

物理の全問を通して、ある小問でのみ定義される物理量の記号を他の小問の解答で用いないように注意せよ。円周率を π とする。解答に既約分数や根号を用いてよい。

1 図1-1のように内面がなめらかな円すい形の容器が頂点Oを下にして固定されている。容器の中心軸は鉛直で、鉛直軸と側面のなす角は θ ($0 < \theta < \frac{\pi}{2}$)である。この円すいの内面を、質量 m の小球Aが速さ v_0 で等速円運動をしている。頂点Oは重力による位置エネルギーの基準水平面にあるとし、高さはこの基準水平面からはかるものとする。空気抵抗は無視できるものとし、重力加速度の大きさを g とする。

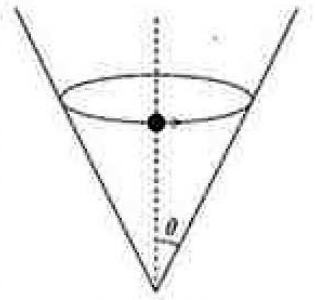


図1-1

I. 小球は一定の高さを保って等速円運動をしているものとして以下の問いに答えよ。

- (1) 小球Aが円すいの内面から受ける垂直抗力の大きさはいくらか。 m , g , θ を用いて答えよ。
- (2) 小球Aにはたらく向心力の大きさはいくらか。 m , g , θ を用いて答えよ。
- (3) 小球Aの等速円運動の加速度の向きとして最も適切なものを次の(ア)から(ケ)の中から一つ選んで記号で答えよ。

(ア) 斜面に沿って上向き	(イ) 斜面に沿って下向き
(ウ) 小球Aの進行方向の向き	(エ) 小球Aの進行方向の逆向き
(オ) 小球Aのある水平面上で中心軸から小球Aの向き	(カ) 小球Aのある水平面上で小球Aから中心軸の向き
(キ) 鉛直上向き	(ク) 鉛直下向き
(ケ) 加速度はない	
- (4) 小球Aの等速円運動の半径はいくらか。
- (5) 小球Aの等速円運動の周期はいくらか。
- (6) 小球Aの2倍の位置エネルギーをもって質量 m の小球Bが円すい内面を等速円運動をしているとき、小球Bの運動エネルギーはいくらか。
- (7) 小球Aの16倍の力学的エネルギーをもって、質量 $2m$ の小球Cが円すい内面を等速円運動をしているとき、小球Cの高さはいくらか。

II. 図1-2のように高さが h_1 の点Eで小球Dを水平方向に速さ v_1 で滑らせたところ、小球Dは円すい内面に沿って回りながらすべり降り、高さが h_2 の点Fまで到達した。図1-2は模式的に表されている。

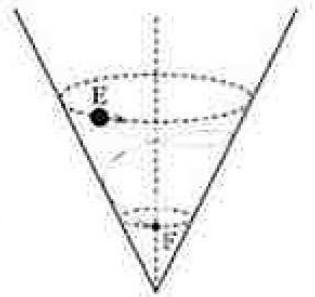


図1-2

- (8) 点Fにあるときの小球Dの速さはいくらか。
- (9) 点Eでの速さを v_1 、点Fでの速さを v_2 とすると、点Eと点Fで高さと速さの積は互いに等しく $h_1 v_1 = h_2 v_2$ となっていた。 v_1^2 はいくらか。 h_1 , h_2 , g を用いて答えよ。
- (10) 点Eと点Fで高さと速さの積は互いに等しく、E点では小球Dの重力による位置エネルギーは運動エネルギーの6倍であった。E点、F点の高さをそれぞれ v_1 と g を用いて表せ。

2 熱気球は、風船内部の空気を加熱することで上昇することができる。気球の風船部分は伸び

縮みしない薄い断熱性の素材で作られていて、常に体積 V の球形で変形しないものとする。
図2のように気球には小さなゴンドラなどが取り付けられているが、空気の浮力がはたらくのは、風船部分だけであるとする。風船部の下部には開口部があり、風船内部の圧力は一様で常に外気と等しい圧力に保たれているものとする。浮力ははたらくが、風船部の大きさの範囲では、外気の圧力は一定とみなせるとする。また、風船部の大きさの範囲では、内外の密度はそれぞれ一定とみなせるとする。内部と外部とでは密度は異なってもよい。外気の温度は高度によらずに T_0 で一定であり、初めの状態では、気球の内部の温度も T_0 であるとする。温度は絶対温度で表記するものとする。内部の空気も外部の空気も同じ理想気体で、1 mol あたりの質量を m とし、気体定数を R とする。初めはゴンドラにはおもりが載せられており、これによって気球は地表に留められている。この状態では、風船部の空気を除いた気球の質量は、おもりを含めて M_1 である。重力加速度の大きさを g とする。

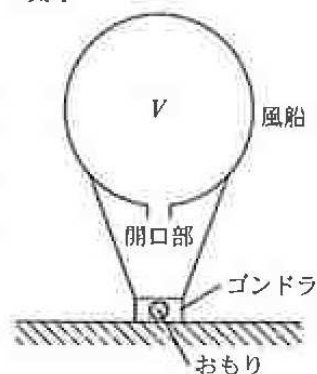


図2

I. 地表の空気の圧力を P_g とする。

- (1) 風船部に、物質質量 n_0 の空気が入っていたとすると、風船内の空気の圧力と体積の積 $P_g V$ は、 n_0 , T_0 , R を用いてどのように表されるか。
- (2) 初めの風船内の密度を、 m , R , P_g , T_0 を用いて表せ。
- (3) 風船内の空気を加熱すると、風船内の物質質量は大きくなるか、小さくなるか、それとも変わらないか。
- (4) 初めの風船内の密度を ρ_0 とし、風船内の空気を温度 T に加熱したときの風船内の密度を ρ_0 , T_0 , T を用いて表せ。
- (5) 風船内の空気の温度を T_1 としたときに、気球は地面を離れて上昇を始めた。このときの風船内の密度を ρ_1 とする。気球にかかる浮力の大きさを、気体定数を用いずに、 ρ_1 , V , M_1 , g を用いて表せ。
- (6) 気球が上昇を始める温度を、初めの風船内の密度 ρ_0 , V , M_1 , T_0 を用いて表せ。

II. 風船部の温度を気球が上昇を始める温度 T_1 で固定し、ゴンドラからおもりを取り除くと、気球は静かに上昇し、ある高さで静かに止まった。おもりを取り除いたとき、風船部の空気を除いた気球の質量は M_2 である。気球が止まった高さでの風船外部の密度を ρ_h 、風船内部の密度を ρ_2 とする。

- (7) $\frac{T_1 - T_0}{T_1}$ は、初めの風船内の密度 ρ_0 , V , M_1 を用いてどのように表されるか。
- (8) 気球が止まった高さでの風船内外の密度差の大きさは、 M_2 , V を用いてどのように表されるか。
- (9) 気球の外部でも風船と同じ体積の領域を考えると、風船内外の密度の比 $\frac{\rho_h}{\rho_2}$ を T_0 と T_1 を用いて表せ。
- (10) 気球が止まったときの風船内の密度 ρ_2 を、初めの風船内の密度 ρ_0 および M_1 , M_2 , T_0 , T_1 を用いて表せ。

3 図3のように、起電力が E で内部抵抗が r の電池と電気抵抗 R とスイッチ S をつないだ。導線の抵抗は無視できるとする。特に指定がない場合、スイッチは閉じているものとする。



図3

I. 抵抗 R の抵抗値を R とする。

- (1) スwitchが開いているとき、電池の端子電圧はいくらか。
- (2) スwitchが閉じているとき、電池の端子電圧はいくらか。
- (3) 抵抗 R に流れる電流はいくらか。
- (4) 抵抗 R で消費される電力はいくらか。
- (5) 抵抗値 R の値を変化させて消費電力を調べた。抵抗 R での消費電力が最大になるときの抵抗値 R の値はいくらか。

II. 抵抗 R の値を変化させて、抵抗 R を流れる電流 I と電池の端子電圧 V を測定すると、 $I = 0.20 \text{ A}$ のとき $V = 1.50 \text{ V}$ 、 $I = 0.60 \text{ A}$ のとき $V = 1.30 \text{ V}$ となっていた。数値には単位をつけて答えよ。

- (6) 電池の内部抵抗の値はいくらか。
- (7) 抵抗値 R を調節して、回路を流れる電流が 1.20 A となるようにした。このとき、抵抗 R の消費電力はいくらか。
- (8) (7)での抵抗 R は、 1.00Ω と $R_1 (\Omega)$ の抵抗が並列につながれた回路からなる抵抗であったとする。 R_1 の値はいくらか。