2024年度　前期B方式入学試験問題

理系型受験

◆機械工学科　◆機械システム工学科
◆電気電子工学科
◆建築学科／建築専攻（理系型）
◆建築学科／インテリアデザイン専攻（理系型）
◆建築学科／かおりデザイン専攻（理系型）
◆建築学科／都市空間インフラ専攻（理系型）
◆情報システム学科　◆情報デザイン学科（理系型）
◆総合情報学科（理系型）

物　　理

受験上の注意

※３教科受験型です。受験する教科数に不足があると判定しない場合がありますので注意してください。
※物理または化学のいずれか一つを選んで解答してください。

1．受験票は、机の端の見える位置に置いてください。
2．**解答用紙はマークシート（解答用紙Ａ）が１枚、記述（解答用紙Ｂ）が１枚**です。
3．試験監督者の指示により、氏名、入学試験種別、受験型、受験番号をマークシート（解答用紙Ａ）と解答用紙Ｂの指定された場所に必ず記入・マークしてください。
4．試験開始の合図があるまで、この問題用紙の中を見てはいけません。
5．試験開始後は、試験終了まで退室できません。
6．用件のある場合は、手を挙げてください。
7．解答は、マークシート（解答用紙Ａ）と解答用紙Ｂのそれぞれ指定された解答欄に記入・マークしてください。
　問題の余白は計算に使用しても結構です。
8．マークシート（解答用紙Ａ）の記入上の注意
　(ア)マークシート（解答用紙Ａ）の解答欄は**ア**～**ヘ**まで使用します。
　(イ)マークシート（解答用紙Ａ）に、正しく記入・マークされていない場合は、採点できないことがあります。
　(ウ)マークは、鉛筆もしくはシャープペンで、ていねいにマークしてください。また、訂正の場合は消しゴムで完全に消してください。
　(エ)解答はマークシート（解答用紙Ａ）に記載のマーク例を参考に解答欄にマークしてください。例えば**ア**と表示のある問いに対して**３**と解答する場合は、次の（例）のように**ア**の解答欄の③にマークしてください。

（例）

	解答欄
ア	①②❸④⑤⑥⑦⑧⑨⓪

9．問題用紙は持ち帰ってください。
10．※印の欄には記入しないでください。

［Ⅰ］次の問いの $\boxed{}$ の中の答えを，それぞれの解答群の中から１つずつ選び，解答用紙Ａの解答欄にマークせよ。解答群の中の番号は，同じものを何度使ってもよい。

図１のように，交流電源に抵抗値 R の抵抗器をつないだ回路について考える。交流電源の電圧は角周波数(角振動数) ω で時間変化し，両端 G-H 間の時刻 t における交流電圧は，$V(t)=V_0\sin\omega t$ で表される（$V_0>0$）。電圧 $V(t)$ の符号は点Ｇよりも点Ｈの電位が高い場合に正とする。時刻 t において点Ｈから抵抗器に流れ込む交流電流を $I_{\mathrm{R}}(t)$ とし，図１に示す向きに流れる場合を正とする。

(1) 交流電圧の周期は $T=$ $\boxed{\text{ア}}$ である。

(2) オームの法則より，$I_{\mathrm{R}}(t)=$ $\boxed{\text{イ}}$ である。$I_{\mathrm{R}}(t)$ の時間変化のグラフの概形は $\boxed{\text{ウ}}$ である。

(3) 時刻 t における抵抗器の消費電力は $P(t)=$ $\boxed{\text{エ}}$ である。$P(t)$ は最小値 $\boxed{\text{オ}}$ と最大値 $\boxed{\text{カ}}$ の間を周期的に時間変化し，そのグラフの概形は $\boxed{\text{キ}}$ である。

(4) 抵抗器の消費電力の時間平均 $\overline{P}$ は，次のように求められる。周期 T の時間間隔をとり，$P(t)$ のグラフと t 軸が囲む図形の面積を W とする。この図形の時刻 t によって変化する高さ $P(t)$ をならして一定値 $\overline{P}$ とし，面積が $W=\overline{P}\cdot T$ となる長方形を考えれば，$\overline{P}$ が求まる。したがって $\overline{P}=$ $\boxed{\text{ク}}$ である。

(5) 交流電圧の実効値は $V_{\mathrm{e}}=$ $\boxed{\text{ケ}}$ $\times V_0$，交流電流の実効値は $I_{\mathrm{e}}=$ $\boxed{\text{コ}}$ $\times V_{\mathrm{e}}$ であり，$\overline{P}=I_{\mathrm{e}}V_{\mathrm{e}}$ となる。

次に図２のように，交流電源に電気容量 C のコンデンサーをつないだ回路について考える。コンデンサーの上下の極板をそれぞれＡ，Ｂとし，時刻 t において上の極板Ａに蓄えられている電荷を $Q(t)$ とする。交流電源は図１の回路と同じものであり，時刻 t における交流電圧は $V(t)=V_0\sin\omega t$ で表される（$V_0>0$）。時刻 t において点Ｈからコンデンサーに流れ込む交流電流を $I_{\mathrm{C}}(t)$ とし，図２に示す向きに流れる場合を正とする。

(6) 時刻 t においてコンデンサーの極板Ａに蓄えられている電荷は，$Q(t)=$ $\boxed{\text{サ}}$ である。$Q(t)$ の時間変化のグラフの概形は $\boxed{\text{シ}}$ である。

(7) 時間 Δt が十分短い場合は，時刻 t から $t+\Delta t$ の間の極板Ａの電荷の変化量を ΔQ とすると，$I_{\mathrm{C}}(t)\fallingdotseq\dfrac{\Delta Q}{\Delta t}$ と表せる。したがって，$I_{\mathrm{C}}(t)$ は $Q(t)$ の時間変化のグラフの時刻 t における接線の傾きと等しいので，$I_{\mathrm{C}}(t)$ の時間変化のグラフの概形は $\boxed{\text{ス}}$ となる。

(8) コンデンサーに流れる交流電流 $I_{\mathrm{C}}(t)$ を，$I_{\mathrm{C}}(t)=I_{\mathrm{C0}}\sin(\omega t+\phi)$（ただし $I_{\mathrm{C0}}>0$）と表すと，$\phi=$ $\boxed{\text{セ}}$，$I_{\mathrm{C0}}=$ $\boxed{\text{ソ}}$ $\times V_0$ である。

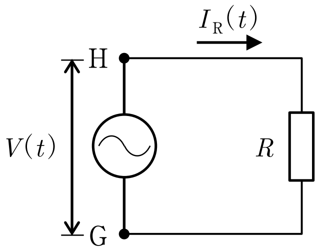


図１

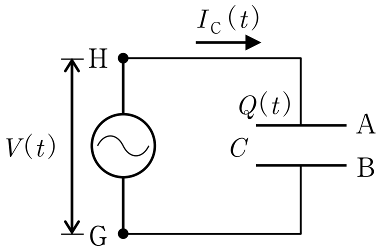


図２

解答群

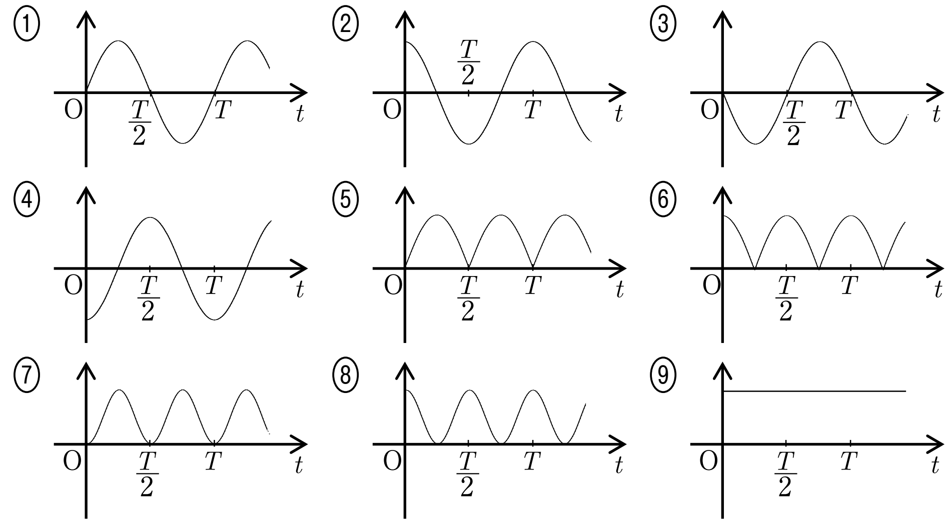
$\boxed{\text{ア}}$　① ω　② $2\pi\omega$　③ $\dfrac{1}{\omega}$　④ $\dfrac{2\pi}{\omega}$　⑤ $\dfrac{1}{2\pi\omega}$　⑥ $\dfrac{\omega}{2\pi}$　⑦ $\sin\omega$　⑧ $\cos\omega$

$\boxed{\text{イ}}$　① $RV_0\sin\omega t$　② $RV_0\cos\omega t$　③ $\dfrac{V_0\sin\omega t}{R}$　④ $\dfrac{V_0\cos\omega t}{R}$

⑤ $\dfrac{R}{V_0\sin\omega t}$　⑥ $\dfrac{R}{V_0\cos\omega t}$　⑦ $\dfrac{V_0}{R\sin\omega t}$　⑧ $\dfrac{V_0}{R\cos\omega t}$

$\boxed{\text{ウ}}$，$\boxed{\text{キ}}$，$\boxed{\text{シ}}$，$\boxed{\text{ス}}$

選択肢のグラフの縦軸の量は，問題に応じて I_{R}，P，Q，I_{C} である。



$\boxed{\text{エ}}$　① $I_{\mathrm{R}}(t)\,V(t)$　② $I_{\mathrm{R}}(t)+V(t)$　③ $I_{\mathrm{R}}(t)\,\{V(t)\}^2$　④ $\{I_{\mathrm{R}}(t)\}^2V(t)$

⑤ $\dfrac{V(t)}{I_{\mathrm{R}}(t)}$　⑥ $\dfrac{I_{\mathrm{R}}(t)}{V(t)}$　⑦ $\dfrac{\{V(t)\}^2}{I_{\mathrm{R}}(t)}$　⑧ $\dfrac{\{I_{\mathrm{R}}(t)\}^2}{V(t)}$

$\boxed{\text{オ}}$，$\boxed{\text{カ}}$，$\boxed{\text{ク}}$

① V_0　② $-V_0$　③ $\dfrac{V_0}{R}$　④ $-\dfrac{V_0}{R}$　⑤ $\dfrac{V_0^2}{2R}$

⑥ $\dfrac{V_0^2}{R}$　⑦ $-\dfrac{V_0^2}{R}$　⑧ $\dfrac{2V_0^2}{R}$　⑨ $-\dfrac{2V_0^2}{R}$　⓪ 0

$\boxed{\text{ケ}}$，$\boxed{\text{コ}}$

① R　② $\dfrac{1}{R}$　③ $\sqrt{R}$　④ $\dfrac{1}{\sqrt{R}}$　⑤ $\dfrac{1}{\omega R}$

⑥ 2　⑦ $\dfrac{1}{2}$　⑧ $\sqrt{2}$　⑨ $\dfrac{1}{\sqrt{2}}$　⓪ $\dfrac{1}{\sqrt{2}\omega}$

$\boxed{\text{サ}}$　① $CV_0\sin\omega t$　② $CV_0\cos\omega t$　③ $\dfrac{V_0\sin\omega t}{C}$　④ $\dfrac{V_0\cos\omega t}{C}$

⑤ $\dfrac{C}{V_0\sin\omega t}$　⑥ $\dfrac{C}{V_0\cos\omega t}$　⑦ $\dfrac{1}{CV_0\sin\omega t}$　⑧ $\dfrac{1}{CV_0\cos\omega t}$

$\boxed{\text{セ}}$　① 0　② π　③ $\dfrac{\pi}{4}$　④ $-\dfrac{\pi}{4}$　⑤ $\dfrac{\pi}{3}$　⑥ $-\dfrac{\pi}{3}$　⑦ $\dfrac{\pi}{2}$　⑧ $-\dfrac{\pi}{2}$

$\boxed{\text{ソ}}$　① ω　② C　③ $\dfrac{1}{\omega}$　④ $\dfrac{1}{C}$　⑤ $\dfrac{C}{\omega}$　⑥ $\dfrac{\omega}{C}$　⑦ $\dfrac{1}{\omega C}$　⑧ ωC

［Ⅱ］次の問いの $\boxed{}$ の中の答えを，それぞれの解答群の中から１つずつ選び，解答用紙Ａの解答欄にマークせよ。解答群の中の番号は，同じものを何度使ってもよい。

様々な物質が光を吸収したり放射したりする現象を，原子の大きさ（約 10^{-10}m 程度）も区別するほどの精度で測定することで，物質と光には粒子としての性質（粒子性）と波動としての性質（波動性）が兼ね備わっていることが確かめられている。光の粒子性に注目した際の光子一つの運動量を p，エネルギーを ε，波動性に注目した際の波長を λ，周波数（振動数）を ν とする。また，真空中の光速を c，プランク定数を h とする。

(1) 光が粒子性と波動性を兼ね備えていることから，光の粒子性を表す物理量 p と ε が，波動性を表す物理量を使って $p=\boxed{\text{タ}}$，$\varepsilon=\boxed{\text{チ}}$ と表せることが知られている。同様の関係式は，電子や陽子などあらゆる粒子にも成立する。

(2) 光の波動性から，通常の波動の関係式が成立し，$\boxed{\text{ツ}}=1$ と表せる。

光の波長 λ が原子の大きさと同程度かそれ以下になると，光の粒子性が顕著に現れて，光と電子が粒子のように衝突する現象（コンプトン散乱）が発生する。以下，真空中で光子が静止した電子に衝突するコンプトン散乱で，衝突後の光子の速度は衝突前と逆向きで，衝突後の電子の速度は衝突前の光子の速度と同じ向きになる場合（正面衝突コンプトン散乱）に注目する。光子の衝突前の周波数を ν，衝突後の周波数を ν' とする。また，電子の質量を m_e，衝突後の電子の速さを v'_e とする。

(3) 衝突前の光子の進行方向を正の向きとし，正面衝突コンプトン散乱の前後の運動量保存則とエネルギー保存則は次のようになる。ただし，必要に応じて問(2)の関係式を使って，次の二式に現れる波動の物理量は周波数 ν と ν' だけにする。

運動量保存則：$\boxed{\text{テ}}=\boxed{\text{ト}}+\boxed{\text{ナ}}$

エネルギー保存則：$\boxed{\text{ニ}}=\boxed{\text{ヌ}}+\boxed{\text{ネ}}$

(4) 電子の粒子性に注目すると，衝突後の電子の運動エネルギー K'_e を使って $v'_e=\boxed{\text{ノ}}$ となる。

(5) 問(3)の二式から ν' を消去して，さらに問(4)の関係式を使って v'_e を消去すると，次の式(★)の形にまとまり，この右辺 $X=\boxed{\text{ハ}}$ となる。

$$h\nu = X \qquad (★)$$

この式(★)を工夫して描けるグラフを利用して，正面衝突コンプトン散乱の測定からプランク定数 h の値を読み取ることができる。

(6) 横軸に K'_e，縦軸に ν をとると，式(★)で与えられるグラフの概形は $\boxed{\text{ヒ}}$ となる。

(7) 一方，横軸に問(5)の X，縦軸に ν をとると，式(★)で与えられるグラフの概形は $\boxed{\text{フ}}$ となる。このグラフの $\boxed{\text{ヘ}}$ が h なので，このグラフを実際の正面衝突コンプトン散乱の測定値から作ると，問(6)のグラフよりも h の読み取りが容易になる。

解答群

$\boxed{\text{タ}}$，$\boxed{\text{チ}}$

① h　② $\frac{1}{h}$　③ $h\lambda$　④ $\frac{h}{\lambda}$　⑤ $\frac{\lambda}{h}$

⑥ $\frac{1}{h\lambda}$　⑦ $h\nu$　⑧ $\frac{h}{\nu}$　⑨ $\frac{\nu}{h}$　⓪ $\frac{1}{h\nu}$

$\boxed{\text{ツ}}$

① $\lambda\nu$　② νc　③ $c\lambda$　④ $\lambda\nu c$　⑤ $\frac{\lambda\nu}{\pi c}$

⑥ $\frac{\lambda\nu}{c}$　⑦ $\frac{\nu c}{\pi\lambda}$　⑧ $\frac{\nu c}{\lambda}$　⑨ $\frac{c\lambda}{\pi\nu}$　⓪ $\frac{c\lambda}{\nu}$

$\boxed{\text{テ}}$，$\boxed{\text{ニ}}$

① $h\nu$　② $-h\nu$　③ $\frac{h}{\nu}$　④ $-\frac{h}{\nu}$　⑤ $h\nu c$

⑥ $-h\nu c$　⑦ $\frac{h\nu}{c}$　⑧ $-\frac{h\nu}{c}$　⑨ $\frac{hc}{\nu}$　⓪ $-\frac{hc}{\nu}$

$\boxed{\text{ト}}$，$\boxed{\text{ヌ}}$

① $h\nu'$　② $-h\nu'$　③ $\frac{h}{\nu'}$　④ $-\frac{h}{\nu'}$　⑤ $h\nu' c$

⑥ $-h\nu' c$　⑦ $\frac{h\nu'}{c}$　⑧ $-\frac{h\nu'}{c}$　⑨ $\frac{hc}{\nu'}$　⓪ $-\frac{hc}{\nu'}$

$\boxed{\text{ナ}}$，$\boxed{\text{ネ}}$

① v'_e　② $-v'_e$　③ $m_e v'_e$　④ $-m_e v'_e$　⑤ $\frac{m_e v'_e}{2}$

⑥ $-\frac{m_e v'_e}{2}$　⑦ $\frac{(m_e v'_e)^2}{2}$　⑧ $-\frac{(m_e v'_e)^2}{2}$　⑨ $\frac{m_e (v'_e)^2}{2}$　⓪ $-\frac{m_e (v'_e)^2}{2}$

$\boxed{\text{ノ}}$

① K'_e　② $-K'_e$　③ $\frac{K'_e}{m_e}$　④ $-\frac{K'_e}{m_e}$　⑤ $\frac{2K'_e}{m_e}$

⑥ $-\frac{2K'_e}{m_e}$　⑦ $\frac{\sqrt{2K'_e}}{m_e}$　⑧ $-\frac{\sqrt{2K'_e}}{m_e}$　⑨ $\sqrt{\frac{2K'_e}{m_e}}$　⓪ $-\sqrt{\frac{2K'_e}{m_e}}$

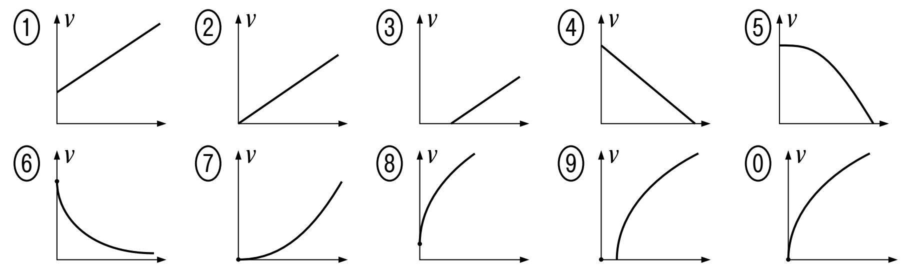
$\boxed{\text{ハ}}$

① $(1+c)\frac{K'_e}{2}$　② $(1-c)\frac{K'_e}{2}$　③ $\left(1+\frac{2c}{m_e}\right)\frac{K'_e}{2}$　④ $\left(1-\frac{2c}{m_e}\right)\frac{K'_e}{2}$

⑤ $\frac{K'_e}{2}+c\sqrt{\frac{m_e K'_e}{2}}$　⑥ $\frac{K'_e}{2}-c\sqrt{\frac{m_e K'_e}{2}}$　⑦ $-\frac{K'_e}{2}+c\sqrt{\frac{m_e K'_e}{2}}$

⑧ $\frac{K'_e}{2}+c\sqrt{\frac{K'_e}{2}}$　⑨ $\frac{K'_e}{2}-c\sqrt{\frac{K'_e}{2}}$　⓪ $-\frac{K'_e}{2}+c\sqrt{\frac{K'_e}{2}}$

$\boxed{\text{ヒ}}$，$\boxed{\text{フ}}$　（横軸は，$\boxed{\text{ヒ}}$ のグラフでは K'_e，$\boxed{\text{フ}}$ のグラフでは X とする。）



$\boxed{\text{ヘ}}$

① 横軸との交点での X の値　② 縦軸との交点での ν の値　③ 傾きの値

④ 傾きの値の $\frac{1}{2}$ 乗　⑤ 傾きの値の逆数　⑥ 傾きの値の逆数の $\frac{1}{2}$ 乗

［Ⅲ］図のように，水平な台の上に質量 m の小物体Ａを置き，小物体Ａから，なめらかに回る軽い滑車を介して軽い糸で質量 M の小物体Ｂをつるす。台は水平方向に動かすことができる。台と小物体Ａの間の静止摩擦係数を μ_0，動摩擦係数を μ_1 $(\mu_1 < \mu_0)$ とする。重力加速度の大きさを g とし，空気抵抗を無視する。水平右向きに x 軸をとり，鉛直上向きに y 軸をとる。以下では，台および小物体Ａ，Ｂは滑車に接触しないものとする。

はじめに，台を床に固定した場合を考える。この場合，小物体Ａは静止し続けていた。

(1) 小物体Ａに働く台からの垂直抗力の大きさを N_0，糸の張力の大きさを T_0，摩擦力の大きさを R_0 とする。N_0，T_0，R_0 をそれぞれ m，M，g の中から必要な量で表せ。

(2) 小物体Ａが静止し続けるために M が満たすべき条件は，不等式 $M \leqq \overline{M}$ で表される。$\overline{M}$ を m，μ_0，g の中から必要な量で表せ。

以下では，台が大きさ c の加速度で等加速度運動を行う場合を考える。時刻０での台の速さを v_0 とし，台の速度，加速度はどちらも x 軸の正の向きとする。小物体Ａと台は時刻０に同じ速度とする。

(3) 時刻 t での台の速度の x 成分 $v_x(t)$ を c，v_0，t で表せ。

(4) 時刻０での小物体Ａの運動エネルギー K_0 を m，g，c，v_0 の中から必要な量で表せ。

台の加速度の大きさが c_1 の場合，時刻０から小物体Ａと台は同じ速度で運動し続けたとする。

(5) 台が距離 d だけ移動する間に重力が小物体Ａにした仕事を W_a，重力が小物体Ｂにした仕事を W_b とする。W_a，W_b をそれぞれ m，M，g，v_0，d の中から必要な量で表せ。

(6) 小物体Ｂに働く糸の張力の大きさを T_1 とする。運動方程式を使って，T_1 を m，M，μ_0，μ_1，g，c_1 の中から必要な量で表せ。

(7) 小物体Ａに働く台からの摩擦力の大きさを R_1 とする。運動方程式を使って，R_1 を m，M，μ_0，μ_1，g，c_1 の中から必要な量で表せ。

(8) 小物体Ａと台が同じ速度で運動し続けるために c_1 が満たすべき条件は，不等式 $c_1 \leqq \bar{c}$ で表される。$\bar{c}$ を m，M，μ_0，μ_1，g の中から必要な量で表せ。

台の加速度の大きさが c_2 $(c_2 > \bar{c})$ の場合を考える。この場合の小物体Ａの加速度の x 成分を a_x とし，小物体Ａに働く糸の張力の大きさを T_2 とする。

(9) 小物体Ａの運動方程式を使って，T_2 を m，μ_0，μ_1，g，c_2，a_x の中から必要な量で表せ。

(10) 小物体Ｂの運動方程式を使って，T_2 を M，g，c_2，a_x の中から必要な量で表せ。

(11) a_x，T_2 をそれぞれ m，M，μ_0，μ_1，g，c_2 の中から必要な量で表せ。