物　理

(問　題)

2016年度

〈H28105119〉

注　意　事　項

1. 試験開始の指示があるまで、問題冊子および解答用紙には手を触れないこと。
2. 問題は4～14ページに記載されている。試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁及び解答用紙の汚損等に気付いた場合は、手を挙げて監督員に知らせること。
3. 解答はすべて、ＨＢの黒鉛筆またはＨＢのシャープペンシルで記入すること。
4. マーク解答用紙記入上の注意
   (1) 印刷されている受験番号が、自分の受験番号と一致していることを確認したうえで、氏名欄に氏名を記入すること。
   (2) マーク欄にははっきりとマークすること。また、訂正する場合は、消しゴムで丁寧に、消し残しがないようによく消すこと。

マークする時	●良い　◎悪い　◐悪い
マークを消す時	○良い　◎悪い　◐悪い

5. 解答はすべて所定の解答欄に記入すること。所定欄以外に何かを記入した解答用紙は採点の対象外となる場合がある。
6. 試験終了の指示が出たら、すぐに解答をやめ、筆記用具を置き解答用紙を裏返しにすること。
7. いかなる場合でも、解答用紙は必ず提出すること。

[I]

質量 M，長さ l の一様な剛体の棒 OQ がある。棒は，図 1 のように壁上の点 P で一端を固定された糸によって OQ の中点 R でつるされており，端点 O で壁に接している。壁と棒の間の静止摩擦係数を μ とし，重力加速度の大きさを g とする。

棒は壁に垂直に接し，棒と糸のなす角の大きさを $\theta(0^\circ < \theta < 90^\circ)$ とするとき，以下の問 1 と問 2 に答えなさい。

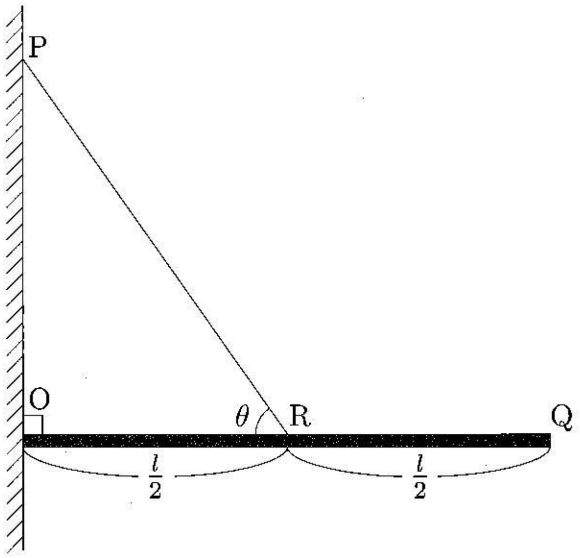


図 1

問 1　点 R で作用する糸の張力の大きさを求め，以下の中から正しいものを一つ選びなさい。

a. 0　b. $\dfrac{Mg}{2}$　c. Mg　d. $2Mg$

e. $\dfrac{Mg}{2\sin\theta}$　f. $\dfrac{Mg}{2\cos\theta}$　g. $\dfrac{Mg}{\sin\theta}$　h. $\dfrac{Mg}{\cos\theta}$

i. $Mg\sin\theta$　j. $Mg\cos\theta$　k. $2Mg\sin\theta$　l. $2Mg\cos\theta$

m. $\dfrac{Mgl}{2}$　n. $\dfrac{Mgl}{\sin\theta}$　o. $\dfrac{Mgl}{\cos\theta}$　p. $Mgl\cos\theta$

問 2　点 O で棒が壁から受ける垂直抗力の大きさを求め，以下の中から正しいものを一つ選びなさい。

a. 0　b. $\dfrac{Mg}{2}$　c. $2Mg\sin\theta\cos\theta$　d. Mg

e. $\dfrac{Mg}{\tan\theta}$　f. $\dfrac{Mg}{2\tan\theta}$　g. $Mg\tan\theta$　h. $\dfrac{Mg\tan\theta}{2}$

i. $Mg\sin^2\theta$　j. $2Mg\sin^2\theta$　k. $2Mg\cos^2\theta$　l. $Mg\sin\theta\cos\theta$

m. $\dfrac{Mgl}{2}$　n. $\dfrac{Mgl}{\sin\theta}$　o. $\dfrac{Mgl}{\cos\theta}$　p. $Mgl\cos\theta$

次に図 2 のように，点 O から距離 x の棒上の点に質量 m のおもりを固定したところ，棒はそのまま静止していた。このとき，以下の問 3 と問 4 に答えなさい。

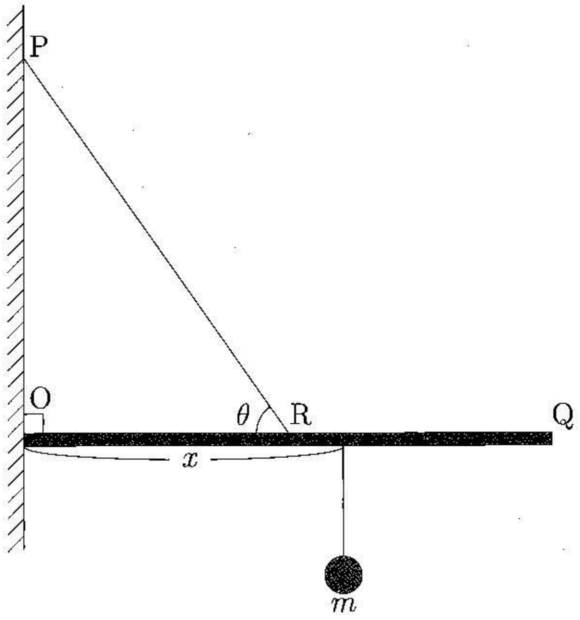


図 2

問 3　点 O で棒が壁から受ける垂直抗力の大きさを求め，以下の中から正しいものを一つ選びなさい。

a. $\dfrac{2(Ml+mx)g}{l\sin\theta}$　　b. $\dfrac{2(Ml+mx)g}{l\cos\theta}$　　c. $\dfrac{2(Ml+mx)g}{l\tan\theta}$

d. $\dfrac{(Ml+2mx)g}{l\sin\theta}$　　e. $\dfrac{(Ml+2mx)g}{l\cos\theta}$　　f. $\dfrac{(Ml+2mx)g}{l\tan\theta}$

g. $\dfrac{2(Ml+mx)g\sin\theta}{l}$　　h. $\dfrac{2(Ml+mx)g\cos\theta}{l}$　　i. $\dfrac{2(Ml+mx)g\tan\theta}{l}$

j. $\dfrac{(Ml+2mx)g\sin\theta}{l}$　　k. $\dfrac{(Ml+2mx)g\cos\theta}{l}$　　l. $\dfrac{(Ml+2mx)g\tan\theta}{l}$

問 4　棒が壁に対して動かないための x の条件は $\boxed{(1)} \leqq x \leqq \boxed{(2)}$ とあらわせる。(1) と (2) を求め、以下の中からもっともふさわしいものを一つずつ選びなさい。

ただし θ の値は，(1) と (2) が 0 以上 l 以下であるという条件を常に満たしているものとする。

(1) と (2) 共通の選択肢：

a. 0　　b. $\dfrac{l}{4}$　　c. $\dfrac{l}{2}$

d. l　　e. $\dfrac{lM\mu}{2m(\sin\theta-\mu)}$　　f. $\dfrac{lM\mu}{2m(\cos\theta-\mu)}$

g. $\dfrac{lM\mu}{2m(\tan\theta-\mu)}$　　h. $\dfrac{l\sin\theta}{2(\sin\theta+\mu)}$　　i. $\dfrac{l\cos\theta}{2(\cos\theta+\mu)}$

j. $\dfrac{l\tan\theta}{2(\tan\theta+\mu)}$　　k. $\dfrac{l(m\sin\theta-M\mu)}{2m(\sin\theta+\mu)}$　　l. $\dfrac{l(m\cos\theta-M\mu)}{2m(\cos\theta+\mu)}$

m. $\dfrac{l(m\tan\theta-M\mu)}{2m(\tan\theta+\mu)}$　　n. $\dfrac{l(m\sin\theta+M\mu)}{2m(\sin\theta-\mu)}$　　o. $\dfrac{l(m\cos\theta+M\mu)}{2m(\cos\theta-\mu)}$

p. $\dfrac{l(m\tan\theta+M\mu)}{2m(\tan\theta-\mu)}$

次に，図3のように，おもりをRQ上の点Sに固定し，棒が壁に接触する位置を変えて棒と水平面のなす角を30°としたとき，糸と壁のなす角は30°となり，棒は壁に対して静止していた。OSの長さをxとするとき，以下の問5と問6に答えなさい。

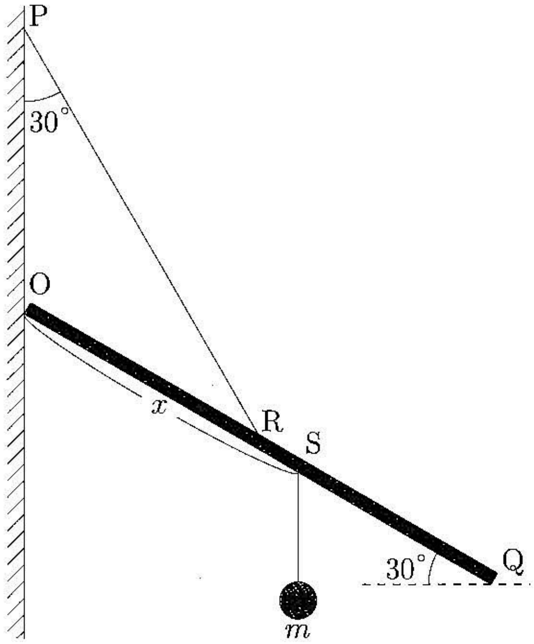


図3

問5　点Oで棒が壁から受ける静止摩擦力の大きさを求め，以下の中から正しいものを一つ選びなさい。

a. $\dfrac{1}{2}Mg+\dfrac{3x}{l}mg$　b. $\dfrac{\sqrt{3}}{2}Mg+\dfrac{3x}{l}mg$　c. $\dfrac{3}{2}Mg+\dfrac{3x}{l}mg$

d. $\dfrac{1}{2}Mg+\dfrac{\sqrt{3}x-l}{l}mg$　e. $\dfrac{\sqrt{3}}{2}Mg+\dfrac{\sqrt{3}x-l}{l}mg$　f. $\dfrac{3}{2}Mg+\dfrac{\sqrt{3}x-l}{l}mg$

g. $\dfrac{1}{2}Mg+\dfrac{3x-l}{l}mg$　h. $\dfrac{\sqrt{3}}{2}Mg+\dfrac{3x-l}{l}mg$　i. $\dfrac{3}{2}Mg+\dfrac{3x-l}{l}mg$

j. $\dfrac{\sqrt{3}-1}{2}Mg+\dfrac{\sqrt{3}x-l}{l}mg$　k. $\dfrac{\sqrt{3}-1}{2}Mg+\dfrac{\sqrt{3}x}{l}mg$　l. $\dfrac{\sqrt{3}-1}{2}Mg+\dfrac{\sqrt{3}x+l}{l}mg$

m. $(\sqrt{3}-1)Mg+\dfrac{2\sqrt{3}x-l}{l}mg$　n. $(\sqrt{3}-1)Mg+\dfrac{2\sqrt{3}x}{l}mg$　o. $(\sqrt{3}-1)Mg+\dfrac{2\sqrt{3}x+l}{l}mg$

問6　おもりの位置を点Qの方向に少しずつ変えたところ，ある位置S´のときに棒が壁に対して動き始めた。このときのOS´の長さを求め、以下の中からもっともふさわしいものを一つ選びなさい。

a. $\dfrac{\mu M+2m}{\sqrt{3}\mu m}l$　b. $\dfrac{\mu M+2m}{2\sqrt{3}\mu m}l$　c. $\dfrac{\sqrt{3}\mu M+2m}{2\sqrt{3}\mu m}l$

d. $\dfrac{\sqrt{3}\mu M+2m}{2(3+\sqrt{3}\mu)m}l$　e. $\dfrac{(\sqrt{3}\mu-1)M+2m}{2(3-\sqrt{3}\mu)m}l$　f. $\dfrac{(\sqrt{3}\mu+1)M+2m}{2(3-\sqrt{3}\mu)m}l$

g. $\dfrac{\sqrt{3}\mu M+2(\sqrt{3}-1)m}{2(3+\sqrt{3}\mu)m}l$　h. $\dfrac{(\sqrt{3}\mu-1)M+2(\sqrt{3}-1)m}{2(3-\sqrt{3}\mu)m}l$　i. $\dfrac{(\sqrt{3}\mu+1)M+2(\sqrt{3}-1)m}{2(3-\sqrt{3}\mu)m}l$

j. $\dfrac{\sqrt{3}\mu M+2(\sqrt{3}+1)m}{2(3+\sqrt{3}\mu)m}l$　k. $\dfrac{(\sqrt{3}\mu-1)M+2(\sqrt{3}+1)m}{2(3-\sqrt{3}\mu)m}l$　l. $\dfrac{(\sqrt{3}\mu+1)M+2(\sqrt{3}+1)m}{2(3-\sqrt{3}\mu)m}l$

[II]

図 1 のように，xy 平面上の点 $(a,0)(a>0)$，$(-a,0)$ にそれぞれ電気量 $Q(>0)$ と $-4Q$ の点電荷が固定されている。クーロンの法則の比例定数を k，無限遠の電位を 0 とし，重力や空気抵抗は無視できるものとする。以下の問 1〜 問 4 に答えなさい。

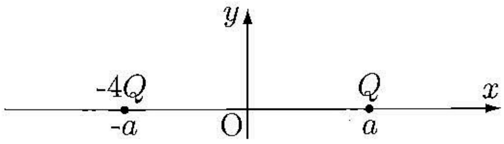


図 1

問 1　電気量 $-Q$ の小球を，x 軸上の負の無限遠から点 $(-3a,0)$ まで動かす間に静電気力がする仕事について，以下の中から正しいものを一つ選びなさい。

a. $\dfrac{kQ^2}{4a}$　b. $\dfrac{7kQ^2}{4a}$　c. $\dfrac{2kQ^2}{a}$　d. $\dfrac{9kQ^2}{4a}$

e. $\dfrac{kQ^2}{16a^2}$　f. $\dfrac{15kQ^2}{16a^2}$　g. $\dfrac{kQ^2}{a^2}$　h. $\dfrac{17kQ^2}{16a^2}$

i. $-\dfrac{kQ^2}{4a}$　j. $-\dfrac{7kQ^2}{4a}$　k. $-\dfrac{2kQ^2}{a}$　l. $-\dfrac{9kQ^2}{4a}$

m. $-\dfrac{kQ^2}{16a^2}$　n. $-\dfrac{15kQ^2}{16a^2}$　o. $-\dfrac{kQ^2}{a^2}$　p. $-\dfrac{17kQ^2}{16a^2}$

問 2　正の電気量をもつ小球を，点 $(a,0)$ から x 軸正方向にわずかな距離だけ離れた x 軸上の点に静かに置いたところ，小球は x 軸正方向に動きはじめた。小球の速さがもっとも大きくなる点の x 座標について，以下の中から正しいものを一つ選びなさい。

a. $\dfrac{4a}{3}$　b. $\dfrac{3a}{2}$　c. $\dfrac{5a}{3}$　d. $\dfrac{7a}{4}$

e. $2a$　f. $\dfrac{9a}{4}$　g. $\dfrac{7a}{3}$　h. $\dfrac{5a}{2}$

i. $\dfrac{8a}{3}$　j. $\dfrac{11a}{4}$　k. $3a$　l. $\dfrac{13a}{4}$

m. $\dfrac{10a}{3}$　n. $\dfrac{7a}{2}$　o. $\dfrac{11a}{3}$　p. ∞

問 3　正の電気量をもつ小球を，点 $(x,0)(x>a)$ に静かに置いた後，小球が x 軸正方向の無限遠に到達しないための x の条件について，以下の中からもっともふさわしいものを一つ選びなさい。

a. $x>\dfrac{4a}{3}$　b. $x>\dfrac{3a}{2}$　c. $x>\dfrac{5a}{3}$　d. $x>2a$

e. $x>\dfrac{7a}{3}$　f. $x>\dfrac{5a}{2}$　g. $x>\dfrac{8a}{3}$　h. $x>3a$

i. $x<\dfrac{4a}{3}$　j. $x<\dfrac{3a}{2}$　k. $x<\dfrac{5a}{3}$　l. $x<2a$

m. $x<\dfrac{7a}{3}$　n. $x<\dfrac{5a}{2}$　o. $x<\dfrac{8a}{3}$　p. $x<3a$

問4　質量 m で正の電気量 Q をもつ小球を，点 $(x, 0)(x > a)$ から x 軸正方向に初速度 v で発射する。小球が，x が a より大きいどの点 $(x, 0)$ から発射されても x 軸正方向の無限遠に到達するには，初速度 v の大きさをいくら以上にする必要があるか。最小の初速度 v の大きさについて，以下の中から正しいものを一つ選びなさい。

a. $\sqrt{\dfrac{kQ}{2am}}$	b. $\dfrac{1}{a}\sqrt{\dfrac{kQ}{2m}}$	c. $\dfrac{Q}{a}\sqrt{\dfrac{k}{2m}}$	d. $Q\sqrt{\dfrac{k}{2am}}$
e. $\sqrt{\dfrac{2kQ}{3am}}$	f. $\dfrac{1}{a}\sqrt{\dfrac{2kQ}{3m}}$	g. $\dfrac{Q}{a}\sqrt{\dfrac{2k}{3m}}$	h. $Q\sqrt{\dfrac{2k}{3am}}$
i. $\sqrt{\dfrac{kQ}{am}}$	j. $\dfrac{1}{a}\sqrt{\dfrac{kQ}{m}}$	k. $\dfrac{Q}{a}\sqrt{\dfrac{k}{m}}$	l. $Q\sqrt{\dfrac{k}{am}}$
m. $\sqrt{\dfrac{3kQ}{2am}}$	n. $\dfrac{1}{a}\sqrt{\dfrac{3kQ}{2m}}$	o. $\dfrac{Q}{a}\sqrt{\dfrac{3k}{2m}}$	p. $Q\sqrt{\dfrac{3k}{2am}}$

次に，図２のように，点 $(-a,0)$ の点電荷を電気量 $Q(>0)$ の点電荷に置きかえ，固定した。以下の問５と問６に答えなさい。

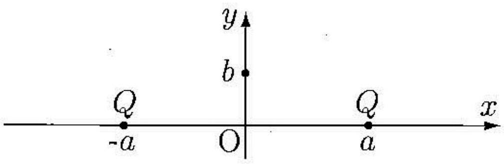
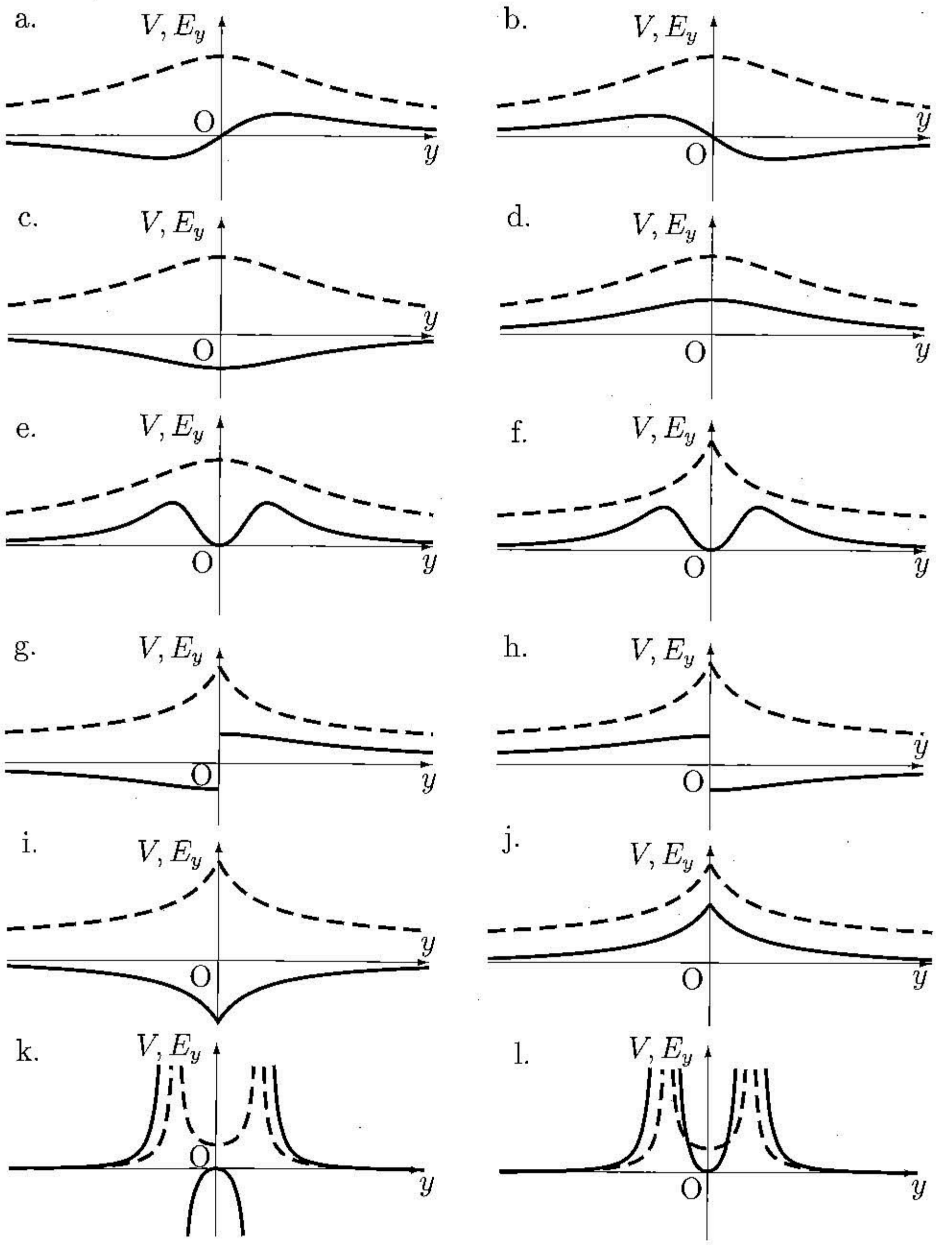


図２

問５　点 $(a,0)$ と点 $(-a,0)$ に固定された点電荷が y 軸上に作る合成電場ベクトル $\vec{E}$ の y 成分 E_y のグラフ（実線）と電位 V のグラフ（破線）の概形として、以下の中からもっともふさわしいものを一つ選びなさい。なお、E_y のグラフと V のグラフは重ねて描かれている。



問 6　質量 m で負の電気量 $-Q$ をもつ小球を点 $(0, b)(b > 0)$ に置き，xy 平面と垂直の方向に初速度 v を与えると，小球は原点を中心として半径 b の等速円運動をした。v の大きさについて，正しいものを一つ選びなさい。

a. $bQ\sqrt{\dfrac{k}{m(a^2+b^2)}}$　　b. $bQ\sqrt{\dfrac{2k}{m(a^2+b^2)}}$　　c. $Q\sqrt{\dfrac{kb}{m(a^2+b^2)}}$

d. $Q\sqrt{\dfrac{2kb}{m(a^2+b^2)}}$　　e. $Q\sqrt{\dfrac{kab}{m(a^2+b^2)}}$　　f. $Q\sqrt{\dfrac{2kab}{m(a^2+b^2)}}$

g. $bQ\sqrt{\dfrac{k}{m\sqrt{a^2+b^2}}}$　　h. $bQ\sqrt{\dfrac{2k}{m\sqrt{a^2+b^2}}}$　　i. $Q\sqrt{\dfrac{kb}{m\sqrt{a^2+b^2}}}$

j. $Q\sqrt{\dfrac{2kb}{m\sqrt{a^2+b^2}}}$　　k. $Q\sqrt{\dfrac{kab}{m\sqrt{a^2+b^2}}}$　　l. $Q\sqrt{\dfrac{2kab}{m\sqrt{a^2+b^2}}}$

m. $bQ\sqrt{\dfrac{k}{m(a^2+b^2)\sqrt{a^2+b^2}}}$　　n. $bQ\sqrt{\dfrac{2k}{m(a^2+b^2)\sqrt{a^2+b^2}}}$　　o. $Q\sqrt{\dfrac{kab}{m(a^2+b^2)\sqrt{a^2+b^2}}}$

p. $Q\sqrt{\dfrac{2kab}{m(a^2+b^2)\sqrt{a^2+b^2}}}$

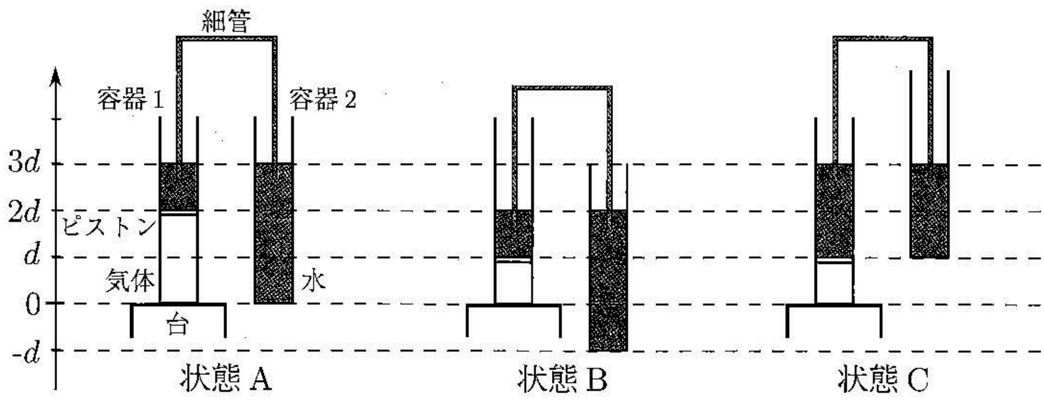
[Ⅲ]

底面積 S の円筒形の容器 1，容器 2 がある。それぞれの円筒の軸を鉛直方向に保ちながら，容器 1 を台の上に置き，その横で容器 2 を手で持つ。

容器 1 には単原子分子の理想気体が，ピストンによって閉じ込められている。台を通してのみその気体を加熱，冷却することができる。容器 1 のピストンの上部と容器 2 には，水が入っている。容器 1 と容器 2 の水は，水を満たした細管によってつながっているために，互いに等しい水面の高さを保つ。容器 2 を持つ手を上下に動かすことによって，その水面の高さを変化させることができる。

ピストンの質量や厚さ，ピストンと容器の摩擦は無視する。細管は十分細く，細管内の水や細管の質量を無視する。また，容器 2 の質量も無視する。全ての変化は十分ゆっくり行われるものとする。大気圧の大きさを p_0，水の密度をρ，重力加速度の大きさを g，気体定数を R とする。

容器 1 の底面を高さ 0 にとると，はじめ，水面の高さは $3d$，ピストンの高さは $2d$，容器 2 の底面の高さは 0 である (状態 A)。



図

状態 A から，容器 1 の中の気体を冷却しながら，水面とピストンの高さの差を d に保つように容器 2 を下げていく。水面の高さが $2d$，ピストンの高さが d になった時点で冷却をやめる (状態 B)。このとき，以下の問 1 と問 2 に答えなさい。

問 1　容器 1 の中には n モルの気体が入っている。(1) 状態 A，(2) 状態 B における容器 1 の中の気体の温度をそれぞれ求め，以下の中から正しいものを一つずつ選びなさい。

a. $\dfrac{dS}{2nR}\left(p_0+\dfrac{1}{2}\rho g d\right)$　b. $\dfrac{dS}{nR}\left(p_0+\dfrac{1}{2}\rho g d\right)$　c. $\dfrac{2dS}{nR}\left(p_0+\dfrac{1}{2}\rho g d\right)$

d. $\dfrac{dS}{2nR}\left(p_0+\rho g d\right)$　e. $\dfrac{dS}{nR}\left(p_0+\rho g d\right)$　f. $\dfrac{2dS}{nR}\left(p_0+\rho g d\right)$

g. $\dfrac{dS}{2nR}\left(p_0+2\rho g d\right)$　h. $\dfrac{dS}{nR}\left(p_0+2\rho g d\right)$　i. $\dfrac{2dS}{nR}\left(p_0+2\rho g d\right)$

問 2　状態 A から状態 B までの間に，容器 1 の中の気体が吸収した熱を

$$\left(\boxed{\ (1)\ }\right)\times p_0 dS+\left(\boxed{\ (2)\ }\right)\times \rho g d^2 S$$

と表すものとする。$\boxed{\ (1)\ }$ と $\boxed{\ (2)\ }$ に入る数値をそれぞれ求め，以下の中から正しいものを一つずつ選びなさい。

a. $\dfrac{1}{2}$　b. $\dfrac{3}{2}$　c. $\dfrac{5}{2}$　d. 1　e. 3　f. 5

g. $-\dfrac{1}{2}$　h. $-\dfrac{3}{2}$　i. $-\dfrac{5}{2}$　j. -1　k. -3　l. -5

m. 0

状態 B から，容器 1 の中の気体を加熱しながら，ピストンの高さを d に保つように容器 2 を上げていく。水面の高さが $3d$ になった時点で加熱をやめる (状態 C)。このとき，以下の問 3 に答えなさい。

問 3　状態 B から状態 C までの間に，容器 2 を動かす手が した仕事を

$$\left(\boxed{\ (1)\ }\right) \times p_0 dS + \left(\boxed{\ (2)\ }\right) \times \rho g d^2 S$$

と表すものとする。$\boxed{\ (1)\ }$ と $\boxed{\ (2)\ }$ に入る数値をそれぞれ求め，以下の中から正しいものを一つずつ選びなさい。

a. $\frac{1}{2}$　b. $\frac{3}{2}$　c. $\frac{5}{2}$　d. 1　e. 3　f. 5

g. $-\frac{1}{2}$　h. $-\frac{3}{2}$　i. $-\frac{5}{2}$　j. -1　k. -3　l. -5

m. 0

状態 C から，容器 1 の中の気体を加熱し続けながら，水面の高さを $3d$ に保つように容器 2 を下げていく。ピストンの高さが $2d$，容器 2 の底面の高さが 0 の最初の状態に戻った時点で加熱をやめる (状態 A)。このとき，以下の問 4 に答えなさい。

問 4　状態 C から状態 A までの間に，容器 1 の中の気体がした仕事を

$$\left(\boxed{\ (1)\ }\right) \times p_0 dS + \left(\boxed{\ (2)\ }\right) \times \rho g d^2 S$$

と表すものとする。$\boxed{\ (1)\ }$ と $\boxed{\ (2)\ }$ に入る数値をそれぞれ求め，以下の中から正しいものを一つずつ選びなさい。

a. $\frac{1}{2}$　b. $\frac{3}{2}$　c. $\frac{5}{2}$　d. 1　e. 3　f. 5

g. $-\frac{1}{2}$　h. $-\frac{3}{2}$　i. $-\frac{5}{2}$　j. -1　k. -3　l. -5

m. 0

この装置を ABCA のサイクルを繰り返す熱機関とみなす。このとき，以下の問 5 と問 6 に答えなさい。

問 5　ABCA の 1 サイクルの間に，容器 2 を動かす手がした仕事を

$$\left(\boxed{\ (1)\ }\right) \times p_0 dS + \left(\boxed{\ (2)\ }\right) \times \rho g d^2 S$$

と表すものとする。$\boxed{\ (1)\ }$ と $\boxed{\ (2)\ }$ に入る数値をそれぞれ求め，以下の中から正しいものを一つずつ選びなさい。

a. $\dfrac{1}{2}$　　b. $\dfrac{3}{2}$　　c. $\dfrac{5}{2}$　　d. 1　　e. 3　　f. 5

g. $-\dfrac{1}{2}$　　h. $-\dfrac{3}{2}$　　i. $-\dfrac{5}{2}$　　j. -1　　k. -3　　l. -5

m. 0

問 6　この熱機関の熱効率を求め，以下の中から正しいものを一つ選びなさい。

a. $\dfrac{\rho g d}{p_0 + \rho g d}$　　b. $\dfrac{\rho g d}{p_0 + 3\rho g d}$　　c. $\dfrac{\rho g d}{p_0 + 5\rho g d}$　　d. $\dfrac{\rho g d}{p_0 + 6\rho g d}$

e. $\dfrac{\rho g d}{3p_0 + \rho g d}$　　f. $\dfrac{\rho g d}{3p_0 + 3\rho g d}$　　g. $\dfrac{\rho g d}{3p_0 + 5\rho g d}$　　h. $\dfrac{\rho g d}{3p_0 + 6\rho g d}$

i. $\dfrac{\rho g d}{5p_0 + \rho g d}$　　j. $\dfrac{\rho g d}{5p_0 + 3\rho g d}$　　k. $\dfrac{\rho g d}{5p_0 + 5\rho g d}$　　l. $\dfrac{\rho g d}{5p_0 + 6\rho g d}$

m. $\dfrac{\rho g d}{6p_0 + \rho g d}$　　n. $\dfrac{\rho g d}{6p_0 + 3\rho g d}$　　o. $\dfrac{\rho g d}{6p_0 + 5\rho g d}$　　p. $\dfrac{\rho g d}{6p_0 + 6\rho g d}$

[以 下 余 白]