解答編

第１編　力と運動

第１章 運動の表し方

p.6　問１

$$72\,\mathrm{km/h}=\frac{72\,\mathrm{km}}{1\,\mathrm{h}}=\frac{72\times10^3\,\mathrm{m}}{3600\,\mathrm{s}}=\mathbf{20\,m/s}$$

$$15\,\mathrm{m/s}=\frac{15\,\mathrm{m}}{1\,\mathrm{s}}=\frac{15\times10^{-3}\,\mathrm{km}}{\frac{1}{3600}\,\mathrm{h}}=\mathbf{54\,km/h}$$

p.7　問２

「$v=\dfrac{x}{t}$」より

行き：$v=\dfrac{36}{30}=\mathbf{1.2\,m/s}$

帰り：$v=\dfrac{36}{10}=\mathbf{3.6\,m/s}$

往復：$v=\dfrac{36\times2}{30+10}=\mathbf{1.8\,m/s}$

p.8　問３

$x=vt=2.0\times15=\mathbf{30\,m}$

p.10　問４

移動距離$=\dfrac{5.0}{\sin30^\circ}+8.0+\dfrac{5.0}{\sin30^\circ}$

$=5.0\times2+8.0+5.0\times2=\mathbf{28\,m}$

変位の大きさ＝PQ

$=\dfrac{5.0}{\tan30^\circ}+8.0+\dfrac{5.0}{\tan30^\circ}$

$=5.0\times\sqrt{3}+8.0+5.0\times\sqrt{3}\fallingdotseq\mathbf{25\,m}$

p.11　問５

自動車Ａ，自動車Ｂの速度をそれぞれ v_A，v_B〔m/s〕とすると

$v_A=\mathbf{12\,m/s}$，　$v_B=\mathbf{-15\,m/s}$

p.12　問６

スタートから 3.0 秒後までの間の平均の速度を $\overline{v_1}$〔m/s〕とすると

$$\overline{v_1}=\frac{\Delta x}{\Delta t}=\frac{10.8-0}{3.0-0}=\mathbf{3.6\,m/s}$$

また，5.0 秒後からゴールまでの間の平均の速度を $\overline{v_2}$〔m/s〕とすると

$$\overline{v_2}=\frac{\Delta x}{\Delta t}=\frac{100.0-26.9}{13.6-5.0}=\mathbf{8.5\,m/s}$$

p.13　問７

(1) 速度が 0 となる区間は，x-t 図上で傾きが 0 となる所である。　**DE**

(2) 速度が正で一定となる区間は，x-t 図上で傾きが正で一定となる所である。　**BC**

(3) 傾きの大きさが徐々に大きくなっている所である。　**AB**

(4) 傾きの大きさが徐々に小さくなっている所である。　**CD**

p.14　問８

川の流れる向きを正の向きとする。

下流に向かって進んでいるとき

$v=5.0+1.5=6.5\,\mathrm{m/s}$

より　**6.5 m/s**

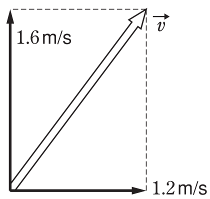
上流に向かって進んでいるとき

$v=(-5.0)+1.5=-3.5\,\mathrm{m/s}$

より　**3.5 m/s**

p.14　問９

川岸から見た船の速度 $\vec{v}$〔m/s〕は図のようになるので



$v^2=1.2^2+1.6^2$

より　$v=\mathbf{2.0\,m/s}$

p.15　問10

$v_x=v\cos\theta=2.0\times\cos60^\circ$

$=2.0\times\dfrac{1}{2}=\mathbf{1.0\,m/s}$

$v_y=v\sin\theta=2.0\times\sin60^\circ$

$=2.0\times\dfrac{\sqrt{3}}{2}\fallingdotseq\mathbf{1.7\,m/s}$

p.16　問11

$v_{AB}=v_B-v_A$，$v_{BA}=v_A-v_B$ であるから

$\boldsymbol{v}_{AB}=-\boldsymbol{v}_{BA}$

p.16　問12

(1) $v_{AB}=v_B-v_A=4.0-3.0=\mathbf{1.0\,m/s}$

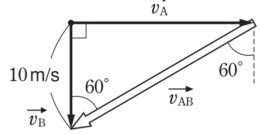
$v_{BA}=v_A-v_B=3.0-4.0=\mathbf{-1.0\,m/s}$

(2) $v_{AB}=v_B-v_A=(-4.0)-3.0=\mathbf{-7.0\,m/s}$

$v_{BA}=v_A-v_B=3.0-(-4.0)=\mathbf{7.0\,m/s}$

p.17　類題１

電車，雨滴，電車から見た雨滴，それぞれの速度を $\vec{v_A}$，$\vec{v_B}$，$\vec{v_{AB}}$〔m/s〕とすると，これらのベクトルの関係は図のようになる。よって，$\vec{v_A}$ の大きさ v_A は



$v_A=10\tan60^\circ=10\times\sqrt{3}\fallingdotseq\mathbf{17\,m/s}$

p.21　問 13

(1) $\bar{a}=\dfrac{\Delta v}{\Delta t}=\dfrac{7.0-4.0}{2.0}=\mathbf{1.5\,m/s^2}$

(2) $\bar{a}=\dfrac{\Delta v}{\Delta t}=\dfrac{(-2.0)-2.5}{3.0}=\mathbf{-1.5\,m/s^2}$

p.21　問 14

(1) 加速度が 0 となる区間は，v-t 図上で傾きが 0 となる所である。　ⓑ，ⓔ

(2) 加速度が正となる区間は，v-t 図上で傾きが正となる所である。　ⓐ，ⓕ

(3) 加速度が負となる区間は，v-t 図上で傾きが負となる所である。　ⓒ，ⓓ

p.23　問 15

(1) 「$v=v_0+at$」で，
$v_0=1.0\,\mathrm{m/s}$，$a=1.5\,\mathrm{m/s^2}$，$t=2.0\,\mathrm{s}$ とおくと

$$v=1.0+1.5\times2.0=\mathbf{4.0\,m/s}$$

(2) 「$x=v_0t+\dfrac{1}{2}at^2$」で，
$v_0=1.0\,\mathrm{m/s}$，$a=1.5\,\mathrm{m/s^2}$，$t=2.0\,\mathrm{s}$ とおくと

$$x=1.0\times2.0+\frac{1}{2}\times1.5\times2.0^2$$
$$=\mathbf{5.0\,m}$$

p.23　問 16

「$v^2-v_0{}^2=2ax$」で，$v_0=4.0\,\mathrm{m/s}$，$a=2.5\,\mathrm{m/s^2}$，$v=6.0\,\mathrm{m/s}$ とおくと

$$6.0^2-4.0^2=2\times2.5\times x$$

より　$x=\mathbf{4.0\,m}$

p.25　類題 2

右向きを正の向きとする。

(1) 「$v=v_0+at$」で，$v_0=4.0\,\mathrm{m/s}$，$v=-2.0\,\mathrm{m/s}$，$t=3.0\,\mathrm{s}$ とおくと

$$-2.0=4.0+a\times3.0$$

より　$a=\dfrac{-2.0-4.0}{3.0}=-2.0\,\mathrm{m/s^2}$

2.0 m/s²，左向き

(2) 「$v=v_0+at$」で，$v=0$ とすると

$$0=4.0+(-2.0)\times t$$

より　$t=\dfrac{-4.0}{-2.0}=2.0\,\mathrm{s}$　　**2.0 秒後**

(3) 「$x=v_0t+\dfrac{1}{2}at^2$」より

$$x=4.0\times2.0+\frac{1}{2}\times(-2.0)\times2.0^2$$
$$=\mathbf{4.0\,m}$$

〔別解〕「$v^2-v_0{}^2=2ax$」より

$$0^2-4.0^2=2\times(-2.0)\times x$$

よって　$x=\mathbf{4.0\,m}$

p.28　問 A

(1) $\bar{a}=\dfrac{6.0-1.5}{4.0-1.0}=\dfrac{4.5}{3.0}=\mathbf{1.5\,m/s^2}$

(2) $\bar{a}=\dfrac{(-4.5)-(-1.5)}{3.5-2.0}=\dfrac{-3.0}{1.5}$
$=\mathbf{-2.0\,m/s^2}$

(3) $\bar{a}=\dfrac{(-4.3)-(-1.3)}{6.0-2.0}=\dfrac{-3.0}{4.0}$
$=\mathbf{-0.75\,m/s^2}$

(4) $\bar{a}=\dfrac{3.6-0}{0.50-0.20}=\dfrac{3.6}{0.30}=\mathbf{12\,m/s^2}$

(5) $\bar{a}=\dfrac{(-2.0)-6.0}{4.7-2.2}=\dfrac{-8.0}{2.5}$
$=\mathbf{-3.2\,m/s^2}$

(6) $\bar{a}=\dfrac{5.2-(-1.6)}{2.8-1.1}=\dfrac{6.8}{1.7}=\mathbf{4.0\,m/s^2}$

(7) $\bar{a}=\dfrac{2.0-6.9}{2.1-1.1}=\dfrac{-4.9}{1.0}=\mathbf{-4.9\,m/s^2}$

(8) $\bar{a}=\dfrac{6.8-(-1.7)}{5.1-2.6}=\dfrac{8.5}{2.5}=\mathbf{3.4\,m/s^2}$

p.30　類題 3

(1) 問題の v-t 図の傾きより

$t=0\sim10\,\mathrm{s}$ では　$a=\dfrac{10}{10}=1.0\,\mathrm{m/s^2}$

$t=10\sim25\,\mathrm{s}$ では　$a=\dfrac{0}{15}=0\,\mathrm{m/s^2}$

$t=25\sim35\,\mathrm{s}$ では　$a=\dfrac{-10}{10}=-1.0\,\mathrm{m/s^2}$

よって，**図 a** のような a-t 図が得られる。

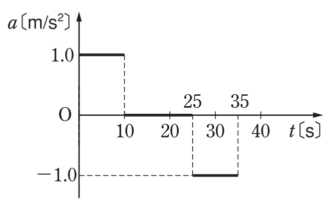


図 a

(2) h〔m〕は v-t 図が囲む台形の面積に等しいので

$$h=\frac{(15+35)\times10}{2}=\mathbf{2.5\times10^2\,m}$$

p.31　問 17

小球をはなした点の高さを h〔m〕，地面に達する直前の小球の速さを v〔m/s〕とする。

「$y=\dfrac{1}{2}gt^2$」より

$$h=\frac{1}{2}\times9.8\times1.0^2=\mathbf{4.9\,m}$$

「$v=gt$」より　$v=9.8\times1.0=$**9.8 m/s**

p. 32　問 18

小球をはなした点の高さを h〔m〕，地面に達する直前の小球の速さを v〔m/s〕とする。

「$y=v_0t+\dfrac{1}{2}gt^2$」より

$$h=3.0\times2.0+\frac{1}{2}\times9.8\times2.0^2$$

$$=25.6\fallingdotseq\mathbf{26\,m}$$

「$v=v_0+gt$」より

$$v=3.0+9.8\times2.0$$

$$=22.6\fallingdotseq\mathbf{23\,m/s}$$

p. 34　類題 4

鉛直上向きを正の向きとする。

投げ上げた時刻を 0 とし，高さ 9.8 m の地点を通過する時刻を t〔s〕とすると

「$y=v_0t-\dfrac{1}{2}gt^2$」より

$$9.8=14.7\times t-\frac{1}{2}\times9.8\times t^2$$

両辺を 4.9 でわって整理すると

$$t^2-3.0t+2.0=0$$

これから

$$(t-1.0)(t-2.0)=0$$

より　$t=1.0$ s，2.0 s

上向きの速度で通過するときは上昇中で，下向きの速度で通過するときは下降中なので，$t_1<t_2$ である。したがって

$$t_1=\mathbf{1.0\,s},\ t_2=\mathbf{2.0\,s}$$

p. 36　類題 5

投げ出してから地面に到達するまでの時間を t〔s〕とする。

水平方向は，速さ 3.0 m/s の等速直線運動と同様の運動を行う。

「$x=vt$」より

$l=3.0\times t$　……①

鉛直方向は，自由落下と同様の運動を行う。

「$y=\dfrac{1}{2}gt^2$」より

$9.8=\dfrac{1}{2}\times9.8\times t^2$　……②

②式より　$t=\sqrt{2}$ s

これを①式に代入して l が得られる。

$$l=3.0\times\sqrt{2}\fallingdotseq\mathbf{4.2\,m}$$

p. 40　類題 6

(1)　$v_{0x}=v_0\cos\theta$

$$=24.5\times\frac{3}{5}=\mathbf{14.7\,m/s}$$

$v_{0y}=v_0\sin\theta$

$$=24.5\times\frac{4}{5}=\mathbf{19.6\,m/s}$$

(2)　最高点では速度の鉛直成分（y 成分）が 0 m/s となる。

「$v_y=v_0\sin\theta-gt$」より

$$0=19.6-9.80\times t_1$$

よって　$t_1=\dfrac{19.6}{9.80}=$**2.00 s**

「$y=v_0\sin\theta\cdot t-\dfrac{1}{2}gt^2$」より

$$h=19.6\times2.00-\frac{1}{2}\times9.80\times2.00^2$$

$$=\mathbf{19.6\,m}$$

(3)　落下点では鉛直方向の変位が 0 m となる。

「$y=v_0\sin\theta\cdot t-\dfrac{1}{2}gt^2$」より

$$0=19.6\times t_2-\frac{1}{2}\times9.80\times t_2{}^2$$

$$0=4.90\times t_2\times(4.00-t_2)$$

$t_2>0$ より　$t_2=$**4.00 s**

水平方向については，「$x=v_0\cos\theta\cdot t$」より

$$l=14.7\times4.00=\mathbf{58.8\,m}$$

p. 42　演習 1

(1)　問題の v-t 図より

0 s 〜 10 s までは速度が 6.0 m/s

10 s 〜 20 s までは速度が 0 m/s

20 s 〜 60 s までは速度が −2.0 m/s

x-t 図の傾きは速度を表すから，**図 a** のようになる。

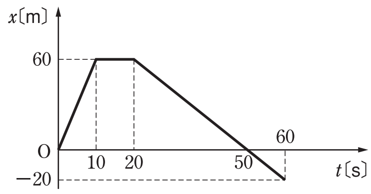


図 a

(2)　図 a で，$x=0$ m となるときの時刻 50 s が再び原点にもどってくるときの時刻となるので，$t_1=$**50 s**

p. 42　**演習 2**

東向きを正とする。

(1)「$v_{AB}=v_B-v_A$」より

$$-48=v_B-30$$

よって

$$v_B=-18\,\mathrm{m/s}$$

Bの速さは **18m/s，西向き**

(2) B は東向きに速さ 18m/s で走っているから

$$v_{AB}=18-30=-12\,\mathrm{m/s}$$

相対速度の大きさは **12m/s，西向き**

p. 42　**演習 3**

(1) Aの速度を $\overrightarrow{v_A}$〔m/s〕，Bから見たAの速度を $\overrightarrow{v_{BA}}$〔m/s〕とすると，$\overrightarrow{v_A}$，$\overrightarrow{v_{BA}}$ はそれぞれ図 a，図 b のようになる。

図 a

図 b

Bの速度を $\overrightarrow{v_B}$〔m/s〕とすると，相対速度の式より

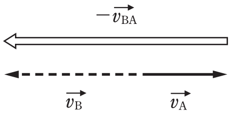


図 c

$$\overrightarrow{v_{BA}}=\overrightarrow{v_A}-\overrightarrow{v_B}$$

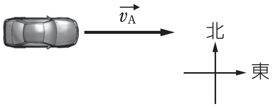
これより

$$\overrightarrow{v_B}=\overrightarrow{v_A}-\overrightarrow{v_{BA}}=\overrightarrow{v_A}+(-\overrightarrow{v_{BA}})$$

図 c より，$\overrightarrow{v_B}$ の向きは**西向き**である。

Bの速さ $v_B=25-10=$**15m/s**

(2) Cの速度を $\overrightarrow{v_C}$〔m/s〕とすると，題意よりCから見たAの速度 $\overrightarrow{v_{CA}}$ は図 d のようになる。



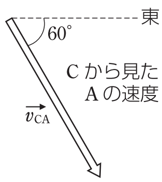


図 d

相対速度の式より

$$\overrightarrow{v_{CA}}=\overrightarrow{v_A}-\overrightarrow{v_C}$$

これより

$$\overrightarrow{v_C}=\overrightarrow{v_A}-\overrightarrow{v_{CA}}$$
$$=\overrightarrow{v_A}+(-\overrightarrow{v_{CA}})$$

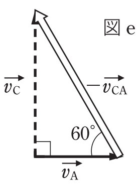


図 e

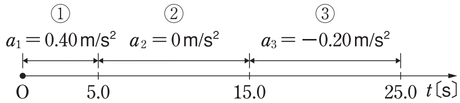
図 e より，$\overrightarrow{v_C}$ の向きは**北向き**である。

Cの速さ $v_C=10\tan 60°=10\times\sqrt{3}$

$$\fallingdotseq \mathbf{17\,m/s}$$

p. 42　**演習 4**

$t=0\,\mathrm{s}$ ～ 25.0 s における物体の加速度 a_1，a_2，a_3〔m/s²〕を下図に示す。



(1) 区間②においては等速度だが，その速度 v_2〔m/s〕は区間①の等加速度直線運動によって得られたものであるから

$$v_2=a_1t=0.40\times5.0=\mathbf{2.0\,m/s}$$

(2) v-t 図の傾きが加速度を表すから，次の**図 a** が得られる。

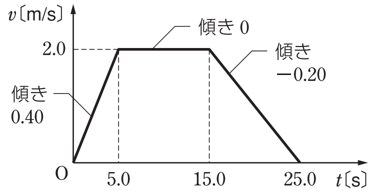


図 a

(3) 図 a で，0 s から 5.0 s，15.0 s，25.0 s までの t 軸とによって囲まれた部分の面積が位置 x_1，x_2，x_3〔m〕である。

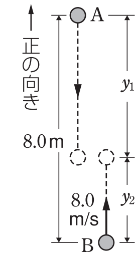
$$x_1=\frac{1}{2}\times5.0\times2.0=\mathbf{5.0\,m}$$

$$x_2=5.0+(15.0-5.0)\times2.0=\mathbf{25\,m}$$

$$x_3=25+\frac{1}{2}\times(25.0-15.0)\times2.0=\mathbf{35\,m}$$

p. 43　**演習 5**

(1) A が t〔s〕間に自由落下する距離を y_1〔m〕，B の t〔s〕後の地上からの高さを y_2〔m〕とすると，y_1 と y_2 の合計が 8.0 m である。



「$y=\frac{1}{2}gt^2$」より

$$y_1=\frac{1}{2}\times9.8\times t^2$$

「$y=v_0t-\frac{1}{2}gt^2$」より

$$y_2=8.0t-\frac{1}{2}\times9.8\times t^2$$

$$\left(\frac{1}{2}\times9.8\times t^2\right)+\left(8.0t-\frac{1}{2}\times9.8\times t^2\right)$$
$$=8.0$$

よって　$t=$**1.0 s**

$$h=8.0\times1.0-\frac{1}{2}\times9.8\times1.0^2=\mathbf{3.1\,m}$$

解答編

(2) $v_A = -9.8 \times 1.0 = \mathbf{-9.8\,m/s}$

$v_B = 8.0 - 9.8 \times 1.0 = \mathbf{-1.8\,m/s}$

p. 43　演習 6

(1) 鉛直方向には自由落下と同様の運動をするから　$h = \dfrac{1}{2} \times 9.80 \times 2.00^2 = \mathbf{19.6\,m}$

また，h，l の間には　$\dfrac{h}{l} = \tan 45° = 1$

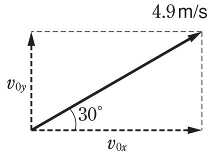
の関係が成りたつので　$l = h = \mathbf{19.6\,m}$

(2) 水平方向には等速直線運動と同様の運動をするから　$19.6 = v_0 \times 2.00$

よって　$v_0 = \mathbf{9.80\,m/s}$

p. 43　演習 7

初速度の鉛直成分 v_{0y} は



$$v_{0y} = 4.9 \times \sin 30°$$
$$= 4.9 \times \frac{1}{2}\,\text{m/s}$$

鉛直方向には鉛直投げ上げと同様の運動をするから

$$-14.7 = 4.9 \times \frac{1}{2} \times t - \frac{1}{2} \times 9.8 \times t^2$$
$$-6.0 = t - 2.0t^2$$
$$2.0t^2 - t - 6.0 = 0$$
$$(2.0t + 3.0)(t - 2.0) = 0$$

$t > 0$ より　$t = \mathbf{2.0\,s}$

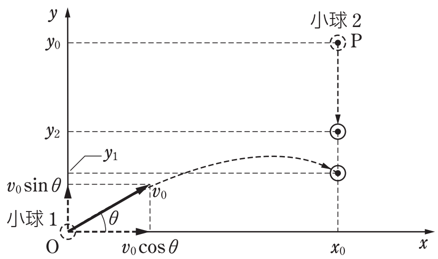
初速度の水平成分 v_{0x} は

$$v_{0x} = 4.9 \times \cos 30° = 4.9 \times \frac{\sqrt{3}}{2}\,\text{m/s}$$

水平方向には等速直線運動と同様の運動をするから，水平到達距離 l〔m〕は

$$l = v_{0x}t = 4.9 \times \frac{\sqrt{3}}{2} \times 2.0 \fallingdotseq \mathbf{8.5\,m}$$

p. 43　演習 8



(1) 小球 1 は水平方向には等速直線運動と同様の運動をするから

$$x_0 = v_0 \cos\theta \cdot t$$

よって　$t = \boldsymbol{\dfrac{x_0}{v_0 \cos\theta}}$〔s〕　……①

(2) 小球 1 は鉛直方向には鉛直投げ上げと同様の運動をするから

$$y_1 = v_0 \sin\theta \cdot t - \frac{1}{2}gt^2$$

これに①式を代入して

$$y_1 = v_0 \sin\theta \cdot \frac{x_0}{v_0 \cos\theta} - \frac{1}{2}g\left(\frac{x_0}{v_0 \cos\theta}\right)^2$$
$$= \boldsymbol{\tan\theta \cdot x_0 - \frac{g{x_0}^2}{2{v_0}^2\cos^2\theta}}\,\text{〔m〕}$$

一方，小球 2 は $y = y_0$ の高さから自由落下する。(1)のとき，小球 2 の y 座標 y_2 を用いると落下距離は $y_0 - y_2$ と表すことができ

$$y_0 - y_2 = \frac{1}{2}gt^2$$

となる。これに①式を代入して

$$y_0 - y_2 = \frac{1}{2}g\left(\frac{x_0}{v_0 \cos\theta}\right)^2$$

よって　$y_2 = \boldsymbol{y_0 - \dfrac{g{x_0}^2}{2{v_0}^2\cos^2\theta}}$〔m〕

(3) 題意より $\theta = \theta_0$ で $y_1 = y_2$ となる。

よって　$\tan\theta_0 \cdot x_0 - \dfrac{g{x_0}^2}{2{v_0}^2\cos^2\theta_0}$

$$= y_0 - \frac{g{x_0}^2}{2{v_0}^2\cos^2\theta_0}$$

$$\tan\theta_0 \cdot x_0 = y_0$$

ゆえに　$\tan\theta_0 = \boldsymbol{\dfrac{y_0}{x_0}}$

（したがって，O→P の向き）

第 2 章 運動の法則

p. 45　問 19

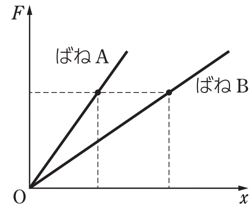
「$W=mg$」より　$10\times9.8=$**98N**

p. 47　問 20

ばね定数を k〔N/m〕とすると，「$F=kx$」より $4.0=k\times0.20$　よって　$k=$**20N/m**

p. 47　問 21

(1) グラフより，同じ大きさの力を加えたとき，ばねの伸びがより大きいのは，**ばねB**であることがわかる。



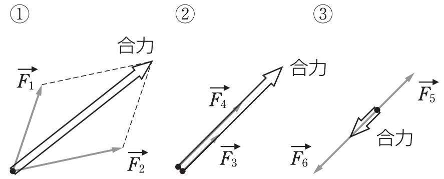
(2) 「$F=kx$」の関係より，ばね定数 k は F-x 図の傾きで表される。F-x 図で傾きが大きいのは，**ばねA**である。

p. 49　問 22

① 力の矢印をそれぞれ $\vec{F_1}$，$\vec{F_2}$ とすると，合力は $\vec{F_1}$，$\vec{F_2}$ を 2 辺とする平行四辺形の対角線で表される。

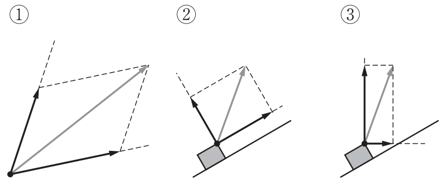
② 力の矢印をそれぞれ $\vec{F_3}$，$\vec{F_4}$ とすると，合力は $\vec{F_3}$，$\vec{F_4}$ と同じ向きで大きさはこれらの長さの和に等しい。

③ 力の矢印をそれぞれ $\vec{F_5}$（短いほう），$\vec{F_6}$ とすると，合力は $\vec{F_6}$ の向きで大きさは $\vec{F_6}$ と $\vec{F_5}$ の長さの差に等しい。



p. 49　問 23

分力は下図の実線の矢印のようになる。



p. 49　問 24

① x 成分：**6N**，y 成分：**2N**

② x 成分：**−2N**，y 成分：**3N**

③ x 成分：**0N**，y 成分：**−3N**

④ x 成分：$6.0\times\cos30°=6.0\times\dfrac{\sqrt{3}}{2}$

　$\fallingdotseq$**5.2N**

　y 成分：$6.0\times\sin30°=6.0\times\dfrac{1}{2}=$**3.0N**

⑤ x 成分：$4+(-1)=$**3N**

　y 成分：$0+3=$**3N**

⑥ x 成分：$-4.0\times\sin30°=-4.0\times\dfrac{1}{2}$

　$=$**−2.0N**

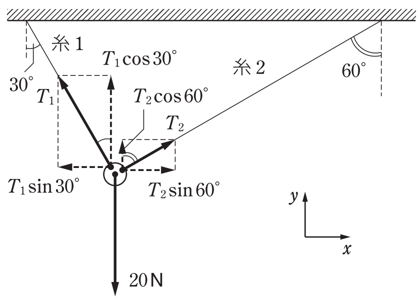
　y 成分：$-4.0\times\cos30°=-4.0\times\dfrac{\sqrt{3}}{2}$

　$\fallingdotseq$**−3.5N**

p. 51　類題 7

水平方向右向きに x 軸，鉛直方向上向きに y 軸をとる。

　糸 1，糸 2 が引く力の x 成分，y 成分の大きさは，それぞれ下図のようになる。



x 軸方向の力のつりあいより

$$-T_1\sin30°+T_2\sin60°=0 \quad \cdots\cdots①$$

y 軸方向の力のつりあいより

$$T_1\cos30°+T_2\cos60°-20=0 \quad \cdots\cdots②$$

①，②式より

$T_1=10\sqrt{3}\fallingdotseq$**17N**

$T_2=$**10N**

p. 55　問 25

(1)　$\overrightarrow{F_1}$：**地球が物体Bに及ぼす力**

　　$\overrightarrow{F_2}$：**物体Aが物体Bに及ぼす力**

　　$\overrightarrow{F_3}$：**物体Bが物体Aに及ぼす力**

　　$\overrightarrow{F_4}$：**地球が物体Aに及ぼす力**

　　$\overrightarrow{F_5}$：**床が物体Aに及ぼす力**

　　$\overrightarrow{F_6}$：**物体Aが床に及ぼす力**

(2)　$\overrightarrow{\boldsymbol{F}_3}$, $\overrightarrow{\boldsymbol{F}_4}$, $\overrightarrow{\boldsymbol{F}_5}$

(3)　A：$\boldsymbol{F_5-F_4-F_3=0}$

　　B：$\boldsymbol{F_2-F_1=0}$

p. 56　問B

(1)　①　(地球から) **受ける力**

　　②　(箱の面から) **受ける力**

　　③　(箱に) **及ぼす力**

(2)　④　(指から) **受ける力**

　　⑤　(壁から) **受ける力**

　　⑥　(壁に) **及ぼす力**

(3)　⑦　(ばねに) **及ぼす力**

　　⑧　(天井に) **及ぼす力**

　　⑨　(ばねに) **及ぼす力**

p. 58　問C

(1)　$\overrightarrow{\boldsymbol{F}_1}$, $\overrightarrow{\boldsymbol{F}_2}$

(2)　つりあいの関係になっている力は，りんごが外から受けている力についてであるから，(1)の答えと同じである。

　　$\overrightarrow{\boldsymbol{F}_1}$, $\overrightarrow{\boldsymbol{F}_2}$

(3)　$\overrightarrow{\boldsymbol{F}_2}$, $\overrightarrow{\boldsymbol{F}_3}$

(4)　りんごにはたらく力のつりあいより

$$F_2-F_1=0 \quad \cdots\cdots①$$

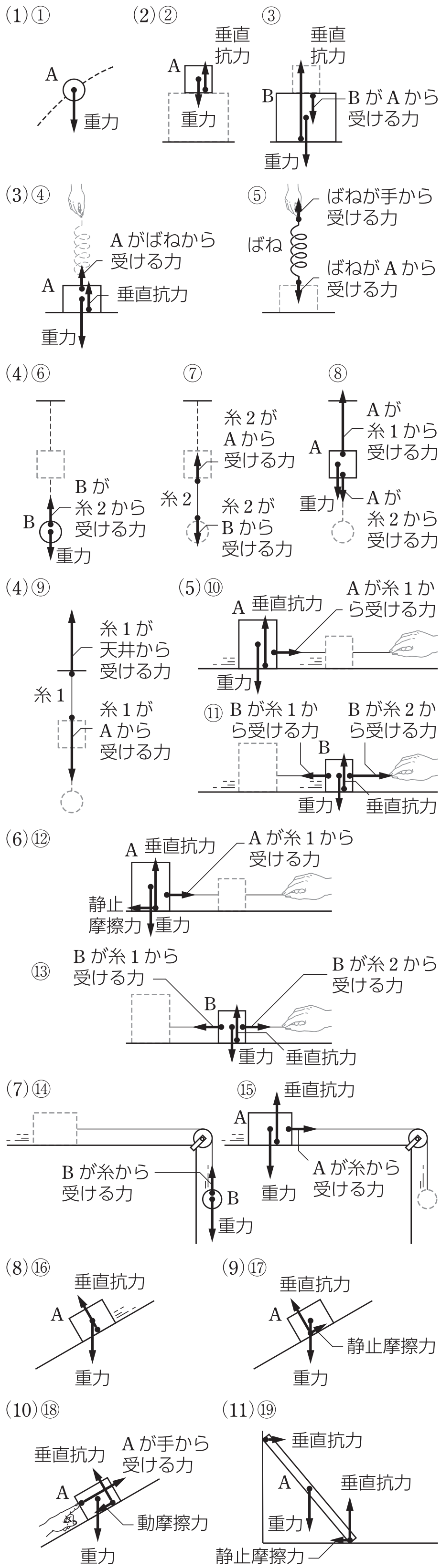
　　作用反作用の法則より

$$F_2=F_3 \quad \cdots\cdots②$$

　　①，②式より

$$F_1=F_3$$

p. 59　問D



p.65　問 26

「$ma=F$」より　$1.5\times3.0=F$

よって　$F=$**4.5N**

p.65　問 27

「$ma=F$」より　$2.0a=5.0$

よって　$a=$**2.5m/s²，右向き**

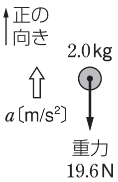
p.65　問 28

地球上では　$5.0\times9.8=$**49N**

月面上では　$5.0\times1.6=$**8.0N**

p.66　類題 8

(1)　**Step ❶**　小球にはたらく力をかきこむ。この場合，はたらく力は重力のみである。



Step ❷　問題にあるように，鉛直上向きを正とする。

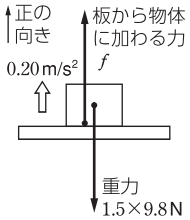
Step ❸　「$ma=F$」に　$m=2.0\text{kg}$，$F=-19.6\text{N}$ を代入して

$$\mathbf{2.0\,a=-19.6} \quad \cdots\cdots①$$

(2)　①式より　$a=\dfrac{-19.6}{2.0}=\mathbf{-9.8m/s^2}$

p.67　類題 9

Step ❶　物体にはたらく力は図のようになる。物体には，鉛直下向きに重力 1.5×9.8N，鉛直上向きに板から加わる力 f〔N〕がはたらいている。



Step ❷　鉛直上向きを正とする。

Step ❸　物体にはたらく力の合力は

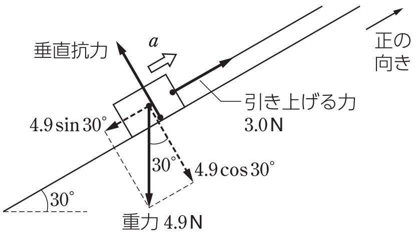
$f-1.5\times9.8$〔N〕

これを「$ma=F$」に代入して

$1.5\times0.20=f-1.5\times9.8$

よって　$f=$**15N**

p.68　類題 10



Step ❶　小物体にはたらく力は，重力 $0.50\times9.8=4.9$N，垂直抗力，引き上げる力 3.0N の 3 つである。

Step ❷　斜面方向上向き（小物体の運動の向き）を正とする。

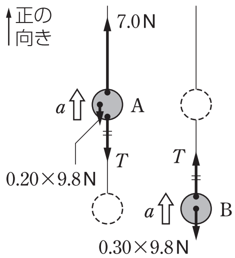
Step ❸　重力の斜面方向の成分は $-4.9\sin30°$N，垂直抗力の斜面方向の成分は 0N であるから，斜面方向の合力は $(3.0-4.9\sin30°)$N　したがって，小物体の運動方程式は

$$0.50a=3.0-4.9\sin30°$$

よって　$a=\dfrac{3.0-4.9\times\frac{1}{2}}{0.50}=\mathbf{1.1m/s^2}$

p.69　類題 11

(1)　**Step ❶**　糸がAを引く力とBを引く力は，同じ大きさで逆向きとなる。A，Bにはたらく力は図のようになる。



Step ❷　鉛直上向きを正の向きとする。

Step ❸　A，B それぞれの運動方程式は

A：$0.20a=7.0-0.20\times9.8-T$　…①

B：$0.30a=T-0.30\times9.8$　…②

①式＋②式より　$0.50a=2.1$

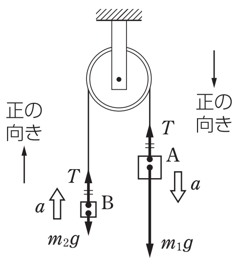
よって　$a=$**4.2m/s²**

(2)　②式に　$a=4.2\text{m/s}^2$ を代入して

$T=$**4.2N**

p.70　類題 12

(1)　$m_1>m_2$ なので，おもりAは下降し，Bは上昇する。



Step ❶　糸がAを引く力とBを引く力の大きさは，同じである。A，B にはたらく力は図のようになる。

Step ❷　A については鉛直方向下向きを正，B については鉛直方向上向きを正とする。

Step ❸　A，B それぞれの運動方程式は次のようになる。

A：$m_1a=m_1g-T$　……①

B：$m_2a=T-m_2g$　……②

①式＋②式より

$$(m_1+m_2)a=(m_1-m_2)g$$

よって　$a=\boldsymbol{\dfrac{m_1-m_2}{m_1+m_2}g}$〔**m/s²**〕

(2)　②式×m_1−①式×m_2 より

$$0=-2m_1m_2g+(m_1+m_2)T$$

よって　$T=\boldsymbol{\dfrac{2m_1m_2}{m_1+m_2}g}$〔**N**〕

p.71　問 29

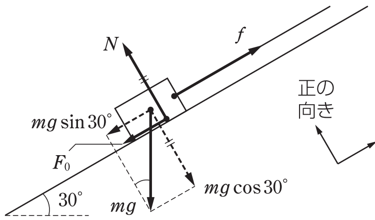
水平面上にある質量 2.0kg の物体にはたらく垂直抗力 N〔N〕の大きさは $N=2.0\times9.8=19.6$N である。水平に引く力が 4.9N をこえた直後に物体が動き始めたので，最大摩擦力 F_0〔N〕の大きさは 4.9N である。

「$F_0=\mu N$」より

$$\mu=\frac{F_0}{N}=\frac{4.9}{19.6}=\mathbf{0.25}$$

p.72　類題 13

斜面上の物体にはたらく力は，重力，垂直抗力，静止摩擦力，糸が引く力の 4 つである。静止摩擦力は，物体が動き始める直前なので斜面方向下向きの最大摩擦力となる。物体の質量や力の大きさなどを文字で表す。



物体の質量を m〔kg〕，重力加速度の大きさを g〔m/s²〕，垂直抗力の大きさを N〔N〕，静止摩擦係数を μ，最大摩擦力の大きさを F_0〔N〕とする。物体にはたらく力を斜面に平行な成分と斜面に垂直な成分とに分解する。物体が動きだす直前は物体にはたらく力がつりあっている。

斜面に平行な方向の力のつりあいの式は

$$f-mg\sin30^\circ-F_0=0 \quad \cdots\cdots①$$

斜面に垂直な方向の力のつりあいの式は

$$N-mg\cos30^\circ=0 \quad \cdots\cdots②$$

②式より　$N=\dfrac{\sqrt{3}}{2}mg$〔N〕

ここで，$F_0=\mu N=\dfrac{\sqrt{3}}{2}\mu mg$〔N〕

①式より　$f=mg\sin30^\circ+F_0$

$$=\left(\frac{1}{2}+\frac{\sqrt{3}}{2}\times\frac{1}{\sqrt{3}}\right)mg$$

$$=0.50\times9.8$$

$$=\mathbf{4.9N}$$

p.74　問 30

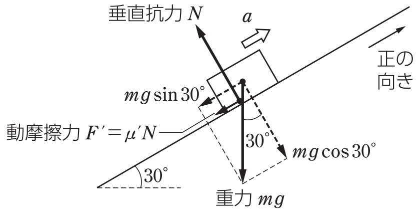
垂直抗力の大きさ　$N=5.0\times9.8$N

「$F'=\mu'N$」より　$F'=0.20\times5.0\times9.8$

$$=\mathbf{9.8N}$$

p.74　類題 14

物体の質量を m〔kg〕，重力加速度の大きさを g〔m/s²〕，動摩擦係数を μ' とすると，物体にはたらく力は図のようになる。



斜面に平行な方向について，物体の運動方程式を立てると

$$ma=-mg\sin30^\circ-\mu'N \quad \cdots\cdots①$$

一方，斜面に垂直な方向の力はつりあっているから

$$N-mg\cos30^\circ=0 \quad \cdots\cdots②$$

②式より　$N=mg\cos30^\circ$

これを①式に代入して整理すると

$$a=-g(\sin30^\circ+\mu'\cos30^\circ)$$

$$=-9.8\times\left(\frac{1}{2}+\frac{1}{2\sqrt{3}}\times\frac{\sqrt{3}}{2}\right)$$

$$=-9.8\times\frac{3}{4}=-7.35\fallingdotseq\mathbf{-7.4m/s^2}$$

p.75　問 31

「$p=\dfrac{F}{S}$」より

$$p_1=\frac{20}{1.0\times10^{-4}}=\mathbf{2.0\times10^5Pa}$$

$$p_2=\frac{20}{2.0\times10^{-8}}=\mathbf{1.0\times10^9Pa}$$

p.77　問 32

「$p'=p_0+\rho hg$」より

$$p'=(1.0\times10^5)+(1.0\times10^3)\times50\times9.8$$

$$=\mathbf{5.9\times10^5Pa}$$

p.78　問 33

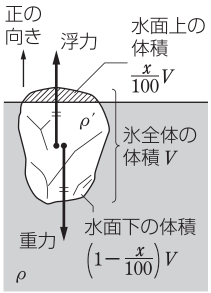
「$F=\rho Vg$」より

$$F=(1.0\times10^3)\times(5.0\times10^{-5})\times9.8$$

$$=\mathbf{0.49N}$$

p. 79　類題 15

(1) 氷には重力と浮力の 2 力がはたらき，つりあっている。氷全体の体積を V〔m³〕，水面上の割合を x〔%〕とする。水の密度を ρ〔kg/m³〕，氷の密度を ρ'〔kg/m³〕，重力加速度の大きさを g〔m/s²〕とすると，氷全体の重さは $\rho' Vg$〔N〕，氷にはたらく浮力の大きさは $\rho\left(1-\dfrac{x}{100}\right)Vg$〔N〕となる。



氷にはたらく力のつりあいの式は

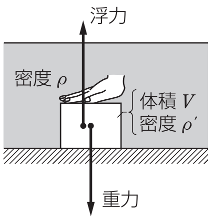
$$\rho\left(1-\frac{x}{100}\right)Vg-\rho' Vg=0$$

よって　$x=\dfrac{\rho-\rho'}{\rho}\times 100$

$$=\frac{(1.0\times10^3)-(9.2\times10^2)}{1.0\times10^3}\times 100$$

$=$**8 %**

(2) 図のように，直方体の物体を液体に沈めた状態で考える（物体にはたらく力は重力と浮力のみをかいている）。



おさえている手をはなしたとき，物体が浮上する条件は，浮力の大きさが重力の大きさよりも大きいことである。ここで，物体の体積を V〔m³〕，重力加速度の大きさを g〔m/s²〕とすると，重力は $\rho' Vg$〔N〕，浮力は ρVg〔N〕となり，

$$\rho' Vg<\rho Vg$$

したがって，物体が浮くための条件は

$$\boldsymbol{\rho'<\rho}$$

p. 83　問 34

「$M=Fl$」より

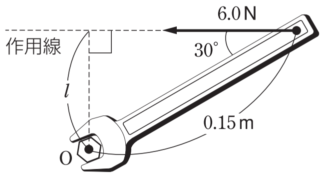
$M_P=6.0\times2.5=$**15 N·m**

$M_Q=-6.0\times1.6=$**−9.6 N·m**

p. 83　問 35

力の作用線から点Oまでの距離 l〔m〕は

$l=0.15\times\sin30°$ m である。



点Oのまわりの力のモーメント M〔N·m〕は

$M=Fl=6.0\times(0.15\times\sin30°)$

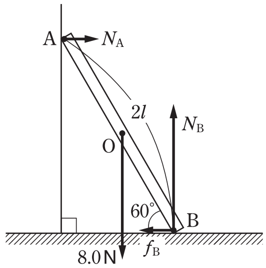
$=$**0.45 N·m**

p. 83　問 36

$M=3.0\times3.0-1.5\times(3.0+2.0)=$**1.5 N·m**

p. 85　類題 16

棒の長さを $2l$〔m〕とする。棒にはたらく力は，上端Aが壁から受ける垂直抗力 N_A〔N〕，下端Bが床から受ける垂直抗力 N_B〔N〕と床から受ける静止摩擦力 f_B〔N〕，重力 8.0 N である。



並進運動し始めない条件より

$N_A-f_B=0$　……①

$N_B-8.0=0$　……②

回転運動し始めない条件より，点Bのまわりの力のモーメントを考えて

$8.0\times l\cos60°-N_A\times2l\sin60°=0$ ……③

(1) ②式より　$N_B=$**8.0 N**

(2) ③式より　$4.0-N_A\times\sqrt{3}=0$

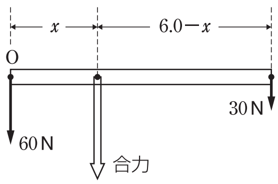
よって　$N_A=\dfrac{4.0}{\sqrt{3}}\fallingdotseq$**2.3 N**

これと①式より　$f_B=N_A=$**2.3 N**

p. 87　問 37

点Oから合力の作用線までの距離を x〔m〕とする。

(1) 2 力とも下向きだから，合力も**下向き**である。



大きさは

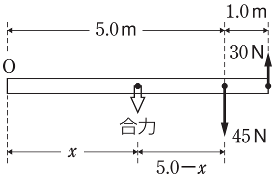
$60+30=$**90 N**

また，図より　$x:(6.0-x)=30:60$ が成りたつ。これより

$$60x=30(6.0-x)$$

よって　$x=$**2.0 m**

(2)　上向きを正とすると，合力は
$30-45$
$=-15\,\mathrm{N}$



よって，向きは**下向き**で大きさは**15N**である。
また，図より

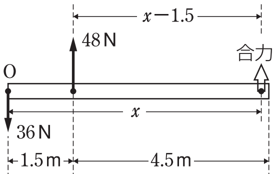
$(5.0-x):\{(5.0-x)+1.0\}=30:45$

が成りたつ。これより

$45(5.0-x)=30(6.0-x)$

よって　$x=\mathbf{3.0\,m}$

(3)　上向きを正とすると，合力は
$48-36$
$=12\,\mathrm{N}$



よって，向きは**上向き**で大きさは**12N**である。
また，図より

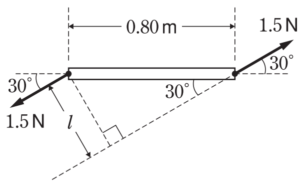
$(x-1.5):x=36:48$ が成りたつ。

これより　$48(x-1.5)=36x$

よって　$x=\mathbf{6.0\,m}$

p. 88　問 38

偶力の作用線間の距離を l〔m〕とすると，l は次のように表される。



$l=0.80\times\sin30°=0.40\,\mathrm{m}$

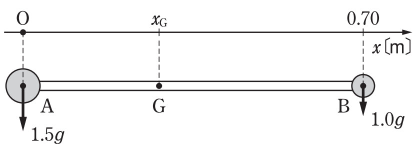
ゆえに，偶力のモーメント

$Fl=1.5\times0.40=\mathbf{0.60\,N\cdot m}$

この偶力は，棒を反時計回りに回転させるはたらきをもつので正である。

p. 89　問 39

図のように x 軸をとり，重心の座標を x_G〔m〕とする。



「$x_G=\dfrac{m_1x_1+m_2x_2}{m_1+m_2}$」より

$$x_G=\frac{1.5\times0+1.0\times0.70}{1.5+1.0}=\mathbf{0.28\,m}$$

p. 89　問 40

棒の重心の位置と重さが未知数であり，それに対しての力のモーメントのつりあいの式を２つ立てる。

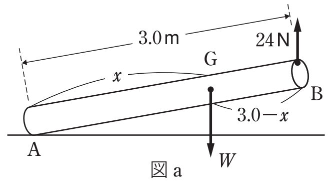


図 a

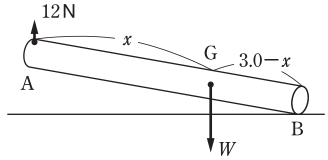


図 b

棒の重心の位置をA端より右に x〔m〕の所とし，棒の重さを W〔N〕とする。
図ａで，点Aのまわりの力のモーメントの和＝0 より

$24\times3.0-Wx=0$　　……①

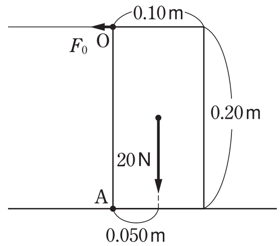
図ｂで，点Bのまわりの力のモーメントの和＝0 より

$W(3.0-x)-12\times3.0=0$　　……②

①，②式より　　$x=\mathbf{2.0\,m}$　　$W=\mathbf{36\,N}$

p. 93　問 41

(1)　引く力の大きさが F_0〔N〕のとき，下の図で点Aのまわりの力のモーメントの和 M〔N·m〕は 0 となる。



$M=F_0\times0.20-20\times0.050=0$

これより　$F_0=\mathbf{5.0\,N}$

(2)　(1)のとき，物体が水平面から受ける摩擦力の大きさ f〔N〕は，水平方向の力のつりあいより　$f=F_0=5.0\,\mathrm{N}$
(1)のときまでに，物体がすべりださないためには，f が最大摩擦力の大きさ以下であればよい。したがって

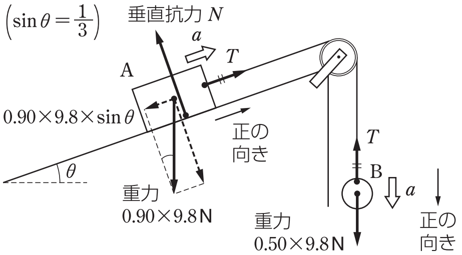
$f\leqq\mu_0\times20$　　よって　$5.0\leqq\mu_0\times20$

ゆえに　$\mu_0\geqq\mathbf{0.25}$

p. 92　演習 1

物体 A，B にはそれぞれ図のような力がはたらいている。このとき，A，B に生じる加速度の大きさは等しい。また，ひもがAを引く力の大きさとBを引く力の大きさは等しい。

$\left(\sin\theta=\frac{1}{3}\right)$



A については斜面方向上向きを正とし，運動方程式を立てると

$$0.90a=T-0.90\times9.8\times\frac{1}{3} \quad \cdots\cdots①$$

B については鉛直方向下向きを正とし，運動方程式を立てると

$$0.50a=0.50\times9.8-T \quad \cdots\cdots②$$

①式＋②式より

$$1.40a=0.20\times9.8$$

ゆえに　$a=1.4\,\mathrm{m/s^2}$

これを②式に代入して計算すると

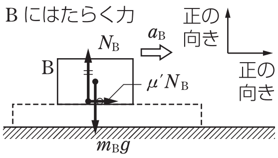
$$T=4.2\,\mathrm{N}$$

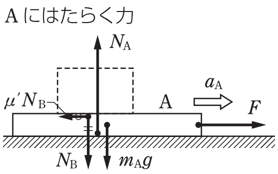
(1)　a の値は正となるので，A は斜面を**上昇する**。

(2)　加速度の大きさは $\mathbf{1.4\,m/s^2}$，引く力の大きさは **4.2N**

p. 92　演習 2

A が床面から受ける垂直抗力の大きさを N_A〔N〕，B が A から受ける垂直抗力の大きさを N_B〔N〕とする。B にはたらく N_B と A にはたらく N_B は，作用反作用の法則より，大きさは等しく向きは反対である。A と B の間の動摩擦力の大きさは $\mu' N_B$〔N〕である。B にはたらく $\mu' N_B$ と A にはたらく $\mu' N_B$ とは，作用反作用の法則より，大きさは等しく向きは反対である。





B にはたらく力について考える。水平方向の運動方程式は　$m_Ba_B=\mu' N_B$　……①

鉛直方向の力のつりあいより

$$N_B-m_Bg=0 \quad \cdots\cdots②$$

A の水平方向の運動方程式は

$$m_Aa_A=F-\mu' N_B \quad \cdots\cdots③$$

(1)　②式より　$N_B=m_Bg$

これを①式に代入して　$m_Ba_B=\mu' m_Bg$

よって　$a_B=\boldsymbol{\mu' g}$〔$\mathbf{m/s^2}$〕

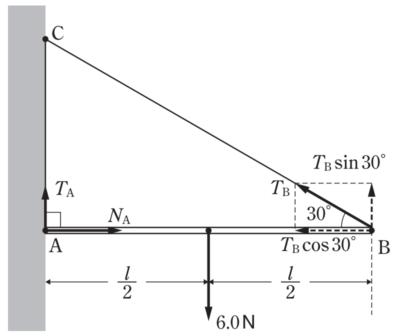
(2)　③式に $N_B=m_Bg$ を代入して

$$m_Aa_A=F-\mu' m_Bg$$

よって　$a_A=\dfrac{\boldsymbol{F-\mu' m_Bg}}{\boldsymbol{m_A}}$〔$\mathbf{m/s^2}$〕

p. 92　演習 3

棒 AB の長さを l〔m〕とする。棒 AB が受ける力は図のようになる。



水平方向の力のつりあいより

$$N_A-T_B\cos30°=0 \quad \cdots\cdots①$$

鉛直方向の力のつりあいより

$$T_A+T_B\sin30°-6.0=0 \quad \cdots\cdots②$$

点Aのまわりの力のモーメントの和が 0 なので

$$T_B\sin30°\times l-6.0\times\frac{l}{2}=0 \quad \cdots\cdots③$$

①，②，③式より　(1)　$T_B=\mathbf{6.0N}$

(2)　$T_A=\mathbf{3.0N}$　(3)　$N_A=6.0\times\dfrac{\sqrt{3}}{2}\fallingdotseq\mathbf{5.2N}$

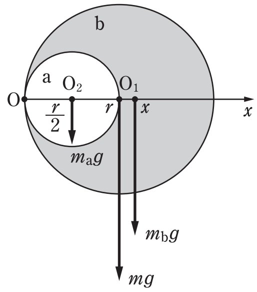
p. 93　演習 4

(1)　質量(あるいは重さ)は面積に比例する。半径 r の円板の面積 S_1 は

$$S_1=\pi r^2$$

半径 $\dfrac{r}{2}$ の円板の面積 S_2 は

$$S_2=\pi\left(\frac{r}{2}\right)^2=\frac{\pi r^2}{4}$$



b 部分の面積 S_3 は

$$S_3=S_1-S_2=\pi r^2-\frac{\pi r^2}{4}=\frac{3\pi r^2}{4}$$

a の質量 m_a は

$$m_a=m\cdot\frac{S_2}{S_1}=m\cdot\frac{\pi r^2/4}{\pi r^2}=\boldsymbol{\frac{m}{4}}$$

b の質量 m_b は

$$m_b=m\cdot\frac{S_3}{S_1}=m\cdot\frac{3\pi r^2/4}{\pi r^2}=\boldsymbol{\frac{3m}{4}}$$

(2) a 部分$\left(\text{重心の位置は } x=\dfrac{r}{2}\right)$と b 部分(重心の位置を x とする)の 2 つの部分からなるものの全体の重心の位置 x_G が，$x_G=r$ (点O_1) である。

「$x_G=\dfrac{m_1x_1+m_2x_2}{m_1+m_2}$」より

$$r=\frac{m_a\cdot\frac{r}{2}+m_bx}{m_a+m_b}=\frac{\frac{m}{4}\cdot\frac{r}{2}+\frac{3m}{4}\cdot x}{m}$$

$$=\frac{r}{8}+\frac{3x}{4}$$

ゆえに，x 軸上で $x=\boldsymbol{\dfrac{7r}{6}}$

p. 93　演習 5

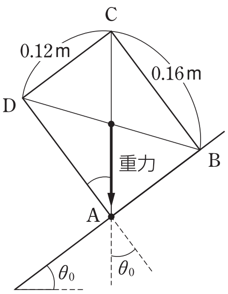
(1) 図より

$\sin\theta_0$

$=\dfrac{\mathrm{CD}}{\mathrm{AC}}$

$=\dfrac{0.12}{\sqrt{0.12^2+0.16^2}}$

$=\mathbf{0.60}$



(2) 斜面の傾きが θ_0 をこえるまで直方体がすべらないでいるためには，θ_0 が摩擦角になっていればよい。このときの直方体と斜面との間の静止摩擦係数を μ_0 とすると，$\mu_0=\tan\theta_0$ の関係があるので　$\mu_0=\tan\theta_0=\dfrac{0.12}{0.16}=0.75$

したがって，μ が **0.75** より小さいとき，直方体は斜面の傾きが θ_0 となる前に斜面をすべり始める。

第 3 章　仕事と力学的エネルギー

p. 95　問 42

「$W=Fx$」より

$$W=2.0\times6.0=\mathbf{12\,J}$$

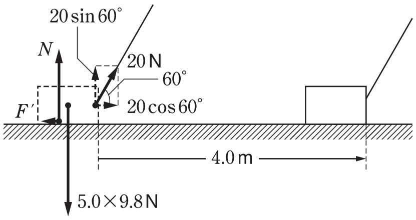
p. 96　問 43

「$W=Fx\cos\theta$」より

$$W=10\times2.0\times\cos30°=10\times2.0\times\frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\fallingdotseq\mathbf{17\,J}$$

p. 97　類題 17



「$W=Fx\cos\theta$」より

$$W_1=20\times4.0\times\cos60°=20\times4.0\times\frac{1}{2}$$

$$=\mathbf{40\,J}$$

垂直抗力を N〔N〕とすると，鉛直方向の力のつりあいより　$20\sin60°+N-5.0\times9.8=0$

よって　$N=(49-10\sqrt{3})$ N

「$F'=\mu'N$」，「$W=Fx\cos\theta$」より

$$W_2=0.25\times(49-10\sqrt{3})\times4.0\times\cos180°$$

$$\fallingdotseq\mathbf{-32\,J}$$

p. 98　問 44

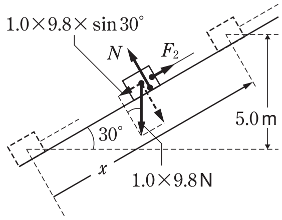
(1) ゆっくり持ち上げるので，鉛直方向の力のつりあいより

$$F_1-1.0\times9.8=0$$

よって　$F_1=\mathbf{9.8\,N}$

$$W_1=9.8\times5.0=\mathbf{49\,J}$$

(2) ゆっくり持ち上げるので，斜面に平行な方向の力はつりあっている。



$$F_2-1.0\times9.8\times\sin30°=0$$

よって　$F_2=\mathbf{4.9\,N}$

移動距離を x〔m〕とすると

$$x=\frac{5.0}{\sin30°}=10\,\mathrm{m}$$

$$W_2=F_2x=4.9\times10=\mathbf{49\,J}$$

p. 99　問 45

$W = 500 \times 9.8 \times 20 = \mathbf{9.8 \times 10^4\,J}$

「$P = \dfrac{W}{t}$」より

$$P = \frac{9.8 \times 10^4}{10} = \mathbf{9.8 \times 10^3\,W}$$

p. 101　問 46

「$K = \dfrac{1}{2}mv^2$」より

$$K = \frac{1}{2} \times (1.5 \times 10^3) \times 20^2 = \mathbf{3.0 \times 10^5\,J}$$

p. 102　問 47

「$\dfrac{1}{2}mv^2 - \dfrac{1}{2}mv_0{}^2 = W$」より

$$\frac{1}{2} \times 2.0 \times v^2 - \frac{1}{2} \times 2.0 \times 2.0^2 = 6.0 \times 10$$

よって　$v = \mathbf{8.0\,m/s}$

p. 104　問 48

(1)　地面からの高さ　$h = 4.0\,\mathrm{m}$　より

$$U = mgh = 2.5 \times 9.8 \times 4.0 = \mathbf{98\,J}$$

(2)　2 階の床を基準水平面とすると，物体の高さ　$h = 0\,\mathrm{m}$　となる。

$$U = mgh = 2.5 \times 9.8 \times 0 = \mathbf{0\,J}$$

(3)　3 階の床を基準水平面とすると，基準水平面よりも下にある物体の高さ　$h = -4.0\,\mathrm{m}$　となるから

$$U = mgh = 2.5 \times 9.8 \times (-4.0) = \mathbf{-98\,J}$$

p. 105　問 49

「$U = \dfrac{1}{2}kx^2$」より

$$U = \frac{1}{2} \times 50 \times 0.20^2 = \mathbf{1.0\,J}$$

p. 106　問 50

始点の位置エネルギー

$$U_A = 0.25 \times 9.8 \times 3.6\,\mathrm{J}$$

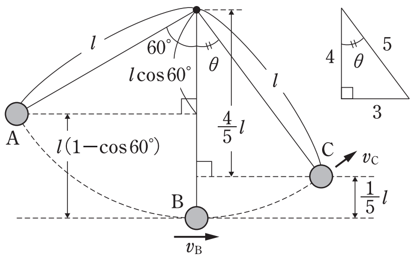
終点の位置エネルギー

$$U_B = 0.25 \times 9.8 \times 1.6\,\mathrm{J}$$

「$W_{AB} = U_A - U_B$」より

$$W_{AB} = 0.25 \times 9.8 \times (3.6 - 1.6) = \mathbf{4.9\,J}$$

p. 109　類題 18



おもりの質量を m〔kg〕，点 B の高さを重力による位置エネルギーの基準水平面とする。

点 A と点 B の間での力学的エネルギー保存則より

$$mgl(1 - \cos 60^\circ) = \frac{1}{2}mv_B{}^2$$

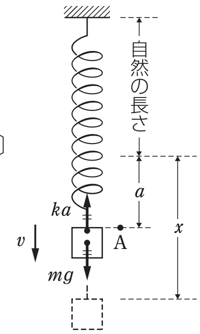
よって　$v_B = \boldsymbol{\sqrt{gl}}$〔m/s〕

点 A と点 C の間での力学的エネルギー保存則より

$$mgl(1 - \cos 60^\circ) = \frac{1}{2}mv_C{}^2 + mg \times \frac{1}{5}l$$

よって　$v_C = \boldsymbol{\sqrt{\dfrac{3gl}{5}}}$〔m/s〕

p. 110　類題 19



(1)　鉛直方向の力のつりあいより

$$ka - mg = 0$$

よって　$a = \boldsymbol{\dfrac{mg}{k}}$〔m〕

(2)　自然の長さの位置を，重力による位置エネルギーの基準水平面とすると，各点における力学的エネルギーは次の表のようになる。

点	運動エネルギー	重力による位置エネルギー	弾性力による位置エネルギー
自然の長さ	0	0	0
A	$\frac{1}{2}mv^2$	$-mga$	$\frac{1}{2}ka^2$
最下点	0	$-mgx$	$\frac{1}{2}kx^2$

自然の長さの点と点 A の間での力学的エネルギー保存則より

$$0 = \frac{1}{2}mv^2 - mga + \frac{1}{2}ka^2$$

よって　$v = \sqrt{2ga - \dfrac{k}{m}a^2}$

これに　$a = \dfrac{mg}{k}$　を代入して

$$v = \boldsymbol{g\sqrt{\frac{m}{k}}}〔\mathrm{m/s}〕$$

(3)　自然の長さの点と最下点の間での力学的エネルギー保存則より

$$0=-mgx+\frac{1}{2}kx^2$$

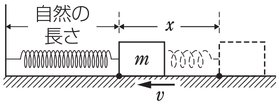
よって　$x=0,\ \dfrac{2mg}{k}$

最下点での伸びを表すのは $x=\dfrac{2mg}{k}$

$a=\dfrac{mg}{k}$ を代入して $\boldsymbol{x=2a}$〔m〕

p.112　類題 20

(1)　各点における力学的エネルギーは次の表のようになる。



点	運動エネルギー	弾性力による位置エネルギー
初めの点	0	$\frac{1}{2}kx^2$
自然の長さ	$\frac{1}{2}mv^2$	0

動摩擦力のする仕事は $W=-\mu' mgx$ であり，力学的エネルギーの変化がWに等しいので

$$\left(\frac{1}{2}mv^2+0\right)-\left(0+\frac{1}{2}kx^2\right)$$
$$=-\mu' mgx$$

よって　$v=\sqrt{\boldsymbol{\dfrac{kx^2}{m}-2\mu' gx}}$〔m/s〕

(2)　(1)で，$v=0$ となればよい。

$$v=\sqrt{\frac{kx^2}{m}-2\mu' gx}$$
$$=\sqrt{\frac{k}{m}x\left(x-\frac{2\mu' mg}{k}\right)}$$

よって　$x=0,\ \dfrac{2\mu' mg}{k}$

$x=0$ は不適。

ゆえに　$x=\boldsymbol{\dfrac{2\mu' mg}{k}}$〔m〕

p.116　問E

(1)　①，④，⑤

②　直線運動ではない。

③　加速度が途中で変化する。

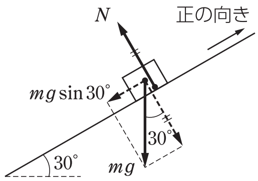
⑥　ばねの伸び縮みに応じて，合力Fが変化するため，加速度 $a=\dfrac{F}{m}$ も変化する。

(2)①　物体にはたらく力は重力だけなので

$$\boldsymbol{ma=-mg}$$

よって　$a=\boldsymbol{-g}$〔m/s²〕

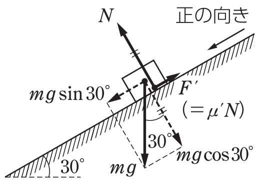
④　物体には重力 mg と垂直抗力Nがはたらいている。斜面方向の合力は $-mg\sin 30^\circ$ であるから



$$\boldsymbol{ma=-mg\sin 30^\circ}$$

よって　$a=\boldsymbol{-\dfrac{1}{2}g}$〔m/s²〕

⑤　物体には重力 mg，垂直抗力 N，動摩擦力 F' がはたらいている。



斜面方向の合力は

$$mg\sin 30^\circ-F'$$
$$=mg\sin 30^\circ-\mu' mg\cos 30^\circ$$

であるから

$$\boldsymbol{ma=mg\sin 30^\circ-\mu' mg\cos 30^\circ}$$

よって　$a=\boldsymbol{\dfrac{1-\sqrt{3}\,\mu'}{2}g}$〔m/s²〕

(3)　①，②，④，⑥

①，②，④　重力だけが仕事をしている。

⑥　重力と弾性力が仕事をしている。

③，⑤　非保存力の動摩擦力が仕事をしているから，力学的エネルギーは保存されない。

(4)①　$\boldsymbol{\dfrac{1}{2}mv_0{}^2=\dfrac{1}{2}mv^2+mgh}$

よって　$v=\sqrt{\boldsymbol{v_0{}^2-2gh}}$〔m/s〕

②　$\boldsymbol{\dfrac{1}{2}mv_0{}^2=\dfrac{1}{2}mv^2+mgh}$

よって　$v=\sqrt{\boldsymbol{v_0{}^2-2gh}}$〔m/s〕

④ $\dfrac{1}{2}mv_0^2+mgh=\dfrac{1}{2}mv^2$

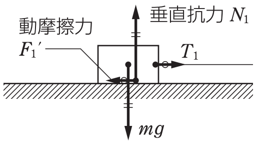
よって　$v=\sqrt{v_0^2+2gh}$〔m/s〕

⑥ $\dfrac{1}{2}mv_0^2+mgh+\dfrac{1}{2}kh^2=\dfrac{1}{2}mv^2$

よって　$v=\sqrt{v_0^2+2gh+\dfrac{kh^2}{m}}$〔m/s〕

p.117　演習1

(1) 物体の質量を m〔kg〕，ロープを引く力を T_1〔N〕，重力加速度の大きさを g〔m/s²〕とすると，一定の速さで移動しているので，T_1 と動摩擦力 $F_1'(=\mu' N_1)$ の大きさは等しい。



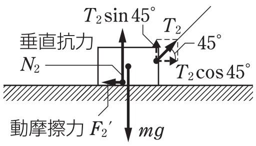
よって

$$T_1=\mu' N_1=\mu' mg$$
$$=0.40\times2.5\times9.8=9.8\,\mathrm{N}$$

「$P=Fv$」より　$P_1=9.8\times0.50=$ **4.9 W**

「$W=Pt$」より　$W=4.9\times20=$ **98 J**

(2) ロープを引く力を T_2〔N〕とすると，物体にはたらく力は図のようになる。



水平方向の力のつりあいより

$$T_2\cos45°-F_2'=0 \quad \cdots\cdots①$$

鉛直方向の力のつりあいより

$$T_2\sin45°+N_2-mg=0 \quad \cdots\cdots②$$

$F_2'=\mu' N_2$ を①式に代入して

$$T_2\cos45°-\mu' N_2=0 \quad \cdots\cdots③$$

②式より　$N_2=mg-T_2\sin45°$

これを③式に代入して

$$T_2\cos45°-\mu'(mg-T_2\sin45°)=0$$

よって

$$T_2(\cos45°+\mu'\sin45°)=\mu' mg$$

ゆえに

$$T_2=\frac{\mu' mg}{\cos45°+\mu'\sin45°}$$
$$=\frac{0.40\times2.5\times9.8}{1/\sqrt{2}+0.40\times(1/\sqrt{2})}$$
$$=7.0\sqrt{2}\,\mathrm{N}$$

「$P=Fv$」より

$$P_2=T_2\cos45°\times v$$
$$=7.0\sqrt{2}\times\frac{1}{\sqrt{2}}\times0.50=\mathbf{3.5\,W}$$

p.117　演習2

水平面を重力による位置エネルギーの基準水平面とすると，各点における力学的エネルギーは次の表のようになる。

点	運動エネルギー	弾性力による位置エネルギー	重力による位置エネルギー
初めの点	0	$\frac{1}{2}kx^2$	0
A	$\frac{1}{2}mv_A^2$	0	0
B	$\frac{1}{2}mv_B^2$	0	mgh

(1) 初めの点と点Aの間での力学的エネルギー保存則より

$$\frac{1}{2}kx^2=\frac{1}{2}mv_A^2$$

よって　$v_A=\boldsymbol{x\sqrt{\dfrac{k}{m}}}$〔m/s〕

(2) 初めの点と点Bの間での力学的エネルギー保存則より

$$\frac{1}{2}kx^2=\frac{1}{2}mv_B^2+mgh$$

よって　$v_B=\boldsymbol{\sqrt{\dfrac{kx^2}{m}-2gh}}$〔m/s〕

(3) x〔m〕が最小値 x_0〔m〕のとき，物体は点Bで静止する($v_B=0$)ので，(2)の力学的エネルギー保存則の式は

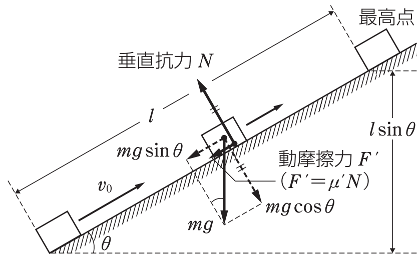
$\dfrac{1}{2}kx_0^2=mgh$　となる。

よって

$$x_0=\sqrt{\frac{2mgh}{k}}=\sqrt{\frac{2\times2.0\times9.8\times0.50}{40}}$$
$$=\mathbf{0.70\,m}$$

p.117　演習3

(1) 斜面の下端を通る水平面を，重力による位置エネルギーの基準水平面とする。



物体の質量を m〔kg〕とすると，初めの力学的エネルギー E_1 は

$$E_1=\frac{1}{2}mv_0^2$$

最高点での力学的エネルギー E_2 は

$$E_2=mgl\sin\theta$$

動摩擦力 F' のした仕事 W は

$$W=-F'l=-\mu' mg\cos\theta\cdot l$$

力学的エネルギーの変化が W に等しいので

$$E_2-E_1=W$$

$$mgl\sin\theta-\frac{1}{2}mv_0{}^2=-\mu' mg\cos\theta\cdot l$$

よって　$l=\dfrac{\boldsymbol{v_0{}^2}}{\boldsymbol{2g(\sin\theta+\mu'\cos\theta)}}$〔**m**〕

(2)　下端にもどってきたときの物体の速さを v'〔m/s〕とすると，そのときの力学的エネルギー E_3 は

$$E_3=\frac{1}{2}mv'^2$$

最高点から下端にもどるまでに動摩擦力のした仕事は，(1)と同じく W であるから

$$E_3-E_2=W$$

$$\frac{1}{2}mv'^2-mgl\sin\theta=-\mu' mg\cos\theta\cdot l$$

よって　$v'=\sqrt{2gl(\sin\theta-\mu'\cos\theta)}$

ここで，(1)の l を代入すると

$$v'=v_0\sqrt{\frac{\sin\theta-\mu'\cos\theta}{\sin\theta+\mu'\cos\theta}}$$

ゆえに　$\sqrt{\dfrac{\boldsymbol{\sin\theta-\mu'\cos\theta}}{\boldsymbol{\sin\theta+\mu'\cos\theta}}}$ **倍**

第4章　運動量の保存

p.118　問51

運動量の大きさ $mv=3.0\times1.5=$ **4.5 kg·m/s**

向きは**東向き**

p.119　問52

求める台車の速さを v'〔m/s〕とする。

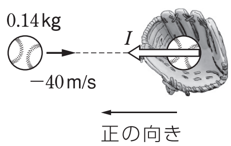
「$mv'-mv=F\Delta t$」より

$$2.0v'-2.0\times1.0=2.5\times0.40$$

よって　$v'=$ **1.5 m/s**

p.120　問53

図のように，ボールが受けた力積 I〔N·s〕の向きを正の向きとする。



(1)　運動量の変化＝力積　より

$$0-0.14\times(-40)=I$$

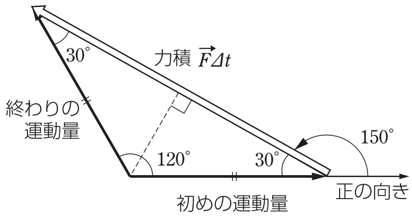
ゆえに　$I=$ **5.6 N·s**

(2)　求める平均の力の大きさを $\overline{F}$〔N〕，グラブとボールの接触時間を Δt〔s〕とすると，$I=\overline{F}\Delta t$　より

$$\overline{F}=\frac{I}{\Delta t}=\frac{5.6}{2.0\times10^{-2}}=\mathbf{2.8\times10^2\ N}$$

p.121　類題21

初めと終わりの運動量ベクトルと，力積ベクトル $\vec{F}\Delta t$〔N·s〕の関係は図のようになる。



図より，力積 $\vec{F}\Delta t$ の向きが正の向きとなす角度は **150°** である。

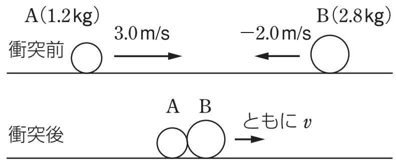
ボールの初めの運動量は 0.40×10 kg·m/s であるから，力積の大きさ $F\Delta t$ は

$$F\Delta t=(4.0\times\cos30°)\times2=4.0\times\sqrt{3}$$

$$\fallingdotseq \mathbf{6.9\ N\cdot s}$$

p.123　類題22

衝突前後の小球A，Bの速度は図のようになる。



運動量保存則より

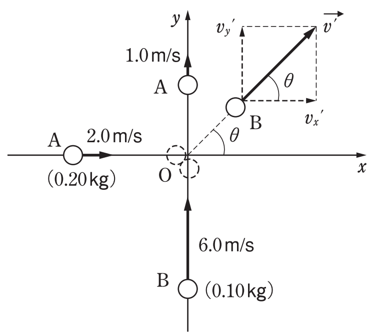
$$1.2\times3.0+2.8\times(-2.0)=(1.2+2.8)v$$

ゆえに　$v=$ **−0.50 m/s**

注）　v の負の符号は，速度が負の向きであることを表している。

p.125　類題23

図の x，y 軸それぞれの方向について運動量保存則の式を立てる。



衝突後のBの速度を $\vec{v'}$〔m/s〕とし，$\vec{v'}$ の x 成分，y 成分をそれぞれ v_x'，v_y'〔m/s〕とする。

x 成分について

$$0.20\times2.0=0.10v_x'$$

y 成分について

$$0.10\times6.0=0.20\times1.0+0.10v_y'$$

この両式から $v_x'=4.0\,\mathrm{m/s}$, $v_y'=4.0\,\mathrm{m/s}$

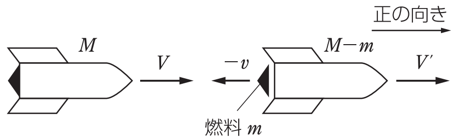
ゆえに $v'=\sqrt{v_x'^2+v_y'^2}=\sqrt{4.0^2+4.0^2}$

$$=4.0\sqrt{2}\fallingdotseq\mathbf{5.6\,m/s}$$

また，$\vec{v'}$ の向きが x 軸の正の向きとなす角 θ は次の関係を満たす。

$$\tan\theta=\frac{v_y'}{v_x'}=\frac{4.0}{4.0}=1.0 \qquad \text{ゆえに}\quad \theta=\mathbf{45°}$$

p. 127　類題 24



ロケットの進む向きを正とする。

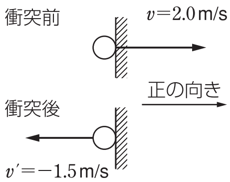
運動量保存則より

$$MV=-mv+(M-m)V'$$

よって $V'=\boldsymbol{\dfrac{MV+mv}{M-m}}$ 〔m/s〕

p. 128　問 54

衝突前後の小球の速度を v, v'〔m/s〕とすると

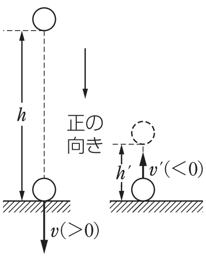


$$e=\frac{|v'|}{|v|}=-\frac{v'}{v}$$

より $e=-\dfrac{v'}{v}=-\dfrac{(-1.5)}{2.0}=\mathbf{0.75}$

p. 128　問 55

机の面からの高さを h, はね上がる高さを h', 衝突前後の小球の速度を v, v' とすると



$$e=-\frac{v'}{v}=\sqrt{\frac{h'}{h}}$$

よって

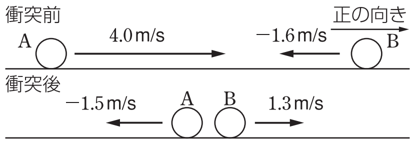
$$0.50=\sqrt{\frac{h'}{80}} \qquad \text{ゆえに}\quad h'=\mathbf{20\,cm}$$

注） 力学的エネルギー保存則より，重力加速度の大きさを g とすると

$$v=\sqrt{2gh},\ v'=-\sqrt{2gh'}$$

p. 131　問 56

衝突前の物体Aの進む向きを正とする。

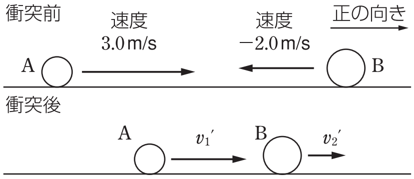


「$e=-\dfrac{v_1'-v_2'}{v_1-v_2}$」より

$$e=-\frac{(-1.5)-1.3}{4.0-(-1.6)}=\frac{2.8}{5.6}=\mathbf{0.50}$$

p. 131　類題 25

運動量保存則の式と反発係数の式から，衝突後の小球 A, B の速度 v_1', v_2'〔m/s〕を求める。



運動量保存則より

$$0.050\times3.0+0.10\times(-2.0)$$
$$=0.050v_1'+0.10v_2' \qquad \cdots\cdots①$$

反発係数の式より

$$0.80=-\frac{v_1'-v_2'}{3.0-(-2.0)} \qquad \cdots\cdots②$$

①式より $v_1'+2.0v_2'=-1.0$

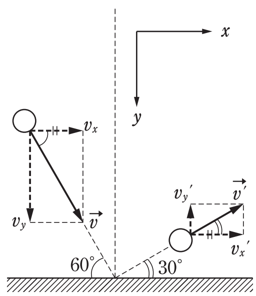
②式より $v_1'-v_2'=-4.0$

これら 2 式より $v_1'=\mathbf{-3.0\,m/s}$

$v_2'=\mathbf{1.0\,m/s}$

p. 132　類題 26

図のように x, y 軸を定める。衝突直前の小球の速度の大きさを v〔m/s〕とすると，速度の x 成分，y 成分は



$$v_x=v\cos60°=\frac{1}{2}v$$

$$v_y=v\sin60°=\frac{\sqrt{3}}{2}v$$

衝突直後の小球の速度の x 成分，y 成分を v_x', v_y'〔m/s〕とすると

「$v_x'=v_x$」より $v_x'=\dfrac{1}{2}v$

「$v_y'=-ev_y$」より $v_y'=-e\times\dfrac{\sqrt{3}}{2}v$

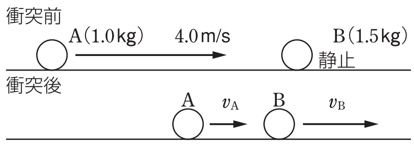
よって　$\tan 30° = \dfrac{|v_y'|}{v_x'}$

$= \sqrt{3}\,e = \dfrac{1}{\sqrt{3}}$

ゆえに　$e = \mathbf{\dfrac{1}{3}}$

p.134　類題 27

衝突後の小球 A，B の速度をそれぞれ v_A，v_B〔m/s〕とする。



運動量保存則より

$1.0 \times 4.0 = 1.0 v_A + 1.5 v_B$　……①

反発係数の式より

$0.25 = -\dfrac{v_A - v_B}{4.0}$　……②

①，②式より　$v_A = 1.0$ m/s，$v_B = 2.0$ m/s

衝突前後の 2 球の力学的エネルギーの和をそれぞれ E_1，E_2〔J〕とすると

$E_1 = \dfrac{1}{2} \times 1.0 \times 4.0^2 = 8.0$ J

$E_2 = \dfrac{1}{2} \times 1.0 \times 1.0^2 + \dfrac{1}{2} \times 1.5 \times 2.0^2 = 3.5$ J

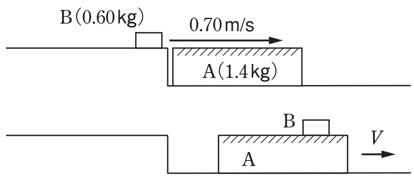
したがって

$\Delta E = E_2 - E_1 = 3.5 - 8.0 = \mathbf{-4.5}$ **J**

(4.5 J 減少)

p.135　演習 1

運動量保存則より，一体となった後のBとAの速さ V〔m/s〕を求める。



(1)　運動量保存則より

$0.60 \times 0.70 = (0.60 + 1.4) V$

よって　$V = \mathbf{0.21}$ **m/s**

(2)　小物体Bが失った運動量の大きさは

$0.60 \times 0.70 - 0.60 \times 0.21$

$= 0.294$ kg・m/s

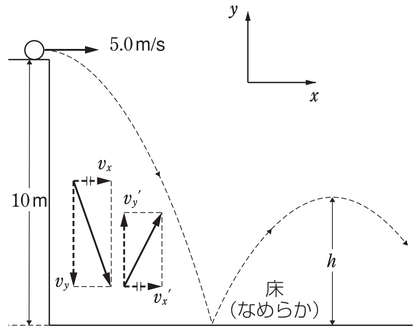
動摩擦力の大きさは

$0.25 \times (0.60 \times 9.8) = 1.47$ N であるから，動摩擦力が小物体Bに与えた力積の大きさは　$1.47 \times \Delta t$　となる。

よって　$0.294 = 1.47 \times \Delta t$

ゆえに　$\Delta t = \dfrac{0.294}{1.47} = \mathbf{0.20}$ **s**

p.135　演習 2



(1)　床面に達するまでの小球の鉛直方向の運動は，自由落下運動である。床面に達するまでの時間を t〔s〕とすると

$10 = \dfrac{1}{2} \times 9.8 \times t^2$　より　$t = \dfrac{10}{7}$ s

したがって，床面に達する直前の速さは

$9.8 \times \dfrac{10}{7} = 14$ m/s

y 軸は鉛直上向きであるから

$v_y = \mathbf{-14}$ **m/s**

水平投射では水平方向の速度成分は変わらないので，床面に達する直前の速度の x 成分　$v_x = \mathbf{5.0}$ **m/s**

(2)　床面はなめらかであるから衝突の際に速度の x 成分は変わらない。したがって

$v_x' = v_x = \mathbf{5.0}$ **m/s**

また　$v_y' = -e v_y = -0.70 \times (-14)$

$= \mathbf{9.8}$ **m/s**

(3)　はねかえった後，小球の鉛直方向の運動は初速度　$v_0 = 9.8$ m/s　の鉛直投げ上げ運動である。最高点での上昇速度は 0 m/s であるから

$0^2 - 9.8^2 = 2 \times (-9.8) \times h$

よって　$h = \mathbf{4.9}$ **m**

p. 135　演習 3

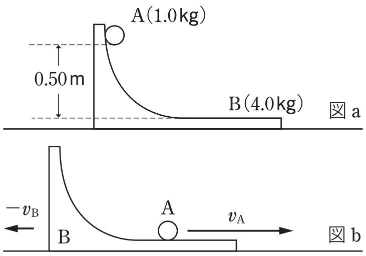


図 a と図 b の間で力学的エネルギー保存則が成りたつから

$$1.0\times9.8\times0.50$$
$$=\frac{1}{2}\times1.0\times{v_A}^2+\frac{1}{2}\times4.0\times{v_B}^2 \quad\cdots\cdots①$$

運動量保存則より

$$0=1.0\times v_A+4.0\times(-v_B) \quad\cdots\cdots②$$

①，②式より

$v_A=$**2.8m/s**，$v_B=$**0.70m/s**

第 5 章　円運動と万有引力

p. 137　問 57

$t=5.0$ s 間で，$\theta=180°=\pi$rad だけ回転したので，半径 $r=8.0$m より

角速度 $\omega=\frac{\theta}{t}=\frac{\pi}{5.0}=0.20\pi\fallingdotseq$ **0.63rad/s**

速さ $v=r\omega=8.0\times0.20\pi\fallingdotseq$ **5.0m/s**

p. 138　問 58

$T=\frac{1\text{ 分間}}{15\text{ 回転}}=\frac{60\text{ s}}{15\text{ 回転}}=$ **4.0s**

$n=\frac{1}{T}=\frac{1}{4.0}=$ **0.25Hz**

$\omega=\frac{2\pi}{T}=\frac{2\pi}{4.0}=0.50\pi\fallingdotseq$ **1.6rad/s**

$v=r\omega=0.40\times0.50\pi\fallingdotseq$ **0.63m/s**

p. 139　問 59

半径 $r=5.0\times10^2$m，速さ $v=60$m/s より

$\omega=\frac{v}{r}=\frac{60}{5.0\times10^2}=$ **0.12rad/s**

$a=v\omega=60\times0.12=$ **7.2m/s²**

p. 140　問 60

向心力の大きさ $F=mr\omega^2$ より，質量と半径を変えずに角速度 ω を 2 倍にすると，それに必要な F は **4 倍**となる。

向心力の大きさ $F=m\frac{v^2}{r}$ より，質量と半径を変えずに速さ v を 2 倍にすると，それに必要な F は **4 倍**となる。

p. 141　類題 28

(1)　物体にはたらく静止摩擦力が向心力のはたらきをしているので

$F=mr\omega^2=2.0\times0.20\times1.5^2=$ **0.90N**

(2)　すべり始める直前，向心力の大きさは最大摩擦力の大きさ F_0 となっている。

$F_0=\mu N=\mu mg=0.25\times2.0\times9.8$
$=4.9$N

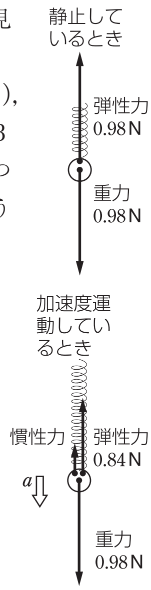
したがって　$mr{\omega_{max}}^2=F_0$ より

$2.0\times0.20\times{\omega_{max}}^2=4.9$

よって　$\omega_{max}=$ **3.5rad/s**

p. 144　類題 29

(1)　エレベーター内の人から見たとき，物体には，重力(下向き)，弾性力(上向き)，慣性力(向きは不明)の 3 力がはたらき，これらがつりあって静止しているように見える。



重力の大きさは

$0.10\times9.8=0.98$N

弾性力の大きさは

$20\times0.042=0.84$N

だから，慣性力は**鉛直上向き**にはたらき，その大きさは

$F=0.98-0.84$
$=$ **0.14N**

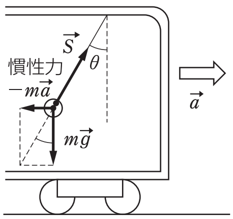
(2)　エレベーターの加速度の向きは慣性力の向きと逆向きであるから，**鉛直下向き**である。エレベーター外の静止した場所から見て，物体についての運動方程式を立てると(下向きを正とする)

$0.10a=0.98-0.84$

よって　$a=$ **1.4m/s²**

p. 145　類題 30

地上の人から見た電車の加速度を $\vec{a}$ とする。電車内の人から見た立場で考えると，おもりには，重力 $m\vec{g}$，ひもが引く力 $\vec{S}$，慣性力 $-m\vec{a}$ の 3 力がはたらき，これらがつりあって静止しているように見える。



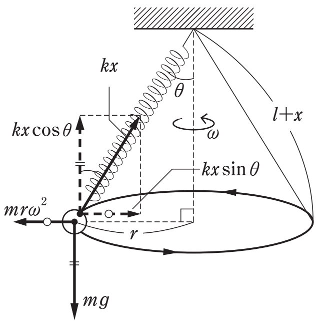
(1)　図より　$\tan\theta=\dfrac{ma}{mg}=\boldsymbol{\dfrac{a}{g}}$

(2)　$S^2=(mg)^2+(ma)^2$

　よって　$S=\boldsymbol{m\sqrt{g^2+a^2}}$〔N〕

p.147　類題 31

小球とともに回転する立場で考える。等速円運動の半径を r〔m〕とすると，小球にはたらく力は，重力 mg〔N〕，ばねの弾性力 kx〔N〕，遠心力 $mr\omega^2$〔N〕であり，これらがつりあって静止しているように見える。よって，水平方向，鉛直方向の力のつりあいの式は次のようになる。



水平方向：$kx\sin\theta-mr\omega^2=0$　……①

鉛直方向：$kx\cos\theta-mg=0$　……②

②式より　$x=\boldsymbol{\dfrac{mg}{k\cos\theta}}$〔m〕

$r=(l+x)\sin\theta$ より，これと x の式を①式に代入すると

$$k\sin\theta\cdot\frac{mg}{k\cos\theta}-m\left(l+\frac{mg}{k\cos\theta}\right)\sin\theta\cdot\omega^2=0$$

$$\frac{\sin\theta}{\cos\theta}mg-\frac{m(kl\cos\theta+mg)\sin\theta}{k\cos\theta}\cdot\omega^2=0$$

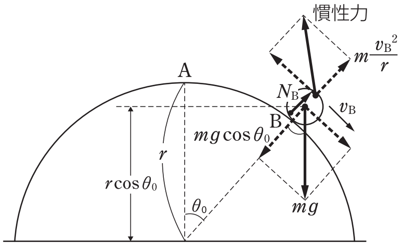
よって　$\omega=\boldsymbol{\sqrt{\dfrac{kg}{kl\cos\theta+mg}}}$〔rad/s〕

p.150　類題 32

床を含む水平面を重力による位置エネルギーの基準水平面とする。点Bでの小球の速さを v_B〔m/s〕，重力加速度の大きさを g〔m/s²〕とすると，点Aと点B間での力学的エネルギー保存則より

$$mgr=\frac{1}{2}mv_B^2+mgr\cos\theta_0$$

よって　$v_B=\sqrt{2gr(1-\cos\theta_0)}$　……①



小球とともに回転する立場で考えると，点Bで小球には重力，垂直抗力，慣性力がはたらく。垂直抗力の大きさを N_B〔N〕とすると，半円筒の中心方向にはたらく力のつりあいより

$$m\frac{v_B^2}{r}+N_B-mg\cos\theta_0=0 \quad ……②$$

①，②式より　$N_B=mg(3\cos\theta_0-2)$

点Bで小球は円筒面を離れたので，$N_B=0$ と考えられる。よって　$\cos\theta_0=\boldsymbol{\dfrac{2}{3}}$

p.152　問 61

$x=0.50\sin 4.0\pi t$ と $x=A\sin\omega t$ の係数を比較して

振幅 $A=$**0.50 m**

また，角振動数 $\omega=4.0\pi$ rad/s より

周期 $T=\dfrac{2\pi}{\omega}=\dfrac{2\pi}{4.0\pi}=$**0.50 s**

振動数 $f=\dfrac{1}{T}=$**2.0 Hz**

p.153　問 62

(1)　$x=2.0\sin 0.40t$ と $x=A\sin\omega t$ の係数を比較して

振幅 $A=2.0$ m

角振動数 $\omega=0.40$ rad/s

よって，時刻 t〔s〕における速度 v〔m/s〕は

$$v=A\omega\cos\omega t$$
$$=2.0\times0.40\cos0.40t$$
$$=\boldsymbol{0.80\cos0.40t} \quad ……①$$

また，時刻 t〔s〕における加速度 a〔m/s²〕は

$$a=-A\omega^2\sin\omega t$$
$$=-2.0\times0.40^2\sin0.40t$$
$$=\boldsymbol{-0.32\sin0.40t} \quad ……②$$

解答編

(2)　速度が最大となるのは①式より

$0.40t=2\pi n$（n は整数）のときである。

このとき　$x_1=2.0\sin 2\pi n=\mathbf{0\,m}$

$a_1=-0.32\sin 2\pi n=\mathbf{0\,m/s^2}$

(3)　加速度が最大となるのは②式より

$0.40t=\dfrac{3\pi}{2}+2\pi n$（$n$ は整数）のときである。

このとき　$x_2=2.0\sin\left(\dfrac{3\pi}{2}+2\pi n\right)$

$=\mathbf{-2.0\,m}$

$v_2=0.80\cos\left(\dfrac{3\pi}{2}+2\pi n\right)=\mathbf{0\,m/s}$

p. 154　問 63

$F=-30x$ は復元力であり　$K=30\,\mathrm{N/m}$

よって　角振動数 $\omega=\sqrt{\dfrac{K}{m}}=\sqrt{\dfrac{30}{0.30}}$

$=\mathbf{10\,rad/s}$

周期 $T=\dfrac{2\pi}{\omega}=\dfrac{2\pi}{10}\fallingdotseq\mathbf{0.63\,s}$

p. 155　問 64

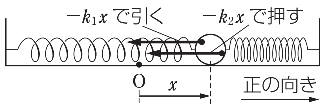
単振動の周期の式 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{m}{K}}$ の K を，

$K=50\,\mathrm{N/m}$ として　$T=2\pi\sqrt{\dfrac{2.0}{50}}=\dfrac{2\pi}{5}$

$\fallingdotseq\mathbf{1.3\,s}$

p. 155　問 65

小球の静止の位置を原点Oとし，右向きを正の向きとする。



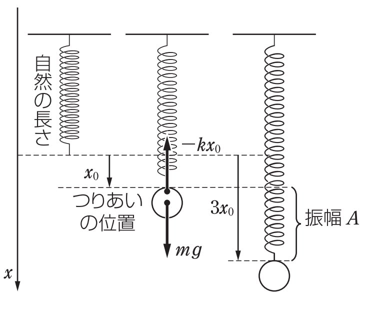
小球にはたらく力 F〔N〕は，変位が x〔m〕のとき　$F=-k_1x-k_2x=-(k_1+k_2)x$ となるから，単振動をする。

周期 $T=\boldsymbol{2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k_1+k_2}}}$〔s〕

p. 157　類題 33

(1)　つりあいの位置での力のつりあいより

$-kx_0+mg=0$　よって $x_0=\boldsymbol{\dfrac{mg}{k}}$〔m〕



(2)　小球はつりあいの位置を中心として単振動をする。よって

$A=3x_0-x_0=2x_0=\boldsymbol{\dfrac{2mg}{k}}$〔m〕

$T=\boldsymbol{2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}}$〔s〕

$v=A\omega=A\dfrac{2\pi}{T}=\dfrac{2mg}{k}\sqrt{\dfrac{k}{m}}$

$=\boldsymbol{2g\sqrt{\dfrac{m}{k}}}$〔m/s〕

p. 158　問 66

「$T=2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g}}$」より

$T=2\pi\sqrt{\dfrac{5.0}{9.8}}=2\pi\sqrt{\dfrac{25}{49}}=\dfrac{10\pi}{7}\fallingdotseq\mathbf{4.5\,s}$

p. 158　問 67

地球上と月面での重力加速度の大きさをそれぞれ g，g'〔m/s²〕とし，単振り子の地球上と月面での周期をそれぞれ T，T'〔s〕とすると

$T=2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g}}$

$T'=2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g'}}=2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g/6}}=2\pi\sqrt{\dfrac{6l}{g}}$

したがって　$\dfrac{T'}{T}=\sqrt{6}$　よって　$\boldsymbol{\sqrt{6}}$ **倍**

p. 162　問 68

点 Q，P での物体の速さをそれぞれ v_Q，v_P とし，太陽から点 Q，P までの距離をそれぞれ r_Q，r_P とする。点Qと点Pにおける面積速度が等しいから

$\dfrac{1}{2}r_\mathrm{Q}v_\mathrm{Q}\sin 90°=\dfrac{1}{2}r_\mathrm{P}v_\mathrm{P}\sin 90°$

したがって　$\dfrac{r_\mathrm{Q}}{r_\mathrm{P}}=\dfrac{v_\mathrm{P}}{v_\mathrm{Q}}$

$\dfrac{r_\mathrm{Q}}{r_\mathrm{P}}=\dfrac{2.5}{1.5}$ であるから

$\dfrac{v_\mathrm{Q}}{v_\mathrm{P}}=\dfrac{r_\mathrm{P}}{r_\mathrm{Q}}=\dfrac{1.5}{2.5}=0.60$　よって　**0.60倍**

p. 162　問 69

ハレー彗星と地球の公転周期をそれぞれ T_H，T_E（＝1.0 年）とし，軌道だ円の長半径（半長軸の長さ）をそれぞれ r_H（＝18 天文単位），r_E（＝1.0 天文単位）とすると，ケプラーの第三法則「$\dfrac{T^2}{r^3}=k$（k は定数）」より

$\dfrac{{T_\mathrm{H}}^2}{{r_\mathrm{H}}^3}=\dfrac{{T_\mathrm{E}}^2}{{r_\mathrm{E}}^3}$

数値を代入して　$\dfrac{T_H{}^2}{18^3}=\dfrac{1.0^2}{1.0^3}$

よって　$T_H=\sqrt{18^3}=\sqrt{(2\times3^2)^3}$

$=\sqrt{2^3\times(3^3)^2}=54\sqrt{2}\fallingdotseq$ **76年**

p. 163　問 70

$$F=G\frac{m_1m_2}{r^2}$$

$$=(6.7\times10^{-11})\times\frac{(2.0\times10^{30})\times(6.0\times10^{24})}{(1.5\times10^{11})^2}$$

$\fallingdotseq$ **3.6×10^{22} N**

p. 165　類題 34

人工衛星の質量を m〔kg〕，地球の質量を M〔kg〕，等速円運動の角速度を ω〔rad/s〕，万有引力定数を G〔N・m²/kg²〕とする。万有引力が向心力となっているので，運動方程式「$mr\omega^2=F$」，および万有引力の式

「$F=G\dfrac{m_1m_2}{r^2}$」より

$$mr\omega^2=G\frac{mM}{r^2}$$

よって　$r^3=\dfrac{GM}{\omega^2}$　……①

「$T=\dfrac{2\pi}{\omega}$」　より　$T^2=\dfrac{4\pi^2}{\omega^2}$　……②

①，②式より　$\dfrac{T^2}{r^3}=\dfrac{4\pi^2}{\omega^2}\cdot\dfrac{\omega^2}{GM}=\dfrac{4\pi^2}{GM}$

「$GM=gR^2$」　より

$$k=\frac{4\pi^2}{GM}=\boldsymbol{\frac{4\pi^2}{gR^2}}\text{〔s}^2/\text{m}^3\text{〕}$$

p. 169　類題 35

(1)　人工衛星の速さを v〔m/s〕として，運動方程式を立てると

$$m\frac{v^2}{r}=G\frac{Mm}{r^2}$$

これより　$v=\sqrt{\dfrac{GM}{r}}$

よって

$$K=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}m\cdot\frac{GM}{r}=\boldsymbol{G\frac{Mm}{2r}}\text{〔J〕}$$

$$U=\boldsymbol{-G\frac{Mm}{r}}\text{〔J〕}$$

(2)　無限の遠方で人工衛星の力学的エネルギーが 0 J になればよいから

$$G\frac{Mm}{2r}+\left(-G\frac{Mm}{r}\right)+E=0$$

よって　$E=\boldsymbol{G\dfrac{Mm}{2r}}$〔J〕

p. 171　演習 1

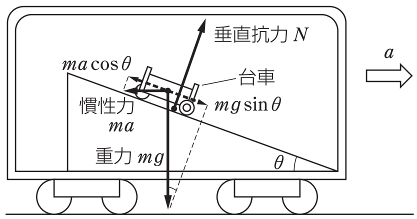
このときの小球の円運動の半径を r〔m〕とすると，運動方程式は　$mr\omega^2=F$ である。この式に $m=0.50$ kg，$r=(0.10+x)$〔m〕，$\omega=6.0$ rad/s，$F=kx=30x$〔N〕を代入して

$$0.50\times(0.10+x)\times6.0^2=30x$$

よって　$x=$ **0.15 m**

p. 171　演習 2

(1)　台車の質量を m〔kg〕とする。車内の人から見ると，台車には重力 mg〔N〕，慣性力 ma〔N〕，斜面からの垂直抗力 N〔N〕の 3 力がはたらいている。



斜面方向の力の成分の和は $(mg\sin\theta-ma\cos\theta)$〔N〕である。

したがって，運動方程式は

$$ma'=mg\sin\theta-ma\cos\theta$$

よって　$a'=\boldsymbol{g\sin\theta-a\cos\theta}$〔m/s²〕

(2)　車内の人から見て，台車が静止しているように見えるときは $a'=0$ であり，このときの電車の加速度 a が求める a_0 である。

$$a'=g\sin\theta-a_0\cos\theta=0$$

よって　$a_0=\dfrac{g\sin\theta}{\cos\theta}=\boldsymbol{g\tan\theta}$〔m/s²〕

p. 171　演習 3

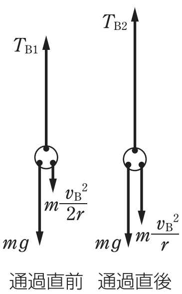
点Bの高さを重力による位置エネルギーの基準水平面とする。

(1)　点Aと点Bの間での力学的エネルギー保存則より

$$mg\times2r=\frac{1}{2}mv_B{}^2$$

よって　$v_B=\boldsymbol{2\sqrt{gr}}$〔m/s〕

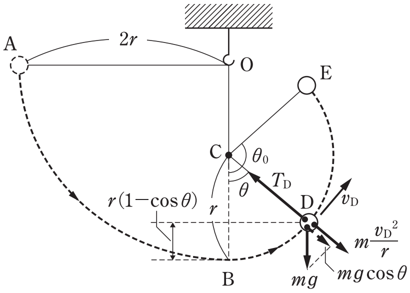
(2)　小球とともに回転する立場で考えると，点Bを通る直前に小球に現れる遠心力は下向きに大きさ $m\dfrac{v_B{}^2}{2r}$〔N〕で，点 B を通過した直後に



$m\dfrac{v_B{}^2}{r}$〔N〕となる。力のつりあいより

$$T_{B1}=mg+m\frac{v_B{}^2}{2r}=mg+m\frac{4gr}{2r}$$
$$=\boldsymbol{3mg}\text{〔N〕}$$
$$T_{B2}=mg+m\frac{v_B{}^2}{r}=mg+m\frac{4gr}{r}$$
$$=\boldsymbol{5mg}\text{〔N〕}$$

(3)



点Bを基準とした点Dの高さは

$$r-r\cos\theta=r(1-\cos\theta)$$

であるから，点Aと点Dの間での力学的エネルギー保存則より

$$mg\times2r=mgr(1-\cos\theta)+\frac{1}{2}mv_D{}^2$$

よって　$v_D=\boldsymbol{\sqrt{2gr(1+\cos\theta)}}$〔m/s〕

力のつりあいより

$$T_D=m\frac{v_D{}^2}{r}+mg\cos\theta$$
$$=2mg(1+\cos\theta)+mg\cos\theta$$
$$=\boldsymbol{mg(2+3\cos\theta)}\text{〔N〕}$$

(4)　小球が点Eに達したとき，糸が引く力が0となるから　$mg(2+3\cos\theta_0)=0$

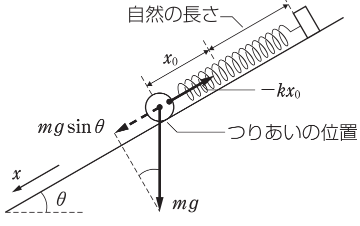
よって　$\cos\theta_0=\boldsymbol{-\dfrac{2}{3}}$

p.172　演習 4

(1)　小球にはたらく重力の斜面方向の成分は $mg\sin\theta$〔N〕で，これとばねの弾性力(大きさ kx_0〔N〕)がつりあっているので

$$mg\sin\theta-kx_0=0$$

よって　$x_0=\boldsymbol{\dfrac{mg\sin\theta}{k}}$〔m〕



(2)　$F=mg\sin\theta-kx=kx_0-kx$
$$=\boldsymbol{-k(x-x_0)}\text{〔N〕}$$

(3)　(2)で求めた F の式から，このときの小球の運動は $x=x_0$〔m〕を振動の中心とし，振幅 x_0〔m〕，周期　$T=\boldsymbol{2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}}$〔s〕の単振動であることがわかる。

速さが最大となるのは，小球が振動の中心を通過するときであるから

$$v_{max}=x_0\omega=x_0\frac{2\pi}{T}$$
$$=\boldsymbol{x_0\sqrt{\frac{k}{m}}}\text{〔m/s〕}$$

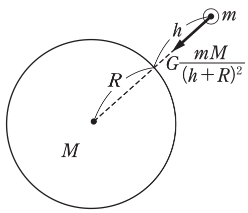
p.172　演習 5

(1)　静止衛星は，地球の自転と同じ周期(1日)で公転するため，地上から見ると静止しているように見える。

1日＝24時間＝1440分

であるから，**C**が静止衛星である。

(2)　等速円運動の半径 r〔m〕は，地球の中心からの距離であるから



$r=h+R$〔m〕

と表される。(ア)　$\boldsymbol{h+R}$

等速円運動の角速度を ω〔rad/s〕とすると，等速円運動の運動方程式「$mr\omega^2=F$」，および万有引力の式「$F=G\dfrac{mM}{r^2}$」より

$$m\cdot(h+R)\cdot\omega^2=G\frac{mM}{(h+R)^2}$$

これに $\omega=\dfrac{2\pi}{T}$ を代入すると

$$m\cdot(h+R)\cdot\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2=G\frac{Mm}{(h+R)^2}$$
……①

(イ)　$\boldsymbol{\left(\dfrac{2\pi}{T}\right)^2}$　　(ウ)　**2**

①式を整理すると

$$\frac{T^2}{(h+R)^3}=\frac{4\pi^2}{GM}$$
……②

(エ)　**2**　　(オ)　**3**　　(カ)　$\boldsymbol{\dfrac{4\pi^2}{GM}}$

②式の右辺と地球の半径 R は定数であるから，公転周期 T は地上からの高さ h だけで決まる。また，h が小さいほど T は短くなる。(キ)　**②**

(3) ②式より $\dfrac{T^2}{r^3}=$一定 となる。人工衛星A，B，C の等速円運動の半径をそれぞれ r_A，r_B，r_C〔km〕とすると

$$r_A=(5.5\times10^2)+(6.38\times10^3)$$
$$=6.93\times10^3\,\mathrm{km}$$

人工衛星AとBについて

$$\frac{96^2}{(6.93\times10^3)^3}=\frac{720^2}{r_B{}^3}$$

$$r_B=\left(\frac{720}{96}\right)^{\frac{2}{3}}\times(6.93\times10^3)$$
$$=\left(\frac{15}{2}\right)^{\frac{2}{3}}\times(6.93\times10^3)$$
$$=\frac{6.1}{1.6}\times(6.93\times10^3)$$
$$\fallingdotseq2.64\times10^4\,\mathrm{km}$$

$$h_B=r_B-R=(2.64\times10^4)-(6.38\times10^3)$$
$$\fallingdotseq\mathbf{2.0\times10^4\,km}$$

人工衛星AとCについて

$$r_C=\left(\frac{1440}{96}\right)^{\frac{2}{3}}\times(6.93\times10^3)$$
$$=15^{\frac{2}{3}}\times(6.93\times10^3)$$
$$=6.1\times(6.93\times10^3)\fallingdotseq4.23\times10^4\,\mathrm{km}$$

$$h_C=r_C-R=(4.23\times10^4)-(6.38\times10^3)$$
$$\fallingdotseq\mathbf{3.6\times10^4\,km}$$

第２編　熱と気体

第１章 熱と物質

p.187　問１

「$T=t+273$」より

$$T=15+273=\mathbf{288\,K}$$
$$300=t+273\quad よって\quad t=\mathbf{27\,^\circ C}$$

p.189　問２

「$Q=C\varDelta t$」より

$$C=\frac{Q}{\varDelta t}=\frac{500}{20}=\mathbf{25\,J/K}$$

p.189　問３

「$Q=mc\varDelta T$」より

$$1.8\times10^3=100\times c\times(60-20)$$

よって　$c=\dfrac{1.8\times10^3}{100\times(60-20)}$

$$=\mathbf{0.45\,J/(g\cdot K)}$$

p.189　問４

比熱が大きい物質は小さい物質に比べ，同じ熱量の出し入れがあった際の温度の変動が小さい。すなわち，比熱の大きい水は，「**温まりにくく冷めにくい**」物質であるといえる。

p.190　類題１

熱量の保存より

$$100\times c\times(100-30)$$
$$=(84+120\times4.2)\times(30-20)$$

よって　$c=\mathbf{0.84\,J/(g\cdot K)}$

p.192　問５

$20\times(3.3\times10^2)=\mathbf{6.6\times10^3\,J}$

p.192　問６

$30\times(2.3\times10^3)=\mathbf{6.9\times10^4\,J}$

p.195　問７

走っていたトラックの運動エネルギー $\dfrac{1}{2}mv^2$ が，すべて熱量 Q に変わる。

$$Q=\frac{1}{2}\times(4.2\times10^3)\times10^2=\mathbf{2.1\times10^5\,J}$$

p.195　演習１

(1)「$Q=mc\varDelta T$」より

$$Q_1=14.0\times2.10\times\{0-(-10.0)\}$$
$$=\mathbf{2.94\times10^2\,J}$$

(2) $Q_2=14.0\times(3.30\times10^2)=\mathbf{4.62\times10^3\,J}$

(3) 熱平衡の状態になるまでに水が失った熱

量は $36.0\times4.20\times(50.0-t)$

氷が得た熱量は

$$Q_1+Q_2+14.0\times4.20\times(t-0)$$

これらが等しいので

$$36.0\times4.20\times(50.0-t)$$
$$=(2.94\times10^2)+(4.62\times10^3)+14.0\times4.20\times(t-0)$$

よって

$$t=\frac{(7.56\times10^3)-(2.94\times10^2)-(4.62\times10^3)}{210}$$
$$=\mathbf{12.6\,°C}$$

p.195　演習 2

重力がする仕事は

$$2.0\times9.8\times1.0\times50=9.8\times10^2\,\mathrm{J}$$

これと「$Q=C\varDelta T$」より

$$9.8\times10^2=C\times1.4$$

よって　$C=\mathbf{7.0\times10^2\,J/K}$

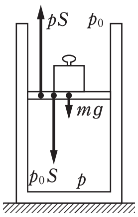
「$C=mc$」より

$$c=\frac{C}{m}=\frac{7.0\times10^2}{2.0\times10^3}=\mathbf{0.35\,J/(g\cdot K)}$$

第 2 章　気体のエネルギーと状態変化

p.197　問 8

気体の圧力を p〔Pa〕，大気圧を p_0〔Pa〕，おもりの質量を m〔kg〕，ピストンの断面積を S〔m²〕，重力加速度の大きさを g〔m/s²〕とすると，ピストンにはたらく力のつりあいより



$$pS-mg-p_0S=0$$

$$p=p_0+\frac{mg}{S}=(1.0\times10^5)+\frac{10\times9.8}{4.9\times10^{-3}}$$
$$=(1.0\times10^5)+(2.0\times10^4)=\mathbf{1.2\times10^5\,Pa}$$

p.197　問 9

求める圧力を p〔Pa〕とすると，「pV＝一定」より　$(1.0\times10^5)\times0.55=p\times0.50$

よって

$$p=\frac{0.55}{0.50}\times(1.0\times10^5)=\mathbf{1.1\times10^5\,Pa}$$

p.199　問 10

求める体積を V〔m³〕とすると，「$\frac{V}{T}$＝一定」より

$$\frac{1.0}{300}=\frac{V}{360}$$

よって　$V=\frac{360}{300}=\mathbf{1.2\,m^3}$

p.199　問 11

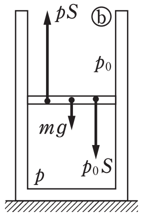
求める圧力を p〔Pa〕とすると，「$\frac{pV}{T}$＝一定」より　$\frac{(1.0\times10^5)\times1.5}{300}=\frac{p\times1.0}{320}$

よって　$p=\frac{(1.0\times10^5)\times1.5\times320}{1.0\times300}$

$$=\mathbf{1.6\times10^5\,Pa}$$

p.200　類題 2

ⓐの状態では，大気圧と容器内の気体の圧力（p_0〔Pa〕）がつりあっている。よって，大気圧は p_0〔Pa〕である。ⓑの状態では，ピストンにはたらく力のつりあいより



$$pS-mg-p_0S=0$$

よって　$p=\boldsymbol{p_0+\frac{mg}{S}}$〔Pa〕

また，ボイル・シャルルの法則より

$$\frac{p_0V_0}{T_0}=\frac{p\times\frac{3}{4}V_0}{T}$$

よって　$T=\left(p_0+\frac{mg}{S}\right)\times\frac{3}{4}V_0\times\frac{T_0}{p_0V_0}$

$$=\boldsymbol{\frac{3(p_0S+mg)}{4p_0S}T_0}\text{〔K〕}$$

p.201　問 12

求める体積を V〔m³〕とすると，「$pV=nRT$」より

$$(1.66\times10^5)\times V=0.20\times8.3\times300$$

よって

$$V=\frac{0.20\times8.3\times300}{1.66\times10^5}=\mathbf{3.0\times10^{-3}\,m^3}$$

p.204　問 13

$p=\frac{Nm\overline{v^2}}{3V}$ において，Nm は気体の全質量であるから，$\frac{Nm}{V}$ は気体の密度である。これが ρ なので　$p=\boldsymbol{\frac{1}{3}\rho\overline{v^2}}$〔Pa〕

p.206　問 14

(1)　理想気体では，平均運動エネルギーは気体の種類によらず温度だけで決まるので，温度が等しいとき 1 原子当たりの平均運動エネルギーは等しい。よって **1 倍**

(2) He 原子の二乗平均速度と質量を $\sqrt{\overline{v_1^2}}$，m_1，Ne 原子の二乗平均速度と質量を $\sqrt{\overline{v_2^2}}$，m_2 とすると，平均運動エネルギーは等しいので

$$\frac{1}{2}m_1\overline{v_1^2}=\frac{1}{2}m_2\overline{v_2^2} \quad より \quad \frac{\overline{v_1^2}}{\overline{v_2^2}}=\frac{m_2}{m_1}$$

よって $\dfrac{\sqrt{\overline{v_1^2}}}{\sqrt{\overline{v_2^2}}}=\sqrt{\dfrac{\overline{v_1^2}}{\overline{v_2^2}}}$

$$=\sqrt{\frac{m_2}{m_1}}=\sqrt{\frac{20}{4}}=\sqrt{5}$$

ゆえに $\boldsymbol{\sqrt{5}}$ **倍**

(3) 平均運動エネルギーは $\dfrac{1}{2}m\overline{v^2}=\dfrac{3R}{2N_A}T$

より T に比例するので $\dfrac{273+273}{273}=2$

ゆえに **2 倍**

二乗平均速度は $\sqrt{\overline{v^2}}=\sqrt{\dfrac{3R}{mN_A}T}$ より

$\sqrt{T}$ に比例するので

$$\frac{\sqrt{273+273}}{\sqrt{273}}=\sqrt{2} \quad ゆえに\ \boldsymbol{\sqrt{2}}\ \textbf{倍}$$

p. 208 類題 3

気体の内部エネルギーの合計が一定であるから

$$\frac{3}{2}\times20\times8.3\times(3.2\times10^2)$$
$$=\frac{3}{2}\times20\times8.3\times T$$

よって $\boldsymbol{T=3.2\times10^2\,\mathrm{K}}$

また，気体の状態方程式より

$$p\times(0.24+0.40)=20\times8.3\times(3.2\times10^2)$$
$$p=\frac{20\times8.3\times(3.2\times10^2)}{0.64}=\boldsymbol{8.3\times10^4\,\mathrm{Pa}}$$

p. 209 問 15

「$\Delta U=Q+W$」より

$$\Delta U=(-1.5\times10^2)+(4.0\times10^2)$$
$$=\boldsymbol{2.5\times10^2\,\mathrm{J}}$$

p. 209 問 16

気体に与えられた熱量は $Q=5.0\times10^2\,\mathrm{J}$，気体が外部に $2.0\times10^2\,\mathrm{J}$ の仕事をしたので，気体がされた仕事は $W=-2.0\times10^2\,\mathrm{J}$ となる。したがって，

「$\Delta U=Q+W$」より

$$\Delta U=(5.0\times10^2)+(-2.0\times10^2)$$
$$=\boldsymbol{3.0\times10^2\,\mathrm{J}}$$

p. 210 問 17

定積変化なので $\boldsymbol{W=0\,\mathrm{J}}$

$$\Delta U=Q=\boldsymbol{75\,\mathrm{J}}$$

p. 211 問 18

定圧変化では，気体がする仕事は

「$W'=p\Delta V$」で与えられるので

$$W'=(1.0\times10^5)\times(3.0\times10^{-4})$$
$$=30\,\mathrm{J}$$

よって $W=-W'=\boldsymbol{-30\,\mathrm{J}}$

「$\Delta U=Q+W$」より

$$\Delta U=75+(-30)=\boldsymbol{45\,\mathrm{J}}$$

p. 211 問 19

等温変化なので $\boldsymbol{\Delta U=0\,\mathrm{J}}$

$$W=-Q=\boldsymbol{-75\,\mathrm{J}}$$

p. 212 問 20

断熱変化なので $Q=0\,\mathrm{J}$ である。これと，気体がされた仕事 $W=-65\,\mathrm{J}$ を

「$\Delta U=Q+W$」に代入して

$$\Delta U=0+(-65)=\boldsymbol{-65\,\mathrm{J}}$$

p. 214 類題 4

変化前の温度を T_0〔K〕，温度変化を ΔT〔K〕，気体の物質量を n〔mol〕，気体定数を R〔J/(mol·K)〕とする。

(1) 変化前，変化後のそれぞれについて状態方程式を立てると

$$p_0V_0=nRT_0 \quad \cdots\cdots①$$
$$(p_0+\Delta p)V_0=nR(T_0+\Delta T) \quad \cdots\cdots②$$

②式－①式より

$$\Delta pV_0=nR\Delta T$$

気体の内部エネルギーの変化は

$$\Delta U=\frac{3}{2}nR\Delta T=\boldsymbol{\frac{3}{2}\Delta pV_0}\,〔\mathrm{J}〕$$

気体がされた仕事 $\boldsymbol{W=0\,\mathrm{J}}$

気体が受け取った熱量は

$$Q=\Delta U=\boldsymbol{\frac{3}{2}\Delta pV_0}\,〔\mathrm{J}〕$$

(2) 変化前，変化後のそれぞれについて状態方程式を立てると

$$p_0V_0=nRT_0 \quad (①式)$$
$$p_0(V_0+\Delta V)=nR(T_0+\Delta T) \quad \cdots\cdots③$$

③式－①式より

$$p_0\Delta V=nR\Delta T$$

気体の内部エネルギーの変化は

$$\Delta U=\frac{3}{2}nR\Delta T=\boldsymbol{\frac{3}{2}p_0\Delta V}\,〔\mathrm{J}〕$$

気体がされた仕事 $W=-\boldsymbol{p_0\Delta V}$〔J〕
気体が受け取った熱量は

$$Q=\Delta U-W=\frac{3}{2}p_0\Delta V-(-p_0\Delta V)$$
$$=\boldsymbol{\frac{5}{2}p_0\Delta V}\text{〔J〕}$$

p.215　問 21

定積モル比熱を C_V〔J/(mol·K)〕とすると，
「$Q=nC_V\Delta T$」 より　$78=1.5\times C_V\times 4.0$

$$C_V=\frac{78}{1.5\times 4.0}=\mathbf{13\ J/(mol\cdot K)}$$

p.216　問 22

「$Q=nC_p\Delta T$」より　$63=1.5\times C_p\times 2.0$

$$C_p=\frac{63}{1.5\times 2.0}=\mathbf{21\ J/(mol\cdot K)}$$

マイヤーの関係 「$C_p=C_V+R$」 より

$$C_V=C_p-R=21-8.3\fallingdotseq\mathbf{13\ J/(mol\cdot K)}$$

p.216　問 23

ポアソンの法則「$pV^\gamma=$一定」より，圧力 p は $\dfrac{1}{V^\gamma}$（Vは体積）に比例する。体積を $\dfrac{1}{n}$ 倍にすると

$$\frac{\dfrac{1}{\left(\dfrac{V}{n}\right)^\gamma}}{\dfrac{1}{V^\gamma}}=n^\gamma$$　よって $\boldsymbol{n^\gamma}$ **倍**

p.219　問 24

ⓐの例：**石油ストーブ，ガスコンロ，使い捨てカイロ**
ⓑの例：**植物の光合成**
ⓒの例：**電気ストーブ，電気湯わかし器，電気アイロン**
ⓓの例：**乾電池，燃料電池**
ⓔの例：**蒸気機関，蒸気タービン**
ⓕの例：**白熱電灯，蛍光灯，発光ダイオード**
ⓖの例：**電車，リニアモーターカー，エレベーター**

p.221　問 25

得られた仕事 $W'=Q_{\text{in}}-Q_{\text{out}}=500-425$
$=\mathbf{75\ J}$

熱効率 $e=\dfrac{W'}{Q_{\text{in}}}=\dfrac{75}{500}=\mathbf{0.15}$

p.223　問 A

(1)　操作後の気体の体積はいずれの場合も等しいので，p-V 図上で上（p 軸の正の向き）にある点ほど温度が高い。よって
$\boldsymbol{T_3<T_2<T_1}$　……①

(2)　気体がする仕事は，p-V 図上でグラフが V 軸との間につくる面積に等しい。よって　$\boldsymbol{W_3'<W_2'<W_1'}$　……②

(3)　気体が吸収する熱量は「$\Delta U=Q+W$」より　$Q=\Delta U-W=\Delta U+W'$　……③
ここで，操作前後での内部エネルギーの変化をそれぞれ ΔU_1，ΔU_2，ΔU_3 とおくと「$\Delta U=\dfrac{3}{2}nR\Delta T$」と①式より

$$\Delta U_3<\Delta U_2(=0)<\Delta U_1 \quad\cdots\cdots④$$

②，③，④式より　$\boldsymbol{Q_3<Q_2<Q_1}$

p.225　類題 5

気体定数を R〔J/(mol·K)〕，気体の物質量を n〔mol〕とする。状態 A，B，C，D での温度をそれぞれ T_A，T_B，T_C，T_D〔K〕として状態方程式をそれぞれ立てると

A：$pV=nRT_A$　より　$T_A=\dfrac{pV}{nR}$〔K〕

B：$3pV=nRT_B$　より　$T_B=\dfrac{3pV}{nR}$〔K〕

C：$3p\times 2V=nRT_C$　より　$T_C=\dfrac{6pV}{nR}$〔K〕

D：$p\times 2V=nRT_D$　より　$T_D=\dfrac{2pV}{nR}$〔K〕

各過程で気体が得る熱量を $Q_{A\to B}$〔J〕のように表す。

A→B，C→D は定積変化であるから

$$Q_{A\to B}=\frac{3}{2}nR(T_B-T_A)=\frac{3}{2}nR\left(\frac{3pV}{nR}-\frac{pV}{nR}\right)=3pV$$

$$Q_{C\to D}=\frac{3}{2}nR(T_D-T_C)=\frac{3}{2}nR\left(\frac{2pV}{nR}-\frac{6pV}{nR}\right)=-6pV$$

B→C，D→A は定圧変化であるから

$$Q_{B\to C}=\frac{5}{2}nR(T_C-T_B)=\frac{5}{2}nR\left(\frac{6pV}{nR}-\frac{3pV}{nR}\right)=\frac{15}{2}pV$$

$$Q_{D\to A}=\frac{5}{2}nR(T_A-T_D)=\frac{5}{2}nR\left(\frac{pV}{nR}-\frac{2pV}{nR}\right)=-\frac{5}{2}pV$$

以上より　$Q_{\text{in}}=Q_{A\to B}+Q_{B\to C}=\boldsymbol{\dfrac{21}{2}pV}$〔J〕

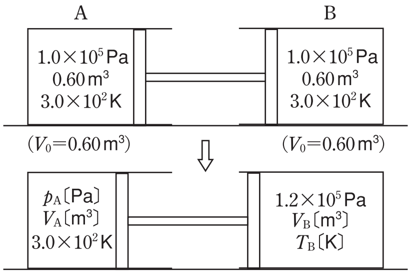
$Q_{\text{out}}=-(Q_{C\to D}+Q_{D\to A})=\boldsymbol{\dfrac{17}{2}pV}$〔J〕

$W'=Q_{\text{in}}-Q_{\text{out}}=\boldsymbol{2pV}$〔J〕

$$e=\frac{Q_{\text{in}}-Q_{\text{out}}}{Q_{\text{in}}}=\mathbf{\frac{4}{21}}$$

p. 226　演習 1

(1)　ピストンは A，B 両方の気体から同じ大きさの力で逆向きに押されている。ピストンの断面積は等しいので，A 内の気体の圧力 p_A〔Pa〕は B 内の気体の圧力に等しい。よって　$\boldsymbol{p_A=1.2\times10^5}$ **Pa**



(2)　B 内の気体の膨張した体積を $\varDelta V$〔m³〕とすると，A の体積 V_A は $(V_0-\varDelta V)$〔m³〕，B の体積 V_B は $(V_0+\varDelta V)$〔m³〕である（ただし　$V_0=0.60$ m³）。

A 内の気体についてボイルの法則「$pV=$一定」より

$$(1.0\times10^5)\times0.60$$
$$=(1.2\times10^5)\times(0.60-\varDelta V)$$

これより　$\varDelta V=0.10$ m³

よって　$V_A=0.60-0.10=\mathbf{0.50}$ **m³**

$V_B=0.60+0.10=\mathbf{0.70}$ **m³**

(3)　B 内の気体についてボイル・シャルルの法則「$\dfrac{pV}{T}=$一定」より

$$\frac{(1.0\times10^5)\times0.60}{3.0\times10^2}=\frac{(1.2\times10^5)\times0.70}{T_B}$$

よって　$\boldsymbol{T_B=4.2\times10^2}$ **K**

p. 226　演習 2

(1)(a)　図 a より，衝突前後で気体分子の法線方向の速度は $2v\cos\theta$ 変化する。

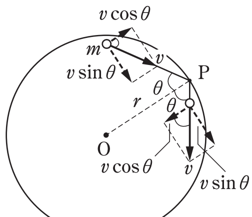


図 a

したがって，その運動量の変化の大きさは　$\boldsymbol{2mv\cos\theta}$〔**kg·m/s**〕

向きは衝突した点から常に中心に向くので **P→O の向き**。

(b)　単位時間に進む距離は v となり，気体分子が 1 回の衝突で進む距離は $2r\cos\theta$ である。

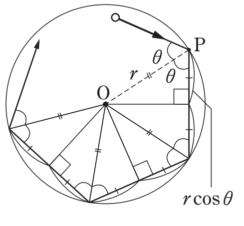


図 b

したがって，単位時間に器壁に衝突する回数は　$\boldsymbol{\dfrac{v}{2r\cos\theta}}$

(2)　(1)(a)の結果は力積と等しく，単位時間に気体分子が器壁に与える力積（すなわち力）は(1)(a)の結果と(b)の結果の積となる。また，気体分子 N 個の速さがすべて v なので

$$F=N\times(2mv\cos\theta)\times\left(\frac{v}{2r\cos\theta}\right)$$
$$=\boldsymbol{\frac{Nmv^2}{r}}\,〔\mathbf{N}〕$$

(3)　半径 r の球（容器）の表面積は $4\pi r^2$ であるから

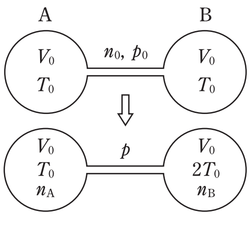
$$圧力\ \ p=\frac{力}{面積}=\frac{Nmv^2/r}{4\pi r^2}=\frac{Nmv^2}{4\pi r^3}$$

容器の体積　$V=\dfrac{4}{3}\pi r^3$　なので

$$p=\frac{Nmv^2}{3\left(\dfrac{4}{3}\pi r^3\right)}=\boldsymbol{\frac{Nmv^2}{3V}}\,〔\mathbf{Pa}〕$$

p. 226　演習 3

(1)　状態方程式「$pV=nRT$」より



$$p_0\times2V_0$$
$$=n_0RT_0$$

よって

$$p_0=\boldsymbol{\frac{n_0RT_0}{2V_0}}\,〔\mathbf{Pa}〕$$

内部エネルギー　$U_0=\boldsymbol{\dfrac{3}{2}n_0RT_0}$〔**J**〕

(2)(a)　A，B それぞれについて状態方程式を立てる。

A：$pV_0=n_ART_0$　……①

B：$pV_0=n_BR\times2T_0$　……②

①，②式より　$n_A=2n_B$

$n_A+n_B=n_0$ より　$n_B=n_0-n_A$

よって　$n_A=2\times(n_0-n_A)$

ゆえに　$n_A=\boldsymbol{\frac{2}{3}n_0}$〔mol〕

$n_B=\boldsymbol{\frac{1}{3}n_0}$〔mol〕

(b)　①式より　$pV_0=\frac{2}{3}n_0RT_0$

よって　$p=\boldsymbol{\frac{2n_0RT_0}{3V_0}}$〔Pa〕

(c)　内部エネルギーの増加 ΔU は

$$\Delta U=\frac{3}{2}n_ART_0+\frac{3}{2}n_BR\times 2T_0-\frac{3}{2}n_0RT_0$$

$$=n_0RT_0+n_0RT_0-\frac{3}{2}n_0RT_0$$

$$=\boldsymbol{\frac{1}{2}n_0RT_0}\text{〔J〕}$$

p. 227　演習 4

(ア)　レバーを一気に押し込んだとき，その間での気体と外部との熱のやりとりは無視できるので，気体がされる仕事は，すべて気体の内部エネルギーの変化に用いられると考えられる。　……①

(イ)　このとき，気体は断熱変化していると考えられる。　……⑦

(ウ)　断熱圧縮のとき，熱力学第一法則「$\Delta U=Q+W$」において，$Q=0$，$W>0$ であるから，$\Delta U>0$，つまり，内部エネルギーは増加する。　……⑧

(エ)　レバーを十分にゆっくりと押し込む場合は，気体がされる仕事は，すべて熱量として外部に放出されると考えられる。　……②

(オ)　このとき，気体は等温変化していると考えられる。　……⑥

(カ)，(キ)　等温変化では，気体の内部エネルギーならびに温度は変化しない。　……(カ)　⑩　　(キ)　⑩

p. 227　演習 5

(1)　状態Bでの気体の温度を T_B〔K〕とする。A→B は定積変化であるから，ボイル・シャルルの法則より

$$\frac{(1.0\times10^5)\times(2.0\times10^{-3})}{3.0\times10^2}=\frac{(2.2\times10^5)\times(2.0\times10^{-3})}{T_B}$$

$$T_B=\frac{2.2\times10^5}{1.0\times10^5}\times(3.0\times10^2)$$

$$=6.6\times10^2\text{K}$$

状態Cでの気体の体積を V_C〔m^3〕，温度を T_C〔K〕とする。

B→C は等温変化であるから

$$T_C=T_B=6.6\times10^2\text{K}$$

ボイルの法則「pV＝一定」より

$$(2.2\times10^5)\times(2.0\times10^{-3})=(1.0\times10^5)\times V_C$$

よって　$V_C=4.4\times10^{-3}\,m^3$

過程Ⅰは定積変化，過程Ⅱは等温変化，過程Ⅲは定圧変化であることに注意して p-V 図と V-T 図をかくと，図a，図bのようになる。

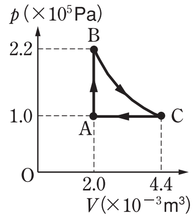


図 a

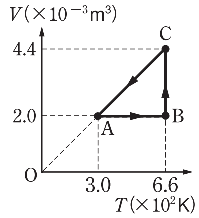


図 b

(2)　内部エネルギーの変化 ΔU は

$$\Delta U=\frac{3}{2}nR\Delta T\qquad\cdots\cdots①$$

また，状態方程式 $pV=nRT$ において，定積変化(過程Ⅰ)では，温度が ΔT〔K〕変化したときに圧力が Δp〔Pa〕変化したとすると　$\Delta pV=nR\Delta T$　……②

①，②式より　$\Delta U=\frac{3}{2}\Delta pV$

$$\Delta U_{\mathrm{I}}=\frac{3}{2}(2.2-1.0)\times10^5\times(2.0\times10^{-3})$$

$$=\boldsymbol{3.6\times10^2\,\mathrm{J}}$$

$\Delta U_{\mathrm{II}}=\boldsymbol{0\,\mathrm{J}}$

定圧変化(過程Ⅲ)では，温度が ΔT〔K〕変化したときに体積が ΔV〔m^3〕変化したとすると $p\Delta V=nR\Delta T$ が成りたつから $\Delta U=\frac{3}{2}p\Delta V$

$$\Delta U_{\mathrm{III}}=\frac{3}{2}\times(1.0\times10^5)\times(2.0-4.4)\times10^{-3}$$

$$=\boldsymbol{-3.6\times10^2\,\mathrm{J}}$$

(3)　$W_{\mathrm{I}}=\boldsymbol{0\,\mathrm{J}}$

熱力学第一法則より　$\Delta U_{\mathrm{II}}=Q_{\mathrm{II}}+W_{\mathrm{II}}$

$W_{\mathrm{II}}=\Delta U_{\mathrm{II}}-Q_{\mathrm{II}}=0-3.5\times10^2$

$$=\boldsymbol{-3.5\times10^2\,\mathrm{J}}$$

$W_{\text{Ⅲ}} = -p\Delta V$

$= -1.0\times10^5\times(2.0-4.4)\times10^{-3}$

$= \mathbf{2.4\times10^2\,J}$

(4) 過程Ⅰ：$\Delta U_{\text{Ⅰ}} = Q_{\text{Ⅰ}} + W_{\text{Ⅰ}}$ より

$Q_{\text{Ⅰ}} = \Delta U_{\text{Ⅰ}} - W_{\text{Ⅰ}} = 3.6\times10^2 - 0$

$= \mathbf{3.6\times10^2\,J}$

過程Ⅲ：$\Delta U_{\text{Ⅲ}} = Q_{\text{Ⅲ}} + W_{\text{Ⅲ}}$ より

$Q_{\text{Ⅲ}} = \Delta U_{\text{Ⅲ}} - W_{\text{Ⅲ}}$

$= -3.6\times10^2 - 2.4\times10^2$

$= \mathbf{-6.0\times10^2\,J}$

(5) 1サイクルの間に気体が外から得た熱量 Q〔J〕は

$Q = Q_{\text{Ⅰ}} + Q_{\text{Ⅱ}} = (3.6\times10^2) + (3.5\times10^2)$

$= 7.1\times10^2\,\text{J}$

1サイクルの間に気体が外に対してした仕事 W〔J〕は

$W = -(W_{\text{Ⅰ}} + W_{\text{Ⅱ}} + W_{\text{Ⅲ}})$

$= -\{0 + (-3.5\times10^2) + 2.4\times10^2\}$

$= 1.1\times10^2\,\text{J}$

熱効率 e は

$$e = \frac{W}{Q} = \frac{1.1\times10^2}{7.1\times10^2} = \mathbf{\frac{11}{71}}$$

資料編

物理のための数学

p. 232 問1

$$\frac{\text{PQ}}{\text{OQ}} = \frac{\text{P}'\text{Q}'}{\text{O}'\text{Q}'} \text{ より } \frac{\text{PQ}}{20} = \frac{3.5}{5.0}$$

よって

$$\text{PQ} = \frac{3.5}{5.0}\times20 = \mathbf{14\,m}$$

p. 233 問2

$\sin\theta_1 = \mathbf{\frac{3}{5}}$, $\cos\theta_1 = \mathbf{\frac{4}{5}}$, $\tan\theta_1 = \mathbf{\frac{3}{4}}$

$\sin\theta_2 = \mathbf{\frac{4}{5}}$, $\cos\theta_2 = \mathbf{\frac{3}{5}}$, $\tan\theta_2 = \mathbf{\frac{4}{3}}$

p. 234 問3

(1) $W = Fx\cos30^\circ = \boldsymbol{\frac{\sqrt{3}}{2}Fx}$〔J〕

(2) $W = Fx\cos90^\circ = \mathbf{0\,J}$

(3) $W = Fx\cos135^\circ = \boldsymbol{-\frac{\sqrt{2}}{2}Fx}$〔J〕

(4) $W = Fx\cos180^\circ = \boldsymbol{-Fx}$〔J〕

p. 234 問4

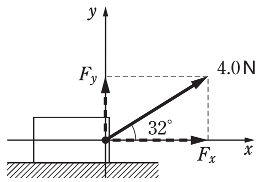
① $\sin32^\circ$

$= 0.52992$,

$\cos32^\circ$

$= 0.84805$

より



$F_x = 4.0\times\cos32^\circ \fallingdotseq \mathbf{3.4\,N}$

$F_y = 4.0\times\sin32^\circ \fallingdotseq \mathbf{2.1\,N}$

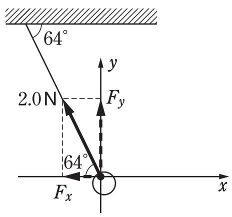
② $\sin64^\circ$

$= 0.89879$,

$\cos64^\circ$

$= 0.43837$

より



F_x

$= -2.0\times\cos64^\circ \fallingdotseq \mathbf{-0.88\,N}$

$F_y = 2.0\times\sin64^\circ \fallingdotseq \mathbf{1.8\,N}$

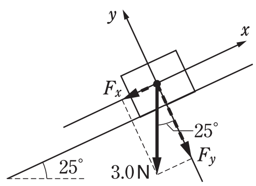
③ $\sin25^\circ$

$= 0.42262$,

$\cos25^\circ$

$= 0.90631$

より



$F_x = -3.0\times\sin25^\circ \fallingdotseq \mathbf{-1.3\,N}$

$F_y = -3.0\times\cos25^\circ \fallingdotseq \mathbf{-2.7\,N}$

p. 241　問 5

(1)　$c = 300\ 000\ 000\,\mathrm{m/s} = \mathbf{3\times10^8\,m/s}$

(2)　$\lambda = 0.000\ 000\ 6\,\mathrm{m} = \mathbf{6\times10^{-7}\,m}$

(3)　$f = \dfrac{c}{\lambda} = \dfrac{3\times10^8}{6\times10^{-7}} = 0.5\times10^{15}$

$= \mathbf{5\times10^{14}\,Hz}$

p. 242　問 6

(1)　$10^6\times10^3 = 10^{6+3} = \mathbf{10^9}$

(2)　$(10^3)^2 = 10^{3\times2} = \mathbf{10^6}$

(3)　$10^4\div10^6 = 10^{4-6} = \mathbf{10^{-2}}$

本文資料

p. 243　問 1

$v = h^x g^y$ の両辺の単位を比較すると

$\mathrm{m/s} = \mathrm{m}^x\cdot(\mathrm{m/s^2})^y = \mathrm{m}^x\cdot\mathrm{m}^y/\mathrm{s}^{2y}$

$= \mathrm{m}^{x+y}/\mathrm{s}^{2y}$

よって　$x+y=1$

$2y=1$

これを解いて $x = \mathbf{\dfrac{1}{2}}$，$y = \mathbf{\dfrac{1}{2}}$

第3編　波

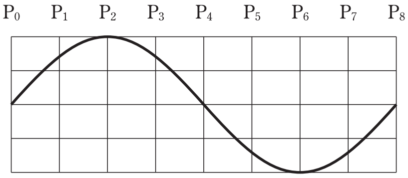
第1章 波の性質

p.8　**問1**

「$f=\dfrac{1}{T}$」より　$f=\dfrac{1}{0.10}=$**10Hz**

p.9　**問2**

波が時間 $\dfrac{12}{8}T$ の間に進む距離は，時間 T の間に進んだ距離 P_0P_8 の長さの $\dfrac{12}{8}(=1.5)$ 倍となる。したがって，時刻 $\dfrac{12}{8}T$ での波形は下図のようになる。



p.10　**問3**

「$v=f\lambda$」より

$v=3.0\times1.5=$**4.5m/s**

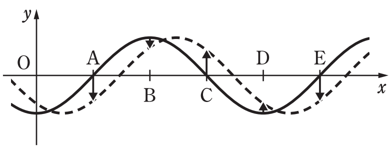
p.11　**問4**

(1)　振幅 $A=$**4.0m**

波長 $\lambda=$**2.0m**

(2)　周期 $T=0.60-0.12=$**0.48s**

p.11　**問5**



波形をわずかに進めたときの，媒質の動きを調べる。山と谷の位置では媒質の速度が0であることに注意して，速度が正の向きであるのは点**C**である。

p.12　**問6**

(1)　同位相の点：**G**

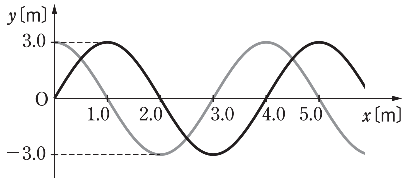
(2)　逆位相の点：**A，E，I**

p.13　**類題1**

波の速さは1.0m/sなので，3.0秒間に波形の進む距離は

$1.0\times3.0=3.0$m

よって，波の進む負の向きに3.0m平行移動させればよい。

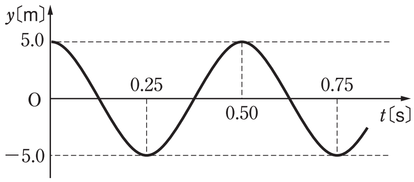


p.13　**類題2**

まず，振動の周期 T〔s〕を求める。y-x 図より波長は $\lambda=4.0$m，波の速さは $v=8.0$m/s である。「$v=\dfrac{\lambda}{T}$」より

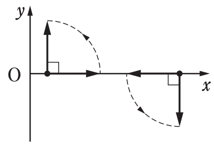
$$T=\frac{\lambda}{v}=\frac{4.0}{8.0}=0.50\text{s}$$

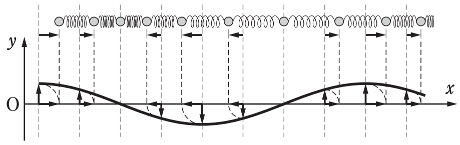
次に，位置 $x=2.0$m の媒質がどのように時間変化するかを調べる。$t=0$s での変位は y-x 図より $y=5.0$m である。そして，その次の瞬間には下向きに動く。以上より，y-t 図をかく。



p.16　**問7**

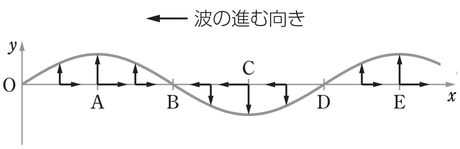
x 軸の正の向きの変位は y 軸の正の向きへ，x 軸の負の向きの変位は y 軸の負の向きへそれぞれ90°回転させる。





p.18　**類題3**

まず，y 軸方向に表された変位を x 軸方向にかき直す。



(1)　最も密な点は媒質が周囲から集まる点である。よって　**B**

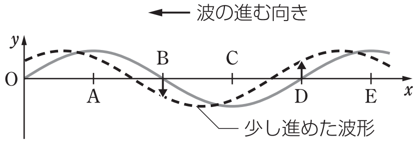
(2)　最も疎な点は媒質が周囲へ遠ざかる点である。よって　**D**

(3)　媒質の速さが0の点は，媒質の変位の大きさが最大の点である。

よって　**A，C，E**

(4)　媒質の速さが最大となるのは，媒質が振動の中心を通過するときであるから，**B，D**

(5)　媒質の速度が右向きのとき，これを横波表示にすると y 軸の正の向きとなる。
(4)で求めたB，Dのうち，波形を少し進めたとき，媒質が y 軸の正の向きに動いているのは **D**



p.23　類題 4

$y=3.0\sin\pi(10t+5.0x)$　……①

これを x 軸の負の向きに進む正弦波の式

$y=A\sin2\pi\left(\dfrac{t}{T}+\dfrac{x}{\lambda}\right)$　……②

と比較する。①式を変形して

$$y=3.0\sin2\pi\left(\frac{10}{2}t+\frac{5.0x}{2}\right)$$
$$=3.0\sin2\pi(5.0t+2.5x)$$

これを②式と比較すると，振幅は　$A=$**3.0m**

また，t と x の係数を②式と比較して

$\dfrac{1}{T}=5.0$ より　$T=$**0.20s**

$\dfrac{1}{\lambda}=2.5$ より　$\lambda=$**0.40m**

p.23　類題 5

(1)　図より原点の媒質は，振幅が 0.5m，周期が 0.4s の単振動を行う。また，初期位相 $\phi=\pi$ であることに注意すると

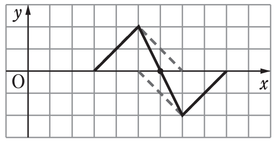
$$y=0.5\sin\left(2\pi\frac{t}{0.4}+\pi\right)$$
$$=-0.5\sin2\pi\frac{t}{0.4}$$
$$\boldsymbol{=-0.5\sin5\pi t}$$

(2)　原点から位置 x〔m〕まで振動が伝わるのに時間 $t_0=\dfrac{x}{2}$〔s〕かかる。よって，時刻 t〔s〕での位置 x〔m〕の媒質の変位 y〔m〕は，(1)で求めた式の t を，$t-t_0$ で置きかえればよい。

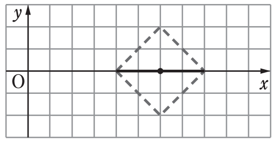
$$\boldsymbol{y=-0.5\sin5\pi\left(t-\frac{x}{2}\right)}$$

p.25　問 8

(1)　初めの状態から波Aは右に，波Bは左にそれぞれ 2 目盛りずつ進む。



(2)　初めの状態から波Aは右に，波Bは左にそれぞれ 3 目盛りずつ進む。



p.26　問 9

反対の向きに進む正弦波の波長 λ は 4.0m，振幅は 1.5m である。また，正弦波の周期を T_0 としたとき，波の速さ v は「$v=\dfrac{\lambda}{T_0}$」より

$T_0=\dfrac{\lambda}{v}=\dfrac{4.0}{2.0}=2.0\,\mathrm{s}$ である。

(1)　節と節の間隔 d は，もとの進行波の波長 λ の半分に等しいから

$$d=\frac{1}{2}\lambda=\frac{1}{2}\times4.0=\mathbf{2.0m}$$

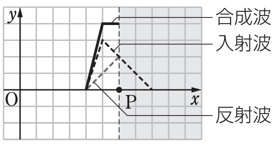
(2)　腹の位置の振動の振幅 A はもとの進行波の振幅の 2 倍，周期 T はもとの進行波の周期 T_0 に等しいから

$A=2\times1.5=$**3.0m**

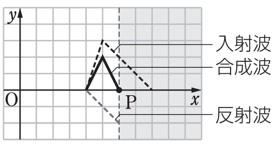
$T=T_0=$**2.0s**

p.28　問 10

(1)　入射波を 2.0cm 右に進め，自由端を軸に折り返した波が反射波である。
合成波は，入射波と反射波を重ねあわせの原理に従って作図して求める。

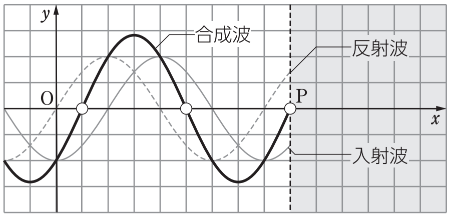


(2)　入射波を 2.0cm 右に進め，固定端の軸の右側にまで進んだ波を上下反転し，さらにその波を固定端を軸に折り返した波が反射波である。
合成波は，入射波と反射波を重ねあわせの原理に従って作図して求める。



p. 29　類題 6

固定端での反射であることに注意して反射波を作図する。次に，入射波と反射波の合成波をかく。合成波が x 軸と交わる位置が節の位置である（固定端の位置は節となる。また，節と節の間隔は進行波の波長の半分になる）。



p. 31　問 11

(1)　それぞれの波源からの距離の差を求める。

$$AP=3.0\,\mathrm{cm}=\frac{3}{2}\lambda$$

$$BP=5.0\,\mathrm{cm}=\frac{5}{2}\lambda$$

$$|AP-BP|=\lambda$$

よって，点Pは**強めあう点**である。

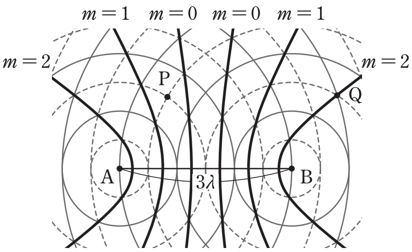
$$AQ=8.0\,\mathrm{cm}=4\lambda$$

$$BQ=3.0\,\mathrm{cm}=\frac{3}{2}\lambda$$

$$|AQ-BQ|=\frac{5}{2}\lambda$$

よって，点Qは**弱めあう点**である。

(2)



$$|AR-BR|=\left(m+\frac{1}{2}\right)\lambda$$

直線 AB 上にある弱めあう点を R とする。

R は $AR-BR=\pm\frac{1}{2}\lambda,\ \pm\frac{3}{2}\lambda,\ \pm\frac{5}{2}\lambda$ を満たす 6 点である（$AB=3\lambda$ であるので $|AR-BR|$ の最大値は 3λ より小さい）。これらの 6 点を含む双曲線は全部で **6 本**ある。

p. 33　類題 7

(1)　「$\frac{\sin i}{\sin r}=n_{12}$」より　$\frac{\sin 60°}{\sin 30°}=n_{12}$

よって　$n_{12}=\frac{\sqrt{3}/2}{1/2}=\sqrt{3}\fallingdotseq\mathbf{1.7}$

(2)　屈折の法則より

$$\frac{v_1}{0.20}=\frac{\lambda_1}{0.10}=n_{12}$$

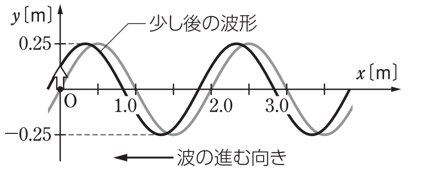
よって

$$\lambda_1=0.10\times\sqrt{3}\fallingdotseq\mathbf{0.17\,m}$$

$$v_1=0.20\times\sqrt{3}\fallingdotseq\mathbf{0.35\,m/s}$$

p. 37　演習 1

(1)　原点にある媒質の速度の向きが y 軸の正の向きであるから，$t=0\,\mathrm{s}$ の直後，原点にある媒質は y 軸の正の向きに変位する。したがって，$t=0\,\mathrm{s}$ より少し後の波形は図のようになり，波は x 軸の負の向きに進んでいることがわかる。



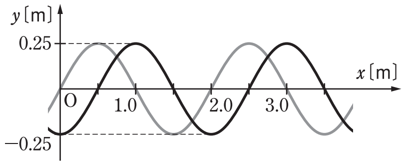
波長 $\lambda=2.0\,\mathrm{m}$，周期 $T=0.40\,\mathrm{s}$ より

$$v=-\frac{\lambda}{T}=-\frac{2.0}{0.40}=\mathbf{-5.0\,m/s}$$

(2)　0.70 秒間での波の進む距離は

$$5.0\times0.70=3.5\,\mathrm{m}$$

よって，波の進む負の向きに 3.5 m 平行移動させればよい。



p. 37　演習 2

(1)　波長 $\lambda=\mathbf{0.80\,m}$

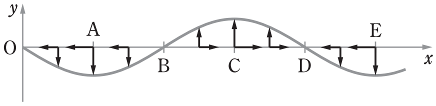
振動数 f は「$v=f\lambda$」より

$$f=\frac{v}{\lambda}=\frac{2.0}{0.80}=\mathbf{2.5\,Hz}$$

周期 T は「$T=\frac{1}{f}$」より

$$T=\frac{1}{f}=\frac{1}{2.5}=\mathbf{0.40\,s}$$

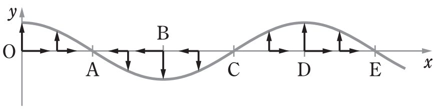
(2)　y 軸方向に表された変位を x 軸方向にかき直す。



最も密な点は媒質が周囲から集まる点である。

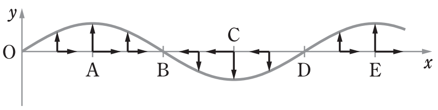
よって **D**

(3) 0.10 秒後の波のグラフは下図のようになり，最も密な点は **A，E**



(4) 1.0 秒後の波のグラフは下図のようになる。最も疎な点は媒質が周囲へ遠ざかる点である。

よって **D**

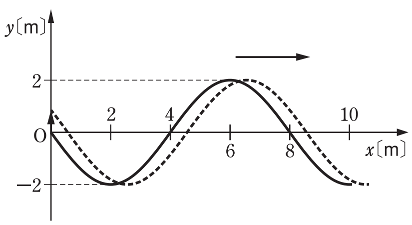


p. 37　演習 3

(1) y-x 図より，この正弦波の波長 λ は 8m である。周期が T のとき，波の速さ v は

$$v=\frac{\lambda}{T}=\frac{8}{4}=\mathbf{2\,m/s}$$

(2)



正弦波の振幅 A は 2m であり，波が正の向きに進むとき，原点の媒質は $y=0$ の位置から上向きに動く。

$$\boldsymbol{y}=A\sin\frac{2\pi}{T}t=2\sin\frac{2\pi}{4}t$$

$$=\mathbf{2\sin\frac{\pi}{2}}\boldsymbol{t}$$

(3) 正弦波の速さは 2m/s なので，x〔m〕の位置に原点の変位が伝わるのに $\frac{x}{2}$〔s〕かかる。この位置の時刻 t〔s〕での変位は，時刻 $\left(t-\frac{x}{2}\right)$〔s〕での原点の変位と同じであるから　$\boldsymbol{y=2\sin\frac{\pi}{2}\left(t-\frac{x}{2}\right)}$

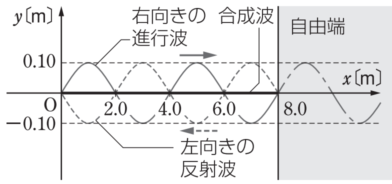
注）$y=2\sin\frac{\pi}{2}\left(t-\frac{x}{2}\right)=2\sin 2\pi\left(\frac{t}{4}-\frac{x}{8}\right)$

$y=A\sin 2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{x}{\lambda}\right)$ と比較して

$A=2$m，$T=4$s，$\lambda=8$m に対応していることがわかる。

p. 38　演習 4

(1) 入射波が自由端の右側にまで進んだと仮定して（下図の一点鎖線の波），それを $x=8.0$m の位置にある自由端を軸として折り返したもの（破線の波）が反射波である。この瞬間に観察される合成波は，図の実線の波と破線の波を重ねあわせたものである（太線の波）。

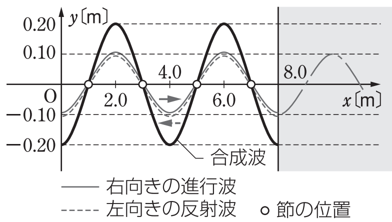


(2) 定在波の腹と節は交互に並び，腹どうし（節どうし）の間隔は左右に進む進行波の波長の半分なので 2.0m である。この定在波は $x=8.0$m の位置が自由端であるので，そこは腹である。したがって，腹の位置は $x=0$，2.0，4.0，6.0，8.0m である。また，節の位置は腹と腹の中間の

$\boldsymbol{x}$**＝1.0，3.0，5.0，7.0m**

の位置である。

〔**別解**〕 (1)の状態から波を少し進め，合成波の波形をかいて，節の位置を求めてもよい。



(3) 正で最大の変位が，再び正で最大となるのに要する時間は定在波の 1 周期 T〔s〕である。また，定在波の周期は反対向きに進む 2 つの進行波の周期に等しい。進行波の波長 λ は 4.0m，速さ v は 10m/s だから「$v=\frac{\lambda}{T}$」より　$T=\frac{\lambda}{v}=\frac{4.0}{10}$

$$=\mathbf{0.40\,s}$$

p. 38　演習 5

(1)　波が常に逆位相で干渉するので，**弱めあう点**である。

(2)　波源 A，B が同位相で振動しているとき，両波源からの距離の差を l〔cm〕，波長を λ〔cm〕とする（$m=0, 1, 2, \cdots$）。

$$\begin{cases} l=m\lambda & \cdots\cdots 強めあう \\ l=\left(m+\dfrac{1}{2}\right)\lambda & \cdots\cdots 弱めあう \end{cases}$$

波源 A，B が逆位相で振動しているので

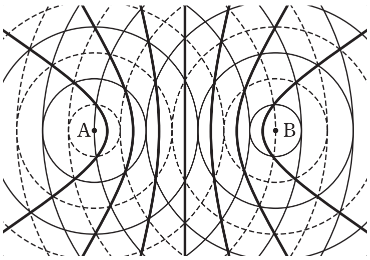
$$\begin{cases} l=m\lambda & \cdots\cdots 弱めあう \\ l=\left(m+\dfrac{1}{2}\right)\lambda & \cdots\cdots 強めあう \end{cases}$$

$l=4.5\,\mathrm{cm}$，$\lambda=3.0\,\mathrm{cm}$ であるから

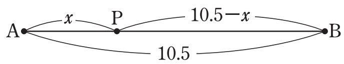
$$4.5=\frac{3}{2}\times3.0=\left(1+\frac{1}{2}\right)\times3.0$$

で，**強めあう点**である。

(3)　山の波面と谷の波面の交点を連ねた曲線をかく。



注）線分 AB 上で弱めあう点を P とし，AP＝x とする。



$0\leqq x<\dfrac{10.5}{2}$ のとき

$(10.5-x)-x=m\lambda$　$(m=0, 1, 2, \cdots)$

$2x=10.5-m\times3.0$

$x=\dfrac{10.5}{2}-\dfrac{3m}{2}$ より

$x=\dfrac{1.5}{2},\ \dfrac{4.5}{2},\ \dfrac{7.5}{2}$

$\dfrac{10.5}{2}\leqq x\leqq10.5$ のとき

$x-(10.5-x)=m\lambda$　$(m=0, 1, 2, \cdots)$

$2x=10.5+m\times3.0$

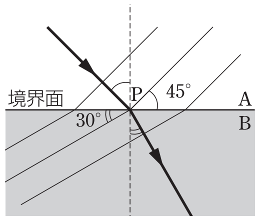
$x=\dfrac{10.5}{2}+\dfrac{3m}{2}$ より

$x=\dfrac{10.5}{2},\ \dfrac{13.5}{2},\ \dfrac{16.5}{2},\ \dfrac{19.5}{2}$

以上の 7 点となる。

p. 38　演習 6

(1)　波の進む向きは波面に垂直な向きであるから，図のようになる。



(2)　媒質 A に対する媒質 B の屈折率 n_{AB} は，屈折の法則より　$\dfrac{\sin45°}{\sin30°}=n_{\mathrm{AB}}$

よって　$n_{\mathrm{AB}}=\dfrac{1/\sqrt{2}}{1/2}=\sqrt{2}\fallingdotseq\mathbf{1.4}$

(3)　媒質 A での波の速さは $v_{\mathrm{A}}=2.0\,\mathrm{m/s}$ である。屈折の法則より　$\dfrac{v_{\mathrm{A}}}{v_{\mathrm{B}}}=n_{\mathrm{AB}}$

よって　$\dfrac{2.0}{v_{\mathrm{B}}}=\sqrt{2}$

ゆえに　$v_{\mathrm{B}}=\dfrac{2.0}{\sqrt{2}}=\sqrt{2}\fallingdotseq\mathbf{1.4\,m/s}$

(4)　波の振動数 $f=5.0\,\mathrm{Hz}$ より「$v=f\lambda$」の関係を用いて

$$\lambda_{\mathrm{A}}=\frac{v_{\mathrm{A}}}{f}=\frac{2.0}{5.0}=\mathbf{0.40\,m}$$

$$\lambda_{\mathrm{B}}=\frac{v_{\mathrm{B}}}{f}=\frac{\sqrt{2}}{5.0}\fallingdotseq\mathbf{0.28\,m}$$

第 2 章 音

p. 41　問 12

「$V=331.5+0.6t$」より

$V=331.5+0.6\times10=337.5\fallingdotseq\mathbf{338\,m/s}$

p. 41　問 13

音が壁に当たって反射してもどってくるまでの時間は 0.40 秒であるから，音が壁に届くまでの時間は 0.20 秒である。壁までの距離 l〔m〕は　$l=(3.4\times10^2)\times0.20=\mathbf{68\,m}$

p. 43　類題 8

管を 0.17 m 引き出すと 2 つの経路の長さの差は　$2\times0.17=0.34\,\mathrm{m}$　となる。

この経路の差が波長の半分に等しいとき，音は弱めあって最小になる。

よって　$0.34=\dfrac{\lambda}{2}$

したがって　$\lambda=0.34\times2=\mathbf{0.68\,m}$

「$v=f\lambda$」より　$f=\dfrac{v}{\lambda}=\dfrac{3.4\times10^2}{0.68}$

$=\mathbf{5.0\times10^2\,Hz}$

p. 45　**問 14**

おんさAの振動数を f_A〔Hz〕とする。毎秒 4 回のうなりが聞こえたので

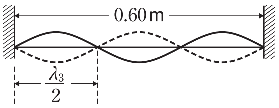
$$|f_A-400|=4$$

より　$f_A=404\,\text{Hz}$　または　$f_A=396\,\text{Hz}$

$f_A>400\,\text{Hz}$　であるから　$f_A=$ **404 Hz**

p. 47　**問 15**

3 倍振動の波長 λ_3〔m〕は



$$0.60=3\times\frac{\lambda_3}{2}$$

より　$\lambda_3=$ **0.40 m**

「$v=f\lambda$」より　$f_3=\dfrac{v}{\lambda_3}=\dfrac{1.2\times10^2}{0.40}$

$$=\mathbf{3.0\times10^2\,Hz}$$

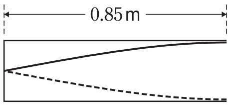
p. 47　**問 16**

「$v=\sqrt{\dfrac{S}{\rho}}$」より

$$v=\sqrt{\frac{0.98}{2.0\times10^{-4}}}=\sqrt{49\times10^2}=\mathbf{70\,m/s}$$

p. 48　**問 17**

長さ 0.85 m の閉管内の気柱が基本振動するときの波長



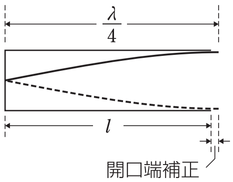
λ_1〔m〕は　$\lambda_1=\dfrac{4\times0.85}{1}=3.4\,\text{m}$

このときの振動数 f_1〔Hz〕は「$V=f\lambda$」より

$$f_1=\frac{V}{\lambda_1}=\frac{3.4\times10^2}{3.4}=\mathbf{1.0\times10^2\,Hz}$$

p. 49　**問 18**

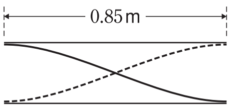
閉管内で基本振動しているとき，管底から腹の位置までの距離は $\dfrac{\lambda}{4}$〔m〕である。



したがって，管口から腹の位置までの距離は $\boldsymbol{\dfrac{\lambda}{4}-l}$〔m〕となる。

p. 49　**問 19**

長さ 0.85 m の開管内の気柱が基本振動するときの波長

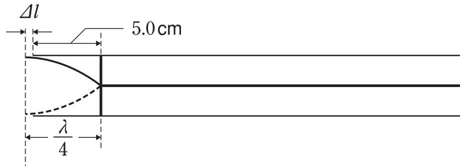


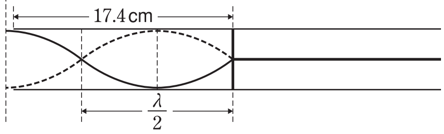
λ_1〔m〕は　$\lambda_1=\dfrac{2\times0.85}{1}=1.7\,\text{m}$

このときの振動数 f_1〔Hz〕は「$V=f\lambda$」より

$$f_1=\frac{V}{\lambda_1}=\frac{3.4\times10^2}{1.7}=\mathbf{2.0\times10^2\,Hz}$$

p. 50　**類題 9**





(1)　5.0 cm，17.4 cm の位置で固有振動となるから，この距離の差が半波長となる。

$$17.4-5.0=\frac{\lambda}{2}$$

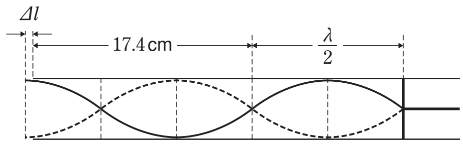
よって　$\lambda=2\times(17.4-5.0)=$ **24.8 cm**

(2)　最初に固有振動が起こるときの，ピストンと管口との距離 5.0 cm に開口端補正 Δl を加えると，4 分の 1 波長となる。

$$5.0+\Delta l=\frac{\lambda}{4}$$

よって　$\Delta l=\dfrac{24.8}{4}-5.0=$ **1.2 cm**

(3)　次に固有振動が起こるのは，17.4 cm の位置からさらに $\dfrac{\lambda}{2}$ だけピストンを管口から遠ざけたときである。



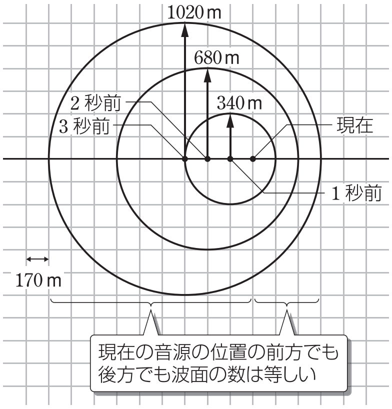
$$17.4+\frac{\lambda}{2}=17.4+\frac{24.8}{2}=29.8\,\text{cm}$$

よって，**管口から 29.8 cm の距離のとき**となる。

p. 51　**問 20**

気柱の振動が図の実線で表されているとき，最も圧力が高い(密な)点は b，最も圧力が低い(疎な)点は d である。半周期後，気柱の振動が図の破線で表されているとき，最も圧力が高い(密な)点は d，最も圧力が低い(疎な)点は b である。すなわち，定在波の節となる b と d は，半周期ごとに圧力(密度)の最大と最小をくり返す。したがって，空気の圧力(密度)の時間変化が最大の点は **b** と **d** である。

p.55　**問 21**



音源が動きながら音を出しても，音波は静止した空気中を伝わっていくので，どの方向にも 340 m/s の速さで伝わる。したがって，t〔s〕前に音源を出た音波は，音が発せられたときの音源の位置から半径が $340\times t$〔m〕の円周上に達している。また，音源の速さが音の速さよりも小さいので，音源は音波を追いこすことはできない。

そのため，図からも明らかなように，現在の音源の位置の前後にある波面の数は等しい。

p.55　**問 22**

音源から観測者へ向かう向きを正とする。

「$f'=\dfrac{V}{V-v_S}f$」より

(1)　$f'=\dfrac{340}{340-20}\times 720=$ **765 Hz**

(2)　$f'=\dfrac{340}{340-(-20)}\times 720=$ **680 Hz**

p.57　**問 23**

音源から観測者へ向かう向きを正とする。

「$f'=\dfrac{V-v_O}{V}f$」より

(1)　$f'=\dfrac{340-20}{340}\times 510=$ **480 Hz**

(2)　$f'=\dfrac{340-(-20)}{340}\times 510=$ **540 Hz**

p.57　**問 24**

音源から観測者へ向かう向きを正とする。

「$f'=\dfrac{V-v_O}{V-v_S}f$」より

$$f'=\frac{340-10}{340-20}\times 640=\mathbf{660\ Hz}$$

p.59　**類題 10**

板を，動く観測者と考え，板の受け取る音波の振動数を f_1〔Hz〕とすると，

「$f'=\dfrac{V-v_O}{V}f$」より

$$f_1=\frac{340-2}{340}\times 513=\frac{338}{340}\times 513\ \mathrm{Hz}$$

板を振動数 f_1〔Hz〕の音源と考え，板からの音を観測者が聞くときの振動数を f'〔Hz〕とすると，「$f'=\dfrac{V}{V-v_S}f$」より

$$f'=\frac{340}{340+2}\times\left(\frac{338}{340}\times 513\right)$$

$$=\frac{340}{342}\times\frac{338}{340}\times 513=507\ \mathrm{Hz}$$

1 秒間のうなりの回数 N は，振動数の差から次のように求められる。

$$N=|f'-f|=|507-513|=\mathbf{6}$$

p.59　**問 A**

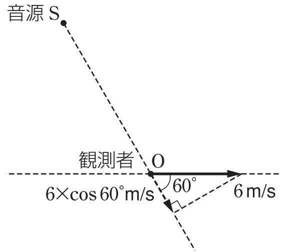
(1)　音源，観測者がともに静止しており，反射板などの動きもないので，ドップラー効果が起きない。$f'=$ **644 Hz**

〔**別解**〕　音源から観測者に向かう音の速さは　$V+2=342$ m/s　となる。

$$f'=\frac{342-0}{342-0}\times 644=\mathbf{644\ Hz}$$

(2)　$f'=\dfrac{342-5}{342-20}\times 644=\dfrac{337}{322}\times 644=$ **674 Hz**

p.60　**類題 11**



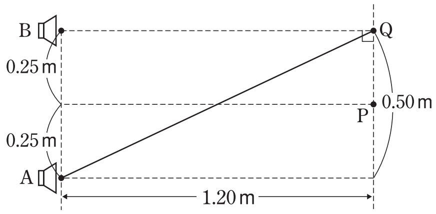
観測者の速度は，SO 方向の成分の大きさが

$$6\times\cos 60°$$
$$=6\times\frac{1}{2}$$
$$=3\ \mathrm{m/s}$$

である。よって，観測者は点Oを通過するときに，速さ 3 m/s で音源から遠ざかると考えると，「$f'=\dfrac{V-v_O}{V}f$」より

$$f'=\frac{340-3}{340}\times 680=\mathbf{674\ Hz}$$

p.61　**演習 1**



(1)　点Pは，スピーカー A，B から等距離にあり，音が強めあう。

$$AP-BP=0$$

また点Qは，マイクを移動していったときに最初に音が強めあう点である。したがって，音の波長をλとすると

$$AQ-BQ=\lambda \qquad \cdots\cdots①$$

三平方の定理より

$$AQ=\sqrt{1.20^2+0.50^2}=1.30\,\mathrm{m}$$

また，$BQ=1.20\,\mathrm{m}$ であるから

$$1.30-1.20=\lambda \quad より \quad \lambda=0.10\,\mathrm{m}$$

$V=f\lambda$ より

$$f=\frac{V}{\lambda}=\frac{3.4\times10^2}{0.10}=\mathbf{3.4\times10^3\,Hz}$$

(2) 振動数を大きくしていくと波長が小さくなり，①式を満たさなくなる。音が再び極大になるときの音の波長をλ'とすると

$$AQ-BQ=2\lambda'$$

$$1.30-1.20=2\lambda'$$

より　$\lambda'=0.050\,\mathrm{m}$

よって　$f'=\dfrac{V}{\lambda'}=\dfrac{3.4\times10^2}{0.050}=\mathbf{6.8\times10^3\,Hz}$

p. 61　演習 2

開管の長さをl〔m〕，音の速さをV〔m/s〕とする。開管内の気柱がm倍振動したとき，その波長λ_m〔m〕は

$$\lambda_m=\frac{2l}{m} \quad (m=1,\ 2,\ 3,\ \cdots)$$

であるから，3倍振動では $\lambda_3=\dfrac{2l}{3}$ となる。

したがって「$V=f\lambda$」より

$$V=(4.5\times10^2)\times\frac{2l}{3} \qquad \cdots\cdots①$$

一方，開管内の気柱が4倍振動すると

$\lambda_4=\dfrac{2l}{4}$ であるから

$$V=f\times\frac{2l}{4} \qquad \cdots\cdots②$$

①，②式より　$(4.5\times10^2)\times\dfrac{2l}{3}=f\times\dfrac{2l}{4}$

よって　$f=(4.5\times10^2)\times\dfrac{4}{3}=\mathbf{6.0\times10^2\,Hz}$

p. 61　演習 3

(1) おんさA，Bを同時に鳴らすと毎秒3回のうなりが聞こえ，$f_A>f_B$ であるから($f_A=510\,\mathrm{Hz}$ はおんさAの振動数)

$$f_A-f_B=3$$

よって　$f_B=f_A-3=510-3=\mathbf{507\,Hz}$

(2) 観測者に，実際の振動数より高く聞こえるようにするには，観測者に近づくように動かせばよい。すなわち，**左向き**。

(3) 観測者が聞くおんさBからの音の振動数が，ドップラー効果によりf_A〔Hz〕となればよい。音の速さをV〔m/s〕として

$$f_A=\frac{V}{V-v}f_B$$

$$510=\frac{340}{340-v}\times507$$

$$(340-v)\times510=340\times507$$

$$340-v=340\times\frac{507}{510}$$

よって　$v=\mathbf{2\,m/s}$

p. 61　演習 4

(1) $f_1=\dfrac{V}{V-(-v_S)}f=\boldsymbol{\dfrac{V}{V+v_S}f}$〔Hz〕

(2) 板を観測者と考える。板の受け取る音の振動数f'〔Hz〕は　$f'=\dfrac{V-v_R}{V-v_S}f$

次に，板を振動数f'の音を出す動く音源と考える。

板で反射した音を観測者が聞くときの振動数f_2〔Hz〕は

$$f_2=\frac{V}{V-(-v_R)}f'$$

$$=\frac{V}{V+v_R}\cdot\frac{V-v_R}{V-v_S}f$$

$$=\boldsymbol{\frac{(V-v_R)V}{(V-v_S)(V+v_R)}f}\text{〔Hz〕}$$

(3) うなりが聞こえないとき $f_1=f_2$ である。すなわち

$$\frac{V}{V+v_S}f=\frac{V}{V+v_R}\cdot\frac{V-v_R}{V-v_S}f$$

$$\frac{V-v_S}{V+v_S}=\frac{V-v_R}{V+v_R}$$

よって　$\boldsymbol{v_R=v_S}$

第3章 光

p. 63　問 25

図55の説明文中の式 $c=4Nnl$ より

$$c=4\times720\times12.6\times8633\fallingdotseq\mathbf{3.13\times10^8\,m/s}$$

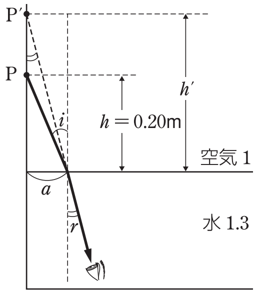
p. 65　問 26

水中での光の波長をλ〔m〕とする。

「$\lambda'=\dfrac{\lambda}{n}$」より

$$\lambda=\frac{6.5\times10^{-7}}{1.3}=\mathbf{5.0\times10^{-7}\,m}$$

p. 66　**類題 12**



図のように，Pを出て水面で屈折して観測者に届く光は，点P′ の方向からくるように見える。空気中から水中に進む光の入射角を i，屈折角を r とすると，屈折の法則より

$$\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{1.3}{1}$$

よって　$1\times\sin i=1.3\times\sin r$

観測者はPのほぼ真下から見ているので，角 i，r はきわめて小さい。

図より　$\tan i=\dfrac{a}{h}$，$\tan r=\dfrac{a}{h'}$ であるから

$$1\times\frac{a}{h}\fallingdotseq 1.3\times\frac{a}{h'}$$

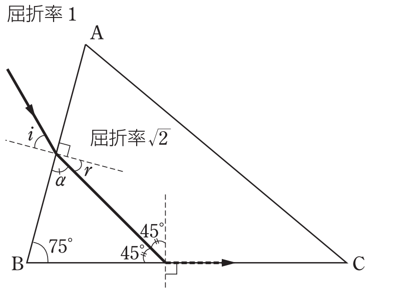
よって　$h'\fallingdotseq 1.3\times h=1.3\times 0.20=\mathbf{0.26\,m}$

p. 67　**類題 13**

ガラスから空気への臨界角を θ_0 とすると，屈折の法則より

$$\frac{\sin\theta_0}{\sin 90^\circ}=\frac{1}{\sqrt{2}}\quad よって\quad \sin\theta_0=\frac{1}{\sqrt{2}}$$

ゆえに　$\theta_0=45^\circ$



空気中からガラスへの屈折角を r とし，図のように角 α を定めると

$\alpha+75^\circ+45^\circ=180^\circ$　より　$\alpha=60^\circ$

$r=90^\circ-\alpha=90^\circ-60^\circ=30^\circ$

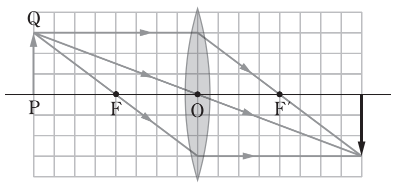
よって，屈折の法則より

$$\frac{\sin i}{\sin 30^\circ}=\frac{\sqrt{2}}{1}\quad したがって\quad \sin i=\frac{\sqrt{2}}{2}$$

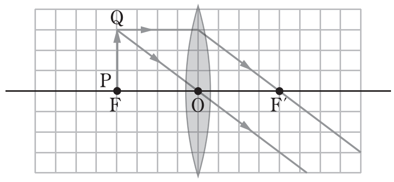
ゆえに　$i=\mathbf{45^\circ}$

p. 74　**問 27**

(1)



(2)　物体PQがFの上にあるときは，凸レンズを通過した光は平行光線となり，像は**できない**(下図)。



p. 74　**問 28**

レンズからスクリーンまでの距離は $(1.00-d)$〔m〕である。

レンズの焦点距離を f〔m〕とすると，写像公式より　$\dfrac{1}{d}+\dfrac{1}{1.00-d}=\dfrac{1}{f}$

$d=0.10\,\mathrm{m}$ のとき最初の像ができるので

$$\frac{1}{0.10}+\frac{1}{0.90}=\frac{1}{f}\quad ゆえに\quad f=0.090\,\mathrm{m}$$

$$\frac{1}{d}+\frac{1}{1.00-d}=\frac{1}{0.090}$$

より d の値を求めると

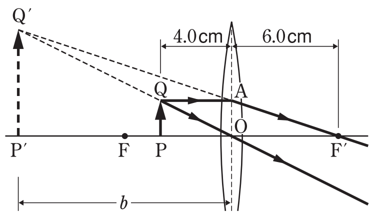
$d^2-d+0.090=0$

$(d-0.10)(d-0.90)=0$

より　$d=0.10\,\mathrm{m}$，$0.90\,\mathrm{m}$

2度目の実像ができるときは　$d=\mathbf{0.90\,m}$

p. 75　**問 29**



図のように，P′Q′ の像ができたとし，倍率 $m=\dfrac{\mathrm{P'Q'}}{\mathrm{PQ}}$，レンズと像との距離を b〔cm〕とする。△F′OA∽△F′P′Q′　より

$$m=\frac{b+6.0}{6.0}\qquad\cdots\cdots①$$

また，△OPQ∽△OP′Q′　より

$$m=\frac{b}{4.0}\qquad\cdots\cdots②$$

①式＝②式より　$b=12.0\,\mathrm{cm}$

この値を②式に代入して　$m=\mathbf{3.0}$**倍**

〔**別解**〕　レンズと物体との距離を a〔cm〕，レンズと像との距離を b〔cm〕，レンズの焦点距離を f〔cm〕として

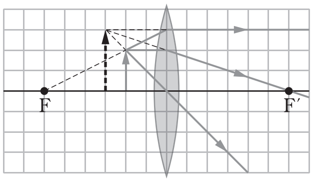
$\dfrac{1}{a}-\dfrac{1}{b}=\dfrac{1}{f}$　ここで，$a=4.0\,\mathrm{cm}$，

$f=6.0\,\text{cm}$ を代入すると　$b=12.0\,\text{cm}$

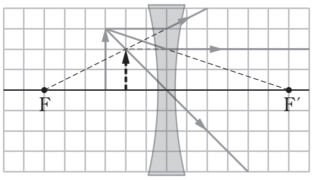
ゆえに　$m=\dfrac{b}{a}=\dfrac{12.0}{4.0}=$**3.0倍**

p. 76　問 30

(1)　物体が凸レンズの焦点の内側にあるときは，図のような正立虚像が生じる。



(2)　物体が凹レンズの焦点の内側にあるときは，図のような正立虚像が生じる。



p. 77　類題 14

凹レンズであるから，写像公式で $f=-40\,\text{cm}$, $a=60\,\text{cm}$ とおくと　$\dfrac{1}{60}+\dfrac{1}{b}=-\dfrac{1}{40}$

よって　$b=-24\,\text{cm}$

倍率 $m=\left|\dfrac{b}{a}\right|=\left|\dfrac{-24}{60}\right|=0.40$ 倍

$b<0$ であるから，凹レンズの前方に正立虚像ができる。**レンズの前方 24 cm の所に倍率 0.40 倍の正立虚像ができる。**

p. 79　問 a

2 枚のレンズを 1 枚のレンズと考えたときの焦点距離を f〔cm〕とすると

「$\dfrac{1}{f}=\dfrac{1}{f_1}+\dfrac{1}{f_2}$」より

$\dfrac{1}{f}=\dfrac{1}{20}+\dfrac{1}{30}$　　よって　$f=12\,\text{cm}$

2 枚のレンズの後方 b〔cm〕の位置に像が生じるとすると，写像公式で $a=36\,\text{cm}$, $f=12\,\text{cm}$ とおくと

$\dfrac{1}{36}+\dfrac{1}{b}=\dfrac{1}{12}$　　より　$b=18\,\text{cm}$

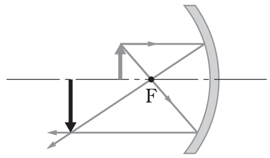
レンズの後方 18 cm の位置

p. 83　問 31

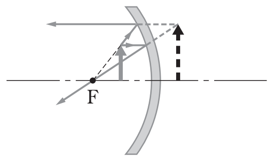
凹面鏡：主軸に平行な光は，反射後焦点を通り，焦点を通る光は，反射後主軸に平行に進む。

凸面鏡：主軸に平行な光は，反射後焦点から出たように進み，焦点へ向かう光は，反射後主軸に平行に進む。

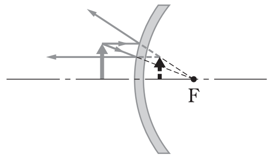
(1)



(2)



(3)



p. 83　問 32

(1)　凹面鏡であるから，写像公式で $f=30\,\text{cm}$，$a=20\,\text{cm}$ とおくと

$\dfrac{1}{20}+\dfrac{1}{b}=\dfrac{1}{30}$

よって　$b=-60\,\text{cm}$

倍率　$m=\left|\dfrac{b}{a}\right|=\left|\dfrac{-60}{20}\right|=3.0$ 倍

$b<0$ であるから，凹面鏡の後方に正立虚像ができる。**凹面鏡の後方 60 cm の所に大きさ 7.5 cm の正立虚像ができる。**

(2)　凸面鏡であるから，写像公式で $f=-30\,\text{cm}$，$a=20\,\text{cm}$ とおくと

$\dfrac{1}{20}+\dfrac{1}{b}=-\dfrac{1}{30}$

よって　$b=-12\,\text{cm}$

倍率　$m=\left|\dfrac{b}{a}\right|=\left|\dfrac{-12}{20}\right|=0.60$ 倍

$b<0$ であるから，凸面鏡の後方に正立虚像ができる。**凸面鏡の後方 12 cm の所に大きさ 1.5 cmの正立虚像ができる。**

p. 87　類題 15

(1)　暗線の間隔 Δx は　$\Delta x=\dfrac{l\lambda}{d}$　であるから　$\Delta x_1=\dfrac{l\times(6.9\times10^{-7})}{d}$

$\Delta x_2=\dfrac{l\times(4.6\times10^{-7})}{d}$

$\dfrac{\Delta x_1}{\Delta x_2}=\dfrac{6.9\times10^{-7}}{4.6\times10^{-7}}=1.5$

よって　**1.5倍**

(2)　屈折率 n の液体中での光の波長を λ' と

すると，暗線の間隔 $\varDelta x'$ は　$\varDelta x'=\dfrac{l\lambda'}{d}$

となる。また，屈折の法則より

$$\frac{\lambda}{\lambda'}=\frac{n}{1.0}\quad したがって\quad \lambda'=\frac{1}{n}\lambda$$

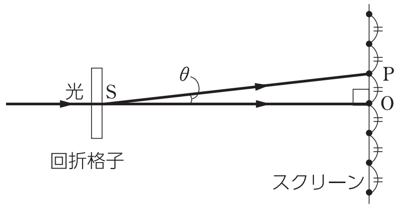
$$\varDelta x'=\frac{l\left(\dfrac{1}{n}\lambda\right)}{d}=\frac{1}{n}\left(\frac{l\lambda}{d}\right)=\frac{1}{n}\cdot\varDelta x$$

よって　$\boldsymbol{\dfrac{1}{n}}$**倍**

p. 89　問 33

回折格子の格子定数 d は

$$d=\frac{1.0\times10^{-2}}{350}\,\mathrm{m}$$



図のように，入射光線の延長線上のスクリーンの点をO，その隣の明線をP，∠PSO$=\theta$ とする。スクリーン上の明線は

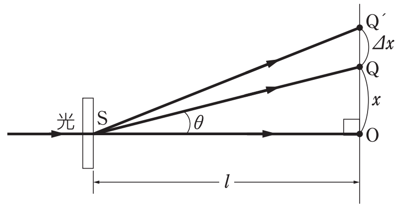
$d\sin\theta=m\lambda$　$(m=0,\ 1,\ 2,\ \cdots)$　の条件を満たす。点Pでは　$m=1$

$$\sin\theta=\frac{\mathrm{OP}}{\mathrm{SP}}\fallingdotseq\frac{\mathrm{OP}}{\mathrm{SO}}=\frac{3.5\times10^{-2}}{2.0}$$

よって　$\lambda=d\sin\theta=\left(\dfrac{1.0\times10^{-2}}{350}\right)\times\dfrac{3.5\times10^{-2}}{2.0}$

$$=\boldsymbol{5.0\times10^{-7}\,\mathrm{m}}$$

〔**別解**〕　スクリーン上の任意の明線をQ，その1つ外側の明線をQ′とする。



明線の条件 $d\sin\theta=m\lambda$ は

$$\sin\theta=\frac{\mathrm{OQ}}{\mathrm{SQ}}\fallingdotseq\frac{\mathrm{OQ}}{\mathrm{SO}}=\frac{x}{l}$$

より　$\dfrac{d}{l}x=m\lambda$　$(m=1,\ 2,\ \cdots)$

点Qで　$\dfrac{d}{l}x=m\lambda$　……①

点Q′で　$\dfrac{d}{l}(x+\varDelta x)=(m+1)\lambda$　……②

②式－①式より

$$\lambda=\frac{d}{l}\varDelta x=\frac{\left(\dfrac{1.0\times10^{-2}}{350}\right)\times(3.5\times10^{-2})}{2.0}$$

$$=\boldsymbol{5.0\times10^{-7}\,\mathrm{m}}$$

p. 89　問 34

格子定数が d の回折格子に垂直に入射した波長 λ の光が，入射方向から角 θ の方向で強めあう条件は　$d\sin\theta=m\lambda$　$(m=0,1,2,\cdots)$

であるから　$\sin\theta=\dfrac{m\lambda}{d}$　$(m=0,1,2,\cdots)$

(1)　d が一定のとき，同じ m に対する $\sin\theta$ の値は λ に比例する。すなわち，θ の値は λ が増すと大きくなるので，明線ができる間隔は**広くなる**。

(2)　ある λ のとき，同じ m に対する $\sin\theta$ の値は d に反比例する。すなわち，θ の値は d が増すと小さくなるので，明線ができる間隔は**狭くなる**。

p. 91　問 35

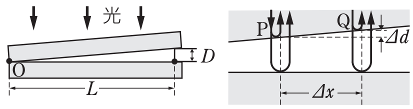
薄膜による光の干渉で，反射光が強めあう条件式

$$2nd\cos r=\left(m+\frac{1}{2}\right)\lambda\quad(m=0,1,2,\cdots)$$

において，膜の厚さ d がきわめて薄くなると $(d\fallingdotseq0)$，条件式の左辺 $(2nd\cos r)$ はほぼ0となり，いかなる波長においても強めあう条件を満たさずに，弱めあう条件を満たす。したがって，しゃぼん玉の上部が黒く見える。

p. 92　類題 16

紙の厚さを D〔m〕，光の波長を $\lambda=6.5\times10^{-7}\,\mathrm{m}$，縞の間隔を $\varDelta x=1.3\times10^{-3}\,\mathrm{m}$，点Oから紙までの距離を $L=0.20\,\mathrm{m}$ とする。



(1)　点P，Qを隣りあう明線の位置とする。これらの位置での空気層の厚さの差を $\varDelta d$〔m〕とすると，2点間の経路差の違いは $2\varDelta d$ であり，これが1波長分に等しいので　$2\varDelta d=\lambda$　……①

また，三角形の相似の関係より

$L:D=\varDelta x:\varDelta d$　……②

①，②式より

$D=\dfrac{L\varDelta d}{\varDelta x}=\dfrac{L\lambda}{2\varDelta x}$　……③

解答編

$$=\frac{0.20\times(6.5\times10^{-7})}{2\times(1.3\times10^{-3})}=\mathbf{5.0\times10^{-5}\,m}$$

(2) ③式より　$\varDelta x=\dfrac{L\lambda}{2D}$　……④

屈折率 $n=1.3$ の媒質中では，光の波長は $\lambda'=\dfrac{\lambda}{n}$ になる。よって，このときの縞の間隔 $\varDelta x'$ は④式より

$$\varDelta x'=\frac{L\lambda'}{2D}=\frac{1}{n}\cdot\frac{L\lambda}{2D}=\frac{\varDelta x}{n}$$

$$=\frac{1.3\times10^{-3}}{1.3}\,\mathrm{m}=\mathbf{1.0\,mm}$$

p. 95　問 B

(1) スリット間の距離を d〔m〕，複スリットとスクリーンの間の距離を l〔m〕，光の波長を λ〔m〕とすると，

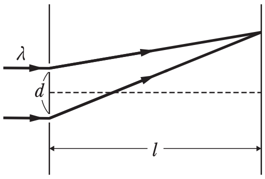


図 a

明線の間隔 $\varDelta x$〔m〕は　$\varDelta x=\dfrac{l\lambda}{d}$　……ⓐ

と表される。

屈折率 1.3 の水中では，光の波長が $\dfrac{1}{1.3}$ 倍になるので，ⓐ式より $\varDelta x$ も

$\dfrac{1}{1.3}\fallingdotseq 0.77$ 倍になる。

よって，**干渉縞の間隔が 0.77 倍になる**。

(2) 格子定数を d〔m〕，回折格子とスクリーンの間の距離を l〔m〕，光の波長を λ〔m〕とすると，明線の間隔 $\varDelta x$〔m〕は

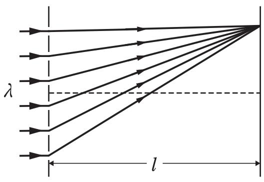


図 b

$$\varDelta x=\frac{l\lambda}{d}\quad\cdots\cdots ⓑ$$

と表される。

①のときの格子定数は

$$d_1=\frac{1.0\times10^{-2}}{500}=2.0\times10^{-5}\,\mathrm{m}$$

②のときの格子定数は

$$d_2=\frac{1.0\times10^{-2}}{1000}=1.0\times10^{-5}\,\mathrm{m}$$

よって，d_2 は d_1 の $\dfrac{1}{2}$ 倍である。

ⓑ式より，$\varDelta x$ は d に反比例するので，②は①に比べ，**干渉縞の間隔が 2 倍になる**。

(3) 薄膜の上下が空気である場合（図 c），上面で反射する光は位相が π ずれ，下面で反射する光は位相が変化しない。一方，薄膜の下側がより屈折率の大きな媒質の場合（図 d），下面で反射する光の位相も π ずれる。したがって，これらを比較すると，**干渉縞の明暗が逆になる**。

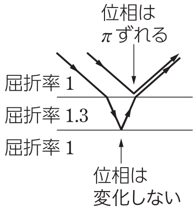


図 c

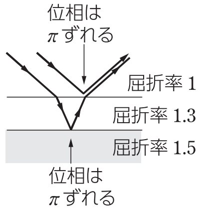


図 d

(4) 図 e のように，くさび形空気層を光源側からながめた場合，光 1 の位相は変化しないが，光 2 の位相は π ずれる。

一方，図 f のように，光源と反対側からながめた場合は，光 3（透過光）の位相は変化せず，また，光 4 は 2 度の反射で位相が π ずれるのを 2 回くり返すので，最終的に位相はもとにもどる。したがって，これらを比較すると，**干渉縞の明暗が逆になる**。

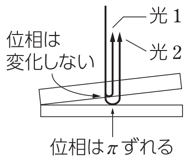


図 e

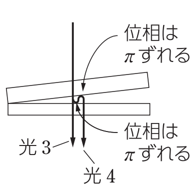


図 f

(5) くさび形空気層と同様，ニュートンリングにおいても，光源側からながめた場合と光源の反対側からながめた場合で，位相のずれが異なる。これらを比較すると，**干渉縞の明暗が逆になる**。

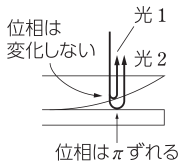


図 g

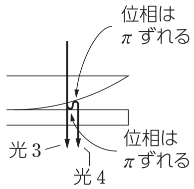
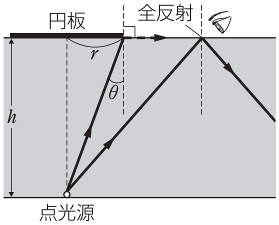


図 h

p. 96　演習 1

点光源から出て，円板のない水面に当たる光の入射角が，臨界角よりも大きくなるようにすればよい。



点光源から出た光が水面で全反射する臨界角を θ とすると　$\sin\theta=\dfrac{1}{n}$

$$r=h\tan\theta=h\frac{\sin\theta}{\cos\theta}=h\frac{\sin\theta}{\sqrt{1-\sin^2\theta}}$$

$$=\boldsymbol{\frac{h}{\sqrt{n^2-1}}}〔\mathbf{m}〕$$

p. 96　演習 2

(1)　写像公式で，$b=80-a$〔cm〕，$f=15$ cm として，$a>0$，$b>0$ となる a の値を求める。

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{80-a}=\frac{1}{15}$$
$$a^2-80a+1200=0$$
$$(a-20)(a-60)=0$$

よって　$a=$ **20 cm，60 cm**

(2)　倍率が 3.0 倍であるから $\left|\dfrac{b}{a}\right|=3.0$

また虚像であるから $b<0$ である。したがって，$b=-3.0a$〔cm〕，$f=15$ cm を写像公式に代入して

$$\frac{1}{a}-\frac{1}{3.0a}=\frac{1}{15}$$
$$\frac{2}{3a}=\frac{1}{15}$$

よって　$a=$ **10 cm**

(3)　焦点距離が 30 cm の凹レンズであるから，$f=-30$ cm であり，倍率が 0.50 倍であるから　$\left|\dfrac{b}{a}\right|=0.50$

また凹レンズであるから $b<0$ で

$b=-0.50a$〔cm〕

したがって

$$\frac{1}{a}-\frac{1}{0.50a}=-\frac{1}{30}$$
$$-\frac{1}{a}=-\frac{1}{30}$$

よって　$a=$ **30 cm**

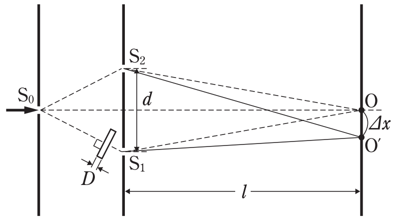
p. 96　演習 3

(1)　$S_0S_1=S_0S_2=s$ とする。

S_0S_1 の光路長 $=(s-D)+nD$
$=s+(n-1)D$

S_0S_2 の光路長 $=s$

光路差 $\varDelta s=\{s+(n-1)D\}-s$
$=\boldsymbol{(n-1)D}$〔**m**〕



(2)　透明板がないとき，光が $S_0\rightarrow S_1\rightarrow O$ と進む光と $S_0\rightarrow S_2\rightarrow O$ と進む光の光路差はない。次に，透明板を置いたとき，光路差がなく両経路を通った光が到達するスクリーン上の点を O′ とする。透明板を置くと，S_0S_1 の光路長＞S_0S_2 の光路長となるので，

S_1O' の光路長＜S_2O' の光路長

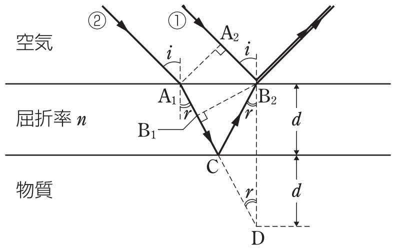
となる。すなわち，**下向き**に移動する。

(3)　$S_0\rightarrow S_1\rightarrow O'$ と進む光と $S_0\rightarrow S_2\rightarrow O'$ と進む光の光路長が等しくなるから

$$s+(n-1)D+S_1O'=s+S_2O'$$
$$(n-1)D=S_2O'-S_1O'$$
$$(n-1)D=\frac{d\varDelta x}{l}$$

よって　$\varDelta x=\boldsymbol{\dfrac{(n-1)Dl}{d}}$〔**m**〕

p. 97　演習 4



(1)　空気より薄膜のほうが屈折率が大きいので，光線①は点 B_2 での反射の際，位相が π **変化する**。

また，薄膜より物質のほうが屈折率が大きいので，光線②は点 C での反射の際，位相が π **変化する**。

(2)　(1)より，反射による光線①と光線②の間の位相のずれは生じない。両光線の光路

差は　$n\times(\mathrm{B_1D})=n\times 2d\cos r$
$=2nd\cos r$
であるから

$$\boldsymbol{2nd\cos r=\left(m+\frac{1}{2}\right)\lambda}$$

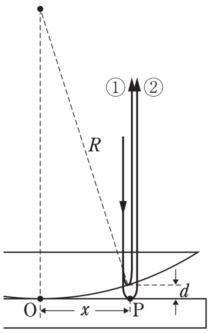
(3)　$i=0$ のとき $r=0$ となる。また，$m=0$ のとき，d は最小値 d_0 となるから

$$2nd_0\cos 0=\left(0+\frac{1}{2}\right)\lambda$$

よって　$d_0=\boldsymbol{\frac{\lambda}{4n}}$〔**m**〕

p. 97　演習 5

(1)　光線①は反射の際に位相は変化しないが，光線②は位相が π ずれる。また，両光線の経路差は $2d$ であるから，点Pの位置で暗くなるための条件式は　$\boldsymbol{2d=m\lambda}$



(2)　点O付近は $d=0$ であり，(1)の暗くなるための条件式で $m=0$ の場合である。
暗くなる

(3)　$\dfrac{x^2}{R}=m\lambda$　よって　$x=\boldsymbol{\sqrt{m\lambda R}}$〔**m**〕

(4)　暗環の半径 $x=\sqrt{m\lambda R}$ で，青い光のほうが赤い光より波長 (λ) が短いので，半径は**小さくなる**。

(5)　屈折率 n がレンズとガラスの屈折率より小さいので，反射光①と②の位相のずれ方は変わらない。液体中での光の波長 λ' は　$\dfrac{\lambda}{\lambda'}=\dfrac{n}{1}$　よって　$\lambda'=\dfrac{1}{n}\lambda$

したがって　$\dfrac{\sqrt{m\lambda' R}}{\sqrt{m\lambda R}}=\dfrac{\sqrt{m\cdot\frac{1}{n}\lambda R}}{\sqrt{m\lambda R}}$
$=\dfrac{1}{\sqrt{n}}$

よって　$\boldsymbol{\dfrac{1}{\sqrt{n}}}$ **倍**

第 4 編　電気と磁気

第 1 章 電場

p. 107　問 1

電子数を N，電気量の大きさを Q〔C〕とすると $Q=Ne$ と表される。

よって　$N=\dfrac{Q}{e}=\dfrac{|-3.2\times10^{-8}|}{1.6\times10^{-19}}=\boldsymbol{2.0\times10^{11}}$ **個**

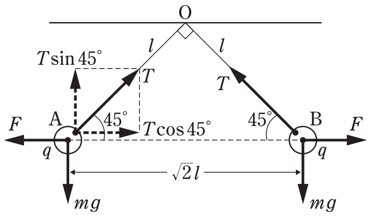
p. 107　問 2

正の電荷と負の電荷が打ち消しあい，残りの正の電気量を等しく分けあう。よって，それぞれの金属球がもつ電気量は

$$\frac{(6.0-2.0)\times10^{-6}}{2}=\boldsymbol{2.0\times10^{-6}\,\mathrm{C}}$$

p. 109　類題 1

小球 A，B には，それぞれ重力 mg，糸が引く力 T，静電気力 F がはたらいてつりあっている。



また，△OAB は，OA：OB：AB=1：1：$\sqrt{2}$ の直角二等辺三角形なので，∠OAB=∠OBA=45° である。

小球 A について力のつりあいの式を立てると
　水平方向：$T\cos45°-F=0$
　鉛直方向：$T\sin45°-mg=0$
これらの式から T を消去して

$$F=mg \qquad \cdots\cdots①$$

また，静電気力 F の大きさは，クーロンの法則より

$$F=k\frac{q^2}{(\sqrt{2}\,l)^2} \qquad \cdots\cdots②$$

①，②式より　$mg=k\dfrac{q^2}{(\sqrt{2}\,l)^2}$

$q>0$ であるから　$q=\boldsymbol{l\sqrt{\frac{2mg}{k}}}$〔**C**〕

p. 112　問 3

(1)　正電荷が電場から受ける静電気力の向きは，電場の向きと同じなので**右向き**である。静電気力の大きさは「$F=qE$」より
$F=(2.0\times10^{-6})\times(1.2\times10^3)$
$=\boldsymbol{2.4\times10^{-3}\,\mathrm{N}}$

(2)　負電荷が電場から受ける静電気力の向き

は，電場の向きと逆向きになるので**左向き**である。

静電気力の大きさは(1)と同様に

$$F=(3.0\times10^{-6})\times(1.2\times10^{3})$$
$$=\mathbf{3.6\times10^{-3}\,N}$$

p.113　問4

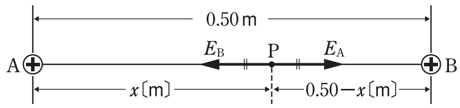
「$E=k\dfrac{Q}{r^2}$」より

$$E=(9.0\times10^{9})\times\frac{8.0\times10^{-6}}{2.0^2}=\mathbf{1.8\times10^{4}\,N/C}$$

正の点電荷なので，電場の向きは点電荷から**遠ざかる向き**。

p.114　類題2

AP$=x$〔m〕($0<x<0.50$)とし，クーロンの法則の比例定数を $9.0\times10^{9}\,\mathrm{N\cdot m^2/C^2}$ とする。



Aの正電荷が点Pにつくる電場は

$$\begin{cases}\text{強さ：}E_A=(9.0\times10^{9})\times\dfrac{4.5\times10^{-9}}{x^2}\text{〔N/C〕}\\ \text{向き：A→B}\end{cases}$$

Bの正電荷が点Pにつくる電場は

$$\begin{cases}\text{強さ：}E_B=(9.0\times10^{9})\times\dfrac{2.0\times10^{-9}}{(0.50-x)^2}\text{〔N/C〕}\\ \text{向き：B→A}\end{cases}$$

点Pでの合成電場の強さが0だから，

$E_A-E_B=0$ より

$$(9.0\times10^{9})\times\frac{4.5\times10^{-9}}{x^2}$$
$$=(9.0\times10^{9})\times\frac{2.0\times10^{-9}}{(0.50-x)^2}$$

これを x について解くと　$x=0.30,\ 1.5$

$0<x<0.50$　であるから，AからPまでの距離は **0.30m**

p.116　問5

(1)　$N=\boldsymbol{4\pi k_0 Q}$**本**

(2)　$S=\boldsymbol{4\pi R^2}$〔m²〕

(3)　単位面積当たりを垂直に貫く電気力線の本数は　$\dfrac{N}{S}=\dfrac{4\pi k_0 Q}{4\pi R^2}=k_0\dfrac{Q}{R^2}$

よって　$E=\boldsymbol{k_0\dfrac{Q}{R^2}}$〔N/C〕

p.117　問6

「$U=qV$」より

$$U=(6.0\times10^{-6})\times2.0=\mathbf{1.2\times10^{-5}\,J}$$

p.118　問7

「$W_{AB}=qV$」より

$$W_{AB}=(3.2\times10^{-7})\times2.0=\mathbf{6.4\times10^{-7}\,J}$$

p.119　問8

「$V=Ed$」より　$d=\dfrac{15}{30}=\mathbf{0.50\,m}$

p.119　類題3

(1)　点A，Bの電場の強さをそれぞれ E_A，E_B〔V/m〕とする。

電場の強さは電位の傾きの大きさに等しいので，グラフより

$$E_A=\frac{24}{0.60}=\mathbf{40\,V/m},\ E_B=\mathbf{0\,V/m}$$

(2)　OB間の電位差はグラフより $V=24$V で，Bのほうが電位が高い。よって，静電気力のする仕事は

$$W_{BO}=(2.0\times10^{-6})\times24=\mathbf{4.8\times10^{-5}\,J}$$

p.120　問9

「$V=k\dfrac{Q}{r}$」より

$$V=(9.0\times10^{9})\times\frac{6.0\times10^{-6}}{2.0}=\mathbf{2.7\times10^{4}\,V}$$

p.121　類題4

(1)　点O，Aの点電荷による点Pの電位をそれぞれ V_{OP}，V_{AP}〔V〕とすると，

「$V=k\dfrac{Q}{r}$」より

$$V_{OP}=k\frac{Q}{x},\ V_{AP}=k\frac{-4Q}{a-x}=-k\frac{4Q}{a-x}$$

よって　$V=k\dfrac{Q}{x}-k\dfrac{4Q}{a-x}$

$$=\frac{kQ(a-x)-4kQx}{x(a-x)}$$
$$=\boldsymbol{\frac{kQ(a-5x)}{x(a-x)}}\text{〔V〕}$$

(2)　$V=0$ となるとき　$\dfrac{kQ(a-5x)}{x(a-x)}=0$

よって　$x=\boldsymbol{\dfrac{a}{5}}$〔m〕

p.123　問10

ある等電位面と，その隣りの等電位面との電位差は2Vであること，正電荷に(相対的に)近い等電位面のほうが電位が高いこと，電位の高いほうから電位の低いほうへ動かすとき，外力のする仕事は負であること，および仕事「$W=qV$」を用いることなどを考慮して計算する。

AB：$+1\times(2\times2)=$**4 J**，BC：**0 J**

CD：$+1\times(2\times1)=$**2 J**

DE：$+1\times(2\times3)=$**6 J**

EF：$+1\times(-2\times2)=$**−4 J**

p.124　問 11

陽イオンは静電気力のみを受けて運動するから，原点Oと点Pでのエネルギー保存則より

$$\frac{1}{2}\times(6.6\times10^{-27})\times(2.0\times10^{5})^2+(3.2\times10^{-19})\times(3.3\times10^{3})$$

$$=\frac{1}{2}\times(6.6\times10^{-27})\times v^2+(3.2\times10^{-19})\times0$$

よって

$$v^2=(2.0\times10^{5})^2+\frac{2\times(3.2\times10^{-19})\times(3.3\times10^{3})}{6.6\times10^{-27}}$$

$$=3.6\times10^{11}$$

ゆえに　$v=\mathbf{6.0\times10^{5}}$ **m/s**

p.130　問 12

電気容量 2.0 μF，50 pF のコンデンサーに蓄えられる電気量をそれぞれ Q_1，Q_2〔C〕とすると，「$Q=CV$」より

$$Q_1=(2.0\times10^{-6})\times30=\mathbf{6.0\times10^{-5}\,C}$$

$$Q_2=(50\times10^{-12})\times30=\mathbf{1.5\times10^{-9}\,C}$$

p.132　問 13

コンデンサーAの極板の面積を S〔m²〕，極板の間隔を d〔m〕とすると，コンデンサーAの電気容量 C_A〔F〕は $C_A=\frac{1}{4\pi k_0}\cdot\frac{S}{d}$ となる。

コンデンサーBの電気容量 C_B〔F〕は

$$C_B=\frac{1}{4\pi k_0}\cdot\frac{2S}{d/2}=4\times\left(\frac{1}{4\pi k_0}\cdot\frac{S}{d}\right)=4C_A$$

$C_A=1.2$ μF　より　$C_B=4\times1.2=$**4.8 μF**

p.133　問 14

「$C=\varepsilon\frac{S}{d}$」より

$$C=(8.85\times10^{-12})\times\frac{5.00\times10^{-4}}{2.50\times10^{-3}}$$

$$=\mathbf{1.77\times10^{-12}\,F}$$

p.133　問 15

$\frac{C}{C_0}=\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}=\varepsilon_r$　より　$C=\varepsilon_r C_0$

よって　$C=5000\times(2.0\times10^{-12})=\mathbf{1.0\times10^{-8}\,F}$

p.135　類題 5

充電後のコンデンサーの電気量 Q は

$$Q=CV=(200\times10^{-12})\times40=8.0\times10^{-9}\,\mathrm{C}$$

(1)　電池を外した状態では，電気量は Q のまま変わらない。比誘電率 5.0 の誘電体で満たしたので，電気容量 C' は

$$C'=5.0\times(200\times10^{-12})=1.0\times10^{-9}\,\mathrm{F}$$

となる。よって

$$V'=\frac{Q}{C'}=\frac{8.0\times10^{-9}}{1.0\times10^{-9}}=\mathbf{8.0\,V}$$

(2)　電池に接続した状態では，電位差 $V=40$ V のままとなるので

$$Q'=C'V=(1.0\times10^{-9})\times40$$

$$=\mathbf{4.0\times10^{-8}\,C}$$

p.136　問 16

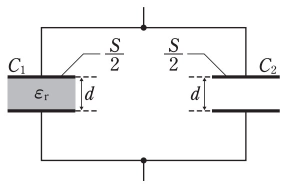
「$C=C_1+C_2$」より　$C=30+45=$**75 μF**

p.137　問 17

「$\frac{1}{C}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}$」より　$\frac{1}{C}=\frac{1}{30}+\frac{1}{45}=\frac{1}{18}$

よって　$C=$**18 μF**

p.138　類題 6



図のように，誘電体が満たされた部分と満たされていない部分とによるコンデンサーの並列接続と考えられる。それぞれのコンデンサーの電気容量を C_1，C_2〔F〕とすると　$C_1=\varepsilon_r\varepsilon_0\frac{S/2}{d}=\varepsilon_r\varepsilon_0\frac{S}{2d}$

$$C_2=\varepsilon_0\frac{S/2}{d}=\varepsilon_0\frac{S}{2d}$$

「$C=C_1+C_2$」より

$$C=\varepsilon_r\varepsilon_0\frac{S}{2d}+\varepsilon_0\frac{S}{2d}=\boldsymbol{\frac{(1+\varepsilon_r)\varepsilon_0 S}{2d}}\text{〔F〕}$$

p.139　問 18

(1)　「$U=\frac{1}{2}QV$」より

$$U=\frac{1}{2}\times(4.0\times10^{-5})\times12$$

$$=\mathbf{2.4\times10^{-4}\,J}$$

(2)　「$U=\frac{1}{2}CV^2$」より

$$U=\frac{1}{2}\times(2.0\times10^{-6})\times(3.0\times10^{2})^2$$

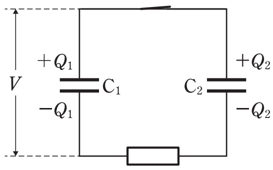
$$=\mathbf{9.0\times10^{-2}\,J}$$

(3) 「$U=\dfrac{Q^2}{2C}$」より

$$U=\frac{(2.0\times10^{-4})^2}{2\times(10\times10^{-6})}=\mathbf{2.0\times10^{-3}\,J}$$

p. 140　問 19

(1) Sを閉じた後に，C_1，C_2 に蓄えられている電気量を



Q_1，Q_2〔C〕とすると，これらの和は，初めに C_1 に蓄えられていた電気量に等しいので

$$Q_1+Q_2=(1.0\times10^{-6})\times(3.0\times10^2)$$

また，極板間の電位差 V〔V〕は等しいので

$$V=\frac{Q_1}{1.0\times10^{-6}}=\frac{Q_2}{2.0\times10^{-6}}$$

これらの式から

$$\mathbf{Q_2=2.0\times10^{-4}\,C,\ \ V=1.0\times10^2\,V}$$

(2) 初めに C_1 に蓄えられていた静電エネルギー U〔J〕は

$$U=\frac{1}{2}\times(1.0\times10^{-6})\times(3.0\times10^2)^2$$
$$=4.5\times10^{-2}\,\mathrm{J}$$

Sを閉じた後の C_1，C_2 の静電エネルギーの和 U'〔J〕は

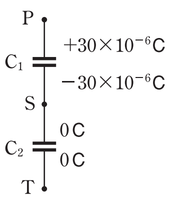
$$U'=\frac{1}{2}\times(1.0+2.0)\times10^{-6}\times(1.0\times10^2)^2$$
$$=1.5\times10^{-2}\,\mathrm{J}$$

よって，失われた静電エネルギーは

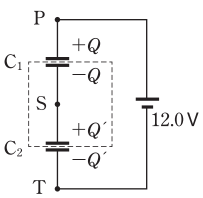
$$U-U'=\mathbf{3.0\times10^{-2}\,J}$$

p. 140　類題 7

(1) 電池につなぐ前には，C_1 に蓄えられている電気量は図aのようになる。図bのように，電池につないだとき，C_1 のP側に $+Q$〔C〕，S側に $-Q$〔C〕の電気量が蓄えられるものとする。また，C_2 のS側に $+Q'$〔C〕，T側に $-Q'$〔C〕の電気量が蓄えられるとする。



図a



図b

破線内の電気量が保存されるから

$$-Q+Q'=-30\times10^{-6}\qquad\cdots\cdots①$$

PT 間の電位差について

$$\frac{Q}{1.0\times10^{-6}}+\frac{Q'}{2.0\times10^{-6}}=12.0\cdots\cdots②$$

①，②式より

$$\mathbf{Q=1.8\times10^{-5}\,C}$$
$$Q'=-1.2\times10^{-5}\,\mathrm{C}$$

(2) (1)の結果より，TはSよりも高電位で，

電位差は　$\dfrac{1.2\times10^{-5}}{2.0\times10^{-6}}=6.0\,\mathrm{V}$

よって，**Tが 6.0 V 高い**。

p. 141　演習 1

(1) 電場の強さが 0 の点の座標を $(x,\ 0)$，クーロンの法則の比例定数を k〔$\mathrm{N\cdot m^2/C^2}$〕とすると，「$E=k\dfrac{Q}{r^2}$」より

$$k\times\frac{5.0\times10^{-9}}{(x+1)^2}=k\times\frac{2.0\times10^{-8}}{(x-4)^2}$$

これを解いて　$x=-6,\ \dfrac{2}{3}$

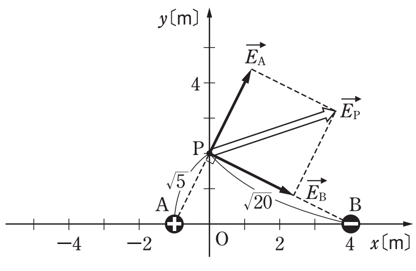
Aの電気量はBの電気量の絶対値より小さいから，求める点はAの左方にある。

よって　**(−6, 0)**

(2) $\mathrm{AP}=\sqrt{1^2+2^2}=\sqrt{5}\,\mathrm{m}$

$\mathrm{BP}=\sqrt{2^2+4^2}=\sqrt{20}\,\mathrm{m}$

$\mathrm{AB}=5\,\mathrm{m}$



したがって，∠APB＝90°

A，B の電荷がつくる点Pの電場の強さを E_A，E_B〔N/C〕とする。その向きはそれぞれ A→P，P→B の向きである。

$$E_A=(9.0\times10^9)\times\frac{5.0\times10^{-9}}{(\sqrt{5})^2}$$
$$=9.0\,\mathrm{N/C}$$

$$E_B=(9.0\times10^9)\times\frac{2.0\times10^{-8}}{(\sqrt{20})^2}$$
$$=9.0\,\mathrm{N/C}$$

点Pの電場の強さ E_P〔N/C〕は

$$E_P=9.0\sqrt{2}\fallingdotseq\mathbf{13\,N/C}$$

(3)　求める電位が 0 となる点を Q，Q の座標を $(x,\ 0)$ とすると

$$AQ=x-(-1)=(x+1)\,[\mathrm{m}]$$

$$QB=(4-x)\,[\mathrm{m}]$$

したがって，「$V=k\dfrac{Q}{r}$」より

$$k\times\frac{5.0\times10^{-9}}{x+1}+k\times\frac{(-2.0\times10^{-8})}{4-x}=0$$

これより　$x=0$

ゆえに **(0，0)** の位置

p. 141　演習 2

(1)　電場の強さを E〔V/m〕とすると，

「$E=\dfrac{V}{d}$」より

$$E=\frac{6.0\times10^{3}}{0.30}=2.0\times10^{4}\,\mathrm{V/m}$$

「$F=qE$」より

$$F=(1.6\times10^{-19})\times(2.0\times10^{4})$$

$$=\mathbf{3.2\times10^{-15}\,N}$$

(2)　「$W=qV$」より

$$W=(1.6\times10^{-19})\times(6.0\times10^{3})$$

$$=\mathbf{9.6\times10^{-16}\,J}$$

(3)　電場から受けた仕事のぶんだけ運動エネルギーが増加するから

$$\frac{1}{2}\times(1.2\times10^{-26})\times v^{2}=9.6\times10^{-16}$$

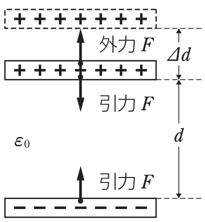
よって　$v=\mathbf{4.0\times10^{5}\,m/s}$

p. 141　演習 3

(1)　「$C=\varepsilon\dfrac{S}{d}$」および「$U=\dfrac{Q^2}{2C}$」より

$$U=\frac{Q^2}{2\varepsilon_0\dfrac{S}{d}}=\boldsymbol{\frac{Q^2d}{2\varepsilon_0S}}\,[\mathrm{J}]$$

(2)　このとき蓄えている静電エネルギーを U'〔J〕とすると，(1) の d を $d+\varDelta d$ で置きかえて



$$U'=\frac{Q^2(d+\varDelta d)}{2\varepsilon_0S}$$

よって　$\varDelta U=U'-U=\boldsymbol{\dfrac{Q^2\varDelta d}{2\varepsilon_0S}}$〔J〕

(3)　外力のした仕事は $F\varDelta d$〔J〕で，これが静電エネルギーの増加になったと考えられるから

$$F\varDelta d=\frac{Q^2\varDelta d}{2\varepsilon_0S}\quad よって\quad F=\boldsymbol{\frac{Q^2}{2\varepsilon_0S}}\,[\mathrm{N}]$$

第 2 章　電流

p. 142　問 20

「$I=\dfrac{Q}{t}$」より　$I=\dfrac{9.6}{30}=\mathbf{0.32\,A}$

p. 143　問 21

「$V=RI$」より　$R=\dfrac{V}{I}=\dfrac{10}{0.40}=\mathbf{25\,\Omega}$

p. 144　問 22

「$I=envS$」より

$$v=\frac{I}{enS}$$

$$=\frac{2.4}{(1.6\times10^{-19})\times(6.0\times10^{28})\times(1.0\times10^{-6})}$$

$$=\mathbf{2.5\times10^{-4}\,m/s}$$

p. 145　問 23

「$R=\rho\dfrac{l}{S}$」より

$$\rho=\frac{RS}{l}=\frac{0.85\times(2.0\times10^{-7})}{10}$$

$$=\mathbf{1.7\times10^{-8}\,\Omega\cdot m}$$

p. 147　問 24

アルミニウムの抵抗率の温度係数 α は $\alpha=4.2\times10^{-3}$/K である。0°C，t〔°C〕のときのアルミニウムの抵抗率をそれぞれ ρ_0，ρ〔Ω·m〕とすると $\rho=\rho_0(1+\alpha t)$ より ρ と ρ_0 の差は

$$\rho-\rho_0=\rho_0+\rho_0\alpha t-\rho_0=\rho_0\alpha t$$

よって，t=40°C のとき

$$\rho-\rho_0=(2.5\times10^{-8})\times(4.2\times10^{-3})\times40$$

$$=\mathbf{4.2\times10^{-9}\,\Omega\cdot m}$$

p. 148　問 25

(1)　「$Q=IVt$」より

$$Q=1.2\times10\times30=\mathbf{3.6\times10^{2}\,J}$$

(2)　「$Q=\dfrac{V^2}{R}t$」より

$$Q=\frac{20^2}{30}\times1.0\times60=\mathbf{8.0\times10^{2}\,J}$$

p. 149　問 26

(1)　「$P=IV$」より

$$P=3.0\times100=\mathbf{3.0\times10^{2}\,W}$$

(2)　「$W=IVt$」より

$$W_1=3.0\times100\times60=\mathbf{1.8\times10^{4}\,J}$$

(3)　$W_2=3.0\times100\times4.0=1.2\times10^{3}\,\mathrm{Wh}$

$$=\mathbf{1.2\,kWh}$$

p.150　問 27

「$R=R_1+R_2$」より　$R=30+20=$**50 Ω**

p.151　問 28

「$\dfrac{1}{R}=\dfrac{1}{R_1}+\dfrac{1}{R_2}$」より　$\dfrac{1}{R}=\dfrac{1}{30}+\dfrac{1}{20}$

よって　$R=$**12 Ω**

p.152　問 29

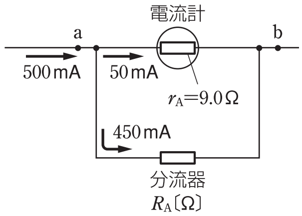
電流計を流れる電流を I〔A〕，抵抗および電流計に加わる電圧を V_1，V_2〔V〕とすると，オームの法則より　$V_1=RI$，$V_2=r_{\mathrm{A}}I$

$V=V_1+V_2$ より　$V=RI+r_{\mathrm{A}}I=(R+r_{\mathrm{A}})I$

よって　$I=\boldsymbol{\dfrac{V}{R+r_{\mathrm{A}}}}$〔A〕

p.152　問 30

電流計の最大目盛りが 50 mA なので，図の点 a に流れこんだ 500 mA の電流が，



電流計には 50 mA，分流器には 450 mA 流れるようにすればよい。

分流器の抵抗値を R_{A}〔Ω〕とすると，並列接続では各抵抗に加わる電圧は等しいので

$$9.0\times(50\times10^{-3})=R_{\mathrm{A}}\times(450\times10^{-3})$$

よって　$R_{\mathrm{A}}=$**1.0 Ω**

〔**別解**〕　最大目盛りを $n=\dfrac{500\,\mathrm{mA}}{50\,\mathrm{mA}}=10$ 倍にしたいのだから，求める分流器の抵抗 R_{A}〔Ω〕は　$R_{\mathrm{A}}=\dfrac{r_{\mathrm{A}}}{n-1}=\dfrac{9.0}{10-1}=$**1.0 Ω**

p.153　問 31

電圧計の示す電圧を V〔V〕，抵抗および電圧計に流れる電流を I_1，I_2〔A〕とすると，オームの法則より　$I_1=\dfrac{V}{R}$，$I_2=\dfrac{V}{r_{\mathrm{V}}}$

$I=I_1+I_2$ より

$$I=\frac{V}{R}+\frac{V}{r_{\mathrm{V}}}=\frac{R+r_{\mathrm{V}}}{Rr_{\mathrm{V}}}V$$

よって　$V=\boldsymbol{\dfrac{Rr_{\mathrm{V}}}{R+r_{\mathrm{V}}}I}$〔V〕

p.153　問 32

最大目盛りを $n=\dfrac{30\,\mathrm{V}}{3.0\,\mathrm{V}}=10$ 倍　にしたいのだから，「$R_{\mathrm{V}}=(n-1)r_{\mathrm{V}}$」より

$$R_{\mathrm{V}}=(10-1)\times3.0=\textbf{27 kΩ}$$

p.154　問A

$\mathrm{R_1}$ と $\mathrm{R_2}$ は並列接続なので，$\mathrm{R_1}$ の両端の電圧 V_1 と $\mathrm{R_2}$ の両端の電圧 V_2 は等しい。

(1)　$V_2=R_2I_2=30\times1.2=$**36 V**

(2)　$V_1=V_2=$**36 V**

(3)　電源の電圧 V は V_2 に等しいので **36 V**

(4)　$V_1=R_1I_1$ より　$I_1=\dfrac{V_1}{R_1}=\dfrac{36}{20}=$**1.8 A**

(5)　$I=I_1+I_2=1.8+1.2=$**3.0 A**

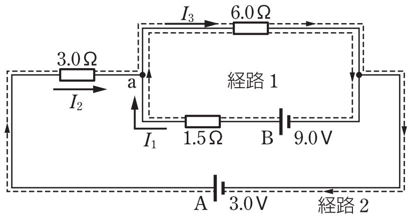
p.155　問B

①，③，⑤

$\mathrm{R_1}$ と $\mathrm{R_2}$ に加わる電圧が，電池の電圧と等しい回路を選ぶ。②と④の回路は，$\mathrm{R_1}$ と $\mathrm{R_2}$ に同じ電流が流れる直列接続である。

p.157　類題 8

各抵抗に流れる電流の大きさと向きを図のように仮定する。



キルヒホッフの法則Ⅰを用いると，点 a について

$I_1+I_2=I_3$　……①

キルヒホッフの法則Ⅱを用いると，経路 1 について

$9.0=1.5I_1+6.0I_3$　……②

経路 2 について

$3.0=3.0I_2+6.0I_3$　……③

①～③式を連立して解くと

$I_1=2.0\,\mathrm{A}$，$I_2=-1.0\,\mathrm{A}$，$I_3=1.0\,\mathrm{A}$

I_2 は負であるので，図に定めた向きと逆向きである。したがって，3.0 Ω の抵抗を流れる電流は，**左向き**に **1.0 A** である。

p.158　問 33

「$V=E-rI$」より

$V=1.5-0.50\times0.60=$**1.2 V**

「$V=RI$」より　$R=\dfrac{V}{I}=\dfrac{1.2}{0.60}=$**2.0 Ω**

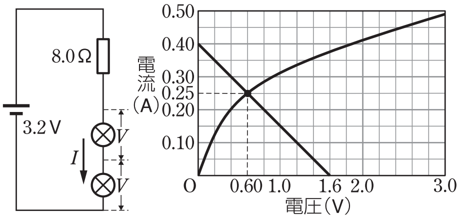
p.159　問 34

求める抵抗値を R〔Ω〕とすると　$\dfrac{7.0}{5.0}=\dfrac{3.5}{R}$

よって　$R=\dfrac{3.5\times5.0}{7.0}=$**2.5 Ω**

p.161　類題 9

各豆電球に加わる電圧を V〔V〕，流れる電流を I〔A〕とする。



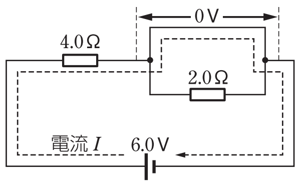
抵抗にも I〔A〕の電流が流れているので，抵抗に加わる電圧は $8.0I$〔V〕である。よって

$$3.2 = 8.0I + 2V \quad \cdots\cdots①$$

が成りたつ。①式の直線を豆電球の電流-電圧特性のグラフにかき入れ，交点の値を読み取ればよい。よって，電流は **0.25 A**

p.163　類題 10

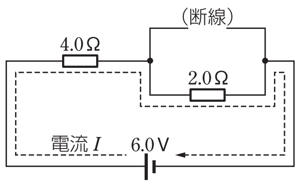
(1)



コンデンサーに蓄えられている電気量は 0 だから，コンデンサーの両端の電圧も 0 である。このとき，コンデンサーは抵抗のない導線とみなせる。

上の図より，2.0Ω の抵抗を流れる電流は **0 A**

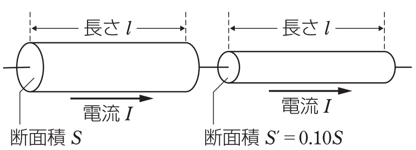
(2) 十分に時間が経過したとき，コンデンサーに電荷が流れこまなくなる（コンデンサーは断線とみなせる）。



上の図より，2.0Ω の抵抗に流れる電流は　$I = \dfrac{6.0}{4.0+2.0} = \mathbf{1.0\,A}$

p.170　演習 1

同じ長さの正常な部分と，断線した部分を比較する。



正常な部分

$$\begin{cases} \text{抵抗値}\ R = \rho\dfrac{l}{S} \\ \text{ジュール熱}\ Q = I^2Rt \end{cases}$$

断線した部分

$$\begin{cases} \text{抵抗値}\ R' = \rho\dfrac{l}{0.10S} = 10R \\ \text{ジュール熱}\ Q' = I^2R't = 10Q \end{cases}$$

よって　$\dfrac{Q'}{Q} = 10$　ゆえに　**10 倍**

p.170　演習 2

(1) ⓐの場合，電圧計の示す値 V は抵抗の両端に加わる電圧であるが，電流計の示す値 I は抵抗Rと電圧計に流れる電流の和である。

$$I = \frac{V}{R} + \frac{V}{r_V} = \boldsymbol{\frac{R + r_V}{Rr_V}V}$$

したがって　$R_a = \dfrac{V}{I} = \boldsymbol{\dfrac{Rr_V}{R + r_V}}$

(2) ⓑの場合，電流計の示す値 I は抵抗Rに流れる電流の値であるが，電圧計の示す値 V は抵抗Rと電流計に加わる電圧の和である。

$$V = RI + r_AI = \boldsymbol{(R + r_A)I}$$

したがって　$R_b = \dfrac{V}{I} = \boldsymbol{R + r_A}$

(3) R が非常に小さいとき，ⓐでは $R \ll r_V$ として

$$R_a = \frac{Rr_V}{R + r_V} = \frac{R}{\left(\dfrac{R}{r_V}\right) + 1} \fallingdotseq R$$

ⓑでは $R_b = R + r_A$ の式で，R が非常に小さいと，R に対して r_A が無視できなくなるため，誤差が大きくなる。

したがって，**ⓐの接続が適当**である。

R が非常に大きいとき，ⓐでは

$$R_a = \frac{Rr_V}{R + r_V} = \frac{R}{\left(\dfrac{R}{r_V}\right) + 1}$$

の式で，R が非常に大きいと，$\dfrac{R}{r_V}$ の値が無視できなくなるため，誤差が大きくなる。

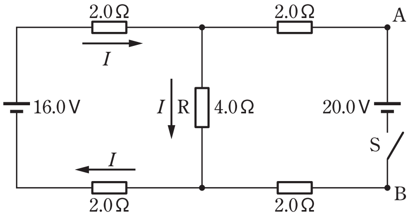
ⓑでは $R \gg r_A$ として

$$R_b = R + r_A = R\left(1 + \frac{r_A}{R}\right) \fallingdotseq R$$

したがって，**ⓑの接続が適当**である。

p.170　演習 3

(1) 回路に流れる電流 I〔A〕は図のようになる。



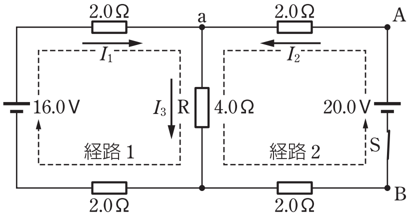
キルヒホッフの法則Ⅱより

$16.0=(2.0+4.0+2.0)\times I$

よって　$I=2.0\,\mathrm{A}$

A，B 間の電位差は抵抗 R の両端の電位差に等しいので　$V=4.0\times2.0=$ **8.0 V**

(2)　回路に流れる電流の大きさと向きを図のように仮定する。



キルヒホッフの法則Ⅰを用いると，点 a について

$I_1+I_2=I_3$　……①

キルヒホッフの法則Ⅱを用いると，経路 1 について

$16.0=2.0\times I_1+4.0\times I_3+2.0\times I_1$　……②

経路 2 について

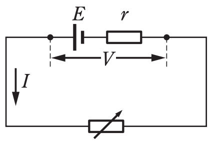
$20.0=2.0\times I_2+4.0\times I_3+2.0\times I_2$　……③

①〜③式を連立して解くと

$I_1=1.0\,\mathrm{A}$，$I_2=2.0\,\mathrm{A}$，$I_3=3.0\,\mathrm{A}$

したがって，抵抗 R を流れる電流は，**下向きに 3.0 A** である。

p. 170　演習 4



「$V=E-rI$」より

$1.30=E-r\times0.40$　……①

$1.10=E-r\times0.80$　……②

①，②式を連立して解くと

$E=$ **1.50 V**，$r=$ **0.50 Ω**

p. 171　演習 5

抵抗線の ac，cb の部分の抵抗値をそれぞれ r_{ac}，r_{cb} とする。r_{ac} と r_{cb} は，ac と cb の長さの比が 25.0：75.0 であるから，

$r_{\mathrm{ac}}:r_{\mathrm{cb}}=25.0:75.0$

ゆえに　$r_{\mathrm{cb}}=3.00r_{\mathrm{ac}}$

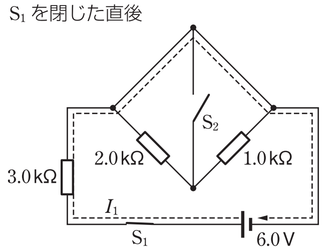
ホイートストンブリッジの回路と同様に考えて　$\dfrac{10.0}{r_{\mathrm{ac}}}=\dfrac{R_{\mathrm{X}}}{r_{\mathrm{cb}}}$

以上より　$R_{\mathrm{X}}=$ **30.0 Ω**

p. 171　演習 6

(1)　このとき，コンデンサーは抵抗のない導線とみなせる。

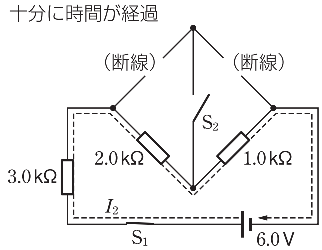
S₁を閉じた直後



$I_1=\dfrac{6.0}{3.0\times10^3}=$ **2.0×10^{-3} A**

(2)　十分に時間が経過すると，コンデンサーには電荷が流れこまなくなる。

十分に時間が経過



キルヒホッフの法則Ⅱより

$6.0=(3.0\times10^3)\times I_2+(2.0\times10^3)\times I_2$
$\quad+(1.0\times10^3)\times I_2$

よって　$I_2=$ **1.0×10^{-3} A**

(3)　3.0 kΩ の抵抗に加わる電圧は

$(3.0\times10^3)\times(1.0\times10^{-3})=3.0\,\mathrm{V}$

であるから，C_1 と C_2 に加わる電圧の和は　$6.0-3.0=3.0\,\mathrm{V}$

よって，「$Q=CV$」より

$\dfrac{Q_1}{2.0\times10^{-6}}+\dfrac{Q_2}{3.0\times10^{-6}}=3.0$　…①

また，C_1 と C_2 の間で電気量が保存されるから

$Q_1-Q_2=0$　……②

①，②式を連立して解くと

$Q_1=$ **3.6×10^{-6} C**

$Q_2=$ **3.6×10^{-6} C**

(4)　このとき，各抵抗を流れる電流は(2)と同じく $I_2=1.0\times10^{-3}\,\mathrm{A}$ である。また，C_1 と C_2 に加わる電圧 V_1'，V_2'〔V〕は，2.0 kΩ，1.0 kΩ の抵抗に加わる電圧に等しいから

$V_1'=(2.0\times10^3)\times(1.0\times10^{-3})=2.0\,\mathrm{V}$

$V_2'=(1.0\times10^3)\times(1.0\times10^{-3})=1.0\,\mathrm{V}$

よって

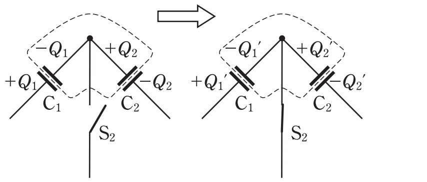
$Q_1'=C_1V_1'=(2.0\times10^{-6})\times2.0$

$=\mathbf{4.0\times10^{-6}\,C}$

$Q_2'=C_2V_2'=(3.0\times10^{-6})\times1.0$

$=\mathbf{3.0\times10^{-6}\,C}$

(5)



図の破線で囲まれた部分の電気量の差が，S_2 を通過した電気量に等しい。閉じる前の電気量は

$-Q_1+Q_2$

$=-(3.6\times10^{-6})+(3.6\times10^{-6})$

$=0\,\mathrm{C}$

閉じた後の電気量は

$-Q_1'+Q_2'$

$=-(4.0\times10^{-6})+(3.0\times10^{-6})$

$=-1.0\times10^{-6}\,\mathrm{C}$

よって，通過した電気量の大きさは

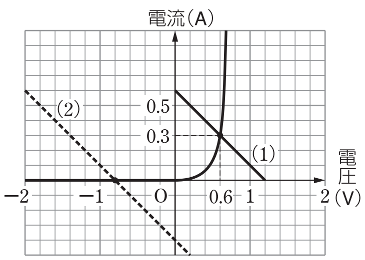
$\mathbf{1.0\times10^{-6}\,C}$

p.171　演習 7

(1)　ダイオードに加わる電圧を V_1〔V〕，順方向に流れる電流を I_1〔A〕とすると，キルヒホッフの法則Ⅱより次の式が成りたつ。

$1.2=2I_1+V_1$　……①

①式の直線をグラフにかき入れ，交点の値を読み取ればよい。よって，$I_1=$**0.3 A**



(2)　このときの電流と電圧の関係は，図の破線のようになる。ダイオードには逆方向の電圧が加わるので，電流は流れない。よって，$I_2=$**0 A**

第 3 章　電流と磁場

p.173　問 35

S極が右向きに力を受ける場所では，N極は左向きに力を受けるから，磁場の向きは**左向き**である。

磁場の強さ H〔N/Wb〕は「$F=mH$」より

$H=\dfrac{1.2\times10^{-2}}{1.0\times10^{-3}}=\mathbf{12\,N/Wb}$

p.177　問 36

「$H=\dfrac{I}{2\pi r}$」より

$H=\dfrac{4.0}{2\times3.14\times0.50}\fallingdotseq\mathbf{1.3\,A/m}$

p.177　問 37

「$H=N\dfrac{I}{2r}$」より

$H=10\times\dfrac{0.50}{2\times0.10}=\mathbf{25\,A/m}$

p.178　問 38

単位長さ(1 m)当たりの巻数は

$n=\dfrac{200}{0.10}=2.0\times10^3/\mathrm{m}$

「$H=nI$」より

$H=(2.0\times10^3)\times0.40=\mathbf{8.0\times10^2\,A/m}$

p.179　類題 11

円形コイルAと導線Bが，点Pにつくる磁場の強さをそれぞれ H_1，H_2〔A/m〕とする。

(1)　$H_1=\dfrac{I_1}{2r}$〔A/m〕，正の向き

$H_2=\dfrac{I_2}{2\pi\times2r}=\dfrac{I_2}{4\pi r}$〔A/m〕，負の向き

よって　$H=H_1-H_2=\boldsymbol{\dfrac{I_1}{2r}-\dfrac{I_2}{4\pi r}}$〔**A/m**〕

(2)　(1)より　$\dfrac{I_1}{2r}-\dfrac{I_2}{4\pi r}=0$

すなわち $I_2=2\pi I_1$ であればよい。

よって　**2π 倍**

p.181　問 39

「$F=\mu IHl$」より

$F=(1.26\times10^{-6})\times2.0\times25\times0.10$

$=\mathbf{6.3\times10^{-6}\,N}$

p.183　問 40

「$F=IBl$」より

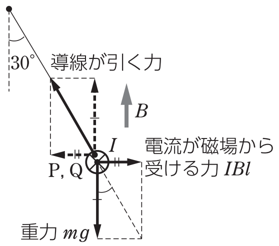
$F=4.0\times0.50\times0.20=\mathbf{0.40\,N}$

p. 184　類題 12

(1)　求める電流 I〔A〕は，オームの法則より

$$I=\frac{\boldsymbol{E}}{\boldsymbol{R}}\text{〔A〕}$$

(2)　導体棒には，重力 mg〔N〕，導線が引く力，および電流が磁場から受ける力 IBl〔N〕の 3 力がはたらく。磁場から受ける力の向きは，フレミングの左手の法則より水平方向右向きとなる。



図より，$\tan 30°=\dfrac{IBl}{mg}$

(1)の結果を代入して　$\dfrac{1}{\sqrt{3}}=\dfrac{E}{R}\cdot\dfrac{Bl}{mg}$

よって　$B=\dfrac{\boldsymbol{\sqrt{3}\,mgR}}{\boldsymbol{3El}}$〔T〕

p. 185　問 41

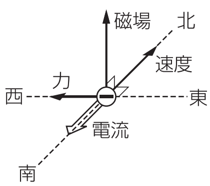
「$F=\dfrac{\mu I_1I_2}{2\pi r}l$」より

$$F=\frac{(4\pi\times10^{-7})\times1.0\times2.0}{2\pi\times0.10}\times1.0$$

$$=\boldsymbol{4.0\times10^{-6}}\,\textbf{N}$$

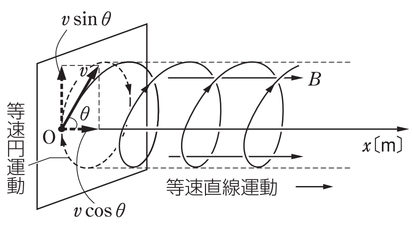
p. 187　問 42

電流の向きは，負の荷電粒子のときは粒子の運動と反対の向きである。フレミングの左手の法則より，電子は磁場から**西向き**の力を受ける。



p. 188　類題 13

荷電粒子の運動を x 軸に垂直な方向と，平行な方向に分けて考える。x 軸に垂直な方向にはローレンツ力 $qvB\sin\theta$ を受けて，x 軸に垂直な面内で等速円運動をする。



円運動の半径を r〔m〕とすると

$$m\frac{(v\sin\theta)^2}{r}=qvB\sin\theta$$

したがって　$r=\dfrac{mv\sin\theta}{qB}$〔m〕

最初に x 軸を横切る時間は，粒子が 1 周する時間であるから

$$t=\frac{2\pi r}{v\sin\theta}=\frac{2\pi}{v\sin\theta}\cdot\frac{mv\sin\theta}{qB}$$

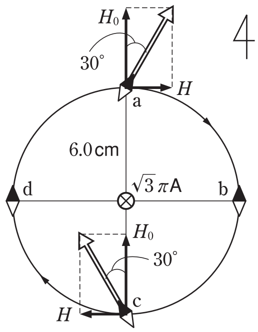
$$=\frac{\boldsymbol{2\pi m}}{\boldsymbol{qB}}\text{〔s〕}$$

この粒子は x 軸と平行な方向には力を受けないので，速さ $v\cos\theta$ で等速直線運動をする。

よって　$l=v\cos\theta\times t=\dfrac{\boldsymbol{2\pi mv\cos\theta}}{\boldsymbol{qB}}$〔m〕

p. 191　演習 1

(1)　導線から小さな方位磁針の磁極（N 極，S 極）までの距離は 6.0 cm と考えてよい。方位磁針は地球の磁場の水平分力（H_0〔A/m〕）と，電流による磁場（H〔A/m〕とする）とを合成した磁場の向きに静止する。



$\tan 30°=\dfrac{H}{H_0}$　……①

また，電流による磁場 H〔A/m〕は

$$H=\frac{I}{2\pi r}=\frac{\sqrt{3}\,\pi}{2\times\pi\times(6.0\times10^{-2})}\ \cdots②$$

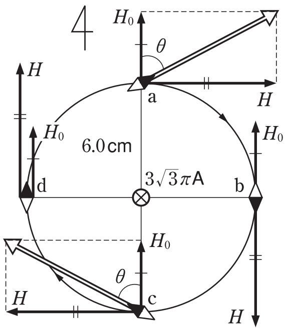
②式を①式に代入して整理すると

$H_0=\sqrt{3}\,H=\textbf{25 A/m}$

(2)　$3\sqrt{3}\,\pi$ A の電流による磁場 H〔A/m〕は

$$H=\frac{I}{2\pi r}=\frac{3\sqrt{3}\,\pi}{2\times\pi\times(6.0\times10^{-2})}$$

$$=25\sqrt{3}\ \text{A/m}$$



ａ～ｄの地球の磁場の水平分力(H_0)と，電流による磁場(H)は図のようになる。方位磁針は両者を合成した磁場の向きを向く。図で，$H_0=25$ A/m，$H=25\sqrt{3}$ A/m

ａ：**北から 60° 東に傾いた向き**
($\tan\theta=\sqrt{3}$ より)

ｂ：**南向き**($25\sqrt{3}$ A/m$>$25 A/m より)

ｃ：**北から 60° 西に傾いた向き**
($\tan\theta=\sqrt{3}$ より)

ｄ：**北向き**

p.191　演習 2

電流 I_1 のつくる磁場から AB が受ける力と，CD が受ける力は同じ平面内にあって，逆向きで大きさが等しいからつりあう。BC，DA が受ける力の大きさを F_1，F_2〔N〕とすると

$$F_1=\frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi(r+l)},\quad F_2=\frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi r}$$

で，F_1 の向きは y 軸の正の向き，F_2 の向きは y 軸の負の向きで $F_1<F_2$ であるから，合力は **y 軸の負の向き**となる。合力の大きさ F〔N〕は

$$F=F_2-F_1=\boldsymbol{\frac{\mu_0 I_1 I_2 l^2}{2\pi r(r+l)}}\text{〔N〕}$$

p.191　演習 3

(1)　フレミングの左手の法則より，電流の担い手は X→Y の向きに力を受けて Y 側に集まる。Y 側の電位が低いことから，電流の担い手は**負**と考えられる。

(2)　キャリアが直進するとき，キャリアが電場から受ける力と磁場から受ける力はつりあっている。電場の強さを E〔V/m〕とすると

$$eE-evB=0 \quad \cdots\cdots ①$$

また，電場と電圧の関係から

$$E=\frac{V}{b} \quad \cdots\cdots ②$$

①，②式より

$$v=\boldsymbol{\frac{V}{Bb}}\text{〔m/s〕}$$

(3)　「$I=envS$」($S=ab$)より

$$I=en\cdot\frac{V}{Bb}\cdot ab$$

よって　$n=\boldsymbol{\frac{BI}{eVa}}$〔1/m³〕

第 4 章　電磁誘導と電磁波

p.193　問 43

コイルに磁石のＳ極を近づけると，コイルを貫く磁束が右向きに増加する。この磁束を打ち消す向きに誘導電流が流れるから，誘導電流は②の向きに流れる。

p.194　問 44

「$V=-N\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$」より

$$|V|=100\times\frac{2.5\times10^{-4}}{0.10}=\mathbf{0.25\,V}$$

p.194　類題 14

生じる誘導起電力の大きさを V〔V〕とすると，ファラデーの電磁誘導の法則より

$$V=\left|-N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right|=\left|-N\frac{\Delta B\cdot S}{\Delta t}\right| \text{ と表される。}$$

①　$V=\left|-N\dfrac{B_0 S}{T}\right|=\boldsymbol{\dfrac{NB_0S}{T}}$〔V〕

②　**0 V**

③　$V=\left|-N\dfrac{(-B_0)S}{2T}\right|=\boldsymbol{\dfrac{NB_0S}{2T}}$〔V〕

p.195　問 45

磁場について，紙面の裏から表に向かう向きを正とする。

(1)　磁束が正の向きに増加し，磁束の増加を打ち消す向きに誘導電流が流れるから，コイルに流れる誘導電流の向きは②

(2)　磁束の変化がないため，コイルに誘導電流は流れない。③

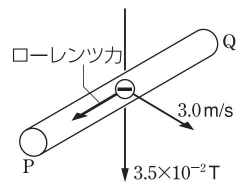
(3)　磁束が正の向きに減少し，磁束の減少を打ち消す向きに誘導電流が流れるから，コイルに流れる誘導電流の向きは①

p.197　問 46

(1)　「$V=vBl$」より

$$V=3.0\times(3.5\times10^{-2})\times(8.0\times10^{-2})$$
$$=\mathbf{8.4\times10^{-3}\,V}$$

(2)　図のように，導線中の自由電子は Q→P の向きにローレンツ力を受けるので，負の電荷が現れるのは **P 端**である。



p.199　類題 15

(1)　$V=\boldsymbol{vBl}$〔V〕

(2) 導体棒PQ間には，Q→P の向きの誘導起電力が生じる。キルヒホッフの法則Ⅱより

$$E-vBl=RI$$

よって　$I=\boldsymbol{\frac{E-vBl}{R}}$〔A〕

向きは **P→Q の向き**

(3) 「$F=IBl$」より

$$F=\frac{E-vBl}{R}\cdot Bl=\boldsymbol{\frac{(E-vBl)Bl}{R}}\text{〔N〕}$$

p. 200　問 47

初め，1円玉には磁石のN極がつくる左向きの磁束が貫いている。N極を遠ざけると，左向きの磁束の減少を打ち消す向きに誘導電流が流れるから，右側から見て**時計回り**に誘導電流が流れる。

p. 203　問 48

「$V=-L\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$」より

$$|V|=0.10\times\frac{75\times10^{-3}}{5.0\times10^{-3}}=\mathbf{1.5\,V}$$

p. 204　問 49

「$U=\dfrac{1}{2}LI^2$」より

$$U=\frac{1}{2}\times0.10\times0.20^2=\mathbf{2.0\times10^{-3}\,J}$$

p. 205　問 50

「$V_2=-M\dfrac{\Delta I_1}{\Delta t}$」より

$$|V_2|=0.15\times\frac{0.30}{1}=\mathbf{4.5\times10^{-2}\,V}$$

p. 209　問 51

「$\overline{P}=I_eV_e$」より　$I_e=\dfrac{\overline{P}}{V_e}=\dfrac{500}{100}=\mathbf{5.00\,A}$

この値が電気器具に流れた電流の実効値である。電流の最大値は

$$I_0=\sqrt{2}\,I_e=1.414\times5.00=\mathbf{7.07\,A}$$

p. 210　問 52

「$V_{1e}:V_{2e}=N_1:N_2$」より

$100:25=N_1:N_2$　よって　$N_2=0.25N_1$

ゆえに　**0.25倍**

p. 210　問 53

抵抗値 R〔Ω〕の送電線に，I_e〔A〕の電流が流れるときの電力損失 P'〔W〕は，$P'=I_e{}^2R$〔W〕である。

(1) $P'=I_e{}^2R=1^2\times5=\mathbf{5\,W}$

(2) $P'=I_e{}^2R=10^2\times5=\mathbf{5\times10^2\,W}$

p. 213　問 54

「$V_{Le}=\omega LI_{Le}$」，「$\omega=2\pi f$」より

$$I_{Le}=\frac{100}{2\times3.14\times50\times0.32}$$
$$=0.995\cdots\fallingdotseq\mathbf{1.0\,A}$$

p. 215　問 55

「$V_{Ce}=\dfrac{1}{\omega C}I_{Ce}$」，「$\omega=2\pi f$」より

$$I_{Ce}=2\times3.14\times50\times(32\times10^{-6})\times100$$
$$=1.0048\fallingdotseq\mathbf{1.0\,A}$$

p. 217　問 a

$V=2.5\sin100\pi t$ より

交流電圧の最大値　$V_0=2.5\,\mathrm{V}$

角周波数　$\omega=100\pi\,\mathrm{rad/s}$

である。

コイルに流れる電流の最大値を I_{L0}〔A〕とすると，「$V_{L0}=\omega LI_{L0}$」より

$$I_{L0}=\frac{V_{L0}}{\omega L}=\frac{2.5}{100\pi\times0.10}=\frac{0.25}{\pi}\,\mathrm{A}$$

コイルに流れる電流の位相は，コイルに加わる電圧の位相よりも $\dfrac{\pi}{2}$ だけ遅れるから

$$\boldsymbol{I_L}=I_{L0}\sin\left(\omega t-\frac{\pi}{2}\right)\boldsymbol{=-\frac{0.25}{\pi}\cos100\pi t}$$

コンデンサーに流れる電流の最大値を I_{C0}〔A〕とすると，「$V_{C0}=\dfrac{1}{\omega C}I_{C0}$」より

$$I_{C0}=\omega CV_{C0}$$
$$=100\pi\times(30\times10^{-6})\times2.5$$
$$=7.5\times10^{-3}\pi\,\mathrm{A}$$

コンデンサーに流れる電流の位相は，コンデンサーに加わる電圧の位相よりも $\dfrac{\pi}{2}$ だけ進むから　$\boldsymbol{I_C}=I_{C0}\sin\left(\omega t+\dfrac{\pi}{2}\right)$

$$\boldsymbol{=7.5\times10^{-3}\pi\cos100\pi t}$$

p. 218　問 56

抵抗：$\overline{P_R}=\boldsymbol{\dfrac{V_e{}^2}{R}}$〔W〕

コイル：$\overline{P_L}=\mathbf{0\,W}$

コンデンサー：$\overline{P_C}=\mathbf{0\,W}$

p. 219　問 57

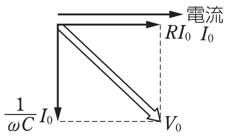
実効値　$V_e=\sqrt{4.0^2+(5.0-2.0)^2}=\mathbf{5.0\,V}$

p. 219　問 58

「$Z=\dfrac{V_e}{I_e}$」より　$Z=\dfrac{3.0}{2.0}=\mathbf{1.5\,\Omega}$

p. 222　問 59

交流電圧と交流電流の最大値をそれぞれ V_0〔V〕，I_0〔A〕とすると，これらの関係は図のようになるので



$$V_0=I_0\sqrt{R^2+\frac{1}{\omega^2C^2}}$$

「$Z=\dfrac{V_0}{I_0}$」より　$Z=\boldsymbol{\sqrt{R^2+\dfrac{1}{\omega^2C^2}}}$〔Ω〕

p. 223　問 60

コイルとコンデンサーの消費電力の時間平均はいずれも 0 であるから，回路全体の消費電力の時間平均 $\overline{P}$〔W〕は，抵抗のみについて考えればよい。

よって　$\overline{P}=RI_e{}^2=50\times0.40^2=\mathbf{8.0\,W}$

p. 224　類題 16

(1)　コイル L のリアクタンスは，「$X_L=\omega L$」より

$$X_L=\omega L=(4.0\times10^2)\times0.15=60\,\Omega$$

コンデンサー C のリアクタンスは，

「$X_C=\dfrac{1}{\omega C}$」より

$$X_C=\frac{1}{\omega C}=\frac{1}{(4.0\times10^2)\times(25\times10^{-6})}$$
$$=100\,\Omega$$

回路全体のインピーダンスは，

「$Z=\sqrt{R^2+\left(\omega L-\dfrac{1}{\omega C}\right)^2}$」より

$$Z=\sqrt{30^2+(60-100)^2}=\mathbf{50\,\Omega}$$

(2)　回路を流れる交流電流の実効値は，

「$Z=\dfrac{V_e}{I_e}$」より　$I_e=\dfrac{V_e}{Z}=\dfrac{20}{50}=\mathbf{0.40\,A}$

(3)　消費電力の時間平均は

$$\overline{P}=RI_e{}^2=30\times0.40^2=\mathbf{4.8\,W}$$

p. 225　問 61

「$f_0=\dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$」より

$$f_0=\frac{1}{2\times3.14\times\sqrt{0.50\times(8.0\times10^{-6})}}$$
$$=79.6\cdots\fallingdotseq\mathbf{80\,Hz}$$

p. 227　問 62

(1)　「$T=\dfrac{1}{f}=2\pi\sqrt{LC}$」より

$$T=2\times3.14\times\sqrt{(4.0\times10^{-3})\times(2.5\times10^{-10})}$$
$$=6.28\times10^{-6}\fallingdotseq\mathbf{6.3\times10^{-6}\,s}$$

$$f=\frac{1}{T}=\frac{1}{6.28\times10^{-6}}=1.59\cdots\times10^5$$
$$\fallingdotseq\mathbf{1.6\times10^5\,Hz}$$

(2)　初め，コンデンサーに蓄えられている静電エネルギーは，「$U=\dfrac{1}{2}CV^2$」より

$$U=\frac{1}{2}\times(2.5\times10^{-10})\times2.0^2$$
$$=5.0\times10^{-10}\,\mathrm{J}$$

振動電流が最大となる瞬間，上で求めたエネルギーがすべてコイルに蓄えられる。

よって　$\mathbf{5.0\times10^{-10}\,J}$

(3)　「$U=\dfrac{1}{2}LI_0{}^2$」より

$$5.0\times10^{-10}=\frac{1}{2}\times(4.0\times10^{-3})\times I_0{}^2$$

よって　$I_0{}^2=25\times10^{-8}$

ゆえに　$I_0=\mathbf{5.0\times10^{-4}\,A}$

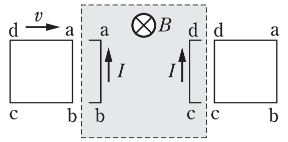
p. 229　問 63

「$c=f\lambda$」より　$\lambda=\dfrac{c}{f}=\dfrac{3.0\times10^8}{2.0\times10^8}=\mathbf{1.5\,m}$

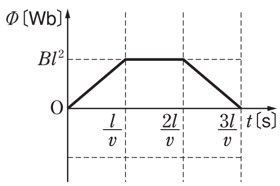
p. 233　演習 1

コイルを貫く磁束 Φ，コイルを流れる電流 I，コイルが磁場から受ける力 F は，下の表のように時間 t とともに変化する。

時間 t〔s〕		① $0\sim\dfrac{l}{v}$	② $\dfrac{l}{v}\sim\dfrac{2l}{v}$	③ $\dfrac{2l}{v}\sim\dfrac{3l}{v}$
$\Phi=BS$		増加	Bl^2	減少
$I=\dfrac{V}{R}$	コイル	反時計回り	0 A	時計回り
$F=IBl$	コイル	左向き	0 N	左向き



(1)　コイルの面積 $S=l^2$〔$\mathrm{m^2}$〕であるから，表の②の時間のとき，コイルを貫く磁束 Φ は $\Phi=Bl^2$〔Wb〕である。



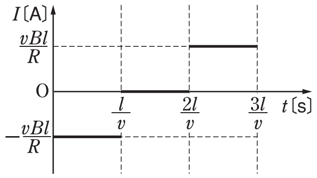
(2)　コイルを貫く磁束が変化するときだけ誘導起電力 V が生じ，誘導電流 I が流れる。表の①の時間のとき

$$V=-\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=-\frac{Bl^2}{l/v}=-vBl\text{〔V〕}$$

$$I=\frac{V}{R}=-\frac{vBl}{R}\text{〔A〕}$$

表の③の時間のときは　$I=\dfrac{vBl}{R}$〔A〕

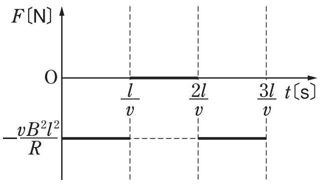
I の向きは表の①の時間のときは反時計回り，③の時間のときは時計回り。



(3)　表の①の時間のとき，コイル ab 部分の電流 I は磁場から速度と反対向き(左向き)の力を受ける。

$$F=IBl=-\frac{vBl}{R}\cdot Bl=-\frac{vB^2l^2}{R}\text{〔N〕}$$

表の③の時間のとき，コイル cd 部分の電流が磁場から受ける力も速度と反対向きである。



(4)　表の①の時間に生じたジュール熱を Q_1〔J〕とすると，「$Q=I^2Rt$」より

$$Q_1=\left(-\frac{vBl}{R}\right)^2\times R\times\frac{l}{v}=\frac{vB^2l^3}{R}$$

表の②の時間ではジュール熱は発生せず，③の時間では①と同じだけジュール熱が生じるので　$Q=2Q_1=\boldsymbol{\dfrac{2vB^2l^3}{R}}$〔J〕

(5)　表の①と③の時間のとき，右向きの外力 F〔N〕を加えてコイルを右向きに動かす。したがって，外力のした仕事 W〔J〕は

$$W=\frac{vB^2l^2}{R}\cdot l+\frac{vB^2l^2}{R}\cdot l$$

$$=\boldsymbol{\frac{2vB^2l^3}{R}}\text{〔J〕}$$

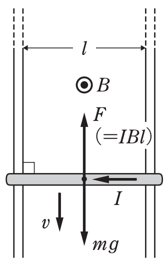
p. 233　演習 2

(1)　導体棒には図のような力がはたらき，これらがつりあっている。

よって

$$IBl-mg=0$$

より　$I=\boldsymbol{\dfrac{mg}{Bl}}$〔A〕



(2)　導体棒の両端に生じる誘導起電力の大きさは　$V=vBl$〔V〕であるので

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

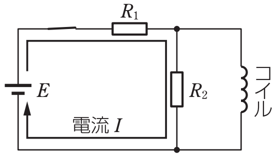
これと(1)の結果より　$\dfrac{vBl}{R}=\dfrac{mg}{Bl}$

よって　$v=\boldsymbol{\dfrac{mgR}{B^2l^2}}$〔m/s〕

p. 233　演習 3

(1)　スイッチを閉じた直後は，コイルには電流が流れるのを妨げるように誘導起電力が生じるため，電流は R_2 の抵抗側に流れる。キルヒホッフの法則Ⅱより　$E=R_1I+R_2I$

スイッチを閉じた直後



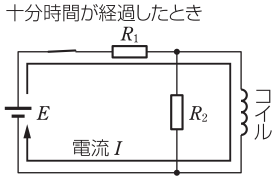
よって　$I=\boldsymbol{\dfrac{E}{R_1+R_2}}$〔A〕

コイルに生じる誘導起電力の大きさ V は，R_2 の抵抗の両端の電圧に等しいので

$$V=R_2I=\boldsymbol{\frac{R_2E}{R_1+R_2}}\text{〔V〕}$$

(2)　十分に時間が経過したとき，電流はコイル側のみに流れる。

十分時間が経過したとき



よって　$E=R_1I$　より　$I=\boldsymbol{\dfrac{E}{R_1}}$〔A〕

このとき，コイルには誘導起電力は生じていない。$V=\mathbf{0}$ **V**

p. 234　演習 4

(1)　「$\varPhi=BS$」，「$B=\mu H$」および「$H=nI$」より　$\varPhi=\boldsymbol{\mu n_{\mathrm{A}}IS}$〔Wb〕

(2)　「$V=-N\dfrac{\varDelta\varPhi}{\varDelta t}$」より

$$V=\left|N_{\mathrm{B}}\cdot\frac{0-\mu n_{\mathrm{A}}IS}{t}\right|=\boldsymbol{\frac{\mu N_{\mathrm{B}}n_{\mathrm{A}}IS}{t}}\text{〔V〕}$$

(3)　「$V_2=-M\dfrac{\varDelta I_1}{\varDelta t}$」より　$V=\left|M\cdot\dfrac{0-I}{t}\right|$

これと(2)の結果より　$M=\boldsymbol{\mu N_{\mathrm{B}}n_{\mathrm{A}}S}$〔H〕

p. 234　演習 5

(1)　「$X_{\mathrm{L}}=\omega L$」，「$\omega=2\pi f$」より，交流の周波数が小さいほど，コイルのリアクタンスは小さくなって，コイルに流れる電流

は大きくなる。

(ア)　周波数　$f=\mathbf{0.10}\,\mathrm{kHz}$

(イ)　電流　I_{Le}

$$=\frac{5.0}{2\times3.14\times(0.10\times10^3)\times(25\times10^{-3})}$$

$$=0.318\cdots\fallingdotseq\mathbf{0.32}\,\mathrm{A}$$

(ウ)　リアクタンス　X_{L}

$$=2\times3.14\times(0.10\times10^3)\times(25\times10^{-3})$$

$$=15.7\fallingdotseq\mathbf{16}\,\Omega$$

(2)　「$X_{\mathrm{C}}=\dfrac{1}{\omega C}$」，「$\omega=2\pi f$」より，交流の周波数が大きいほど，コンデンサーのリアクタンスは小さくなって，コンデンサーに流れる電流は大きくなる。

(エ)　周波数　$f=\mathbf{10}\,\mathrm{kHz}$

(オ)　電流　$I_{\mathrm{Ce}}=2\times3.14\times(10\times10^3)\times(10\times10^{-6})\times5.0$

$$=3.14\fallingdotseq\mathbf{3.1}\,\mathrm{A}$$

(カ)　リアクタンス　X_{C}

$$=\frac{1}{2\times3.14\times(10\times10^3)\times(10\times10^{-6})}$$

$$=1.59\cdots\fallingdotseq\mathbf{1.6}\,\Omega$$

(3)　(キ)　「$f_0=\dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$」より

$$f_0=\frac{1}{2\times3.14\times\sqrt{(25\times10^{-3})\times(10\times10^{-6})}}$$

$$=3.18\cdots\times10^2\,\mathrm{Hz}\fallingdotseq\mathbf{0.32}\,\mathrm{kHz}$$

p.234　演習 6

(1)　「$f=\dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$」より

$$f=\frac{1}{2\times3.14\times\sqrt{5.0\times(2.0\times10^{-7})}}$$

$$=1.59\cdots\times10^2\fallingdotseq\mathbf{1.6\times10^2\,Hz}$$

(2)　電気振動の周期 T〔s〕の $\dfrac{1}{4}$ だけ進んだとき，振動電流が初めて最大となる。

$$t=\frac{T}{4}=\frac{1}{4f}$$

$$=\frac{2\times3.14\times\sqrt{5.0\times(2.0\times10^{-7})}}{4}$$

$$=1.57\times10^{-3}\fallingdotseq\mathbf{1.6\times10^{-3}\,s}$$

(3)　振動電流が最大のとき，初めにコンデンサーに蓄えられていた静電エネルギーがすべてコイルに蓄えられるエネルギーになる。「$\dfrac{1}{2}CV_0{}^2=\dfrac{1}{2}LI_0{}^2$」より

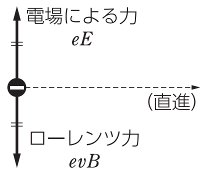
$$I_0=\sqrt{\frac{C}{L}}\,V_0=\sqrt{\frac{2.0\times10^{-7}}{5.0}}\times30$$

$$=\mathbf{6.0\times10^{-3}\,A}$$

第5編　原子

第1章　電子と光

p.251　類題 1



(1)　電子が電場から受ける力は上向きである。したがって，これとつりあう下向きの力が加われば，電子は直進する。右向きに進む電子が，下向きに力を受けるためには，磁場は**紙面に垂直で表から裏の向き**でなければならない。

(2)　(1)の向きに磁場を加えると，電場による力 eE〔N〕とローレンツ力 evB〔N〕がつりあうとき，電子は直進する。

よって　$eE-evB=0$

ゆえに　$v=\dfrac{\boldsymbol{E}}{\boldsymbol{B}}$〔m/s〕

p.253　類題 2

測定値の差をとると，3.08，1.65，1.64，3.19 $(\times10^{-19}\,\mathrm{C})$ となるので，e の値はほぼ $1.6\times10^{-19}\,\mathrm{C}$ と考えられる。したがって，各測定値は e，$3e$，$4e$，$5e$，$7e$ としてよい。

$$(1.66+4.74+6.39+8.03+11.22)\times10^{-19}=20e$$

よって　$e=\dfrac{32.04\times10^{-19}}{20}=\mathbf{1.602\times10^{-19}\,C}$

p.254　問 1

「$E=h\nu$」より

$$E=(6.6\times10^{-34})\times(5.0\times10^{14})=\mathbf{3.3\times10^{-19}\,J}$$

p.256　問 2

光子のエネルギー $h\nu$ から，仕事関数 W を引いた残りが，光電子の運動エネルギーの最大値 K_0 になる。すなわち，「$K_0=h\nu-W$」より

$$K_0=(6.0\times10^{-19})-(2.9\times10^{-19})$$

$$=\mathbf{3.1\times10^{-19}\,J}$$

p.258　問 3

陰極から出た光電子がすべて陽極に達するとき，光電流は最大となる。この光電流の最大値は当てる光の強さに関係し，光を強くすると大きくなる。

また，阻止電圧 V_0 は光の振動数 ν と仕事関数 W によって決まり「$eV_0=h\nu-W$」の関係がある。

(1) 光を強くすると，光電流が大きくなる。また，光の強さを変えても阻止電圧は変わらないので，グラフの横軸との交点は変わらない。
したがって①

(2) 前式で ν を大きくすると V_0 は大きくなるので，陽極の電位を表す横軸とこのグラフとの交点 $-V_0$ は，横軸の負の向き(図で左のほう)にずれる。
したがって③

(3) 前式で W が大きな金属にすると V_0 は小さくなるので，グラフの横軸との交点は正の向き(図で右のほう)にずれる。
したがって④

p. 258　類題 3

(1) グラフ上の 2 点を「$K_0=h\nu-W$」に代入して

$$0=h\times(5.6\times10^{14})-W \quad \cdots\cdots①$$

$$3.3\times10^{-19}=h\times(10.6\times10^{14})-W \quad \cdots\cdots②$$

②式−①式より

$$3.3\times10^{-19}=h\times(5.0\times10^{14})$$

よって　$h=\dfrac{3.3\times10^{-19}}{5.0\times10^{14}}=\mathbf{6.6\times10^{-34}\,J\cdot s}$

(2) ①式より

$$W=(6.6\times10^{-34})\times(5.6\times10^{14})$$

$$\fallingdotseq\mathbf{3.7\times10^{-19}\,J}$$

p. 259　問 4

(1) 2.0 V の電圧で加速したときに電子が得るエネルギーは，定義により **2.0 eV** である。
1 eV$=1.6\times10^{-19}$ J より

$$2.0\times(1.6\times10^{-19})=\mathbf{3.2\times10^{-19}\,J}$$

(2) 求めるエネルギーを J で表すと

$$E=\frac{hc}{\lambda}=\frac{(6.6\times10^{-34})\times(3.0\times10^{8})}{6.0\times10^{-7}}\,\text{J}$$

1 eV$=1.6\times10^{-19}$ J より

$$E=\frac{(6.6\times10^{-34})\times(3.0\times10^{8})}{(6.0\times10^{-7})\times(1.6\times10^{-19})}\,\text{eV}$$

$$\fallingdotseq\mathbf{2.1\,eV}$$

p. 261　類題 4

(1) 「$eV=\dfrac{hc}{\lambda_0}$」より最短波長は

$$\lambda_0=\frac{hc}{eV}=\frac{(6.6\times10^{-34})\times(3.0\times10^{8})}{(1.6\times10^{-19})\times(2.2\times10^{4})}$$

$$\fallingdotseq\mathbf{5.6\times10^{-11}\,m}$$

(2) 「$\lambda_0=\dfrac{hc}{eV}$」より，加速電圧 V を 2 倍にすると最短波長 λ_0 は $\dfrac{1}{2}$ 倍となる。

よって　$(5.6\times10^{-11})\times\dfrac{1}{2}=\mathbf{2.8\times10^{-11}\,m}$

p. 263　問 5

「$2d\sin\theta=n\lambda$　$(n=1, 2, 3, \cdots)$」で，
$\theta=30°$，$n=1$，$\lambda=3.0\times10^{-10}$ m とおくと

$$2d\sin30°=1\times(3.0\times10^{-10})$$

よって　$d=\mathbf{3.0\times10^{-10}\,m}$

p. 265　問 6

このX線光子のエネルギーは，「$E=h\nu$」より

$$h\nu=6.0\times10^{-16}\,\text{J}$$

X線光子の運動量は，「$p=\dfrac{h\nu}{c}$」より

$$p=\frac{6.0\times10^{-16}}{3.0\times10^{8}}=\mathbf{2.0\times10^{-24}\,kg\cdot m/s}$$

X線光子は右向きに進んでいるので，運動量の向きは**右向き**。

p. 266　問 7

電子波の波長 $\lambda=\dfrac{h}{mv}$

$$=\frac{6.6\times10^{-34}}{(9.1\times10^{-31})\times(1.0\times10^{3})}\fallingdotseq\mathbf{7.3\times10^{-7}\,m}$$

野球のボールの場合も同様にして

$$\frac{6.6\times10^{-34}}{0.15\times20}=\mathbf{2.2\times10^{-34}\,m}$$

p. 267　類題 5

V〔V〕で加速された電子(質量 m〔kg〕)の速さを v〔m/s〕，電気素量を e〔C〕とすると

$$\frac{1}{2}mv^2=eV \quad \text{よって} \quad v=\sqrt{\frac{2eV}{m}}$$

「$\lambda=\dfrac{h}{mv}$」より

$$\lambda=\frac{h}{\sqrt{2meV}}$$

$$=\frac{6.6\times10^{-34}}{\sqrt{2\times(9.1\times10^{-31})\times(1.6\times10^{-19})\times45.5}}$$

$$\fallingdotseq\mathbf{1.8\times10^{-10}\,m}$$

p. 269　演習 1

(1) 電子について運動方程式を立てると

$$m\frac{v^2}{r}=evB \quad \text{よって} \quad r=\boldsymbol{\frac{mv}{eB}}\,〔\text{m}〕$$

(2) (1)で立てた運動方程式より

$$\frac{e}{m}=\frac{v}{Br}$$

$$=\frac{3.6\times10^{7}}{(4.0\times10^{-2})\times(5.0\times10^{-3})}$$
$$=\mathbf{1.8\times10^{11}\,C/kg}$$

p. 269　演習 2

光電効果で成りたつ式「$eV_0=h\nu-W$」において，$\nu=\dfrac{c}{\lambda}$ とおくと $eV_0=\dfrac{hc}{\lambda}-W$

この式に数値を代入して

$$(1.6\times10^{-19})\times2.8=\frac{h\times(3.0\times10^{8})}{2.5\times10^{-7}}-W\ \cdots①$$

$$(1.6\times10^{-19})\times0.6=\frac{h\times(3.0\times10^{8})}{4.5\times10^{-7}}-W\ \cdots②$$

①，②式より W を消去して

$$h=\mathbf{6.6\times10^{-34}\,J\cdot s}$$

p. 269　演習 3

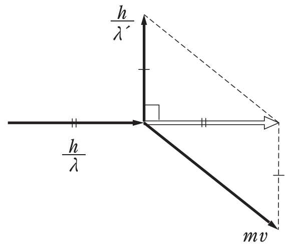
(1)　衝突前後のX線光子のエネルギーは「$E=h\nu=\dfrac{hc}{\lambda}$」より，それぞれ $\dfrac{hc}{\lambda}$，$\dfrac{hc}{\lambda'}$ である。

よって，エネルギー保存則の式は

$$\boldsymbol{\frac{hc}{\lambda}=\frac{hc}{\lambda'}+\frac{1}{2}mv^2}\quad\cdots\cdots①$$

(2)　衝突前後のX線光子の運動量の大きさは「$p=\dfrac{h}{\lambda}$」より，それぞれ $\dfrac{h}{\lambda}$，$\dfrac{h}{\lambda'}$ である。

また，衝突前後の運動量ベクトルの関係は図のようになる。



三平方の定理より

$$\boldsymbol{(mv)^2}=\left(\frac{h}{\lambda}\right)^2+\left(\frac{h}{\lambda'}\right)^2$$
$$\boldsymbol{=h^2\left(\frac{1}{\lambda^2}+\frac{1}{\lambda'^2}\right)}\quad\cdots\cdots②$$

(3)　①式を変形して　$\dfrac{1}{\lambda}-\dfrac{1}{\lambda'}=\dfrac{1}{2mhc}(mv)^2$

これに②式を代入して

$$\frac{1}{\lambda}-\frac{1}{\lambda'}=\frac{1}{2mhc}\times h^2\left(\frac{1}{\lambda^2}+\frac{1}{\lambda'^2}\right)$$

両辺に $\lambda\lambda'$ をかけて整理すると

$$\lambda'-\lambda=\frac{h}{2mc}\left(\frac{\lambda'}{\lambda}+\frac{\lambda}{\lambda'}\right)$$

$\dfrac{\lambda'}{\lambda}+\dfrac{\lambda}{\lambda'}\fallingdotseq2$ より　$\boldsymbol{\lambda'-\lambda=\dfrac{h}{mc}}$

p. 269　演習 4

電子の速さを v〔m/s〕とすると，運動エネルギーが E〔J〕であることから

$$E=\frac{1}{2}mv^2\quad よって\quad v=\sqrt{\frac{2E}{m}}$$

電子波のド・ブロイ波長 λ〔m〕は

「$\lambda=\dfrac{h}{mv}$」より　$\lambda=\dfrac{h}{\sqrt{2mE}}$

ブラッグの条件

「$2d\sin\theta=n\lambda\quad(n=1,2,3,\cdots)$」において，$\theta=30°$，$n=4$ であるから

$$2d\sin30°=4\times\frac{h}{\sqrt{2mE}}$$

よって　$d=\dfrac{4h}{\sqrt{2mE}}=\boldsymbol{h\sqrt{\dfrac{8}{mE}}}$〔m〕

第 2 章　原子と原子核

p. 276　問 8

定常状態 $E_3=-1.5\,\mathrm{eV}$ から $E_1=-13.6\,\mathrm{eV}$ へ移るとき，これらの差のエネルギーをもつ光子を放出する。よって，光子のエネルギーは

$$E_3-E_1=-1.5-(-13.6)=\mathbf{12.1\,eV}$$

波長を λ〔m〕とする。

$12.1\,\mathrm{eV}=12.1\times(1.6\times10^{-19})\,\mathrm{J}$ なので

「$E=\dfrac{hc}{\lambda}$」 より

$$\lambda=\frac{hc}{E}=\frac{(6.6\times10^{-34})\times(3.0\times10^{8})}{12.1\times(1.6\times10^{-19})}$$
$$\fallingdotseq\mathbf{1.0\times10^{-7}\,m}$$

p. 279　問 9

陽子の数＝原子番号

中性子の数＝質量数－原子番号

(1)　陽子の数： **1 個**
　　中性子の数：3－1＝**2 個**

(2)　陽子の数： **2 個**
　　中性子の数：4－2＝**2 個**

(3)　陽子の数： **17 個**
　　中性子の数：35－17＝**18 個**

(4)　陽子の数： **17 個**
　　中性子の数：37－17＝**20 個**

p. 280　問 10

1 u の定義より，${}^{12}_{6}\mathrm{C}$ 原子 1 個の質量は

$$12\times1\,\mathrm{u}=12\times(1.66\times10^{-24})\,\mathrm{g}$$
$$=1.992\times10^{-23}\,\mathrm{g}\fallingdotseq\mathbf{1.99\times10^{-23}\,g}$$

p. 281　問 11

塩素の原子量は

$$35.0\times\frac{3}{3+1}+37.0\times\frac{1}{3+1}=\mathbf{35.5}$$

p. 285　類題 6

原子番号 Z について　$90-2x+y=82$　…①

質量数 A について　$232-4x=208$　…②

①，②式より　$x=\mathbf{6}$，$y=\mathbf{4}$

p. 287　類題 7

(1)　「$\dfrac{N}{N_0}=\left(\dfrac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$」を用いる。

崩壊前後の質量の比は，崩壊前後の原子核の数の比 $\dfrac{N}{N_0}$ に等しいので

$$\frac{0.50}{8.0}=\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{56}{T}}\quad\cdots\cdots①$$

ここで　$\dfrac{0.50}{8.0}=\left(\dfrac{1}{2}\right)^{4}$　……②

と表されるので，①，②式より　$\dfrac{56}{T}=4$

よって，半減期　$T=$**14 日**

(2)　$\dfrac{0.25}{8.0}=\left(\dfrac{1}{2}\right)^{\frac{t}{14}}$　……③

ここで　$\dfrac{0.25}{8.0}=\left(\dfrac{1}{2}\right)^{5}$　……④

と表されるので，③，④式より　$\dfrac{t}{14}=5$

よって　$t=$**70 日後**

p. 289　問 12

反応の前後で質量数の和と電気量の和は一定に保たれる。

$${}^{27}_{13}\mathrm{Al}+{}^{4}_{2}\mathrm{He}\longrightarrow{}^{30}_{15}\mathbf{P}+{}^{1}_{0}\mathbf{n}$$

p. 291　問 13

質量欠損を Δm〔kg〕とすると

$\Delta m=(1.0073+1.0087-2.0136)\times(1.66\times10^{-27})$

$=3.98\cdots\times10^{-30}\fallingdotseq\mathbf{4.0\times10^{-30}\,kg}$

したがって，結合エネルギー E は「$E=mc^2$」より

$$E=\frac{(3.98\times10^{-30})\times(3.0\times10^{8})^2}{1.6\times10^{-19}}\,\mathrm{eV}$$

$\fallingdotseq$**2.2 MeV**

p. 293　類題 8

反応前後での質量の減少 m は

$m=(234.9935+1.0087)$

$\quad-(91.9064+140.8837+3\times1.0087)$

$=0.186\,\mathrm{u}$

したがって

$E=mc^2=\{0.186\times(1.66\times10^{-27})\}\times(3.00\times10^{8})^2$

ここで

$1\,\mathrm{MeV}=10^{6}\,\mathrm{eV}=(1.60\times10^{-19})\times10^{6}\,\mathrm{J}$

であるから

$$E=\frac{\{0.186\times(1.66\times10^{-27})\}\times(3.00\times10^{8})^2}{(1.60\times10^{-19})\times10^{6}}$$

$\fallingdotseq$**174 MeV**

p. 296　問 14

${}^{2}_{1}\mathrm{H}$ の核子をばらばらにするのに必要なエネルギーは $1.1\times2=2.2\,\mathrm{MeV}$ であるから，ばらばらのエネルギー状態を 0 MeV とすると，2 個の ${}^{2}_{1}\mathrm{H}$ 原子核のエネルギー状態は，合わせて $-2.2\times2=-4.4\,\mathrm{MeV}$

同様にして ${}^{3}_{1}\mathrm{H}$ 原子核のエネルギー状態は

$-2.8\times3=-8.4\,\mathrm{MeV}$

したがって，この核融合反応で放出されるエネルギーは $(-4.4)-(-8.4)=$**4.0 MeV**

p. 298　問 15

u 1 個の電気量は $\dfrac{2}{3}e$，d 1 個の電気量は $-\dfrac{1}{3}e$ である。u と d を組み合わせた中性子の電気量は 0 であるから

中性子の電気量$=\left(\dfrac{2}{3}e\times1\right)+\left(-\dfrac{1}{3}e\times2\right)=0$

したがって，u は **1 個**，d は **2 個**

p. 301　演習 1

(1)　$\boldsymbol{m\dfrac{v^2}{r}}$〔N〕

(2)　原子核の電気量は $2e$ であるから，静電気力の大きさは　$k_0\dfrac{e\times2e}{r^2}=\boldsymbol{\dfrac{2k_0e^2}{r^2}}$〔N〕

(3)　円周の長さは $2\pi r$ であるから，電子波の波長を λ とすると

$2\pi r=n\lambda$

また　$\lambda=\dfrac{h}{mv}$

したがって　$2\pi r=n\left(\dfrac{h}{mv}\right)$　……①

静電気力が円運動の向心力のはたらきをするから　$m\dfrac{v^2}{r}=\dfrac{2k_0e^2}{r^2}$　……②

②式より　$mv=\sqrt{\dfrac{2mk_0e^2}{r}}$　……③

③式を①式に代入して整理すると

$$r=\boldsymbol{\frac{h^2}{8\pi^2k_0me^2}\cdot n^2}〔\mathrm{m}〕$$

(4)　$E=\dfrac{1}{2}mv^2+\left(-k_0\dfrac{2e^2}{r}\right)$

②式より　$mv^2=\dfrac{2k_0e^2}{r}$　だから

$E=\dfrac{1}{2}\left(\dfrac{2k_0e^2}{r}\right)-k_0\dfrac{2e^2}{r}=-\dfrac{k_0e^2}{r}$　……④

④式に r の値を代入して

$$E=-\boldsymbol{\frac{8\pi^2k_0^2me^4}{h^2}\cdot\frac{1}{n^2}}\textbf{〔J〕}$$

p. 301　演習 2

(1)　β 崩壊では質量数は変わらず，原子番号が 1 増える。

よって　質量数は **131**，原子番号は **54**

(2)　「$\dfrac{N}{N_0}=\left(\dfrac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$」に与えられた数値を代入して　$\dfrac{4.0}{16}=\left(\dfrac{1}{2}\right)^{\frac{t}{8.0}}$　よって

$$\left(\frac{1}{2}\right)^2=\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{8.0}}$$

ゆえに　$t=$**16 日後**

(3)　$N=16\times\left(\dfrac{1}{2}\right)^{\frac{32}{8.0}}=16\times\left(\dfrac{1}{2}\right)^4=$**1.0 g**

p. 301　演習 3

(1)　減少した質量を Δm とすると

$$\Delta m=2.0136\times2-(3.0149+1.0087)$$
$$=\mathbf{0.0036\,u}$$

(2)　$\Delta m=0.0036\,\mathrm{u}$

$=0.0036\times(1.66\times10^{-27})\,\mathrm{kg}$

であるから，放出されるエネルギー

$E=\Delta m\cdot c^2$

$=0.0036\times(1.66\times10^{-27})\times(3.0\times10^8)^2$

$\fallingdotseq\mathbf{5.4\times10^{-13}\,J}$

(3)　重陽子の電気量は電子の電気量の絶対値に等しい。また，無限遠方を位置エネルギーの基準にしたとき，重陽子どうしはともに正電荷で斥力を及ぼしあい，位置エネルギーは正である。したがって，静電気力による位置エネルギー U〔J〕は

$$U=k_0\frac{e^2}{r}=(9.0\times10^9)\times\frac{(1.6\times10^{-19})^2}{4.0\times10^{-15}}$$
$$=5.76\times10^{-14}\fallingdotseq\mathbf{5.8\times10^{-14}\,J}$$

(4)　核融合反応を起こすには，2 個の重陽子の熱運動のエネルギーが，(3)の 2 個の重陽子間の静電気力による位置エネルギーよりも大きければよい。

よって　$2\times\dfrac{3}{2}kT\geqq5.76\times10^{-14}$

ゆえに　$T\geqq\dfrac{5.76\times10^{-14}}{3\times(1.38\times10^{-23})}$

$\fallingdotseq\mathbf{1.4\times10^9\,K}$

資料編

物理のための数学

p. 314　問 1

$\dfrac{PQ}{OQ}=\dfrac{P'Q'}{O'Q'}$ より　$\dfrac{PQ}{20}=\dfrac{3.5}{5.0}$

よって

$$PQ=\frac{3.5}{5.0}\times 20=\mathbf{14\,m}$$

p. 315　問 2

$\sin\theta_1=\mathbf{\dfrac{3}{5}}$,　$\cos\theta_1=\mathbf{\dfrac{4}{5}}$,　$\tan\theta_1=\mathbf{\dfrac{3}{4}}$

$\sin\theta_2=\mathbf{\dfrac{4}{5}}$,　$\cos\theta_2=\mathbf{\dfrac{3}{5}}$,　$\tan\theta_2=\mathbf{\dfrac{4}{3}}$

p. 316　問 3

(1)　$W=Fx\cos 30°=\boldsymbol{\dfrac{\sqrt{3}}{2}Fx}$〔J〕

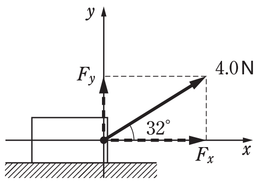
(2)　$W=Fx\cos 90°=\mathbf{0\,J}$

(3)　$W=Fx\cos 135°=\boldsymbol{-\dfrac{\sqrt{2}}{2}Fx}$〔J〕

(4)　$W=Fx\cos 180°=\boldsymbol{-Fx}$〔J〕

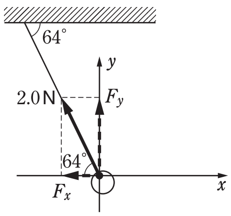
p. 316　問 4

①　$\sin 32°$
$=0.52992$,
$\cos 32°$
$=0.84805$
より



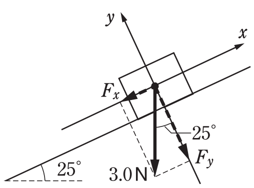
$F_x=4.0\times\cos 32°\fallingdotseq\mathbf{3.4\,N}$
$F_y=4.0\times\sin 32°\fallingdotseq\mathbf{2.1\,N}$

②　$\sin 64°$
$=0.89879$,
$\cos 64°$
$=0.43837$
より



F_x
$=-2.0\times\cos 64°\fallingdotseq\mathbf{-0.88\,N}$
$F_y=2.0\times\sin 64°\fallingdotseq\mathbf{1.8\,N}$

③　$\sin 25°$
$=0.42262$,
$\cos 25°$
$=0.90631$
より



$F_x=-3.0\times\sin 25°\fallingdotseq\mathbf{-1.3\,N}$
$F_y=-3.0\times\cos 25°\fallingdotseq\mathbf{-2.7\,N}$

p. 328　問 5

(1)　$c=300\ 000\ 000\,\mathrm{m/s}=\mathbf{3\times10^8\,m/s}$

(2)　$\lambda=0.000\ 000\ 6\,\mathrm{m}=\mathbf{6\times10^{-7}\,m}$

(3)　$f=\dfrac{c}{\lambda}=\dfrac{3\times10^8}{6\times10^{-7}}=0.5\times10^{15}$
$=\mathbf{5\times10^{14}\,Hz}$

p. 329　問 6

(1)　$10^6\times10^3=10^{6+3}=\mathbf{10^9}$

(2)　$(10^3)^2=10^{3\times2}=\mathbf{10^6}$

(3)　$10^4\div10^6=10^{4-6}=\mathbf{10^{-2}}$

本文資料

p. 330　問 1

$v=h^xg^y$ の両辺の単位を比較すると

$\mathrm{m/s}=\mathrm{m}^x\cdot(\mathrm{m/s^2})^y=\mathrm{m}^x\cdot\mathrm{m}^y/\mathrm{s}^{2y}$
$=\mathrm{m}^{x+y}/\mathrm{s}^{2y}$

よって　$x+y=1$
$2y=1$

これを解いて　$x=\mathbf{\dfrac{1}{2}}$,　$y=\mathbf{\dfrac{1}{2}}$