'17

前期日程

物　理

（理 工 学 部）

注　意　事　項

1. 試験開始の合図があるまで，この問題冊子を開いてはいけません。
2. 問題冊子は１冊(10頁)，解答用紙は３枚，下書用紙は１枚です。落丁，乱丁，印刷不鮮明の箇所等があった場合には申し出てください。
3. 氏名と受験番号は解答用紙の所定の欄に記入してください。
4. 解答は指定の解答用紙に記入してください。
5. 解答用紙は持ち帰ってはいけません。
6. 問題冊子と下書用紙は持ち帰ってください。

1 水平な地面の上にいる人がラケットで小球を打つ場合を考える。小球を打ち出す位置(地面からの高さ h)を原点Oとして水平右向きに x 軸，鉛直上向きに y 軸をとる。小球の質量を m，重力加速度の大きさを g とし，空気抵抗は無視する。以下の問(1)〜(14)に答えよ。

【Ⅰ】 図1に示すように，原点Oから小球を，x 軸方向と角度 θ_1，速さ v_1 で斜め上方に打ち出したところ，小球は地面上 $x = d$ のA点に落下した。小球が打ち出された時刻を $t = 0$ とする。また，$0° < \theta_1 < 90°$ とする。

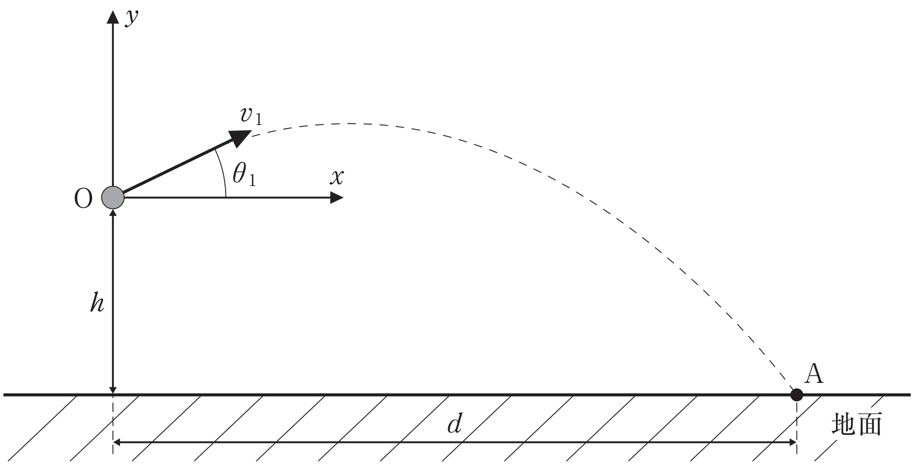


図1

(1) 小球が打ち出された直後の小球の速度の x 成分と y 成分を，v_1，θ_1 を用いて表せ。

(2) 小球が打ち出されてから落下するまでの間の，時刻 t における小球の x 座標と y 座標を，v_1，t，g，θ_1 のうち必要なものを用いて表せ。

(3) h を，v_1，g，θ_1，d を用いて表せ。

【Ⅱ】 図２に示すように，$x = d$ の位置に，鉛直に立てられた壁がある場合を考える。原点Ｏから小球を，x 軸方向と角度 θ_2，速さ v_2 で斜め上方に打ち出したところ，小球は地面上に落下することなく壁に衝突した。小球が打ち出された時刻を $t = 0$ とし，$0^\circ < \theta_2 < 90^\circ$ とする。また，壁は十分に高く，小球が壁を越えることはないものとする。

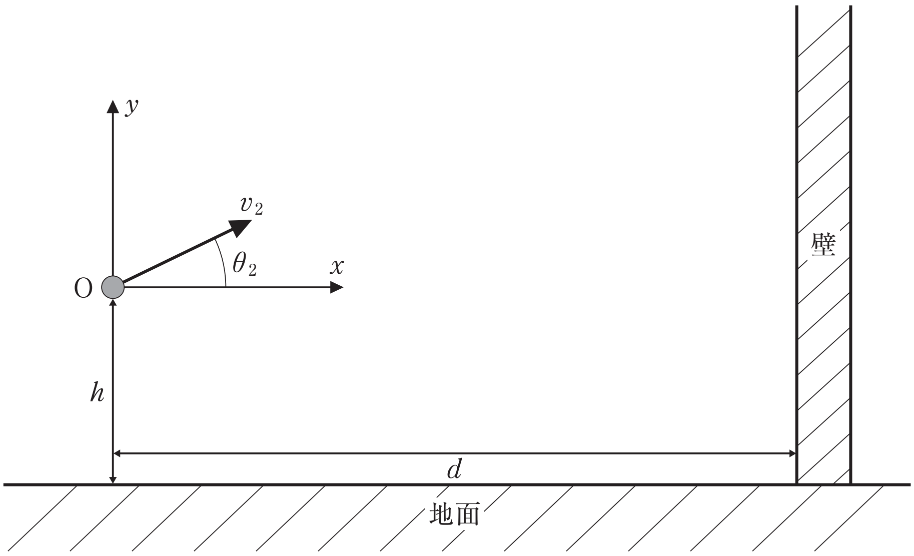


図２

⑷ 小球が壁に衝突する時刻を，v_2，g，θ_2，d，h のうち必要なものを用いて表せ。

⑸ 小球が壁に衝突する直前の小球の y 座標を，v_2，g，θ_2，d，h のうち必要なものを用いて表せ。

(6)　小球が地面上に落下する前に壁に衝突するために，小球が打ち出された直後の速さ v_2 が満たすべき条件は，

$$v_2 \ \boxed{\text{(ア)}}\ \frac{d}{\cos\theta_2}\sqrt{\frac{g}{\boxed{\text{(イ)}}}}$$

となる。空欄 $\boxed{\text{(ア)}}$ と $\boxed{\text{(イ)}}$ を埋め，式を完成させよ。空欄 $\boxed{\text{(ア)}}$ については，以下の選択肢の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。空欄 $\boxed{\text{(イ)}}$ については，適切な式を，g，θ_2，d，h のうち必要なものを用いて解答欄に記入せよ。

(ア)の選択肢　　① $<$　　② $>$

(7)　小球が壁に衝突する直前の小球の速度の x 成分と y 成分を，v_2，g，θ_2，d のうち必要なものを用いて表せ。

【Ⅲ】 図３に示すように，$x = d$ の位置に，鉛直に立てられた壁がある場合を考える。原点Ｏから小球を，x 軸方向と角度 θ_3，速さ v_3 で斜め上方に打ち出したところ，小球は地面上に落下することなく壁に垂直に衝突し，はね返って，x 軸上 $(y = 0)$ まで戻ってきた。小球が打ち出された時刻を $t = 0$ とし，壁と小球の間の反発係数を $e(0 < e < 1)$ とする。また，$0° < \theta_3 < 90°$ とする。

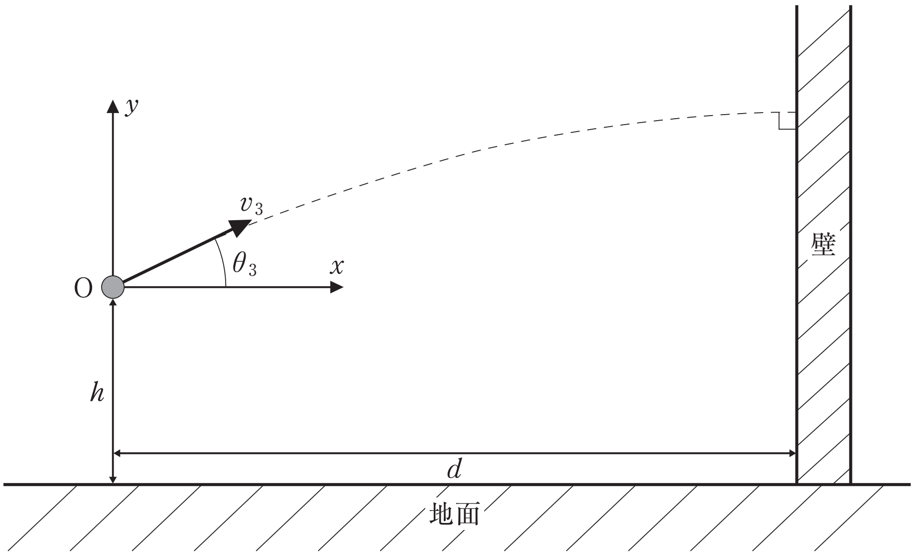


図３

(8) 小球を打ち出した直後の小球の運動エネルギーを，v_3，m を用いて表せ。

(9) 小球が壁ではね返った直後の小球の速度の x 成分を，v_3，g，θ_3，d，e のうち必要なものを用いて表せ。

(10) 小球が壁から受けた力積の大きさを，v_3，g，θ_3，d，e，m のうち必要なものを用いて表せ。

(11) 小球と壁の接触時間が Δt であったとして，小球が壁から受けた平均の力の大きさを，v_3，g，θ_3，d，e，m，Δt のうち必要なものを用いて表せ。

⑿　小球が壁ではね返り x 軸上 $(y = 0)$ に戻ったときの，小球の速度の y 成分，および小球の x 座標を，v_3，θ_3，d，e のうち必要なものを用いて表せ。

⒀　小球が壁ではね返り x 軸上 $(y = 0)$ に戻ったときの小球の運動エネルギーを，v_3，θ_3，d，e，m のうち必要なものを用いて表せ。

⒁　小球を打ち出した直後の小球の運動エネルギーと，小球が壁ではね返り x 軸上 $(y = 0)$ に戻ったときの小球の運動エネルギーの関係について述べた以下の文章①～③のうち，適切な文章を１つ選び，その番号を解答欄に記入せよ。

①　小球を打ち出した直後の小球の運動エネルギーは，小球が壁ではね返り x 軸上 $(y = 0)$ に戻ったときの小球の運動エネルギーと等しい。

②　小球を打ち出した直後の小球の運動エネルギーは，小球が壁ではね返り x 軸上 $(y = 0)$ に戻ったときの小球の運動エネルギーよりも小さい。

③　小球を打ち出した直後の小球の運動エネルギーは，小球が壁ではね返り x 軸上 $(y = 0)$ に戻ったときの小球の運動エネルギーよりも大きい。

2 以下の問(1)〜(11)に答えよ。ただし，必要であれば次の式を用いよ。

$$\sin\alpha\sin\beta = -\frac{1}{2}\{\cos(\alpha+\beta)-\cos(\alpha-\beta)\},\quad \cos\left(\theta-\frac{\pi}{2}\right)=\sin\theta$$

【Ⅰ】 図1のように電源と抵抗値 R[Ω]の抵抗を導線で接続した回路を考える。ただし，導線の抵抗は無視できるとする。

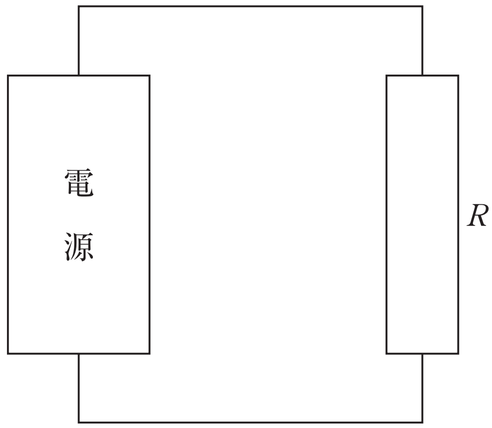


図1

(1) 電源に電圧 V[V]の直流電源を用いた場合の抵抗での消費電力 P_{D}[W]を求めよ。

(2) 電源に電圧 $V_0\sin\omega t$[V]の交流電源を用いた場合の抵抗に流れる電流の振幅を求めよ。ただし，V_0[V]は電圧の振幅，ω[rad/s]は角周波数，t[s]は時刻をそれぞれ表している。

(3) 電源に問(2)の交流電源を用いたとき，抵抗での消費電力 P_{A}[W]は，$P_{\mathrm{A}} = \boxed{\text{(a)}}\,(1-\cos 2\omega t)$[W]と書ける。空欄 $\boxed{\text{(a)}}$ に入る適切な式を V_0，R を用いて答えよ。

(4) $0 \leqq t \leqq T$[s] $\left(T=\dfrac{2\pi}{\omega}\right)$ の範囲での P_{A} のグラフを解答欄に図示せよ。ただし，解答欄の $\boxed{\text{(a)}}$ には問(3)で求めた式が入るものとする。

(5) $0 \leqq t \leqq T$[s] $\left(T=\dfrac{2\pi}{\omega}\right)$ の範囲における P_{A} の平均値 $\overline{P_{\mathrm{A}}}$[W]を求めよ。

(6) 次の文章の空欄 $\boxed{\text{(b)}}$ ～ $\boxed{\text{(d)}}$ に入る適切な数値または語句を以下の選択肢(ア)～(サ)の中から選べ。

$P_{\mathrm{D}}=\overline{P_{\mathrm{A}}}$ となるためには $V=\dfrac{V_0}{\boxed{\text{(b)}}}$ の関係が成り立てばよい。この $\dfrac{V_0}{\boxed{\text{(b)}}}$ を交流電圧の $\boxed{\text{(c)}}$ という。「日本の家庭用コンセントに供給されている電圧は100 V である」というとき，その100 V は $\boxed{\text{(c)}}$ を表しており，コンセントに供給されている電圧をオシロスコープで測定するとその最大値は約 $\boxed{\text{(d)}}$ V となる。

［選択肢］

(ア)	1	(イ)	2	(ウ)	$\sqrt{2}$	(エ)	平均値	(オ)	実効値
(カ)	最大値	(キ)	200	(ク)	141	(ケ)	100	(コ)	71
(サ)	50								

【Ⅱ】 図2のように，電圧 $V_0\sin\omega t$［V］の交流電源とインダクタンス L［H］のコイルを導線で接続した回路を考える。ただし，導線とコイルの抵抗は無視できるとする。このとき，コイルには $\dfrac{V_0}{\omega L}\sin\left(\omega t-\dfrac{\pi}{2}\right)$［A］の電流が流れた。

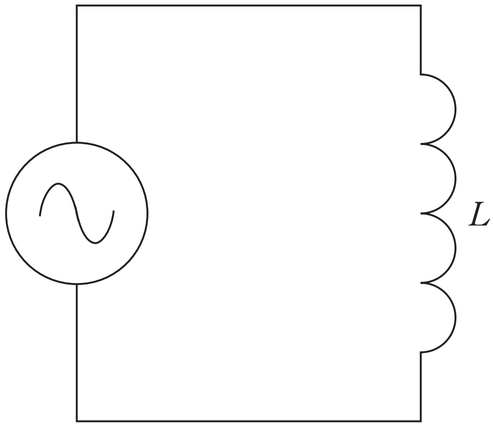


図2

⑺　コイルでの消費電力 P_{L}[W]を，$P_{\mathrm{L}} = -\boxed{\quad(e)\quad}\sin 2\omega t$[W]と表したとき，空欄 $\boxed{\quad(e)\quad}$ に入る適切な式を V_0，ω，L を用いて表せ。

⑻　$0 \leqq t \leqq T$[s] $\left(T = \dfrac{2\pi}{\omega}\right)$ の範囲での P_{L} のグラフを解答欄に図示せよ。ただし，解答欄の $\boxed{\quad(e)\quad}$ には問⑺で求めた式が入るものとする。

⑼　$0 \leqq t \leqq T$[s] $\left(T = \dfrac{2\pi}{\omega}\right)$ の範囲における P_{L} の平均値を求めよ。

【Ⅲ】　以下の問⑽，⑾は，図 1 の回路で電源に問⑵の交流電源を用いた場合の抵抗での消費電力と，図 2 の回路のコイルでの消費電力に関して述べた文章である。ただし，以下の消費電力の時間平均は 1 周期での平均とする。

⑽　次の文章中の選択肢①または②のどちらか適切な番号を選択せよ。

抵抗での消費電力の時間平均はコイルでの消費電力の時間平均より[①　大きい　　②　小さい]。

⑾　(あ)〜(え)の中から正しいものを全て選択せよ。

(あ)　抵抗での消費電力の時間平均は 0 となり，時間平均では抵抗で電力は消費されない。

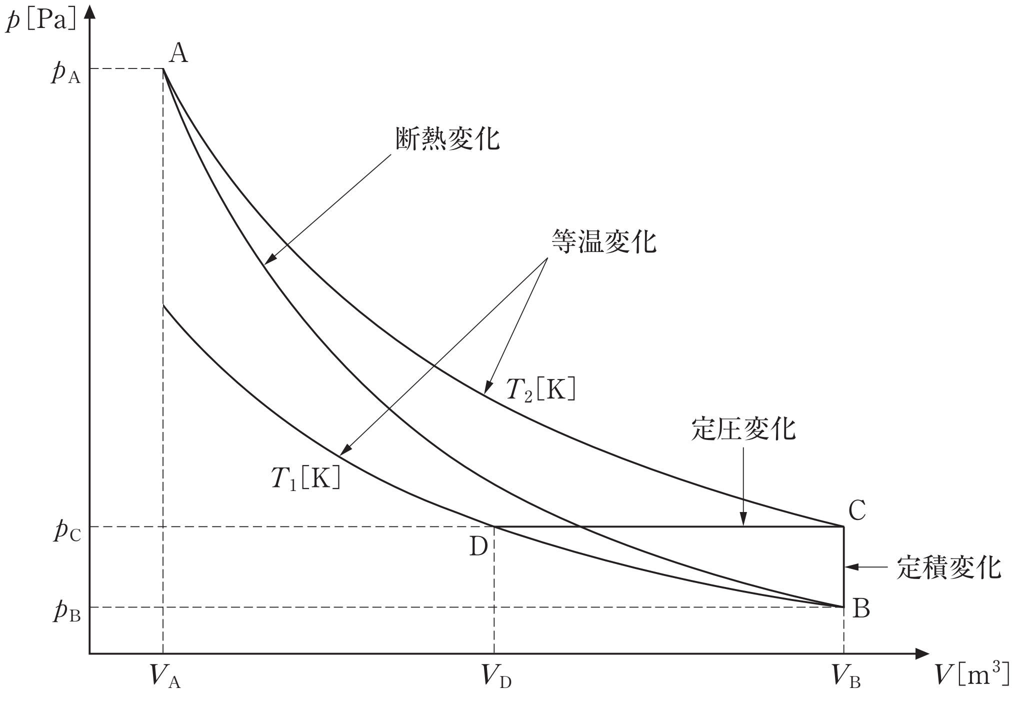
(い)　コイルでの消費電力の時間平均は 0 となり，時間平均ではコイルで電力は消費されない。

(う)　抵抗では各瞬間での消費電力が負になることはない。

(え)　コイルでは各瞬間での消費電力が負になることはない。

3 図は n[mol]の理想気体に対して，圧力 p[Pa]を縦軸に，体積 V[m^3]を横軸に表示した p-V グラフである。図中の実線は，温度 T_1[K]，T_2[K]における等温変化($T_2 > T_1$)，断熱変化，定積変化，および定圧変化を表す。状態 A，B，C における気体の圧力をそれぞれ p_A，p_B，p_C，状態 A，B，D における気体の体積をそれぞれ V_A，V_B，V_D とする。

物質 1 mol の温度を 1 K 高めるのに必要な熱量をモル比熱という。体積一定，圧力一定のもとでのモル比熱をそれぞれ定積モル比熱，定圧モル比熱といい，それぞれ，C_V[J/(mol·K)]，C_p[J/(mol·K)]で表す。気体の比熱は分子の構造を反映するため，熱現象を通して分子レベルで起きていることを理解するために重要な量である。以下の問(1)〜(11)に答えよ。なお，気体定数は R[J/(mol·K)]とする。



図

(1) 気体の状態を B から C へ定積変化させるときに気体が受け取る熱 Q_{BC}[J]を T_1，T_2，n，C_V を用いて表せ。

⑵　気体の状態をAからBへ断熱変化させ，続いてBからCへ定積変化させた。このA→B→Cの状態変化における気体の内部エネルギーの変化を，この状態変化の間に気体が受け取る熱 Q_{ABC}[J]と気体が外部に対してする仕事 W_{ABC}[J]を用いて表せ。

⑶　状態Aと状態Cは同一の等温線上にある。Q_{ABC} と W_{ABC} との間に成り立つ関係式を求めよ。

⑷　気体の状態をAからBへ断熱変化させるときに気体が外部に対してする仕事 W_{AB}[J]と，Q_{BC} との間に成り立つ関係式を求めよ。

⑸　気体の状態をDからCへ定圧変化させるときに気体が受け取る熱 Q_{DC}[J]を T_1，T_2，n，C_p を用いて表せ。

⑹　気体の状態をDからCへ定圧変化させるときに気体が外部に対してする仕事 W_{DC}[J]を p_{C}，V_{B}，V_{D} を用いて表せ。

⑺　気体の状態をDからBへ等温変化させ，続いてBからCへ定積変化させた。このD→B→Cの状態変化における気体の内部エネルギーの変化 ΔU_{DBC}[J]と，Q_{BC} との間に成り立つ関係式を求めよ。

⑻　気体の状態をDからBへ等温変化させ，続いてBからCへ定積変化させたときのD→B→Cの状態変化における内部エネルギーの変化と，気体の状態をDからCへ定圧変化させたときの内部エネルギーの変化は等しいことから，W_{DC} を Q_{DC} と Q_{BC} を用いて表せ。

⑼　問⑻で得られた結果に問⑴，⑸，⑹の結果を代入すると，

$$p_{\mathrm{C}}(V_{\mathrm{B}} - V_{\mathrm{D}}) = \boxed{(ア)}$$

となる。空欄 $\boxed{(ア)}$ に入る適切な式を T_1，T_2，n，C_p，C_V を用いて表せ。

⑽　状態Cと状態Dにおける気体の体積 V_{B}，V_{D} を，理想気体の状態方程式を用いてそれぞれの温度と圧力により表すと，その差は，

$$V_{\mathrm{B}} - V_{\mathrm{D}} = \boxed{(イ)}$$

となる。空欄 $\boxed{(イ)}$ に入る適切な式を p_{C}，T_1，T_2，n，R を用いて表せ。

⑾　問⑼，⑽の結果から C_p を C_V と R を用いて表せ。