2022年度　前期B方式入学試験問題

Ⅰ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（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）
◆建築学科／かおりデザイン専攻（Ⅰ型）
◆情報システム学科
◆情報デザイン学科（Ⅰ型）
◆総合情報学科／経営情報コース（Ⅰ型）
◆総合情報学科／スポーツ情報コース（Ⅰ型）

物　　理

受験上の注意

※必須教科を含め３教科受験型です。受験する教科数に過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Ａ（ＯＣＲ用紙）**は１枚、**解答用紙Ｂ**は１枚です。

3．試験監督者の指示により、受験番号を解答用紙Ａ（OCR用紙）と解答用紙Ｂの指定された場所に必ず記入してください。

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．問題の余白は計算に使用しても結構です。

8．解答用紙Ａ（ＯＣＲ用紙）の記入上の注意

（ア）解答用紙Ａは、直接コンピュータ処理をするため、汚したり、折り曲げたりしないでください。

（イ）記入は、鉛筆もしくはシャープペンで、ていねいに記入してください。
また、訂正の場合は消しゴムで完全に消してください。

（ウ）解答は「記入文字例」の数字を参考に記入してください。

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つずつ選べ。解答群の中の番号は，同じものを何度使っても良い。

(1) 図１に示す平行板コンデンサーについて考える。この平行板コンデンサーは真空中に置かれているものとする。平行板コンデンサーを構成する二枚の極板は同一形状であり，距離 d だけ離れた位置に平行を保ち設置されている。極板の面積を S，真空の誘電率を ε_0 としたとき，このコンデンサーの電気容量 $C=\boxed{\text{ア}}$ である。このコンデンサーの極板間の電位差が V（$V>0$）のとき，コンデンサーが蓄えた電気量 q は C を用いて表すと $q=\boxed{\text{イ}}$ となり，蓄えた静電エネルギー $U=\boxed{\text{ウ}}$ となる。これらに $C=\boxed{\text{ア}}$ を代入すると $q=\boxed{\text{エ}}$，$U=\boxed{\text{オ}}$ となる。

(2) 問(1)に述べた平行板コンデンサーにおいて，極板間の電位差 V を維持した状態で，一方の極板を固定したまま他方の極板を d よりも十分小さい距離 Δd だけゆっくりと遠ざけた。この操作の後，コンデンサーの電気容量 $C'=\boxed{\text{カ}}$ であり，コンデンサーの蓄えた静電エネルギー $U'=\boxed{\text{キ}}$ である。遠ざけたことによる静電エネルギーの変化量 ΔU は $U'-U$ と等しいため $\Delta U=-\boxed{\text{ク}}$ である。また，遠ざけたあとのコンデンサーの電気量を q' とすると，遠ざけたことによる電気量の変化量 Δq は $q'-q$ と等しいため $\Delta q=-\boxed{\text{ケ}}$ である。電位差とは「$\boxed{\text{コ}}$」であるから，この Δq だけの変化の間に電位差 V を与える電池がした仕事 $W_I=-\boxed{\text{サ}}$ と表すことができる。極板を遠ざけた際に平板同士の引力と逆向きに加えた外力 F がした仕事 W_F は ΔU および W_I を用いて $W_F=\Delta U-W_I$ と表せるから，Δd が d と比較して十分小さい場合は $\dfrac{\Delta d}{d+\Delta d}\fallingdotseq\dfrac{\Delta d}{d}$ と近似して $F=\boxed{\text{シ}}$ と表すことができる。

(3) 平行板コンデンサーを応用することで微小な距離を捉えることができる。それを示すため図１の回路の電源を交流電源に置き換えた図２の回路を考える。回路中の交流電源の時刻 t での出力電流 I は $I=I_0\sin(\omega t)$ とする。ここでは電流振幅を I_0，角周波数を ω とした。コンデンサーの容量リアクタンスは $\boxed{\text{ス}}$ であるから，コンデンサーにかかる電圧の振幅 V_1 は $\boxed{\text{セ}}$ となる。V_1 を測定し，この式に代入することで d を求めることができる。このように電気容量を利用して距離を測定するセンサーのことを静電容量式変位計という。

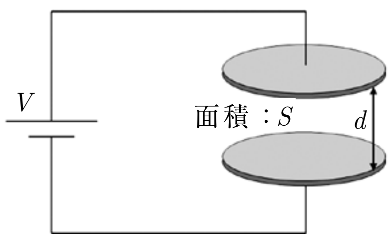


図１

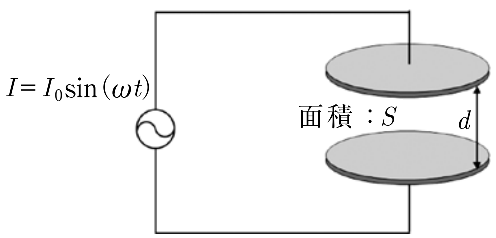


図２

解答群

$\boxed{\text{ア}}$

① $\varepsilon_0\dfrac{d}{S}$　② $\varepsilon_0\dfrac{S}{d}$　③ $d\dfrac{S}{\varepsilon_0}$　④ $\varepsilon_0\dfrac{d^2}{S}$

⑤ $\varepsilon_0\left(\dfrac{d}{S}\right)^2$　⑥ $\varepsilon_0\dfrac{S^2}{d}$　⑦ $\varepsilon_0\left(\dfrac{S}{d}\right)^2$　⑧ $d\left(\dfrac{\varepsilon_0}{S}\right)^2$

$\boxed{\text{イ}}$，$\boxed{\text{ウ}}$

① CV　② $\dfrac{V}{C}$　③ C^2V　④ $\dfrac{V^2}{C}$　⑤ $\dfrac{1}{2}CV$

⑥ $\dfrac{1}{2}C^2V$　⑦ $\dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{V^2}{C}$　⑧ $\dfrac{1}{2}CV^2$　⑨ CV^2　⓪ $\dfrac{C}{V^2}$

$\boxed{\text{エ}}$，$\boxed{\text{オ}}$

① $\varepsilon_0\dfrac{d}{S}V$　② $\dfrac{d}{\varepsilon_0 S}V$　③ $d\dfrac{S^2}{{\varepsilon_0}^2}V$　④ $\dfrac{d}{\varepsilon_0 S}V^2$　⑤ $\dfrac{1}{2}\varepsilon_0\dfrac{d}{S}V$

⑥ $\dfrac{1}{2}{\varepsilon_0}^2\dfrac{S^2}{d^2}V$　⑦ $\dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{d}{\varepsilon_0 S}V^2$　⑧ $\dfrac{1}{2}\varepsilon_0\dfrac{S}{d}V^2$　⑨ $\varepsilon_0\dfrac{S}{d}V$　⓪ $\varepsilon_0\dfrac{S^2}{dV^2}$

$\boxed{\text{カ}}$

① $\varepsilon_0\dfrac{d+\Delta d}{S}$　② $\varepsilon_0\dfrac{S}{d+\Delta d}$　③ $(d+\Delta d)\dfrac{S}{\varepsilon_0}$　④ $\varepsilon_0\dfrac{(d+\Delta d)^2}{S}$

⑤ $\varepsilon_0\left(\dfrac{d-\Delta d}{S}\right)^2$　⑥ $\varepsilon_0\dfrac{S^2}{d-\Delta d}$　⑦ $\varepsilon_0\left(\dfrac{S}{d-\Delta d}\right)^2$　⑧ $(d+\Delta d)\left(\dfrac{\varepsilon_0}{S}\right)^2$

$\boxed{\text{キ}}$

① $\varepsilon_0\dfrac{(d+\Delta d)^2}{S}V$　② $\dfrac{1}{\varepsilon_0}\left(\dfrac{S}{d-\Delta d}\right)^2V$　③ ${\varepsilon_0}^2\left(\dfrac{S}{d-\Delta d}\right)^2V$　④ $\dfrac{1}{(d+\Delta d)}\left(\dfrac{S}{\varepsilon_0}\right)^2V^2$

⑤ $\dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{(d+\Delta d)S}{\varepsilon_0}V$　⑥ $\dfrac{1}{2}\varepsilon_0\left(\dfrac{d-\Delta d}{S}\right)^2V$　⑦ $\dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{1}{\varepsilon_0}\left(\dfrac{d-\Delta d}{S}\right)^2V^2$

⑧ $\dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{\varepsilon_0 S}{d+\Delta d}V^2$　⑨ $\varepsilon_0\dfrac{d+\Delta d}{S}V^2$　⓪ $\dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{\varepsilon_0}{d-\Delta d}\left(\dfrac{S}{V}\right)^2$

$\boxed{\text{ク}}$，$\boxed{\text{ケ}}$，$\boxed{\text{サ}}$

① $\dfrac{\varepsilon_0 S\Delta d}{(d+\Delta d)d}V$　② $\dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{\varepsilon_0(\Delta d-2d)\Delta d}{S}V$　③ $\dfrac{2{\varepsilon_0}^2S^2\Delta d}{(d-\Delta d)^2d}V$

④ $\dfrac{2d-\Delta d}{(d+\Delta d)d}\left(\dfrac{S}{\varepsilon_0}\right)^2V^2$　⑤ $\dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{S\Delta d}{\varepsilon_0}V$　⑥ $\dfrac{S^2\Delta d}{\varepsilon_0(d-\Delta d)d}V$

⑦ $\dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{(\Delta d-2d)\Delta d}{\varepsilon_0 S}V^2$　⑧ $\dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{\varepsilon_0 S\Delta d}{(d+\Delta d)d}V^2$　⑨ $\dfrac{\varepsilon_0\Delta d}{S}(2d+\Delta d)V$

⓪ $\dfrac{\varepsilon_0 S\Delta d}{(d+\Delta d)d}V^2$

コ
① +1Nの静電気力による位置エネルギーの差
② +1Cあたりの静電気力による位置エネルギーの差
③ 静電気力による電荷の移動距離+1mあたりの仕事の差
④ +1N/Cの強さの電場において電荷+1Cあたりの静電気力
⑤ 電荷の速さ+1m/sあたりの運動エネルギーの差
⑥ 電気量+1Cの電荷がもつ運動エネルギーの差

シ
① $\frac{1}{2}\varepsilon_0 S\frac{V^2}{\varDelta d}$　② $\frac{1}{2}\varepsilon_0 S\left(\frac{V}{d}\right)^2\varDelta d$　③ $\frac{1}{2}\varepsilon_0 S\left(\frac{V}{d}\right)^2$
④ $\frac{1}{2}\varepsilon_0 S\frac{\varDelta d}{d}V^2$　⑤ $\frac{1}{2}\varepsilon_0 S\frac{V^2}{d}$

ス ， セ
① $\frac{\varepsilon_0\omega S}{d}$　② $\frac{\varepsilon_0 S}{\omega d}$　③ $\frac{\varepsilon_0\omega d}{S}$　④ $\frac{d}{\omega\varepsilon_0 S}$　⑤ $\frac{\varepsilon_0 d^2}{\omega S}$
⑥ $\frac{I_0 d}{\omega\varepsilon_0 S}$　⑦ $\frac{\varepsilon_0\omega S I_0}{d}$　⑧ $\frac{\varepsilon_0 d^2 I_0}{\omega S}$　⑨ $\frac{\varepsilon_0 S I_0}{\omega d}$　⓪ $\frac{\varepsilon_0\omega d I_0}{S}$

［Ⅱ］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。

20 世紀に入ってから，原子のような極めて小さい粒子の振る舞いや，光の速さのような極めて速い現象の研究が可能になり，明らかになった事実に次の二つがある。

事実Ａ：電子も光も，粒子の性質（粒子性）と波動の性質（波動性）をあわせもつ。

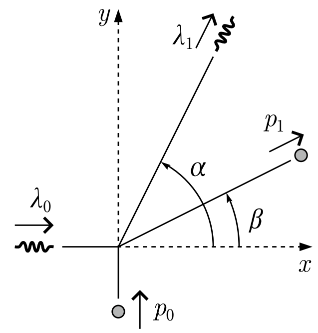
事実Ｂ：光の粒子性に注目すると，質量はゼロだがエネルギーをもち，常に光速で運動し続ける粒子（光子）とみなせる。

以下，真空中で，光子と電子が何の力も受けずに運動し，かつ電子の速度は光速より十分遅い場合を考える。また，真空中の光速を c，プランク定数を h，電子の質量を m_{e} とする。

(1) 事実Ａについて，電子あるいは光の粒子性から得られる運動量 p と波動性から得られる波長 λ を使って $h=\boxed{ア}$ が成立する。さらに，光の場合は，粒子性から得られるエネルギー K_γ と波動性から得られる振動数 ν_γ を使って $h=\boxed{イ}$ が成立する。

(2) 電子の粒子性から得られる運動量 p_{e} と運動エネルギー K_{e} を使って $m_{\mathrm{e}}=\boxed{ウ}$ が成立する。また，光の波動性から得られる波長 λ_γ と振動数 ν_γ を使って $c=\boxed{エ}$ が成立する。

以上を踏まえ，事実Ａの粒子性によって生じる光子と電子の衝突に注目しよう。この衝突の前後で，電子の速さは変化するが，事実Ｂのため光子の速さは光速のままで変化せず波長（あるいは振動数）が変化する。以下，このような光子の波長の変化を，右図の状況設定で考える。



右図の設定では，真空中で，波長 λ_0 の光子と運動量 p_0 の電子が，それぞれ x 軸と y 軸に沿って飛来して原点で衝突し，衝突後の光子と電子も xy 平面上を運動する。ただし，衝突の際には光子と電子の間に衝撃の力が働くとみなしてよいが，衝突の前後では光子にも電子にも何の力も働かない。そして，衝突後の光子は波長 λ_1 で x 軸から角 α の方向に直進し，衝突後の電子は運動量 p_1 で x 軸から角 β の方向に直進する。

(3) 光子と電子の粒子性から，運動量保存則が成立して次の式を得る。

$$x\text{成分：}\ \frac{\boxed{オ}}{\lambda_0}=\frac{\boxed{カ}}{\lambda_1}+\boxed{キ}\ ,\quad y\text{成分：}\ \boxed{ク}=\frac{\boxed{ケ}}{\lambda_1}+\boxed{コ}$$

さらに，エネルギー保存則も成立して次の式を得る。

$$\frac{\boxed{サ}}{\lambda_0}+\frac{p_0^2}{\boxed{シ}}=\frac{\boxed{サ}}{\lambda_1}+\frac{p_1^2}{\boxed{シ}}$$

この三式から p_1 と β を消去し，λ_1 と λ_0 の差が十分に小さい場合を考えて，近似式 $\frac{\lambda_1}{\lambda_0}+\frac{\lambda_0}{\lambda_1}\fallingdotseq 2$ を使うと，次の式を得る。

$$\lambda_1-\lambda_0\fallingdotseq\boxed{ス}\times\left[1-\left(\cos\alpha+\frac{\lambda_0 p_0}{\boxed{セ}}\sin\alpha\right)\right]$$

(4)　$c=3.0\times10^{8}$m/s，$h=6.6\times10^{-34}$Js，$m_e=9.1\times10^{-31}$kgである。角$\alpha=\pi/3$ rad，$\lambda_0=1.0\times10^{-6}$m（近赤外線）の場合，衝突によって光子のエネルギーが増加するためには，衝突前の電子の速さv_0 $\boxed{ソ}$ m/sでなければならない。

解答群

$\boxed{ア}$
① $\frac{\lambda}{p}$　② $\frac{p}{\lambda}$　③ $p\lambda$　④ $\frac{c\lambda}{p}$　⑤ $\frac{\lambda}{pc}$
⑥ $\frac{pc}{\lambda}$　⑦ $\frac{p}{\lambda c}$　⑧ $\frac{p\lambda}{c}$　⑨ $\frac{c}{p\lambda}$　⓪ $p\lambda c$

$\boxed{イ}$
① $\frac{v_\gamma}{K_\gamma}$　② $\frac{K_\gamma}{v_\gamma}$　③ $K_\gamma v_\gamma$　④ $\frac{cv_\gamma}{K_\gamma}$　⑤ $\frac{v_\gamma}{K_\gamma c}$
⑥ $\frac{K_\gamma c}{v_\gamma}$　⑦ $\frac{K_\gamma}{v_\gamma c}$　⑧ $\frac{K_\gamma v_\gamma}{c}$　⑨ $\frac{c}{K_\gamma v_\gamma}$

$\boxed{ウ}$
① p_e^2　② $p_e^2 c$　③ $\frac{p_e^2}{c}$　④ $K_e p_e^2$　⑤ $\frac{p_e^2}{K_e}$
⑥ $\frac{K_e p_e^2}{c}$　⑦ $\frac{K_e p_e^2}{2}$　⑧ $\frac{p_e^2}{2K_e}$　⑨ $\frac{K_e p_e^2}{2c}$

$\boxed{エ}$
① $\lambda_\gamma v_\gamma$　② $\frac{\lambda_\gamma}{v_\gamma}$　③ $\frac{v_\gamma}{\lambda_\gamma}$　④ $\lambda_\gamma v_\gamma^2$　⑤ $\frac{\lambda_\gamma v_\gamma^2}{2}$
⑥ $v_\gamma \lambda_\gamma^2$　⑦ $\frac{v_\gamma \lambda_\gamma^2}{2}$　⑧ $\lambda_\gamma^2 v_\gamma^2$　⑨ $\frac{\lambda_\gamma^2 v_\gamma^2}{2}$

$\boxed{オ}$，$\boxed{カ}$，$\boxed{ケ}$，$\boxed{サ}$，$\boxed{セ}$
① 1　② h　③ c　④ hc　⑤ $h\sin\alpha$
⑥ $c\sin\alpha$　⑦ $hc\sin\alpha$　⑧ $h\cos\alpha$　⑨ $c\cos\alpha$　⓪ $hc\cos\alpha$

$\boxed{キ}$，$\boxed{ク}$，$\boxed{コ}$，$\boxed{シ}$
① p_0　② p_1　③ m_e　④ $m_e h$　⑤ $m_e c$
⑥ $2m_e$　⑦ $p_0\sin\beta$　⑧ $p_0\cos\beta$　⑨ $p_1\sin\beta$　⓪ $p_1\cos\beta$

$\boxed{ス}$
① 2　② $\frac{ch}{m_e}$　③ $\frac{hm_e}{c}$　④ $\frac{m_e c}{h}$　⑤ $\frac{m_e}{ch}$
⑥ $\frac{c}{hm_e}$　⑦ $\frac{h}{m_e c}$　⑧ $\frac{m_e}{2ch}$　⑨ $\frac{c}{2hm_e}$　⓪ $\frac{h}{2m_e c}$

$\boxed{ソ}$（数値は解答群の中から最も近いものを選べ）
① $>1.3\times10^{8}$　② $<1.3\times10^{8}$　③ $>1.9\times10^{5}$　④ $<1.9\times10^{5}$
⑤ $>4.2\times10^{2}$　⑥ $<4.2\times10^{2}$　⑦ $>6.5\times10^{2}$　⑧ $<6.5\times10^{2}$

［Ⅲ］地球から作用する万有引力について考える。地球を密度が均一な球体と仮定し，その半径を R，質量を M とする。地球の中心から r（$r\geqq R$）だけ離れた位置にある質量 m_0 の小物体と地球の間にはたらく万有引力の大きさは，$G\dfrac{m_0M}{r^2}$（G は万有引力定数）で表される。

まず，地表（地球の中心から R だけ離れた位置）における重力と万有引力の関係について考える。地表における重力加速度の大きさを g とする。

(1)　地表に置かれた質量 m_0 の小物体にはたらく重力の大きさ F_0 を，m_0，M，g の中から必要な量を用いて表せ。

(2)　地表に置かれた質量 m_0 の小物体にはたらく重力の大きさ F_0 が，この小物体に地球から働く万有引力の大きさに等しいとする。万有引力定数 G を，m_0，M，R，g の中から必要な量を用いて表せ。

次に図のように，地球から作用する万有引力を向心力として，地球の周りを等速円運動する人工衛星について考える。人工衛星の質量を m とし，大きさは無視する。人工衛星の等速円運動の軌道半径を h（$h>R$），速さを v とする。

(3)　人工衛星の等速円運動の向心加速度の大きさ a を，m，h，v の中から必要な量を用いて表せ。

(4)　人工衛星の等速円運動の中心方向に対する運動方程式を，a，m，M，h，G の中から必要な量を用いて表せ。ただし，左辺，右辺ともに力の次元（単位）を持った式で表すこと。

(5)　人工衛星の速さ v を，m，M，h，G の中から必要な量を用いて表せ。

(6)　人工衛星の角速度ωを，m，h，v の中から必要な量を用いて表せ。

(7)　人工衛星の軌道半径 h を，m，ω，M，R，G の中から必要な量を用いて表せ。

この人工衛星が，地球が1回自転する間に地球の周りを2周回る軌道（準同期軌道）を運動している場合を考える。地球の自転周期を T_E とする。

(8)　準同期軌道の軌道半径 h_Q を，m，T_E，M，R，g の中から必要な量を用いて表せ。

(9)　軌道半径 h_Q と地球の半径 R との比を概算する。$T_E=24$ 時間，$g=9.8$ m/s^2，$R=6.4\times10^{6}$m として，$n\leqq\dfrac{h_Q}{R}<n+1$ を満たす自然数 n を求めよ。