

理 科

15:00~17:00

解 答 上 の 注 意

1. 試験開始の合図があるまで、この問題紙を開いてはならない。
2. 問題紙は38ページある。このうち、「物理」は2～7ページ、「化学」は8～18ページ、「生物」は19～31ページ、「地学」は32～38ページである。
3. 「物理」、「化学」、「生物」、「地学」のうちから、あらかじめ届け出た2科目について解答せよ。各学部・系・群・専攻の必須科目(◎印)と選択科目(○印)は下表のとおりである。

学部・系・群・専攻 科目	理 学 部				医 学 部						歯 学 部	薬 学 部	工 学 部				農 学 部	獣 医 学 部	水 産 学 部
	数学重点選抜群	物理重点選抜群	化学重点選抜群	生物・地学重点選抜群	医学	保 健 学 系			専攻	専攻			応用理工系(注)	情報エレクトロニクス系	機械知能工学系	環境社会工学系(注)			
						看護学専攻	放射線技術専攻	検査学術専攻											
物理	○	◎	○	○	○	○	○	◎	○	○	○	◎	○	◎	○	○	○	○	
化学	○	○	◎	○	○	○	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
生物	○	○	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
地学	○	○	○	◎									○		○	○		○	

(注)：工学部(応用理工系、環境社会工学系)は、物理又は化学を含む2科目選択

4. 受験する科目のすべての解答用紙には、受験番号および座席番号(上下2箇所)は、監督員の指示に従って、指定された箇所に必ず記入せよ。
5. 解答はすべて解答用紙の指定された欄に記入せよ。
6. 必要以外のことを解答用紙に書いてはならない。
7. 問題紙の余白は下書きに使用してもさしつかえない。
8. 下書き用紙は回収しない。

物 理

- 1 図1のように、水平面と角 θ [rad]をなす斜面上の高さ h [m]の位置に質量 m [kg]の小物体Aが保持され、斜面の最下点から距離 d [m]の水平の位置に質量 $3m$ [kg]の小物体Bが置かれている。いずれの小物体もその大きさは無視できる。斜面は滑らかで摩擦は無視できるが、水平部分は静止摩擦係数 μ および動摩擦係数 μ' をもつ粗い面である。いま、斜面上の小物体Aを静かに放すとすべり始めた。重力加速度の大きさを g [m/s²]とする。小物体Aは斜面から水平部に滑らかに移行でき、また $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ であるとして、以下の文章の に適切な数式を入れよ。

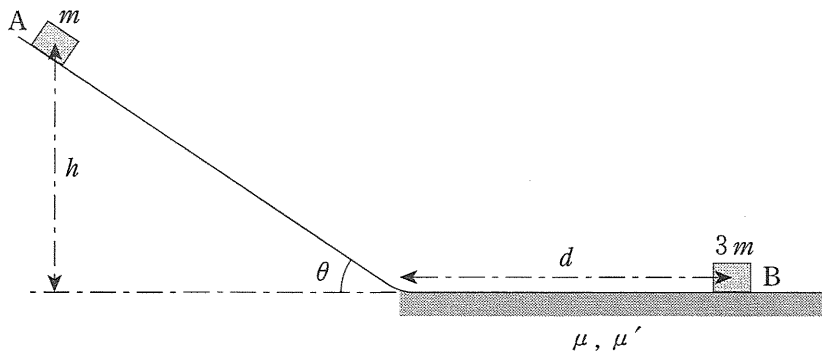


図1

- 問1 斜面の最下点での小物体Aの速さは (1) [m/s]である。その後、小物体Aが水平部分を距離 d だけ進んだとすると、摩擦のため熱となって失われるエネルギーは μ' を用いて (2) [J]である。これより、小物体Aが水平部分を距離 d 進むためには、 $h \geq$ (3) を満たす必要がある。以下、この不等式が満たされているとする。その場合、小物体Aは小物体Bと衝突する。衝突直前の小物体Aの速さは、 $v_1 =$ (4) [m/s]と表せる。衝突により小物体Bも動き出した。衝突直後の小物体Aと小物体Bの速度の水平成分を、図1の右向きを正方向として、それぞれ v_1' [m/s]

および v_2' [m/s] とする。すると、衝突前後における運動量保存則は、 v_1 と v_1' および v_2' を用いて (5) と書ける。反発係数が 1 の場合における v_1' は、 v_1 を用いて $v_1' =$ (6) [m/s] と表すことができる。

次に問 1 と同じ実験を、一定の加速度の大きさ a [m/s²] で水平左方向に進む乗り物の内部で行った。このとき、乗り物の外で静止している人からは、図 1 の実験装置全体が左方向に大きさ a で加速されている。一方、実験の観測者は乗り物の内部にいる。この観測者が見る現象に関して、以下の () に適切な数式を入れよ。

問 2 水平面上にある小物体 B が実験開始直後に静止し続けるための条件は、水平面での静止摩擦係数 μ を用いて (7) と書ける。一方、静かに放した小物体 A が斜面から離れずすべり落ちるための条件は (8) である。以下、これらの条件が満足されているとする。小物体 A に働く斜面方向の加速度の大きさは (9) [m/s²] となる。斜面の最下点における小物体 A の速さは $v =$ (10) [m/s] と表せる。また、この小物体 A が静止している小物体 B と衝突するための条件は、 $v^2 \geq$ (11) と書くことができる。

- 2 図1のように、面積 $S[\text{m}^2]$ の薄い正方形の極板 A と B を距離 $d[\text{m}]$ だけ隔てて真空中に平行に配置し、スイッチ Sw および起電力 $V[\text{V}]$ の電池と導線で接続した。極板 B は接地されている。最初スイッチ Sw は開いており、極板 A と B に蓄えられている電気量(電荷)はゼロであった。真空の誘電率を $\epsilon_0[\text{F/m}]$ で表す。極板間に生じる電界(電場)は一様であるとして、以下の文章の に適切な数式を入れよ。問題文に現れる記号は解答に用いてよい。

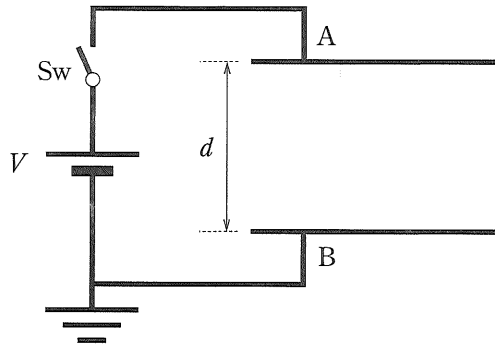


図1

- 問1 スイッチ Sw を閉じて十分な時間が経過したとき、極板 A, B 間にできる電界の大きさは、 V と d を用いて (1) $[\text{V/m}]$ と表せる。一方、極板 A に蓄えられた電気量を $Q[\text{C}]$ とすると、極板 A, B 間の電界の大きさは、 Q , ϵ_0 , S を用いて (2) $[\text{V/m}]$ と表せる。したがって、極板 A, B の電気容量 $C = Q/V$ は、 ϵ_0 , S , d を用いて $C =$ (3) $[\text{F}]$ と表せる。また、極板 A, B 間に蓄えられた静電エネルギーは、 Q と C を用いて (4) $[\text{J}]$ となる。

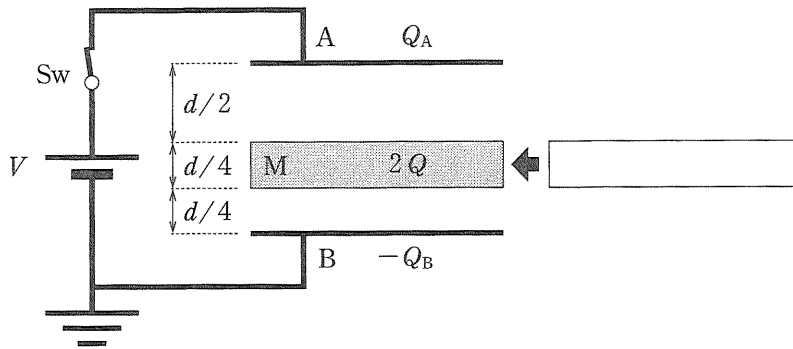


図 2

問 2 次に、極板 A, B と同じ面積 S の正方形金属板 M を用意した。その厚さは $d/4$ である。この金属板 M には、問 1 で極板 A に蓄えられた電気量の 2 倍の電気量 $2Q$ が蓄えられている。図 2 に示すように、スイッチを閉じたままの状態では極板 A, B 間の電圧を V に保ち、この金属板 M を極板 A, B 間に平行にゆっくり挿入した。ここで、極板 A, B と金属板 M は、極板に垂直な方向からみて正確に重なっているものとする。十分時間が経過した後、極板 A と B に蓄えられた電気量をそれぞれ Q_A [C] と $-Q_B$ [C] とする。ここで Q_A と Q_B は正である。回路が接地されているため $Q_A - Q_B + 2Q = 0$ であることに注意して、 Q_A と Q_B を Q のみを用いて表すと、 $Q_A =$ (5) [C], $Q_B =$ (6) [C] となる。また、極板 A と金属板 M の間に生じた電界の大きさは、 C を用いて (7) [V/m] であり、金属板 M を含む極板 A, B 間に蓄えられた静電エネルギーは、 C を用いて (8) [J] となる。その後スイッチ Sw を開いて、金属板 M を極板 A に向かってゆっくりと距離 $d/4$ だけ平行移動させた。この平行移動に要した仕事は C を用いて (9) [J] である。このとき極板 A と金属板 M の間に生じた電界の大きさは C を用いて (10) [V/m] であり、極板 A の電位は V を用いて (11) [V] になる。

3 図1のように、断熱素材でできた球皮とゴンドラ等からなる気球が地面に置かれて浮上せず静止している。大気(空気)は温度 T [K] の理想気体とみなすことができる。大気の圧力は重力のため高度が低いほど高いが、ここではまず、その圧力の高度依存性を無視して気球の中心の高度での大気の圧力 p [Pa] で近似する。一方、密閉された球皮内には大気と同じ圧力 p と温度 T を持つ単原子理想気体 n [mol] が入っており、球皮内の気体の内部エネルギー U [J] は、気体定数 R [J/mol·K] を用いて、 $U = \frac{3}{2} nRT$ と書くことができる。球皮は最初十分にしぼんだ状態であり、球皮内に装着されたヒーターにより、球皮内の気体の温度を上昇させ気体の体積を膨張させることができる。このとき、球皮内の気体の圧力と大気圧は常に釣り合っているとす。以下の文章の (1) から (10) に適切な数式を入れ、 (11) には有効数字2ケタの数値を入れよ。

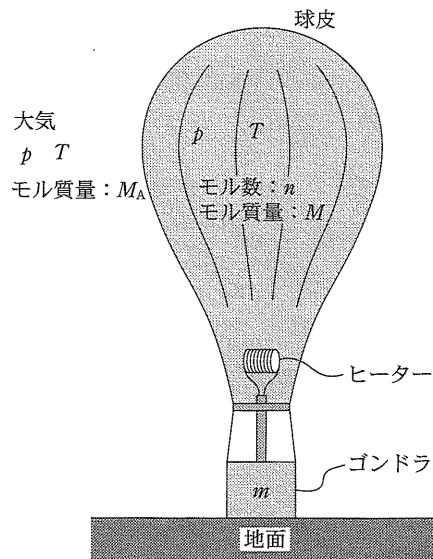


図1

問1 球皮内の気体の体積は、状態方程式より (1) [m³] と書くことができる。いまヒーターによって熱量 Q [J] をゆっくり気体に与えたところ、気体の温度と体積がそれぞれ ΔT [K] および ΔV [m³] だけ変化した。この過程で球皮内の気体が外部にした仕事は (2) [J] であり、その内部エネルギーの変化は (3) [J] となる。したがって、熱力学第一法則より、 Q

は ΔT および ΔV を用いて $Q = \boxed{(4)}$ [J] と表せる。この式と状態方程式より、球皮内の気体の定圧モル比熱 C_p [J/mol·K] (圧力一定の条件で 1 mol の気体を単位温度上昇させるのに必要な熱量) は R を用いて $C_p = \boxed{(5)}$ [J/mol·K] と書くことができる。

ゴンドラの質量を m [kg]、球皮内の気体と空気のモル質量 (1 mol 当りの質量) をそれぞれ M [kg/mol] および M_A [kg/mol] とし、重力加速度の大きさを g [m/s²] とする。また、気球の質量は球皮内の気体とゴンドラの質量のみを考慮し、ほかは全て無視せよ。気球の体積は球皮内の気体の体積のみを考慮し、ほかは全て無視せよ。

問 2 気球に働く重力の大きさは $\boxed{(6)}$ [N] である。一方、気球を図 1 の状態から温めて体積が V_B [m³] になったとすると、この体積 V_B を占めていた空気のモル数は、 T と p を用いて $\boxed{(7)}$ [mol] と表せる。重力のため大気の圧力は下方ほど高い。このことから浮力が生じる。浮力の大きさはアルキメデスの原理から正確に求められ、気球に働く浮力の大きさは $\boxed{(8)}$ [N] となる。以上より、気球を浮上させるにはその体積 V_B を $\boxed{(9)}$ [m³] より大きくする必要があり、気球に $\boxed{(10)}$ T [J] より多い熱量を与えなければならない。

例として $M = 4.0 \times 10^{-3}$ kg/mol のヘリウムガス 4000 mol を用いた気球の場合を考える。空気のモル質量は $M_A = 29 \times 10^{-3}$ kg/mol である。大気の温度が $T = 300$ K の場合に、 $m = 124$ kg のゴンドラをつけた気球を浮上させるためには、ヘリウムガスの温度を $\boxed{(11)}$ [K] より高くする必要がある。