

양자 컴퓨터, 핵심 입자 물리학 계산에서 우위 보인다

(2025.03.20., 양자정보연구지원센터)

□ 양자 컴퓨터, 고에너지 입자 물리학 계산에서 기존 슈퍼컴퓨터보다 우수한 성능 발휘

○ 개요

- Quantinuum과 Freiburg 대학의 공동 연구에 따르면, 양자 컴퓨터가 고에너지 물리학 실험에서 입자 산란을 설명하는 ‘cross section’ 계산을 기존 슈퍼컴퓨터보다 빠르게 처리할 수 있다고 발표
- 이 연구는 양자 컴퓨팅이 입자 물리학 연구에서 거대한 계산 요구를 해결할 가능성을 제시함
- 양자 컴퓨터가 어떻게 고에너지 물리학 연구에서 계산 시간을 단축시킬 수 있는지에 대한 통찰을 제공

○ 고에너지 물리학에서 교차 섹션 계산의 중요성

- (교차 섹션과 계산 문제) 고에너지 물리학에서는 입자 충돌 시 발생하는 상호작용 가능성을 나타내는 교차 섹션이 핵심 개념
- LHC와 같은 대형 실험에서는 수십억 건의 충돌로 엄청난 양의 데이터가 생성되며, 이 데이터를 해석하려면 교차 섹션 계산이 필요
- 기존 방법은 이 계산을 수행하는 데 수십억의 CPU 시간을 소모하며, 이로 인해 몬테카를로 시뮬레이션이 주요 계산 병목현상으로 자리잡고 있음

○ 양자 몬테카를로 통합법(QMCI, Quantum Monte Carlo Integration)의 적용

- (양자 알고리즘 개발) 연구팀은 양자 몬테카를로 방법(QMCI)을 이용하여 교차 섹션 계산을 더 효율적으로 수행할 수 있는 양자 알

고리즘을 개발

- 기존의 몬테카를로 방법은 많은 샘플을 통해 근사값을 구하는데, 양자 방법은 이보다 두 배 빠른 속도로 동일한 정확도를 제공
- QMCI는 복잡한 함수들을 사인과 코사인 항들의 합으로 표현하여 계산을 단순화하고 속도 이점을 제공

○ Fourier 양자 몬테카를로 통합법

- (Fourier 기반 방법 사용) 연구팀은 Fourier 기반 방법을 사용하여 QMCI 알고리즘의 변형을 적용, 이를 Fourier 양자 몬테카를로 통합법이라고 명명
- 이 방법은 복잡한 문제를 파동처럼 보이는 항들로 분해하고, 각 항을 보다 효율적으로 처리하여 계산을 간소화함
- 이를 통해 예를 들어, 입자 붕괴 계산에서 복잡한 적분을 더 쉽게 처리할 수 있게 됨

○ 양자 알고리즘의 효율성

- (적은 샘플로 동일한 정확도) 고전적 시뮬레이션에서는 수백만 또는 수십억 개의 샘플을 사용해야 하지만, 양자 알고리즘은 훨씬 적은 샘플로 동일한 수준의 정확도를 달성
- 양자 알고리즘은 샘플 수가 증가할수록 오류가 제곱 방식으로 감소, 즉 고전적 알고리즘이 백만 개의 샘플을 필요로 하는 반면, 양자 알고리즘은 천 개의 샘플로도 같은 결과를 얻을 수 있음

○ 양자 컴퓨터의 제한사항과 향후 연구 방향

- (현재 양자 하드웨어의 한계) 현재 양자 하드웨어는 이 알고리즘을 실행할 수 있는 충분한 용량을 갖추지 못해 전체 입자 물리학 시뮬레이션을 위한 계산을 수행하기에는 한계가 있음
- 양자 컴퓨터가 상용화되기 위해서는 수백만 개의 양자 게이트 작업과 큐비트가 필요하며, 이는 현재 상용 장비로는 불가능함

- 그러나 양자 컴퓨팅이 결합 허용 기계로 발전함에 따라, 계산 자원의 요구사항은 점차 해결될 것으로 예상

- 향후 양자 컴퓨팅의 응용 가능성

- (다양한 분야에 미치는 영향) 양자 컴퓨터는 고에너지 물리학뿐만 아니라 금융 모델링, 날씨 예측 등 복잡한 적분을 요구하는 다른 분야에서 효율성을 크게 향상시킬 수 있음

- 고에너지 물리학에서의 빠르고 정확한 계산은 이론 검증과 실험 설계에 중요한 역할을 하며, 이를 통해 더 효율적인 실험과 데이터 해석이 가능해짐

- 또한, 양자 컴퓨팅은 반도체, 의료 영상, 암 치료 등 다양한 기술 발전에 기여할 수 있으며, 고성능 컴퓨팅, 인공지능, 핵융합 연구 등에도 영향을 미칠 것으로 예상됨

- 양자 컴퓨팅의 실용성 및 미래 전망

- 이번 연구는 양자 컴퓨터가 입자 물리학의 계산 효율성을 크게 개선할 수 있음을 증명하는 가능성을 보여줌

- 양자 컴퓨터가 실용적인 수준으로 발전할 경우, 고에너지 물리학 연구를 포함한 다양한 분야에서 중요한 영향을 미칠 것으로 기대됨

(원문)

1. <https://thequantuminsider.com/2025/03/08/quantum-computers-show-advantage-in-key-particle-physics-calculations/>