物　　理

注　意

1. 問題は全部で13ページである。
2. 解答用紙に氏名・受験番号を忘れずに記入すること。(ただし，マーク・シートにはあらかじめ受験番号がプリントされている。)
3. 解答はすべて解答用紙に記入すること。
4. 問題冊子の余白は計算に利用してよい。
5. 解答用紙は必ず提出のこと。この問題冊子は提出する必要はない。

マーク・シート記入上の注意

1. 解答用紙(その1)はマーク・シートになっている。**HB**の黒鉛筆またはシャープペンシルを用いて記入すること。
2. 解答用紙にあらかじめプリントされた受験番号を確認すること。
3. 解答する記号の ○ を塗りつぶしなさい。○で囲んだり×をつけたりしてはいけない。

解答記入例(解答が イ のとき)

	イ	ロ	ハ	ニ	ホ	ヘ	ト
1	●	○	○	○	○	○	○

4. 一度記入したマークを消す場合は，消しゴムでよく消すこと。×をつけても消したことにならない。
5. 解答用紙をよごしたり，折り曲げたりしないこと。

1 以下の文章を読み，空欄(ア)〜(ウ)にあてはまる最も適切な式を解答群から選び，**解答用紙（その１）**の解答欄の該当する記号をマークせよ。また，空欄(a)〜(l)にあてはまる最も適切な式または数を**解答用紙（その２）**の解答欄に記入せよ。問１と問２については，解答のグラフを解答用紙（その２）の該当する解答欄に描け。

なめらかな水平面（x–y 平面）上を滑る，大きさの無視できる物体がある。物体は平面外に飛び出すことはなく，物体の位置は $(x,\ y)$ 座標で表示でき，物体の速度，加速度，および物体に働く力は x–y 平面上の２次元ベクトルで表示できる。２次元ベクトル $\vec{A}$ の x，y 成分を，A_x，A_y とすると，$\vec{A}$ を $(A_x,\ A_y)$ のようにあらわす。

図１—１のように，$x=0$ になめらかな壁があり，物体の壁との間の反発係数（はね返り係数）を e とする。また，領域 $0 \leqq x \leqq R$ 内では，物体には，壁に垂直な方向に力 $\vec{F}=(f,\ 0)$（ただし $f>0$）が作用する。

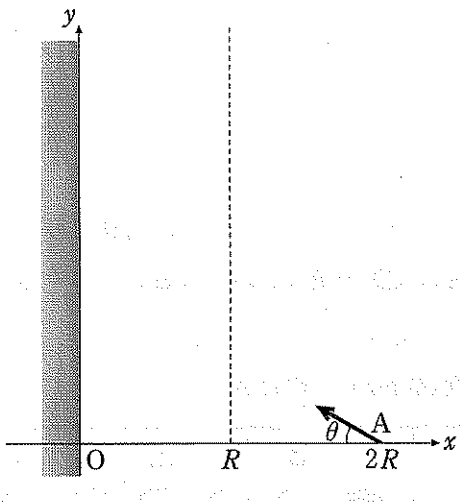


図１—１

(I) x 軸上の点 A$(2R,\ 0)$ から質量 m の物体を $\theta=0$，すなわち，壁に垂直に速度 $(-v_0,\ 0)$（ただし $v_0>0$）で打ち込む場合を考えよう。物体が壁に衝突しはね返るためには，v_0 がある値 v_1 より大きくなければならない

($v_0 > v_1$)。出射直後，物体の速さが v_0 のとき，物体の運動エネルギーは，$K =$ $\boxed{\text{(a)}}$ である。出射後，物体が壁に到達するまでの間に，力 $\vec{F}$ が物体に対してする仕事 W は，$W =$ $\boxed{\text{(b)}}$ であるから，物体が壁と衝突しはね返るための条件は，$\boxed{\text{(ア)}}$ である。以上の考察から，$v_1 =$ $\boxed{\text{(イ)}}$ とあらわせる。

(II) 次に質量 $2m$ の物体を，速度 $(-2v_1,\ 0)$ でA点から同様に壁に垂直に打ち込んだところ，物体は壁に衝突しはね返り，物体の衝突直後の速度は $\left(\frac{\sqrt{2}}{2}v_1,\ 0\right)$ であった。このことから，$e =$ $\boxed{\text{(c)}}$ であることがわかる。衝突直後の物体の加速度は，m をもちいて，($\boxed{\text{(d)}}$, $\boxed{\text{(e)}}$) とあらわされる。物体が壁に衝突した時刻を時間の原点 ($t = 0$) とし，$T = \frac{R}{v_1}$ とおく。衝突後，物体は加速され，時刻 $\boxed{\text{(f)}}$ $\times T$ に $x = R$ を通過する。その時の物体の速度は($\boxed{\text{(g)}}$ $\times v_1$, $\boxed{\text{(h)}}$ $\times v_1$)である。

(問 1) $0 \leqq t \leqq 2T$ において，物体の速度の x 成分 u_x はどのように変化するか。時刻 t に対するグラフとしてあらわし，解答用紙(その2)の図1—2に図示せよ。

(III) 今度は $\theta = 30$ 度の方向に，速さ $v_2 = \frac{2\sqrt{3}}{3}v_1$ で，A点から質量 m の物体を打ち込んだ場合を考察しよう。この時，物体が直線 $x = R$ を通過する2点B，Cの座標は，B(R, $\boxed{\text{(i)}}$ $\times R$)とC(R, $\boxed{\text{(j)}}$ $\times R$)となる。ここで，物体はB点を通った後C点を通過するものとする。BとCの間で，物体の速度の x 成分の符号が変化する点をDとすると，その座標は，D($\boxed{\text{(k)}}$ $\times R$, $\boxed{\text{(l)}}$ $\times R$)である。

(問 2) この場合，物体がA点から出射された後，再び直線 $x = 2R$ に達する間の運動の軌跡を解答用紙(その2)の図1—3に図示せよ。また，図中にB点，C点，D点の位置を示せ。

上の考察から，質量 M の物体を $\theta = 30$ 度の方向に速さ v_2 で打ち込む場合，物体が壁と衝突してはね返るためには，$\boxed{\text{(ウ)}}$ の条件を満たさなければならないことがわかる。

(ア)(ウ)の解答群

(1) $K-W<0$　(2) $2K-W<0$　(3) $3K-2W<0$

(4) $3K-2W>0$　(5) $2K-W>0$　(6) $K-W>0$

(7) $K+W<0$　(8) $2K+W<0$　(9) $3K+2W<0$

(10) $3K+2\mathrm{W}>0$　(11) $2K+W>0$　(12) $K+W>0$

(13) $M<m$　(14) $M<\frac{3}{4}m$　(15) $M<\frac{\sqrt{3}}{2}m$

(16) $M>\frac{\sqrt{3}}{2}m$　(17) $M>\frac{3}{4}m$　(18) $M>m$

(イ)の解答群

(1) $\sqrt{\frac{fR}{2m}}$　(2) $\sqrt{\frac{fR}{m}}$　(3) $\sqrt{\frac{2fR}{m}}$　(4) $\sqrt{\frac{2m}{fR}}$

(5) $\sqrt{\frac{m}{fR}}$　(6) $\sqrt{\frac{m}{2fR}}$　(7) $\frac{fR}{2m}$　(8) $\frac{fR}{m}$

(9) $\frac{2fR}{m}$　(10) $\frac{2m}{fR}$　(11) $\frac{m}{fR}$　(12) $\frac{m}{2fR}$

<余　白>

2 以下の文章を読み，空欄(ア)〜(ク)にあてはまるもっとも適切な式または語句をそれぞれの解答群から選び，**解答用紙(その１)**に記された記号をマークせよ。また，設問(1)〜(4)については，**解答用紙(その３)**の所定の欄に解答せよ。

図２―１のように，起電力 E の電池につながれた２本の平行なレール上に，抵抗値 R の導体棒を置くことを考える。レールの間隔は ℓ であり，水平な地面に対するレールの角度 θ は自由に調節できるものとする。導体棒とレールのなす角は常に直角であり，導体棒は水平を保ったまま２本のレールに乗って滑らかに移動できる。レールに沿って上方向を正の向きとする。レールはじゅうぶんに長く，導体棒が移動しても端まで到達することは考えなくてもよい。図に示すように，地面に対して鉛直上向きに一様な磁場がかかっており，その磁束密度の大きさを B とする。導体棒の質量を m，重力加速度の大きさを g とする。また，電池の内部抵抗および導体棒以外のレール部分の電気抵抗，および回路のインダクタンスは無視できるものとする。

最初，レールを地面に対してある角度 θ_0 で固定し，導体棒を静かに置いた。このとき，導体棒は静止したままであった。

(1) この時，導体棒を流れる電流が磁場から受ける力の大きさを求め，その向きを表す矢印の番号を図２―２から選べ。

(2) 導体棒にはたらく力のつり合いから $\tan\theta_0$ を求めよ。

次に，レールを別の角度 $\theta_1 < \theta_0$ で固定し，導体棒を静かに置くと，導体棒は滑らかに移動し始めた。導体棒が移動する方向は $\boxed{（ア－１）}$ であり，導体棒とレールおよび電池からなる回路を貫く磁束は $\boxed{（ア－２）}$ する。このため，起電力 E の電池と $\boxed{（ア－３）}$ 向きの誘導起電力が発生する。

導体棒の速さを v とすると，誘導起電力の大きさは $\boxed{(イ)}$ で与えられるため，導体棒を流れる電流は $\boxed{(ウ)}$ となる。この時，導体棒にはたらく力のレールに平行な成分は，$\boxed{(エ)}$ と表されるので，じゅうぶんに時間が経つと，導体棒の速さは $\boxed{(オ)}$ に達する。

(3) じゅうぶんに時間が経った後，導体棒に流れている電流の大きさを求めよ。

最後に，レールを角度 θ_0 に戻してから固定し，最初の導体棒を外した。その後，質量が同じで抵抗が4倍の別の導体棒を静かに置いた。この場合，導体棒にはたらく力のレールに平行な成分は， (カ) と表されるので，導体棒はレールに沿って （キ－1） に移動する。このため，導体棒とレールおよび電池からなる回路を貫く磁束は （キ－2） し，起電力 E の電池と （キ－3） 向きの誘導起電力が発生する。じゅうぶんに時間が経つと，導体棒の速さは (ク) に達する。

(4) 導体棒を交換してじゅうぶんに時間が経った後，導体棒に流れている電流の大きさを求めよ。

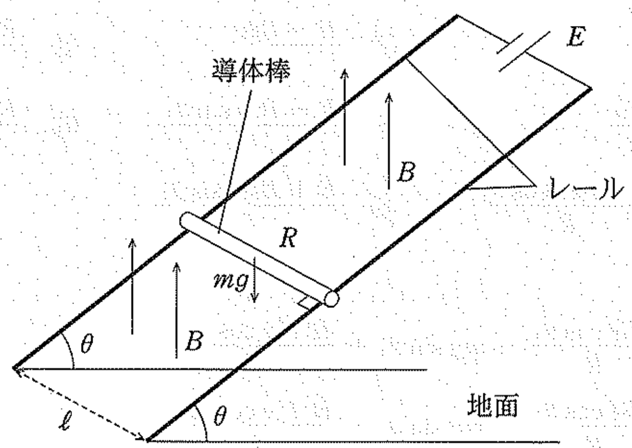


図 2－1

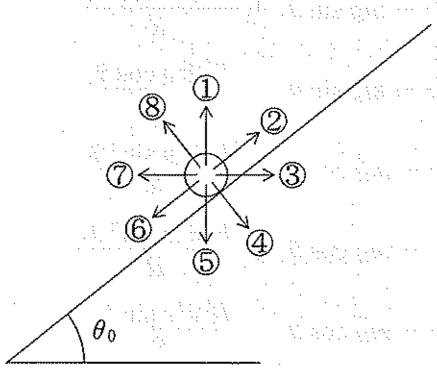


図 2－2

解答群(ア－1)，(ア－2)，(ア－3)の組み合わせ

	(ア－1)	(ア－2)	(ア－3)		(ア－1)	(ア－2)	(ア－3)
①	正の向き	減 少	同 じ	②	正の向き	減 少	逆
③	正の向き	増 加	同 じ	④	正の向き	増 加	逆
⑤	負の向き	減 少	同 じ	⑥	負の向き	減 少	逆
⑦	負の向き	増 加	同 じ	⑧	負の向き	増 加	逆

解答群(イ)

① $B\ell v \sin\theta_1$　② $B\ell v \tan\theta_1$　③ $B\ell v \cos\theta_1$　④ $B\ell v$

⑤ $Bv \sin\theta_1$　⑥ $Bv \tan\theta_1$　⑦ $Bv \cos\theta_1$　⑧ Bv

解答群(ウ)

① $\dfrac{E}{R}$　② $\dfrac{E - B\ell v}{R}$　③ $\dfrac{E + B\ell v}{R}$

④ $\dfrac{B\ell v}{R}$　⑤ $\dfrac{E - B\ell v \sin\theta_1}{R}$　⑥ $\dfrac{E + B\ell v \sin\theta_1}{R}$

⑦ $\dfrac{E - B\ell v \cos\theta_1}{R}$　⑧ $\dfrac{E + B\ell v \cos\theta_1}{R}$

解答群(エ)

① $\dfrac{EB\ell \cos\theta_1}{R} - mg\sin\theta_1 + \dfrac{B^2\ell^2 v \cos^2\theta_1}{R}$

② $\dfrac{EB\ell \cos\theta_1}{R} - mg\sin\theta_1 - \dfrac{B^2\ell^2 v \cos^2\theta_1}{R}$

③ $\dfrac{EB\ell \cos\theta_1}{R} - mg\sin\theta_1 + \dfrac{B^2\ell^2 v \cos\theta_1}{R}$

④ $\dfrac{EB\ell \cos\theta_1}{R} - mg\sin\theta_1 - \dfrac{B^2\ell^2 v \cos\theta_1}{R}$

⑤ $\dfrac{EB\ell \sin\theta_1}{R} - mg\cos\theta_1 + \dfrac{B^2\ell^2 v \sin^2\theta_1}{R}$

⑥ $\dfrac{EB\ell \sin\theta_1}{R} - mg\cos\theta_1 - \dfrac{B^2\ell^2 v \sin^2\theta_1}{R}$

⑦ $\dfrac{EB\ell \sin\theta_1}{R} - mg\cos\theta_1 + \dfrac{B^2\ell^2 v \sin\theta_1}{R}$

⑧ $\dfrac{EB\ell \sin\theta_1}{R} - mg\cos\theta_1 - \dfrac{B^2\ell^2 v \sin\theta_1}{R}$

解答群(オ)

① $\dfrac{mgR(\cos\theta_0-\cos\theta_1)}{B^2\ell^2\cos\theta_1}$　② $\dfrac{mgR(\sin\theta_0-\sin\theta_1)}{B^2\ell^2\cos\theta_1}$

③ $\dfrac{mgR(\tan\theta_0-\tan\theta_1)}{B^2\ell^2\sin\theta_1}$　④ $\dfrac{2\,mgR(\tan\theta_0-\tan\theta_1)}{B^2\ell^2\sin\theta_1}$

⑤ $\dfrac{2\,mgR(\tan\theta_0-\tan\theta_1)}{B^2\ell^2}$　⑥ $\dfrac{mgR(\tan\theta_0-\tan\theta_1)}{B^2\ell^2}$

⑦ $\dfrac{2\,mgR(\tan\theta_0-\tan\theta_1)}{B^2\ell^2\cos\theta_1}$　⑧ $\dfrac{mgR(\tan\theta_0-\tan\theta_1)}{B^2\ell^2\cos\theta_1}$

解答群(カ)

① $-\dfrac{3}{4}mg\sin\theta_0$　② $\dfrac{3}{4}mg\sin\theta_0$　③ $-\dfrac{1}{2}mg\sin\theta_0$

④ $\dfrac{1}{2}mg\sin\theta_0$　⑤ $-\dfrac{3}{4}mg\cos\theta_0$　⑥ $\dfrac{3}{4}mg\cos\theta_0$

⑦ $-\dfrac{1}{2}mg\cos\theta_0$　⑧ $\dfrac{1}{2}mg\cos\theta_0$

解答群（キ―１），（キ―２），（キ―３）の組み合わせ

	（キ―１）	（キ―２）	（キ―３）		（キ―１）	（キ―２）	（キ―３）
①	正の向き	減　少	同　じ	②	正の向き	減　少	逆
③	正の向き	増　加	同　じ	④	正の向き	増　加	逆
⑤	負の向き	減　少	同　じ	⑥	負の向き	減　少	逆
⑦	負の向き	増　加	同　じ	⑧	負の向き	増　加	逆

解答群(ク)

① $\dfrac{3E}{B\ell\sin\theta_0}$　② $\dfrac{2E}{B\ell\sin\theta_0}$　③ $\dfrac{E}{B\ell\sin\theta_0}$　④ $\dfrac{E}{B\ell\tan\theta_0}$

⑤ $\dfrac{3E}{B\ell\cos\theta_0}$　⑥ $\dfrac{2E}{B\ell\cos\theta_0}$　⑦ $\dfrac{E}{B\ell\cos\theta_0}$　⑧ $\dfrac{E}{B\ell}$

3 以下の文章を読み，空欄(ア)〜(ウ)，(オ)，(キ)，(ク)にあてはまる最も適切な式または語句をそれぞれ解答群から選び，**解答用紙(その1)**の該当する記号をマークせよ。また，(エ)にあてはまる最も適切な曲線を図3—3から，(カ)にあてはまる最も適切なグラフを図3—5からそれぞれ選び，解答用紙(その1)の該当する記号をマークせよ。

雨あがりに日がさすと，虹(にじ)を見ることがある。虹が生じるのは，空気中に無数に浮かぶ水滴に太陽光が入射し，光の分散が起こるためである。特に，水滴に入射した太陽光が水滴中で1回だけ反射して空気中に出てくる場合にみられる虹がもっとも明るく，主虹と呼ばれる。以下では主虹の起こるしくみについて考えよう。

空気中から水中へ入射するとき，光は屈折する。図3—1のように入射角，屈折角をそれぞれα，βとし，空気に対する水の屈折率をnとすると，$\boxed{\text{(ア)}}$の関係がある。

次に，水滴中を進む太陽光について考えよう。太陽光はいろいろな色(波長)の光がまざっているが，まずは，赤色の単色光(空気に対する水の屈折率$n = 1.33$)の進路について考えよう。以下では水滴は球形であるとする。図3—2において，光の進路は紙面内に限られるとする。光はAの方向からやってくる。光は点Bで図のように入射角αで水滴に入射し屈折角βで屈折する。水滴中を進んだ光は点Cで反射され，点Dで再び空気中へ出てEの方向へ散乱光となって進む。このとき，$\angle \mathrm{BCD} = \boxed{\text{(イ)}}$である。直線ABと直線EDの交点をPとすると，散乱角$\theta_{\mathrm{P}} = \angle \mathrm{APE}$が太陽光線に対して光が散乱される角度となる。水滴の中心をOとすると，$\theta_{\mathrm{P}} = 2\angle \mathrm{BPO} = \boxed{\text{(ウ)}}$となる。$\alpha$と$\beta$の関係は$\boxed{\text{(ア)}}$で与えられているので，$\alpha$の値が決まるとそれに対応して$\theta_{\mathrm{P}}$の値が決まる。図3—3の5本の線のうちで$\alpha$と$\theta_{\mathrm{P}}$の関係を正しく示すものは$\boxed{\text{(エ)}}$である。もし，入射角$\alpha$で水滴に入射した光とそれとわずかに異なる入射角$\alpha + \Delta\alpha$で水滴に入射した光がほぼ同じ散乱角$\theta_{\mathrm{P}}$で散乱されれば，その方向への散乱光の強さが大きくなる。このことから，θ_{P}が$\boxed{\text{(オ)}}$の方向に最も強い散乱光が進むことになり，主虹のうちの赤色の帯を作ることになる。

いろいろな色の光がまざった太陽光が空気中から水中へ進むとき，それぞれの

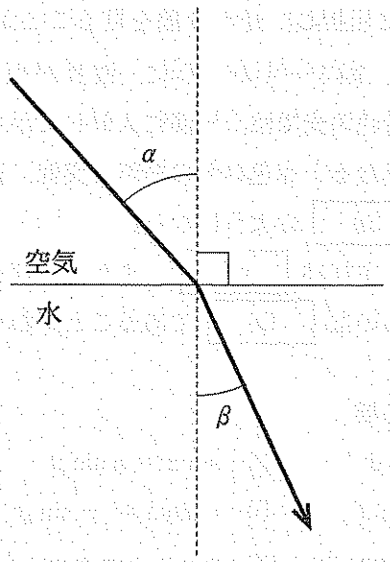


図3―1

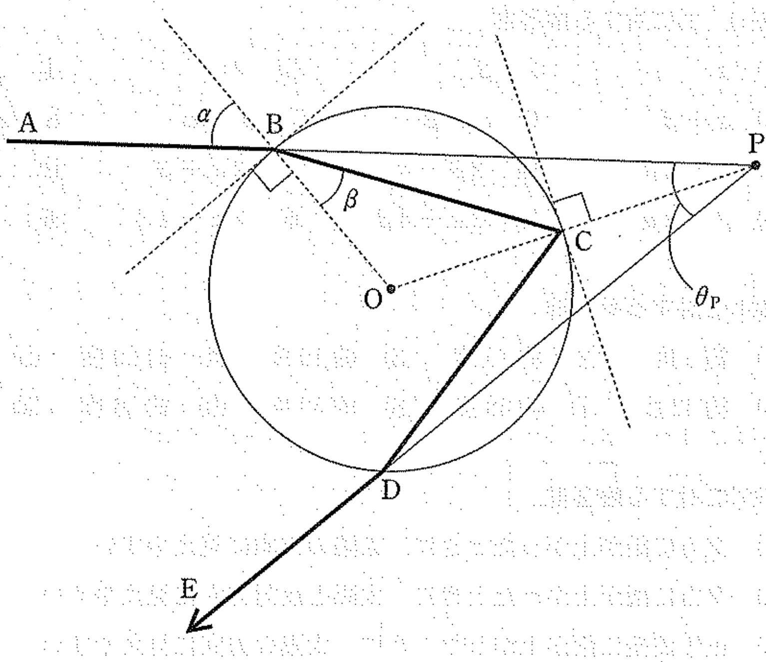


図3―2

色の光が違う方向に屈折し，光の分散を見ることができる。水の屈折率 n は波長によって異なり，図３―４のように，波長が短いほど n は大きい。このため，例えば赤色と青色の光では，水滴に入射してから，反射，屈折の後に水滴を出るまでの経路が異なる。赤色の光の経路を実線，青色の光の経路を点線で示すと，図３―５の $\boxed{\text{(カ)}}$ のようになる。

以上のことから，主虹は $\boxed{\text{(キ)}}$ 。また，主虹を観測したとき，赤色，青色のうち内側に見えるのは $\boxed{\text{(ク)}}$ であることがわかる。

空欄(ア)に対する解答群

(1) $n\sin\alpha=\sin\beta$　(2) $\sin\alpha=n\sin\beta$　(3) $n\cos\alpha=\cos\beta$

(4) $\cos\alpha=n\cos\beta$　(5) $n\sin\alpha=-\sin\beta$　(6) $\sin\alpha=-n\sin\beta$

(7) $n\cos\alpha=-\cos\beta$　(8) $\cos\alpha=-n\cos\beta$　(9) $\sin\alpha\sin\beta=n$

(10) $\cos\alpha\cos\beta=n$

空欄(イ)，(ウ)に対する解答群

(1) α　(2) β　(3) 2α　(4) 2β

(5) $\alpha+\beta$　(6) $\alpha-\beta$　(7) $\beta-\alpha$　(8) $\alpha+2\beta$

(9) $\alpha-2\beta$　(10) $2\beta-\alpha$　(11) $2\alpha+\beta$　(12) $2\alpha-\beta$

(13) $\beta-2\alpha$　(14) $2\alpha+4\beta$　(15) $2\alpha-4\beta$　(16) $4\beta-2\alpha$

空欄(オ)に対する解答群

(1) 約５度　(2) 約15度　(3) 約19度　(4) 約29度　(5) 約37度

(6) 約42度　(7) 約48度　(8) 約53度　(9) 約56度　(10) 約60度

空欄(キ)に対する解答群

(1) 夕方に雨が上がったときに，太陽の方向に見えやすい

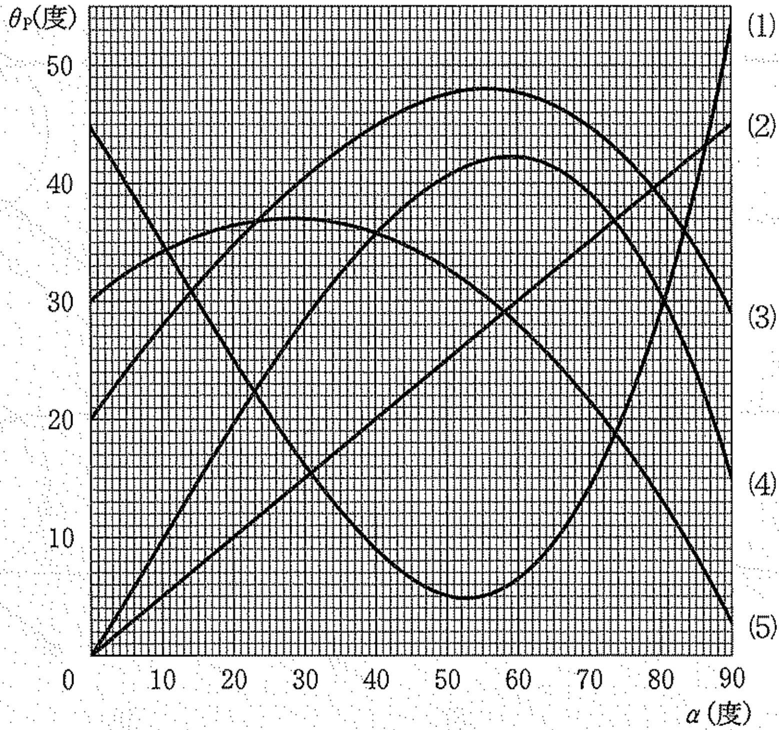
(2) 夕方に雨が上がったときに，太陽と反対方向に見えやすい

(3) 正午前後に雨が上がったときに，太陽の方向に見えやすい

(4) 正午前後に雨が上がったときに，太陽と反対方向に見えやすい

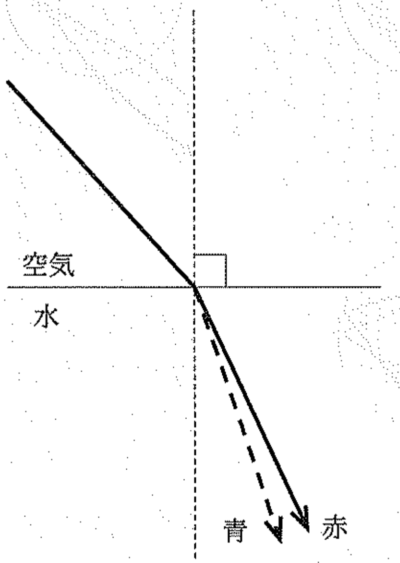
空欄(ク)に対する解答群

(1) 赤　色　　(2) 青　色



θ_P(度)
50
40
30
20
10
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
α(度)
(1)
(2)
(3)
(4)
(5)

図３―３



空気
水
青
赤

図３―４

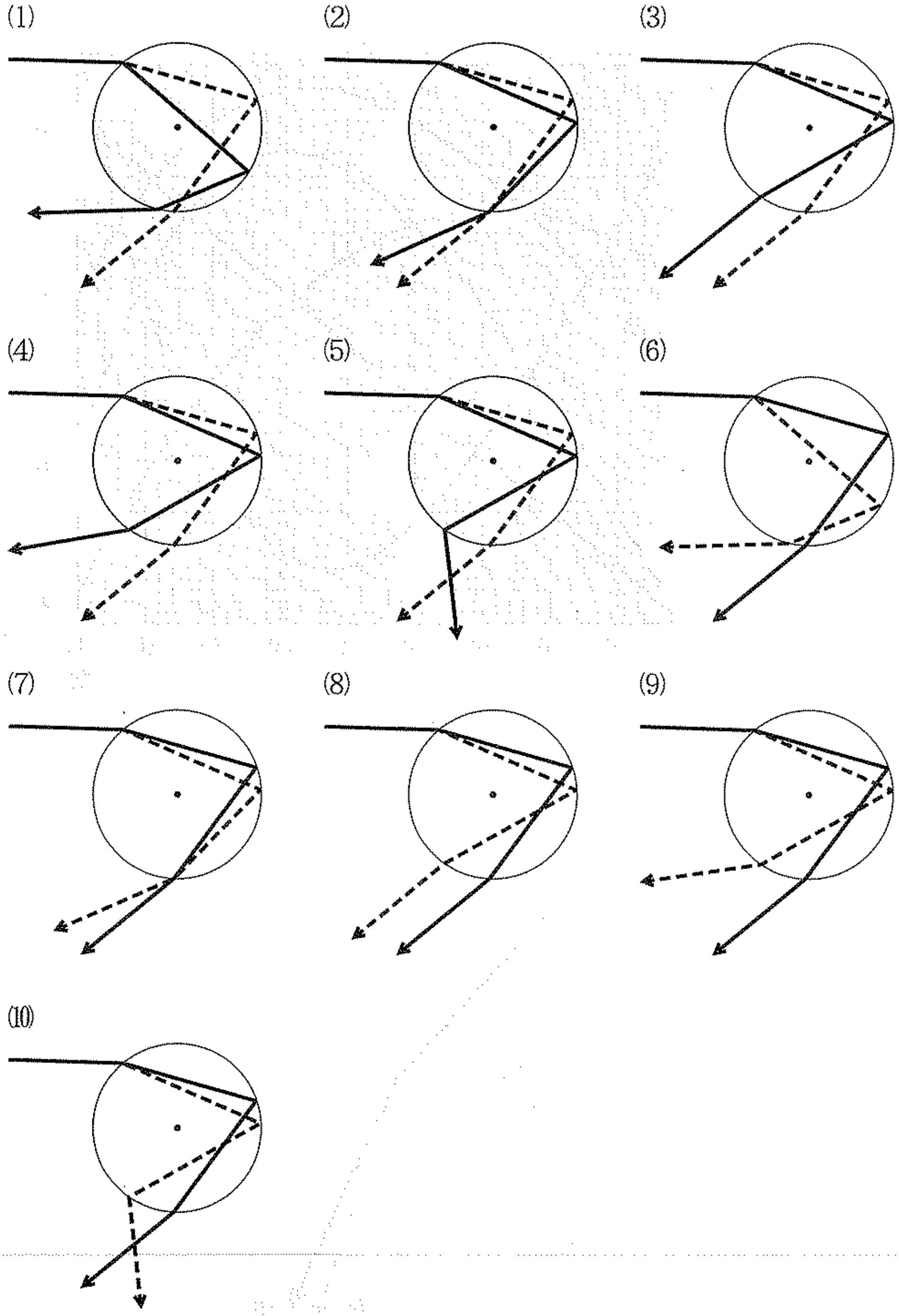


図 3 ― 5