

2019年度

理 科

RA

物 理

〔問題ページ数〕

〔解答用紙枚数〕

6 ページ

3 枚

3月12日(火)

【後期日程】

理 学 部 (物理学科, 生物科学科, 創造理学コース)

工 学 部

農 学 部

13 : 30 ~ 14 : 50

注 意 事 項

試験開始前

- 1 監督者の指示があるまで、問題冊子、解答用紙に手を触れてはいけません。
- 2 監督者の指示に従い、出願時に選択した科目の問題冊子、解答用紙であるかどうかを確かめ、
全部の解答用紙に受験番号を記入しなさい。
- 3 出願時に選択した科目と解答した科目が異なる場合は採点されません。

試験開始後

- 4 はじめに、問題冊子、解答用紙を確かめ、枚数の不足や、印刷の不鮮明なもの、ページの落
丁・乱丁があった場合は、手をあげて監督者に申し出なさい。
- 5 解答はすべて解答用紙に記入しなさい。
- 6 問題は、声を出して読んではいけません。
- 7 各問ごとの配点は、比率(%)で表示してあります。

試験終了後

- 8 問題冊子は、必ず持ち帰りなさい。

問題訂正

科目 理科（物理）

訂正箇所

問題 1

1 ページ 問 4 (2)

(誤) この実験において、棒が傾かなかったことから …

(正) この実験において、 α の値に関わらず棒が傾かなかったことから …

1 図1のように水平な台の上に、質量 M 、長さ $2L$ の細長い棒を置いた。棒の端点には質量の無視できる長さ l の糸をつなぎ、棒の中心 C は台の端点 A から、距離 X ($0 < X < L$) の位置にある。棒と台の間の静止摩擦係数を μ 、重力加速度の大きさを g とする。棒は一様密度の剛体とし、空気抵抗は無視できるものとする。以下の問いに答えよ。(配点 35%)

問1 図1のように、糸に力を鉛直下方に徐々に加えていった。力の大きさがある値 F_0 を越えると棒が傾き始めた。 F_0 を求めよ。

問2 図2のように、糸に鉛直下方とのなす角 ϕ [rad] ($0 < \phi \leq \frac{\pi}{2}$) の方向に大きさ F の力を加えたところ、棒は静止したままだった。

(1) 棒が台から受ける垂直抗力の大きさを求めよ。

(2) 棒が水平方向に滑り出さないことから、 μ がある値以上であることがわかる。この値を F 、 ϕ 、 M 、 g から必要なものを用いて表せ。

問3 図3のように、糸の端点に質量 m の小球をつけた。そして鉛直下方とのなす角 α [rad] ($0 < \alpha \leq \frac{\pi}{2}$) の位置から小球を静かに離した。すると小球は運動したが、棒は静止したままであった。小球は図に示されたように棒と鉛直線を含む面内のみで運動した。また糸の長さ l は $l < L - X$ を満たし、小球が台にぶつかることはなかった。

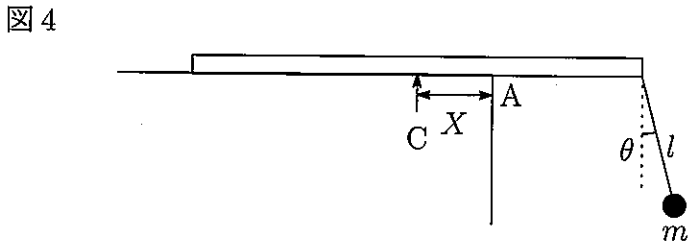
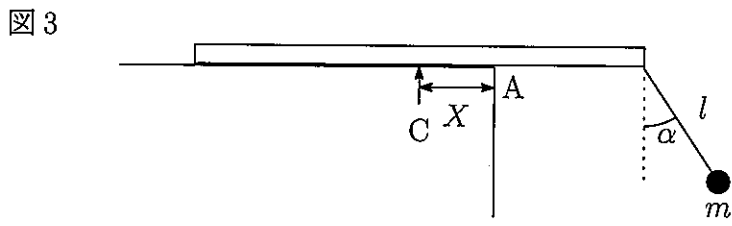
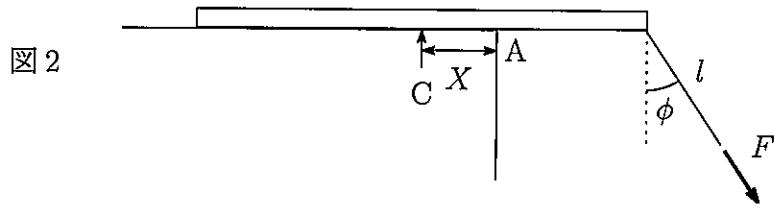
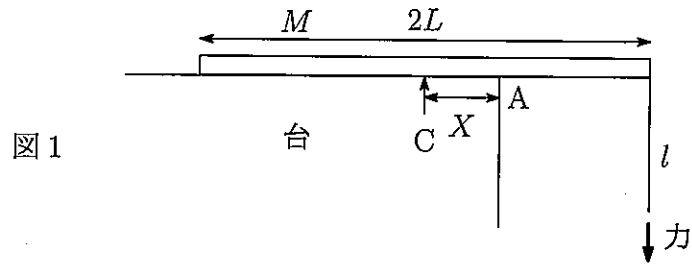
図4のように糸と鉛直下方のなす角が θ [rad] ($0 \leq \theta \leq \alpha$) のとき、小球の速さを求めよ。またこのとき小球に働く遠心力と糸に働く張力の大きさをそれぞれ求めよ。

問4 問3と同じ実験を、小球を離す角度 α を $0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2}$ の範囲で様々な値に変化させて、繰り返し行ったが棒が動くことはなかった。

(1) 小球を離したのちに、小球が図4において $\theta = 0$ の位置に来た。このとき、糸に働く張力の大きさがもっとも大きくなる α を求めよ。

(2) この実験において、棒が傾かなかったことから小球の質量 m はある値以下であることがわかる。この値を g と問1で求めた F_0 を用いて表せ。

(3) この実験において、棒と台の間に働く摩擦力の大きさの最大値を求めよ。またこの最大の摩擦力が働く瞬間に、棒が台から受ける垂直抗力の大きさを求めよ。



2

辺の長さが r (bc の辺) と l (cd の辺) の、導線を曲げて作られた長方形のコイル abcd を考える。図のように x, y, z 座標をとり、 y 軸方向正の向きに、磁束密度の大きさ B の一様な磁場をかける。外力を加えて、コイル abcd を図中の破線で示される矢印の向きに、 x 軸の周りを一定の角速度 ω で回転させる。ここで、 x 軸は辺 bc の中点を通り、辺 bc に垂直であるとする。時刻 $t = 0$ においてコイルの面は磁場に垂直で、cd の辺が ab の辺よりも上方にある。

電極 P と Q は、それぞれ、コイルの d 側と a 側につながっている。導線の電気抵抗、コイルを流れる電流が作る磁場は無視してよい。電気素量を e ($e > 0$) とする。以下の問いに答えよ。
(配点 35 %)

問 1 初めに、コイル abcd に接続されたスイッチ S を 1 の位置にし、コイルには電流が流れないようにした。問 1 では、コイルの辺 cd が $y > 0$ の領域にあるときを考える。

- (1) 時刻 t において、コイルの辺 cd の速さを求めよ。また、速度ベクトルと磁場ベクトルのなす角度はいくらか。
- (2) コイルの辺 cd の導線の中に存在する電子を考える。この電子が時刻 t において受けるローレンツ力の大きさを求めよ。また、この力の向きは次の選択肢のうちどれか。(ア) から (カ) の記号で答えよ。

選択肢：{(ア) : x 軸正の向き, (イ) : x 軸負の向き, (ウ) : y 軸正の向き,
(エ) : y 軸負の向き, (オ) : z 軸正の向き, (カ) : z 軸負の向き}

- (3) コイルの中には電荷の分布が生じ、(2) のローレンツ力とつりあう電場がつけられる。この電場によって生じるコイル全体での誘導起電力の大きさ V を

$$V = V_0 |\sin(\omega t + \phi)|$$

と表すとき、 V_0 と ϕ を求めよ。

また、電位が最も高い点は次の選択肢のうちどの点か。(ア) から (エ) の記号で答えよ。

選択肢：{(ア) : a, (イ) : b, (ウ) : c, (エ) : d}

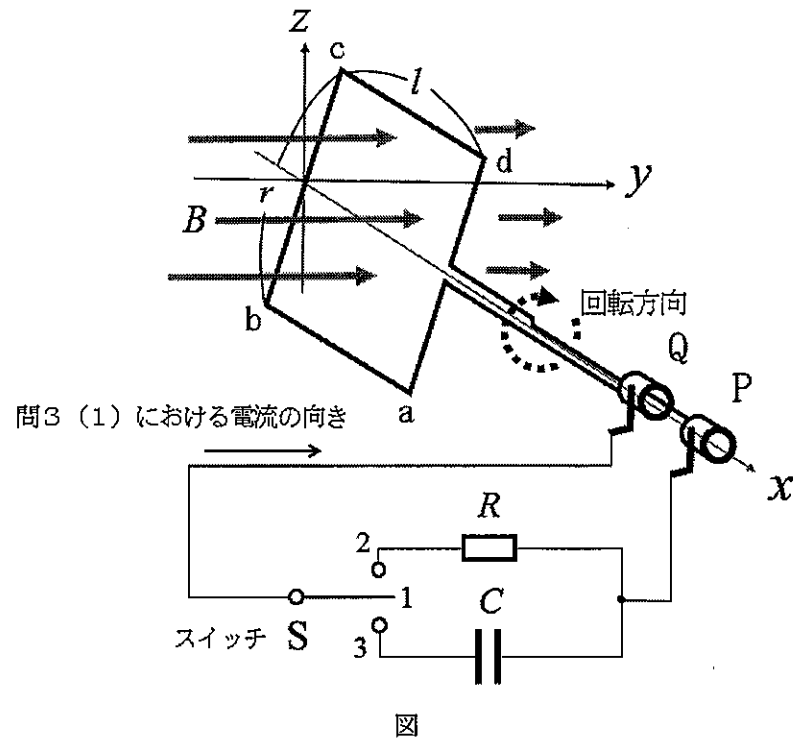
以下の問では、コイルの辺 cd の位置は $y > 0$ の領域には限らないとする。また、 V_0 を用いて答えても良い(ただし、 ϕ は用いないこと)。

問 2 次にスイッチ S を 2 側につなぎ、コイルに抵抗値 R の抵抗を直列に接続する場合を考える。

- (1) 時刻 t において、抵抗で消費される電力を求めよ。
- (2) この消費電力の時間平均を求めよ。

問 3 次にスイッチ S を 3 側につなぎ、コイルに電気容量 C のコンデンサーを直列に接続する場合を考える。コンデンサーには $t = 0$ において電荷がないとする。

- (1) コイルを流れる電流を時刻 t の関数として、解答用紙にグラフを描け。電流の向きは、下図中の矢印を正の向きとする。また、縦軸(電流)については最大値を明記すること。
- (2) 時刻 t において、コンデンサーで消費される電力を求めよ。
- (3) この消費電力の時間平均を求めよ。



図

3

図1のようになめらかに動くピストンがついたシリンダーに1モルの理想気体が入っている。このシリンダーとピストンは断熱材でできており、シリンダー内には加熱・冷却装置が取り付けられている。この装置でシリンダー内の気体を加熱することにより気体は熱を吸収し、この装置で気体を冷却することにより気体は熱を放出することができる。理想気体の内部エネルギーはその体積に依存せず、気体分子の数と絶対温度 T のみで決まる。この理想気体の定積モル比熱 C_V や定圧モル比熱 C_p は、この問題で考える温度範囲では温度によらず一定である。気体の圧力 p と体積 V の関係を表した図2 (p - V 図)を参照して、以下の問いに答えよ。ただし、気体定数は R とする。(配点 30%)

問1 加熱・冷却装置を動作させずに、状態A(圧力 p_1 , 体積 V_1 , 温度 T_A)からピストンをゆっくり動かして気体の体積を増加させると、気体の圧力は単調に減少して状態C(圧力 p_2 , 体積 V_2 (ただし、 $V_1 < V_2$), 温度 T_C)に達する。この変化を過程Iとする。この過程Iは断熱変化であるため、気体が吸収する熱量 Q_I は0になる。この過程Iで気体が外部にする仕事 W_I を求めよ。

状態Aから状態Cに達する過程として、過程I以外に3通りの過程を考察する。

問2 まず過程IIについて考える。過程IIでは、始めに加熱装置で気体に熱を加えながら圧力を一定に保ちつつピストンをゆっくり動かして状態Aから状態B(圧力 p_1 , 体積 V_2 , 温度 T_B)まで変化させ、その後ピストンを固定して冷却装置により気体が熱を放出することにより状態Bから状態Cまで変化(定積変化)させる。

- (1) 状態Aから状態Bまで変化したときの気体の内部エネルギー変化 ΔU_{AB} を C_V を用いて表せ。
- (2) ΔU_{AB} を熱力学第1法則を用いて求め、 C_p , p_1 , T_A , T_B , V_1 , V_2 を用いて表せ。
- (3) C_V と C_p の間には、 $C_p - C_V = R$ の関係がある。(1)と(2)の結果を用いてこの関係を求めることができる。その求め方を示せ。
- (4) 過程II全体で気体が吸収する正味の熱量(気体が吸収する熱量から、放出する熱量を引いたもの)を Q_{II} とする。 Q_{II} を C_V , R , T_A , T_B , T_C を用いて表せ。

問3 過程IIIでは、まずピストンを固定して冷却装置により気体が熱を放出することにより状態Aから状態D(圧力 p_2 , 体積 V_1 , 温度 T_D)まで変化(定積変化)させ、その後加熱装置で気体に熱を加えながら圧力を一定に保ちつつピストンをゆっくり動かして状態Dから状態Cまで変化させる。過程III全体で気体が吸収する正味の熱量を Q_{III} とする。この Q_{III} と Q_{II} の大小関係を不等式で表せ。

問 4 過程IVでは、まず加熱装置で気体に熱を加えながら温度が一定になるようにピストンをゆっくり動かして状態Aから状態E(圧力 p_3 (ただし、 $p_3 > p_2$)、体積 V_2 、温度 T_A)まで変化させ、その後ピストンを固定して冷却装置により気体が熱を放出することにより状態Eから状態Cまで変化(定積変化)させる。

- (1) 過程IVを表す曲線の概略を $p-V$ 図に描け。
- (2) 過程IV全体で気体が吸収する正味の熱量を Q_{IV} とする。上記の4個の過程で気体が吸収する正味の熱量(Q_I , Q_{II} , Q_{III} , Q_{IV})の大小関係を不等式で表せ。また、その求め方を説明せよ。

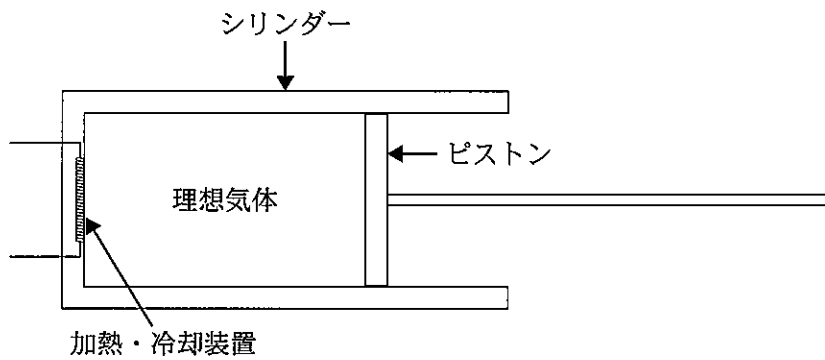


図 1

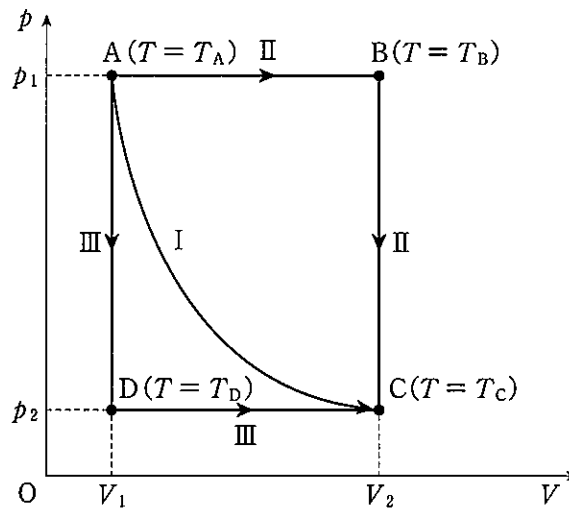


図 2