

物理の全問を通して、ある小問でのみ定義される物理量の記号を他の小問の解答で用いないように注意せよ。円周率を π とする。解答に既約分数や根号を用いてよい。

1 図1のように曲がった細いガラス管に軽くて伸び縮みしない糸を通し、その両端に小球Aと小球Bを取りつける。糸はたるむことなく常にガラス管の中央を通過してガラス管との摩擦もない。小球Aの質量を m_1 とする。小球Bは鉛直につるされている。小球Bがつるされている範囲ではガラス管は鉛直であり、小球Bがガラス管に触れることはないものとする。小球Aがある範囲では、ガラス管と水平のなす角度は θ ($0 < \theta < \frac{\pi}{2}$)である。このガラス管は小球Bがつるされている鉛直の軸を中心として一定の角速度 ω で回転している。この回転の中心の軸と小球Aの距離を半径と呼ぶ。空気抵抗は無視できるものとし、重力加速度の大きさを g とする。

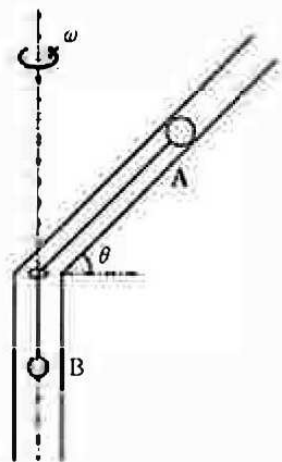


図1

I. 小球Aと小球Bは一定の高さを保っているとする。小球とガラス管の間には摩擦がはたらないものとして以下の問いに答えよ。

- (1) 小球Aの回転する半径を r としたとき、小球Aにはたらく垂直抗力の大きさはいくらか。
- (2) 小球Aにはたらく、斜めのガラス管に沿って上向きの力と下向きの力のつりあいを考える。斜めのガラス管に沿って上向きにはたらく力の大きさはいくらか。小球Aの回転する半径を r とする。
- (3) 小球Aにはたらく、斜めのガラス管に沿って上向きの力と下向きの力のつりあいを考える。つり合いの式を書け。ただし、小球Aの回転する半径を r 、小球Bの質量を m_2 とする。
- (4) 角速度 ω を大きくしたとき、小球Aがガラス管に対して静止する半径は、大きくなるか、小さくなるか、それとも変わらないか。
- (5) 角度 θ を大きくしたとき、小球Aを同じ半径でガラス管に対して静止させるには、角速度 ω の大きさを大きくするか、小さくするか、それとも変えないか。
- (6) 角度 θ を 30° 、小球Aの質量を m_1 、小球Bの質量を $\frac{m_1}{2}$ とすると、小球Aの回転する半径はいくらか。

II. 小球Aに摩擦力がはたらき、小球がガラス管に対して静止している場合を考える。角度 θ を 30° とし、小球Aとガラス管の間の静止摩擦係数を μ_0 とする。

- (7) 小球Aの回転する半径が r のとき、小球Aにはたらく摩擦力は最大静止摩擦力となった。最大静止摩擦力の大きさはいくらか。
- (8) 小球Bの質量を小球Aの質量 m_1 の半分とする。 $\mu_0 = \frac{1}{\sqrt{3}}$ のとき、小球Aがガラス管に対して静止できる最小の半径はいくらか。
- (9) 小球Bの質量を小球Aの質量 m_1 の半分とする。 $\mu_0 = \frac{1}{\sqrt{3}}$ のとき、小球Aがガラス管に対して静止できる最大の半径はいくらか。

2

I. 波の屈折や反射はホイヘンスの原理によって説明することができる。波面を無数の波源の集まりであるとみなし、そこから送り出される球面波をもとにすると、波面の進み方は、「波面の各点から波の進む方向に球面波が出る。各々の球面波に共通に接する面が次の波面となる」と説明できる。光の屈折の法則を説明してみよう。図2-1のように、平面波が入射角 i で媒質1から媒質2に向かって進んでいる。媒質1, 2を伝わる波の速さはそれぞれ $v_1, v_2 (v_1 < v_2)$ であるとする。ホイヘンスの原理によると、入射波の波面 AB が媒質1, 2の境界面に到達した瞬間、A からは媒質2に進む球面波が発生する。その後 AD 上では、図2-1のように A に近い方から順に球面波が発生し、これに共通に接する面が屈折波の波面になる。波面の一端 B が境界面上の D に到達するのに Δt の時間がかかるため、屈折波の波面は、A を中心とした半径 AC の球面波の D からの接線 CD に相当する。このことから入射角と屈折角を表すことができ、屈折の法則を導くことができる。また、入射角を0から次第に大きくしていくとある入射角で AC の方向は AD の方向と同じになり屈折角は 90° になる。この入射角の角度をこえると光は媒質2には入ることができず、すべて反射される。

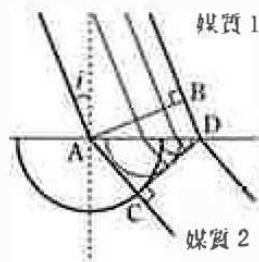


図2-1

- (1) 説明文の下線部(ア)の球面波を何と呼ぶか。
- (2) BD の長さはどのように表されるか。 $v_1, v_2, \Delta t$ のうち必要なものを用いて答えよ。
- (3) 下線部(イ)の半径はいくらか。 $v_1, v_2, \Delta t$ のうち必要なものを用いて答えよ。
- (4) $\sin i$ はいくらか。 AD, $v_1, v_2, \Delta t$ のうち必要なものを用いて答えよ。
- (5) 屈折角を r としたとき、 $\sin r$ はいくらか。 AD, $v_1, v_2, \Delta t$ のうち必要なものを用いて答えよ。
- (6) 媒質1に対する媒質2の相対屈折率 n_{12} は、波の速さを用いてどのように表されるか。
- (7) 下線部(ウ)の角度を何と呼ぶか。
- (8) 下線部(エ)の現象を何と呼ぶか。

II. 真空中に絶対屈折率が $n (n > 1)$ の透明で一樣な厚さの薄膜が置かれている。図2-2のように、単色光の平行光線をこの薄膜に入射させ、ABCEと進む光線1とDEFと進む光線2が干渉する現象を考える。図中の線ADは光の波面である。入射角は i で固定されており、波長を連続的に増加させながら干渉光を観察する。干渉光が強めあうときの波長を λ_1 として、そこから波長を増加させて干渉光がはじめて弱めあうときの波長を λ_2 とする。

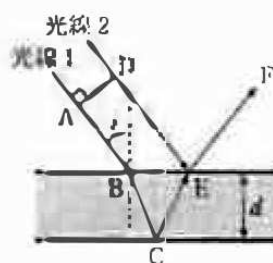


図2-2

- (9) 薄膜の厚みを d としたとき、光線1と光線2が強めあう条件はどのように表されるか。 λ_2 を用いずに答えよ。整数 $m (m = 0, 1, 2, \dots)$ を用いてよい。
- (10) 波長が短い領域と波長が長い領域とで比較したとき、 $\lambda_2 - \lambda_1$ が大きいのは、どちらの領域か。
- (11) 薄膜の厚さはどのように表されるか。整数 m を用いずに答えよ。

3 抵抗, コイル, コンデンサーに交流電源をつないだ回路を作る。

I. 図 3-1 の(i), (ii), (iii)のように, 点 A から点 B の向きに流れる電流を正として, 電流の時間変化と点 B に対する点 A の電位の時間変化を考える。図 3-2 は破線が電流, 実線が電位を表している。



図 3-1

(1) 抵抗, コイル, コンデンサーにそれぞれ交流電源を接続している場合の電流と電位の関 を表すのは図 3-2 のうちのどれか。それぞれ (ア)から(ク)の中から最も適切なものを一つ選んで記号で答えよ。

(2) 交流電源の周波数が高いほど, 電流が流れにくいのは, 抵抗, コイル, コンデンサーのうちのどれか。

(3) 点 A と点 B の間に自己インダクタンス 10 H のコイルと抵抗値 $1.0 \times 10^3 \Omega$ の抵抗を直列につないで角周波数 100 rad/s の交流電源と接続している場合, 電流と電位の関係を表すのは図 3-2 のうちのどれか。(ア)から(ク)の中から最も適切なものを一つ選んで記号で答えよ。

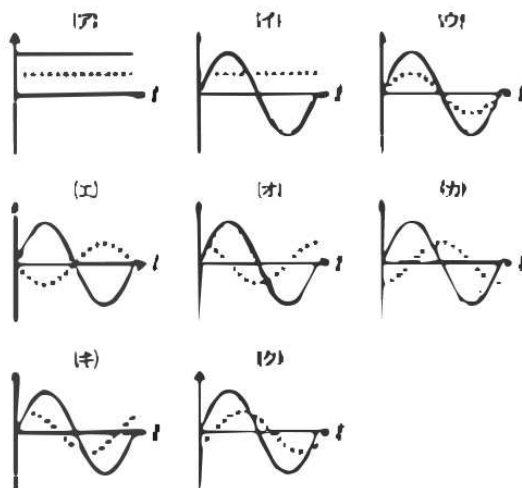


図 3-2

(4) 図 3-3 のように, 点 A と点 B の間に抵抗値 1Ω の抵抗と自己インダクタンス 0.1 H のコイル, 電気容量 0.05 F のコンデンサーを直列につないで角周波数 10 rad/s の交流電源と接続している場合, 電流と電位の関 を表すのは図 3-2 のうちのどれか。(ア)から(ク)の中から最も適切なものを一つ選んで記号で答えよ。

II. 抵抗値 R の抵抗 R , 自己インダクタンス L のコイル L , 電気容量 C のコンデンサー C , 角周波数が ω で電圧の最大値 V_0 の交流電源がある。図 3-3 のように抵抗 R , コイル L , コンデンサー C を直列につないで, 回路の両端をこの交流電源に接続した。電源の最大電圧 V_0 を



図 3-3

一定に保ったまま, 角周波数を徐々に大きくして回路を流れる電流を測定すると, 電流値は次第に大きくなり最大値となった後に次第に小さくなった。ここでは, この回路で消費される電力の時間平均値を消費電力と呼ぶ。

(5) 抵抗 R , コイル L , コンデンサー C のそれぞれに加わる交流電圧の最大値を V_{R0} , V_{L0} , V_{C0} とする。点 AB 間に加わる交流電圧の最大値は V_{R0} , V_{L0} , V_{C0} を用いてどのように表されるか。

(6) 回路のインピーダンスはいくらか。

(7) 角周波数を変化させたとき, 特定の角周波数で大きな電流が流れる現象を何と呼ぶか。

(8) 回路を流れる電流が最大となる角周波数 ω はいくらか。

(9) 回路を流れる電流が最大となったとき 図 3-3 の点 PB 間の電位差の大きさはいくらか。

(10) 回路を流れる交流電流の最大値はいくらか。

(11) 回路を流れる電流が最大値となったとき, 回路の消費電力は最大値となる。消費電力の最大値はいくらか。

(12) 回路の消費電力が最大値の $\frac{1}{2}$ 倍のとき, 回路のインピーダンスは, 消費電力が最大のときのインピーダンスの何倍となるか。