

令和5年度  
後期日程

# 物 理

工学部・応用生物科学部

## 問 題 冊 子

### 注意事項

- 試験開始の合図があるまで、問題冊子を開かないこと。
- 問題冊子は8ページからなる。解答用紙は4枚である。乱丁、落丁、印刷不鮮明などの箇所があった場合には、ただちに試験監督者に申し出ること。
- 受験番号は、解答用紙のそれぞれ指定の欄すべてに必ず記入すること。
- 解答は解答用紙の指定箇所に記入すること。
- 解答用紙は持ち帰らないこと。
- 問題冊子は持ち帰ること。
- 大問ごとに、満点に対する配点の比率を表示してある。

# 一問題訂正一

## 「物 理」

(後期日程：工学部・応用生物科学部)

- 問題訂正 1ページ 大問1 本文の2行目

(誤) . . . ~板Aを置き、図の矢印に示す~ . . .

(正) . . . ~板Aを置いたところ静止した。この板Aに対して、図の矢印に示す~ . . .

- 問題訂正 1ページ 大問1 本文の4行目

(誤) . . . ~台と板Aの間の~ . . .

(正) . . . ~斜面と板Aの間の~ . . .

- 問題訂正 7ページ 大問4 問4. 問題文

(誤) . . . ~d, n, λ, mを使って示せ。

(正) . . . ~d, n, λ, および正の整数 m (m=1, 2, ...) を使って示せ。

# 一問題訂正一

## 「物理」

(後期日程：(工学部・応用生物科学部))

問題訂正 1 ページ

大問 1 の問 2. 問題文

(誤) … 小物体 B が板 A に静止するとき,

(正) …  $F = 0 \text{ N}$  で, 小物体 B が板 A の上に静止するとき,

# 一問題訂正一

## 「物理」

(後期日程：(工学部・応用生物科学部))

問題訂正 3ページ

大問 2の問 6. 問題文

(誤) …金属平板B, C間の電圧

(正) …金属平板A, C間の電圧

1

次の文を読み、以下の問い合わせに答えよ。(配点比率： $\frac{1}{4}$ )

図1のように、水平に対して  $\theta[\text{rad}]$  ( $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ ) の角度を持つ斜面がある。その斜面に質量  $M[\text{kg}]$  の板 A を置き、図の矢印に示す斜面に平行な方向へ加えた力  $F[\text{N}]$  を少しづつ大きくした。

重力加速度の大きさを  $g[\text{m/s}^2]$ 、台と板 A の間の静止摩擦係数を  $\mu_A$ 、動摩擦係数を  $\mu'_A$  とする ( $\mu_A > \mu'_A$ )。

問 1  $F > F_1[\text{N}]$  となったときに板 A は力 F の方向へ動き始めた。 $F_1$  を  $M$ ,  $g$ ,  $\theta$ ,  $\mu_A$  を用いて表せ。

板 A が静止した状態で図2に示すように質量  $m[\text{kg}]$  の小物体 B を板 A の上に置いた。 $F = 0\text{ N}$  のとき、小物体 B は板 A の上に静止した。板 A と小物体 B の間の静止摩擦係数を  $\mu_B$  とする。

次に、力 F を少しづつ大きくすると、 $F > F_2[\text{N}]$  となったときに板 A と小物体 B が一体となつたまま力 F の方向へ動き始めた。さらに力 F を大きくすると、 $F > F_3[\text{N}]$  となったときに小物体 B は動き続ける板 A の上を転がることなくすべった。

問 2 小物体 B が板 A に静止するとき、 $\mu_B$  と  $\theta$  が満たしている条件を求めよ。

問 3  $F_2$  を  $M$ ,  $m$ ,  $g$ ,  $\theta$ ,  $\mu_A$  を用いて表せ。

問 4 小物体 B がすべり始める力  $F_3$  を  $M$ ,  $m$ ,  $g$ ,  $\theta$ ,  $\mu'_A$ ,  $\mu_B$  を用いて表せ。

問 5 板 A と小物体 B が一体となつたまま動き、その後に小物体 B が板 A の上を転がることなくすべるときに、 $\mu_A$ ,  $\mu'_A$ ,  $\mu_B$ ,  $\theta$  が満たしている条件を求めよ。

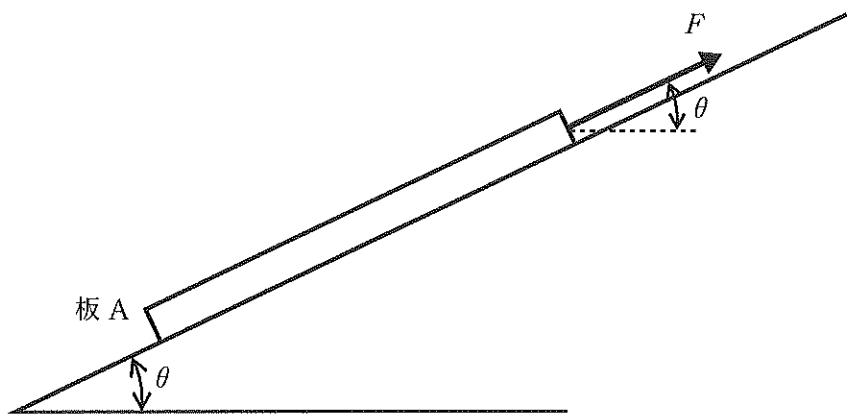


図 1

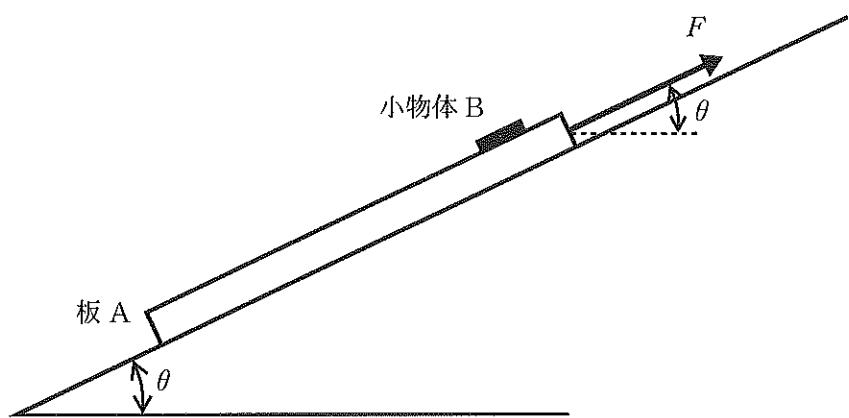


図 2

**2** 次の文を読み、以下の問い合わせに答えよ。(配点比率： $\frac{1}{4}$ )

図1のように、半径  $r$ [m]、厚さ  $l$ [m]の半円形の3つの金属平板A、B、Cが、 $yz$ 平面に平行に距離  $l$ [m]の間隔をあけて並び、 $x$ 軸の正方向から見たとき3つの金属平板が完全に重なり合うコンデンサーを考える。これらの金属平板のうち、金属平板Bは図2に示すとおり $x$ 軸を中心回転でき、金属平板Bと他の金属平板が完全に重なった位置からの回転角を  $\theta$ [rad]と定義する。また、金属平板A、Cの位置は固定されている。図1のようにコンデンサーには、起電力  $E$ [V]の電池とスイッチSが、導線でつながれている。金属平板、スイッチS、導線の電気抵抗、および電池の内部抵抗は無視でき、すべて真空中に置かれている。真空の誘電率を  $\epsilon_0$ [F/m]とする。ただし、 $r$ は  $l$ に比べて十分に大きく、金属平板の端の影響は無視できるものとする。

問 1  $\theta = 0$  のとき、コンデンサーの電気容量  $C_0$ [F]を、 $r$ 、 $l$ 、 $E$ 、 $\epsilon_0$ の中から必要なものを用いて表せ。

問 2 金属平板Bが回転角  $\theta$ ( $0 \leq \theta \leq \pi$ )にあるときのコンデンサーの電気容量  $C_\theta$ [F]を、 $r$ 、 $l$ 、 $E$ 、 $\epsilon_0$ 、 $\theta$ の中から必要なものを用いて表せ。

問 3  $0 \leq \theta < 2\pi$  の範囲における  $C_\theta$  と  $\theta$  の関係を表すグラフとして、最も適切なものを図3(i)～(vi)の中から1つ選び、記号で答えよ。

次に、図1において金属平板BとCの間を導線でつないだ。ただし、導線の電気抵抗は無視できるものとする。

問 4 金属平板Bが回転角  $\theta$ ( $0 \leq \theta \leq \pi$ )にあるときのコンデンサーの電気容量  $C_{\theta'}$ [F]を、 $r$ 、 $l$ 、 $E$ 、 $\epsilon_0$ 、 $\theta$ の中から必要なものを用いて表せ。

問 5  $\theta = 0$  のとき、スイッチSを閉じた。この状態で十分に時間が経過したのち、金属平板Aに与えられた電気量を  $Q_A$ [C]とする。 $Q_A$ を、 $r$ 、 $l$ 、 $E$ 、 $\epsilon_0$ の中から必要なものを用いて表せ。

問 6 問5の後、スイッチSを開き、金属平板Bの角度  $\theta$ をゆっくり変化させる。金属平板B、C間の電圧  $V_\theta$ [V]を、 $E$ 、 $\epsilon_0$ 、 $\theta$ の中から必要なものを用いて表せ。

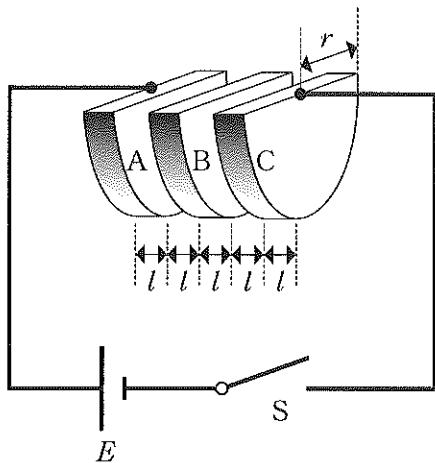


図 1

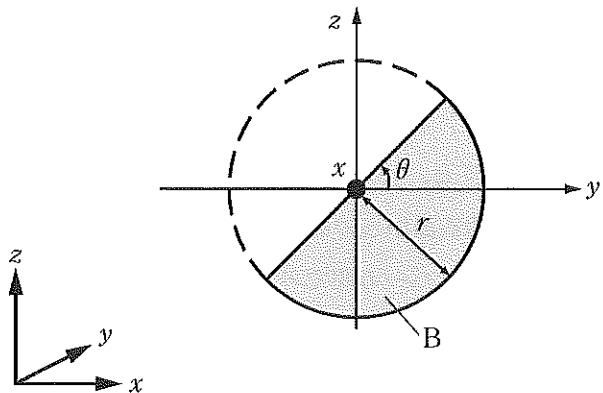


図 2

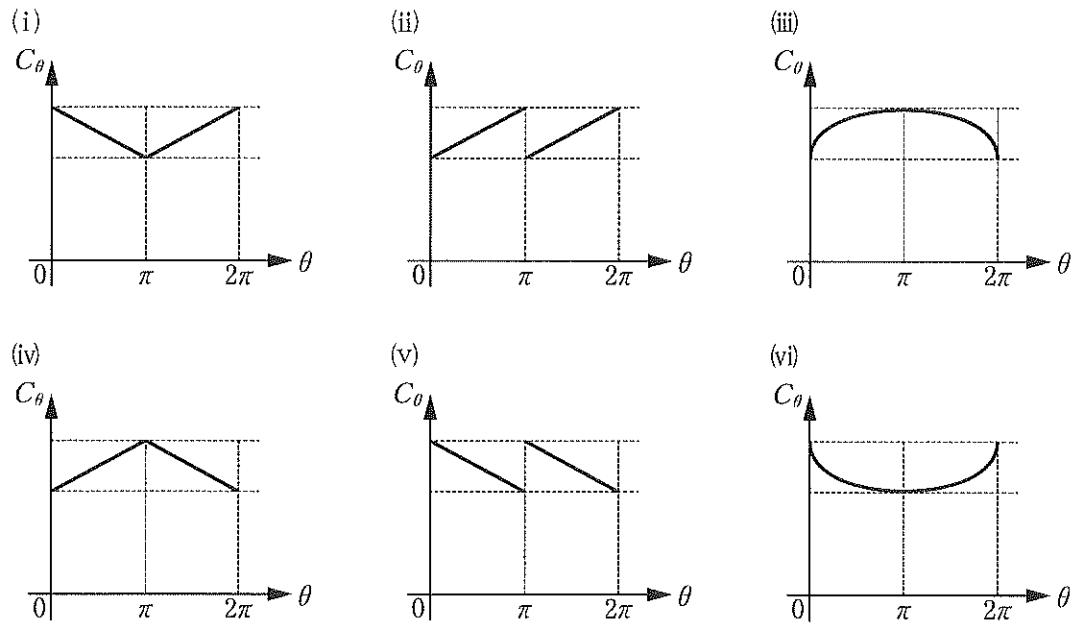


図 3

3

次の文を読み、以下の問い合わせに答えよ。(配点比率： $\frac{1}{4}$ )

図のように、ピストンIとピストンIIのついた容器が大気中にある。容器底面とピストンIの間、ピストンIとピストンIIの間の空間には同じ理想気体が封入されていて、それぞれ気体A、気体Bとする。ピストンI、ピストンII、容器の断面積は  $S[m^2]$  である。容器の高さは  $h[m]$  であり、容器底面からの高さ  $\frac{3}{8}h$  と  $\frac{3}{4}h$  と  $h$  の位置にストッパーO、P、Qがついていて、ピストンはストッパーの間でのみなめらかに動くことができる。ピストン、容器、ストッパーは外力に対して形状が変化しない材質でできており、それぞれの厚さ、ピストンとストッパーの接触面積を無視できるものとする。ピストンIは断熱材でできており、質量が  $m[kg]$  である。ピストンIIは外部と熱のやり取りがすみやかにできる材質でできており、質量は無視できるものとする。容器は底面のみで外部と熱のやり取りができる、底面にはヒーターHが設置されている。重力加速度の大きさを  $g[m/s^2]$  とする。

状態1： 気体Aと気体Bの圧力は大気圧  $p_0[Pa]$  であり、温度は気温  $T_0[K]$  に等しく、ピストンIとピストンIIはストッパーに接したまま静止している。

状態2： 容器底面から気体Aを加熱して温度が  $T_{A2}[K]$  のとき、ピストンIがストッパーOから上向きに動き始めた。動く直前の気体Aの圧力を  $p_{A2}[Pa]$ 、気体Bの圧力を  $p_{B2}[Pa]$  とする。

状態3： 容器底面から気体Aを加熱して温度が  $T_{A3}[K]$  のとき、ピストンIIが容器上面のストッパーQに接したところである。気体Aの圧力を  $p_{A3}[Pa]$ 、気体Bの圧力を  $p_{B3}[Pa]$  とする。

状態4： 容器底面から気体Aを加熱して温度が  $T_{A4}[K]$  のとき、ピストンIがストッパーPに接したところである。ピストンIIはストッパーQに接している。気体Aの圧力を  $p_{A4}[Pa]$ 、気体Bの圧力を  $p_{B4}[Pa]$  とする。

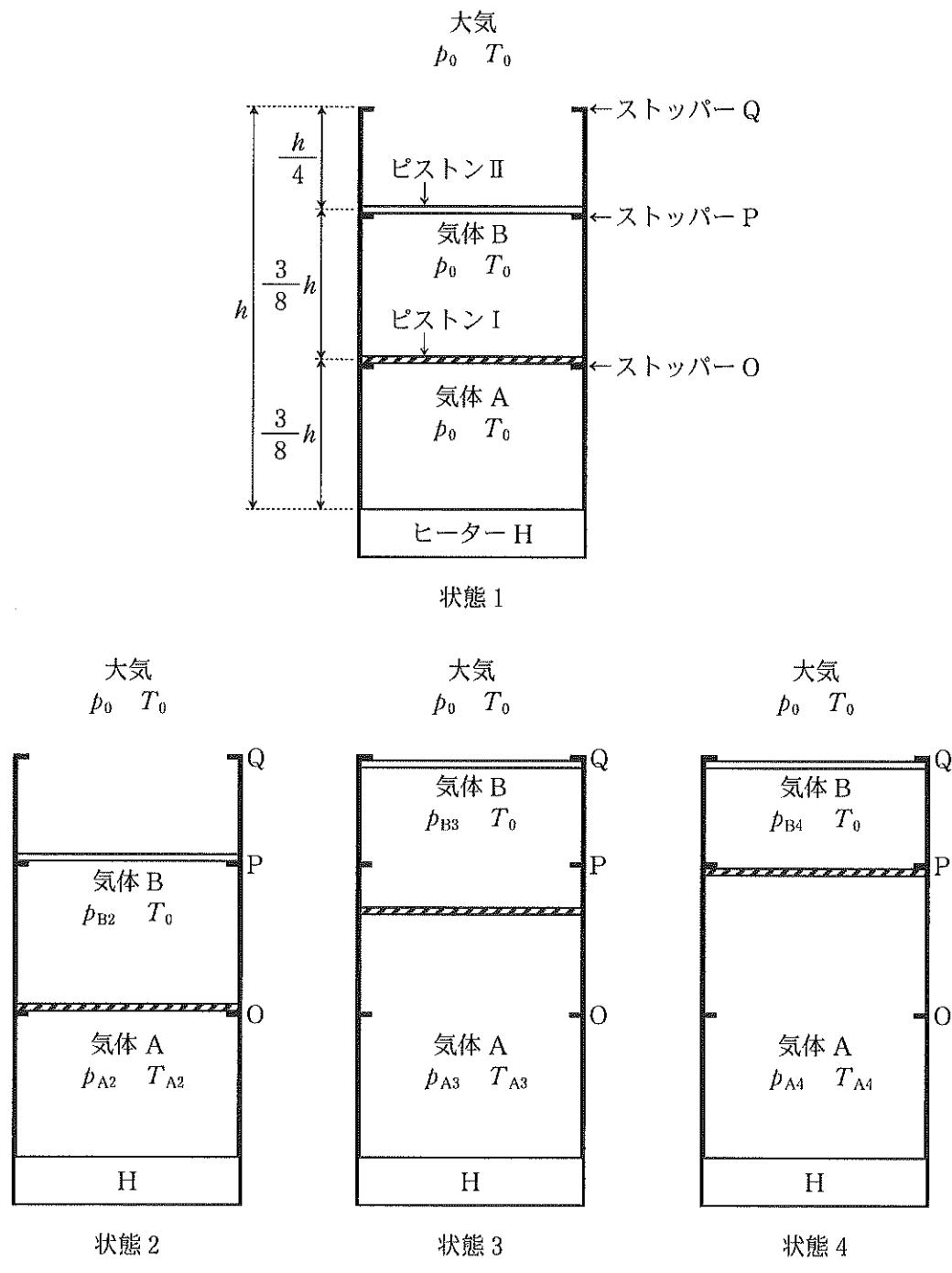
問1 状態2における気体Aの圧力  $p_{A2}$  を、 $p_0$ 、 $S$ 、 $m$ 、 $g$  を用いて表せ。

問2 状態3における気体Aの温度  $T_{A3}$  は、状態2における気体Aの温度  $T_{A2}$  の何倍になるかを示せ。

問3 状態2から状態3に至る過程で気体Aが外部にした仕事  $W_A[J]$  を、 $p_0$ 、 $S$ 、 $m$ 、 $g$ 、 $h$  を用いて表せ。

問 4 状態 4 における気体 B の圧力  $p_{B4}$  は状態 3 における気体 B の圧力  $p_{B3}$  の何倍になるかを示せ。

問 5 状態 3 から状態 4 に至る過程において気体 A の圧力  $p_A$ [Pa] と体積  $V_A$ [m<sup>3</sup>] の関係を考えたい。ピストン I の容器底面からの距離を  $x (= V_A/S)$ (m)としたとき、気体 A の圧力  $p_A$  を、 $p_0$ ,  $S$ ,  $m$ ,  $g$ ,  $h$ ,  $x$  を用いて表せ。



図

4 次の文を読み、以下の問い合わせに答えよ。(配点比率:  $\frac{1}{4}$ )

以下の問い合わせでは真空の屈折率を 1 とする。

図 1 は光が波である性質を利用して干渉縞を観察するマイケルソン干渉計である。S は任意の波長  $\lambda$  [m] の単色光を取り出せる光源、P は S からの光線に対して  $45^\circ$  の角度に設置した厚みの無視できる半透明鏡(入射光の一部を反射し、一部を透過する鏡でハーフミラーともいう)で、 $M_1, M_2$  は光線に垂直に置かれた平面鏡である。光源 S から出た光は P で 2 つの光線に分かれ、一方は P を透過し  $M_1$  で反射されたあと P で反射し、光検出器 D に入射する。他方は P で反射されたあと、 $M_2$  でふたたび反射されて、P を透過し D に達する。D ではこの 2 光線の干渉が観測される。干渉計は真空中に置かれている。最初は半透明鏡の中心と  $M_1, M_2$  との距離はそれぞれ等しく、2つの経路の光が互いに強め合っている。

問 1 問題文中の下線部で 2 つの経路の光が互いに強め合うのはなぜか、40 文字以内で説明せよ。

$M_1$  を右へ移動させていくと、D で観測される光の明暗が繰り返された。今、最初の位置から距離  $l$  [m]だけ移動させたとき、D で波長  $\lambda$  の光が強め合うのが観測された。

問 2  $l$  を波長  $\lambda$  および正の整数  $m$  ( $m = 1, 2, \dots$ ) で表せ。

$l = 1.5 \times 10^{-6} \text{ m}$  のとき、 $\lambda = 6.0 \times 10^{-7} \text{ m}$  の光が D で強め合った。

問 3 次に、 $\lambda$  をゆっくり長くしていくときにふたたび強め合うときの波長  $\lambda_1$  [m]、また、短くしていくときにふたたび強め合うときの波長  $\lambda_2$  [m] を求めよ。

ここで  $l = 0 \text{ m}$  とし、P と  $M_1$  の間に厚さ  $d$  [m]、屈折率  $n$  の薄膜を光線に垂直に入れた。

問 4 波長  $\lambda$  の光が D で強め合う条件を  $d, n, \lambda, m$  を使って示せ。

問 5  $d = 1.5 \times 10^{-6} \text{ m}$  のとき、 $\lambda = 4.0 \times 10^{-7} \text{ m}$  の光に対して 2 光線は D で強め合った。次に波長をゆっくり長くしていくと、 $\lambda = 6.0 \times 10^{-7} \text{ m}$  の光に対してふたたび強め合った。 $n$  を求めよ。ただし、屈折率は波長によらず一定とする。

次に、光の干渉現象を用いて空気の屈折率を求めてみよう。図 2 は使用する実験装置の模式図である。 $C_1, C_2$  はともに長さ  $L$  [m]、底の厚さの無視できる透明な円柱形の容器で、どちらも真

空に保たれている。 $G_1$ ,  $G_2$  は同じ材質で、厚さの等しいガラス板で  $C_1$ ,  $C_2$  に対して  $45^\circ$  の角をなすように平行に置かれている。光源  $S$  から真空中の波長が  $\lambda$  の単色光を当てると 2 経路に分かれて  $C_1$ ,  $C_2$  を通り  $G_2$  の出口でまた 1 つになり、 $T$  に投影される。 $C_1$ ,  $C_2$  は互いに平行に置かれ、光は底面に対して垂直に入射するものとする。

はじめ  $T$  は明るかったが、 $C_2$  に徐々に空気を入れていくと暗くなり、また明るくなるということが繰り返された。明るい状態から暗い状態を経て明るい状態になるまでを 1 回と数えると、 $C_2$  が真空の状態から大気圧になるまでに  $N$  回の明暗が観察された。

問 6 大気圧の空気の屈折率を  $n_1$  とすると大気圧の  $C_2$  の中には何波長分の光が含まれるか。

$n_1$ ,  $L$ ,  $\lambda$  を用いて表せ。

問 7  $n_1$  を  $\lambda$ ,  $L$ ,  $N$  を用いて表せ。

問 8  $L = 0.10\text{ m}$ ,  $\lambda = 5.8 \times 10^{-7}\text{ m}$  のとき、 $N = 50$  であった。 $n_1$  と真空の屈折率との差を有効数字 2 術で求めよ。

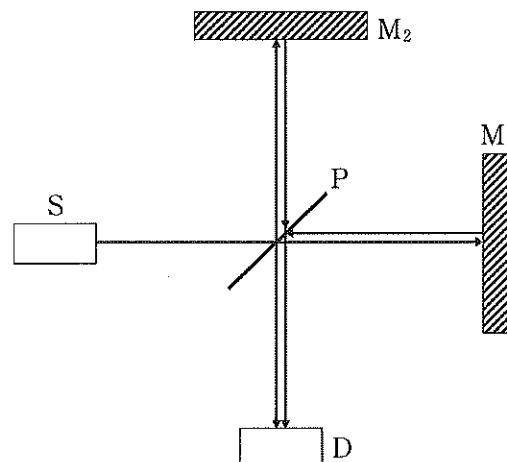


図 1

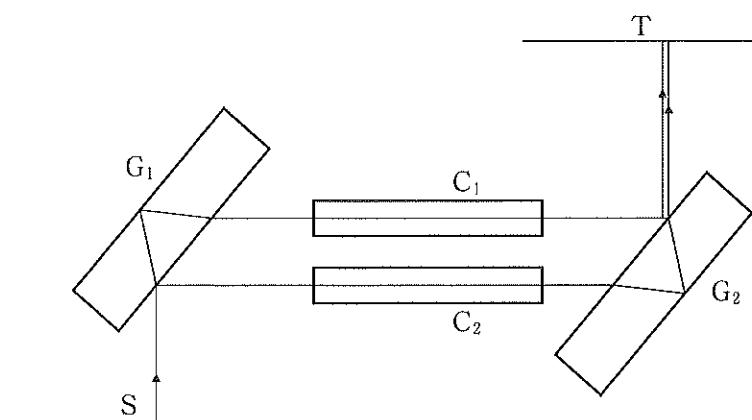


図 2