

令和 6 年度
入学者選抜学力試験問題
後期日程

理 科

注 意

1. 解答用紙表紙の※印欄は、受験者が記入すること。
受験番号は、本学受験票の受験番号欄に記入してあるとおりに書くこと。
※印欄以外の箇所には、受験番号・氏名を絶対に書かないこと。
2. 問題冊子及び解答用紙は、「解答始め」の指示があるまで開かないこと。
3. 理学部数物科学科志願者は理科、数学から1教科選択し、解答用紙の表紙の選択別欄に○印を記入のうえ、選択した教科の問題を全問解答すること。なお、解答用紙の表紙の選択別欄に両教科とも○印をつけた場合は、すべての解答を無効とする。
4. 解答は、別冊子の解答用紙に記入すること。
解答用紙左上の問題番号を確認し、問題に対応する解答用紙のみに記入すること。
5. 試験終了後、この問題冊子と下書用紙は持ち帰ること。
6. 総ページ数
問題冊子—— 8 ページ
解答用紙—— 8 ページ
下書用紙—— 1 枚(数学と共用)

物 理

I 図1 (a) のように、表面が滑らかで円盤の中心 O から距離 r [m] の位置に質量 m [kg] の大きさの無視できる小さな物体を置き、一定の角速度で O を中心に円盤を水平面上で回転させる。

図1 (b) は円盤を真上から見たときの物体の運動を表す。重力加速度の大きさを g [m/s²]、物体と円盤との間の静止摩擦係数を μ とし、以下の問いに答えよ。必要ならば、角 x [rad] が 0 に近いとき、近似式 $\sin x \approx x$ が成り立つことを用いよ。

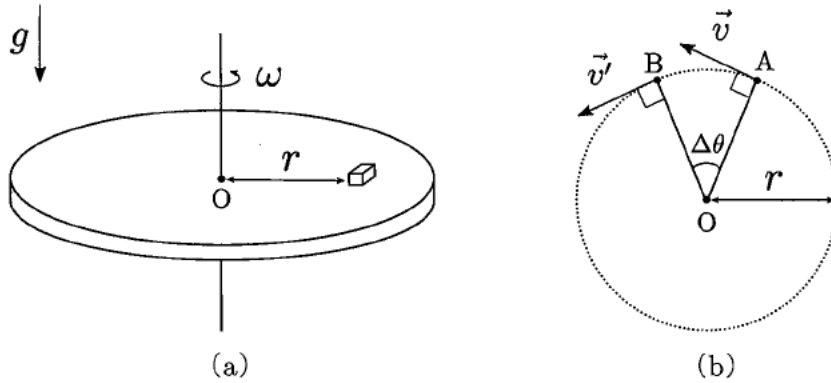


図 1

問 1 角速度が ω [rad/s] ($\omega > 0$) のとき、物体は円盤上をすべらずに等速円運動をした。

- (1) 位置 A にあった物体が微小時間 Δt [s] の間に位置 B に移動するときの円盤の回転角を $\Delta\theta$ [rad] とする。微小時間 Δt の間の物体の移動距離を求めよ。また角速度が $\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ であることを用いて、物体の速さ v [m/s] を、 r と ω を用いて表せ。
- (2) 位置 A, B での物体の速度を、それぞれ \vec{v} , \vec{v}' とする。速度の変化 $\Delta\vec{v} = \vec{v}' - \vec{v}$ の大きさ $|\Delta\vec{v}|$ [m/s] を、 r , ω , $\Delta\theta$ を用いて表せ。
- (3) 微小時間 Δt の平均の加速度 \vec{a} は $\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$ で与えられる。 Δt を限りなく 0 に近づけたときの位置 A での物体の加速度の大きさ $a = |\vec{a}|$ が、 $a = r\omega^2$ となることを示せ。
- (4) 位置 A での物体に働いている静止摩擦力の大きさを、 g , m , r , ω のうち必要なものを用いて表せ。また、その向きも答えよ。

問 2 角速度をゆっくりと増していくと、ある角速度 ω_1 [rad/s] ($\omega_1 > \omega$) を超えたとき、物体は円盤上をすべり始めた。 ω_1 を g , m , r , μ のうち必要なものを用いて表せ。

物 理

I のつづき

次に、図2のように、表面があらい円盤を平らな斜面上に置く。その円盤の中心 O から距離 r [m] の位置に質量 m [kg] の物体を置き、 O の位置を固定し、一定の角速度で O を中心に円盤を斜面上で回転させる。角速度が ω [rad/s] ($\omega > 0$) で、水平面に対する斜面の傾き角が ϕ [rad] ($0 < \phi < \frac{\pi}{2}$) のとき、物体は円盤上をすべらずに等速円運動をした。前問と同様に、重力加速度の大きさを g [m/s²]、物体と円盤との間の静止摩擦係数を μ として、以下の問いに答えよ。

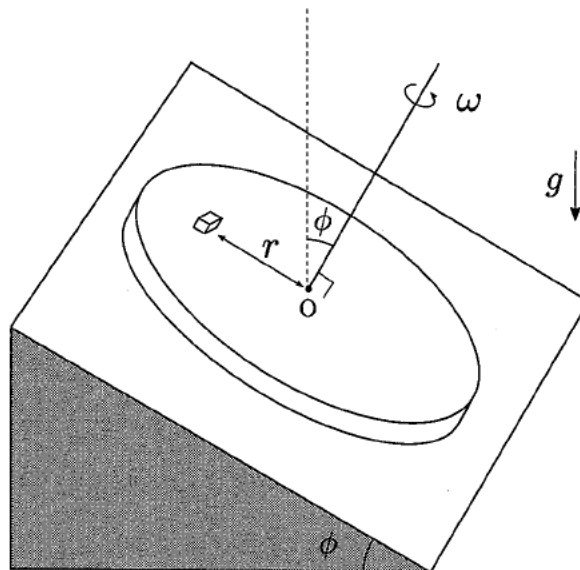


図2

問3 物体が円盤から受ける垂直抗力の大きさを求めよ。また、物体に働く重力の斜面に沿う向き成分の大きさを求めよ。

問4 角速度をゆっくりと増していくと、ある角速度 ω_2 [rad/s] ($\omega_2 > \omega$) を超えたとき、物体は円盤上をすべり始めた。 ω_2 を g , m , r , μ , ϕ のうち必要なものを用いて表せ。

物 理

II 永久磁石と電流の作り出す磁場（磁界）についての問いに答えよ。以下では、磁気力に関するクーロンの法則が成り立ち、SI(国際単位系)を用いるものとする。磁気力の比例定数は k_m である。

問1 十分細長い棒磁石が図1のように固定されている。棒磁石に沿った向きを x 軸とし、原点 O に N 極の磁極を置く。この磁極の磁気量は $M(M > 0)$ である。この磁極以外の磁気的な影響は考えなくてよいものとする。

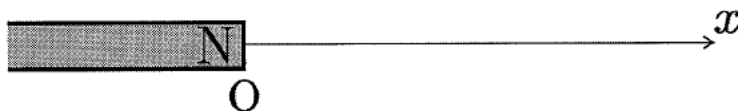
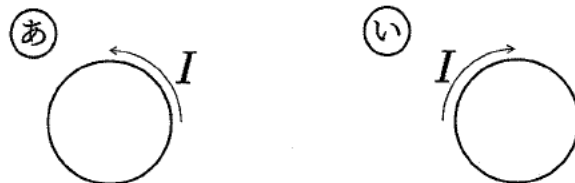


図1

- (1) x 軸上の、 $x = L (L > 0)$ にある点 P で磁気量 $m (m > 0)$ の磁極 A が受ける力の大きさ F を求めよ。
- (2) 次に磁極 A を x 軸の正の向きへ離していくと、ある点 R で磁極 A が受ける力の大きさが F の 10 分の 1 になった。点 R の x 座標を求めよ。
- (3) 半径 a の一巻きの円形コイルを、コイルの中心が点 P と一致するように置いた。コイルの面は x 軸と垂直である。このコイルに電流を流すと、棒磁石の N 極が点 P に作り出す磁場を打ち消すことができる。このときの電流の大きさ I を、 M 、 m 、 k_m 、 a 、 L のうち必要なものを用いて表せ。また、コイルに流す電流の向きとして、選択肢 ㉞ と ㉟ のうち、正しいものを 1 つ答えよ。選択肢の図は原点 O からコイルを見たものである。

選択肢



物 理

Ⅱ のつづき

問 2 同じ形状で、同じ磁気量の磁極を持つ 2 本の十分細長い棒磁石を、全ての磁極が同一平面上にあるように方眼紙上に置いた。方眼紙の 1 目盛の大きさはすべて等しい。複数の磁極があるとき、磁石の外にある任意の点の磁場は、それぞれの磁極がその点に作る磁場の重ね合わせにより大きさと向きが決まるものとする。

- (1) 2 本の棒磁石を図 2 のように置いたとき、左の棒磁石の N 極からの距離 $2r$ 、中央の棒磁石の S 極からの距離 r にある点①の位置に、これら 2 つの磁極によって生じる磁場を解答用紙の図中に作図せよ。その際、N 極が作る磁場 \vec{H}_N 、S 極が作る磁場 \vec{H}_S 、それらの重ね合わせによって点①に生じる磁場 \vec{H} がそれぞれ分かるように作図すること。ただし、1 つの磁極が距離 r 離れた位置に作る磁場の大きさが 4 目盛の長さになるように矢印を描くこと。

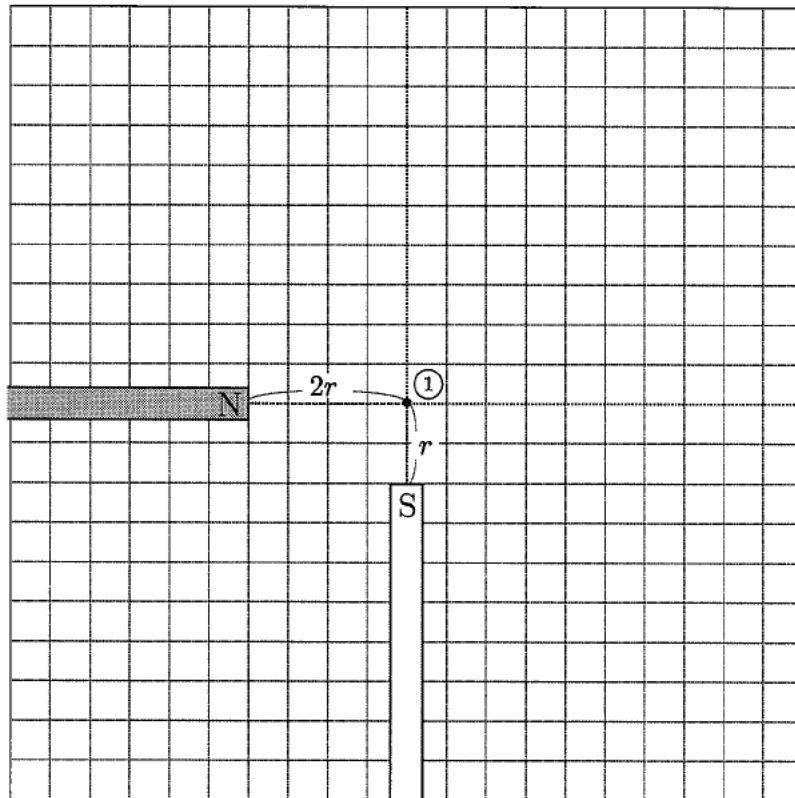


図 2

物 理

Ⅱ のつづき

問 2 のつづき

- (2) 図3のように2本の棒磁石を平行に、(i) 同じ極同士が向き合うように、および(ii) 異なる極同士が向き合うように置き、図中の点②～⑤の位置で2本の棒磁石が作り出す磁場の向きを測定した。ただし、点②～⑤は全て棒磁石を含む平面内にある。点②、③、⑤の磁場の向きを選択肢 ア～クの内からそれぞれ1つ選べ。また、点④の磁場の向きとして最も近い向きを選択肢をア～クの内から1つ選び、その理由を述べよ。

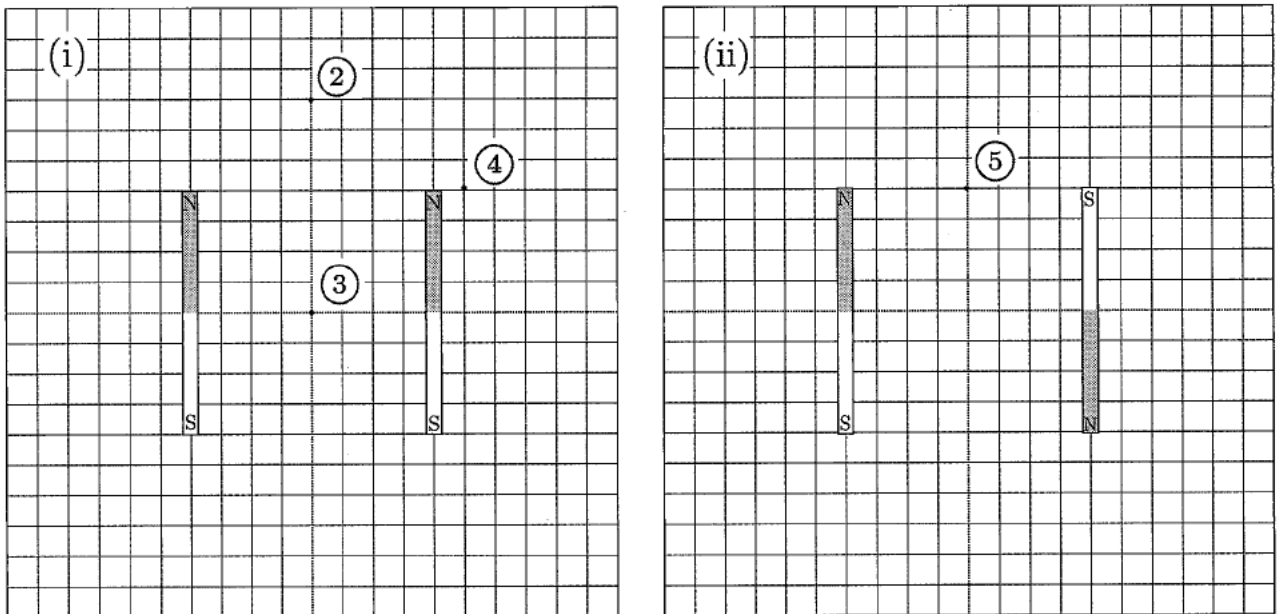
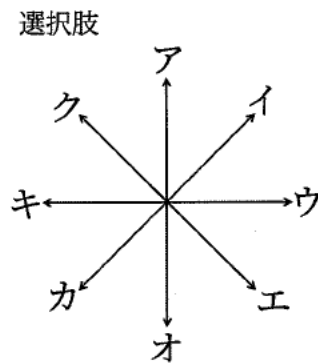


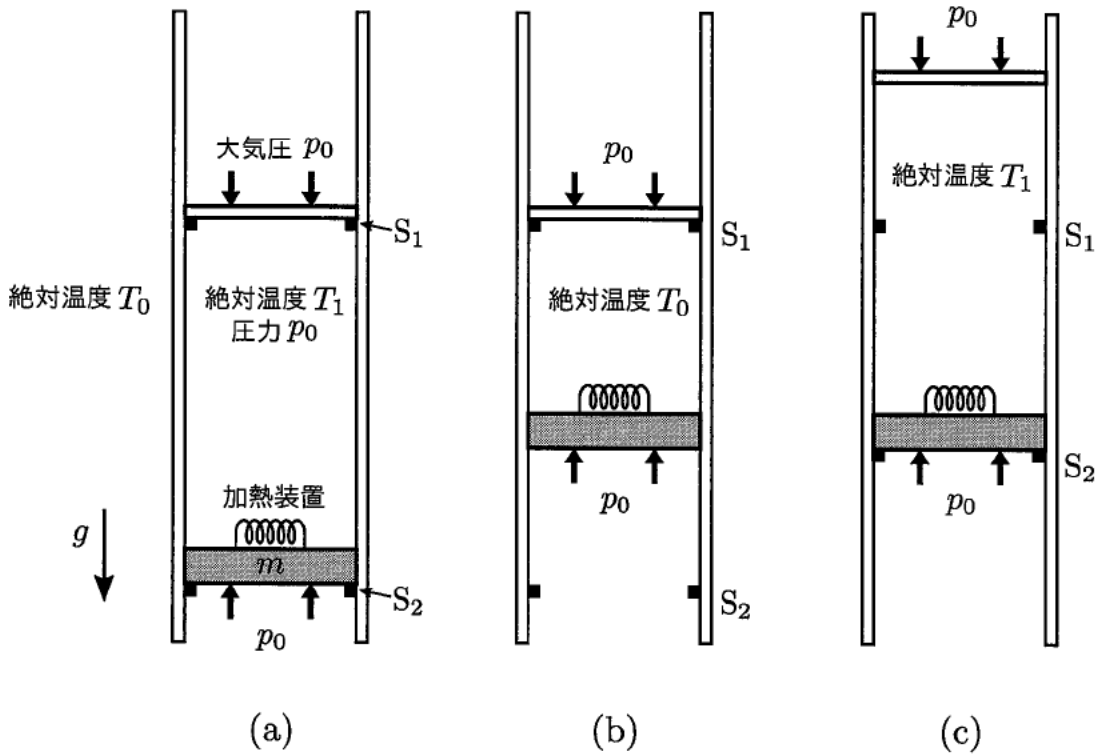
図 3



物 理

III 大気圧 p_0 、絶対温度 T_0 の空气中に円筒を鉛直に立てる。断面積 A の円筒の内部を、なめらかに動かすことができる2つのピストンで水平に仕切って、 T_0 よりも温度の高い、物質質量 n の単原子分子理想気体を閉じ込める。最初に図 (a) のように、円筒の内壁に2つのストッパー S_1 と S_2 を取り付け、どちらのピストンも下向きには動かすことができないようにした。

2つのピストンのうち、上側のピストンは軽くて質量が無視できるが、下側のピストンは質量が m で、気体を加熱する装置が取り付けられている。ストッパーの大きさ、および、加熱装置の質量、体積、高さはいずれも小さく無視できる。理想気体の圧力や温度は2つのピストンの間でどこでも同じ値をとるものとし、重力加速度の大きさを g 、気体定数を R として、以下の問いに答えよ。



図

物 理

III のつづき

問 1 閉じ込められた理想気体は、図 (a) のように、最初に圧力が p_0 で、絶対温度は T_1 ($T_1 > T_0$) であった。その後、壁およびピストンを伝わって熱が徐々に外に逃げ、理想気体はゆっくり冷めて、図 (b) のように周囲の空気と同じ絶対温度 T_0 になった。

- (1) この過程の中で理想気体の圧力が p_1 になると、下側のピストンが上に向かってゆっくり動き始めた。 p_1 を A, g, m, p_0 を用いて表せ。
- (2) 図 (a) と (b) の状態での理想気体の体積 V_a と V_b を、それぞれ n, p_0, p_1, R, T_0, T_1 のうち必要なものを用いて表せ。
- (3) V_a よりも V_b が小さいと、下側のピストンは上昇している。下側のピストンが上昇するために、質量 m が満たすべき条件を、 A, g, m, p_0, T_0, T_1 を用いて不等式で表せ。
- (4) 図 (a) から (b) の状態になるまでに、理想気体が下側のピストンからされた仕事を、 p_0, p_1, V_a, V_b のうち必要なものを用いて表せ。
- (5) 図 (a) での高さを基準として、図 (b) の状態での下側のピストンの位置エネルギーを、 A, g, m, V_a, V_b を用いて表せ。

問 2 次にストッパー S_2 を下側のピストンのすぐ下まで移動して固定し、再びピストンが下向きに動かないようにした。その後、加熱装置を使って理想気体に熱を加えると、上側のピストンがゆっくり上昇し、図 (c) のように理想気体の絶対温度は再び T_1 になった。この間に理想気体から外に逃げた熱量は、理想気体が得た熱量に比べて十分小さく無視できるものとする。

- (1) 図 (b) から (c) の状態になるまでの理想気体の内部エネルギーの変化 ΔU を、 n, T_0, T_1, R を用いて表せ。
- (2) 理想気体が得た熱量を、 $\Delta U, p_0, p_1, V_a, V_b$ のうち必要なものを用いて表せ。