

平成 23 年度

問題冊子

教科	科目	ページ数
理科	物理	10

試験開始の合図があるまで、問題冊子を開かないこと。

解答の書き方

1. 解答は、すべて別紙解答用紙の所定欄に、はつきりと記入すること。
2. 解答を訂正する場合は、きれいに消してから記入すること。
3. 解答用紙には、解答と選択した選択問題の番号、志望学部及び受験番号のほかはいっさい記入しないこと。
4. 問題 [IV]、[V] は選択問題である。どちらか一方のみを解答すること。
両方を解答してはいけない。選択問題 [IV]、[V] のうち、選択した問題の番号を解答用紙 3 ページ目の所定の枠内に記入すること。

注意事項

1. 試験開始の合図の後、解答用紙 1 ページ目、3 ページ目に志望学部及び受験番号を必ず書くこと。
2. 選択科目は、願書に記載したものと違ったものについて答えてはいけない。
3. 下書き用紙は、片面だけ使用すること。
4. 問題の内容についての質問には、いっさい応じないが、その他の用事があるときは、だまって手をあげて、監督者の指示を受けること。
5. 試験終了時には、解答用紙を机上の右側に置くこと。
6. 試験終了後、問題冊子および下書き用紙は持ち帰ること。

[I] 図1のように床の上に置かれた高さ h の台の上に、直径 d が等しく、長さが異なる鉄の丸棒 B と C が少し離れて紙面に垂直になるように置かれている。長さ l の軽くて細い糸の一端に直径 d の鉄の球 A をつけ、他端を点 O に固定する。糸を張りながら球 A を持ち上げ、糸が水平となる位置で、球 A を静かに放す。丸棒 B と丸棒 C の重心は球 A の重心が通る鉛直面にあるものとする。球 A, 丸棒 B, 丸棒 C のそれぞれの質量を M , m_1 , m_2 として、以下の問い合わせに答えなさい。ただし、球 A, 丸棒 B, 丸棒 C の直径 d は糸の長さ l に比べて十分小さいものとする。また、球 A と台、丸棒 B と台、丸棒 C と台の間の摩擦は無視できるものとし、すべての衝突は弾性的とする。重力加速度は g とする。

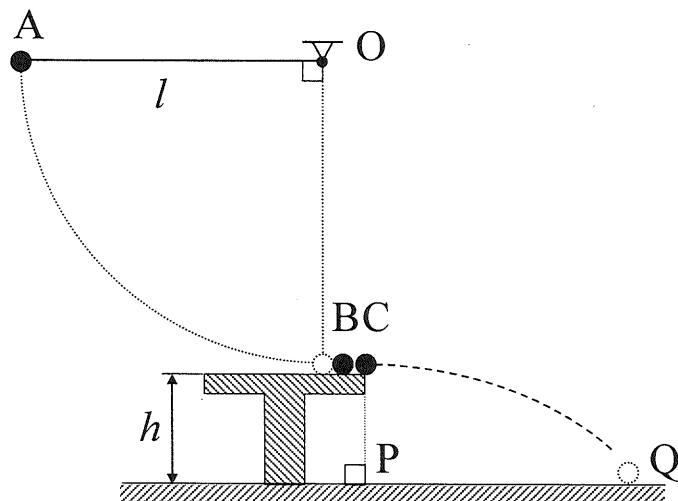


図1

- (1) 球 A が丸棒 B に衝突する直前の速さ v_0 を答えなさい。
- (2) 球 A が丸棒 B に衝突した直後の丸棒 B の速さ v_1 を答えなさい。
- (3) 丸棒 B が丸棒 C に衝突した直後の丸棒 C の速さ v_2 を答えなさい。

丸棒 B が丸棒 C に衝突した後、丸棒 C は放物運動をして Q 点で床にあたった。丸棒 C の静止位置から床に下ろした垂線と床との交点を P 点とし、PQ 間の距離を飛距離 s とする。

- (4) 球 A, 丸棒 B, 丸棒 C の質量が等しいとき, 飛距離 s は糸の長さ l に等しかつた。このときの台の高さ h を答えなさい。
- (5) 球 A, 丸棒 B, 丸棒 C の質量が等しく, かつ台の高さ h が糸の長さ l に等しいとき, 球 A が丸棒 B に衝突するまでの軌跡の長さを k_1 , 丸棒 C が最初に床にあたるまでの軌跡の長さを k_2 とする。 k_1 と k_2 の大小関係は次のいずれが適切か一つ選び, その記号を答えなさい。

ア. $k_1 > k_2$ イ. $k_1 = k_2$ ウ. $k_1 < k_2$

- (6) 丸棒 B と丸棒 C の質量が等しいときの飛距離を s_1 とする。丸棒 C の質量を丸棒 B の質量に比べて十分小さくしていくと, 飛距離 s は s_1 の何倍に近づくか。

[II] 3個の電気抵抗 R_1 [Ω], R_2 [Ω], R_3 [Ω]を図2のよう
に直列に接続し、これに正弦波交流電源を用いて電圧の
実効値が V_e [V]の交流電圧を加えた。

- (1) 電気抵抗 R_1 を流れる交流電流の実効値 I_1 [A]と、電
気抵抗 R_1 が消費する電力の時間平均 \bar{P}_1 [W]を答
えなさい。

- (2) この回路が消費する電力の時間平均 \bar{P} [W]を答えなさい。

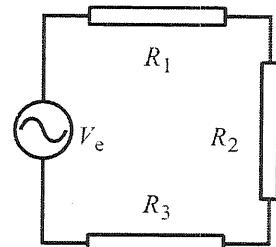


図2

次に、3個の電気抵抗 R_1 [Ω], R_2 [Ω], R_3 [Ω]を図3のよう
に並列に接続し、これに正弦波交
流電源を用いて電圧の実効値が V_e [V]の交流電
圧を加えた。

- (3) 電気抵抗 R_1 を流れる交流電流の実効値 I_1
[A]と、電気抵抗 R_1 が消費する電力の時間平均 \bar{P}_1 [W]を答
えなさい。

- (4) この回路が消費する電力の時間平均 \bar{P} [W]を答
えなさい。

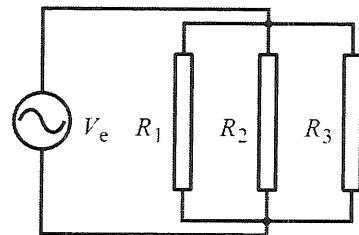


図3

次に、電気抵抗 R_1 [Ω], 電気抵抗を無視できるイン
ダクタンス L [H]のコイル、電気容量 C [F]のコンデン
サーを図4のよう直列に接続し、これに周波数を変
更できる正弦波交流電源を用いて電圧の実効値が V_e
[V]の交流電圧を加えた。

電気抵抗両端 op 間の電圧の実効値 V_R [V]を測定しな
がら周波数を変更すると、ある周波数 f_M [Hz]で電圧の実効値 V_R [V]は最大となり、
電源電圧の実効値 V_e [V]と等しくなった。

- (5) コイルのインダクタンス L [H]とコンデンサーの電気容量 C [F]、周波数 f_M [Hz]
の関係を示しなさい。
- (6) 電気抵抗両端 op 間、コイル両端 qr 間、コンデンサー両端 st 間の電圧の時間変
化を同時にオシロスコープで測定すると、電気抵抗両端 op 間の電圧の時間変
化は図5(a)の正弦波形となった。コイル両端 qr 間、コンデンサー両端 st 間で

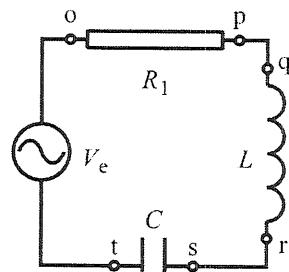


図4

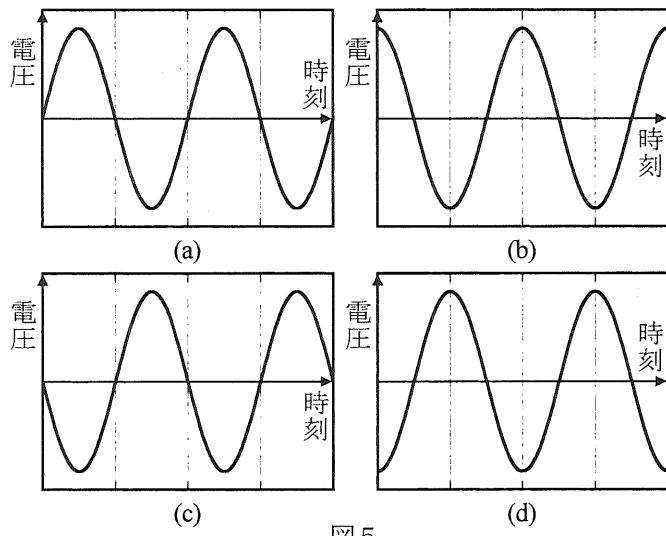


図 5

観察される波形の位相関係を正しく表した図を、それぞれ図 5 の(a)～(d)の中から選択しなさい。ただし、縦軸（電圧）の値は任意である。

- (7) 電気抵抗 R_1 を流れる交流電流の実効値 I_1 [A] と、電気抵抗 R_1 が消費する電力の時間平均 \bar{P}_1 [W] を答えなさい。
- (8) この回路が消費する電力の時間平均 \bar{P} [W] を答えなさい。

電気抵抗 R_1 [Ω]、電気抵抗を無視できるインダクタンス L [H] のコイル、一度完全に放電させた電気容量 C [F] のコンデンサーを図 6 のように並列に接続し、正弦波交流電源を用いて周波数 f_M [Hz]、電圧の実効値が V_e [V] の交流電圧を加えた。

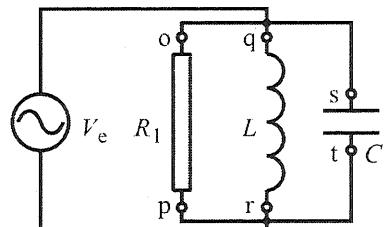


図 6

電気抵抗 R_1 両端 op 間、コイル両端 qr 間、コンデンサー両端 st 間の電圧の時間変化を同時にオシロスコープで測定すると、すべて電圧の実効値は V_e [V] で位相も一致し、図 5(a)の正弦波形となった。

- (9) 電気抵抗 R_1 を流れる交流電流の実効値 I_1 [A] と、電気抵抗 R_1 が消費する電力の時間平均 \bar{P}_1 [W] を答えなさい。
- (10) この回路が消費する電力の時間平均 \bar{P} [W] を答えなさい。

[III] 図7のように、 x 軸の正の向きに一定の速さ v で正弦波が進む。この波の波長を λ 、振幅を A とする。このとき、媒質の各点は単振動をする。いま、時刻 $t=0$ に、媒質の各点について図のような変位が観測できたとして、以下の問い合わせに答えなさい。

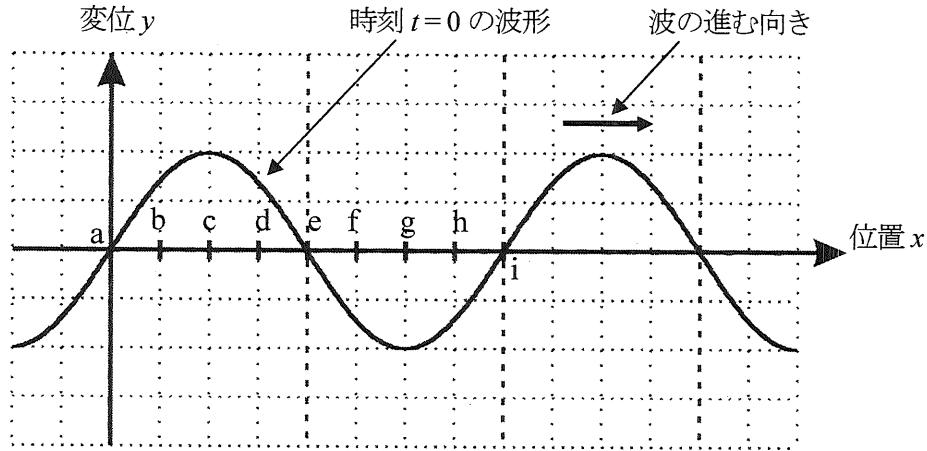


図7

- (1) ア) 位置 i における媒質の振動の周期を答えなさい。
イ) 位置 i における媒質の変位 y と時刻 t の関係をグラフで表しなさい。
ウ) 位置 c における媒質の速度 u と時刻 t の関係をグラフで表しなさい。ただし、媒質の速さの最大値を U としてよい。
- (2) 図7に示した波に対して振幅、波長がともに2倍の正弦波が x 軸の正の向きに一定の速さ v で進むとき、
ア) 媒質の振動の周期は、図7の波の何倍か答えなさい。
イ) 媒質の速さの最大値は、図7の波の何倍か答えなさい。
- (3) 図7は、媒質の変位を y 軸へ移して、縦波を横波のように表わしているものとする。このとき、時刻 $t=0$ において、図中の位置 a から i のうちもっとも密な点をすべて挙げなさい。

次に、図8のように、波長 λ 、振幅 A の正弦波（図8中の実線の波）が x 軸の正の向きに一定の速さ v で進むとともに、同じ速さ v で x 軸の負の向きに進む同じ波長で同じ振幅の正弦波（図8中の点線の波）がある場合を考える。実線の波の進む速さと波形は図7の波と同じである。ただし、図8の状態を時刻 $t=0$ とする。また、図中の位置aからiは等間隔に取られている。

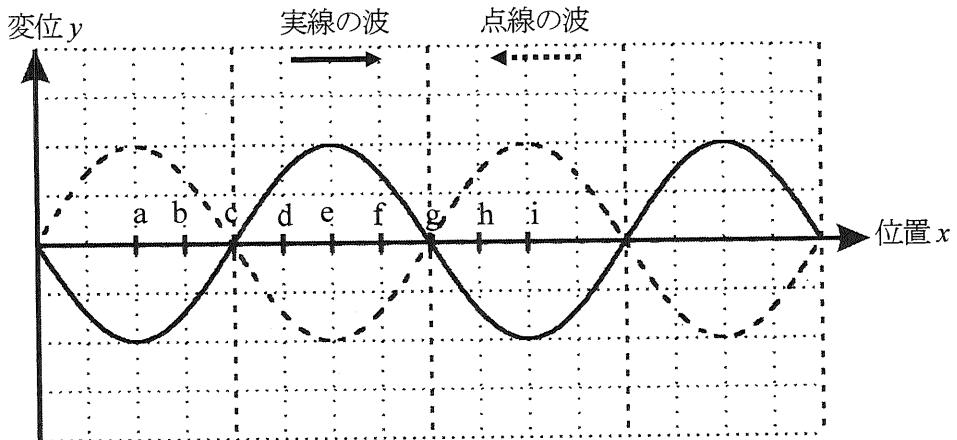


図8

- (4) ア) 時刻 $t=0$ における合成波を描きなさい。
- イ) 図中の位置aからiのうち、時刻 $t=0$ における媒質の速さがもっとも大きな点をすべて答えなさい。ただし、すべての点で速さが0である場合は、「すべてゼロ」と答えなさい。
- (5) ア) 位置dでの媒質の振動の周期は、図7の波の何倍か答えなさい。
- イ) 位置dでの媒質の変位の最大値は、図7の波の振幅の何倍か答えなさい。
- ウ) 位置gでの媒質の速さの最大値は、図7の波の媒質の速さの最大値の何倍か答えなさい。

[IV] 選択問題

1辺の長さ L の立方体の箱の内部に存在する理想気体の単原子分子の状態について考える。箱の内部の温度や圧力は一様な状態にあるものとし、箱の面を介して内部と外部との間で熱の交換はないものとする。また、気体分子と壁の衝突は弾性衝突であるとして、以下の問い合わせに答えなさい。

図9のように箱の中に分子1個の質量が m_A である気体分子Aが n_A 個あつたとする。この分子の速度 \vec{v} の x , y , z 成分をそれぞれ v_x , v_y , v_z とし、 n_A 個の分子についての v_x^2, v_y^2, v_z^2 の平均を、それぞれ $\overline{v_x^2}, \overline{v_y^2}, \overline{v_z^2}$ とする。

- (1) 1個の気体分子Aが時間 Δt の間に面S($x=L$ で x 軸に垂直な面)に与える力積を m_A , n_A , $\overline{v_x^2}$, L , Δt などの中から必要なものを用いて答えなさい。ただし、気体分子どうしの衝突は無視するものとする。

- (2) 気体分子Aの速さの2乗の平均 $\overline{v_A^2}$ を $\overline{v_x^2}, \overline{v_y^2}, \overline{v_z^2}$ を用いて答えなさい。

- (3) 箱内の n_A 個の気体分子Aによって、面Sが受ける圧力を m_A , n_A , $\overline{v_A^2}$, L などの中から必要なものを用いて答えなさい。

- (4) 箱内の温度が T_A であったとして、 n_A 個の気体分子Aが持つエネルギーを T_A , m_A , n_A , L , k などの中から必要なものを用いて答えなさい。ただし k はボルツマン定数とする。

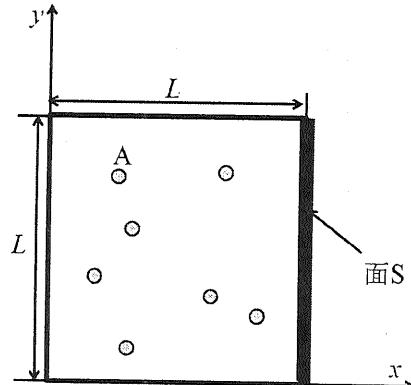


図9

次に、ある箱の中に分子1個の質量が m_A である单原子氣体分子Aが n_A 個あり、ここに分子1個の質量が m_B である单原子氣体分子Bを混合させた後の状態について考える。氣体分子AとBは理想氣体とし、氣体分子Bを混合させた後の箱の内部の温度や圧力は一様な状態になるものとする。箱の面を介して内部と外部との間で熱の交換はないものとし、氣体分子と壁の衝突は弹性衝突であるとする。氣体分子Aは氣体分子Bを加える前に温度が T_A 、速さの2乗の平均は $\overline{v_A^2}$ であったとする。

- (5) 氣体分子Bを1個加えて時間が十分に経過したとする。ただし n_A は1に比べて十分大きく内部の温度は変化していなかった。このとき氣体分子Bの速さの2乗の平均を $\overline{v_B^2}$ とする。氣体分子A, Bそれぞれの速さの2乗の平均の比 $\overline{v_A^2}/\overline{v_B^2}$ を答えなさい。
- (6) 氣体分子Bが混合前に n_B 個あり箱と同じ体積のもとで温度 T_B であったとする。混合後時間が十分に経過したときの箱内部の温度を n_A, T_A, n_B, T_B などを用いて答えなさい。
- (7)(6)において、混合後の氣体分子A, Bの速さの2乗の平均をそれぞれ $\overline{V_A^2}, \overline{V_B^2}$ とする。このとき速さの2乗の平均の比 $\overline{V_A^2}/\overline{V_B^2}$ を答えなさい。

[V] 選択問題

- (1) 次の文章中の [] に適切な式・数字・語句を記入せよ。なお、①②⑥には式、③⑦には数字（単位を含む）、④⑤には語句を埋めよ。また、必要に応じて以下の近似値を用いよ。

$$\sqrt{2} \approx 1.4, \sqrt{3} \approx 1.7, \sqrt{9.1} \approx 3.0$$

電子線が波としての性質を有していることを利用して電子顕微鏡が構成される。ここでは図 10 に示すような真空中に置かれた平行板コンデンサーを利用した電子線加速装置を考える。電子線源（フィラメントなど）から放出されたほとんど速さを有さない電子は、コンデンサー内の電位差 V により速さ v まで加速される。エネルギー保存の法則より、電気素量を $e (= 1.6 \times 10^{-19} \text{ C})$ 、電子の質量を $m (= 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg})$ とすれば、 $v = [①]$ となる。加速された電子線を物質波として考える場合、プランク定数 $h (= 6.6 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s})$ を用いれば波長 λ は $[②]$ と表すことができる。たとえば、25 kV で電子線を加速すると波長は $[③]$ となる。

物質の結晶構造を調査する際に用いられる X 線は、十分に加速された電子により得ることが出来る。加速された電子線を銅などのターゲットに照射すると種々の波長を有する X 線が発生し、図 11 に示すような X 線スペクトルが得られる。波長 λ_{\min} を最小値として広範囲の波長にわたり連続的に分布する X 線は $[④]$ と呼ばれ、波長 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots$ のように特定波長で強い強度を持つ X 線は $[⑤]$ と呼ばれる。真空中の光速を $c (= 3.0 \times 10^8 \text{ m/s})$ とすれば、 $\lambda_{\min} = [⑥]$ と示される。たとえば 25 kV で加速された電子線を用いた場合、波長 λ_{\min} は $[⑦]$ となる。また、銅の場合に得られる $[⑤]$ のうち、最も強い強度を有するものの波長は $1.5 \times 10^{-1} \text{ nm}$ であることが知られている。

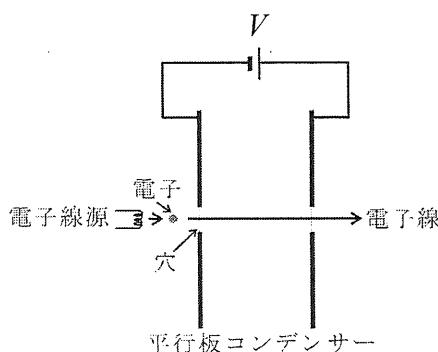


図 10

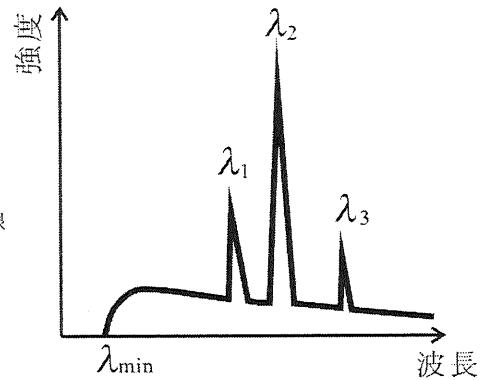


図 11

次に、図 12 に示したような、間隔 d を有する原子が配列した平面を持つ金属の結晶に X 線を照射する際の回折現象を考える。今、原子の配列面からの角度が θ となる方向から波長 λ_i を有する X 線を入射させたとする。

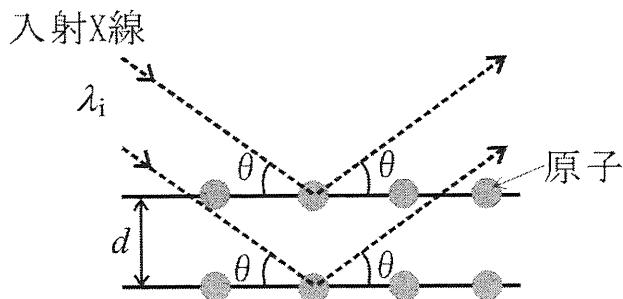


図 12

- (2) 回折が生じる条件を式で示せ。ただし、正の整数を示す文字を n として用いてよい。
- (3) (1)で示した方法で得られた波長 1.5×10^{-1} nm の X 線を鉄の結晶に入射させた場合、 $\theta = 16^\circ$ で強い回折が認められた。この回折を生じさせた原子の配列面間隔 d のうち最小の値を求めよ。必要に応じて以下の近似値を用いよ。

$$\sin 16^\circ \doteq 0.28, \quad \cos 16^\circ \doteq 0.96$$