物理（３教科型）　２月９日実施分

●工学部（電子情報工学科／電気工学科）
●情報工学部（情報工学科／情報通信工学科／システムマネジメント学科）

1

⑴　答

$$mg$$

⑵　計算

垂直抗力の大きさを N とすると力のつり合いより，

$$0 = N - mg - mg$$

答

$$2mg$$

⑶　計算

重心を中心として力のモーメントのつり合いの式を立てると

$$0 = N \cdot y - mg \cdot \frac{d}{2}$$

⑵より $N = 2mg$ を代入すると

$$0 = 2mgy - \frac{1}{2}mgd$$

よって，$y = \frac{d}{4}$

答

$$y = \frac{d}{4}$$

⑷　計算

力のつり合いの式を立てると，$0 = N_1 - mg$

以上より，$N_1 = mg$

答

$$N_1 = mg$$

⑸　計算

積み木２の力のつり合いとモーメントのつり合いの式を立てると，

$$0 = N_2 - mg - N_1$$
$$0 = N_2 \cdot y_2 - N_1 \cdot d/2$$

⑷より $N_1 = mg$ だから

$$0 = N_2 - 2mg$$
$$0 = N_2 y_2 - mgd/2$$

以上より，

$$N_2 = 2mg \qquad y_2 = \frac{d}{4}$$

答

$$N_2 = 2mg \qquad y_2 = \frac{d}{4}$$

⑹　計算

積み木 k に関する力のつり合いの式を立てると，

$0 = N_k - mg - N_{k-1}$

よって，$N_k - N_{k-1} = mg$

これを $k = 1$ から k まで足し合わせると，

$N_k - N_0 = kmg$　最上段の積み木にその上から働く垂直抗力は０だから，$N_0 = 0$ である。よって，

$$N_k = kmg$$

答

$$N_k = kmg$$

⑺　計算

積み木 k の力のモーメントのつり合いの式は

$$0 = N_k \cdot y_k - N_{k-1} \cdot (x_{k-1} + y_{k-1})$$

題意より垂直抗力の作用点が真下の積み木の上面内に収まっているぎりぎりの点では，$x_k + y_k = \frac{d}{2}$

また，前問より $N_k = kmg$ であったから，

$$0 = kmg\, y_k - (k-1)mg \cdot \frac{d}{2} \qquad y_k = \frac{k-1}{k} \cdot \frac{d}{2}$$

$x_k + y_k = \frac{d}{2}$ に代入して，

$$x_k = \frac{d}{2} - \frac{k-1}{k} \cdot \frac{d}{2} = \frac{1}{k} \cdot \frac{d}{2}$$

答

$$x_k = \frac{d}{2k}$$

(8) 答

（あ）

2

(1) 図1	図2	図3	図4
ア	イ	エ	ウ

(2) 計算

$V = I_1 \times 2R$ より $I_1 = \dfrac{V}{2R}$。

同様に $V = I_2 \times (R+2R)$ より $I_2 = \dfrac{V}{3R}$。

答

$$I_1 = \frac{V}{2R} \quad I_2 = \frac{V}{3R}$$

(3) 計算

電流の和は

$$I = I_1 + I_2 = \frac{V}{2R} + \frac{V}{3R} = \frac{V(3R+2R)}{2R \times 3R} = \frac{5V}{6R}$$

となるので、 合成抵抗 $R_1 = \dfrac{6R}{5}$ 。

答

$$R_1 = \frac{6R}{5}$$

(4) 計算

合成抵抗の公式より

$R_{n+1} = \dfrac{1}{\frac{1}{2R} + \frac{1}{R+R_n}} = \dfrac{2R(R+R_n)}{2R+R+R_n} = \dfrac{2R(R+R_n)}{3R+R_n}$ 。

答

$$R_{n+1} = \frac{2R(R+R_n)}{3R+R_n}$$

(5) 計算

方程式 $r = \dfrac{2R(R+r)}{3R+r}$ より両辺に $3R+r$ をかけて

$r(3R+r) = 2R(R+r) = 2R^2+2Rr$ となり、まとめると

$0 = r^2+3Rr-2Rr-2R^2 = r^2+Rr-2R^2 = (r+2R)(r-R)$

となり、$r>0$ より $r = R$ となる。

答

$$R$$

(6) 計算

合成抵抗と同様に C_{n+1} と C_n の関係は、

$C_{n+1} = 2C + \dfrac{1}{\frac{1}{C} + \frac{1}{C_n}} = 2C + \dfrac{CC_n}{C+C_n}$ となる。

$C_{n+1} = C_n = x$ とおくと、 $x = 2C + \dfrac{C_x}{C+x}$ となり、

両辺に $C+x$ をかけて

$x(C+x) = 2C(C+x)+Cx = 2C^2+3Cx$ となり、

まとめると $0 = x^2+Cx-3Cx-2C^2 = x^2-2Cx-2C^2$ となる。

解の公式より

$x = \dfrac{2C\pm\sqrt{4C^2+4\times 2C^2}}{2} = C\pm\sqrt{3C^2} = C\pm\sqrt{3}C$ となる。

ここで $C>0$ を用いた。

さらに $\sqrt{3}>1$ と、 $x>0$ より、 $x=(1+\sqrt{3})C$ となる。

答

え

(7) 答

A

3

(1) 答

あ

(2) 最大の過程	2番目に大きな過程	最小の過程
あ	い	う

(3) A→Bの過程	A→Cの過程	A→Dの過程
え	あ	い

(4) 計算

B→Cの過程では圧力や体積が変化し、熱を吸収したことが問題文からわかっている。よって、この過程は等温変化である。温度が一定のとき、ボイルの法則から状態B、Cで以下の関係が成り立つ。

$$3P_0V_0 = P_0V_c$$

$$\therefore V_c = 3V_0$$

答

$$3V_0$$

(5) 計算

P-V グラフからA→Bの過程は定積変化である。内部エネルギーの変化は

$\Delta U_{AB} = \dfrac{3}{2}nRT_B - \dfrac{3}{2}nRT_A = \dfrac{3}{2}\cdot 3P_0V_0 - \dfrac{3}{2}P_0V_0$

$= 3P_0V_0$

また、体積一定で仕事をしないので

$$Q_{AB} = \Delta U_{AB} = 3P_0V_0$$

答

内部エネルギーの変化	吸収した熱量
$3P_0V_0$	$3P_0V_0$

(6) 計算

B→Cの過程は等温変化なので、内部エネルギーは変化しない。

$$\Delta U_{BC} = 0$$

熱力学第1法則から

$$Q_{BC} = 0+W_{BC} = 3.3P_0V_0$$

$$\therefore W_{BC} = 3.3P_0V_0$$

答

内部エネルギーの変化	外部にした仕事
0	$3.3P_0V_0$

(7) 計算

P-V グラフからC→Aの過程は定圧変化である。内部エネルギーの変化は

$$\Delta U_{CA} = \frac{3}{2}nRT_A - \frac{3}{2}nRT_C$$

$$= \frac{3}{2}P_0V_0 - \frac{3}{2}P_0\cdot 3V_0 = -3P_0V_0$$

仕事は $W_{CA} = P_0(V_0 - 3V) = -2P_0V_0$

熱力学第1法則から

$$Q_{CA} = \Delta U_{CA}+W_{CA} = -5P_0V_0$$

答

内部エネルギーの変化	吸収した熱量
$-3P_0V_0$	$-5P_0V_0$

(8) 計算

このサイクルが外部にした正味の仕事は

$$W_{BC}+W_{CA} = 3.3P_0V_0+(-2P_0V_0) = 1.3P_0V_0$$

このサイクルが吸収した熱量は

$$Q_{AB}+Q_{BC} = 3P_0V_0+3.3P_0V_0 = 6.3P_0V_0$$

$$\therefore e = \frac{1.3P_0V_0}{6.3P_0V_0} \fallingdotseq 0.2$$

答

い

物理（３教科型）　２月10日 実施分

●工学部（生命環境化学科／知能機械工学科）
●情報工学部（情報システム工学科）

1

(1) 答

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

(2) 計算

小球が最も高い位置にあるときのその底面からの高さを y とする。この時の速度は０であるので、力学的エネルギー保存則より、

$$\frac{1}{2}mv_0^2+mgh = mgy$$

が得られる。y について解いて解を得る。

$$y = h+\frac{v_0^2}{2g}$$

答

$$h+\frac{v_0^2}{2g}$$

(3) 計算

鉛直方向には、加速度の大きさが g の自由落下運動を行うので、距離 h 落下するのに要する時間 T は次式で得られる。

$$h = \frac{gT^2}{2}$$

変形して次式を得る。

$$T = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

答

$$\sqrt{\frac{2h}{g}}$$

(4) 計算

糸の切断後は、小球に対し水平方向には力が作用しないので、水平方向の運動は速度 v_0 の等速運動となる。落下までに要する時間 T は(3)で得られているので、その間に進む距離は

$$v_0T = v_0\sqrt{\frac{2h}{g}}$$

答

$$v_0\sqrt{\frac{2h}{g}}$$

(5) 計算

箱の底面に落下した瞬間の小球の速さを v とすると、力学的エネルギーの保存則は次式のように書かれる。

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

速さは正の量であるので

$$v = \sqrt{v_0^2+2gh}$$

答

$$\sqrt{v_0^2+2gh}$$

(6) 計算

小球と箱の加速度の水平成分は等しいので、それらを a とすると、運動方程式の水平成分は

$$(m+M)a = F$$

となる。これより、求める加速度の大きさは次式となる。

$$a = \frac{F}{m+M}$$

答

$$\frac{F}{m+M}$$

(7) 計算

箱の中から観測すると、小球に働く力の鉛直方向の大きさは mg、水平方向の大きさは(6)の a を用いて ma と表される。これらと図より、$\tan\theta$ は次式となる。

$$\tan\theta = \frac{F}{(m+M)g}$$

答

$$\frac{F}{(m+M)g}$$

(8) 答

え

(9) 計算

糸の切断後の小球の運動を箱の外から観測すると、鉛直方向には自由落下運動を行う。切断時の小球の底面からの高さは $h+l(1-\cos\theta)$ なので、小球が底面に落下するまでに要する時間は $t = \sqrt{2\{h+l(1-\cos\theta)\}/g}$。水平方向の運動は、速さが切断時の床に対する箱の速さである等速直線運動を行うので、この速さを v とすると $L = vt$ が成り立つ。これを v について解いて解が得られる。

答

$$L\sqrt{\frac{g}{2\{h+l(1-\cos\theta)\}}}$$

2

(1)

向き	大きさ
え	き

(2)

向き	大きさ
う	こ

(3) 計算

イオンに働く静電気力とローレンツ力は、向きが逆であり、その大きさが等しくなればイオンに働く力は０となり、直進する。従って、

$$qE = qvB$$

となればよい。よって、

$$E = vB$$

答

う

(4) 答

P

(5) 計算

PQ方向には、電位差 V が生じている。ここで、半導体は直方体であるので図２よりPQ間の距離は b である。よって

$$V = bE_{PQ}$$

となる。よって　$E_{PQ} = \frac{V}{b}$

答

$$E_{PQ} = \frac{V}{b}$$

(6) 計算

(3)より、$E_{PQ} = vB$ が成り立つ。

また、(5)より、$E_{PQ} = \frac{V}{b}$

よって、$\frac{V}{b} = vB$

$$\therefore v = \frac{V}{bB}$$

答

$$v = \frac{V}{bB}$$

(7) 答

$$I = envab$$

(8) 計算

(6)より、$v = \frac{V}{bB}$

また、(7)より $I = envab$ で、$v = \frac{I}{enab}$

両者より $\frac{I}{enab} = \frac{V}{bB}$

$$n = \frac{I}{eab}\cdot\frac{bB}{V} = \frac{IB}{eaV}$$

答

$$n = \frac{IB}{eaV}$$

3

(1) 答

$$\frac{V}{f}$$

(2) 答

$$\frac{1}{2}$$ 倍

(3) 答

エ

(4) （風上） $V-w$ （風下） $V+w$

(5) 答

$$ft$$

(6) 計算

時間 t_1 経過する間に初期時刻に発せられた音波は $(V+w)t_1$ の距離だけ進み観測者に到達する。また，その間に台車は $v_s t_1$ の距離だけ観測者に近づいている。よって，初期時刻から時間が t_1 だけ経過すると観測者と台車の間の距離は $(V+w-v_s)t_1$ となる。

答

$$(V+w-v_s)t_1$$

(7) 計算

初期時刻から時間が t_1 だけ経過すると観測者と台車の間の距離は $(V+w-v_s)t_1$ となり、その間に ft_1 個の波が入っている。よって，

$$\lambda_0=\frac{(V+w-v_s)t_1}{ft_1}$$

となり

$$\lambda_0=\frac{V+w-v_s}{f}$$

を得る。

答

$$\frac{(V+w-v_s)}{f}$$

(8) 計算

$t=0$ から時間 t' 経過して反射板に音波が到着したとする。反射体と台車の間の距離は $(V-w+v_s)t'$ で，その間に ft' 個の波が入っている。よって，

$$\lambda_R=\frac{(V-w+v_s)t'}{ft'}=\frac{V-w+v_s}{f}$$

となり、振動数は $f_R=\frac{V-w}{\lambda_R}$ である。反射後は、風下へ波が向かうことを考慮して同様に考えると、観測者に届く波の波長は

$$\frac{V+w}{f_R}$$

となる。

答

$$\frac{V+w}{V-w}\frac{(V-w+v_s)}{f}$$

(9) 計算

音源から直接届く音波の振動数は $f_0=\frac{V+w}{\lambda_0}$ であり、反射体から届く反射波の振動数は $f_R=\frac{V-w}{\lambda_R}$ である。

1 秒間のうなりはこの二つの振動数の差の絶対値であるので

$$|f_0-f_R|=\frac{2Vv_s}{V^2-(w-v_s)^2}f$$

となる。

答

ア