

物 理

(問 題)

2013年度

〈2013 H25071119〉

注 意 事 項

1. 問題冊子は、試験開始の指示があるまで開かないこと。
2. 問題は4～11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・乱丁および解答用紙の汚れ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. 解答はすべて解答用紙の所定欄に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. マーク解答用紙については、受験番号を確認したうえ、試験開始後、所定欄に氏名のみを記入すること。
5. マーク欄ははっきり記入すること。また、訂正する場合は、消しゴムでていねいに、消し残しがないようよく消すこと（砂消しゴムは使用しないこと）。

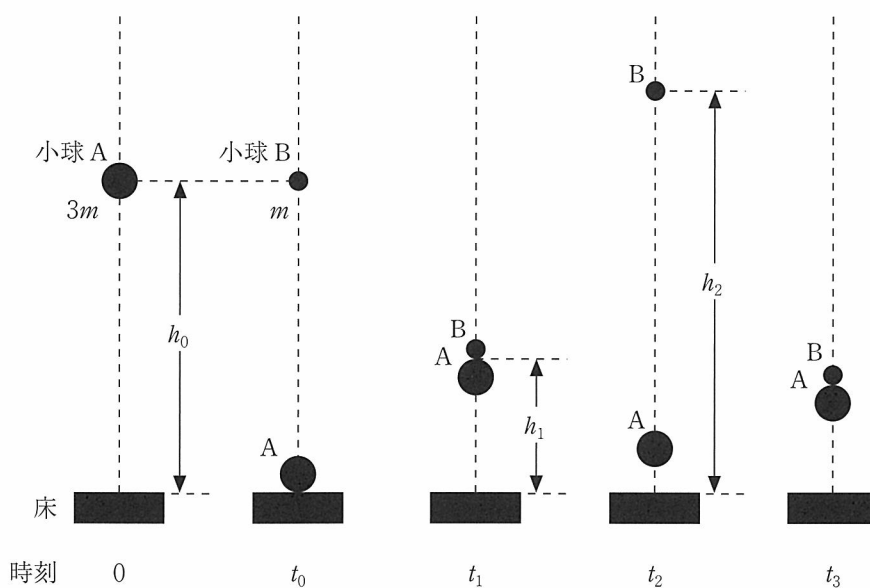
マークする時	☒ 良い	☐ 悪い	☐ 悪い
マークを消す時	☐ 良い	☐ 悪い	☐ 悪い

6. いかなる場合でも、解答用紙は必ず提出すること。
7. 試験終了後、問題冊子は持ち帰ること。

[I]

大きさが無視できる2つの小球（質量 $3m$ の球 A と質量 m の球 B）の鉛直線上での、衝突を含む運動が次の文章に記述されている。文章中の空欄 (1) ～ (6) にあてはまる、もっともふさわしいものを、それぞれの選択肢より1つずつ選びなさい。ただし、2つの小球の衝突および小球と床との衝突のはね返り係数（反発係数）はすべて1とする。また空気抵抗は無視し、重力加速度の大きさを g とし、さらに各衝突時間は非常に短く、0とみなせる。

運動の時間経過を下図に示す。まず、時刻0に小球Aが高さ h_0 から初速0で自由落下を開始し、時刻 $t_0 =$ (1) に床に衝突した。次に、この時刻 t_0 に小球Bが高さ h_0 から初速0で自由落下を開始し、鉛直上方にはね返ってきた小球Aと時刻 $t_1 =$ (2) に高さ $h_1 =$ (3) で衝突した。この衝突後、小球Bは鉛直上方にはね返り、時刻 $t_2 =$ (4) に最高の高さ $h_2 =$ (5) に達し、鉛直下方の自由落下に転じた。一方、鉛直下方に落下した小球Aは、床と再び衝突し、鉛直上方にはね返り、落下してきた小球Bと時刻 t_3 に再び衝突した。この時刻 t_3 の衝突の直前、2つの小球の相対速度の大きさは $v =$ (6) であった。



注意 上図は2つの小球の運動の説明のために描かれており、時刻 t_1 , t_2 および t_3 の高さは正確ではない。

(1) の選択肢

a. $\sqrt{\frac{gh_0}{2}}$

b. $\sqrt{gh_0}$

c. $\sqrt{2gh_0}$

d. $\sqrt{mgh_0}$

e. $\sqrt{\frac{mg}{2h_0}}$

f. $\sqrt{\frac{mg}{h_0}}$

g. $\sqrt{\frac{2mg}{h_0}}$

h. $\sqrt{\frac{h_0}{2mg}}$

i. $\sqrt{\frac{h_0}{mg}}$

j. $\sqrt{\frac{2h_0}{mg}}$

k. $\sqrt{\frac{g}{2h_0}}$

l. $\sqrt{\frac{g}{h_0}}$

m. $\sqrt{\frac{2g}{h_0}}$

n. $\sqrt{\frac{h_0}{2g}}$

o. $\sqrt{\frac{h_0}{g}}$

p. $\sqrt{\frac{2h_0}{g}}$

(2) の選択肢

a. $\frac{t_0}{2}$

b. $\frac{\sqrt{10}t_0}{3}$

c. $\frac{\sqrt{11}t_0}{3}$

d. $\frac{7t_0}{6}$

e. $\frac{6t_0}{5}$

f. $\frac{5t_0}{4}$

g. $\frac{4t_0}{3}$

h. $\frac{(\sqrt{3}+1)t_0}{3}$

i. $\sqrt{2}t_0$

j. $\frac{3t_0}{2}$

k. $\frac{5t_0}{3}$

l. $\sqrt{3}t_0$

m. $2t_0$

n. $\sqrt{5}t_0$

o. $\frac{(\sqrt{3}+3)t_0}{3}$

p. $\sqrt{6}t_0$

(3) の選択肢

a. 0

b. $\frac{\sqrt{3}h_0}{6}$

c. $\frac{\sqrt{3}h_0}{5}$

d. $\frac{\sqrt{5}h_0}{6}$

e. $\frac{\sqrt{3}h_0}{4}$

f. $\frac{\sqrt{2}h_0}{3}$

g. $\frac{h_0}{2}$

h. $\frac{\sqrt{5}h_0}{4}$

i. $\frac{2h_0}{3}$

j. $\frac{\sqrt{2}h_0}{2}$

k. $\frac{\sqrt{5}h_0}{3}$

l. $\frac{3h_0}{4}$

m. $\frac{\sqrt{3}h_0}{2}$

n. h_0

o. $\frac{3h_0}{2}$

p. $2h_0$

(4) の選択肢

- a. $(\sqrt{2} - 1)t_0$ b. $(\sqrt{3} - 1)t_0$ c. $\frac{(\sqrt{2} + 1)t_0}{2}$ d. $\sqrt{2}t_0$
- e. $\frac{3t_0}{2}$ f. $\frac{5t_0}{3}$ g. $\left(\frac{\sqrt{10}}{3} + 1\right)t_0$ h. $\left(\frac{\sqrt{11}}{3} + 1\right)t_0$
- i. $\frac{11t_0}{5}$ j. $\frac{(\sqrt{2} + 3)t_0}{2}$ k. $\frac{9t_0}{4}$ l. $\frac{7t_0}{3}$
- m. $(\sqrt{2} + 1)t_0$ n. $\frac{5t_0}{2}$ o. $(\sqrt{3} + 1)t_0$ p. $3t_0$

(5) の選択肢

- a. $\frac{\sqrt{6}h_0}{5}$ b. $\frac{\sqrt{5}h_0}{4}$ c. $\frac{\sqrt{7}h_0}{4}$ d. $\frac{\sqrt{5}h_0}{3}$
- e. $\frac{3h_0}{4}$ f. $\frac{\sqrt{3}h_0}{2}$ g. $\frac{\sqrt{7}h_0}{3}$ h. h_0
- i. $\frac{(\sqrt{2} + 3)h_0}{4}$ j. $\frac{6h_0}{5}$ k. $\frac{5h_0}{4}$ l. $\sqrt{2}h_0$
- m. $\frac{3h_0}{2}$ n. $\frac{5h_0}{3}$ o. $\frac{7h_0}{4}$ p. $\frac{7h_0}{3}$

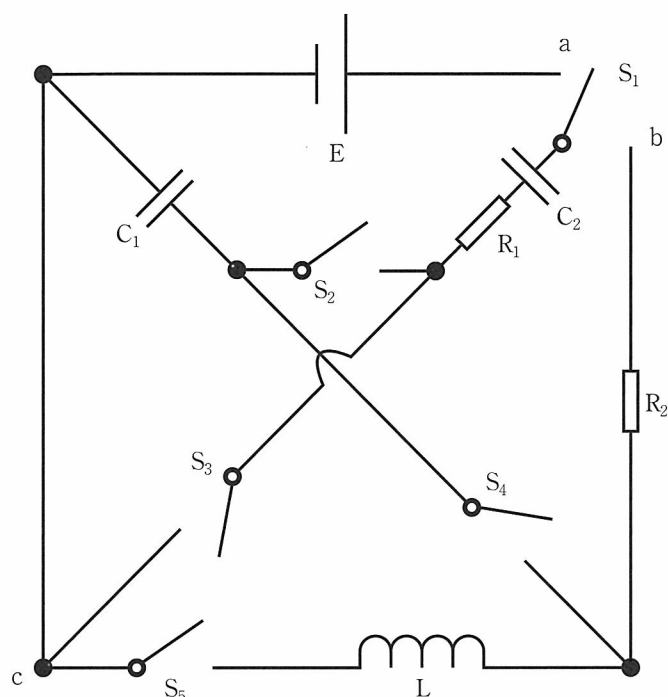
(6) の選択肢

- a. $\frac{(\sqrt{2} - 1)gt_0}{2}$ b. $\frac{(\sqrt{3} - 1)gt_0}{2}$ c. $(\sqrt{2} - 1)gt_0$ d. $\frac{(\sqrt{5} - 1)gt_0}{2}$
- e. $\frac{(\sqrt{6} - 1)gt_0}{2}$ f. $(\sqrt{3} - 1)gt_0$ g. $(\sqrt{5} - 1)gt_0$ h. $\sqrt{2}gt_0$
- i. $(\sqrt{6} - 1)gt_0$ j. $\sqrt{3}gt_0$ k. $\sqrt{5}gt_0$ l. $(\sqrt{2} + 1)gt_0$
- m. $\sqrt{6}gt_0$ n. $(\sqrt{3} + 1)gt_0$ o. $(\sqrt{5} + 1)gt_0$ p. $(\sqrt{6} + 1)gt_0$

[Ⅱ]

図のように、コンデンサー C_1 (電気容量 $1.0\ \mu\text{F}$)、コンデンサー C_2 (電気容量 $2.0\ \mu\text{F}$)、電池 E (起電力 $9.0\ \text{V}$)、抵抗 R_1 (抵抗値 $100\ \Omega$)、抵抗 R_2 (抵抗値 $1\ \text{k}\Omega$)、コイル L (自己インダクタンス $16\ \mu\text{H}$)、スイッチ $S_1 \sim S_5$ からなる電気回路がある。最初コンデンサーにたくわえられている電気量はいずれも 0 で、 $S_1 \sim S_5$ は全て開いている。ただし、電池の内部抵抗、コイル、導線の抵抗は無視できるものとする。なお、 $\mu = 10^{-6}$ である。

スイッチ S_1 を端子 a に接続し、スイッチ S_2 を閉じ、十分に時間が経過した。以下の問 1、問 2 に答えなさい。



問 1 コンデンサー C_1 にたくわえられている電気量について、以下の中からもっとも近い値の一つ選びなさい。

- | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| a. $0\ \text{C}$ | b. $7.0 \times 10^{-7}\ \text{C}$ | c. $1.0 \times 10^{-6}\ \text{C}$ | d. $1.4 \times 10^{-6}\ \text{C}$ |
| e. $2.0 \times 10^{-6}\ \text{C}$ | f. $2.1 \times 10^{-6}\ \text{C}$ | g. $2.7 \times 10^{-6}\ \text{C}$ | h. $3.0 \times 10^{-6}\ \text{C}$ |
| i. $6.0 \times 10^{-6}\ \text{C}$ | j. $7.0 \times 10^{-6}\ \text{C}$ | k. $9.0 \times 10^{-6}\ \text{C}$ | l. $1.4 \times 10^{-5}\ \text{C}$ |
| m. $1.8 \times 10^{-5}\ \text{C}$ | n. $2.7 \times 10^{-5}\ \text{C}$ | | |

問 2 コンデンサー C_2 にかかる電圧について、以下の中からもっとも近い値の一つ選びなさい。

- | | | | |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| a. $0\ \text{V}$ | b. $0.5\ \text{V}$ | c. $0.7\ \text{V}$ | d. $1.4\ \text{V}$ |
| e. $2.0\ \text{V}$ | f. $2.8\ \text{V}$ | g. $3.0\ \text{V}$ | h. $4.0\ \text{V}$ |
| i. $6.0\ \text{V}$ | j. $8.3\ \text{V}$ | k. $8.5\ \text{V}$ | l. $9.0\ \text{V}$ |
| m. $12\ \text{V}$ | n. $14\ \text{V}$ | | |

問 1 および問 2 の状態から、スイッチ S_1 を端子 b に接続し、スイッチ S_2 を開き、スイッチ S_3 、および、スイッチ S_4 を閉じ、十分に時間が経過した。以下の問 3、問 4 に答えなさい。

問3 端子bとcの間の電位差について、以下の中からもっとも近い値を一つ選びなさい。

- | | | | |
|----------|----------|----------|----------|
| a. 0 V | b. 2.0 V | c. 2.5 V | d. 3.0 V |
| e. 3.5 V | f. 4.0 V | g. 4.5 V | h. 5.0 V |
| i. 5.5 V | j. 6.0 V | k. 6.5 V | l. 7.0 V |
| m. 7.5 V | n. 9.0 V | | |

問4 抵抗 R_1 、および、抵抗 R_2 で消費されたエネルギーの合計について、以下の中からもっとも近い値を一つ選びなさい。

- | | | | |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| a. 0 J | b. 1.5×10^{-6} J | c. 2.0×10^{-6} J | d. 2.7×10^{-6} J |
| e. 3.0×10^{-6} J | f. 6.0×10^{-6} J | g. 1.5×10^{-5} J | h. 2.0×10^{-5} J |
| i. 2.7×10^{-5} J | j. 3.0×10^{-5} J | k. 6.0×10^{-5} J | l. 3.0×10^{-4} J |
| m. 6.0×10^{-4} J | | | |

問3および問4の状態から、スイッチ S_3 を開き、スイッチ S_5 を閉じたところ、電気振動が生じた。以下の問5、問6に答えなさい。

問5 この振動の周波数について、以下の中からもっとも近い値を一つ選びなさい。

- | | | | |
|------------|-------------|------------|------------|
| a. 2.0 kHz | b. 3.1 kHz | c. 4.0 kHz | d. 6.3 kHz |
| e. 20 kHz | f. 23 kHz | g. 28 kHz | h. 31 kHz |
| i. 40 kHz | j. 49 kHz | k. 63 kHz | l. 310 kHz |
| m. 620 kHz | n. 1600 kHz | | |

問6 コンデンサー C_1 の電気量が0 Cになった瞬間のコイル L に流れる電流について、以下の中からもっとも近い値を一つ選びなさい。

- | | | | |
|------------|------------|------------|------------|
| a. 10 mA | b. 20 mA | c. 30 mA | d. 50 mA |
| e. 100 mA | f. 200 mA | g. 300 mA | h. 500 mA |
| i. 820 mA | j. 1000 mA | k. 1400 mA | l. 1700 mA |
| m. 3000 mA | | | |

[Ⅲ]

底面の断面積が S 、高さが $2h$ の円筒形の断熱容器があり、その軸は鉛直方向を向いている。はじめ、厚さの無視できる質量 m のピストンが、大きさの無視できるストッパーによって容器の中心に固定されている (図 1)。このとき、容器内に含まれるピストン上側の気体 A と、下側の気体 B は、単原子分子の理想気体で、温度が等しく、圧力がともに p_0 である。ストッパーを解除する (ピストンを支える力を瞬時に 0 にする) とピストンは静かに動き出す。ただし、ピストンと容器の摩擦は無視でき、ストッパーは直接、気体の体積や圧力や温度に影響を与えることはない。容器の中心を原点とし、鉛直下向きを正の向きとする x 座標を用いてピストンの位置を表すものとする。また、重力加速度の大きさを g とする。

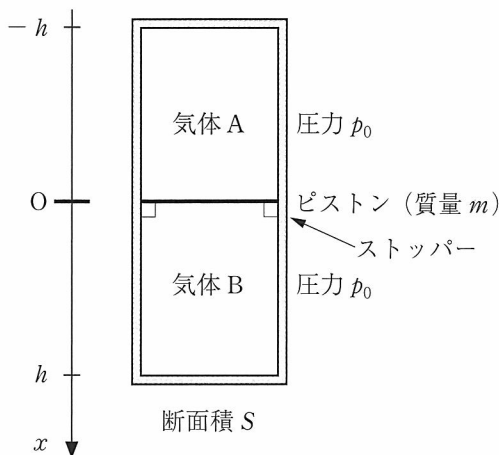


図 1

まず、断熱体でできたピストンの場合を考える。ストッパーを解除すると、ピストンは h に比べて十分小さい振幅で振動を続けた。このとき、以下の問 1 ～ 問 3 に答えなさい。ただし、単原子分子気体の断熱変化では、(圧力) $\times$ (体積) $^{\frac{5}{3}}$ が一定となる。

問 1 ストッパーが解除された後、ピストンの位置が x になったときの、(1) 気体 A の圧力、(2) 気体 B の圧力、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. $p_0 \left(\frac{h+x}{h} \right)$ | b. $p_0 \left(\frac{h-x}{h} \right)$ | c. $p_0 \left(\frac{h}{h+x} \right)$ | d. $p_0 \left(\frac{h}{h-x} \right)$ |
| e. $p_0 \left(\frac{S}{h(h+x)} \right)$ | f. $p_0 \left(\frac{S}{h(h-x)} \right)$ | g. $p_0 \left(\frac{h+x}{h} \right)^{\frac{5}{3}}$ | h. $p_0 \left(\frac{h-x}{h} \right)^{\frac{5}{3}}$ |
| i. $p_0 \left(\frac{h}{h+x} \right)^{\frac{5}{3}}$ | j. $p_0 \left(\frac{h}{h-x} \right)^{\frac{5}{3}}$ | k. $p_0 \left(\frac{S}{h(h+x)} \right)^{\frac{5}{3}}$ | l. $p_0 \left(\frac{S}{h(h-x)} \right)^{\frac{5}{3}}$ |

問 2 気体 A、気体 B の圧力をそれぞれ p_A 、 p_B としたとき、ピストンにはたらく合力を求め、以下の中から正しいものを一つ選びなさい。

- | | | |
|------------------------|------------------------|------------------------|
| a. $(p_A + p_B)S$ | b. $(p_A - p_B)S$ | c. $-(p_A + p_B)S$ |
| d. $-(p_A - p_B)S$ | e. $mg + (p_A + p_B)S$ | f. $mg + (p_A - p_B)S$ |
| g. $mg - (p_A + p_B)S$ | h. $mg - (p_A - p_B)S$ | i. mg |

問3 ストッパーが解除された後のピストンの運動は単振動とみなせる。これは、ピストンの位置 x が h に比べて十分小さいとして、ピストンにはたらく合力に近似式

$$(1 + \alpha)^n \div 1 + n\alpha \quad (\alpha \text{ は絶対値が } 1 \text{ より十分小さい実数, } n \text{ は任意の実数})$$

を用いて確かめることができる。このとき、この単振動の(1)振幅、(2)振動数、を求め、以下のそれぞれの選択肢の中から正しいものを一つずつ選びなさい。

(1)の選択肢：

- | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| a. $\frac{3mgh}{10p_0S}$ | b. $\frac{mgh}{2p_0S}$ | c. $\frac{3mgh}{5p_0S}$ | d. $\frac{mgh}{p_0S}$ |
| e. $\frac{5mgh}{3p_0S}$ | f. $\frac{2mgh}{p_0S}$ | g. $\frac{10mgh}{3p_0S}$ | h. $\frac{3p_0Sh}{10mg}$ |
| i. $\frac{p_0Sh}{2mg}$ | j. $\frac{3p_0Sh}{5mg}$ | k. $\frac{p_0Sh}{mg}$ | l. $\frac{5p_0Sh}{3mg}$ |
| m. $\frac{2p_0Sh}{mg}$ | n. $\frac{10p_0Sh}{3mg}$ | | |

(2)の選択肢：

- | | | | |
|---|---|--|--|
| a. $\frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{3p_0S}{10mh}}$ | b. $\frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{p_0S}{2mh}}$ | c. $\frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{3p_0S}{5mh}}$ | d. $\frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{p_0S}{mh}}$ |
| e. $\frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{5p_0S}{3mh}}$ | f. $\frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{p_0S}{2mh}}$ | g. $\frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{5p_0S}{6mh}}$ | h. $\pi \sqrt{\frac{6p_0S}{5mh}}$ |
| i. $\pi \sqrt{\frac{2p_0S}{mh}}$ | j. $2\pi \sqrt{\frac{3p_0S}{5mh}}$ | k. $2\pi \sqrt{\frac{p_0S}{mh}}$ | l. $2\pi \sqrt{\frac{5p_0S}{3mh}}$ |
| m. $2\pi \sqrt{\frac{2p_0S}{mh}}$ | n. $2\pi \sqrt{\frac{10p_0S}{3mh}}$ | | |

次に、熱を通すことのできるピストンの場合を考える。図1の状態から、ピストンを固定していたストッパーを解除したところ、ピストンは振動を繰り返したが、やがて位置 $x = X$ で静止した(図2)。これについて、以下の問4、問5に答えなさい。

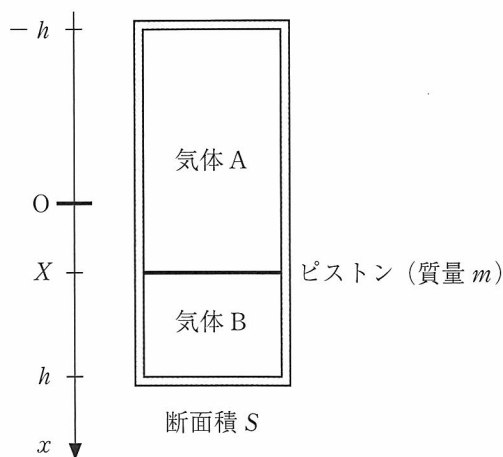


図2

問4 ピストンが位置 X でつりあっているとき、(1)気体Aの圧力、(2)気体Bの圧力、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. $\frac{mg}{S} \left(\frac{h+X}{h} \right)$ b. $\frac{mg}{S} \left(\frac{h-X}{h} \right)$ c. $\frac{mg}{S} \left(\frac{h}{h+X} \right)$ d. $\frac{mg}{S} \left(\frac{h}{h-X} \right)$
e. $\frac{mg}{S} \left(\frac{h+X}{X} \right)$ f. $\frac{mg}{S} \left(\frac{h-X}{X} \right)$ g. $\frac{mg}{S} \left(\frac{X}{h+X} \right)$ h. $\frac{mg}{S} \left(\frac{X}{h-X} \right)$
i. $\frac{mg}{2S} \left(\frac{h+X}{h} \right)$ j. $\frac{mg}{2S} \left(\frac{h-X}{h} \right)$ k. $\frac{mg}{2S} \left(\frac{h}{h+X} \right)$ l. $\frac{mg}{2S} \left(\frac{h}{h-X} \right)$
m. $\frac{mg}{2S} \left(\frac{h+X}{X} \right)$ n. $\frac{mg}{2S} \left(\frac{h-X}{X} \right)$ o. $\frac{mg}{2S} \left(\frac{X}{h+X} \right)$ p. $\frac{mg}{2S} \left(\frac{X}{h-X} \right)$

問5 圧力 p 、体積 V の単原子分子理想気体の内部エネルギーは $\frac{3}{2}pV$ と表せるものとする。この式とエネルギー保存則を用いて、つりあいの位置 X を求め、以下の中から正しいものを一つ選びなさい。

- a. $\frac{6p_0S}{mg}h$ b. $\frac{3p_0S}{2mg}h$
c. $\frac{3(mg - 2p_0S)}{2mg}h$ d. $\frac{3(mg - p_0S)}{mg}h$
e. $\frac{-3p_0S + \sqrt{9(p_0S)^2 + 15(mg)^2}}{5mg}h$ f. $\frac{3p_0S + \sqrt{9(p_0S)^2 + 15(mg)^2}}{5mg}h$
g. $\frac{-3p_0S + \sqrt{9(p_0S)^2 - 3(mg)^2}}{mg}h$ h. $\frac{3p_0S + \sqrt{9(p_0S)^2 - 3(mg)^2}}{mg}h$
i. $\frac{-3p_0S + \sqrt{9(p_0S)^2 + 48(mg)^2}}{8mg}h$ j. $\frac{3p_0S + \sqrt{9(p_0S)^2 + 48(mg)^2}}{8mg}h$
k. $\frac{-3p_0S + \sqrt{9(p_0S)^2 - 24(mg)^2}}{4mg}h$ l. $\frac{3p_0S + \sqrt{9(p_0S)^2 - 24(mg)^2}}{4mg}h$

[以 下 余 白]