

1 図1のように、水平な床の上に質量 M [kg] で傾斜角 θ [rad] の斜面をもった台が置かれている。床から斜面頂上までの高さを h [m] とし、重力加速度の大きさを g [m/s²] とする。斜面頂上に大きさの無視できる質量 m [kg] の物体を静かに置くと、物体は斜面を滑り落ちて床まで到達した。物体と斜面の間の摩擦、および空気抵抗は無視できる。このとき、以下の問いに答えよ。

(配点 35 %)

問1 台が床に固定されている場合を考える。

- (1) 物体を斜面頂上に置いてから床に到達するまでの時間を g, h, θ を用いて表せ。
- (2) 物体が床に到達する直前の物体の速さを g, h を用いて表せ。

問2 台が床に固定されていない場合を考える。このとき、台は床の上を回転せずに運動した。台と床の間の摩擦は無視できる。

- (1) 物体が斜面から受ける垂直抗力の大きさを N [N]、台の床に対する加速度の大きさを a [m/s²] とする。台の水平方向の運動方程式から N を M, a, θ を用いて表せ。
- (2) 台とともに移動する観測者を O とする。 O から見た斜面に垂直な方向の力のつりあいから、 N を m, a, g, θ を用いて表せ。ただし、 O は台や物体の運動に影響を与えない。
- (3) O から見た物体の加速度の大きさ a' [m/s²] を a, g, θ を用いて表せ。
- (4) $a = \frac{Xg}{M + m \sin^2 \theta}$ と表すとき、 X [kg] を m, θ を用いて表せ。また、 $a' = \frac{Yg}{M + m \sin^2 \theta}$ と表すとき、 Y [kg] を M, m, θ を用いて表せ。
- (5) 物体を斜面頂上に置いたとき、その地点から床におろした垂線の足を A とする。また、図2のように、物体が床に到達した地点を B とする。このとき、線分 AB の長さを $\frac{hZ}{\tan \theta}$ と表すとき、 Z を M, m を用いて表せ。

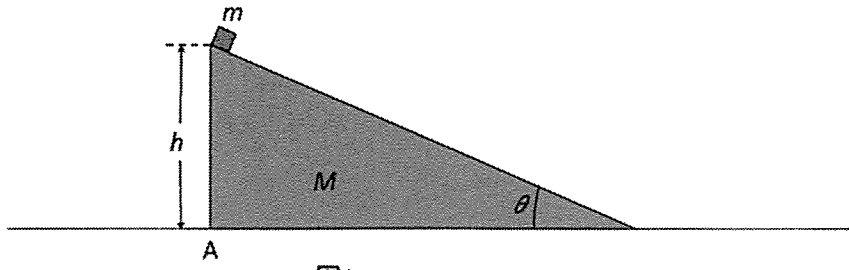


图1

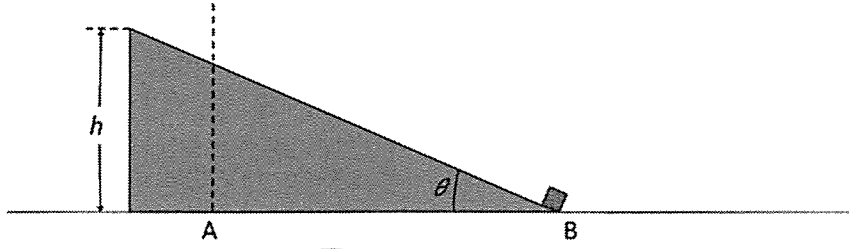


图2

2 真空中に置かれた、極板面積 $S[\text{m}^2]$ の平行板コンデンサー、抵抗値 $R[\Omega]$ の抵抗、起電力 $V[\text{V}]$ の電源、スイッチからなる回路を考える。真空の誘電率を $\epsilon_0[\text{F/m}]$ とする。以下の問いの (ア) から (シ) に入る適当な数式または数値を解答用紙に記入せよ。(配点 35%)

問1 最初、回路は図1のようになっており、コンデンサーに電荷は蓄えられていない。極板間の距離が $d[\text{m}]$ であるので、コンデンサーの静電容量は (ア) $[\text{F}]$ である。その後スイッチを閉じる。スイッチを閉じた瞬間には抵抗に電流が (イ) $[\text{A}]$ 流れる。十分に時間が経過した後には、電流は (ウ) $[\text{A}]$ となり、抵抗側につないだコンデンサーの極板には電荷 (エ) $[\text{C}]$ が蓄えられる。またコンデンサーに蓄えられた静電エネルギーは (オ) $[\text{J}]$ である。このとき電源がした仕事は (カ) $[\text{J}]$ である。

問2 スイッチを開いたのち、極板間の距離を $\Delta d[\text{m}]$ だけゆっくり増やす。このとき静電容量は (キ) $[\text{F}]$ となる。この操作による静電エネルギーの変化 $\Delta U[\text{J}]$ と Δd を用いて、極板に働く静電気力の大きさは $\frac{\Delta U}{\Delta d}$ と表される。このとき、 $\frac{\Delta U}{\Delta d} =$ (ク) $[\text{N}]$ となる。

問3 スイッチは開いたまま、2枚の極板間の距離を d に戻す。図2のように、2枚の極板の間に極板と同じ面積で誘電率 $\epsilon[\text{F/m}]$ 、厚み $\frac{d}{2}$ の誘電体を挿入すると、静電容量は (ケ) $[\text{C}]$ となり、2枚の極板間の電位差は (コ) $[\text{V}]$ となる。また、下の極板の電位を0とすると、誘電体の下側表面での電位は (サ) $[\text{V}]$ となる。このとき誘電体の挿入により静電エネルギーは (シ) $[\text{J}]$ となる。

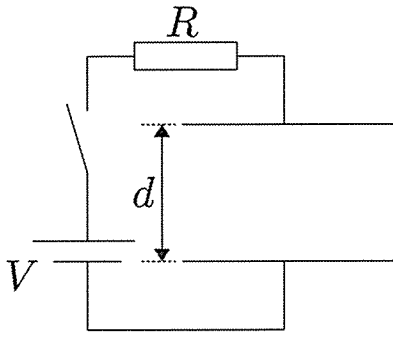


图1

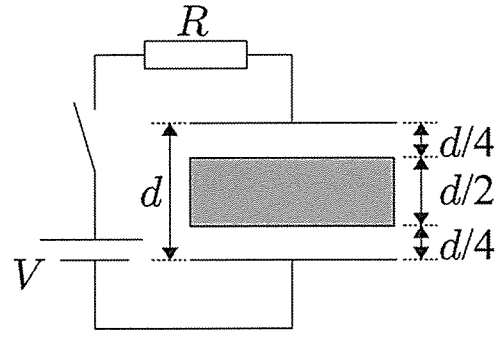


图2

3 円筒形のシリンダー内に少量の水を入れ、これに密着するようにピストンでふたをして加熱した。ピストンの質量は無視でき、シリンダーとの間には摩擦はないものとする。また、シリンダーとピストンの熱膨張は無視でき、加えられた熱はすべて水（または水蒸気）に吸収されるものとする。はじめ、水の質量は m [g] で温度は 20°C であり、この状態を A (図1) とする。1 気圧のもとで、シリンダーをゆっくり加熱していくと、水はやがて沸騰し、全体が 100°C の水蒸気になった。この状態を B (図2) とする。状態 B より、1 気圧のもとでさらに加熱したところ、水蒸気の体積は 2 倍になった。この状態を C (図3) とする。水の比熱は 20°C から 100°C の間では一定で c [J/(g·K)], 1 気圧 100°C における水の蒸発熱（気化熱）を h [J/g] とする。また、気体定数を R [J/(mol·K)], 水の 1 モル当たりの質量を M [g/mol] とし、水蒸気は理想気体とみなしてよい。以下の問いに答えよ。(配点 30%)

問 1 状態 A から状態 B までに加えられた熱量 Q_1 [J] を、 m , c , h を用いて表せ。ただし、状態 A での水は少量なので、体積およびその熱膨張は無視できるとする。

問 2 状態 A から状態 B までに水蒸気がする仕事 W_1 [J] を、 m , M , R を用いて表せ。

問 3 状態 A から状態 B までに増加した内部エネルギー ΔU_1 [J] を、 m , M , R , c , h を用いて表せ。

以下で、 $m = 9.00$ g, $c = 4.18$ J/(g·K), $h = 2.26 \times 10^3$ J/g, $R = 8.31$ J/(mol·K), $M = 18.0$ g/mol とする。

問 4 問 3 の ΔU_1 を、有効数字 2 桁で求めよ。

問 5 状態 C の絶対温度 T_c [K] を、有効数字 3 桁で求めよ。

問 6 状態 B から状態 C までに加えられた熱量 Q_2 [J] を、有効数字 3 桁で求めよ。ただし、水蒸気の定圧比熱は一定で 2.00 J/(g·K) とする。

問 7 問 6 で求めた Q_2 のうち、内部エネルギーの増加量を ΔU_2 [J], 外部にした仕事を W_2 [J] としたとき、その比 $\frac{\Delta U_2}{W_2}$ を有効数字 2 桁で求めよ。なお、解答用紙には、途中の計算も記述すること。

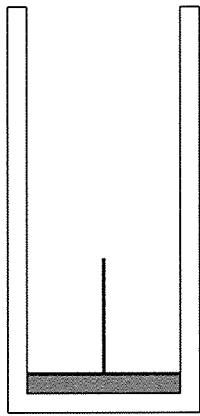


图 1

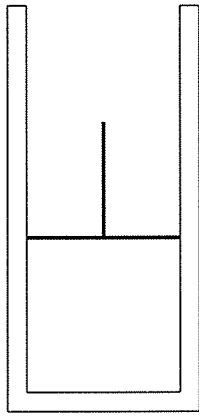


图 2

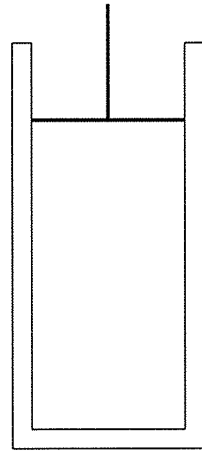


图 3

問題訂正

科目 理科 (物理)

訂正箇所

3 ページ 問題 問 3 文章中 上から 2 行目

(誤) . . . 静電容量は [C] となり . . .

(正) . . . 静電容量は [F] となり . . .