2019（H31)年度　東京大学　理科前期　入学試験　物理解説

（物理，化学，生物，地学から２科目受験）（配点120点）（150分）

第１問

<解答>

Ⅰ

(1)

時刻 $t=t_1$ における台車の速度は $v_1=a_1t_1$　（答）

時刻 $t=0$ から t_1 までに移動する距離は $s_1=\dfrac{1}{2}a_1{t_1}^2$

時刻 $t=t_1$ から t_2 までに移動する距離は $s_2=(t_2-t_1)a_1t_1$

時刻 $t=t_2$ からt_1+t_2 までに移動する距離は $s_3=v_1t_1-\dfrac{1}{2}a_1{t_1}^2=\dfrac{1}{2}a_1{t_1}^2$

よって時刻 $t=0$ から $t=t_1+t_2$ までの間に台車が移動する距離は

$s=s_1+s_2+s_3=\dfrac{1}{2}a_1{t_1}^2+(t_2-t_1)a_1t_1+\dfrac{1}{2}a_1{t_1}^2=a_1t_1t_2$　（答）

(2)

各時刻における台車に対する物体の運動

ｉ) $0\leqq t\leqq t_1$での運動

台車に固定された座標軸では物体に慣性力 $-ma_1$ が働く。物体の変位をy，加速度をαとして運動方程式は $m\alpha=-ky-ma_1$となる。この運動は$m\alpha=0$となる位置$y=-\dfrac{ma_1}{k}=-A$を中心とし，振幅Aの単振動となり，周期は$2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}=T$である。

$t=t_1=\dfrac{T}{2}$では$y=-\dfrac{2ma_1}{k}=-2A$となり，物体は台車に対して静止する。

ii) $t_1\leqq t\leqq t_2$での運動

$t_1=\dfrac{T}{2}$から$t_2=nT$まで台車に加速度は働かないので，物体は$y=0$を中心とする振幅$2A$の単振動をする。したがって，$t_2=nT$では$y=2A=\dfrac{2ma_1}{k}$となり，物体は台車に対して静止する。

iii) $t_2\leqq t\leqq t_2+t_1=nT+\dfrac{T}{2}$での運動

$t=t_2$から台車が減速し慣性力ma_1が物体に働く。物体はばねの弾性力と慣性力のつりあう位置$y=A=\dfrac{ma_1}{k}$を中心とし，振幅Aの単振動を行う。

時刻$t_2=nT$では$y=2A=\dfrac{2ma_1}{k}$，時刻$t=t_2+t_1=nT+\dfrac{T}{2}$では，物体の位置 $y=0$　（答）

物体は単振動の負方向の最大振幅位置にあるので，台車に対して静止し，速度は0　（答）

⑶

各時刻帯での物体の運動は

ⅰ) $0 \leqq t \leqq \dfrac{T}{2}$ での運動

物体の運動方程式は $m\alpha = -ky - ma_2$，これは $y = -\dfrac{ma_2}{k}$ を中心とする単振動，$\omega = \dfrac{2\pi}{T}$ として

$y - \left(-\dfrac{ma_2}{k}\right) = B\cos\omega t$，ここで B は単振動の振幅

$t = 0$ で $y = y_0$ だから，$y_0 + \dfrac{ma_2}{k} = B$

$t = \dfrac{T}{2}$ で $y + \dfrac{ma_2}{k} = -B = -y_0 - \dfrac{ma_2}{k}$，∴ $y = y_1 = -y_0 - \dfrac{2ma_2}{k}$

ⅱ) $\dfrac{T}{2} \leqq t \leqq T$ での運動

物体の運動方程式は $m\alpha = -ky + ma_2$，これは $y = \dfrac{ma_2}{k}$ を中心とする単振動

$y - \dfrac{ma_2}{k} = -C\cos\omega\left(t - \dfrac{T}{2}\right)$，ここで C は単振動の振幅

$t = \dfrac{T}{2}$ で $y = y_1$ だから，$C = y_0 + \dfrac{3ma_2}{k}$

$t = T$ で $y = C + \dfrac{ma_2}{k} = y_0 + \dfrac{4ma_2}{k} = 0$，∴ $a_2 = -\dfrac{ky_0}{4m}$　（答）

$y_1 = -y_0 - \dfrac{2ma_2}{k} = -\dfrac{1}{2}y_0$　（答）

＜解説＞

Ⅰ⑴

等速運動，加速度運動における移動距離と速度を求める問題で，基本的なものだから，正答しなければならない。

⑵

まずは物体がどのような運動をするのか，大雑把に理解しよう。物体と台車との間には摩擦がなく，物体は台車とばねによって接続されている。台車が加速度運動を始めると，台車に固定した座標系では，物体に台車の加速度とは逆方向に一定の慣性力が働く。慣性力は，台車が加速度運動を行うことによって，台車上の座標系から見た物体に働く見かけの力である。

一方，物体が変位すると変位とは逆方向にばねの弾性力が働く。物体と台車表面との間には摩擦がないので，物体は両方の力がつりあう位置を中心とする単振動をする。この単振動の振幅は，物体の初期位置と振動中心となるつりあい位置との距離（変位）である。単振動は物体を静かに手から離したとき，振動の中心に戻ろうと動き始めるからである。

この運動は，重力の下でばねにぶら下がる物体の運動と同じである。図１と図２を参照すれば解るだろう。

そのうえで，各時刻帯での物体の運動を考察する。与えられた$T=2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$はばねによる単振動の周期である。この際，振動の中心位置と振幅を正しく導こう。

(3)

(2)と基本的には同種の問題だが，初期位置が$y=0$ではなく$y=y_0$（<0)であることが異なる。初期位置と単振動の中心との距離が単振動の振幅となることは上に記載した通りである。ここでは，各時刻帯での振幅をB，Cとして計算できるようにしている。

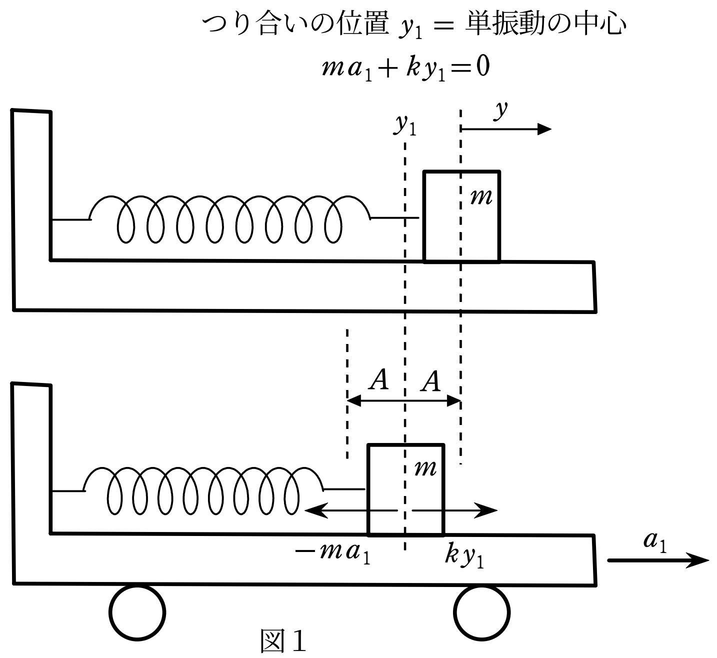

図１

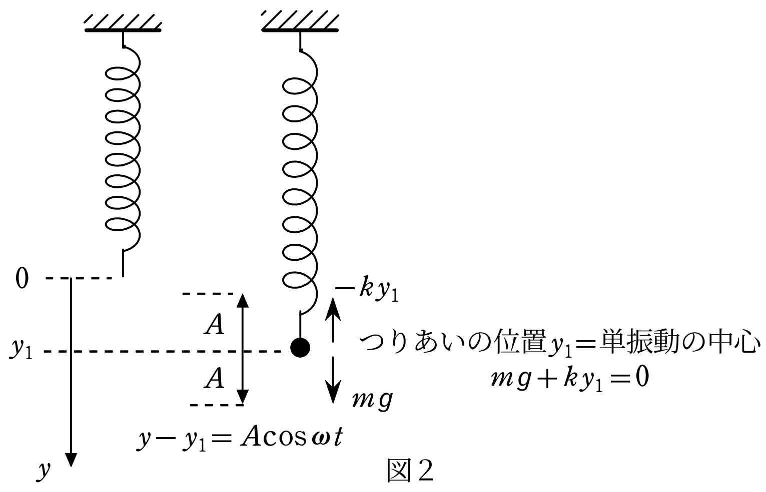

図２

＜解答＞

Ⅱ

(1)

重力と慣性力の棒に垂直方向成分の差がfとなる。

$f=mg\sin\theta-ma\cos\theta=mg\theta-ma=m(g\theta-a)$　（答）

(2)

$\theta=ア\cos\sqrt{\dfrac{g}{l}}\,t+イ$において，$t=0$とすれば$\theta=ア+イ=\theta_0$，$t=\dfrac{T}{2}$とすれば$\theta=-ア+イ=\theta_1$

したがってア$=\dfrac{\theta_0-\theta_1}{2}=$②　（答），イ$=\dfrac{\theta_0+\theta_1}{2}=$①　（答）

以上によって，時刻$t=0$から$t=\dfrac{T}{2}$の間のθは $\theta=\left(\dfrac{\theta_0-\theta_1}{2}\right)\cos\sqrt{\dfrac{g}{l}}\,t+\dfrac{\theta_0+\theta_1}{2}$と表される。

質点の変位は$x=l\theta=l\left(\dfrac{\theta_0-\theta_1}{2}\right)\cos\sqrt{\dfrac{g}{l}}\,t+l\left(\dfrac{\theta_0+\theta_1}{2}\right)=l\left(\dfrac{\theta_0-\theta_1}{2}\right)\cos\sqrt{\dfrac{g}{l}}\,t+x_C$

ただし，$x_C=l\left(\dfrac{\theta_0+\theta_1}{2}\right)$

単振動する質点に働く復元力は，質点の加速度をα，角振動数$\omega=\dfrac{2\pi}{T}$として

$F=m\alpha=m\{-\omega^2(x-x_C)\}=m\left\{-\dfrac{g}{l}\times l\left(\theta-\dfrac{\theta_0+\theta_1}{2}\right)\right\}=-mg\left(\theta-\dfrac{\theta_0+\theta_1}{2}\right)=ウ(\theta-イ)$

したがって　ウ$=-mg=$⑩　（答）

単振動の加速度 $\alpha=-g\left(\theta-\dfrac{\theta_0+\theta_1}{2}\right)=-g\left(\dfrac{\theta_0-\theta_1}{2}\right)\cos\sqrt{\dfrac{g}{l}}\,t+g\left(\dfrac{\theta_0+\theta_1}{2}\right)$

この運動を実現するためには設問Ⅱ(1)で求めたfとFが等しければよいので台車の加速度aは次のように求まる。

$m(g\theta-a)=-mg\left(\theta-\dfrac{\theta_0+\theta_1}{2}\right)$

$a=2g\theta-g\left(\dfrac{\theta_0+\theta_1}{2}\right)=2g\left(\dfrac{\theta_0-\theta_1}{2}\right)\cos\sqrt{\dfrac{g}{l}}\,t+g\left(\dfrac{\theta_0+\theta_1}{2}\right)=\left(エ\cos\sqrt{\dfrac{g}{l}}\,t+オ\right)g$

したがって，エ$=(\theta_0-\theta_1)=$④　（答），オ$=\dfrac{\theta_0+\theta_1}{2}=$①　（答）

aから台車の速度を求めれば，$(\theta_0-\theta_1)\sqrt{gl}\sin\sqrt{\dfrac{g}{l}}\,t+\left(\dfrac{\theta_0+\theta_1}{2}\right)gt$

したがって，時刻 $t=0$ から $t=\dfrac{T}{2}=\pi\sqrt{\dfrac{l}{g}}$ までの台車の速度の変化 v_1 は θ_0，θ_1，g，l を用いて

$v_1=\left(\dfrac{\theta_0+\theta_1}{2}\right)\sqrt{gl}\,\pi=$ i　（答）

時刻 $t=\dfrac{T}{2}$ から$t=T$の運動についても単振動の半周期分であるので同様に考えれば，

θは $\theta=-\left(\dfrac{\theta_1}{2}\right)\cos\sqrt{\dfrac{g}{l}}\,t+\dfrac{\theta_1}{2}$と表されるので，

質点の変位は$x=l\theta=-l\left(\dfrac{\theta_1}{2}\right)\cos\sqrt{\dfrac{g}{l}}\,t+l\left(\dfrac{\theta_1}{2}\right)==-l\left(\dfrac{\theta_1}{2}\right)\cos\sqrt{\dfrac{g}{l}}\,t+x_C$，$x_C=l\left(\dfrac{\theta_1}{2}\right)$

$F=m\alpha=m\{-\omega^2(x-x_C)\}=m\left\{-\dfrac{g}{l}\times l\left(\theta-\dfrac{\theta_1}{2}\right)\right\}=-mg\left(\theta-\dfrac{\theta_1}{2}\right)$

$f=F$から，$m(g\theta-a)=-mg\left(\theta-\frac{\theta_1}{2}\right)$，$a=2g\theta-g\left(\frac{\theta_1}{2}\right)$

aから台車の速度を求めれば，$-\theta_1\sqrt{gl}\sin\sqrt{\frac{g}{l}}\,t+\left(\frac{\theta_1}{2}\right)gt$

この区間の台車の速度すなわち$t=\frac{T}{2}$とTにおける速度変化v_2はθ_1，g，lを用いて

$v_2=\left(\frac{\theta_1}{2}\right)\sqrt{gl}\,\pi=\mathrm{ii}$　（答）

$t=T$で台車が静止するには，速度変化の合計が0であればよい。

$v_1+v_2=0$，$\therefore\ \theta_1=-\frac{1}{2}\theta_0$，$-\frac{1}{2}=\mathrm{iii}$　（答）

＜解説＞

倒立振子の遊びをした経験のある生徒は多いだろう。上手に手を動かすと，倒れそうなのに，思いのほか簡単に振子（傘，杖，バット，竹刀などの棒状のものを使用した）の倒立が持続することに，驚いた覚えがある。我ながらなぜこんなことが容易にできるのだろうと，幼心に不思議に思った覚えがある。

これを物理的に考察しようというのが本問である。幼い頃の経験を思い出してみると，倒れそうになる方向と同じ方向に棒を乗せた手を加速的に動かすと，棒が直立に近くなり倒れない，というような動作を思い出すことができる。この運動の過程を脳内に描きながら考えていこう。

問題図１－３のように，振子の傾きθの変化がグラフとして与えられているので，考察の基本的な方法がわかる。このグラフは，$0\leqq t\leqq\frac{T}{2}$では振幅$\frac{\theta_0-\theta_1}{2}$，中心$\frac{\theta_0+\theta_1}{2}$の単振動をしている。これからア，イは明らかとなる。振子の先端の質点の変位は$x=l\theta$だから，$(x-x_C)$が単振動をすることがわかる。その加速度αによる質点に働く力と台車の加速度による慣性力とがつり合うようにすれば，振子は倒れない。

グラフは$\frac{T}{2}\leqq t\leqq T$では振幅$\frac{\theta_1}{2}$，中心$\frac{\theta_1}{2}$の単振動を示す。そして$t=T$で$\theta=0$となり，振子は直立する。$t=T$で台車は静止するということだから，加速されて速度$v_1$を得た後、減速されて速度$v_2$を得たのだから，両者の和$v_1+v_2$が0となる。

第２問

＜解答＞

Ⅰ

物質の抵抗率ρ，面積S，厚さdだから，抵抗値$R=\frac{\rho d}{S}$　（答）

電極の間隔がd，面積がS，誘電率がεだから，電気容量$C=\frac{\varepsilon S}{d}$　（答）

Ⅱ

(1)

素子Xの抵抗は抵抗値Rの抵抗がN個直列接続したものだから，$R_X=NR$

十分長い時間が経過したとき素子Xのコンデンサーの電気量は飽和し電流が流れないので,

直流電源から素子Xの抵抗にのみ電流が流れるので，その電流は $\dfrac{V_0}{R_X}=\dfrac{V_0}{NR}$　（答）

素子Xの電気容量は$\dfrac{1}{C_X}=\dfrac{1}{C}\times N$だから，$C_X=\dfrac{C}{N}$

したがって素子Xの上端の電極Eに蓄積される電気量は$C_XV_0=\dfrac{C}{N}V_0$　（答）

(2)

T1からT2に切り替わったときから，素子Xに蓄積された電気量は抵抗R_XとR_0を通して放電する。

コンデンサーの両端の電圧を$V(t)$とすれば，抵抗に流れる電流は，それぞれ$I_X(t)=\dfrac{V(t)}{R_X}$,

$I_0(t)=\dfrac{V(t)}{R_0}$，単位時間当たりの消費電力は$P_X(t)=R_X(I_X(t))^2=\dfrac{(V(t))^2}{R_X}$，$P_0(t)=R_0(I_0(t))^2=\dfrac{(V(t))^2}{R_0}$

したがって，消費されるエネルギーは抵抗値に反比例する。コンデンサーに蓄積されている静電エネルギーは$\dfrac{1}{2}C_XV_0{}^2$だから，抵抗R_0で消費されるエネルギー，すなわち発生するジュール熱は

$$\frac{1}{2}C_XV_0{}^2\times\frac{R_X}{R_X+R_0}=\frac{C}{2N}V_0{}^2\times\frac{NR}{NR+R_0}=\frac{CRV_0{}^2}{2(NR+R_0)}$$　（答）

Nを増やした場合，抵抗R_0で発生するジュール熱は上記により，②単調に減少する　（答）

(3)

素子Xの抵抗R_Xに流れる電流I_Rは，$R_XI_R=V_1\sin\omega t$，$\therefore\ I_R=\dfrac{V_1\sin\omega t}{R_X}=\dfrac{V_1\sin\omega t}{NR}$

素子XのコンデンサーC_Xに電圧$V_1\sin\omega t$が印加されると流れる電流は,

$$I_C=\omega C_XV_1\cos\omega t=\frac{\omega CV_1\cos\omega t}{N}$$

したがって，素子Xに流れる電流は$I_R+I_C=\dfrac{V_1}{N}\left\{\dfrac{1}{R}\sin\omega t+\omega C\cos\omega t\right\}$　（答）

III

交流電流計には電流が流れなくなったので，抵抗R_1と$2R_1$に流れる電流は同じ。

J−M間の電圧が$V_1\sin\omega t$なので，抵抗R_1と$2R_1$の電流は $I_1=\dfrac{1}{R_1+2R_1}V_1\sin\omega t=\dfrac{1}{3R_1}V_1\sin\omega t$

したがってK−M間の電圧は $V_{KM}=2R_1I_1=\dfrac{2}{3}V_1\sin\omega t=$ア　（答）

抵抗R_2に流れる電流$I_2=i_2\sin\omega t+j_2\cos\omega t$とすれば,

コンデンサーの電圧の位相は電流の位相より$\dfrac{\pi}{2}$遅れるので，LM間にかかる電圧は

$$\begin{aligned}V_{LM}&=R_2I_2+\frac{1}{\omega C_0}I_2\left(\omega t-\frac{\pi}{2}\right)=R_2(i_2\sin\omega t+j_2\cos\omega t)+R_2\left\{i_2\sin\left(\omega t-\frac{\pi}{2}\right)+j_2\cos\left(\omega t-\frac{\pi}{2}\right)\right\}\\&=R_2(i_2\sin\omega t+j_2\cos\omega t)+R_2\{-i_2\cos\omega t+j_2\sin\omega t\}\\&=R_2(i_2+j_2)\sin\omega t+R_2(j_2-i_2)\cos\omega t=V_{KM}=\frac{2}{3}V_1\sin\omega t\end{aligned}$$

したがって，$i_2=j_2=\dfrac{V_1}{3R_2}$，$I_2=\dfrac{V_1}{3R_2}\sin\omega t+\dfrac{V_1}{3R_2}\cos\omega t=$イ$\sin\omega t+$ウ$\cos\omega t$　（答）

J－K間の電圧V_{JK}はJ－M間の電圧 $V_1\sin\omega t$の$\dfrac{1}{3}$だから，$V_{JK}=\dfrac{1}{3}V_1\sin\omega t=$エ　（答）

J－L間を流れる電流はI_{JL}は，Ⅱ(3)を利用すれば，

$$I_{JL}=\frac{V_1}{3N}\left\{\frac{1}{R}\sin\omega t+\omega C\cos\omega t\right\}=\frac{V_1}{3NR}\sin\omega t+\frac{\omega CV_1}{3N}\cos\omega t=\text{オ}\sin\omega t+\text{カ}\cos\omega t$$　（答）

$I_2=I_{JL}$だから，$\dfrac{V_1}{3R_2}=\dfrac{V_1}{3NR}=\dfrac{\omega CV_1}{3N}$，$\therefore\ R=\dfrac{R_2}{N}$，$C=\dfrac{N}{\omega R_2}$

設問Ⅰの結果を参照すると，$\dfrac{\rho d}{S}=\dfrac{R_2}{N}$，$\dfrac{\varepsilon S}{d}=\dfrac{N}{\omega R_2}$

したがって $\varepsilon=\dfrac{dN}{\omega SR_2}=$キ，$\rho=\dfrac{SR_2}{dN}=$ク　（答）

＜解説＞

Ⅰ

２枚の電極間に物質を挿入した部品の抵抗と電気容量を求める基本的な問題である。

Ⅱ

(1)

直流電圧を加え，十分に長い時間が経過するとコンデンサーの電気量は飽和して，抵抗にのみ電流が流れる。

(2)

コンデンサーに蓄えられた電気量が抵抗に流れ，ジュール熱となって消費される。エネルギー保存の法則によって，コンデンサーの静電エネルギーが抵抗のジュール熱となる。R_0とR_Xが並列だから，コンデンサーの放電電流はこれらの抵抗値に反比例する。したがって，消費されるジュール熱も反比例する。コンデンサーの容量がNに反比例するから，Nが増えると蓄えられる電気量が減少し，消費されるジュール熱も減少する。

(3)

素子Xには抵抗R_XとコンデンサーC_Xとが並列に接続しているから，各々に流れる電流の和が素子Xに流れる電流となる。抵抗に流れる電流はオームの法則によって容易に求まる。

コンデンサーに流れる電流は，貯まる電気量の時間変化だから，時間的に一定にはならない。

$$I_C=\frac{d}{dt}Q_C=\frac{d}{dt}(C_XV_1\sin\omega t)=\omega C_XV_1\cos\omega t=\omega C_XV_1\sin\left(\omega t+\frac{\pi}{2}\right)$$

すなわち正弦波の印加電圧に対して，電流は位相が$\dfrac{\pi}{2}$進んだ正弦波となる。

Ⅲ

問題文を追いながら，交流電圧を印加したときの電流から素子Xの導電率と誘電率を求める問題。

コンデンサーに交流電圧を印加すると流れる電流の位相が$\dfrac{\pi}{2}$進むことを理解していなければならない。

ブリッジ回路によって，KL間の交流電流計に電流が流れないことから，K点とL点における電位は

等しい，すなわちKM間とLM間の電圧は等しいことになる。KM間の電圧はJM間の電圧の$\frac{2}{3}$である。LM間の電圧を求めるためにR_2-C_2に流れる電流を$I_2=i_2\sin\omega t+j_2\cos\omega t$のように表現し，電圧を求めることがポイントである。

第３問

＜解答＞

Ⅰ

(1)

屈折の法則により，$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=\frac{n_2}{n_1}$，微小角度に対する近似式により $\sin\theta_1\fallingdotseq\theta_1$，$\sin\theta_2\fallingdotseq\theta_2$

したがって，$\frac{\theta_1}{\theta_2}=\frac{n_2}{n_1}$　（答）

(2)

問題図３－１から，$\theta_1=\alpha_1+\phi$，$\theta_2=\alpha_2+\phi$　（答）

(3)

$\tan\alpha_1=\frac{h}{x_1}$，$\tan\alpha_2=\frac{h}{x_2}$，$\sin\phi=\frac{h}{r}$，微小角度に対する近似式により，

$\tan\alpha_1\fallingdotseq\sin\alpha_1\fallingdotseq\alpha_1$，$\tan\alpha_2\fallingdotseq\sin\alpha_2\fallingdotseq\alpha_2$，$\sin\phi\fallingdotseq\phi$

したがって $\alpha_1=\frac{h}{x_1}$，$\alpha_2=\frac{h}{x_2}$，$\phi=\frac{h}{r}$　（答）

(4)

(2)，(3)の結果から

$n_1\theta_1=n_1(\alpha_1+\phi)=hn_1\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{x_1}\right)$

$n_2\theta_2=n_2(\alpha_2+\phi)=hn_2\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{x_2}\right)$

(1)の結果から $n_1\theta_1=n_2\theta_2$だから，$n_1\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{x_1}\right)=n_2\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{x_2}\right)$，$n_1\left(\frac{1}{r}+\text{ア}\right)=n_2\left(\frac{1}{r}+\text{イ}\right)$　（式１）

ア：$\frac{1}{x_1}$，イ：$\frac{1}{x_2}$　（答）

(5)

問題図３－２(A)の場合

$\theta_1=\phi-\alpha_1$，$\theta_2=\phi-\alpha_2$，屈折の法則による式 $n_1\theta_1=n_2\theta_2$は同じ。

したがって（式１）に相当する関係式は $n_1\left(\frac{1}{r}-\frac{1}{x_1}\right)=n_2\left(\frac{1}{r}-\frac{1}{x_2}\right)$　（答）　（式２）

問題図３－２(B)の場合

$\theta_1=\alpha_1-\phi$，$\theta_2=\alpha_2-\phi$，屈折の法則による式 $n_1\theta_1=n_2\theta_2$は同じ。

したがって（式１）に相当する関係式は $n_1\left(-\frac{1}{r}+\frac{1}{x_1}\right)=n_2\left(-\frac{1}{r}+\frac{1}{x_2}\right)$

この式は問題図３－２(A)の（式２）と同じく，$n_1\left(\frac{1}{r}-\frac{1}{x_1}\right)=n_2\left(\frac{1}{r}-\frac{1}{x_2}\right)$　（答）　（式２）

Ⅱ

(1)

式１で$\frac{1}{r}\fallingdotseq 0$とすれば $\frac{n_1}{x_1}=\frac{n_2}{x_2}$，$\therefore\ x_2=\frac{n_2}{n_1}x_1=\frac{n_2}{n_1}L_1$

ただし$x_1=L_1$，x_2は境界から見かけ上の光源までの距離

したがって，観察者から見かけ上の光源までの距離は $x_2+L_2=\frac{n_2}{n_1}L_1+L_2$　（答）

(2)

屈折の法則によって，光線が媒質の境界線の垂線となす微小な角θ_1，θ_f，θ_2について，$n_1\theta_1=n_f\theta_f=n_2\theta_2$が成立する。

したがって，媒質１中の距離 L_1 は媒質２の観測者から見かけ上 $\frac{\theta_1}{\theta_2}L_1=\frac{n_2}{n_1}L_1$ となる。

同様に，屈折率 n_f の媒質中の距離 d は媒質２の観測者からは見かけ上 $\frac{\theta_f}{\theta_2}d=\frac{n_2}{n_f}d$ となる。

したがって，光源と観測者の見かけ上の距離は $\frac{n_2}{n_1}L_1+\frac{n_2}{n_f}d+(L_2-d)=L_1+L_2$

$\left(\frac{n_2}{n_1}-1\right)L_1=\left(1-\frac{n_2}{n_f}\right)d$，$\therefore\ d=\frac{n_f(n_2-n_1)}{n_1(n_f-n_2)}L_1$　（答）

$n_f>n_2>n_1$，または$n_f<n_2<n_1$　（答）

(3)

問題図３－５(A)は問題図３－１の場合だから，（式１）で$x_1=1$m，$x_2=2$m，$n_1=1.5$，$n_2=1$とすれば，$1.5\left(\frac{1}{r}+1\right)=\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{2}\right)$，$\therefore\ r=-0.5$m，このような解はない。したがって，問題図３－５(A)の場合には，題意を満たすことはできない。

問題図３－５(B)は問題図３－２(A)の場合だから，（式２）を適用すると，

$1.5\left(\frac{1}{r}-1\right)=\left(\frac{1}{r}-\frac{1}{2}\right)$，$\therefore\ r=0.5$m，したがって題意を満たすのは　(B)で$r=0.5$m（答）

(4)

レンズから4mの位置の光源が3mの位置に虚像ができたということだから，レンズの式において，$a=4$，$b=-3$とすれば，$\frac{1}{f}=\frac{1}{4}-\frac{1}{3}=-\frac{1}{12}$

したがって，凹レンズで焦点距離は12m　（答）

＜解説＞

異なる屈折率をもつ媒質の境界での光の屈折という現象を基に，境界面の形状や光源の位置による光線の振る舞いを考察する問題。レンズが光線に及ぼす作用は，物理の教科書ではレンズの式として提示される。

このレンズの式の基になるのが，境界面が球面の場合の光線の屈折である。この問題から解るよう

に，境界球面は１点から出た光線を別の１点に集める（あるいは，あたかも別の１点から出たかのように光線を曲げる）効果をもっている。これはレンズの機能である。実際のレンズの場合は境界面が２つ（光が入射する面と出射する面）あり，２つの境界球面のレンズ作用の合成としてレンズ作用がある。

Ⅰ

球面状の境界での光線の屈折に関する問題。

⑴

微小入射角，出射角での屈折の法則を記述する。

⑵

光線が球面の光軸となす微小角によって，入射角，出射角を記述する。

⑶

光軸となす微小角を球面の形状寸法によって記述する。数学Ⅰ，Aの勉強が役に立つ。数学が実際に役に立つものだという実感を得るだろう。

⑷

媒質Ⅰの中の光源から出た光線が境界で屈折して媒質Ⅱに出射した光線を媒質Ⅱから観測したときの光源の位置を求める。見かけ上の光源の位置である。

問題は誘導的にできており，⑴で求めた $n_1\theta_1=n_2\theta_2$ という関係式を活用し，⑵，⑶で表現される θ_1 と θ_2 を用いることに気づこう。

⑸

図３－１(A)，(B)の場合について，θ_1 と θ_2 を求め，同様に $n_1\theta_1=n_2\theta_2$ とすればよい。

Ⅱ

⑴

平面は半径が無限大の球面と考えることができる。すなわち $r\to\infty$ として，境界から見かけ上の光源までの距離を考えればよい。湯船の壁に付けた手を上から見ると短く見えたり，川底が浅く見えたりするのも，同じ原理によるものである。

⑵

屈折の法則によって，厚さ d の媒質がどのような厚さに見えるかを考える。境界面の法線と微小角をなす光線について，屈折の法則 $n_1\theta_1=n_f\theta_f=n_2\theta_2$ が成立していることを利用する。

⑶

媒質の境界が球面だから，問題図３－5(A)，(B) が問題図３－１，問題図３－１(A)，(B)のいずれに該当しているかを考え，式１あるいは式２を適用する。

⑷

観察者から4 mの位置に見えた光源が3 mの位置に見えたということは，直感的に凹レンズの作用と気づこう。レンズの式を適用する。

＜総評＞

多くの大学入試の物理の問題がそうであるように，考察対象とする物理過程が図やグラフを使用しながら長文で記載されている。的確に読み込み，問題を解くにあたって，読み落としのないように注意しなければならない。

また，第１問では少年時の遊びを素材にした問題，第３問ではお風呂や川での経験に関連する問題が含まれている。人は日常生活の中で物理現象を経験しているのだから，このような経験と関連する問題が出ることは当然予想されることである。小さいときから，遊び，玩具，運動などの経験を積み，なぜかと好奇心を働かすことが，物理の勉強には有効であろう。

第１問

設問ＩとⅡからなるが，両方とも加速運動をする台車上の運動を考察する。したがって慣性力を繰り込んだ検討をすることになるので，まずは慣性力の理解がなければならない。

設問Ｉ⑴では台車の運動が表に示されていて，台車の運動そのものを問うのだから，速やかに正答しよう。難易度Ｃ。

⑵では加減速運動をする台車上の物体の運動を考察する。物体には台車に働く加速度とは逆方向に働く見かけ上の加速度に基づく力，すなわち慣性力が働いて台車に対して運動をする。Tがばねの弾性力による単振動の周期であることを直ちに気づかなければならない。

加えて，台車に対する物体の運動が重力の下でのばねと物体の運動と同じ（重力の加速度gと台車の加速度a_1が対応）であることに気づきたい。周期，振幅，振動の中心など，ばねの単振動の理解が十分必要である。難易度Ｂ＋。

⑶では物体を変位させた位置を初期位置とした場合の運動を考える。⑵ではばねの変位０が物体の初期初期位置であった。運動方程式を記述すれば，基本となる単振動は変わらないことに気づく。変わるのは，振動中心の位置からの最大変位を示す振幅である。難易度Ａ。

設問Ⅱは棒が倒れないように手を動かす遊びを素材にした問題である。

⑴では，台車が加速度aの加速度運動しているので，台車上から観測すると，質点には反対方向に慣性力maが働く。難易度Ｂ－。

⑵では，問題文を読み込み，問題図１－３を凝視しながら，空欄に入るべき式を考えていく。一見難しそうだが，$t=0$から$\frac{T}{2}$までθは単振動と与えられているから，ア，イは容易に求まる。同様に，$t=\frac{T}{2}$からTまで単振動と与えられている。問題図１－３に一致する単振動の式を考え，対応する復元力と台車の加速度の関係を考えれば良い。難易度はＢ＋。

第２問

交流電源，抵抗，コンデンサーを含む回路の電圧，電流の問題である。昨年の電磁気の問題が難しかったので，やや容易化した印象である。問題は物理操作に沿って，誘導的に構成されているので，初めの基本的な問題は確実に正答したい。

問題文を迅速に的確に読み込み，問題理解にミスのないようにしたい。難しい設問も含まれているが，全体として標準的なレベルとして，難易度はＢ。

第３問

レンズの基礎となる媒質の境界面での光線の屈折の問題。レンズは物体からの光を離れた空間に集め，物体の像を形成する。人の目の中の水晶体はレンズと同等で外界の物体の像を網膜上に形成する。

だから人は外界の物体を見ることができる。

カメラも同じことである。考えてみると，われわれが離れた場所の画像を見ることができるのは，このレンズの結像機能のおかげで，現代ではあらゆるところにレンズが使用されている。その機能の根本原理は媒質の境界における屈折の法則にあるのだから，驚異である。

この単純な原理に基づいて，コンピュータ計算によって，非常に高機能の複雑な構成のレンズも製作されている。

屈折の法則を的確に理解していれば，誘導的にできているこの問題の文と図を読み込んで考えていけば，解けるであろう。全体として難易度はＢ。

200306