

실험. 보이지 않는 것을 보려면! (20점)

소개

많은 물질이 광학 이방성을 나타내며, 그 결과 굴절률은 빛의 전파 방향과 편광에 따라 달라집니다. 광학 이방성은 기계적 응력, 불균일한 가열 또는 외부 전기장의 적용이 있는 경우 등방성 매질에서도 발생할 수 있습니다. 빛이 복굴절 없이 전파되는 방향을 수정의 광축이라고 합니다.

이 실험 문제에서 사용할 광학 이방성을 연구하기 위한 전통적인 광학 실험 방식(그림 1 참조)을 생각해 보겠습니다.

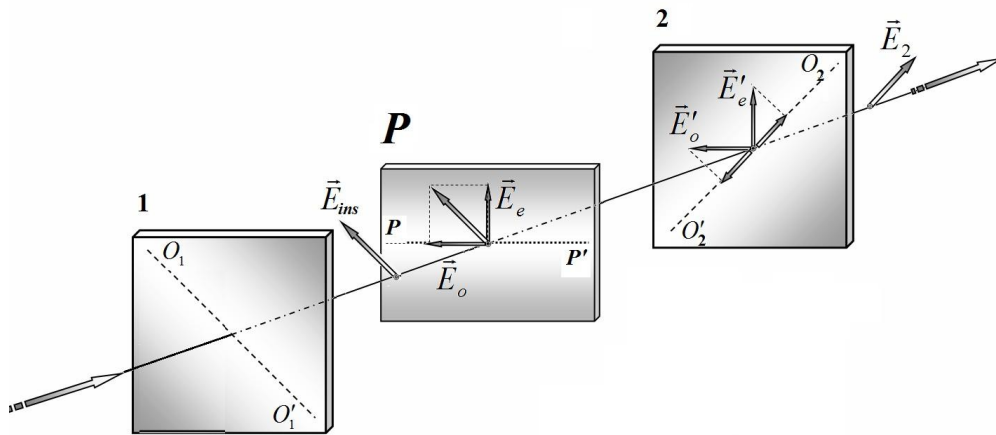


그림 1. 광학 이방성을 연구하기 위한 실험의 광학 구성도.

투과면이 직선을 따라 $O_1O'_1$ 과 교차하는 편광판 1에 광선이 떨어지게 합니다. 편광판 1을 통과한 후 광선은 선형 편광이 되고 전계 강도 벡터 $\vec{E}_o$ 는 편광판 1의 전이 평면에서 정확히 진동합니다. 그런 다음 광선은 편광판 1의 투과면과 45° 각도를 이루도록 광축 PP' 이 플레이트 평면에 놓이도록 이방성 플레이트 P 에 떨어집니다. 그러면 플레이트 P 에서 두 가지 종류의 광파가 생성됩니다.

$\vec{E}_o$ 는 플레이트의 광축에 수직으로 편광되고, 특수 $\vec{E}_e$ 는 플레이트의 광축을 따라 편광됩니다. 이 두 파동의 굴절률은 서로 다르며 그 차이는 다음과 같이 표시됩니다.

$\Delta n = n_o - n_e$. 그 결과 판을 떠날 때 두 파동 사이에 위상차 $\Delta\varphi = 2\pi h \Delta n / \lambda$ (h 는 판 두께, λ 는 진공에서 입사된 빛의 파장)가 나타납니다. 따라서 나가는 광선의 편광은 타원 편광으로 바뀝니다. 그러면 광선은 편광판 2에 떨어지며, 편광판 2의 투과면 $O_2O'_2$ 는 투과면에 수직입니다.

편광판 1.

2

간단한 도식을 통해 판 P 와 편광판 2를 통해 투과되는 광선의 강도는 다음과 같이 결정됩니다.

$$I_2 = k I_0 \sin^2 \frac{\Delta\varphi}{2} \quad (1)$$

여기서 I_0 은 판에 떨어지는 빛의 세기를 나타내고, k 은 판 P 와 편광판 2의 빛 투과 계수를 나타내며, $\Delta\varphi$ 은 판 P 를 통과한 일반 파동과 특수 파동 사이의 위상차를 나타냅니다.

이 실험에서는 없는 한 오류를 평가하지 마세요!

부록 A의 장비에 대한 설명

파트 1.정성적 관찰!(3.5점) 파트 1.1.편광기(0.8점)

1.1	편광판 1의 투과면의 방향(즉, 대각선 중 어느 쪽)을 구합니다. 편광판 2. 답안지의 그림에 이 평면을 표시하십시오. (0.8점)
-----	--

파트 1.2.통치자(1.0점)

이 실험에서는 발광 다이오드(LED)를 광원으로 사용합니다.

LED를 스탠드에 고정하고 전원 공급 장치에 연결합니다. 두 편광판의 앞면(숫자 1과 2로 표시)이 광원을 향하도록 설정합니다. 편광판이 서로 교차하는지 확인합니다, 즉, 광선이 통과할 수 없습니다. 부록 B의 그림 1B와 같이 흰색 종이 한 장으로 첫 번째 편광판을 얼굴 쪽에 놓아 차단합니다.

편광판 사이에 플라스틱 자1를 놓습니다. 손으로 눈금자를 움직일 수 있습니다.

1.2.1	플라스틱 눈금자의 중심에서 광축의 가능한 방향을 찾습니다. 다음을 표시합니다. 답안지에 있는 그림의 방향을 따르십시오. (0.4점)
1.2.2	눈금자 1과 두 개의 눈금자가 쌓인 거리를 따라 대략 어느 정도 거리를 결정합니다. 를 합치면 청색광의 위상차가 2π 로 바뀝니다. (0.6포인트)

파트 1.3.스트립(0.8점)

1.3.1	스트립의 광축의 가능한 방향을 찾습니다. 그림에서 질적으로 표시합니다. 답안지. (0.4점)
-------	--

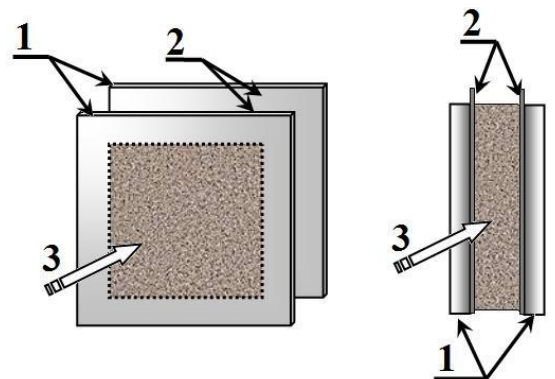
클램프를 사용하여 길고 유연한 플라스틱 스트립을 화면에 고정하여 스트립 가장자리가 스크린 가장자리와 일치하도록 합니다. 스트립은 구부러져 있어야 합니다(그림 3B 참조). 편광판 사이에 스트립이 있는 스크린을 놓습니다. 화면을 이동하면서 스트립의 색상 변화를 관찰합니다. 화면 눈금에서 스트립 지점의 x 좌표를 측정하고 그림 3B와 같이 스크린 홀더의 왼쪽 가장자리를 원점으로 사용합니다.

이하 좌표는 화면의 눈금으로 측정됩니다. 포인터로 그림 3B에 화살표로 표시된 홀더의 왼쪽 가장자리를 사용합니다!

1.3.2	왼쪽 x_L 과 오른쪽 x_R 두 개의 어두운 띠의 중간 점의 좌표를 측정합니다, 스트립에 표시됩니다. (0.4점)
-------	---

파트 1.4.액정 셀(0.9점)

액정(LC)은 결정성 고체와 비정질 액체의 중간 상태의 물질을 말합니다. 전기장을 가하여 분자의 방향을 쉽게 정렬하고 제어할 수 있습니다. LC 셀은 두 가지 주요 굴절률로 광학 이방성 현상을 나타냅니다. 이 효과의 크기는 인가된 교류 전압에 따라 달라집니다. 액정 셀(LCC)은 내부 표면이 투명한 전도성 층(2)으로 코팅된 두 개의 유리판(1)으로 구성됩니다. 플레이트 사이에는 액정 상태의 얇은(약 10마이크론) 용액 층(3)이 있습니다. AC 전원 공급 장치에 연결하기 위해 플레이트에 리드가 납땜되어 있습니다.



편광판 사이에 액정 셀(LCC)을 놓습니다. 전원 공급 장치에 연결합니다. LCC의 전압을 변화시키면서 이를 통해 투과되는 빛의 색상 변화를 관찰합니다.

1.4.1	0 및 최대 인가된 상태에서 LCC의 광축의 가능한 방향을 구하십시오. 답안지의 그림에 이 방향들을 표시하십시오. Z축은 수직으로 향합니다.(0.6 포인트)
-------	---

1.4.2	전압과 관련하여 액정 분자의 방향이 90°로 갑자기 바뀌는 셀의 전압 U_{cr} 을 측정합니다. 멀티미터가 교류 전압 모드에 있는지 확인합니다(0.3점).
-------	---

파트 2. 측정(16.5점)

전원 공급 장치에서 LED를 분리하고 제거합니다. 흰 종이를 제거합니다. 이 작업에서는 광원으로 사용하므로 반드시 전원 공급 장치에 연결해야 합니다!

레이저, 편광판 1, 슬릿이 있는 스크린, 광검출기(포토다이오드)를 홀더에 고정합니다. 레이저 빔이 편광판과 스크린의 슬릿을 통과하여 포토다이오드에 정확히 떨어지도록 설정을 조정합니다. 빔 폭 조정용 나사 5c를 사용하여 광 검출기의 스팟 크기가 약 5-6mm인지 확인합니다.

레이저는 선형 편광을 방출합니다. 레이저 방향 전환을 위해 설계된 링 5a를 사용하여 레이저 빔이 첫 번째 편광판을 거의 완전히 통과하고 타원형 스폿의 주축이 수직인지 확인합니다. 다음에서는 레이저와 광 검출기의 방향을 나사 5D 및 15C로 고정해야 합니다. 편광판 2를 설정합니다. 편광판이 교차하는지 확인합니다. 그림 4B는 스크린이 장착된 전체 설정을 보여줍니다.

Part2.1. 포토 다이오드 조사하기(3.2점)

광도 측정에는 입사광도 자체의 다소 복잡한 함수인 광 다이오드 EMF가 사용됩니다. 따라서 빛의 강도를 측정하기 위해 그림 2에 표시된 회로가 사용됩니다. 멀티미터로 측정한 DC 전압은 입사광의 강도와 저항에 따라 달라집니다. 주요 목표는 이러한 저항의 최적 값은

저항은 포토다이오드에 입사되는 빛의 세기에 비례해야 합니다.

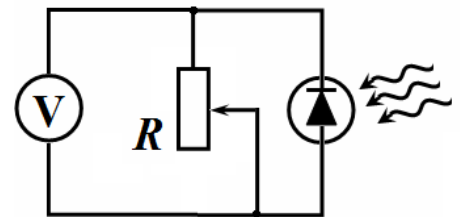


그림 2. 포토 다이오드 회로

측정하는 회로.

이 부분의 측정을 위해 광학 벤치에서 두 번째 편광판과 스크린을 제거합니다.
빔 강도를 감소시키는 필터는 그림 5B와 같이 편광판 뒷면의 클램프로 반드시 고정해야 합니다.
측정된 전압의 최대값은 300mV 이상이어야 합니다.

멀티 미터를 사용하여 저항의 저항과 저항의 전압을 측정 할 수 있습니다 (물론 멀티 미터의 레지스터를 적절하게 조정해야 함). 적절한 위치에 스위치를 추가하면 스위치를 단락/단락 해제하고 멀티미터 레지스터를 조정하는 것만으로 회로를 분리하지 않고도 하나의 멀티미터로 저항과 전압을 모두 측정할 수 있습니다.

2.1.1	저항과 저항의 전압을 측정하기 위해 스위치가 설치된 회로를 그립니다. 저항. (0.2점)
2.1.2	최대값(필터 수 $n = 0$)과 최소값(필터 수 $n=5$)의 두 가지 입사광 강도에 대한 저항의 함수로 저항의 전압을 측정합니다. 같은 그림에서 해당 그래프를 플롯합니다. 저항의 범위를 지정합니다. 전압의 차이가 최대인 경우. (1.0포인트)
2.1.3	포토다이오드에 입사된 빛의 강도를 감소시키는 필터 수 $n = 0, 1, 2, 3, 4, 5$ 의 함수로서 저항을 가로지르는 전압 U 을 측정합니다. 측정은 $R=30m\Omega$, $R=20 k\Omega$ 와 거의 동일한 세 가지 고정 저항 값에서 수행해야 합니다. $R= 10m\Omega$. 같은 그림에서 해당 그래프를 플롯하십시오 스케일을 선택하여 다음과 같이 선택하십시오. 저항을 가로지르는 전압이 강도에 선형적으로 의존하는지 확인할 수 . 포토다이오드에 의해 등록된 입사광의 저항값입니다. 위에서 언급한 세 가지 저항 값 중에서 최적의 저항 값 R_{opt} 선택하면 빛의 강도를 추가로 측정할 수 있습니다. 만들 수 있습니다. (1.0점)
2.1.4	이 데이터를 사용하여 필터의 투과율 $\gamma = I_{tr}/I_{inc}$ 을 계산하고 평가합니다

오류, I_{tr} 는 투과광의 강도, I_{inc} 입사광의 강도입니다.
빛. 필요한 경우 추가 측정을 할 수 있습니다. (1.0점)

이후의 모든 측정은 선택한 저항의 최적 값에서 이루어져야 합니다!

다음에서는 상대 단위의 강도가 저항을 가로지르는 전압(mV)과 같다고 가정합니다.

파트 2.2 플라스틱 자를 통한 빛 투과(5.4점)

편광판 사이에 플라스틱 자를 놓습니다. 눈금자를 손으로 움직일 수 있습니다. 그런 다음 슬릿이 있는 화면의 클램프로 고정합니다(그림 2B 참조). 눈금자의 아래쪽 가장자리는 화면에 그려진 선과 일치해야 하며 눈금이 맨 위에 있어야 합니다. 제공된 두 눈금자가 모두 복굴절 현상을 보여주는지 확인합니다. 빛이 두 자를 모두 통과하도록 한 자를 다른 자 올려놓았을 때 나타나는 그림을 관찰합니다.

이 부분에서는 그림 4B에 표시된 광학 체계를 사용합니다. 눈금자가 1.2부에 설명된 위치에서 화면에 고정되어 있는지 확인합니다.

2.2.1	0~10cm 범위의 빛이 입사되는 지점의 좌표 x 의 함수로서 투과된 빛의 세기(mV 단위)를 측정합니다. 제공된 각 자에 대해 그리고 두 개의 자를 함께 쌓은 상태에서 측정을 합니다. 각각의 경우에 전압의 최대값입니다. 같은 그림에서 해당 그래프를 플롯합니다. (2.0점)
2.2.2	두 규칙 각각에 대해 0에서 7cm까지의 x 범위에서 정상파와 비정상파 사이의 위상 편이 $\Delta\varphi$ 값을 계산하고, 해당 그래프 $\Delta\varphi(x)$ 를 플롯하고, 계산에 사용한 공식을 적으십시오. (1.2점) 위상차는 공식 (1)에서 명확하게 결정할 수 없으며, 이를 올바르게 결정하려면 추가적인 물리적 가정을 적용해야 합니다.
2.2.3	각 눈금자에 대해 $\varphi(x)$ 가 선형이라고 가정합니다. $\Delta\varphi_1 = a_1 x + b_1,$ $\Delta\varphi_2 = a_2 x + b_2,$ 눈금자 1과 2에 대한 위의 계수의 수치를 계산합니다. (1.0점)
2.2.4	2.2.1-2.2.3 파트에서 얻은 데이터를 사용하여 다음 강도의 이론적 값을 계산합니다. 두 개의 눈금자를 통과하는 빛이 함께 쌓여 있습니다. 계산에 사용한 공식을 적습니다. 2.2.1 파트의 같은 그림에서 이론적 의존성을 플롯하십시오. (1.2점)

파트 2.3 액정 셀(4.5점)

LCC를 통한 빛 전송

그림 6B와 같이 편광판 사이에 LCC를 배치합니다.

조사 중인 실험 의존성은 매우 급격한 변화의 영역으로 매우 비단조롭습니다. 측정할 때 이 점을 고려하세요.

셀 전원 공급 장치의 AC 전압과 광검출기의 DC 전압을 측정하려면 적절한 리드를 멀티미터에 직접.

2.3.1	투과된 빛의 강도를 LCC의 전압 함수로 측정합니다. 플롯 해당 그래프를 표시합니다. (2.0점)
2.3.2	일반 파동과 특수 파동 사이의 위상차를 $\Delta\varphi_0$ 에서 계산합니다. 전원 공급 장치가 LCC와 연결이 끊어졌습니다. (1.5점)
2.3.3	충분히 넓은 범위의 전압 강하에서 LCC를 가로지르는 정상파와 비정상파 사이의 위상차는 전력 법칙에 의해 적용되는 전압에 따라 달라집니다. $\Delta\varphi = CU^\beta .$ 얻은 데이터를 사용하여 그래프를 그려 위 공식의 적용 범위를 결정하고 지수를 계산할 수 있습니다 β . 해당 적용 범위를 지정하고 다음을 평가합니다. 매개변수의 숫자 값 β . (1.0 포인트)

파트 2.4. 곡선형 스트립을 통한 빛 투과(3.4점)

1.3부의 설명에 따라 화면에 플라스틱 고정합니다.

2.4.1	광학 시스템을 통해 투과되는 빛의 강도를 스트립의 중심에서 $\pm 20mm$ 범위에서 스트립으로 빛이 투과되는 지점의 좌표의 함수로 측정합니다. 해당 그래프를 플롯합니다. (1.2점)
2.4.2	일반 파동과 특수 파동 사이의 위상 변화를 계산합니다 $\Delta\varphi_0$, 다음을 통과합니다. 곡선이 없는 스트립. $\Delta\varphi_0 \in 10\pi \sim 12\pi$ 범위에 있는 것으로 알려져 있습니다. (1.2점)

스트립의 중심 근처에서 그 모양은 반지름 R 의 원호로 근사화할 수 있습니다. 위상 편이 $\Delta\varphi$ 가 스트립의 중심으로부터의 거리 z , $z \ll R$ 에 대한 이론적 의존성은 다음과 같은 형태를 갖습니다:

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_0 \left(1 + \frac{z^2}{2n^2 R^2} \right),$$

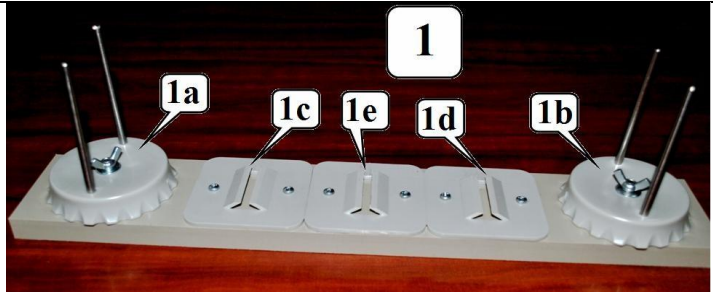
여기서 $n=1.4$ 는 스트립 재료의 굴절률입니다

2.4.3	이전 부분에서 얻은 데이터를 사용하여 그 근처의 스트립 곡률 반경 R 을 계산합니다. 가운데. 스트립 소재의 굴절률은 $n=1.4$ (1.0포인트)와 같습니다.
-------	--

부록 A. 실험 장비

광학 벤치 1홀더 포함:

- 1a - 나사로 광원을 지지합니다;
- 1b - 나사로 광 검출기를 지지합니다;
- 1C, 1D - 편광판을 나타냅니다;
- 1e - 화면과 액정 셀(LCC)을 나타냅니다.

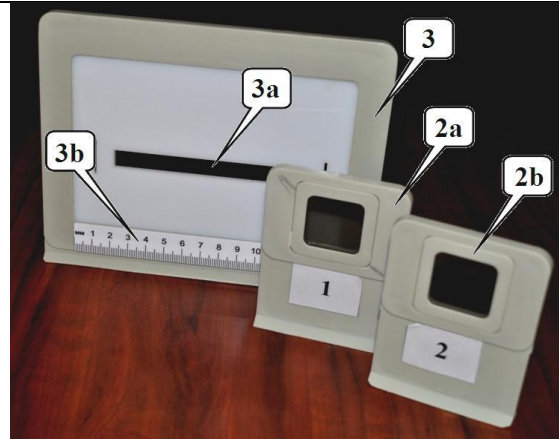


- 2A, 2B - 스탠드의 편광판. 얼굴 쪽에 숫자 1과 2가 있습니다.

편광판의 면이 광원을 향하도록 설치해야 합니다!

편광판의 투과면은 수평과 45°의 각도를 이룹니다.

- 3 - 슬릿(3a)과 눈금이있는 화면 (3b)



광원:

- 4 - 발광 다이오드(LED):** 4A - 전원 공급 장치용 리드, 4B - 고정 나사;

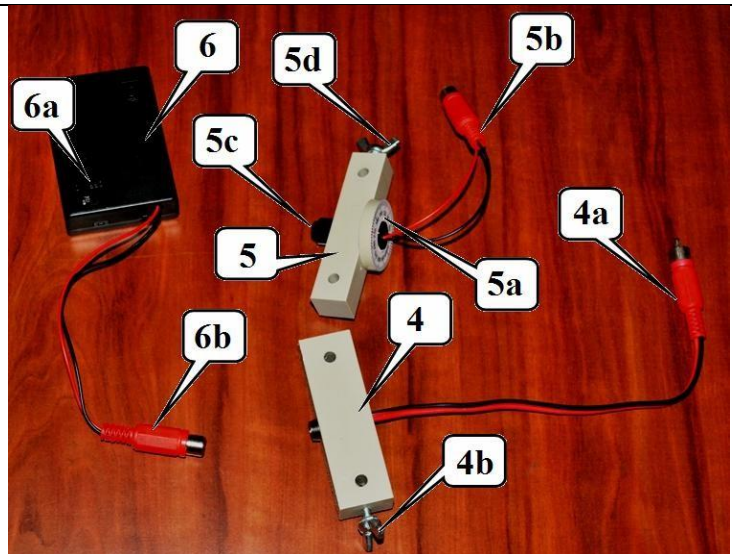
5 - 레이저:

- 5A - 눈금으로 레이저를 돌리기 위한 링(눈금은 사용되지 않음);
- 5b - 전원 공급 장치용 리드, 5c - 전면의 빔 폭 조절용 나사;
- 5D - 고정 나사;

6 - 광원용 전원 공급 장치:

- 6a - 스위치;
- 6b - 광원용 리드.

**측정하는 동안에만 소스를 계속 작동하세요!
레이저 광선을 자신이나 다른 사람의 눈에 쏘지 마세요. 매우 위험합니다!**

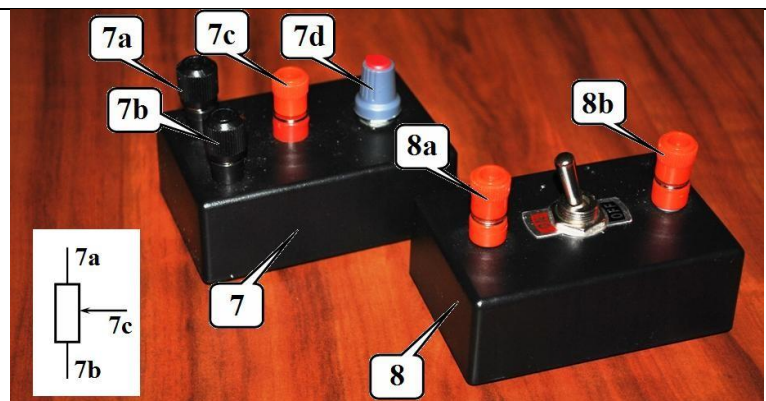


7 - 가변 저항기:

- 7a, 7b, 7c - 회로 연결용 단자
- 7d - 저항을 변경하는 노브입니다.

8 - 스위치:

- 8a, 8b - 회로에 연결하기 위한 단자;



9A-액정 셀(LCC) 9인 홀더(9B), 9c-전원 공급 장치 연결용 리드;

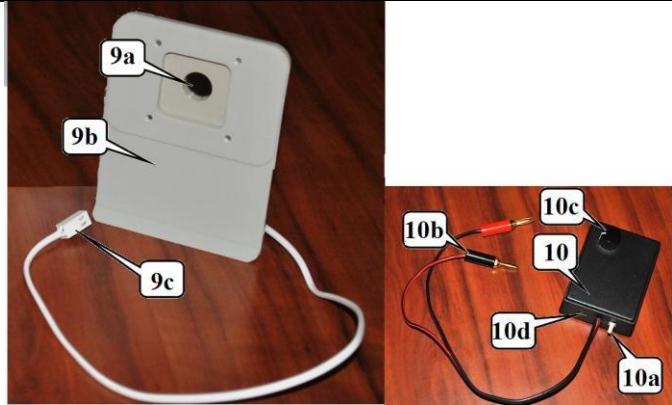
10 - LCC용 전원 공급 장치: 10a -

LCC용 커넥터;

10b - 출력 전압을 측정하기 위한 리드입니다;

10c - 출력 전압을 조정하는 노브, 10d - 전원 켜기/끄기.

측정하는 동안에만 소스를 계속 작동하세요!



11 - 멀티미터;

보류 버튼을 누르지 마세요.

11a - 등록 에 측정

저항(200k옴);

11b - DC 전압(2V) 측정을 위한 레지스터, 11c -

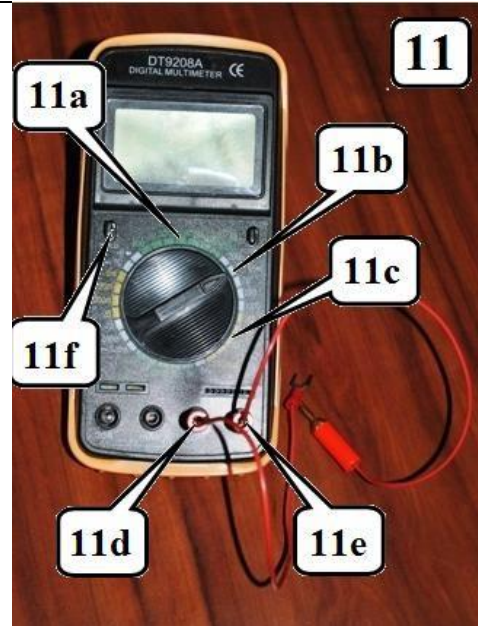
AC 전압(20V) 측정을 위한 레지스터, 11d, 11e -

테스트 리드용 커넥터;

11F - 전원 켜기/끄기.

**디스플레이 멀티미터가 '절전' 모드인 경우
전원 켜기/끄기를 두 번 누르세요!**

**멀티미터로 저항을 측정할 때는 전원 공급
장치로 요소를 분리해야 합니다!**



조사할 광학 요소

12 - 플라스틱 자;

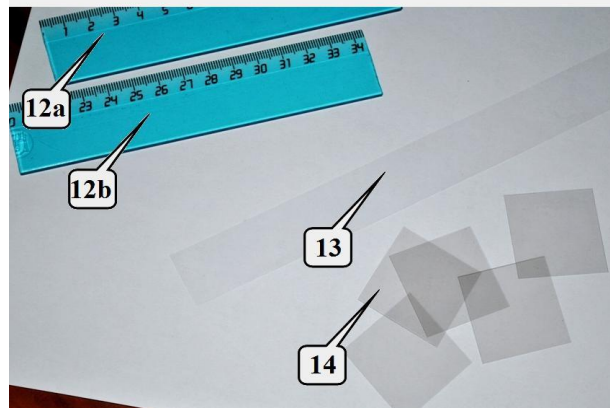
12a - 1번(눈금 0~14cm) 12b - 2번(눈금 20~34cm)

13 - 유연한 스트립;

14 - 동일한 필터 세트;

필터와 별도의 봉투에 담겨 제공됩니다!

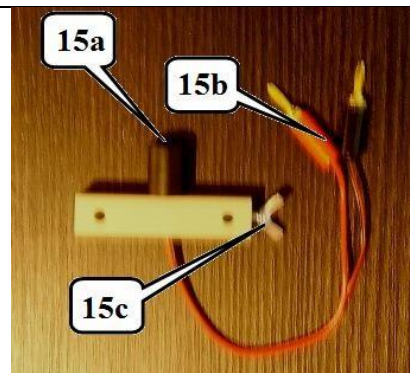
플라스틱 눈금자와 스트립은 복굴절을 나타내며, 광학 축이 같은 평면에 놓여 있습니다.



15 광 검출기(포토 다이오드)

15a - 입력 창입니다;

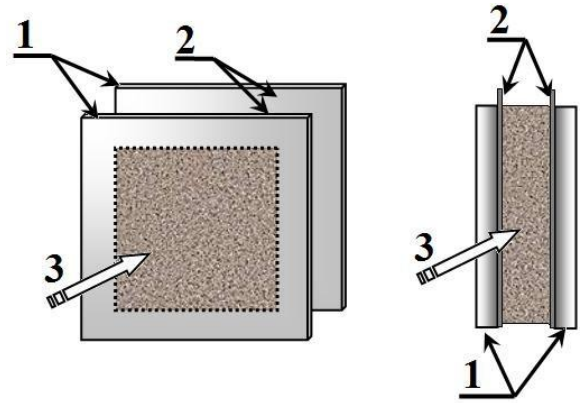
15b - 출력 전압 측정용 리드, 15c - 고정 나사.



전선, 클램프, 종이 냅킨, 종이 조각을
연결합니다.

액정 셀은 내부 표면이 투명한 전도성 층(2)으로 코팅된 두 개의 유리판(1)으로 구성됩니다. 플레이트 사이에는 액정 상태의 얇은(약 10미크론) 용액 층(3)이 있습니다. AC 전원 공급 장치에 연결하기 위해 플레이트에 리드가 납땜되어 있습니다. 전압이 없는 경우 액정의 긴 분자는 플레이트와 평행하게 배향됩니다. 분자 배향 방향은 액정의 광축과 일치합니다.

빛이 통과하는 광학 요소의 부분을 만지지 않도록 주의하세요! 필요한 경우 종이 냅킨으로 닦아주세요!



부록 B. 실험 설정 사진



그림 1B 눈금자에서 복굴절 관찰을 위한 설정



그림 2B 화면에 눈금자 장착됨



그림 3B 유연한 플라스틱 스트립을 화면에 고정하기.

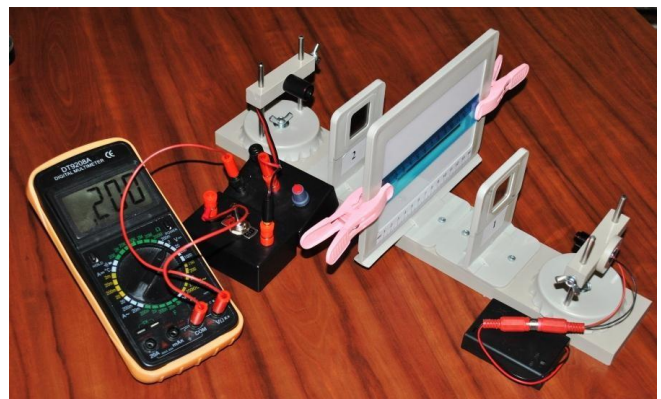


그림 4B 플라스틱 자를 통한 빛의 투과율 측정을 위한 설정



그림 5B 편광판에 장착된 필터

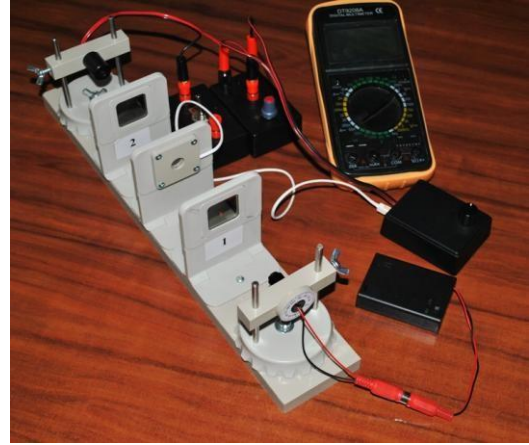


그림 6B 다음 특성을 측정하기 위한 설정
LCC