빛은 물질의 내부 구조를 드러낸다. 빛의 편광에는 매질의 비대칭성과 경계면의 기하가 함께 담긴다. — C. T. Dominguez, 2026. 의역: 빛은 물질의 내부 구조를 드러내며, 그 편광에는 매질의 비대칭성과 경계면의 기하가 함께 담긴다.

물리 실험 시험 및 해설†

투명 매질에서 빛의 편광

설탕 용액에서 편광 방향의 회전과 유리판에서 반사에 의한 편광

시험 주제: 빛의 편광, 광회전 및 브루스터 조건.
권장 총점: 20점.
권장 시험 시간: 5시간.
허용 준비물: 볼펜, 연필, 지우개, 자, 모눈종이 및 프로그래밍 기능이 없는 공학용 계산기.

일반 지침

1. 측정에 앞서 문제지 전체를 읽고 두 실험에 사용할 시간을 배분하라.
2. 모든 판독값, 단위, 계기 측정 범위,
   불확도 및 관련된 정성적 관찰 내용을 기록하라.
3. 그래프에는 축의 명칭, 단위, 범례와
   실험 데이터를 적절히 표시해야 한다.
4. 각 부분에서 정한 각도 기준을 유지하라.
   일련의 측정 도중 영점을 임의로 다시 정하지 마라.
5. 각 측정 계열의 시작과 끝에 광선이 광학 소자와 광검출기의 중심에 정렬되어 있는지 확인하라. 길이나 구성이 서로 다른 조건에서 얻은 전류를 직접 비교하지 마라.
6. **시험의 두 부분 모두 레이저를 항상 오른쪽에 두고 장치를 조립하라.**
   광선은 오른쪽에서 왼쪽으로 진행하며, 실험자가 작업대 앞에 서 있는 위치를 기준으로 한다.
   이는 반사광이 실험자에게 직접 입사할 위험을 줄이기 위한 배치이며,
   반사 광선을 관리해야 할 의무가 없어지는 것은 아니다.
7. **레이저 사용에 관한 안전 지침을 엄격히 따르고,**
   조립과 데이터 수집 내내 시험 운영진이 제공한
   보호안경(EPI)을 착용하라.
8. 설탕 용액과 유리판을 주의하여 다뤄라.
   작업대에 액체를 흘리면 즉시 닦아라.

레이저 안전: 시험 운영진이 제공한 보호안경(EPI)은 반드시 착용해야 한다. 정렬과 측정 동안 보호안경을 올바르게 착용한 상태로 유지하라. 보호구를 착용했더라도 레이저 광선을 절대로 직접 보지 말고, 다른 사람을 향해 쏘지 마라. 눈높이에서 정반사가 일어나지 않게 하라. 보호안경은 우발적인 노출 위험을 줄이지만, 광선을 직접 보는 행위를 안전하게 해 주지는 않는다.

† 저자: Christian Tolentino Dominguez 박사, Mario César Soares Xavier 박사, Fagne Fernandes Silva Justino 석사 — 브라질 아라루나(PB), UEPB 물리학과.

목표와 배경

편광은 광파의 전기장이 진동하는 방향을 나타낸다. 편광된 빛이 물질과 상호작용하면, 진행 중에 편광 방향이 변하거나 경계면에서 서로 다른 방식으로 반사·투과될 수 있다. 이 시험에서는 이 두 현상을 실험으로 탐구한다.

시험 구성. 제시된 개념을 모두 미리 알고 있다고 가정하지 않는다. 각 단계의 본문은 개념을 간략히 소개하고, 작업대에서 관찰할 현상과 연결한 뒤 과제를 제시한다. 해당 측정을 하기 전에 각 기본 원리 설명을 읽어라. 이 시험은 평가뿐 아니라 실험 연구 절차의 학습과 훈련도 목적으로 한다.

답안 평가 방법. 채점은 종이로 제출한 답안만을 근거로 한다. 조립과 조정 지침은 실험 수행을 안내하며, 수행 자체에는 점수가 없다. 각 문항에서 요구하는 기록, 즉 명칭을 표시한 도식, 단위와 불확도를 포함한 판독값, 표, 계산, 그래프 또는 데이터에 근거한 설명을 제시하라. 계산에 수치를 대입한 과정을 보여라. 반복 계산은 완전한 예시 하나와 결과표로 충분하다. “올바르게 조립했다” 또는 “정렬이 잘되었다”와 같은 진술로는 이러한 근거를 대신할 수 없다. 측정값을 얻지 못했다면 어려웠던 점을 기록하고 확보한 데이터를 분석하라. 실험을 수행하는 동안 안전 수칙은 항상 지켜야 한다.

제I부에서는 **광학 활성 매질에서 빛의 편광면이 회전하는 현상**을 연구한다. 이는 특정 매질이 빛의 진행 중에 편광 방향을 회전시키는 성질이다. 적절한 미시 구조를 지닌 결정, 액체 및 용액에서 이러한 현상이 나타날 수 있다. 여기서는 구하기 쉽고 안전한 광학 활성 매질의 한 예로 설탕 수용액을 사용한다. 설탕 분자는 카이랄하므로 자신의 거울상과 겹쳐지지 않는다.[1] 관측되는 회전은 물질의 종류와 농도, 빛이 통과한 길이, 파장 및 온도에 따라 달라질 수 있다.

제II부에서는 공기–유리 경계면에서 편광된 빛의 반사를 연구한다. 입사면에 수직으로 편광된 성분과 평행하게 편광된 성분은 반사계수가 다르다. 평행한 성분의 경우, 이상적으로 반사가 사라지는 입사각인 브루스터각이 존재한다. 이 각도를 실험으로 측정하여 유리의 굴절률을 추정할 수 있다.[2]

기초 원리: 실험에 필요한 개념

이 절에서는 Q1과 Q2의 측정 결과를 해석하는 데 필요한 관계식만을 정리한다.

[1] 카이랄 분자와 그 거울상은 서로 다른 구조를 이루며, 이를 거울상 이성질체라 한다. 한쪽 거울상 이성질체가 더 많은 시료에서는 순 광회전이 나타날 수 있다.

[2] 매질의 굴절률은 $n = c/v$이다. 여기서 c는 진공에서 빛의 속력, v는 그 매질에서의 위상 속력이다.

편광과 말뤼스 법칙

빛은 횡파이므로 전기장 $\vec{E}$는 진행 방향 $\vec{k}$에 수직으로 진동한다. 선편광된 빛에서는 $\vec{E}$가 일정한 방향으로 진동한다. 편광자는 $\vec{E}$ 중 자신의 투과축에 평행한 성분을 주로 투과시킨다.

검광자를 회전시키면 포토다이오드로 측정한 전류는 위상이 이동된 말뤼스 법칙에 따라 변한다.

$$i(\theta_A) = a + b\cos^2(\theta_A - \phi)\,.$$

여기서 θ_A는 검광자의 각도 판독값, a는 신호의 최솟값, b는 진폭, ϕ는 곡선의 각도 위치이다. 이 모형은 $180°$마다 반복되므로, 모든 비교에서 같은 영점, 같은 각도 방향 및 곡선의 같은 가지를 유지해야 한다.

광회전

광학 활성 용액은 빛의 편광 방향을 회전시킨다. 실험에서 이 회전은 말뤼스 곡선의 수평 이동으로 나타난다. 빈 셀의 위상을 ϕ_{ref}, 길이 L인 용액의 위상을 ϕ_L라 하면 회전각은 다음과 같다.

$$\Delta\phi(L) = \phi_L - \phi_{\mathrm{ref}}.$$

진폭을 비교할 필요는 없다. 중요한 양은 두 곡선 사이의 각도 이동량과 그 부호 및 불확도이다.

이 시험에서는 다음 모형을 검증한다.

$$\Delta\phi(L) = \alpha(\lambda, T)\, L^n C,$$

여기서 C는 농도, n은 길이의 지수이며, $\alpha(\lambda, T)$는 사용한 파장과 온도에서 매질의 특성을 나타낸다. 측정하는 동안 C, λ와 T를 일정하게 유지해야 한다.

반사와 브루스터 조건

입사 광선과 표면의 법선이 입사면을 이룬다. s편광의 전기장은 입사면에 수직이고, p편광의 전기장은 입사면에 평행하다.

반사광에 의한 전류 i_s와 i_p는 입사각 θ_i에 따라 달라진다. 브루스터각 근처에서는 p성분의 반사가 최소가 된다. 다음 비는

$$q(\theta_i) = \frac{i_s}{i_p}$$

그 부근에서 커지지만, i_p가 양수이며 불확도를 고려해도 영과 구별될 때만 계산해야 한다. θ_B는 i_p의 최솟값과 신뢰할 수 있는 비가 가장 큰 영역을 비교하여 구한다.

공기에서 유리로 입사할 때에는

$$\tan\theta_B = \frac{n_{\mathrm{vidrio}}}{n_{\mathrm{aire}}}, \qquad n_{\mathrm{vidrio}} = n_{\mathrm{aire}}\tan\theta_B.$$

각도는 법선을 기준으로 측정한다. 이 시험에서는 $n_{\mathrm{aire}} = 1{,}000$을 채택하며, $\theta_B - u_\theta$와 $\theta_B + u_\theta$에서 식을 계산하여 굴절률의 불확도를 구한다.

멀티미터의 계기 오차 한계

Q1과 Q2의 전류 측정에는 제조사 설명서 3.2절에 제시된 멀티미터 **DT8380B**의 사양을 사용하라. 아래 표에는 이 실험에서 사용하는 **직류 전류** 측정 범위가 포르투갈어로 제시되어 있다.

측정범위	분해능 D	명시된 정확도
200 µA	100 nA	±(1,0 % 판독값 + 2D)
2000 µA	1 µA	±(1,0 % 판독값 + 2D)
20 mA	10 µA	±(1,0 % 판독값 + 2D)
200 mA	100 µA	±(1,2 % 판독값 + 2D)

D는 사용한 측정 범위의 분해능이다.[3] 설명서의 +2는 표시된 마지막 자리의 두 눈금, 즉 $2D$를 뜻하며, 판독값의 2퍼센트를 뜻하지 않는다. 표시 전류가 i일 때 계기 오차 한계는 다음과 같다.

$$\Delta i_{\text{inst}} = a_{\text{inst}}\,|i| + 2D, \qquad a_{\text{inst}} = \begin{cases} 0{,}010, & 200\,\mu\text{A},\ 2000\,\mu\text{A} \text{ 및 } 20\,\text{mA} \text{ 측정 범위에서;} \\ 0{,}012, & 200\,\text{mA} \text{ 측정 범위에서.} \end{cases}$$

계수 a_{inst}는 표의 백분율을 소수로 나타낸 값이다. i와 D에는 같은 단위를 사용하라. 가장 작은 측정 범위에서는 $D = 100\,\text{nA} = 0{,}1\,\mu\text{A}$이다. 여기서 Δi_{inst}는 설명서의 정확도 사양에 명시된 오차 한계이며, 반복 판독값의 표준편차가 아니다.[4]

DT8380B의 예. 20 mA 측정 범위에서 4,58 mA가 표시되었다면 $a_{\text{inst}} = 0{,}010$이며, $D = 0{,}01\,\text{mA}$ 이고,

$$\begin{aligned} \Delta i_{\text{inst}} &= 0{,}010 \times 4{,}58\,\text{mA} + 2 \times 0{,}01\,\text{mA} \\ &= 0{,}0458\,\text{mA} + 0{,}0200\,\text{mA} = 0{,}0658\,\text{mA}. \end{aligned}$$

이 한계를 분해능의 소수 자리까지 올림하면 판독값을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$i = (4{,}58 \pm 0{,}07)\,\text{mA},$$

여기서는 **계기에 의한 기여만을 고려하였다.**

반복 판독값 x_k를 N개 얻었을 때, 표본 표준편차 s와 **평균의 표준편차** $s_{\bar{x}}$는 다음과 같다. 평균의 표준편차는 여기서 평균의 통계적 불확도 u_{estat}로도 사용한다.

$$\bar{x} = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} x_k, \qquad s = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{k=1}^{N}(x_k - \bar{x})^2}, \qquad s_{\bar{x}} = u_{\text{estat}} = \frac{s}{\sqrt{N}}.$$

반복 측정에 적용. Q1–A.1과 Q2–A.1에서 해당 범위의 a_{inst}와 D를 사용하여 각 판독값의 Δi_{inst}를 계산하라. 세 번의 측정으로 이루어진 각 계열에 대해 평균, 표본 표준편차 및 평균의 표준편차를 따로 제시하라. 이때 $N = 3$이며 $u_{\text{estat}} = s/\sqrt{3}$이다.
Δi_{inst}를 $\sqrt{3}$으로 나누지 마라. 반복 판독한다고 해서 계기 오차 한계가 자동으로 줄어들지는 않는다. 표시값이 영이어도 식에 따르면 $\Delta i_{\text{inst}} = 2D$이다.

[3] 분해능은 판독값에서 구별할 수 있는 최소 변화량이며, 디지털 멀티미터에서는 사용 범위의 마지막 표시 자릿수의 간격에 해당한다. 이것만으로 명시된 전체 오차 한계를 나타내지는 않는다.

[4] 오차 한계는 사양에서 허용하는 오차 구간을 한정한다. 이것만으로 평균의 통계적 불확도 또는 표준편차에 해당하는 표준불확도가 되지는 않는다.

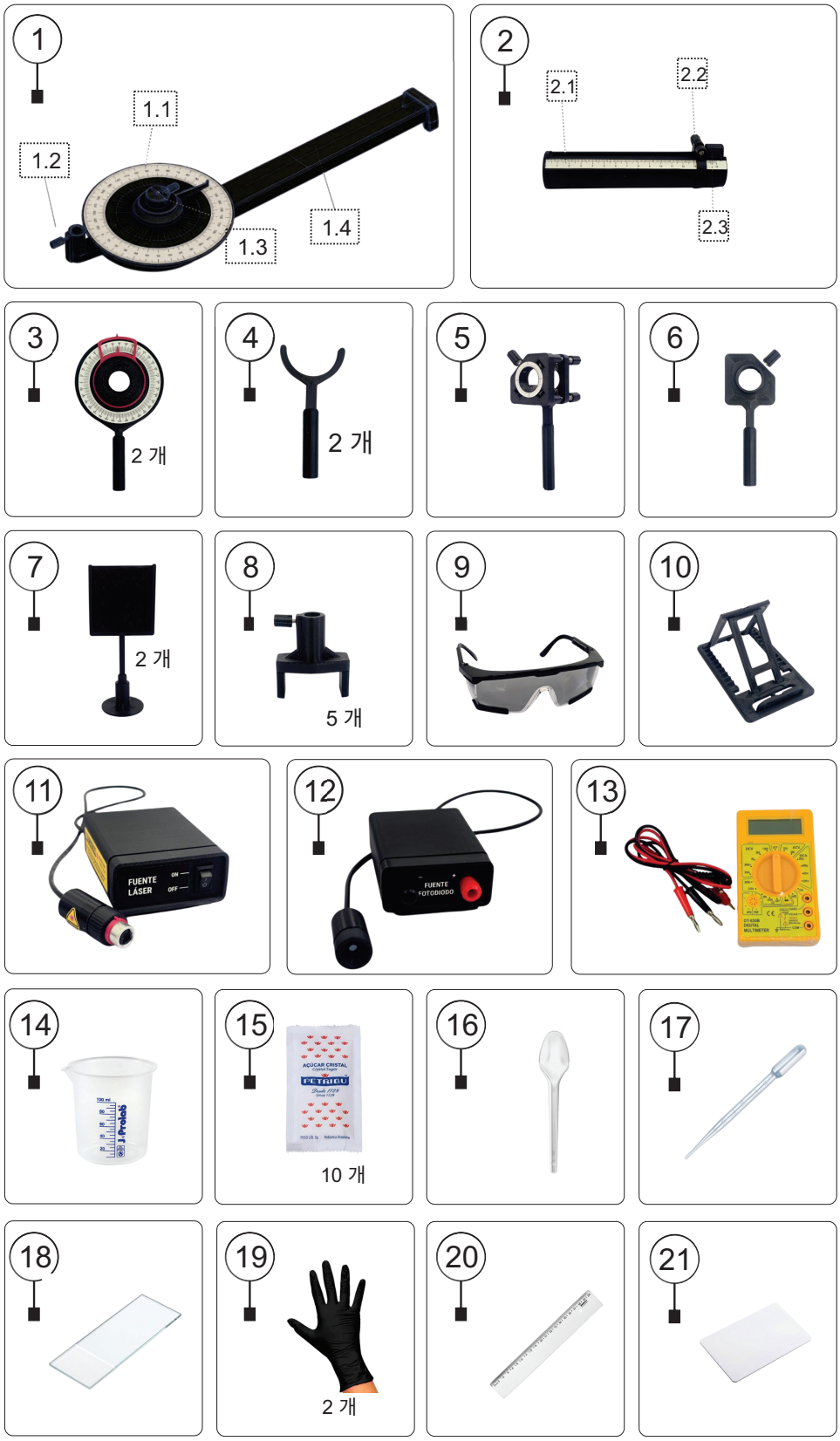
장치 확인과 구성품 식별

아래 사진은 장치에 포함된 재료의 전체 모습이다. 다음 쪽의 도식에는 각 구성품이 표시되어 있다. 조립에 앞서 물품을 확인하고, 빠진 물품이나 손상이 있으면 운영진에게 알려라. 목록의 번호는 도식의 번호에만 대응한다.



실험 장치에 제공된 구성품의 전체 모습.

장치 구성품 식별도


1
1.1
1.2
1.3
1.4
2
2.1
2.2
2.3
3
2 개
4
2 개
5
6
7
2 개
8
5 개
9
10
11
FUENTE LÁSER
ON
OFF
12
FUENTE FOTODIODO
13
14
15
AÇÚCAR CRISTAL
PETRIBU
10 개
16
17
18
19
2 개
20
21

항목	명칭	수량
1	시료 거치대가 달린 광학 레일·고니오미터 세트	1
1.1	고니오미터의 각도 눈금	—
1.2	포토다이오드 거치대	—
1.3	시료 거치대	—
1.4	금속 레일	—
2	길이 조절식 셀	1
2.1	외부 밀리미터 눈금	—
2.2	밀봉 고리	—
2.3	원통형 피스톤	—
3	각도 눈금이 있는 편광자	2
4	셀 거치대	2
5	조정 나사가 있는 레이저 거치대	1
6	포토다이오드 거치대	1
7	레이저 반사광 차단판	2
8	거치대 지지봉의 받침대	5
9	보호안경	1
10	멀티미터 거치대	1
11	전원 장치 및 레이저 광원	1세트
12	포토다이오드 전원 및 센서	1세트
13	측정 리드선이 달린 멀티미터	1세트
14	눈금 비커	1
15	설탕 봉지	10
16	플라스틱 숟가락	1
17	눈금 이송 피펫	1
18	유리판	1
19	수술용 장갑	2
20	밀리미터 눈금 자	1
21	레이저 광선 확인용 흰 판지	1

수량은 그림에 보인 물품과 도식의 표기를 따른다. 수량 칸의 줄표는 세트 1 또는 2에 속하는 부분을 뜻하며, 별도 물품을 뜻하지 않는다.

Q1 — 설탕 용액에서 편광 방향의 회전 (10점)

모든 측정 계열에서 레이저를 오른쪽에 두고 첫 편광자를 고정하라. 데이터를 기록하기 전에 광선을 셀, 검광자 및 포토다이오드의 중심에 맞추고 각도 분해능을 구하라. 이러한 조정은 실험 수행 절차이며 배점이 있는 문항은 아니다.

A부 — 빈 셀을 이용한 기준 곡선 (4,0점)

빈 셀을 설치하고 눈금의 영점을 고정한 채 검광자만 회전시켜라.

A.1 **2,0점**

기본 원리. 빈 셀의 곡선에는 광학 창의 영향이 포함되며, 용액을 넣고 수행하는 모든 측정의 기준이 된다.

과제. 각도 위치 θ_A에 따른 기준 전류 i_{ref}를 측정하라.
단위와 해당 계기 불확도를 포함하여 θ_A와 i_{ref}의 표를 제시하라.
θ_A에 따른 i_{ref}의 그래프를 그리고,
축의 명칭과 필요한 경우 불확도를 표시하라.

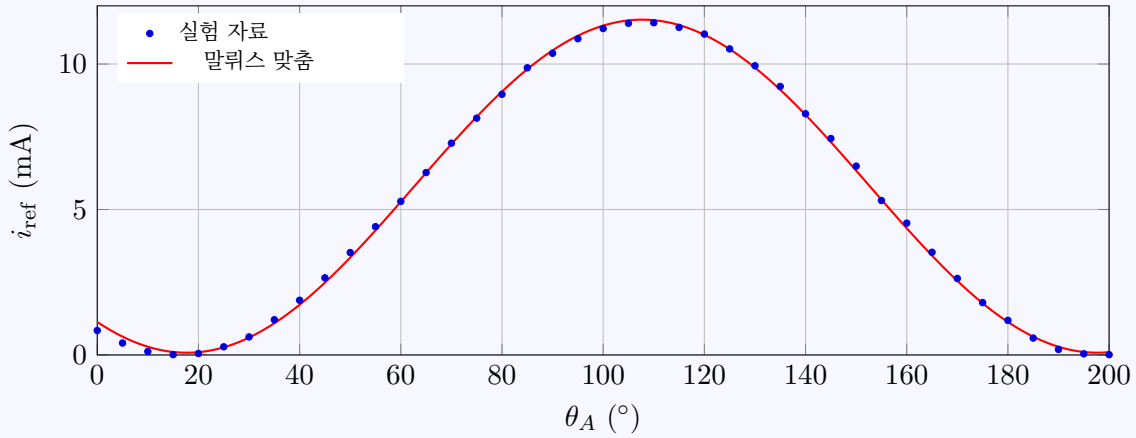
해설 및 필요한 자료.

$0°$부터 $200°$까지 $5°$ 간격의 41개 각도를 사용하였다. 각도 분해능은 $1°$이며, 판독 한계는 최소 눈금의 절반인 $\Delta\theta = 0{,}5°$로 두었다. 모든 전류는 $20\,\mathrm{mA}$ 측정 범위에서 한 번씩 측정하였다. 이 범위에서는 $D = 0{,}01\,\mathrm{mA}$이므로,

$$\Delta i_{\mathrm{inst}} = 0{,}010|i| + 0{,}02\,\mathrm{mA}.$$

각 표 칸은 한 번의 판독값이므로 평균의 통계적 불확도는 계산하지 않았다. 계기 오차 한계는 $0{,}01\,\mathrm{mA}$ 단위로 올림하였다.

θ_A (°)	i_{ref} (mA)	Δi (mA)	θ_A (°)	i_{ref} (mA)	Δi (mA)
0	0,84	0,03	105	11,40	0,14
5	0,41	0,03	110	11,42	0,14
10	0,12	0,03	115	11,26	0,14
15	0,01	0,03	120	11,03	0,14
20	0,05	0,03	125	10,52	0,13
25	0,28	0,03	130	9,94	0,12
30	0,62	0,03	135	9,23	0,12
35	1,21	0,04	140	8,29	0,11
40	1,88	0,04	145	7,44	0,10
45	2,65	0,05	150	6,49	0,09
50	3,52	0,06	155	5,31	0,08
55	4,41	0,07	160	4,53	0,07
60	5,28	0,08	165	3,53	0,06
65	6,27	0,09	170	2,63	0,05
70	7,28	0,10	175	1,80	0,04
75	8,14	0,11	180	1,19	0,04
80	8,96	0,11	185	0,58	0,03
85	9,87	0,12	190	0,19	0,03
90	10,37	0,13	195	0,04	0,03
95	10,87	0,13	200	0,01	0,03
100	11,22	0,14			



곡선은 말뤼스 법칙에서 예상되는 주기적 형태를 보이며, 최솟값은 15°–20°, 최댓값은 108° 부근에 있다.

참고. Q1–A.1의 말뤼스 법칙 맞춤은 자료 분포의 경향을 보기 쉽게 하기 위한 것이다. 다음 문항에서 맞춤을 요구하는 것은 아니다:
Q1–A.1.

A.2 **2,0점**

기본 원리. 기준 곡선의 각도 위치는 위상이 이동된 말뤼스 법칙의 위상 매개변수 ϕ_{ref}(편광 방향)로 나타낼 수 있다.

과제. A.1의 데이터를 다음 모형에 맞추고

$$i_{\text{ref}}(\theta_A) = a_{\text{ref}} + b_{\text{ref}} \cos^2(\theta_A - \phi_{\text{ref}})$$

ϕ_{ref}와 그 불확도를 구하라.
사용한 맞춤 방법을 밝히고, 얻은 매개변수를 단위와 함께 제시하라.

해설 및 필요한 자료.

여러 차례의 단순 선형 회귀로 풀 수 있다. 먼저 최댓값 위치에서 ϕ_{ref}를 그래프로 추정한다. 측정값 중 최댓값은 $110°$에 있지만, 분포를 매끄럽게 이은 형태로부터 초기 추정값 $\phi = 108°$를 택할 수 있다.
위상 후보값 ϕ에 대해 다음을 계산하고,

$$x_k = \cos^2(\theta_{A,k} - \phi),$$

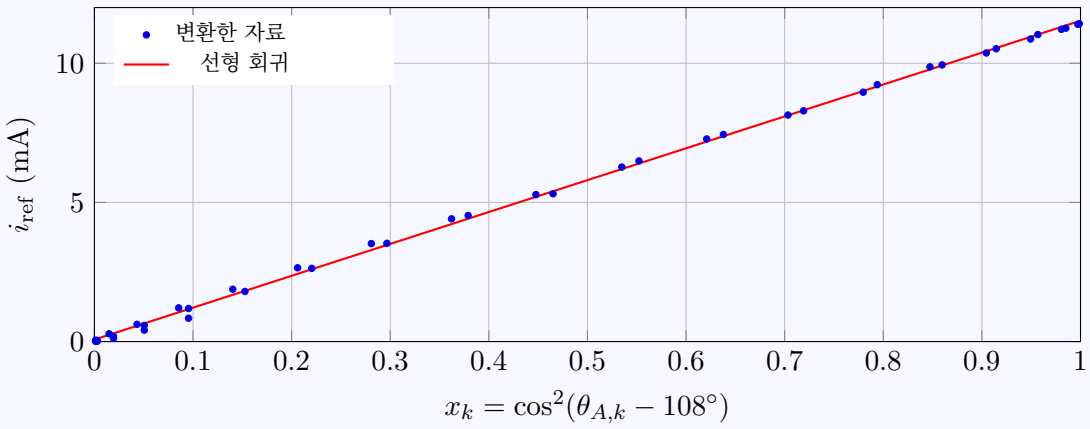
다음 선형 회귀를 수행한다:

$$i_{\text{ref},k} = a_{\text{ref}} + b_{\text{ref}} x_k.$$

초기 추정값 $\phi = 108°$를 사용하면 다음을 얻는다:

$$a_{\text{ref}} = (0{,}072 \pm 0{,}029)\,\text{mA}, \qquad b_{\text{ref}} = (11{,}454 \pm 0{,}051)\,\text{mA},$$

이때 $R^2 = 0{,}99922$이다.



직선에서 약간 체계적으로 벗어나는 모습은 $108°$가 위상의 초기 추정값임을 보여 준다. 더 정확히 결정하려면 $108°$ 근처의 값들로 회귀를 반복하여 R^2를 최대화하거나, 동등하게 잔차 제곱합을 최소화하는 값을 고른다. 최댓값은 다음에서 얻어진다:

$$\phi_{\text{ref}} = 107{,}687°.$$

해당 선형 회귀로 다음을 얻는다:

$$\boxed{a_{\mathrm{ref}} = (0{,}077 \pm 0{,}027)\,\mathrm{mA}}, \qquad \boxed{b_{\mathrm{ref}} = (11{,}449 \pm 0{,}048)\,\mathrm{mA}},$$

이때 $R^2 = 0{,}99932$이다. 최솟값 부근의 잔차 제곱합 곡률에서 위상 맞춤 불확도 $0{,}131^\circ$를 얻는다. 각도 분해능에 의한 기여 $0{,}5^\circ$와 결합하면,

$$u_{\phi,\mathrm{ref}} = \sqrt{(0{,}131^\circ)^2 + (0{,}5^\circ)^2} = 0{,}517^\circ.$$

따라서,

$$\boxed{\phi_{\mathrm{ref}} = (107{,}7 \pm 0{,}5)^\circ}.$$

이 방법은 매개변수들을 동시에 구하는 비선형 회귀를 피한다. 각 계산은 $\cos^2(\theta_A - \phi)$에 대한 i_{ref}의 선형 회귀이며, 위상을 일차원적으로 탐색한다.

B부 — 설탕 용액을 통과하는 빛의 편광 회전 (6,0점)

빛의 편광이 회전하면 세기 곡선이 수평으로 이동한다. 이 부분에서는 기준점을 고르고, 빛이 시료 내부에서 통과한 길이 L에 따라 그 점이 어떻게 이동하는지 확인해야 한다.

B.1 — 2,0점

기본 원리. 측정 계열 사이를 비교하려면
기하 조건과 각도 기준이 변하지 않아야 한다.

과제. 녹이기 전에 측정한 물 1밀리리터당 설탕 $0{,}40\,\mathrm{g}$의 용액을 준비하라.
셀의 길이 한계 안에서 적어도 세 가지 서로 다른 길이 $L_1, \ldots, L_n$을 선택하라.
세기 곡선의 기준점을 고르고,
곡선의 이동량 $\Delta\phi$에 따른 L의 표를 작성하라.

해설 및 필요한 자료.

공칭 농도는 다음과 같다:

$$C = 0{,}40\,\mathrm{g\,mL^{-1}}.$$

$5\,\mathrm{g}$짜리 설탕이 열 봉지만 제공되므로, 길이마다 다른 용액을 만들지 않고 모든 측정을 수행할 양을 정해야 한다. 셀의 최대 길이는 $15\,\mathrm{cm}$였다. 모양에서 안지름이 $2\,\mathrm{cm}$에서 $3\,\mathrm{cm}$ 사이임을 추정할 수 있다. 계산에 $d = 2{,}5\,\mathrm{cm}$를 사용하고 원기둥으로 근사하면 최대 유효 부피는,

$$V_{\mathrm{máx}} = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 L_{\mathrm{máx}} = \pi(1{,}25\,\mathrm{cm})^2(15\,\mathrm{cm}) \approx 73{,}6\,\mathrm{cm^3} = 73{,}6\,\mathrm{mL}.$$

기하학적으로 추정한 부피에 따르면, 셀을 최대 길이까지 채우고 옮겨 담기와 여러 측정에 여유를 두려면 약 $74\,\mathrm{mL}$보다 많은 용액이 필요하다. 요구된 농도는 *설탕을 녹이기 전에 측정한 물의 부피*로 정의한다. 따라서,

설탕을 녹일 때는 여덟 봉지를 쓰면 간단하고 정확하다:

$$m = 8(5\,\mathrm{g}) = 40\,\mathrm{g}, \qquad V_{\mathrm{agua}} = 100\,\mathrm{mL}.$$

실제로,

$$C = \frac{m}{V_{\mathrm{agua}}} = \frac{40\,\mathrm{g}}{100\,\mathrm{mL}} = 0{,}40\,\mathrm{g\,mL^{-1}}.$$

100 mL 는 설탕을 넣은 뒤 용액의 최종 부피가 아니라 처음 물의 부피이다. 이 양은 추정한 셀의 최대 유효 부피보다 많아, 모든 길이에서 같은 용액을 재사용할 수 있고 두 봉지는 예비로 남는다.

기준값은 앞서 Q1–A.2의 절차로 정한 값을 사용한다:

$$\phi_{\mathrm{ref}} = 108^\circ.$$

이 값은 용액 시료에서 손으로 최댓값을 찾는 과정으로 구하지 않는다. 각 길이 $L_k > 0$에서 멀티미터 전류를 보며 검광자를 천천히 돌린다. 전류가 최대가 되는 각도 ϕ_k를 찾아 각도 눈금의 분해능에 따라 직접 기록한다. 해당 회전각은 다음으로 계산한다:

$$\Delta\phi_k = \phi_k - \phi_{\mathrm{ref}}.$$

각도 차이를 비교하려면 기준 측정과 같은 조건을 유지해야 한다. 장치 정렬과 기하, 광학 부품과 검출기 위치, 입사 편광자 방향, 멀티미터 20 mA 측정 범위 및 조명 조건을 일정하게 둔다. 용액 측정 계열 사이에는 광선이 통과하는 길이 L_k만 바꾼다.

검광자의 각도 분해능은 1°이다. 따라서 직접 측정한 각 최댓값 위치의 불확도는 눈금 한 칸의 절반으로 둔다:

$$u_{\phi_k} = \frac{1^\circ}{2} = 0{,}5^\circ.$$

Q1–A.2의 결과도 $u_{\phi,\mathrm{ref}} = 0{,}5^\circ$을 준다. 용액의 각 최댓값은 한 번의 판독이므로 반복성에 의한 통계적 기여는 구할 수 없다. ϕ_k와 ϕ_{ref}의 불확도가 독립이라고 가정하면, 다음 차이의 불확도는,

$$\Delta\phi_k = \phi_k - \phi_{\mathrm{ref}},$$

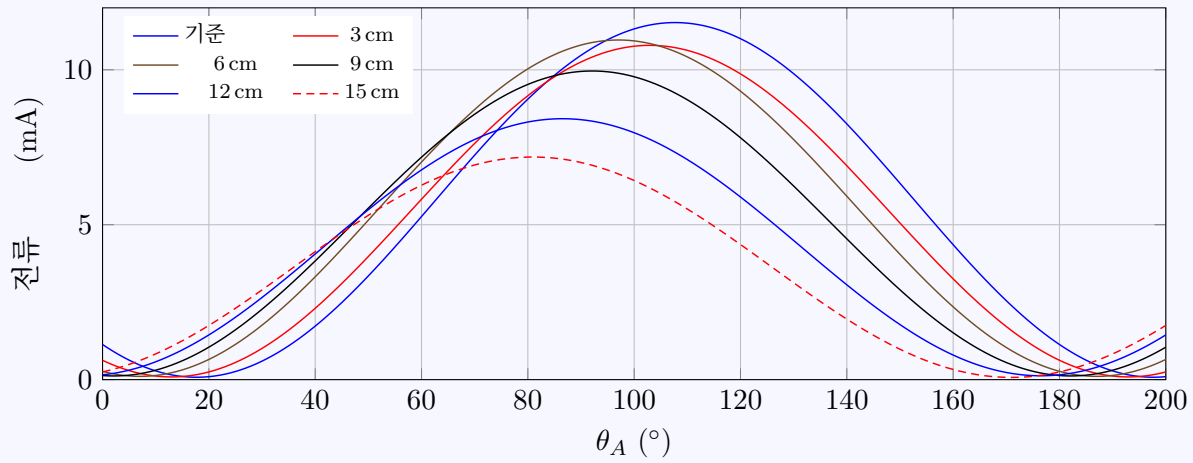
분산을 더하여 계산한다:

$$u_{\Delta\phi} = \sqrt{u_{\phi,k}^2 + u_{\phi,\mathrm{ref}}^2} = \sqrt{(0{,}5^\circ)^2 + (0{,}5^\circ)^2} = 0{,}707^\circ \approx 0{,}7^\circ.$$

L (cm)	ϕ (°)	u_ϕ (°)	$\Delta\phi$ (°)
0	108	0,5	0,0
3	103	0,5	$-5,0 \pm 0,7$
6	97	0,5	$-11,0 \pm 0,7$
9	92	0,5	$-16,0 \pm 0,7$
12	87	0,5	$-21,0 \pm 0,7$
15	81	0,5	$-27,0 \pm 0,7$

첫 행은 기준을 정하는 판독이므로 정의에 따라 $\Delta\phi = 0{,}0°$이다. 사용한 각도 규약에서 음의 부호는 L이 증가할 때 편광이 반시계 방향으로 회전함을 뜻한다.

전류–각도 곡선은 실험 결과를 기록하고 곡선의 이동을 보여 준다. 그러나 B.1에서는 채점 대상 결과물로 요구하지 않으므로, 제시해도 추가 점수가 없고 생략해도 감점하지 않는다.



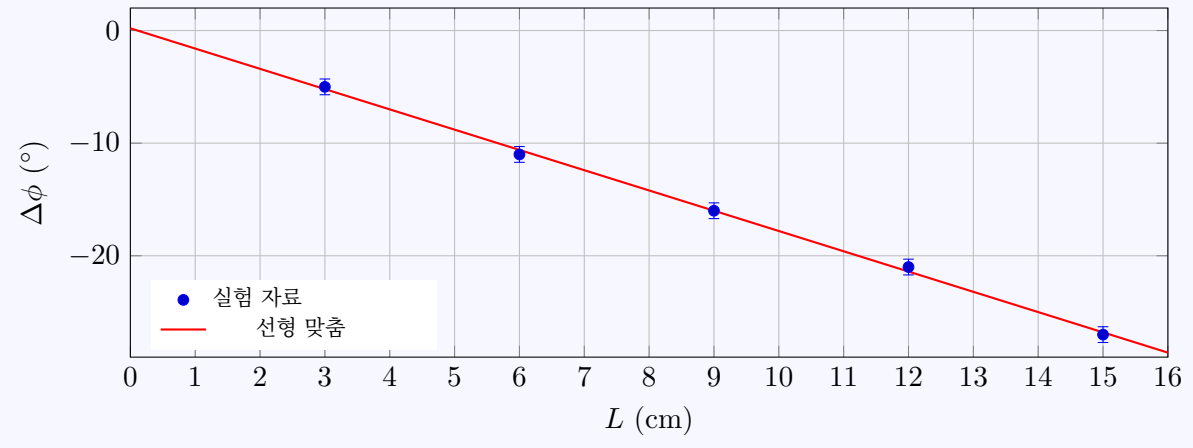
B.2 **2,0점**

기본 원리. 광회전은 각 시료에서 전류가 최대인 각도와 기준 최댓값 각도의 차이로 구한다.

과제. L_k에 따른 $\Delta\phi(L_k)$의 그래프를 해당 오차 막대와 함께 제시하라.

해설 및 필요한 자료.

그래프에서 $\Delta\phi$는 L에 거의 선형적으로 의존한다. 세로 오차 막대는 $u_{\Delta\phi}$에 해당한다. 셀 길이를 정한 분해능이 주어지지 않아 가로 오차 막대는 표시하지 않았다.



절편을 자유롭게 둔 선형 맞춤 결과는,

$$\Delta\phi = (0{,}20 \pm 0{,}73)^\circ - (1{,}800 \pm 0{,}074)\,\frac{^\circ}{\text{cm}}L, \qquad R^2 = 0{,}99863.$$

절편은 0과 부합한다. 원점을 지나게 맞추면 기울기는,

$$m = -(1{,}782 \pm 0{,}031)\,\frac{^\circ}{\text{cm}}.$$

B.3 **2,0점**

기본 원리. 검증할 관계식은 다음과 같다.

$$\Delta\phi(L) = \alpha(\lambda, T)\, L^n C,$$

여기서 $\alpha(\lambda, T)$는 파장 λ와 온도 T에 따라 달라지는 매질의 특성 계수이며,
n은 길이의 지수, C는 용액의 농도이다.
실험 동안 λ, T와 C는 일정한 것으로 취급해야 한다.

과제. B2 그래프에서 관측한 경향을 바탕으로 적절한 맞춤을 제안하고
n과 α를 구하라.

해설 및 필요한 자료.

C, λ와 T가 일정하므로, 주어진 관계의 미지 매개변수는 지수 n과 계수 α뿐이다. $L = 0$인 점은 시료가 없으면 회전각이 0임을 확인해 주지만, n을 정할 정보를 주지 않으므로 거듭제곱 맞춤에는 사용하지 않는다.

$L > 0$인 다섯 점을 다음 모형에 직접 맞춘다:

$$\Delta\phi = \alpha C L^n$$

가중 최소제곱법을 사용한다. 각 점에 가중치 $w_k = 1/u^2_{\Delta\phi,k}$를 주어 다음을 최소화한다:

$$\chi^2(\alpha, n) = \sum_k \frac{[\Delta\phi_k - \alpha C L_k^n]^2}{u^2_{\Delta\phi,k}}.$$

절댓값을 취하여 다음처럼 쓰면 이 과정을 다르게 나타낼 수도 있다:

$$\ln\left(\frac{|\Delta\phi|}{C}\right) = \ln|\alpha| + n \ln L.$$

$\ln L$에 대한 $\ln(|\Delta\phi|/C)$ 그래프에서 기울기는 n, 절편은 $\ln|\alpha|$이다. 원래 각도 변수의 불확도를 사용하고 로그에 의한 왜곡을 피할 수 있으므로 최종 결과에는 직접 맞춤이 더 적절하다.

$C = 0{,}40\,\mathrm{g\ mL^{-1}}$과 $u_{\Delta\phi} = 0{,}7°$를 사용하면 다음을 얻는다:

$$\boxed{n = 1{,}01 \pm 0{,}05},$$

$$\boxed{\alpha = (-4{,}32 \pm 0{,}59)\,°\,\mathrm{mL\,g^{-1}\,cm^{-n}}}.$$

맞춤의 적합도는 $R^2 = 0{,}99859$이다. 예상되는 선형 지수와의 차이는,

$$\frac{|n-1|}{u_n} = \frac{|1{,}01-1|}{0{,}05} = 0{,}2,$$

표준불확도 하나보다 훨씬 작다. 따라서 자료는 $n = 1$과 부합하며, 실험 정밀도 범위에서 회전각이 용액을 통과한 길이에 비례함을 확인한다.

α의 음의 부호는 표의 규약을 따른 것으로 반시계 방향 회전을 뜻한다. 크기는 제시한 단위로 $|\alpha| = (4{,}32 \pm 0{,}59)$이다. α의 차원은 맞춘 지수에 따라 달라지므로 우선 $\mathrm{cm^{-n}}$으로 쓴다.

n은 1과 부합하므로 물리적 선형 모형을 적용할 수 있다:

$$\Delta\phi = \alpha C L.$$

B.2에서 원점을 지나도록 맞춘 직선의 기울기는 $m = \alpha C$을 만족한다. 따라서,

$$\alpha = \frac{m}{C} = \frac{-1{,}782}{0{,}40} = -(4{,}45 \pm 0{,}08)\,°\,\mathrm{mL\,g^{-1}\,cm^{-1}}.$$

여기서는 준비한 용액의 농도 불확도를 무시한다. 그러면,

$$u_\alpha = \frac{u_m}{C} = \frac{0{,}031}{0{,}40} = 0{,}078 \approx 0{,}08\,°\,\mathrm{mL\,g^{-1}\,cm^{-1}}.$$

농도의 불확도 u_C가 주어진다면 다음 식으로 추가해야 한다:

$$\left(\frac{u_\alpha}{|\alpha|}\right)^2 = \left(\frac{u_m}{|m|}\right)^2 + \left(\frac{u_C}{C}\right)^2.$$

n을 자유롭게 둔 결과와 $n = 1$인 결과는 불확도 범위에서 부합한다. 두 번째 결과는 자료가 뒷받침하는 선형 관계를 반영하므로 더 정밀하다.

Q2 — 유리판에서 반사에 의한 편광 (10점)

배점이 없는 조정 절차

레이저를 오른쪽에 두고 장치를 조립하라. 유리판 없이 광선이 직접 입사하도록 레일, 고니오미터 중심 및 포토다이오드를 정렬하라. 판의 법선이 $\theta_i = 0°$이 되게 설치하고 각도 분해능을 구하라. Q2 전체에서 이 기준을 유지하라.

A부 — 반사광의 세기 (6,0점)

각도를 바꾸며 측정하기 전에 s편광과 p편광의 실험상 방향을 찾아 반사광 세기의 균형을 맞춰라. 균형을 맞춘 뒤에는 레이저의 방향과 설정한 각도 기준을 유지하라.

A.1 **2,0점**

기본 원리. 유리판을 $\theta_i \approx 70°$에 놓고 편광자를 회전시킬 때 반사광 세기가 최대가 되는 방향을 α_s로 정하며, 이는 s편광의 실험상 기준이다. 최솟값을 보이는 방향은 α_p이며, α_s와의 각도 차이가 불확도 범위에서 $90°$와 일치할 때 p편광의 실험상 기준으로 삼는다.

과제. 편광자를 $180°$에 걸쳐 회전시키고 α_s, α_p와 그 불확도 및 해당 반사광 세기를 구하라. $|\alpha_p - \alpha_s|$가 $90°$와 일치하는지 확인하라. 일치하지 않으면 레이저를 끄고, 긴 축 주위로 몸체를 조금 돌린 다음 정렬을 다시 확인하여 측정을 반복하라. 시험한 레이저 방향, α_s,, α_p, 전류 및 각도 차이를 표로 제시하라.

참고 풀이 및 필요 데이터

전류가 가장 큰 위치가 α_s, 가장 작은 위치가 α_p이다. 각도 분해능은 $1°$이므로, 각 판독값의 불확도는 눈금 한 칸의 절반으로 둔다.

$$\alpha_s = (175{,}0 \pm 0{,}5)°, \qquad \alpha_p = (85{,}0 \pm 0{,}5)°.$$

두 방향의 각도 차이는

$$\Delta\alpha = |\alpha_p - \alpha_s| = |85{,}0° - 175{,}0°| = 90{,}0°,$$

그 불확도는

$$u_{\Delta\alpha} = \sqrt{u_{\alpha_p}^2 + u_{\alpha_s}^2} = \sqrt{(0{,}5°)^2 + (0{,}5°)^2} \approx 0{,}7°.$$

따라서

$$\boxed{\Delta\alpha = (90{,}0 \pm 0{,}7)°},$$

각도 차이는 s과 p 편광이 서로 직교한다는 것과 잘 맞는다.

시도	레이저의 상대 회전	α_s	i_s (mA)	α_p	i_p (mA)	$\lvert\alpha_p - \alpha_s\rvert$	직교 여부
1	0°	170°	$2{,}42 \pm 0{,}05$	65°	$1{,}05 \pm 0{,}04$	105°	아니요
2	5°	175°	$2{,}10 \pm 0{,}05$	75°	$1{,}28 \pm 0{,}04$	100°	아니요
최종	10°	175°	$1{,}65 \pm 0{,}04$	85°	$1{,}70 \pm 0{,}04$	90°	예

모든 각도에 $u_\alpha = 0{,}5^\circ$를 적용한다. 불확도를 전파하면 $u_{\Delta\alpha} = 0{,}7^\circ$이다. 처음 두 시도의 각도 차이는 90°에서 $0{,}7^\circ$보다 크게 벗어나지만 최종 설정은 직교 조건에 부합한다. 한 설정에서 다음 설정으로 바꿀 때에는 레이저 몸체를 상대적으로 5° 돌렸다고 둔다.

참고. 앞의 두 시도는 레이저 방향을 단계적으로 보정하는 과정을 기록하는 방법을 보여 주는 예시이다. 제공된 실험값은 최종 조정에서만 얻은 다음 값들이다:

$$\alpha_s = 175^\circ,\ \alpha_p = 85^\circ,\ i_s = 1{,}65\,\mathrm{mA}\ ,\ i_p = 1{,}70\,\mathrm{mA}.$$

A.2 2,0점

기본 원리. 균형 조정은 두 편광을 비교할 광원의 고정 방향을 정하는 과정이다. 유리판을 $\theta_i = 70^\circ$에 놓고 고정된 방향 α_s와 α_p에서 측정한 전류 $i_{s,70}$와 $i_{p,70}$를 비교한다.

과제. 편광자를 α_s와 α_p 사이에서 번갈아 놓으며 $i_{s,70}$와 $i_{p,70}$를 기록하라. 필요하면 레이저를 끄고 몸체를 조금 돌린 뒤 α_s와 α_p를 다시 정하지 않은 채 판독을 반복하라. 다음을 계산하고

$$\varepsilon_{\mathrm{bal}} = \frac{|i_{s,70} - i_{p,70}|}{(i_{s,70} + i_{p,70})/2}$$

$\varepsilon_{\mathrm{bal}} \le 0{,}10$이 될 때까지 광원을 조정하라. 각 시도의 판독값, 레이저의 최종 방향 및 백분율 차이 $100\varepsilon_{\mathrm{bal}}\,\%$를 제시하라.

참고 풀이 및 필요 데이터

최종 설정에서 제공된 판독값은

$$i_{s,70} = (1{,}65 \pm 0{,}04)\,\mathrm{mA}, \qquad i_{p,70} = (1{,}70 \pm 0{,}04)\,\mathrm{mA}.$$

기기 한계는 $20\,\mathrm{mA}$ 범위에서 계산했다. 이 범위의 계수는 $D = 0{,}01\,\mathrm{mA}$과 $\Delta i = 0{,}010|i| + 0{,}02\,\mathrm{mA}$이다. 따라서

$$\varepsilon_{\mathrm{bal}} = \frac{|1{,}65 - 1{,}70|}{(1{,}65 + 1{,}70)/2} = 0{,}0299.$$

그러므로

$$100\varepsilon_{\mathrm{bal}}\,\% = 2{,}99\,\% < 10\,\%,$$

최종 균형은 허용 범위에 든다.

A.1의 표에 적힌 10°의 상대 회전은 예시 수열의 일부이며 레이저 몸체의 절대 회전각을 측정한 값이 아니다. 제공된 자료로는 최종 설정의 균형만 확인할 수 있다.

p편광 전류의 최솟값 양쪽을 포함하도록 여러 입사각을 고르되, 최솟값 근처에서는 각도 간격을 줄여라. 각 각도에서 포토다이오드를 정반사 방향에 놓고, 레이저의 방향을 바꾸지 않은 채 전류 i_s와 i_p를 측정하라.

A.3 **1,0점**

기본 원리. 두 편광의 곡선을 직접 비교할 수 있도록 같은 각도 눈금으로 그려야 한다.

과제. θ_i, i_s, i_p, 단위 및 불확도를 포함한 표를 제시하라. 같은 모눈종이의 한 그래프에 $i_s(\theta_i)$와 $i_p(\theta_i)$를 그리고, 서로 다른 기호나 선 모양과 범례로 구별하라.

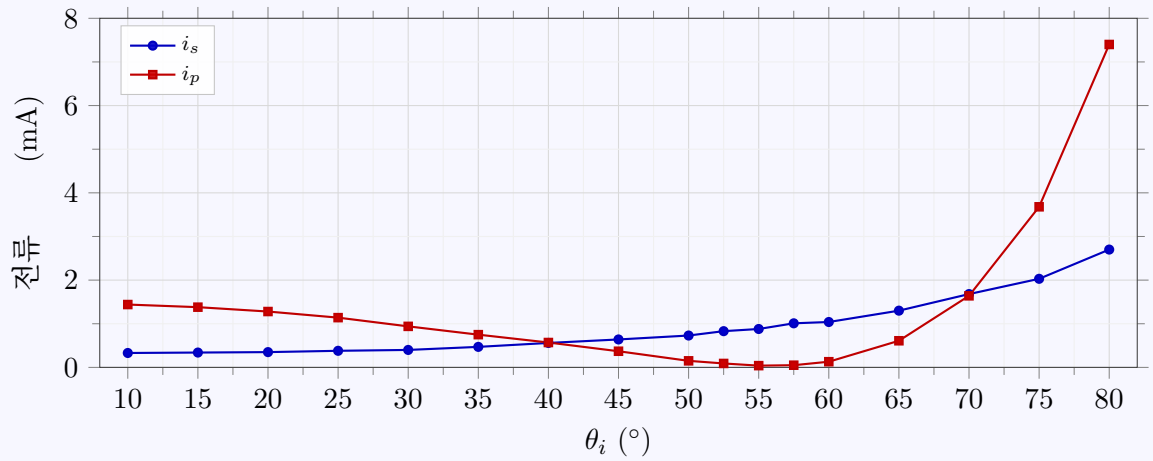
참고 풀이 및 필요 데이터

각도 분해능은 Q1, $\Delta\theta_i = 0{,}5°$과 같다. 모든 전류는 $20\,\mathrm{mA}$ 범위에서 한 번씩 측정했다. 각 판독값에는 다음 식을 적용했다.

$$\Delta i = 0{,}010|i| + 0{,}02\,\mathrm{mA},$$

기기 한계값은 $0{,}01\,\mathrm{mA}$ 단위로 올림한다.

θ_i (°)	i_s (mA)	Δi_s (mA)	i_p (mA)	Δi_p (mA)
10	0,33	0,03	1,44	0,04
15	0,34	0,03	1,38	0,04
20	0,35	0,03	1,28	0,04
25	0,38	0,03	1,14	0,04
30	0,40	0,03	0,94	0,03
35	0,47	0,03	0,75	0,03
40	0,56	0,03	0,57	0,03
45	0,64	0,03	0,37	0,03
50	0,73	0,03	0,15	0,03
52,5	0,83	0,03	0,09	0,03
55	0,88	0,03	0,04	0,03
57,5	1,01	0,04	0,05	0,03
60	1,04	0,04	0,13	0,03
65	1,30	0,04	0,61	0,03
70	1,68	0,04	1,64	0,04
75	2,03	0,05	3,68	0,06
80	2,70	0,05	7,40	0,10



p 성분은 55°와 57,5° 사이에서 뚜렷한 최솟값을 보인다. 같은 구간에서 s 성분의 전류는 증가하며 0이 되지 않는다. 이 해설에서는 56° 부근의 최솟값 위치를 더 분명히 보여 주기 위해 $i_p(52{,}5°) = 0{,}09\,\mathrm{mA}$와 $i_p(57{,}5°) = 0{,}05\,\mathrm{mA}$를 사용했다.

A.4 **1,0점**

기본 원리. 비 $q = i_s/i_p$는 i_p가 양수이고 불확도 범위에서 영과 구별될 때만 정의된다.

과제. 유효한 각도마다 q를 계산하여 표에 추가하고 $q(\theta_i)$의 그래프를 그려라. 분모가 양수가 아니거나 불확도 범위에서 영과 구별되지 않는 점에서는 q를 계산하거나 표시하지 마라.

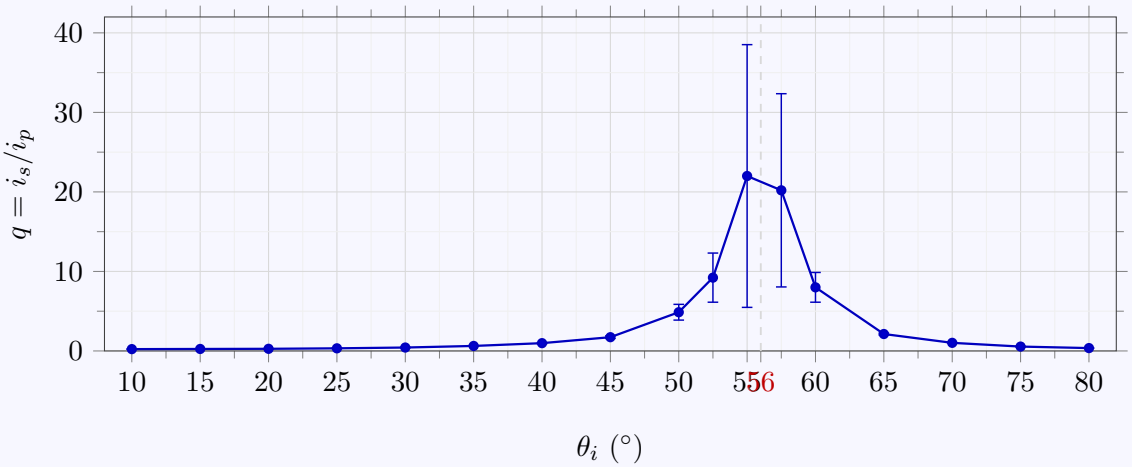
참고 풀이 및 필요 데이터

다음과 같이 계산한다.

$$q = \frac{i_s}{i_p}, \qquad u_q = q\sqrt{\left(\frac{u_{i_s}}{i_s}\right)^2 + \left(\frac{u_{i_p}}{i_p}\right)^2}.$$

$i_p - \Delta i_p > 0$이므로 모든 점이 조건을 만족한다.

θ_i (°)	$q = i_s/i_p$	Δq
10	0,23	0,02
15	0,25	0,02
20	0,27	0,02
25	0,33	0,03
30	0,43	0,03
35	0,63	0,05
40	0,98	0,07
45	1,73	0,16
50	4,87	0,99
52,5	9,22	3,09
55	22,00	16,52
57,5	20,20	12,15
60	8,00	1,87
65	2,13	0,12
70	1,02	0,03
75	0,55	0,02
80	0,36	0,01



55°와 57,5°에서 q가 크므로, 최댓값이 다음 값 근처에 있다고 바로 추정할 수 있다.

$$\boxed{\theta_i \approx 56^\circ}.$$

B부 — 브루스터각과 굴절률 (4,0점)

B.1 **2,0점**

기본 원리. 브루스터각은 i_p가 최소인 지점과
신뢰할 수 있는 비 q가 가장 큰 영역에 대응한다.

과제. i_p의 최소점과 신뢰할 수 있는 비의 최대 영역을 비교하여 θ_B를 구하라.
$\theta_B^{\text{exp}} \pm u_\theta$를 계산하고,
각도 분해능과 주변 측정점으로 위치와 불확도를 구한 과정을 보여라.

참고 풀이 및 필요 데이터

i_p의 최솟값과 q의 최댓값은 55°에서 57,5° 사이에 있다. 따라서 다음 값을 택한다.

$$\theta_B^{\text{exp}} = 56{,}0^\circ.$$

각도 분해능이 1°, 이 구간의 측정 간격이 2,5°이므로

$$u_\theta = \sqrt{\left(\frac{2{,}5^\circ}{2}\right)^2 + \left(\frac{1{,}0^\circ}{2}\right)^2} \approx 1{,}3^\circ.$$

따라서

$$\boxed{\theta_B^{\text{exp}} = (56{,}0 \pm 1{,}3)^\circ}.$$

B.2 **1,0점**

기본 원리. 공기에서 유리로 입사할 때에는 $n_{\text{vidrio}} = n_{\text{aire}} \tan\theta_B$이다.

과제. $n_{\text{aire}} = 1{,}000$을 채택하여 n_{vidrio}와 그 불확도를 계산하라.

참고 풀이 및 필요 데이터

$n_{\text{aire}} = 1{,}000$를 사용하면

$$n_{\text{vidrio}} = 1{,}000 \tan 56{,}0^\circ = 1{,}483 \approx 1{,}48.$$

$$u_n = 1{,}000 \sec^2 56{,}0^\circ \left(1{,}3\frac{\pi}{180}\right) \approx 0{,}07.$$

$$\boxed{n_{\text{vidrio}} = 1{,}48 \pm 0{,}07}.$$

범위의 양 끝값은

$$n_- = \tan 54{,}7^\circ = 1{,}41, \qquad n_+ = \tan 57{,}3^\circ = 1{,}56.$$

B.3 **1,0점**

기본 원리. 명목값 $n = 1{,}50$은
비교의 기준으로만 사용한다.

과제. θ_B^{exp}와 θ_B^{teo} 사이의 백분율 편차를 계산하라. 각도 분해능, θ_B^{exp}, u_θ, θ_B^{teo}, n_{vidrio}, 해당 불확도의 한계 및 백분율 편차를 포함한 최종 표를 제시하라.

참고 풀이 및 필요 데이터

기준 이론값은

$$\theta_B^{\text{teo}} = \arctan\left(\frac{1{,}50}{1{,}000}\right) = 56{,}31^\circ.$$

백분율 편차는

$$\text{편차} = 100\,\frac{|56{,}0^\circ - 56{,}31^\circ|}{56{,}31^\circ} \quad = 0{,}55\,\%.$$

물리량	결과
각도 분해능	1°
θ_B^{exp}	$56{,}0^\circ$
u_θ	$1{,}3^\circ$
θ_B^{teo}	$56{,}31^\circ$
n_{vidrio}	$1{,}48 \pm 0{,}07$
n의 범위	$[1{,}41;\ 1{,}56]$
각도 편차	$0{,}55\,\%$

실험값은 공칭 기준값 $\theta_B^{\text{teo}} = 56{,}31^\circ$ 및 $n = 1{,}50$과 양립한다.

용어 풀이

검광자
시료 또는 경계면 뒤에 놓아 출사광의 편광 방향이나 상태를 조사하는 편광자.

브루스터각, θ_B
투명 매질 사이의 경계면에서 p성분의 반사율이 최소가 되며, 이상적으로 영이 되는 입사각.

광학 활성
선편광된 빛이 매질을 통과하는 동안 그 편광 방향을 회전시키는 매질의 성질.

시료 길이, L
다른 실험 조건을 일정하게 유지했을 때 광선이 용액 내부에서 이동한 기하학적 길이. Q1에서는 학생이 셀의 길이 한계 안에서 자유롭게 고른 길이를 $L_1, \ldots, L_n$으로 나타내며, n은 선택한 길이의 개수이다. 굴절률이 n_{medio}인 균일한 매질에서 이에 대응하는 광로 길이는

$$n_{\text{medio}} L.$$

배경 전류, i_{fondo}
유효한 광 신호가 없을 때 측정과 같은 조건 및 같은 측정 범위에서 검출계에 기록되는 전류. 검출기의 암전류, 전자 회로의 기여 및 잔류 주변광이 포함될 수 있다.

평균의 표준편차
반복 판독값 N개의 평균이 보이는 통계적 산포의 추정값으로, $s_{\bar{x}} = s/\sqrt{N}$으로 계산한다. 여기서 s는 표본 표준편차이다.

투과축
편광자에서 전기장 성분이 우선적으로 투과하는 방향.

거울상 이성질체
서로 겹쳐지지 않는 거울상을 이루는 분자 구조.

레이저
세기가 크고 지향성이 있으며, 거의 단색이고 결맞음성이 높은 광선을 내는 광원.

말뤼스 법칙
검광자가 투과시키는 빛의 세기를, 투과축과 입사 편광 사이 각도의 코사인 제곱에 따른 함수로 나타내는 관계식.

계기 오차 한계
계기의 정확도 사양으로부터 계산한 오차의 한계. 이것만으로 표준편차나 평균의 통계적 불확도가 되지는 않는다.

선편광
전기장이 일정한 횡방향을 따라 진동하는 빛.

비편광
전기장의 진동이 시간에 따라 특정한 횡방향을 선호하지 않는 빛.

셀 조정 손잡이
밀봉 고리의 나사를 조여 누출을 막는 수동 부품. 길이 L를 읽는 눈금 커서가 아니다.

카이랄 분자
회전이나 평행이동으로 자신의 거울상과 겹칠 수 없는 구조를 가진 분자.

정규화
한 측정 계열의 값을 기준값으로 나누는 것. Q1에서는 계열 k에서 선택한 등간격 측정점 중 가장 큰 보정 전류인 $i^{\mathrm{corr}}_{\mathrm{máx},k}$를 사용한다. 이 값은 전체 곡선의 최댓값과 다를 수 있다. Q2에서는 각 곡선을 자신의 최댓값으로 정규화하지 않고, 필요하면 배경 전류를 빼고 두 편광의 반사 전류 사이 비를 계산한다. 이 비는 반사율을 직접 측정한 값이 아니다.

입사면
입사 광선과 입사점에서 표면에 세운 법선이 이루는 평면.

p편광
전기장이 입사면에 평행하게 진동하는 편광.

s편광
전기장이 입사면에 수직으로 진동하는 편광.

원편광
전기장 벡터의 끝이 진행 방향 주위를 회전하면서 크기는 거의 일정하게 유지되는 상태.

반사율
정해진 편광과 기하 조건에서 입사 광파워에 대한 반사 광파워의 비.

광회전
광학 활성 매질을 통과하는 동안 편광 방향이 회전하는 현상. 이 시험에서는 설탕 용액을 사용한다.

고니오미터의 장치 영점
유리판이 없을 때 직접 입사하는 광선을 기준으로 레일 축, 고니오미터 회전 중심 및 포토다이오드 중심이 정렬된 고정 기계적 기준. 유리판을 설치하고 그 법선을 광선과 나란히 맞추면 이 기준은 $\theta_i = 0°$에 해당한다. 전류 판독값을 기준으로 영점을 다시 정하면 안 된다.