第1編　力と運動

第1章 平面内の運動

p.7　問1

移動距離$=\dfrac{5.0}{\sin 30^\circ}+8.0+\dfrac{5.0}{\sin 30^\circ}$

$=5.0\times2+8.0+5.0\times2=$**28m**

変位の大きさ＝PQ

$=\dfrac{5.0}{\tan 30^\circ}+8.0+\dfrac{5.0}{\tan 30^\circ}$

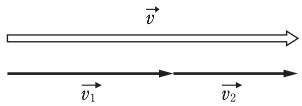
$=5.0\times\sqrt{3}+8.0+5.0\times\sqrt{3}\fallingdotseq$**25m**

p.9　問2

静水時の船の速度を$\vec{v_1}$(大きさv_1)，流水の速度を$\vec{v_2}$(大きさv_2)，川岸から見た船の速度を$\vec{v}$(大きさv)とする。

(1)　図aより　$\vec{v_1}+\vec{v_2}=\vec{v}$

ゆえに　$v=4.0+3.0=$**7.0m/s**



図a

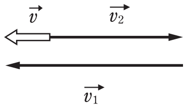
(2)　図bより

$\vec{v_1}+\vec{v_2}=\vec{v}$

ゆえに

$v=4.0-3.0$

$=$**1.0m/s**



図b

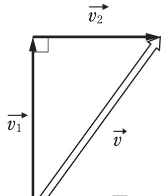
(3)　図cより　$\vec{v_1}+\vec{v_2}=\vec{v}$

ゆえに

$v=\sqrt{v_1{}^2+v_2{}^2}$

$=\sqrt{4.0^2+3.0^2}$

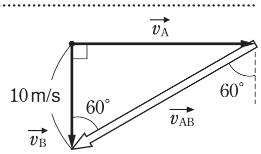
$=$**5.0m/s**



図c

p.11　類題1

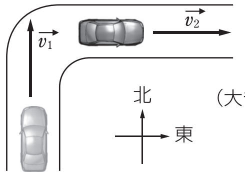
電車，雨滴，電車から見た雨滴，それぞれの速度を$\vec{v_A}$，$\vec{v_B}$，$\vec{v_{AB}}$〔m/s〕とすると，これらのベクトルの関係は図のようになる。よって，$\vec{v_A}$の大きさv_Aは



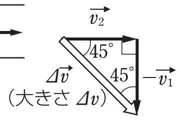
$v_A=10\tan 60^\circ=10\times\sqrt{3}\fallingdotseq$**17m/s**

p.13　問3

自動車の速度を図aのように$\vec{v_1}$，$\vec{v_2}$〔m/s〕とする。



図a



図b

加速度　$\vec{a}=\dfrac{\vec{\Delta v}}{\Delta t}=\dfrac{\vec{v_2}-\vec{v_1}}{\Delta t}=\dfrac{\vec{v_2}+(-\vec{v_1})}{\Delta t}$

図bより　$\Delta v=6.0\times\sqrt{2}$ m/s　だから

$\bar{a}=\dfrac{\Delta v}{\Delta t}=\dfrac{6.0\times\sqrt{2}}{10}\fallingdotseq$**0.85m/s²**

また，加速度$\vec{a}$の向きは$\vec{\Delta v}$の向きに一致するので，図bより**南東向き**である。

p.17　類題2

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3.0m/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。

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

p.20　類題3

(1)　$v_{0x}=v_0\cos\theta=24.5\times\dfrac{3}{5}=$**14.7m/s**

$v_{0y}=v_0\sin\theta=24.5\times\dfrac{4}{5}=$**19.6m/s**

(2)　最高点では速度の鉛直成分(y成分)が0m/sとなる。

「$v_y=v_0\sin\theta-gt$」より

$0=19.6-9.80\times t_1$

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

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

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

$=$**19.6m**

(3)　落下点では鉛直方向の変位が0mとなる。

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

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

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

$t_2>0$ より　$t_2=$**4.00s**

水平方向については，「$x=v_0\cos\theta\cdot t$」より　$l=14.7\times4.00=$**58.8 m**

p. 24　演習 1

(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。

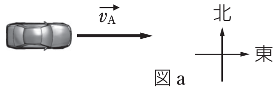


図 a

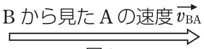


図 b

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

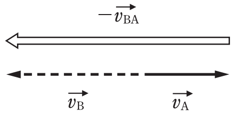


図 c

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

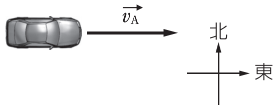
これより

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

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

Bの速さ　$v_B=25-10=$**15 m/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。



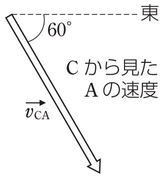


図 d

相対速度の式より

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

これより

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

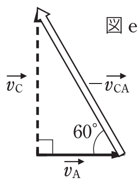


図 e

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

Cの速さ　$v_C=10\tan60°=10\times\sqrt{3}$
$\fallingdotseq$ **17 m/s**

p. 24　演習 2

(1)　鉛直方向には自由落下と同様の運動をするから　$h=\dfrac{1}{2}\times9.80\times2.00^2=$**19.6 m**

また，h，l の間には　$\dfrac{h}{l}=\tan45°=1$

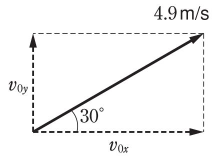
の関係が成りたつので　$l=h=$**19.6 m**

(2)　水平方向には等速直線運動と同様の運動をするから　$19.6=v_0\times2.00$

よって　$v_0=$**9.80 m/s**

p. 24　演習 3

初速度の鉛直成分 v_{0y} は



$$v_{0y}=4.9\times\sin30°$$
$$=4.9\times\frac{1}{2}\ \mathrm{m/s}$$

鉛直方向には鉛直投げ上げと同様の運動をするから

$$-14.7=4.9\times\frac{1}{2}\times t-\frac{1}{2}\times9.8\times t^2$$
$$-6.0=t-2.0t^2$$
$$2.0t^2-t-6.0=0$$
$$(2.0t+3.0)(t-2.0)=0$$

$t>0$　より　$t=$**2.0 s**

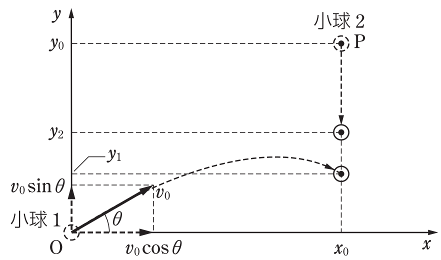
初速度の水平成分 v_{0x} は

$$v_{0x}=4.9\times\cos30°=4.9\times\frac{\sqrt{3}}{2}\ \mathrm{m/s}$$

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

$$l=v_{0x}t=4.9\times\frac{\sqrt{3}}{2}\times2.0\fallingdotseq\mathbf{8.5\ m}$$

p. 24　演習 4



(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　$t=\dfrac{\boldsymbol{x_0}}{\boldsymbol{v_0\cos\theta}}$〔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

$$y_1=v_0\sin\theta\cdot\frac{x_0}{v_0\cos\theta}-\frac{1}{2}g\left(\frac{x_0}{v_0\cos\theta}\right)^2$$
$$=\boldsymbol{\tan\theta\cdot x_0-\frac{gx_0{}^2}{2v_0{}^2\cos^2\theta}}\ 〔\mathrm{m}〕$$

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　$y_2 = \boldsymbol{y_0 - \frac{gx_0{}^2}{2v_0{}^2\cos^2\theta}}$〔**m**〕

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

よって　$\tan\theta_0 \cdot x_0 - \frac{gx_0{}^2}{2v_0{}^2\cos^2\theta_0}$

$$= y_0 - \frac{gx_0{}^2}{2v_0{}^2\cos^2\theta_0}$$

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

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

（したがって，O→Pの向き）

第2章 剛体

p. 27　問4

「$M=Fl$」より

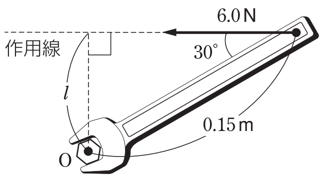
$M_P = 6.0\times2.5 = \mathbf{15\,N\cdot m}$

$M_Q = -6.0\times1.6 = \mathbf{-9.6\,N\cdot m}$

p. 27　問5

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

$M = Fl = 6.0\times(0.15\times\sin30°)$

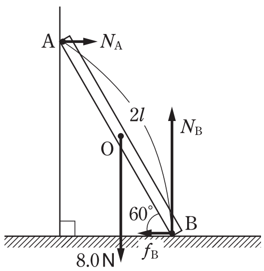
$= \mathbf{0.45\,N\cdot m}$

p. 27　問6

$M = 3.0\times3.0 - 1.5\times(3.0+2.0) = \mathbf{1.5\,N\cdot m}$

p. 29　類題4

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8.0N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　$N_B = \mathbf{8.0\,N}$

(2)　③式より　$4.0 - N_A\times\sqrt{3} = 0$

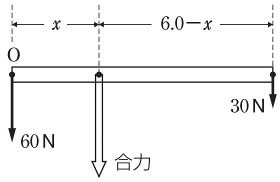
よって　$N_A = \frac{4.0}{\sqrt{3}} \fallingdotseq \mathbf{2.3\,N}$

これと①式より　$f_B = N_A = \mathbf{2.3\,N}$

p. 31　問7

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

$60+30 = \mathbf{90\,N}$

また，図より　$x:(6.0-x) = 30:60$　が成りたつ。これより

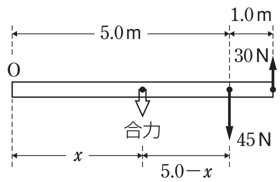
$60x = 30(6.0-x)$

よって　$x = \mathbf{2.0\,m}$

(2)　上向きを正とすると，合力は

$30-45$

$= -15$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

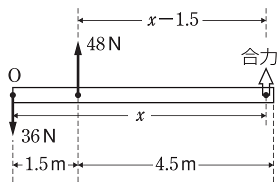
$45(5.0-x) = 30(6.0-x)$

よって　$x = \mathbf{3.0\,m}$

(3)　上向きを正とすると，合力は

$48-36$

$= 12$N



よって，向きは**上向き**で大きさは**12N**である。

また，図より

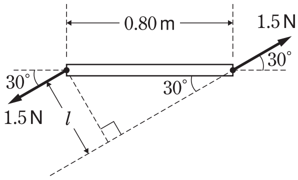
$(x-1.5):x = 36:48$　が成りたつ。

これより　$48(x-1.5) = 36x$

よって　$x = \mathbf{6.0\,m}$

p. 32　問 8

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。



$l=0.80\times\sin 30°=0.40\,\mathrm{m}$

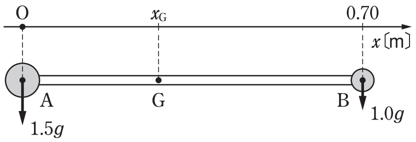
ゆえに，偶力のモーメント

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

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. 33　問 9

図のように x 軸をとり，重心の座標を x_G〔m〕とする。



「$x_\mathrm{G}=\dfrac{m_1x_1+m_2x_2}{m_1+m_2}$」より

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

p. 33　問 10

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。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。

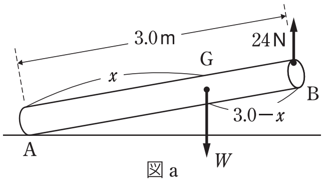


図 a

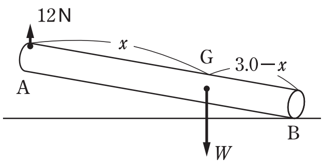


図 b

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

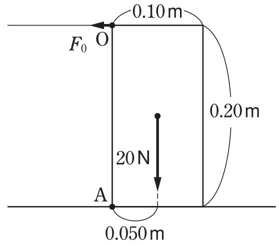
$W(3.0-x)-12\times3.0=0$　……②

①，②式より

$x=\mathbf{2.0\,m}$　　$W=\mathbf{36\,N}$

p. 36　問 11

(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　$f=F_0=5.0\,\mathrm{N}$

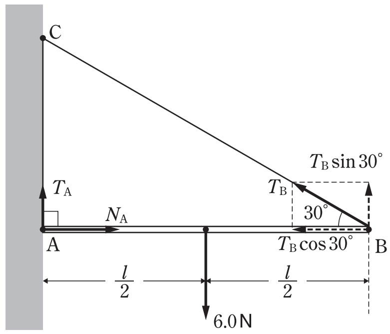
(1)のときまでに，物体がすべりださないためには，f が最大摩擦力の大きさ以下であればよい。したがって

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

ゆえに　$\mu_0\geqq\mathbf{0.25}$

p. 37　演習 1

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

$N_\mathrm{A}-T_\mathrm{B}\cos30°=0$　……①

鉛直方向の力のつりあいより

$T_\mathrm{A}+T_\mathrm{B}\sin30°-6.0=0$　……②

点Aのまわりの力のモーメントの和が 0 なので

$T_\mathrm{B}\sin30°\times l-6.0\times\dfrac{l}{2}=0$　……③

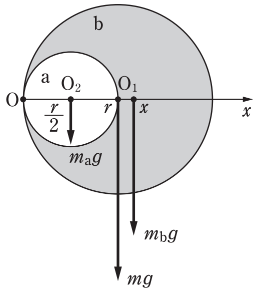
①，②，③式より　(1)　$T_\mathrm{B}=\mathbf{6.0\,N}$

(2)　$T_\mathrm{A}=\mathbf{3.0\,N}$　(3)　$N_\mathrm{A}=6.0\times\dfrac{\sqrt{3}}{2}\fallingdotseq\mathbf{5.2\,N}$

p. 37　演習 2

(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 $\frac{r}{2}$ 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$\left(重心の位置は\ x=\frac{r}{2}\right)$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。

「$x_G=\frac{m_1x_1+m_2x_2}{m_1+m_2}$」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 $x=\boldsymbol{\frac{7r}{6}}$

p. 37　演習 3

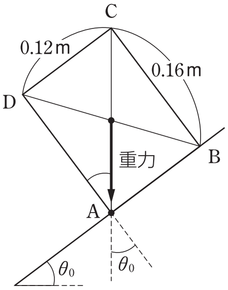
(1)　図より

$\sin\theta_0$

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

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

$=\mathbf{0.60}$



(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　$\mu_0=\tan\theta_0=\frac{0.12}{0.16}=0.75$

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　運動量の保存

p. 38　問 12

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

向きは**東向き**

p. 39　問 13

求める台車の速さを v'〔m/s〕とする。

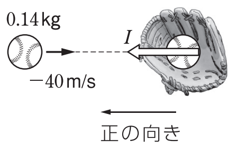
「$mv'-mv=F\Delta t$」より

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

よって　$v'=$**1.5 m/s**

p. 40　問 14

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

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

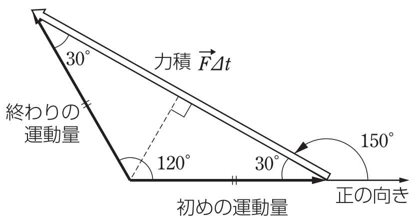
ゆえに　$I=$**5.6 N·s**

(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. 41　類題 5

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。

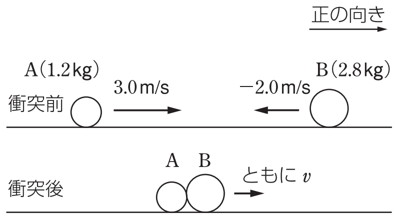
ボールの初めの運動量は 0.40×10 kg·m/s であるから，力積の大きさ $F\Delta t$ は

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

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

p. 43　類題 6

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

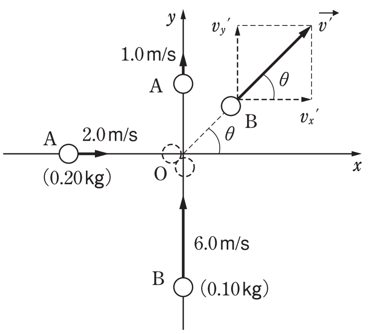
$$1.2\times3.0+2.8\times(-2.0)=(1.2+2.8)v$$

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. 45　類題 7

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　$v_x'=4.0$ m/s，$v_y'=4.0$ m/s

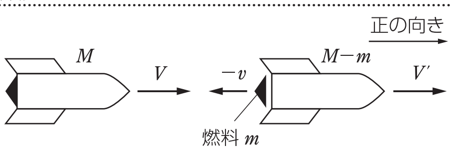
ゆえに　$v'=\sqrt{v_x'^2+v_y'^2}=\sqrt{4.0^2+4.0^2}$

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

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。

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

p. 47　類題 8



ロケットの進む向きを正とする。

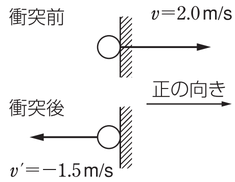
運動量保存則より

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

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

p. 48　問 15

衝突前後の小球の速度を v，v'〔m/s〕とすると

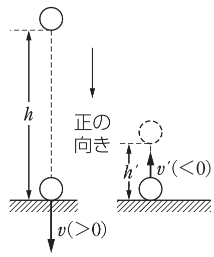


$$e=\frac{|v'|}{|v|}=-\frac{v'}{v}$$

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

p. 48　問 16

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

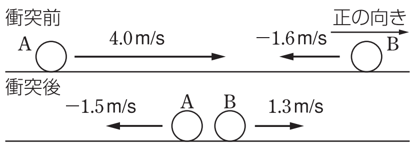
$$0.50=\sqrt{\frac{h'}{80}}\quad\text{ゆえに}\quad h'=\mathbf{20\ cm}$$

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. 51　問 17

衝突前の物体Aの進む向きを正とする。

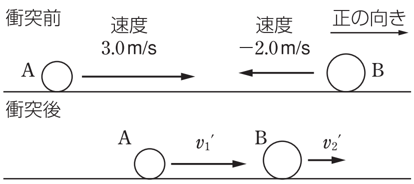


「$e=-\dfrac{v_1'-v_2'}{v_1-v_2}$」より

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

p. 51　類題 9

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

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

反発係数の式より

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

①式より　$v_1'+2.0v_2'=-1.0$

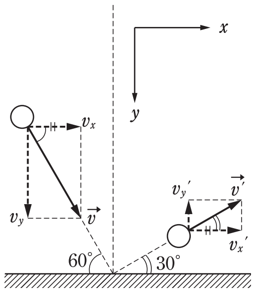
②式より　$v_1'-v_2'=-4.0$

これら2式より　$v_1'=\mathbf{-3.0\,m/s}$

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

p. 52　類題 10

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



$$v_x=v\cos 60°=\frac{1}{2}v$$

$$v_y=v\sin 60°=\frac{\sqrt{3}}{2}v$$

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　$v_x'=\frac{1}{2}v$

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

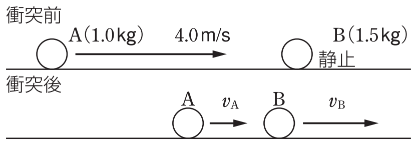
よって　$\tan 30°=\frac{|v_y'|}{v_x'}$

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

ゆえに　$e=\mathbf{\frac{1}{3}}$

p. 54　類題 11

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

$$1.0\times4.0=1.0v_A+1.5v_B \quad \cdots\cdots①$$

反発係数の式より

$$0.25=-\frac{v_A-v_B}{4.0} \quad \cdots\cdots②$$

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

$$E_1=\frac{1}{2}\times1.0\times4.0^2=8.0\,J$$

$$E_2=\frac{1}{2}\times1.0\times1.0^2+\frac{1}{2}\times1.5\times2.0^2=3.5\,J$$

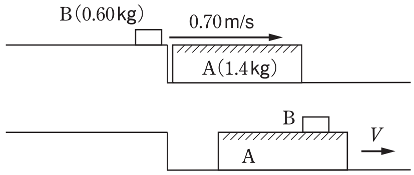
したがって

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

(4.5 J減少)

p. 55　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

$$0.60\times0.70=(0.60+1.4)V$$

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

$0.60\times0.70-0.60\times0.21$

$=0.294\,kg\cdot m/s$

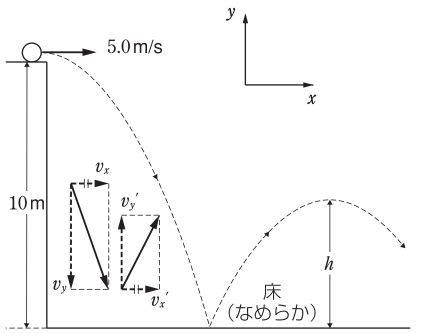
動摩擦力の大きさは

$0.25\times(0.60\times9.8)=1.47\,N$ 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　$\Delta t=\frac{0.294}{1.47}=\mathbf{0.20\,s}$

p. 55　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

$$10=\frac{1}{2}\times9.8\times t^2 \text{ より } \quad t=\frac{10}{7}\,s$$

したがって，床面に達する直前の速さは

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

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　$v_y'=-ev_y=-0.70\times(-14)$

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

(3) はねかえった後，小球の鉛直方向の運動は初速度 $v_0=9.8\,\mathrm{m/s}$ 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. 55　演習 3

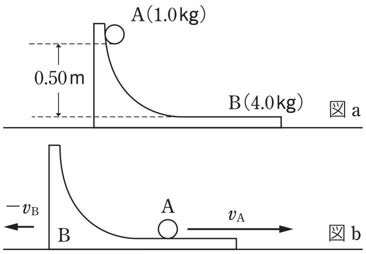


図 a と図 b の間で力学的エネルギー保存則が成りたつから

$1.0\times9.8\times0.50$

$=\dfrac{1}{2}\times1.0\times v_A{}^2+\dfrac{1}{2}\times4.0\times v_B{}^2$　……①

運動量保存則より

$0=1.0\times v_A+4.0\times(-v_B)$　……②

①，②式より

$v_A=\mathbf{2.8\,m/s}$，$v_B=\mathbf{0.70\,m/s}$

第 4 章 円運動と万有引力

p. 57　問 18

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

角速度 $\omega=\dfrac{\theta}{t}=\dfrac{\pi}{5.0}=0.20\pi\fallingdotseq\mathbf{0.63\,rad/s}$

速さ $v=r\omega=8.0\times0.20\pi\fallingdotseq\mathbf{5.0\,m/s}$

p. 58　問 19

$T=\dfrac{1\text{ 分間}}{15\text{ 回転}}=\dfrac{60\text{ s}}{15\text{ 回転}}=\mathbf{4.0\,s}$

$n=\dfrac{1}{T}=\dfrac{1}{4.0}=\mathbf{0.25\,Hz}$

$\omega=\dfrac{2\pi}{T}=\dfrac{2\pi}{4.0}=0.50\pi\fallingdotseq\mathbf{1.6\,rad/s}$

$v=r\omega=0.40\times0.50\pi\fallingdotseq\mathbf{0.63\,m/s}$

p. 59　問 20

半径 $r=5.0\times10^2\,\mathrm{m}$，速さ $v=60\,\mathrm{m/s}$ より

$\omega=\dfrac{v}{r}=\dfrac{60}{5.0\times10^2}=\mathbf{0.12\,rad/s}$

$a=v\omega=60\times0.12=\mathbf{7.2\,m/s^2}$

p. 60　問 21

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 $F=m\dfrac{v^2}{r}$ 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. 61　類題 12

(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

$F=mr\omega^2=2.0\times0.20\times1.5^2=\mathbf{0.90\,N}$

(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。

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

$=4.9\,\mathrm{N}$

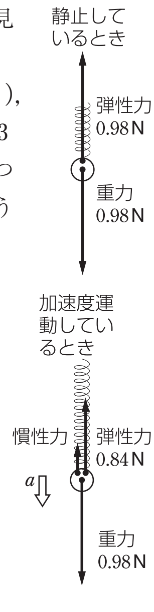
したがって　$mr\omega_{\max}{}^2=F_0$ より

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

よって　$\omega_{\max}=\mathbf{3.5\,rad/s}$

p. 64　類題 13

(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

$0.10\times9.8=0.98\,\mathrm{N}$

弾性力の大きさは

$20\times0.042=0.84\,\mathrm{N}$

だから，慣性力は**鉛直上向き**にはたらき，その大きさは

$F=0.98-0.84$

$=\mathbf{0.14\,N}$

(2) エレベーターの加速度の向きは慣性力の

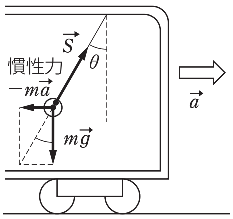
向きと逆向きであるから，**鉛直下向き**である。エレベーター外の静止した場所から見て，物体についての運動方程式を立てると（下向きを正とする）

$$0.10a=0.98-0.84$$

よって　$a=\mathbf{1.4\,m/s^2}$

p.65　**類題 14**

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。



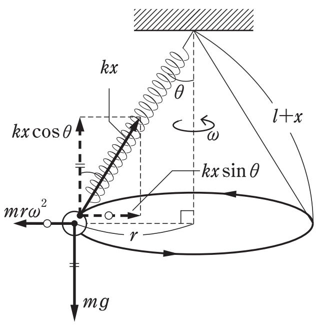
(1)　図より　$\tan\theta=\dfrac{ma}{mg}=\boldsymbol{\dfrac{a}{g}}$

(2)　$S^2=(mg)^2+(ma)^2$

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

p.67　**類題 15**

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

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

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

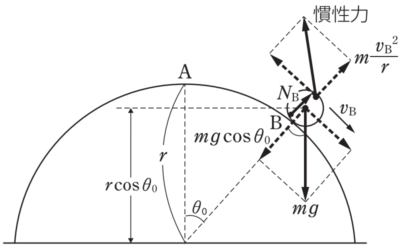
よって　$\omega=\boldsymbol{\sqrt{\dfrac{kg}{kl\cos\theta+mg}}}$〔rad/s〕

p.70　**類題 16**

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

$$m\frac{v_B{}^2}{r}+N_B-mg\cos\theta_0=0 \quad\cdots\cdots②$$

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.72　**問 22**

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

振幅　$A=\mathbf{0.50\,m}$

また，角振動数 $\omega=4.0\pi$ rad/s より

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

振動数　$f=\dfrac{1}{T}=\mathbf{2.0\,Hz}$

p. 73　**問 23**

(1)　$x=2.0\sin 0.40t$ と $x=A\sin\omega t$
の係数を比較して
振幅　$A=2.0\,\mathrm{m}$
角振動数　$\omega=0.40\,\mathrm{rad/s}$
よって，時刻 t〔s〕における速度
v〔m/s〕は

$$v=A\omega\cos\omega t$$
$$=2.0\times0.40\cos 0.40t$$
$$=\mathbf{0.80\cos 0.40}\boldsymbol{t}\quad\cdots\cdots①$$

また，時刻 t〔s〕における加速度
a〔m/s^2〕は

$$a=-A\omega^2\sin\omega t$$
$$=-2.0\times0.40^2\sin 0.40t$$
$$=\mathbf{-0.32\sin 0.40}\boldsymbol{t}\quad\cdots\cdots②$$

(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. 74　**問 24**

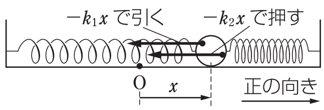
$F=-30x$ は復元力であり　$K=30\,\mathrm{N/m}$
よって　角振動数　$\omega=\sqrt{\dfrac{K}{m}}=\sqrt{\dfrac{30}{0.30}}$
$=\mathbf{10\,rad/s}$
周期　$T=\dfrac{2\pi}{\omega}=\dfrac{2\pi}{10}\fallingdotseq\mathbf{0.63\,s}$

p. 75　**問 25**

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. 75　**問 26**

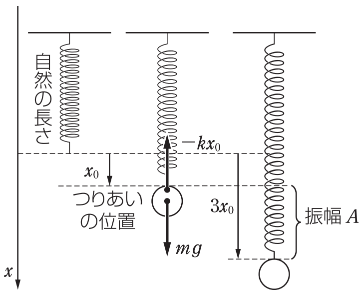
小球の静止の位置を原点Oとし，



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

p. 77　**類題 17**

(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　$x_0=\dfrac{\boldsymbol{mg}}{\boldsymbol{k}}$〔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
$A=3x_0-x_0=2x_0=\dfrac{\boldsymbol{2mg}}{\boldsymbol{k}}$〔m〕
$T=\mathbf{2\pi}\sqrt{\dfrac{\boldsymbol{m}}{\boldsymbol{k}}}$〔s〕
$v=A\omega=A\dfrac{2\pi}{T}=\dfrac{2mg}{k}\sqrt{\dfrac{k}{m}}$
$=\mathbf{2}\boldsymbol{g}\sqrt{\dfrac{\boldsymbol{m}}{\boldsymbol{k}}}$〔m/s〕

p. 78　**問 27**

「$T=2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g}}$」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. 78　**問 28**

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/s^2〕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　$\mathbf{\sqrt{6}}$ **倍**

p. 82　**問 29**

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
$$\frac{1}{2}r_Qv_Q\sin 90^\circ=\frac{1}{2}r_Pv_P\sin 90^\circ$$

したがって　$\dfrac{r_Q}{r_P}=\dfrac{v_P}{v_Q}$

$\dfrac{r_Q}{r_P}=\dfrac{2.5}{1.5}$ であるから

$$\frac{v_Q}{v_P}=\frac{r_P}{r_Q}=\frac{1.5}{2.5}=0.60$$　よって　**0.60倍**

p. 82　**問 30**

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

$$\frac{T_H{}^2}{r_H{}^3}=\frac{T_E{}^2}{r_E{}^3}$$

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. 83　**問 31**

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

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

$$\fallingdotseq \mathbf{3.6\times10^{22}\,N}$$

p. 85　**類題 18**

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. 89　**類題 19**

(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. 91　**演習 1**

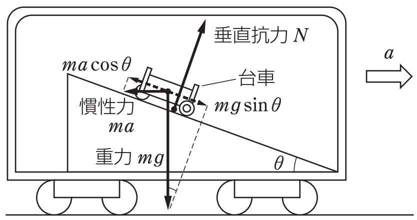
このときの小球の円運動の半径を r〔m〕とすると，運動方程式は　$mr\omega^2=F$ である。この式に $m=0.50$ kg，$r=(0.10+x)$〔m〕，$\omega=6.0$ rad/s，$F=kx=30x$〔N〕を代入して

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

よって　$x=$ **0.15 m**

p. 91　**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.91　演習3

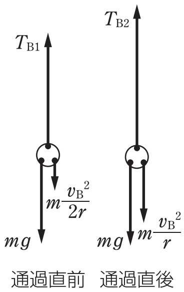
点Bの高さを重力による位置エネルギーの基準水平面とする。

(1)　点Aと点Bの間での力学的エネルギー保存則より

$$mg\times 2r=\frac{1}{2}mv_{\mathrm{B}}{}^2$$

よって　$v_{\mathrm{B}}=\boldsymbol{2\sqrt{gr}}$〔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 $m\dfrac{v_{\mathrm{B}}{}^2}{2r}$〔N〕で，点Bを通過した直後に $m\dfrac{v_{\mathrm{B}}{}^2}{r}$〔N〕となる。力のつりあいより



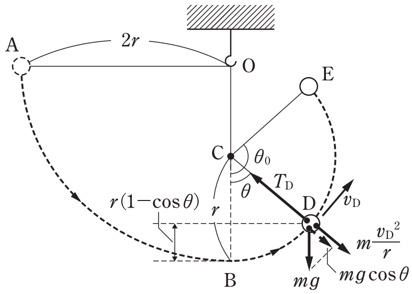
$$T_{\mathrm{B1}}=mg+m\frac{v_{\mathrm{B}}{}^2}{2r}=mg+m\frac{4gr}{2r}$$

$$=\boldsymbol{3mg}〔\mathrm{N}〕$$

$$T_{\mathrm{B2}}=mg+m\frac{v_{\mathrm{B}}{}^2}{r}=mg+m\frac{4gr}{r}$$

$$=\boldsymbol{5mg}〔\mathrm{N}〕$$

(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

$$mg\times 2r=mgr(1-\cos\theta)+\frac{1}{2}mv_{\mathrm{D}}{}^2$$

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

力のつりあいより

$$T_{\mathrm{D}}=m\frac{v_{\mathrm{D}}{}^2}{r}+mg\cos\theta$$

$$=2mg(1+\cos\theta)+mg\cos\theta$$

$$=\boldsymbol{mg(2+3\cos\theta)}〔\mathrm{N}〕$$

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

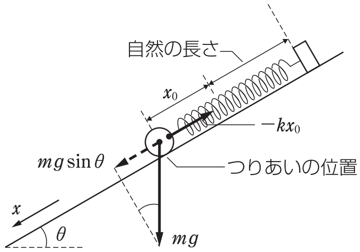
よって　$\cos\theta_0=\boldsymbol{-\dfrac{2}{3}}$

p.92　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)　$F=mg\sin\theta-kx=kx_0-kx$

$\quad=\boldsymbol{-k(x-x_0)}$〔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

$$v_{\max}=x_0\omega=x_0\frac{2\pi}{T}$$

$$=\boldsymbol{x_0\sqrt{\frac{k}{m}}}〔\mathrm{m/s}〕$$

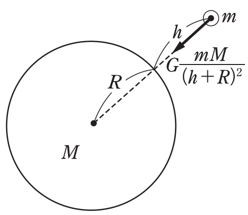
p.92　演習5

(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

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

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

①式を整理すると

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

(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

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

人工衛星AとBについて

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

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

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

人工衛星AとCについて

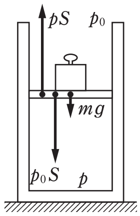
$$r_C=\left(\frac{1440}{96}\right)^{\frac{2}{3}}\times(6.93\times10^3)$$
$$=15^{\frac{2}{3}}\times(6.93\times10^3)$$
$$=6.1\times(6.93\times10^3)\fallingdotseq4.23\times10^4\,\text{km}$$

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

第2編　熱と気体

第1章 気体のエネルギーと状態変化

p.101　問1



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〔m^2〕，重力加速度の大きさを g〔m/s^2〕とすると，ピストンにはたらく力のつりあいより

$$pS-mg-p_0S=0$$

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

p.101　問2

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

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

p.103　問3

求める体積を V〔m^3〕とすると，「$\dfrac{V}{T}$＝一定」より

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

よって　$V=\dfrac{360}{300}=\boldsymbol{1.2\,\text{m}^3}$

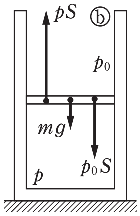
p.103　問4

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

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

$$=\boldsymbol{1.6\times10^5\,\text{Pa}}$$

p.104　類題1



ⓐ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　$p=\boldsymbol{p_0+\dfrac{mg}{S}}$〔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　$T=\left(p_0+\dfrac{mg}{S}\right)\times\dfrac{3}{4}V_0\times\dfrac{T_0}{p_0V_0}$

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

p. 105　問 5

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. 108　問 6

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

p. 110　問 7

(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. 112　類題 2

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　$T=\mathbf{3.2\times10^2\,K}$

また，気体の状態方程式より

$$p\times(0.24+0.40)=20\times8.3\times(3.2\times10^2)$$

$$p=\frac{20\times8.3\times(3.2\times10^2)}{0.64}=\mathbf{8.3\times10^4\,Pa}$$

p. 114　問 8

定積変化なので　$W=$**0 J**

$\varDelta U=Q=$**75 J**

p. 115　問 9

定圧変化では，気体がする仕事は

「$W'=p\varDelta V$」で与えられるので

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

よって　$W=-W'=$**−30 J**

「$\varDelta U=Q+W$」より

$\varDelta U=75+(-30)=$**45 J**

p. 115　問 10

等温変化なので　$\varDelta U=$**0 J**

$W=-Q=$**−75 J**

p. 116　問 11

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

「$\varDelta U=Q+W$」に代入して

$\varDelta U=0+(-65)=$**−65 J**

p. 117　類題 3

変化前の温度を T_0〔K〕，温度変化を $\varDelta T$〔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

$$p_0V_0=nRT_0 \quad \cdots\cdots①$$

$$(p_0+\varDelta p)V_0=nR(T_0+\varDelta T)\quad \cdots\cdots②$$

②式−①式より

$$\varDelta pV_0=nR\varDelta T$$

気体の内部エネルギーの変化は

$$\varDelta U=\frac{3}{2}nR\varDelta T=\boldsymbol{\frac{3}{2}\varDelta pV_0}\text{〔J〕}$$

気体がされた仕事 $W=\mathbf{0}$ **J**

気体が受け取った熱量は

$$Q=\varDelta U=\boldsymbol{\frac{3}{2}\varDelta p V_0}\text{〔J〕}$$

(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

$p_0V_0=nRT_0$ (①式)

$p_0(V_0+\varDelta V)=nR(T_0+\varDelta T)$ ……③

③式－①式より

$p_0\varDelta V=nR\varDelta T$

気体の内部エネルギーの変化は

$$\varDelta U=\frac{3}{2}nR\varDelta T=\boldsymbol{\frac{3}{2}p_0\varDelta V}\text{〔J〕}$$

気体がされた仕事 $W=\boldsymbol{-p_0\varDelta V}$〔J〕

気体が受け取った熱量は

$$Q=\varDelta U-W=\frac{3}{2}p_0\varDelta V-(-p_0\varDelta V)$$

$$=\boldsymbol{\frac{5}{2}p_0\varDelta V}\text{〔J〕}$$

p.118　問 12

定積モル比熱を C_V〔J/(mol·K)〕とすると，

「$Q=nC_V\varDelta T$」 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.119　問 13

「$Q=nC_p\varDelta T$」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.119　問 14

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.122　問 15

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.123　類題 4

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：$pV=nRT_{\text{A}}$ より $T_{\text{A}}=\dfrac{pV}{nR}$〔K〕

B：$3pV=nRT_{\text{B}}$ より $T_{\text{B}}=\dfrac{3pV}{nR}$〔K〕

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

D：$p\times 2V=nRT_{\text{D}}$ より $T_{\text{D}}=\dfrac{2pV}{nR}$〔K〕

各過程で気体が得る熱量を $Q_{\text{A→B}}$〔J〕のように表す。

A→B，C→D は定積変化であるから

$$Q_{\text{A→B}}=\frac{3}{2}nR(T_{\text{B}}-T_{\text{A}})=\frac{3}{2}nR\left(\frac{3pV}{nR}-\frac{pV}{nR}\right)=3pV$$

$$Q_{\text{C→D}}=\frac{3}{2}nR(T_{\text{D}}-T_{\text{C}})=\frac{3}{2}nR\left(\frac{2pV}{nR}-\frac{6pV}{nR}\right)=-6pV$$

B→C，D→A は定圧変化であるから

$$Q_{\text{B→C}}=\frac{5}{2}nR(T_{\text{C}}-T_{\text{B}})=\frac{5}{2}nR\left(\frac{6pV}{nR}-\frac{3pV}{nR}\right)=\frac{15}{2}pV$$

$$Q_{\text{D→A}}=\frac{5}{2}nR(T_{\text{A}}-T_{\text{D}})=\frac{5}{2}nR\left(\frac{pV}{nR}-\frac{2pV}{nR}\right)=-\frac{5}{2}pV$$

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

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

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

$e=\dfrac{Q_{\text{in}}-Q_{\text{out}}}{Q_{\text{in}}}=\boldsymbol{\dfrac{4}{21}}$

p.125　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「$\varDelta U=Q+W$」より $Q=\varDelta U-W=\varDelta U+W'$ ……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 $\varDelta U_1$，$\varDelta U_2$，$\varDelta U_3$ とおくと「$\varDelta U=\dfrac{3}{2}nR\varDelta T$」と①式より

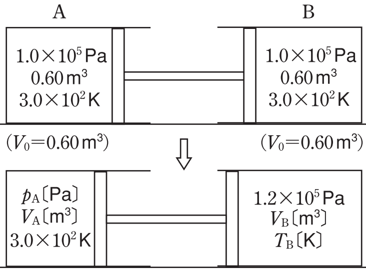
解答編

$\varDelta U_3 < \varDelta U_2 (=0) < \varDelta U_1$ ……④

②，③，④式より　$\boldsymbol{Q_3 < Q_2 < Q_1}$

p.127　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　$p_A = \mathbf{1.2 \times 10^5\ Pa}$



(2)　B内の気体の膨張した体積を $\varDelta V$〔$\mathrm{m^3}$〕とすると，Aの体積 V_A は $(V_0 - \varDelta V)$〔$\mathrm{m^3}$〕，Bの体積 V_B は $(V_0 + \varDelta V)$〔$\mathrm{m^3}$〕である（ただし $V_0 = 0.60\ \mathrm{m^3}$）。

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　$\varDelta V = 0.10\ \mathrm{m^3}$

よって　$V_A = 0.60 - 0.10 = \mathbf{0.50\ m^3}$

$V_B = 0.60 + 0.10 = \mathbf{0.70\ m^3}$

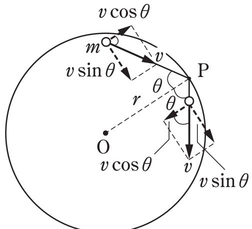
(3)　B内の気体についてボイル・シャルルの法則「$\dfrac{pV}{T}=$一定」より

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

よって　$T_B = \mathbf{4.2\times10^2\ K}$

p.127　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。

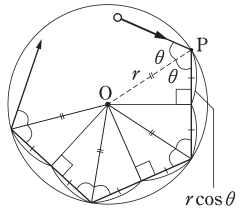


図a

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

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

$$F = N\times(2mv\cos\theta)\times\left(\frac{v}{2r\cos\theta}\right)$$

$$= \boldsymbol{\frac{Nmv^2}{r}}\text{〔N〕}$$

(3)　半径 r の球（容器）の表面積は $4\pi r^2$ であるから

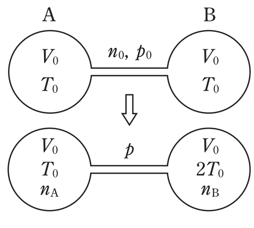
$$\text{圧力}\ p = \frac{\text{力}}{\text{面積}} = \frac{Nmv^2/r}{4\pi r^2} = \frac{Nmv^2}{4\pi r^3}$$

容器の体積 $V = \dfrac{4}{3}\pi r^3$ なので

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

p.127　演習 3

(1)　状態方程式「$pV=nRT$」より



$$p_0 \times 2V_0 = n_0 RT_0$$

よって

$$p_0 = \boldsymbol{\frac{n_0 RT_0}{2V_0}}\text{〔Pa〕}$$

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：$pV_0 = n_A RT_0$ ……①

B：$pV_0 = n_B R\times 2T_0$ ……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　$n_A=\dfrac{2}{3}\boldsymbol{n_0}$〔**mol**〕

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

(b)　①式より　$pV_0=\dfrac{2}{3}n_0RT_0$

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

(c)　内部エネルギーの増加 $\varDelta U$ は

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

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

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

p.128　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「$\varDelta U=Q+W$」において，$Q=0$，$W>0$ であるから，$\varDelta U>0$，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.128　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〔m³〕，温度を T_C〔K〕とする。

B→C は等温変化であるから

$T_C=T_B=6.6\times10^2$ 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　$V_C=4.4\times10^{-3}$ m³

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。

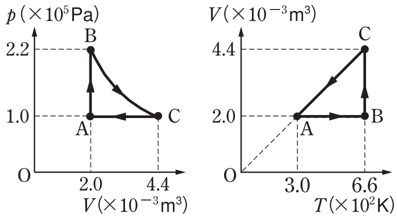


図 a　　図 b

(2)　内部エネルギーの変化 $\varDelta U$ は

$$\varDelta U=\frac{3}{2}nR\varDelta T\quad\cdots\cdots①$$

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 $\varDelta T$〔K〕変化したときに圧力が $\varDelta p$〔Pa〕変化したとすると　$\varDelta pV=nR\varDelta T$　……②

①，②式より　$\varDelta U=\dfrac{3}{2}\varDelta pV$

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

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

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

定圧変化（過程Ⅲ）では，温度が $\varDelta T$〔K〕変化したときに体積が $\varDelta V$〔m³〕変化したとすると $p\varDelta V=nR\varDelta T$ が成りたつから $\varDelta U=\dfrac{3}{2}p\varDelta V$

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

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

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

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

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

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

$W_{\mathrm{III}}=-p\varDelta V$

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

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

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

$Q_{\mathrm{I}}=\varDelta U_{\mathrm{I}}-W_{\mathrm{I}}=3.6\times10^2-0$

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

過程Ⅲ：$\varDelta U_{\mathrm{III}}=Q_{\mathrm{III}}+W_{\mathrm{III}}$　より

$Q_{\mathrm{III}}=\varDelta U_{\mathrm{III}}-W_{\mathrm{III}}$

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

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

(5) 1サイクルの間に気体が外から得た熱量 Q〔J〕は

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

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

1サイクルの間に気体が外に対してした仕事 W〔J〕は

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

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

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

熱効率 e は

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

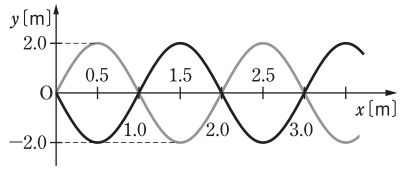
第3編　波

第1章 波の伝わり方

p.134　問1

波の速さは0.10m/sなので，30秒間に波形の進む距離は　0.10×30＝3.0m

よって，波の進む正の向きに3.0m平行移動させればよい。

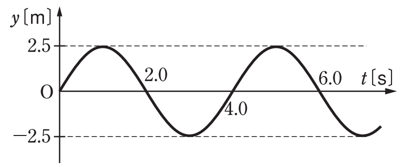


p.134　問2

まず，振動の周期 T〔s〕を求める。y-x 図より波長は $\lambda=6.0\,\mathrm{m}$，波の速さは $v=1.5\,\mathrm{m/s}$ である。「$v=\dfrac{\lambda}{T}$」 より

$$T=\frac{\lambda}{v}=\frac{6.0}{1.5}=4.0\,\mathrm{s}$$

次に，$x=6.0\,\mathrm{m}$ の媒質がどのように時間変化するかを調べる。$t=0\,\mathrm{s}$ での変位は y-x 図より $y=0\,\mathrm{m}$ である。そして，その次の瞬間には上向きに動く。以上より，y-t 図をかく。



p.140　類題1

$$y=3.0\sin\pi(10t+5.0x) \quad \cdots\cdots①$$

これを x 軸の負の向きに進む正弦波の式

$$y=A\sin2\pi\left(\frac{t}{T}+\frac{x}{\lambda}\right) \quad \cdots\cdots②$$

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　$A=\mathbf{3.0\,m}$

また，t と x の係数を②式と比較して

$\dfrac{1}{T}=5.0$ より　$T=\mathbf{0.20\,s}$

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

p.140　類題2

(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

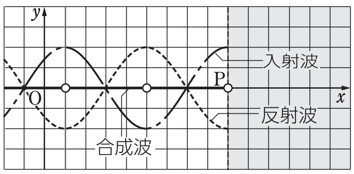
$$\boldsymbol{y}=0.5\sin\left(2\pi\frac{t}{0.4}+\pi\right)$$
$$=-0.5\sin 2\pi\frac{t}{0.4}$$
$$\boldsymbol{=-0.5\sin 5\pi t}$$

(2) 原点から位置 x〔m〕まで振動が伝わるのに時間 $t_0=\frac{x}{2}$〔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。

$$\boldsymbol{y=-0.5\sin 5\pi\left(t-\frac{x}{2}\right)}$$

p.143　問3

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。固定端の位置は節となり，節と節の間隔は進行波の波長の半分になる。



p.145　問4

(1) それぞれの波源からの距離の差を求める。

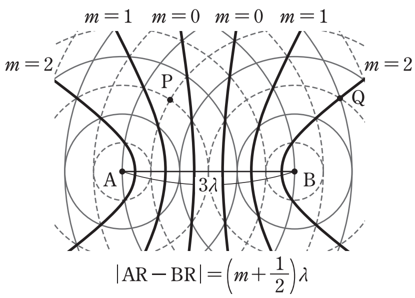
$$\mathrm{AP}=3.0\,\mathrm{cm}=\frac{3}{2}\lambda$$
$$\mathrm{BP}=5.0\,\mathrm{cm}=\frac{5}{2}\lambda$$
$$|\mathrm{AP}-\mathrm{BP}|=\lambda$$

よって，点Pは**強めあう点**である。

$$\mathrm{AQ}=8.0\,\mathrm{cm}=4\lambda$$
$$\mathrm{BQ}=3.0\,\mathrm{cm}=\frac{3}{2}\lambda$$
$$|\mathrm{AQ}-\mathrm{BQ}|=\frac{5}{2}\lambda$$

よって，点Qは**弱めあう点**である。

(2)



直線AB上にある弱めあう点をRとする。Rは $\mathrm{AR}-\mathrm{BR}=\pm\frac{1}{2}\lambda,\ \pm\frac{3}{2}\lambda,\ \pm\frac{5}{2}\lambda$ を満たす6点である（$\mathrm{AB}=3\lambda$ であるので $|\mathrm{AR}-\mathrm{BR}|$ 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.147　類題3

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

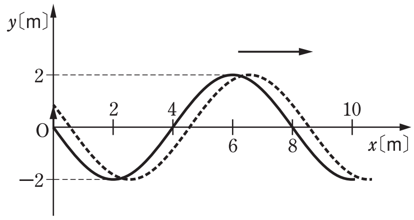
$v_1=0.20\times\sqrt{3}\fallingdotseq\mathbf{0.35\,m/s}$

p.151　演習1

(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。

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

(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. 151　**演習 2**

(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（$m=0, 1, 2, \cdots$）。

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

波源 A，B が逆位相で振動しているので

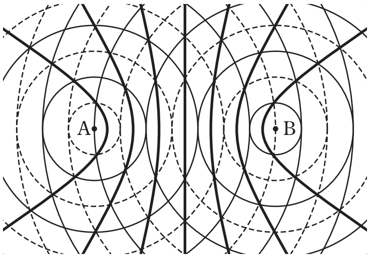
$$\begin{cases} l=m\lambda & \cdots\cdots\text{弱めあう} \\ l=\left(m+\dfrac{1}{2}\right)\lambda & \cdots\cdots\text{強めあう} \end{cases}$$

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

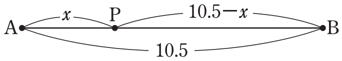
$$4.5=\frac{3}{2}\times3.0=\left(1+\frac{1}{2}\right)\times3.0$$

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

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

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

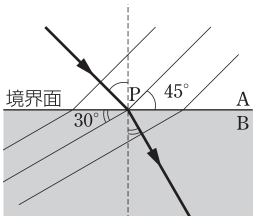
$x=\dfrac{10.5}{2}+\dfrac{3m}{2}$ より

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

以上の 7 点となる。

p. 151　**演習 3**

(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　$\dfrac{\sin45^\circ}{\sin30^\circ}=n_{AB}$

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

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

よって　$\dfrac{2.0}{v_B}=\sqrt{2}$

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

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

$$\lambda_A=\frac{v_A}{f}=\frac{2.0}{5.0}=\mathbf{0.40\,m}$$

$$\lambda_B=\frac{v_B}{f}=\frac{\sqrt{2}}{5.0}\fallingdotseq\mathbf{0.28\,m}$$

第 2 章　音の伝わり方

p. 153　**問 5**

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. 155　**類題 4**

管を 0.17 m 引き出すと 2 つの経路の長さの差は　$2\times0.17=0.34\,\text{m}$　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。

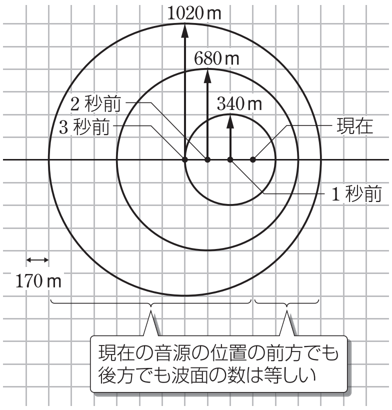
よって　$0.34=\dfrac{\lambda}{2}$

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.157　問6



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.157　問7

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)　$f'=\dfrac{340}{340-20}\times 720=\mathbf{765\,Hz}$

(2)　$f'=\dfrac{340}{340-(-20)}\times 720=\mathbf{680\,Hz}$

p.159　問8

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)　$f'=\dfrac{340-20}{340}\times 510=\mathbf{480\,Hz}$

(2)　$f'=\dfrac{340-(-20)}{340}\times 510=\mathbf{540\,Hz}$

p.159　問9

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.161　類題5

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.161　問A

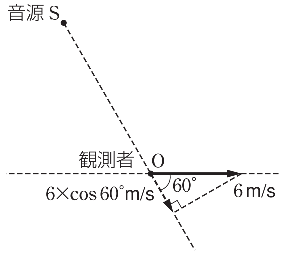
(1)　音源，観測者がともに静止しており，反射板などの動きもないので，ドップラー効果が起きない。$f'=\mathbf{644\,Hz}$

〔**別解**〕　音源から観測者に向かう音の速さは　$V+2=342\,\mathrm{m/s}$　となる。

$$f'=\frac{342-0}{342-0}\times 644=\mathbf{644\,Hz}$$

(2)　$f'=\dfrac{342-5}{342-20}\times 644=\dfrac{337}{322}\times 644=\mathbf{674\,Hz}$

p.162　類題6



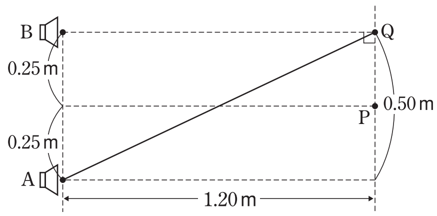
観測者の速度は，SO 方向の成分の大きさが

$$6\times\cos 60°$$
$$=6\times\frac{1}{2}$$
$$=3\,\mathrm{m/s}$$

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.163　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

$AQ-BQ=\lambda$ ……①

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

$1.30-1.20=\lambda$ より $\lambda=0.10\,\mathrm{m}$

$V=f\lambda$ 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.163 演習2

(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.163 演習3

(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.165 問10

図36の説明文中の式 $c=4Nnl$ より

$c=4\times720\times12.6\times8633\fallingdotseq\mathbf{3.13\times10^8\,m/s}$

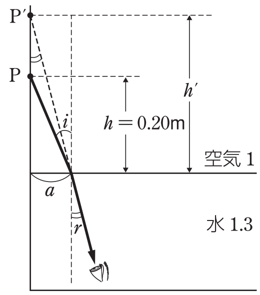
p.167 問11

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.168 類題7



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

$$1\times\frac{a}{h}\fallingdotseq1.3\times\frac{a}{h'}$$

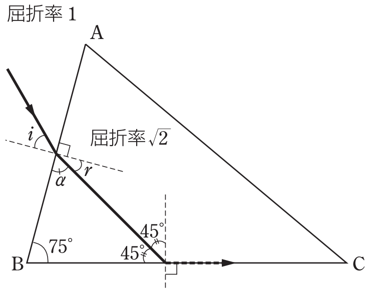
よって $h'\fallingdotseq1.3\times h=1.3\times0.20=\mathbf{0.26\,m}$

p.169　類題 8

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　$\alpha=60^\circ$

$r=90^\circ-\alpha=90^\circ-60^\circ=30^\circ$

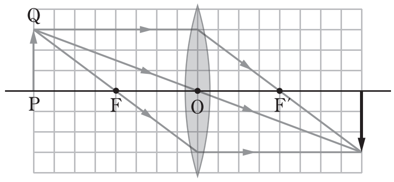
よって，屈折の法則より

$$\frac{\sin i}{\sin 30^\circ}=\frac{\sqrt{2}}{1}\quad したがって\quad \sin i=\frac{\sqrt{2}}{2}$$

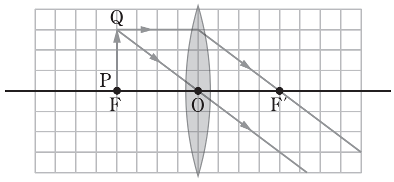
ゆえに　$i=$**45°**

p.176　問 12

(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.176　問 13

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　$\dfrac{1}{d}+\dfrac{1}{1.00-d}=\dfrac{1}{f}$

$d=0.10$ m のとき最初の像ができるので

$$\frac{1}{0.10}+\frac{1}{0.90}=\frac{1}{f}\quad ゆえに\quad f=0.090\,\text{m}$$

$$\frac{1}{d}+\frac{1}{1.00-d}=\frac{1}{0.090}$$

より d の値を求めると

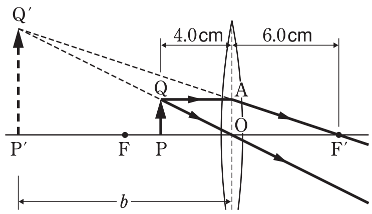
$d^2-d+0.090=0$

$(d-0.10)(d-0.90)=0$

より　$d=0.10$ m，0.90 m

2 度目の実像ができるときは　$d=$**0.90 m**

p.177　問 14



図のように，P′Q′ の像ができたとし，倍率 $m=\dfrac{\text{P'Q'}}{\text{PQ}}$，レンズと像との距離を b〔cm〕とする。△F′OA∽△F′P′Q′　より

$$m=\frac{b+6.0}{6.0}\quad\cdots\cdots①$$

また，△OPQ∽△OP′Q′　より

$$m=\frac{b}{4.0}\quad\cdots\cdots②$$

①式＝②式より　$b=12.0$ cm

この値を②式に代入して　$m=$**3.0 倍**

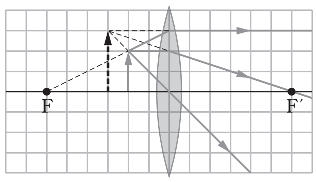
〔**別解**〕　レンズと物体との距離を a〔cm〕，レンズと像との距離を b〔cm〕，レンズの焦点距離を f〔cm〕として

$\dfrac{1}{a}-\dfrac{1}{b}=\dfrac{1}{f}$　ここで，$a=4.0$ cm，$f=6.0$ cm を代入すると　$b=12.0$ cm

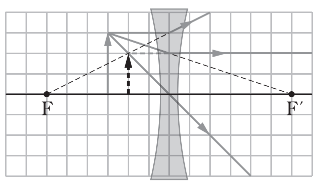
ゆえに　$m=\dfrac{b}{a}=\dfrac{12.0}{4.0}=$**3.0 倍**

p.178　問 15

(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. 179　類題 9

凹レンズであるから，写像公式で $f=-40\,\mathrm{cm}$, $a=60\,\mathrm{cm}$ とおくと　$\dfrac{1}{60}+\dfrac{1}{b}=-\dfrac{1}{40}$

よって　$b=-24\,\mathrm{cm}$

$$倍率\ m=\left|\frac{b}{a}\right|=\left|\frac{-24}{60}\right|=0.40\ 倍$$

$b<0$ 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. 181　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

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{20}+\frac{1}{30}\qquad よって\quad f=12\,\mathrm{cm}$$

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 $a=36\,\mathrm{cm}$, $f=12\,\mathrm{cm}$ とおくと

$$\frac{1}{36}+\frac{1}{b}=\frac{1}{12}\qquad より\quad b=18\,\mathrm{cm}$$

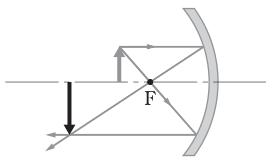
レンズの後方 18 cm の位置

p. 185　問 16

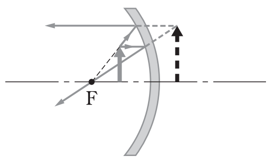
凹面鏡：主軸に平行な光は，反射後焦点を通り，焦点を通る光は，反射後主軸に平行に進む。

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。

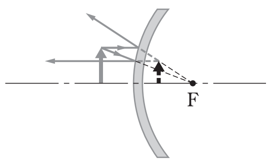
(1)



(2)



(3)



p. 185　問 17

(1)　凹面鏡であるから，写像公式で $f=30\,\mathrm{cm}$, $a=20\,\mathrm{cm}$ とおくと

$$\frac{1}{20}+\frac{1}{b}=\frac{1}{30}$$

よって　$b=-60\,\mathrm{cm}$

$$倍率\ m=\left|\frac{b}{a}\right|=\left|\frac{-60}{20}\right|=3.0\ 倍$$

$b<0$ 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 $f=-30\,\mathrm{cm}$, $a=20\,\mathrm{cm}$ とおくと

$$\frac{1}{20}+\frac{1}{b}=-\frac{1}{30}$$

よって　$b=-12\,\mathrm{cm}$

$$倍率\quad m=\left|\frac{b}{a}\right|=\left|\frac{-12}{20}\right|=0.60\ 倍$$

$b<0$ 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. 189　類題 10

(1)　暗線の間隔 Δx は　$\Delta x=\dfrac{l\lambda}{d}$　であるから　$\Delta x_1=\dfrac{l\times(6.9\times10^{-7})}{d}$

$$\Delta x_2=\frac{l\times(4.6\times10^{-7})}{d}$$

$$\frac{\Delta x_1}{\Delta x_2}=\frac{6.9\times10^{-7}}{4.6\times10^{-7}}=1.5$$

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 $\Delta x'$ は　$\Delta x'=\dfrac{l\lambda'}{d}$ となる。また，屈折の法則より

$$\frac{\lambda}{\lambda'}=\frac{n}{1.0}\qquad したがって\quad \lambda'=\frac{1}{n}\lambda$$

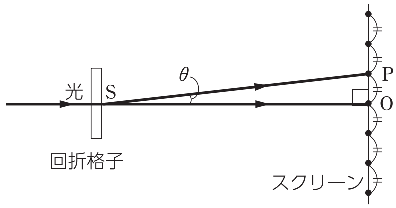
$$\Delta x'=\frac{l\left(\frac{1}{n}\lambda\right)}{d}=\frac{1}{n}\left(\frac{l\lambda}{d}\right)=\frac{1}{n}\cdot\Delta x$$

よって　$\boldsymbol{\dfrac{1}{n}}$**倍**

p. 191　問 18

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

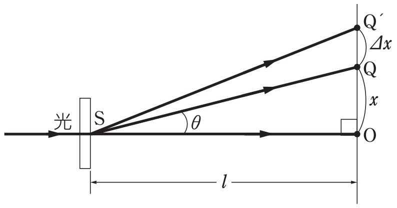
$d\sin\theta=m\lambda$ $(m=0,\ 1,\ 2,\ \cdots)$ の条件を満たす。点Pでは　$m=1$

$$\sin\theta=\frac{\mathrm{OP}}{\mathrm{SP}}\fallingdotseq\frac{\mathrm{OP}}{\mathrm{SO}}=\frac{3.5\times10^{-2}}{2.0}$$

よって　$\lambda=d\sin\theta=\left(\dfrac{1.0\times10^{-2}}{350}\right)\times\dfrac{3.5\times10^{-2}}{2.0}$

$=\mathbf{5.0\times10^{-7}\,m}$

〔**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

$$\lambda=\frac{d}{l}\varDelta x=\frac{\left(\dfrac{1.0\times10^{-2}}{350}\right)\times(3.5\times10^{-2})}{2.0}$$

$=\mathbf{5.0\times10^{-7}\,m}$

p. 191　問 19

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. 193　問 20

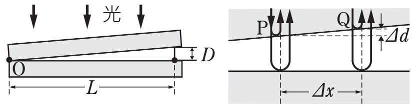
薄膜による光の干渉で，反射光が強めあう条件式

$$2nd\cos r=\left(m+\frac{1}{2}\right)\lambda\quad(m=0,1,2,\cdots)$$

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. 194　類題 11

紙の厚さを D〔m〕，光の波長を $\lambda=6.5\times10^{-7}$ m，縞の間隔を $\varDelta x=1.3\times10^{-3}$ m，点Oから紙までの距離を $L=0.20$ 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

$=\dfrac{0.20\times(6.5\times10^{-7})}{2\times(1.3\times10^{-3})}=\mathbf{5.0\times10^{-5}\,m}$

(2)　③式より　$\varDelta x=\dfrac{L\lambda}{2D}$　……④

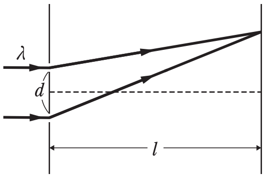
屈折率 $n=1.3$ の媒質中では，光の波長は $\lambda'=\dfrac{\lambda}{n}$ になる。よって，このときの縞の間隔 $\varDelta x'$ は④式より

$$\varDelta x'=\frac{L\lambda'}{2D}=\frac{1}{n}\cdot\frac{L\lambda}{2D}=\frac{\varDelta x}{n}$$

$=\dfrac{1.3\times10^{-3}}{1.3}$ m$=\mathbf{1.0\,mm}$

p. 197　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

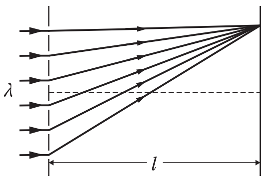
明線の間隔 $\varDelta x$〔m〕は　$\varDelta x=\dfrac{l\lambda}{d}$　……ⓐ

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

$$\varDelta x=\frac{l\lambda}{d}\quad\cdots\cdots\text{ⓑ}$$

と表される。

①のときの格子定数は

$$d_1=\frac{1.0\times10^{-2}}{500}=2.0\times10^{-5}\,\mathrm{m}$$

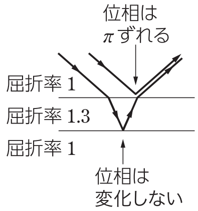
②のときの格子定数は

$$d_2=\frac{1.0\times10^{-2}}{1000}=1.0\times10^{-5}\,\mathrm{m}$$

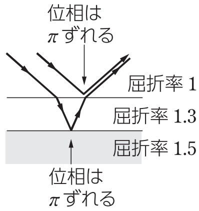
よって，d_2 は d_1 の $\dfrac{1}{2}$ 倍である。

ⓑ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**。



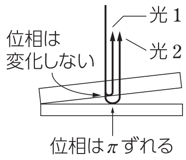
図c



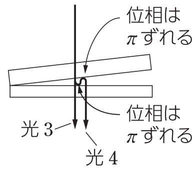
図d

(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**。

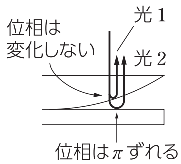


図e

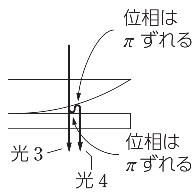


図f

(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**。



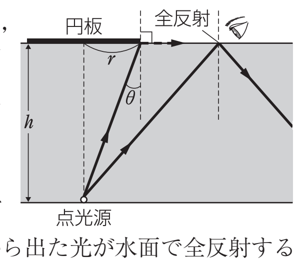
図g



図h

p. 198　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　$\sin\theta=\dfrac{1}{n}$

$$r=h\tan\theta=h\frac{\sin\theta}{\cos\theta}=h\frac{\sin\theta}{\sqrt{1-\sin^2\theta}}$$

$$=\frac{\boldsymbol{h}}{\sqrt{\boldsymbol{n}^2-\mathbf{1}}}\text{〔m〕}$$

p. 198　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**

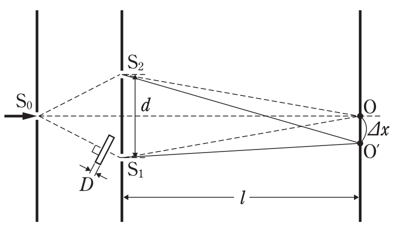
p. 198　演習 3

(1)　$S_0S_1=S_0S_2=s$ とする。

S_0S_1 の光路長 $=(s-D)+nD$
$\qquad\qquad\qquad=s+(n-1)D$

S_0S_2 の光路長 $=s$

光路差 $\varDelta s=\{s+(n-1)D\}-s$
$\qquad\qquad=\boldsymbol{(n-1)D}$ **〔m〕**



(2)　透明板がないとき，光が $S_0\to S_1\to O$ と進む光と $S_0\to S_2\to O$ 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

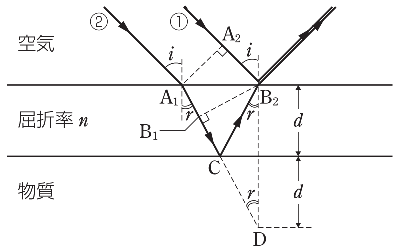
となる。すなわち，**下向き**に移動する。

(3)　$S_0\to S_1\to O'$ と進む光と $S_0\to S_2\to O'$ 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　$\varDelta x=\dfrac{\boldsymbol{(n-1)Dl}}{\boldsymbol{d}}$ **〔m〕**

p. 199　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　$n\times(B_1D)=n\times 2d\cos r$
$\qquad\qquad=2nd\cos r$

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

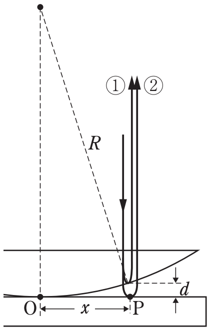
$$2nd_0\cos 0=\left(0+\frac{1}{2}\right)\lambda$$

よって　$d_0=\dfrac{\boldsymbol{\lambda}}{\boldsymbol{4n}}$ **〔m〕**

解答編

p. 199　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　$\dfrac{\sqrt{m\lambda' R}}{\sqrt{m\lambda R}}=\dfrac{\sqrt{m\cdot\dfrac{1}{n}\lambda R}}{\sqrt{m\lambda R}}$

$=\dfrac{1}{\sqrt{n}}$

よって　$\boldsymbol{\dfrac{1}{\sqrt{n}}}$ **倍**

第 4 編　電気と磁気

第 1 章 電場

p. 207　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**

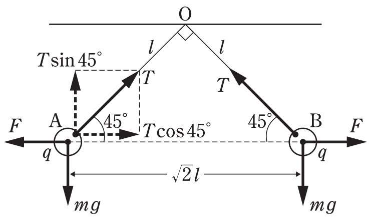
p. 207　問 2

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

$\dfrac{(6.0-2.0)\times10^{-6}}{2}=\boldsymbol{2.0\times10^{-6}}$ **C**

p. 209　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

$F=mg$　……①

また，静電気力Fの大きさは，クーロンの法則より

$F=k\dfrac{q^2}{(\sqrt{2}\,l)^2}$　……②

①，②式より　$mg=k\dfrac{q^2}{(\sqrt{2}\,l)^2}$

$q>0$ であるから　$q=\boldsymbol{l\sqrt{\dfrac{2mg}{k}}}$〔**C**〕

p. 212　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

$F=(2.0\times10^{-6})\times(1.2\times10^3)$

$=\boldsymbol{2.4\times10^{-3}}$ **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. 213　問 4

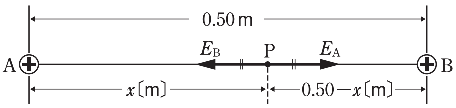
「$E=k\dfrac{Q}{r^2}$」より

$$E=(9.0\times10^{9})\times\frac{8.0\times10^{-6}}{2.0^2}=\mathbf{1.8\times10^{4}\,N/C}$$

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. 214　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

$$\begin{cases}\text{強さ：}E_A=(9.0\times10^{9})\times\dfrac{4.5\times10^{-9}}{x^2}\,〔\mathrm{N/C}〕\\ \text{向き：A→B}\end{cases}$$

Bの正電荷が点Pにつくる電場は

$$\begin{cases}\text{強さ：}E_B=(9.0\times10^{9})\times\dfrac{2.0\times10^{-9}}{(0.50-x)^2}\,〔\mathrm{N/C}〕\\ \text{向き：B→A}\end{cases}$$

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 **0.30 m**

p. 216　問 5

(1)　$\boldsymbol{N=4\pi k_0 Q}$ **本**

(2)　$\boldsymbol{S=4\pi R^2}$〔$\mathrm{m^2}$〕

(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. 217　問 6

「$U=qV$」より

$$U=(6.0\times10^{-6})\times2.0=\mathbf{1.2\times10^{-5}\,J}$$

p. 218　問 7

「$W_{AB}=qV$」より

$$W_{AB}=(3.2\times10^{-7})\times2.0=\mathbf{6.4\times10^{-7}\,J}$$

p. 219　問 8

「$V=Ed$」より　$d=\dfrac{15}{30}=\mathbf{0.50\,m}$

p. 219　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 $V=24\,\mathrm{V}$ 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. 220　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. 221　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　$V=k\dfrac{Q}{x}-k\dfrac{4Q}{a-x}$

$$=\frac{kQ(a-x)-4kQx}{x(a-x)}$$
$$=\boldsymbol{\frac{kQ(a-5x)}{x(a-x)}}\,〔\mathrm{V}〕$$

(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. 223　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. 224　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. 230　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. 232　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 $C_A=\dfrac{1}{4\pi k_0}\cdot\dfrac{S}{d}$ 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. 233　問 14

「$C=\varepsilon\dfrac{S}{d}$」より

$$C=(8.85\times10^{-12})\times\frac{5.00\times10^{-4}}{2.50\times10^{-3}}=\mathbf{1.77\times10^{-12}\,F}$$

p. 233　問 15

$\dfrac{C}{C_0}=\dfrac{\varepsilon}{\varepsilon_0}=\varepsilon_r$　より　$C=\varepsilon_r C_0$
よって　$C=5000\times(2.0\times10^{-12})=\mathbf{1.0\times10^{-8}\,F}$

p. 235　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

$$Q'=C'V=(1.0\times10^{-9})\times40=\mathbf{4.0\times10^{-8}\,C}$$

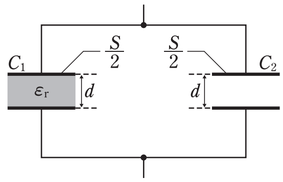
p. 236　問 16

「$C=C_1+C_2$」より　$C=30+45=$**75 μF**

p. 237　問 17

「$\dfrac{1}{C}=\dfrac{1}{C_1}+\dfrac{1}{C_2}$」より　$\dfrac{1}{C}=\dfrac{1}{30}+\dfrac{1}{45}=\dfrac{1}{18}$
よって　$C=$**18 μF**

p. 238　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　$C_1=\varepsilon_r\varepsilon_0\dfrac{S/2}{d}=\varepsilon_r\varepsilon_0\dfrac{S}{2d}$

$$C_2=\varepsilon_0\frac{S/2}{d}=\varepsilon_0\frac{S}{2d}$$

「$C=C_1+C_2$」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. 239　問 18

(1)　「$U=\dfrac{1}{2}QV$」より

$$U=\frac{1}{2}\times(4.0\times10^{-5})\times12=\mathbf{2.4\times10^{-4}\,J}$$

(2)　「$U=\dfrac{1}{2}CV^2$」より

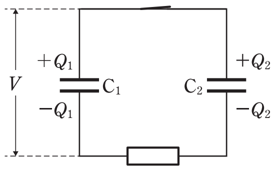
$$U=\frac{1}{2}\times(2.0\times10^{-6})\times(3.0\times10^{2})^2=\mathbf{9.0\times10^{-2}\,J}$$

(3)「$U=\frac{Q^2}{2C}$」より

$$U=\frac{(2.0\times10^{-4})^2}{2\times(10\times10^{-6})}=\mathbf{2.0\times10^{-3}\,J}$$

p. 240　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

$$\mathbf{Q_2=2.0\times10^{-4}\,C,\quad V=1.0\times10^2\,V}$$

(2)　初めに C_1 に蓄えられていた静電エネルギー U〔J〕は

$$U=\frac{1}{2}\times(1.0\times10^{-6})\times(3.0\times10^2)^2$$
$$=4.5\times10^{-2}\,J$$

Sを閉じた後の C_1，C_2 の静電エネルギーの和 U'〔J〕は

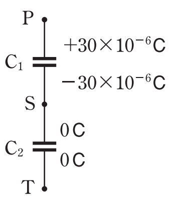
$$U'=\frac{1}{2}\times(1.0+2.0)\times10^{-6}\times(1.0\times10^2)^2$$
$$=1.5\times10^{-2}\,J$$

よって，失われた静電エネルギーは

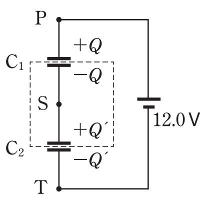
$$U-U'=\mathbf{3.0\times10^{-2}\,J}$$

p. 240　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

$$-Q+Q'=-30\times10^{-6}\quad\cdots\cdots①$$

PT 間の電位差について

$$\frac{Q}{1.0\times10^{-6}}+\frac{Q'}{2.0\times10^{-6}}=12.0\quad\cdots\cdots②$$

①，②式より

$$\mathbf{Q=1.8\times10^{-5}\,C}$$
$$Q'=-1.2\times10^{-5}\,C$$

(2)　(1)の結果より，TはSよりも高電位で，

電位差は　$\frac{1.2\times10^{-5}}{2.0\times10^{-6}}=6.0\,V$

よって，**Tが 6.0 V 高い**。

p. 241　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〔$N\cdot m^2/C^2$〕とすると，「$E=k\frac{Q}{r^2}$」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　$x=-6,\ \frac{2}{3}$

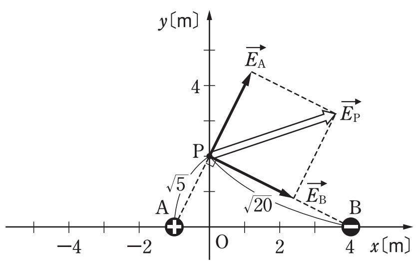
Aの電気量はBの電気量の絶対値より小さいから，求める点はAの左方にある。

よって　$\mathbf{(-6,\ 0)}$

(2)　$AP=\sqrt{1^2+2^2}=\sqrt{5}\,m$

$BP=\sqrt{2^2+4^2}=\sqrt{20}\,m$

$AB=5\,m$



したがって，$\angle APB=90°$

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。

$$E_A=(9.0\times10^9)\times\frac{5.0\times10^{-9}}{(\sqrt{5})^2}$$
$$=9.0\,N/C$$

$$E_B=(9.0\times10^9)\times\frac{2.0\times10^{-8}}{(\sqrt{20})^2}$$
$$=9.0\,N/C$$

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$(\mathbf{0},\ \mathbf{0})$の位置

p. 241　演習 2

(1) 電場の強さを$E\,[\mathrm{V/m}]$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　$v=\mathbf{4.0\times10^{5}\,m/s}$

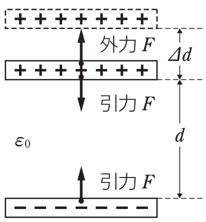
p. 241　演習 3

(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$U'\,[\mathrm{J}]$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　$\varDelta U=U'-U=\boldsymbol{\dfrac{Q^2\varDelta d}{2\varepsilon_0S}}\,[\mathrm{J}]$

(3) 外力のした仕事は$F\varDelta d\,[\mathrm{J}]$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

$$F\varDelta d=\frac{Q^2\varDelta d}{2\varepsilon_0S}\quad\text{よって}\quad F=\boldsymbol{\frac{Q^2}{2\varepsilon_0S}}\,[\mathrm{N}]$$

第2章 電流

p. 242　問 20

「$I=\dfrac{Q}{t}$」より　$I=\dfrac{9.6}{30}=\mathbf{0.32\,A}$

p. 243　問 21

「$V=RI$」より　$R=\dfrac{V}{I}=\dfrac{10}{0.40}=\mathbf{25\,\Omega}$

p. 244　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. 245　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. 247　問 24

アルミニウムの抵抗率の温度係数αは$\alpha=4.2\times10^{-3}/\mathrm{K}$ である。0°C，$t\,[°\mathrm{C}]$のときのアルミニウムの抵抗率をそれぞれρ_0，$\rho\,[\Omega\cdot\mathrm{m}]$ 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，$t=40\,°\mathrm{C}$ 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. 248　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. 249　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. 250　問 27

「$R=R_1+R_2$」より　$R=30+20=$**50Ω**

p. 251　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　$R=$**12Ω**

p. 252　問 29

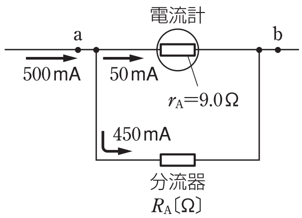
電流計を流れる電流を I〔A〕，抵抗および電流計に加わる電圧を V_1，V_2〔V〕とすると，オームの法則より　$V_1=RI$，$V_2=r_AI$

$V=V_1+V_2$ より

$$V=RI+r_AI=(R+r_A)I$$

よって　$I=\boldsymbol{\dfrac{V}{R+r_A}}$〔A〕

p. 252　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 50mA，分流器には 450mA 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

$$9.0\times(50\times10^{-3})=R_A\times(450\times10^{-3})$$

よって　$R_A=$**1.0Ω**

〔**別解**〕　最大目盛りを $n=\dfrac{500\,\text{mA}}{50\,\text{mA}}=10$ 倍にしたいのだから，求める分流器の抵抗 R_A〔Ω〕は

$$R_A=\frac{r_A}{n-1}=\frac{9.0}{10-1}=\mathbf{1.0\,\Omega}$$

p. 253　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　$I_1=\dfrac{V}{R}$，$I_2=\dfrac{V}{r_V}$

$I=I_1+I_2$ より

$$I=\frac{V}{R}+\frac{V}{r_V}=\frac{R+r_V}{Rr_V}V$$

よって　$V=\boldsymbol{\dfrac{Rr_V}{R+r_V}I}$〔V〕

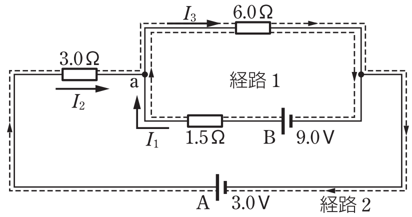
p. 253　問 32

最大目盛りを $n=\dfrac{30\,\text{V}}{3.0\,\text{V}}=10$ 倍　にしたいのだから，「$R_V=(n-1)r_V$」より

$$R_V=(10-1)\times3.0=\mathbf{27\,k\Omega}$$

p. 255　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

$I_1=2.0\,\text{A}$，$I_2=-1.0\,\text{A}$，$I_3=1.0\,\text{A}$

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，3.0Ω の抵抗を流れる電流は，**左向き**に **1.0A** である。

p. 256　問 33

「$V=E-rI$」より

$$V=1.5-0.50\times0.60=\mathbf{1.2\,V}$$

「$V=RI$」より　$R=\dfrac{V}{I}=\dfrac{1.2}{0.60}=\mathbf{2.0\,\Omega}$

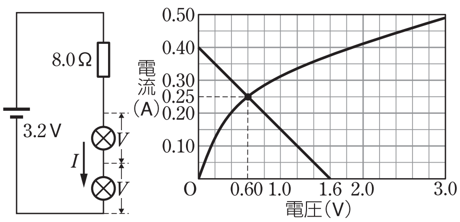
p. 257　問 34

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　$R=\dfrac{3.5\times5.0}{7.0}=\mathbf{2.5\,\Omega}$

p. 259　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。



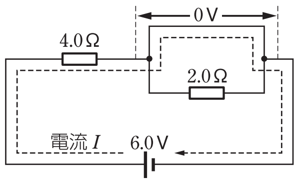
抵抗にもI〔A〕の電流が流れているので，抵抗に加わる電圧は$8.0I$〔V〕である。よって

$$3.2=8.0I+2V \quad \cdots\cdots①$$

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. 261　類題 10

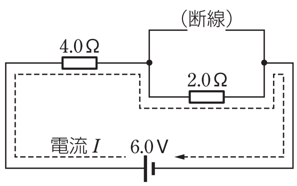
(1)



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，2.0 Ωの抵抗を流れる電流は**0 A**

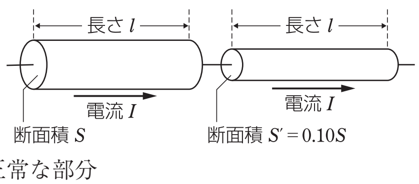
(2) 十分に時間が経過したとき，コンデンサーに電荷が流れこまなくなる(コンデンサーは断線とみなせる)。



上の図より，2.0 Ωの抵抗に流れる電流は　$I=\dfrac{6.0}{4.0+2.0}=$**1.0 A**

p. 268　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. 268　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。

$$I=\frac{V}{R}+\frac{V}{r_{\mathrm{V}}}=\boldsymbol{\frac{R+r_{\mathrm{V}}}{Rr_{\mathrm{V}}}V}$$

したがって　$R_{\mathrm{a}}=\dfrac{V}{I}=\boldsymbol{\dfrac{Rr_{\mathrm{V}}}{R+r_{\mathrm{V}}}}$

(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。

$$V=RI+r_{\mathrm{A}}I=\boldsymbol{(R+r_{\mathrm{A}})I}$$

したがって　$R_{\mathrm{b}}=\dfrac{V}{I}=\boldsymbol{R+r_{\mathrm{A}}}$

(3) Rが非常に小さいとき，ⓐでは $R\ll r_{\mathrm{V}}$ として

$$R_{\mathrm{a}}=\frac{Rr_{\mathrm{V}}}{R+r_{\mathrm{V}}}=\frac{R}{\left(\dfrac{R}{r_{\mathrm{V}}}\right)+1}\fallingdotseq R$$

ⓑでは $R_{\mathrm{b}}=R+r_{\mathrm{A}}$ 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

$$R_{\mathrm{a}}=\frac{Rr_{\mathrm{V}}}{R+r_{\mathrm{V}}}=\frac{R}{\left(\dfrac{R}{r_{\mathrm{V}}}\right)+1}$$

の式で，Rが非常に大きいと，$\dfrac{R}{r_{\mathrm{V}}}$の値が無視できなくなるため，誤差が大きくなる。

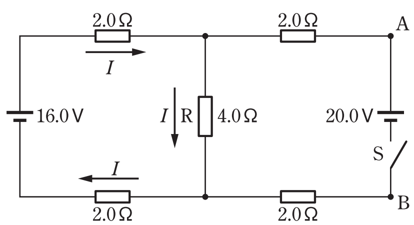
ⓑでは $R\gg r_{\mathrm{A}}$ として

$$R_{\mathrm{b}}=R+r_{\mathrm{A}}=R\left(1+\frac{r_{\mathrm{A}}}{R}\right)\fallingdotseq R$$

したがって，**ⓑの接続が適当**である。

p. 268　演習 3

(1) 回路に流れる電流I〔A〕は図のようになる。



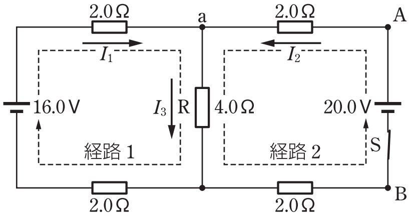
キルヒホッフの法則Ⅱより

$$16.0=(2.0+4.0+2.0)\times I$$

よって　$I=2.0$ 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

$I_1=1.0$ A，$I_2=2.0$ A，$I_3=3.0$ A

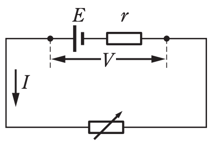
したがって，抵抗 R を流れる電流は，**下向きに 3.0 A** である。

p. 268　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. 269　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，

$r_{ac}:r_{cb}=25.0:75.0$

ゆえに　$r_{cb}=3.00r_{ac}$

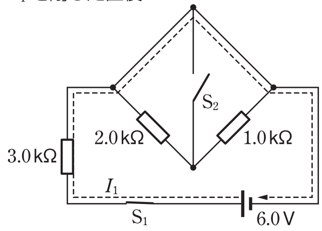
ホイートストンブリッジの回路と同様に考えて　$\dfrac{10.0}{r_{ac}}=\dfrac{R_X}{r_{cb}}$

以上より　$R_X=$**30.0 Ω**

p. 269　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。

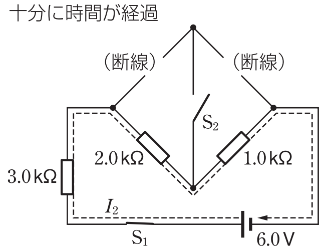
S₁ を閉じた直後



$I_1=\dfrac{6.0}{3.0\times10^3}=$**$2.0\times10^{-3}$ 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

$6.0=(3.0\times10^3)\times I_2+(2.0\times10^3)\times I_2+(1.0\times10^3)\times I_2$

よって　$I_2=$**1.0×10^{-3} A**

(3)　3.0 kΩ の抵抗に加わる電圧は

$(3.0\times10^3)\times(1.0\times10^{-3})=3.0$ V

であるから，C_1 と C_2 に加わる電圧の和は　$6.0-3.0=3.0$ 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 $I_2=1.0\times10^{-3}$ 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

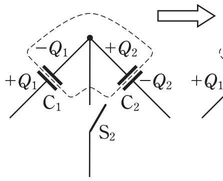
$V_1'=(2.0\times10^3)\times(1.0\times10^{-3})=2.0$ V

$V_2'=(1.0\times10^3)\times(1.0\times10^{-3})=1.0$ 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，$\mathrm{S_2}$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

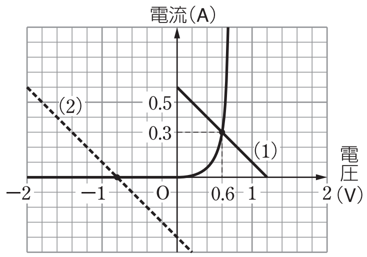
$\mathbf{1.0\times10^{-6}C}$

p. 269　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，$I_1=\mathbf{0.3\,A}$



(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，$I_2=\mathbf{0\,A}$

第 3 章　電流と磁場

p. 271　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

$$H=\frac{1.2\times10^{-2}}{1.0\times10^{-3}}=\mathbf{12\,N/Wb}$$

p. 275　問 36

「$H=\dfrac{I}{2\pi r}$」より

$$H=\frac{4.0}{2\times3.14\times0.50}\fallingdotseq\mathbf{1.3\,A/m}$$

p. 275　問 37

「$H=N\dfrac{I}{2r}$」より

$$H=10\times\frac{0.50}{2\times0.10}=\mathbf{25\,A/m}$$

p. 276　問 38

単位長さ(1m)当たりの巻数は

$$n=\frac{200}{0.10}=2.0\times10^3/\mathrm{m}$$

「$H=nI$」より

$H=(2.0\times10^3)\times0.40=\mathbf{8.0\times10^2\,A/m}$

p. 277　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. 279　問 39

「$F=\mu IHl$」より

$F=(1.26\times10^{-6})\times2.0\times25\times0.10$
$=\mathbf{6.3\times10^{-6}N}$

p. 281　問 40

「$F=IBl$」より

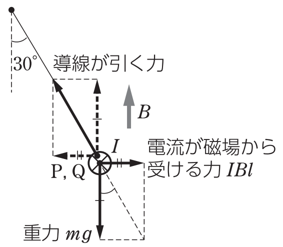
$F=4.0\times0.50\times0.20=\mathbf{0.40\,N}$

p. 282　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. 283　問 41

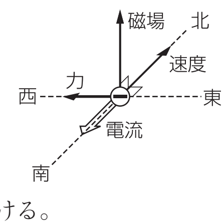
「$F=\dfrac{\mu I_1 I_2}{2\pi r}l$」より

$$F=\frac{(4\pi\times10^{-7})\times1.0\times2.0}{2\pi\times0.10}\times1.0$$

$$=\boldsymbol{4.0\times10^{-6}\,\mathrm{N}}$$

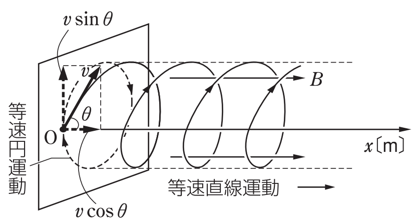
p. 285　問 42

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. 286　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

$$t=\frac{2\pi r}{v\sin\theta}=\frac{2\pi}{v\sin\theta}\cdot\frac{mv\sin\theta}{qB}$$

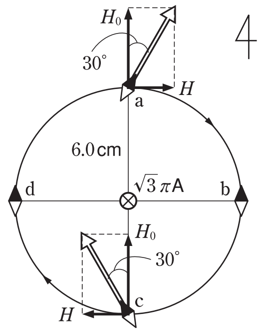
$$=\frac{\boldsymbol{2\pi m}}{\boldsymbol{qB}}\text{〔s〕}$$

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. 289　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。



$$\tan 30°=\frac{H}{H_0}\quad\cdots\cdots①$$

また，電流による磁場 H〔A/m〕は

$$H=\frac{I}{2\pi r}=\frac{\sqrt{3}\,\pi}{2\times\pi\times(6.0\times10^{-2})}\quad\cdots②$$

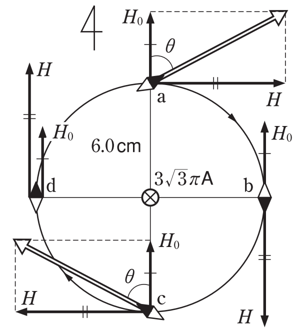
②式を①式に代入して整理すると

$$H_0=\sqrt{3}\,H=\boldsymbol{25\,\mathrm{A/m}}$$

(2)　$3\sqrt{3}\,\pi$ A の電流による磁場 H〔A/m〕は

$$H=\frac{I}{2\pi r}=\frac{3\sqrt{3}\,\pi}{2\times\pi\times(6.0\times10^{-2})}$$

$$=25\sqrt{3}\ \mathrm{A/m}$$



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，$H_0=25\,\mathrm{A/m}$，$H=25\sqrt{3}\,\mathrm{A/m}$

a：**北から 60° 東に傾いた向き**
　($\tan\theta=\sqrt{3}$ より)

b：**南向き**($25\sqrt{3}\,\mathrm{A/m}>25\,\mathrm{A/m}$ 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. 289　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. 289　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

$$eE-evB=0 \qquad \cdots\cdots①$$

また，電場と電圧の関係から

$$E=\frac{V}{b} \qquad \cdots\cdots②$$

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　$n=\boldsymbol{\frac{BI}{eVa}}$〔$\mathrm{1/m^3}$〕

第 4 章　電磁誘導と電磁波

p. 291　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. 292　問 44

「$V=-N\dfrac{\varDelta\Phi}{\varDelta t}$」より

$$|V|=100\times\frac{2.5\times10^{-4}}{0.10}=\mathbf{0.25\,V}$$

p. 292　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

$$V=\left|-N\frac{\varDelta\Phi}{\varDelta t}\right|=\left|-N\frac{\varDelta B\cdot S}{\varDelta t}\right| \text{ と表される。}$$

①　$V=\left|-N\dfrac{B_0S}{T}\right|=\boldsymbol{\dfrac{NB_0S}{T}}$〔V〕

②　**0 V**

③　$V=\left|-N\dfrac{(-B_0)S}{2T}\right|=\boldsymbol{\dfrac{NB_0S}{2T}}$〔V〕

p. 293　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

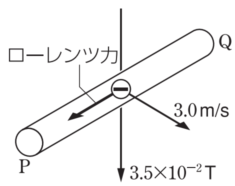
(3) 磁束が正の向きに減少し，磁束の減少を打ち消す向きに誘導電流が流れるから，コイルに流れる誘導電流の向きは①

p. 295　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. 297　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

$$F=\frac{E-vBl}{R}\cdot Bl=\boldsymbol{\frac{(E-vBl)Bl}{R}}〔\mathrm{N}〕$$

p. 298　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. 301　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. 302　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. 303　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. 307　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. 308　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. 308　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. 311　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. 313　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. 315　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. 316　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. 317　問 57

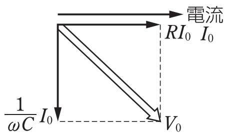
実効値　$V_e=\sqrt{4.0^2+(5.0-2.0)^2}=\mathbf{5.0\,V}$

p. 317　問 58

「$Z=\dfrac{V_e}{I_e}$」より　$Z=\dfrac{3.0}{2.0}=\mathbf{1.5\,\Omega}$

p. 320　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



$$V_0 = I_0\sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}$$

「$Z = \frac{V_0}{I_0}$」より　$Z = \boldsymbol{\sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}}$〔Ω〕

p. 321　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　$\overline{P} = RI_e{}^2 = 50 \times 0.40^2 = \mathbf{8.0\,W}$

p. 322　類題 16

(1)　コイル L のリアクタンスは，「$X_L = \omega L$」より

$$X_L = \omega L = (4.0 \times 10^2) \times 0.15 = 60\,\Omega$$

コンデンサー C のリアクタンスは，

「$X_C = \frac{1}{\omega C}$」より

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{(4.0 \times 10^2) \times (25 \times 10^{-6})}$$
$$= 100\,\Omega$$

回路全体のインピーダンスは，

「$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$」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，

「$Z = \frac{V_e}{I_e}$」より　$I_e = \frac{V_e}{Z} = \frac{20}{50} = \mathbf{0.40\,A}$

(3)　消費電力の時間平均は

$$\overline{P} = RI_e{}^2 = 30 \times 0.40^2 = \mathbf{4.8\,W}$$

p. 323　問 61

「$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$」より

$$f_0 = \frac{1}{2 \times 3.14 \times \sqrt{0.50 \times (8.0 \times 10^{-6})}}$$
$$= 79.6\cdots \fallingdotseq \mathbf{80\,Hz}$$

p. 325　問 62

(1)　「$T = \frac{1}{f} = 2\pi\sqrt{LC}$」より

$$T = 2 \times 3.14 \times \sqrt{(4.0 \times 10^{-3}) \times (2.5 \times 10^{-10})}$$
$$= 6.28 \times 10^{-6} \fallingdotseq \mathbf{6.3 \times 10^{-6}\,s}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{6.28 \times 10^{-6}} = 1.59\cdots \times 10^5$$
$$\fallingdotseq \mathbf{1.6 \times 10^5\,Hz}$$

(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，「$U = \frac{1}{2}CV^2$」より

$$U = \frac{1}{2} \times (2.5 \times 10^{-10}) \times 2.0^2$$
$$= 5.0 \times 10^{-10}\,\mathrm{J}$$

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　$\mathbf{5.0 \times 10^{-10}\,J}$

(3)　「$U = \frac{1}{2}LI_0{}^2$」より

$$5.0 \times 10^{-10} = \frac{1}{2} \times (4.0 \times 10^{-3}) \times I_0{}^2$$

よって　$I_0{}^2 = 25 \times 10^{-8}$

ゆえに　$I_0 = \mathbf{5.0 \times 10^{-4}\,A}$

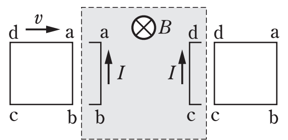
p. 327　問 63

「$c = f\lambda$」より　$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3.0 \times 10^8}{2.0 \times 10^8} = \mathbf{1.5\,m}$

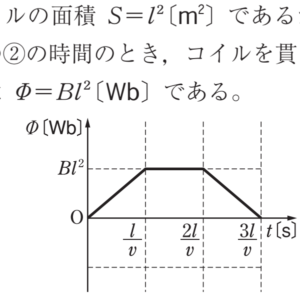
p. 331　演習 1

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 $0 \sim \frac{l}{v}$	② $\frac{l}{v} \sim \frac{2l}{v}$	③ $\frac{2l}{v} \sim \frac{3l}{v}$
$\Phi = BS$		増加	Bl^2	減少
$I = \frac{V}{R}$	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 $S = l^2$〔m²〕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

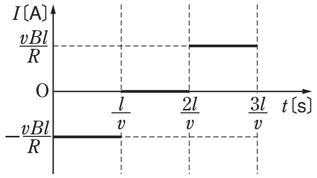
$$V = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{Bl^2}{l/v} = -vBl\,〔\mathrm{V}〕$$

$$I=\frac{V}{R}=-\frac{vBl}{R}〔\mathrm{A}〕$$

表の③の時間のときは

$$I=\frac{vBl}{R}〔\mathrm{A}〕$$

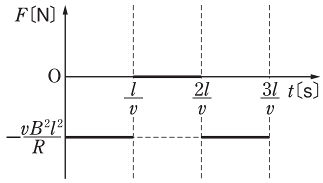
I の向きは表の①の時間のときは反時計回り，③の時間のときは時計回り。



(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。

$$F=IBl=-\frac{vBl}{R}\cdot Bl=-\frac{vB^2l^2}{R}〔\mathrm{N}〕$$

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

$$Q_1=\left(-\frac{vBl}{R}\right)^2\times R\times\frac{l}{v}=\frac{vB^2l^3}{R}$$

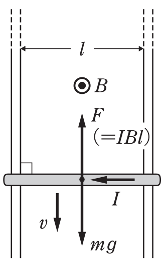
表の②の時間ではジュール熱は発生せず，③の時間では①と同じだけジュール熱が生じるので　$Q=2Q_1=\boldsymbol{\frac{2vB^2l^3}{R}}$〔J〕

(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

$$W=\frac{vB^2l^2}{R}\cdot l+\frac{vB^2l^2}{R}\cdot l$$
$$=\boldsymbol{\frac{2vB^2l^3}{R}}〔\mathrm{J}〕$$

p. 331　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　$I=\boldsymbol{\frac{mg}{Bl}}$〔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

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

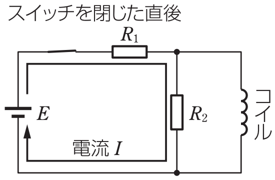
これと(1)の結果より　$\frac{vBl}{R}=\frac{mg}{Bl}$

よって　$v=\boldsymbol{\frac{mgR}{B^2l^2}}$〔m/s〕

p. 331　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



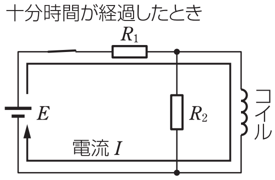
よって　$I=\boldsymbol{\frac{E}{R_1+R_2}}$〔A〕

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

$$V=R_2I=\boldsymbol{\frac{R_2E}{R_1+R_2}}〔\mathrm{V}〕$$

(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　$I=\boldsymbol{\frac{E}{R_1}}$〔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. 332　演習 4

(1) 「$\Phi=BS$」，「$B=\mu H$」および「$H=nI$」より　$\Phi=\boldsymbol{\mu n_{\mathrm{A}}IS}$〔Wb〕

(2) 「$V=-N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$」より

$$V=\left|N_{\mathrm{B}}\cdot\frac{0-\mu n_{\mathrm{A}}IS}{t}\right|=\boldsymbol{\frac{\mu N_{\mathrm{B}}n_{\mathrm{A}}IS}{t}}〔\mathrm{V}〕$$

(3) 「$V_2=-M\frac{\Delta I_1}{\Delta t}$」より　$V=\left|M\cdot\frac{0-I}{t}\right|$

これと(2)の結果より　$M=\boldsymbol{\mu N_{\mathrm{B}}n_{\mathrm{A}}S}$〔H〕

p. 332　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 $f=\mathbf{0.10}$ **kHz**

(イ) 電流 I_{Le}

$$=\frac{5.0}{2\times3.14\times(0.10\times10^{3})\times(25\times10^{-3})}$$

$=0.318\cdots\fallingdotseq\mathbf{0.32}$ **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 $f=\mathbf{10}$ **kHz**

(オ) 電流 $I_{\mathrm{Ce}}=2\times3.14\times(10\times10^{3})\times(10\times10^{-6})\times5.0$

$=3.14\fallingdotseq\mathbf{3.1}$ **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

$$f_0=\frac{1}{2\times3.14\times\sqrt{(25\times10^{-3})\times(10\times10^{-6})}}$$

$=3.18\cdots\times10^{2}\,\mathrm{Hz}\fallingdotseq\mathbf{0.32}$ **kHz**

p. 332 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

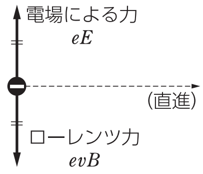
$$I_0=\sqrt{\frac{C}{L}}\,V_0=\sqrt{\frac{2.0\times10^{-7}}{5.0}}\times30$$

$=\mathbf{6.0\times10^{-3}\,A}$

第 5 編　原子

第 1 章 電子と光

p. 345 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. 347 類題 2

測定値の差をとると，3.08，1.65，1.64，3.19（$\times10^{-19}$ C）となるので，e の値はほぼ 1.6×10^{-19} 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. 348 問 1

「$E=h\nu$」より

$E=(6.6\times10^{-34})\times(5.0\times10^{14})=\mathbf{3.3\times10^{-19}\,J}$

p. 350 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. 352 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. 352　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. 353　問 4

(1)　2.0V 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 **2.0eV** である。
1eV＝1.6×10^{-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

$$E=\frac{hc}{\lambda}=\frac{(6.6\times10^{-34})\times(3.0\times10^{8})}{6.0\times10^{-7}}\,\mathrm{J}$$

1eV＝1.6×10^{-19} J より

$$E=\frac{(6.6\times10^{-34})\times(3.0\times10^{8})}{(6.0\times10^{-7})\times(1.6\times10^{-19})}\,\mathrm{eV}$$

$$\fallingdotseq\mathbf{2.1\,eV}$$

p. 355　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. 357　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. 359　問 6

このX線光子のエネルギーは，「$E=h\nu$」より

$$h\nu=6.0\times10^{-16}\,\mathrm{J}$$

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. 360　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. 361　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

$$\frac{1}{2}mv^2=eV \quad よって \quad v=\sqrt{\frac{2eV}{m}}$$

「$\lambda=\dfrac{h}{mv}$」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. 363　演習 1

(1)　電子について運動方程式を立てると

$$m\frac{v^2}{r}=evB \quad よって \quad r=\boldsymbol{\frac{mv}{eB}}〔\mathrm{m}〕$$

(2)　(1)で立てた運動方程式より

$$\frac{e}{m}=\frac{v}{Br}$$

解答編

$$=\frac{3.6\times10^{7}}{(4.0\times10^{-2})\times(5.0\times10^{-3})}$$
$$=\mathbf{1.8\times10^{11}\,C/kg}$$

p. 363　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. 363　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。

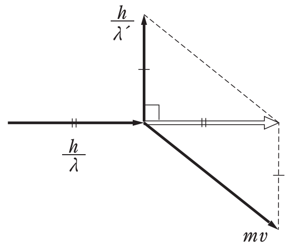
よって，エネルギー保存則の式は

$$\boldsymbol{\frac{hc}{\lambda}=\frac{hc}{\lambda'}+\frac{1}{2}mv^2}\quad\cdots\cdots①$$

(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. 363　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，$\theta=30^\circ$，$n=4$ であるから

$$2d\sin30^\circ=4\times\frac{h}{\sqrt{2mE}}$$

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. 370　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. 373　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. 374　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. 375　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. 379　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. 381　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. 383　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。

$$\mathbf{{}^{27}_{13}Al + {}^{4}_{2}He \longrightarrow {}^{30}_{15}P + {}^{1}_{0}n}$$

p. 385　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

$$E=\frac{(3.98\times10^{-30})\times(3.0\times10^{8})^2}{1.6\times10^{-19}}\,\mathrm{eV}$$

$\fallingdotseq$**2.2MeV**

p. 387　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

$$E=\frac{\{0.186\times(1.66\times10^{-27})\}\times(3.00\times10^{8})^2}{(1.60\times10^{-19})\times10^{6}}$$

$\fallingdotseq$**174MeV**

p. 390　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 0MeV 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 $(-4.4)-(-8.4)=$**4.0MeV**

p. 392　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. 395　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

$$r=\boldsymbol{\frac{h^2}{8\pi^2k_0me^2}\cdot n^2}\text{〔m〕}$$

解答編

(4) $E=\frac{1}{2}mv^2+\left(-k_0\frac{2e^2}{r}\right)$

②式より $mv^2=\frac{2k_0e^2}{r}$ だから

$E=\frac{1}{2}\left(\frac{2k_0e^2}{r}\right)-k_0\frac{2e^2}{r}=-\frac{k_0e^2}{r}$ ……④

④式に r の値を代入して

$$E=-\boldsymbol{\frac{8\pi^2k_0^2me^4}{h^2}\cdot\frac{1}{n^2}}\text{〔J〕}$$

p. 395　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) 「$\frac{N}{N_0}=\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$」に与えられた数値を代入して $\frac{4.0}{16}=\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{8.0}}$　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) $N=16\times\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{32}{8.0}}=16\times\left(\frac{1}{2}\right)^4=\mathbf{1.0\,g}$

p. 395　演習 3

(1) 減少した質量を $\varDelta m$ とすると

$\varDelta m=2.0136\times2-(3.0149+1.0087)$
$=\mathbf{0.0036\,u}$

(2) $\varDelta m=0.0036\,\mathrm{u}$
$=0.0036\times(1.66\times10^{-27})\,\mathrm{kg}$

であるから，放出されるエネルギー

$E=\varDelta m\cdot c^2$
$=0.0036\times(1.66\times10^{-27})\times(3.0\times10^8)^2$
$\fallingdotseq\mathbf{5.4\times10^{-13}\,J}$

(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　$2\times\frac{3}{2}kT\geqq5.76\times10^{-14}$

ゆえに　$T\geqq\frac{5.76\times10^{-14}}{3\times(1.38\times10^{-23})}$
$\fallingdotseq\mathbf{1.4\times10^9\,K}$

資料編

本文資料

p. 421　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 $x=\boldsymbol{\frac{1}{2}}$，$y=\boldsymbol{\frac{1}{2}}$