

# 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

1. 以下の注意事項をよく読むこと。
2. 実験問題は、7ページあります。
3. 実験問題は、チームで協力して行います。
4. 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。
5. 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。
6. 参加番号を解答用紙の決められた欄に記入すること。
7. 観察・実験等にあたっては、安全に十分注意すること。
8. 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。
9. 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 $\theta$  [°]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

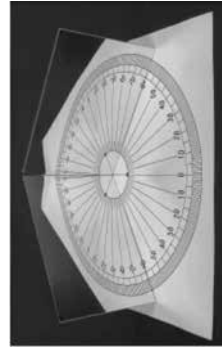


図2

## 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 $\theta$  [°]の範囲を式で答えよ。

(2) 2つの鏡のなす角度 $\theta$ を $40^\circ \sim 180^\circ$ の範囲で連続して変えるとき、角度 $\theta$ 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 $\theta$ 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 $\theta$ を $20^\circ$ にして、★マークを直角に折った「観察ターゲット」を中心( $0^\circ$ )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 $\theta$ を $20^\circ$ 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。

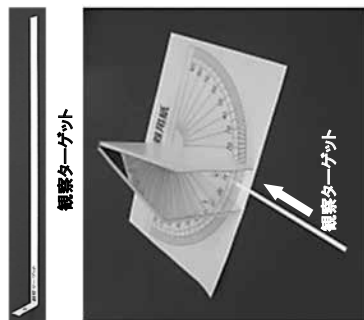


図3

## 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、 $1\text{ mm}$ 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。

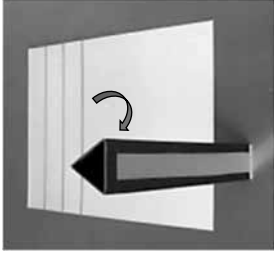


図4

## 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。

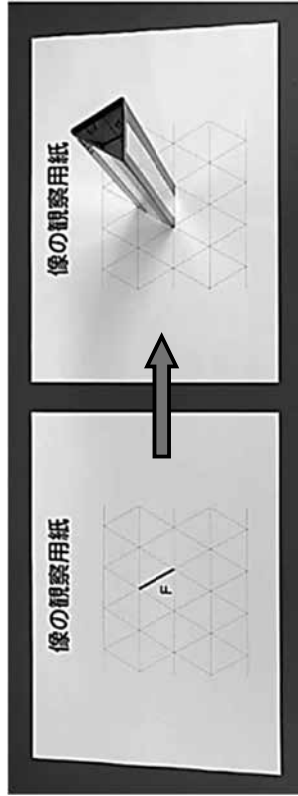


図5

(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\*に見えるように設計されている。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。

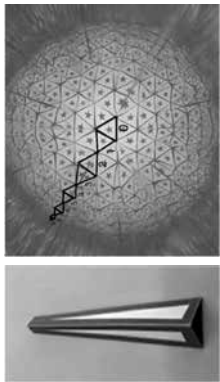


図7

図8

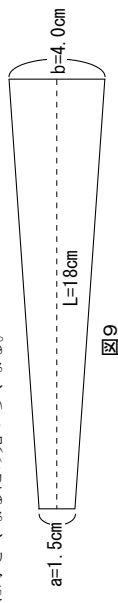


図9

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)

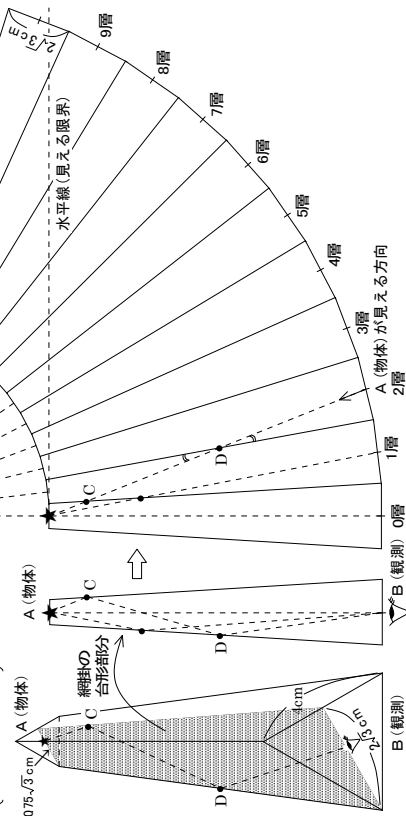


図10

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。

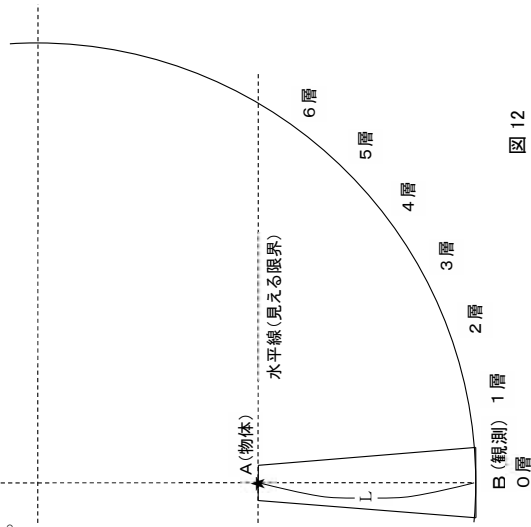


図12

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 $\theta$ (°)	$\sin \theta$ b/c	$\cos \theta$ a/c	$\tan \theta$ b/a
2.5	0.04362	0.99905	0.04366
2.6	0.04536	0.99897	0.04541
2.7	0.04711	0.99889	0.04716
2.8	0.04885	0.99881	0.04891
2.9	0.05059	0.99872	0.05066
3.0	0.05234	0.99863	0.05241
3.1	0.05408	0.99854	0.05416
3.2	0.05582	0.99844	0.05591
3.3	0.05756	0.99834	0.05766
3.4	0.05931	0.99824	0.05941
3.5	0.06105	0.99813	0.06116
3.6	0.06279	0.99803	0.06291
3.7	0.06453	0.99792	0.06467
3.8	0.06627	0.99780	0.06642
3.9	0.06802	0.99768	0.06817
4.0	0.06976	0.99756	0.06993
4.1	0.07150	0.99744	0.07168
4.2	0.07324	0.99731	0.07344
4.3	0.07498	0.99719	0.07519
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

角度 $\theta$ (°)	$\sin \theta$ b/c	$\cos \theta$ a/c	$\tan \theta$ b/a
7.0	0.12187	0.99255	0.12278
8.0	0.13917	0.99027	0.14054
9.0	0.15643	0.98769	0.15838
10.0	0.17365	0.98481	0.17633
15.0	0.25882	0.96593	0.26795
20.0	0.34202	0.93969	0.36397
25.0	0.42262	0.90631	0.46631
30.0	0.50000	0.86603	0.57735
35.0	0.57358	0.81915	0.70021
40.0	0.64279	0.76604	0.83910
45.0	0.70711	0.70711	1.00000
50.0	0.76604	0.64279	1.19175
55.0	0.81915	0.57358	1.42815
60.0	0.86603	0.50000	1.73205
65.0	0.90631	0.42262	2.14451
70.0	0.93969	0.34202	2.74748
75.0	0.96593	0.25882	3.73205
80.0	0.98481	0.17365	5.67128
85.0	0.99619	0.08716	11.43005

[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  $\theta$  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、 $\theta = 45^\circ$ ,  $\theta = 60^\circ$  ( $30^\circ$  も同様)がある。

