

令和6年度入学試験問題

物 理

(後 期 日 程)

工 学 部
農 学 部

注 意 事 項

1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子の中を見てはいけません。
2. この問題冊子は9ページ、解答用紙は3枚あります。
3. すべての解答用紙の受験番号欄に受験番号を記入しなさい。受験番号が正しく記入されていない場合は、採点されないことがあります。
4. 解答は解答用紙の指定された解答欄に記入しなさい。
5. 下書き用紙は1枚あります。
6. 試験中に問題冊子および解答用紙の印刷不鮮明、ページの落丁および汚損等がある場合は、手を挙げて監督者に知らせなさい。
7. 試験終了後、問題冊子および下書き用紙は持ち帰りなさい。

1 次の文章を読み、設問の答を解答欄に記入せよ。

図1-1に示すように、小物体Aと小物体Bは伸び縮みしないひもで滑車を通してつながっている。床からの滑車までの高さは4mである。小物体Aの質量は $2M[\text{kg}]$ 、小物体Bの質量は $M[\text{kg}]$ である。最初に、小物体Aの位置は滑車からのひもが鉛直になるような地点1で静止している。小物体Aの左には水平でなめらかな床、右には水平であらい床があり、段差なくつながっている。なめらかな床には質量 $M[\text{kg}]$ の小物体Cが置かれ、その左には一端を壁に固定した自然長 $\ell_0[\text{m}]$ 、ばね定数 $k[\text{N/m}]$ のばねがある。ひもと滑車およびばねの質量、空気抵抗、滑車とひもとの間の摩擦は無視できるものとする。また、小物体A、B、Cおよび滑車の大きさは小さいものとする。

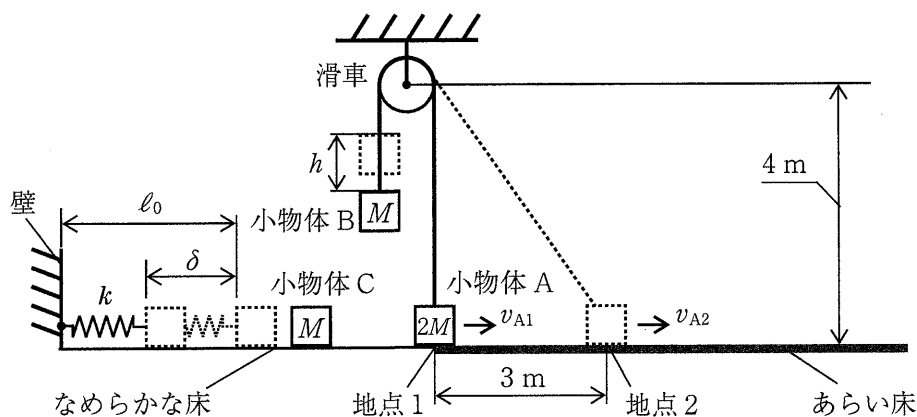


図1-1

問1 小物体Cをばねに押し当て、縮み δ [m] ($< \ell_0$) になるまで押し込んだあと静かにはなす。

(1) ばねの弾性力で小物体Cは右に動き、ばねが自然長 ℓ_0 になったとき小物体Cはばねから離れ、速さ v_{C0} で右へ移動した。速さ v_{C0} [m/s] を k , M , δ を用いて示せ。

(2) その後、小物体Cは小物体Aと衝突した。衝突時の反発係数(はねかえり係数) e は1、衝突の瞬間は床との摩擦の影響を無視できるものとする。衝突直後の小物体Cの速さ v_C [m/s] と小物体Aの速さ v_{A1} [m/s] をそれぞれ v_{C0} を用いて示し、さらに、小物体Cの運動の向きも「右」または「左」で答えよ。

問2 衝突後、小物体Aはあらい床から離れることなく小物体Bと摩擦力の影響で減速しながら右へ移動し、地点2を速さ v_{A2} で通過した。地点1と地点2との距離は3 mである。なお、あらい床の動摩擦係数は μ' 、重力加速度の大きさは g [m/s²] とする。

(1) 小物体Aが地点2にあるとき、小物体Bが最初の位置から上昇した高さ h [m] を求めよ。

(2) 地点2において、解答欄の点線で示した方向での小物体Aの速度ベクトルの分解図を描き、さらに、小物体Bの速さ v_B [m/s] を小物体Aの速さ v_{A2} を用いて示せ。

(3) 地点2での小物体Aの速さ v_{A2} [m/s] は $\frac{1}{2} v_{A1}$ になったとして、地点1と地点2の間において摩擦によって損失したエネルギー(仕事) W_f [J] を M , v_{C0} , g , h を用いて示せ。計算過程も記述せよ。

問3 小物体Aとの衝突後、小物体Cの動きについて、以下の設問に答えよ。ただし、小物体Cと小物体Aの2度目の衝突は考慮しないこととする。

(1) 小物体Cは最終的に停止するまでどのような動きをするのか説明せよ。

(2) 小物体Cの最終停止位置と地点1との距離 ℓ_C [m] を v_{C0} , μ' , g を用いて示せ。

2 次の文章 A, B を読み、設問の答を解答欄に記入せよ。

A 電気量(電荷) $q_0[\text{C}]$ ($q_0 > 0$)の点状の正電荷が1つだけ置かれているとする。
このとき、この点電荷から距離 $r[\text{m}]$ 離れた点での電場の強さは、クーロンの法則の比例定数を k とすると、(a) $[\text{N/C}]$ で与えられ、また電場の向きは点電荷から(ア：近づく向き・遠ざかる向き)となる。なお、この場合 k の単位は[(b)]となる。また、電場の強さが $E[\text{N/C}]$ の点では電場に垂直な 1 m^2 あたりの面積を E 本の電気力線が貫くと定めると、半径 $r[\text{m}]$ の球の表面積は(c) $[\text{m}^2]$ であるので、この点電荷を中心とする半径 $r[\text{m}]$ の球面を貫く電気力線の本数は(a)と(c)の積から、(d)本となり、電気力線はこの点電荷を取り囲む球面(イ：に入っていく・から出ていく)。一方、点電荷が負電荷の場合は、電気力線は点電荷を取り囲む球面(ウ：に入っていく・から出て行く)。一般に、 $Q[\text{C}]$ の帯電体から出る電気力線の総数は(e)本であるといえ、また任意の閉じた曲面(閉曲面)を貫く電気力線の本数は、閉曲面内部の電荷の電気量の和を $Q_s[\text{C}]$ とするとき、(f)本となる。

問1 文章 A が正しい文章となるように、(ア)～(ウ)では適切な語句を選択し、また、空欄(a)～(f)に入る適切な値または記号を記入せよ。

B 以下の問題では、様々な形状に分布した電荷について考える。なお、クーロンの法則の比例定数を k (単位は問1(b)と同じ)とし、また、電気力線の本数の定義も文章 A と同様とし、解答では答を導く計算過程も記入せよ。

問2 図2-1のように、十分に広い平面に、正電荷が 1 m^2 あたりの電気量 $q[\text{C/m}^2]$ ($q > 0$) の割合で一様に分布しているとする。このとき、電気力線は平面に垂直であると考えられる。ここで、平面を貫いて、上下の各底面の面積が $S[\text{m}^2]$ の円筒状の閉曲面を考える。なお、円筒の底面は平面に平行で、円筒の側面は平面に垂直であるとする。

- (1) 円筒の内部にある電気量を求めよ。
- (2) 円筒の内から外に出る電気力線の本数を求めよ。
- (3) 円筒の上面における電場の強さを求めよ。

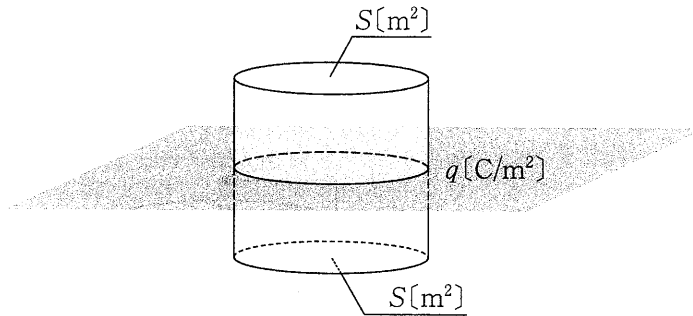


図 2-1 平面上に一様に分布した電荷と平面を貫く円筒状の閉曲面

問 3 図 2-2 のように，正電荷が 1 m^2 あたりの電気量 $q_1 \text{ [C/m}^2\text{]}$ ($q_1 > 0$) の割合で一様に分布した十分に広い平面と，負電荷が 1 m^2 あたりの電気量 $-q_2 \text{ [C/m}^2\text{]}$ ($q_2 > 0$) の割合で一様に分布した十分に広い平面が，平行に距離 $d \text{ [m]}$ だけはなして置かれている。

- (1) 2 枚の平面の間における電場の強さを求めよ。
- (2) 2 枚の平面の電位差の絶対値を求めよ。

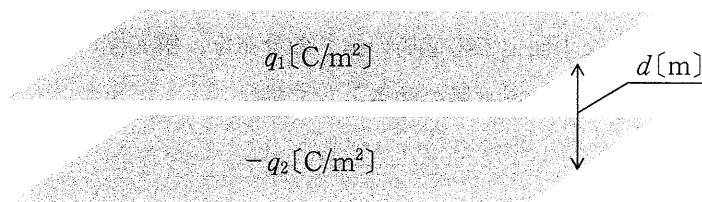


図 2-2 平行に置かれた 2 枚のそれぞれの平面上に一様に分布した電荷

- 問4** 図2-3のように、細くてまっすぐな十分に長い導線に、正電荷が1 mあたりの電気量 $Q[\text{C/m}]$ ($Q > 0$) の割合で一様に分布しているとする。ここで、導線を軸とする半径 $r[\text{m}]$ 、高さを $l[\text{m}]$ の円筒状の閉曲面を考える。このとき、電気力線は円筒の側面に垂直であると考えられる。
- (1) 円筒の側面を内から外に貫く電気力線の本数を求めよ。
 - (2) 導線から距離 $r[\text{m}]$ の点での電場の強さを求めよ。

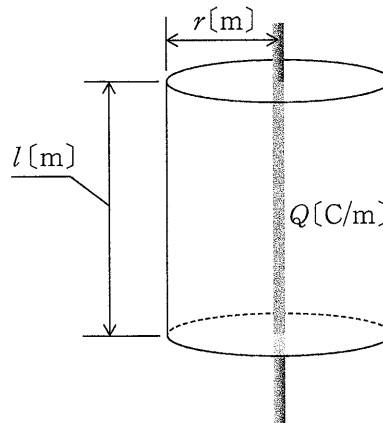


図2-3 まっすぐな導線に一様に分布した電荷と導線を軸とする円筒状の閉曲面

- 問5** 図2-4のように、細くてまっすぐな十分に長い導線に、正電荷が一様に分布しているとして、導線に垂直な平面上での電場の分布を考える。ここで、導線から1.0 mの距離における電場の強さは1.0 N/Cであるとする。
- (1) 導線に垂直な平面上での電場の強さの分布を、解答欄のグラフに横軸を導線からの距離、縦軸を電場の強さとして描け。

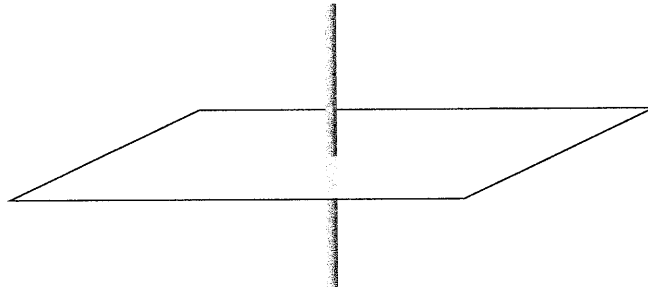


図 2-4 まっすぐな導線に一様に分布した電荷と導線に垂直な平面

- (2) 次に、図 2-5 のように、この平面上で導線から 1.0 m の距離のところに、 $-q_0[\text{C}]$ ($q_0 > 0$) の点電荷を置く。この位置から、点電荷を平面上で導線へ微小な距離 $\Delta x[\text{m}]$ だけ近づけたとき、静電気力がする仕事 $\Delta W_1[\text{J}]$ を求めよ。なお、点電荷の電気量は十分小さく、導線の電荷分布を変化させないものとする。

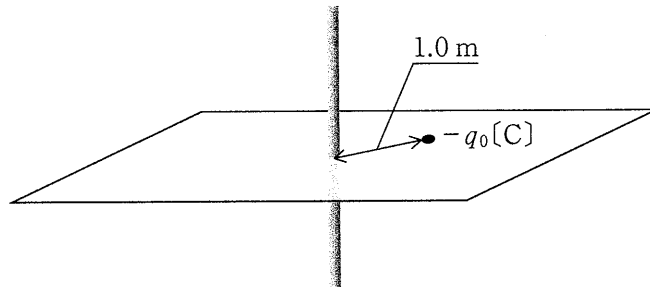


図 2-5 まっすぐな導線に一様に分布した電荷と導線に垂直な平面上の点電荷

- (3) さらに、この点電荷を、この平面上で導線から 0.5 m の距離のところにあらためて置く。この位置から、点電荷を平面上で導線から微小な距離 $\Delta x[\text{m}]$ だけ遠ざけたとき、静電気力がする仕事 $\Delta W_2[\text{J}]$ を求めよ。

3 以下の設問の答を解答欄に記入せよ。

問1 図3-1は、質量240 gの銅製容器を断熱材で囲んだ水熱量計である。この容器に水80 gが入っており、熱平衡に達した状態で温度を測ったところ20℃であった。ここに40℃の水120 gを加えてゆっくりかき混ぜた。熱平衡状態に達したとき、全体の温度が30℃であった。水の比熱を $4.2 \text{ J}/(\text{g} \cdot \text{K})$ 、熱の移動は水と容器の間だけで起こるものとし、温度計とかくはん棒の熱容量は考えないものとする。なお、答の有効数字は2桁とし、解答欄の〔 〕内には単位を書くこと。また、計算過程も記入せよ。

- (1) 40℃の水を加えたことで、この容器が得た熱量を求めよ。
- (2) この容器の熱容量を求めよ。
- (3) 銅の比熱を求めよ。
- (4) 40℃の水をさらに $M[\text{g}]$ 加えてゆっくりかき混ぜたところ、熱平衡状態に達し、全体の温度は34℃になった。 M を求めよ。

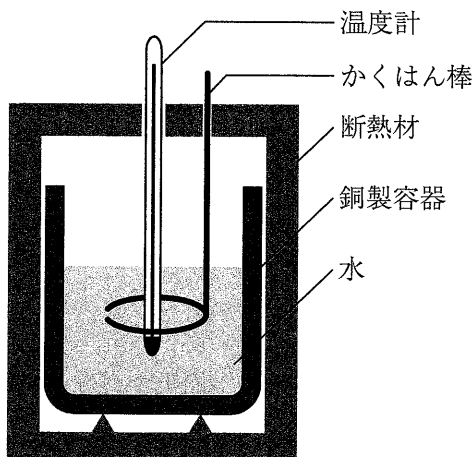


図3-1

問 2 図 3-2 のような円筒容器内をなめらかに動くピストンがある。この円筒容器内に単原子分子からなる理想気体 1.0 mol がピストンで封入されている。気体の温度は 300 K で、このときの気体の状態を A とする。気体定数は $8.3 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ とする。なお、答の有効数字は 2 桁とし、解答欄の〔 〕内には単位を書くこと。

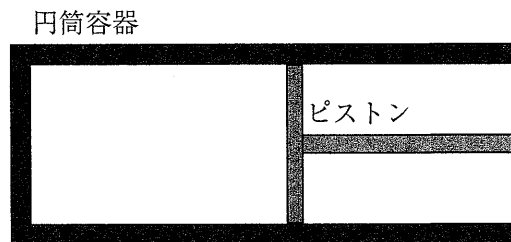


図 3-2

- (1) はじめに状態 A から、圧力を一定に保ったまま気体に熱を加えたところ、気体の体積は $4.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ まで増加し、気体の温度は 330 K まで上昇した。このときの気体の状態を B とする。状態 A の気体の体積と圧力をそれぞれ求めよ。なお、計算過程も記入せよ。
- (2) つぎに、状態 B において、ピストンを固定して気体に熱を加えたところ、気体の圧力は $6.64 \times 10^5 \text{ Pa}$ になった。このときの気体の状態を C とする。状態 C における気体の温度を求めよ。なお、計算過程も記入せよ。
- (3) 状態 $A \rightarrow B \rightarrow C$ の変化を、横軸に気体の体積 $V[\text{m}^3]$ 、縦軸に気体の圧力 $p[\text{Pa}]$ をとったグラフで示せ。グラフには変化の向きを示す矢印を入れ、横軸と縦軸に状態 A, B, C の体積と圧力の値を明記せよ。
- (4) (1)の状態 $A \rightarrow B$ の過程と、(2)の状態 $B \rightarrow C$ の過程で気体が外部にした仕事をそれぞれ求めよ。なお、計算過程も記入せよ。

- (5) 今度は、ピストンの固定をはずし、円筒容器およびピストンとの熱のやりとりをしないで、気体の圧力 p と体積 V を図 3-3 のように状態 C から状態 D へと変化させた。気体の温度は、状態 C と状態 D で、どちらが高くなるか理由とともに答えよ。
- (6) 状態 C から状態 D への変化を何というか答えよ。

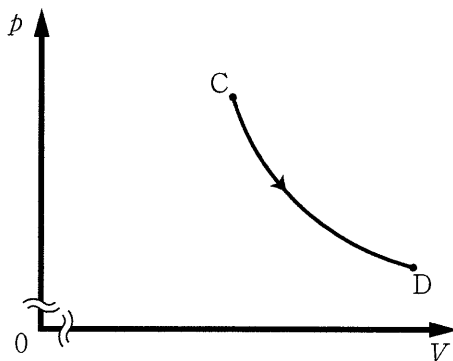


図 3-3