

  温度を上げると，熱運動が激しくなることで抵抗率が高くなる。

- **半導体**

  導体と不導体の間くらいのもの（目安：$10^{-6}\,\Omega{\cdot}\mathrm{m}\sim 10^{6}\,\Omega{\cdot}\mathrm{m}$）

  温度を上げると，自由に動ける電子が増えて抵抗率が低くなる。

- **不導体（絶縁体）**

  電気を通しにくいもの（目安：$10^{6}\,\Omega{\cdot}\mathrm{m}\sim$）

直流回路

電流，電圧の等しい所に注目して式を作る。

電力

電圧 V[V] を加えて I[A] の電流が流れたとき，電力 P[W] は

$$P = VI$$

電力量とジュール熱

t[s] 間で電流がする仕事 W[J] を電力量といい，これは電流を流したことによる抵抗からの発熱量 Q[J] に等しい。

$$W = Pt = VIt$$

4-1-2 基礎 電気の利用

交流電流の発生

発電機は電磁誘導を利用している。

変圧器

変圧器は電流がつくる磁場と電磁誘導を利用している。

送電

送電とは，**電気エネルギーの輸送**である。送電線における熱の発生による電力の損失を防ぐためには，電流を小さくするために高い電圧で送電すればよい。

4-1-3　電荷と電界

クーロンの法則

距離 r だけ離して置かれた 2 つの電荷 Q_1，Q_2 間に生じる力の大きさ F は，媒質によって異なるクーロン定数 k を用いて

$$F = k\frac{Q_1 Q_2}{r_2}$$

真空中のクーロン定数

$$k_0 \fallingdotseq 8.988 \times 10^9\,\mathrm{N{\cdot}m^2/C^2}$$

電場

電場 $\boldsymbol{E}$ の空間中に置かれた電荷 q にはたらく力 $\boldsymbol{F}$ は,

$$\boldsymbol{F} = q\boldsymbol{E}$$

点電荷による電場

電荷 Q が距離 r だけ離れた点に作る電場の大きさ E は

$$E = k\frac{Q}{r^2}$$

電気力線の本数

電荷 Q から出る電気力線の本数 N は

$$N = 4\pi k Q$$

4-1-4　電界と電位

点電荷による電位

電荷 Q から距離 r だけ離れた点における電位 V は，無限遠を基準として

$$V = k\frac{Q}{r}\left(= -\int_{\infty}^{r} E\,\mathrm{d}r\right)$$

一様な電場中での電位差

大きさ E の一様な電場中で，電場と平行な方向に距離 d だけ離れた 2 点間の電位差 V は

$$V = Ed$$

静電気力による位置エネルギー

電位 V の点に置かれた電荷 q がもつ位置エネルギー U は，電位 0 の点を基準として

$$U = qV$$

等電位面，等電位線

等電位面や等電位線は，各点において電気力線と直交する。

導体と電場

導体内部に電場が残っていると，電荷は移動する。つまり，電荷の移動が止まっているとき，導体内部の電場は $\mathbf{0}$ であり，導体内の電位差は 0 である。

導体の静電誘導

導体に帯電体を近づけると，その帯電体が及ぼす静電気力によって導体内部の電子が移動する。この電子の移動によって帯電体に近い側には帯電体と異種の電荷，帯電体から遠い側には帯電体と同種の電荷が現れる。

箔(はく)検電器

箔検電器の内部の機構は導体である。箔が帯電している場合には，斥(せき)力によって箔が開く。接地（アース）している場合には，箔の電荷が失われるため箔が閉じる。

静電遮蔽(へい)

導体内は電場が **0** であり，導体表面は等電位面になっている。つまり，導体の内部が空洞になっている場合，空洞部分の電場は導体外部の影響を受けない。逆に，空洞部分に電荷を置いた場合には，導体外部にその影響が現れない。

不導体の誘電分極

不導体内部では，導体内部のような電子の移動はない。しかし，電場によって分子の並びや向きが変わったり，分子内部の電荷の偏り方が変わる。不導体内部では近くの分子と打ち消し合うが，表面には電荷の偏りが現れる。

電荷の現れるしくみが静電誘導とは異なることに注意する。

4-1-5　電気容量

コンデンサーに蓄えられた電気量

電気容量 C[F] のコンデンサーの極板間に電位差 V[V] が生じているとき，極板に蓄えられている電気量 Q[C] は

$$Q = CV$$

電気容量

距離 d[m] だけ離して置かれた面積 S[m^2] の 2 枚の極板間に誘電率 ε の誘電体を入れたコンデンサーの電気容量 C[F] は

$$C = \varepsilon \frac{S}{d}$$

誘電率

誘電率は，電場を与えたときの分極のしやすさを表す。高い誘電率をもつ物質ほど大きく分極し，内部の電場が弱くなる。

真空の誘電率

$$\varepsilon_0 \fallingdotseq 8.854 \times 10^{-12}\,\mathrm{F/m}$$

比誘電率

$$\varepsilon_\mathrm{r} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$$

合成容量

合成容量を考えるときには，合成抵抗を考えるときと同様に，電位差に注目するとよい。

4-1-6　電気回路

導体の抵抗率の温度依存性

0℃における抵抗率を ρ_0 とするとき，t℃における抵抗率 ρ は

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t)$$

自由電子の運動と電流

単位体積あたりの自由電子の数を n，自由電子の平均の速さを v とするとき，断面積 S の導線を流れる電流の大きさ I は

$$I = envS$$

キルヒホッフの法則

流れ込む電流の和と流れ出る電流の和は等しい。

$$I_{\mathrm{in}} = I_{\mathrm{out}}$$

また，電源の起電力の和と，抵抗での電圧降下の和は等しい。

$$V_{\text{起電力}} = V_{\text{電圧降下}}$$

コンデンサーを含む回路

　コンデンサーを含む回路を扱うときには，以下のことを意識すると考えやすい。

- 導線でつながれた部分は等電位である。
- 電荷の移動は導線内でのみ起こる。
- 導線でつながれた各部分の電荷の総和は変化しない。

このことを踏まえて，**電位**と極板に蓄えられた**電荷**に注目して立式すると，与えられた情報から解き進められる。

抵抗がカギとなる回路

　ホイートストンブリッジや非直線抵抗，電池の内部抵抗など，抵抗がカギとなる回路を考えるときには，電流と電圧の関係をまず考える。難しく考えずに，まずはオームの法則で状況を整理する。整理した状況を組み合わせると，複雑に見える回路も読み解ける。

n 型半導体，p 型半導体

　真性半導体は伝導性が低い。対して不純物半導体は不純物のもつ**キャリア**（電流の担い手）によって伝導性が与えられる。

　n 型半導体は，不純物の余った電子がキャリアとなる。キャリアの電荷が負 (negative) であるから，n 型半導体とよばれる。

　p 型半導体は，不純物のホール（正孔；電子の足りていない所）がキャリアとなる。キャリアの電荷が正 (positive) であるから，p 型半導体とよばれる。

4-2　磁気

4-2-1　磁気と磁界

4-2-2　電流による磁界

4-2-3　電流が磁界から受ける力

4-2-4　電磁誘導

4-2-5　電磁波

第 5 章　原子

5-1　エネルギーとその利用

5-1-1　基礎 エネルギーとその利用

5-2　粒子性と波動性

5-2-1　電子

5-2-2　粒子性と波動性

5-3　原子

5-3-1　原子とスペクトル

5-3-2　原子核

5-3-3　素粒子

第 6 章　物理学の拡がり

6-1　物理学の拡がり

6-1-1　物理学が拓く世界

6-1-2　物理学が築く未来

第 7 章　主な物理量とその単位

7-1　基本単位

長さ L

物理量：ℓ,　d,　s,　r,　x,　y

基本単位：m

質量 M

物理量：m,　M

基本単位：kg

時間 T

物理量：t,　T

基本単位：s

電流 I

物理量：I

基本単位：A

温度 Θ

物理量：T

基本単位：K

物質量 N

物理量：n

基本単位：mol

光度 J

物理量：I

基本単位：cd

7-2　組立単位の例

7-2-1　力学

速さ

物理量：v

単位：$\mathrm{m/s} = \mathrm{m\,s^{-1}}$

加速度

物理量：a

単位：$\mathrm{m/s^2} = \mathrm{m\,s^{-2}}$

力

物理量：F

単位：$\mathrm{N} = \mathrm{kg\,m\,s^{-2}}$

圧力

物理量：P

単位：$\mathrm{Pa} = \mathrm{N/m^2} = \mathrm{kg\,m^{-1}\,s^{-2}}$

密度

物理量：ρ

単位：$\mathrm{kg/m^3} = \mathrm{kg\,m^{-3}}$

モーメント

物理量：M

単位：$\mathrm{N{\cdot}m} = \mathrm{kg\,m^2\,s^{-2}}$

仕事，エネルギー

物理量：W，K，U，E

単位：$\mathrm{J} = \mathrm{N{\cdot}m} = \mathrm{kg\,m^2\,s^{-2}}$

仕事率

物理量：P

単位：$\mathrm{W} = \mathrm{J/s} = \mathrm{kg\,m^2\,s^{-3}}$

運動量

物理量：p

単位：$\mathrm{kg{\cdot}m/s} = \mathrm{kg\ m\ s^{-1}}$

力積

物理量：I

単位：$\mathrm{N{\cdot}s} = \mathrm{kg\ m\ s^{-1}}$