2020（R2）年度 新潟大学　理系前期　入学試験　物理解説

$\boxed{1}$　　　　理科１科目の受験者は90分，２科目の受験者は180分

［1］

＜解答＞

問１

衝突前の速さをv，V，衝突後の速さをv'，V'とする。水平方向右向きを正とする。

衝突前後の運動量保存の法則により，

$mv+MV=mv'+MV'$，$V=0$ だから $mv = mv'+MV'$　①

反発係数 $e=\dfrac{|v'-V'|}{|v-0|}$，明らかに $v' \leqq V'$だから，$e=\dfrac{-v'+V'}{v}$　②

①，②から$V'=\dfrac{(1+e)mv}{m+M}$，$e=1$として $V'=\dfrac{2mv}{m+M}$　③　（答）

問２

①，③から，$v'=\dfrac{(m-M)v}{m+M}$，運動量変化すなわち力積は $mv-mv'=\dfrac{2mMv}{m+M}$　（答）

問３

$e=0$ とすれば，②から $\dfrac{-v'+V'}{v}=0$，$\therefore v'=V'$，①から $v'=\dfrac{mv}{m+M}$，$V'=\dfrac{mv}{m+M}$

衝突後の運動エネルギーは

$$\frac{1}{2}mv'^2+\frac{1}{2}MV'^2=\frac{1}{2}m\left(\frac{mv}{m+M}\right)^2+\frac{1}{2}M\left(\frac{mv}{m+M}\right)^2=\frac{1}{2}mv^2\cdot\frac{m}{m+M}$$

したがって，衝突後の２つの物体の運動エネルギーの合計は，衝突前に質量 m の物体がもっていた運動エネルギーの $\dfrac{m}{m+M}$ 倍　（答）

問４

①，②から，$v'=\dfrac{(m-eM)v}{m+M}$，

衝突後，質量 m の物体が衝突前と反対向きに運動したということは $v'<0$,

したがって $m-eM<0$，$\therefore m<eM$　（答）

＜解説＞

問１

水平方向右向きを正として，衝突前も後も，正方向に移動するとして，運動量保存の法則，反発係数の立式をする。速さが負値となるとき，負方向へ移動することを意味する。質量 m の物体は質量 M の物体よりも正方向に速く移動することはないので，明らかに $v' \leqq V'$ であることに注意する。

問２

質量 mとM の物体の衝突による力積だから，作用反作用の法則によって，質量 M の物体が得る力積も同じである。

質量 M の物体の運動量変化から，力積は $MV'-MV=MV'=\dfrac{2mMv}{m+M}$ と同じ値を得る。

問３

$e=0$ということは，衝突後，両物体は一体となって移動する。

問４

$v'<0$となる条件を求める。$m<eM$という結論は，日常の感覚と一致するであろう。

［２］

＜解答＞

問１

おもりのつり合いにより，$mg=kl$，$\therefore\ k=\dfrac{mg}{l}$　（答）

問２

エレベーターの上昇加速度をa_Eとすれば，その中にある物体には慣性力ma_Eが鉛直下方に働く。エレベーター内におけるおもりの運動方程式は，ばねの自然長からの伸びをx，鉛直下方を正方向として，

$$ma=mg+ma_E-kx=-k\left(x-\frac{mg+ma_E}{k}\right)=-k\left(x-l-\frac{ma_E}{k}\right)$$

上式から，おもりは$x=l+\dfrac{ma_E}{k}$を中心とする単振動を行うことがわかる。

したがって，$l'=l+\dfrac{ma_E}{k}$，$\therefore$ エレベーターの加速度 $a_E=\dfrac{k}{m}(l-l')=g\left(1-\dfrac{l'}{l}\right)$

ここでは $l'>l$ だから，加速度の大きさは $g\left(\dfrac{l'}{l}-1\right)$　（答）

問３

振動の角振動数をωとすれば，$\omega=\sqrt{\dfrac{k}{m}}=\sqrt{\dfrac{g}{l}}$ ，周期 $T=\dfrac{2\pi}{\omega}=2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g}}$　（答）

問４

問題図２の波形から，$t_1=4T+\dfrac{1}{4}T=\dfrac{17}{4}T=\dfrac{17}{2}\pi\sqrt{\dfrac{l}{g}}$，

エレベーターの速さは $|a_E|t_1=g\left(\dfrac{l'}{l}-1\right)\cdot\dfrac{17}{2}\pi\sqrt{\dfrac{l}{g}}=\dfrac{17}{2}\pi(l'-l)\sqrt{\dfrac{g}{l}}$　（答）

問５

問題図２の波形から，単振動の式は $(x-l')=-(l'-l)\cos\omega t$，$\therefore$ 速さ $v=(l'-l)\omega\sin\omega t$

$t=t_1$ のとき，$\omega t_1=\left(8+\dfrac{1}{2}\right)\pi$だから，$v=(l'-l)\omega=(l'-l)\sqrt{\dfrac{g}{l}}$

$t=t_1$ 以後のエレベーター内のおもりの運動方程式は

$$ma=mg-kx=-k\left(x-\frac{mg}{k}\right)=-k(x-l),$$

したがって，おもりは $x=l$ を中心とした単振動をする。

$t=t_1$ のとき，$x=l'$ だから，単振動の中心からの変位は $l'-l$

単振動の振幅を A とすれば，エレベーター内のおもりの力学的エネルギー保存の法則により，

$$\frac{1}{2}kA^2=\frac{1}{2}mv^2+\frac{1}{2}k(l'-l)^2=\frac{1}{2}m(l'-l)^2\frac{g}{l}+\frac{1}{2}k(l'-l)^2=k(l'-l)^2,\ \therefore\ A=\sqrt{2}(l'-l)$$　（答）

＜解説＞
問２
加速度運動をするエレベーターに固定された座標系で，エレベータ内の物体の運動を記述する。このとき，物体には見かけ上の力，すなわち慣性力がエレベーターの加速度とは逆方向に働くとして運動方程式をつくる。
問４
問題図２から $t_1 = 4T + \frac{1}{4}T$ であることを読み取る。
問５
エレベーターの加速が止まり，等速運動を開始した $t = t_1$ における力学的エネルギーが保存されるとして，単振動の振幅を求める。

$\boxed{2}$
＜解答＞
問１
紙面垂直方向で裏面から表面への向き　（答）
問２
荷電粒子が磁場から受ける力が円運動の向心力だから，
$\dfrac{mv^2}{r} = qvB$，$\therefore r = \dfrac{mv}{qB} = \dfrac{2.0\times10^{-8}\times2.0}{8.0\times10^{-8}\times0.1} = 5.0\ \mathrm{m}$　（答）
ただし，r は円運動の半径，m は粒子の質量，v は粒子の速さ，q は粒子の電気量，B は磁束密度
問３
正の電気量の粒子を進行方向に加速するのだから，電場の向きは点Ｐから点Ｑへの向き（答）
問４
$F = qE = 8.0\times10^{-8}\times2.4 = 1.92\times10^{-7} \fallingdotseq 1.9\times10^{-7}\ \mathrm{N}$　（答）
ただし，F は粒子が電場から受ける力の大きさ，E は電場の強さ
問５
点Ｐで粒子の運動エネルギーは $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}\times2.0\times10^{-8}\times(2.0)^2 = 4.0\times10^{-8}$
点Ｑでの粒子の運動エネルギーは $\frac{1}{2}m{v_Q}^2$，v_Qは点Ｑにおける粒子の速さ
領域IIの電場によってなされた仕事は $FL_{PQ} = 1.92\times10^{-7}\times5 = 9.6\times10^{-7}$
エネルギー保存の法則により，$\frac{1}{2}m{v_Q}^2 = \frac{1}{2}mv^2 + FL_{PQ}$，$L_{PQ}$ は PQ 間の距離
$\therefore \frac{1}{2}m{v_Q}^2 = 4.0\times10^{-8} + 9.6\times10^{-7} = 100\times10^{-8}$，$\therefore v_Q = \sqrt{\dfrac{200\times10^{-8}}{2.0\times10^{-8}}} = 10\ \mathrm{m/s}$　（答）
問６
点Ｏでの粒子の速さは 2.0 m/s，点Ｑでは 10 m/s，円運動の半径が同じためには，

$r = \dfrac{mv}{qB}$ だから，領域IIIにおける磁束密度 $B = 0.1\times\dfrac{10.0}{2.0} = 0.50\ \mathrm{T}$ （答）

問７

円弧 OP は半径５m の半円だからその長さは 5π，O からP への移動に要した時間は $\dfrac{5\pi}{2}$

PQ 間で粒子が受ける加速度は $ma = F = qE$ により，$a = \dfrac{qE}{m}$

P からQ への移動時間を t_{PQ} とすれば，$v_Q = v + at_{PQ}$，$\therefore\ t_{PQ} = \dfrac{v_Q - v}{a} = \dfrac{m}{qE}(10.0-2.0) = \dfrac{5}{6}$

したがって粒子が Q に達するまでの時間は $t_Q = \dfrac{5\pi}{2} + \dfrac{5}{6} = 7.85 + 0.83 = 8.68 \fallingdotseq 8.7\ \mathrm{s}$ （答）

＜解説＞

問１

フレミングの左手の法則を活用する。

問２

磁場中を動く荷電粒子には速度ベクトル $\vec{v}$ と磁束密度ベクトル $\vec{B}$ がつくる面に垂直な力が働く。したがって，その力が向心力になって，荷電粒子は円運動をする。

問５

別解を示す。

粒子が受ける加速度は $ma = F$ から，$a = \dfrac{F}{m} = \dfrac{1.92\times10^{-7}}{2.0\times10^{-8}} = 9.6\ \mathrm{m/s^2}$

PQ 間の距離を L_{PQ}，P からQ への移動時間を t_{PQ} とすれば，$L_{PQ} = vt_{PQ} + \dfrac{1}{2}at_{PQ}{}^2$

したがって $5 = 2.0\,t_{PQ} + \dfrac{1}{2}\times9.6\,t_{PQ}{}^2$，$\therefore\ (4t_{PQ}+5)(2.4t_{PQ}-2) = 0$，$t_{PQ} = \dfrac{2}{2.4}$

したがって点 Q を通過するときの粒子の速さは $v_Q = v + at_{PQ} = 2.0 + 9.6\times\dfrac{2}{2.4} = 10\ \mathrm{m/s}$ （答）

3

［１］

＜解答＞

問１

気体の状態方程式は $p_1V_0 = p_1LS = nRT_1$，$\therefore\ p_1 = \dfrac{nRT_1}{LS}$ （答）

問２

n モルの気体において，Q_1 の熱を加えて定積変化により，温度が T_0 から T_1 に変化したのだから，

定積モル比熱は，$C_V = \dfrac{Q_1}{n(T_1 - T_0)}$ （答）

問３

定圧変化だから，シャルルの法則により，$\dfrac{LS}{T_0} = \dfrac{(L+\Delta x)S}{T_1}$ $\therefore\ \Delta x = \dfrac{L}{T_0}(T_1 - T_0)$ （答）

問４

定積変化において熱力学の第一法則により，$Q_1=\dfrac{3}{2}nR(T_1-T_0)$

定圧変化において熱力学の第一法則により，

$$Q_2=p_0S\Delta x+\frac{3}{2}nR(T_1-T_0)=\frac{p_0LS}{T_0}(T_1-T_0)+Q_1 \quad （答）$$

問５

n モルの気体において，Q_2 の熱を加えて定圧変化により，温度がT_0 からT_1 に変化したのだから，

問４の結果を用いて定圧モル比熱は，$C_p=\dfrac{Q_2}{n(T_1-T_0)}=\dfrac{p_0LS}{nT_0}+\dfrac{Q_1}{n(T_1-T_0)}=R+C_V$

ただし，初期状態の状態方程式は $p_0LS=nRT_0$

したがって $C_p=C_V+R$

＜解説＞

問２

定積モル比熱は，定積変化において，1モルの気体の温度を1°K上げるために必要な熱量である。

問４

熱力学第１法則により，定積変化では加えられた熱は気体の内部エネルギーの上昇になる。定圧変化では，加えられた熱は気体がする仕事と気体の内部エネルギーの上昇とになる。

［２］

＜解答＞

問１

問題図３において，∠OSM ＝ αとおく。△OSMに正弦定理を適用すると，

$$\frac{a/2}{\sin\alpha}=\frac{a}{\sin(\pi-\theta)}=\frac{a}{\sin\theta},\quad \therefore \sin\alpha=\frac{1}{2}\sin\theta$$

$$v_1=v\sin\alpha=\frac{1}{2}v\sin\theta$$

点Mで音波を観測すると，その振動数はドップラー効果により，

$$f=\frac{V}{V-(-v_1)}f_0=\frac{V}{V+(v\sin\theta)/2}f_0=\frac{2V}{2V+v\sin\theta}f_0$$

問２

$0\leqq\theta<2\pi$だから $-1\leqq\sin\theta\leqq1$，$\therefore f_1=\dfrac{2V}{2V-v}f_0$ （答）

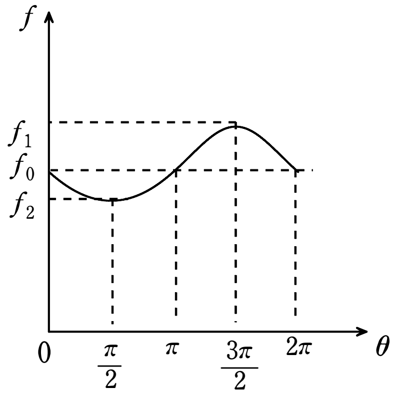
$f_2=\dfrac{2V}{2V+v}f_0$ （答）

問３

f は下図のように変化する。

θ	0		$\frac{\pi}{2}$		π		$\frac{3\pi}{2}$		2π
f	f_0	↘	f_2	↗	f_0	↗	f_1	↘	f_0

fをθの関数として，その概形を描くと右図のようになる。



問４

$$f_1 = \frac{2V}{2V-v}f_0 \text{において，} 1050 = \frac{700}{700-v}f_0 \quad ①$$

$$f_2 = \frac{2V}{2V+v}f_0 \text{において，} 910 = \frac{700}{700+v}f_0 \quad ②$$

①，②から $v = 50$ m/s

問５

①，②において$v = 50$として，$f_0 = 975$ Hz

＜解説＞

問１

音源が動いているのだから，観測する音波の振動数はドップラー効果により変化することは直ぐに理解できるだろう。観測点から見た音源の動く速さは，音源の速度ベクトルの（音源と観測点を結ぶ方向）成分である。

問題図３からも明らかなように，音源移動の速度ベクトルの方向は点Sにおける円の接線方向だから，直線MSと接線のなす角の余弦（あるいは直線OSとMSのなす角αの正弦）がわかれば，音源の観測点方向の移動速さを求めることができる。ここでは数学Ⅰの「図形と計量」の知識を活用してほしい。

問３

$\theta = \theta_i$でのfの値$f(\theta_i)$と$f(\theta)$の増減を検討し，点$(\theta_i, f(\theta_i))$を滑らかに結ぶ。概形だから厳密である必要はない。

＜総評＞

大問構成は「力と運動」，「電場，磁場中での荷電粒子の運動」，「気体の状態変化･音波」である。新潟大学入試の物理問題は，基本的な知識とその活用を問う標準的な難易のレベルである。

80%ほどの得点が得られれば，大学入試共通テストでも同程度の得点が得られるであろう。この入試問題を物理の受験勉強に大いに役に立ててほしい。$\boxed{1}$ [２]以外は難易度Ｂ。

$\boxed{1}$

[１]は物体の衝突現象を通じて，力学の基本的な理解を問う問題。スムーズに正答したい。

[２]は加速度運動をするエレベータの天井にぶら下がったばねの振動を考察する問題。おもりには重力に加えて慣性力が働くとして扱う。難易度はＢ＋。

$\boxed{2}$

電場，磁場中での荷電粒子の運動に関する問題で，設定される条件は複雑なものではない。磁場，電場から荷電粒子が受ける力を基にして，粒子の運動を考察する。基本的な問題だから，スムーズに解答したい。

$\boxed{3}$

[１]はシリンダーとピストンからなる容器内の気体の定積変化，定圧変化から両者のモル比熱とその関係を求める問題。熱力学第１法則を活用する基本的な問題である。

[２]は音波のドップラー効果に関する問題。上空を旋回する飛行機からの音（プロペラ音，エンジン音，噴射音など）が高くなったり低くなったりして聞える状況を想起される。数学Ⅰの知識が活きる。

220428