

実験問題

2023年8月10日(木)

時間：10時45分～12時15分(90分)

注意事項

- 以下の注意事項をよく読むこと。
- 実験問題は、7ページあります。
- 実験問題は、チームで協力して行います。
- 机の上に置けるものは、「大会参加にあたって」で定められたものと与えられた実験器具のみとします。
- 解答はすべて解答用紙に記入し、解答用紙はペアで1部提出すること。
- 参加番号を解答用紙の決められた欄に記入すること。
- 観察・実験等にあたっては、安全に十分注意すること。
- 実験中にけがをしたり、器具の故障・破損が生じたりしたときは速やかに申し出ること。
- 途中で気分が悪くなった場合や、トイレに行きたくなった場合には、すぐに申し出ること。

みなさんの健闘を期待しています。

富山県 富山県教育委員会

2 実験問題

光は、身の回りで当たり前のように感じている存在だが、不思議なことがたくさんある。その一つに、スコットランドの物理学者デイヴィッド・ブリュースターが光の研究をしているときに発明した万華鏡がある。今回は、鏡と光の反射の関係を考えながら、万華鏡の仕組みについて考えてみる。以下の実験を行いながらレポート1～レポート3を作成せよ。

[実験に必要なもの]

- ・カッティングミラー 2枚 (大-1枚, 小-1枚)
- [両面に保護シート, 青色シート側がミラー面, 両面を剥離して使用]
- ・線等は保護シートの上からボールペンで描くことが可能
- ・分度器用紙 1枚 ・像の観察用紙 1枚 ・観察ターゲット 1個
- ・PPプレート 2枚 (15.0cm × 11.2 cm) ・万華鏡のサンブル 1個
- ・ビニールテープ (黒) 1巻 ・両面テープ 1枚 (約 20 cm)
- ・カッターマット 1個
- (持参物) ・電卓 ・物差し (30 cm 程度) ・はさみ
- ・カッター ・分度器

実験1

2枚の鏡を用いて、反射によってできる像について考える。図1のように、2枚のPPプレートの短編をビニールテープでつなぎ合わせ、約2cmに切った両面テープを左右のPPプレートの四隅に貼る。カッティングミラー(小)を1/2にカットして、左右のPPプレートに貼る(両面の保護シートを剥がす)。このとき、鏡がスムーズに開閉できるか確認する。

図2のように、鏡を[分度器用紙]の上に置き、2つの鏡のなす角度 θ [°]と鏡に見える像(赤色の◆印)の個数を観察する(図2の場合は2個と数える)。なお、観察はできるだけ低い位置で、分度器用紙の0°方向から片目で行う。観察する目は、位置を固定し動かしてはいけない。

次のレポート1を作成せよ。



図1

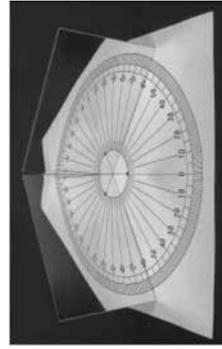


図2

レポート1

(1) 像(◆印)が4つ見えるとき、2つの鏡のなす角度 θ 〔°〕の範囲を式で答えよ。

(2) 2つの鏡のなす角度 θ を $40^\circ \sim 180^\circ$ の範囲で連続して変えるとき、角度 θ に対する像(◆印)の個数の関係をグラフに描け。なお、像の個数が変化する箇所は、グラフの描き方を工夫し簡潔に説明せよ。

(3) 2つの鏡のなす角度 θ と像(◆印)の個数やその変化にはどのような関係があるか。実験結果やグラフから分かることを簡潔にまとめて4つ答えよ。

(4) 次に、図3のように、2つの鏡のなす角度 θ を 20° にして、★マークを直角に折った「観察ターゲット」を中心(0°)線に沿って奥まで押し入れる(鏡に接触して動かなくなるまで挿入)。すると、直角に折った「観察ターゲット」は筒状に映って見える。目の高さを低くして★マークが横に並んで見える状態で実験を行い、①～③に答えよ。

① 「観察ターゲット」の★マークは片方の鏡(左右どちらでもよい)に最大でいくつ確認できるか。

② ①の状態で、2つの鏡のなす角度 θ を 20° から徐々に開いていくと、確認できる★マークの個数はどのように変化するか。適する語句に○を付けよ。

③ ①の状態で、鏡に映っている★マークの中で最も内側から2番目に映って見える★マークは、鏡に何回反射して観測者の目に届いているか。反射の回数を答えて、光路を実線で描け。なお、必要に応じて破線で補助線を描いたり説明を加えたりしてよい。

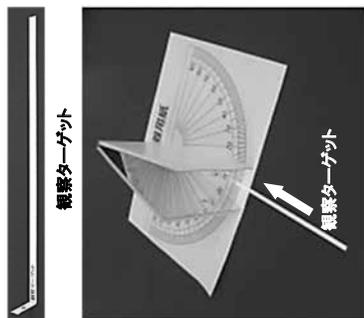


図3

実験2

3枚の鏡を用いて万華鏡を作り、観察される模様を考察する。図4のように、カッティングミラー(大)から $3.5\text{ cm} \times 22.5\text{ cm}$ のミラーを3枚カットし、正三角柱の形になるようにビニールテープでつなぎ合わせる(両面の保護シートを剥がす)。なお、つなぎ合わせる際は、 1 mm 程度のすきまを作ると像がきれいに見える。また、観察側の鏡の端は、怪我を防止するために周囲をビニールテープで保護する。

次のレポート2を作成せよ。

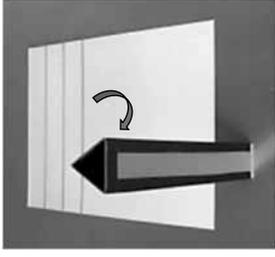


図4

レポート2

(1) 図5のように、「像の観察用紙」上のFと太実線が記された△マークに万華鏡を置き、上から鏡の中を見ると模様のようにFと太実線が観察される。Fと太実線は、どのように映って見えるか。破線の△マークの範囲に全て描け。

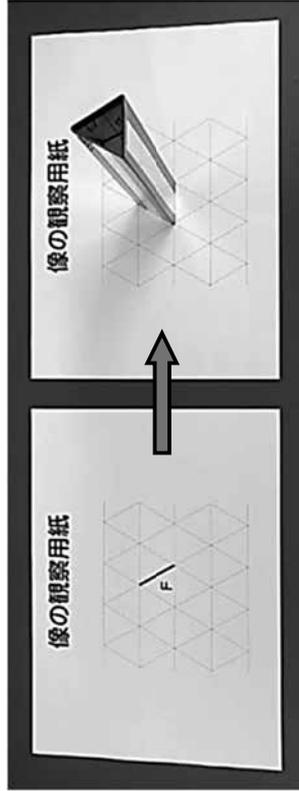


図5

(2) 図6のように、実験1で用いた鏡を「像の観察用紙」上のFと太実線が記された△マークに置き、上から鏡の中を観察する。すると、映って見える模様は、(1)の結果と異なることが分かる。映って見えるFと太実線の様子を破線の△マークの範囲に全て描け。また、映って見えるFは何回反射して見えているのか、△マーク内に描いたそれぞれのFの横に反射の回数を記入せよ。



図6

実験3

3枚の台形(等脚台形)の鏡を用いて万華鏡を作製する。図7, 図8のように, 各班に配布した万華鏡の見本は, 像が9層*に見えらるるよう設計されている。図9に鏡の寸法を示す。

* 実際に見える物体を0層とし, その周りを囲む像を内側から順に1層, 2層...とする。なお, 最外層は小さくなるため見づらくなる。

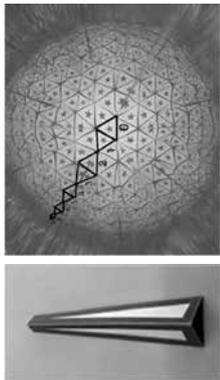


図7

図8

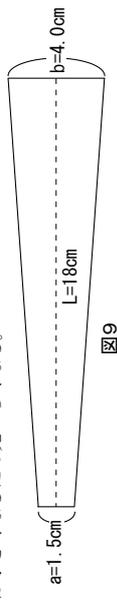


図9

ここで, 像が9層に見える理由を考えてみる。簡単のため, 図10のように, A(物体)から出た光が, 鏡筒内の網掛の面で直進と反射を繰り返して観測者(B)に進む光路を考える。なお, D付近では, 光は複数回の反射の後, 観測者に進んでいる。網掛の形は, 上底 $0.75\sqrt{3}$ cm (約 1.3 cm), 下底 $2\sqrt{3}$ cm (約 3.5 cm), 高さ 18cm の台形である。

光は反射の法則(入射角=反射角)に従うことから, 反射後の光路を対称面として考えると, 図11のように, AB間の光路は直線として描くことができる。図11からは, 9層目までは, 像を見ることができるとは, 10層目では像を認識できないうと分かる。

2層目の光路の様子(例)

(n層目では, 光は網掛の面上で直進と反射を繰り返す)

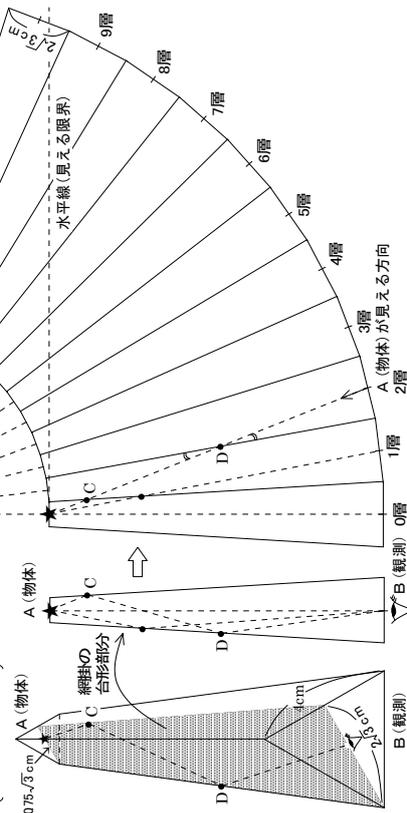


図10

図11

これらを参考にし, 実験2で使わなかった鏡の部分(22.5 cm × 19.5 cm)を用いて, 台形型の万華鏡を作製しなさい。作製の条件等は以下のとおりとする。なお, 必要に応じて図12や次頁の「三角形の辺の比(三角関数表)」を利用しなさい。

- ・万華鏡で見える像は6層とする。
- ・台形の鏡のa, b, Lはできるだけ長くし, 大きな万華鏡とする。
- ・上底aと下底bの長さの比を, $a:b=1:2$ とする。
- ・観察側の鏡の端は, 怪我を防止するために周囲をビニールテープで保護する。以下のレポート3を作成せよ。

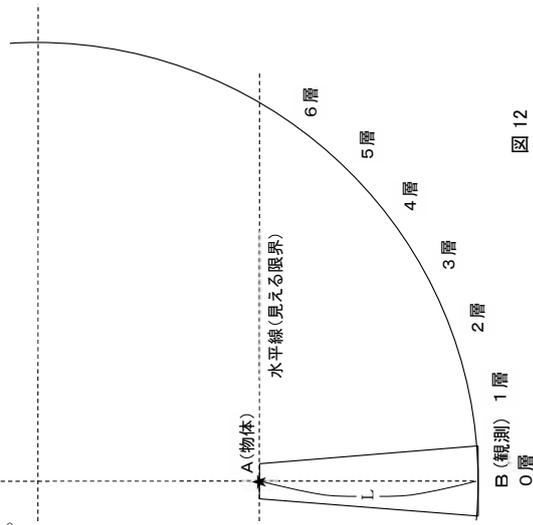


図12

レポート3

(1) 像が6層に見える万華鏡のa, b, Lの長さを求め, 示されている台形の鏡の各部に長さを記入せよ。

(2) 実際に作製した万華鏡で観察できた像は何層か。また, 工夫した点や予想どおりにならなかった原因, 改善点を簡潔にまとめて3つ答えよ。

(3) 台形の鏡の各部の長さについて, 求めた根拠を文章や図, 式などを用いて説明せよ。

参考資料 三角形の辺の比率 (三角関数表)

| 角度 θ (°) | $\sin \theta$ b/c | $\cos \theta$ a/c | $\tan \theta$ b/a | 角度 θ (°) | $\sin \theta$ b/c | $\cos \theta$ a/c | $\tan \theta$ b/a |
|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 2.5 | 0.04362 | 0.99905 | 0.04366 | 7.0 | 0.12187 | 0.99255 | 0.12278 |
| 2.6 | 0.04536 | 0.99897 | 0.04541 | 8.0 | 0.13917 | 0.99027 | 0.14054 |
| 2.7 | 0.04711 | 0.99889 | 0.04716 | 9.0 | 0.15643 | 0.98769 | 0.15838 |
| 2.8 | 0.04885 | 0.99881 | 0.04891 | 10.0 | 0.17365 | 0.98481 | 0.17633 |
| 2.9 | 0.05059 | 0.99872 | 0.05066 | 15.0 | 0.25882 | 0.96593 | 0.26795 |
| 3.0 | 0.05234 | 0.99863 | 0.05241 | 20.0 | 0.34202 | 0.93969 | 0.36397 |
| 3.1 | 0.05408 | 0.99854 | 0.05416 | 25.0 | 0.42262 | 0.90631 | 0.46631 |
| 3.2 | 0.05582 | 0.99844 | 0.05591 | 30.0 | 0.50000 | 0.86603 | 0.57735 |
| 3.3 | 0.05756 | 0.99834 | 0.05766 | 35.0 | 0.57358 | 0.81915 | 0.70021 |
| 3.4 | 0.05931 | 0.99824 | 0.05941 | 40.0 | 0.64279 | 0.76604 | 0.83910 |
| 3.5 | 0.06105 | 0.99813 | 0.06116 | 45.0 | 0.70711 | 0.70711 | 1.00000 |
| 3.6 | 0.06279 | 0.99803 | 0.06291 | 50.0 | 0.76604 | 0.64279 | 1.19175 |
| 3.7 | 0.06453 | 0.99792 | 0.06467 | 55.0 | 0.81915 | 0.57358 | 1.42815 |
| 3.8 | 0.06627 | 0.99780 | 0.06642 | 60.0 | 0.86603 | 0.50000 | 1.73205 |
| 3.9 | 0.06802 | 0.99768 | 0.06817 | 65.0 | 0.90631 | 0.42262 | 2.14451 |
| 4.0 | 0.06976 | 0.99756 | 0.06993 | 70.0 | 0.93969 | 0.34202 | 2.74748 |
| 4.1 | 0.07150 | 0.99744 | 0.07168 | 75.0 | 0.96593 | 0.25882 | 3.73205 |
| 4.2 | 0.07324 | 0.99731 | 0.07344 | 80.0 | 0.98481 | 0.17365 | 5.67128 |
| 4.3 | 0.07498 | 0.99719 | 0.07519 | 85.0 | 0.99619 | 0.08716 | 11.43005 |
| 4.4 | 0.07672 | 0.99705 | 0.07695 | | | | |
| 4.5 | 0.07846 | 0.99692 | 0.07870 | | | | |
| 4.6 | 0.08020 | 0.99678 | 0.08046 | | | | |
| 4.7 | 0.08194 | 0.99664 | 0.08221 | | | | |
| 4.8 | 0.08368 | 0.99649 | 0.08397 | | | | |
| 4.9 | 0.08542 | 0.99635 | 0.08573 | | | | |
| 5.0 | 0.08716 | 0.99619 | 0.08749 | | | | |
| 5.1 | 0.08889 | 0.99604 | 0.08925 | | | | |
| 5.2 | 0.09063 | 0.99588 | 0.09101 | | | | |
| 5.3 | 0.09237 | 0.99572 | 0.09277 | | | | |
| 5.4 | 0.09411 | 0.99556 | 0.09453 | | | | |
| 5.5 | 0.09585 | 0.99540 | 0.09629 | | | | |
| 5.6 | 0.09758 | 0.99523 | 0.09805 | | | | |
| 5.7 | 0.09932 | 0.99506 | 0.09981 | | | | |
| 5.8 | 0.10106 | 0.99488 | 0.10158 | | | | |
| 5.9 | 0.10279 | 0.99470 | 0.10334 | | | | |
| 6.0 | 0.10453 | 0.99452 | 0.10510 | | | | |

[三角比と三角関数について]

下図のような直角三角形において、角度 θ が決まれば、3 辺 (a, b, c) の長さの比が決まる。これを三角比と呼び、3 辺の比を $\sin \theta$, $\cos \theta$, $\tan \theta$ として表す(三角関数)。

よく用いる三角比としては、 $\theta = 45^\circ$, $\theta = 60^\circ$ (30° も同様)がある。

