

2025年度

「物 理」

試験時間 90 分

配点 150 点

※物理と化学から 1 科目を選択し，解答しなさい。

※選択解答する科目は，解答用紙にある「選択科目チェック欄」
に☑を記入しなさい。

【過去問題に関する追記】

「答え」のみ記入する解答と、「グラフ」や「途中式・考え方」を記入する解答がある。

【1】 図1のように、なめらかで水平な床の上に、表面がなめらかな質量 M の薄い板が置かれ、板の左端に質量と大きさの無視できる支柱が固定されている。そこに、質量が無視できるばね定数 k のばねの一端が取り付けられ、ばねの他端には大きさの無視できる質量 m の物体 A が取り付けられている。このときばねは水平となり、自然の長さの状態であった。図の右向きを x 軸の正の向きとし、摩擦や空気抵抗は無視できるものとして、以下の問いに答えよ。なお、物体 A は支柱に衝突することはない、常に板上で運動し、物体 A と板はすべて図の紙面内だけで運動するものとする。特に断りがない限り、物体や板の速度、加速度は床に静止した観測者から見たものを表す。

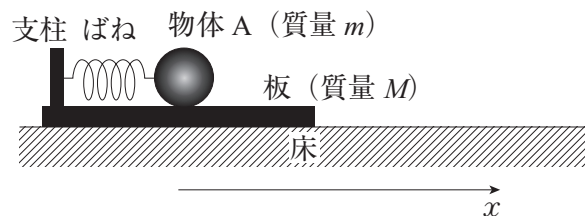


図1

板を床に固定した状態で、物体 A を、はじめの状態からの変位が x 軸の正の向きに a となるように引っ張り、静かに手をはなすと、物体 A は単振動を始めた。

- (1) 単振動したときの物体 A の速さの最大値を求めよ。
- (2) この単振動の周期を求めよ。

図2のように、板を床に対して角度 θ だけ傾けて床に固定した。板上のある位置で物体 A を静かにはなすと、ばねは自然の長さよりも伸びた状態で静止した。

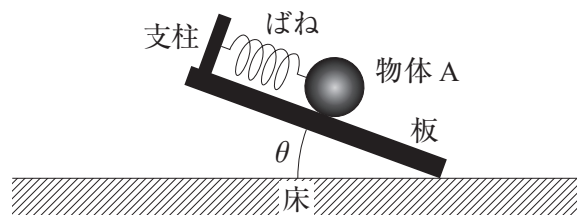


図2

- (3) 重力加速度の大きさを g とするとき、物体 A が静止したときの自然の長さからのばねの伸びを求めよ.

この状態から物体 A を板に沿って引っばって、ばねをさらに長さ b だけ伸ばしてから静かにはなしたところ、物体 A は斜面に沿って単振動した.

- (4) 物体 A のもつ力学的エネルギーの総和を b, k, m, θ, g を用いて表せ. ただし、力学的エネルギーの総和とは、運動エネルギーと、重力による位置エネルギーとばねの弾性力による位置エネルギーの和である。ここで、重力による位置エネルギーの基準は、斜面上でばねが自然の長さとなるときの物体 A の位置とする.

次に、図3のように板を再びなめらかで水平な床の上に置いた. 板の右方向の同じ床の上には、大きさが無視できる質量 $M+m$ の物体 B が置かれている. 板と物体 A が一体となって、ばねが自然の長さの状態 x 軸の正の向きに一定の速さ v_0 で運動しているとする. また、物体 B にこれらと逆向きに同じ速さ v_0 を与えた. その結果、床の上で板と物体 B が完全非弾性衝突を起こした.

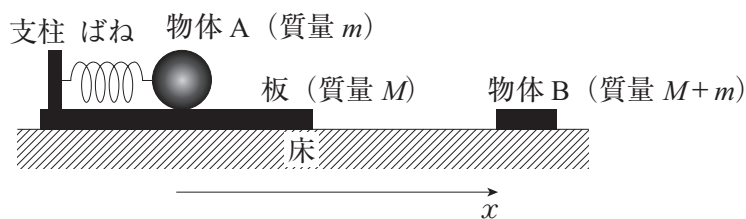


図3

- (5) 衝突直後の物体 A の速度 v_A と板の速度 v_p を、それぞれ M, m, v_0 の中から必要な文字を用いて表せ.

衝突後、板と物体 B は合体し、一体となって振動を始めた。

- (6) 支柱から見た物体 A の振動の振幅を、運動量保存則とエネルギー保存則を用いて求め、 k , M , m , v_0 を用いて表せ。ただし、答えを出す過程も示すこと。

次に、板と物体 B の動きを止め、物体 A と支柱との間隔をばねの自然の長さよりも c だけ短くして物体 A を固定した。その後、板と物体 A の固定を解除した直後から、板に x 軸の正の向きに一定の大きさの力を加え続けたところ、板と物体 A はともに等しい大きさ α_0 の一定の加速度で運動した。ここで、板と物体 B は一体となったままであるとする。

- (7) c を求めよ。

- (8) 板と物体 A の速さがともに v_0 になった瞬間に板に加えていた力を 0(ゼロ)にしたところ、板と物体 A は振動を始めた。物体 A の支柱に対する振動の振幅を測定したところ、(6)で求めた振幅と同じであった。板に与えていた力の大きさを M , m , k , v_0 を用いて表せ。

【2】 次の文章〔A〕〔B〕を読み、以下の問いに答えよ.

〔A〕 図1のように x 軸（紙面右向きが正）、 y 軸（紙面上向きが正）、 z 軸（紙面手前向きが正）で表される空間において、 y 軸上に太さが無視できる十分長い導線 L がある. この空間の透磁率を μ とする. 導線 L には y 軸正の向きに大きさ I の一定の電流が流れている. また、 xy 平面内に太さが無視できる1辺の長さ $2a$ ($a > 0$) の正方形の一巻きコイル $ABCD$ を置く. コイルの中心は常に x 軸上にあるものとし、その座標を $(x_0, 0, 0)$ とする. ここで、辺 AB および辺 BC はそれぞれ x 軸および y 軸に常に平行であり、コイル全体の抵抗値を R とする.

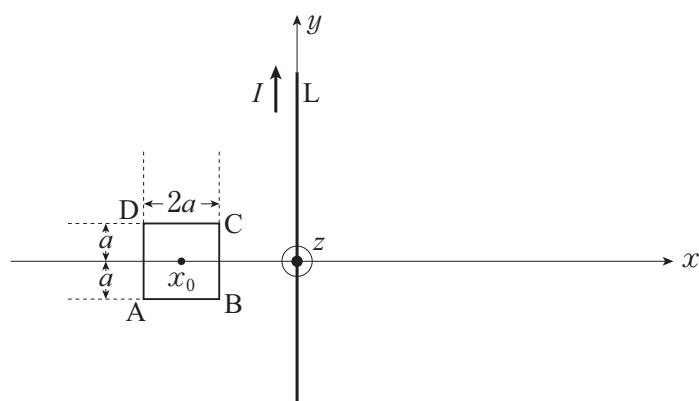


図1

- (1) コイル全体が $x < 0$ の領域（つまり、 $x_0 < -a$ ）にあるとき、導線 L に流れている電流 I がコイルの A , C の位置につくる磁場の大きさ H_A , H_C を I, a, x_0, μ, π の中から必要な文字を用いてそれぞれ表せ. ただし、絶対値記号を用いてはならない. また、それらの向きを次の中からそれぞれ選べ.

- | | | |
|---------------|---------------|---------------|
| (ア) x 軸正の向き | (イ) x 軸負の向き | (ウ) y 軸正の向き |
| (エ) y 軸負の向き | (オ) z 軸正の向き | (カ) z 軸負の向き |

次に, xy 平面内において, コイル ABCD に外力を加えることによって, 図 2 のように一定の速さ v で x 軸の正の向きに動かす. コイルは導線と接触せず移動できるものとする. コイル全体が完全に $x > 0$ の領域 (つまり, $x_0 > a$) に入った後の状況を考える.

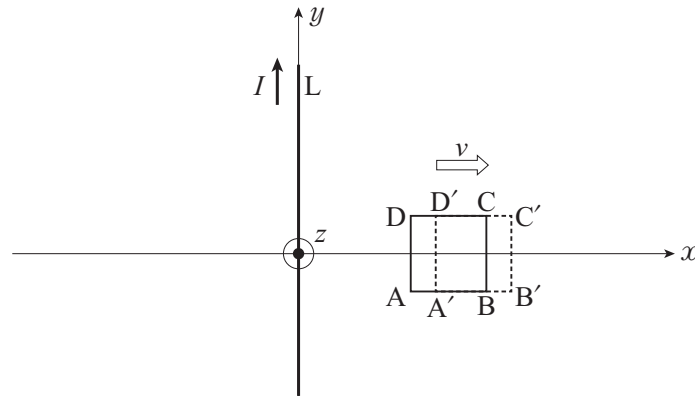


図 2

- (2) コイルに生じる誘導起電力を求める手順を以下に示す. () の①～④に I , a , x_0 , R , v , Δt , μ , π の中から必要な文字を用いて, 適切な式を入れよ. ただし, コイルの自己誘導は無視できるものとする. また, () の⑤, ⑥については下の選択肢(ア)～(エ)から正しい組み合わせを選べ.

ある時刻 t から微小時間 Δt だけ経過すると, コイル ABCD の中心座標 x_0 は x 軸の正の向きに $v \cdot \Delta t$ だけ移動する. 移動後のコイルの位置を A'B'C'D' とする. この時間に辺 DA が掃いた面積, つまり長方形 ADD'A' の面積は $2a \cdot v \cdot \Delta t$ となる. Δt は非常に小さいため, この領域内の磁束密度は時刻 t のときの辺 DA における磁束密度と同じ値で一定とみなすことができるので, 辺 DA が横切った磁束の大きさは (①) となる. この磁束はコイルの移動により, コイルの内側から出ていった磁束になる. 同様に, 辺 BC が横切った磁束の大きさは (②) となり, この磁束はコイルの移動により, コイルの内側に入ってきた磁束になる. よって, コイルの内部を貫く磁束の変化の大きさは, (③) となる. 以上のことから, コイル全体に生じる誘導起電力の大きさは (④) となる. また, この移動においてコイルの内部を貫いている磁束の大きさは (⑤) しているので, 電流の向きは (⑥) の向

きになる.

⑤

⑥

- | | |
|--------|---|
| (ア) 増加 | $A \rightarrow D \rightarrow C \rightarrow B$ |
| (イ) 減少 | $A \rightarrow D \rightarrow C \rightarrow B$ |
| (ウ) 増加 | $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$ |
| (エ) 減少 | $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$ |

(3) (2)の結果をもとにしてコイルの中心が $x_0=2a$ を通過している瞬間にコイルで消費される電力を求めよ. ただし, 用いてよい文字は I, a, R, v, μ, π とする.

(4) コイルの中心が $x_0=2a$ を通過しているときにコイルを一定の速度で動かすのに必要な外力の大きさ F とその向きを求めよ. 外力の大きさの答えに用いてよい文字は, I, R, v, μ, π とする. また, 外力の向きを次の中から選べ.

- | | | |
|---------------|---------------|---------------|
| (ア) x 軸正の向き | (イ) x 軸負の向き | (ウ) y 軸正の向き |
| (エ) y 軸負の向き | (オ) z 軸正の向き | (カ) z 軸負の向き |

〔B〕 次に、図3のように2本の導線に流れる電流が作る磁場による電磁誘導を考える．

y 軸に平行な、太さの無視できる十分に長い直線状の2本の導線 L_1 , L_2 がある．これらの導線は、 xy 平面内において点 $P(-b, 0, 0)$, 点 $Q(b, 0, 0)$ ($b>0$) を通っている． L_1 , L_2 に流れている電流を y 軸正の向きを正としてそれぞれ I_1 , I_2 とする．

はじめに、 $I_1=I_2=I$ で一定の場合を考える ($I>0$)．

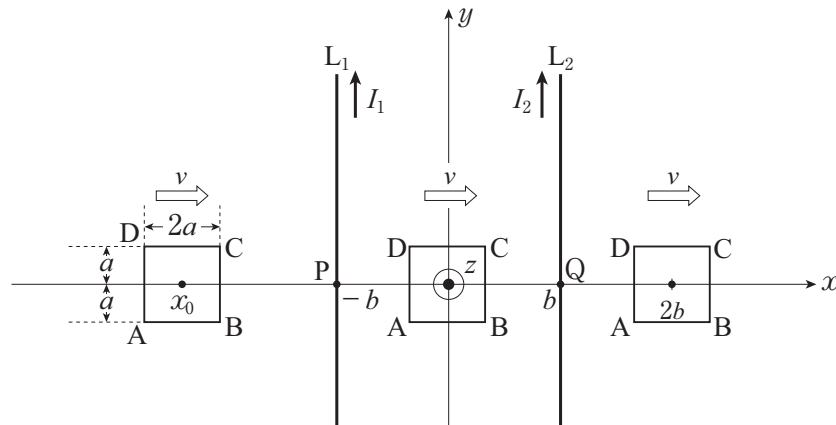


図3

- (5) L_1 と L_2 に流れる電流が x 軸上につくる磁場の z 成分 H_z をグラフに示せ．ただし、横軸に x , 縦軸に H_z をとること．

xy 平面において、コイル ABCD を〔A〕のときと同様に x 軸正の向きに速さ v で移動させる．今回もコイルの自己誘導は無視でき、コイルは導線と接触せずに移動できるものとする．また、 $b>a$ とする．

- (6) コイルの中心が原点 $(0, 0, 0)$ を通過する瞬間、コイルに流れる電流の大きさを求めよ．

次に, $I_1 = I$, $I_2 = -I$ で一定である場合を考える.

- (7) コイルの中心が原点 $(0, 0, 0)$ を通過する瞬間, コイルに流れる電流の大きさを求めよ.

続いて, $I_1 = I$, $I_2 = -\frac{1}{3}I$ で一定である場合を考える.

- (8) コイルの中心が座標 $(c, 0, 0)$ を通過する瞬間, コイルに流れる電流が 0 になった. c を求めよ. ただし, $c > 2b$ とする.

【3】 次の文章〔A〕〔B〕を読み、以下の問いに答えよ。

〔A〕 2つの波源がおかれた水面を考える．図 1 のように，水面上に直交する x 軸と y 軸をとり， y 軸上の座標 $\left(0, \frac{d}{2}\right)$ の点 A に波源 S_A が，座標 $\left(0, -\frac{d}{2}\right)$ の点 B の位置に波源 S_B があるものとする（ただし， $d>0$ ）．原点 O はその中間に位置する．この 2 個の波源はともに単振動をしており，それぞれが振動数 f_0 ，振幅 a ，同位相の水面波を送り出す．まず， x 軸上の座標 $(L_0, 0)$ にある点 C_0 に観測点 W を設置した．W はその地点での水面の振動を観測する．ここで，水面波は速さ V の正弦波であるとする．また，波がないときの水面の高さを 0 とする．

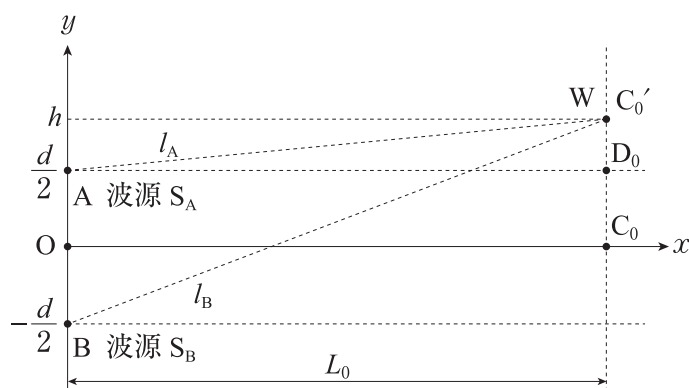


図 1

観測点 W を点 C_0 から y 軸正の向きに移していく．このときの W の位置を C_0' とし，その座標を (L_0, h) とする ($L_0>0$, $h>0$)．ここでは， d は水面波の波長よりも十分大きく， L_0 は d および h よりも十分大きい．

- (1) W が点 C_0' に位置しているとき，波源 S_A から W までの距離 l_A と波源 S_B から W までの距離 l_B を h , d , f_0 , V , L_0 の中から必要な文字を用いてそれぞれ表せ．ただし， $|\alpha| \ll 1$ である α に対して成り立つ近似式 $\sqrt{1+\alpha} \doteq 1 + \frac{\alpha}{2}$ を使い，根号を用いずに解答すること．

- (2) W を、点 C_0 から y 軸正の向きに移していく過程で観察したその地点での水面の振動は、点 C_0 から離れるとともに徐々に小さくなっていき、ある場所で極小となった。さらに離れると再び徐々に大きくなり、ある場所で極大となった。この極大になったときに W が位置する点 C_0' の座標が (L_0, h_0) であるものとして、波源の振動数 f_0 を d, h_0, V, L_0 の中から必要な文字を用いて表せ。

次に、W を座標 $\left(L_0, \frac{d}{2}\right)$ にある点 D_0 に移してから、波源 S_B の振動を止めた。十分時間が経った後で、W を x 軸負の方向に一定の速さ V_0 で波源 S_A に向かって動かした。

- (3) このとき W は S_A に近づいているものとして、W が観測する水面波の振動数を求めよ。

[B] (3)のあと，図2のように観測点 W を x 軸上の，座標 $(L_1, 0)$ で表される点 C_1 に置いた ($L_1 > 0$)．この点 C_1 は原点 O に近く， d の大きさは L_1 に対して無視できないものとする．ここで，波源 S_B を再び単振動させる．このとき，それぞれの波源から送り出される水面波の振幅はともに a であり同位相のままであるが，その振動数をともに f_1 に変更した．その後， W を点 C_1 から y 軸正の向きへ移していくと，その過程で観測される水面の振動は一度極小をとった後，座標 $\left(L_1, \frac{d}{2}\right)$ の点 D_1 で初めて極大となった．

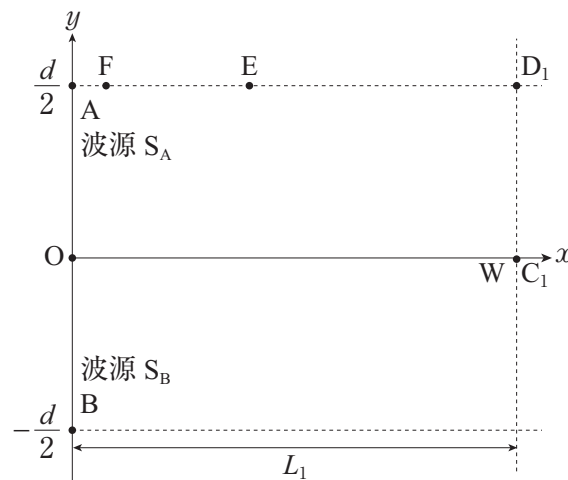


図2

(4) このときの音源の振動数 f_1 を d , L_1 , V を用いて表せ．

波源 S_A と波源 S_B の各々から送り出される水面波の波長はともに $\frac{d}{4}$ であった．このとき， D_1 にきた W を，今度は点 A に到達する直前まで x 軸負の向きに移していったところ，点 D_1 ，点 E ，点 F において水面の振動が極大となった．これらの点は図2に示すように線分 $D_1 A$ 上に並んでいるものとする．

(5) d を L_1 を用いて表せ．

- (6) $0 \leq x \leq L_1$, $0 \leq y \leq \frac{d}{2}$ の領域で水面の振動が極大となる点を連ねた線の概形を解答欄に描け. ただし, y 切片の座標は d を用いて記入すること. また, 波源のある点 A は除く. なお, グラフを描きやすくするために縦軸は横軸に比べて拡大してあるので注意すること.

- (7) 距離 AF を L_1 を用いて表せ.

(7)のあとで, 波源 S_B が発する波の位相を波源 S_A に対して $\frac{\pi}{3}$ だけ遅らせた.

- (8) W を A から x 軸正の向きに移していくと, 座標 $\left(L_2, \frac{d}{2}\right)$ の, 点 G においてはじめて水面の振動が極大になった ($L_2 > 0$). このときの L_2 を L_1 を用いて表せ.