

光学的測定

この実験では、与えられた器具だけを用いて、サンプルの光学的な性質をできるだけ高い精度で正確に測定することを目指す。

注意：机の下に水のボトルが2本あるが、これは2つ目の実験に使用するものである - 飲まないこと

Part A では、透明な円盤（円柱）の屈折率を2つの方法で測定する。第1の方法は古典的であるが、第2の方法は可能な限り高い精度の測定が可能な新しい方法である。

Part B では、レーザー光の波長 λ と回折格子の格子定数 d の比をできるだけ高い精度で正確に測定することを目指す。

Part C では、三角プリズムの屈折率を測定する。これもまた、できるだけ高い精度で正確に測定することを目指す。

測定のために、試験開始後 20 分から 100 分間、試験会場全体を暗くする（必要に応じて卓上ライトを使用してもよい）。Part A の実験は暗い方がし易いが、その大部分は明るくても行える。

個室の壁はスクリーンとして使用することができ、粘着テープを貼ってもよい。

この実験では、光源としてダイオードレーザーを用いる。

レーザーに関する安全上の注意：

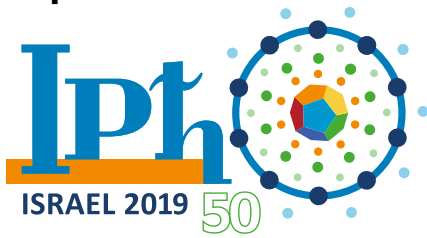
- **ビームを直視しないこと！**
- 実験全体を通して、ビームは水平面内で照射すること。ビームがスクリーン等に当たる位置を測定する際には、**頭が常にビームの水平面より上にあるように気を付けること。**
- 個室の開口部にビームを向けないこと。
- 測定時以外の必要のない場面では電源を切ること。

実験器具

器具 1～9 は、全部の問題を通して使用する。器具 10～12 は、問題に応じて使用する。実験に用いる複数の光学素子が全て揃っていることを確認すること。また、各素子の鉛直断面を汚さないように、直接手で触れないように注意すること。

1. 定規：長さ 60 cm
2. スライダー：定規に沿って移動できる。
3. レーザー光源装置：スライダー上に設置する。光源の高さは2つのレベルにセットでき、Part A 用のレベル 3A と Part B, C 用の高レベル 3B、電源スイッチの位置は、図の 3C に示されている。
4. ネジ 4A と 4B の調整によって、装置の向きや位置を固定できる。また、小さな金属棒 4C でレーザーの向きを微調整できる。さらに、4C の向きを 180 度反転すると、レーザーの高さを変えることができる。偏光方向はあらかじめ調整してあるので、光軸周りにレーザーを回転してはいけない。
5. スクリーン：個室の壁を利用し、隣り合う壁は直交しているとみなしてよい。
6. 粘着テープ：器具を机に固定するために使用できる。
7. 巻き尺
8. 各種定規・分度器
9. 卓上ライト
10. 透明円盤：直径 20.00 cm、板に分度器とともに固定された状態で使用する (Part A)。使用前に、4つの木片を取り除くこと。

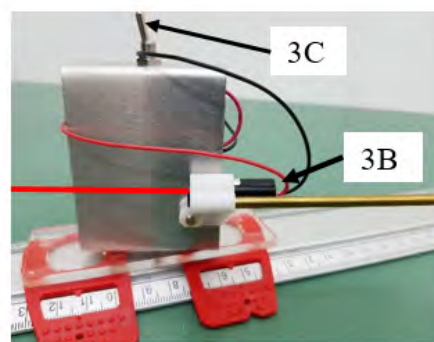
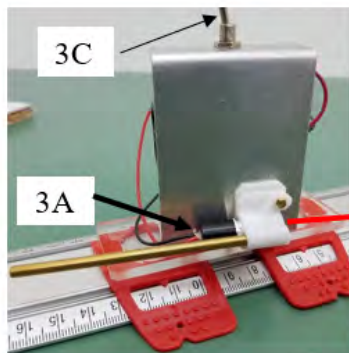
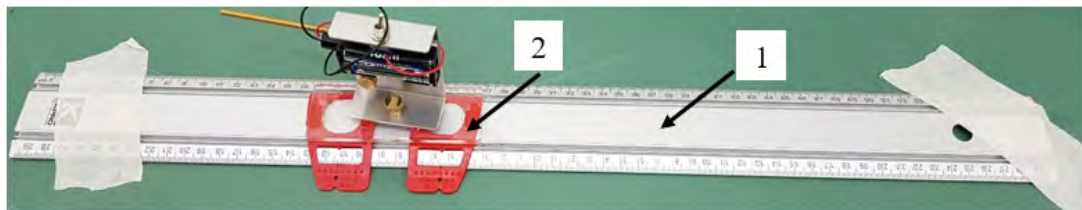
Experiment



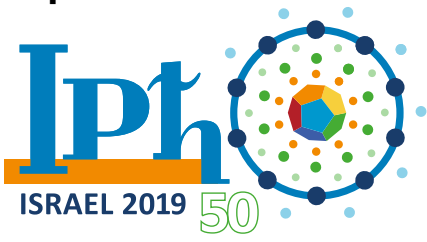
Q1-2

Japanese (Japan)

11. 羊皮紙：一時的に円盤の側面に沿って（手で）当てることにより透過スクリーンとして使用し、円盤の外へ出射する位置を円盤の側面を汚すことなく測定することができる (Part A). 図に示すように、紙に直線を描いておくと、位置がより正確に測定できる。
12. 板 (12A) と円柱ホルダー (12B) を組み合わせ、ホルダーに載せた回折格子 (12C) もしくは三角プリズム (12D) を鉛直軸周りに回転させることができる。

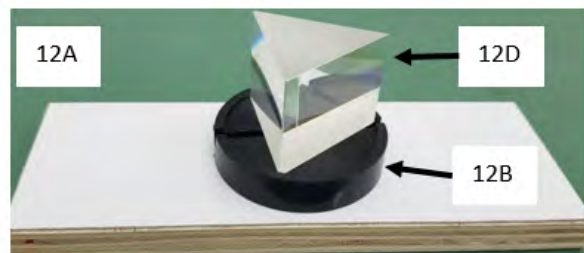
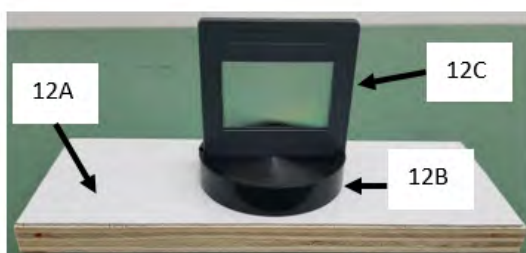
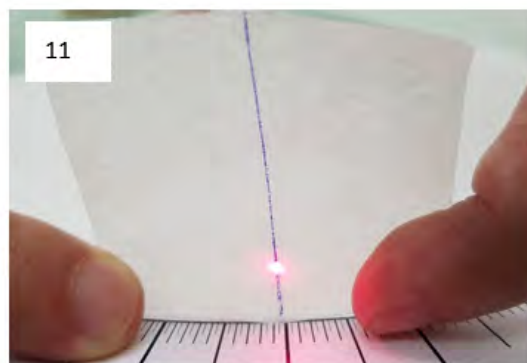
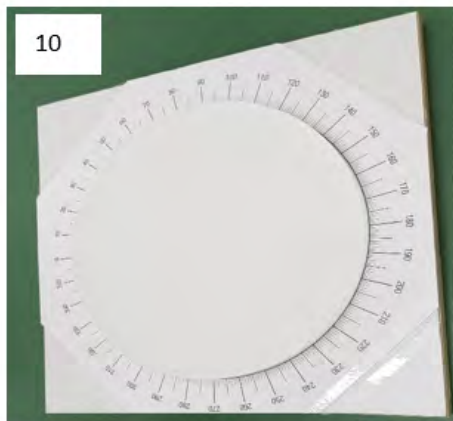
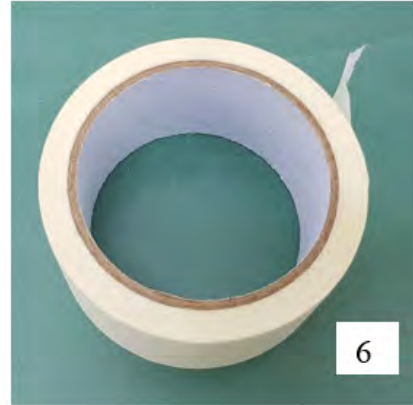
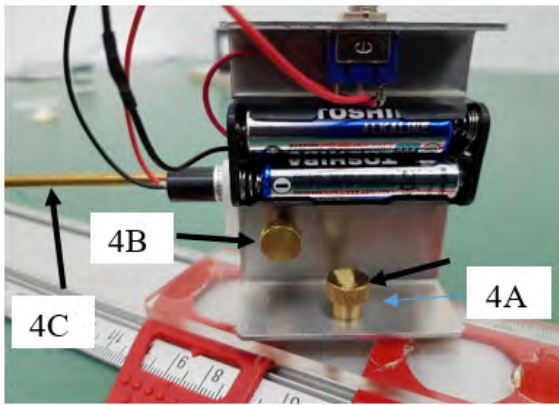


Experiment

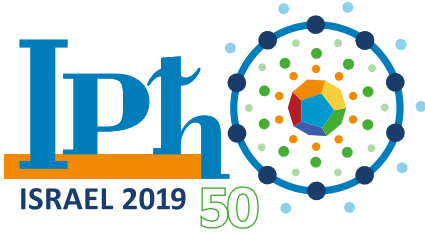


Q1-3

Japanese (Japan)



Experiment

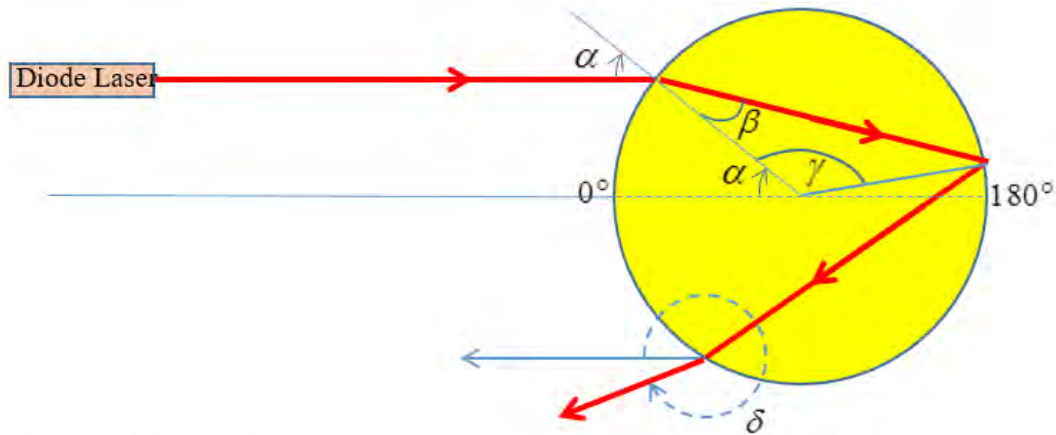


Q1-4

Japanese (Japan)

Part A : 円盤の屈折率 (5.5 points)

この Part では、円盤中で反射・屈折される光線がとる経路を観察することにより、透明な円盤の屈折率を測定する。



実験の模式図

物理量の定義と記号

α	円盤に入射する光の入射角
$2\Delta\alpha$	入射角の広がり, すなわち, 入射するビームの入射角 α の円周上での幅を示す値
β	円盤内の屈折角
γ	$= 180^\circ - 2\beta$
n	円盤の材質の屈折率
N	円盤から空気へ光が出ていく前に, 円周の境界に達する回数 (図では $N = 3$).
δ	"円盤へ入る光と逆の向き"と"円盤から出る光の向き"のなす角で, 時計回りを正とする (図では $N = 3$ での δ を示している).
$2\Delta\delta$	角度 δ の広がり

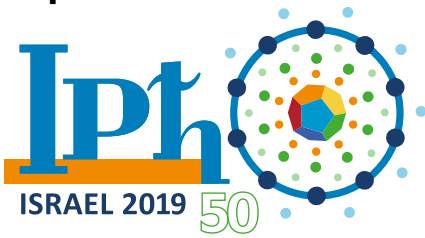
角度 α , β と δ の間には, 次の関係がある.

$$\delta = 2\alpha + (N - 1)(180^\circ - 2\beta). \quad (1)$$

この関係式は, 導出なしに用いてよい.

レーザービームの入射角を変えることができるように, 粘着テープで定規をテーブルに固定し, 入射角が容易に測定できるようにレーザー光源装置を調整せよ. 次に, 粘着テープで板の露出した四隅をテーブルに貼り付け, 円盤の位置を固定せよ. さらに, 金属バー 4C を用いて, 傾きを調整せよ. レーザー光源は, 各 Part によって設置する高さが異なる: PartA では低い高さ, PartB と C では, 高い高さにそれぞれ設置する. このレーザー光源装置は, 装置からの入射光が S 偏光 (反射光が強くなる偏光) となるよう調整されている. したがって, 入射光の偏光面を変更してはならない (レーザー光源装置を光軸周りに回転してはいけない) !

Experiment



Q1-5

Japanese (Japan)

A.1 スライダー付の定規と円盤から成るシステムのスケッチを描き、レーザービームの経路を描き入れよ。入射角 α も示せ。入射角 $15^\circ \leq \alpha \leq 75^\circ$ の範囲において測定を実行せよ。 $\alpha, \Delta\alpha, \delta, \Delta\delta$ を Table 1 に書き入れよ。
注意: δ の測定にあたっては、円盤の周上で $\delta/2$ を直接測定した方が簡便である。

A.2 前問の測定結果を用いて、屈折率 n および不確かさ Δn を導出するためのグラフの概形を描き、 n および Δn を求めよ。何か追加すべき物理量を計算する必要があるならば、計算値を Table 1 の空欄に書き入れよ。

A.3 A.1 で行った測定結果より、 δ のグラフを α の関数として描け。それぞれの測定点に、 $\Delta\delta$ および $\Delta\alpha$ の値をエラーバーを用いて記入せよ。最小の δ およびその時の α を正確に求めるために、追加の測定を行うこと。それらを δ_{\min} および α_{\min} の記号で記せ。
最小値を最も正確に定めるために、個室の壁をビームを当てるスクリーンとして使用して構わない。

屈折率を測定するための2つ目の方法

このセクションでは、高い精度の結果を得られる別の測定方法を考える。測定は可能な限り高い精度で行わねばならないが、**不確かさを見積もる必要はない**。ただし、結果を得るために使用した式は解答用紙に詳述すること。

A.4 A.3 で得られたグラフの振る舞いに基づいて、屈折率を求める測定を行うのに最適な角度を選べ。考えた測定方法で屈折率を求めるために必要な式を記せ。

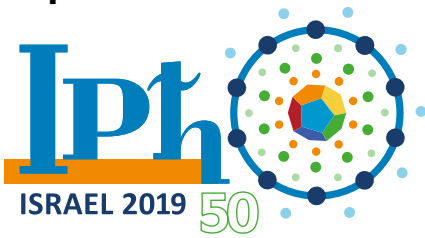
A.5 $N = 3$ のとき、A.4 で考え出した方法によって高い精度で屈折率を導くために、必要な測定を行え。

- 円盤とビームの経路を図で描き、どの物理量を測定したのか図中に示すこと
- どのような測定を行ったのか、その結果も合わせて記述せよ。
- 測定結果の解析を行い、できるだけ高い精度で円盤の屈折率 n を求めよ。必要に応じて、追加で配布されるグラフ用紙を用いること。

A.6 $N = 4$ と $N = 5$ の場合について、前問の過程を繰り返せ（実験装置とビームの経路を描く必要はない）。

- $N = 4$ の場合について、どのような測定を行ったのか、その結果も合わせて記述せよ。
- $N = 4$ の場合について、測定結果の解析を行い、できるだけ高い精度で円盤の屈折率 n を求めよ。
- $N = 5$ の場合について、どのような測定を行ったのか、その結果も合わせて記述せよ。
- $N = 5$ の場合について、測定結果の解析を行い、できるだけ高い精度で円盤の屈折率 n を求めよ。
- $N = 3, N = 4, N = 5$ の場合の測定から求めた屈折率の値を用いて、屈折率の平均値 $\langle n \rangle$ を求めよ。

Experiment



Q1-6

Japanese (Japan)

Part B : 回折格子のパラメータ (2.5 points)

この問題では、不確かさを見積もる必要はない。

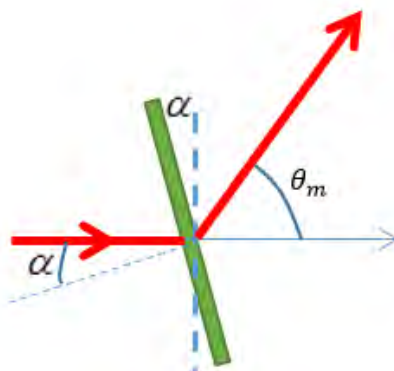
この問題では、レーザー光の波長 λ と回折格子の格子定数 (隣り合うスリット間の距離) d の比 λ/d を求める。

レーザービームが回折格子を通過すると、レーザービームが入射する方向と回折光が最大強度 (m 次における) となる方向がなす角 θ_m は次のような関係がある：

$$d \cdot (\sin \alpha + \sin(\theta_m - \alpha)) = m\lambda \quad (2)$$

ここで、

m	回折の次数
α	回折格子へのレーザー光の入射角
θ_m	レーザービームの入射する方向と m 次の回折光が最大強度となる方向がなす角
d	回折格子の格子定数 (回折格子の隣り合うスリットの中心間距離)

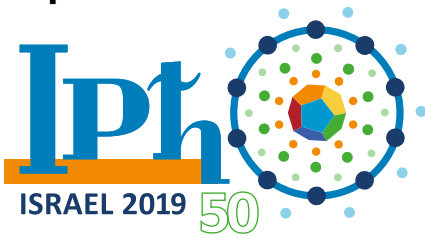


高次の回折光ほど、波長が異なる回折光がよく分離できる。ゆえに、高次の回折光を利用するによって、値 λ/d の相対的な不確かさを減らすことができる。

4B のネジを緩めてレーザーの高さを変更せよ。変更は、レーザーをビーム方向と垂直な水平軸について 180 度回転して 3B に示す状態まで行え (ワイヤに注意すること)。これで Part B と C の実験ができるようになる。さらに金属棒 4C を用いてレーザーの向きを微調整し、回折格子を用いた測定に適した高さに揃えることができる。レーザービームがスクリーンと垂直になるよう調整すること。ホルダーのスリット 12B に回折格子をセットする。回折格子には向きがあり、スティッカーが片面だけに貼られている。貼られた側がレーザーに向くよう、スティッカーが上部にくるよう配置すること。回折格子は固有の ID を有し、スティッカーに書かれてある。自分が使用している回折格子の ID を解答用紙の指示された場所に記すこと。

この Part では、PartA の 2 つ目のセクションのアイデアと似た考えが役に立つ。

Experiment



Q1-7

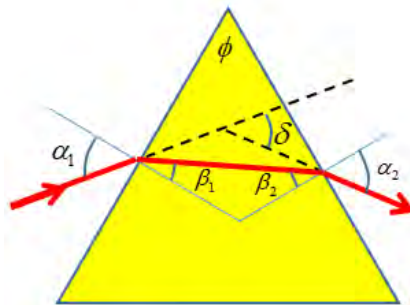
Japanese (Japan)

- B.1** 0.7pt
- 解答用紙に実験装置のセットアップの図を描け。図中には、テーブル上のレーザー光源装置、回折格子がどこにあるか、またレーザー光の軌跡を記し、レーザーがスクリーンに当たる点の位置と何を測定した値で付記すること。
 - $m = 1$ での測定を行ってその結果を記し、比 λ/d の値を算出せよ。
 - $m = 2$ での測定を行ってその結果を記し、比 λ/d の値を算出せよ。

- B.2** 1.8pt
- 高次の回折光を用いて、比 λ/d を求める ($m > 2$).
- $m = 3$ と $m = 4$ について、それぞれ実験装置の配置を解答用紙に図示せよ。レーザー光源装置、回折格子、レーザービームの経路、スクリーンに現れる輝点、およびどの物理量を測定したのか図中に示すこと。
 - $m = 3, 4$ のそれぞれについて、測定結果を記せ。それぞれの m について、比 λ/d を算出せよ。

Part C: 三角プリズムの屈折率 (2.0 points)

ほぼ正三角形の三角柱プリズムが配布されている。プリズムの表面は平坦で鏡面に研磨されている。プリズムの角度の 60° からのずれは大きくても 0.7° 以下である。プリズムの角度を測定する必要はない。このセクションの到達目標はプリズム材料の屈折率を測定することである。誤差を小さくするためにプリズムの角度の小さなずれに対する補正には小角近似 ($\sin x \approx x$, $\cos x \approx 1$, x はラジアン単位) を用いる。このセクションでは、不確かさの計算が必要である。図はプリズムの1つの面から入射して他の面から出射する光線の例を示している。



レーザーを用いた測定の精度ができるだけ高くなるように、スライド式の定規をテーブル上の適切な場所に設置せよ。

プリズムを 12B で示されたホルダーに設置せよ。

- C.1** 0.4pt
- $\alpha_1 = \alpha_2$ の対称性がある場合、次の関係が二等辺三角形のプリズムについて成り立つ: $n = 2\sin(\delta_{\text{sym}}/2 + 30^\circ)$.
- プリズムの屈折率を最も高い精度で求める方法を考えよ。
 - 屈折率を求めるために用いる一連の式を解答用紙に書け。

- C.2** 1.6pt
- 測定したパラメータ名と数値 (および不確かさ) を解答用紙に記録せよ。
 - レーザーの波長におけるプリズムの屈折率と不確かさを求めよ。