2019（H31）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)

O'と小物体Pとの距離をrとする。$r^2=x^2+d^2$

半径 r 内の地球の質量は $M=\dfrac{4\pi r^3}{3}\rho$

したがって小物体P に働く万有引力は

$F_G=\dfrac{GMm}{r^2}=\dfrac{4\pi rm\rho G}{3}=\dfrac{4\pi m\rho G}{3}\sqrt{x^2+d^2}$　（答）

x方向成分は$-F_G\sin\theta=-F_G\dfrac{x}{\sqrt{x^2+d^2}}=-\dfrac{4\pi m\rho G}{3}x$　（答）

(b)

a を加速度とし，小物体の運動方程式は

$F=ma=-\dfrac{4\pi m\rho G}{3}x=-Kmx$　①，ただし$K=\dfrac{4\pi\rho G}{3}$

変位x に比例し，方向が逆の力が小物体に働くから，小物体は単振動をする。

$L=\mathrm{OA}=\mathrm{OB}=\sqrt{R^2-d^2}$ とすれば，小物体は点A ($x=-L$)を初速 0で動き始め，エネルギー保存の法則により点Bで速さ0となるから，小物体はAB 間を振動する。

$a=-Kx$，$x=L\sin\left(\omega t-\dfrac{\pi}{2}\right)$とすれば，$\omega^2=K$，$\omega=\dfrac{2\pi}{T}=\sqrt{K}$

T はAB を往復する周期だから，AからB に到達するまでの時間は

$\dfrac{T}{2}=\dfrac{\pi}{\sqrt{K}}=\sqrt{\dfrac{3\pi}{4\rho G}}$　（答）

(c)

単振動の速度は$L\omega\cos\left(\omega t-\dfrac{\pi}{2}\right)$，小物体P が原点Oに達するのは $t=\dfrac{T}{4}$ の時だから，

$v_P=L\omega\cos\left(\dfrac{2\pi}{T}\times\dfrac{T}{4}-\dfrac{\pi}{2}\right)=L\omega=\sqrt{\dfrac{4\pi\rho G}{3}(R^2-d^2)}$　（答）

(d)

運動量保存の法則により，$mv_P=mv_P'+mv_Q'$，$\therefore\ v_P=v_P'+v_Q'$　②

反発係数$e=\dfrac{|v_P'-v_Q'|}{v_P}=\dfrac{v_Q'-v_P'}{v_P}$　③

③では，衝突後Pの速度はQの速度を超えることはないから，$v_Q'\geqq v_P'$ を用いた。

②，③から$v_P'=\dfrac{1-e}{2}v_P$，$v_Q'=\dfrac{1+e}{2}v_P$　（答）

(e)

衝突後の小物体P，Qは①の運動方程式に従うから，原点Oにおける速度に応じた角振動数ωの単振動をする。

X_P，X_Q は単振動の振幅となるから，(c)と同様に

$v_P{}'=X_P\omega$，$\therefore\ X_P=\dfrac{v_P{}'}{\omega}=\dfrac{1-e}{2}\times\dfrac{v_P}{\omega}=\dfrac{1-e}{2}\times\dfrac{L\omega}{\omega}=\dfrac{1-e}{2}\sqrt{R^2-d^2}$ （答）

$v_Q{}'=X_Q\omega$，$\therefore\ X_Q=\dfrac{v_Q{}'}{\omega}=\dfrac{1-e}{2}\times\dfrac{v_Q}{\omega}=\dfrac{1+e}{2}\times\dfrac{L\omega}{\omega}=\dfrac{1+e}{2}\sqrt{R^2-d^2}$ （答）

(f)

小物体P，Qともに同じ振動数の単振動をし，振動の中心である原点Oを同時に出て，Qの方が速いから，2回目の衝突は原点Oすなわち$x=0$（答）で起きる。

1回目の衝突から2回目の衝突までの時間は，振動の半周期だから $\dfrac{T}{2}$，したがって問 (b) の答の 1 倍（答）である。

[B] (g)

小物体P に働く万有引力は (a)から，

$$F_G=\frac{4\pi m\rho G}{3}\sqrt{x^2+d^2},$$

θをOO'とOPがなす角とすれば，トンネルの底面に垂直なF_Gの成分は

$$F_G\cos\theta=\frac{4\pi m\rho G}{3}\sqrt{x^2+d^2}\times\frac{d}{\sqrt{x^2+d^2}}=\frac{4\pi d m\rho G}{3}$$

小物体Pに働く垂直抗力の大きさはこれと同じで，方向は逆 $N=\dfrac{4\pi d m\rho G}{3}$ （答）

(h)

小物体Pの運動方程式は，

$$ma=F=-\frac{4\pi m\rho G}{3}x-\mu' N=-\frac{4\pi m\rho G}{3}x-\frac{4\pi d m\mu'\rho G}{3}=-\frac{4\pi m\rho G}{3}(x+\mu' d)$$

$x=-\mu' d$を中心とする単振動の式で，$-\sqrt{R^2-d^2}$から$\dfrac{\sqrt{R^2-d^2}}{2}$の間を振動する。

したがって，$-\mu' d=\dfrac{1}{2}\left\{-\sqrt{R^2-d^2}+\dfrac{\sqrt{R^2-d^2}}{2}\right\}$

$\therefore\ \mu'=\dfrac{1}{4d}\sqrt{R^2-d^2}=\dfrac{1}{4}\sqrt{\left(\dfrac{R}{d}\right)^2-1}$ （答）

P が点Aで動き始めるためには，万有引力の原点 O 方向成分よりも静止摩擦力の方が小さい必要がある。

$\mu N\leqq\dfrac{4\pi R m\rho G}{3}\times\dfrac{\sqrt{R^2-d^2}}{R}$，$\therefore\ \mu\leqq\sqrt{\left(\dfrac{R}{d}\right)^2-1}$

Pの静止位置では，原点Oに向かう万有引力成分よりも静止摩擦力が大きい。

$$\mu N\geqq F_G\sin\theta=\frac{4\pi m\rho G}{3}\sqrt{x^2+d^2}\times\frac{x}{\sqrt{x^2+d^2}}=\frac{4\pi m\rho G}{3}\times\frac{1}{2}\sqrt{R^2-d^2}$$

$\therefore\ \mu\geqq\dfrac{1}{2d}\sqrt{R^2-d^2}=\dfrac{1}{2}\sqrt{\left(\dfrac{R}{d}\right)^2-1}$

以上によって，$\dfrac{1}{2}\sqrt{\left(\dfrac{R}{d}\right)^2-1}\leqq\mu\leqq\sqrt{\left(\dfrac{R}{d}\right)^2-1}$ （答）

＜解説＞

[A] (a)

x の正負と万有引力の x 成分の正負の関係に注意する。$x<0$のとき万有引力の x 成分は正である。$x>0$のとき万有引力の x 成分は負である。すなわち，x 軸の原点に向く。

(b)

(a)の結果から，小物体は単振動する，ということに気づきたい。変位 x に比例し，方向が逆の力が小物体に働くからである。すると小物体がA からB に到達する時間は半周期の時間ということになる。

(c)

解答では単振動の速度に着目した。力学的エネルギー保存の法則による方法もある。小物体が点Aから点Qに移動することにより得る運動エネルギーは，原点Oへの引力 $F(x)$に抗してOからAまで小物体を運ぶ仕事 W に等しい。

$$W=\int_0^{-L}-F(x)dx=Km\left[\frac{1}{2}x^2\right]_0^{-L}=\frac{1}{2}KmL^2=\frac{1}{2}Km(R^2-d^2)$$

力学的エネルギー保存の法則により，$\frac{1}{2}mv_P{}^2=\frac{1}{2}Km(R^2-d^2)$,

$$\therefore\ v_P=\sqrt{K(R^2-d^2)}=\sqrt{\frac{4\pi\rho G}{3}(R^2-d^2)}$$

(d)

v_P，$v_P{}'$ 等は速度であるから，xの正方向の速度では正，負方向の速度では負となる。

(e)

別の考え方を示す。

①の運動方程式は，弾性係数 Km のばねの単振動と同じ。

力学的エネルギー保存の法則により，原点における運動エネルギーと $x=X_P$，X_Q における単振動の位置のエネルギーは等しい。したがって，

小物体Pについて，$\frac{1}{2}mv_P{}'^2=\frac{1}{2}KmX_P{}^2$,

$$\therefore\ X_P=\frac{v_P{}'}{\sqrt{K}}=\frac{1-e}{2}v_P\times\frac{1}{\sqrt{K}}=\frac{1-e}{2}L\omega\times\frac{1}{\sqrt{K}}=\left(\frac{1-e}{2}\right)L$$

$$=\left(\frac{1-e}{2}\right)\sqrt{R^2-d^2}\qquad(答)$$

小物体Qについて，$\frac{1}{2}mv_Q{}'^2=\frac{1}{2}KmX_Q{}^2$,

$$\therefore\ X_Q=\frac{v_Q{}'}{\sqrt{K}}=\frac{1+e}{2}v_Q\times\frac{1}{\sqrt{K}}=\frac{1+e}{2}L\omega\times\frac{1}{\sqrt{K}}=\left(\frac{1+e}{2}\right)L$$

$$=\left(\frac{1+e}{2}\right)\sqrt{R^2-d^2}\qquad(答)$$

[B] (f)

衝突後 P，Qとも原点Oを中心とする，同じ振動数 ω の単振動をすることに気づかなければならない。

(g)

小物体に働くトンネル底面からの抗力は，作用反作用の法則により，小物体が底面を押す力に等しい。

(h)

小物体の運動方程式は $ma=F=-\dfrac{4\pi m\rho G}{3}(x+\mu' d)=-Kms$ とおける。

$s=x+\mu' d=\dfrac{3L}{4}\sin\left(\omega t-\dfrac{\pi}{2}\right)=\dfrac{3L}{4}\sin\left(\dfrac{2\pi}{T}t-\dfrac{\pi}{2}\right)$ なる単振動をする。

$t=0$ で $s=-\dfrac{3L}{4}$，$t=\dfrac{T}{2}$ で $s=\dfrac{3L}{4}$

この単振動では，A点で動き始めることが必要である。すると，A点での万有引力の x 軸方向成分が静止摩擦力より大きくなければならない。また，$x=\dfrac{\sqrt{R^2-d^2}}{2}$ で静止したとあるので，$x=\dfrac{\sqrt{R^2-d^2}}{2}$ で速度が 0 になったということであり，この点が振動の右端であることを意味する。そしてそのまま，静止し続けたということだから，この点での万有引力の x 軸成分が静止摩擦力よりも小さいということである。

解答では運動方程式によって説明した。

エネルギー保存の法則による解法を説明しよう。

小物体Pが点Aで有していた力学的エネルギー E_0 は単振動の位置エネルギーである。

$$E_0=\frac{1}{2}Km\left(\sqrt{R^2-d^2}\right)^2$$

小物体Pが摩擦により失うエネルギーは，

移動距離 $s=\sqrt{R^2-d^2}+\dfrac{\sqrt{R^2-d^2}}{2}=\dfrac{3}{2}\sqrt{R^2-d^2}$ だから

$$E_F=\mu' Ns=\frac{4\pi dm\rho\mu' G}{3}\times\frac{3}{2}\sqrt{R^2-d^2}=2\pi dm\rho\mu' G\sqrt{R^2-d^2}$$

静止した点でPがもつ単振動の位置エネルギーは $E_M=\dfrac{1}{2}Km\left(\dfrac{\sqrt{R^2-d^2}}{2}\right)^2$

力学的エネルギー保存の法則により，$E_0=E_F+E_M$，$\therefore E_F=E_0-E_M$

したがって，$2\pi dm\rho\mu' G\sqrt{R^2-d^2}=\dfrac{3}{8}Km(R^2-d^2)=\dfrac{\pi\rho G}{2}m(R^2-d^2)$

$$\therefore \mu'=\frac{1}{4d}\sqrt{R^2-d^2}=\frac{1}{4}\sqrt{\left(\frac{R}{d}\right)^2-1} \qquad \text{（答）}$$

N は d に依存するが，x に依存しないので，トンネル底面のどこでも同じである。一定の動摩擦力が動く方向とは反対方向に働くから，（動摩擦力×移動距離）のエネルギーが熱となって失われる。

$\boxed{2}$（50点）

＜解答＞

[A]（a）

極板に蓄えられる電荷は $Q=CV=\dfrac{\varepsilon_0 S}{x_0}V$，ただし$C$はコンデンサーの容量

極板間の電場は$-\dfrac{V}{x_0}$，この電場は極板 P_1 の電荷$-Q$ と極板 P_2 の電荷Qとがつくる電場の和だから，極板 P_1 の電荷$-Q$ が極板 P_2 につくる電場は$-\dfrac{V}{2x_0}$

したがって，$F_E=-\dfrac{V}{2x_0}Q=-\dfrac{\varepsilon_0 SV^2}{2{x_0}^2}$　（答）

（b）

鉛直下方への力：電場が電荷に及ぼす力F_E，極板P_2 の重力mg

鉛直上方への力：ばねの弾性力 $-k(x_0-L)$

∴ P_2 に働く力のつり合いは,

$$-k(x_0-L)+F_E-mg=-k(x_0-L)-\frac{\varepsilon_0 SV^2}{2{x_0}^2}-mg=0$$

∴ $k(x_0-L)+\dfrac{\varepsilon_0 SV^2}{2{x_0}^2}+mg=0$　（答）　①

（c）

（b）①でx_0 にx を入れて，Fを鉛直上方を正として，力のつり合いの式は,

$k(x-L)+\dfrac{\varepsilon_0 SV^2}{2x^2}+mg-F=0$　②

①－② により,

$F=k(x-x_0)+\dfrac{\varepsilon_0 SV^2}{2x^2}-\dfrac{\varepsilon_0 SV^2}{2{x_0}^2}=(x-x_0)\left\{k-\dfrac{\varepsilon_0 SV^2}{2{x_0}^2x^2}(x+x_0)\right\}$　③

ア$=k-\dfrac{\varepsilon_0 SV^2}{2{x_0}^2x^2}(x+x_0)$　（答）

（d）

$x=x_0$ 以外で$F=0$ になる$x=x_1$ は（c）ア$=0$となるx_1である。

したがって，$\dfrac{\varepsilon_0 SV^2}{2{x_0}^2{x_1}^2}(x_1+x_0)-k=0$，∴ $x_1=\dfrac{\varepsilon_0 SV^2}{4k{x_0}^2}\left(1\pm\sqrt{1+\dfrac{8k{x_0}^3}{\varepsilon_0 SV^2}}\right)$

$x_1>0$だから，$x_1=$イ$(1+\sqrt{ウ})=\dfrac{\varepsilon_0 SV^2}{4k{x_0}^2}\left(1+\sqrt{1+\dfrac{8k{x_0}^3}{\varepsilon_0 SV^2}}\right)$

イ$=\dfrac{\varepsilon_0 SV^2}{4k{x_0}^2}$，ウ$=1+\dfrac{8k{x_0}^3}{\varepsilon_0 SV^2}$　（答）

（e）

③から，$\lim_{x\to 0}F(x)=\infty$，$\lim_{x\to\infty}F(x)=\infty$，$x_1<x<x_0$で$F(x)<0$

これを満たすグラフは ⑦　（答）

(f)

$x_1 < x < x_0$で$F(x) < 0$だから，Fがなくなるとx軸の正方向，すなわちx_0に向かって動きはじめる。①　（答）

[B](g)

充電が終了したとき，電流は流れないので，コンデンサーの両端の電圧はV,
したがってコンデンサーの電気量は$Q=CV$

コンデンサーに蓄積される静電エネルギーは$\dfrac{1}{2}CV^2$

しかるに，電気量Qが電圧Vの電池から流出するのだから，
電池は$QV=CV^2$のエネルギーを失う。エネルギー保存の法則から，
電池の失うエネルギー＝抵抗R_1によるジュール熱＋コンデンサーの静電エネルギー

したがって，抵抗R_1によるジュール熱は$CV^2-\dfrac{1}{2}CV^2=\dfrac{1}{2}CV^2$　（答）

(h)

S_2を閉じて十分に時間が経過すると，抵抗R_1，R_2に電流$\dfrac{V}{R_1+R_2}$が流れるので，

コンデンサーの両端の電圧は抵抗R_2の両端電圧$\dfrac{R_2V}{R_1+R_2}$と同じになる。

したがって，コンデンサーの静電エネルギーは$\dfrac{1}{2}C\left(\dfrac{R_2V}{R_1+R_2}\right)^2$　（答）

(i)

$0 \leqq t < t_1$：S_1を閉じただけだから，R_2には電流が流れない。②，⑥は除かれる。
コンデンサーには$Q=CV$の電気量が充電され，両端の電圧はV。

$t_1 \leqq t < t_2$：コンデンサーは充電されていて，S_2を閉じたのだから，R_2の電圧は瞬時にコンデンサーの電圧Vと同じになり，R_2には$\dfrac{V}{R_2}$の電流が流れ始め，電流$\dfrac{R_2V}{R_1+R_2}$まで減少する。コンデンサーには電気量$C\left(\dfrac{R_2V}{R_1+R_2}\right)$が残る。
①，③，⑤，⑦は除かれる。

$t_2 \leqq t < t_3$：S_1を開いたので，電池からの電流は流れなくなり，コンデンサーの電気量がR_2に流れ，次第に0になる。このときの電気量はt_1のときより少ない。
③，⑤，⑦は除かれる。

$t_3 \leqq t$　：S_1を閉じると，コンデンサーの電気量は$C\left(\dfrac{R_2V}{R_1+R_2}\right)$となるように電流が増加し一定値$\dfrac{R_2V}{R_1+R_2}$になる。$t_1 \leqq t < t_2$のときの電流と同じレベルである。
④は除かれる。

以上を満たす適切なグラフは⑧　（答）

電流の最大値は，⑧のピーク値でコンデンサーの電圧がVだから，$\dfrac{V}{R_2}$　（答）

＜解説＞

[A]

(a)

問題文によって，半ば解答が与えられている。だから，問題文の把握が重要だ。コンデンサーの容量と電荷，極板間の電場を求めることができれば，正答できる。

(b)

働く力の正負を考慮してつり合いの式を求めること。

(c)

(b)を正答できれば，式の変形だけの問題である。

(d)

2次方程式の解を求めることに帰着する。

(e)

難しく考えないこと。問題図２を一目見ると，$x \to 0$，$x \to \infty$でのFの変化について各グラフに相違があることに気づく。まずは$x \to 0$，$x \to \infty$でFがどうなるかを調べよう。

(f)

P_2を下向きに抑えて静止させていた力がなくなったので，P_2は上向きに，すなわちx_0に向かって動きはじめる。

[B] (g)

コンデンサーの静電エネルギーと電池がした仕事との差異に注目する。コンデンサーに充電する過程で，エネルギー保存の法則が成立することに気づくこと。

(h)

十分時間が経過すると，抵抗R_1，R_2に一定の電流が流れ，コンデンサーの電圧はR_2の電圧まで降下し，放電が終わり，一定の電気量が残る。

(i)

各時間帯での回路の動作を考察し，グラフの特徴とR_2の電流動作の関係を理解する。

$\boxed{3}$ (50点)

＜解答＞

[A] (a)

状態 A の気体の状態方程式は $P_1V_1 = n_1RT_0$，$\therefore\ n_1 = \dfrac{P_1V_1}{RT_0}$ （答）

状態 B の気体の状態方程式は $P_0V_1 = n_2RT_1$，$\therefore\ n_2 = \dfrac{P_0V_1}{RT_1}$ （答）

(b)

(a) の答を活用する。

状態 C の気体の状態方程式は $P_2V_1 = n_2RT_0 = \dfrac{P_0V_1}{RT_1} \times RT_0 = \dfrac{P_0V_1T_0}{T_1}$

したがって $P_2 = \dfrac{P_0T_0}{T_1}$

$$\frac{n_2}{n_1}=\frac{P_0T_0}{P_1T_1},\ \therefore\ \frac{P_0T_0}{T_1}=\frac{n_2}{n_1}P_1，したがって\ P_2=\frac{n_2}{n_1}P_1\quad（答）$$

(c)

状態A からBへの変化で，気体のモル数がn_1からn_2に 減少した。

状態A での体積 $\frac{n_2}{n_1}V_1$ に相当する気体がV_1に断熱膨張したものと見なせる。

断熱変化の関係PV^γ = 一定を利用すると，

$$P_1\left(\frac{n_2}{n_1}V_1\right)^\gamma=P_0V_1{}^\gamma,\ \therefore\ P_1\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^\gamma=P_0$$

(d)

$$h_1 = P_1-P_0=\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^\gamma P_0-P_0,\ \therefore\ \frac{h_1}{P_0}+1=\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^\gamma\quad ①$$

$$h_2 = P_2-P_0=\frac{n_2}{n_1}P_1-P_0=\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^{\gamma-1}P_0-P_0,\ \therefore\ \frac{h_2}{P_0}+1=\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^{\gamma-1}\quad ②$$

①から，$\gamma\log\frac{n_1}{n_2}=\log\left(\frac{h_1}{P_0}+1\right)\fallingdotseq\frac{h_1}{P_0}$　③

②から，$(\gamma-1)\log\frac{n_1}{n_2}=\log\left(\frac{h_2}{P_0}+1\right)\fallingdotseq\frac{h_2}{P_0}$　④

③，④の計算で $\frac{h_1}{P_0}$，$\frac{h_2}{P_0}$ は 1 に比べて十分に小さいので，変数 x の絶対値が 1 に比べて十分小さいときの近似式 $\log(1+x)\fallingdotseq x$ を用いた。

④を③で除して，$\frac{\gamma-1}{\gamma}=\frac{h_2}{h_1}$，$\therefore\ \gamma=\frac{h_1}{h_1-h_2}$　（答）

(e)

定圧モル比熱 $C_p=C_v+R=\frac{7}{2}R$，$\therefore\ \gamma=\frac{C_p}{C_v}=\frac{7}{5}$　（答）

(f)

状態 B の状態方程式 $P_0V_1=n_2RT_1$，状態 C の状態方程式 $P_2V_1=n_2RT_0$ から

$$\frac{P_0}{P_2}=\frac{T_1}{T_0}，したがって T_0-T_1=T_0\left(1-\frac{P_0}{P_2}\right)=\left(\frac{h_2}{h_2+P_0}\right)T_0\quad（答）$$

(g)

体積 V_1 一定で，温度がT_1から T_0 へ変化したのだから，定積モル比熱を使って流入する熱量は

$$n_2(T_0-T_1)C_V=\frac{5}{2}n_2R(T_0-T_1)=\frac{5}{2}(P_2-P_0)V_1=\frac{5}{2}h_2V_1\quad（答）$$

＜解説＞

(c)

状態 A から B の過程は断熱膨張ということだから，体積の膨張を考える必要がある。しかし，容器の容積は変化しないのに・・・。ここで止まってしまわないように。容器内の

空気が大気中に放出され，モル数がn_2になったのだから，状態A の容器の中で，体積$\frac{n_2}{n_1}V_1$の空気が状態B の容器の中で体積V_1の空気になった，として断熱膨張を考える。

(d)

(b)，(c) の結果を利用して ①，②を導き出す。$\log(1+x) \fallingdotseq x$を使うと気づきたい。

(e)

C_pとC_vの関係は教科書に掲載されている。その関係式を覚えていなければならない。教科書には導出方法も記載されているが，それを考え出すには時間が足りない。

(f)

状態Cで圧力 P_2，温度 T_0 になったのだから，状態B と状態C の状態方程式を使うと気づきたい。

(g)

モル数 n_2 の理想気体が定積変化により温度が T_1 から T_0 へ変化したので，流入する熱量は $n_2(T_0-T_1)C_V$ と気づきたい。

＜総評＞

運動と力学，電磁気，気体の３分野からの問題である。例年のように，事象の物理過程が単純ではなく，その把握に的確な知識と思考を必要とする。

試験時間は120分と他大学と比較して長い。

ちなみに東大75分（理科2科目受験150分），新大90分（理科2科目受験180分），京大90分（理科2科目受験180分）、東北大75分（理科2科目受験150分）。

$\boxed{1}$

地球の中にトンネルを掘ったと仮想して，トンネル内で起きる運動に関する問題。万有引力が働くことから，摩擦がない場合には，万有引力のトンネル方向成分によって，トンネル内の小物体は単振動することに気づくことが必要である。

[A]では，衝突後もそれぞれの小物体が単振動をして，再び振動中心のOで衝突するという物理過程を見通すことが重要である。

[B]では，トンネル底面と小物体の間に摩擦力が働く場合の運動を扱う。底面から小物体に働く垂直抗力がxに依存しない（すなわちトンネル内で一定）という事実が設問の基礎にある。この事実は，自明なことではなく，垂直抗力の計算の結果，明らかになる。しかし，最初の設問 (a) で，万有引力の大きさが地球中心からの距離に比例するという事実から，このことに気づくことができれば，すばらしいことだと思う。

運動と力学に含まれる多様な領域を扱い，着想や気づきが必要な問題で難易度はA。

$\boxed{2}$

[A] は，ばねが挿入された極板の電気量と運動に関する問題。極板間に働く静電気力，ばねの弾性力，極板の重力の３つの力の下で，極板の運動を考察するが，極板に変位があると，電気量が変化し，静電気力が変化するという，やや錯綜した問題となる。

(a)，(b)の解答は答のみで良い，ということは思考過程は評価されないから，部分点はないということである。難易度はA－。

[B] では直列接続の抵抗２個と1個の抵抗と並列接続のコンデンサー1個からなる回路の動作を扱う。電源が電池なので，直流電源であり，考えやすい。グラフの選択問題 (i)は，グラフの特徴と回路動作の関係を速やかに理解する必要がある。難易度はB。

$\boxed{3}$

理想気体の状態変化に関する問題。難しい状態変化が含まれるわけではないので，状態方程式，定積モル比熱，定圧モル比熱といった基本知識を的確に理解していれば対応できよう。断熱膨張の過程の理解に気づきが必要だが，難しいものではない。

現象の考察から物理過程を追って解を求めるよりも，式の変形によって解を求めるような設問が多いように感じた。難易度はB。

200508