

チャレンジ番号	氏 名

課題 1 - 1 臨界角の測定

点

臨界入射角	屈 折 率
42.4	1.483
42.2	1.489
42.2	1.489
42.4	1.483
42.6	1.477
平均	1.484
誤差	0.005
	1.484±0.005 (例)

$$\begin{aligned} \text{平均との差の 2 乗の和} &= (0.000001+0.000025+0.000025+0.000001+0.000049) \\ &= 0.000101 \end{aligned}$$

$$\text{確率誤差 } (\sigma) = 0.005$$

* これは測定の一例、ほぼこの程度の値になることで測定に大きなミスがないことが分かります。また、誤差の算出は特に題意には含まれていませんが、結果の有効数字を考える際の根拠になります。

チャレンジ番号	氏 名

課題 1 - 2

(1) $f = \frac{r}{n-1}$ であることを示せ。

点

Bに入る光線は OF に平行であるから $\angle FOB = \theta_1 = \frac{AB}{r} \cong \frac{h}{r}$ (1)

$\triangle OFB$ において、 $\angle BFO + \angle FOB = \theta_2$ $\angle BFO = \theta_3$ とおく。 (3)

$\therefore \theta_3 + \theta_1 = \theta_2$ (4)

$\therefore \theta_3 = \theta_2 - \theta_1$ (5)

しかるに、 $n\theta_1 = \theta_2$

$\therefore \theta_3 = n\theta_1 - \theta_1 = (n-1)\theta_1$ (6)

θ_1 が充分小さければ θ_3 も充分小さく、 $FA \cong FB$ とみなせるので、

$FB \sin \theta_3 = h \therefore FA(n-1)\theta_1 = h$ (7)

(1) を θ_1 に代入すると

$\therefore FA = f = \frac{h}{(n-1)\theta_1} = \frac{r}{n-1}$ (答)

(2)

AF(=f)	半 径 r	屈 折 率 n
測定値 : 5.5, 5.6, 5.65, 5.75, 5.6 平均値と誤差 5.62 ± 0.09 cm	3.00cm	1.534 ± 0.009

f, r から n を求めた計算法を示せ :

答えを変形すると $n = 1 + r/f$ となるので、この式に r と f を代入する。

誤差は、 $dn/df = -(r/f^2)$ から、 $\Delta n = (r/f^2)\Delta f$ を利用した。

チャレンジ番号	氏 名

課題 1-3 レンズの非対称性の影響

点

(1) $f' = \frac{r}{n-1} - \frac{r}{n}$ であることを示せ。

$$\theta_4 + \theta_5 = \theta_3 \quad (1)$$

$$h = r\theta_3 = f'\theta_4 + r\theta_5 \quad (2)$$

$$(1)より \quad \frac{1}{n}\theta_3 + \theta_5 = \theta_3 \quad \therefore \theta_5 = \left(1 - \frac{1}{n}\right)\theta_3 \quad (3)$$

また、 $\theta_4 = (n-1)\theta_3$ (4)

$$(2)に代入 \quad r\theta_3 = f'(n-1)\theta_3 + r\left(1 - \frac{1}{n}\right)\theta_3 \quad (5)$$

$$r = f'(n-1) + \left(1 - \frac{1}{n}\right)r \quad (6)$$

$$f' = \left(\frac{1}{n-1} - \frac{1}{n}\right)r = \frac{1}{n(n-1)}r \quad (\text{答})$$

(2)

O'F' (=f')	屈折率 n
測定値 : 3.85, 4.00 3.90, 4.00, 3.95 平均 : 3.94 ± 0.07cm	1.506 ± 0.007

f' から n を求めた計算法を示せ :

上の答えの式を変形、 n について解くと、

$$\frac{1}{n(n-1)} = \frac{f}{r} \quad \text{従って、} \quad n(n-1) = \frac{r}{f} \quad (8)$$

従って、 $n = \frac{1}{2} \left(1 \mp \sqrt{1 + 4 \frac{r}{f}} \right)$ ただし、 n は正なので+を取る。
誤差については、(8) 式を微分して、

$$\frac{dn}{df} = -\frac{n(n-1)}{(2n-1)f} \quad \text{従って、} \quad |\Delta n| = \left| \frac{n(n-1)}{(2n-1)} \frac{\Delta f'}{f'} \right| \quad (9)$$

* (9) 式に $\Delta f'/f'$ を代入して求めた。測定値から屈折率を求め、その平均から誤差を求めてもよい。

チャレンジ番号	氏 名

課題 2-1 偏光板 1 枚による光源強度の測定

光源のみの場合の検出器出力
3.808V

点

偏光板 1 枚を通した時の透過光強度			
偏光板の回転角	出力の読み	偏光板の回転角	出力の読み
0	1.433		
20	1.421		
40	1.429		
60	1.443		
80	1.451		
100	1.454		
120	1.455		
140	1.450		
160	1.436		
180	1.430		
200	1.415		
220	1.420		
240	1.435		
260	1.451		
280	1.448		
300	1.456		
320	1.449		
340	1.430		
360	1.413		

チャレンジ番号	氏 名

課題 2-2 偏光板 2 枚の透過光強度測定

点

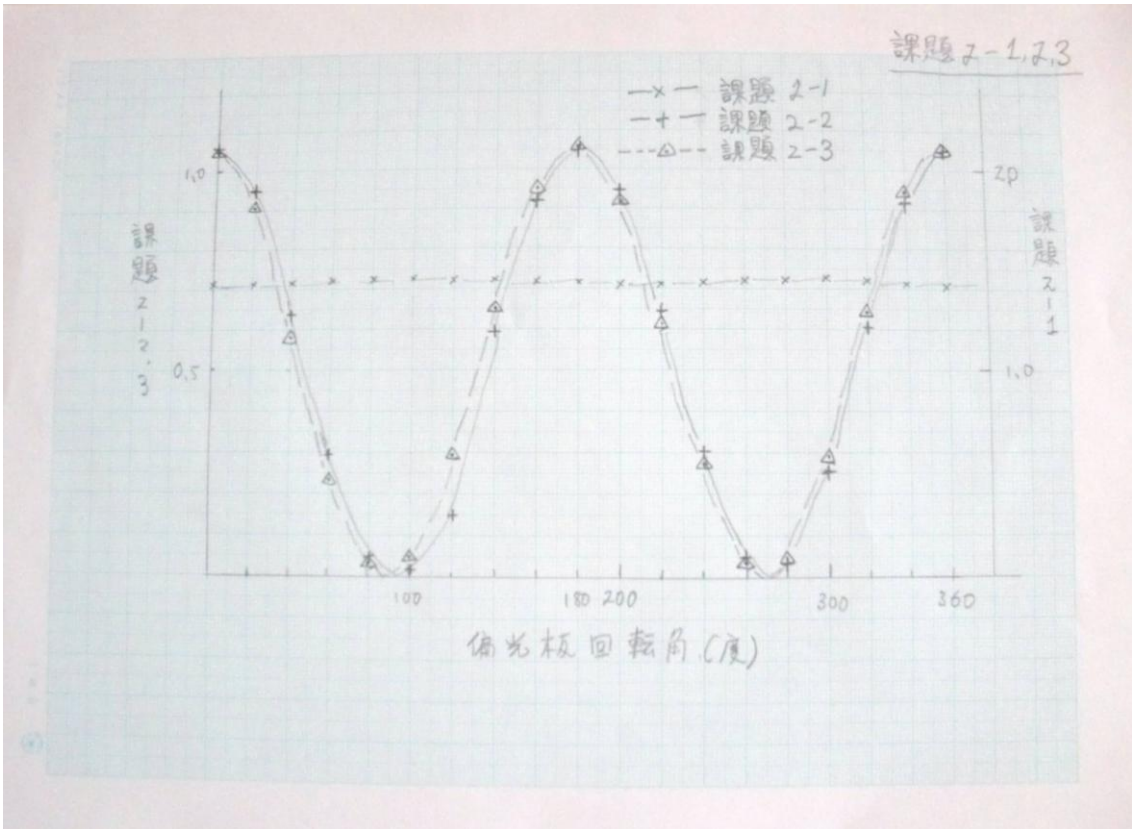
偏光板 2 枚を通した時の透過光強度			
偏光板 1 の回転角	出力の読み	偏光板 1 の回転角	出力の読み
0	1.061		
20	0.949		
40	0.637		
60	0.297		
80	0.050		
100	0.032		
120	0.249		
140	0.595		
160	0.920		
180	1.050		
200	0.951		
220	0.645		
240	0.305		
260	0.051		
280	0.034		
300	0.253		
320	0.606		
340	0.917		
360	1.051		

チャレンジ番号	氏 名

課題 2 - 3

点

偏光板 2 枚を通した時の透過光強度			
偏光板 2 の回転角	出力の読み	偏光板 2 の回転角	出力の読み
0	1.048		
20	0.906		
40	0.579		
60	0.236		
80	0.030		
100	0.050		
120	0.294		
140	0.650		
160	0.951		
180	1.060		
200	0.918		
220	0.615		
240	0.271		
260	0.036		
280	0.045		
300	0.293		
320	0.645		
340	0.945		
360	1.049		



課題 2-1, 2, 3

物理チャレンジ 2010

実験課題

解答用紙 7

チャレンジ番号	氏名

課題 2-4 偏光板を入れた時の出力の最大値が、偏光板を入れる前の光源出力値の 2 分の 1 を超えない理由を書け。

点

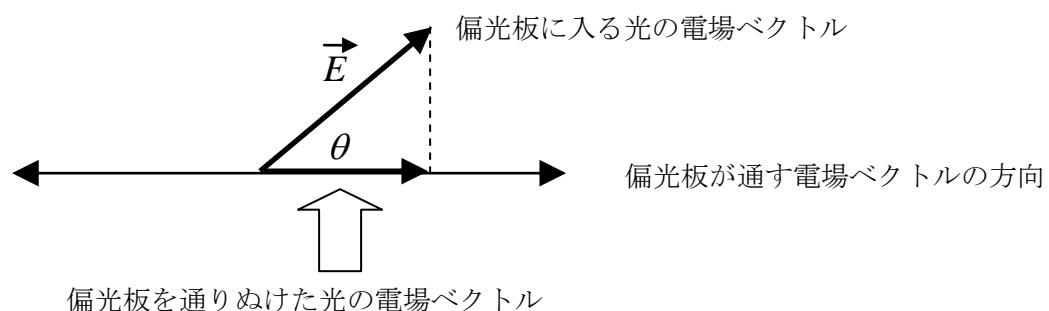
光源からの光を偏光板 1 を通し、明るさを検出器で測定する。結果は、偏光板を回転しても強度がほとんど変化しないことを示す。（このことは、光源からの光が偏光していないことを示している）偏光板に入る光のうち、使用している偏光板が光を通す方向に成分を持つ光が通り抜ける。このとき、通り抜ける光の電場の強さは、入射した光の電場ベクトルを、偏光板固有の方向と、それに垂直な方向とに分解して考える。すなわち、半分だけが通りぬけるので、最大でも 2 分の 1 の強度である。

もう少し厳密に考えた場合。

入射光の電場ベクトルの大きさを E とすると、通り抜けた光の電場ベクトルの大きさは、下図のように考えると、偏光板固有の軸との角度を θ として、 $E\cos\theta$ となる。明るさは電場の 2 乗に比例するので、 $(E\cos\theta)^2$ となり、全方向について積分すると

$$\int_0^\pi (E\cos\theta)^2 d\theta = \frac{E^2}{\pi} \int_0^\pi \left(\frac{1+\cos 2\theta}{2}\right) d\theta = \frac{E^2}{2}$$

すなわち、途中での吸収を考えると、最大でも入射光の $1/2$ をこえない。



チャレンジ番号	氏名

課題 2-5 課題 2-1~3 のそれぞれの場合の関数形とその理由を記せ。

点

課題 2-1 の場合、偏光板を回転してもほとんど変化がない。

このことは、光源から出る光の電場ベクトルの方向が全角度に一様に分布していることを示している。すなわち、光源が無偏光であることを示している。

課題 2-2 の場合、偏光板 1 を通りぬけた光の電場ベクトルが回転

偏光板に偏光が入射した時は、 $(E\cos\theta)^2$ が透過した光の強度である。したがって、

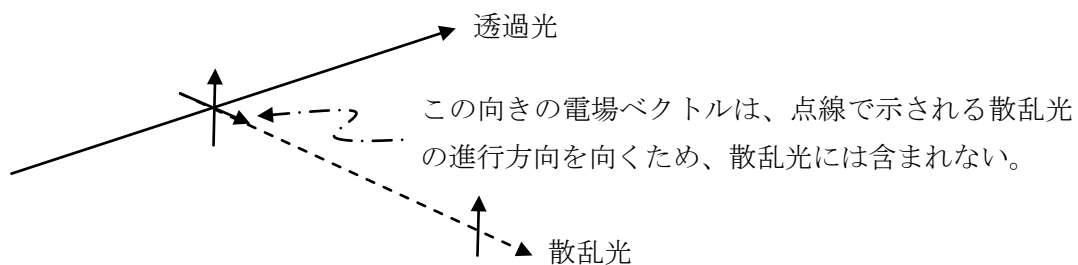
$(E\cos\theta)^2 = E^2 \frac{1+\cos 2\theta}{2}$ が得られた結果を表す関数である。

チャレンジ番号	氏 名

課題 2-6 ペットボトル中の光線の観察結果とその理由を述べよ。

点

薄く白濁した水の中を通る光は、微粒子によって散乱される。その際、入射した光の振動方向と同じ方向に電場ベクトルが振動するとき、散乱光の強度が強い。図のように考えると、光の進行方向に垂直な方向に偏光していることが分かる。



チャレンジ番号	氏 名

課題 3-1 入射光強度の測定

点

出力 (偏光板 A)	バックグラウンド	出力 (補正後)
1.790(V) 1.812 1.795 1.795 1.790	0.002(V)	1.788(V) 1.810 1.793 1.793 1.788
出力 (偏光板 B)	バックグラウンド	出力 (補正後)
1.654 1.658 1.650 1.650 1.646	0.002	1.652 1.656 1.649 1.649 1.645

偏光板 A を通過した 偏光の入射光強度	1.794V
偏光板 B を通過した 偏光の入射光強度	1.650V

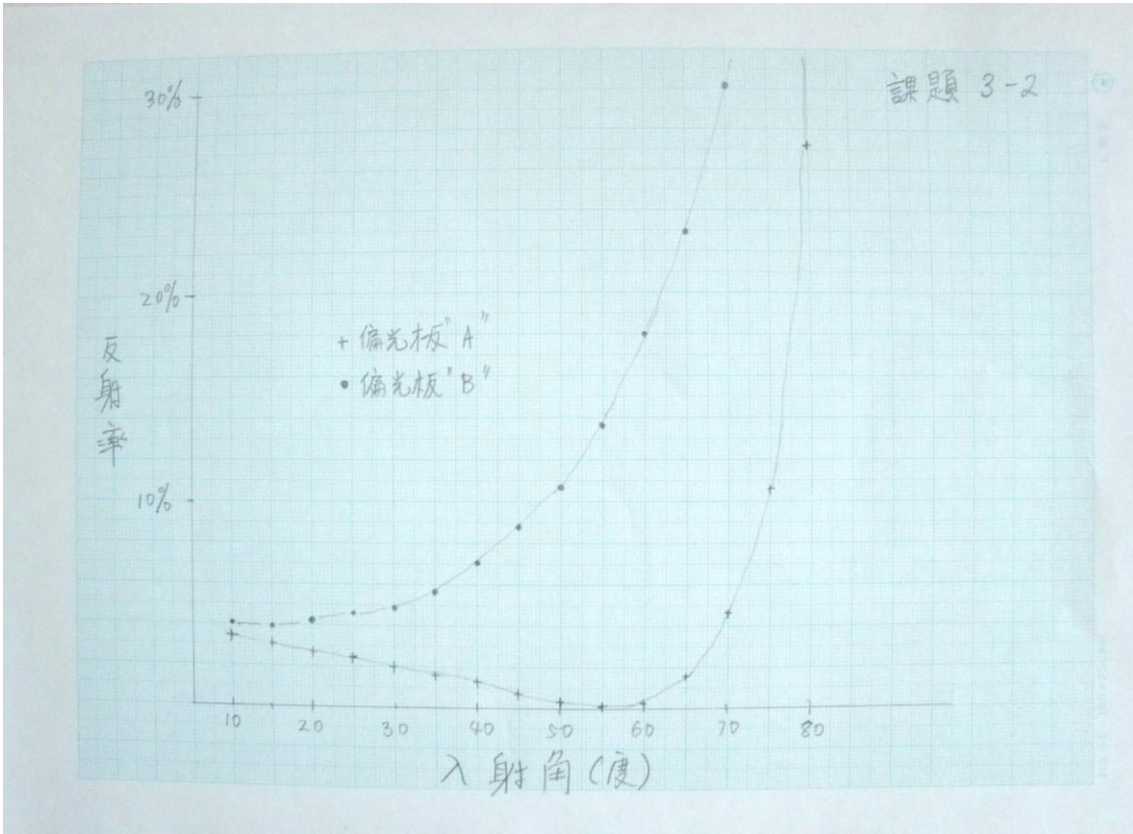
チャレンジ番号	氏 名

課題 3-2 偏光の反射率測定

点

偏光板 A を通過した入射光強度	1794mV
偏光板 B を通過した入射光強度	1650mV

角度	偏光板 A	黒紙	補正後出力	反射率	偏光板 B	黒紙	補正後出力	反射率
10°	63.6	0.4	63.2mV	3.52%	67.0	0.4	66.6	4.04%
15°	55.7	0.3	55.4	3.09	64.5	0.3	64.2	3.89
20°	49.5	0.3	49.2	2.74	68.5	0.3	68.2	4.13
25°	44.8	0.3	44.5	2.48	76.5	0.3	76.2	4.62
30°	36.2	0.4	36.8	2.00	80.7	0.3	80.4	4.87
35°	28.8	0.3	28.5	1.59	94.0	0.4	93.6	5.67
40°	22.6	0.3	22.3	1.24	117.8	0.4	117.4	7.11
45°	13.5	0.4	13.1	0.73	145.6	0.3	145.3	8.81
50°	6.1	0.3	5.8	0.32	176.8	0.3	176.5	10.70
55°	2.1	0.4	1.7	0.09	227.0	0.4	226.6	13.73
60°	6.5	0.4	6.1	0.34	298.2	0.5	297.7	18.04
65°	29.2	0.5	28.7	1.60	379.0	0.4	378.6	22.95
70°	84.6	0.4	84.2	4.70	499.1	0.4	498.7	30.22
75°	190.3	0.5	189.8	10.58	642	0.4	641.8	38.90
80°	489.2	0.6	488.6	27.23	976	0.6	975.4	59.12



課題 3-2

チャレンジ番号	氏 名

課題 3-3 反射率が極小値を取る角度付近での反射率測定

点

使用した偏光板	A
その偏光板を通過した入射光強度	1794mV

角度	偏光板を通した 反射光による 出力	黒紙による遮光 時出力	補正後の反射光 出力	反射率
50	6.2mV	0.4mV	5.8mV	0.32%
51	4.9	0.4	4.5	0.25
52	3.9	0.4	3.5	0.20
53	3.2	0.4	2.8	0.16
54	2.6	0.5	2.1	0.12
55	2.1	0.4	1.7	0.09
56	2.1	0.4	1.7	0.09
57	2.5	0.5	2.0	0.11
58	3.2	0.5	2.7	0.15
59	4.6	0.5	4.1	0.23
60	6.5	0.4	6.1	0.34

チャレンジ番号	氏 名

課題 3-3 (続き) (1)求めた反射率の極小値とそれを与える角度, 求めた屈折率を記入し, (2)他の方法で求めた屈折率との比較結果を書き, (3)なぜ反射率の角度依存性が偏光方向で異なるのかについて考察と理由を書き, また, (4)反射率に極小値が現れる偏光方向は水平, 鉛直のどちらの方向かを答えよ。

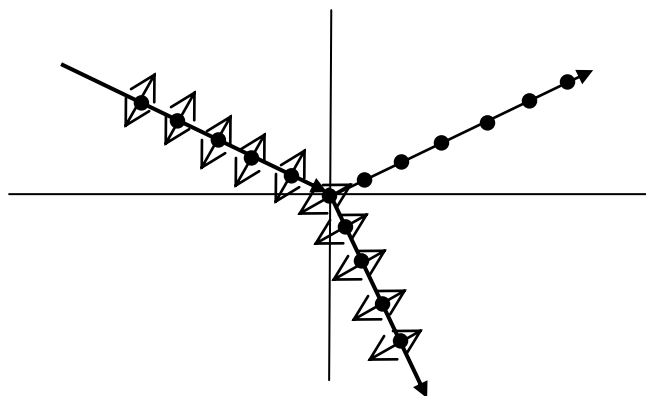
点

反射率の極小値	反射率の極小値を与える角度	式(7)から求めた屈折率
0.08%	55.5°	1.455

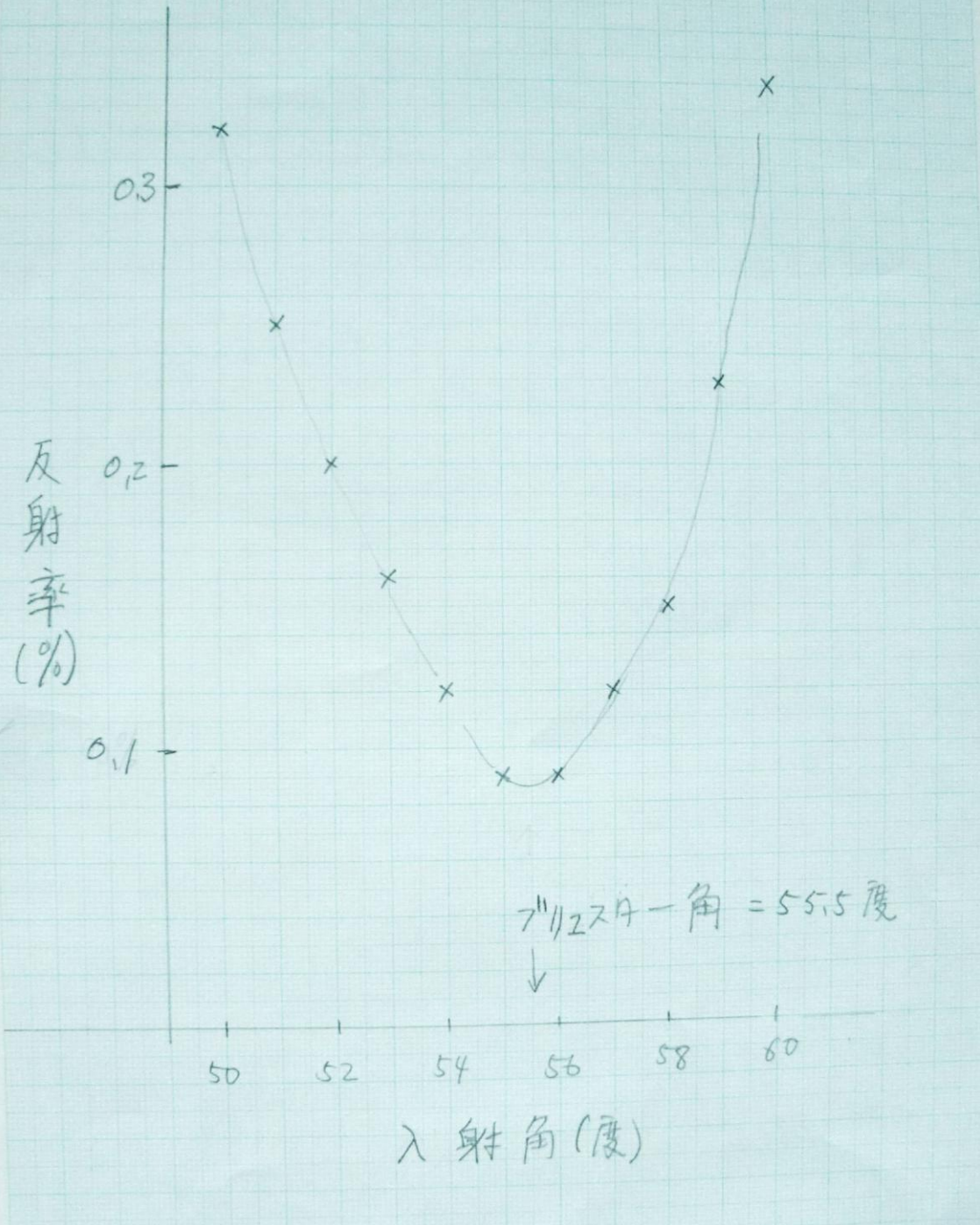
(2)

(3) 入射光から見て電場ベクトルの振動方向が境界面に垂直な方向では、不連続であるのに対し、境界面に平行な方向では一様である。この違いにより、反射率に差異が生ずる。

(4) 図から分かるように、ブリュスター角で入射した光の反射光の偏光方向は図面に対して垂直、すなわち入射面に垂直である。実験では、反射面の法線が水平方向であり、入射面は水平面である。従って、極小値が現れる偏光方向は水平方向である。



課題 3-3



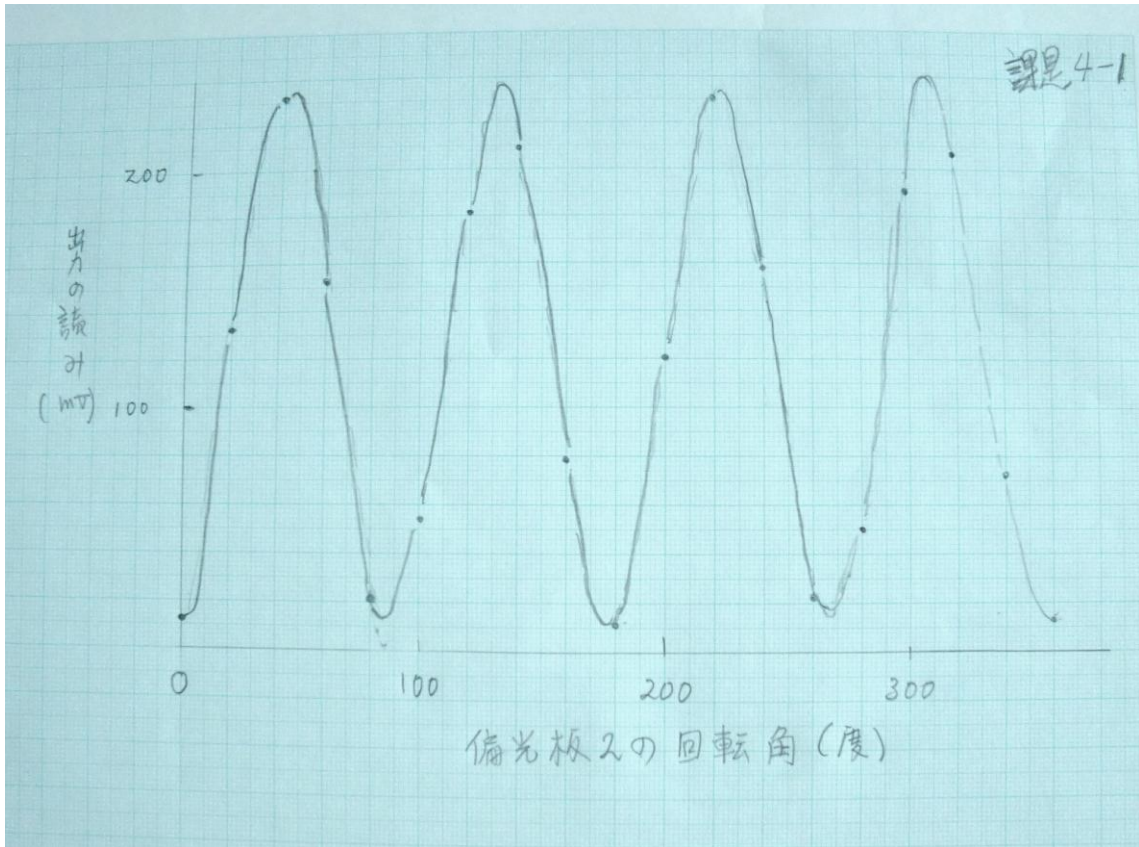
課題 3-3

チャレンジ番号	氏 名

課題 4-1 (1)

点

偏光板 3 枚を通した時の透過光強度			
偏光板 2 の回転角	出力の読み	偏光板 2 の回転角	出力の読み
0 (度)	12.5mV		
20	131.7		
40	231.5		
60	152.1		
80	20.6		
100	54.2		
120	191.0		
140	208.8		
160	78.5		
180	11.6		
200	121.4		
220	231.3		
240	158.3		
260	22.0		
280	50.6		
300	191.1		
320	206.8		
340	71.8		
360	13.6		



課題4-1

チャレンジ番号	氏 名

課題 4-1 (2) 強度変化を表す関数とそう考えた理由を書け。

点

2) : 右の図のように、偏光板 1 を出た光は直線偏光である。
偏光板 2 を通って出る光 B の振幅は、

$$B = A \cos \theta$$

図の B 方向の直線偏光である。さらに、この光が
偏光板 3 を通る際、透過した光は直線偏光であり、その振幅は

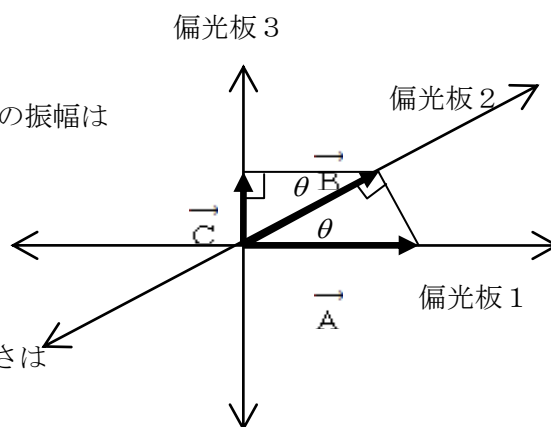
$$C = B \cos \alpha$$

したがって、 $C = A \cos \theta \cos \alpha = A \cos \theta \sin \theta = \frac{A}{2} \sin 2\theta$

したがって、3 枚の偏光板を通り抜けてくる光の明るさは
次の式で与えられる。

$$|C|^2 = \frac{A^2}{4} \sin^2 2\theta = \frac{A^2}{8} (1 - \cos 4\theta)$$

すなわち、明るさには 90° ごとに山と谷が現れる。



チャレンジ番号	氏名

課題 4-2 目視観察の結果とプラスチックフィルムの性質についての推察を、その理由とともに書け。

点

2枚の、偏光方向がたがいに直角な偏光板の間に、4番目の板を入れ、この板を回転する。 90° ごとに暗くなるのが観察される。この現象は、課題4-1と同じである。したがって、偏光板と同じように、光に対する性質が直交する2つの方向で異なることを示している。しかし、偏光板1と4番目の板を通る光は、偏光板1を回転させても、明るさに変化は見られない。したがって、偏光板ではないことが分かる。4番目の板の持つ2つの軸の方向が前後の2枚の偏光板の偏光方向に一致するごとに透過光が暗くなると考えられる。

4番目の板を例えば45度に設定すると、光は3枚を通りぬける。この状態で偏光板1を回転すると明暗が現れる。同様に偏光板3を回転させても明暗が現れることから、完全ではないが、偏光板1と4番目の板を通りぬけた光は直線偏光に近い光であることが分かる。

以上の観察から、4番目の板は、光に対する性質が異なる固有の2方向をもつが、偏光板と異なり、どちらかの軸方向の電場を持つ光を吸収するのでは無い。この2方向で屈折率が異なると、この板を透過した光は入射したときと比べて、2方向で光の振動の位相が異なる。したがって、ヒントに示したように、電場振動ベクトルの向きがいろいろな方向をとるので、光の電場ベクトルがいろいろな方向を持った光が得られていることを示している。

*実験で使用した4番目の板は、 $1/2$ 波長板と呼ばれるもので、波長550nmの光に対し、2方向で位相が $1/2$ 波長ずれるという性質を持つ。したがって、4番目の板の異方性軸に対し45度回転した方向の偏光が入射すると、X、またはY方向の電場ベクトルの振動方向が、入射した時と比べてちょうど反対方向となる。その結果、通りぬけた光の偏光方向が90度回転する。