物

物　理

物理　問題　I

図１は，空気中におかれた全長 L の長くまっすぐな光ファイバーの概念図であり，円柱形の領域１と，その周囲を囲む領域２で構成される光ファイバーの中心軸を通る断面を示している。領域１，領域２はともにある単色光に対して透明であり，この単色光に対する領域１の屈折率は n，領域２の屈折率は $\alpha n\,(1<\alpha n<n)$，光ファイバーの両端の面は中心軸に垂直である。空気の屈折率を 1，空気中の光速を c として，次の問いに答えよ。

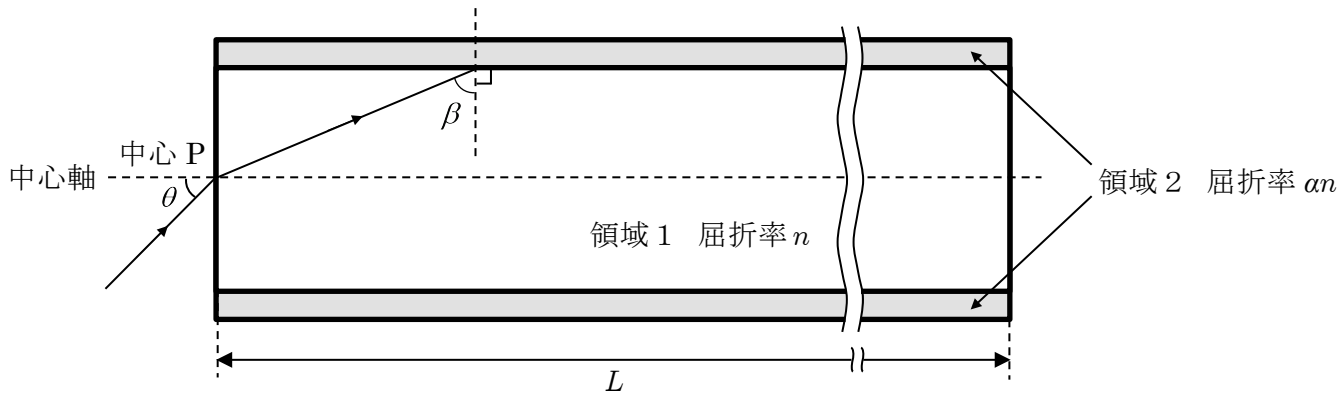


図１

図１のように，空気中から光ファイバーの左端の中心 P にこの単色光を入射角 θ で入射させると屈折し，その後，単色光は領域１と領域２の境界面に入射角 β で入射した。

問１．領域１の屈折率 n を，θ，β を用いて表せ。

問２．領域１内を通る単色光の速さを，n，c，θ の中から必要なものを用いて表せ。

問３．領域１と領域２の境界面での臨界角を β_c としたとき，$\sin\beta_c$ を，n，α の中から必要なものを用いて表せ。

問４．入射角 θ が θ_c のとき，領域１と領域２の境界面での入射角 β が臨界角 β_c となった。このときの $\sin\theta_c$ を，n，α の中から必要なものを用いて表せ。

続いて，空気中から問４の入射角 θ_c より小さな入射角 θ で光ファイバーの左端の中心 P に入射したこの単色光が，右端を通過するまでの時間について考える。

問５．入射角 θ が 0 のとき，単色光が左端の中心 P に入射してから右端を通過するまでに要する時間を，n, c, L を用いて表せ。

問６．入射角 θ が θ_1 のとき，単色光は領域１と領域２の境界面で全反射を繰り返して右端を通過した。単色光が左端の中心 P に入射してから右端を通過するまでに要する時間を，n，c，L，θ_1 を用いて表せ。

問７．$n=\dfrac{3}{2}$，$\theta_c>\dfrac{\pi}{6}$ とする。図２は，一定の時間間隔 ΔT で，単色光の強度が正となる明信号と，単色光の強度が 0 となる暗信号を繰り返す光の信号を表すグラフであり，明信号では単色光を入射角 θ が $0\leqq\theta\leqq\dfrac{\pi}{6}$ の範囲内のあらゆる角度から同時に左端の中心 P に ΔT の間照射した。光ファイバーを通過したこの光の信号について，右端で単色光の強度が 0 となる時間が存在するためには，$\Delta T>$ ［　　］を満たす必要がある。このときの ［　　］に入る式を，c，L を用いて表せ。

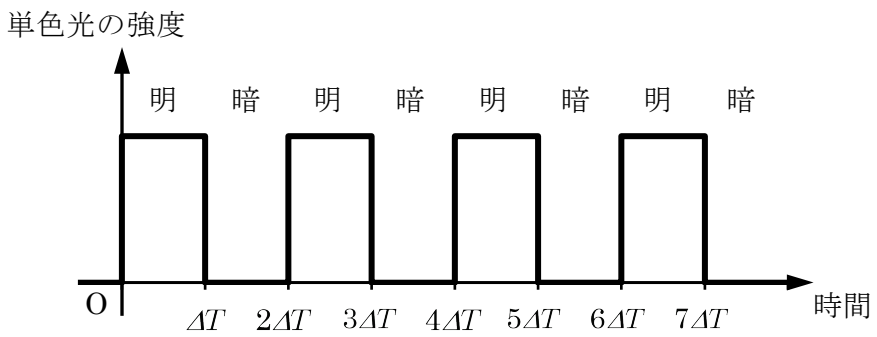


図２

物

物　理

物理　問題　Ⅱ

導線を均一に巻いた円筒状のコイルをソレノイドといい，電流を流すと磁場（磁界）が発生する。

このコイルが十分に長い場合，コイルの内部には円筒の中心軸に平行で一様な磁場ができ，外部に発生する磁場の影響は無視できる。この近似のもとでは発生する磁場の大きさは，単位長さあたりの巻数と電流の大きさの積となる。

コイルは空気中にあり，コイルの長さを L，断面積を S，全体の巻数を N，空気の透磁率を μ として，次の問いに答えよ。

【１】図１のように，コイルに電源と抵抗をつなぎ，矢印の向きに電流を流した。

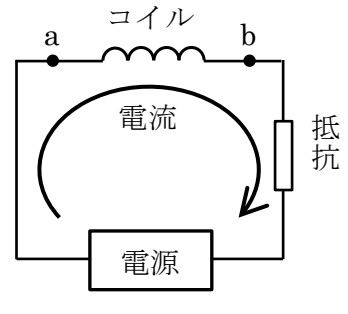


図１

問１．コイルに流れた電流の大きさを I として，コイルの断面を貫く磁束の大きさを求めよ。

コイルに流す電流を変化させると，時間 Δt の間にコイルの断面を貫く磁束が $\Delta\Phi\ (>0)$ 増加し，その間にコイルに一定の誘導起電力が発生した。電流の変化が正のとき，点 b に対する点 a の電位（コイルに加わる電圧）は正となる。

問２．この Δt の間に発生した誘導起電力の大きさを求めよ。

この Δt の間の電流の変化の大きさを ΔI とすると，誘導起電力の大きさは，定数 k を用いて $kN\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$ と書ける。

問３，問４では，図２のように，時刻 t が 0 から T_0 の間に電流 $I(t)=\dfrac{I_0}{T_0}t$ が流れた場合($I_0>0$)について考察する。

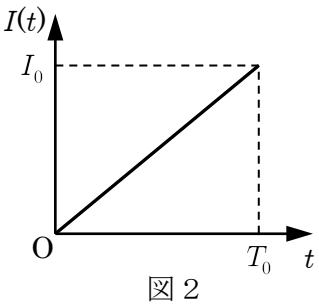


図２

問３．この間の時刻 t における，コイルに与えられる電力 $P(t)$ を，N，k，t，T_0，I_0 を用いて表せ。

この与えられた電力はエネルギーとしてコイルに蓄えられる。このエネルギーは，この間の P–t グラフの面積から求められ，コイルの内部に一様に分布すると考えることができる。

問４．時刻 $t=T_0$ におけるコイルの内部に発生した磁場の大きさを H_0 として，このときにコイルの内部に単位体積あたりに蓄えられているエネルギーを，（k，I_0 を用いずに）L，S，N，μ，H_0 の中から必要なものを用いて表せ。

【２】図３のように，このコイルを，抵抗値が R の抵抗と直列に接続し，交流電源につないだ。交流電圧（点 c に対する点 a の電位）$V(t)=V_1\sin\omega t$ をかけると，矢印の向きを正として，電流 $I(t)=I_1\sin\phi(t)=I_1\sin(\omega t+\phi_1)$ が流れた($V_1>0$，$I_1>0$)。時刻 t から $t+\Delta t$ までの短い時間の電流の変化は，三角関数の近似式を用いて，$\Delta I \fallingdotseq I_1\omega\Delta t\cos\phi(t)$ と近似できる。このときの誘導起電力は，この時間間隔が短いので一定であると近似でき，【１】と同様にして計算できる。その値を時刻 t での誘導起電力とする。

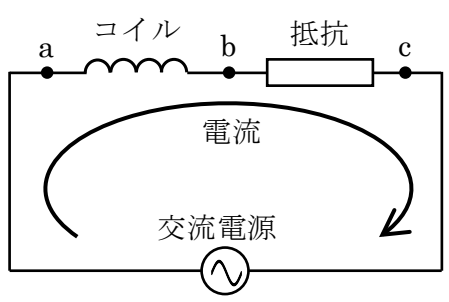


図３

問５．時刻 t における，点 c に対する点 b の電位（抵抗に加わる電圧）を，t，R，I_1，$\phi(t)$ の中から必要なものを用いて表せ。

問６．時刻 t における，点 b に対する点 a の電位（コイルに加わる電圧）を，N，k，t，ω，I_1，$\phi(t)$ の中から必要なものを用いて表せ。

以下の問いに，必要があれば三角関数の公式，$A\sin x+B\cos x=C\sin(x+\alpha)$，$C=\sqrt{A^2+B^2}$，$\tan\alpha=\dfrac{B}{A}$ を用いて答えよ。

問７．交流電圧の最大値 V_1 と電流の最大値 I_1 の比 $\dfrac{V_1}{I_1}$ を，N，k，R，ω の中から必要なものを用いて表せ。

問８．交流電圧と電流の位相の差 ϕ_1 について，$\tan\phi_1$ を，N，k，R，ω の中から必要なものを用いて表せ。

物

物　理

物理　問題　Ⅲ

図１のように粗い水平面上に台 A があり，台 A 上の中央に質量 m の小物体 B がある。台 A の上面は粗く水平であり，右向きを正として x 軸をとったとき，台 A，小物体 B はともに x 軸に沿って運動するものとする。水平面上に静止した観測者を P，台 A とともに動く観測者を Q とし，重力加速度の大きさを g として，次の問いに答えよ。

最初に，台 A と小物体 B が一体となって水平面に対して一定の速さ v_0 で右向きに運動するよう，台 A に力を加えた。時刻 0 で力を加えるのをやめると，それと同時に小物体 B は台 A 上を滑り出し，それぞれは観測者 P から見て図２の $v-t$ グラフで示されるような等加速度運動を始めた。台 A は時刻 t_0，小物体 B は時刻 $3t_0$ でそれぞれ静止し，それ以降は動かなかった。時刻 $3t_0$ のとき小物体 B は台 A 上にあった。

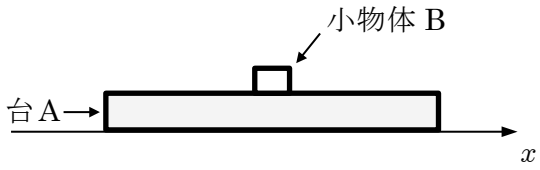


図１

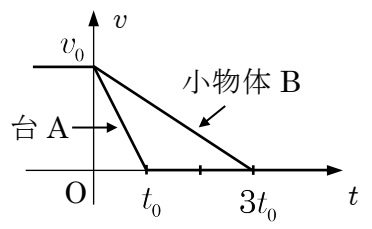


図２

問１．時刻 0 から t_0 の間に台 A が水平面上を移動した距離を求めよ。
問２．台 A の上面と小物体 B との間の動摩擦係数を求めよ。
問３．観測者 Q から見たときの，小物体 B の速さの最大値を求めよ。

問２で求めた台 A の上面と小物体 B との間の動摩擦係数を μ とする。

次に，図１の状態で台 A と小物体 B を静止させた後，時刻 0 から台 A に対して力を加えると，観測者 P から見た台 A の速度は図３の $v-t$ グラフのようになり，台 A の時刻 t_0 での速さが $4\mu g t_0$ になった。この運動は時刻 t が $0<t<t_0$，$t_0<t<2t_0$ のそれぞれの間で等加速度運動であり，台 A は時刻 $2t_0$ で静止し，それ以降は動かなかった。小物体 B は，時刻 0 で台 A が動き始めると同時に，観測者 P から見て正の速度で台 A 上を滑りだした。以下の問いでは台 A の上面と小物体 B との間の静止摩擦係数は動摩擦係数 μ とほぼ等しく，小物体 B は常に台 A 上にあるとして答えよ。

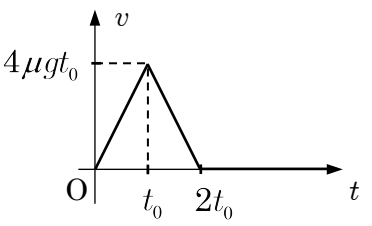


図３

問４．観測者 P から見たとき，次の瞬間の小物体 B の加速度を問４の選択肢①～⑨の中から１つずつ選び，番号で答えよ。
（１）台 A 上を滑り出した直後　　（２）時刻 t_0 の直後　　（３）動いている小物体 B が静止する直前

問４の選択肢　　①$-5\mu g$　②$-4\mu g$　③$-3\mu g$　④$-\mu g$　⑤ 0　⑥μg　⑦$3\mu g$　⑧$4\mu g$　⑨$5\mu g$

問５．時刻 t $(0 \leqq t \leqq t_0)$ における，観測者 P から見たときの小物体 B の速度を，μ，g，t_0，t の中から必要なものを用いて表せ。
問６．時刻 t が $0<t \leqq 2t_0$ の間で，観測者 Q から見て小物体 B が静止するときの時刻を，t_0 を用いて表せ。
問７．観測者 P から見たときの，小物体 B に関する次の問いに答えよ。
（１）小物体 B が台 A 上を滑り出してから静止するまでの間の，小物体 B の $v-t$ グラフを解答欄に描け。なお，解答欄には，図３に示した台 A の $v-t$ グラフが既に描かれている。
（２）問７（１）の $v-t$ グラフにおいて，小物体 B が動いているときの，台 A と小物体 B のグラフの交点の時刻と速度を，μ，g，t_0 の中から必要なものを用いてそれぞれ表せ。
（３）動いている小物体 B が静止するときの時刻を，t_0 を用いて表せ。
問８．観測者 Q から見た小物体 B の $v-t$ グラフの概形として最も適切なものを，問８の選択肢(a)～(f)の中から１つ選び，記号で答えよ。

問８の選択肢

