平成29年度　　　　　　　　　　　　　　　　〔試験時間　80分〕

Ｚ３物　理　　　　　Ｚ４化　学

この冊子は，物理と化学の問題を１冊にまとめてあります。

建築学科，電気電子情報工学科及び機械工学科は物理指定

先端化学科は化学指定

土木工学科は，物理または化学のどちらかを選択

物理の問題は，１ページより25ページまであります。
化学の問題は，26ページより38ページまであります。

〔注　　　意〕

(1) 試験開始の指示があるまで，この冊子を開いてはいけません。

(2) 監督者から受験番号等記入の指示があったら，解答用マークシートに受験番号と氏名を記入し，さらに受験番号をマークしてください。

(3) 解答は，所定の解答用マークシートにマークしたものだけが採点されます。

(4) 解答用マークシートについて

① 解答用マークシートは，絶対に折り曲げてはいけません。

② マークには黒鉛筆(ＨＢまたはＢ)を使用してください。
指定の黒鉛筆以外でマークした場合，採点できないことがあります。

③ 誤ってマークした場合は，消しゴムで丁寧に消し，消しくずを完全に取り除いたうえ，新たにマークしてください。

④ 解答欄のマークは，横１行について１箇所に限ります。
２箇所以上マークすると採点されません。
あいまいなマークは無効となるので，はっきりマークしてください。

⑤ 解答用マークシートに記載されている解答上の注意事項を，必ず読んでから解答してください。

(5) 試験開始の指示があったら，初めに問題冊子のページ数を確認してください。
ページの落丁・乱丁，印刷不鮮明等に気づいた場合は，手を挙げて監督者に知らせてください。

(6) 問題冊子は，試験終了後，持ち帰ってください。

◇M36(461―654)

物　　　理

1 次の問題の $\boxed{}$ の中に入れるべき最も適当なものをそれぞれの**解答群**の中から選び，その番号を**解答用マークシート**の指定された欄にマークしなさい。(同じ番号を何回用いてもよい。)　　　　(35 点)

ある日，M さんは公園で子供たちが遊んでいる様子を眺めていた。子供たちは滑り台に向かって下からボールを投げ上げて遊んでいた。ボールは滑り台の斜面に何度か衝突し，最後には投げた子供の所に戻ってきた。家に帰ってきた M さんは，ボールの運動を物理的に解析することにした。

図 1-1 のように，滑り台の形状は単純化し，水平面から角度 θ [rad] $(\theta > 0)$ だけ傾いたなめらかな斜面としてモデル化する。斜面はじゅうぶんに長いとする。斜面の下端を座標原点 O とし，斜面に沿って上向きに x 軸，斜面に垂直な方向に y 軸をとる。ボールはこの xy 面内で運動する。ボールは x 軸から投射角 α [rad] をなす方向に，時刻 $t = 0$ s に座標原点から投げられる。ただし，$\alpha > 0$ であり，$0 < \theta + \alpha < \dfrac{\pi}{2}$ を満たすとする。ボールの質量は m [kg] で，大きさは無視できるくらいにじゅうぶん小さい。ボールの初速度の大きさは v_0 [m/s]，斜面のはねかえり係数（反発係数）は 1 であるとする。また，重力加速度の大きさは g [m/s^2] で，空気抵抗は無視できるとする。

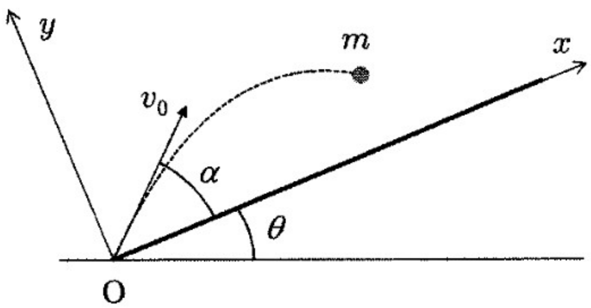


図 1-1

右のページは白紙です。

(1) まず，ボールが最初に斜面に衝突するまでの運動を考える。ボールの x 座標と y 座標について運動方程式をたてると，どちらの座標成分も等加速度運動になることがわかる。それらの運動方程式を解くと，時刻 t [s] における速度の x 成分は $\boxed{\textbf{(ア)}}$ [m/s] で，y 成分は $\boxed{\textbf{(イ)}}$ [m/s] である。ボールが最初に斜面に衝突する時刻 t_1 [s] は，$t_1 = \boxed{\textbf{(ウ)}} \times \dfrac{v_0}{g}$ で，そのときの x 座標は $\boxed{\textbf{(エ)}} \times \dfrac{v_0^2}{g}$ [m] である。また，斜面に衝突する直前のボールの速度の x 成分は $\boxed{\textbf{(オ)}} \times v_0$ [m/s] で，y 成分は $\boxed{\textbf{(カ)}} \times v_0$ [m/s] である。

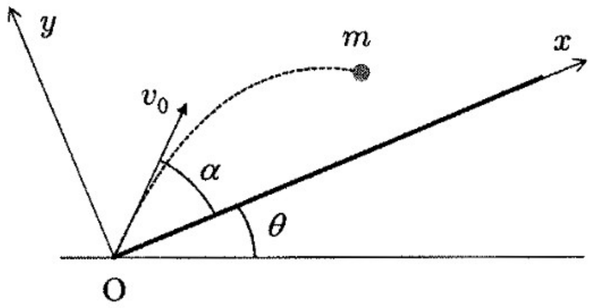


図 1-1（再掲）

右のページは白紙です。

(ア)，(イ) の解答群

⓪ $v_0 \cos\alpha$　　① $v_0 \sin\alpha - gt$

② $v_0 \cos(\theta+\alpha)$　　③ $v_0 \sin(\theta+\alpha) - gt$

④ $v_0 \cos\alpha - (g\sin\theta)t$　　⑤ $v_0 \sin\alpha - (g\cos\theta)t$

⑥ $v_0 \cos(\theta+\alpha) - (g\sin\theta)t$　　⑦ $v_0 \sin(\theta+\alpha) - (g\cos\theta)t$

(ウ) の解答群

⓪ $\sin\alpha$　　① $2\sin\alpha$　　② $\sin(\theta+\alpha)$　　③ $2\sin(\theta+\alpha)$

④ $\dfrac{\sin\alpha}{\cos\theta}$　　⑤ $\dfrac{2\sin\alpha}{\cos\theta}$　　⑥ $\dfrac{\sin(\theta+\alpha)}{\cos\theta}$　　⑦ $\dfrac{2\sin(\theta+\alpha)}{\cos\theta}$

(エ) の解答群

⓪ $\sin 2\alpha$　　① $\sin 2\theta$　　② $\sin\{2(\theta+\alpha)\}$

③ $\dfrac{2\sin\alpha\cos(\theta+\alpha)}{\cos^2\theta}$　　④ $\dfrac{2\sin\alpha\sin(\theta+\alpha)}{\cos^2\theta}$

⑤ $\dfrac{\cos\{2(\theta+\alpha)\}}{\cos^2\theta}$　　⑥ $\dfrac{\sin\{2(\theta+\alpha)\}}{\cos^2\theta}$

(オ), (カ) の解答群

⓪ 0	① $\cos\alpha$	② $-\cos\alpha$
③ $-\sin\alpha$	④ $\cos(\theta+\alpha)$	⑤ $-\sin(\theta+\alpha)$
⑥ $\dfrac{2\sin\theta\sin\alpha}{\cos^2\theta}$	⑦ $\dfrac{2\sin\theta\sin(\theta+\alpha)}{\cos^2\theta}$	
⑧ $\left(\cos\alpha-\dfrac{\sin\theta\sin\alpha}{\cos\theta}\right)$	⑨ $\left(\cos\alpha-\dfrac{2\sin\theta\sin\alpha}{\cos\theta}\right)$	

(2)　投射角によってボールの運動の様子は変化し，投げたボールが原点に戻ってくる場合がある。まず，**図 1-2** のように，ボールが一度だけ斜面に衝突し，それまでの軌道を反対方向に進んで原点に戻ってくる場合を考える。このとき，投射角は $\tan\alpha =$ **(キ)** を満たさなければならない。また，原点に戻ってくる時刻は **(ク)** $\times t_1$ [s] である。

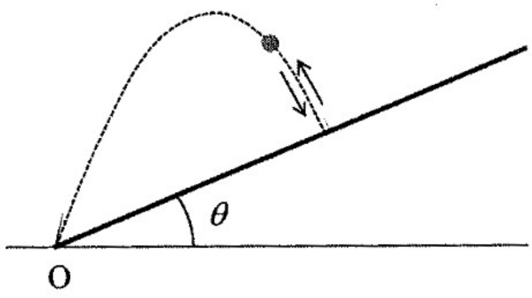


図 1-2

(キ) の解答群

⓪ $\tan\theta$　① $\frac{1}{2}\tan\theta$　② $\frac{1}{3}\tan\theta$　③ $\frac{1}{4}\tan\theta$

④ $\frac{1}{\tan\theta}$　⑤ $\frac{1}{2\tan\theta}$　⑥ $\frac{1}{3\tan\theta}$　⑦ $\frac{1}{4\tan\theta}$

(ク) の解答群

⓪ $\frac{3}{2}$　① $\frac{5}{3}$　② 2　③ $\frac{8}{3}$

④ 3　⑤ $\frac{10}{3}$　⑥ 4　⑦ $\frac{9}{2}$

(3) 前問で考えた**図 1-2** の運動をグラフで表すことを考える。この運動の y 座標を縦軸にとり，時刻 t を横軸にして，$t = 0$ s からボールが原点に戻ってくる時刻までの範囲でグラフを描くと $\boxed{\textbf{(ケ)}}$ のようになる。同様に，x 座標を縦軸にとり，横軸を時刻 t としてグラフを描くと $\boxed{\textbf{(コ)}}$ のようになる。

次に，別の投射角でボールを投げると，**図 1-3** のように，ボールは最初に斜面に衝突した後に鉛直方向にはね上がる場合がある。はね上がったボールは最高点に達して落下し，再び斜面に衝突してから原点に戻ってくる。この運動の y 座標を縦軸にとり，時刻 t を横軸にして，$t = 0$ s からボールが原点に戻ってくる時刻までの範囲でグラフを描くと $\boxed{\textbf{(サ)}}$ のようになる。この運動でボールが原点に戻ってくる時刻は $\boxed{\textbf{(シ)}} \times t_1$ [s] であり，投射角は $\tan\alpha = \boxed{\textbf{(ス)}}$ を満たさなければならない。

投げたボールが原点に戻ってくることは，x 座標と y 座標が同じ時刻に 0 m になることを意味する。その時刻までにボールが斜面に衝突する回数が奇数か偶数かによって，ボールが原点に戻ってくる場合の運動を二種類に分類することができる。一つは**図 1-2** のように，ある衝突の後にそれまでの軌道を反対方向に進む運動で，もう一つは**図 1-3** のように鉛直方向にはね上がる衝突が含まれる運動である。

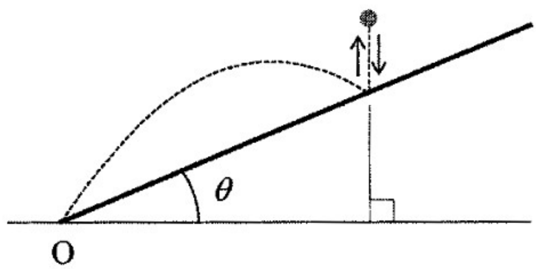
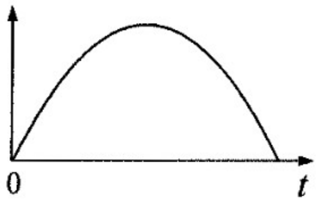


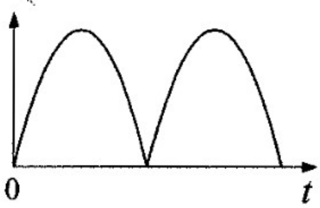
図 1-3

(ケ), (コ), (サ) の解答群

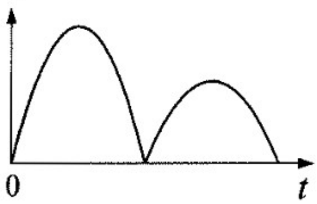
⓪



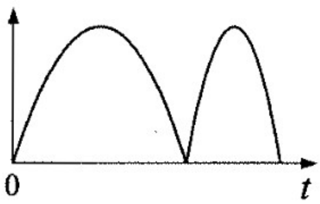
①



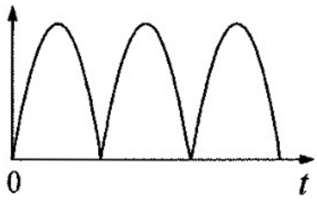
②



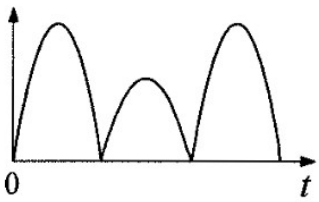
③



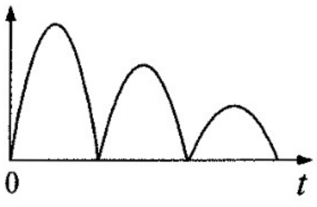
④



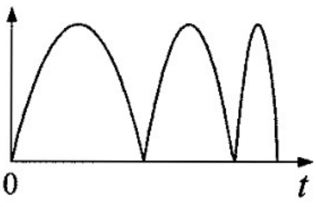
⑤



⑥



⑦



(シ) の解答群

⓪ $\frac{1}{2}$	① 1	② $\frac{3}{2}$	③ 2
④ $\frac{5}{2}$	⑤ 3	⑥ $\frac{7}{2}$	⑦ 4

(ス) の解答群

⓪ $\tan\theta$	① $\frac{1}{2}\tan\theta$	② $\frac{1}{3}\tan\theta$	③ $\frac{1}{4}\tan\theta$
④ $\frac{1}{\tan\theta}$	⑤ $\frac{1}{2\tan\theta}$	⑥ $\frac{1}{3\tan\theta}$	⑦ $\frac{1}{4\tan\theta}$

左のページは白紙です。

2 　次の問題の $\boxed{}$ の中に入れるべき最も適当なものをそれぞれの**解答群**の中から選び，その番号を**解答用マークシート**の指定された欄にマークしなさい。(同じ番号を何回用いてもよい。)　　(40 点)

以下，図中の矢印の方向を電流の正方向とする。

(1) **図 2-1** のような回路を流れる定常電流を考える。電池の起電力を V [V]，電池から流れ出す電流を I [A]，三つの電気抵抗それぞれの抵抗値を R_1 [Ω]，R_2 [Ω]，R_3 [Ω] とする。またそれぞれの電気抵抗を流れる電流を I_1 [A]，I_2 [A]，I_3 [A]，それぞれの電気抵抗両端間の電位差 (右端からみた左端の電位) を V_1 [V]，V_2 [V]，V_3 [V] とする。電池の内部抵抗は無視できるものとする。

これらの電流や電圧の間に $\boxed{\text{(ア)}}$ の関係が成り立つので，これらの関係式とオームの法則を用いて，$I_3 = \boxed{\text{(イ)}} \times V$，$V_3 = \boxed{\text{(ウ)}} \times V$ であることがわかる。また，この回路全体で単位時間あたりに生じるジュール熱は $\boxed{\text{(エ)}}$ [W] と求められる。

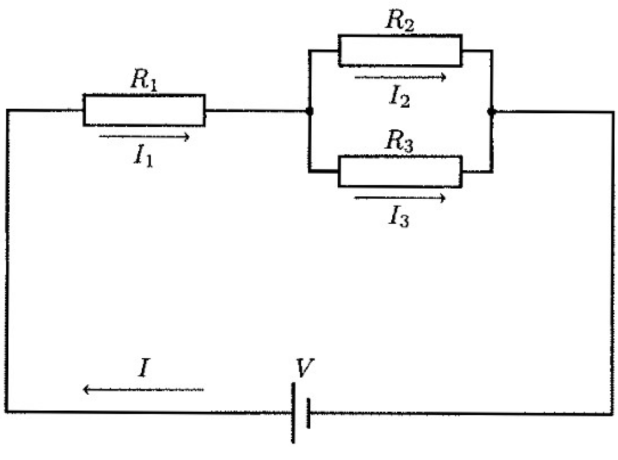


図 2-1

右のページは白紙です。

(ア) の解答群

⓪ $I = I_1 = I_2 = I_3$, $V = V_1 = V_2 = V_3$

① $I = I_1 + I_2 + I_3$, $V = V_1 + V_2 + V_3$

② $I = I_1 = I_2 = I_3$, $V = V_1 + V_2 + V_3$

③ $I = I_1 + I_2 + I_3$, $V = V_1 = V_2 = V_3$

④ $I = I_1 = I_2 + I_3$, $V = V_1 = V_2 = V_3$

⑤ $I = I_1 = I_2 + I_3$, $V = V_1 + V_2 + V_3$

⑥ $I = I_1 = I_2 + I_3$, $V = V_1 + V_2 = V_1 + V_3$

(イ) の解答群

⓪ 0

① $\dfrac{1}{R_3}$

② $\dfrac{1}{R_1 + R_2 + R_3}$

③ $\dfrac{1}{R_1 + R_3}$

④ $\dfrac{R_1 + R_3}{R_1 R_3}$

⑤ $\dfrac{R_1 + R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}$

⑥ $\dfrac{R_2}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}$

⑦ $\dfrac{R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}$

(ウ) の解答群

⓪ 0

① 1

② $\dfrac{R_3}{R_1+R_2+R_3}$

③ $\dfrac{R_3}{R_1+R_3}$

④ $\dfrac{R_1+R_3}{R_1}$

⑤ $\dfrac{R_3(R_1+R_3)}{R_1R_2+R_1R_3+R_2R_3}$

⑥ $\dfrac{R_2R_3}{R_1R_2+R_1R_3+R_2R_3}$

⑦ $\dfrac{R_3^2}{R_1R_2+R_1R_3+R_2R_3}$

(エ) の解答群

⓪ $\left(\dfrac{1}{R_1}+\dfrac{1}{R_2}+\dfrac{1}{R_3}\right)V^2$

① $(R_1+R_2+R_3)V^2$

② $\left(\dfrac{1}{R_1}+\dfrac{1}{R_2}+\dfrac{1}{R_3}\right)V$

③ $(R_1+R_2+R_3)V$

④ $\dfrac{R_1+R_2+R_3}{R_1R_2+R_1R_3+R_2R_3}V^2$

⑤ $\dfrac{R_2+R_3}{R_1R_2+R_1R_3+R_2R_3}V^2$

⑥ $\dfrac{R_1+R_2+R_3}{R_1R_2+R_1R_3+R_2R_3}V$

⑦ $\dfrac{R_2+R_3}{R_1R_2+R_1R_3+R_2R_3}V$

(2) つづいて，**図 2-2** のような回路を流れている定常電流を考える。電池の起電力を V [V]，電池から流れ出ている電流を I [A]，電気抵抗の抵抗値を R [Ω]，コンデンサーの電気容量を C [F]，コイルの自己インダクタンスを L [H] とする。電気抵抗，コンデンサー，コイルを流れている電流をそれぞれ I_1 [A]，I_2 [A]，I_3 [A]，それぞれの両端間の電位差 (右端からみた左端の電位) を V_1 [V]，V_2 [V]，V_3 [V] とする。また，電池の内部抵抗やコイルの抵抗は無視できるものとする。

このとき，$I =$ **(オ)** $\times V$，$I_1 =$ **(カ)** $\times V$，$I_2 =$ **(キ)** $\times V$，$I_3 =$ **(ク)** $\times V$，$V_1 =$ **(ケ)** $\times V$，$V_2 =$ **(コ)** $\times V$，$V_3 =$ **(サ)** $\times V$ である。また，この回路全体で単位時間あたりに生じるジュール熱は **(シ)** $\times V^2$ [W]，コンデンサーに蓄えられているエネルギーは **(ス)** $\times V^2$ [J]，コイルに蓄えられているエネルギーは **(セ)** $\times V^2$ [J] である。

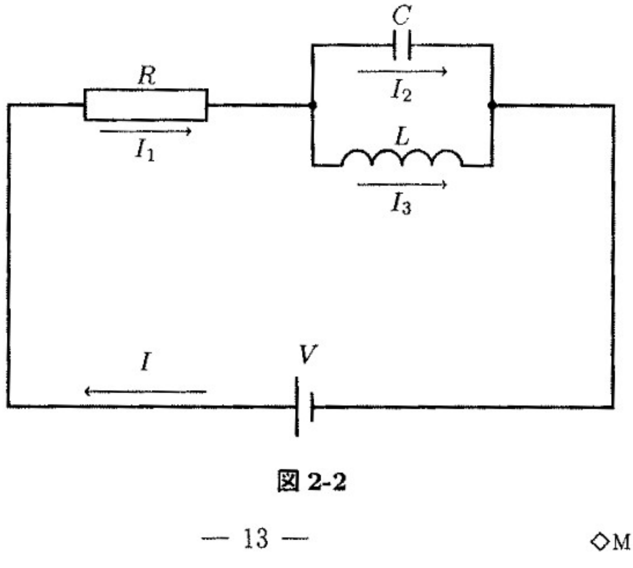


図 2-2

(オ), (カ), (キ), (ク) の解答群

⓪ 0	① 1	② R
③ $\dfrac{1}{R}$	④ C	⑤ $\dfrac{1}{C}$
⑥ L	⑦ $\dfrac{1}{L}$	⑧ LC
⑨ $\dfrac{1}{LC}$		

(ケ), (コ), (サ) の解答群

⓪ 0	① $\dfrac{1}{2}$	② $\dfrac{1}{3}$
③ 1	④ $\dfrac{R}{R+C+L}$	⑤ $\dfrac{C}{R+C+L}$
⑥ $\dfrac{L}{R+C+L}$	⑦ $\dfrac{R}{R+\dfrac{1}{C}+L}$	⑧ $\dfrac{\dfrac{1}{C}}{R+\dfrac{1}{C}+L}$
⑨ $\dfrac{L}{R+\dfrac{1}{C}+L}$		

(シ), (ス), (セ) の解答群

⓪ 0	① $\dfrac{1}{2R}$	② $\dfrac{1}{R}$
③ C	④ $\dfrac{C}{2}$	⑤ L
⑥ $\dfrac{1}{L}$	⑦ $\dfrac{L}{2R^2}$	⑧ $\dfrac{L}{R^2}$

(3) 次に前問の電池を，**図 2-3** のように交流電源に変える。交流の角周波数を ω [rad/s] とし，時刻 t [s] における電源の起電力が $V(t) = V_0 \cos\omega t$ [V] ($V_0 > 0$) で表されるとする。このとき電源から流れ出す電流を $I(t)$ [A]，電気抵抗，コンデンサー，コイルそれぞれを流れている電流を $I_1(t)$ [A]，$I_2(t)$ [A]，$I_3(t)$ [A]，それぞれの両端間の電位差 (右端からみた左端の電位) を $V_1(t)$ [V]，$V_2(t)$ [V]，$V_3(t)$ [V] とすると，交流回路でも $\boxed{\textbf{(ア)}}$ と同様の関係式が成り立つ。以下，このことを用いてこの回路を流れる電流や電位差などを調べてみよう。

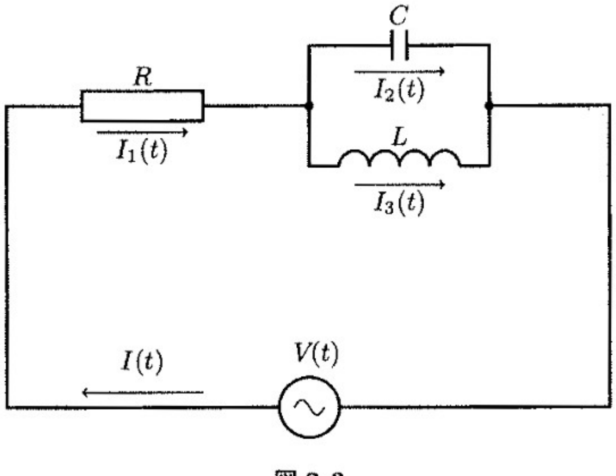
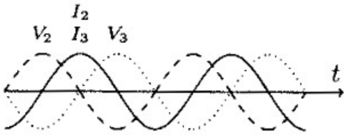
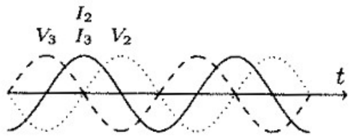


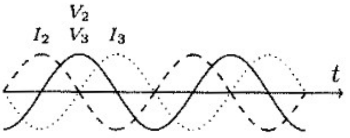
図 2-3

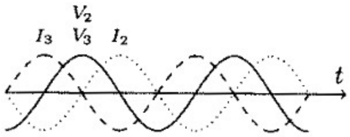
まず，角周波数 ω の交流電流に対してコンデンサーのリアクタンス (容量リアクタンス) は $\dfrac{1}{\omega C}$ $[\Omega]$ であり，コンデンサー両端の電位差 $V_2(t)$ は，流れる電流 $I_2(t)$ より位相が $\dfrac{\pi}{2}$ rad 遅れる。一方，コイルの誘導リアクタンスは ωL $[\Omega]$ であり，コイル両端の電位差 $V_3(t)$ は，流れる電流 $I_3(t)$ より位相が $\dfrac{\pi}{2}$ rad 進むので，I_2, I_3, V_2, V_3 の時間変化をグラフで表現したとき，相対関係を最も適切に表現しているのは解答群の中の $\boxed{\text{(ソ)}}$ である。ただし解答群のグラフは横軸が時間を表し，縦軸の電流や電圧の振幅がそろうよう縦軸の尺度を調整して描いてある。

(ソ) の解答群

⓪


①


②


③


このように交流回路では，電流と電圧 (電位差) の間に位相差が生じることもある。以下，この回路について，位相差やインピーダンスを求めてみよう。

$\boxed{\text{(ア)}}$ や $\boxed{\text{(ソ)}}$ の関係と $\cos(\omega t + \beta \pm \pi) = -\cos(\omega t + \beta)$ の関係を考慮すると，この回路を流れる電流に関しては共通の位相差 β [rad] を用いて，

$$I(t) = I_0 \cos(\omega t + \beta)\ [\mathrm{A}],\quad I_1(t) = I_R \cos(\omega t + \beta)\ [\mathrm{A}],$$
$$I_2(t) = I_C \cos(\omega t + \beta)\ [\mathrm{A}],\quad I_3(t) = I_L \cos(\omega t + \beta)\ [\mathrm{A}]$$

と表すことができる。ただし，この場合 I_0 [A], I_R [A], I_C [A], I_L [A] は正あるいは負の定数である。このとき $V_2(t) = \boxed{\text{(タ)}}$, $V_3(t) = \boxed{\text{(チ)}}$ と書き表すことができ，$V_2(t)$ と $V_3(t)$ の関係より，$I_C = \boxed{\text{(ツ)}} \times I_L$ であることがわかる。さらに I_R, I_C, I_L の関係より，$I_L = \boxed{\text{(テ)}} \times I_R$ となる。これらと $V(t), V_1(t), V_3(t)$ の関係式，さらに公式

$$\cos(\omega t + \beta) = \cos\omega t \cos\beta - \sin\omega t \sin\beta,$$
$$\sin(\omega t + \beta) = \sin\omega t \cos\beta + \cos\omega t \sin\beta$$

などから，関係式

$$\left(V_0 - \boxed{\text{(ト)}} \times I_R\right) \times \cos\omega t = \boxed{\text{(ナ)}} \times I_R \sin\omega t$$

が得られる。そして，この式がすべての t で成り立つためには偶関数 $\cos\omega t$ と奇関数 $\sin\omega t$ の係数 $\left(\text{すなわち}\ \left(V_0 - \boxed{\text{(ト)}} \times I_R\right) \text{と}\ \boxed{\text{(ナ)}} \times I_R\right)$ がともに 0 でなければならない。このことから，位相差 β については $\tan\beta = \boxed{\text{(ニ)}}$，回路のインピーダンス Z [Ω] は $Z = \dfrac{V_0}{|I_0|} = \boxed{\text{(ヌ)}}$ であることがわかる。ただしここでは，$\cos^2\beta = \dfrac{1}{1+\tan^2\beta}$ を用いてよい。また，$\dfrac{1}{\omega L} > \omega C$ を満たすとする。

右のページは白紙です。

(タ) の解答群

⓪ $\omega C I_C \sin(\omega t+\beta)$　① $\omega C I_C \cos(\omega t+\beta)$

② $-\omega C I_C \sin(\omega t+\beta)$　③ $-\omega C I_C \cos(\omega t+\beta)$

④ $\dfrac{1}{\omega C} I_C \sin(\omega t+\beta)$　⑤ $\dfrac{1}{\omega C} I_C \cos(\omega t+\beta)$

⑥ $-\dfrac{1}{\omega C} I_C \sin(\omega t+\beta)$　⑦ $-\dfrac{1}{\omega C} I_C \cos(\omega t+\beta)$

(チ) の解答群

⓪ $\omega L I_L \sin(\omega t+\beta)$　① $\omega L I_L \cos(\omega t+\beta)$

② $-\omega L I_L \sin(\omega t+\beta)$　③ $-\omega L I_L \cos(\omega t+\beta)$

④ $\dfrac{1}{\omega L} I_L \sin(\omega t+\beta)$　⑤ $\dfrac{1}{\omega L} I_L \cos(\omega t+\beta)$

⑥ $-\dfrac{1}{\omega L} I_L \sin(\omega t+\beta)$　⑦ $-\dfrac{1}{\omega L} I_L \cos(\omega t+\beta)$

(ツ)，(テ) の解答群

⓪ $-\dfrac{1}{\omega^2 LC}$　① $\dfrac{1}{\omega^2 LC}$　② $-\omega^2 LC$

③ $\omega^2 LC$　④ $\left(1-\dfrac{1}{\omega^2 LC}\right)$　⑤ $\left(1+\dfrac{1}{\omega^2 LC}\right)$

⑥ $\dfrac{1}{1-\omega^2 LC}$　⑦ $\dfrac{1}{1+\omega^2 LC}$

(ト), (ナ) の解答群

⓪ $\left(R\cos\beta - \dfrac{1}{\frac{1}{\omega L} - \omega C}\sin\beta\right)$　① $\left(R\cos\beta - \dfrac{1}{\frac{1}{\omega L} + \omega C}\sin\beta\right)$

② $\left(R\cos\beta - \dfrac{1}{\frac{1}{\omega C} - \omega L}\sin\beta\right)$　③ $\left(R\cos\beta - \dfrac{1}{\frac{1}{\omega C} + \omega L}\sin\beta\right)$

④ $\left(-R\sin\beta - \dfrac{1}{\frac{1}{\omega L} - \omega C}\cos\beta\right)$　⑤ $\left(-R\sin\beta - \dfrac{1}{\frac{1}{\omega L} + \omega C}\cos\beta\right)$

⑥ $\left(-R\sin\beta - \dfrac{1}{\frac{1}{\omega C} - \omega L}\cos\beta\right)$　⑦ $\left(-R\sin\beta - \dfrac{1}{\frac{1}{\omega C} + \omega L}\cos\beta\right)$

(ニ) の解答群

⓪ $\dfrac{R}{\frac{1}{\omega C} - \omega L}$　① $\dfrac{R}{\frac{1}{\omega C} + \omega L}$　② $\dfrac{R}{\omega C - \frac{1}{\omega L}}$

③ $\dfrac{R}{\omega C + \frac{1}{\omega L}}$　④ $\dfrac{1}{R\left(\frac{1}{\omega C} - \omega L\right)}$　⑤ $\dfrac{1}{R\left(\frac{1}{\omega C} + \omega L\right)}$

⑥ $\dfrac{1}{R\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)}$　⑦ $\dfrac{1}{R\left(\omega C + \frac{1}{\omega L}\right)}$

(ヌ) の解答群

⓪ $\sqrt{R^2 + \left(\omega L + \frac{1}{\omega C}\right)^2}$　① $\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$

② $\sqrt{R^2 + \dfrac{1}{\left(\omega L + \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$　③ $\sqrt{R^2 + \dfrac{1}{\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$

④ $\sqrt{R^2 + \left(\omega C + \frac{1}{\omega L}\right)^2}$　⑤ $\sqrt{R^2 + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)^2}$

⑥ $\sqrt{R^2 + \dfrac{1}{\left(\omega C + \frac{1}{\omega L}\right)^2}}$　⑦ $\sqrt{R^2 + \dfrac{1}{\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)^2}}$

3 次の問題の $\boxed{}$ の中に入れるべき最も適当なものをそれぞれの**解答群**の中から選び，その番号を**解答用マークシート**の指定された欄にマークしなさい。(同じ番号を何回用いてもよい。) (25 点)

結晶の内部では，原子が規則正しく配列して互いに平行な平面（格子面）をなし，それらの格子面が等間隔に並んでいる。結晶にX線を入射させると，結晶を構成する多くの原子によって散乱されたX線は互いに干渉し合い，散乱された方向によって強め合ったり弱め合ったりする。散乱されたX線が強め合う条件をもとに，波長のわかっているX線を用いて結晶の格子面の間隔を求めることができる。この条件について考えてみよう。

(1) **図 3-1** のように，結晶が，その格子面 A，B が紙面（xy 平面）に対して垂直になるように置かれている。格子面は x 軸に平行であり，y 軸方向に等間隔で並んでいる。ここで，黒点が結晶面内の原子を表し，格子面内の x 軸方向の原子の間隔を a [m]，格子面の間隔を b [m] とする。いま，波長 λ [m] のX線が xy 平面内で x 軸に対して θ_0 [rad]（ただし，$0 < \theta_0 < \frac{\pi}{2}$ とする）の角度をなして入射し，x 軸から θ_1 [rad]（ただし，$0 < \theta_1 < \frac{\pi}{2}$ とする）の方向で強め合ったとする。また，この問いでは，$\theta_1 \geqq \theta_0$ とする。

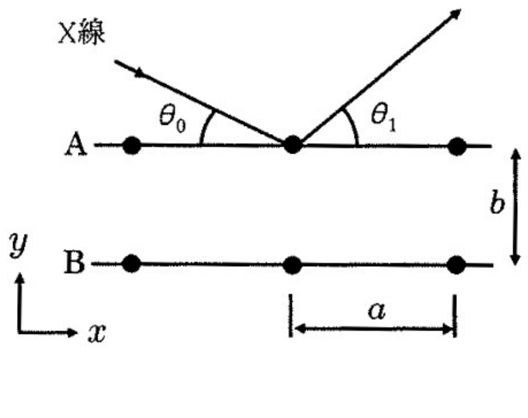


図 3-1

まず，一つの格子面上に並んだ隣り合う原子により散乱された X 線について考える。**図 3-2** において，格子面 A 上の点 O の位置にある原子に入射した X 線と，点 P の位置にある原子に入射した X 線はじゅうぶん遠方にある一つの X 線源から届いたものとする。それらの X 線は，点 O と，OR⊥PR となる点 R では $\boxed{\text{(ア)}}$ 位相である。また，それぞれの原子で散乱された X 線が点 P と，OS⊥PS となる点 S で $\boxed{\text{(イ)}}$ 位相 のとき，じゅうぶん遠方において強め合う。点 P の原子に入射して散乱された X 線の経路は，点 O の原子に入射して散乱された X 線の経路より $a \times \left(\boxed{\text{(ウ)}}\right)$ [m] だけ長いので，θ_1 方向に強め合う条件は $a \times \left(\boxed{\text{(ウ)}}\right) = m\lambda \ (m = 0, 1, 2 \ldots)$ である。さらに $\theta_1 = \theta_0$ となるときは，いつでもこの強め合う条件が満足される。

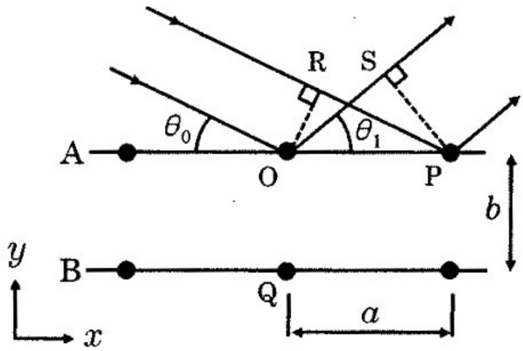


図 3-2

同様にして，隣り合う格子面の原子により散乱された X 線について考える。**図 3-3** において，格子面 B 上にある点 Q の原子に入射して散乱された X 線の経路は，格子面 A 上にある点 O の原子に入射して散乱された X 線の経路より $\boxed{\textbf{(エ)}} \times \left(\boxed{\textbf{(オ)}}\right)$ [m] だけ長いので，θ_1 方向に強め合う条件は $\boxed{\textbf{(エ)}} \times \left(\boxed{\textbf{(オ)}}\right) = n\lambda \ (n = 1, 2, 3 ...)$ である。さらに $\theta_1 = \theta_0$ のとき $\boxed{\textbf{(カ)}} \times \boxed{\textbf{(キ)}} = n\lambda \ (n = 1, 2, 3 ...)$ となり，この条件を満たすとき，すべての格子面上の原子により散乱された X 線が強め合う。この関係をもとに，X 線の強め合う角度 $\theta_1 (= \theta_0)$ と波長 λ から格子面の間隔 b を求めることができる。

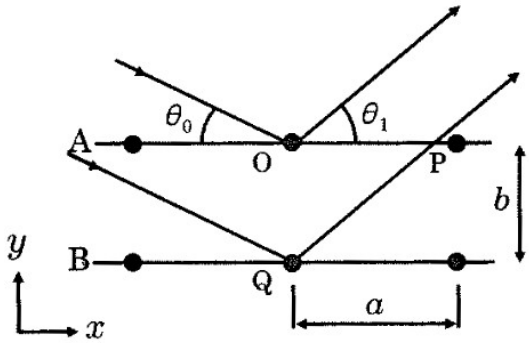


図 3-3

(ア), (イ) の解答群

⓪ 同　　① 逆

(ウ), (オ) の解答群

⓪ $\sin\theta_0 + \cos\theta_1$　　① $\sin\theta_0 - \cos\theta_1$　　② $\cos\theta_1 - \sin\theta_0$

③ $\sin\theta_0 + \sin\theta_1$　　④ $\sin\theta_0 - \sin\theta_1$　　⑤ $\sin\theta_1 - \sin\theta_0$

⑥ $\cos\theta_0 + \cos\theta_1$　　⑦ $\cos\theta_0 - \cos\theta_1$　　⑧ $\cos\theta_1 - \cos\theta_0$

(エ), (カ) の解答群

⓪ $\sqrt{2}\,a$　　① $\sqrt{2}\,b$　　② $\sqrt{2}\,(a+b)$

③ a　　④ b　　⑤ $(a+b)$

⑥ $2a$　　⑦ $2b$　　⑧ $2(a+b)$

(キ) の解答群

⓪ $\sin\theta_0$　　① $\cos\theta_0$　　② $(\sin\theta_0 + \cos\theta_0)$

③ $(\sin\theta_0 - \cos\theta_0)$　　④ $\sin 2\theta_0$　　⑤ $\cos 2\theta_0$

(2) つぎに，X線ではなく電子線を照射する場合を考える。図 3-4 に示すように，電子が結晶の表面に垂直に入射し，結晶表面を構成する原子によって散乱されたとする。散乱された電子は互いに干渉し合い，ある特定の方向に強め合う。電子線を格子間隔 a [m] の結晶に照射したとき，電子が結晶表面によって散乱され，強め合う角度 ϕ [rad]（ただし，$0 < \phi < \frac{\pi}{2}$ とする）と電子のド・ブロイ波長 λ_D [m] の間には，$\boxed{\text{(ク)}} = n\lambda_D$ $(n = 1, 2, 3...)$ の関係がある。

電圧 V [V] を印加した電極間で電子を初速 0 m/s から加速すると，加速後の電子の速さ v [m/s] は，電子の質量 m [kg]，電気素量 e [C] などを用いて，$v = \boxed{\text{(ケ)}}$ と表される。また，電子のド・ブロイ波長は，プランク定数 h [J s]，電子の質量 m，電子の速さ v を用いて，$\lambda_D = \boxed{\text{(コ)}}$ と表される。以上より，電圧 V と電子線が強め合う角度 ϕ との関係は $V = \boxed{\text{(サ)}}$ $(n = 1, 2, 3...)$ となる。この関係をもとに結晶表面の格子間隔 a を求めることができる。

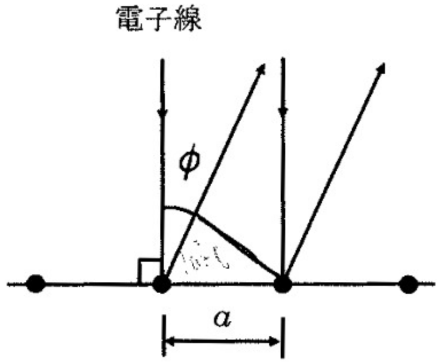


図 3-4

(ク) の解答群

⓪ $\frac{a}{2}\cos\phi$　① $a\cos\phi$　② $2a\cos\phi$

③ $\frac{a}{2}\sin\phi$　④ $a\sin\phi$　⑤ $2a\sin\phi$

(ケ) の解答群

⓪ $\sqrt{\frac{eV}{2m}}$　① $\sqrt{\frac{eV}{m}}$　② $\sqrt{\frac{2eV}{m}}$

③ $\frac{\sqrt{eV}}{2m}$　④ $\frac{\sqrt{eV}}{m}$　⑤ $\frac{\sqrt{2eV}}{m}$

⑥ $\frac{eV}{2m}$　⑦ $\frac{eV}{m}$　⑧ $\frac{2eV}{m}$

(コ) の解答群

⓪ $\frac{2h^2}{mv}$　① $\frac{h^2}{2mv}$　② $\frac{h^2}{mv}$

③ $\frac{2h}{mv}$　④ $\frac{h}{2mv}$　⑤ $\frac{h}{mv}$

⑥ $\frac{2h}{mv^2}$　⑦ $\frac{h}{2mv^2}$　⑧ $\frac{h}{mv^2}$

(サ) の解答群

⓪ $\frac{n^2h^2}{mea^2\sin^2\phi}$　① $\frac{n^2h^2}{2mea^2\sin^2\phi}$　② $\frac{n^2h^2}{4mea^2\sin^2\phi}$

③ $\frac{2n^2h^2}{mea^2\sin^2\phi}$　④ $\frac{4n^2h^2}{mea^2\sin^2\phi}$