



※ 본 연구동향은 양자정보연구지원센터 뉴스레터의 내용입니다.

극저온 분자를 이용한 양자정보 연구동향

[작성: 고려대 채은미 교수]

최근 극저온 중성 분자가 우수한 확장성, 정확한 큐비트 제어 능력을 갖출 수 있는 차세대 양자 시스템으로 주목받고 있습니다. 분자가 가진 고유한 특징들 - 진동, 회전과 같은 내부 에너지 구조, 큰 전기 쌍극자 모멘트, tensor polarizability 등 - 이 어우러져, 풍부하면서 제어가 가능한 독자적인 양자 플랫폼을 형성하리라 기대되고 있습니다. 특히, 분자의 회전 자유도는 1. 긴 수명을 가지며, 2. 강한 전기 쌍극자 상호작용을 유도할 수 있고, 3. 수 GHz에서 수십 GHz의 마이크로파로 손쉽게 제어할 수 있기 때문에, 양자 정보 연산을 위한 분자의 핵심 특징이라고 할 수 있습니다.

극저온 분자를 만드는 방법은 크게 두 가지로 분류됩니다. 하나는 극저온 원자 두 개를 그 온도를 유지하며 결합시키는 방법이고, 다른 하나는 원자처럼 분자 기체를 만든 후 레이저를 이용하여 극저온까지 냉각시키는 방법입니다. 두 가지 방법 모두 레이저 기술 발달과 함께 최근 10여년 동안 눈부신 성과를 이루어, 나노 켈빈에서 마이크로 켈빈의 온도를 가진 분자를 광격자 혹은 광집계에 포획하는 데 성공하였습니다.

양자 정보 연구의 첫 스텝은 큐비트를 형성하는 것입니다. 분자에서는 안정적인 초미세 구조를 이용하여 저장용 큐비트를 만들고, 강한 전기 쌍극자 상호작용을 야기할 수 있는 회전 구조를 이용하여 연산용 큐비트를 형성할 수 있습니다.(그림 1).

안정적인 양자 연산을 위해서는 이 두 큐비트 상태의 긴 결맞음 시간을 확보하는 것이 중요합니다. 최근 연구에서 저장용 큐비트는 0.7 s[2], 3.3 s[3], 연산용 큐비트는 100 ms[4]까지 확보되어 분자 양자 정보 연구의 기반을 마련하였습니다.

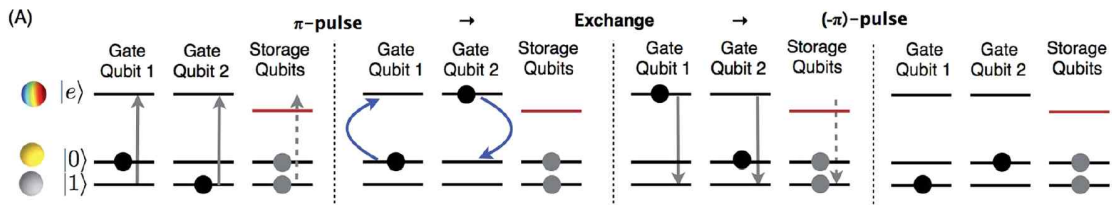


그림 1. 분자를 이용한 iSWAP gate [1]

극저온 중성 분자는 이제 막 연구가 개시된 새로운 양자 플랫폼으로 두 개, 더 나아가 다수의 큐비트의 얽힘 상태 구현, 조작 가능한 큐비트의 개수 늘리기 등 아직 넘어야 할 많은 과제를 가지고 있습니다. 하지만 지난 수년 동안 극저온 원자를 이용한 연구가 이루어낸 성과에 비추어볼 때, 근시일 내에 분자가 가진 더 많은 자유도를 활용한 다채로운 양자 연산이 가능하리라 기대됩니다.

[1] K. -K. Ni et al., Chemical Science 9, 6830 (2018).

[2] J. W. Park et al., Science 357, 372 (2017).

[3] J. Lin et al., arXiv:2111.10013.

[4] S. Burchesky et al., Physical Review Letters 127, 123202 (2021).