

(令 6 理物後)

小 論 文

(問題部分は 1 ～ 5 ページ)

- ・ ページ番号のついていない白紙は下書き用紙である。

注意 解答はすべて答案用紙の指定のところに記入しなさい。

小論文 400 点

I 質量 m の小球を質量 M 、厚さ d の板に打ちこむことを考える。ただし、板に打ちこまれた小球が板から受ける力は、つねに等しい大きさ R をもち進行方向と逆向きの抵抗力のみであるとする。以下の問 1 ～ 5 に答えなさい。解答には導出の過程も示しなさい。導出の過程で文中に与えられた物理量の他に解答に必要な物理量があれば、それらを表す記号を定義し、解答欄に明示しなさい。(配点 140 点)

図 1 のように板が床に置かれており、水平方向から小球を板に垂直に打ちこむ場合を考える。ここで重力と空気抵抗の影響は無視できるものとする。

問 1 板が床に固定されているとき、小球を速さ v_0 で打ちこんだところ深さ a ($a < d$) まで入りこんだ。 R を求め m 、 v_0 、 a で書き表しなさい。また小球が板を貫通するために必要な最小の速さ v_1 と v_0 の比を求めなさい。

問 2 つぎに、板は自由に動くことができ、板と床の間に摩擦はないものとする。静止している板に垂直に速さ v_0 で打ちこんだ小球が入りこむ深さ b と問 1 で述べた深さ a の比を求めなさい。板は傾くことなく小球を打ち込んだ方向にだけ動くものとする。

問 3 問 2 と同じ状況で、板に垂直に打ちこんだ小球が板を貫通するための最小の速さ v_2 と v_0 の比を求めなさい。

つぎに、図 2 のように板を床から離して水平に固定して置き、小球が鉛直上方から落下する場合を考える。ここでは重力と空気抵抗の影響も考慮する。

問 4 速さ v に比例する大きさ kv (k は正の定数) の空気抵抗を受けて落下する小球は、十分長い落下時間ののちに一定の速さ v_t になる。なぜ一定の速さになるのか説明しなさい。また v_t を求めなさい。

問 5 小球を鉛直上方から速さ v_t で板に垂直に打ちこんだとき、小球が板を貫通するために d がみたすべき条件を求めなさい。

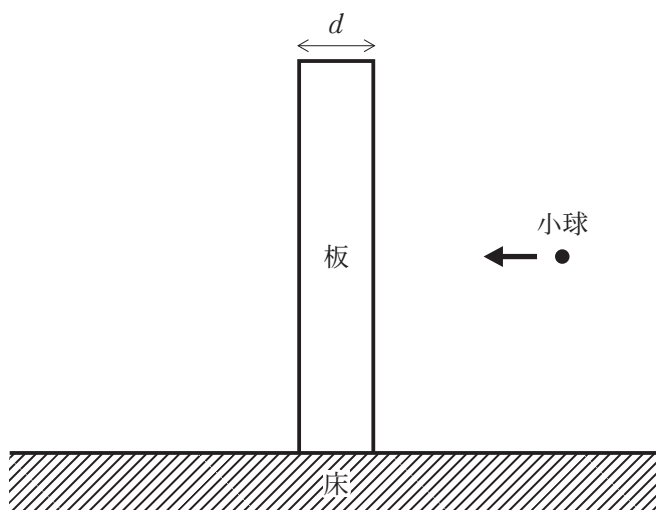


图 1

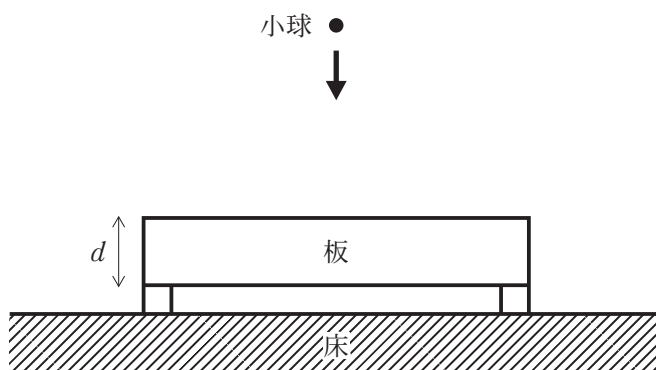


图 2

II 図 1 に示すように真空中 (誘電率 ϵ_0) で、同じ形状の面をもつ極板 1 と極板 2 を距離 d だけ離して平行に配置した。極板 1 に $-Q$ 、極板 2 に $+Q$ の電荷を与えてコンデンサーを形成し、極板間の中央に、極板と同じ形状の面をもつ厚さが $\frac{d}{2}$ の誘電体板 (誘電率 ϵ) を極板に平行に挿入する場合を考える。ただし、極板の端や重力の影響は無視できるものとする。以下の問 1 ～ 5 に答えなさい。解答欄には導出の過程も示しなさい。導出の過程で文中に与えられた物理量の他に解答に必要な物理量があれば、それらを表す記号を定義し、解答欄に明示しなさい。(配点 130 点)

問 1 コンデンサーの容量は F (ファラド) という単位で与えられる。国際単位系の基本単位である m (メートル), kg (キログラム), s (秒), A (アンペア) の累乗を用いて F を $\text{m}^w \cdot \text{kg}^x \cdot \text{s}^y \cdot \text{A}^z$ とあらわすとき, w, x, y, z の値をそれぞれ答えなさい。

問 2 誘電体板を極板間に全て挿入したとき、極板間の電場の強さならびに電位が極板 1 からの距離とともにどのように変化するか、解答欄に図示しなさい。ただし、極板 1 の電位をゼロとし、それぞれのグラフには変化の様子がわかるように電場の強さと電位の値を記入しなさい。

問 3 誘電体板を全て挿入すると、コンデンサーに蓄えられているエネルギーは誘電体板を挿入する前と比べてどれだけ変化するか求めなさい。

問 4 誘電体板を極板間に挿入するとき、誘電体板にはたらく力の向きを答えなさい。また、その理由を説明しなさい。

問 5 誘電体板を全て挿入すると、コンデンサーの静電容量は誘電体板を挿入する前と比べて 1.52 倍に増大した。この時、挿入した誘電体は表 1 の中のどれがもっとも適当と考えられるか、理由とともに答えなさい。

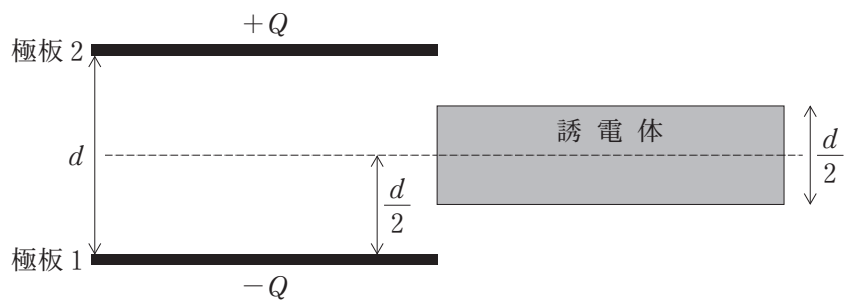


図 1

表 1

誘電体	比誘電率 (室温)
パラフィン	2.2
ボール紙	3.2
雲母	7.0
ソーダガラス	7.5
チタン酸バリウム	5000

Ⅲ なめらかに動くピストンを持つ容器内に、1 mol の単原子分子理想気体が封入されている。この気体の状態を、以下のように変化させる熱機関を考える。

$A \rightarrow B$: 定圧圧縮 (圧力 p_L) , $B \rightarrow C$: 断熱圧縮

$C \rightarrow D$: 定圧膨張 (圧力 p_H) , $D \rightarrow A$: 断熱膨張

状態 i ($i = A, B, C, D$) での絶対温度を T_i , 気体定数を R として、以下の問 1 ~ 4 に答えなさい。問 2 以降の解答の際は、導出の過程も示しなさい。導出の過程で必要な物理量があれば定義して用いてよいが、最終的な解答には問題文で与えられた物理量のみを用いなさい。(配点 130 点)

問 1 この熱機関のサイクルを表す圧力-体積図を解答欄に図示しなさい。

問 2 気体が外部から受け取る熱量、気体が外部にする仕事、および内部エネルギーの変化量を、 $A \rightarrow B$, $B \rightarrow C$, $C \rightarrow D$, $D \rightarrow A$ の各過程において求めなさい。

問 3 この熱機関の熱効率を、絶対温度を用いて表しなさい。

問 4 この熱機関の熱効率を、 p_L と p_H を用いて絶対温度を含まない形で表しなさい。導出の過程では、単原子分子理想気体が断熱変化する際に圧力 p と体積 V の間に成り立つ関係式 $pV^{\frac{5}{3}} = \text{一定}$ を用いてよい。さらに、熱効率を向上させるための方法を、 p_L と p_H を用いて説明しなさい。