

解答紙の訂正

[解答紙]

理科「物理基礎・物理」		
訂正	解答紙番号 <input type="text" value="33"/> 〔2〕 問1(2)	
	誤	電流 /
	正	電流

〔1〕 次の文章を読み、問1～問4に答えよ。(45点)

図1の①→②→③→④→⑤に示すように、斜面をカタンコトンと半回転ずつ転がりながら下っていく細長い玩具がある。この玩具を、図2に示すような、半円2つと長方形を組み合わせた板Aと、おもりBを組み合わせた物体(以下、カタンコトンと呼ぶ)とみなし、紙面に平行な鉛直平面内の運動を考えよう。

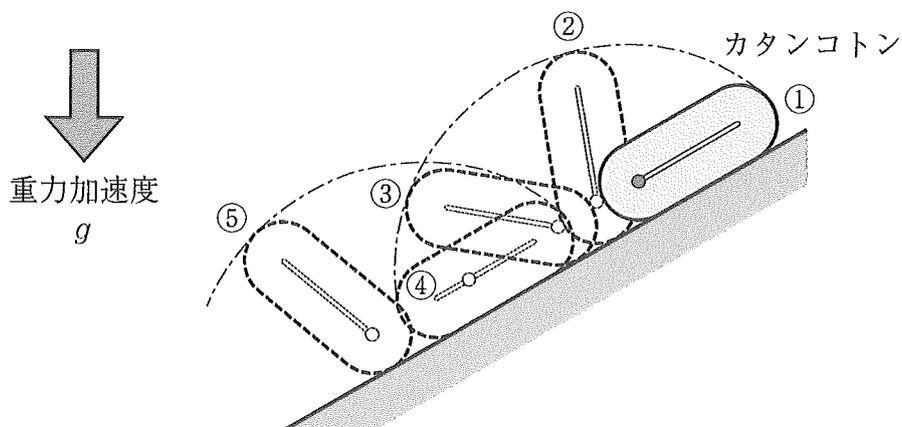


図1

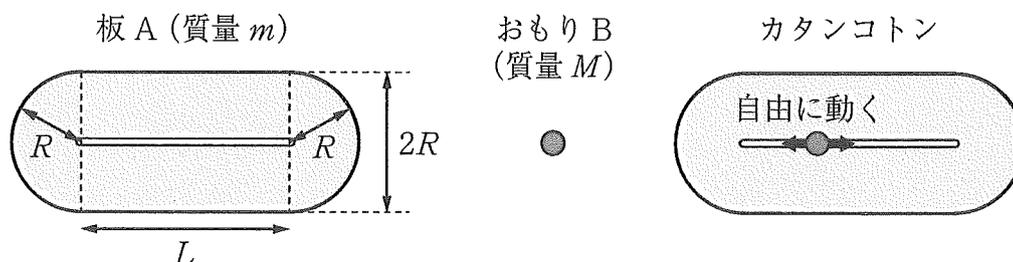


図2

板Aの半円部分の半径は R である。長方形部分の幅は $2R$ 、長さは L であり、2つの半円の中心を結ぶように、長さ L の細い溝が切つてある。おもりBは、大きさを無視できる小物体で、板Aの溝の中を摩擦なく滑って移動し、板Aから離れることはない。板Aは密度が一様に変形しない物体で、質量は m である。おもりBの質量は M であり、板Aの質量 m より大きい($M > m$)。重力加速度の向きは鉛直下向き、大きさは g とし、空気の抵抗は無視できるものとする。

問 1. まず、板 A やおもり B について、回転せずに滑る運動を考える。斜面と水平面がなす角を θ ($0 < \theta < \frac{\pi}{2}$) として、以下の問いに答えよ。

(1) 図 3(a) のように、あらい斜面に板 A を置くと、板 A は直線部分を斜面にぴたりと付けて静止した。斜面と板 A の間の静止摩擦係数を μ_0 とする。 θ を変化させると、ある角度で板 A が斜面上を滑り始めた。板 A が滑り出さないために $\tan \theta (> 0)$ がとりうる値の範囲を、 $R, L, m, g, \theta, \mu_0$ のうち必要なものを用いて解答欄に不等式で表せ。ただし、 $\frac{L}{R}$ は十分大きく、板 A が滑らずに転がる条件は考えなくてよい。また、 $0 < \tan \theta$ は記載しなくてよい。

(1) の条件を満たす、ある角度 θ の斜面上で静止している板 A に対して、溝の右端におもり B を取り付け、そっと手を離すと、板 A は静止したままだったが、おもり B が、図 3(b) のように、溝の中を摩擦なく滑る運動を始めた。

(2) おもり B について、斜面にそって下向きの加速度はいくらか、 R, L, M, g, θ のうち必要なものを用いて表せ。

(3) 溝の右端で静止していたおもり B が、滑り始めてから溝の左端に到達するまでの時間を答えよ。

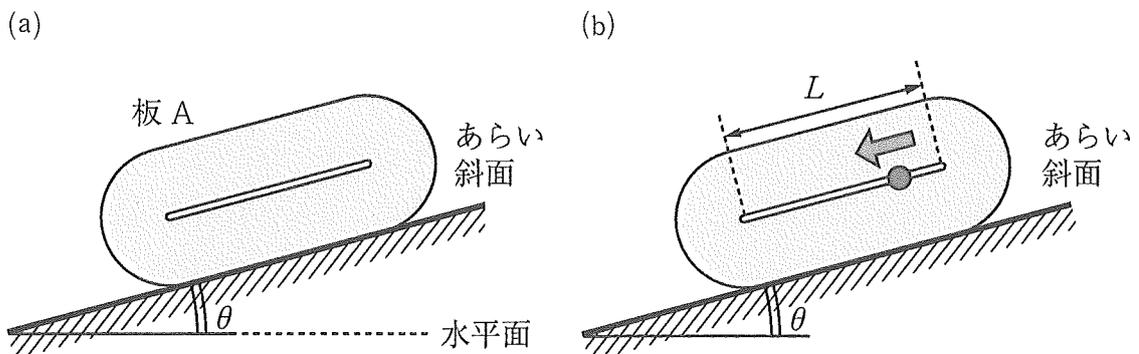


図 3

問 2. 次に、カタンコトンが水平な床の上で静止している状態について考える。

おもり B は、図 4 のように、板 A の溝の左端で静止している。以下の問いに答えよ。

- (1) 水平な床の上にカタンコトンが静止しているとき、カタンコトンが床から受ける垂直抗力 N を 1 点にはたらく力と考え、 N の大きさを答えよ。
- (2) 板 A の溝の左端から床に下ろした垂線と、床の表面の交点を、点 O とする。(1) で考えた垂直抗力 N の作用点と、点 O の間の距離を答えよ。
- (3) 垂直抗力 N を、解答欄の図中に 1 本の矢印で示せ。この問題(3)でのみ、おもり B の質量 M は、板 A の質量 m の 3 倍 ($M = 3m$) とする。また、矢印の始点は、(2) で求めた垂直抗力 N の作用点とし、矢印の長さは自由とする。

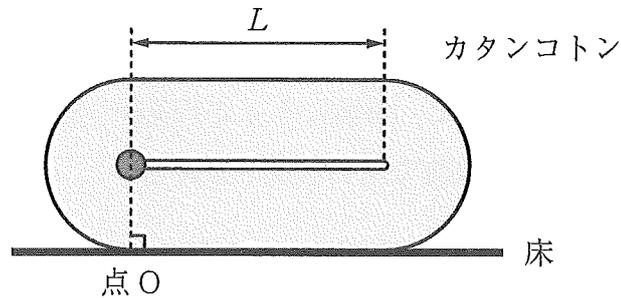


図 4

問 3. ここでは、あらい板に置いたカタンコトンが動き始める条件を考える。

- (1) あらい板を水平に置き、その上に、カタンコトンを図5のように $\frac{1}{4}$ 回転させ、そっと立てたところ、そのまま直立したが、少し傾けると、すぐに倒れてしまった。これは、板から測ったカタンコトンの重心の高さが、安定して直立できる最大の高さ X よりも、常に高くなるからである。この X を、 R, L, M, m, g のうち必要なものを用いて表せ。

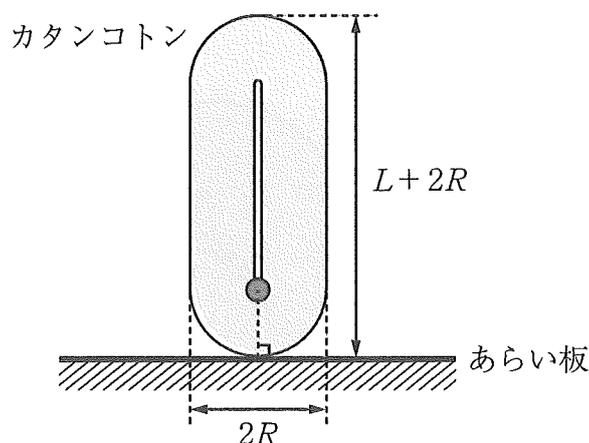


図 5

- (2) カタンコトンを、図6のように、あらい板の上に置き、板を少しずつ傾けていくと、水平面と板のなす角が、ある角度 θ_0 に達したところで、カタンコトンが滑らずに転がり始めた。 $\tan \theta_0$ を、 R, L, M, m, g のうち必要なものを用いて表せ。ただし、カタンコトンが転がり始めたとき、おもり B は、板 A の溝の左端で静止していたものとする。

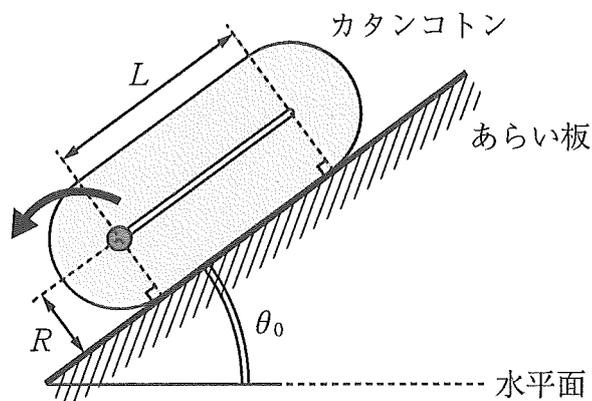


図 6

問 4. 最後に、カタンコトンが転がり続ける条件について考えよう。

問 1 で用いた斜面 ($\theta < \theta_0$) に、カタンコトンを、図 7 のように、ある特定の角度 ϕ だけ傾けて、そっと置くと、そのまま滑らず静止し、半円上の点 O' が斜面に接した状態で自立した。

(1) $\cos(\theta + \phi)$ を、 R , L , M , m , g , θ , μ_0 のうち必要なものを用いて表せ。

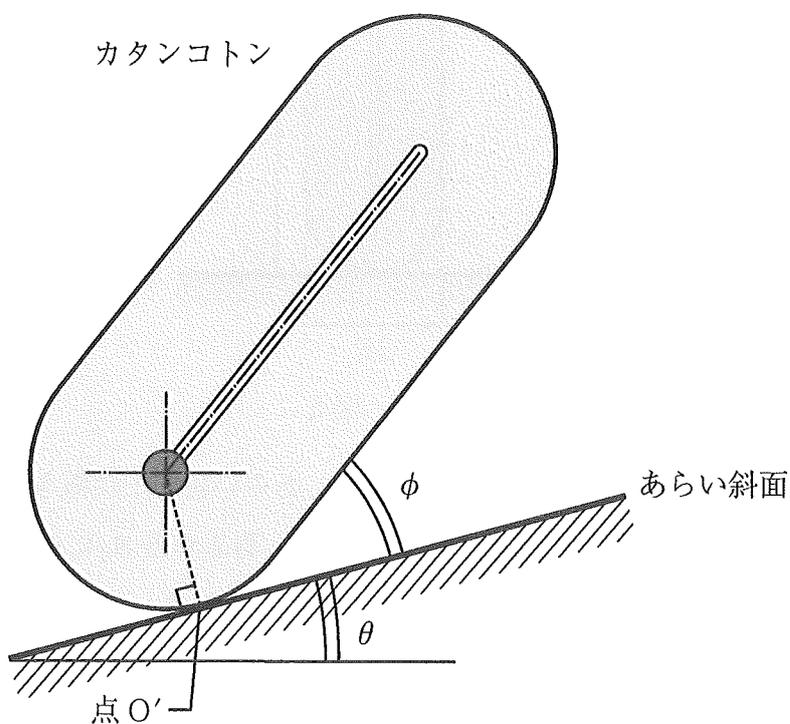


図 7

斜面上に直線部分をびたりとつけて静止しているカタンコトンに対し、図8(a)のように、おもりBを溝の中で右から左に滑らせると、おもりBが加速して板Aの溝の左端に衝突し、カタンコトンは、滑らずに転がる運動を開始した。

重力がカタンコトンを回転させる向きは、角度 ϕ を境に右回りから左回りに変化するので、カタンコトンが転がり続けるには角度 ϕ さえ越えられればよい。

(2) おもりBが板Aに与えたエネルギーが十分大きければ、カタンコトンは角度 ϕ を越えて転がり続けると考えられる。おもりBが溝の左端に到達した瞬間から、角度 ϕ に達したときまでの、カタンコトンの位置エネルギーの変化量を、増加を正として $R, L, M, m, g, \theta, \phi$ のうち必要なものを用いて表せ。

ただし、カタンコトンが転がり始めてから角度 ϕ に達する間、おもりBは板Aの溝の左端から動かず一体となって運動し、図8(b)に示すように、斜面上に平行に距離 $R\phi$ 移動することを用いてよい。また、 $\cos(\theta + \phi)$ や $\sin(\theta + \phi)$ は、そのまま解答に用いてよい。

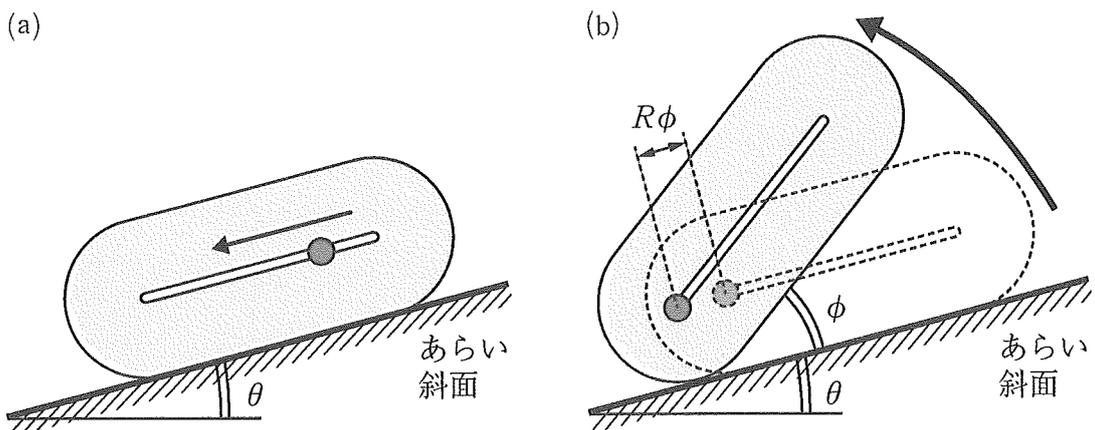


図8

〔2〕 次の文章を読み、問1～問2に答えよ。(40点)

問1. 図1に示すように、紙面上に xy 平面、紙面に垂直に z 軸をとり、紙面の裏から表への向きを z 軸正の向きとする。 xy 平面内に、一辺の長さが a の正方形の回路を形成するように導体線が配置されており、辺 OA_1 の一部に抵抗値 R の抵抗が取り付けられている。導体線の抵抗および太さは無視できるものとする。また、回路を流れる電流が作る磁場の影響は無視できるものとして、以下の問いに答えよ。

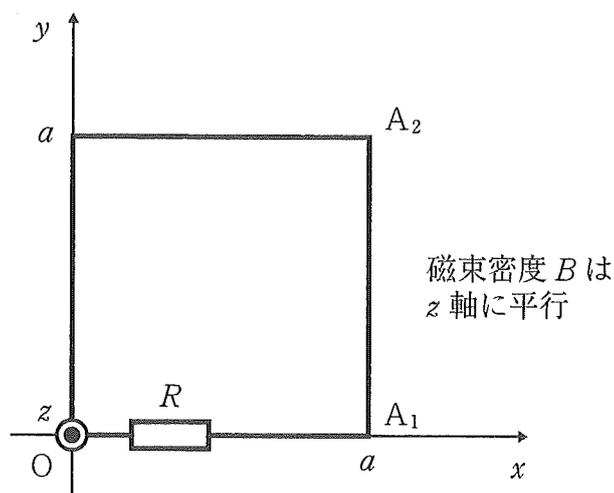


図1

図2に示すように、時間 t とともに周期 T で変化する磁束密度 B の一様な磁場を z 軸方向に回路全体に加えた。ここで、 $B > 0$ の時、磁場は z 軸正の向きを向いているものとする。

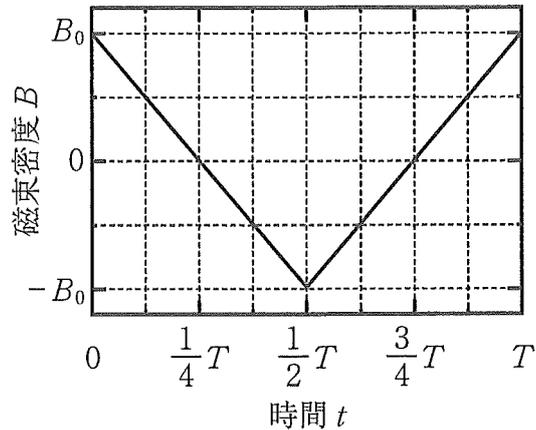


図2

- (1) 導体線の辺 A_1A_2 に流れる電流の最大値 I_0 を a , B_0 , R , T のうち必要なものを用いて答えよ。
- (2) 導体線の辺 A_1A_2 に流れる電流の時間変化を解答欄のグラフ中に実線で示せ。ただし、辺 A_1A_2 に流れる電流は y 軸正の向きを正とする。
- (3) 導体線の辺 A_1A_2 に流れる電流が磁場から受ける力の x 方向成分 F_x の時間変化を解答欄のグラフ中に実線で示せ。なお、 F_x の最大値を F_0 とする。

次に、充電されていない静電容量 C のコンデンサを図3に示すように回路に取り付け、図2に示す磁束密度 B の一様な磁場を回路全体に加えた。コンデンサの左側電極に蓄えられる電荷 Q は、最大値を Q_0 とすると図4に示すように時間変化した。

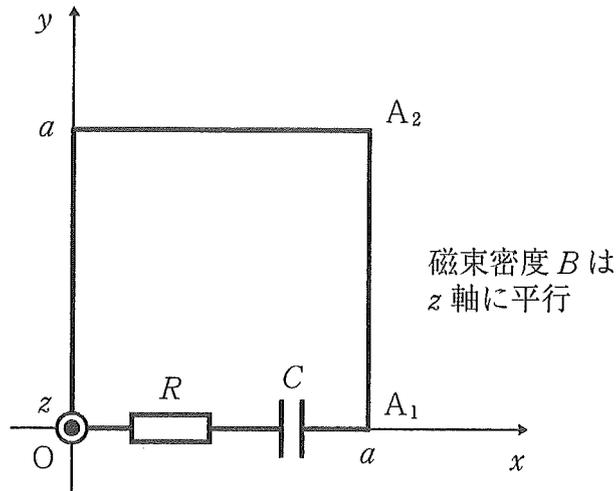


図3

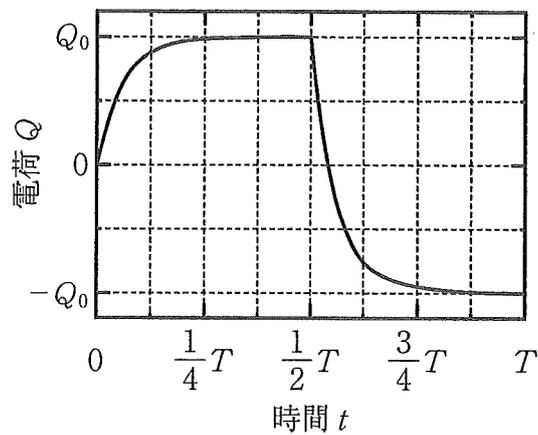


図4

- (4) 回路中の抵抗を抵抗値 $2R$ のものにとりかえた場合、コンデンサの左側電極に蓄えられる電荷 Q の時間変化として最も適当なものを、図5の(a)~(f)の中から一つ選び、解答欄の記号を○で囲め。

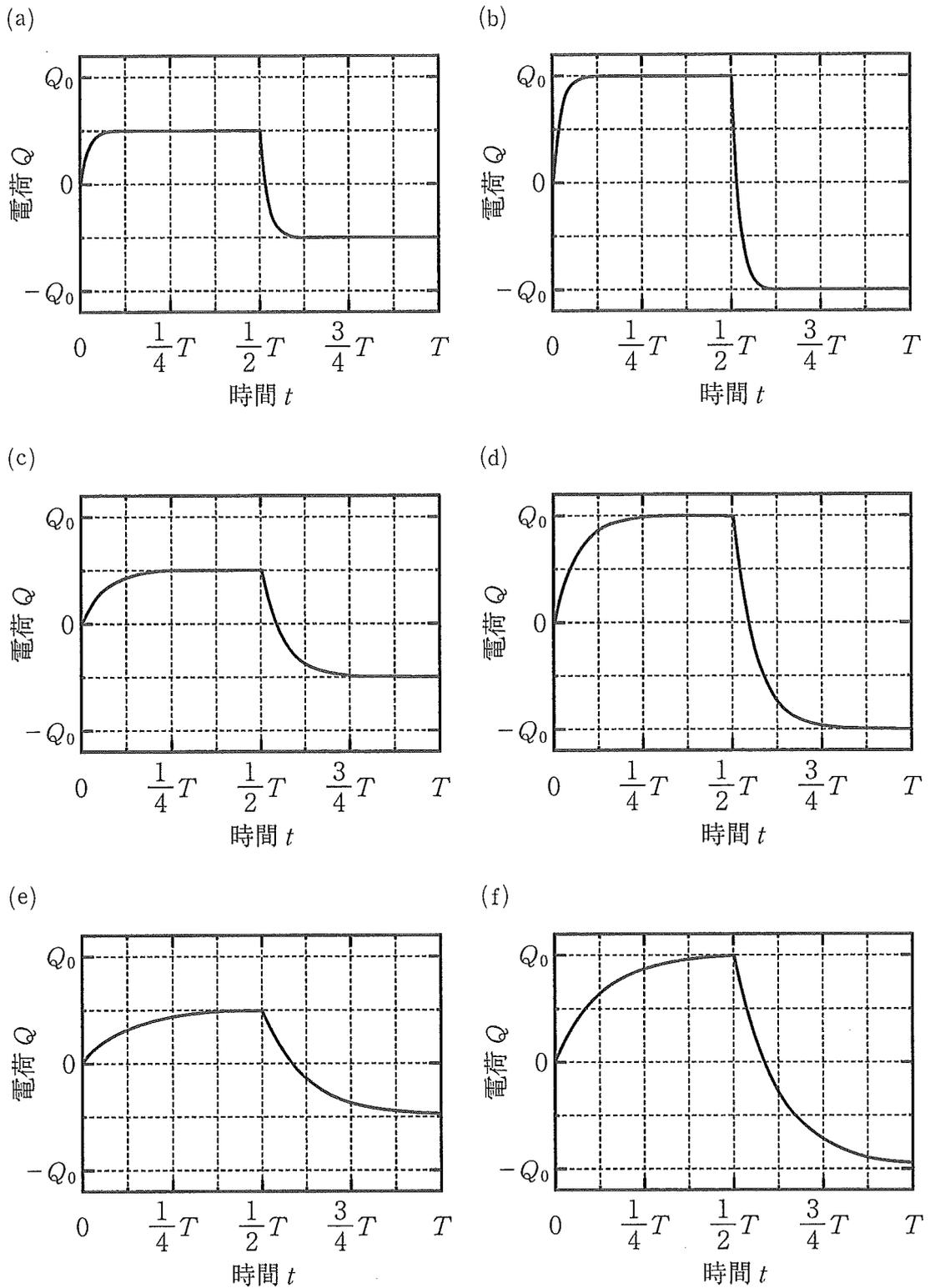


图5

最後に、図3に示すように抵抗値 R の抵抗と充電されていない静電容量 C のコンデンサを接続した状態で磁束密度 $B = B_1 \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right)$ の一様な磁場を繰り返し回路全体に加えた。磁場を加え始めてから十分に時間が経過した後、時間 $t = t_1$ から $t = t_1 + T$ の間に抵抗に流れる電流 I は、 x 軸正の向きを正とし最大値を I_1 とすると、図6に示すように時間変化した。

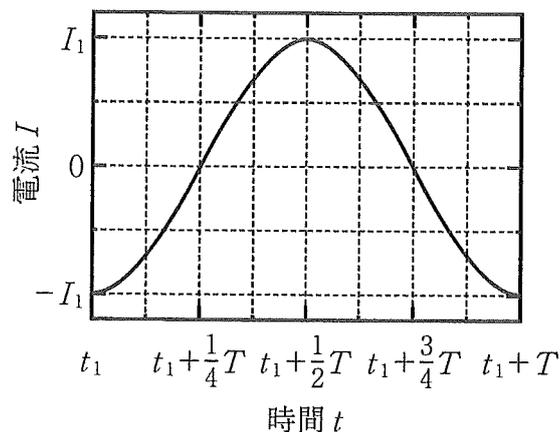


図6

- (5) コンデンサに加わる電圧 V の時間変化として最も適当なものを、図7の(a)~(f)の中から一つ選び、解答欄の記号を○で囲め。なお、電圧の最大値を V_1 とし、電圧はコンデンサの左側電極が高電位、右側電極が低電位の場合を正とする。

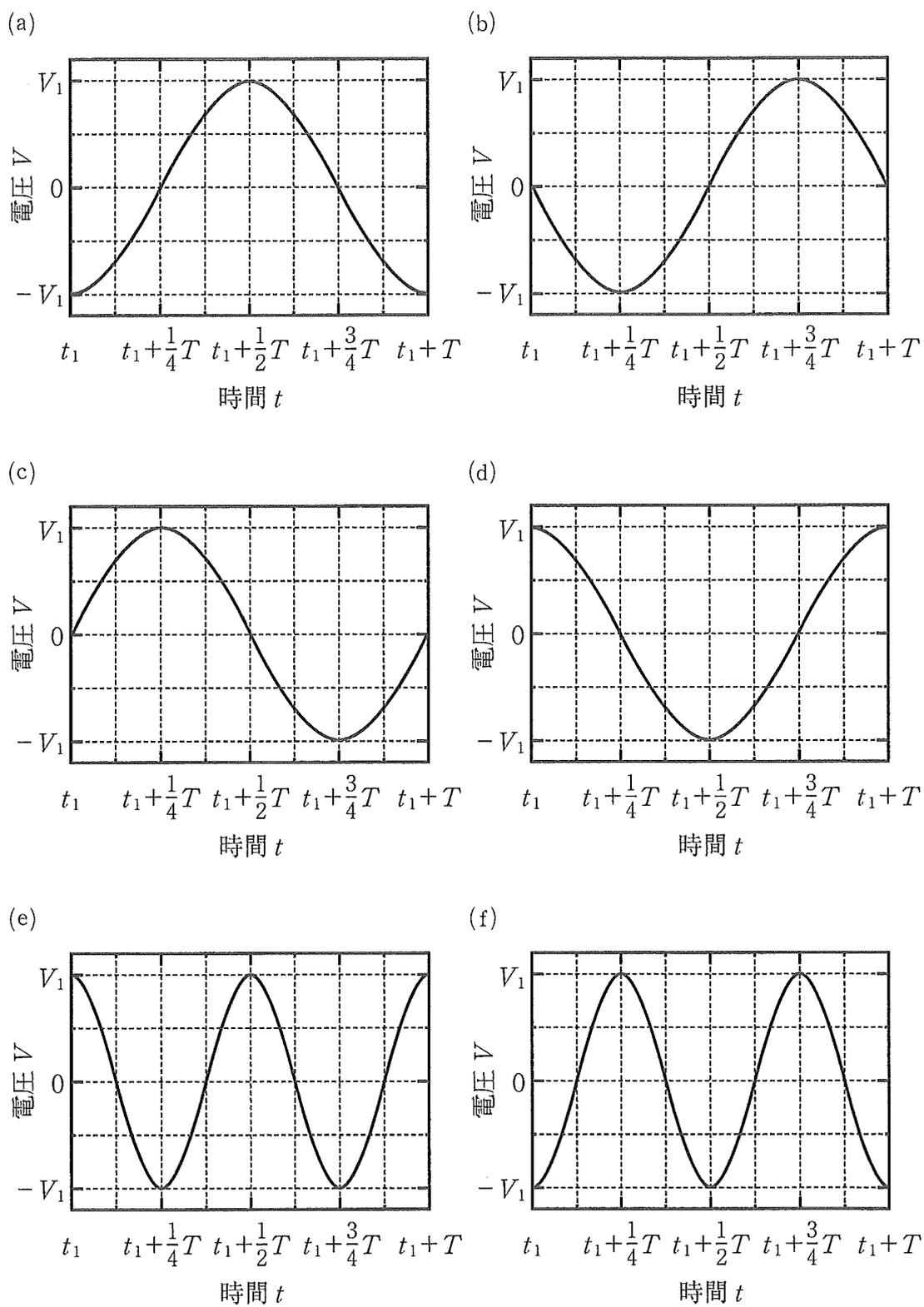


图 7

問 2. 以下の問いに答えよ。

抵抗値 r および $2r$ の抵抗とスイッチ S を使って図 8 のような回路を考える。導線の抵抗は無視できるものとする。

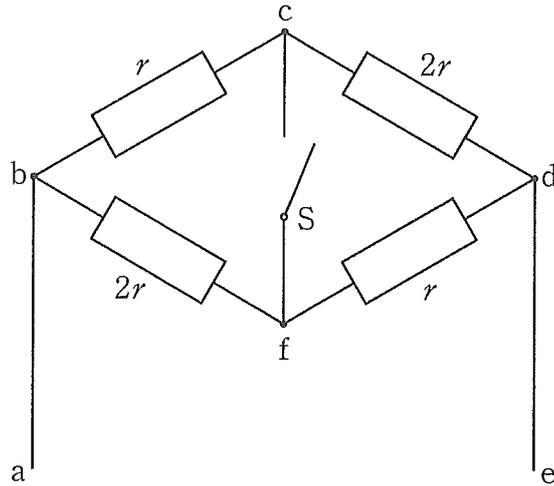


図 8

- (1) スイッチ S を開いたとき、および閉じたときの bd 間の合成抵抗をそれぞれ求めよ。

次に図 9 のように、スイッチ S をとりのぞいて抵抗値 R の抵抗を接続し、 ae 間に内部抵抗を無視できる起電力 E の電池をつないだ。 b から c へ、 b から f へ、 c から d へ流れる電流をそれぞれ I_1 , I_2 , I_3 とする。

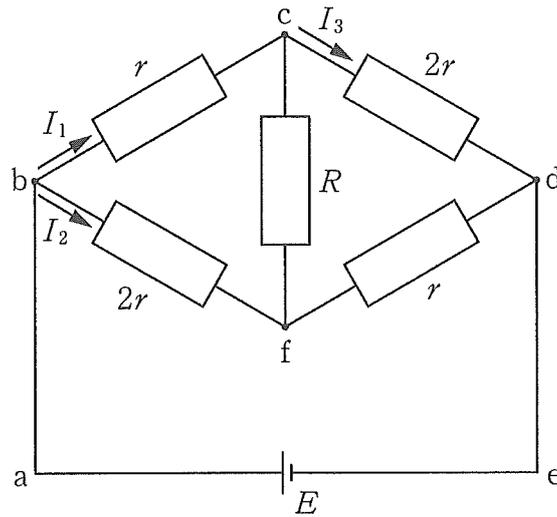


図 9

- (2) 閉回路 abcdea および abfdea について、キルヒホッフの第 2 法則 (電圧に関する法則) の式を、 E , r , R , I_1 , I_2 , I_3 の中から必要なものを用いてそれぞれ書け。
- (3) (2)の 2 つの式を用いて I_2 と I_3 の関係を求めよ。
- (4) I_1 および I_2 を、 E , r , R を用いてそれぞれ表せ。
- (5) bd 間の合成抵抗を、 r および R を用いて表せ。
- (6) 抵抗値 R の抵抗を可変抵抗にとりかえて、可変抵抗の抵抗値を r から $r + \Delta r$ へ微小変化させたときの合成抵抗の変化を考える。 $\left| \frac{\Delta r}{r} \right| \ll 1$ とすると、可変抵抗の抵抗値が $r + \Delta r$ のときの bd 間の合成抵抗は、

$$\alpha r + \beta \Delta r$$

の式で近似できる。 α および β を求めよ。ここで、 $|x| \ll 1$ の x に対して成り立つ近似式 $\frac{1}{1+x} \doteq 1 - x$, および $1 \pm x^2 \doteq 1$ を用いよ。

〔3〕 次の文章を読み，問1～問3に答えよ。(40点)

図1のように，真空中で点Oと点O'の2点を含む水平面上に平面鏡を置き，点Oの位置に，細いスリットSがある板を，点Oから距離 L 離れた点O'の位置に十分な高さをもつスクリーンを，水平面に対してそれぞれ垂直に立てた。板とスクリーンは平行であり，点Oと点O'を結ぶ線と垂直である。また，平面鏡は板とスクリーンの間にあるものとする。スリットの左側に光源を設置し，光源から出た光をスリットSに通すと，光が回折によって十分広がり，スクリーンに映った。スリットSから水平面までの距離を d ，点Oから平面鏡の左端までの距離を a ，平面鏡の幅を b とし，スクリーン上にある点Pは，点O'から鉛直上方の高さ x にあるものとする。板は十分に薄く厚さは無視でき，光が平面鏡で反射するとき，反射光の位相は π だけ変化するものとする。また， d と x は L に比べて十分に小さく， $|\alpha| \ll 1$ のとき，以下の近似式を用いるものとする。

$$\sqrt{1+\alpha} \doteq 1 + \frac{1}{2}\alpha$$

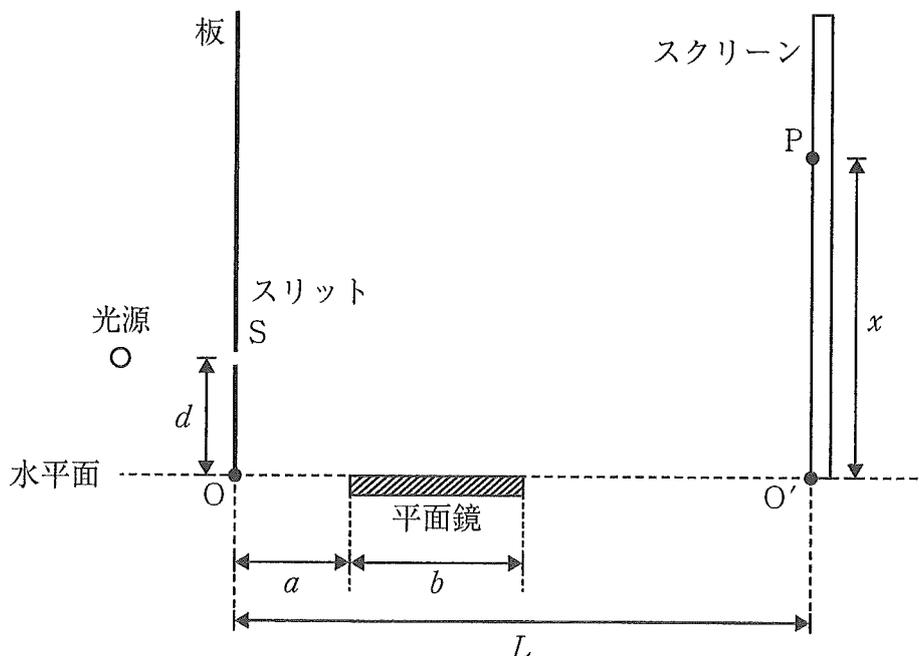


図1

問 1. 光源から位相のそろった波長 λ の単色光が出ると、スクリーン上に明暗の縞模様が現れる。これは、スリットからスクリーンに直接到達する光と、平面鏡で反射して到達する光が干渉して形成される干渉縞である。以下の問いに答えよ。

- (1) スクリーンに映る干渉縞は、スクリーン面の一部にのみ現れる。干渉縞が現れる鉛直方向の範囲を、解答欄のスクリーンを示す四角枠内に斜線で塗りつぶして示せ。なお、この問題(1)でのみ、スリット、平面鏡、スクリーンの配置は解答欄のとおりとする。必要に応じて、光が進む経路を作図してもよい。
- (2) スクリーン上で干渉縞が現れる x の範囲を、 λ , L , d , a , b のうち必要なものを用いて表せ。
- (3) スリットからスクリーンに直接到達する光の道のりを L_1 、平面鏡で反射して到達する光の道のりを L_2 とする。与えられた近似式を用いて、 $L_2 - L_1$ を、 λ , L , d , x , a , b のうち必要なものを用いて表せ。
- (4) $\lambda = 5.0 \times 10^{-7} \text{ m}$, $d = 5.0 \times 10^{-4} \text{ m}$, $L = 2.0 \text{ m}$, $a = 0.15 \text{ m}$, $b = 0.25 \text{ m}$ とするとき、スクリーン上に形成される干渉縞のうち、点 O' に最も近い明線の位置 $x [\text{m}]$ を有効数字 2 桁で求めよ。

問 2. 次の文中の空欄 ～ に入る正しい文章を，下記の選択肢(a)～(i)の中からそれぞれ一つ選び，解答欄の記号を○で囲め。なお，同じ記号を複数回選んでもよい。

「図 1 で，光源から出る単色光を赤色から青色へ変えた場合，スクリーン上に形成される 。」

「図 2 に示すように，平面鏡をスクリーン方向へ平行に移動した場合，スクリーン上に形成される 。」

「平面鏡を図 1 の位置に戻し，図 3 に示すように，スリット S と光源を点 O から離れる方向へ，スクリーンの高さを越えない範囲で水平面に垂直に移動した場合，スクリーン上に形成される 。」

選択肢

- (a) 隣り合う明線の間隔は「増加し」，干渉縞が現れる領域は「増加した」
- (b) 隣り合う明線の間隔は「増加し」，干渉縞が現れる領域は「減少した」
- (c) 隣り合う明線の間隔は「増加し」，干渉縞が現れる領域は「変化しなかった」
- (d) 隣り合う明線の間隔は「減少し」，干渉縞が現れる領域は「増加した」
- (e) 隣り合う明線の間隔は「減少し」，干渉縞が現れる領域は「減少した」
- (f) 隣り合う明線の間隔は「減少し」，干渉縞が現れる領域は「変化しなかった」
- (g) 隣り合う明線の間隔は「変化せず」，干渉縞が現れる領域は「増加した」
- (h) 隣り合う明線の間隔は「変化せず」，干渉縞が現れる領域は「減少した」
- (i) 隣り合う明線の間隔は「変化せず」，干渉縞が現れる領域は「変化しなかった」

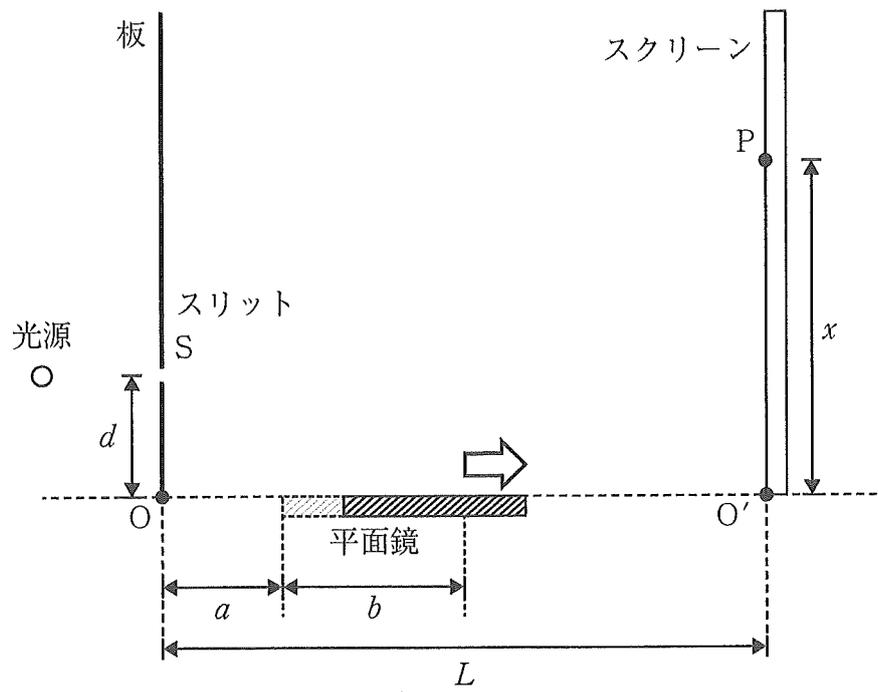


図 2

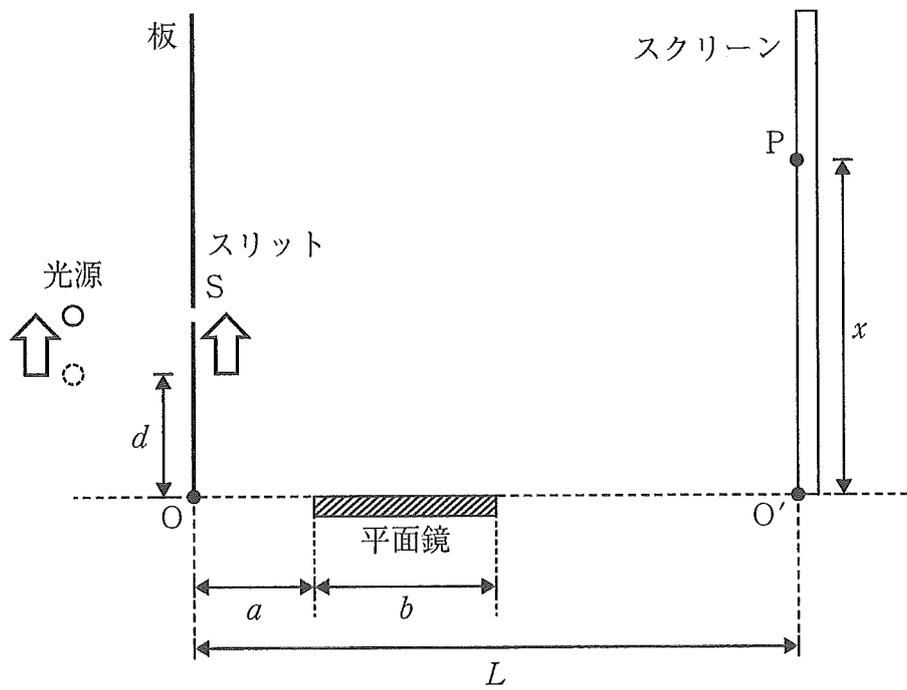


図 3

問 3. 図4のように、水平面上の点Oから水平方向に距離 L' 離れた点 O'' の位置にスクリーンを、水平面に対して垂直に立てた。水平面より上には絶対屈折率 n_1 の透明な物質1を、水平面より下には絶対屈折率 n_2 の透明な物質2を挿入した。点Oの上方には、レーザー光を発生する装置を設置した。スクリーン上にある点 P' は、点 O'' から鉛直上方の高さ $2h$ にあるものとする。レーザー光は、点Oの鉛直上方の高さ h の位置から、点O、点 O'' 、点 P' の3点を含む平面内を進むものとする。以下の問いに答えよ。

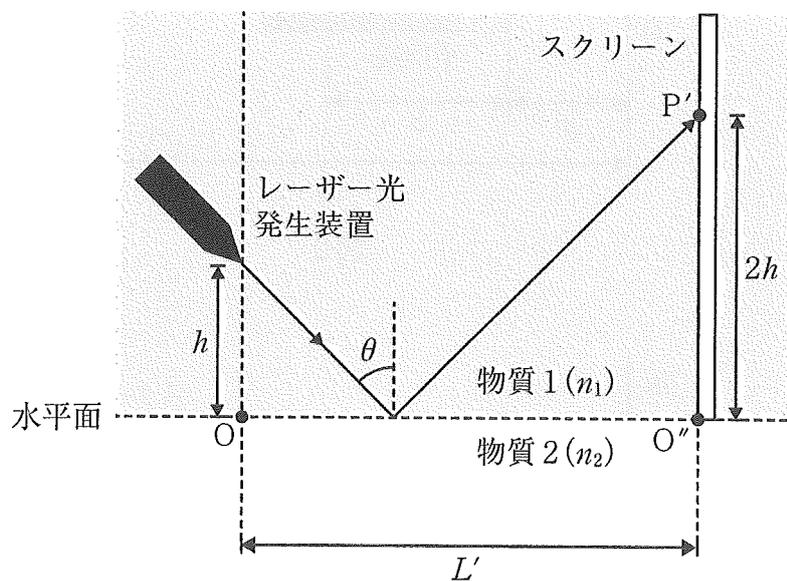


図4

- (1) レーザー光が物質1と物質2の境界面へ入射する場合を考える。入射角がある角度 θ をこえると、レーザー光はすべて反射される。この現象を全反射といい、このときの入射角 θ を臨界角という。屈折の法則を用いて、臨界角 θ と絶対屈折率 n_1 、 n_2 の関係式を求めよ。
- (2) レーザー光が臨界角 θ で物質1と物質2の境界面に入射したとき、境界面で反射した光が点 P' に現れた。このとき、点Oから点 O'' までの距離 L' を、 h 、 n_1 、 n_2 のうち必要なものを用いて表せ。