2016年度　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　S②

# 物　　　理

**注　意**

1. 問題は全部で 22 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 1 のとき)

| | |
|---|---|
| 1 | ● ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⓪ |

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 以下の設問を読んで**解答用紙(その2)**の対応した解答欄に解答を記入しなさい。空欄(1)には最も適切と考えられる語句を，空欄(2)〜(7)には最も適切と考えられる式を記入しなさい。また(ア)から(ス)までの空欄については，対応する解答群から最も適したのを選んでその番号を対応した解答欄に記入しなさい。ここで同じ記号の空欄には同じものが入る。また重力加速度の大きさを $g$ とする。

I 一般に物体間の摩擦力は静止摩擦力と動摩擦力に分類される。**静止摩擦力**は，互いに動いていない物体の間に働く摩擦力で，図1—1のように水平な面の上に置かれた質量 $M$ の物体を動かそうとする力 $F$ を加えた場合，$F$ の働きを妨げる方向に働く。この静止摩擦力の大きさには (1) があり，これを最大摩擦力と呼ぶ。下の物体が上の物体に与えている垂直抗力の大きさは (2) であり，これと静止摩擦係数 $\mu_0$ を使って最大摩擦力の大きさは (3) のようにあらわされる。

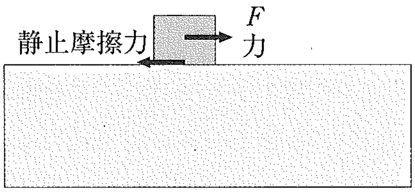


図1—1

**動摩擦力**は運動している物体の運動を止める方向に働く。図1—2のように質量 $M$ の物体が水平な面上を図の方向に動いている。このとき働く動摩擦力の大きさは動摩擦係数を $\mu$ として物体の速さによらず (4) であたえられる。静止摩擦係数 $\mu_0$ と動摩擦係数 $\mu$ の大小関係は (5) である。

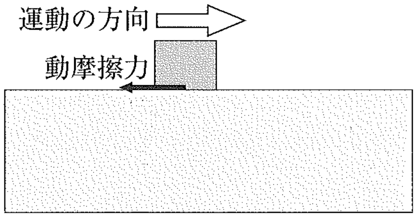
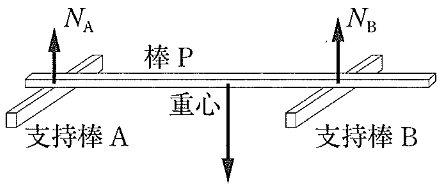
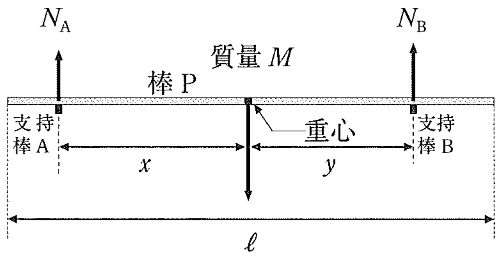


図1—2

II　図1―3のように質量 $M$ の，太さおよび密度が一定の長さ $\ell$ の細い棒P を，この棒と直交している水平な細い2本の支持棒A，Bで水平に支えている。




(a)斜め上からみた図



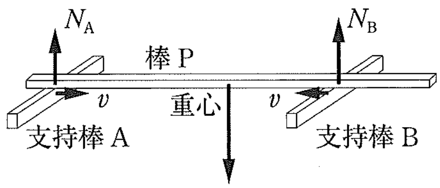

(b)真横から見た図

図1―3

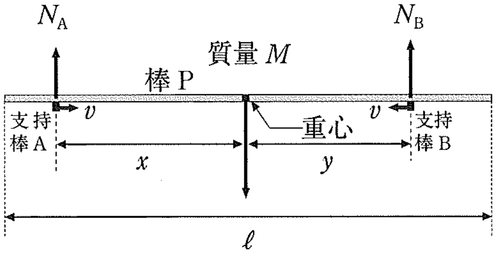
AおよびBから棒Pに働く垂直抗力の大きさをそれぞれ $N_A$ および $N_B$ とする。ここで図1―3(b)のように，支持棒Aと棒Pの重心との距離を $x$ $\left(\frac{\ell}{2} > x > 0\right)$，支持棒Bと棒Pの重心との距離を $y$ $\left(\frac{\ell}{2} > y > 0\right)$ とすると $N_A$ および $N_B$ は支持棒AおよびBと棒Pとの接点の周りのモーメントのつりあいから，$M$ を使って $N_A =$ $\boxed{\quad(6)\quad}$，$N_B =$ $\boxed{\quad(7)\quad}$ で与えられる。

時刻 $t = t_0$ での支持棒の位置は $x_0$, $y_0$ ($x_0 > y_0$) でつりあっている。その後，支持棒 A および B を図 1 — 4 のように十分にゆっくりとした一定の速さ $v$ でそれぞれ図 1 — 4 に示されている方向に動かす。ここで，棒 P と A および B との間の静止摩擦係数はともに $\mu_0$，動摩擦係数はともに $\mu$ であるとする。棒 P の運動は，図の水平方向で棒の長さ方向だけを考える。

最初，支持棒 A が棒 P との滑り運動をはじめ，支持棒 B は棒 P に対しては静止している。これは B の方が最大摩擦力が大きいからである。




(a)斜め上からみた図




(b)真横から見た図

図 1 — 4

このとき，棒 P が支持棒 A から受ける摩擦力の大きさは $\boxed{\quad (ア) \quad}$ でその向きは図の $\boxed{\quad (イ) \quad}$ で与えられる。棒 P は支持棒 B に対し静止しているため加速度は 0 であり，棒 P がうける水平方向の合力は 0 でなければならない。したがって支持棒 B からうける摩擦力の大きさは $\boxed{\quad (ウ) \quad}$ であり，その向きは $\boxed{\quad (エ) \quad}$ である。この運動により，棒 P の重心に対する支持棒 B の位置 $y$ は一定に保たれるが，$x$ は減少していく。このために，各支持棒から棒 P に働く垂直抗力の大きさは時間とともに変化し，棒 P の加速度を 0 に保っておくために必要な力 $\boxed{\quad (ウ) \quad}$ が支持棒 B の最大摩擦力に達する。この時刻

を $t_1$，棒Pの重心からそれぞれの支持棒A，Bまでの距離を $x_1$，$y_1$ とする。このときの支持棒Bの最大摩擦力の大きさは，そのときの垂直抗力の大きさ $N_B$ を使って $\boxed{(オ)}$ と表される。この最大摩擦力が $\boxed{(ウ)}$ と等しいことから関係式 $\boxed{(カ)}$ が求まる。これによって滑りはじめる瞬間の時刻 $t_1$ における $\frac{y_1}{x_1}$ について，関係式 $\frac{y_1}{x_1} = \boxed{(キ)}$ が成立する。このときの垂直抗力の大きさ $N_A$ および $N_B$ の大小関係は $\boxed{(ク)}$ である。

この最大摩擦力を超えた直後に，棒Pは支持棒Bに対して滑り出し，支持棒Aに対して棒Pが静止する。このように各支持棒と棒Pとの相対的な「滑り」と「静止」を交互に繰り返しながら棒Pは支持棒に対しての運動を続ける。$t > t_1$ において，次に棒Pに対して滑る支持棒と棒Pに対して静止する支持棒が交代する時刻を $t_2$，そのときのそれぞれの支持棒の棒Pの重心からの距離をそれぞれ $x_2$，$y_2$ とする。さらに，その次に棒Pに対して滑る支持棒と棒Pに対して静止する支持棒が交代する時刻を $t_3$，そのときのそれぞれの支持棒の棒Pの重心からの距離をそれぞれ $x_3$，$y_3$ とする。時刻 $t_1$ から $t_2$ までの間は，棒Pの重心に対する支持棒 $\boxed{(ケ)}$ の位置は変化しないため $x_2 = \boxed{(コ)} \times x_1$ が成立し，逆の支持棒の位置は，摩擦係数を使って $y_2 = \boxed{(サ)} \times y_1$ と表される。同様にして $x_3 = \boxed{(シ)} \times x_1$ および $y_3 = \boxed{(ス)} \times y_1$ を得ることができる。このようにして $x$，$y$ は0に近づき，2つの支持棒は棒Pの重心に近づくことになる。したがって，この方法で棒の重心を決定できる。

(ア), (ウ)および(オ)の解答群

① $\mu N_A$　② $\mu_0 N_A$　③ $\mu N_B$　④ $\mu_0 N_B$

(イ), (エ)の解答群

① 右方向　② 左方向

(カ)の解答群

① $\mu N_A = \mu N_B$　② $\mu_0 N_A = \mu N_B$

③ $\mu N_A = \mu_0 N_B$　④ $\mu_0 N_A = \mu_0 N_B$

(キ), (コ), (サ), (シ)および(ス)の解答群

① $\dfrac{\mu}{\mu_0}$　② $\dfrac{\mu_0}{\mu}$　③ $\left(\dfrac{\mu}{\mu_0}\right)^{\frac{1}{2}}$　④ $\left(\dfrac{\mu_0}{\mu}\right)^{\frac{1}{2}}$

⑤ $\left(\dfrac{\mu}{\mu_0}\right)^{2}$　⑥ $\left(\dfrac{\mu_0}{\mu}\right)^{2}$　⑦ $\left(\dfrac{\mu}{\mu_0}\right)^{3}$　⑧ $\left(\dfrac{\mu_0}{\mu}\right)^{3}$

⑨ $\left(\dfrac{\mu}{\mu_0}\right)^{4}$　⑩ $\left(\dfrac{\mu_0}{\mu}\right)^{4}$　⑪ $\left(\dfrac{\mu}{\mu_0}\right)^{\frac{3}{2}}$　⑫ $\left(\dfrac{\mu_0}{\mu}\right)^{\frac{3}{2}}$

⑬ $\left(\dfrac{\mu}{\mu_0}\right)^{\frac{5}{2}}$　⑭ $\left(\dfrac{\mu_0}{\mu}\right)^{\frac{5}{2}}$　⑮ $0$　⑯ $1$

⑰ $\pi = 3.1415\cdots$

(ク)の解答群

① $N_A > N_B$　② $N_A < N_B$

③ $N_A = N_B$　④ どちらとも言えない

(ケ)の解答群

① 支持棒 A　② 支持棒 B

<余　　　白>

<余　　　白>

<余　　白>

**2** 以下の文章を読み，空欄(1)〜(11)にあてはまる最も適切な数値，式または語句を解答群から選び，**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，(問A)については，**解答用紙(その3)**の該当する解答欄に答を記入せよ。

図2―1のように直径$2r$の円形の断面積をもち，長さ$\ell_1$，巻き数$N_1$のソレノイド1がある。そのすぐ外側には，長さ$\ell_2$($\ell_1 > \ell_2$)，巻き数$N_2$のソレノイド2がある。ソレノイド1の回路には内部抵抗の無視できる起電力$V$の電池と，可変抵抗器$R_1$を取り付け，ソレノイド2の回路には抵抗値$R$の抵抗器$R_2$とスイッチSをとりつける。また，$\ell_1$と$\ell_2$は$r$よりも十分長い。

以下の問題では，回路は真空中にあり，真空の透磁率を$\mu_0$とする。また，導線の抵抗値は無視できるとする。

(I) はじめ，スイッチSは閉じられていた。

ソレノイド1に大きさ$I_1$の電流が矢印の向きに流れると，単位長さあたりの巻き数は $\boxed{\quad(1)\quad}$ であるから，ソレノイド1の内部に生じる磁場の磁束密度の大きさは$B =$ $\boxed{\quad(2)\quad}$ で，その方向は $\boxed{\quad(3)\quad}$ である。したがって，ソレノイド1の断面を貫く磁束は$\Phi_1 =$ $\boxed{\quad(4)\quad}$ である。

一方，この時ソレノイド2の内部を貫く磁束を$\Phi_2$とすると，$\Phi_2 =$ $\boxed{\quad(5)\quad}$ である。短い時間$\Delta t$間にソレノイド1を流れる電流を$\Delta I_1$変化させると，磁束$\Phi_2$はこの間に$\Delta I_1$に比例して$\Delta \Phi_2$だけ変化する。このことから，ソレノイド2に発生する起電力$V_2$は，図2―1に示した点$P_1$に対する点$P_2$の電位として，$V_2 =$ $\boxed{\quad(6)\quad}$ と表せる。

ソレノイド1とソレノイド2の相互インダクタンスを$M$とおくと，$V_2 = -M\dfrac{\Delta I_1}{\Delta t}$と表すことができる。$V_2 =$ $\boxed{\quad(6)\quad}$ と比較すると，$M =$ $\boxed{\quad(7)\quad}$ と表せる。

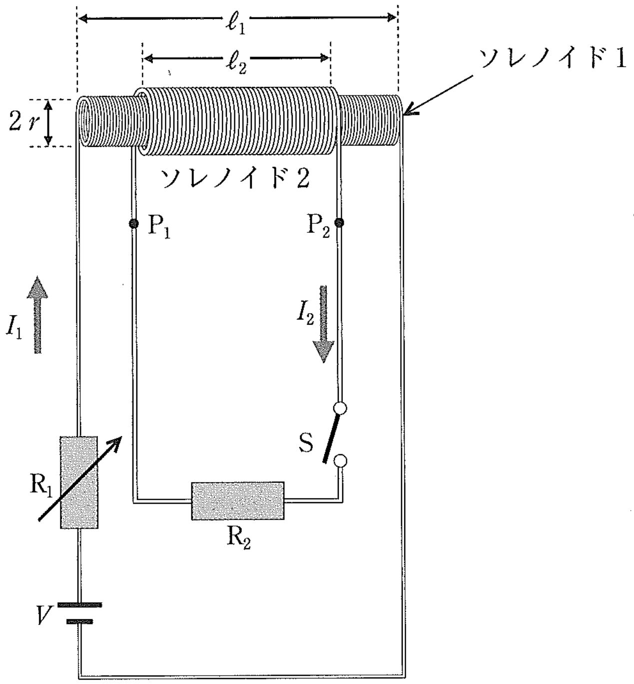



図2―1

(1)の解答群

① $\dfrac{\ell_1}{\ell_2}N_2$　② $\dfrac{\ell_2}{\ell_1}N_1$　③ $\dfrac{N_1}{\ell_1+\ell_2}$　④ $\dfrac{N_1+N_2}{\ell_1+\ell_2}$　⑤ $\dfrac{N_2}{\ell_2}$

⑥ $\dfrac{N_1}{\ell_1}$　⑦ $\dfrac{N_2}{\ell_1}$　⑧ $\dfrac{N_1}{\ell_2}$　⑨ $\dfrac{N_1+N_2}{\ell_1}$　⓪ 0

(2)の解答群

① $\dfrac{\mu_0 N_2 \ell_1}{\ell_2}I_1$　② $\dfrac{\mu_0 \ell_2}{\ell_1}I_1$　③ $\dfrac{\mu_0 N_1}{\ell_1+\ell_2}I_1$

④ $\dfrac{\mu_0(N_1+N_2)}{\ell_1+\ell_2}I_1$　⑤ $\dfrac{\mu_0 N_2}{\ell_2}I_1$　⑥ $\dfrac{\mu_0 N_1}{\ell_1}I_1$

⑦ $\dfrac{\mu_0 N_2}{\ell_1}I_1$　⑧ $\dfrac{\mu_0 N_1}{\ell_2}I_1$　⑨ $\dfrac{\mu_0(N_1+N_2)}{\ell_1}I_1$

⓪ 0

(3)の解答群

① 図２―１の左から右方向　② 図２―１の右から左方向

③ 図２―１の紙面内上方向　④ 図２―１の紙面内下方向

⑤ 図２―１の紙面に垂直上方向　⑥ 図２―１の紙面に垂直下方向

⑦ ソレノイド１の中心軸から放射方向外向き

⑧ ソレノイド１の中心軸から放射方向内向き

(4)と(5)の解答群

① $4\pi r^2 B$　② $2\pi r^2 B$　③ $\frac{4}{3}\pi r^2 B$　④ $\pi r^2 B$

⑤ $\frac{1}{2}\pi r^2 B$　⑥ $\frac{4\pi N_2 r^2}{N_1}B$　⑦ $\frac{2\pi N_2 r^2}{N_1}B$　⑧ $\frac{4\pi N_2 r^2}{3N_1}B$

⑨ $\frac{\pi N_2 r^2}{N_1}B$　⓪ $\frac{\pi N_2 r^2}{2N_1}B$

(6)の解答群

① $-\frac{N_2}{\ell_1}\frac{\Delta\Phi_2}{\Delta t}$　② $-\frac{N_2}{\ell_2}\frac{\Delta\Phi_2}{\Delta t}$　③ $-\frac{N_2\ell_1}{N_1\ell_2}\frac{\Delta\Phi_2}{\Delta t}$　④ $-N_2\frac{\Delta\Phi_2}{\Delta t}$

⑤ $-\frac{\Delta\Phi_2}{\Delta t}$　⑥ $\frac{N_2}{\ell_1}\frac{\Delta\Phi_2}{\Delta t}$　⑦ $\frac{N_2}{\ell_2}\frac{\Delta\Phi_2}{\Delta t}$　⑧ $\frac{N_2\ell_1}{N_1\ell_2}\frac{\Delta\Phi_2}{\Delta t}$

⑨ $N_2\frac{\Delta\Phi_2}{\Delta t}$　⓪ $\frac{\Delta\Phi_2}{\Delta t}$

(7)の解答群

① $-\frac{4\mu_0 N_1 N_2 \pi r^2}{\ell_1}$　② $-\frac{2\mu_0 N_1 N_2 \pi r^2}{\ell_1}$　③ $-\frac{4\mu_0 N_1 N_2 \pi r^2}{3\ell_1}$

④ $-\frac{\mu_0 N_1 N_2 \pi r^2}{\ell_1}$　⑤ $-\frac{\mu_0 N_1 N_2 \pi r^2}{2\ell_1}$　⑥ $\frac{4\mu_0 N_1 N_2 \pi r^2}{\ell_1}$

⑦ $\frac{2\mu_0 N_1 N_2 \pi r^2}{\ell_1}$　⑧ $\frac{4\mu_0 N_1 N_2 \pi r^2}{3\ell_1}$　⑨ $\frac{\mu_0 N_1 N_2 \pi r^2}{\ell_1}$

⓪ $\frac{\mu_0 N_1 N_2 \pi r^2}{2\ell_1}$

(II)　Sを閉じたままで，$R_1$を調整して，図2―2のように$I_1$を変化させた($a>0$，$T>0$)。

（問A）　この時，ソレノイド2を流れる電流$I_2$を時間に対するグラフとして，**解答用紙(その3)**の図2―3に描け。ただし，図2―1において矢印で示した向きを$I_2$の正の向きとする。

(III)　ソレノイド1の自己インダクタンスを$L$とする。Sを開き，(II)と同様に$I_1$を変化させた。

この時，$I_1$が図2―2の区間(あ)($0<t<3T$)のように変化している間，ソレノイド1に発生する誘導起電力の大きさは $\boxed{(8)}$ である。このことを考慮すると，$I_1$を図2―2のように変化させるためには，区間(あ)$0<t<3T$，(い)$3T<t<5T$，および(う)$5T<t<7T$において，可変抵抗器$R_1$の抵抗値$R_V$を次のように調整すれば良い。

(あ)：$R_V=\boxed{(9)}$；(い)：$R_V=\boxed{(10)}$；(う)：$R_V=\boxed{(11)}$

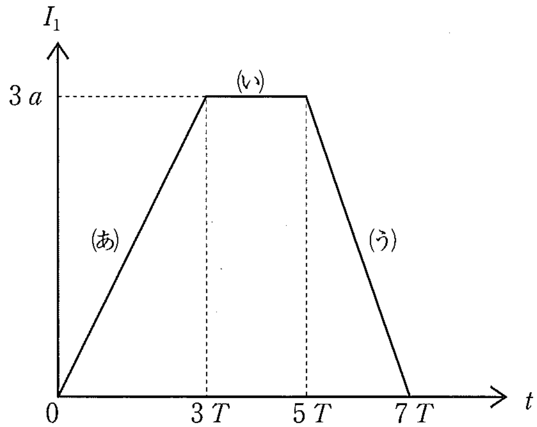



図2―2

(8)の解答群

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ① $\dfrac{La}{4T}$ | ② $\dfrac{La}{2T}$ | ③ $\dfrac{3La}{2T}$ | ④ $\dfrac{La}{T}$ | ⑤ $\dfrac{2La}{T}$ |
| ⑥ $\dfrac{LaN_1}{4T\ell_1}$ | ⑦ $\dfrac{LaN_1}{2T\ell_1}$ | ⑧ $\dfrac{3LaN_1}{2T\ell_1}$ | ⑨ $\dfrac{LaN_1}{T\ell_1}$ | ⓪ $\dfrac{2LaN_1}{T\ell_1}$ |

(9)の解答群

| | | |
|---|---|---|
| ① $\dfrac{V}{a}$ | ② $\dfrac{V}{3a}$ | ③ $\dfrac{V}{2a}$ |
| ④ $\dfrac{2V}{a}$ | ⑤ $\left(\dfrac{TV}{a}-L\right)\dfrac{1}{t}$ | ⑥ $\left(\dfrac{TV}{3a}-L\right)\dfrac{1}{t}$ |
| ⑦ $\left(\dfrac{TV}{2a}-L\right)\dfrac{1}{t}$ | ⑧ $\left(\dfrac{2TV}{3a}-L\right)\dfrac{1}{t}$ | ⑨ $\left(\dfrac{3TV}{2a}-L\right)\dfrac{1}{t}$ |
| ⓪ 0 | | |

(10)の解答群

| | | | |
|---|---|---|---|
| ① $\dfrac{V}{a}$ | ② $\dfrac{V}{3a}$ | ③ $\dfrac{V}{2a}$ | ④ $\dfrac{2V}{a}$ |

⑤ $\left(\dfrac{TV}{a}-L\right)\dfrac{2}{(5T-t)}$　⑥ $\left(\dfrac{TV}{3a}-L\right)\dfrac{2}{(5T-t)}$

⑦ $\left(\dfrac{TV}{2a}-L\right)\dfrac{2}{(5T-t)}$　⑧ $\left(\dfrac{2TV}{3a}-L\right)\dfrac{2}{(5T-t)}$

⑨ $\left(\dfrac{3TV}{2a}-L\right)\dfrac{2}{(5T-t)}$　⓪ 0

(11)の解答群

| | | | |
|---|---|---|---|
| ① $\dfrac{V}{a}$ | ② $\dfrac{V}{3a}$ | ③ $\dfrac{V}{2a}$ | ④ $\dfrac{2V}{a}$ |

⑤ $\left(\dfrac{TV}{a}+L\right)\dfrac{1}{(7T-t)}$　⑥ $\left(\dfrac{TV}{3a}+L\right)\dfrac{1}{(7T-t)}$

⑦ $\left(\dfrac{TV}{2a}+L\right)\dfrac{1}{(7T-t)}$　⑧ $\left(\dfrac{2TV}{3a}+L\right)\dfrac{1}{(7T-t)}$

⑨ $\left(\dfrac{3TV}{2a}+L\right)\dfrac{1}{(7T-t)}$　⓪ 0

<余　　　白>

<余　　　白>

＜余　　　白＞

**3** 以下の文章を読み，空欄(12)〜(30)にあてはまる最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。ただし，空気の屈折率を１，空気中での光の速さを $c$ とする。

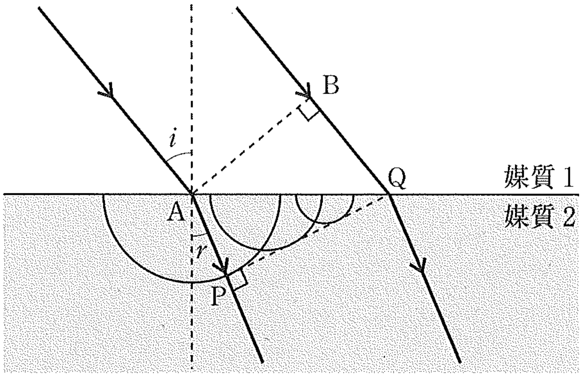
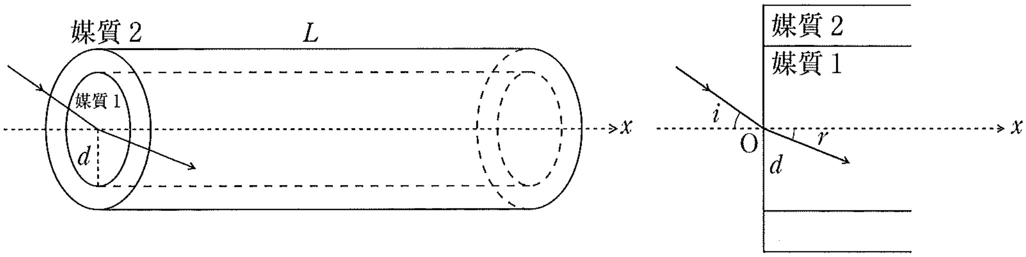



図３―１

図３―１のように，媒質１から屈折率の違う媒質２に進む単色光を考える。光はそれぞれの媒質中で，速さ $v_1$，$v_2$ で進む。ある時刻での入射波の波面が図３―１の AB であったとする。その後，A に近い方から順に入射角 $i$ で境界面 AQ に到達する。AQ 間には A に近い方から順に媒質２に進む素元波ができ，それぞれの素元波の波面と共通に接し，Q を通る面が屈折波の波面 PQ になる。ここで，屈折角を $r$ とする。B を通過した波が Q に達するまでの時間を $t$ とおくと，BQ の長さは $\boxed{(12)}$，AP の長さは $\boxed{(13)}$ とおける。∠BAQ ＝ $\boxed{(14)}$，∠AQP ＝ $\boxed{(15)}$ であることを用いると，BQ の長さは AQ × $\boxed{(16)}$，AP の長さは AQ × $\boxed{(17)}$ と表せる。この二つの式から AQ を消去し，$\dfrac{\sin i}{\sin r} = \boxed{(18)}$ を得る。ここで，媒質１の屈折率 $n_1$ と媒質２の屈折率 $n_2$ を用いると，$\dfrac{\sin i}{\sin r} = \boxed{(19)}$ とかける。これを屈折の法則という。

一方，$n_1 > n_2$ の時は，入射角は屈折角 $\boxed{(20)}$ 。この時，入射角 $i$ を少しずつ大きくすると屈折角 $r$ が 90 度を超え，全反射を起こす。全反射を起こす最小の入射角を臨界入射角と呼び，$i_0$ とする。$i_0$ は条件 $\boxed{(21)}$ を満たす。たとえば，屈折率 1.4 のガラスから空気中に光を入射する場合，$i_0$ は約 $\boxed{(22)}$ 度である。全反射した光の反射角は入射角 $\boxed{(23)}$ 。




ななめからみた全体図　　　　横からみた入射面付近の断面図

図 3 ― 2

次に，図 3 ― 2 のように，屈折率 $n_1$，半径 $d$，長さ $L$ の円筒状の媒質 1 を屈折率 $n_2$ の媒質 2 で同心円状に覆った物体を考える。ただし $n_1 > n_2$ とする。この円筒の入射面の中心を原点 O とし，円筒の中心に沿って $x$ 軸をとる。空気中から物体の原点 O に入射角 $i$ で単色光が入射し，媒質 1 に入った。この時の屈折角を $r$ とすると，$\sin r =$ $\boxed{(24)}$ とあらわせる。次に光が媒質 1 と媒質 2 の境界面に達した時，光が全反射するための $i$ には条件があり，それは $\boxed{(25)}$ と書くことができる。この条件をみたすとき，最初に全反射する点に到着するまでに光が進んだ距離は $\boxed{(26)}$ と書ける。また，媒質 1 中での光の速さは $\boxed{(27)}$ と書けるので，入射してから最初の全反射までにかかる時間は $\boxed{(28)}$ である。最初に全反射した点の $x$ 座標は $\boxed{(29)}$ であり，屈折角 $r$ で入射した光がこの円筒に入射してから反対側の端面に到達するまでにかかる時間は $\boxed{(30)}$ である。

この仕組みを利用して光を伝える伝送路は光ファイバーと呼ばれている。光ファイバーの中では全反射をくり返しながら進むので，大陸間のような長い距離の通信に広く利用されている。

(12), (13)の解答群

① $v_1$　② $v_2$　③ $v_1 t$　④ $v_2 t$　⑤ $t$

⑥ $\frac{1}{2} v_1 t^2$　⑦ $\frac{1}{2} v_2 t^2$　⑧ $2 v_1 t$　⑨ $2 v_2 t$　⓪ ${v_1}^2$

(14), (15), (16), (17)の解答群

① $v_1$　② $v_2$　③ $i$　④ $r$　⑤ $\sin i$

⑥ $\sin r$　⑦ $\cos i$　⑧ $\cos r$　⑨ $\tan i$　⓪ $\tan r$

(18)の解答群

① $\frac{v_1}{v_2}$　② $\frac{v_2}{v_1}$　③ $v_1$　④ $v_2$　⑤ $v_1 v_2$

⑥ $\frac{v_1}{v_2} t$　⑦ $\frac{v_2}{v_1} t$　⑧ $v_1 t$　⑨ $v_2 t$　⓪ $v_1 v_2 t$

(19)の解答群

① $\frac{n_1}{n_2}$　② $\frac{n_2}{n_1}$　③ $n_1$　④ $n_2$　⑤ $n_1 n_2$

⑥ $\frac{n_1}{n_2} t$　⑦ $\frac{n_2}{n_1} t$　⑧ $n_1 t$　⑨ $n_2 t$　⓪ $n_1 n_2 t$

(20), (23)の解答群

① より大きい　② より小さい　③ と等しい

(21)の解答群

① $\cos i_0 = \frac{n_1}{n_2}$　② $\cos i_0 = \frac{n_2}{n_1}$　③ $\tan i_0 = \frac{n_1}{n_2}$　④ $\tan i_0 = \frac{n_2}{n_1}$

⑤ $\sin i_0 = \frac{n_1}{n_2}$　⑥ $\sin i_0 = \frac{n_2}{n_1}$　⑦ $i_0 = \frac{n_1}{n_2}$　⑧ $i_0 = \frac{n_2}{n_1}$

(22)の解答群

① 0　② 15　③ 30　④ 45　⑤ 60

⑥ 75　⑦ 90　⑧ 105　⑨ 120

(24)の解答群

① $\dfrac{n_1}{n_2}\sin i$　② $\dfrac{n_2}{n_1}\sin i$　③ $\dfrac{n_1}{n_2}$　④ $\dfrac{n_2}{n_1}$　⑤ $\dfrac{n_2}{n_1}\cos i$

⑥ $\dfrac{n_1}{n_2}\cos i$　⑦ $\dfrac{n_1}{n_2}\tan i$　⑧ $\dfrac{n_2}{n_1}\tan i$　⑨ $\dfrac{1}{n_1}\sin i$　⓪ $n_1 \sin i$

(25)の解答群

① $\sin i > \sqrt{n_1{}^2 - n_2{}^2}$　② $\sin i < \sqrt{n_1{}^2 - n_2{}^2}$　③ $\sin i > \sqrt{n_1{}^2 + n_2{}^2}$

④ $\sin i < \sqrt{n_1{}^2 + n_2{}^2}$　⑤ $\cos i > \sqrt{n_1{}^2 - n_2{}^2}$　⑥ $\cos i < \sqrt{n_1{}^2 - n_2{}^2}$

⑦ $\cos i > \sqrt{n_1{}^2 + n_2{}^2}$　⑧ $\cos i < \sqrt{n_1{}^2 + n_2{}^2}$

(26)，(29)の解答群

① $\dfrac{d}{\sin r}$　② $\dfrac{\sin r}{d}$　③ $\dfrac{d}{\cos r}$　④ $\dfrac{\cos r}{d}$　⑤ $\dfrac{d}{\tan r}$

⑥ $\dfrac{\tan r}{d}$　⑦ $\dfrac{L}{\sin r}$　⑧ $\dfrac{\sin r}{L}$　⑨ $\dfrac{L}{\cos r}$　⓪ $\dfrac{\cos r}{L}$

(27)の解答群

① $cn_1$　② $cn_2$　③ $\dfrac{n_1}{c}$　④ $\dfrac{n_2}{c}$　⑤ $\dfrac{c}{n_1}$

⑥ $\dfrac{c}{n_2}$　⑦ $cdn_1$　⑧ $cdn_2$　⑨ $\dfrac{cd}{n_1}$　⓪ $\dfrac{cd}{n_2}$

(28)の解答群

① $\dfrac{n_1}{c\sin r}$　② $\dfrac{n_1}{c\cos r}$　③ $\dfrac{n_1}{c\tan r}$　④ $\dfrac{dn_1}{\sin r}$　⑤ $\dfrac{dn_1}{\cos r}$

⑥ $\dfrac{dn_1}{\tan r}$　⑦ $\dfrac{dn_1}{c\sin r}$　⑧ $\dfrac{dn_1}{c\cos r}$　⑨ $\dfrac{dn_1}{c\tan r}$

(30)の解答群

① $\dfrac{n_1}{c\sin r}$　② $\dfrac{n_1}{c\cos r}$　③ $\dfrac{n_1}{c\tan r}$　④ $\dfrac{n_1 L}{\sin r}$　⑤ $\dfrac{n_1 L}{\cos r}$

⑥ $\dfrac{n_1 L}{\tan r}$　⑦ $\dfrac{n_1 L}{c\sin r}$　⑧ $\dfrac{n_1 L}{c\cos r}$　⑨ $\dfrac{n_1 L}{c\tan r}$

＜余　　　白＞

<余　　　白>