

平成 26 年度医学科入学試験問題

物 理

〔注意事項〕

- 1 監督者の指示があるまで、この冊子を開いてはいけない。
- 2 解答用紙に受験番号と氏名を必ず記入すること。
- 3 この問題冊子の本文は、7 ページからなっている。落丁、乱丁及び印刷不鮮明な箇所などがあれば、手をあげて監督者に知らせなさい。
- 4 この問題冊子の白紙と余白は、適宜下書きに使用してもよい。
- 5 解答は、すべて別紙「解答用紙」の指定された場所に記入すること。
- 6 特に指示がなければ、解答欄に解答の導出過程も簡潔に記すこと。
- 7 この問題冊子は持ち帰ること。

問題訂正 ~~補足説明~~

試験科目 物理

5 ページ 上 から 3 行目

(誤)

$$I_c = I_c \cos \omega t$$

(正)

$$I_c = I_0 \cos \omega t$$

(訂正箇所: 一の文字)

1 図1のように、長さ  $l$  の伸び縮みしない軽い糸の一端に、質量  $m$  の小球  $P$  をとりつけ、他端を床から高さ  $h$  ( $> l$ ) の車両の天井の点  $O$  で固定した。図2は、水平面上に敷設されたレール上を、この車両が移動するようすを真上から示したものである。車両は、 $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$  点を順に通過し、 $AB$  区間はレールの中心までの半径が  $R$  の円弧状のカーブ区間、 $BD$  区間は直線区間である。車両の速さは、図3のように変化した。 $t_A$ 、 $t_B$ 、 $t_C$ 、 $t_D$  は、それぞれ図2の  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$  点を車両が通過した時刻を表す。このとき、移動する車両の中で小球  $P$  の動きを観察した。以下の問いに答えよ。ただし、レールの幅、車両の長さ、幅および高さは半径  $R$  に比べ十分小さいとし、点  $O$  は常にレールの中心と同じ鉛直線上にあり、移動する車両は水平に保たれているものとする。また、重力加速度を  $g$  とする。

問1 車両が  $AB$  区間を通過するとき、小球  $P$  は、図4のように糸と鉛直方向のなす角が  $\theta_1$  になる点  $Q_0$  で静止していた。このとき、小球  $P$  はどの向きに傾いていたか、図1の①~④で答えよ。また、 $\tan \theta_1$  を、 $m$ 、 $v_0$ 、 $R$ 、 $l$ 、 $g$  の中から必要なものを用いて表せ。

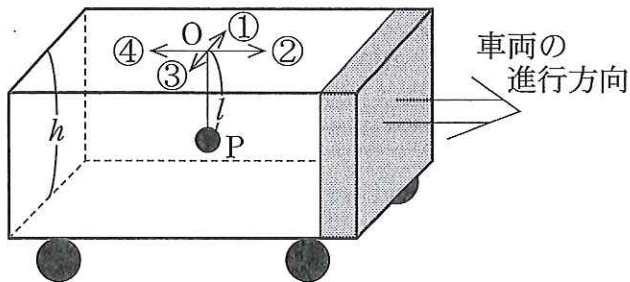


図1

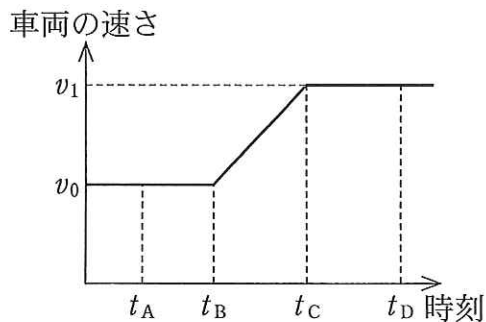


図3

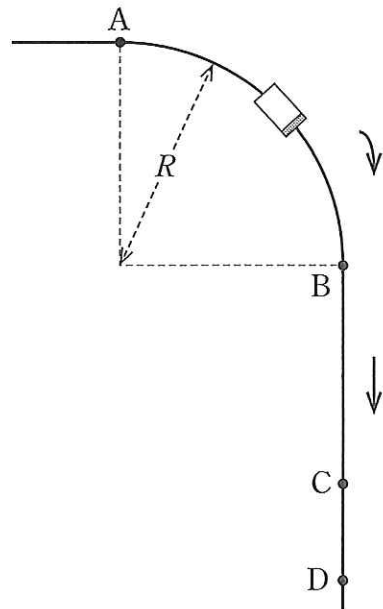


図2

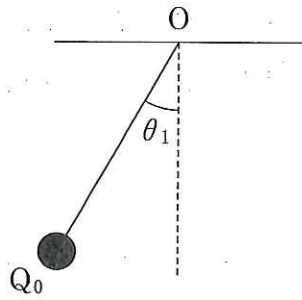


図 4

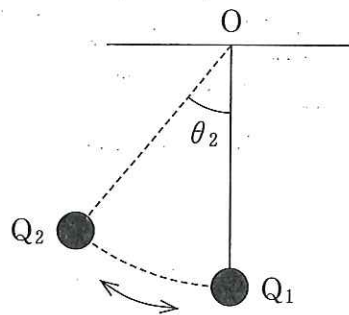


図 5

問 2 車両が B 点にきたとき、図 1 のように、鉛直方向に小球 P を静止させ、静かに手を離したところ、BC 区間では、図 5 のように、鉛直方向の点  $Q_1$  と鉛直方向となす角が  $\theta_2$  の点  $Q_2$  の間で、小球 P は振動した。

- (1) 点  $Q_2$  はどの向きにあるか、図 1 の①～④で答えよ。
- (2) BC 区間での車両の加速度の大きさを、 $m, l, \theta_2, g$  の中から必要なものを用いて表せ。
- (3) BC 区間の小球 P の速さの最大値と、そのときの糸の張力を、それぞれ  $m, l, \theta_2, g$  の中から必要なものを用いて表せ。

問 3 車両が BC 区間を通過中、振動している小球 P が点  $Q_2$  にきたとき、もし糸を切ったとすれば、糸を切ったときから小球 P が車両の床に達するまでの時間と、小球 P が床に達するときの速さを、それぞれ  $m, h, l, \theta_2, g$  の中から必要なものを用いて表せ。

問 4 車両が C 点にきたとき、小球 P が次のそれぞれの状態の場合、CD 区間の小球 P の運動について、各問いに答えよ。

- (1) C 点で小球 P が点  $Q_1$  にあった場合、小球 P の運動のようすを 15 文字以内で答えよ。
- (2) C 点で小球 P の速さが最大であった場合、小球 P は、糸と鉛直方向のなす角度の最大値が  $\theta_m$  で振動した。 $\cos \theta_m$  を求めよ。

2 次の文中の (1) から (13) に入る適切な数式を答え、 (a) から (c) は、それぞれ { } 内の選択肢から適切なものを選んで記号で答えよ。なお、解答欄には解答のみ記せ。

問 1 図 1 のように、電気容量  $C$  のコンデンサー、自己インダクタンス  $L$  のコイル、起電力  $E$  の電池、それぞれの抵抗値が  $R_1, R_2$  の抵抗  $R_1, R_2$ 、およびスイッチ  $S_1, S_2, S_3$  からなる回路がある。ただし、電池の内部抵抗、コイル、スイッチおよび導線の抵抗は無視できるとする。

初め、すべてのスイッチは開いていて、コンデンサーに電荷は蓄えられていないとする。スイッチ  $S_2$  を入れ、続いてスイッチ  $S_1$  を A に入れると、その直後に抵抗  $R_1$  を流れる電流は (1) であり、コンデンサーは充電され始める。コンデンサーに電気量  $Q$  が蓄えられた瞬間から微小時間  $\Delta t$  の間に、コンデンサーの極板間の電位差が  $\Delta V$  増加したとする。微小時間  $\Delta t$  の間は抵抗  $R_1$  を流れる電流が一定とみなすと、変化率  $\frac{\Delta V}{\Delta t}$  は (2) となる。十分時間が経ったのち、コンデンサーに蓄えられる電気量は (3)、静電エネルギーは (4) である。この状態から、スイッチ  $S_1$  を A から B へ切り替え、蓄えられている電荷がゼロになるまでコンデンサーを放電させる。このとき、抵抗  $R_1$  で生じるジュール熱は (5) となる。

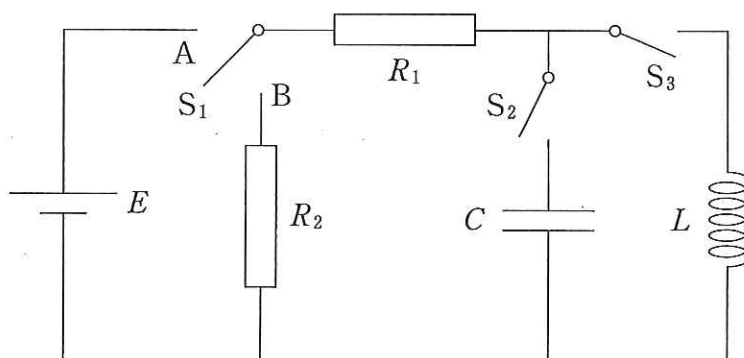


図 1

つぎに、スイッチ  $S_1$ ,  $S_2$  を開き、スイッチ  $S_3$  を入れる。再びスイッチ  $S_1$  を A に入れた直後に抵抗  $R_1$  を流れる電流は  $(6)$  であり、その後、電流は一定値  $(7)$  まで  $(a)$  { (ア) 増加 (イ) 減少 } する。その電流の時間変化の割合は、スイッチ  $S_1$  を入れてからの時間が経つにつれて  $(b)$  { (ア) 増加 (イ) 減少 } する。

問 2 図 2 のように、それぞれの電気容量が  $C_1$ ,  $C_2$  のコンデンサー  $C_1$ ,  $C_2$ , それぞれの自己インダクタンス  $L_1$ ,  $L_2$ , 相互インダクタンス  $M$  のコイル  $L_1$ ,  $L_2$ , スイッチ  $S_1$ ,  $S_2$ , および交流電源からなる回路がある。初めの状態は、すべてのスイッチは開いていて、コンデンサーに電荷は蓄えられていないとする。コイル、スイッチおよび導線の抵抗は無視できるとし、インダクタンスは  $M^2 < L_1 L_2$  を満たすとする。また、電位は点 G を基準にし、電流は矢印の向きを正とする。

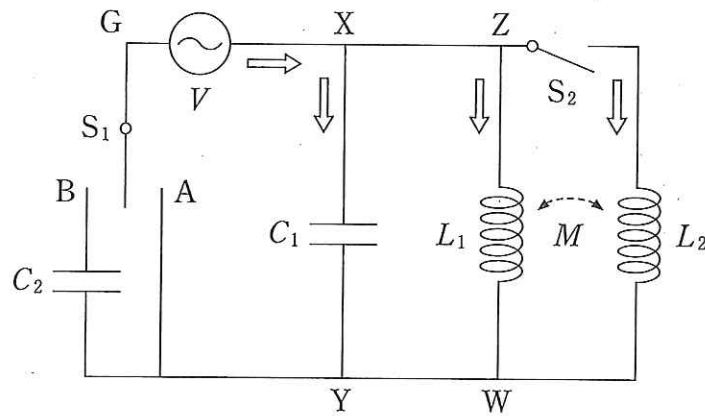


図 2

初めの状態からスイッチ  $S_1$  を A に入れた回路を考える。電源から、角周波数  $\omega$ 、最大値  $V_0$  の正弦波交流電圧  $V$  を加えると、コンデンサー  $C_1$  に交流電流  $I_c = I_c \cos \omega t$  が流れるとすると、電流  $I_c$  の最大値  $I_0$  は次のように求まる。すなわち、 $I_c$  の式より、交流電圧  $V$  は、 $V = \boxed{(c)\{ (ア) V_0 \sin \omega t \quad (イ) -V_0 \sin \omega t \quad (ウ) V_0 \cos \omega t \quad (エ) -V_0 \cos \omega t \}}$  であるといわれるので、最大値  $I_0$  は、 $V_0$ 、 $C_1$ 、 $\omega$  を用いて、 $I_0 = \boxed{(8)}$  となる。さらに、コイル  $L_1$  を流れる交流電流  $I_L$  も、 $I_L = \boxed{(9)}$  と求まる。これらから、角周波数  $\omega$  が  $\boxed{(10)}$  ( $= \omega_0$  とする) の場合は、電源を流れる電流はゼロとなることがわかる。

こんどは、初めの状態からスイッチ  $S_1$  を B に入れた回路を考える。電源から、角周波数  $\omega (> \omega_0)$ 、最大値  $V_0$  の正弦波交流電圧  $V$  を加えると、コンデンサー  $C_1$  に最大値  $I'_0$  の交流電流  $I_c = I'_0 \cos \omega t$  が流れ、コンデンサー  $C_1$  の極板間の電位差の最大値が  $V'_0$  であるとする。先と同様に考えると、 $I_c$  およびコイル  $L_1$  を流れる電流は  $V'_0$  を用いて表せるので、コンデンサー  $C_2$  を流れる交流電流  $I$  も  $V'_0$  を用いた式で求まる。したがって、コンデンサー  $C_2$  の極板間の電位差も  $V'_0$  を用いて表せる。これらから、 $V'_0$  と  $V_0$  の関係が求まるので、交流電流  $I$  の実効値  $I_e$  は、 $V_0$ 、 $C_1$ 、 $C_2$ 、 $L_1$ 、 $\omega$  を用いて、 $I_e = \boxed{(11)}$  となる。

問 3 図2の初めの状態からスイッチ  $S_2$  を入れ、続いてスイッチ  $S_1$  を A または B に入れた回路では、2つのコイル  $L_1$ ,  $L_2$  の並列接続部分を1つのコイル  $L_3$  とみなすことができ、そのコイル  $L_3$  の自己インダクタンス  $L_3$  と  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $M$  の関係は次のように求まる。図3において、コイル  $L_1$ ,  $L_2$  をそれぞれ流れている電流  $I_1$ ,  $I_2$  が、微小時間  $\Delta t$  に、それぞれ  $\Delta I_1$ ,  $\Delta I_2$  だけ変化したとする。このとき、コイル  $L_1$  に生じる誘導起電力  $V_1$  は  $V_1 = -L_1 \frac{\Delta I_1}{\Delta t} - M \frac{\Delta I_2}{\Delta t}$ , コイル  $L_2$  に生じる誘導起電力  $V_2$  は  $V_2 = \boxed{(12)}$  と表せる。ただし、コイル  $L_1$  と  $L_2$  は、自己誘導と相互誘導による誘導起電力が同じ向きになるように並列接続されているとする。これらを、図3のように、1つのコイル  $L_3$  で表すと、コイル  $L_3$  に生じる誘導起電力  $V_3$  は、 $V_3 = -L_3 \frac{\Delta I}{\Delta t}$  となるので、 $L_3$  は、 $L_1$ ,  $L_2$ ,  $M$  を用いて、 $L_3 = \boxed{(13)}$  となる。

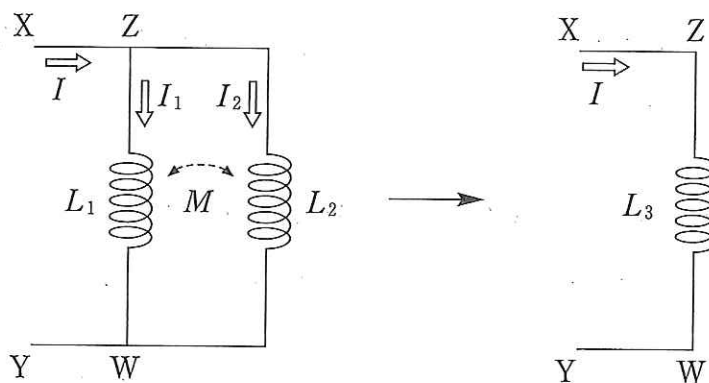


図 3



3 図のように、厚さが  $d$  の透明な薄膜が空気中にある。その表面に入射角  $\theta$  で、速さ  $c$ 、波長  $\lambda$  の光が入射している。この光に対する薄膜の屈折率は 1.5 である。薄膜の A から入射して裏面の B で反射する光と表面の C で反射する光が、観測を行う D 方向で干渉している。空気の屈折率を 1 とし、以下の問いに答えよ。

問 1 薄膜中での光の速さ、波長および振動数を求めよ。

問 2 表面の C での反射光と裏面の B での反射光の経路差を求めよ。

問 3 薄膜の厚さ  $d$  が  $d = \frac{\lambda}{5}$  の場合に、入射角  $\theta$  を  $0^\circ$  から  $90^\circ$  まで変化させた。ある入射角  $\theta_1$  のとき、干渉して強めあった明るい光が観測された。 $\sin \theta_1$  を求めよ。

問 4 入射角  $\theta$  を  $0^\circ$  から  $90^\circ$  まで変化させると明るい光が観測される最小の薄膜の厚さを求めよ。

問 5 薄膜の厚さ  $d$  が  $d = 2\lambda$  の場合に、入射角  $\theta$  が  $\theta = \theta_1$  と  $\theta = \theta_2$  のとき、明るい光が観測された。 $\sin \theta_1$  と  $\sin \theta_2$  を求めよ。

問 6 前問と同じ厚さ  $2\lambda$  の薄膜で、こんどは B の下側には空気ではなく屈折率 1.7 の透明な物体をみだし、同様に速さ  $c$ 、波長  $\lambda$  の光を A から入射させた。入射角  $\theta$  を  $0^\circ$  から  $90^\circ$  まで変化させると、明るい光がいくつかの入射角  $\theta$  のとき観測された。そのときのそれぞれの入射角  $\theta$  の  $\sin \theta$  を求めよ。

