2025년 노벨 물리학상, 거시적 회로에서 양자 효과를 규명

(2025.10.29., 양자정보연구지원센터)

□ Clarke, Devoret, Martinis, 거시적 회로에서 양자 효과를 규명한 공로로 2025년 노벨 물리학상 수상

○ 수상 개요

- 스웨덴 왕립과학원은 존 클라크(John Clarke), 미셸 드보레(Michel H. Devoret), 존 마르티니스(John M. Martinis) 세 명의 물리학자에게 2025년 노벨 물리학상을 공동 수여함
- 수상 사유: **거시적 전기회로에서 양자역학적 터널링과 에너지 양자화 현상을 발견**한 공로
- 이 연구는 1980년대 수행된 실험으로, 양자 현상이 미시 세계를 넘어 거시적 규모에서도 나타날 수 있음을 처음으로 실증함

○ 연구 배경

- 양자역학은 원자나 전자처럼 매우 작은 입자의 세계를 설명하는 이론으로, 고전 물리학으로는 설명할 수 없는 '터널링(tunneling)'과 '에너지 양자화(quantization)' 현상을 예측함
- 그러나 이러한 현상은 오랫동안 단일 입자나 원자 단위에서만 관찰 가능한 것으로 여겨져 왔음
- 세 수상자는 이를 거시적 회로 수준으로 확장하여 실험을 설계함으로써, 고전과 양자의 경계(boundary) 에 대한 물리학의 근본적 질문에 도전함

○ 주요 연구 내용

- 1984~1985년 사이, 세 연구자는 초전도체(superconductor) 와 조셉슨 접합(Josephson junction) 으로 구성된 회로를 제작함
- 조셉슨 접합은 두 초전도체 사이에 매우 얇은 절연층을 삽입한 구조로, 전류가 저항 없이 흐르며 양자적 특성을 띠는 장치임

- 냉각된 상태에서 회로를 정밀 측정한 결과, 전류가 연속적으로 변화하지 않고 이산적인 에너지 준위(quantized energy levels) 사이를 ‘도약(jump)’ 하는 현상이 관찰됨
- 또한 회로가 안정된 영전압 상태에서 양자 터널링을 통해 빠져나오는 현상이 관찰되었으며, 이는 거시적 전기 시스템에서도 양자 터널링이 가능함을 입증한 최초의 사례임
- 해당 결과는 단순히 이론적 예측의 검증을 넘어, 거시적 양자 상태(macroscopic quantum states) 가 실험적으로 생성되고 제어될 수 있음을 보여줌

ㅇ 연구 의의 및 영향

- 스웨덴 왕립과학원은 본 연구를 “전기회로 내 거시적 양자역학적 터널링과 에너지 양자화 발견”으로 공식 인용함
- 초기에는 순수 기초물리 연구로 수행되었으나, 이후 이 실험은 **초전도 큐비트(superconducting qubit) 기술의 기반**이 되었음.
- 즉, 양자컴퓨터 및 양자센서와 같은 첨단 기술의 핵심 원리가 된 거시적 양자 일관성(macroscopic quantum coherence) 개념을 정립함
- 이들의 실험은 고전적 회로 시스템에서도 양자 상태를 구현할 수 있음을 증명하여, 양자-고전 간 경계가 절대적이지 않음을 제시함
- 또한, 온도·재료·회로 설계를 통해 이 경계를 인위적으로 제어할 수 있음을 보여줌으로써, 현대 양자정보과학의 물리적 토대 마련함
- 철학적 측면에서도, “얼마나 큰 시스템까지 양자 거동을 보일 수 있는가?” 라는 물리학의 근본적 질문에 중요한 단서를 제공함
- 이러한 통찰은 이후 양자 어닐링, 초전도 큐비트, 정밀 측정 장치 등의 연구로 확산되어, 미세 자기장 및 중력 신호 감지 기술로 응용되고 있음

ㅇ 현대 기술과의 연계

- 세 연구자의 발견은 오늘날 **구글(Google) 과 IBM 이 개발한 양자컴퓨팅 플랫폼의 기반**이 되었음

- 마르티니스는 구글 양자컴퓨터 개발팀을 이끌며, 2019년 Nature 논문을 통해 양자 우월성(quantum supremacy) 을 선언함
- 그는 이후 2022년 Qolab을 공동 설립하여 CTO로 활동 중임
- 드보레는 현재 Google Quantum AI의 수석 과학자(Chief Scientist)로 재직 중이며, 초전도 양자회로 연구를 선도함
- 클라크는 UC 버클리(University of California, Berkeley) 교수로 재직 중이며, SQUID(초전도 양자간섭장치) 개발을 통해 정밀 자기 측정 기술 발전에 기여함

ㅇ 수상자 약력

- **존 클라크 (John Clarke)** : 1942년 영국 케임브리지 출생, 1968년 케임브리지 대학 박사, 현재 UC 버클리 교수, 초전도 양자간섭장치(SQUID) 및 저온물리학 분야 선구자
- **미셸 H. 드보레 (Michel H. Devoret)** : 1953년 프랑스 파리 출생, 1982년 파리-쥐드 대학(Paris-Sud University) 박사, 예일대(Yale University) 및 UC 산타바바라 교수, Google Quantum AI 수석 과학자
- **존 M. 마르티니스 (John M. Martinis)** : 1958년 미국 출생, 1987년 UC 버클리 박사, UC 산타바바라 교수, 구글 양자컴퓨터 개발 주도, Qolab CTO

ㅇ 결론

- 이번 수상은 양자역학이 미시 세계에만 국한되지 않음을 증명한 역사적 연구를 기념함
- 세 연구자의 실험은 현대 양자정보기술의 기반을 확립하였으며, 향후 양자컴퓨팅・양자센싱・양자통신 등 다음 세대 과학기술 혁신의 출발점으로 평가됨
- 수상자들은 총 1,100만 스웨덴 크로나(약 120만 달러) 의 상금을 공동 수상함

(원문)

1. https://thequantuminsider.com/2025/10/07/clarke-devoret-and-martinis-win-2025-nobel-prize-in-physics-for-revealing-quantum-effects-in-macroscopic-circuits/