

## 베리 위상의 조절과 위상 점프

우제훈, 최현희, 우정원  
 이화여자대학교 화학·나노과학부 & 물리학과  
 cellis07@ewhain.net

주기를 가지고 천천히 변화하는 환경 속에 있는 계의 상태함수는 고립된 계의 상태함수가 시간의 변화에 따라 얻는 위상의 변화 즉, 에너지가 E인 고유상태에 대해  $\exp(iEt)$ 라고 표현되는 동역학적 위상(Dynamic phase)과 함께 추가적으로 또 다른 성질의 위상을 얻는다. Berry는 이러한 추가적인 위상을 설명하기 위해 기하학적 위상(Geometric phase)이란 개념을 도입하였다.

기하학적 위상을 관찰할 수 있는 한 예로 빛의 편광상태가 변화할 때 생기는 위상변화를 들 수 있다. 빛이 편광상태의 변화에 따라 얻는 추가적인 위상은 Pancharatnam's Phase라고 부르며 이것은 Berry's topological phase (또는 Geometric phase)의 일종이다. 이 위상은 빛의 진행경로로부터 발생하는 동역학적 위상과는 별개로 편광상태의 변화에 따라 얻게 되는 추가적인 위상이다. 한편 빛의 편광상태는 3개의 Stoke's parameter에 의해 표현될 수 있다. Stoke's parameter는 빛의 편광상태를 나타내는 공간의 좌표가 될 수 있고, 이와 같이 표현된 공간을 Poincaré sphere라고 부른다. Pancharatnam의 이론에 의하면 빛이 얻는 기하학적인 위상은 Poincaré sphere에서 빛의 편광상태의 이동 경로가 처음으로 되돌

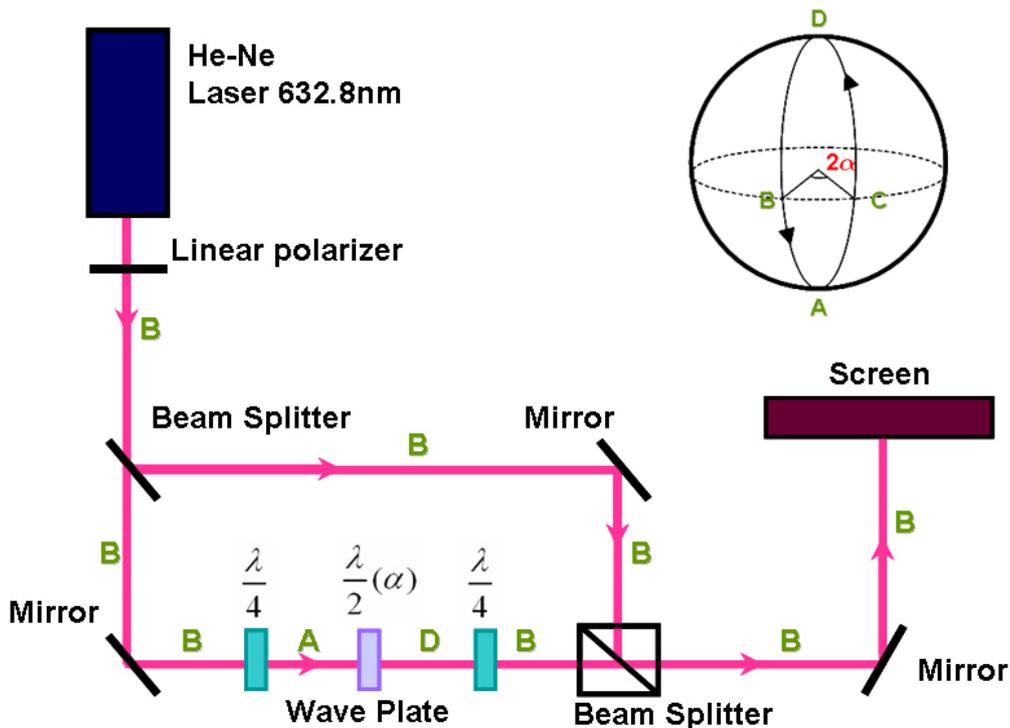


그림 1 실험장치도와 그에 따른 Poincaré sphere에서 빛의 경로

아왔을 경우, 즉 주기적인 변화를 일으켰을 경우 발생하며 이 때 빛이 얻는 기하학적인 위상의 양은 이 경로가 이루는 입체각의 절반과 같다.<sup>(1)(2)</sup>

또한 Poincaré sphere에서 빛이 선택하는 경로는 일반적으로 처음 상태와 마지막 상태를 잇는 가장 짧은 거리 즉, geodesic arc를 따르게 된다. 이와 같은 성질에 의해 빛은 Poincaré sphere에서 특정 위치를 기준으로 phase jump라는 현상을 경험하게 된다.<sup>(3)</sup>

빛의 편광상태에 따른 기하학적 위상의 변화는 간섭계를 구성함으로써 측정할 수 있다. 일반적으로 빛의 위상을 직접적으로 측정하기 어려우나, 간섭무늬를 이용하면 그 변화로부터 위상의 변화를 측정할 수 있다.<sup>(4)</sup> 본 연구에서는 이와 같은 빛의 기하학적 위상에 대하여 이해하였으며 두 개의 quarter wave plate와 한 개의 half wave plate를 이용하여 실험장치를 구성하였고, 이를 이용하여 빛의 기하학적 위상을 실험적으로 측정하였다. 또한 wave plate의 광축을 변화시키는 방법 이외에 액정을 이용하여 빛이 얻는 기하학적 위상에 변화를 주는 방법도 시도하였다. Wave plate의 광축을 변화시키면 Poincaré sphere에서 위도 방향으로 편광상태를 변화시킬 수 있는 반면 액정에 전기장을 걸어 굴절률을 변화시키면 Poincaré sphere의 경도 방향으로 편광 상태를 변화시킬 수 있다. 본 연구에서는 이를 이용하여 빛의 phase jump 현상에 대해 연구하였다.

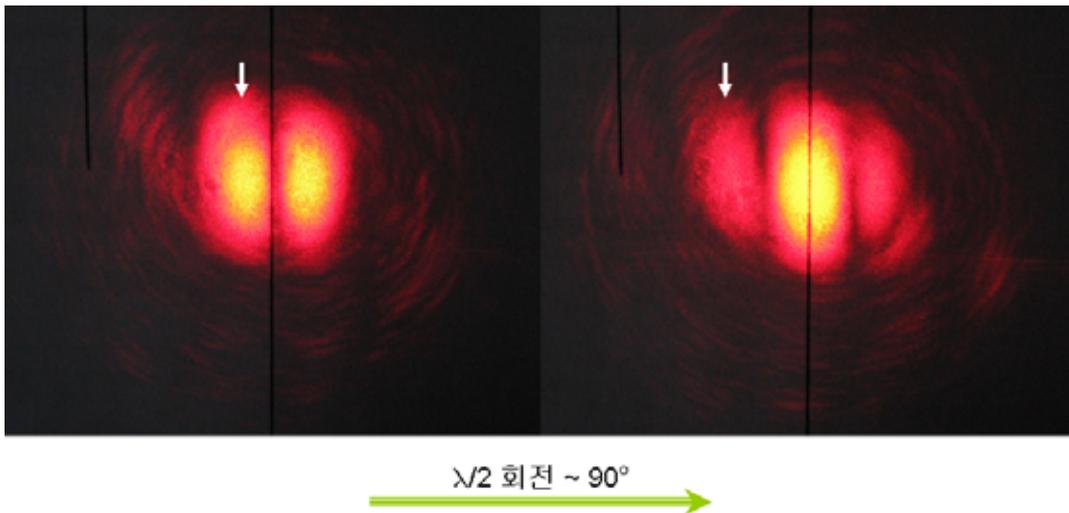


그림 2 Half wave plate의 광축 변화에 따른 간섭무늬의 변화

1. Rajendra Bhandari, "Observation of non-integrable geometric phase on the Poincaré Sphere", Physics Letters A 133, 1 (1988).
2. Rajendra Bhandari, "Synthesis of general polarization transformers. A geometric phase approach", Physics Letters A 138, 469-473 (1989).
3. Rajendra Bhandari, "SU(2) phase jumps and geometric phases", Physics Letters A 157, 221-225 (1991).
4. P. Hariharan, Sushil Mujumdar and Hema Ramachandran, "Simple demonstration of the Pancharatnam phase as a geometric phase", Journal of Modern Optics 46, 1443-1446 (1999).