

物理

●工学部（電子情報工学科／電気工学科）
●情報工学部（情報工学科／情報通信工学科／
システムマネジメント学科）

（3教科型・2月9日実施分）

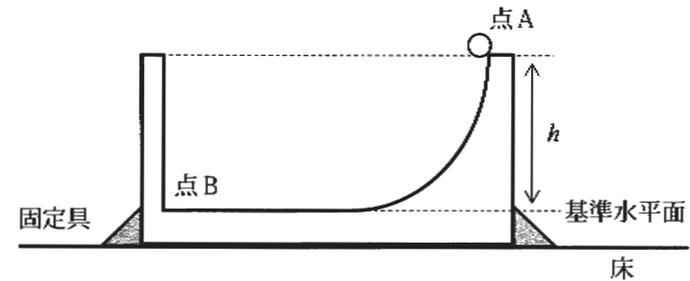
（解答：61～62ページ）

（解答はすべて、別紙解答用紙の解答欄に記入せよ。）

解答用紙の計算と書かれた枠内には、解答の導出過程で用いた計算や考え方を書くこと。

1

図のような台がなめらかな床に置いてあるとする。台はなめらかな曲面となめらかな水平面からなり、点 B の位置に壁面がある。この台の上を面に沿って運動する小物体を考える。図に示すように基準水平面から高さ h の曲面上の地点を点 A とする。また、小物体の質量を m 、重力加速度の大きさを g 、壁面と小物体の衝突の反発係数を e とし、 $0 < e < 1$ とする。空気抵抗は考えないものとする。



[I] 台が床と固定され動かない場合を考える。点 A に小物体を静かにおくと小物体は曲面を下り、やがて点 B で台の壁面と衝突する。以下の問いに答えよ。

- (1) 点 A に小物体があるときの重力による位置エネルギーを答えよ。ただし、基準水平面での位置エネルギーを 0 とする。
- (2) 点 B に小物体があるときの重力による位置エネルギーを答えよ。ただし、基準水平面での位置エネルギーを 0 とする。
- (3) 一回目の衝突直前の小物体の速さを答えよ。
- (4) 一回目の衝突直後の小物体の速さは、問 (3) の答えの何倍になるか答えよ。
- (5) 壁面と合計 n 回衝突した直後の小物体の速さは、問 (3) の答えの何倍になるか答えよ。
- (6) 壁面と合計 n 回衝突した後の小物体の最高到達点の高さは、 h の何倍になるか答えよ。

[II] 台の両側の固定具を取り除いた場合、つまり台が床上をなめらかに動く場合を考える。この場合も点 A に小物体を静かにおくと小物体は曲面を下り、やがて台の壁面と衝突する。この衝突について以下の問いに答えよ。ただし、台の質量を M とし、台は小物体を静かに放すときは静止していたとする。

- (7) この衝突直前の、小物体の床に対する速さが問 (3) の答えの何倍になるかを、力学的エネルギー保存則と運動量保存則を用いて計算し、 m 、 M を用いて答えよ。
- (8) この衝突直後の、小物体の床に対する速さは、問 (3) の答えの何倍になるかを、 m 、 M 、 e を用いて答えよ。

2

鉛直上向きの磁束密度の大きさ B の一様な磁場の中で、図 1、図 2 のように、間隔 l で 2 本の平行導線 L_1 、 L_2 を水平面となす角が θ となるように固定した。この平行導線に図 1、図 2 のように抵抗値 R の抵抗 R や電源装置をつなぎ、回路を作った。抵抗 R 以外の抵抗、回路を流れる電流が作る磁場、摩擦や空気抵抗は無視するものとし、重力加速度の大きさは g とする。また、 $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ とする。以下の問いに答えよ。

[I] 図 1 のように電源装置によって一定の電圧 E を加え、質量 m 、長さ l の細い導体棒 M を L_1 、 L_2 に垂直になるよう、静かに置いたところ、 M は L_1 、 L_2 上で静止した。

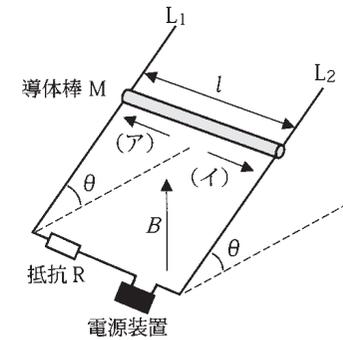
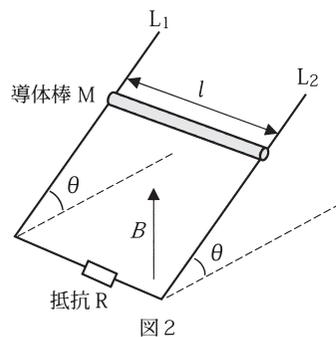


図 1

- (1) M に流れる電流の向きは図 1 中の (ア)、(イ) のどちらか。
- (2) 回路に流れる電流の大きさを I としたとき、 M に働く力のつり合いの式を、次の (ア) ~ (オ) の中から選び、記号で答えよ。
 - (ア) $mg = IBl$
 - (イ) $mg \sin \theta = IBl$
 - (ウ) $mg \cos \theta = IBl$
 - (エ) $mg \sin \theta = IBl \cos \theta$
 - (オ) $mg \cos \theta = IBl \sin \theta$
- (3) E はいくらか。 m 、 B 、 l 、 R 、 g 、 θ を用いて答えよ。

[II] 次に、図2のように、Mを L_1 、 L_2 に垂直になるよう、静かに置いたところ、 L_1 、 L_2 にそってMは下方に滑り始めた。



(4) Mが動き出す瞬間の加速度の大きさはいくらか。 m 、 B 、 l 、 g 、 θ の中から必要なものを用いて答えよ。

[III] [II]の状態において、Mが L_1 、 L_2 にそって滑り始めてからしばらくすると、回路には一定の電流が流れ、Mの速さは一定値 v_0 になった。

(5) Mに流れている電流の大きさはいくらか。 m 、 B 、 l 、 g 、 θ を用いて答えよ。

(6) 回路に発生する誘導起電力の大きさはいくらか。 B 、 l 、 v_0 、 θ を用いて答えよ。

(7) v_0 はいくらか。次の(ア)～(オ)の中から選び、記号で答えよ。

(ア) $\frac{mgR \sin\theta}{B^2 l^2}$

(イ) $\frac{mgR \cos\theta}{B^2 l^2 \tan\theta}$

(ウ) $\frac{mgR}{B^2 l^2 \sin\theta}$

(エ) $\frac{mgR}{B^2 l^2 \cos\theta}$

(オ) $\frac{mgR \tan\theta}{B^2 l^2 \cos\theta}$

(8) 回路の抵抗による消費電力を m 、 g 、 θ 、 v_0 を用いて答えよ。

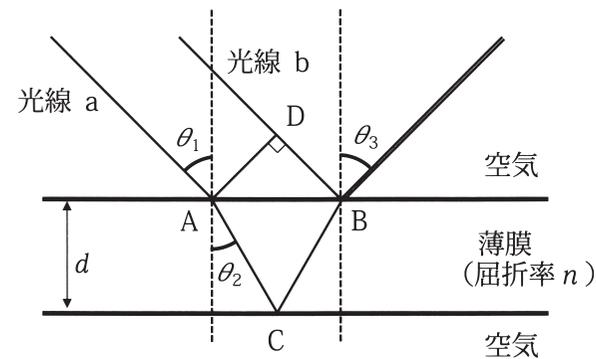
3 図のように、空气中に屈折率 $n (> 1)$ 、厚さ d の薄膜があり、波長 λ の単色光が入射角 θ_1 で斜めに入射している。光線 a は点 A で屈折し、点 C で反射した後、点 B で屈折する。このとき点 A での屈折角を $\theta_2 (> 0)$ とする。また、光線 b は点 B で反射する。以下の問いに $d, n, \lambda, \theta_1, \theta_2$ 、および真空中の光の速さ c の中から必要な記号を用いて答えよ。ただし、空気の屈折率を 1 とする。

- (1) 反射角 θ_3 を答えよ。
- (2) 屈折角 θ_2 と入射角 θ_1 との関係式を示せ。
- (3) この光の薄膜内部での波長を求めよ。
- (4) 光線 a の経路 ACB の光路長を求めよ。ただし、 θ_1 は使わずに答えよ。
- (5) 光線 b が点 B で反射する際の位相の変化量について正しいものを次の (あ) ~ (え) の中から選び、記号で答えよ。

(あ) 0 (い) $\frac{\pi}{4}$ (う) $\frac{\pi}{2}$ (え) π
- (6) 光線 b の光が図中の点 D から点 B まで進む間に要する時間を求めよ。ただし、 θ_1 は使わずに答えよ。

(7) 薄膜による反射後、光線 a と b が干渉により強め合う条件を (あ) ~ (え) の中から選び、記号で答えよ。ただし、 m は 0 以上の整数 ($m = 0, 1, 2, \dots$) を表す。

- (あ) $2nd \cos \theta_2 = m\lambda$ (い) $2nd \cos \theta_2 = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$
- (う) $\frac{2nd}{\cos \theta_2} = m\lambda$ (え) $\frac{2nd}{\cos \theta_2} = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$



物理

●工学部（生命環境化学科／知能機械工学科）
●情報工学部（情報システム工学科）

（3教科型・2月10日実施分）

（解答：62～64ページ）

（解答はすべて、別紙解答用紙の解答欄に記入せよ。）

解答用紙の計算と書かれた枠内には、解答の導出過程で用いた計算や考え方を書くこと。

- 1 図1のように天井からつるされたなめらかに回る滑車に伸びない糸をかけ、左には質量 m の物体 A、右には質量 $3m$ の物体 B をつるす。この糸にフックを用いて物体 A が取り付けられている。物体 A と水平な床の間を糸で結び、物体 A、B を静止させた。このとき物体 A、B の床からの高さを h とし、重力加速度の大きさを g とする。また、滑車、糸、フックの質量は無視できるものとする。以下の問いについて答えよ。

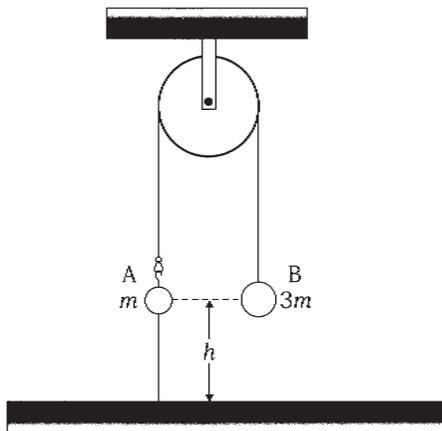


図1

- (1) 物体 B が糸から受ける張力の大きさ、床が糸から受ける張力の大きさ、天井が滑車から受ける力の大きさをそれぞれ答えよ。

図2のように物体 A と床の間を結ぶ糸を切ったところ、物体 A、B は動き出し、物体 B は床に衝突した。この間、物体 A、B 間の糸はたるむことはなかった。空気抵抗、物体 A、B の大きさ、および切られた糸の影響は無視できるとする。また、以下の問いでは物体 A は滑車や天井に衝突することはないとする。

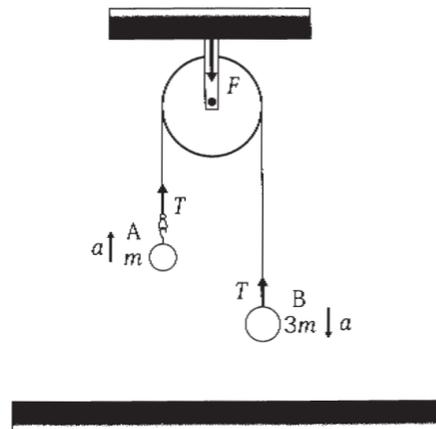


図2

- (2) 糸を切ってから物体 B が床に衝突するまでの運動について、物体 A、B の加速度の大きさを a 、物体 A、B を結んだ糸の張力の大きさを T と表したとき、物体 A、B それぞれの運動方程式を立てよ。また、 a 、 T 、および天井が滑車から受ける力の大きさ F を求めよ。
- (3) 糸を切ってから物体 B が床に衝突するまでにかかった時間と、物体 B が床に衝突したときの物体 A の速さを g 、 h を用いて答えよ。

物体 B が床に衝突したとき、物体 A から糸が外れた。このとき、糸が物体 A の運動に影響を与えることはなかったとする。物体 B が床に衝突した後の物体 A の運動について以下の問いに答えよ。ただし、外れた糸の物体 A, B への影響は無視できるとする。

- (4) 物体 A の加速度を答えよ。ただし、鉛直上向きを正とする。
- (5) 物体 A が到達する最高点の床からの高さを答えよ。
- (6) 物体 B は床に衝突し、鉛直上向きに反発係数 e ではねかえった。物体 B が再度床に衝突したときの、物体 A の床からの高さを e, h を用いて答えよ。

2 真空中で互いに平行に距離 d だけ隔てて極板 A と B を配置し、[I] と [II] で述べる 2 つのコンデンサーを作った。これらのコンデンサーの極板 A 側に電源の正極、B 側に負極をつないで電気量 Q の電荷を蓄えたあと、電源から切り離して、極板から電荷が逃げないようにした。極板によって形成される電場は一様とみなせることとする。真空の誘電率を ϵ_0 として、以下の問いに答えよ。

[I] 一辺の長さ a の正方形の導体板を、図 1 のように極板 A と B に用いた。

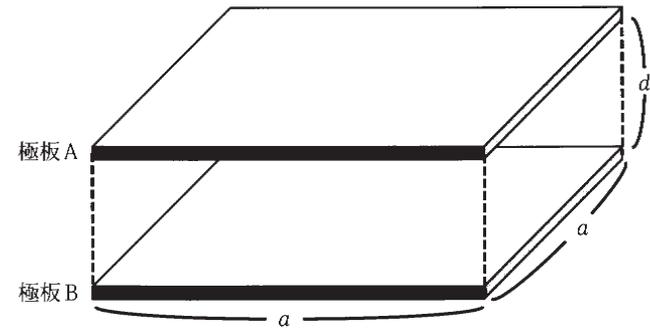


図 1

- (1) このコンデンサーの電気容量はいくらか。 a, d, ϵ_0 を用いて答えよ。
- (2) このコンデンサーに蓄えられている静電エネルギーはいくらか。 a, d, ϵ_0, Q を用いて答えよ。
- (3) このコンデンサーの極板に外から力を加え、極板間の距離を d から Δd だけゆっくと広げた。この操作の前後でのコンデンサーの静電エネルギーの変化はいくらか。 $a, \Delta d, \epsilon_0, Q$ を用いて答えよ。
- (4) 2 枚の極板の間には正負の電荷によって引力が働いている。この引力に逆らって極板を引き離すために外から加えた力のする仕事は、その間の静電エネルギーの増加に等しい。このことを用いて、極板間に働く力の大きさを求め、 a, ϵ_0, Q を用いて答えよ。

- (5) 電気量 Q の帯電体から出る電気力線の総数は $\frac{Q}{\epsilon_0}$ であることが知られている。図2のように、極板 B の電荷の作る電場だけを考えると、極板と平行な面 ① ~ ③ それぞれの単位面積当たりを垂直に貫く電気力線の数とその向きの組み合わせとして、最も適当なものを次の (あ) ~ (き) の中から選び、記号で答えよ。



図2

	面①	面②	面③
(あ)	$\frac{Q}{2\epsilon_0 a^2}$ 上	$\frac{Q}{2\epsilon_0 a^2}$ 上	$\frac{Q}{2\epsilon_0 a^2}$ 下
(い)	0	$\frac{Q}{\epsilon_0 a^2}$ 上	0
(う)	$\frac{Q}{\epsilon_0 a^2}$ 上	0	$\frac{Q}{\epsilon_0 a^2}$ 下
(え)	$\frac{Q}{\epsilon_0 a^2}$ 上	$\frac{Q}{\epsilon_0 a^2}$ 上	$\frac{Q}{\epsilon_0 a^2}$ 下
(お)	$\frac{Q}{2\epsilon_0 a^2}$ 下	$\frac{Q}{2\epsilon_0 a^2}$ 下	$\frac{Q}{2\epsilon_0 a^2}$ 上
(か)	0	$\frac{Q}{\epsilon_0 a^2}$ 下	0
(き)	$\frac{Q}{\epsilon_0 a^2}$ 下	0	$\frac{Q}{\epsilon_0 a^2}$ 上
(く)	$\frac{Q}{\epsilon_0 a^2}$ 下	$\frac{Q}{\epsilon_0 a^2}$ 下	$\frac{Q}{\epsilon_0 a^2}$ 上

- (6) 極板 A に働く静電気力の大きさを求め、 a , ϵ_0 , Q を用いて答えよ。

- [II] 薄い導体板 A' と A'', B' と B'' を、図3のようにそれぞれ重ねて、 x 軸方向の長さが a , y 軸方向の長さが b の長方形を作り、それぞれ極板 A, B とした。導体板 A' と B' は、必要に応じて x 軸方向になめらかに動かすことができるようになっていて、この仕組みによって、コンデンサーの極板間隔 d と辺の長さ b をそれぞれ一定に保ったまま、辺の長さ a を変化させることができる。ただし、導体板は薄く、重ねた導体板の段差による電場への影響は無視できる。また、導体板 A' と A'', B' と B'' はそれぞれ互いにすき間なく重ねられており、導体板 A' と B' を動かしても導体板 A' と A'' の間、B' と B'' の間にすき間が空くことはない。

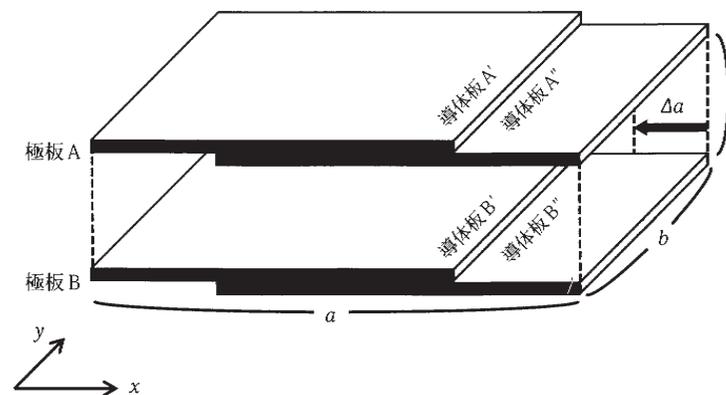


図3

- (7) 導体板 A'', B'' を、 a より十分小さい距離 Δa だけ、 x 軸負方向にゆっくりと動かし、辺の長さ a を小さくした。この操作の前後でのコンデンサーの静電エネルギーの変化を求め、 a , Δa , b , d , ϵ_0 , Q を用いて答えよ。ただし、 $|r|$ が 1 に比べて十分に小さいとき、 $(1+r)^{-1} \approx 1-r$ と近似できることを用いよ。
- (8) 導体板 A', B' にはたらく静電気力の合力の x 軸方向成分の大きさを求め、 a , b , d , ϵ_0 , Q を用いて答えよ。また、その方向は x 軸正方向、負方向のどちら向きか。解答欄の正・負のうち、正しいものを丸で囲め。

3

図1に示すように、上部が開放された断面積 S のガラス管を鉛直に立て、底面の小さな穴に細い管をつないだ。ガラス管には密度 ρ の液体が入っており、細い管を通してこの穴から圧力 p がかけられてガラス管底面より高さ h のところで液面が保たれている。このとき、大気圧を p_0 、重力加速度の大きさを g として次の問いに答えよ。

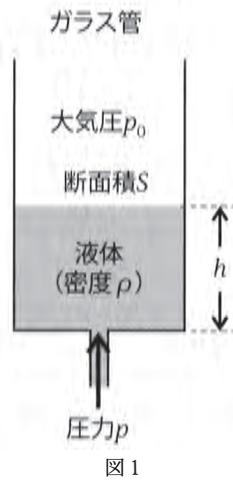


図1

- (1) 次の文章の空欄には異なる文字式が入る。空欄を埋める最も適切な文字式を選択肢から選び記号で答えよ。

液面を押す圧力は (ア) であり、ガラス管中の液体に加わる重力の大きさは (イ) である。ガラス管の底面にかかる圧力は、液面を押す圧力に加えて液体による圧力を加えたものと等しいことから (ウ) となる。このガラス管の底面にかかる圧力は細い管とつないだ小さな穴の部分でも同じ (エ) であり、これは (ウ) と等しい。

- (あ) ρgh (い) p_0 (う) $p_0 + \rho gh$
 (え) p (お) ρghS (か) $p_0 + \rho ghS$

次に、鉛直に立てた熱をよく通す2つのガラス管 A と B を細い管でつなぎ、図2に示す装置を作った。ガラス管 A と B の断面積は異なり、それぞれ S と $2S$ である。また、ガラス管 A の高さは $2h_0$ であり、その上部には栓が付いている。この装置に栓を開けた状態で密度 ρ の液体を入れ、ガラス管 A と B の液面を同じ高さ h_0 とした後に栓を閉めて実験を行った。大気圧を p_0 、重力加速度の大きさを g として次の問いに答えよ。ただし、空気は理想気体とみなせるとし、大気圧 p_0 は常に一定で、栓の部分の体積も無視できる。また、液体の密度 ρ は常に一定で凝固・蒸発は無視できるとする。

栓を閉じた後放置しておいたところ、しばらくして外気温が下がって T_0 から T_1 に変化した。その結果、図3に示すようにガラス管 A の液面が $\frac{1}{3}h_0$ 上昇してガラス管 A に閉じ込められている空気の圧力は p_1 となった。

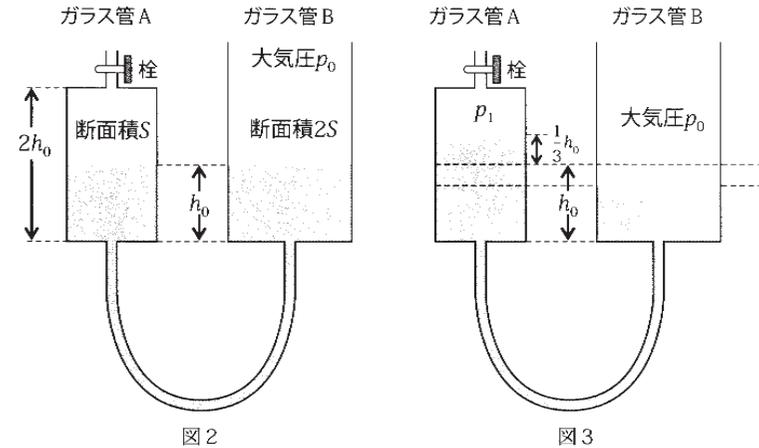


図2

図3

- (2) このときガラス管 B の液面は下がる。その高さはいくら変化したか。次の選択肢から選び記号で答えよ。

- (あ) $\frac{1}{2}h_0$ (い) $\frac{2}{3}h_0$ (う) $\frac{1}{6}h_0$ (え) $\frac{1}{3}h_0$

(3) このとき、ガラス管 A の液面において閉じ込められた空気の圧力 p_1 と液面の圧力とは等しくなるが、ガラス管 A と B の液面の高さに差があるため、 p_1 は p_0 よりも小さくなる。この液面の差によって p_1 は p_0 よりどれだけ小さくなるか。 ρ , g , h_0 を用いて答えよ。

(4) このときのガラス管 A の空気の体積はいくらか。 h_0 と S を用いて答えよ。

(5) 温度変化の前後で、ガラス管 A に閉じ込められた空気の体積と圧力は変化するが、質量は変化しない。この場合ボイル・シャルルの法則が成り立つ。これから導ける温度変化前後の関係式より $\frac{p_1}{p_0}$ を求め、 T_0 と T_1 を用いて答えよ。

(6) T_1 は T_0 の何倍となるか。次の選択肢から選び記号で答えよ。

(あ) $\frac{1}{3} \left(1 - \frac{\rho g h_0}{p_0} \right)$ (い) $\frac{2}{3} \left(1 - \frac{\rho g h_0}{2p_0} \right)$ (う) $\frac{1}{3} \left(2 + \frac{\rho g h_0}{2p_0} \right)$

(え) $\frac{1}{3} \left(2 - \frac{\rho g h_0}{2p_0} \right)$ (お) $\frac{2}{3} \left(1 + \frac{\rho g h_0}{2p_0} \right)$

(7) 次に、ガラス管 A と B の液面の高さをそろえるため、ガラス管 A 中の空気の温度が T_1 に保たれるよう十分ゆっくりガラス管 B に液体を注いだ。その結果、B の液面は図 4 に示すように高さが x 上昇した。 x は h_0 の何倍か。 T_0 と T_1 を用いて答えよ。

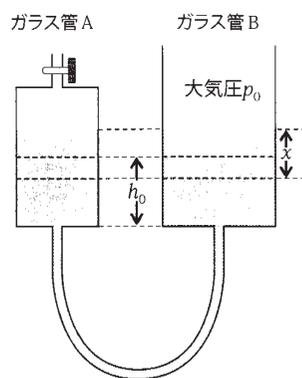


図 4