

物 理

1 次の文章A, Bを読み, それぞれの下の問い(問1~7)に答えよ。

A 図1のように, 質量 m_1 の物体1と質量 m_2 の物体2をひもで結び, 物体1を水平からの角度 θ の斜面に置き, 物体2を, 滑車を介して静かにつるしたところ, 両物体は静止した。次に, 斜面の傾きを少しずつ増やしていったところ, $\theta > \alpha$ になったとき, 物体1は斜面を滑り降り, 物体2は上昇する運動を始めた。重力加速度の大きさを g , ひもの張力の大きさを T , 物体1の斜面における垂直抗力の大きさを N , 静止摩擦力の大きさを f , 物体1と斜面との静止摩擦係数を μ , 動摩擦係数を μ_k とし, ひもの伸び縮みや空気抵抗などはないものとする。

問1 $\theta < \alpha$ のとき, 物体1のつり合いから $T = \boxed{1}$, $N = \boxed{2}$, 物体2のつり合いから $T = \boxed{3}$ の関係式が導かれる。したがって, $f = \boxed{4}$ となる。 $\boxed{1} \sim \boxed{4}$ に入る式として最も適切なものを, 次の①~⑨のうちからそれぞれ1つずつ選べ。ただし, θ が α に十分近いとき, 摩擦力の方向は斜面に沿って上向きの方であったとする。

- | | | |
|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| ① $m_1 g$ | ② $m_2 g$ | ③ $m_1 g \sin \theta$ |
| ④ $m_1 g \cos \theta$ | ⑤ $m_1 g \sin \theta - m_2 g$ | ⑥ $m_1 g \sin \theta + m_2 g$ |
| ⑦ $m_1 g \sin \theta - f$ | ⑧ $m_1 g \sin \theta + f$ | ⑨ $m_1 g \cos \theta + f$ |

問2 静止摩擦係数は $\mu = \boxed{5}$ となる。 $\boxed{5}$ に入る式として最も適切なものを, 次の①~⑨のうちから1つ選べ。

- | | | |
|--|---|---|
| ① $(\sin \theta - m_2/m_1)/\cos \theta$ | ② $(\sin \theta + m_2/m_1)/\cos \theta$ | ③ $(\sin \theta - m_2/m_1)/\sin \theta$ |
| ④ $(\sin \theta + m_2/m_1)/\sin \theta$ | ⑤ $(\sin \alpha - m_2/m_1)/\sin \alpha$ | ⑥ $(\sin \alpha - m_2/m_1)/\cos \alpha$ |
| ⑦ $(\sin \alpha - 1)m_1/(m_2 \cos \alpha)$ | ⑧ $(\sin \alpha - m_2/m_1)/\sin \theta$ | ⑨ $(\sin \alpha - m_2/m_1)/\cos \theta$ |

問3 $\theta > \alpha$ のとき, 物体1が斜面を下降する加速度を a とすると, 物体1の斜面に平行な方向の運動方程式は, $m_1 \boxed{6} = \boxed{7}$, 斜面に垂直な方向の運動方程式は $m_1 \boxed{8} = \boxed{9}$ となる。また, 物体2の運動方程式は $m_2 \boxed{10} = \boxed{11}$ となる。 $\boxed{6} \sim \boxed{11}$ に入る式として最も適切なものを, 次の①~⑨のうちからそれぞれ1つずつ選べ。

- | | | |
|-------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| ① 0 | ② a | ③ $T - m_2 g$ |
| ④ $N - m_1 g$ | ⑤ $T - \mu_k N$ | ⑥ $T - m_1 g \cos \theta - \mu_k N$ |
| ⑦ $m_1 g \sin \theta - T - \mu_k N$ | ⑧ $N - m_1 g \cos \theta$ | ⑨ $N + m_1 g \cos \theta$ |

問4 運動方程式を a, T, N について解くと $a = \boxed{12}$, $T = \boxed{13}$, $N = \boxed{14}$ となる。

$\boxed{12}$ に入る式として最も適切なものを, 次の①~⑨のうちから1つ選べ。

- | | | |
|---|---|---|
| ① $\frac{m_1 \sin \theta - \mu_k m_2}{m_1 + m_2} g$ | ② $\frac{m_1 \sin \theta + \mu_k m_2}{m_1 - m_2} g$ | ③ $\frac{m_1 (\sin \theta + \mu_k \cos \theta) - m_2}{m_1 + m_2} g$ |
| ④ $\frac{m_1 (\sin \theta - \mu_k \cos \theta) - m_2}{m_1 + m_2} g$ | ⑤ $\frac{m_1 (\sin \theta - \mu_k \cos \theta) - m_2}{m_1 - m_2} g$ | ⑥ $\frac{m_1 (\sin \theta + \mu_k \cos \theta) + m_2}{m_1 + m_2} g$ |
| ⑦ $\frac{m_1 (\sin \theta - \mu_k \cos \theta) + m_2}{m_1 - m_2} g$ | ⑧ $\frac{m_1 (\sin \theta + \mu_k \cos \theta) + m_2}{\mu_k m_1 + m_2} g$ | ⑨ $\frac{m_1 (\sin \theta + \mu_k \cos \theta) - m_2}{\mu_k m_1 - m_2} g$ |

$\boxed{13}$, $\boxed{14}$ に入る式として最も適切なものを, 次の①~⑨のうちからそれぞれ1つずつ選べ。

- | | | |
|---|---|---|
| ① $m_1 g \sin \theta$ | ② $m_1 g \cos \theta$ | ③ $\mu_k m_1 g \sin \theta$ |
| ④ $\mu_k m_1 g \cos \theta$ | ⑤ $\frac{m_1 m_2 (\sin \theta + \mu_k \cos \theta) - m_2^2}{m_1 + m_2} g$ | ⑥ $\frac{m_1^2 (\sin \theta + \mu_k \cos \theta) + m_1 m_2}{m_1 + m_2} g$ |
| ⑦ $\frac{m_1 m_2 (\sin \theta + \mu_k \cos \theta)}{m_1 + m_2} g$ | ⑧ $\frac{m_1 m_2 (\sin \theta - \mu_k \cos \theta)}{m_1 - m_2} g$ | ⑨ $\frac{m_1 m_2 (1 + \sin \theta - \mu_k \cos \theta)}{m_1 + m_2} g$ |

B 以下では、 $\theta > \alpha$ とし、物体の大きさは無視でき、点とみなせるものとする。物体1のはじめの位置を点Aとする。物体1が斜面を下降しはじめてから時間 t_1 後に斜面の端、点Bに達し、その瞬間、2つの物体を結びつけているひもを切った。物体1はそのまま斜面を離れて放物運動をし、斜面を離れてから時間 t_2 後に床上の点Cに落下した。点Bを原点とし、鉛直方向下向きに y 軸、床に平行に左向きに x 軸をとる。ただし、ひもの切断による運動の乱れや空気抵抗などは無視できるものとする。

問5 点Aと点Bの高さの差は となり、また、点Bでの物体1の速度の x 、 y 成分はそれぞれ 、 となる。 ~ に入る式として最も適切なものを、次の①~⑨のうちからそれぞれ1つずつ選べ。

- ① at_1 ② $at_1 \sin \theta$ ③ $at_1 \cos \theta$ ④ at_1^2 ⑤ $at_1^2 \sin \theta$
 ⑥ $at_1^2 \cos \theta$ ⑦ $\frac{1}{2} at_1^2$ ⑧ $\frac{1}{2} at_1^2 \sin \theta$ ⑨ $\frac{1}{2} at_1^2 \cos \theta$

問6 点Bと点Cの高さの差は となる。また点Cに到達する直前の物体1の速度の x 、 y 成分はそれぞれ 、 となる。 ~ に入る式として最も適切なものを、次の①~⑨のうちからそれぞれ1つずつ選べ。

- ① $at_1 \sin \theta - gt_2$ ② $at_1 \sin \theta + gt_2$ ③ $at_1 \cos \theta - gt_2$
 ④ $at_1 \cos \theta + gt_2$ ⑤ $\frac{1}{2} gt_2^2$ ⑥ $\frac{1}{2} gt_2^2 + at_1 t_2 \sin \theta$
 ⑦ $\frac{1}{2} gt_2^2 + at_1 t_2 \cos \theta$ ⑧ $at_1 \cos \theta$ ⑨ $at_2 \cos \theta$

問7 落下点Cの x 座標は である。 に入る式として最も適切なものを、次の①~⑨のうちから1つずつ選べ。

- ① $at_1 \cos \theta + gt_2$ ② $at_1 \sin \theta + gt_2$ ③ $at_1 \cos \theta - gt_2$
 ④ $\frac{1}{2} gt_2^2$ ⑤ $at_1 t_2 \cos \theta$ ⑥ $\frac{1}{2} gt_2^2 + at_1 t_2 \sin \theta$
 ⑦ $at_1 \sin \theta$ ⑧ $\frac{1}{2} gt_2^2 + at_1 t_2 \cos \theta$ ⑨ $at_2 \cos \theta$

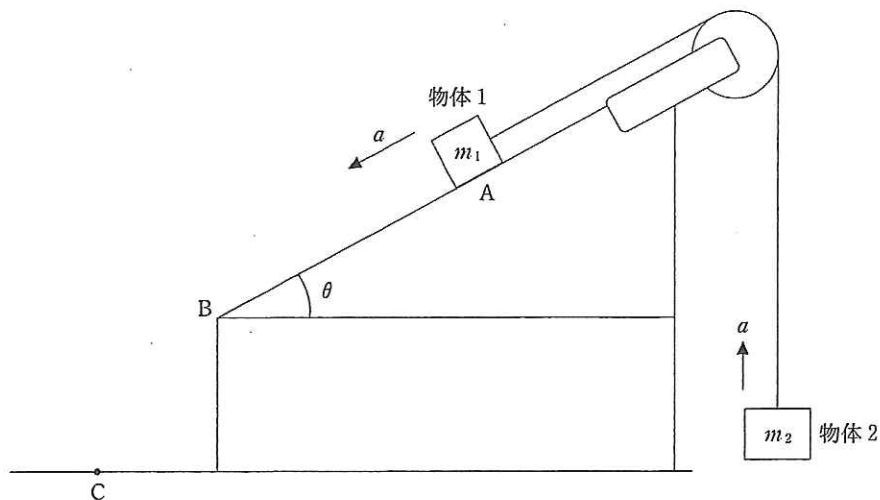


図1

2 次の文章を読み、下の問い(問1～5)に答えよ。

圧力 p [Pa] の大気圧中に置かれた図2のような円筒形のシリンダー容器がある。容器には温度 T_1 [K] の理想気体が 1 [mol] 入っている。理想気体は単原子分子からできているものとする。ピストン A はなめらかに動き、ばね定数 k [N/m] のばね B によって右向きの力が加えられ、つりあいの状態にある。容器の断面積(円筒形の底面積)は S [m²]、容器の左端からピストンの位置までの距離は l [m] であり、容器から熱は逃げないものとする。気体定数を R [J/mol·K] とする。

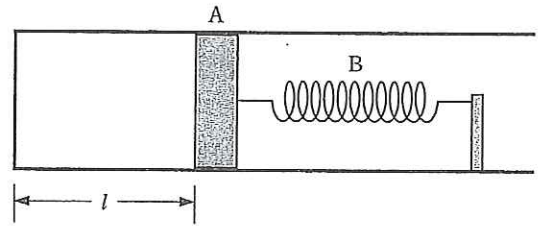


図2

問1 容器内の理想気体が A に及ぼす力の大きさは [N]、大気圧が A に及ぼす力の大きさは [N] である。したがって B が A に及ぼす力の大きさ F_1 は [N] と表される。 ～ に入る式として最も適切なものを、次の①～⑨のうちからそれぞれ1つずつ選べ。

- ① p ② pS ③ $\frac{RT_1}{lS}$ ④ $p - \frac{RT_1}{lS}$ ⑤ $-p + \frac{RT_1}{lS}$
 ⑥ $\frac{RT_1}{l}$ ⑦ $-\frac{RT_1}{l}$ ⑧ $pS - \frac{RT_1}{l}$ ⑨ $\frac{RT_1}{l} - pS$

問2 容器内の理想気体に熱量 Q_1 [J] をゆっくりと加えたところ、B が A に及ぼす力が 0 になった。このとき、B は自然長にもどるので、容器の左端からピストンの位置までの距離は [m] となり、理想気体の温度は $T_2 =$ [K] となる。

に入る式として最も適切なものを、次の①～⑨のうちから1つ選べ。

- ① $l + k$ ② $l - k$ ③ $k - l$ ④ $l + kF_1$ ⑤ $l - kF_1$
 ⑥ $kF_1 - l$ ⑦ $l + F_1/k$ ⑧ $l - F_1/k$ ⑨ $F_1/k - l$

また、 に入る式として最も適切なものを、次の①～⑨のうちから1つ選べ。

- ① $\frac{p}{R}(Sl + \frac{F_1}{k})$ ② $\frac{p}{R}(Sl - \frac{F_1}{k})$ ③ $\frac{pS}{R}(l + \frac{F_1}{k})$ ④ $\frac{pS}{R}(l - \frac{F_1}{k})$ ⑤ $\frac{pSl}{R}$
 ⑥ $\frac{pSF_1}{Rk}$ ⑦ $\frac{pSkF_1}{R}$ ⑧ $\frac{pS}{R}(l + kF_1)$ ⑨ $\frac{pS}{R}(l - kF_1)$

問3 この間に B が受け取った仕事 W_B は何 [J] か。次の①～⑨のうちから1つ選べ。

- ① $\frac{1}{2} \frac{F_1^2}{k}$ ② $\frac{F_1^2}{k}$ ③ $\frac{1}{2} \frac{pSF_1}{k}$ ④ $\frac{pSF_1}{k}$ ⑤ $\frac{pS}{2} (l + \frac{F_1}{k})$
 ⑥ $-\frac{1}{2} \frac{F_1^2}{k}$ ⑦ $-\frac{F_1^2}{k}$ ⑧ $-\frac{1}{2} \frac{pSF_1}{k}$ ⑨ $-\frac{pSF_1}{k}$

問4 容器内の理想気体が外部にした仕事 W は何 [J] か。次の①～⑨のうちから一つ選べ。

- ① $\frac{1}{2} \frac{pSF_1}{k} + W_B$ ② $\frac{1}{2} \frac{pSF_1}{k} - W_B$ ③ $\frac{pSF_1}{k} + W_B$ ④ $\frac{pSF_1}{k} - W_B$ ⑤ $\frac{1}{2} pSl + W_B$
 ⑥ $\frac{1}{2} pSl - W_B$ ⑦ $pSl + W_B$ ⑧ $pSl - W_B$ ⑨ pSl

問5 Q_1 [J] は何 [J] か。次の①～⑨のうちから1つ選べ。

- ① $RT_2 - W$ ② $\frac{1}{2} RT_2 - W$ ③ $\frac{1}{2} RT_2 + W$
 ④ $\frac{3}{2} RT_2 - W$ ⑤ $\frac{3}{2} RT_2 + W$ ⑥ $\frac{1}{2} R(T_2 - T_1) - W$
 ⑦ $\frac{1}{2} R(T_2 - T_1) + W$ ⑧ $\frac{3}{2} R(T_2 - T_1) - W$ ⑨ $\frac{3}{2} R(T_2 - T_1) + W$

3 次の文章を読み、下の問い(問1～3)に答えよ。

図3はX線の発生装置の模式図である。真空のガラス管内に、距離 l だけ離して陰陽2つの電極が封入されており、陰極を加熱して電子を飛び出させて、両極間の電圧 V によって加速し、銅などの金属からなる陽極に衝突させてX線を発生させる。このようにして発生するX線には、金属元素の種類に応じて特定の波長を持つ特性X線と波長が連続的に分布する連続X線がある。電子のエネルギーと陽極の金属が決まっているとき、発生する連続X線の波長には最小値がある。X線は物質に対し高い透過性を持つため医療用その他の透視撮影に応用され、また、X線を結晶に照射すると、その結晶構造に応じて特定の方向に強く散乱される性質があり、金属、化学物質、タンパク質、遺伝子など、物質の微視的構造の解析の有力な手段を与える。以下で、 c は光速、 h はプランク定数、 m は電子の質量、 e は電気素量である。

問1 下線部アの理由を構成する3つのことがらを下の①～⑨のうちから選べ。すべての番号をマークせよ。 30

下線部イ、ウの理由を構成する3つのことがらを下の①～⑨のうちから選べ。すべての番号をマークせよ。 31

下線部エの理由を構成する3つのことがらを下の①～⑨のうちから選べ。すべての番号をマークせよ。 32

ただし、30～32で、同じ番号を重複して選んでもよい。

- ① 加速された電子は、速度に垂直な磁場によって、速度と磁場に垂直な方向に力を受ける。
- ② 加速された電子が原子の影響で軌道を曲げられたり、減速されたりするとき、光子が放出される。
- ③ 加速された電子が原子に衝突したとき放出される光子のエネルギーは、衝突の直前、電子の持っていた運動エネルギーより小さい。
- ④ 電子の衝突によって励起された原子がもとの準位に戻るとき、決まったエネルギーを持った光子が放出される。
- ⑤ 結晶では、原子が規則正しく並んでいる。
- ⑥ 原子のエネルギー準位はとびとびである。
- ⑦ 電子は粒子なので波動の性質を持たない。
- ⑧ 波を重ね合わせるとき、波は経路差(通って来た道のりの差)が波長の整数倍に等しいとき強めあう。
- ⑨ エネルギー E を持った光子は、波動の性質をあわせ持ち、振動数 E/h の電磁波として観測される。

問2 加速電圧を V とすると、電子が得る運動エネルギーは 33 である。したがって、発生する連続X線の波長の最小値は 34 となる。 33 , 34 に入る式として最も適切なものを、次の①～⑨のうちからそれぞれ1つずつ選べ。

- ① eV ② $\frac{eV}{l}$ ③ $\frac{eV}{2l}$ ④ $\frac{cV}{el}$ ⑤ $\frac{ch}{eV}$ ⑥ $\frac{eV}{ch}$ ⑦ $\frac{el}{cV}$ ⑧ $\frac{eh}{cV}$ ⑨ $\frac{2eV}{ch}$

問3 図4のように、原子が間隔 a で整列した結晶に、波長 λ のX線を入射角 θ で照射する。図4の原子AとBで反射角 θ' で散乱されるX線の経路差(X線が通って来た道のりの差)は 35 である。したがって、これらのX線は $\theta = \theta'$ のとき干渉して強めあう。図5のように原子AとCで反射角 θ で散乱されるX線の経路差は 36 である(角度の定義に注意すること)。したがって、これらのX線が干渉して強めあう条件は $\lambda =$ 37 となる。ただし n は正の整数である。隣り合う原子だけでなく、規則正しく整列した多数の原子からの散乱X線の干渉を考えると、強めあう効果はさらに鋭くなる。

35 に入る式として最も適切なものを、次の①～⑨のうちから1つ選べ。

- ① $a(\sin \theta - \sin \theta')$ ② $a(\cos \theta - \cos \theta')$ ③ $a \sin(\theta - \theta')$ ④ $a \cos(\theta - \theta')$
 ⑤ $2a(\sin \theta - \sin \theta')$ ⑥ $2a(\cos \theta - \cos \theta')$ ⑦ $2a \sin(\theta - \theta')$ ⑧ $2a \cos(\theta - \theta')$ ⑨ 0

36 , 37 に入る式として最も適切なものを、次の①～⑨のうちからそれぞれ1つずつ選べ。

- ① $a \sin \theta$ ② $a \cos \theta$ ③ $2a \sin \theta$ ④ $2a \cos \theta$ ⑤ $na \sin \theta$
 ⑥ $na \cos \theta$ ⑦ $a(\sin \theta)/n$ ⑧ $a(\cos \theta)/n$ ⑨ $2a(\cos \theta)/n$

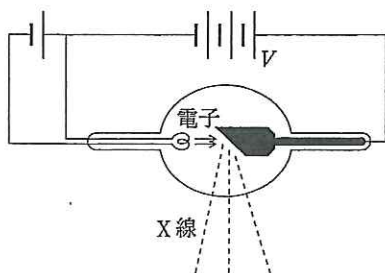


図3

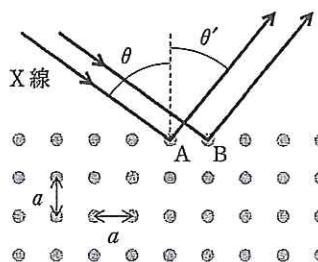


図4

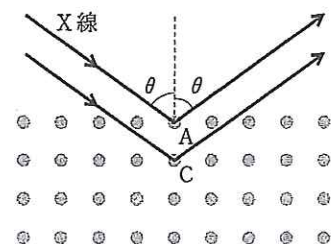


図5