2010（H22)年度　京都大学　前期　入学試験　物理解説

物理問題Ⅰ

（1）

ア

最下点直前の小球の速さは，小球がh降下したときの速さだから，エネルギー保存則により，

$$\frac{mv^2}{2}=mgh,\ \ v=\sqrt{2gh}\qquad\text{（答）}$$

イ

小球には重力と円運動による遠心力とが働き，それがひもの張力による向心力とつり合っている。最下点で小球に働く重力はmg，遠心力は$\frac{mv^2}{h}$だから，

ひもの張力　$T=mg+\dfrac{mv^2}{h}=mg+2mg=3mg$　　（答）

ウ

ひもを切った瞬間から，小球は速さvの等速運動をする。距離L右へ移動し壁に衝突して跳ね返る。衝突直後の小球の速度v'は$\left|\dfrac{v'}{v}\right|=e$によって，左へ$v'=ev$の速度となる。したがって，小球が台車の端Dに到達するまでの時間tは,

BからCまでの移動時間　$\dfrac{L}{v}$，CからDまでの移動時間　$\dfrac{2L}{v'}=\dfrac{2L}{ev}$

両者を足して，$t=\dfrac{L}{v}+\dfrac{2L}{ev}=\dfrac{L}{v}\left(1+\dfrac{2}{e}\right)=\dfrac{L}{\sqrt{2gh}}\left(1+\dfrac{2}{e}\right)$　　（答）

（2）

エ

小球が最下点に達したとき，小球は水平方向に速度v_b（右向き）をもつとする。このとき台車は小球のひもの張力の作用によって，速度v_d（左向き）を得るものとする。小球を離す瞬間は小球も台車も静止しているので，運動量は0である。小球は離された直後から重力とひもにより円運動しながら落下する（台車に固定された座標系からみて）。台車にはひもの張力によって水平，垂直方向に力が作用する。垂直方向には床があるので移動せず，水平方向には摩擦がないので滑り始める。これらは小球と台車との間の相互作用として瞬時にして起きる。小球が最下点に達した瞬間までに，小球と台車の間に働いた力積は，大きさが同じで向きが反対だから，運動量保存則が成立する。

$mv_b-Mv_d=0$，したがって$v_d=\dfrac{mv_b}{M}$

エネルギー保存則により，小球が失った位置エネルギーは小球と台車の運動エネルギーとなり，

$$\frac{mv_b{}^2}{2}+\frac{Mv_d{}^2}{2}=mgh,\ \ \text{したがって}\frac{mv_b{}^2}{2}+\frac{m^2v_b{}^2}{2M}=\frac{m(M+m)v_b{}^2}{2M}=mgh$$

$v_b=\sqrt{\dfrac{2Mgh}{M+m}}$　　（答）

オ

小球は台車に固定された座標系において円運動するから，B点における小球の速度はv_b+v_dとして，ひもの張力はイと同様に考えて

$$T=mg+\frac{m(v_b+v_d)^2}{h}=mg+\frac{m{v_b}^2}{h}\left(1+\frac{m}{M}\right)^2$$

$$=mg+\frac{2mg(M+m)}{M}=\frac{(2m+3M)mg}{M} \qquad \text{（答）}$$

カ

小球は右方向にv_b，台車は左方向にv_dの速度で移動しているので，

台車に対する小球の相対速度は，$v_r=v_b+v_d=\left(1+\dfrac{m}{M}\right)v_b=\sqrt{\dfrac{2(M+m)gh}{M}}$ （答）

キ

小球が最下点Bから壁Cに到達するまでの時間t_cは，台車に固定した座標において考えると，カで求めた小球の相対速度でBC間の距離Lを移動する時間である。

したがって，$t_c=\dfrac{L}{v_r}=L\sqrt{\dfrac{M}{2(M+m)gh}}$ （答）

ク

壁Cでの衝突により小球は左方向への相対速度${v_r}'=ev_r$を得る。なぜなら，衝突後の速度をそれぞれ${v_b}'$，${v_d}'$とすれば，

$$\left|\frac{-{v_b}'-{v_d}'}{v_b-(-v_d)}\right|=\frac{{v_b}'+{v_d}'}{v_b+v_d}=\frac{{v_r}'}{v_r}=e$$，したがって壁Dに到達するまでの時間は

$$t_d=\frac{2L}{{v_r}'}=\frac{2L}{ev_r}=\frac{2L}{e}\sqrt{\frac{M}{2(M+m)gh}} \qquad \text{（答）}$$

ケ

小球がBからDに到達するまでの時間は

$t_c+t_d=\left(1+\dfrac{2}{e}\right)L\sqrt{\dfrac{M}{2(M+m)gh}}$，したがってウの時間$t$に対して，

$\dfrac{t_c+t_d}{t}=\sqrt{\dfrac{M}{M+m}}$ 倍となる。 （答）

問１

（２）の系は初期状態では静止していて，水平方向の外力は存在しないので，重心は水平方向には移動しない。

問２

初期の台車の重心を座標の原点とする。すると初期の小球のx座標は，$x_s=-h$，したがって小球と台車が一体の系の重心のx座標は，$x_t=\dfrac{-mh}{M+m}$。

小球がDに到達したときの，台車の重心のx座標を${x_d}'$とすれば，小球のx座標${x_b}'={x_d}'-L$,

したがって重心のx座標$x_t'=x_d'-\dfrac{mL}{M+m}$，この座標が不変だから$x_t=x_t'$となり，

$$-\frac{mh}{M+m}=x_d'-\frac{mL}{M+m}，したがってx_d'=\frac{m(L-h)}{M+m} \qquad （答）$$

＜解説＞

受験生の物理知識と思考力を試す，良く工夫された問題である。

（１）では，台車が固定されているので難しいことはない。素直に速やかに解くようにしよう。（２）は難しい。この種の問題に未経験だと，苦労するだろう。小球が落下する際，ひもに張力が発生するので，台車を引っ張ることになる。台車が移動すれば，小球も移動することになる。そこで，台車に固定した座標系と台車の外の座標系の両方から考える必要がある。

エでは，台車の外の座標系から見た小球と台車の速度に対して，運動量保存の法則が成立して，エネルギー保存の法則と合わせて，両者の速度を求める。オでひもの張力を求めるには，力のつりあいを考えるので，円運動の遠心力を考える必要がある。台車に固定した座標系で小球は円運動するので，台車に固定した座標系での小球の速度により遠心力を求めることに注意する。

クでは衝突後の相対速度をはね返り係数を用いて算出する。結果として，壁Ｃと小球の衝突後の相対速度は，衝突前の相対速度にはね返り係数を乗じれば良いことになる。

問１では，小球と台車を一体とした系には，水平方向の外力は働いていないので，水平方向に加速度は発生しない。初期状態では静止しているわけだから，加速度が働かなければ，系の重心も静止したままである。このことを50文字以内で述べる。

問２は問１を前提として考える。難しく考えないこと。小球がDにあるときの系の重心が初期の重心と同じ位置であるための台車の位置を求める。重心といっても，この問題では重心のx座標だけを考えれば良い。重心の位置座標の公式は覚えておくこと。

物理問題　Ⅱ

（１）（１a）

イ

粒子Pの加速度をaとして，働く力はy方向に$F=ma=qE_0$で，初期状態で静止していたので，

時刻$t=\dfrac{T}{2}$でのy方向の速度は

$$v_y=\frac{qE_0t}{m}=\frac{qE_0T}{2m} \qquad ①（答）$$

ロ

時刻tでの粒子Pのy座標は，初期状態では原点にあって静止していたので

$$y=\frac{1}{2}at^2=\frac{qE_0t^2}{2m}，したがってt=\frac{T}{2}ではy=\frac{qE_0T^2}{8m} \qquad ②（答）$$

ハ

$\dfrac{T}{2}\leqq t\leqq T$のとき，運動方程式は$F=ma=-qE_0$,

$$v_y=\frac{-qE_0t'}{m}+v_{\frac{T}{2}}=\frac{-qE_0}{m}\left(t-\frac{T}{2}\right)+\frac{qE_0T}{2m}=\frac{-qE_0}{m}(t-T) \qquad ③（答）$$

ただし，ここで$t'=t-\dfrac{T}{2}$

問１

以下において，電場による加速度を$a=\dfrac{qE_0}{m}$として，$\dfrac{T}{2}\leqq t\leqq T$では，$E_y=-E_0$だから，

$$y=\frac{-at'^2}{2}+v_{\frac{T}{2}}t'+y_{\frac{T}{2}}=\frac{-a}{2}\left(t-\frac{T}{2}\right)^2+\frac{a}{2}T\left(t-\frac{T}{2}\right)+\frac{aT^2}{8}$$

$$=\frac{-a}{2}\left(t-\frac{T}{2}\right)\left\{\left(t-\frac{T}{2}\right)-T\right\}+\frac{aT^2}{8}$$

$$=\frac{-a}{2}\left(t-\frac{T}{2}\right)\left(t-\frac{3T}{2}\right)+\frac{aT^2}{8} \qquad ④$$

$T\leqq t\leqq\dfrac{3}{2}T$では，$E_y=E_0$だから，$t'=t-T$として，

$$v_y=at'+v_T=at'=a(t-T) \qquad ⑤$$

$$y=\frac{at'^2}{2}+v_Tt'+y_T=\frac{a}{2}(t-T)^2+\frac{aT^2}{4} \qquad ⑥$$

$\dfrac{3}{2}T\leqq t\leqq 2T$では，$E_y=-E_0$だから，$t'=t-\dfrac{3}{2}T$として，

$$v_y=-at'+v_{\frac{3}{2}T}=-at'+\frac{aT}{2}=-a\left(t-\frac{3T}{2}\right)+\frac{aT}{2}=-a(t-2T) \qquad ⑦$$

$$y=\frac{-at'^2}{2}+v_{\frac{3}{2}T}t'+y_{\frac{3}{2}T}=\frac{-a}{2}\left(t-\frac{3T}{2}\right)^2+\frac{aT}{2}\left(t-\frac{3T}{2}\right)+\frac{3aT^2}{8}$$

$$=\frac{-a}{2}\left(t-\frac{3T}{2}\right)\left(t-\frac{5T}{2}\right)+\frac{3aT^2}{8} \qquad ⑧$$

以上によって，$0\leqq t\leqq 2T$の範囲で粒子の速度①，③，⑤，⑦をグラフに描くと，図１のようになる。また粒子の座標②，④，⑥，⑧をグラフにすると，図２のようになる。

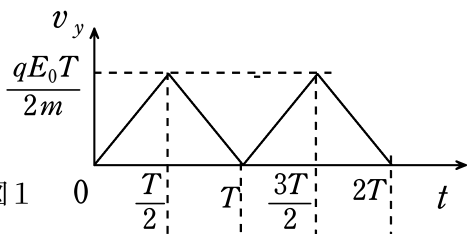

図１

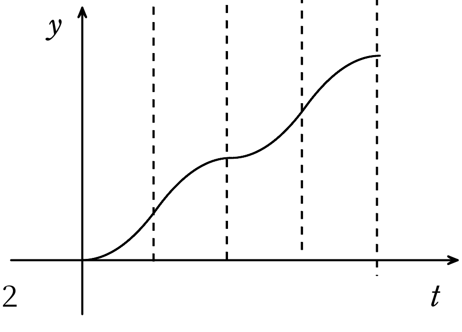

図２

（1ｂ）

ニ

粒子の初速をv_{y0}，初期位置をy_0とすると，

$$v_y=at+v_{y0},\quad y=\frac{at^2}{2}+v_{y0}t+y_0$$

$0\leqq t\leqq\frac{T}{2}$では，

$$v_y=at+v_{y0},\quad y=\frac{at^2}{2}+v_{y0}t+y_0=\frac{at^2}{2}+v_{y0}t$$

$t=\frac{T}{2}$では，$v_{y\frac{T}{2}}=\frac{aT}{2}+v_{y0}$，$y_{\frac{T}{2}}=\frac{aT^2}{8}+\frac{v_{y0}T}{2}$

$y_{\frac{T}{2}}=0$であるためには，$v_{y0}=\frac{-aT}{4}=\frac{-qE_0T}{4m}$　　（答）

$\frac{T}{2}<t\leqq T$では，

$$v_y=-at'+v_{y\frac{T}{2}},\quad y=\frac{-at'^2}{2}+v_{y\frac{T}{2}}t'+y_{\frac{T}{2}},\quad t'=t-\frac{T}{2}$$

$t=T$では，確かに，$v_{yT}=\frac{-aT}{2}+\frac{aT}{2}+v_{y0}=v_{y0}$となり，

また，$y_T=\frac{-a}{2}\left(\frac{T}{2}\right)^2+\frac{T}{2}\left(\frac{aT}{2}+v_{y0}\right)=\frac{aT^2}{8}+\frac{v_{y0}T}{2}=0$となる。

ホ

上で検討したように$\frac{T}{2}<t\leqq T$では，

$$v_y=-at'+v_{y\frac{T}{2}}=-a\left(t-\frac{T}{2}\right)+\frac{aT}{4}=-a\left(t-\frac{3T}{4}\right)=\frac{-qE_0}{m}\left(t-\frac{3}{4}T\right)$$　　（答）

問２

$0\leqq t\leqq\frac{T}{2}$では，

$$v_y=at+v_{y0}=at-\frac{aT}{4}\quad ⑨$$

$$y=\frac{at^2}{2}+v_{y0}t+y_0=\frac{at^2}{2}+v_{y0}t=\frac{at^2}{2}-\frac{aT}{4}t=\frac{at}{2}\left(t-\frac{T}{2}\right)\quad ⑩$$

$\frac{T}{2}<t\leqq T$では，$t'=t-\frac{T}{2}$

$$v_y=-at'+v_{y\frac{T}{2}}=-a\left(t-\frac{T}{2}\right)+\frac{aT}{4}=-at+\frac{3aT}{4}\quad ⑪$$

$$y=\frac{-at'^2}{2}+v_{y\frac{T}{2}}t'+y_{\frac{T}{2}}=\frac{-a}{2}\left(t-\frac{T}{2}\right)^2+\frac{aT}{4}\left(t-\frac{T}{2}\right)=\frac{-a}{2}\left(t-\frac{T}{2}\right)(t-T)\quad ⑫$$

$T<t\leqq\frac{3}{2}T$では，$t'=t-T$

$$v_y = at' + v_{yT} = a(t-T) - \frac{aT}{4} = at - \frac{5aT}{4} \qquad ⑬$$

$$y = \frac{at'^2}{2} + v_{yT}t' + y_T = \frac{a}{2}(t-T)^2 - \frac{aT}{4}(t-T) = \frac{a}{2}(t-T)\left(t - \frac{3T}{2}\right) \qquad ⑭$$

$\frac{3T}{2} < t \leqq 2T$では，$t' = t - \frac{3T}{2}$

$$v_y = -at' + v_{y\frac{3T}{2}} = -a\left(t - \frac{3T}{2}\right) + \frac{aT}{4} = -at + \frac{7aT}{4} \qquad ⑮$$

$$y = \frac{-at'^2}{2} + v_{y\frac{3T}{2}}t' + y_{\frac{3T}{2}} = \frac{-a}{2}\left(t - \frac{3T}{2}\right)^2 + \frac{aT}{4}\left(t - \frac{3T}{2}\right) = -\frac{a}{2}\left(t - \frac{3T}{2}\right)(t-2T)$$

⑯

以上の結果，粒子の速度v_yについて，⑨，⑪，⑬，⑮をグラフにすると図３のようになる。粒子の座標yについて，⑩，⑫，⑭，⑯をグラフにすると図４のようになる。

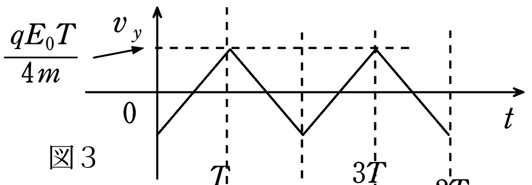

図３

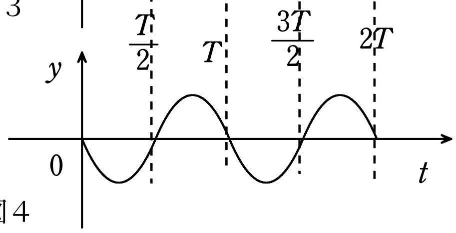

図４

（２）

へ

$t = \frac{T}{2}$における粒子の速度$v_y = \frac{qE_0T}{4m}$と磁場B_0の方向は直交しているので，粒子に働くローレンツ力は　$qv_yB_0 = \frac{q^2E_0B_0T}{4m}$　　（答）

ト

ローレンツ力が円運動の向心力となる。すなわち，円運動の半径をrとすれば，

$$\frac{mv_{y\frac{T}{2}}^{\ 2}}{r} = qv_{y\frac{T}{2}}B_0，\text{したがって，} r = \frac{mv_{y\frac{T}{2}}}{qB_0} = \frac{maT}{4qB_0} = \frac{E_0T}{4B_0}$$

したがって，円運動の中心のx座標は$\frac{E_0T}{4B_0}$　　（答）

チ

粒子の速度は$v_{y\frac{T}{2}} = \frac{aT}{4}$，この速度で$\frac{T}{2}$の時間だけ円運動するから，軌跡の長さは

$$\frac{aT^2}{8} = \frac{qE_0T^2}{8m} \qquad \text{（答）}$$

リ

軌跡の長さが円の半周に相当するので，$\dfrac{qE_0T^2}{8m}=\pi r=\dfrac{\pi E_0 T}{4B_0}$，したがって磁束密度は

$B_0=\dfrac{2\pi m}{qT}$　　（答）

ヌ

粒子が半円の運動をして，$y=0$となるときのx座標は$2r$だから，

$\dfrac{E_0T}{2B_0}=\dfrac{qE_0T^2}{4\pi m}$　　（答）

問３

$0\leqq t\leqq\dfrac{T}{2}$

負の初速によりyの負方向に移動した後，電場による正方向への加速によって原点へ戻る。

$\dfrac{T}{2}<t\leqq T$

粒子が原点に戻った時（$t=\dfrac{T}{2}$）磁場により，$v_{y\frac{T}{2}}$の速度で円運動をし，$t=T$でx軸に至る。

$T<t\leqq\dfrac{3}{2}T$　　$0\leqq t\leqq\dfrac{T}{2}$と同じ運動

$\dfrac{3}{2}T<t\leqq T$　　$\dfrac{T}{2}<t\leqq T$と同じ運動

以上をまとめると，図５のグラフとなる。$t=\dfrac{3}{4}T$のときのy座標は円運動の半径の位置である。

$t=T$におけるx座標は円運動の直径の位置である。

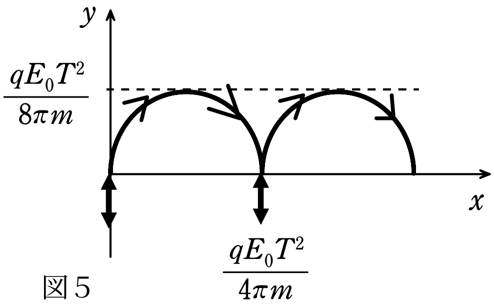

図５

＜解説＞

難問ではないが，骨のおれる問題だ。長文の課題を的確に読み込むこと，時間帯に分けて多くの運動方程式を立て解くこと，多くの計算を間違いなく実行すること，など限られた時間の中で，熱くなり過ぎず，タフに処理していかなければならない。物理的知識，思考力に加え，入試というプレッシャーのかかる環境の中で，タフな知能活動が試される。

（１a）電場による加速度が働く条件下で，粒子の運動方程式を立てれば良い。$\dfrac{T}{2}$ごとに交代する電場に対応して運動方程式を立てる。問１の速度のグラフ図１を積分すると，図２の座標のグラフと

なる。速度のグラフの積分はグラフとx軸が囲む面積になるから，座標はどんどん原点から正の方向へ離れていく。速度のグラフの積分が座標のグラフであることに気がつけば，座標の式を求めることなく，座標のグラフの概要を描くことができる。時間の節約になるから，このようにする方が良かろう。

（１ｂ）粒子が原点から離れないようにするには，速度のグラフの積分が0になることだと気がつくこと。すると，図１のグラフの真ん中を$v_y=0$の線が通るようにすればよい。つまり，図１のグラフを振幅の半分だけ下方にずらすような，初速を粒子に与えればよいことが分る。座標のグラフは速度のグラフを積分するので，方向の異なる放物線の繰り返しになるので，概要を描くことができる。

（２）磁場が加わると，等速運動している荷電粒子にはローレンツ力が向心力として働くという基礎知識が前提である。円運動をするので，粒子の速度の方向は変化するが，値は変化しないことを念頭におくこと。

物理問題III

問１

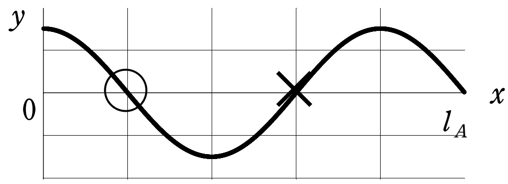

図６

あ：$\lambda_A=\dfrac{4}{5}l_A$　　（答）

上の図６から明らかである。

い：$V_A=f\lambda_A=\dfrac{4fl_A}{5}$　　（答）

波長×振動数＝音速である。

う：最も低い振動数は$\dfrac{f}{5}$　　（答）

音速は一定だから，波長が一番長いときに，振動数が最も低くなる。最も波長の長い共鳴音波は，$\lambda_A=4l_A$だから，波長は$\boxed{\text{あ}}$の5倍になるので，振動数は$\dfrac{1}{5}$になる。

え：$x+y$　　（答）

位置xにある空気の変位がyであるから，空気の位置は$x+y$になる。

お：$x+\Delta x+y+\Delta y$　　（答）

同様に，位置$x+\Delta x$にある空気の変位が$y+\Delta y$であるから，空気の位置は$x+\Delta x+y+\Delta y$になる。

か：$\dfrac{1}{1+\dfrac{\Delta y}{\Delta x}}$　　（答）

密度は体積に逆比例するので，領域Ｉの体積$\propto\Delta x$，領域IIの体積$\propto\Delta x+\Delta y$だから，

$$\frac{\text{領域IIの空気の密度}}{\text{領域Iの空気の密度}}=\frac{\Delta x}{\Delta x+\Delta y}$$

き：③傾きが最大　（答）

$\boxed{\text{か}}$から，傾き最大のxが密度最小の位置となる。

問２

図６に示す。

く：$\lambda_B=\dfrac{4l_B}{7}$　（答）

共鳴音波の腹が4箇所だから，$\lambda_B+\dfrac{3}{4}\lambda_B=l_B$である。

け：$T_B=\dfrac{l_BT_A}{l_A}$　（答）

ボイルーシャルルの法則により，$\dfrac{P_AV_A}{T_A}=\dfrac{P_BV_B}{T_B}$。ここでは，$P_A=P_B$=外気圧，

$V_A=Sl_A$，$V_B=Sl_B$，Sは容器の断面積，である。

こ：$\dfrac{l_B}{l_A}=1.4$　（答）

$\boxed{\text{あ}}$と$\boxed{\text{く}}$より，$\dfrac{4}{5}l_A=\dfrac{4}{7}l_B$。

さ：$T_B=1.4T_A$　（答）

し：①（1.4より大きくなる）　（答）

温度が高くなると音速は大きくなるから，$\lambda_B>\lambda_A$だから，$\dfrac{4}{7}l_B>\dfrac{4}{5}l_A$となり，$\dfrac{l_B}{l_A}>1.4$

問３

$\lambda_Af=V_A=V_0+bT$だから，$\dfrac{4l_Af}{5}=V_0+bT_A$　①

$\lambda_Bf=V_B=V_0+bT_B$だから，$\dfrac{4l_Bf}{7}=V_0+bT_B$　②

①，②および$\boxed{\text{け}}$から$b=\dfrac{4f(5l_B-7l_A)}{35(T_B-T_A)}=\dfrac{4fl_A(5l_B-7l_A)}{35(l_B-l_A)T_A}$

$$V_0=\frac{4f(7l_AT_B-5l_BT_A)}{35(T_B-T_A)}=\frac{8fl_Al_B}{35(l_B-l_A)}$$

＜解説＞

音波の定常波の問題である。全体として，紛れの少ない素直な問題で，問題文に従って思考を進めて行けば良い。ただし，問題の図１で粉が集まっている箇所が定常波の腹か節か、いずれかの可能性があるという表現に惑わされると，存外難しくなる。粉が集まるのは，節だと私は考える。だが図1では，腹に集まっている。固定端は節になるはずで，スピーカーのついている振動板は腹になる。粉が

集まるのはなぜかなどと，考え込むと時間がどんどん過ぎていく。

粉が集まった箇所をとりあえず腹と考えて思考を進める。そうすれば，空欄問題は，文章に沿って考えていけば，難しいことはない。$\boxed{え}$～$\boxed{か}$が音波の疎密を議論する問題である。落着いて思考を進めれば，誤ることはなかろう。体積$S\Delta x$の領域が$S(\Delta x+\Delta y)$の領域になるから，疎密の関係が求まる。

温度が変わった場合の問題が$\boxed{く}$～$\boxed{し}$である。外気圧が一定で，固定端は可動なので，容器内圧力は外気圧と同じであることがポイント。その上で，理想気体に対するボイル･シャルルの法則を適用すればよい。問３も紛れがない。使う文字（物理量）を間違えずにていねいに計算すればよい。

さて，粉が集まる箇所は腹か節か。腹は空気の変位が最大になる位置で，x軸の正方向から負方向まで変化する。したがって，腹の位置にあった砂は空気の変位に応じて，正負方向に広がって行くだろう。つまり砂が溜まることはなかろう。

一方，節の位置の空気の変位はゼロ，すなわち移動しない。そして，その両側の位置の空気の変位の向きは逆方向である。つまり，変位ゼロの節の位置を中心に，空気の密度が疎密を繰り返す。密度が高くなるときは，砂が節に向かって集まり，密度が低くなるときは，砂は節から両側に向かって広がる。この繰り返しで，集まる砂が多いか，広がる砂が多いか？節から離れるに従い，変位は大きいから，空気が密になるとき節に集まった砂は，疎になったとき，砂が集まったところほど変位は小さいから，砂は集まるほどには広がらない。結果として，砂はどんどん節に集まるようになるだろう。

とするなら，問題の図１の砂の位置をどう考えれば良いのだろう。出題者のミスなのか？問題文では，砂の集まる位置は腹の可能性と節の可能性の両方あると書いてあるから良しというべきか。いずれにしても，図１の砂の位置には，砂は集まらない。だから、受験生は困惑する。それを乗り越えて，解答するタフさが必要だ。

＜総評＞

問題Ⅰ

台車に固定した座標系と台車と小球の外側の座標系という二つの座標系によって，現象を考察する必要がある。力学の基本概念がほとんど盛り込まれた問題で，完答することはなかなか大変である。しかし，問題は誘導的に構成されているから，諦めずに食らいついてゆけば，合格点はとれるだろう。全体としての難易度はＡ＋。

問題Ⅱ

電磁場における荷電粒子の運動の問題。運動過程の場合の数に応じて，運動方程式を立てねばならないので，時間的にしんどいが，直感的な理解はしやすい。全体としての難易度はA。

問題Ⅲ

解説にも書いた通り，砂の集まっている図に惑わされなければ，気柱の中の音波の定常波の標準レベルの問題である。難易度Ｂ。

100825