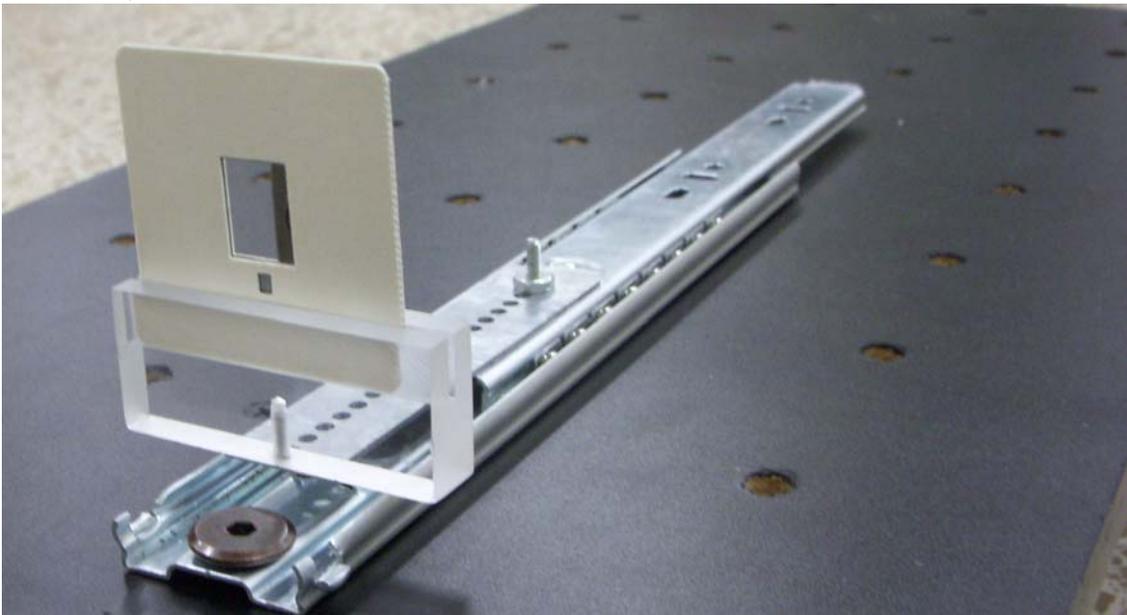


実験問題 1

ダイオードレーザーの波長の決定

器具

- 1), 2), 3) 以外に以下のものを使用する。
- 4) 四角の支柱に取り付けられたレンズ(部品写真の装置記号 C).
- 5) スライド枠に固定されたカミソリの刃と、これを差し込むためのアクリル支持台(装置記号 D1)。さらにそれらを載せた滑り支持台(装置記号 D2)。必要ならば強く固定するためにねじ回しを使うこと。下の写真参照。
- 6) 副尺 (1/20mm の精度) がついた観測用のスクリーン(装置記号 E)。
- 7) 拡大鏡(装置記号 F)。
- 8) 30 cm のものさし(装置記号 G)。
- 9) ノギス(装置記号 H)。
- 10) 計測用巻き尺(装置記号 I)。
- 11) 電卓。
- 12) ハガキ大の白カード, 粘着テープ (masking tape) , 剥離粘着紙, はさみ, 三角定規セット。
- 13) 鉛筆, 紙, グラフ用紙。



アクリル支持台(装置記号 D1)を滑り支持台 (装置記号 D2) の先端に差し込み、図のようにねじ留めし、ミラー(装置記号 B)から4番目の穴に滑り支持台を固定する。スライド枠に固定されたカミソリの刃をアクリル支持台に差し込む。

実験方法

ここで、ダイオードレーザーの波長を決定する。この測定の特徴は、厳密な微小測定器（例えば、規格ものの回折格子など）を使わないことである。測定する最小の長さはミリメートル領域である。カミソリの刃の鋭い縁による光の回折を使って、波長が測定される。

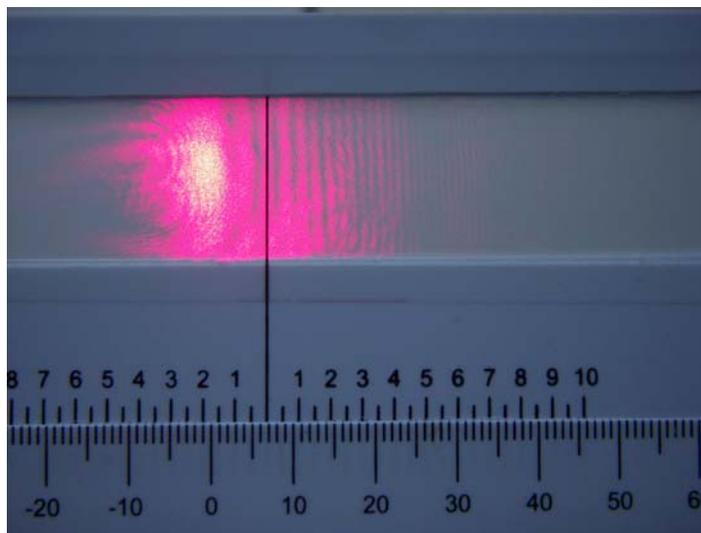


図 1.1 典型的な干渉縞パターン

レーザー光は、ミラー(装置記号 B)で反射されてからレンズ (装置記号 C) をカミソリの刃の直前で通るようにする。レンズは**数センチメートル**の焦点距離をもつため、カミソリの刃をレンズに近づけたときアクリル台がレンズ支柱に当たるようにする。焦点は、球面波を放射する光源とみなすことができる。レーザー光は、レンズを通ったあと、光路に沿って進み、障害物である鋭いカミソリの刃の縁に衝突する。その縁も、球面波を放射する光源とみなすことができる。これら二つの波が前方で干渉しあい、スクリーン上で干渉パターンをつくる。これを観測する。図 1.1 には典型的な干渉パターンの写真を示す。

ここで図 1.2 と 1.3 にあるように 2 つの場合があることが重要である。

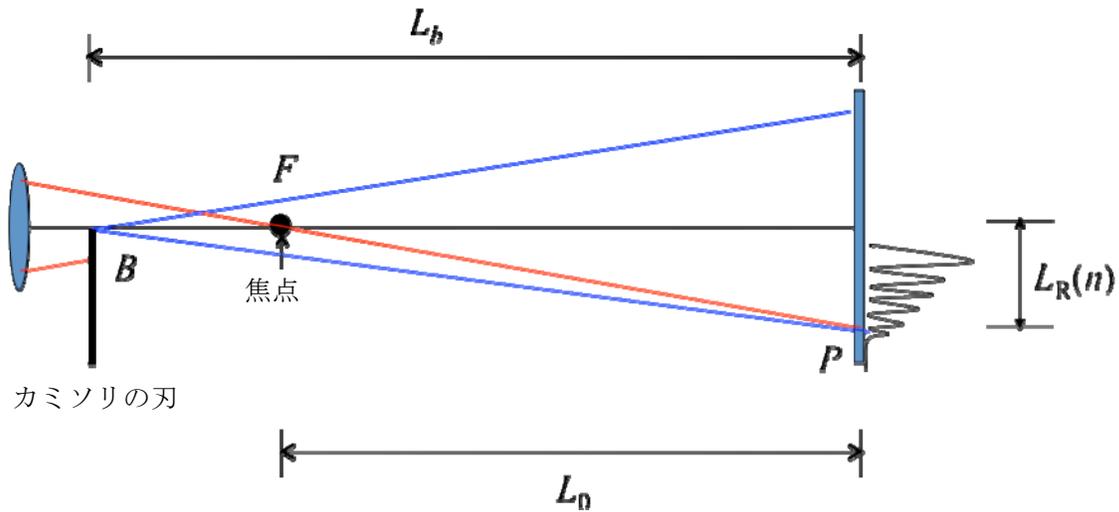


図 1.2. 場合 (I). カミソリの刃がレンズの焦点の**前方**にある場合。図は実際の縮尺ではない。

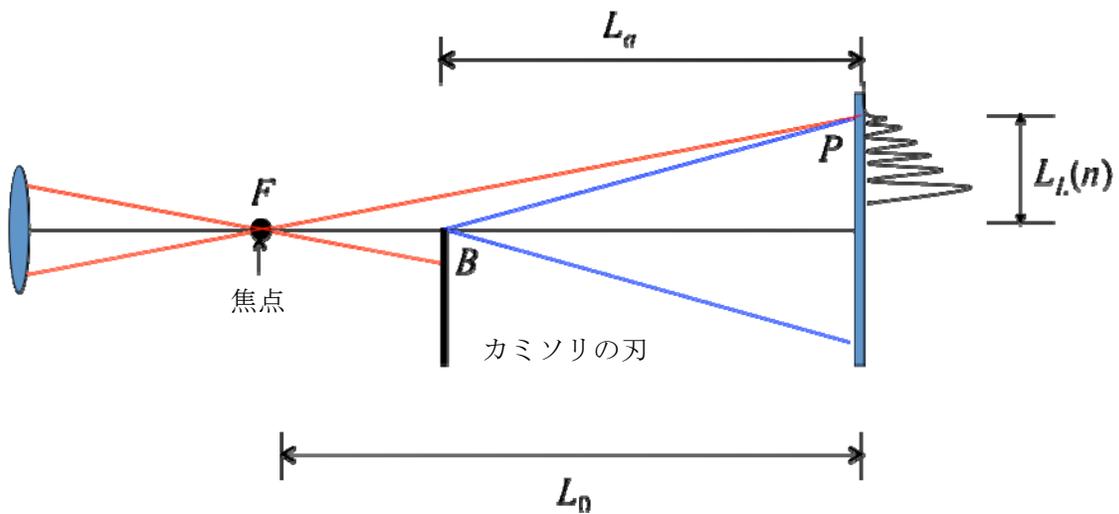


図 1.3. 場合 (II). カミソリの刃がレンズの焦点の**後方**にある場合。図は実際の縮尺ではない。

実験装置の組み立て

課題 1.1 実験装置組み立て(1.0 点).

上述した干渉パターンを得るために実験装置の配置を設計しなさい。焦点からスクリーンまでの距離 L_0 は焦点距離よりも十分長くせよ。

- 光学台が書いてある図の上に、自作した実験装置の配置を詳しく書き写しなさい。異なる装置には、それぞれの**装置記号**をその光学台が書いてある図の中に書きなさい。ここで自分の設計を説明する簡単な図を加えてもよい。
- ハガキ大の白カードを用いて、反射レーザー光の光路をたどることによって、アライメント調整(光学台の厳密に穴の真上を通るように)せよ。
- 十分調整した後、光学台が書いてある図の上にレーザー光の光路を描きなさい。また、レーザー光の光学台からの高さ h を各所で確かめ、それらになるべく一致するようにして、その値を書きなさい。

警告: 時々出る大きなリングパターンを無視せよ。これはダイオードレーザーそのものからの効果である。

レーザー光の光路組み立ては重要であり、時間をかけて最適なアライメントにせよ。そうして 10 本以上の垂直な直線の縞(しま)模様がスクリーン上で見えるように組み立てなさい。読み取りは、縞模様の**暗線**の位置とせよ。縞模様をよりはっきり読み取るために、虫眼鏡(拡大鏡)を用いてよい。**縞模様は、光っているスクリーン(部品写真の装置記号 E)のレーザー光の来る方向とは反対の側から読み取るとよい。**そのため、スクリーンの副尺付き目盛りの文字は外側から読めるように配置せよ。もし、配置がうまくいってれば、レーザー光を半分隠すカミソリの刃(装置記号 D1)を滑り支持台(装置記号 D2)上で滑らせるだけで、両方のパターン(図 1.2 の場合 I も図 1.3 の場合 II も)が見えるはずである。

理論的考察

前述の図 1.2 と 1.3 を見なさい。次の 5 つの基本的な長さがある。

L_0 : 凸レンズの焦点からスクリーンまでの距離

L_b : カミソリの刃からスクリーンまでの距離, 場合 I

L_a : カミソリの刃からスクリーンまでの距離, 場合 II

$L_R(n)$: 場合 I の n 番目の**暗線**の位置

$L_L(n)$: 場合 II の n 番目の**暗線**の位置

場合Ⅰでも場合Ⅱでも、はじめの暗線は最も広がっている。これを $n = 0$ の暗線とする。

実験装置の組立では、場合Ⅰは $L_R(n) \ll L_0, L_b$ 、場合Ⅱは $L_L(n) \ll L_0, L_a$ となるようにしなければならない。

1点から発せられる光波の干渉は、光路差（位相差）により生じる。位相差により、互いに打ち消すと暗線を生じ、互いに強め合うと明線を生じる。

暗線を生じる条件は、これらの光波の詳細な解析により、次の条件で与えられる。場合Ⅰに対して

$$\Delta_I(n) = \left(n + \frac{5}{8}\right)\lambda \quad \text{ただし,} \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (1.1)$$

場合Ⅱに対して

$$\Delta_{II}(n) = \left(n + \frac{7}{8}\right)\lambda \quad \text{ただし,} \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (1.2)$$

ここで、 λ はレーザー光の波長、 Δ_I 、 Δ_{II} はそれぞれの場合の光路差である。

場合Ⅰの光路差は、

$$\Delta_I(n) = (BF + FP) - BP \quad \text{それぞれの } n = 0, 1, 2, \dots \text{ について} \quad (1.3)$$

場合Ⅱの光路差は、

$$\Delta_{II}(n) = (FB + BP) - FP \quad \text{それぞれの } n = 0, 1, 2, \dots \text{ について} \quad (1.4)$$

課題 1.2 光路差の表式(0.5 点).

場合Ⅰに対して $L_R(n) \ll L_0, L_b$ 、場合Ⅱに対して $L_L(n) \ll L_0, L_a$ を仮定して、(1.3) (1.4) 式（実験の組立でこの条件が満たされているか確かめよ）より、光路差 $\Delta_I(n)$ と $\Delta_{II}(n)$ を $L_0, L_b, L_a, L_R(n), L_L(n)$ を用いて表せ。ただし、 $x \ll 1$ のときの近似式 $(1+x)^r \approx 1+rx$ を用いてよい。

上の式を用いる際の実験的な難しさは、 $L_0, L_R(n), L_L(n)$ を正確に測定することができない点にある。はじめの量 L_0 を定める上での難しさは、レンズの焦点の位置を見つけるのが容易ではないことにあり、次の2つの量 $L_R(n), L_L(n)$ を定める上での難しさは、光学装置を直線的に並べるのが非常に難しいことにある。

$L_R(n)$ と $L_L(n)$ を求める際の困難を解決するために、すべての縞模様の原点としてスクリーンの目盛り（装置記号 E）上にゼロ点をまず決めなさい。次に $L_R(n)$ と $L_L(n)$ の位置を定めるために、未知の位置を l_{0R} , l_{0L} とし、 $l_R(n)$, $l_L(n)$ を上で決めたゼロ点から測った暗線の位置とする。

$$L_R(n) = l_R(n) - l_{0R} \quad \text{と} \quad L_L(n) = l_L(n) - l_{0L} \quad (1.5)$$

が成り立つ。

実験の実行. データ解析.

課題 1.3 暗線の位置とカミソリの刃の位置の測定 (3.25 点).

- 場合 I と場合 II の両方について、縞の番号 n の関数として、暗線の位置 $l_R(n)$, $l_L(n)$ を測定せよ。そして測定値を表 1 に記せ。それぞれの場合について少なくとも 8 回の測定を行うこと。
- 同様にカミソリの刃の測定に最適の位置として L_b と L_a の値を記せ。そしてそれらの位置を測った装置を、装置記号で示せ。
- **重要な示唆:** 解析を簡単にし精度を上げるために、距離 $d = L_b - L_a$ を直接測定せよ。そうすると、 L_b と L_a の精度よりもよい精度が得られる。すなわち、 L_b と L_a の測定値から計算することをしない。ここで、距離を測った装置を、装置記号で示せ。

答には、測定の不確定性（誤差）を必ず入れること。

課題 1.4 データ解析. (3.25 点).

上記のすべての情報から、 l_{0R} と l_{0L} の値を求めることができ、さらに波長 λ が求められる。

- これらの値を求めるための手続きを考案せよ。必要な表式、方程式を書き出せ。
- 誤差の解析を含めよ。表 I を用いるか別の表を用いて、見いだしたことを報告せよ。すなわち、作った表の各欄の内容が明確に分かるように記せ。
- 解析した変数を、与えられたグラフ用紙を用いてプロットせよ。
- l_{0R} と l_{0L} の計算値を誤差も含めて書き出せ。

課題 1.5 λ を計算する. (2 点).

λ の計算値を記せ。誤差とそれを得るための誤差解析も含めよ。**示唆:** λ についての公式において、 $(L_b - L_a)$ が現れたら、 d で置き換えて、その d に測定値を用いること。