2014（H26）年度　東京工業大学　入学試験　物理解説

$\boxed{1}$ (50点)　　　　120分

＜解答＞

［A］

(a)

点Oを原点 (0, 0, 0)とする。

円軌道の最低点$y=-l$における位置エネルギーを0とする。

P点のy座標は $-\dfrac{l}{2}$，したがって位置エネルギーは $mg\left\{\dfrac{-l}{2}-(-l)\right\}$

角度θの点のy座標は $-l\cos\theta$，したがって位置エネルギーは$mg\{-l\cos\theta-(-l)\}$

P点と角度θの点の間のエネルギー保存の法則によれば,

$$mg\left\{\frac{-l}{2}-(-l)\right\}=mg\{-l\cos\theta-(-l)\}+\frac{mv^2}{2}$$

$$v=\sqrt{2gl\left(\cos\theta-\frac{1}{2}\right)}$$ （答）

$\theta=0$で最大値$\cos\theta=1$であるから，vの最大値$v_0=\sqrt{gl}$　（答）

［B］

(b)

電場Eによって，小球にはx方向にqEの力が作用する。

一方，重力によって，y方向にmgの力が作用している。

したがって，両者の合力の方向α（y方向との角）は

$\tan\alpha=\dfrac{qE}{mg}$で，糸がなければ小球は$\alpha$の方向に移動する。

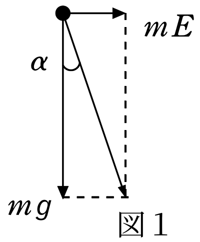

図1

小球は円軌道を描いて，往復運動をする。その中心位置の角度は $\dfrac{\frac{\pi}{3}+\left(\frac{-\pi}{6}\right)}{2}=\dfrac{\pi}{12}$

この方向がαである。なぜなら，この位置では糸の方向にのみ力が働くからである。

したがって，$E=\dfrac{mg}{q}\tan\dfrac{\pi}{12}$，$\tan\dfrac{\pi}{12}=2-\sqrt{3}$，$\therefore\ E=\dfrac{(2-\sqrt{3})mg}{q}$　（答）

［C］

(c)

磁場による力は小球の移動方向に垂直に働くので，速さvには影響しない。

(d)

円運動の方程式は，向心力すなわち$F_C=T-mg\cos\theta-qvB$

したがって，向心力は$T-mg\cos\theta-qvB$　（答）

(e)

小球の運動方程式は $F_C=T-mg\cos\theta+qvB$，向心力は $F_C=\dfrac{mv^2}{l}$だから,

$$T=\frac{mv^2}{l}+mg\cos\theta-qvB\quad ①$$

角度θの位置における位置エネルギーは$mg(l-l\cos\theta)$，運動エネルギーは$\dfrac{1}{2}mv^2$

エネルギー保存の法則により，$\dfrac{mgl}{2}=mg(l-l\cos\theta)+\dfrac{1}{2}mv^2$

したがって$\cos\theta=\dfrac{v^2}{2gl}+\dfrac{1}{2}$　②

②を①に代入して，$T=\dfrac{3mv^2}{2l}-qvB+\dfrac{mg}{2}$　（答）

(f)

(e)において，$T\leqq 0$となると糸がたるむ。したがって$\dfrac{3mv^2}{2l}-qvB+\dfrac{mg}{2}\leqq 0$

$B\geqq\dfrac{1}{2qv}\left(\dfrac{3mv^2}{l}+mg\right)$だから，

$$B_1=\frac{1}{2qv}\left(\frac{3mv^2}{l}+mg\right)=\frac{m}{2q}\left(\frac{3v}{l}+\frac{g}{v}\right)=\frac{m}{2q}\left\{\left(\sqrt{\frac{3v}{l}}-\sqrt{\frac{g}{v}}\right)^2+2\sqrt{\frac{3vg}{l}}\right\}$$

$\sqrt{\dfrac{3v}{l}}=\sqrt{\dfrac{g}{v}}$ すなわち，$v=\sqrt{\dfrac{gl}{3}}$ のとき，B_1は最小値$\dfrac{m}{q}\sqrt{\dfrac{3g}{l}}$ をとる。

$v=\sqrt{\dfrac{gl}{3}}$ とすると，②から$\cos\theta=\dfrac{v^2}{2gl}+\dfrac{1}{2}=\dfrac{1}{6}+\dfrac{1}{2}=\dfrac{2}{3}$

したがって，$\cos(\pm 30^\circ)=\dfrac{1}{2}\leqq\cos\theta\leqq 1=\cos 0^\circ$であるから，$v=\sqrt{\dfrac{gl}{3}}$ になりえる。

以上から，小球が円軌道から離れる状況が生じる磁束密度の大きさは

$\dfrac{m}{q}\sqrt{\dfrac{3g}{l}}$　（答）

(g)

$B=\dfrac{2}{\sqrt{3}}B_1=\dfrac{2m}{q}\sqrt{\dfrac{g}{l}}$ のとき，$T\leqq 0$になる。

$$T=\frac{3mv^2}{2l}-qvB+\frac{mg}{2}=\frac{3mv^2}{2l}-2mv\sqrt{\frac{g}{l}}+\frac{mg}{2}\leqq 0$$

したがって，$3v^2-4v\sqrt{gl}+gl=(3v-\sqrt{gl})(v-\sqrt{gl})\leqq 0$，$\therefore\ \dfrac{\sqrt{gl}}{3}\leqq v\leqq\sqrt{gl}$

小球はQを$v=0$で運動し始めるから，$v=\dfrac{\sqrt{gl}}{3}$で円軌道から離れる。

このとき②から，$\cos\phi=\dfrac{1}{18}+\dfrac{1}{2}=\dfrac{5}{9}$　（答）

＜解説＞

［A］

力学と電磁気学を組み合わせた問題である。電場や磁場が電荷を帯びた物体に対して作用する力を理解していなければならない。

(a)

重力の作用の下での振り子の現象は頻出問題である。ここではエネルギー保存の法則を

用いることが良いのは読者もよく知っていることだろう。

[B]

(b)

小球は電荷$q\,(>0)$をもつので，x方向にqEの力を電場から受ける。重力に加え，電場による力が作用する小球の，往復運動の問題となる。重力のみであれば，小球は鉛直真下に引っ張られる。電場が加わることにより，引っ張られる方向が重力と電場からの力の合力の方向に引っ張られる。したがって，振り子の往復運動の中心が重力の方向から合力の方向に変化したと考えることができる。

この問題にはいろいろな解法がある。上記解答には標準的な考え方を記載した。

図１を参照する。小球は円軌道を描いて，往復運動をする。

その中心位置の角度は $\dfrac{\dfrac{\pi}{3}+\left(\dfrac{-\pi}{6}\right)}{2}=\dfrac{\pi}{12}$

中心位置において，円軌道の接線方向に働く力は0だから，

$qE\cos\dfrac{\pi}{12}=mg\sin\dfrac{\pi}{12}$，したがって，$E=\dfrac{mg}{q}\tan\dfrac{\pi}{12}$

$\dfrac{\pi}{12}=\alpha$とおけば，$\tan 2\alpha=\dfrac{2\tan\alpha}{1-\tan^2\alpha}$だから，$\tan 2\alpha=\tan\dfrac{\pi}{6}=\dfrac{1}{\sqrt{3}}$として

$\tan\alpha=\tan\dfrac{\pi}{12}=2-\sqrt{3}$，したがって $E=\dfrac{(2-\sqrt{3})mg}{q}$　（答）

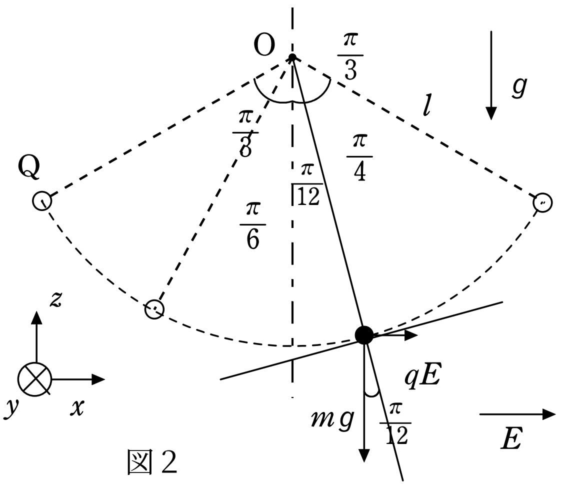

図２

エネルギー保存の法則を用いる別解を示そう。

P点でもつエネルギーは

重力による位置エネルギー $\dfrac{mgl}{2}$

電場による位置エネルギーは，P点を基準として0とする。

角度$\theta=-\dfrac{\pi}{6}$の位置において

重力位置エネルギーは$\left(1-\dfrac{\sqrt{3}}{2}\right)mgl$

電場による位置エネルギーは$\dfrac{1+\sqrt{3}}{2}qEl$

速度は0だから，運動エネルギーは0

エネルギー保存の法則から，$\dfrac{mgl}{2}=\left(1-\dfrac{\sqrt{3}}{2}\right)mgl+\dfrac{1+\sqrt{3}}{2}qEl$

したがって，$E=\dfrac{(2-\sqrt{3})mg}{q}$　（答）

[C]

重力に加え，磁場によるローレンツ力の作用の下での小球の運動の問題である。

(c)

磁場中を移動する荷電粒子はローレンツ力を受ける。力の向きは$\vec{v}$と$\vec{B}$に垂直で，$\vec{v}$から$\vec{B}$へ右ねじを回したときの進む方向である。

(d)

円運動の方程式を書き下せば良い。向心力は回転中心に向かう力で，この場合，糸の方向である。糸の方向に働く力は，糸の張力，重力の糸方向成分，ローレンツ力である。

(e)

Tの表式にθが含まれてはならない。vは使っても良いのだから，θを消去するために，エネルギー保存の法則を用いる。小球が運動する方向が$\mathrm{P}\to\mathrm{Q}$と$\mathrm{Q}\to\mathrm{P}$とでは，ローレンツ力の方向が反対になることに注意する。$\mathrm{P}\to\mathrm{Q}$へ移動する場合は，糸に沿ってOとは反対方向に向く。$\mathrm{Q}\to\mathrm{P}$では，糸に沿ってOに向く。

(f)

ローレンツ力が糸に沿ってOに向くので，磁束密度が大きくなると，ある位置で糸がたるむ。糸がたるむということは，張力Tが0以下になるということである。そのようなことの起きる最小の磁束密度を求める問題である。

(g)

与えられた磁束密度で張力が0以下になる角度を求める。小球の速さと位置θの関係は②によって与えられるから，小球の速さの条件が解れば良い。

$\boxed{2}$(50点)

＜解答＞

[A]

(a)

コンデンサーの電気容量は$C_1=\dfrac{\varepsilon S}{L_1}$

ボイルの法則により$P_0L_0S=P_1L_1S$，$\therefore L_1=\dfrac{P_0L_0}{P_1}$

したがって，$C_1=\dfrac{\varepsilon S}{L_1}=\dfrac{\varepsilon P_1S}{L_0P_0}$　（答）

(b)

コンデンサーの容量は $C_0=\dfrac{\varepsilon S}{L_0}$，したがって蓄えられる電荷は $Q_0=C_0V_0=\dfrac{\varepsilon SV_0}{L_0}$

静電エネルギーは $\dfrac{1}{2}Q_0V_0=\dfrac{\varepsilon S{V_0}^2}{2L_0}$ （答）

(c)

極板Bに働く静電気力F_Eによる仕事は，$W_E=-F_E(L_2-L_0)$ ①

コンデンサーの容量は $C_2=\dfrac{\varepsilon S}{L_2}$

電荷は変化しないので，$C_2V_2=Q_2=Q_0=\dfrac{\varepsilon SV_0}{L_0}$，$V_2=\dfrac{\varepsilon SV_0}{C_2L_0}=\dfrac{L_2V_0}{L_0}$

静電エネルギーは$\dfrac{1}{2}C_2{V_2}^2=\dfrac{1}{2}\dfrac{\varepsilon S}{L_2}\left(\dfrac{L_2V_0}{L_0}\right)^2=\dfrac{\varepsilon L_2S{V_0}^2}{2{L_0}^2}$

初めの静電エネルギーからの変化は$\dfrac{\varepsilon L_2S{V_0}^2}{2{L_0}^2}-\dfrac{\varepsilon S{V_0}^2}{2L_0}=\dfrac{\varepsilon S}{2}\left(\dfrac{V_0}{L_0}\right)^2(L_2-L_0)$ ② （答）

①と②が等しいことから，$-F_E(L_2-L_0)=\dfrac{\varepsilon S}{2}\left(\dfrac{V_0}{L_0}\right)^2(L_2-L_0)$

$\therefore\ F_E=-\dfrac{\varepsilon S}{2}\left(\dfrac{V_0}{L_0}\right)^2$ （答）

(d)

L_2になったときの空間１の気体の圧力をP_2とすれば,

ボイルの法則により$P_0L_0S=P_2L_2S$，したがって$L_2=\dfrac{P_0L_0}{P_2}$

極板Bが静止しているので，Bの両面に働く力はつりあっているから,

$P_2S=P_0S-F_E=P_0S+\dfrac{\varepsilon S}{2}\left(\dfrac{V_0}{L_0}\right)^2$，したがって $P_2=P_0+\dfrac{\varepsilon}{2}\left(\dfrac{V_0}{L_0}\right)^2$

$\therefore\ L_2=\dfrac{P_0L_0}{P_2}=\dfrac{L_0}{1+\dfrac{\varepsilon}{2P_0}\left(\dfrac{V_0}{L_0}\right)^2}$ （答）

［B］

(e)

コンデンサーの左端の電位をV_A，右端の電位をV_Bとすれば,

$V_A=V_B+V_1\sin\omega t$のときに抵抗には，それぞれ電流I_1，I_2が流れる。

検流計に流れる電流は0だから,

微小時間$\varDelta t$の間にそれぞれのコンデンサーに溜まる電荷は

$I_1\varDelta t=C_1\varDelta(V_A-V_B)=C_1V_1\varDelta(\sin\omega t)$，$\therefore\ I_1=\omega C_1V_1\cos\omega t$ （答）

$I_2\varDelta t=C_2\varDelta(V_A-V_B)=C_2V_1\varDelta(\sin\omega t)$，$\therefore\ I_2=\omega C_2V_1\cos\omega t$ （答）

ここで$\varDelta(V_A-V_B)$はコンデンサー左端と右端の間の微小な電位変化量，$\varDelta(\sin\omega t)$は微小な$\sin\omega t$の変化量

(f)

検流計に電流が流れないので，両抵抗の電圧降下は同じだから，$I_1R_1=I_2R_2$

(e)の結果を適用すると，$R_1\omega C_1V_1\cos\omega t=R_2\omega C_2V_1\cos\omega t$，$\therefore C_2=\dfrac{R_1}{R_2}C_1$　（答）

[C]

(g)

検流計の電流が0なので(f)により，極板ABのコンデンサーの容量 $C_{AB}=\dfrac{R_2}{R_1}C_3$

一方 $C_{AB}=\dfrac{\varepsilon S}{L_{AB}}$，ここで$L_{AB}$は極板AB間の距離，$\therefore L_{AB}=\dfrac{\varepsilon S}{C_{AB}}=\dfrac{\varepsilon SR_1}{C_3R_2}$

しかるにボイルの法則により，$P_0L_0=P_2L_{AB}$，$\therefore P_2=\dfrac{P_0L_0}{L_{AB}}=\dfrac{R_2}{R_1}\dfrac{L_0}{\varepsilon S}C_3P_0$　（答）

＜解説＞

気体の状態変化とコンデンサーを含む電気回路を組み合わせた問題である。

[A]

(a)

空間２の気体の圧力がP_1になったということは，空間１の気体の圧力もP_1になったということである。なぜなら，極板Bの両側の圧力が等しいので，静止したからである。

(b)

コンデンサーの静電エネルギーの公式と導出方法を理解していなければならない。

(c)

電荷は変化しないので，コンデンサーの容量が減少したぶん，両端の電圧は増加する。静電エネルギーは容量と電圧の２乗に比例するから，静電エネルギーは増加する。そのエネルギーの増加は，極板間に働く静電気力（ここでは引力）に抗してした仕事に等しい。

(d)

(c)の結果を利用する。極板Bの左側から右側へ空間１の気体の圧力，右から左へ空間２の気体の圧力と静電気力（この場合は極板間の引力）が働く。これらがつりあっている。

[B]

(e)

検流計に電流が流れないということは，両コンデンサーの左端の電位が等しいということである。また両抵抗による電圧降下が等しいということでもある。

交流電源による回路動作では，電位も電流も時間的に変化している。そこで微小時間Δtでは変化しないとして，オームの法則やコンデンサーの充電を扱うと良い。

また，コンデンサーの両端の電位差が$V_1\sin\omega t$のとき，電流 $I_1=C_1\omega V_1\cos\omega t$となることは，教科書に記載されている。

(f)

(e)の結果と，両抵抗による電圧降下が等しいということを利用する。

[C]

(g)

(f)の結果を利用することにより，極板AB間の容量を求める。すると，AB間の距離が求まる。一方，ボイルの法則により，距離ABと圧力の関係が求まるので，圧力を求めることができる。

$\boxed{3}$ (50点)

＜解答＞

(a)

波長λ_0とすれば $v=f_0\lambda_0$，$f_0=\dfrac{v}{\lambda_0}$。音源からの音と弦が共鳴したので，弦の左端と右端が定常波の節になっている。したがって $L=\dfrac{\lambda_0}{2}$，$\therefore f_0=\dfrac{v}{2L}$ （答）

(b)

弦の左端，右端の中点に節ができるので $L=\lambda_1$，$\therefore f_1=\dfrac{v}{L}$ （答）

腹の位置は $\dfrac{L}{4}$，$\dfrac{3}{4}L$，節の位置は $\dfrac{1}{2}L$ （答）

(c)

弦の張力S_0のとき，$v_0=c\sqrt{S_0}$，S_1のとき，$v_1=c\sqrt{S_1}$，cは比例定数

弦と音源の振動数が一致するときの振動数をf_sとする。

$$f_0=\frac{v_0}{2L}=\frac{c\sqrt{S_0}}{2L},\quad f_1=\frac{v_1}{2L}=\frac{c\sqrt{S_1}}{2L},\quad f_s=\frac{c\sqrt{S}}{2L}$$

$f_s-f_0=2$，$f_1-f_s=1$ だから

$$\frac{c\sqrt{S}}{2L}=2+\frac{c\sqrt{S_0}}{2L},\quad \frac{c\sqrt{S}}{2L}=\frac{c\sqrt{S_1}}{2L}-1,\quad \therefore S=\frac{(\sqrt{S_0}+2\sqrt{S_1})^2}{9}$$ （答）

[B]

(d)

1 $\dfrac{2\pi fx}{v}$　2 $2\pi ft$　3 $\dfrac{(2k+1)v}{4f}$　4 $\dfrac{lv}{2L}$

[C]

(e)

5 $\dfrac{y_{n+1}-y_n}{x_{n+1}-x_n}$　6 $\dfrac{y_{n+1}-y_n}{b}S$　7 $\dfrac{S}{b}$　8 $\dfrac{2\pi fnb}{v}$　9 $(2\pi f)^2$

10 $\dfrac{2\pi fb}{v}$　11 $\sqrt{\dfrac{bS}{m}}$

＜解説＞

(a)

波の速さは一定だから，最も小さい振動数の定常波は，図１のように，弦の左端と右端

が節で，腹が１つ弦の中点にある場合である。

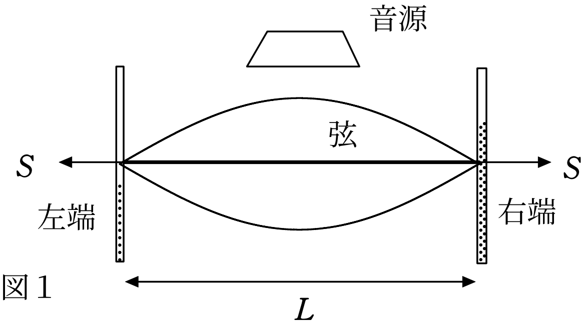

図１

(b)

次に小さい振動数の定常波は，図２のように，弦の中点に節がある場合である。
弦の長さLと波長が等しいことがわかる。

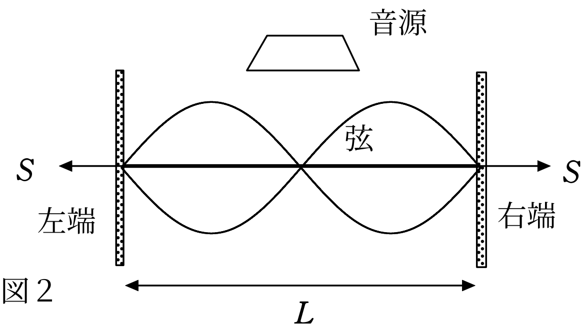

図２

(c)

２つの音の振動数の差が１秒あたりのうなりの回数となることは，理解していなければならいない。

(d)

定常波は左向きと右向きの進行波の重なりによって形成されることは理解していなければならない。

$A\sin\left\{2\pi f\left(t+\dfrac{x}{v}\right)\right\}$　①

$-A\sin\left\{2\pi f\left(t-\dfrac{x}{v}\right)\right\}$　②

なぜ①が左向きに進行する波であるのか。時刻tが増加するにつれ，$t+\dfrac{x}{v}=$一定となるxは減少する。すなわち波の変位①が一定となるxはtの増加とともに減少していく。
すなわち，波の同じ変位は左へ移動する。すなわち波は左へ進む。

一方，時刻tが増加するにつれ，$t-\dfrac{x}{v}=$一定となるxは増加する。変位②が一定となるxはtの増加とともに増加する。すなわち波は右へ進む。

$$y=y_1+y_2=A\sin\left\{2\pi f\left(t+\frac{x}{v}\right)\right\}-A\sin\left\{2\pi f\left(t-\frac{x}{v}\right)\right\}$$

$$=2A\sin\left(\frac{2\pi fx}{v}\right)\cos(2\pi ft) \quad ③$$

したがって，$\boxed{1}$ $\dfrac{2\pi fx}{v}$　$\boxed{2}$ $2\pi ft$

最大値$2A$をとる腹は $\sin\left(\dfrac{2\pi fx}{v}\right)=\pm1$ となる位置だから $\dfrac{2\pi fx}{v}=\dfrac{2k+1}{2}\pi$となり，

$x=\boxed{3}=\dfrac{(2k+1)v}{4f}$

$x=L$で節ということは，$\sin\left(\dfrac{2\pi fL}{v}\right)=0$だから，$\dfrac{2\pi fL}{v}=l\pi$，$\therefore f=\boxed{4}=\dfrac{lv}{2L}$

(e)

$n+1$番目とn番目の質点のx方向の距離は$x_{n+1}-x_n$，y方向の距離は$y_{n+1}-y_n$だから，

両者を結ぶひもが水平方向となす角θについて，$\tan\theta=\boxed{5}=\dfrac{y_{n+1}-y_n}{x_{n+1}-x_n}$

$S_y \fallingdotseq \boxed{6}=S\tan\theta=\dfrac{y_{n+1}-y_n}{x_{n+1}-x_n}S=\dfrac{y_{n+1}-y_n}{b}S$，したがって$\boxed{6}=\dfrac{y_{n+1}-y_n}{b}S$

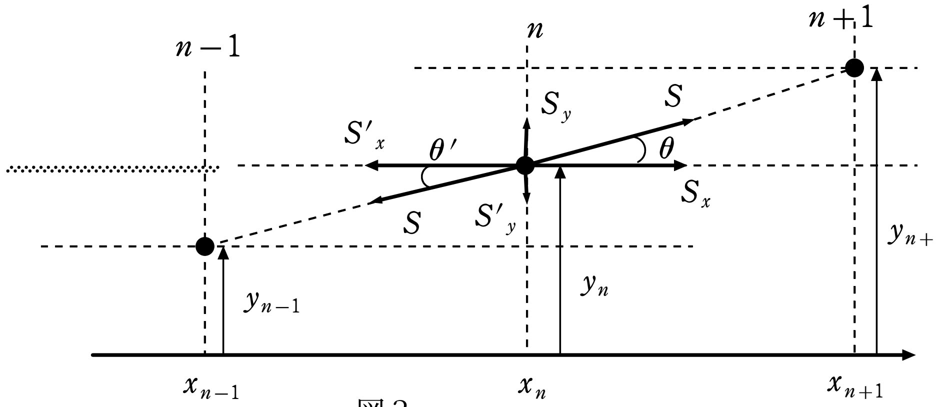

図３

図３を参照する。

左のひもから受ける力の垂直成分 $S_y' \fallingdotseq -S\tan\theta'=-\dfrac{y_n-y_{n-1}}{b}S$ となるから，

左右のひもから質点が受ける合力の垂直成分は，

$$F_n=S_y+S_y'=\frac{y_{n+1}-y_n}{b}S-\frac{y_n-y_{n-1}}{b}S \fallingdotseq \boxed{7}\times(y_{n+1}-2y_n+y_{n-1})$$

したがって，$\boxed{7}=\dfrac{S}{b}$

式③において，$x=nb$とおくと，$y_n=2A\sin\left(\dfrac{2\pi fnb}{v}\right)\cos(2\pi ft)$　④

したがって，$\boxed{8}=\dfrac{2\pi fnb}{v}$

加速度は変位の2回微分だから，式④を2回微分すると

$$a_n=\frac{d^2y_n}{dt^2}=-(2\pi f)^2 2A\sin\left(\frac{2\pi fnb}{v}\right)\cos(2\pi ft)=-(2\pi f)^2\times y_n \quad ⑤$$

したがって，$\boxed{9}=(2\pi f)^2$

$$y_{n+1}-2y_n+y_{n-1}=2A\sin\left\{\frac{2\pi fb(n+1)}{v}\right\}\cos(2\pi ft)-4A\sin\left(\frac{2\pi fnb}{v}\right)\cos(2\pi ft)$$
$$+2A\sin\left\{\frac{2\pi fb(n-1)}{v}\right\}\cos(2\pi ft)$$

$\sin\left\{\dfrac{2\pi fb(n+1)}{v}\right\}+\sin\left\{\dfrac{2\pi fb(n-1)}{v}\right\}=2\sin\left(\dfrac{2\pi fnb}{v}\right)\cos\left(\dfrac{2\pi fb}{v}\right)$だから，

$$y_{n+1}-2y_n+y_{n-1}$$
$$=4A\sin\left(\frac{2\pi fnb}{v}\right)\cos\left(\frac{2\pi fb}{v}\right)\cos(2\pi ft)-4A\sin\left(\frac{2\pi fnb}{v}\right)\cos(2\pi ft)$$
$$=2\left\{\cos\left(\frac{2\pi fb}{v}\right)-1\right\}\times 2A\sin\left(\frac{2\pi fnb}{v}\right)\cos(2\pi ft)$$

したがって，$F_n \fallingdotseq \dfrac{S}{b}\times(y_{n+1}-2y_n+y_{n-1})=\dfrac{S}{b}\times 2\left\{\cos\left(\dfrac{2\pi fb}{v}\right)-1\right\}\times y_n$　⑥

したがって，$\boxed{10}=\dfrac{2\pi fb}{v}$

式⑤，式⑥をn番目の質点に関する運動方程式 $ma_n=F_n$に代入して，

$$ma_n=-m(2\pi f)^2\times y_n=\frac{S}{b}\times 2\left\{\cos\left(\frac{2\pi fb}{v}\right)-1\right\}\times y_n$$

$$m(2\pi f)^2=-\frac{S}{b}\times 2\left\{\cos\left(\frac{2\pi fb}{v}\right)-1\right\}=\frac{S}{b}\times 4\sin^2\left(\frac{1}{2}\times\frac{2\pi fb}{v}\right)\quad ⑦$$
$$\fallingdotseq\frac{S}{b}\times 4\times\left(\frac{1}{2}\times\frac{2\pi fb}{v}\right)^2=\frac{Sb}{v^2}(2\pi f)^2$$

したがって，$v\fallingdotseq\boxed{11}=\sqrt{\dfrac{bS}{m}}$

<総評>

多くの他大学の問題と同じように，物理実験系を仮想的に設定して，物理現象を考える問題だから，問題文が長い説明文になる。集中して速読しながら理解していかなければならない。文章量，問題量，難易度などを考えると，120分でこなすことはなかなか難事である。問題は誘導的にできているのだから，迅速に的確に文章を読み込んで，回答すること。問題が極端に難しいと感じたら，問題文の誤読や誤解の可能性があるから，問題文を再読しよう。

$\boxed{1}$は力学，電磁気学の複合的な問題，$\boxed{2}$は電気回路と気体の状態変化の複合的な問題，$\boxed{3}$は音波と力学の複合的な問題である。的確な基礎的能力に加え，応用力を涵養することが必要である。

$\boxed{1}$

一端を固定した糸の先に結ばれた小球の運動に関する問題。小球を帯電させて，重力だけでなく電場，磁場の作用も含めることにより，力学だけでなく電磁気学の理解をも問う問題となっている。

(a)は難易度Ｃ，(b)は的確な物理的な理解が必要な問題であり，難易度Ａ－，(c)は難易度Ｂ－，(d)難易度Ｂ，(e)はＢ，(f)は糸がたるむことの条件やたるみを発生させる最小の磁束密度の求め方等に難しさがあり難易度はＡ，(g)は難易度Ａ－。

2

コンデンサーの極板間の距離を気体の状態変化によって変化させ，電気回路の動作を考える問題である。状態変化はボイルの法則を適用するもの，電気回路は検流計に電流が流れないという条件のものと，比較的単純なものだから，難しい問題ではない。しかし，気体の変化と電気回路という複合問題だから，思考の過程が長く複雑になる問題である。粘り強い対応が必要である。

(a)，(b)は難易度Ｃ，(c)は静電エネルギーの変化が静電気力がなした仕事に等しいという式の設定がやや難しいので，難易度はＡ－。ここで，静電気力が移動の間一定という仮定，誘電率εが一定という仮定は，厳密には成立しない。(d)は(c)の結果を利用して，極板のつりあいから圧力を求めるという着想が必要で，難易度はＡ－。(e)はコンデンサーを含む交流回路の電流を求める問題で，やや難しい。難易度Ａ－。(f)は(e)ができれば，容易である。難易度Ｂ。(g)特段に着想を必要とするものではないが，粘り強い思考が必要で，難易度Ｂ。

3

弦の振動による音波の問題。定常波，進行波の理解が必要である。(a)，(b)は定常波の基礎問題で難易度はＣ。(c)では，うなりと音波の振動数の関係を理解しておくことが必要で，難易度はＢ。

(d)では，左向き，右向きの進行波の重ね合せにより定常波ができることを数式によって説明する。三角関数の加法定理を使うことにより，定常波を示す数式が得られる。これを定常波と理解できることが重要である。難易度はＡ－。

(e)では，弦を質量が無視できるひもでつながれた質点の連なりとする モデルによって，波の速さと弦の張力の関係を求める問題である。長文を読み込みながら，数式を追えば，難しくはない。問題文の図４のx_nの質点に負方向に働く張力$-S$を考え，x軸となす角をθ'とおくことがポイントである。難易度はＡ。

150613