

選択科目

(医学部)

— 2月2日 —

物 理
化 学
生 物

この中から1科目を選択して解答しなさい。

科 目	問 題 の ペ ー ジ
物 理	1～8
化 学	9～18
生 物	19～32

選択した科目の解答用紙をビニール袋から取り出し、解答はすべて選択した科目の解答用紙に記入して提出しなさい。

- 1 図1のように、二つの抵抗器 R , r 、コイル L 、正弦波の交流電圧を加えることができる交流電源 V 、スイッチ S_1 , S_2 からなる回路がある。

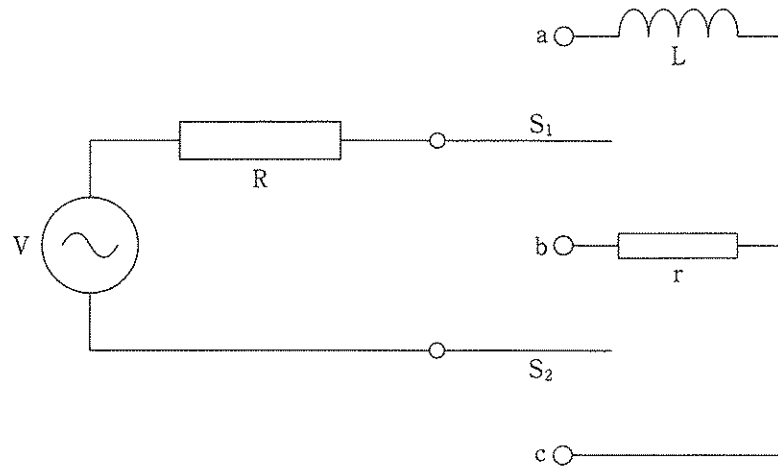


図 1

S_1 と S_2 をともに b 側に入れたところ、電源電圧の時間的変化は図2のようであり、回路に流れる電流の時間的変化は図3のようになった。また、 S_1 を a 側に、 S_2 を b 側に入れたところ、電源電圧の時間的変化は図2と同じであったが、回路に流れる電流の時間的変化は図4のようになった。次の各問いに数値で答えなさい。ただし、円周率は π とする。また、 $\cos \frac{\pi}{6} = \frac{\sqrt{3}}{2}$, $\sin \frac{\pi}{6} = \frac{1}{2}$, $\cos \frac{\pi}{4} = \sin \frac{\pi}{4} = \frac{\sqrt{2}}{2}$, $\cos \frac{\pi}{3} = \frac{1}{2}$, $\sin \frac{\pi}{3} = \frac{\sqrt{3}}{2}$ の中から必要なものを用いなさい。なお、 $\tan(\alpha \pm \beta) = \frac{\tan \alpha \pm \tan \beta}{1 \mp \tan \alpha \tan \beta}$ (複号同順) を用いてもよい。

- (1) コイル L の自己インダクタンス [H] を求めなさい。
- (2) 抵抗器 r の抵抗値 [Ω] を求めなさい。
- (3) S_1 を a 側に、 S_2 を b 側に入れたときの、 ab より右側にあるコイル L と抵抗器 r の合計の平均消費電力 [W] を求めなさい。
- (4) (3) の配線で、 ab 間電圧と電源電圧の位相差を θ とする。電源の周波数を 0 から連続的に増加させ、周波数とともに θ がどのように変わるかを調べた。 θ の値は、しだいに増加したが、ある周波数を境に減少に転じ、再び増加することはなかった。 θ が最大値をとったときの、電源の周波数 [Hz] を求めなさい。
- (5) 次に S_1 を a 側に入れたまま、 S_2 を c 側に入れる。このとき電源電圧と回路に流れる電流の位相差を、図2の電源電圧と図4の電流の位相差に等しくとりたい。設定すべき電源の周波数 [Hz] を求めなさい。

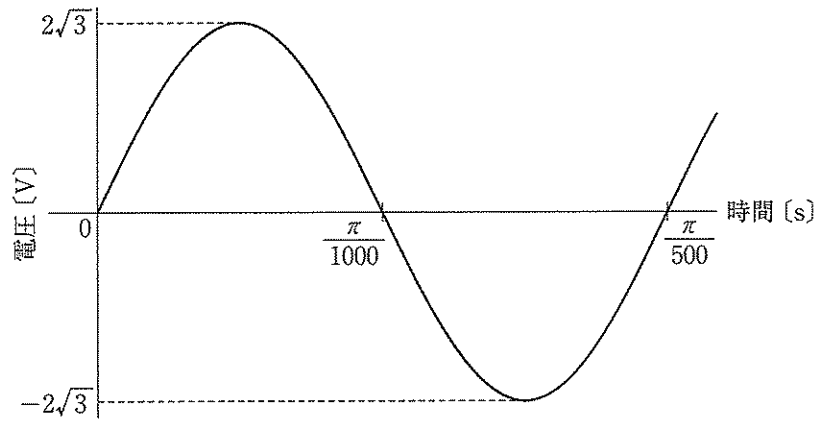


図 2

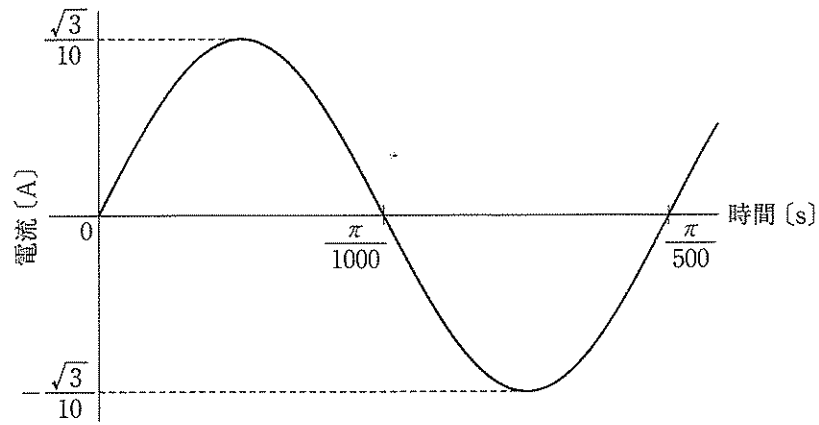


図 3

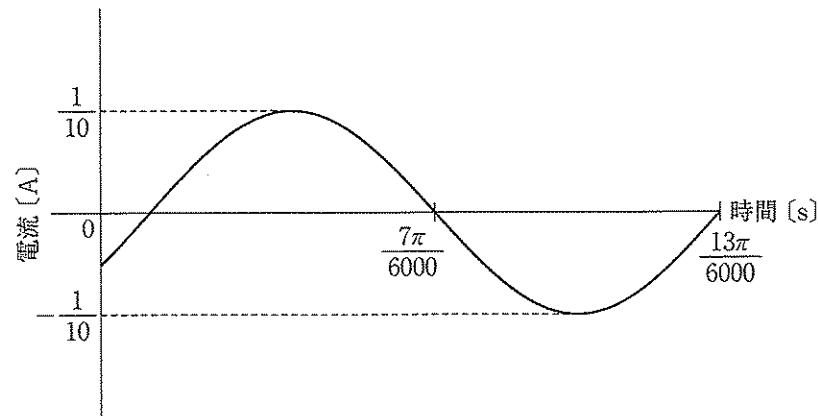
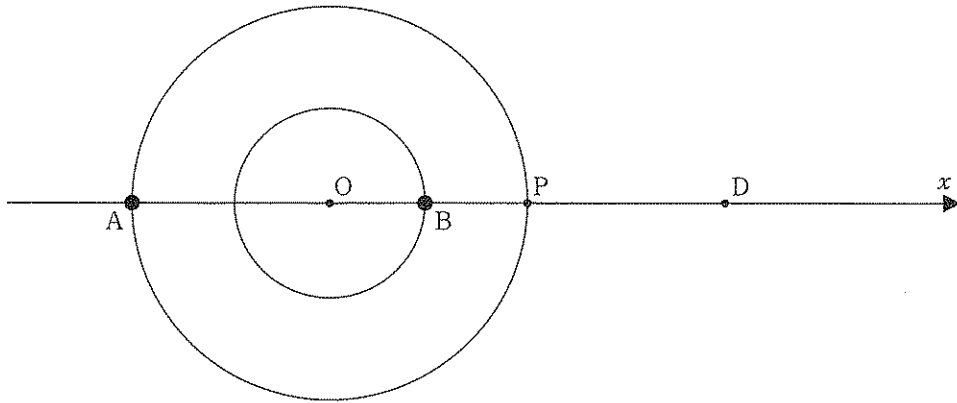


図 4

2

図のように質点 A, B は万有引力の作用により x 軸上の重心 O を中心に, それぞれ異なる円周上を同じ周期 T , それぞれの速さ v_A, v_B で等速円運動をしている。質点 A, B の質量は m_A, m_B であり, 二つの質点間の距離 a は一定である。質点 A, B は波長 λ_0 の光を発し, 観測者 D は, 図のように円周上の P 点に対して x 軸上右側で静止して到達する光を観測する。質点 A は反時計まわりに回転している。観測者によって観測される光の波長は, 音源が動く場合の音波の波長と同様にドップラー効果によって変化する。ここで, 質点の速さは光の速さ c より充分遅いものとし, 観測者は質点の運動に影響を与えないものとする。万有引力定数を G , 円周率を π とし, 次の各問いに答えなさい。



- (1) 質点 A の速さ v_A を G, a, m_A, m_B を用いて表しなさい。
- (2) 質点 A, B の質量の和 $m_A + m_B$ を G, π, v_A, v_B, T を用いて表しなさい。

今, P 点から観測者 D までの距離は, 質点 A の円運動の半径に等しいものとする。

- (3) 質点 A からの光の波長が観測者 D によって最も短く観測される時, 質点 B の位置を x 軸からの角度 θ ($\theta = \angle DOB$, ただし, $0 \leq \theta < 2\pi$) で答えなさい。ここで, θ は反時計まわりを正とする。
- (4) 質点 A, B からの光の波長が, 観測者 D によってそれぞれ最も短く観測される時, λ_0 に対して, λ_A, λ_B だけそれぞれ短くなっている。質点 A の質量 m_A を $c, T, \pi, G, \lambda_0, \lambda_A, \lambda_B$ を用いて表しなさい。

次に, 観測者 D は P 点から充分遠いところで静止しているものとする。

- (5) 観測者 D は点滅する光 (うなり) を観測することになるが, 点滅の周波数は円運動の 1 周期の間に変化する。点滅の周波数の最大値を F とするとき, 質点 A, B の質量の和 $m_A + m_B$ を F, T, π, G, λ_0 を用いて表しなさい。ここで, X の絶対値が 1 より充分に小さいとき, 近似式 $(1+X)^n \approx 1+nX$ が成り立つものとする。

3 静止している電子を電圧 V [V] で加速させて得られた電子線をある有限な大きさの結晶に入射させることを考える。結晶は最近接原子間隔が a [m] であり、図1のようにお互いに直交する x 軸、 y 軸を導入した際、原子の位置座標は $(x, y) = (ia, ja)$ (ただし、 i, j は整数) と表されるものとする。ここで、結晶全体の大きさは a に比べて非常に大きいため、 i, j はあらゆる整数の値をとれるものとする。また、電子線は y 軸に平行に、 $y = -\infty$ の方向から結晶に入射する。なお、入射電子線により、結晶構造は変化しないものとする。次の各問いについて、それぞれの解答群の中から最も適切なものを一つ選び、解答欄の記号にマークしなさい。ただし、電子の質量を m_e [kg]、電子の電気量を $-e$ [C]、プランク定数を h [J·s] とする。

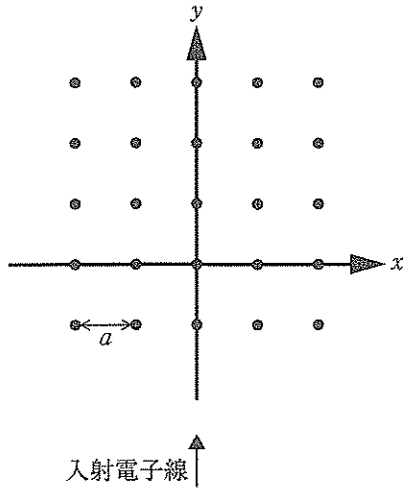


図1

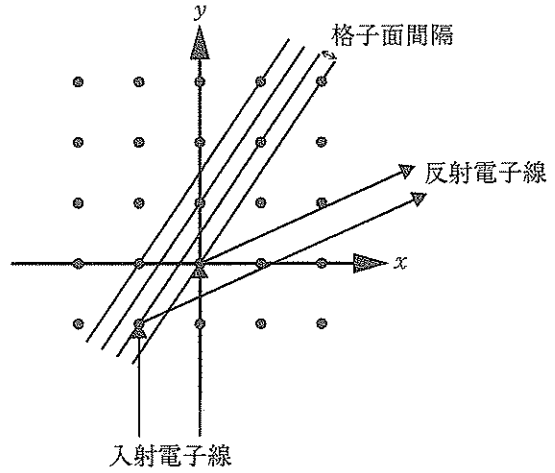


図2 $(l, m) = (2, 3)$ の場合

(1) 電圧 V で加速させて得られた電子線中の電子のド・ブROI波長 [m] を求めなさい。

入射した電子線は結晶中の原子に衝突し反射するが、様々な格子面における反射を考えることができる。以下の問いでは格子面は常に (x, y) 平面に垂直であり、入射電子線と反射電子線は (x, y) 平面内を通るものとする。また、ある格子面に対する反射を考えた際、その格子面と入射電子線の間の角度とその格子面と反射電子線の間の角度は常に等しく、一度反射した電子線がさらに別の原子と衝突して、さらなる反射を起こすことはないものとする。

(2) 図2のように $(0, 0)$ の位置にある原子と (la, ma) の位置にある原子を直線で結んだ線を含む格子面 $S_{l,m}$ による反射を考える (ただし、図2は $(l, m) = (2, 3)$ の場合である)。ここで、 $|l|, |m|$ は互いに素な正の整数とし、 $(l, m) \neq (0, 0)$ であり、 l もしくは m が0の場合は、それぞれ $(l, m) = (0, 1)$, $(l, m) = (1, 0)$ とする。このとき、 $S_{l,m}$ に平行ないくつかの格子面を考えることができる。隣り合う格子面の間隔 [m] を求めなさい。

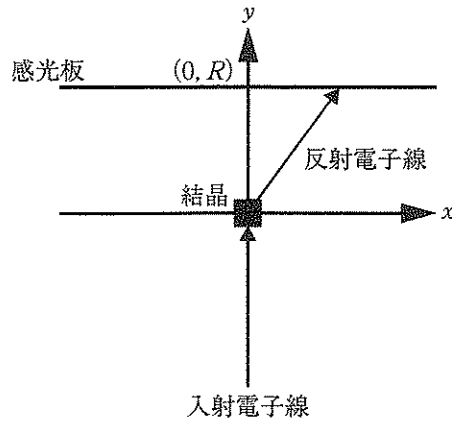


図 3

- (3) (2)で求めた間隔で並んでいる格子面 $S_{l,m}$ に関して、隣り合う格子面で反射された電子線が強め合う条件を非負の整数 n ($n = 0, 1, 2, 3, \dots$) を用いて書き表しなさい。ただし、この問いの答えでは(1)で得られたド・ブROI波長を λ [m] とする。

ここで、図3のように結晶から距離 R [m] ($R > 0$) 離れた位置 ($y = R$) に、 x 軸に平行に電子線に反応する感光板を置く。ただし、結晶の大きさに対して R は充分大きく、 R に対して結晶の大きさは無視できるものとする。

- (4) 格子面 $S_{l,m}$ で反射された電子線が感光板に当たったとき、その位置の x 座標の絶対値 [m] を求めなさい。

実際には、異なる (l, m) の値に従い様々な格子面があり、(3)で求めた反射電子線が強め合う条件を満たす (l, m) のそれぞれに対応して感光板が反応する。

- (5) 電圧 V を調節し、 $\frac{1}{5}a$ の波長を持つ電子線を結晶に入射させたところ、感光板のいくつかの点で反応があった。位置 $(0, R)$ から一番近くで反応があった点の x 座標の絶対値 [m] を求めなさい。ただし、 $x = 0$ を除く。

[解答群]

(1) ア. $\frac{h}{\sqrt{m_e eV}}$ イ. $h\sqrt{\frac{m_e}{2eV}}$ ウ. $\frac{\sqrt{2}h}{\sqrt{m_e eV}}$ エ. $\frac{h}{\sqrt{2m_e eV}}$

オ. $h\sqrt{\frac{m_e}{eV}}$ カ. $h\sqrt{\frac{2m_e}{eV}}$

(2) ア. $\frac{|l|a}{\sqrt{l^2+m^2}}$ イ. $\frac{|m|a}{\sqrt{l^2+m^2}}$ ウ. $\frac{|m-l|a}{\sqrt{l^2+m^2}}$ エ. $\frac{|m+l|a}{\sqrt{l^2+m^2}}$

オ. $\frac{|lm|a}{\sqrt{l^2+m^2}}$ カ. $\frac{a}{\sqrt{l^2+m^2}}$

(3) ア. $\frac{2|l|a}{l^2+m^2} = n\lambda$ イ. $\frac{2|m|a}{l^2+m^2} = n\lambda$ ウ. $\frac{2|m-l|a}{l^2+m^2} = n\lambda$ エ. $\frac{2|m+l|a}{l^2+m^2} = n\lambda$

オ. $\frac{2|lm|a}{l^2+m^2} = n\lambda$ カ. $\frac{2a}{l^2+m^2} = n\lambda$

(4) ア. $\frac{2R|l|}{m^2-l^2}$ イ. $\frac{2R|m|}{m^2-l^2}$ ウ. $\frac{2R|m-l|}{m^2-l^2}$ エ. $\frac{2R|m+l|}{m^2-l^2}$

オ. $\frac{2R|lm|}{m^2-l^2}$ カ. $\frac{2R}{m^2-l^2}$

(5) ア. $\frac{4}{3}R$ イ. R ウ. $\frac{3}{4}R$ エ. $\frac{2}{3}R$ オ. $\frac{3}{2}R$ カ. $\frac{1}{4}R$

4 浅く水をはった、波長に比べて充分大きい水槽内の水面上を伝わる波を考える。図1は1辺が x 軸に接した直方形の水槽を真上から見た様子で、水深の違う領域1、領域2、領域3がある。領域2は底辺が x 軸上にあり頂角が角度 θ をもつ直角三角形の形状をしている。図2は水槽を真横から見た様子で、水深はそれぞれの領域内で一定であり、領域1の深さは D [m]、領域3の深さは $\frac{D}{4}$ [m]である。各領域での波の速さは水の深さの平方根に比例している。この水槽に、 x 軸に平行に伝わる振動数 f [Hz]の平面波を発生させたところ、領域1内における波の数は x 軸と平行方向の長さ L [m]の中に N 個あった。領域のそれぞれの境界では波の屈折が生じ、領域2の屈折角を α 、領域3の屈折角を β とする。各領域の境界や反射壁以外の水槽の壁での反射は無視できるものとし、次の各問いについて、それぞれの解答群の中から最も適切なものを一つ選び、解答欄の記号にマークしなさい。

- (1) 領域2における波の速さを求めなさい。
- (2) 領域2の水の深さを求めなさい。
- (3) この波が領域3に入ったとき、 $\sin \beta$ を求めなさい。

この波は領域3に入った後に x 軸に垂直な反射壁で反射する。反射壁での反射は自由端反射とみなせる。入射波と反射波は干渉して合成波をつくる。

- (4) この合成波を x 軸に平行な鉛直断面で観測したとき、領域3における入射波と反射波の重なりが弱めあう点の間隔を求めなさい。
- (5) 反射壁に沿って伝わる合成波の速さを求めなさい。

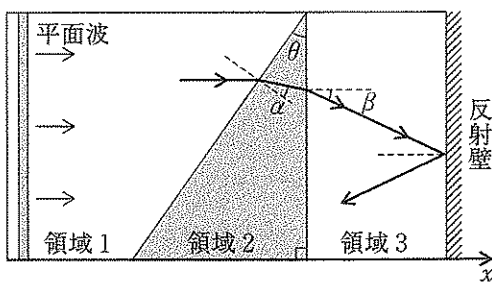


図1

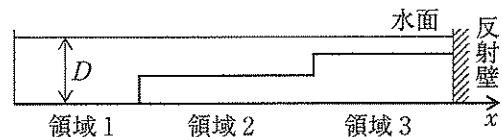


図2

[解答群]

(1) ア. $\frac{fL \cos \theta}{N \cos \alpha}$ イ. $\frac{fL \sin \alpha}{N \sin \theta}$ ウ. $\frac{LN \cos \beta}{f \cos \alpha}$ エ. $\frac{LN \sin \alpha}{f \sin \beta}$

オ. $\frac{L \cos \alpha}{fN \cos \theta}$ カ. $\frac{L \sin \theta}{fN \sin \alpha}$

(2) ア. $\left(\frac{f \cos \beta}{\cos \alpha}\right) D$ イ. $\left(\frac{L \cos \alpha}{f \cos \theta}\right) D$ ウ. $\left(\frac{\cos \theta}{\cos \alpha}\right)^2 D$ エ. $\left(\frac{\sin \beta}{\sin \alpha}\right) D$

オ. $\left(\frac{\sin \alpha}{\sin \theta}\right)^2 D$ カ. $\left(\frac{\sin \theta}{\sin \alpha}\right)^2 D$

(3) ア. $\frac{1}{2} \sin \theta$ イ. $\frac{\sin^2 \theta}{2 \sin \alpha}$ ウ. $\frac{1}{2} \left(\frac{\sin^2 \theta}{\tan \alpha} - \frac{1}{2} \sin 2\theta \right)$ エ. $\sin^2 \theta - \frac{\sin 2\theta}{2 \tan \alpha}$

オ. $\frac{\sin 2\alpha}{\sin^2 \theta} - \frac{1}{\tan \alpha}$ カ. $\sin^2 \theta \tan \alpha + \frac{1}{2} \sin 2\theta$

(4) ア. $\frac{L}{4N \cos \beta}$ イ. $\frac{L \sin \alpha}{2N \cos \beta}$ ウ. $\frac{L}{N \cos(\beta - \alpha)}$ エ. $\frac{L}{N \sin \beta}$

オ. $\frac{LN}{4} \sin \beta$ カ. $\frac{L}{2 \sin(\beta - \alpha)}$

(5) ア. $\frac{2L}{fN \cos \beta}$ イ. $\frac{L}{fN \cos(\beta - \alpha)}$ ウ. $\frac{fL}{4N} \cos \beta$ エ. $\frac{fL}{2N \sin \beta}$

オ. $\frac{LN}{2f \sin(\beta - \alpha)}$ カ. $\frac{fL}{4N \sin \beta}$