2011（H23）年度 新潟大学　理系前期　入学試験　物理解説

$\boxed{1}$ 注意　全学部受験用

＜解答＞

問１

(1)

斜面OP上を運動する小物体に働く加速度の大きさ　$g\sin\theta$　（答）

加速度の向きは斜面に沿って下方　（答）

(2)

小物体の運動方程式　$v=v_0-(g\sin\theta)t$

上端Pでの速さがv_1だから，Pに達するまでの時間は$t_1=\dfrac{v_0-v_1}{g\sin\theta}$　（答）

(3)

斜面OPの長さをsとすれば，上端Pの高さは$s\sin\theta$

エネルギー保存の法則により，下端Oと上端Pでの小物体のエネルギーが等しいので，

$\dfrac{m{v_0}^2}{2}=\dfrac{m{v_1}^2}{2}+mgs\sin\theta$，$s=\dfrac{{v_0}^2-{v_1}^2}{2g\sin\theta}$　（答）

問２

(1)

最高点Qでは，小物体の垂直方向の速さは0，水平方向の速さはP点での水平方向の速さのままだから，$v_{qx}=v_1\cos\theta$

下端Oと最高点Qとのエネルギーの保存により，$\dfrac{m{v_0}^2}{2}=mgh+\dfrac{m(v_1\cos\theta)^2}{2}$，

したがって，$h=\dfrac{{v_0}^2-(v_1\cos\theta)^2}{2g}$　（答）

(2)

エネルギー保存の法則により，点R_1での衝突直前の速さはv_0　（答）

水平方向の速さは$v_1\cos\theta$だから，$\cos\alpha=\dfrac{v_1\cos\theta}{v_0}$　（答）

(3)

最高点Qから重力によって自然落下するので，高さhを落下するに要する時間は，$\sqrt{\dfrac{2h}{g}}$

したがって，$L=\sqrt{\dfrac{2h}{g}}\,v_1\cos\theta=\dfrac{v_1\cos\theta}{g}\sqrt{{v_0}^2-(v_1\cos\theta)^2}$　（答）

問３

(1)

点R_1での衝突後の垂直方向の速さは，衝突前の速さのe倍

すると，到達する最高点までの時間もe倍になるので，$L_1=eL$　（答）

(2)

点R_1での衝突直前の垂直方向の速さは$\sqrt{2gh}$，衝突直後の速さは$e\sqrt{2gh}$

すると，エネルギー保存の法則により，$\dfrac{m(e\sqrt{2gh})^2}{2}=mgh_1$，$h_1=e^2h$　（答）

⑶

床に衝突するごとに，衝突点間の水平方向距離はe倍，到達点の高さはe^2倍になるので，

$L_n=e^nL$　（答），　$h_n=e^{2n}h$　（答）

＜解説＞

問１

⑴

斜面OP上を運動する小物体には，重力の加速度の斜面方向成分が下方に働く。

⑵

この問題では上端Pでの速さが与えられているので，速度の式から容易に上端に達するまでの時間が求まる。

⑶

斜面の傾きが与えられているので，斜面の長さから上端Pの高さが分かることに着目する。すると，運動エネルギーと位置エネルギーに関するエネルギー保存の法則を適用すれば良いことに思い到るだろう。

問２

⑴

最高点Qでは，垂直方向の速さは0になる。なぜなら，速さがあれば，もっと上がるはずだから。上端のP点での垂直上方の速さは，P点を飛び出してからは，重力の加速度によって減少して0になってしまう。一方，P点を飛び出すと小物体には水平方向の加速度は存在しないので，P点での水平方向の速さが保存される。

⑵

エネルギーの損失のない過程だから，床に衝突直前の速さは，点Oで床を出発したときの速さに等しい。すると，小物体の移動方向と床がなす角度αの$\cos\alpha$は，（水平方向の速さ）÷（速さ）になる。

⑶

$L=$（水平方向の速さ）×（落下するまでの時間）

水平方向の速さは$v_1\cos\theta$，落下するまでの時間は，重力の加速度の下での初速0での落下だから，

高さhの落下に要する時間は$\sqrt{\dfrac{2h}{g}}$

問３

⑴

衝突直後の垂直方向の速さは$v_{1y}'=ev_{1y}$

⑵

衝突後の垂直方向の速さは衝突前の速さのe倍になるので，運動エネルギーはe^2倍になる。したがって，エネルギー保存の法則により到達高さもe^2倍になる。

⑶

⑴，⑵の結果を利用すると，衝突点間の水平方向距離はe倍，到達点の高さはe^2倍になることが分かる。

$\boxed{2}$ 注意　理学部（数学科･物理学科･生物学科･地質科学科･自然環境学科），

医学部，歯学部，工学部および農学部受験者用

［1］

<解答>

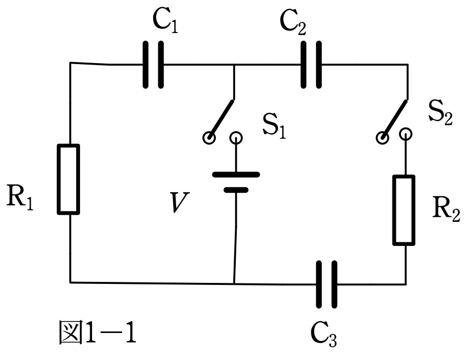

図1−1

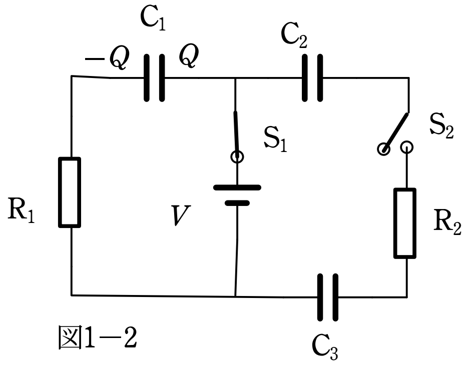

図1−2

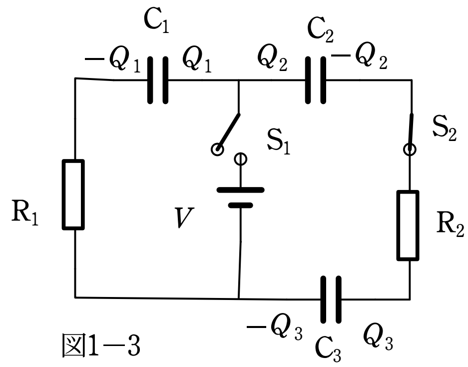

図1−3

問１

(1)

電荷$Q=CV$　（答）

静電エネルギー　$\dfrac{CV^2}{2}$　（答）

(2)

電源がする仕事は$QV=CV^2$

この仕事がコンデンサーに蓄積された静電エネルギーと抵抗R_1で消費されたエネルギーになる。

したがって，抵抗R_1で消費されたエネルギーは$\left(CV^2-\dfrac{CV^2}{2}\right)=\dfrac{CV^2}{2}$　（答）

問２

(1)

S_2を閉じた瞬間に閉回路になる。すると，この回路に沿った電位は一巡すると元に戻る。閉じた瞬間は，コンデンサーC_1の極板間の電位差はV，C_2，C_3は0だから，回路を流れる電流Iと抵抗$2R$による電圧降下はV。したがって，$2RI=V$，$I=\dfrac{V}{2R}$　（答）

(2)

$Q_1=CV_1$，$Q_2=CV_2$，$Q_3=CV_3$，

$Q_1+Q_2=Q$だから，$CV_1+CV_2=CV$，したがって$V_1+V_2=V$　①

$(-Q_1)+(-Q_3)=-Q$，$(-Q_2)+Q_3=0$だから，$Q_2=Q_3$，したがって$V_2=V_3$　②

回路を一巡した電位について，$V_1-V_2-V_3=0$　③

①，②，③から$V_1=\dfrac{2V}{3}$　（答）

(3)

C_1に蓄えられている電荷は$Q_1=CV_1=\dfrac{2}{3}CV$　（答）

$V_2=\dfrac{V_1}{2}=\dfrac{V}{3}$だから，$C_2$に蓄えられている電荷は$Q_2=CV_2=\dfrac{1}{3}CV$　（答）

(4)

C_1に蓄えられているエネルギーは$\dfrac{2}{9}CV^2$

C_2とC_3に蓄えられているエネルギーはそれぞれ$\dfrac{1}{18}CV^2$

したがって，三つのコンデンサーに蓄えられているエネルギーは$\dfrac{1}{3}CV^2$

一方，S_2が閉じる前にC_1に蓄えられていたエネルギーは$\dfrac{1}{2}CV^2$だから，

$\dfrac{1}{2}CV^2-\dfrac{1}{3}CV^2=\dfrac{1}{6}CV^2$のエネルギーが失われたことになる。

$Q_2=Q_3$だから，R_1とR_2で消費されるエネルギーは同じ。

したがって，R_2で消費されるエネルギーは$\dfrac{1}{12}CV^2$　（答）

＜解説＞
問１
図１を参照して考える。
(1)
スイッチS_1閉，S_2開で抵抗R_1，コンデンサーC_1，電池の直列閉回路になる。したがって，コンデンサーの極板間の電位差がVになるまで，コンデンサーに電荷が溜まる。コンデンサーに蓄えられるエネルギーの算出の仕方を確認しよう。教科書に出ている。
(2)
エネルギー保存の法則により，電池がした仕事がコンデンサーの静電エネルギーと抵抗の消費エネルギーになる。電池は電荷を高電位に上げることによって，電流を流す。この電荷を高電位に上げることが，電池のした仕事ということになる。
問２
(1)
考え方が難しい。電流は変化し一定ではない。S_2を閉じた瞬間の閉回路を一巡したときの電位の状態を考えると良い。
(2)
R_1，R_2に電流が流れなくなったということは，コンデンサーC_1からC_2，C_3への充電が終わったということである。この回路には電池が無いから，コンデンサーC_1に溜まっていた電荷Qが，C_1，C_2，C_3に再配分されることになる。C_1に溜まっていた電荷は保存されることに注意する。
(3)
コンデンサーの極板間の電位差を求め，蓄積された電荷を求める。
(4)
C_1に蓄積され静電エネルギーと三つのコンデンサーに蓄積された静電エネルギーの差が抵抗で消費されたエネルギーである。(2)，(3)の結果を使って，ていねいに計算すれば良い。

ここで，単純ミスに注意しておこう。三つのコンデンサーの容量は全て同じCである。ところが，筆者は容量がC_1，C_2，C_3と間違えてしまった。コンデンサー名称と容量を混同したのである。単なるケ

アレスミスだが，このように混同すると，問題は難しくなって時間を失うから，問題文を注意深く読むことは，何より肝要である。もし，難しいと感じるような場合には，問題文の理解に問題ないか，問題文を読み返す習慣を身に着けておこう。

さてミスしたように，三つのコンデンサーの容量がC_1，C_2，C_3としたら，どのように扱うかを考えてみよう。その上で，$C_1=C_2=C_3=C$とすれば，この問題の解が得られる。

$Q_1=C_1V_1$，$Q_2=C_2V_2$，$Q_3=C_3V_3$，

$Q_1+Q_2=Q$，$(-Q_1)+(-Q_3)=-Q$，$(-Q_2)+Q_3=0$

これより，$C_1V_1+C_2V_2=C_1V$　①

回路を一巡した電位について，$V_1-V_2-V_3=0$，$V_1=V_2+\dfrac{C_2V_2}{C_3}$　②

①から，$V_2=\dfrac{C_1(V-V_1)}{C_2}$，これを②に代入して整理すると，$V_1=C_1(V-V_1)\left(\dfrac{1}{C_2}+\dfrac{1}{C_3}\right)$

したがって，$V_1=\dfrac{C_1V(C_2+C_3)}{C_1C_2+C_2C_3+C_3C_1}$　（答）

$Q_1=C_1V_1=\dfrac{C_1{}^2V(C_2+C_3)}{C_1C_2+C_2C_3+C_3C_1}$　（答）

$Q_2=Q-Q_1=C_1V-\dfrac{C_1{}^2V(C_2+C_3)}{C_1C_2+C_2C_3+C_3C_1}=\dfrac{C_1C_2C_3V}{C_1C_2+C_2C_3+C_3C_1}$　（答）

$C_1=C_2=C_3=C$とおけば，$V_1=\dfrac{2}{3}V$，$Q_1=\dfrac{2}{3}CV$，$Q_2=\dfrac{1}{3}CV$

［2］

＜解答＞

問１

(1)

入射軸方向の運動エネルギーは加速電極によるものだから，qV

紙面右向きの運動エネルギーは，電場Eを距離l移動したことによるので，qlE

入射軸と紙面右向きは直交しているので，衝突直前の運動エネルギーは，$qV+qlE$　（答）

(2)

荷電粒子の電荷が2倍になると，入射軸方向の運動エネルギーは2倍になる。したがって，速さは$\sqrt{2}$倍になる。したがって，粒子が平板Xに衝突するまでの時間は$\dfrac{1}{\sqrt{2}}$になる。一方，紙面右向きに働く力は電荷が2倍になると2倍になる。すると加速度は2倍になるので，衝突点の距離は，加速度が2倍になった効果と時間が$\dfrac{1}{\sqrt{2}}$になった効果とで，$2\times\left(\dfrac{1}{\sqrt{2}}\right)^2=1$で打ち消しあう。

荷電粒子の電荷が2倍になったときの平板Xでの衝突位置は l　（答）

問２

(1)

電圧Vによって加速されるので，領域Aに入射するときの荷電粒子の速さをv_0として，エネルギー保存の法則により，

$\dfrac{mv_0{}^2}{2}=qV$，$v_0=\sqrt{\dfrac{2qV}{m}}$　（答）

⑵

荷電粒子の運動方向と垂直に磁場があり，荷電粒子は円運動を行う。

荷電粒子に働く向心力は，qv_0B，円運動の半径をrとすれば，$qv_0B=\dfrac{m{v_0}^2}{r}$

したがって，$r=\dfrac{mv_0}{qB}=\dfrac{1}{B}\sqrt{\dfrac{2mV}{q}}$，磁束密度が大きくなるにつれ$r$は小さくなる。

磁束密度が$B_1<B$で衝突しなくなるので，$B=B_1$で$r=d$となる。$\dfrac{1}{B_1}\sqrt{\dfrac{2mV}{q}}=d$

したがって，$m=\dfrac{(dB_1)^2q}{2V}$　（答）

問３

磁場による紙面横方向の力qv_0Bと電場による紙面右向きの力qEがつり合っている。

したがって，$qv_0B=qE$，$B\sqrt{\dfrac{2qV}{m}}=E$，$m=2qV\left(\dfrac{B}{E}\right)^2$　（答）

＜解説＞

電磁場中の荷電粒子の運動に関する問題である。

問１

⑴

荷電粒子は加速電極により，入射軸方向に加速されて領域Aに入射する。加速電極を通過してからは，軸方向の速さは変化しない。領域Aでは紙面右横方向の電場により加速される。軸方向と紙面横方向は直交しているから，運動エネルギーは，それぞれの方向の速さによる運動エネルギーの和になる。

⑵

解答では物理過程を検討しながら，結論を導いた。ここでは，運動方程式によって，検証してみよう。領域Aで荷電粒子の紙面右向きの運動方程式は，$ma=qE$，ただしaは加速度

したがって，速さは$v_x=\dfrac{qEt}{m}$，変位は$x=\dfrac{qEt^2}{2m}$　①

粒子が平板Xに衝突するまでの時間は$t_d=\dfrac{d}{v_0}$，ただしv_0は粒子が平板Yに入射したときの入射軸方向の速さで，$\dfrac{m{v_0}^2}{2}=qV$，$v_0=\sqrt{\dfrac{2qV}{m}}$，したがって$t_d=d\sqrt{\dfrac{m}{2qV}}$　②

したがって，粒子が平板Xに衝突したときの変位lは，①で$t=t_d$として②を代入して，

$$l=\frac{Ed^2}{4V}$$

これよりlは電荷に依存しないので，電荷が2倍になっても同じであることが分かる。

問２

⑴

荷電粒子は加速電極によって加速される。エネルギー保存の法則により，荷電粒子が得る速さに基づく運動エネルギーは，初期位置における加速電場の電位によるエネルギーに等しい。

⑵

磁場に垂直に荷電粒子は運動するから，粒子に働く磁場による力（ローレンツ力）は運動方向に垂

直である。したがってローレンツ力が向心力となって，円運動をすることは教科書に記載されている。円運動の半径と磁束密度の関係も記載されている。磁束密度が大きいほど円運動の半径は小さくなる。したがって，磁束密度を大きくしていくと平板Xに衝突しなくなる。

問３

電場と磁場を同時にかけたとき，粒子は入射軸上で平板Xに衝突したということは，軸上を直進したということである。直進しなければ，紙面横方向の速度をもち，入射軸上で平板Xに衝突することはできない。ということは，磁場による力と電場による力とが逆方向でつり合っていなければならない。すると，粒子は直進するから，ローレンツ力はずっと紙面横方向に働き，電場による力とつり合うことができる。

$\boxed{3}$　注意　教育学部，理学部（物理学科），医学部および歯学部受験者用

［１］

＜解答＞

問１

⑴

波長は$\dfrac{V_0}{f_0}$　（答）

⑵

$f_1=f_0-\alpha f_0$だから，$\alpha=\dfrac{f_0-f_1}{f_0}$　（答）

問２

⑴

観測される振動数は，ドップラー効果によって，$f_2=\dfrac{V_0}{V_0-(-v)}f_0=\dfrac{V_0}{V_0+v}f_0$　（答）

⑵

うなりの振動数は，$f_0-f_2=f_0-\dfrac{V_0}{V_0+v}f_0=\dfrac{v}{V_0+v}f_0$　（答）

問３

⑴

$\dfrac{7}{2}\lambda_0\leqq L<\dfrac{9}{2}\lambda_0$　（答）

⑵

λ_0　（答）

⑶

1秒間に波長の半分の移動が起きる回数が振動数f_3である。

すなわち，$f_3=v\div\left(\dfrac{\lambda_0}{2}\right)=\dfrac{2vf_0}{V_0}$　（答）

＜解説＞

問１

⑴

1秒間に波が出る個数が振動数であるから，波長×振動数＝音速，波長＝音速÷振動数

⑵

うなりとは振動数の異なる二つの音波が重なりあったときに生じる音の強弱変化である。ある瞬間に，二つの音波の山が重なったとすると，音が強くなる。振動数が異なるので，次の山からは次第にずれていくので，次第に音が弱くなり，やがては山と谷が重なって，音が打ち消しあう。その後、再び山の重なりが増えるので，音が強くなり，再び山が重なって，音が一番強くなる。このような繰り返しによって，音が強くなったり弱くなったりする。

さて，ここでうなりの振動数がどうなるか，という問題である。補足説明として，「振動数f_1のうなり」とは「1秒間にf_1回のうなり」を意味する，ということが与えられた。確かに，うなりの振動数という表現は厳密にはおかしいのである。そこで，補足説明が与えられたのだが，うなりとは，音が強く聞こえる現象だから，1秒間に何回強く聞こえるか，ということが問われている。

図２を参照して考えてみよう。振動数f_1とf_2の波が重なると，破線のような波になる。ただし，時刻$t=0$で，両波の山が重なるものとして描いている。両波の山と山が重なる時刻の間隔をT_bとすると，この間の波の山の数は，f_1T_bとf_2T_bで，その差は1である。すなわち，$|f_1T_b-f_2T_b|=1$。一方，1秒間に聞こえるうなりの数は$\dfrac{1}{T_b}$だから，$\dfrac{1}{T_b}=|f_1-f_2|$となって，両波の振動数の差がうなりの振動数になる。

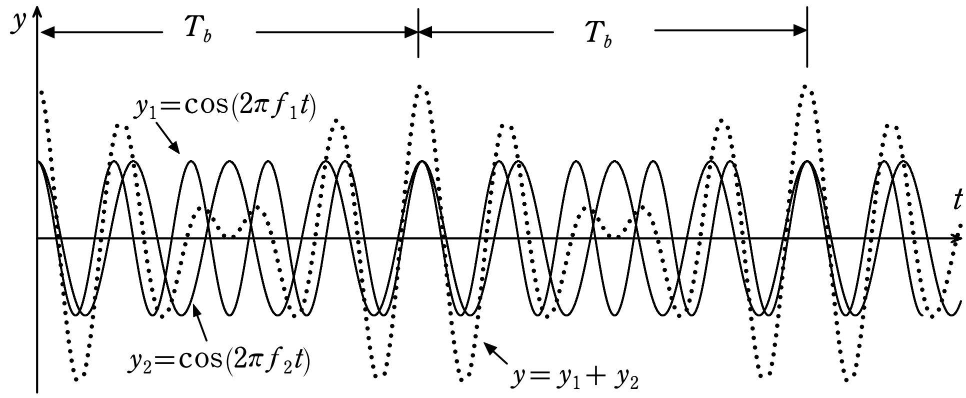

図２

問２

⑴

音源が観測者から遠ざかるとき，観測される音の振動数がどうなるか。波動の頻出問題である。ドップラー効果として知られ，音源，観測者いずれが移動していても，観測される音の振動数は元の振動数から変化する。ドップラー効果が重要視されるのは，物理学や化学などの基礎科学分野から，ボールなど物体のスピード測定などの実用技術まで，幅広く活用されるからである。

教科書に出ているドップラー効果の公式を覚えておこう。そうすれば，この問題は容易である。

音源の速さv_s，観測者の速さv_oとすれば，観測される音の周波数は，$f'=\dfrac{V-v_o}{V-v_s}f$となることを覚えておく。ただし，観測者から見て，音と同じ方向に音源，観測者が動く場合であって，逆の場合は速さの符号を変える。符号の扱いを理解しておくためには，ドップラー効果の求め方を理解しておくことが必要である。

この問題では，$v_o=0$，$v_s=-v$，$f=f_0$，$f'=f_2$である。

問３

⑴

定常波とは，反対方向に進む二つの波が重なり合って，どちらにも進行しない波である。位置ごとに振幅の最大値が定まっており，最も振幅の大きい位置は腹，全く振動しない（振幅が0）位置は節と呼ばれる。腹と腹，節と節の間隔は元の波長の半分である。したがって図３を参照すれば分かるように，音源A，B間の節の数が8だから，音源A，Bの距離は$\frac{\lambda_0}{2}\times 7$以上で，$\frac{\lambda_0}{2}\times 9$未満である。

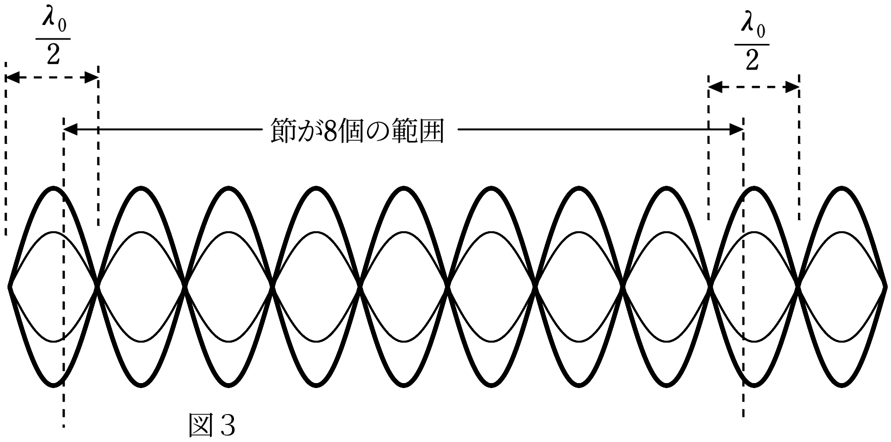

図３

⑵

音源Bが移動することにより，ＡＢ間の定常波の節が一つ増えたのだから，音源Bの移動量は波長と等しい。

⑶

観測者の位置で，定常波が腹→節→腹と変化したとき，音の大きさが変化して聞こえる。⑵により，音の大きさが1秒間に波長の半分の移動が起きる回数が振動数f_3である。すなわち，$f_3 = v \div \left(\frac{\lambda_0}{2}\right) =$

$\frac{2vf_0}{V_0}$

［２］

＜解答＞

問１

正立像（答）

問２

凸レンズ１による結像の式は$\frac{1}{a_1}+\frac{1}{b_1}=\frac{1}{f_1}$　①，$b_2 = L - b_1$とすれば，

凸レンズ２による結像の式は$\frac{1}{b_2}+\frac{1}{a_2}=\frac{1}{f_2}$　②

像の高さは，$d_2 = d_1\left(\frac{b_1}{a_1}\right)\left(\frac{a_2}{b_2}\right)$，ここで①から$\frac{b_1}{a_1}=\frac{f_1}{a_1 - f_1}$，②から$\frac{a_2}{b_2}=\frac{a_2 - f_2}{f_2}$，

したがって，$d_2 = \frac{(a_2 - f_2)f_1}{(a_1 - f_1)f_2}d_1$　（答）

問３

$L=2f_1+3f_2=20+60=80\ \mathrm{cm}$　（答）

問４

$\alpha=\dfrac{(n-1)h}{R}$　（答）

問５

$f=\dfrac{R}{n-1}$　（答）

問６

媒質の屈折率は波長に依存する。レンズのような媒質では，光の波長が短いほど，屈折率は大きい。したがって，問５の結果から，焦点距離が短いのは紫色の光線である。

<解説>

問１

凸レンズ１によって，倒立実像ができる。したがって，凸レンズ２によって正立実像ができる。

問２

凸レンズ１による像の位置をb_1とすれば，$\dfrac{1}{a_1}+\dfrac{1}{b_1}=\dfrac{1}{f_1}$から，$b_1=\dfrac{a_1f_1}{a_1-f_1}$，この位置は凸レンズ２の前方$b_2=L-b_1$にある。凸レンズ２による結像の式を用いることなく，像の高さは,

$d_2=d_1\left(\dfrac{b_1}{a_1}\right)\left(\dfrac{a_2}{b_2}\right)=\dfrac{f_1a_2d_1}{L(a_1-f_1)-a_1f_1}$　としても良い。f_2の代わりにLを用いることになる。

問３

$b_1=2f_1$，$b_2=L-b_1=L-2f_1$，$\dfrac{1}{b_2}+\dfrac{1}{a_2}=\dfrac{1}{f_2}$から，$\dfrac{1}{L-2f_1}=\dfrac{1}{f_2}-\dfrac{1}{1.5f_2}=\dfrac{1}{3f_2}$

したがって，$L=2f_1+3f_2$

問４

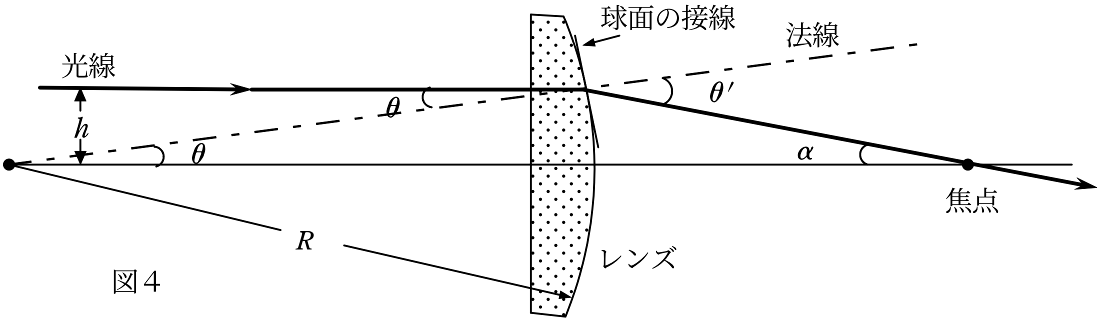

図４

図４を参照して考える。光線がレンズの球面と交わる点における球面の接線と法線を描く。すると屈折の公式により，$\dfrac{\sin\theta'}{\sin\theta}=n$，$\sin\theta=\dfrac{h}{R}$，$\dfrac{h}{R}$は1より十分小さいと仮定されているので,

$\theta\fallingdotseq\dfrac{h}{R}$，$\sin\theta'=n\sin\theta\fallingdotseq\dfrac{nh}{R}$，したがって，$\theta'\fallingdotseq\dfrac{nh}{R}$，$\theta+\alpha=\theta'$だから，$\alpha=\theta'-\theta=\dfrac{(n-1)h}{R}$

問５

問４の結果によって，$f=\dfrac{h}{\alpha}=\dfrac{R}{n-1}$

問６

屈折率は光の波長によって異なる。虹やプリズムを通した白色光が赤から紫までの色の光に分かれ

ることが，そのことを示している。波長が短くなると屈折率はどうなるか。ここが頭の捻りどころである。教科書には波長の短い（振動数の大きい）光ほど屈折率は大きいと書いてある。そのことを覚えていれば問題ないが，単純な事実ほど正確に覚えられない場合が多い。

そこで，プリズムを通った光の色が並ぶ実験を思い浮かべる。紫が下だったとイメージが残っていれば，波長が短いほど屈折率は大きいとなろう。ここでは，赤から紫へと波長が短くなっていくという事実も知っていなければならない。

プリズムのことも思い浮かばないとしたらどうするか。虹を思い出す。確か，虹では紫や青が下で赤が上に見えていた，という記憶があるだろう。太陽の光は上方からだから，屈折が大きいのは紫の方だと推理する。他に何か紫色の光の方が屈折率が大きいということを示す現象がないかを考えてみたが，思いつかなかった。

実は屈折率の波長依存性は単純なものではない。その根拠は媒質の電子の振動と光の振動の相互作用に基づく。この説明は高校物理の範囲を超えてしまう。そして，単純に波長が短いほど屈折率が大きいということもできない。材料や波長範囲によって異なる。

だから，この問題は何を問う問題なのかが，筆者には疑問である。単純に教科書に記載されている「プリズムを通った光は色に分離する」という光の分散は，「波長の違いに基づくもので，波長が短い光ほど屈折率が大きい」ということを記憶しているかを問うのであろうか？

屈折率と焦点距離の関係は問５で求められているから，屈折率が大きいほど，焦点距離が短いことが分かる。逆に、問５で正しい解答が得られていないと，誤った解答にいたる可能性がある。

$\boxed{4}$ 注意　教育学部，理学部（数学科・物理学科・生物学科・地質科学科・自然環境科学科）
工学部および農学部受験者用

＜解答＞

問１

(1)

気体Ａの状態方程式は，$P_1Sa = n_A RT_{A1}$　①，Sはピストンの断面積

気体Ｂの状態方程式は，$P_1Sa = n_B RT_{B1}$

最初の状態の気体Ｂの温度は，$T_{B1} = \dfrac{P_1Sa}{n_B R} = \dfrac{n_A}{n_B} T_{A1}$　（答）

(2)

ピストンが$x = \dfrac{a}{2}$の位置に移動したときの気体Ａの状態方程式は，$\dfrac{3P_2Sa}{2} = n_A RT_{A2}$

気体Ｂの状態方程式は，$\dfrac{P_2Sa}{2} = n_B RT_{B2}$，したがって，$T_{B2} = \dfrac{P_2Sa}{2n_B R} = \dfrac{n_A}{3n_B} T_{A2}$　（答）

(3)

気体Ａの温度をT_{A3}とする。気体Ａの状態方程式は，$\dfrac{4P_1Sa}{3} = n_A RT_{A3}$　②

したがって①から，$n_A RT_{A3} = \dfrac{4}{3} n_A RT_{A1}$　③

気体Ａに加えた熱量Q＝（気体Ａの内部エネルギーの増加）＋（気体Ａがした仕事）

気体Ａの内部エネルギーの増加は③を用いて，$\dfrac{3}{2} n_A R(T_{A3} - T_{A1}) = \dfrac{1}{2} n_A RT_{A1}$

気体Aがした仕事は，$\dfrac{P_1Sa}{3}=\dfrac{1}{4}n_ART_{A3}=\dfrac{1}{3}n_ART_{A1}$

したがって，$Q=\dfrac{5}{6}n_ART_{A1}$　（答）

(4)

気体Aの長さをlとすると，気体Aの状態方程式は，$P_2Sl=n_ART_{A4}$，

したがって，$l=\dfrac{n_ART_{A4}}{P_2S}=\dfrac{n_ART_{A4}}{P_2}\times\dfrac{P_1a}{n_ART_{A1}}=\dfrac{P_1T_{A4}}{P_2T_{A1}}a$，ただし①による$S$を用いた。

したがって，ピストンの位置は，$l-a=\left(\dfrac{P_1T_{A4}}{P_2T_{A1}}-1\right)a$　（答）

問２

(1)

ピストンが原点にあるときの気体A，Bの状態方程式は，

$P_3Sa=n_ART_0$，$P_3Sa=n_BRT_0$，したがって$n_A=n_B$

ピストンを$x=\dfrac{a}{2}$に移動したときの状態方程式は，$\dfrac{3P_{A4}Sa}{2}=n_ART_0$，$\dfrac{P_{B4}Sa}{2}=n_BRT_0$

したがって，$P_3Sa=\dfrac{3P_{A4}Sa}{2}$，$P_{A4}=\dfrac{2}{3}P_3$　（答），また$P_{B4}=3P_{A4}=2P_3$　（答）

ピストンを押す力のつり合いによって，$P_{A4}S+\mathrm{F}=P_{B4}S$

したがって，$F=\dfrac{4}{3}P_3S=\dfrac{4n_ART_0}{3a}$　（答）

(2)

図４または図４’

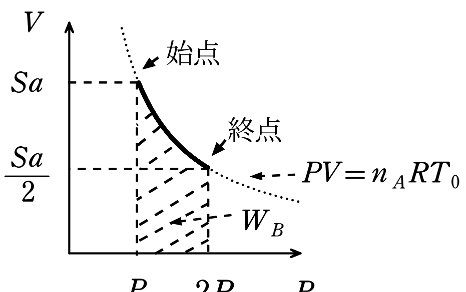

図４

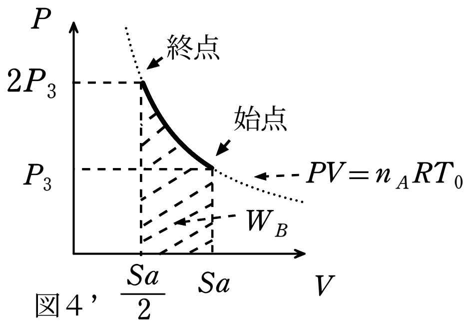

図４’

(3)

気体Aは等温変化だから，内部エネルギーは変化しない。したがって，熱力学の第一法則によって，気体Aが吸収した熱量は$Q_A=-W_A$　（答）

気体Bも等温変化だから，気体Bが吸収した熱量は，同様に，$Q_B=-W_B$　（答）

(4)

ピストンがした仕事は，気体がされた仕事に等しいから，W_A+W_B　（答）

＜解説＞

問１

(1)

滑らかに動くピストンが静止しているのだから，気体AとBの圧力は等しい。気体A，Bの二つの

状態方程式に対して，未知数はシリンダーの体積と気体Ｂの温度の二つだから，シリンダーの断面積をSとおいて二つの状態方程式を作り，Sを消去すれば，気体Ｂの温度を求めることができる。

(2)

同様に，気体Ａ，Ｂに対する状態方程式から求めることができる。

(3)

熱力学の第一法則に関わる問題。理想気体に熱量を与えたとき，そのエネルギーは外部に対する仕事と内部エネルギーの増加になる。温度T，nモルの理想気体の内部エネルギーは，$\frac{3}{2}nRT$になることは，覚えておかなければならない。

(4)

気体Ａの状態方程式から，気体Ａの部屋の容積，すなわちピストンの位置を求めることができる。

問２

(1)

初めの状態方程式とピストン移動後の状態方程式とから求める。このとき，シリンダーの材料は良く熱を伝え，ゆっくりとピストンを動かすので，気体Ａ，Ｂの温度は外気温度に保たれていることが考察の前提である。

(2)

温度T_0の等温変化である。したがって，曲線は$PV=n_BRT_0=n_ART_0$となる。気体Ｂの体積はSaから$\frac{Sa}{2}$に半減し，圧力はP_3から$2P_3$へ倍増する。気体Ｂは等温状態で，圧縮されるので，仕事をされる。その仕事W_Bは状態変化曲線と軸との間の面積である。

気体Ｂは仕事をされたが，等温で内部エネルギーは変化しない。したがって，熱力学第一法則により，外部に熱を放出する。

(3)

気体Ａ，Ｂは等温変化だから，内部エネルギーは変化しない。

熱力学第一法則は，$\Delta U=Q+W$，ここでΔUは内部エネルギーの変化，Qは吸収した熱量，Wは気体がなされた仕事である。$\Delta U=0$のとき，$Q=-W$である。

この問題は，W_Aが与えられたとして，単純に上記のことを問うている。

ここで，筆者が犯したケアレスミスを紹介しよう。筆者はW_Aや吸収した熱量を具体的に求める問題と勘違いしてしまった。そこで，参考のため，それらを具体的に求めてみよう。

気体Ａがされた仕事は，$W_A=\int_{P_3}^{\frac{2P_3}{3}}\frac{n_ART_0}{P}dP=n_ART_0\Big[\log P\Big]_{P_3}^{\frac{2}{3}P_3}=n_ART_0\log\frac{2}{3}$

この量は負なので，気体Ａは外部に対して仕事をすることになる。気体Ａは膨張するが等温変化で内部エネルギーは変化しないので，熱力学第一法則によって，熱を吸収する。

吸収する熱は，$Q_A=-W_A=n_ART_0\log\frac{3}{2}$

気体Ｂは圧縮されるが等温変化で内部エネルギーは変化しないので，熱力学第一法則によって，熱を吸収する。吸収する熱は，$Q_B=-W_B=-\int_{P_3}^{2P_3}\frac{n_ART_0}{P}dP=-n_ART_0\Big[\log P\Big]_{P_3}^{2P_3}=-n_ART_0\log 2$，

この量は負なので，気体Ｂは外部に熱を放出する。

(4)

この問題もまた，気体A，Bになされた仕事W_A，W_Bが与えられたとして，ピストンがした仕事を求める問題である。したがって，ピストンがした仕事を具体的に求める必要はない。ケアレスミスをしないように，問題文を正しく読もう。

参考までにピストンがした仕事を具体的に求めてみよう。ピストンがした仕事は，気体AとBがなされたそれぞれの仕事の和に等しい。

$$W_P=W_A+W_B=n_ART_0\log\frac{2}{3}+n_ART_0\log 2=n_ART_0\log\frac{4}{3}$$

＜総評＞

22年度と同様に全体として難問はない。どれも教科書をしっかり読み込み，問題を解くことによってそれらを検証するような勉強を積み重ねておけば，対応できる問題である。それぞれの問題の物理過程を的確に理解して，それらを正しく数式表現する力が必要である。

$\boxed{1}$

重力の下での力学の問題である。問題の物理過程は簡明であり，エネルギー保存の法則を上手に使えば，解答には困らないだろう。この問題に小物体の摩擦や台の移動の問題が加わると，難しくなる。難易度B。

$\boxed{2}$

[1]

コンデンサーを含む電気回路の問題。コンデンサーが蓄える静電エネルギー，電池がする仕事，抵抗が消費するエネルギーなどの基本理解が必要だ。教科書に記載されている基本事項をしっかり理解すること。難易度B，一部にA。

[2]

電磁場中の荷電粒子の運動に関する問題。問題は簡明であり，教科書に記載の電位，電場，電場による粒子の加速と運動エネルギー，磁場によるローレンツ力と粒子の運動などの基本事項を理解できていれば，完答できるだろう。ここでの考え方は荷電粒子の電荷や質量などを求める方法の基礎となる物理学上重要なものである。難易度B。

$\boxed{3}$

[1]

音波の問題。教科書に出ているうなり，ドップラー効果，定常波などの基礎現象を理解していれば，特段に難しいところ，紛れるところはない。難易度はB。

人をはじめ，動物は音波によって多くの情報を取得するから，音波の勉強は大事である。音声によるコミュニケーションは人間社会に欠かすことができない。音波を利用する技術も多彩である。物の探知や診断，生体の診断などに欠かせない技術になっている。

[2]

光学のレンズに関する問題。レンズの公式，レンズによる像の形成、屈折の法則、波長と屈折率などの基本事項の理解が必要である。難しくはないが，考えさせる問題が多い。難易度はB。

光学は視覚や画像情報に関わる技術の基礎だから，私たちの身の回りの多くの機器に応用されている。眼鏡やカメラなどは代表例である。そのような，身の回りの事物との関連を考えながら，光学の勉強をすると，興味が増して基本事項の理解が進むであろう。

4

　理想気体の状態変化，仕事，熱量，熱力学の第一法則等に関わる問題である。

問１

　断熱条件での状態変化である。断熱とは，対象の系と外界との間に熱量の出入りがないということである。熱の出入りがないので，気体の温度が変化する。難易度はＢ。一般に断熱変化を起こさせるのは容易ではないが，瞬間的に断熱膨張あるいは断熱圧縮といった現象を起こすことができる。その場合は，温度の急速な上昇、あるいは下降が見られる。

問２

　外界との間の熱の出入りによって，等温での状態変化の問題である。気体がされた仕事，吸収した熱量などを具体的に求めるわけではないので，難易度はＢ。熱力学の第一法則を的確に理解しておくことが必要である。

110810