

'16

受験
番号

前期日程

物 理 問 題

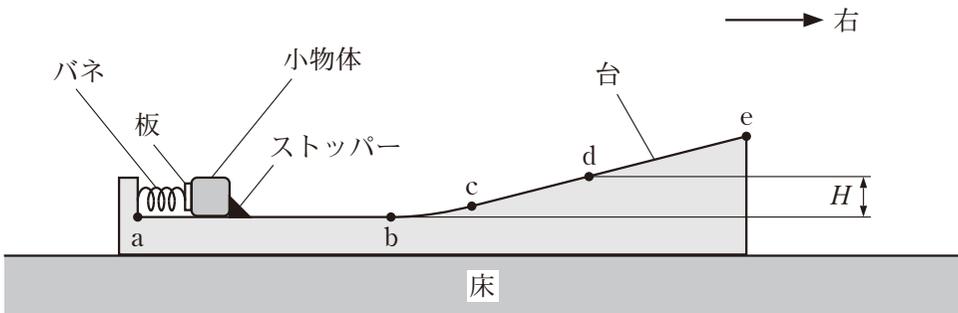
(理 工 学 部)

注 意 事 項

1. 試験開始の合図があるまで、問題冊子を開いてはいけません。
2. この冊子のページ数は9ページです。問題、解答用紙に落丁、乱丁、印刷不鮮明の箇所等がある場合には申し出てください。
3. 解答は指定の解答用紙に記入してください。
4. 解答用紙を持ち帰ってはいけません。
5. 問題冊子と下書用紙は持ち帰ってください。

1 図のように、水平な床面上に質量 M の台が置かれている。台は、水平面 ab 、傾き一定の斜面 ce をもち、水平面と斜面はなめらかにつながっている。台の水平面 ab の左端に、バネが水平に取り付けられている。バネの右端には板が取り付けられている。バネと板の質量は無視できる。台の水平面 ab の長さは、バネの自然長より十分に長い。台の水平面 ab 上に質量 m の小物体を置き、板に押し当てバネを縮める。この状態で、小物体をストッパーで台に固定する。ストッパーの質量は無視できる。「バネの自然長からの縮みが $x(x > 0)$ で、台と小物体が床に対して静止している状態」を、初期状態とよぶ。

摩擦力およびバネ定数を変化させ、初期状態からストッパーを静かに取り外し、その後の台と小物体の運動を観察する実験を 3 種類行った。重力加速度の大きさを g とし、空気抵抗は無視できるとする。以下の(1)~(12)の間に答えよ。



図

【I】 床面と台の間、台と小物体の間に、摩擦力がはたらくとする。床面と台の間、ならびに台と小物体の間の静止摩擦係数は μ である。

実験 1：バネ定数 k_1 のバネを用いて実験を行った。初期状態からストッパーを静かに取り外したところ、台と小物体はともに床に対して静止し続けた。

- (1) 小物体が台からうける垂直抗力の大きさを求めよ。
- (2) 台が床からうける垂直抗力の大きさを求めよ。
- (3) ストッパーを取り外したのちの、台と小物体の間にはたらく摩擦力の大きさを求めよ。
- (4) ストッパーを取り外したのちの、台がバネからうける力と台が小物体からうける摩擦力の合力の大きさを求めよ。
- (5) 上で述べた実験 1 の結果が観察されるためにバネ定数 k_1 が満たすべき条件として、以下の空欄 にあてはまる最も適切な式を答えよ。

$$k_1 \leq \text{ }$$

実験 2 : バネ定数 k_2 ($k_2 > k_1$) のバネを用いて実験を行った。初期状態からストッパーを静かに取り外したところ、 という結果が観察された。つづいて、バネ定数 k_3 ($k_3 > k_2$) のバネを用いて実験を行った。初期状態からストッパーを静かに取り外したところ、 という結果が観察された。

- (6) 上の文章の空欄 , に入れる記述として、実験 2 で観察されうる結果の適切な組合せを下の表の①~⑥の中からひとつ選べ。

	①	②	③	④	⑤	⑥
(A)	(あ)	(あ)	(い)	(い)	(う)	(う)
(B)	(い)	(う)	(あ)	(う)	(あ)	(い)

- (あ) 台は床に対して運動を開始し、小物体も床に対して運動を開始する
- (い) 小物体は床に対して運動を開始し、台は床に対して静止し続ける
- (う) 台は床に対して運動を開始し、小物体は床に対して静止し続ける

【II】 次に、床面と台の間、台と小物体の間に、潤滑剤を塗った。これ以降、床面と台の間、ならびに台と小物体の間には、摩擦力がはたらかないとする。また、潤滑剤の厚さは無視できる。

実験 3 : バネ定数 k_4 のバネを用いて実験を行った。初期状態からストッパーを静かに取り外したところ、台と小物体はどちらも床に対して運動を開始した。小物体は、バネが自然長まで伸びた瞬間に板から離れ、台の斜面を上って水平面 ab からの高さ H の点 d に到達し、斜面を下りてきた。ただし、小物体は、台の点 b と点 c の間をなめらかに通過したとする。小物体が板から離れた瞬間の、床に対する台の速度の水平成分を V 、床に対する小物体の速度の水平成分を v とする。いずれも水平右向きを正とする。

- (7) ストッパーを取り外す前の、バネの弾性力による位置エネルギーを求めよ。ただし、バネが自然長であるときを位置エネルギーの基準とする。
- (8) 小物体が板から離れた瞬間の台の運動エネルギーを、 M 、 V を用いて表せ。
- (9) 小物体が板から離れた瞬間の小物体の運動エネルギーを、 m 、 v を用いて表せ。
- (10) ストッパーを取り外す前と、小物体が板から離れた直後で、台と小物体の水平方向の運動量の和は保存される。 V と v を、それぞれ M 、 m 、 k_4 、 x を用いて表せ。
- (11) 小物体が台の斜面上の点 d に到達した瞬間の台の運動の様子を、以下の①～③の中からひとつ選べ。
- ① 床に対して左向きに運動 ② 床に対して静止
- ③ 床に対して右向きに運動
- (12) バネ定数 k_4 を、 M 、 m 、 x 、 g 、 H のうち必要なものを用いて表せ。

2 以下の【I】，【II】，【III】について，設問に解答せよ。ただし，クーロンの法則の比例定数を $k_0[\text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2]$ とし，座標の単位はメートル(m)とする。

【I】 図1のように，真空中の xy 平面上の点 $A(a, 0)$ および点 $B(-3a, 0)$ に，それぞれ $-q[\text{C}]$ ， $+3\sqrt{3}q[\text{C}]$ の電気量をもつ二つの点電荷が固定されている。 $q > 0$ ， $a > 0$ として，以下の(1)~(9)の間に答えよ。

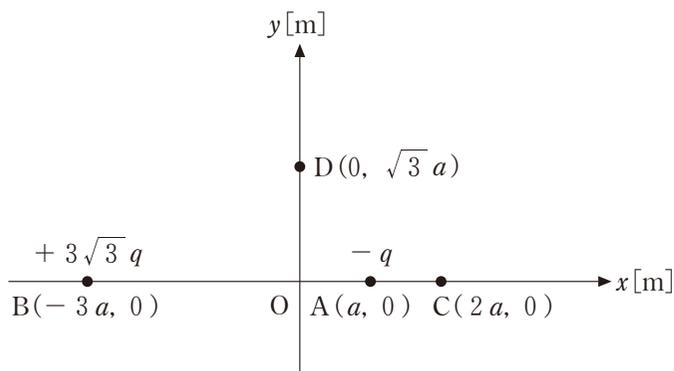


図1

まず，図1の点 $C(2a, 0)$ に， $+q[\text{C}]$ の電気量をもつ点電荷を置き，固定した。

- (1) 点 C に置かれた点電荷が，点 A に置かれた点電荷から受ける静電気力の大きさを答えよ。
- (2) 点 C に置かれた点電荷が，点 B に置かれた点電荷から受ける静電気力の大きさを答えよ。
- (3) 点 C に置かれた点電荷が受ける静電気力の合力の x 成分および y 成分をそれぞれ答えよ。

次に，点 C に置かれた点電荷を取り除き，その後，図1の点 $D(0, \sqrt{3}a)$ に， $+q[\text{C}]$ の電気量をもつ点電荷を置き，固定した。

- (4) 点 D に置かれた点電荷が、点 A に置かれた点電荷から受ける静電気力の大きさを答えよ。
- (5) 点 D に置かれた点電荷が、点 B に置かれた点電荷から受ける静電気力の大きさを答えよ。
- (6) 点 D に置かれた点電荷が受ける静電気力の合力の x 成分および y 成分をそれぞれ答えよ。

点 D に置かれた点電荷を取り除き、点 A および点 B にのみ点電荷が固定されている状態に戻した。

- (7) 点 C および点 D における電場(電界)の強さをそれぞれ答えよ。
- (8) 点 C および点 D の電位をそれぞれ答えよ。ただし、無限遠における電位を 0 とする。
- (9) $+q$ [C] の電気量をもつ点電荷を、点 C から点 D まで移動させた。この点電荷が点 C から点 D まで動く間に、静電気力が点電荷にした仕事を答えよ。

【II】 真空中に $-q$ [C] の電気量をもつ点電荷が一つだけ存在している場合を考える。 $q > 0$ として、以下の(10)の間に答えよ。

- (10) この場合の電気力線に関する以下の説明文の ~ を埋め、文章を完成させよ。, , については、適切な式を、 k_0 , q , r のうち必要なものを用いて解答欄に記入せよ。 については、①または②のどちらか適切な番号を選び、解答欄に記入せよ。

電気力線の本数について考える。電場の強さが E [N/C] の場所では、電場の向きに垂直な面 1 m^2 あたり E 本の電気力線が通るものとする。電場の強さを電気力線の密度で表現できる。 $-q$ [C] の点電荷を中心とする半径

r [m]の球面を考えた場合、この球面上での電場の強さは (ア) である。半径 r [m]の球面の表面積は (イ) であるから、この球面を貫く電気力線の総本数 N は、 $N =$ (ウ) となり、 N は球面の半径によらず、点電荷の電気量の大きさで決まることがわかる。

また、電気力線の向きは、

(エ) ①点電荷から出ていく向き、②点電荷に入っていく向き

である。

- 【Ⅲ】 図2のように、真空中の xy 平面上の点 $A(a, 0)$ および点 $B(-3a, 0)$ に、それぞれ $+q$ [C]の電気量をもつ点電荷を置き、固定した。 $q > 0$ 、 $a > 0$ として、以下の(1)の問に答えよ。

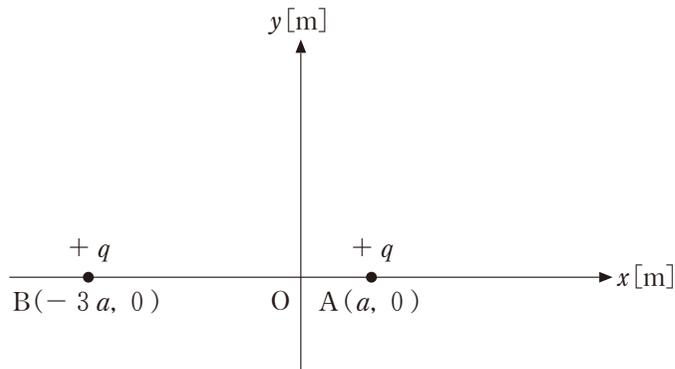
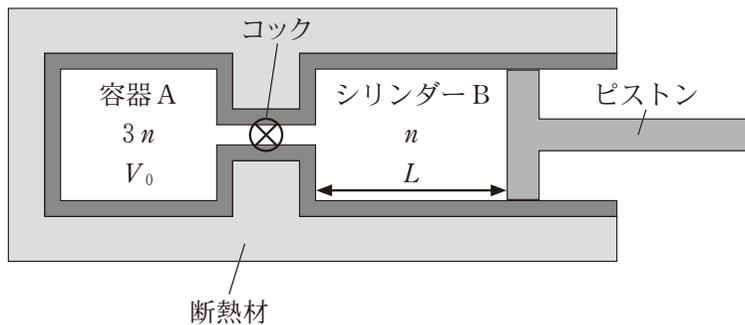


図 2

- (1) xy 平面上の電気力線の様子を、向きも含めて特徴がわかるように解答欄に描け。解答欄には、 x 軸および y 軸は描かれており、点電荷は \oplus と図示されている。

- 3 断熱材で囲まれた図のような容器 A とシリンダー B からなる装置がある。容器 A は体積が V_0 [m³] であり、コックのついた細管により断面積 S [m²] のシリンダー B とつながれている。シリンダー B には、断熱材で作られた、なめらかに動くピストンがはめ込まれている。装置全体の熱容量、および、容器をつなぐ細管の体積は無視してよいものとする。気体定数を R [J/(mol・K)] として以下の(1)~(10)の間に答えよ。

最初、ピストンはシリンダー B の左端から L [m] の位置で固定されている。コックは閉じられており、容器 A 内には単原子分子理想気体が $3n$ [mol]、シリンダー B 内には容器 A 内の気体と同種の単原子分子理想気体が n [mol] 入っている。容器 A 内の気体とシリンダー B 内の気体の温度はそれぞれ T_A [K]、 T_B [K] であった。



図

- (1) 容器 A 内の気体の内部エネルギーを n , R , T_A を用いて表せ。
- (2) シリンダー B 内の気体の内部エネルギーを n , R , T_B を用いて表せ。

次に、コックを開くと容器 A 内の気体とシリンダー B 内の気体は混合し、全体として均一な状態になった。この気体および装置の状態を状態 1 とし、このときの気体の温度を T_1 [K]、圧力を p_1 [Pa] とする。

- (3) p_1 を n, R, T_1, V_0, S, L を用いて表せ。
- (4) T_1 を $n, R, T_A, T_B, V_0, S, L$ のうち必要なものを用いて表せ。

状態 1 からはじまる次の 2 種類の過程【I】、【II】を考える。

【I】 状態 1 からコックは開いたまま、ピストンの固定を外し、ピストンをシリンダー B の左端から $\frac{L}{3}$ [m] の位置までゆっくりと押し込んで、気体を断熱圧縮したところ、気体の温度は T_2 [K]、圧力は p_2 [Pa] となった。この断熱過程では、気体の圧力 p [Pa]、体積 V [m³] の間に、 $pV^\gamma = \text{一定}$ (ただし、 $\gamma = \frac{5}{3}$)、という関係が成り立つ。

- (5) p_2 を V_0, S, L, p_1 を用いて表せ。
- (6) T_2 を V_0, S, L, T_1 を用いて表せ。
- (7) この過程における気体の内部エネルギーの増加分を、 n, R, T_1, V_0, S, L を用いて表せ。
- (8) この過程で気体がされた仕事の大きさ W_1 を、 n, R, T_1, V_0, S, L を用いて表せ。

【II】 状態 1 から容器 A とシリンダー B を取り囲む断熱材を取り外し、温度 T_1 [K] の熱源で装置を取り囲む。コックは開いたまま、ピストンの固定を外し、気体の温度を T_1 [K] に保ちながら、ピストンをシリンダー B の左端から $\frac{L}{3}$ [m] の位置までゆっくりと押し込んで、気体を圧縮したところ、気体の圧力は p_3 [Pa] となった。 p_3 と(5)で求めた p_2 の間には (a) の関係が成立する。

(9) (a) に入る最も適切な関係式を(ア)~(ウ)より選べ。

(ア) $p_2 > p_3$

(イ) $p_2 = p_3$

(ウ) $p_2 < p_3$

この過程で気体がされた仕事の大きさを W_2 とするとき、 W_2 と(8)で求めた W_1 の間には の関係が成立する。

(10) に入る最も適切な関係式を(エ)~(カ)より選べ。

(エ) $W_1 > W_2$

(オ) $W_1 = W_2$

(カ) $W_1 < W_2$