



※ 본 연구동향은 양자정보연구지원센터 뉴스레터의 내용입니다.

점결합을 이용한 양자 네트워크 연구 동향

[작성: 광주과학기술원 이상운 교수]

양자메모리를 갖춘 여러 양자 노드를 스핀-광자 인터페이스를 이용하여 광자 네트워크에 연결하고 원격으로 얽힘 상태를 유도해낼 수 있다면 양자 네트워크를 구성하는 것이 가능하다. 양자 네트워크는 양자 중계기 기반의 장거리 양자통신을 가능케 할 수 있을 뿐 아니라, 소규모 양자컴퓨팅 장치를 네트워크에 분산 연결하는 것으로 양자 노드의 집적률 한계를 극복하여 양자컴퓨팅에 필요한 충분한 큐비트 자원을 확보하는 방법으로 알려져 있다. 지난 십여 년 동안 이온, 중성원자, 원자 앙상블, 고체 점결합을 이용하여 두 개의 양자 노드 간 원격 얽힘을 구현하는 데에 성공하였고, 최근에는 높은 원격 얽힘 성공률, 장거리 원격 얽힘 등이 시연되는 등 주목할 만한 성과가 발표되었다. 하지만 지금까지 연구 개발된 양자 네트워크가 두 개의 양자 노드를 연결한 수준에 머물러 있었기 때문에 확장성에 대한 검증이 필요한 상황이었다.

올해 4월, 이에 대한 해답이 될 수 있는 연구 성과가 사이언스에 발표되었는데, 네덜란드 QuTech의 R. Hanson 교수 연구팀이 고체 점결합 중 하나인 다이아몬드 NV 센터를 이용하여 세 개의 양자 노드가 얽힌 상태(GHZ 상태)의 양자 네트워크 구현에 성공한 것이다 [1]. 원리는 알고 보면 간단하다. 앨리스, 밥, 찰리가 각각 다이아몬드 NV 센터 하나씩을 가지고 있으며, 이들의 전자스핀 간 원격 얽힘을 유도한다. 처음에는 앨리스와 밥 각각에서 전자스핀과 얽힌 상태의 광자를 방출시키고 두 광자를 간섭시키 두 노드 간 얽힘을 형성한다. 그런데 밥의 전자스핀에는 양자 메모리 수명이 훨씬 긴 탄소 13 핵스핀이 결합되어 있어서 전자스핀의 양자 상태를 핵스핀으로 옮길 수 있다. 이 정보가 저장되어 있는 동안, 밥과 찰리 사이에 같은 방법으로 얽힘을 형성하는 데에 성공하면 세 개의 양자 노드 얽힘에 성공하게 된다. 물론, 이 간단해 보이는 프로토콜을 실제로 구현하기는 쉽지 않다. 지금까지 전 세계에서 한 그룹만 성공했다.

물론, GHZ 상태 생성률이 백 초에 한 번 정도에 그치고 있어서 실용적인 네트워크를 구현하기까지는 넘어야 할 산이 많다. 하지만 실용성에 대한 고민을 잠시 미뤄둘 수 있다면, SF 창작물에 등장할 듯한 네트워크가 등장하는 시대에 살고 있다는 기쁨을 충분히 만끽할 수 있을 것이다. 게다가, 지난 십여 간 기술적 난제를 극복할 때마다 효율이 수만 배씩 상승했었다는 점은 더욱 고무적이다.

<참고문헌>

[1] Pompili, M. et al. Realization of a multinode quantum network of remote solid-state qubits. Science 372, 259 LP – 264 (2021).

