

## 令和4年度前期日程入学試験問題

# 物 理 A

教 育 学 部

理 学 部

工 学 部

農 学 部

### 注 意 事 項

- ① 試験開始の指示があるまで、この問題冊子の中を見てはいけません。
- ② 問題冊子は、6ページ(表紙、白紙を除く)です。試験開始後、確認してください。
- ③ 解答は、別紙の解答用紙に記入しなさい。
- ④ 受験番号は、解答用紙の指定の欄に用紙ごとに正しく記入しなさい。

1

図1のように、点Oを中心とする半径 $a$ の半球状の内壁を持つ容器が床の上に固定されている。容器のふちは水平であるとする。この容器に密度 $\rho_0$ の液体を入れ、長さ $L$ 、断面積 $S$ 、密度 $\rho (> \rho_0)$ の様な細い棒を図1に示すように置くことを考える。容器の内壁もふちもなめらかであり、棒との間に摩擦力ははたらかない。容器に液体を入れ、棒を置いたところ、棒は点Aで容器のふちに接し、点Bで容器の内壁に接した状態で静止した。このとき、棒が液体中にある部分の長さは $L_1$ であり、水平となす角度は $\theta$ であった。点Aにおいて、容器のふちから棒にはたらく抗力は棒に対して垂直方向にはたらく、その大きさを $N_A$ とする。点Bにおいて、容器の内壁から棒にはたらく抗力は点Bから点Oへ向かう方向にはたらく、その大きさを $N_B$ とする。棒にはたらく重力の大きさを $F$ 、浮力の大きさを $F_1$ とする。また、液体から棒にはたらく力で浮力以外の力は無視できるものとする。重力加速度の大きさを $g$ として以下の間に答えよ。解答は導出過程も含めて記述せよ。必要ならば、三角関数の公式

$$\sin 2\theta = 2 \sin \theta \cos \theta, \quad \cos 2\theta = \cos^2 \theta - \sin^2 \theta$$

を用いてよい。

問1  $F$ を $\rho$ ,  $\rho_0$ ,  $a$ ,  $L$ ,  $L_1$ ,  $S$ ,  $g$ のうち必要なものを用いて表せ。

問2 棒の液体中にある部分の体積は $SL_1$ と表されるとして、 $F_1$ を $\rho$ ,  $\rho_0$ ,  $a$ ,  $L$ ,  $L_1$ ,  $S$ ,  $g$ のうち必要なものを用いて表せ。ただし、棒が容器の内壁と接している部分は十分に小さいとする。

問3 棒にはたらく力のつり合いの式を水平方向、および鉛直方向それぞれについて、 $\theta$ ,  $N_A$ ,  $N_B$ ,  $F$ ,  $F_1$ のうち必要なものを用いて表せ。

問4  $N_A$ と $N_B$ を $\theta$ ,  $F$ ,  $F_1$ を用いて表せ。

問5 棒にはたらく点Bのまわりの力のモーメントのつり合いの式を $a$ ,  $L$ ,  $L_1$ ,  $\theta$ ,  $N_A$ ,  $F$ ,  $F_1$ を用いて表せ。

問6  $\cos \theta$ が満たす2次方程式を導き、 $\cos \theta$ を $\rho$ ,  $\rho_0$ ,  $a$ ,  $L$ ,  $L_1$ を用いて表せ。

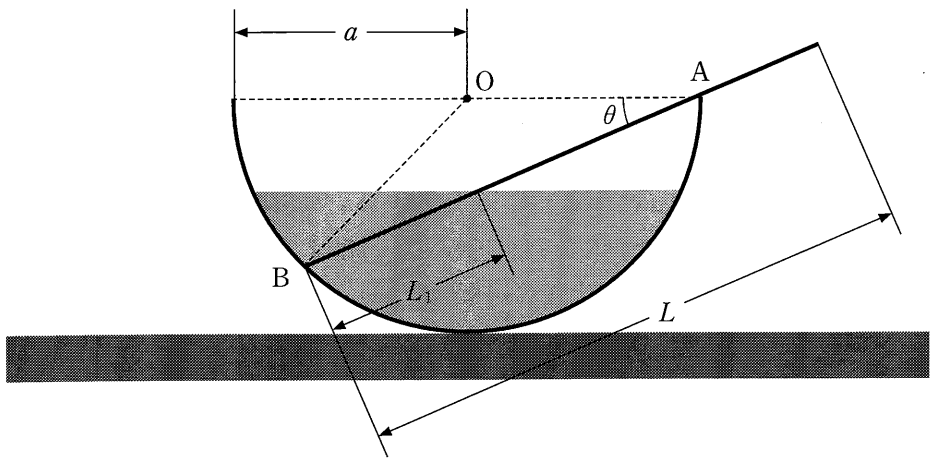


图 1

2 図2のように、2つの極板A1, B1からなる平行板コンデンサーC1と極板A2, B2, 導体板Dからなる平行板コンデンサーC2, 抵抗値 $R$ の抵抗, 内部抵抗が無視できる起電力 $V$ の電池, スイッチを接続する。コンデンサーC1の電気容量は $C_0$ であり, C1の極板A1, B1は同じ半径の円板で, その間隔は $d$ である。円板の半径は $d$ にくらべて十分大きいとする。コンデンサーC2の極板A2, B2もA1, B1と同じ半径の円板で, 間隔は $2d$ である。導体板Dは厚さ $d$ で, 極板A2, B2と同じ半径の円板状で, 上下の面を極板A2, B2と平行を保ちながら極板間を極板に対して垂直に移動できるものとする。以下の間に答えよ。解答は導出過程も含めて記述せよ。

問1 初めに, 導体板Dの上面は図2のように極板A2に接触しているとする。スイッチは開かれており, コンデンサーC1とC2は電荷を蓄えていないものとする。

- (1) コンデンサーC2の電気容量を $C_0$ を用いて表せ。
- (2) スイッチを閉じた直後に抵抗を流れる電流の大きさを求めよ。
- (3) スイッチを閉じてから十分に時間が経過したとき, コンデンサーC1に蓄えられた電気量を求めよ。
- (4) (3)の状態では, 2つのコンデンサーC1とC2の静電エネルギーの和を求めよ。

問2 次に, スイッチを開いたのち, 導体板Dを極板A2からわずかに離れた。ただし, Dを切り離す際, 電荷の移動はないものとする。

- (1) 導体板Dを極板A2から離れた直後の極板A2の電気量を求めよ。
- (2) 極板A1とA2の電気量の和を求めよ。

問3 次に, 導体板Dを極板A2, B2と平行を保ったまま, 外力で支えゆつくりと垂直に動かし, 図3のように, Dの下面をB2に接触させた。十分に時間が経過して電荷の移動がなくなった後の状態について考える。ただし, Dの電荷はB2と接触するまでは失われずとし, DとB2が接触した直後の電荷の移動に伴うエネルギー変化は無視できるものとする。

- (1) コンデンサーC2の極板間の電位差を求めよ。
- (2) コンデンサーC2に蓄えられた静電エネルギーを求めよ。
- (3) 導体板Dを極板A2から極板B2まで動かす間に外力がした仕事を求めよ。

問 4 最後に、スイッチを閉じる。スイッチを閉じてから十分に時間が経過するまでの間に、抵抗を流れる電気量を求めよ。

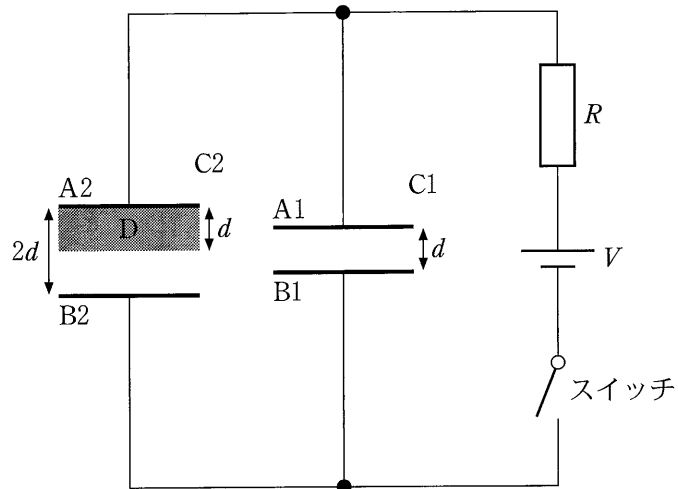


図 2

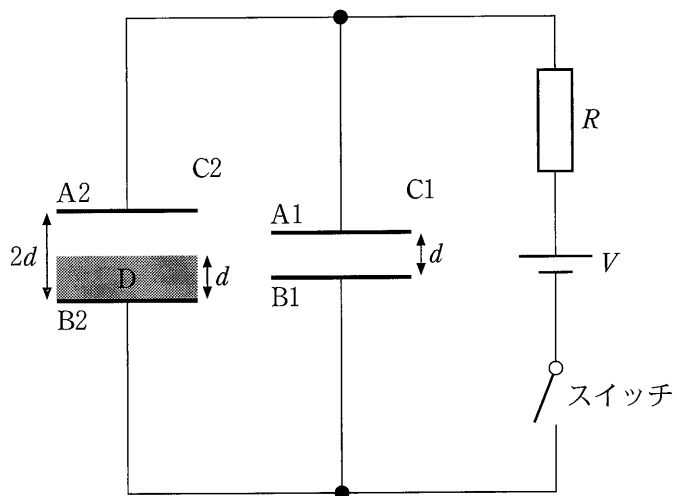


図 3

3

物質質量  $n$  の単原子分子理想気体が、断熱材でできた内側の断面積  $S$  の円筒形の容器内に、なめらかに動くことができるピストンで閉じ込められている。ピストンは熱を通す材質でできており、質量を  $M$  とする。また、ピストンの熱容量は無視できるものとする。容器を取り囲む外気の絶対温度と圧力はそれぞれ、 $T_0$  と  $p_0$  である。気体定数を  $R$ 、重力加速度の大きさを  $g$  として以下の間に答えよ。解答は導出過程も含めて記述せよ。

問 1 容器を水平な床の上に置き、しばらく放置すると図 4 のようにピストンは容器内の面から距離  $x_0$  の位置で静止した。このとき、容器内の気体の絶対温度は  $T_0$  であった。図 4 での容器内部の気体の状態を A とする。 $x_0$  を求めよ。

問 2 図 4 の状態から、図 5 に示されたように、容器の口が下向きになるように鉛直に立てて固定した。この間、ピストンは容器内を動かないように断面積が無視できる細い棒で支えられているものとする。図 5 において、ピストンが棒から受ける力の大きさを求めよ。

問 3 図 5 の状態から、棒でピストンを支える力をゆっくりと小さくしていくと、ピストンは鉛直下方に移動した。やがて、ピストンは図 6 に示されるように、棒の支えなしで静止した。この間、容器内の理想気体の絶対温度は  $T_0$  を保ち続けた。図 6 での容器内部の気体の状態を B とする。容器内の上面からピストンまでの距離  $x_1$  を  $x_0$ 、 $S$ 、 $M$ 、 $g$ 、 $p_0$  を用いて表せ。

問 4 容器内部の気体の状態 B における内部エネルギーは状態 A のときと比較して大きいか小さいか、それとも等しいか。理由とともに述べよ。

再び、図 4 に戻り、容器内部の気体の状態 A に変化を与えないように、ピストンが外気と接している面を質量が無視できる断熱材で覆う。そして、問 2 と同様に、断熱材で覆われたピストンが容器内を動かないように棒で支え、容器の口が鉛直下向きになるように立てる。この状態からピストンを支える力をゆっくり

と小さくしていくと、ピストンは棒の支えなしで静止した。このとき、容器内の上面からピストンまでの距離は  $x_2$  であった。この容器内部の気体の状態を C とする。断熱材は、容器内のピストンの移動に影響することはないとする。必要であれば、単原子分子理想気体の断熱変化における体積  $V$  と圧力  $P$  が

$$PV^{\frac{5}{3}} = \text{一定}$$

の関係を満たすことを用いてよい。

問 5 容器内部の気体の状態 C における内部エネルギーは、状態 A のときと比較して大きいか小さいか、それとも等しいか。理由とともに述べよ。

問 6 状態 C における容器内部の気体の絶対温度を  $x_0, x_2, T_0$  を用いて表せ。

問 7  $x_2$  を  $x_0, S, M, g, p_0$  を用いて表せ。

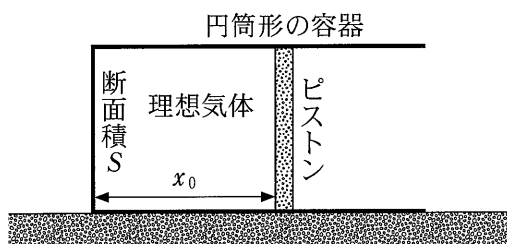


図 4

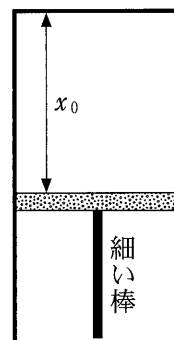


図 5

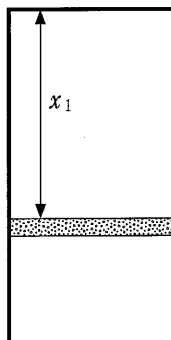


図 6