

令和 2 年度前期日程入学試験学力検査問題

令和 2 年 2 月 25 日

理 科

物 理…… 4 ～ 23 ページ, 化 学…… 24 ～ 47 ページ

生 物…… 48 ～ 71 ページ, 地 学…… 72 ～ 81 ページ

志 望 学 部	試 験 科 目	試 験 時 間
経済学部(理系)	物理, 化学, 生物, 地学のうちから 2 科目選択	13 : 30 ~ 16 : 00 (150 分)
理 学 部		
農 学 部		
医 学 部	物理, 化学, 生物のうちから 2 科目選択	
歯 学 部		
薬 学 部	物理(指定), 化学(指定)	
工 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, 解答用紙を開いてはいけない。
2. この問題冊子は, 81 ページである。問題冊子の白紙のページや問題の余白は草案のために使用してよい。ただし, 冊子の留め金を外したり, ページを切り離しては使用しないこと。なお, ページの脱落, 印刷不鮮明の箇所などがあった場合には申し出ること。
3. 解答は, 必ず黒鉛筆(シャープペンシルも可)で記入し, ボールペン・万年筆などを使用してはいけない。
4. 解答用紙の受験記号番号欄(1 枚につき 2 か所)には, 忘れずに受験票と同じ受験記号番号をはっきりと判読できるように記入すること。
5. 解答は, 必ず選択した科目の解答用紙の指定された箇所に記入すること。
6. 解答用紙を持ち帰ってはいけない。
7. 試験終了後, この問題冊子は持ち帰ること。

——このページは白紙——

——このページは白紙——

物 理

- 1 図1のように、傾き 30° の斜面をもつ質量 M の台を、水平でなめらかな床の上に置く。斜面上の点 A の鉛直上方、高さ h の位置から質量 m の小球を静かにはなしたときの、小球と台の運動を考える。なお、小球と台の衝突は弾性衝突とし、衝突の前後で小球と台の力学的エネルギーの和は保存するものとする。

重力加速度の大きさを g とする。小球の大きさ、台や床の変形、空気による抵抗、台と小球の間の摩擦は無視できるものとして、以下の問(1)、(2)に答えよ。解答は解答用紙の所定の場所に記入せよ。また、結果だけでなく、考え方や計算の過程も記せ。

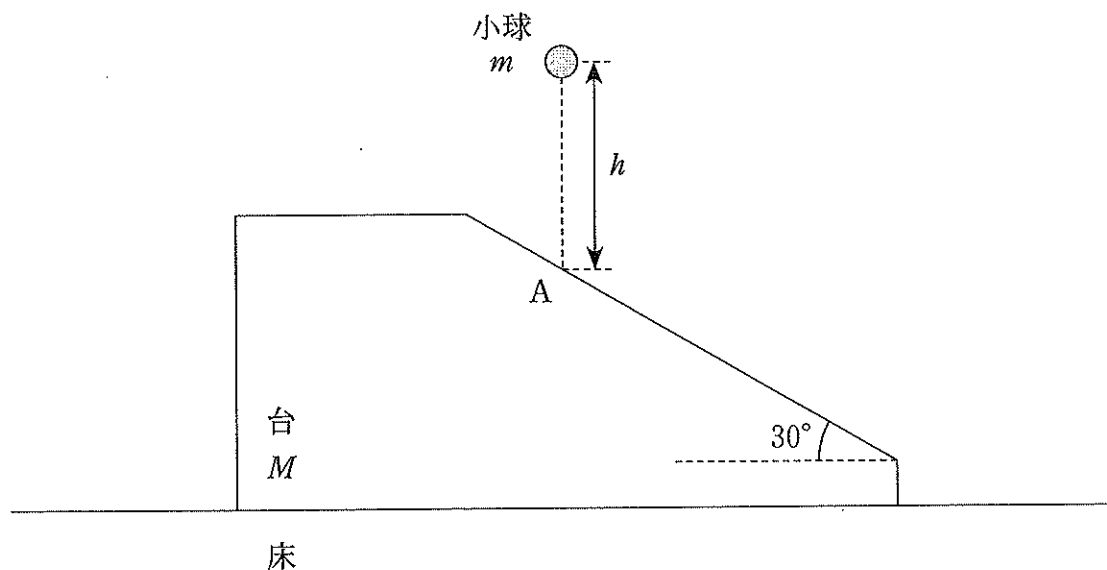


図 1

問(1) まず、図2のように台を動かないよう固定し、点Aの鉛直上方、高さ h の位置から小球を静かにはなしたところ、小球は点Aで台と衝突し、はねかえったあと、台と衝突することなく斜面の右端の点Bに到達した。以下では、台上の点Aを原点とし、水平右向きを x 軸正の向き、鉛直上向きを y 軸正の向きにとる。

- (a) 小球が点Aで台に衝突する直前の小球の速さ v_0 を、 m 、 g 、 h の中から必要なものを用いて表せ。
- (b) 衝突直後の小球の速度の x 成分 v_x 、 y 成分 v_y を、それぞれ v_0 を用いて表せ。
- (c) 点Aから点Bに到達するまでの小球の座標を (x, y) としたとき、 y を、 x 、 m 、 g 、 v_0 の中から必要なものを用いて表せ。
- (d) AB間の水平方向の距離を L としたとき、 L を、 h を用いて表せ。

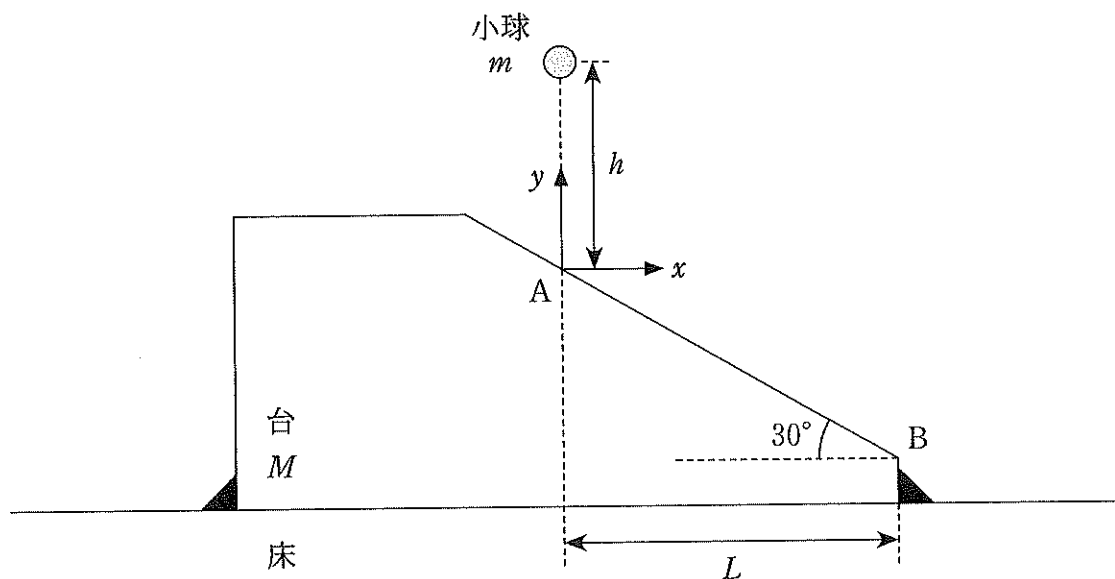


図 2

問(2) 次に、図3のように台の固定を外した。問(1)と同様に、小球を点Aの鉛直上方、高さ h の位置から静かにはなしたところ、小球は台と点Aで衝突し、台は水平方向に動きはじめた。以下では、図3のように、床上の点Oを原点とし、水平右向きを x 軸正の向き、鉛直上向きを y 軸正の向きにとる。また、衝突によって、台は床からはなれることなく、 x 軸に平行な方向にのみ運動するものとする。

- (a) まず、点Aでの衝突による小球の運動の変化を考える。衝突は一瞬で起こり、衝突の際、図4のように、小球は斜面に対して垂直方向に大きさ P の力積を受けた。運動量変化と力積の関係を用いて、衝突直後の小球の速度の x 成分 v'_x 、 y 成分 v'_y をそれぞれ、 P 、 m 、 g 、 v_0 の中から必要なものを用いて表せ。ただし、 v_0 は問(1)(a)で求めた点Aでの衝突直前の小球の速さを表す。
- (b) 点Aで台と小球が衝突する瞬間に、台が小球および床から受ける力積の大きさをそれぞれ P_1 、 P_2 とする。 P_1 、 P_2 を、 P 、 m 、 M の中から必要なものを用いて表せ。
- (c) 衝突直後における台の x 軸方向の速度 V を、 P 、 m 、 M の中から必要なものを用いて表せ。
- (d) 力学的エネルギー保存則を利用することにより、 P を、 m 、 M 、 g 、 v_0 の中から必要なものを用いて表せ。
- (e) 台に乗っている人から見たとき、衝突直後、小球は水平方向となす角 α で斜め上方にはねかえった。 $M = 5m$ のとき、 $\tan \alpha$ の値を求めよ。

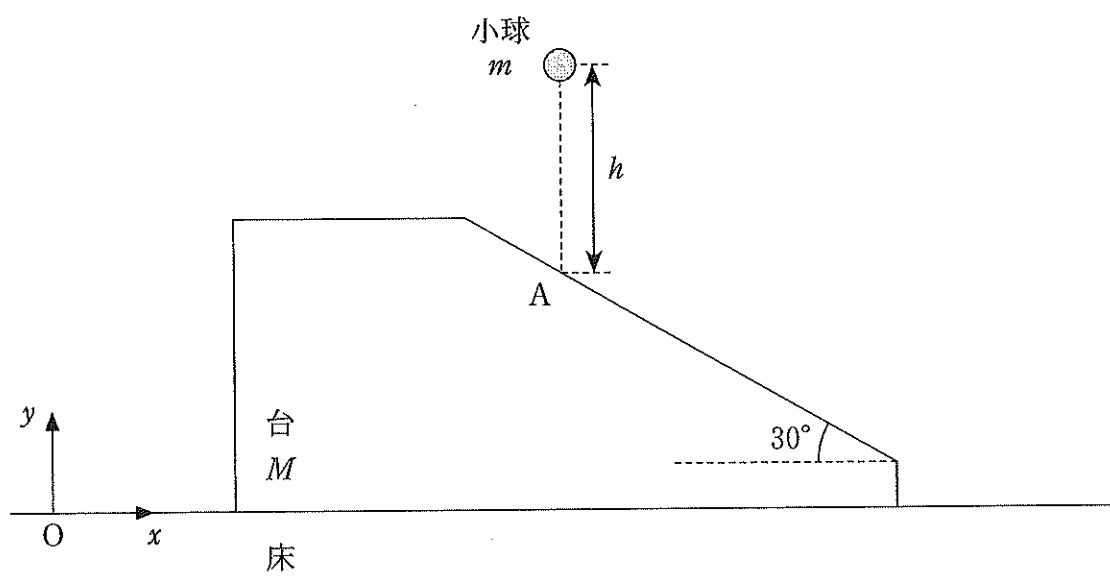


图 3

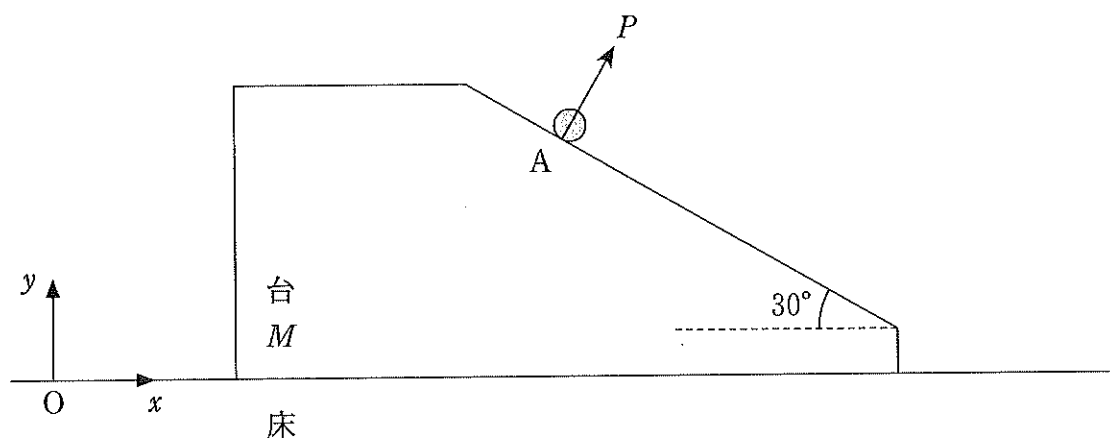


图 4

——このページは白紙——

——このページは白紙——

2

図1のように、十分に長い棒状の半導体が z 軸に沿って置かれている。半導体の断面は x 軸方向の長さが a 、 y 軸方向の長さが b ($a < b$) の長方形である。この半導体の内部に電場(電界)や磁場(磁界)を加えたときの、キャリア(電流の担い手)の運動を考える。キャリアは正の電荷 e ($e > 0$) をもつホールであり、半導体の単位体積あたりのホールの個数は n である。運動しているホールは、速さ v に比例する抵抗(大きさ kv 、 k は正の比例定数)を運動方向と反対の向きに受けるものとする。また、半導体中を流れる電流がつくる磁場は無視する。以下の問(1)、(2)に答えよ。解答は解答用紙の所定の場所に記入せよ。また、結果だけでなく、考え方や計算の過程も記せ。

問(1) 図2のように、図1の半導体内部に z 軸の正の向きに大きさ E の一様な電場を加えたところ、ホールはすべて同じ一定の速さ v_0 で z 軸と平行に運動するようになった。

- (a) 速さ v_0 を、 e 、 k 、 E の中から必要なものを用いて表せ。
- (b) 時間 t の間に、半導体の z 軸に垂直な断面を通過するホールの個数 N を、 e 、 n 、 v_0 、 a 、 b 、 t の中から必要なものを用いて表せ。
- (c) 半導体内部に流れる電流 I を、 e 、 n 、 v_0 、 a 、 b 、 t の中から必要なものを用いて表せ。
- (d) 以下の文章の、①～④に入る数式を答えよ。解答は結果を記すだけでよい。

「抵抗値 r の抵抗を m 本(m は正の整数)つないだときの合成抵抗は、直列の場合には(①)、並列の場合には(②)となる。このことから、断面が長方形(縦の長さ a 、横の長さ b)で長さが L の半導体の、長さ方向の抵抗値を r' とすると、比例定数 ρ を使って、 $r' = \rho \times \frac{(\text{③})}{(\text{④})}$ と表される。 ρ は半導体の材質や温度によって決まる定数で、抵抗率という。」

- (e) 図1の半導体の抵抗率 ρ を、 e 、 n 、 k の中から必要なものを用いて表せ。

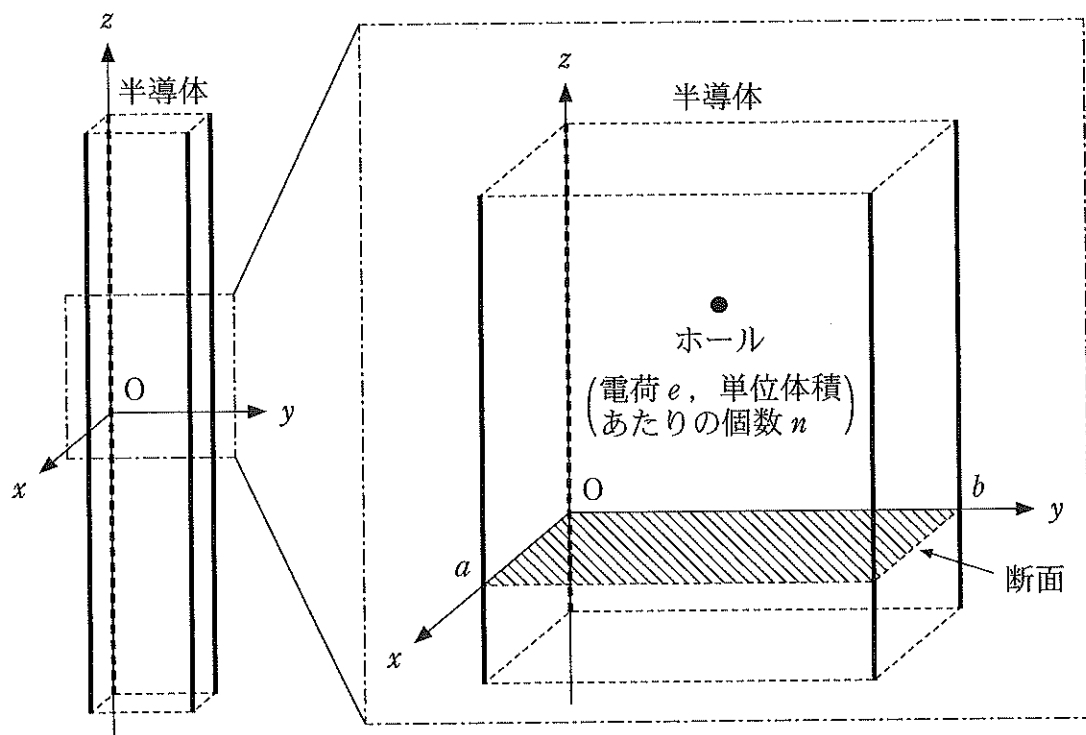


図 1

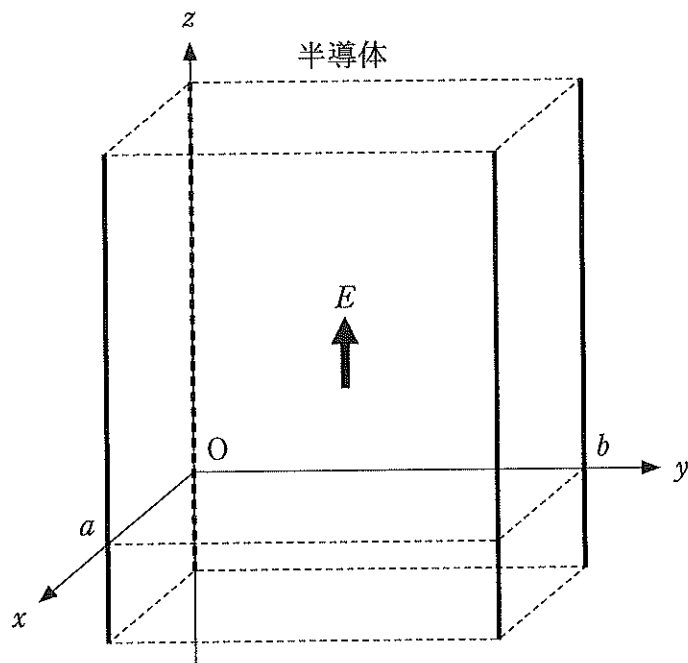


図 2

問(2) 次に、 z 軸の正の向きの一様な電場(大きさ E)のほかに、図 3 のように x 軸の正の向きに磁束密度 B の一様な磁場を半導体内部に加えたところ、ホールの運動方向が yz 平面に平行な面内で変化した。ホールの運動が変化したことにより、 y 軸に垂直な側面 P と側面 Q が互いに逆の符号に帯電し、電場 E と磁束密度 B に加えて、半導体の内部に y 軸の負の向きに大きさ E' の一様な電場が生じた。

- (a) 図 3 において、ホールの速度の y, z 成分がそれぞれ v_y, v_z のとき、ホールが受ける力の y 成分 F_y と z 成分 F_z を、 e, k, E, E', B, v_y, v_z の中から必要なものを用いて表せ。
- (b) 磁場を加えてから十分に時間がたつと電場の大きさ E' が一定の値 E'' になり、ホールはすべて同じ一定の速さ v_1 で z 軸と平行に運動するようになった。このときの、電場の大きさ E'' とホールの速さ v_1 を、 e, k, E, B の中から必要なものを用いて表せ。
- (c) 図 4 は、半導体の、 $x = \frac{a}{2}$ における x 軸に垂直な断面を表している。問(2)(b) のとき、図 4 に示す点 $R(\frac{a}{2}, Y, Z)$ ($0 \leq Y \leq b$) の電位 V を、 e, k, E, B, a, b, Y, Z の中から必要なものを用いて表せ。ただし、電位の基準は点 $S(\frac{a}{2}, 0, 0)$ にとる。
- (d) 問(2)(c) において、図 4 に示す点 $T(\frac{a}{2}, b, 0)$ の電位 V_1 を電圧計で測定しようとしたが、誤って点 $U(\frac{a}{2}, b, c)$ ($c > 0$) の電位 V_2 を測定してしまった。電場 E と磁束密度 B の向きをどちらか片方だけ反対にして、十分に時間がたったときの点 U の電位 V_3 を測定すれば、 V_2 と V_3 から電位 V_1 を求めることができる。 E と B の向きのどちらを変えればよいか答えよ。また、電位 V_1 を、 V_2 と V_3 から求める式を答えよ。

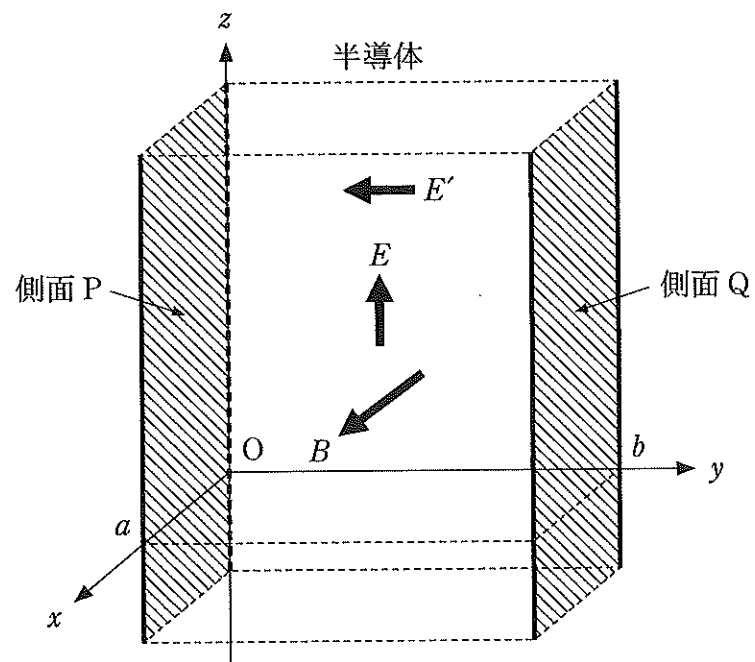


図 3

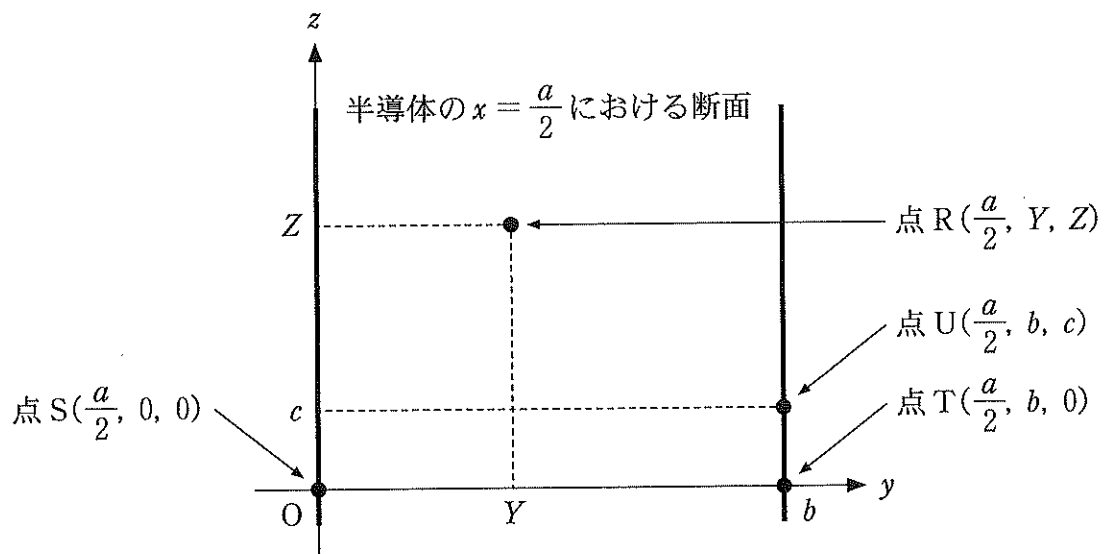


図 4

——このページは白紙——

——このページは白紙——

3 図1のように、鉛直方向になめらかに動くピストンがついたシリンダーに、 n [mol] の単原子分子理想気体が閉じ込められている。シリンダーは一定の断面積 S をもち、断熱材でできているとする。また、ピストンも断熱材でできしており、質量や厚みを無視できるとする。ピストンの上部には水が貯められるようになっている。シリンダーの上部は外気と接しており、外気圧は常に P_0 に保たれている。シリンダーには水を排水または注水するために、底面から高さ $2h$ の位置にコックの付いた注水・排水口が設置されている。また、底面から高さ $2h$ の位置にストッパーが設置されており、ピストンは注水・排水口の位置より上方に移動しない。シリンダー下部には温度調節器が設置してあり、シリンダー外部と熱のやりとりを行うことにより、シリンダー内部の気体を加熱もしくは冷却できる。注水・排水口につながれたパイプ、ストッパー、および温度調節器の体積は無視できる。また、水の蒸発は無視できるものとする。

はじめ、注水・排水口のコックは閉じておく。図1のように、ピストン上部に深さ h の水を貯めたところ、ピストンはストッパーから下方 h の位置で静止した。この状態を状態1とする。水の密度を ρ 、重力加速度の大きさを g 、気体定数を R として、以下の問(1)、(2)に答えよ。解答は解答用紙の所定の場所に記入せよ。また、結果だけでなく、考え方や計算の過程も記せ。

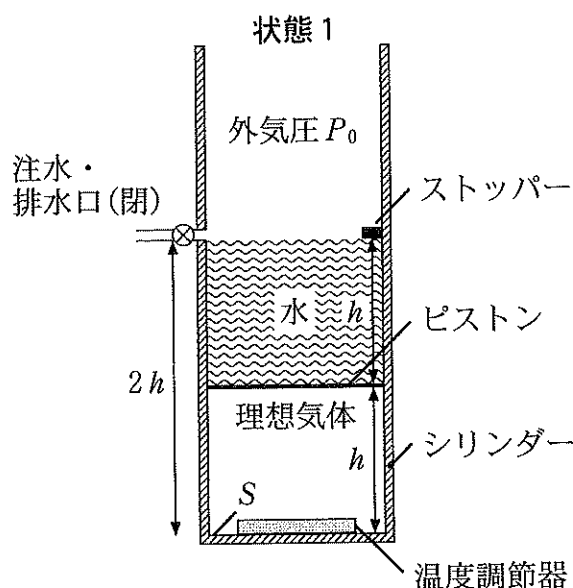


図1

問(1) 状態 1 から温度調節器で気体を加熱して、ピストンを押し上げる。図 2 のようにピストンがちょうどストッパーと接したときに加熱を止めた。加熱を止めたときの状態を状態 2 とする。

- (a) はじめの状態 1 における気体の圧力 P_1 を, P_0 , h , ρ , g を用いて表せ。
- (b) 状態 1 における気体の温度 T_1 を, n , R , P_1 , S , h を用いて表せ。
- (c) 状態 2 における気体の温度 T_2 を, P_1 , S , h , ρ , g , T_1 の中から必要なものを用いて表せ。
- (d) 状態 1 から状態 2 までに, 気体が外部にする仕事 W_1 を, P_1 , S , h , ρ , g の中から必要なものを用いて表せ。
- (e) 状態 1 から状態 2 までに, 温度調節器によって気体に加えた熱量 Q_1 を, P_1 , S , h , ρ , g の中から必要なものを用いて表せ。

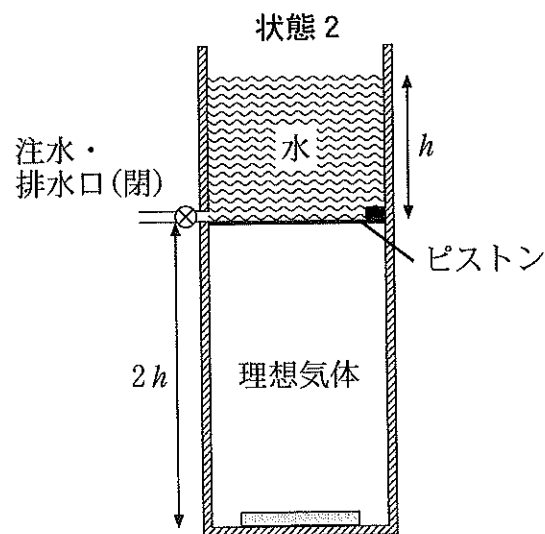


図 2

問(2) 状態 2 において、図 3 のように、断面積 S の補助シリンダーを注水・排水口に接続し、ピストン上部の水が行き来できるようにした。補助シリンダーの底面の高さは、注水・排水口の高さと一致している。また、補助シリンダーの上部も常に外気圧 P_0 の外気と接している。図 3 の状態からコックを開くと、ピストン上部から補助シリンダーに水が流入して図 4 の状態で静止した。この状態を状態 3 とする。状態 3 になってから、温度調節器を作動させて気体の温度を下げると、しばらくしてピストンがストッパーから離れてゆっくり下がりはじめた。ピストンが離れた瞬間の状態を状態 4 とする。温度調節器を作動させ続けたところ、気体の温度は下がり続け、ピストンもゆっくり下がった。ピストンがシリンダーの底面から高さ h まで下がったところで温度調節器を止め、コックを閉じて元の状態 1 に戻した。

- (a) 状態 4 から元の状態 1 に戻るまでの過程で、図 5 に示すようにストッパーの位置から測ったピストンの移動量を x とする。移動量が x のときの気体の圧力 P_x を、 x 、 P_0 、 h 、 ρ 、 g を用いて表せ。
- (b) 状態 1 から状態 2、3、4 を経て元の状態 1 に戻る 1 サイクルにおける気体の P - V (圧力-体積) 図として最も適切なものを、図 6 の (a)~(d) の中から 1 つ選び、記号で答えよ。解答は図の記号のみでよい。ただし、状態 1 における圧力を P_1 、状態 4 における圧力を P_4 として図に示してある。
- (c) 状態 4 から元の状態 1 に戻るまでに、気体が外部からされる仕事 W_4 を、 P_0 、 S 、 h 、 ρ 、 g を用いて表せ。
- (d) 状態 1 から状態 2、3、4 を経て元の状態 1 に戻る 1 サイクルにおいて、気体が温度調節器から受ける正味の熱量 Q_c を、 S 、 h 、 ρ 、 g を用いて表せ。ここで、正味の熱量とは、温度調節器によって気体に熱量を加える場合の符号を正とし、気体から熱量を除去する場合の符号を負として、熱量の総和をとったものとする。

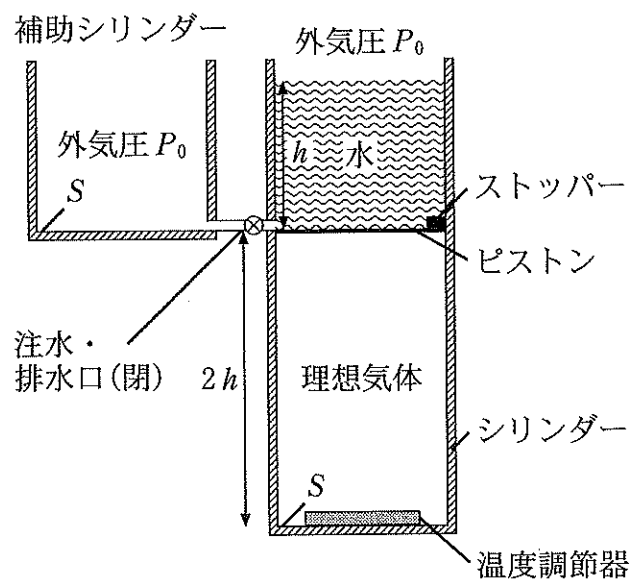


図 3

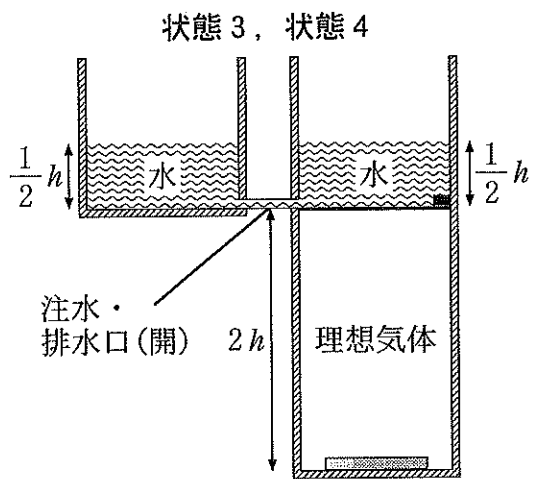


図 4

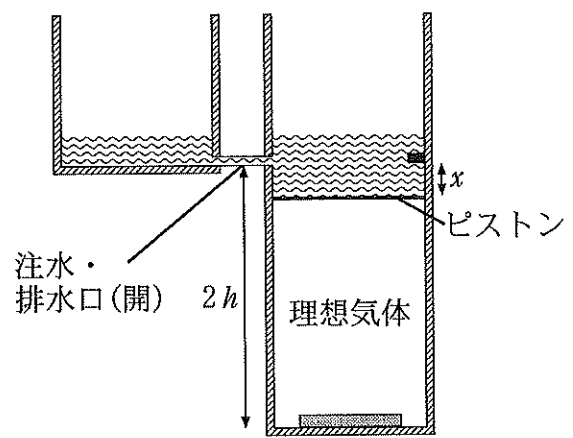


図 5

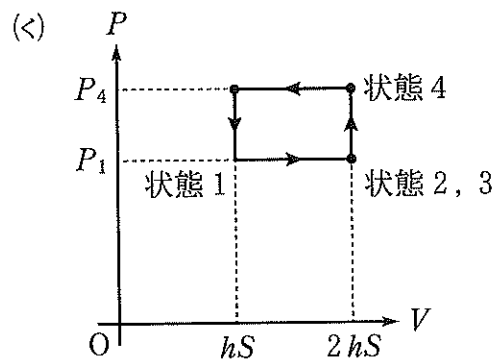
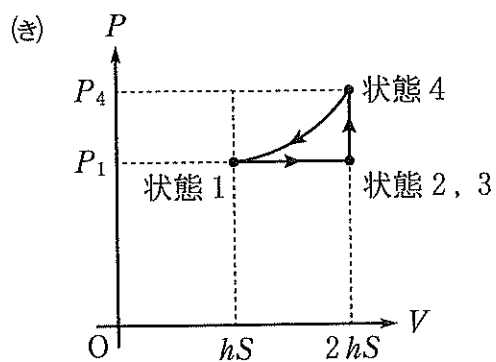
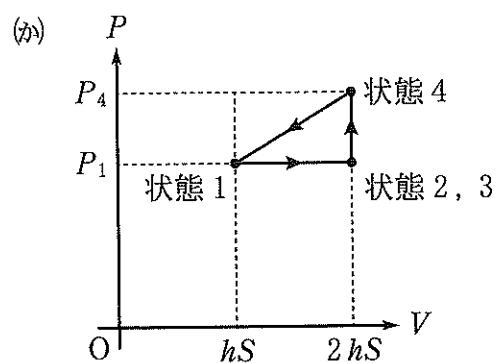
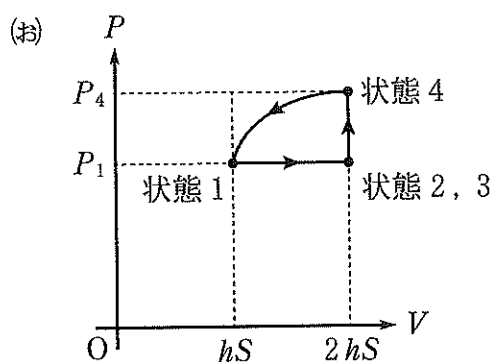
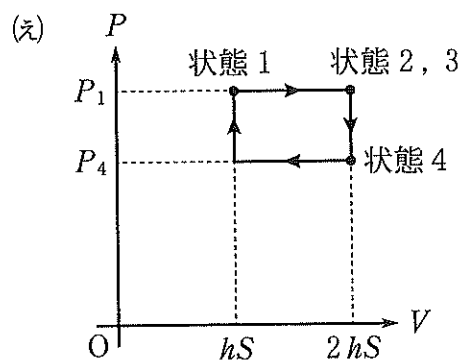
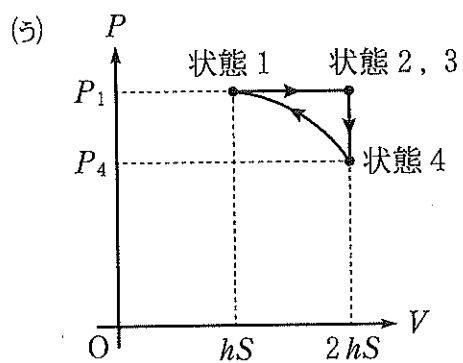
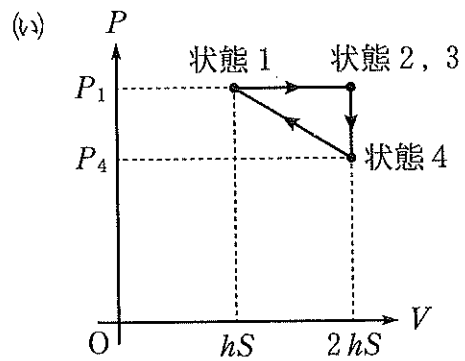
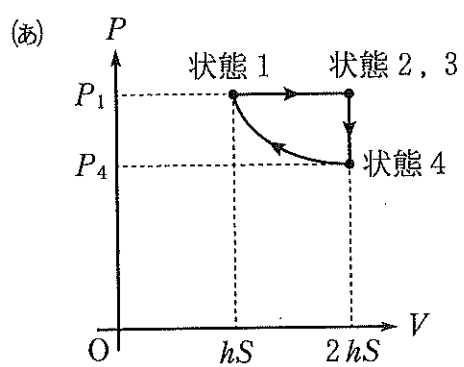


図 6

——このページは白紙——

——このページは白紙——

——このページは白紙——