

편광과 브루스터 각

1. 실험목적

Malus 법칙과 브루스터 각 측정 등을 통해 빛의 편광에 대하여 이해한다.

2. 실험이론

- 빛은 전자기파로 전동하는 전기장 및 자기장 벡터가 진행방향에 수직인 횡파이다. 전자기파의 전기장과 자기장은 서로 수직이며 진행방향과도 수직이다. 편광방향은 전기장 방향으로 정역한다. 편광자란 빛을 특정 방향으로 편광시키는 광학장치이다.

<Malus 법칙>

- 일반적으로 빛은 전기장의 방향이 균일하게 분포되어 있다. 입사광과 광검출기 사이에 두개의 편광자를 둔 상태에서 첫번째 편광자의 광축을 수직 방향으로 두면 편광자를 통과한 빛은 수직 방향으로 편광된다. 두번째 편광자의 광축을 수직 방향에 대해서 ϕ 의 각도로 두면, 두번째 편광자를 통과한 빛의 세기는 각도에 따라 달라진다. 첫번째 편광자를 통과한 전기장의 크기가 E_0 인 빛이 광검출기에 입사하면, 광검출기의 광축과 나란한 $E \cos \phi$ 의 진폭을 갖는 전기장 성분만 광검출기를 통과하게 된다. 따라서 투과한 빛의 세기는 $\phi=0^\circ$ 일 때 최대, $\phi=90^\circ$ 일 때 0이 된다.

- 빛의 세기는 전기장 크기의 제곱에 비례한다. 입사광에 대한 투과 계수의 비는 $\cos^2 \phi$ 이므로 입사 빛의 세기에 대한 투과 빛의 세기의 비는 $\cos^2 \phi$ 이다. 따라서 I_{\max} 를 투과된 빛의 최대 세기($\phi=0^\circ$ 일 때)라고 하면 I 를 각도에서 투과된 빛의 세기라 하면 $I = I_{\max} \cos^2 \phi$ 이다.

<Brewster 각>

- 빛의 전기장은 입사면에 수직인 성분과 수평인 성분으로 나눌 수 있으며, 무편광 빛에 대해서 이 성분의 크기는 같다.

- 빛이 입사하여 반사와 굴절을 일으킬 때 편광에 따라 반사율은 달라진다. 어떤 특정각(θ_B)로 입사하면 입사면에 평행한 전기장의 성분은 전혀 반사되지 않는다. 이때 각도를 Brewster 각이라 한다. 입사면에 평행한 전기장 성분의 경우, 반사율이 100% 투과되며 반사광은 입사면에 수직 방향으로 완전히 편광된다. 입사면에 수직인 전기장 성분의 경우, 일부는 반사되고 나머지는 투과한다. 따라서 굴절의 전기장 성분은 완전히 투과된 평행 성분과 일부만 투과된 수직 성분으로 구성된다.

- 입사각 θ_B 로 입사하는 빛은 반사광은 입사면에 수직인 편광 성분만 있고 굴절에 반사광선과 굴절광선이 서로 수직이다. 이 경우 굴절각 θ_r 은 편광각 θ_B 의 보각이 되므로 $\sin \theta_r = \cos \theta_B$ 가 된다. 굴절의 법칙으로부터 $n_a \sin \theta_B = n_b \sin \theta_r$ 이므로 $\tan \theta_B = \frac{n_b}{n_a}$ 가 된다. 입사광선과 반사광선이 평행한 편광을 갖는 경우를 진행편광이라 하며 n_a 는 1로 대체할 수 있으며 $\theta_B = \tan^{-1} \frac{n_b}{n_a} = \tan^{-1} n_b$ 가 된다.

3. 실험장비 및 실험과정

(1) 실험장비

-레이저 -자자대 -멀티미터
-편광자 2개 -광검출기

(2) 실험방법

1) Malus's law

① 레이저를 입사시키지 않을 때, 광검출기에 나타나는 전압(V_0)을 측정한다.

② 레이저 앞에 두개의 편광자를 설치한다.

③ 두 편광자의 편광축 간의 각도를 변화시켜가며 광검출기에 나타나는 전압을 측정한다.

2) 브루스터 각 측정

① 레이저 앞에 편광자를 설치하고 편광축을 조정하여 수직 성분 또는 수평 성분을 측정한다.

② 입사각을 0도 및 90도, 레이저가 전자의 중심에 입사하도록 정렬시킨다.

③ 입사각을 변화시켜가며 반사광에 의해 광검출기에 나타나는 전압을 측정한다.

④ 그래프로부터 브루스터 각을 구하고 계산치와 비교한다.

4. 예비고찰

- Malus's law에 대한 실험은 빛원에 편광자를 2개씩 두고 편광축 사이의 각도를 0° 에서 180° 까지 변화시키며 전압강을 측정한다. 0° 에서부터 180° 가 될 때 측정되는 전압은 0° 에서 90° 가 될 때까지 작아지다가 90° 에서 최소가 되고 다시 90° 에서 180° 가 될 때는 전압이 다시 커지게 될 것이다. 이유는 편광자의 광축을 수직으로 두면 빛은 수직방향으로 편광되고, 수평방향으로 두면 수직으로 편광된 빛은 통과하지 않아 90° 에서 전압이 최소가 되는 것이다.
- 브루스터 각에서는 수평 성분은 반사되지 않고 수직 성분만 반사한다. 실험을 통해 수평 성분의 반사율을 측정해보면 입사각이 증가하면 측정된 전압이 점점 작아지다가 어떤 특정각에서 가장 작아지고, 이후 다시 입사각이 증가함에 따라 전압이 커질 것이다. 이는 브루스터 각에서는 수평성분이 반사되지 않으므로 측정 전압이 가장 작아지는 것이다.

5. 참고문헌

1) 양해대 물리학과. 「기초물리학 실험」. 북스힐, 2020

2) 권민정 외 11인. 「대학물리학 6판」. 북스힐 제 23장