

物理

- ◆機械工学科 ◆総合機械工学科
- ◆電気電子工学科
- ◆建築学科/建築専攻 (I型) ◆建築学科/インテリアデザイン専攻 (I型)
- ◆建築学科/土木・環境専攻 (I型)
- ◆情報システム学科/コンピュータサイエンス専攻
- ◆情報システム学科/情報ネットワーク専攻
- ◆情報デザイン学科/メディアデザイン専攻 (I型)
- ◆情報デザイン学科/プロダクトデザイン専攻 (I型)
- ◆総合情報学科/かおりデザイン専攻 (I型)
- ◆総合情報学科/経営情報専攻 (I型)

[I] 次の問いの の中の答えを、それぞれの解答群の中から1つずつ選べ。解答群の中の番号は、同じものを何度使ってもよい。

図1のxyz空間で、点Pのxyz座標は $(l \cos \theta, l \sin \theta, 0)$ である。図の○はz軸が紙面に垂直に裏から表への向きであることを示す。そして、原点Oに電気量 $q (q > 0)$ の荷電粒子 α を固定した状況を考える。なお、クーロンの法則の比例係数を k とする。

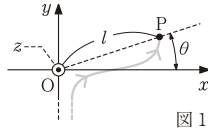


図1

- (1) 粒子 α が点Pに生成する電場 (電界) \vec{E}_P の向きは ア , 強さは $E_P =$ イ である。粒子 α が点Pに生成する電位は、無限遠を基準として、 $\phi_P =$ ウ である。
- (2) 点Pに電気量 $q' (q' > 0)$ の荷電粒子 α' を固定する。粒子 α の電場によって α' に作用する電気力 $\vec{F}_{\alpha'}$ の向きは エ , 強さは $F_{\alpha'} =$ オ である。また、粒子 α の電場の中で α' が持つ静電エネルギーは、無限遠を基準として、 $U_{\alpha'} =$ カ である。
- (3) 今度は、固定した粒子 α' を外して、粒子 α' をy軸の負方向の無限遠から図1の灰色曲線に沿って点Pまでゆっくり運ぶ。電気力に逆らって粒子 α' を運ぶ力を $\vec{J}_{\alpha'}$ とする。この力 $\vec{J}_{\alpha'}$ が粒子 α' を無限遠から点Pまで運ぶ間に α' に与える仕事は、 $W_{\alpha'} =$ キ である。

次に、図2に示す点A, B, C, Dに注目する。それぞれのxyz座標は、 $0 < a < l$ として、A: $(0, l, 0)$, B: $(l, 0, 0)$, C: $(-l, 0, 0)$, D: $(0, a, 0)$ である。線分BDと線分BCの間の角は θ である。

また、問(1)~(3)で使った荷電粒子 α と α' を取り除き、あらためて粒子 α を点Aに固定しなおす。さらに、粒子 α' を二つ用意して点BとCに一つずつ固定する。

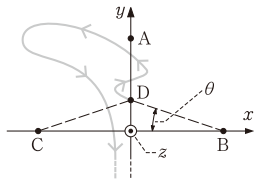


図2

- (4) 点Dにおいて、点Aの粒子 α が生成する電場 \vec{E}_{AD} の向きは ク , 点Bの粒子 α' が生成する電場 \vec{E}_{BD} の向きは ケ , 点Cの粒子 α' が生成する電場 \vec{E}_{CD} の向きは コ である。

以下、次の二つの条件が満たされる場合を考える。

条件1: 点Dの合成電場がゼロ ($\vec{E}_{AD} + \vec{E}_{BD} + \vec{E}_{CD} = \vec{0}$) である。

条件2: 粒子 α と α' の電気量は、 $q = q' \sin \theta$ の関係を満たす。

- (5) 電場 \vec{E}_{AD} , \vec{E}_{BD} , \vec{E}_{CD} の強さをそれぞれ E_{AD} , E_{BD} , E_{CD} とする。条件1より、点Dの合成電場のy成分がゼロであることから、 サ = 0 が成立する。

- (6) 三角比 $\sin \theta =$ シ である。問(5)の式と条件2より、 $a/l =$ ス とする。

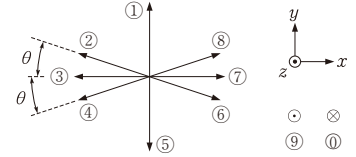
- (7) 電気量 $e (e > 0)$ の荷電粒子 β を、点Dから図2の灰色曲線に沿ってy軸の負方向の無限遠へゆっくり運ぶ。電気力に逆らって粒子 β を運ぶ力を \vec{J}_{β} とする。この力 \vec{J}_{β} が粒子 β を点Dから無限遠まで運ぶ間に β に与える仕事は、 $W_{\beta} =$ セ $\times kq/l$ である。

解答群

ア , エ , ク , ケ , コ

右図の解答群から適切な向きを選べ。

ただし、 \otimes はz軸と逆向きを示す。



イ , ウ

- ① $-k\frac{q}{l}$ ② $k\frac{q}{l}$ ③ $-k\frac{q^2}{l}$ ④ $k\frac{q^2}{l}$ ⑤ $-k\frac{q}{l^2}$

- ⑥ $k\frac{q}{l^2}$ ⑦ $-k\frac{q^2}{l^2}$ ⑧ $k\frac{q^2}{l^2}$ ⑨ 無限大 ⑩ 0

オ , カ

- ① $-kq'\phi_P$ ② $kq'\phi_P$ ③ $-kq'E_P$ ④ $kq'E_P$ ⑤ $-q'\phi_P$

- ⑥ $q'\phi_P$ ⑦ $-q'E_P$ ⑧ $q'E_P$ ⑨ 無限大 ⑩ 0

キ

- ① $-kU_{\alpha'}$ ② $kU_{\alpha'}$ ③ $-lU_{\alpha'}$ ④ $lU_{\alpha'}$ ⑤ $-U_{\alpha'}$
- ⑥ $U_{\alpha'}$ ⑦ $-klU_{\alpha'}$ ⑧ $klU_{\alpha'}$ ⑨ 無限大 ⑩ 0

サ

- ① $E_{AD} + E_{BD} \cos \theta + E_{CD} \cos \theta$ ② $-E_{AD} + E_{BD} \cos \theta + E_{CD} \cos \theta$

- ③ $E_{AD} + E_{BD} \sin \theta + E_{CD} \sin \theta$ ④ $-E_{AD} + E_{BD} \sin \theta + E_{CD} \sin \theta$

- ⑤ $E_{AD} + E_{BD} \tan \theta + E_{CD} \tan \theta$ ⑥ $-E_{AD} + E_{BD} \tan \theta + E_{CD} \tan \theta$

- ⑦ $E_{AD} + E_{BD} + E_{CD}$ ⑧ $-E_{AD} + E_{BD} + E_{CD}$ ⑨ $E_{AD} + E_{BD} - E_{CD}$ ⑩ $E_{AD} E_{BD} E_{CD}$

シ

- ① $\frac{a}{l}$ ② $\frac{l}{a}$ ③ $\frac{a^2 + l^2}{a}$ ④ $\frac{a}{a^2 + l^2}$ ⑤ $\frac{\sqrt{a^2 + l^2}}{a}$

- ⑥ $\frac{a}{\sqrt{a^2 + l^2}}$ ⑦ $\frac{a^2 + l^2}{l}$ ⑧ $\frac{l}{a^2 + l^2}$ ⑨ $\frac{\sqrt{a^2 + l^2}}{l}$ ⑩ $\frac{l}{\sqrt{a^2 + l^2}}$

ス , セ

- ① $2 - \sqrt{3}$ ② $-(2 - \sqrt{3})$ ③ $\frac{4 - \sqrt{7}}{3}$ ④ $-\frac{4 - \sqrt{7}}{3}$

- ⑤ $\frac{11 + 5\sqrt{7}}{6}$ ⑥ $-\frac{11 + 5\sqrt{7}}{6}$ ⑦ $\frac{16 + 9\sqrt{3}}{2}$ ⑧ $-\frac{16 + 9\sqrt{3}}{2}$

- ⑨ $\frac{9 + 5\sqrt{3}}{2}$ ⑩ $-\frac{9 + 5\sqrt{3}}{2}$

【Ⅱ】 次の問いの [] 中の答えを、それぞれの解答群の中から1つずつ選べ。解答群の中の番号は、同じものを何度使ってもよい。

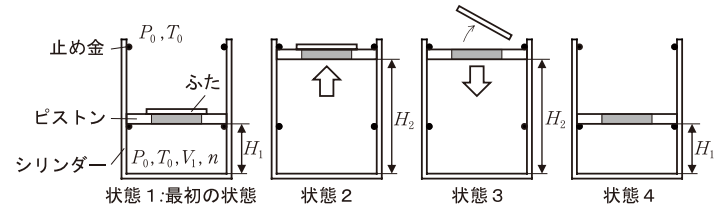
図のように、断熱材でできた内部の底面積 S のシリンダーが大気中で鉛直に立てられている。シリンダー内の気体は n モルの単原子分子の理想気体（気体定数 R ）であり、質量 M のピストンにより封入されている。ピストンは熱を透過する部分（熱透過部分、図の灰色の部分）と断熱部分でできており、熱透過部分の全体を覆うように断熱材でできた質量 m のふたがついている。シリンダーには大きさの無視できる止め金が付いており、ピストンの上下方向の動きを制限している。ピストンとシリンダーの間にはたらく摩擦は非常に小さく無視できる。シリンダー外部の温度、圧力はそれぞれ T_0 、 P_0 であり変化しない。重力加速度の大きさを g とする。

図の最初の状態（状態1）において、ピストンは下側の止め金によって静止している。このとき、シリンダー内の底面とピストン下面の間の距離は H_1 であり、シリンダー内の気体の体積 V_1 は [ア] である。ピストンとふたにはたらく重力の和は [イ] である。シリンダー内の気体の温度、圧力は外部と等しくそれぞれ T_0 、 P_0 であり、このときのシリンダー内の気体の状態方程式は [ウ] である。

状態1からシリンダー内の気体に熱を加えると、ピストンはしばらく静止し続けた後、動き出した。ピストンが動き始める瞬間の気体の圧力 P_1 は、ピストンとふたにはたらく重力と外部の圧力による力、シリンダー内の気体の圧力による力のつり合いより [エ] である。一方、ピストンが動き始める瞬間の気体の温度 T_1 を T_0 、 P_0 、 P_1 で表すと [オ] であり、温度 T_1 は [カ] と表すことができる。熱を加え始めてからピストンが動き出す瞬間までにシリンダー内の気体は [キ] をしており、その間にシリンダー内の気体に加えた熱量 Q_1 は $Q_1 = \frac{3}{2}nR(T_1 - T_0)$ である。以上より、 Q_1 は [ク] と書き換えることができる。

さらに加熱を続けるとピストンはゆっくり上昇し上側の止め金に達して止まり、その瞬間に加熱を止めた（状態2）。このとき、シリンダー内の底面とピストン下面の間の距離は H_2 であり、加熱を止めた瞬間の気体の温度 T_2 は [ケ] である。ピストンが動き出した瞬間から上側の止め金によって止まるまでの間にシリンダー内の気体は [コ] をしており、その間にシリンダー内の気体に加えた熱量 Q_2 は $Q_2 = \frac{5}{2}nR(T_2 - T_1)$ である。 Q_2 は Q_1 と同様に [サ] と書き換えることができる。

加熱を止めると同時にピストン上のふたを取り外した（状態3）。ふたを取り外すことによって、ピストンの熱透過部分を通してシリンダー内から熱が外部に放出される。その後、ピストンはしばらく静止し続け、やがてゆっくりと下降し、下側の止め金によって静止した（状態4）。さらに時間が経つと、シリンダー内の気体の温度は T_0 になり最初の状態に戻った。一連の動作は熱エネルギーから仕事を取り出す熱機関の1回のサイクルと考えることができる。このサイクルを通してシリンダー内の気体がふたにした仕事 W は [シ] である。また、このサイクルの熱効率 η は、シリンダー内の気体に与えられた熱に対する、シリンダー内の気体がふたにした仕事の割合を意味し、 W 、 Q_1 、 Q_2 を用いると [ス] で表すことができる。以上より、熱効率 η は [セ] と書き換えることができる。



- 解答群
- [ア] ① SH_1 ② $\frac{SH_1}{2}$ ③ $\frac{SH_1}{3}$ ④ SH_1^2 ⑤ $\frac{SH_1^2}{2}$ ⑥ $\frac{SH_1^2}{3}$
- [イ] ① Mg ② $2Mg$ ③ mg ④ $2mg$ ⑤ $(M+m)g$ ⑥ $(M-m)g$
- [ウ] ① $P_0 = nRV_1T_0$ ② $T_0 = nRP_0V_1$ ③ $V_1 = nRP_0T_0$
④ $P_0V_1 = nRT_0$ ⑤ $P_0T_0 = nRV_1$ ⑥ $T_0V_1 = nRP_0$
- [エ] ① $P_0 + \frac{Mg}{S}$ ② $P_0 - \frac{Mg}{S}$ ③ $P_0 + \frac{mg}{S}$
④ $P_0 - \frac{mg}{S}$ ⑤ $P_0 + \frac{(M+m)g}{S}$ ⑥ $P_0 - \frac{(M+m)g}{S}$
- [オ] ① $\frac{P_0}{P_1T_0}$ ② $\frac{P_1}{P_0T_0}$ ③ $\frac{T_0}{P_0P_1}$ ④ $\frac{P_1T_0}{P_0}$ ⑤ $\frac{P_0T_0}{P_1}$ ⑥ $\frac{P_0P_1}{T_0}$
- [カ] ① $T_0 \left\{ 1 + \frac{Mg}{P_0S} \right\}$ ② $T_0 \left\{ 1 - \frac{Mg}{P_0S} \right\}$ ③ $T_0 \left\{ 1 + \frac{mg}{P_0S} \right\}$
④ $T_0 \left\{ 1 - \frac{mg}{P_0S} \right\}$ ⑤ $T_0 \left\{ 1 + \frac{(M+m)g}{P_0S} \right\}$ ⑥ $T_0 \left\{ 1 - \frac{(M+m)g}{P_0S} \right\}$
- [キ], [コ] ① 質量変化 ② 定積変化 ③ 定圧変化
④ 等温変化 ⑤ 断熱変化 ⑥ 電磁誘導 ⑦ ドップラー効果
- [ク] ① $\frac{1}{2}MgH_1$ ② $\frac{1}{2}mgH_1$ ③ $\frac{1}{2}(M+m)gH_1$
④ $\frac{3}{2}MgH_1$ ⑤ $\frac{3}{2}mgH_1$ ⑥ $\frac{3}{2}(M+m)gH_1$
- [ケ] ① $\frac{H_1}{H_2}T_1$ ② $\frac{H_2}{H_1}T_1$ ③ $\frac{H_1}{H_2}T_0$ ④ $\frac{H_2}{H_1}T_0$ ⑤ $\frac{H_1}{H_2}P_0$ ⑥ $\frac{H_2}{H_1}P_0$
- [サ] ① $\frac{5}{2}(H_1+H_2)P_0S$ ② $\frac{5}{2}(H_2-H_1)P_0S$ ③ $\frac{5}{2}(H_1+H_2)P_1S$ ④ $\frac{5}{2}(H_2-H_1)P_1S$
- [シ] ① $Mg(H_2+H_1)$ ② $Mg(H_2-H_1)$ ③ $mg(H_2+H_1)$
④ $mg(H_2-H_1)$ ⑤ $(M+m)g(H_2+H_1)$ ⑥ $(M+m)g(H_2-H_1)$
- [ス] ① $\frac{Q_1}{W}$ ② $\frac{Q_2}{W}$ ③ $\frac{Q_1+Q_2}{W}$ ④ $\frac{Q_1-Q_2}{W}$ ⑤ $\frac{W}{Q_1}$ ⑥ $\frac{W}{Q_2}$ ⑦ $\frac{W}{Q_1+Q_2}$ ⑧ $\frac{W}{Q_1-Q_2}$
- [セ] ① $\frac{2Mg(H_2-H_1)}{5(H_2-H_1)P_0S + (5H_2-2H_1)(M+m)g}$ ② $\frac{2mg(H_2-H_1)}{5(H_2-H_1)P_0S + (5H_2-2H_1)(M+m)g}$
③ $\frac{2(M+m)g(H_2-H_1)}{5(H_2-H_1)P_0S + (5H_2-2H_1)(M+m)g}$ ④ $\frac{2Mmg(H_2-H_1)}{5(H_2-H_1)P_0S + (5H_2-2H_1)(M+m)g}$

[Ⅲ] ばね定数 k の軽いばねの一方の端に質量 m の小物体 A を付け、滑らかで水平な床の上に置き、もう一方の端を固定する。ばねののびがゼロのときの小物体 A の位置を原点 O とし、水平にばねが伸びる向きに x 軸をとる。

図のように、ばねを縮めて A を $x = -s$ の位置に置き、原点 O に質量 m の小物体 B を静かに置く。そして、A を静かに放す。A が B に衝突する直前の A の速さを v とする。以下では、重力加速度の大きさを g とし、空気抵抗を無視する。点 O を位置エネルギーの基準とする。

- (1) 手を放した直後に A に働く弾性力の大きさ f を k, m, s, g 中の必要な量で表せ。
- (2) 手を放した直後の A の加速度の大きさ a を k, m, s, g 中の必要な量で表せ。
- (3) 手を放した直後に、A が持つ弾性力による位置エネルギー U を k, m, s, g 中の必要な量で表せ。
- (4) A が B に衝突する直前に A が持つ運動エネルギー K を m, v で表せ。
- (5) 速さ v を k, m, s, g 中の必要な量で表せ。

A と B が原点 O で衝突した後の運動を考える。衝突直後の A, B の速度 (の x 成分) をそれぞれ v', V' とする。また、A と B の間のはね返り係数 (反発係数) を e ($0 \leq e \leq 1$) とする。

- (6) 衝突直前の A と B の運動量 (の x 成分) の和 P を m, v で表せ。また、衝突直後の A と B の運動量 (の x 成分) の和 P' を m, v', V' で表せ。
- (7) 衝突直後の B に対する A の相対速度 $v' - V'$ を m, v, e 中の必要な量で表せ。
- (8) 速度 v' および V' を m, v, e 中の必要な量で表せ。
- (9) 衝突直後に A, B が持つ運動エネルギーをそれぞれ K'_A, K'_B とする。 K'_A および K'_B を m, v, e 中の必要な量で表せ。
- (10) 衝突後に A が行う単振動の振幅 s' を m, s, e 中の必要な量で表せ。
- (11) $K'_A + K'_B$ が最小となるときの e の値を求めよ。また、このときの $K'_A + K'_B$ を m, v で表せ。

