模試物理-1 解説

1.

初速度の x 成分は $v_0\cos\theta$, y 成分は $v_0\sin\theta$ である。

(1) 最高点では速度の y 成分が0になるから

$$0=v_0\sin\theta-gt \qquad \therefore\ t=\frac{v_0\sin\theta}{g}$$

(2) (1)の t を用いて

$$H=(v_0\sin\theta)t-\frac{1}{2}gt^2$$
$$=v_0\sin\theta\frac{v_0\sin\theta}{g}-\frac{1}{2}g\left(\frac{v_0\sin\theta}{g}\right)^2$$
$$=\frac{v_0^2\sin^2\theta}{2g}$$

別解 y 方向の初速度が $v_0\sin\theta$, 終速度が0, 高さが H, 加速度が $-g$ であるから

$$0^2-(v_0\sin\theta)^2=2\cdot(-g)\cdot H$$
$$\therefore\ H=\frac{v_0^2\sin^2\theta}{2g}$$

(3) T 後に $y=0$ となるので

$$0=(v_0\sin\theta)T-\frac{1}{2}gT^2$$

$T>0$ より $\qquad T=\dfrac{2v_0\sin\theta}{g}$

別解 地上から最高点に達するまでの時間と最高点から地上に達するまでの時間は等しいから, (1)の結果より

$$T=2t=\frac{2v_0\sin\theta}{g}$$

(4) x 方向へは $v_0\cos\theta$ の等速度運動であるから

$$S=(v_0\cos\theta)T=\frac{2v_0^2\sin\theta\cos\theta}{g}$$
$$=\frac{v_0^2\sin2\theta}{g}$$

公式 $\sin2\theta=2\sin\theta\cos\theta$ を用いた。

(5) v_0 が一定であるから, S が最大になるのは $\sin2\theta$ が最大のときである。
$0<\sin2\theta\leqq1$ であるから, $\sin2\theta=1$ のときであり, このときの角 θ_m は

$$2\theta_m=90° \qquad \therefore\ \theta_m=45°$$

2.

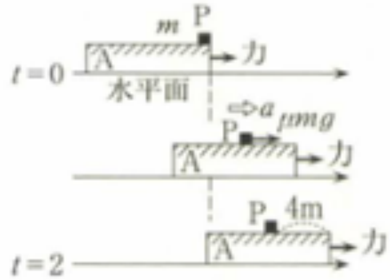
(1) 2 秒間に板 A が $\frac{1}{2}\times6\times2^2=12$〔m〕右へ動き, この間に A 上で小物体 P が左へ 4 m 動いたのであるから, 水平面に対して P は右へ $12-4=8$〔m〕動いた。

(2) 床から見た P の加速度を右向きを正として a〔m/s²〕とすれば

$$8=\frac{1}{2}a\times2^2 \qquad \therefore\ a=4\text{〔m/s}^2\text{〕}$$

また $\qquad ma=\mu m\times9.8$

$$\therefore\ \mu=\frac{a}{9.8}=\frac{4}{9.8}\fallingdotseq0.41$$



3.

(1) ばねが自然長になったときのおもりの速さを v とすれば, 仕事と運動エネルギーの関係（運動エネルギーの変化＝その間に物体がされた仕事）より

$$\frac{1}{2}mv^2-0=\frac{1}{2}kr^2-\mu mgr \quad \cdots\cdots①$$

自然長をこえるためには, $v>0$ であればよいから

$$\frac{1}{2}mv^2>0 \qquad \therefore\ \frac{1}{2}kr^2-\mu mgr>0$$

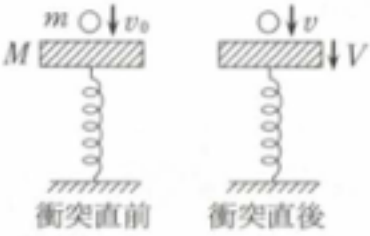
これより $\qquad r>\dfrac{2\mu mg}{k}$

(2) ①より $\qquad v=\sqrt{\dfrac{k}{m}r^2-2\mu gr}$

(3) 仕事と運動エネルギーの関係より

$$\frac{1}{2}kr^2-\frac{1}{2}kx^2-\mu mg(r+x)=0$$

4.



衝突は瞬間的に行われるので，衝突中の重力による力積は無視してよい。下向きを正にとり衝突直前の球の速度を v_0，衝突直後の球と板の速度をそれぞれ v，V とすれば，運動量保存則より

$$mv_0=mv+MV \quad \cdots\cdots ①$$

はねかえり係数の式より

$$e=\frac{V-v}{v_0}$$

$$\therefore \quad V=v+ev_0 \quad \cdots\cdots ②$$

②を①に代入して

$$mv_0=mv+M(v+ev_0)$$

$$(M+m)v=(m-eM)v_0$$

$$\therefore \quad v=\frac{m-eM}{M+m}v_0$$

球がはねかえるためには衝突直後の速度が上向き，つまり $v<0$ でなければならないので

$$m-eM<0 \qquad \therefore \quad \frac{m}{M}<e$$

5.

弾丸が砂袋に入って止まるまでに，弾丸は $-F\Delta t$ の力積を，砂袋は $F\Delta t$ の力積を受けるので，両者を含めると運動量の和は保存される。しかし，この間に非保存力である抗力が砂袋に仕事をするので，力学的エネルギーは保存されないでその減少分が熱に変わる。その後は，重力だけから仕事をされるので，力学的エネルギーが保存される。

弾丸が砂袋と一体となった直後の速度を V とすれば運動量保存則より

$$mv=(m+M)V$$

$$\therefore \quad V=\frac{m}{m+M}v$$

その後は，力学的エネルギー保存則が成り立つので

$$\frac{1}{2}(m+M)V^2=(m+M)gl(1-\cos\theta_0)$$

$$\therefore \quad \cos\theta_0=1-\frac{V^2}{2gl}$$

$$=1-\frac{1}{2gl}\left(\frac{m}{m+M}v\right)^2$$

$$=1-\left(\frac{m}{m+M}\right)^2\frac{v^2}{2gl}$$

6.

(1)　単振動であるから，物体に作用する力は，変位の大きさに比例する。比例係数を k〔N/m〕とすると，$k\times5=20$ より

$$k=4\text{〔N/m〕}$$

よって，力の最大値 F_{max} は中心から 10m ずれたときで

$$F_{max}=4\times10=40\text{〔N〕}$$

(2)　$a_{max}=\dfrac{F_{max}}{m}=\dfrac{40}{1}=40\text{〔m/s}^2\text{〕}$

(3)　振幅を A〔m〕，角振動数を ω〔rad/s〕とすると，加速度の最大値は $A\omega^2$ であるから

$$10\times\omega^2=40 \qquad \therefore \quad \omega=2\text{〔rad/s〕}$$

よって，周期 T〔s〕は

$$T=\frac{2\pi}{\omega}=\pi\fallingdotseq3.1\text{〔s〕}$$

(4)　最大の速さ v_{max}〔m/s〕は，単振動の中心を通るときで

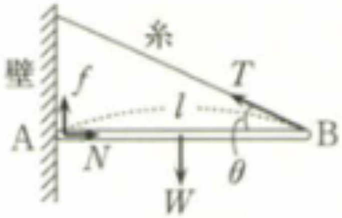
$$v_{max}=A\omega=A\frac{2\pi}{T}=10\times\frac{2\pi}{\pi}=20\text{〔m/s〕}$$

7.

剛体のつりあいの条件は

$$\begin{cases} \text{力の和} = 0 \quad \text{(重心が静止)} \\ \text{任意の点のまわりの力のモーメントの和} = 0 \\ \qquad \text{(任意の点のまわりの回転がない)} \end{cases}$$

棒には，その重心（ABの中点）に鉛直下向きの重力 W，点Aに壁に垂直な垂直抗力 N，壁に平行に上向きに摩擦力 f，点Bに糸の張力 T の4力が働く。これらの力がつりあっていることから



水平方向：$N - T\cos\theta = 0$ ……①

鉛直方向：$f + T\sin\theta - W = 0$ ……②

点Aのまわりの力のモーメントのつりあいより

$$T\sin\theta \cdot l - W\frac{l}{2} = 0 \quad \cdots\cdots③$$

③より　$T = \dfrac{W}{2\sin\theta}$〔N〕

①に代入して

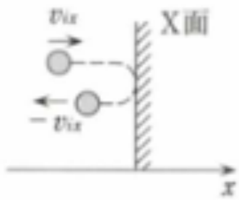
$$N = T\cos\theta = \frac{W}{2\tan\theta}\text{〔N〕}$$

②より

$$f = W - T\sin\theta = W - \frac{W}{2} = \frac{W}{2}\text{〔N〕}$$

8.

(1)　(イ)



分子の運動量変化は

$$-mv_{ix} - (mv_{ix}) = -2mv_{ix}$$

(2)　(ロ)　分子がX面から受ける力積が $-2mv_{ix}$ であるから，X面に与える力積はその反作用で　$2mv_{ix}$

(3)　(ハ)　時間 t の間に分子は $v_{ix}t$ だけ進む。$2l$ 進むごとに分子はX面に1回衝突するから，衝突する回数は　$\dfrac{v_{ix}t}{2l}$ 回

(4)　(ニ)　1回の衝突で与える力積は $2mv_{ix}$ であるから

$$2mv_{ix} \times \frac{v_{ix}t}{2l} = \frac{mv_{ix}^2}{l}t$$

(5)　(ホ)　全分子の和をとると

$$\sum_{i=1}^{N}\frac{mv_{ix}^2}{l}t = \frac{mt}{l}\sum_{i=1}^{N}v_{ix}^2$$

(6)　(ヘ)　$\displaystyle\sum_{i=1}^{N}v_{ix}^2 = N\overline{v_x^2}$ より

$$\frac{mt}{l}\sum_{i=1}^{N}v_{ix}^2 = \frac{mt}{l}N\overline{v_x^2}$$

(7)　(ト)　単位時間に与える力積が力であるから

$$F = \frac{\frac{mt}{l}N\overline{v_x^2}}{t} = \frac{m}{l}N\overline{v_x^2}$$

(8)　(チ)　圧力は単位面積あたりの力であるから

$$P = \frac{F}{l^2} = \frac{m}{l^3}N\overline{v_x^2}$$

ここで，$\overline{v_x^2} = \dfrac{1}{3}\overline{v^2}$，$l^3 = V$ を用いると

$$P = \frac{Nm}{3V}\overline{v^2} = \frac{2N}{3V}\cdot\frac{1}{2}m\overline{v^2}$$

9.

(イ) 熱力学第1法則より，物質量を n〔mol〕として

$$Q_{O\to A}=\frac{3}{2}nR(T_A-T_O)$$
$$=\frac{3}{2}(p_A-p_O)V_O$$

(ロ) $Q_{A\to B}=0$

(ハ) $Q_{B\to O}=\frac{3}{2}nR(T_O-T_B)+p_O(V_O-V_B)$

$$=\frac{3}{2}p_O(V_O-V_B)+p_O(V_O-V_B)$$
$$=-\frac{5}{2}p_O(V_B-V_O)$$

(ニ) $e=\frac{W}{Q_{O\to A}}=\frac{Q_{O\to A}+Q_{B\to O}}{Q_{O\to A}}$

$$=1+\frac{Q_{B\to O}}{Q_{O\to A}}$$
$$=1-\frac{\frac{5}{2}p_O(V_B-V_O)}{\frac{3}{2}(p_A-p_O)V_O}$$
$$=1-\frac{5p_O(V_B-V_O)}{3(p_A-p_O)V_O}$$

10.

(1) AB間に波が4個あるから，波長を λ〔m〕とすると

$$l=4\lambda \qquad \therefore\ \lambda=\frac{l}{4}\text{〔m〕}$$
$$v=\frac{\lambda}{T}=\frac{l}{4T}\text{〔m/s〕}$$

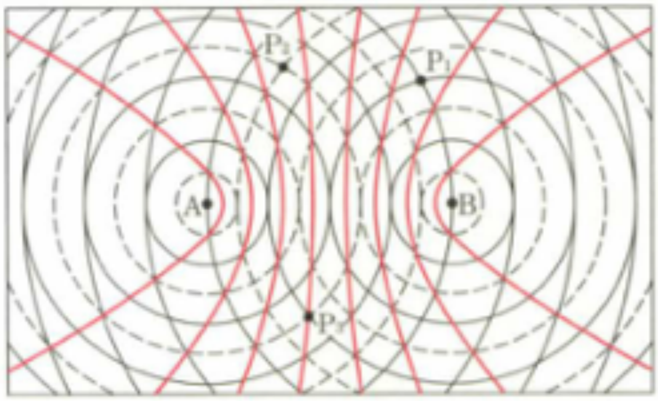
(2) P_1 はAからの波の山と，Bからの波の山とが重なるので山

P_2 はAからの波の谷と，Bからの波の谷とが重なるので谷

P_3 はAからの波の谷と，Bからの波の山とが重なり弱めあうので節

(3) (イ) m (ロ) $m+\frac{1}{2}$

(4)



2点からの距離の差が一定の点の軌跡は双曲線となる。

11.

(1) (イ) $\lambda=\frac{Vt-vt}{f_0t}=\frac{V-v}{f_0}$〔m〕

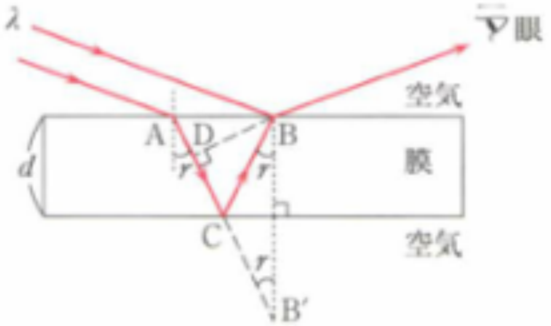
(2) (ロ) $ft=\frac{Vt-ut}{\lambda} \qquad \therefore\ f=\frac{V-u}{\lambda}$〔Hz〕

(ハ) $f=\frac{V-u}{\lambda}=\frac{V-u}{\frac{V-v}{f_0}}=\frac{V-u}{V-v}f_0$〔Hz〕

12.

(1)　図で $\overline{\mathrm{CB}}=\overline{\mathrm{CB'}}$ となるので

$$\overline{\mathrm{DC}}+\overline{\mathrm{CB}}=\overline{\mathrm{DC}}+\overline{\mathrm{CB'}}=\overline{\mathrm{DB'}}=2d\cos r$$



(2)　石けん膜の屈折率が n であるから，光路差は

$$n\times 2d\cos r=2nd\cos r$$

(3)　π ずれる。表面反射では π ずれ，裏面反射ではずれない（屈折ではずれない）。

(4)　(a)　$2nd\cos r=(2m+1)\dfrac{\lambda}{2}$

(b)　$2nd\cos r=m\lambda$

(5)　屈折の法則より

$$n=\frac{\sin i}{\sin r}\qquad \therefore\quad \sin r=\frac{\sin i}{n}$$

よって

$$2nd\cos r=2nd\sqrt{1-\sin^2 r}$$
$$=2nd\sqrt{1-\left(\frac{\sin i}{n}\right)^2}$$
$$=2d\sqrt{n^2-\sin^2 i}$$

13.

(イ)　電界の向きに　(ロ)　qE

(ハ)　qEd　(ニ)　qV　(ホ)　$\dfrac{V}{d}$　(ヘ)　V/m

(ト)　粒子は電界から qV〔J〕の仕事をされるから

$$\frac{1}{2}mv^2=qV\qquad \therefore\quad v=\sqrt{\frac{2qV}{m}}\ \text{〔m/s〕}$$

(チ)　粒子がB板に達したとして，そのときの速さを v〔m/s〕とする。粒子は電界から $-qV$〔J〕の仕事をされるから

$$\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0{}^2=-qV$$

$$\therefore\quad \frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}mv_0{}^2-qV$$

B板に達するためには $\dfrac{1}{2}mv^2\geqq 0$ より

$$\frac{1}{2}mv_0{}^2-qV\geqq 0\qquad \therefore\quad V\leqq\frac{mv_0{}^2}{2q}$$

よって，達しないためには　$V>\dfrac{mv_0{}^2}{2q}$

求める値は $\dfrac{mv_0{}^2}{2q}$〔V〕である。

14.

(1) 図1のように，C_1，C_2 の電圧を V_1，V_2 とすると

$$\begin{cases} V_1+V_2=E \\ -CV_1+CV_2=0 \end{cases}$$

$$\therefore \quad V_1=\frac{E}{2}, \quad V_2=\frac{E}{2}$$

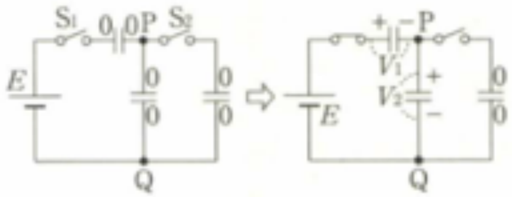


図1

(2) 図2のように，C_2，C_3 の電圧が等しく V になったとすると

$$CV+CV=\frac{1}{2}CE+0 \qquad \therefore \quad V=\frac{E}{4}$$

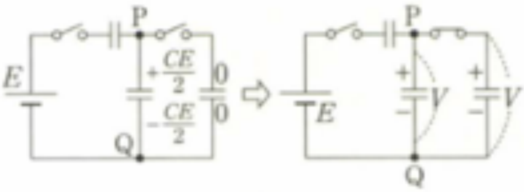


図2

(3) 図3のように，C_1，C_2 の電圧が V_1'，V_2' になったとすると

$$\begin{cases} V_1'+V_2'=E \\ -CV_1'+CV_2'=-\dfrac{CE}{2}+\dfrac{CE}{4} \end{cases}$$

$V_2'=E-V_1'$ より

$$-CV_1'+C(E-V_1')=-\frac{CE}{4}$$

$$2CV_1'=\frac{5}{4}CE \qquad \therefore \quad V_1'=\frac{5}{8}E$$

よって　$V_2'=E-\dfrac{5}{8}E=\dfrac{3}{8}E$

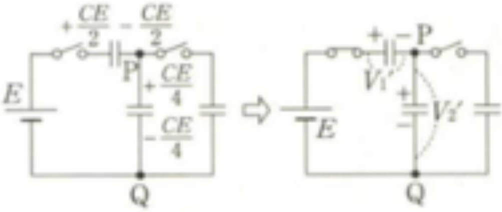


図3

(4) 図4のように，C_2，C_3 の電圧が等しく V' になったとすると

$$CV'+CV'=\frac{3}{8}CE+\frac{CE}{4}$$

$$\therefore \quad V'=\frac{5}{16}E$$

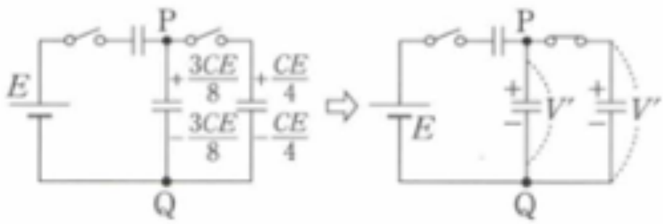


図4

15.

(イ) $f=eE=e\dfrac{V}{l}$〔N〕

(ロ) $p=fv=e\dfrac{V}{l}v$〔W〕

(ハ) $N=nSl$〔個〕

(ニ) $P=Np=nSle\dfrac{V}{l}v=enSvV$〔W〕

(ホ) $I=enSv$〔A〕　(ヘ) $P=IV$〔W〕

16.

(イ) $m\dfrac{v^2}{r}=qvB \qquad \therefore \quad r=\dfrac{mv}{qB}$〔m〕

(ロ) $T=\dfrac{2\pi r}{v}=\dfrac{2\pi}{v}\dfrac{mv}{qB}=\dfrac{2\pi m}{qB}$〔s〕

(ハ) $\dfrac{1}{f}$

(ニ) 求める磁束密度を B_0〔$\mathrm{Wb/m^2}$〕とする。

$\dfrac{1}{f}=T=\dfrac{2\pi m}{qB}$ より

$$\frac{1}{f_0}=\frac{2\pi M}{eB_0}$$

$$\therefore \quad B_0=\frac{2\pi M}{e}f_0 \text{〔Wb/m}^2\text{〕}$$

(ホ) 最大半径 R のときの核の速さを v_m とすれば

$$v_m=R\cdot 2\pi f_0$$

$$\frac{1}{2}Mv_m{}^2=\frac{1}{2}M(R\cdot 2\pi f_0)^2$$

$$=2\pi^2MR^2f_0{}^2 \text{〔J〕}$$

17.

(1) (イ) $\dfrac{E}{R}$ (ロ) $ma=\dfrac{E}{R}Bl$

(2) (ハ) vBl (ニ) $E-vBl$

(ホ) $\dfrac{E-vBl}{R}$ (ヘ) $ma'=\dfrac{E-vBl}{R}Bl$

(3) (ト) $a'=0$ とおいて $\dfrac{E}{Bl}$〔m/s〕

18.

(1) ソレノイドPの単位長さあたりの巻数は $\dfrac{N_1}{l}$ であるから，磁界の強さは

$$H=\frac{N_1}{l}I$$

磁束密度は $B=\mu H=\mu\dfrac{N_1}{l}I$

(2) Pの断面を貫く磁束は1巻について

$$\Phi_1=BA_1=\mu\frac{N_1A_1}{l}I$$

Pの両端に生じる誘導起電力の大きさは

$$V_1=N_1\left|\frac{\Delta\Phi_1}{\Delta t}\right|=\frac{\mu N_1{}^2A_1}{l}\frac{\Delta I}{\Delta t}$$

(3) $V_1=L\left|\dfrac{\Delta I}{\Delta t}\right|$ より $L=\dfrac{\mu N_1{}^2A_1}{l}$

(4) コイルSの断面を貫く磁束は1巻について $\Phi_2=BA_2=\mu\dfrac{N_1A_2}{l}I$

Sの両端に生じる誘導起電力の大きさは

$$V_2=N_2\left|\frac{\Delta\Phi_2}{\Delta t}\right|=\mu\frac{N_1N_2A_2}{l}\frac{\Delta I}{\Delta t}$$

(5) $V_2=M\left|\dfrac{\Delta I}{\Delta t}\right|$ より $M=\dfrac{\mu N_1N_2A_2}{l}$

19.

イオン化エネルギーとは，基底状態にある電子を原子外へ引き出すのに要する仕事である。$n=1$ の軌道の電子を $n\to\infty$ へ移すのに要する仕事は

$$\begin{aligned}\Delta E&=E_\infty-E_1=0-\left(-\frac{hcR}{1^2}\right)=hcR\\&=6.63\times10^{-34}\times3.00\times10^8\times1.10\times10^7\\&\fallingdotseq21.9\times10^{-19}\,\text{〔J〕}\end{aligned}$$

$1\,\mathrm{eV}=1.60\times10^{-19}\,\mathrm{J}$ であるから

$$\Delta E=\frac{21.9\times10^{-19}}{1.60\times10^{-19}}\fallingdotseq13.7\,\text{〔eV〕}$$

20.

(イ) $v_0=i_0\sqrt{R^2+\left(\omega L-\dfrac{1}{\omega C}\right)^2}$

(ロ) $i_0=\dfrac{v_0}{\sqrt{R^2+\left(\omega L-\dfrac{1}{\omega C}\right)^2}}$

(ハ) $I_e=\dfrac{V_e}{\sqrt{R^2+\left(\omega L-\dfrac{1}{\omega C}\right)^2}}$

(ニ) $Z=\sqrt{R^2+\left(\omega L-\dfrac{1}{\omega C}\right)^2}$

(ホ) $P_e=I_e{}^2R$

(ヘ) $\omega_0{}^2LC=1$ より $\omega_0=\dfrac{1}{\sqrt{LC}}$

(ト) $f_0=\dfrac{\omega_0}{2\pi}=\dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

$\omega_0=\dfrac{1}{\sqrt{LC}}$ のとき $I_e=\dfrac{V_e}{R}$ となる。