基 礎 物 理 学

担当　小野正利
onomasat@hoku-iryo-u.ac.jp

第5回（2）

教科書
（1）「基礎物理学」
（2）　http://www.hoku-iryo-u.ac.jp/~onomasat/

「物理学」の解説

電気

1．摩擦電気（琥珀：エレクトロン）
2．正電気（＋）　と　負電気（－）

クーロンの法則

$$F = \frac{q_a q_b}{4\pi\varepsilon_0 r_{ab}{}^2}$$

$$\varepsilon_0 = \frac{10^7}{4\pi c^2} \cong 8.85\times10^{-12}\ \frac{C^2}{Nm^2}$$

磁気

1．磁石（マグネシア地方で産出）
2．N極（＋）　と　S極（－）
　　正磁荷　　　　　負磁荷

磁気のクーロンの法則

$$F_m = \frac{q_{ma} q_{mb}}{4\pi\mu_0 r_{ab}^{\ 2}}$$

$$\mu_0 = 4\pi\times10^{-7}\ \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{A}^2}$$

$$\varepsilon_0\mu_0 = \frac{10^7}{4\pi c^2}\left[\frac{\mathrm{C}^2}{\mathrm{Nm}^2}\right]\times 4\pi\times10^{-7}\left[\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{A}^2}\right]$$

$$= \frac{1}{c^2}\left[\frac{\mathrm{C}^2}{\mathrm{Nm}^2}\times\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{A}^2}\right] = \frac{1}{c^2}\left[\frac{\mathrm{C}^2}{\mathrm{Nm}^2}\times\frac{\mathrm{N}}{\left(\frac{\mathrm{C}}{s}\right)^2}\right]$$

$$= \frac{1}{c^2}\left[\left(\frac{\mathrm{s}}{\mathrm{m}}\right)^2\right]$$

誘電体
電気分極

磁性体
磁気分極

導体
静電誘導

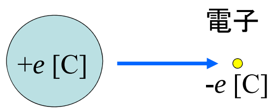
定常電流
オームの法則
電流の熱作用（ジュール熱）
電流の作る磁場・電流に働く磁気力

電磁誘導

電磁波

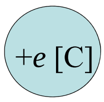
演習問題（電磁気）

（１）全ての分子から１個ずつ電子を取り去ると、１モルの物質が帯びる電荷は何クーロン [C] か。ただし、アボガドロ数を 6.0×10^{23} 1/mol 、電子１個がもつ電気量（電荷）を -1.6×10^{-19} C とする。



$$e = 1.6\times10^{-19}\ \mathrm{C}$$

1 個の分子がもつ電荷　⇒ 1.6×10^{-19} C



1モルの分子がもつ電荷

⇒　$1.6\times10^{-19}\times6.0\times10^{23}$

$=$ 9.6×10^{4} C

（２）導線の中を流れる電流は電子の移動によって生じる。１A の電流が流れる導線では、導線の断面を１秒間に通過する電子は何個か。

電流の定義

導線のある場所を１秒間に通過する電荷が１C であるとき、導線を流れる電流は１A であるという。

電子が 1 秒間に N 個通過したとすると、

1.6×10^{-19} C $\times N$ [1/s] $=1.6\times10^{-19}\times N$ [C/s]

$=1.6\times10^{-19}\times N$ [A]

の電流が流れたことになる。

題意より、

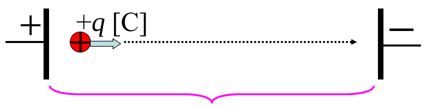
$1.6\times10^{-19}\times N$ [A] $=1$ [A]　が成り立つ。

$$\Rightarrow\quad N=\frac{1}{1.6\times10^{-19}}\ \fallingdotseq\ 6.3\times10^{18}\ \text{個}$$

（３）電子が 1 V で加速されたとき、電子がされる仕事は何ジュール [J] か。
なお、このとき電子が得るエネルギー量を 1eV（エレクトロンボルト）と呼ぶ。

電位差がする仕事１

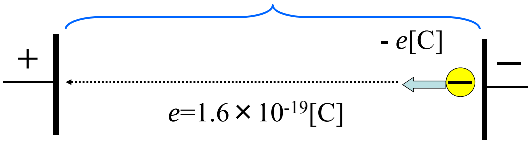
V [V] の電位差



qV [J] の仕事をされる。

電位差がする仕事２

1 Vの電圧（電位差）



電子がされた仕事 ＝（電気量）×（電位差）

$=1.6\times10^{-19}$ C $\times$ 1 V

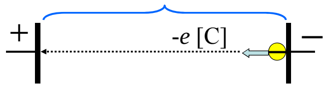
$=1.6\times10^{-19}$ CV　$=$ 1.6×10^{-19} J

$=$1 eV （エレクトロンボルト）

（４）静止していた電子を電圧 V [V] で加速する。ただし、電子に作用する重力は無視できるものとする。

（4.1）電子がされる仕事を電気素量 e [C] と加速電圧 V を用いて表せ。

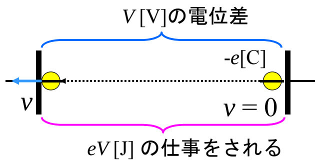
V[V]の電位差



電子がされた仕事 ＝（電気量）×（電位差）

＝ eV [J]

（4.2）電子がされた仕事がすべて電子の運動エネルギーに変わるとする。加速後の電子の速さを電子の質量 m [kg] と e 、V を用いて表せ。

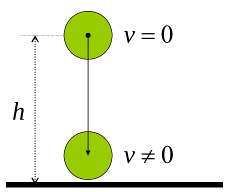


電子の運動エネルギー　：　$m\dfrac{v^2}{2} = eV$

$v^2 = \dfrac{2eV}{m}$　　$\therefore \quad v = \sqrt{\dfrac{2eV}{m}}$ [m/s]

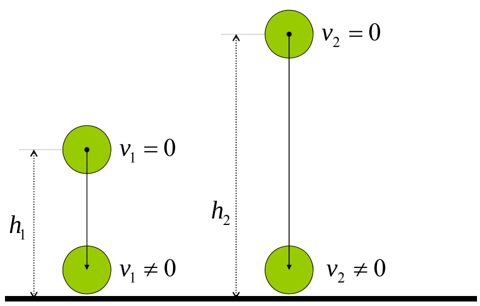
物体の落下とエネルギー

物体の落下では、 h m 持ち上げるのに必要なエネルギー　mgh　[J (ジュール)]　が落下に伴い速度を発生させる．．．と考える。



物体の落下距離と着地時の速度の大小関係

$h_1 < h_2 \quad \rightarrow \quad v_1 < v_2$



力学的エネルギー保存の法則

次の関係式を示すことができる。

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}mv^2 + U\right) = \frac{d}{dt}E = 0$$

$E \equiv \dfrac{1}{2}mv^2 + U$　を　力学的エネルギーと呼ぶ。

$\dfrac{1}{2}mv^2$　：　運動エネルギー

U　：　ポテンシャルエネルギー（位置のエネルギー）

物体の落下（落下運動）の時には、

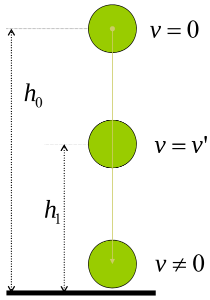
$U=mgh$ 。

従って，力学的エネルギー E は，

$$E \equiv \frac{1}{2}mv^2 + U = \frac{1}{2}mv^2 + mgh$$

落下時の力学的エネルギー

$$E \equiv \frac{1}{2}mv^2 + mgh$$



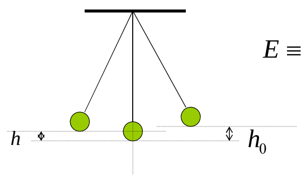
$v = 0$ $\quad \boxed{E = 0 + mgh_0 = mgh_0}$

$v = v'$ $\quad \boxed{E = \frac{1}{2}mv'^2 + mgh_1}$

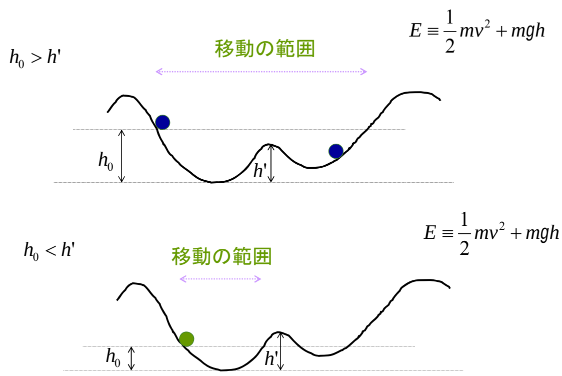
$v \neq 0$ $\quad \boxed{E = \frac{1}{2}mv^2 + 0 = \frac{1}{2}mv^2}$

平衡の位置

力学的エネルギーが摩擦などによって失われて、物体が静止する位置は、 まわりよりも位置エネルギーが小さい値（極値）になっている。



$$E \equiv \frac{1}{2}mv^2 + mgh$$

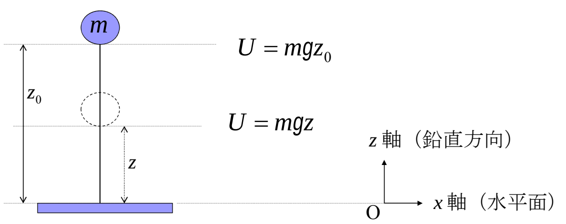


ポテンシャルの例（1）　落下運動の場合

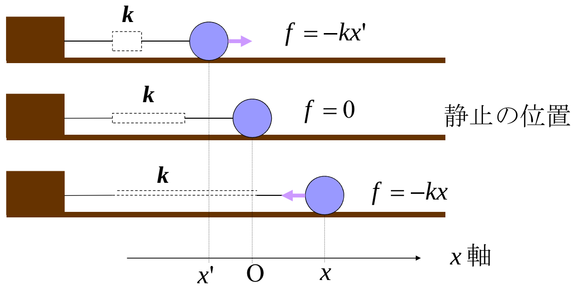
重力の位置のエネルギー　：　$U = mgz$

重力：　$f = -mg$

z [m] の落下で重力が行う仕事：　mgz



ポテンシャルの例（2）　バネ運動の場合

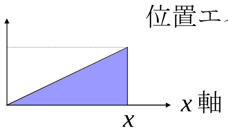


バネの位置エネルギー：　$U = \frac{k}{2}x^2$

ポテンシャルの例（2）　バネ運動の場合（続き）

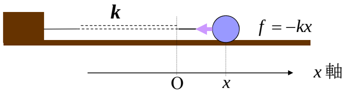
$|f| = k|x|$

位置エネルギー：$U = \frac{k}{2}x^2$



x 伸びたバネが静止の位置になるまでに
物体に対して行う仕事は三角形の面積となる。

この時バネの行った仕事は　$\frac{1}{2}kx^2$　。



仕事率

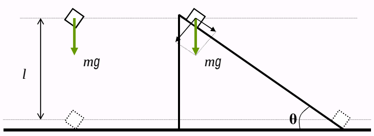
単位時間当たりになされる仕事。

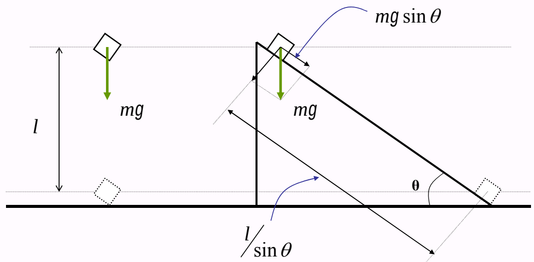
単位：　W＝J･s^{-1}　（ワット）

1 馬力(HP) ＝ 75 kgw･m･s^{-1} = 735.5W

＜問題5＞

2．重力が働く物体を静かに落下させる。
このとき，「自然落下させる」ときと「摩擦の無い斜面上を滑らせて落下させる」ときを比べる。
鉛直方向に同じ距離落下したときには両方の場合で同じ速さを持っていることを示せ。





自然落下のときに重力が行う仕事：　$mg \cdot l$

斜面に沿った落下のときに重力が行う仕事：

$$mg\sin\theta \cdot \frac{l}{\sin\theta} = mg \cdot l$$

両方とも重力が行う仕事が同じなので位置エネルギーの変化は同じ。従って，このことに伴う運動エネルギーの変化も同じになる。
→　任意の高さで両方とも同じ速さを持つ。

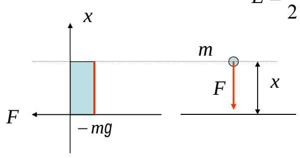
＜問題5＞

3. 下に描いてある図は，落下運動，単振り子，バネ振り子のそれぞれの場合を表したものである。図を参考にして，それぞれの場合の力学的エネルギーの表式を書け。

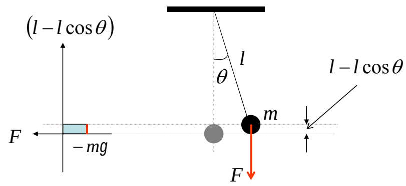
＜落下運動＞

$$U(x) = mgx$$

$$E = \frac{1}{2}mv^2 + U(x) = \frac{1}{2}mv^2 + mgx$$



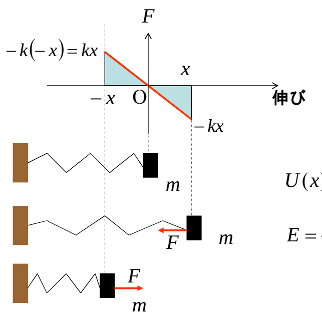
＜問題5＞ 3. ＜単振り子＞



$$U(x) = mg \cdot (l - l\cos\theta)$$

$$E = \frac{1}{2}mv^2 + mg \cdot (l - l\cos\theta)$$

＜問題5＞ 3. ＜バネ振り子＞



$$U(x) = \frac{1}{2}kx^2$$

$$E = \frac{1}{2}mv^2 + U(x) = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2$$