

令和7年度 入学試験問題

物 理

20

(前期日程・私費外国人留学生選抜)

「解答はじめ」の合図があるまでは問題冊子を開いてはいけません。

注 意 事 項

1. 問題冊子は1ページから7ページまでの綴りでできています。「解答はじめ」の合図の後、ページの落丁、乱丁あるいは印刷の不鮮明なものがあれば、手をあげて試験監督者に申し出てください。
2. 問題は3問あります。すべての問題に解答してください。それぞれに解答用紙が1枚ずつ、合計3枚あります。3枚の解答用紙のすべてに受験番号を必ず記入してください。
3. 解答は該当する解答用紙の解答欄に記入してください。途中の計算は、計算欄にできるだけ記入してください。
4. 問題冊子の余白は、下書きに使用してください。
5. 問題冊子は、試験終了後、持ち帰ってください。

1

重力がはたらくもとでの、大きさの無視できる小球の運動を考える。床は水平であり、空気抵抗は無視できるものとする。床に沿った水平方向右向きを正方向とする x 軸、鉛直上向きを正方向とする y 軸で考える。 x 軸と y 軸の交点を原点 O とする。小球の運動は xy 面内で生じるものとし、重力加速度の大きさを g とする。以下の設問に答えよ。

〔1〕 図1のように、質量 m の小球 A を、水平方向右向きに速さ v_0 で投げ出した。小球 A の最初の位置は、 x 座標が 0 、 y 座標が h である。小球 A を投げ出した時刻を $t = 0$ とする。

- (1) 小球 A が床に到達した時刻 T_0 を、 g, h の中から必要なものを用いて答えよ。
- (2) 小球 A が床に落下した位置の x 座標 L_0 を、 g, h, v_0 の中から必要なものを用いて答えよ。
- (3) 小球 A が床に到達する直前の速度の x 成分および y 成分を、 g, h, v_0 の中から必要なものを用いて答えよ。

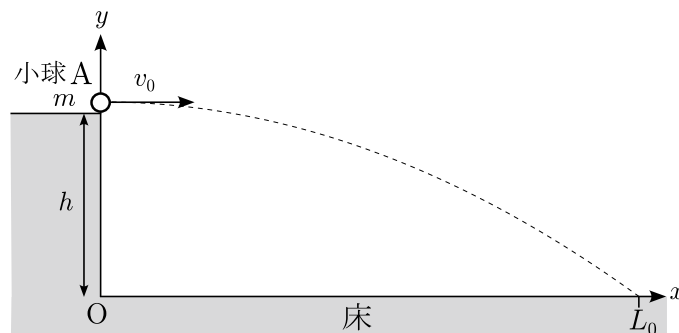


図 1

〔2〕 次に〔1〕と同じように質量 m の小球 A を $x = 0, y = h$ の位置から水平方向右向きに速さ v_1 で投げ出したところ、小球 A は床の $x = 2L_1$ の位置に落下した。ふたたび小球 A を $x = 0, y = h$ の位置に戻し、こんどは図2のように、小球 A を水平方向右向きに速さ v_1 で投げ出すと同時に、質量 M の小球 B を $x = L_1, y = h$ の位置から静かに放した。このとき小球 A と小球 B は床に到達する前に衝突した。衝突は瞬間的に起こり、その際、小球はたがいに水平方向の力積を受けた。

- (4) 小球 A と小球 B が衝突した位置の y 座標はいくらか。 g, h の中から必要なものを用いて答えよ。

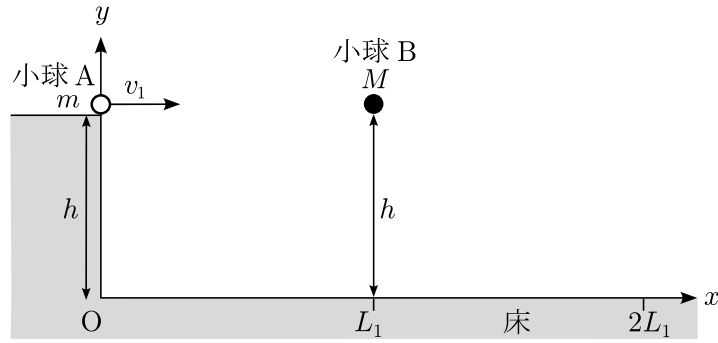


図 2

- (5) 衝突直前の小球 A および小球 B の速度の x 成分および y 成分はそれぞれいくらか。 g, h, v_1 の中から必要なものを用いて答えよ。

小球 A と小球 B が衝突した後、小球 A は床の $x = \frac{5}{4}L_1$ の位置に落下し、小球 B は床の $x = \frac{3}{2}L_1$ の位置に落下した。

- (6) 小球 A と小球 B が衝突してから、小球 A および小球 B が床に到達するまでの時間を、それぞれ T_{1A} および T_{1B} とする。 T_{1A} および T_{1B} を g, h の中から必要なものを用いて答えよ。
- (7) 小球 B に対する小球 A の相対速度の x 成分を u_x , y 成分を u_y とする。小球 B を放した時刻を $t = 0$ として、小球 B を放してから、小球 B が床に到達するまでの u_x および u_y の時間変化を解答欄にグラフで示せ。ただし、解答欄の横軸の T' は小球 A と小球 B の衝突した時刻であり、縦軸の v_1 は [2] の問題文で与えた小球 A を投げ出したときの速さである。
- (8) 小球 B の質量 M は小球 A の質量 m の何倍か。有効数字 2 桁で答えよ。
- (9) 小球 A と小球 B の間のはね返り係数 e はいくらか。有効数字 2 桁で答えよ。
- (10) 小球 B を放したときの、小球 A の力学的エネルギーと小球 B の力学的エネルギーを合わせた全力学的エネルギーを E_1 とする。また、小球 B が床に到達する直前の、小球 A の力学的エネルギーと小球 B の力学的エネルギーを合わせた全力学的エネルギーを E_2 とする。 $E_2 - E_1$ を m, v_1 を用いて答えよ。

2

図1に示すように、真空中に平行板コンデンサー、スイッチ S_1 , S_2 , 抵抗値がそれぞれ R_1 ($R_1 > 0$) と R_2 ($R_2 > 0$) の2つの抵抗, 電圧が V_0 の直流電源からなる回路がある。コンデンサーは図2のように、距離 d だけ離れた、厚みの無視できる1辺の長さ w の正方形極板2枚により構成されている。コンデンサーの極板間の間隔は十分に狭く、端の電場の乱れは無視できるものとする。図1の点P, T, Uは、図2に示すように、2つの極板から等距離にあり、それぞれコンデンサーの下端, 中央, 上端の位置を表す。また、真空の誘電率は ε_0 であり、重力の影響は無視してよい。

[1] はじめ、2つのスイッチ S_1 と S_2 はともに開いており、コンデンサーに電荷の蓄積はない。以下の設問(1)～(3)に、 ε_0 , w , d , R_1 , R_2 , V_0 から必要なものを用いて答えよ。

- (1) スイッチ S_1 のみを閉じた直後に抵抗値が R_1 の抵抗に流れる電流の大きさと、スイッチ S_1 のみを閉じてから十分に時間が経過した後の右側の極板に蓄積された電気量を求めよ。
- (2) スイッチ S_1 のみを閉じてから十分に時間が経過した後の点Tの電場の大きさを求めよ。
- (3) スイッチ S_1 のみを閉じてから十分に時間が経過するまでの間に抵抗値が R_1 の抵抗で消費されたエネルギーを求めよ。

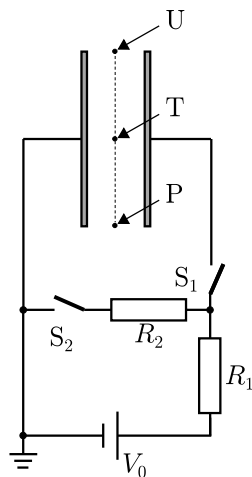


図 1

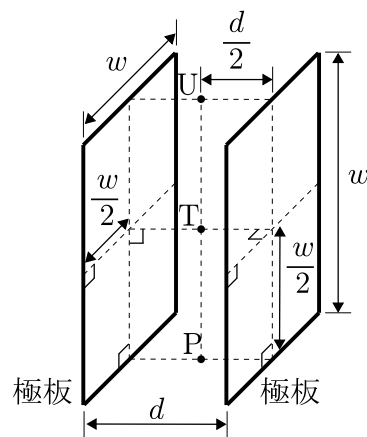


図 2

[2] 次に、図3に示すように内部抵抗が十分に大きい電圧計をコンデンサーに並列に接続した。コンデンサーの極板間の電圧 V_1 は2つの抵抗により調整できる。2つのスイッチ S_1 と S_2 を閉じてから十分に時間が経過した後、左側の極板の中央から、質量 m , 電気量 $+q$ ($q > 0$) の粒子を速さ v_A で極板に対し垂直右向きに射出した。以下の設問に答えよ。

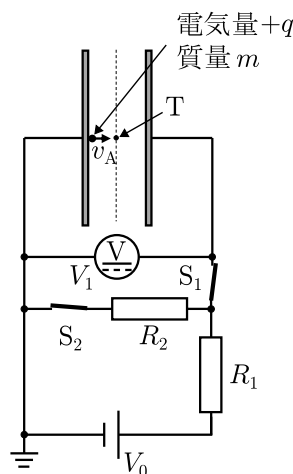


図 3

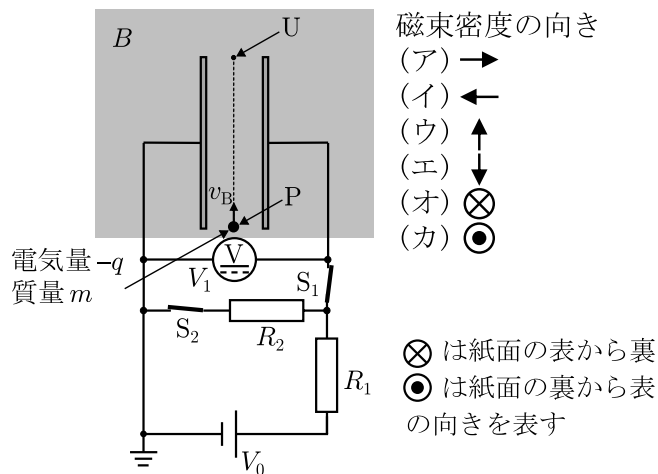


図 4

- (4) 電圧 V_1 は V_0 の何倍か。 R_1 , R_2 を用いて答えよ。
- (5) 粒子が右側の極板に到達するとき、その直前の粒子の速さを V_1 , m , q , v_A から必要なものを用いて答えよ。
- (6) 粒子が右側の極板に到達するための電圧 V_1 の最大値を m , q , v_A から必要なものを用いて答えよ。
- (7) 電圧 V_1 を調整して再び実験を行ったところ、粒子は点 T まで到達し、その位置で左側の極板のほうに向きを変えた。このとき、電圧 V_1 は設問 (6) で求めた電圧 V_1 の最大値と比べて何倍になるか。有効数字 2 桁で答えよ。
- [3] 次に、図 4 に示すようにコンデンサーおよびその周囲に磁束密度の大きさが B の一様な磁場を加えた。質量 m 、電気量 $-q$ ($q > 0$) の粒子を、点 P の位置から点 U の方向に速さ v_B で射出したところ、射出された粒子は等速で直進し、点 U に達したのちコンデンサーの外側で半径 r の円弧を描き、極板に到達した。回路を流れる電流はコンデンサーおよびその周囲の磁場に影響しないとして、以下の設問に答えよ。
- (8) 磁束密度の大きさ B を、 d , V_1 , m , q , v_B の中から必要なものを用いて答えよ。また、求める過程を解答欄の枠内で説明せよ。
- (9) 磁束密度の向きを、図 4 の記号 (ア)～(カ) の中から選べ。
- (10) 点 U から極板に到達するまでの粒子の軌跡を解答欄の図に描け。ただし、解答欄の図における破線の間隔は r であり、コンデンサーの極板間隔 d は半径 r に対して十分に小さいとする。
- (11) 粒子の電気量の大きさと質量の比 $\frac{q}{m}$ を 1.8×10^{11} C/kg、磁束密度の大きさ B を 1.5×10^{-2} Wb/m² とする。速さ v_B が 1.0×10^7 m/s であったとき、半径 r [m] を有効数字 2 桁で求めよ。

3

図1(a)のような、断熱材でできた風船と箱をひもでつないだ気球がある。風船内部には、物質量 n [mol] の二原子分子理想気体が、温度調整器とともに封入されている。この理想気体 1 mol あたりの質量は M [kg/mol] であり、1 mol あたりの内部エネルギーは、気体定数 R [J/(mol·K)] と絶対温度 T [K] を用いて、 $\frac{5}{2}RT$ [J/mol] と表される。風船内部に封入した気体の質量を除いた、気球の質量 (風船、温度調整器、ひも、箱の合計質量) は m [kg] である。風船は力をともし伸び縮みでき、風船の内と外の圧力は常に等しいとする。風船外部の大気は、風船内部と同じ気体で構成されており、地表での圧力は p_0 [Pa]、温度は T_0 [K] である。断熱材と箱とひもの体積は無視できる。また、温度調整器の体積と熱容量も無視できる。重力加速度の大きさは g [m/s²] である。気球にはたらく浮力は、気球が押しのけた領域にあった気体の重さと同じ大きさであり、鉛直上向きにはたらく。以下の設問に答えよ。

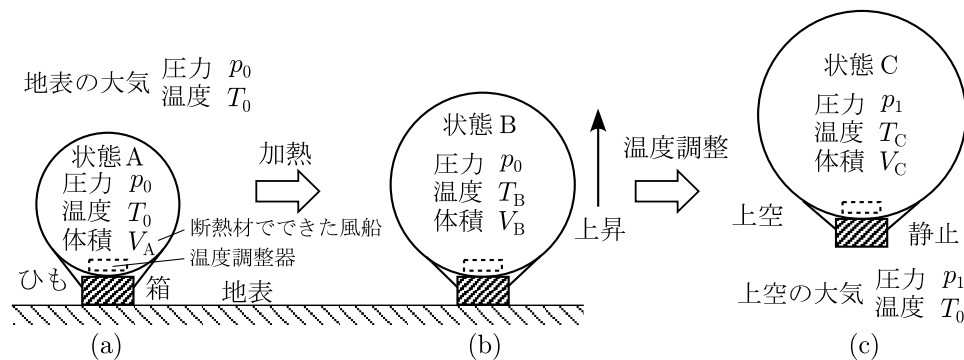


図 1

[1] はじめ、図1(a)のように、気球は地表で静止していた。このときの風船内部の気体の状態を状態 A とする。状態 A での気体の圧力と温度は、それぞれ地表での大気と同じ p_0 , T_0 であり、体積は V_A [m³] であった。

- (1) 風船内部の気体の物質量 n を、 p_0 , T_0 , R , V_A を用いて表せ。
- (2) 状態 A における風船内部の気体の密度 ρ [kg/m³] を、 M , p_0 , T_0 , R を用いて表せ。
- (3) 風船内部に封入した気体にはたらく重力を含めた、気球全体にはたらく重力の大きさ F_0 [kg·m/s²] を、 m , g , V_A , ρ を用いて表せ。

次に、ゆっくりと風船内部の気体を加熱したところ、図1(b)のように風船が徐々に膨らみ、地表から離れた。地表から離れる寸前の、風船内部の気体の温度が T_B [K]、体積が V_B [m³] である状態を状態 B とする。状態 A から状態 B への変化

の間に、風船内部の気体が風船外部にした仕事は $p_0 \Delta V$ [J] であった。ただし、 $\Delta V = V_B - V_A$ [m³] とする。

- (4) 風船内部の気体が状態 B であるとき、気球にはたらく浮力の大きさ F_1 [kg・m/s²] を、地表での大気の密度 ρ' [kg/m³]、 V_B 、 g を用いて表せ。

風船内部の気体が状態 B のとき、気球全体にはたらく重力と浮力が釣りあう。ただし、設問 (4) の密度 ρ' は設問 (2) の密度 ρ に等しいものとする。

- (5) 状態 A から状態 B への変化における、風船内部の気体の体積の変化量 ΔV を、 M 、 m 、 p_0 、 T_0 、 R を用いて表せ。
- (6) 状態 A から状態 B への変化における、風船内部の気体の内部エネルギーの変化量 $\Delta U (= U_B - U_A)$ [J] を、 M 、 m 、 T_0 、 R を用いて表せ。 U_A と U_B は、それぞれ、状態 A と状態 B における風船内部の気体の内部エネルギーである。
- (7) 状態 A から状態 B への変化の間に、温度調整器が風船内部の気体に加えた熱量 Q [J] を、 M 、 m 、 T_0 、 R を用いて表せ。

- [2] 状態 B の後、風船の内部の気体の温度を温度調整器で調整し、気球をゆっくりと上昇させた。その結果、図 1(c) のように、風船内部の気体の温度が T_C [K]、体積が V_C [m³] となり、気球は上空で静止した。このときの風船内部の気体の状態を状態 C とする。高度の上昇につれ、大気圧は徐々に低下し、気球が上空で静止したときの風船のまわりの大気圧は p_1 [Pa] であった。一方、大気の温度は高度によらず T_0 とする。風船が押しのけた領域にあった大気の密度は、風船のまわりの大気の密度で近似できるものとして、以下の設問に答えよ。

- (8) 上空で静止した気球が押しのけた大気の密度 ρ'' [kg/m³] は、設問 (4) の ρ' (地表の大気の密度) の何倍か。 p_0 、 p_1 を用いて表せ。
- (9) 上空で静止した気球にはたらく浮力の大きさ F_2 [kg・m/s²] を、 M 、 p_1 、 T_0 、 R 、 V_C 、 g を用いて表せ。
- (10) 気球が上空で静止しているとき、風船内部に封入した気体にはたらく重力を 含めた、気球全体にはたらく重力の大きさ F_0' [kg・m/s²] と、設問 (3) の重力の大きさ F_0 の大小関係を答えよ。大小関係を示す記号 $>$ 、 $=$ 、 $<$ の中から適切なものを一つ選択すること。
- (11) 状態 C における風船内部の気体の温度 T_C は T_0 の何倍か。 n 、 M 、 m の中から必要なものを用いて表せ。