

1

- (1) 図1のように、水平面と角度 θ [rad]をなす傾斜面上で質量 m [kg]の小さな物体を静かに手放したところ、大きさ a [m/s^2]の一定の加速度で斜面をすべり落ちた。重力加速度の大きさを g [m/s^2]とし、空気抵抗は無視できるものとして以下の問いに答えよ。

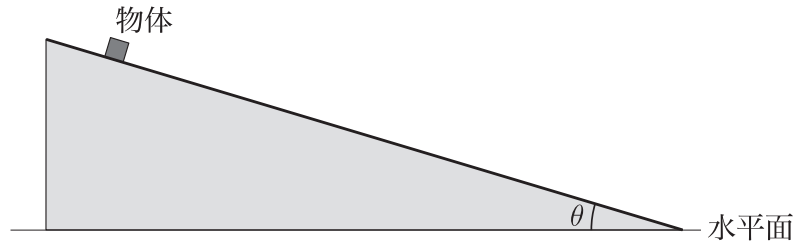


図1

- (a) 以下の文中の空欄(ア)~(ウ)に入る式として最も適切なものを次の①~⑧のうちからそれぞれ一つずつ選び、解答欄にマークせよ。

物体にはたらく重力の大きさは , 斜面からの垂直抗力の大きさは であり、それらの合力の大きさは である。

- ① $mg \sin \theta$ ② $mg(1 + \sin \theta)$ ③ $mg(1 - \sin \theta)$ ④ mg
 ⑤ $mg \cos \theta$ ⑥ $mg(1 + \cos \theta)$ ⑦ $mg(1 - \cos \theta)$ ⑧ $2mg$

- (b) 物体と斜面の間の動摩擦係数を表す式として最も適切なものを次の①~⑩のうちから一つを選び、解答欄にマークせよ。

- ① $\frac{g \sin \theta - a}{g \cos \theta}$ ② $\frac{a - g \sin \theta}{g \cos \theta}$ ③ $\frac{a \sin \theta - g}{g \cos \theta}$ ④ $\frac{g - a \sin \theta}{g \cos \theta}$ ⑤ $\frac{g - a}{g \cos \theta}$
 ⑥ $\frac{g \cos \theta - a}{g \sin \theta}$ ⑦ $\frac{a - g \cos \theta}{g \sin \theta}$ ⑧ $\frac{a \cos \theta - g}{g \sin \theta}$ ⑨ $\frac{g - a \cos \theta}{g \sin \theta}$ ⑩ $\frac{g - a}{g \sin \theta}$

(2) 図2のように、高さ1.0 m、長さ3.5 mのあらい斜面の上に、フックの法則に従うばねの下端が固定されている。ばねの上端から斜面に沿って1.8 m上方の点Aに質量5.0 kgの物体の下端を合わせて置き、静かに手放した。物体は大きさ 1.6 m/s^2 の一定の加速度で斜面をすべり落ちてばねの上端に達し、ばねを押し縮めながらさらに0.20 m進んだ。その後、物体はばねに跳ね返され、点Aに向かって真っすぐ斜面を上った。

重力加速度の大きさを 9.8 m/s^2 とし、空気抵抗およびばねの質量は無視できるものとして以下の問いに答えよ。

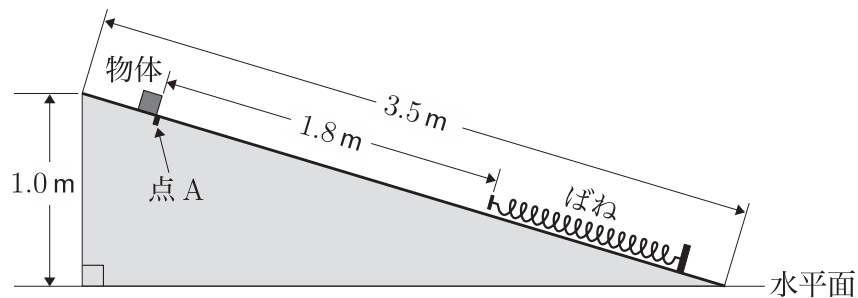


図2

(a) 物体が斜面から受ける動摩擦力の大きさとして最も適切なものを次の①～⑩のうちから一つ選び、解答欄にマークせよ。

- | | | | | |
|---------|---------|---------|--------|--------|
| ① 4.0 N | ② 6.0 N | ③ 8.0 N | ④ 12 N | ⑤ 14 N |
| ⑥ 16 N | ⑦ 37 N | ⑧ 39 N | ⑨ 41 N | ⑩ 47 N |

(b) 点Aを出発した物体が最初にばねの上端に達するまでの時間として最も適切なものを次の①～⑩のうちから一つ選び、解答欄にマークせよ。

- | | | | | |
|----------|----------|----------|---------|---------|
| ① 0.20 s | ② 0.56 s | ③ 0.75 s | ④ 1.1 s | ⑤ 1.5 s |
| ⑥ 2.0 s | ⑦ 2.3 s | ⑧ 2.5 s | ⑨ 3.0 s | ⑩ 3.4 s |

(c) ばねの持つばね定数の値として最も適切なものを次の①～⑨のうちから一つ選び、解答欄にマークせよ。

- ① $1.0 \times 10^2 \text{ N/m}$ ② $2.0 \times 10^2 \text{ N/m}$ ③ $3.0 \times 10^2 \text{ N/m}$
④ $4.0 \times 10^2 \text{ N/m}$ ⑤ $5.0 \times 10^2 \text{ N/m}$ ⑥ $6.0 \times 10^2 \text{ N/m}$
⑦ $7.0 \times 10^2 \text{ N/m}$ ⑧ $8.0 \times 10^2 \text{ N/m}$ ⑨ $9.0 \times 10^2 \text{ N/m}$

(d) 物体の運動の向きが上昇に転じた後、その速さが最大となる瞬間のばねの縮みとして最も適切なものを次の①～⑨のうちから一つ選び、解答欄にマークせよ。

- ① 0 m ② $5.0 \times 10^{-3} \text{ m}$ ③ $1.0 \times 10^{-2} \text{ m}$
④ $1.5 \times 10^{-2} \text{ m}$ ⑤ $2.0 \times 10^{-2} \text{ m}$ ⑥ $2.5 \times 10^{-2} \text{ m}$
⑦ $3.0 \times 10^{-2} \text{ m}$ ⑧ $3.5 \times 10^{-2} \text{ m}$ ⑨ $4.0 \times 10^{-2} \text{ m}$

(e) 物体がばねを離れたあとの加速度として最も適切なものを次の①～⑩のうちから一つ選び、解答欄にマークせよ。ただし、斜面に沿って下向きを正とする。

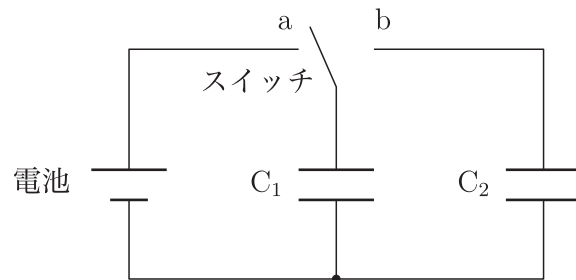
- ① 0.40 m/s^2 ② 0.80 m/s^2 ③ 1.6 m/s^2 ④ 2.8 m/s^2 ⑤ 4.0 m/s^2
⑥ -0.40 m/s^2 ⑦ -0.80 m/s^2 ⑧ -1.6 m/s^2 ⑨ -2.8 m/s^2 ⑩ -4.0 m/s^2

(f) ばねを離れた物体が最高点に達したときの、物体の下端から点 A までの距離として最も適切なものを次の①～⑩のうちから一つ選び、解答欄にマークせよ。

- ① 0 m ② 0.20 m ③ 0.40 m ④ 0.50 m ⑤ 0.80 m
⑥ 1.0 m ⑦ 1.2 m ⑧ 1.4 m ⑨ 1.5 m ⑩ 1.6 m

2

図のように、電気容量が C_1 [F] のコンデンサー C_1 、極板間隔を変えることのできる平行板コンデンサー C_2 と、起電力 V_0 [V] の電池、スイッチを接続した。あらかじめスイッチは a 側にも b 側にも接続されておらず、 C_1 と C_2 に電荷は蓄えられていない。また、 C_2 の電気容量は C_2 [F] となるよう、極板間隔を調整してある。以下の問いに答えよ。



図

(1) はじめに、スイッチを a 側に入れた。十分に時間が経過したとき、 C_1 に蓄えられる電気量を表す式として最も適切なものを次の ①～⑧のうちから一つ選び、解答欄にマークせよ。

① $\frac{V_0}{2C_1}$

② $\frac{V_0}{C_1}$

③ $\frac{C_1}{2V_0}$

④ $\frac{C_1}{V_0}$

⑤ $\frac{1}{2}C_1V_0$

⑥ C_1V_0

⑦ $\frac{1}{2}C_1V_0^2$

⑧ $C_1V_0^2$

(2) 次に、スイッチを a 側から b 側に入れた。

(a) 十分に時間が経過したとき、 C_2 の極板間の電圧を表す式として最も適切なものを次の①～⑧のうちから一つ選び、解答欄にマークせよ。

- ① V_0 ② $\frac{(C_1 + C_2)V_0}{C_1}$ ③ $\frac{(C_1 + C_2)V_0}{C_2}$ ④ $\frac{C_1V_0}{C_1 + C_2}$
⑤ $\frac{C_2V_0}{C_1 + C_2}$ ⑥ $\frac{C_1C_2V_0}{C_1 + C_2}$ ⑦ $\frac{(C_1 + C_2)V_0}{C_1C_2}$ ⑧ $\frac{C_1^2C_2V_0}{C_1 + C_2}$

(b) 十分に時間が経過したとき、 C_2 に蓄えられる静電エネルギーを表す式として最も適切なものを次の①～⑧のうちから一つ選び、解答欄にマークせよ。

- ① $\frac{C_1^2C_2V_0^2}{2(C_1 + C_2)^2}$ ② $\frac{2C_1^2C_2V_0^2}{3(C_1 + C_2)^2}$ ③ $\frac{C_1^2C_2V_0^2}{(C_1 + C_2)^2}$ ④ $\frac{3C_1^2C_2V_0^2}{2(C_1 + C_2)^2}$
⑤ $\frac{(C_1 + C_2)^2V_0^2}{2C_2}$ ⑥ $\frac{2(C_1 + C_2)^2V_0^2}{3C_2}$ ⑦ $\frac{(C_1 + C_2)^2V_0^2}{C_2}$ ⑧ $\frac{3(C_1 + C_2)^2V_0^2}{2C_2}$

(3) (2) の操作を行ってから十分に時間が経過した後、スイッチを a 側にも b 側にも接続されていない状態にした。そのあとで、ゆっくり外力を加えて C_2 の極板間隔を 3 倍にした。

(a) C_2 の電気容量を表す式として最も適切なものを次の ①～⑧のうちから一つ選び、解答欄にマークせよ。

- ① $9C_2$ ② $6C_2$ ③ $3C_2$ ④ $\sqrt{3}C_2$
 ⑤ $\frac{\sqrt{3}C_2}{3}$ ⑥ $\frac{C_2}{3}$ ⑦ $\frac{C_2}{6}$ ⑧ $\frac{C_2}{9}$

(b) C_2 に蓄えられる静電エネルギーを表す式として最も適切なものを次の ①～⑧のうちから一つ選び、解答欄にマークせよ。

- ① $\frac{C_1^2 C_2 V_0^2}{2(C_1 + C_2)^2}$ ② $\frac{2C_1^2 C_2 V_0^2}{3(C_1 + C_2)^2}$ ③ $\frac{C_1^2 C_2 V_0^2}{(C_1 + C_2)^2}$ ④ $\frac{3C_1^2 C_2 V_0^2}{2(C_1 + C_2)^2}$
 ⑤ $\frac{(C_1 + C_2)^2 V_0^2}{2C_2}$ ⑥ $\frac{2(C_1 + C_2)^2 V_0^2}{3C_2}$ ⑦ $\frac{(C_1 + C_2)^2 V_0^2}{C_2}$ ⑧ $\frac{3(C_1 + C_2)^2 V_0^2}{2C_2}$

(c) 外力がした仕事を表す式として最も適切なものを次の ①～⑧のうちから一つ選び、解答欄にマークせよ。

- ① $\frac{C_1^2 C_2 V_0^2}{2(C_1 + C_2)^2}$ ② $\frac{2C_1^2 C_2 V_0^2}{3(C_1 + C_2)^2}$ ③ $\frac{C_1^2 C_2 V_0^2}{(C_1 + C_2)^2}$ ④ $\frac{3C_1^2 C_2 V_0^2}{2(C_1 + C_2)^2}$
 ⑤ $\frac{(C_1 + C_2)^2 V_0^2}{2C_2}$ ⑥ $\frac{2(C_1 + C_2)^2 V_0^2}{3C_2}$ ⑦ $\frac{(C_1 + C_2)^2 V_0^2}{C_2}$ ⑧ $\frac{3(C_1 + C_2)^2 V_0^2}{2C_2}$

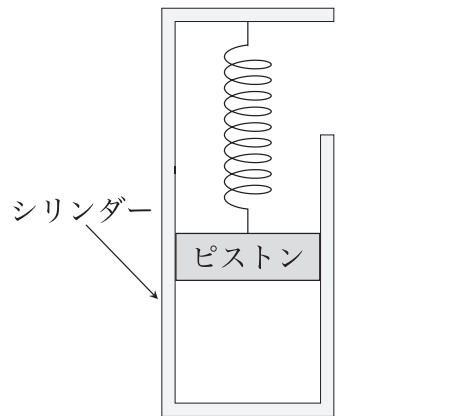
(4) 最後に、スイッチを b 側に入れた。十分に時間が経過したとき、 C_2 の極板間の電圧を表す式として最も適切なものを次の①～⑧のうちから一つ選び、解答欄にマークせよ。

① $\frac{(2C_1 + 3C_2)V_0}{3C_2}$ ② $\frac{(3C_1 + 2C_2)V_0}{2C_2}$ ③ $\frac{(C_1 + 3C_2)V_0}{3C_2}$ ④ $\frac{(3C_1 + C_2)V_0}{C_2}$

⑤ $\frac{2C_1V_0}{2C_1 + 3C_2}$ ⑥ $\frac{3C_1V_0}{3C_1 + 2C_2}$ ⑦ $\frac{C_1V_0}{C_1 + 3C_2}$ ⑧ $\frac{3C_1V_0}{3C_1 + C_2}$

3

図のように、断面積 S [m²] のシリンダーを鉛直に立て、質量 M [kg] のなめらかに動くピストンを取り付ける。シリンダー内には 1 mol の単原子分子の理想気体が閉じ込められている。ピストンはばね定数 k [N/m] の軽いばねでシリンダーにつながれている。シリンダーおよびピストンは断熱材で作られており熱を通さない。また、ヒーターによってシリンダー内の気体を加熱することができる。大気圧を p_0 [Pa]、気体定数を R [J/(mol·K)]、重力加速度の大きさを g [m/s²] とし以下問いに答えよ。



図

- (1) はじめ、シリンダー内の気体は、圧力 p_1 [Pa]、体積 V_1 [m³]、温度 T_1 [K] の状態にあった。ピストンはばねの自然長からの伸びが l [m] となる位置で静止していた。次に、ピストンに作用する力のつり合いが常に保たれるように注意しながらシリンダー内の気体をゆっくりと加熱し続けたところ、気体は圧力 p_2 [Pa]、体積 V_2 [m³]、温度 T_2 [K] の状態になった。

- (a) p_1 を表す式として最も適切なものを次の ①～⑥ のうちから一つ選び、解答欄にマークせよ。

① $p_0 + \frac{Mg + kl}{S}$

② $p_0 + \frac{Mg - kl}{S}$

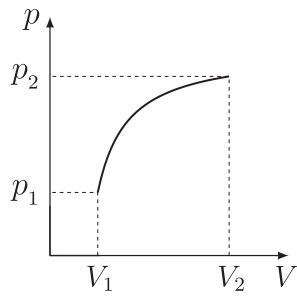
③ $p_0 - \frac{Mg - kl}{S}$

④ $p_0 + \frac{Mg + kl}{2S}$

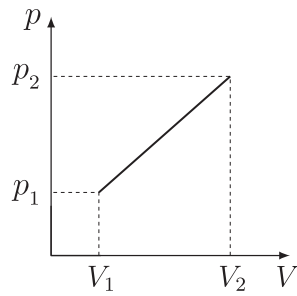
⑤ $p_0 + \frac{Mg - kl}{2S}$

⑥ $p_0 - \frac{Mg - kl}{2S}$

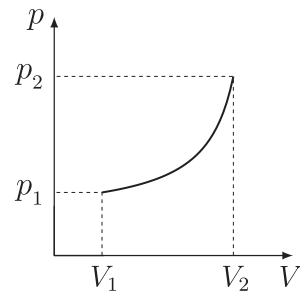
(b) この過程における気体の圧力 p [Pa] と体積 V [m³] の関係を表すグラフとして最も適切なものを次の ①～⑥のうちから一つ選び、解答欄にマークせよ。



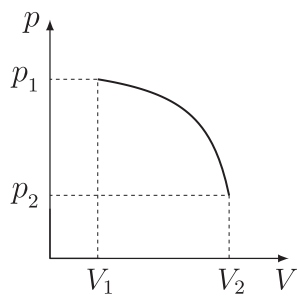
①



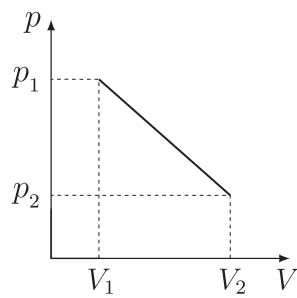
②



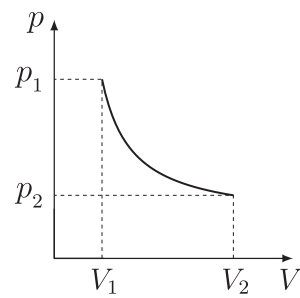
③



④



⑤



⑥

(c) この過程で気体が外部にした仕事を表す式として最も適切なものを次の ①～⑧のうちから一つ選び、解答欄にマークせよ。

① $(p_2 - p_1)V_2$

② $p_1(V_2 - V_1)$

③ $(p_2 - p_1)(V_2 + V_1)$

④ $(p_2 + p_1)(V_2 - V_1)$

⑤ $\frac{1}{2}(p_2 - p_1)(V_2 + V_1)$

⑥ $\frac{1}{2}(p_2 + p_1)(V_2 - V_1)$

⑦ $\frac{3}{2}(p_2 - p_1)(V_2 + V_1)$

⑧ $\frac{3}{2}(p_2 + p_1)(V_2 - V_1)$

(d) この過程における気体の内部エネルギーの変化を表す式として最も適切なものを次の①～⑨のうちから一つ選び、解答欄にマークせよ。

- | | | |
|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| ① 0 | ② $p_1V_1 - p_2V_2$ | ③ $p_2V_2 - p_1V_1$ |
| ④ $\frac{1}{2}(p_1V_1 - p_2V_2)$ | ⑤ $\frac{3}{2}(p_1V_1 - p_2V_2)$ | ⑥ $\frac{5}{2}(p_1V_1 - p_2V_2)$ |
| ⑦ $\frac{1}{2}(p_2V_2 - p_1V_1)$ | ⑧ $\frac{3}{2}(p_2V_2 - p_1V_1)$ | ⑨ $\frac{5}{2}(p_2V_2 - p_1V_1)$ |

(2) ここでは(1)の過程において $p_1V_2 = p_2V_1$ が成り立つような場合について考える。

(a) この過程で気体が外部にした仕事を表す式として最も適切なものを次の①～⑨のうちから一つ選び、解答欄にマークせよ。

- | | | |
|---------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| ① $p_2(V_2 - V_1)$ | ② $(p_2 - p_1)V_1$ | ③ $(p_2 + p_1)V_1$ |
| ④ $p_2V_2 - p_1V_1$ | ⑤ $\frac{1}{2}(p_2V_2 - p_1V_1)$ | ⑥ $\frac{3}{2}(p_2V_2 - p_1V_1)$ |
| ⑦ $p_1V_1 + p_2V_2$ | ⑧ $\frac{1}{2}(p_1V_1 + p_2V_2)$ | ⑨ $\frac{3}{2}(p_1V_1 + p_2V_2)$ |

(b) この過程で気体の温度を 1K 上げるのに必要な熱量(モル比熱)を表す式として最も適切なものを次の①～⑧のうちから一つ選び、解答欄にマークせよ。

- | | | | |
|------------------|--------|------------------|--------|
| ① $\frac{1}{2}R$ | ② R | ③ $\frac{3}{2}R$ | ④ $2R$ |
| ⑤ $\frac{5}{2}R$ | ⑥ $3R$ | ⑦ $\frac{7}{2}R$ | ⑧ $4R$ |

(3) ここでは(2)において仮定した条件 $p_1V_2 = p_2V_1$ は必ずしも成り立たないものとする。

(1)の過程の後、ピストンの上面におもりを静かにのせ、少しずつおもりの数量を増やした。おもりの合計質量が m [kg] になったとき、シリンダー内の気体は圧力 p_3 [Pa]、体積 V_1 、温度 T_3 [K] の状態に変化していた。この断熱変化においては単原子分子の理想気体のポアソンの法則

$$pV^{\frac{5}{3}} = \text{一定}$$

が成り立つものとする。

(a) T_3 を表す式として最も適切なものを次の①～⑧のうちから一つ選び、解答欄にマークせよ。

$$\begin{array}{llll} \text{① } T_2 \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\frac{2}{3}} & \text{② } T_2 \left\{ \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\frac{2}{3}} - 1 \right\} & \text{③ } T_2 \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{-\frac{2}{3}} & \text{④ } T_2 \left\{ 1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{-\frac{2}{3}} \right\} \\ \text{⑤ } T_2 \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\frac{5}{3}} & \text{⑥ } T_2 \left\{ \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\frac{5}{3}} - 1 \right\} & \text{⑦ } T_2 \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{-\frac{5}{3}} & \text{⑧ } T_2 \left\{ 1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{-\frac{5}{3}} \right\} \end{array}$$

(b) $p_1 = p_0$ 、 $V_2 = \frac{3}{2}V_1$ 、 $p_2 = \frac{5}{4}p_1$ であるとき、すべてのおもりによってピストンに加えられる力の大きさ mg は、大気圧によりピストンが押される力の大きさ p_0S の何倍となるか。最も適切なものを次の①～⑧のうちから一つ選び、解答欄にマークせよ。ただし、 $1.5^{\frac{5}{3}} \doteq 2.0$ とせよ。

- | | | | |
|----------|---------|---------|---------|
| ① 0.50 倍 | ② 1.0 倍 | ③ 1.5 倍 | ④ 2.0 倍 |
| ⑤ 2.5 倍 | ⑥ 3.0 倍 | ⑦ 3.5 倍 | ⑧ 4.0 倍 |

