BT & QT

바이오 기술혁명 앞당기는 **퀀**텀컴퓨팅

고등과학원 김재완

- 양자물리학
- 비트와 큐비트
- 양자컴퓨터
- 양자컴퓨터의 응용: 바이오 기술

양자물리학

- 1874 , 막스 플랑크의 지도교수

  “이제 물리학 분야에서는 거의 완성되어서 이제 별로 할 일이 없다네 …”

- 1899: 찰스 두엘, 미국 특허청장

  :(잘못 알려진 것으로 알려져 있지만 상당수가 이미 그렇게 생각했음)

  “세상에서 발명될만한 것은 다 발명되었다!”

  산업혁명, 백열등, 무선전신, 영화 등등.

- 뉴턴의 고전물리학; 라플라스의 결정론적인 세계관

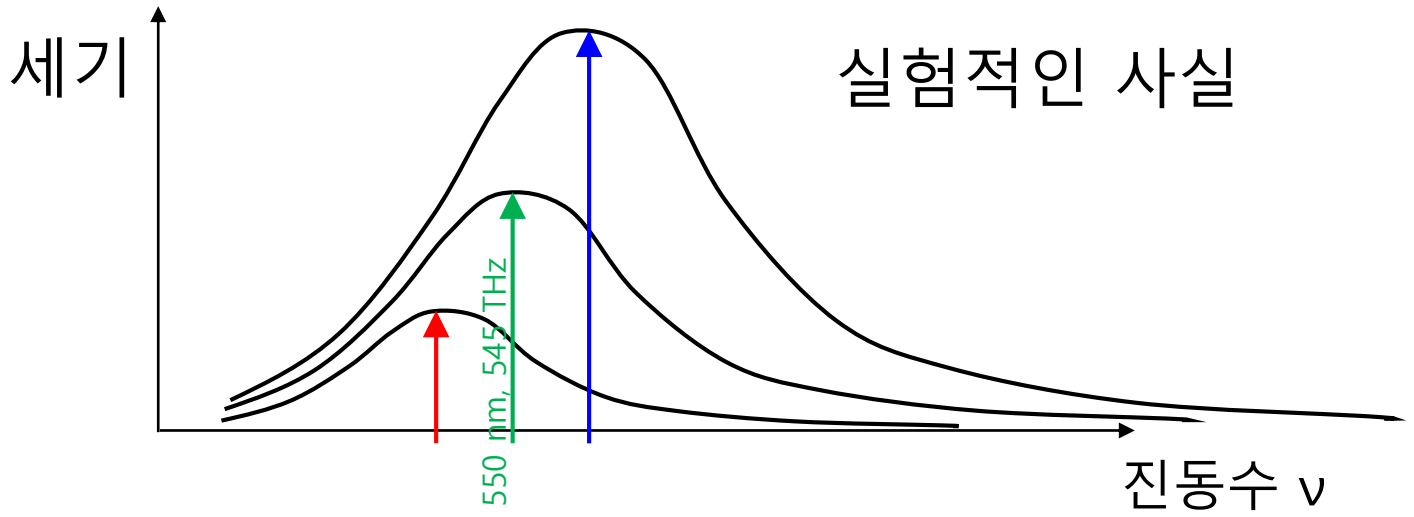
- 맥스웰의 전자기 이론: 빛은 전자기파

1900년, 플랑크, 양자물리학

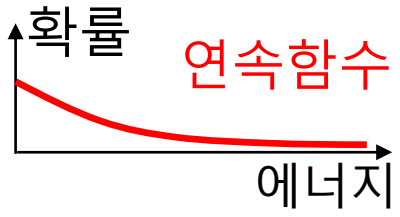
- 흑체복사

  뜨거워질수록 붉어지다가 노랗게 되다가 하얗게 빛난다.

  (긴 파장/낮은 진동수) → (짧은 파장/높은 진동수)



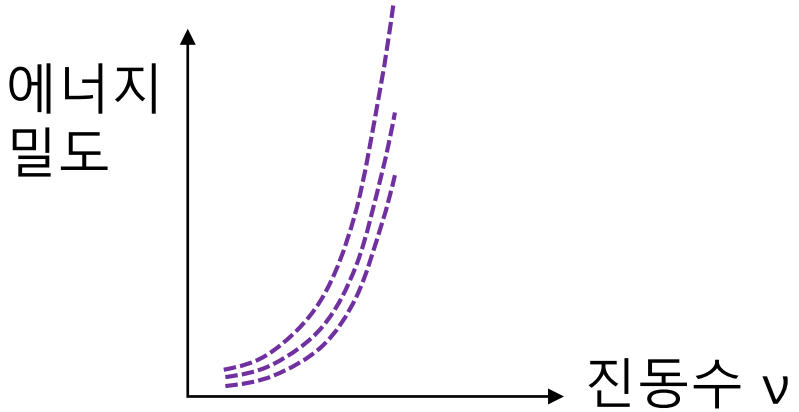
고전물리학



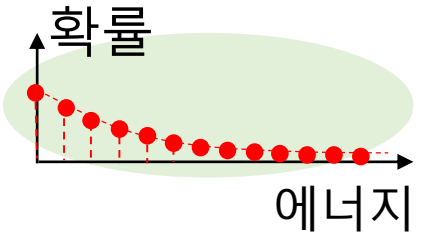
$$\langle E \rangle = \frac{\int_0^\infty E e^{-E/kT}}{\int_0^\infty e^{-E/kT}} = kT$$

적분

➔ $u(\nu, T) \sim \nu^2 kT$



플랑크의 양자가설



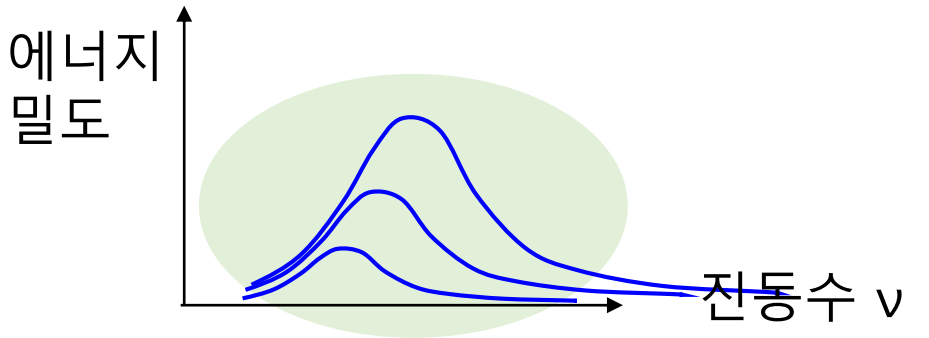
$$E = nh\nu$$

n : 0, 자연수

h : 플랑크 상수

$$\langle E \rangle = \frac{\sum_0^\infty (nh\nu) e^{-nh\nu/kT}}{\sum_0^\infty e^{-nh\nu/kT}} = \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

➔ $u(\nu, T) \sim \frac{h\nu^3}{e^{h\nu/kT} - 1}$



물리량이 연속적이지 않고 덩어리져 있다

➔ 양자(量子, quantum)

양자물리학 : 자연의 궁극적 원리

➔ 궁극적 기술

- 연금술 (Alchemy) ➔ 화학 (Chemistry)
- 생명현상: DNA, 시각, 후각, 청각, 광합성 등.
- 반도체, 레이저 ➔ 20세기 정보통신 혁명

스무고개

- 동물입니다. • 예(1), 아니오(0)
- 다리가 넷인가요? • 예(1), 아니오(0)
- 초식성인가요? • 예(1), 아니오(0)

.

.

.

- 호랑이입니까? • 예(1), 아니오(0)

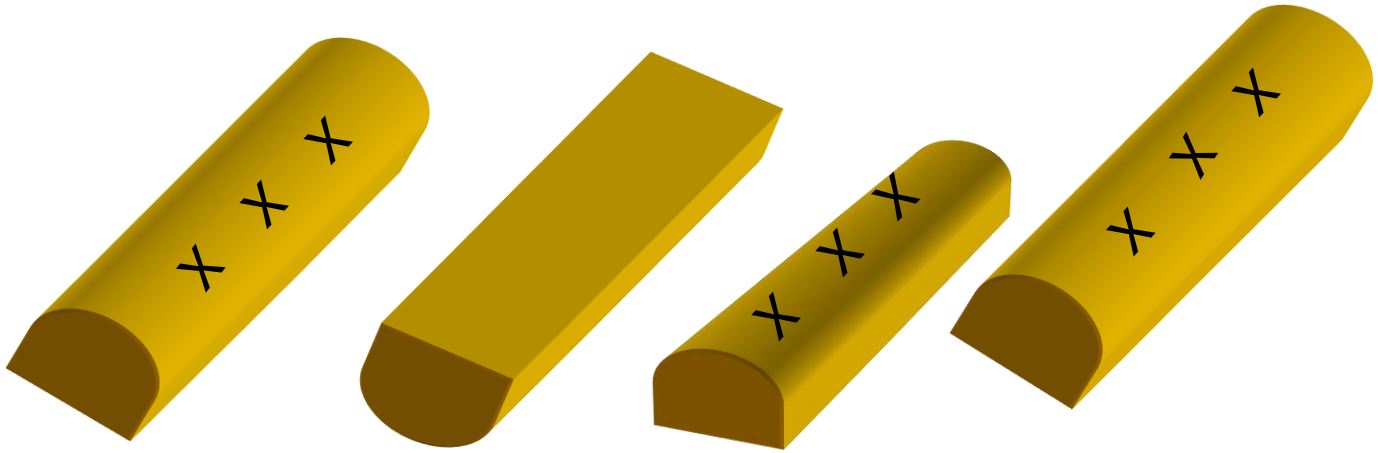
It from Bit

휠러

음(--) 양(—)

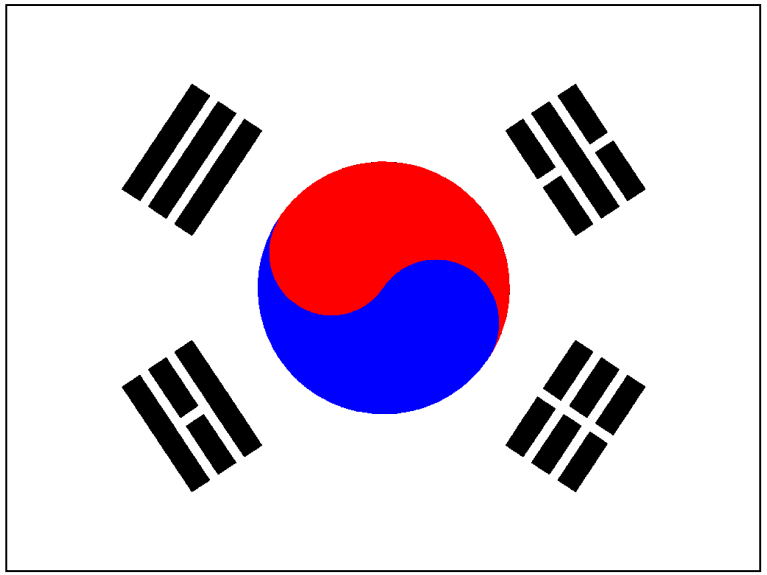
(易經=역경=주역)

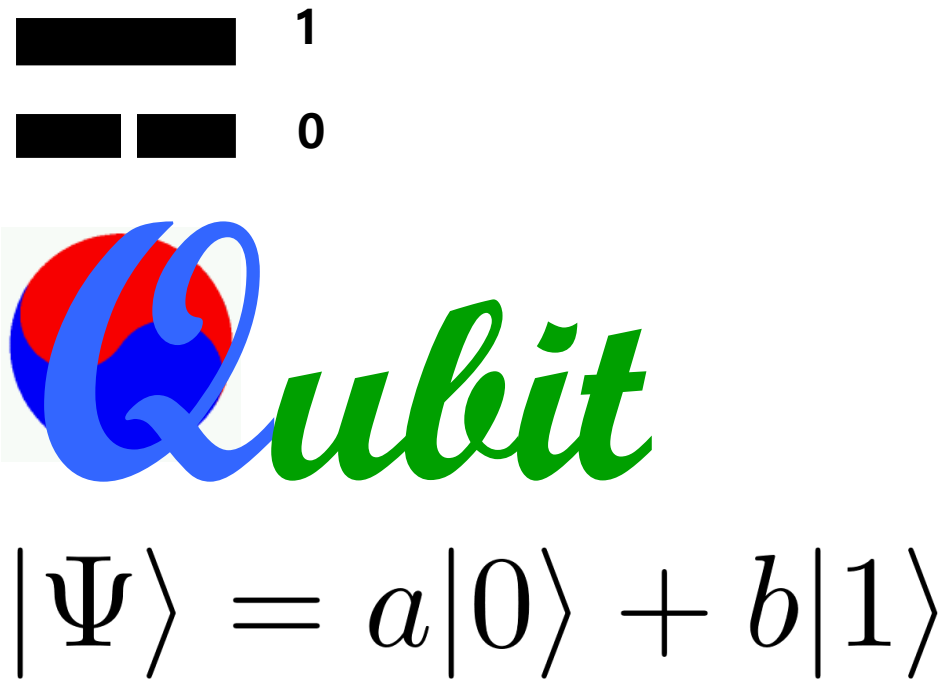
윳 (한국형 주사위)



1 0 1 1

태극기

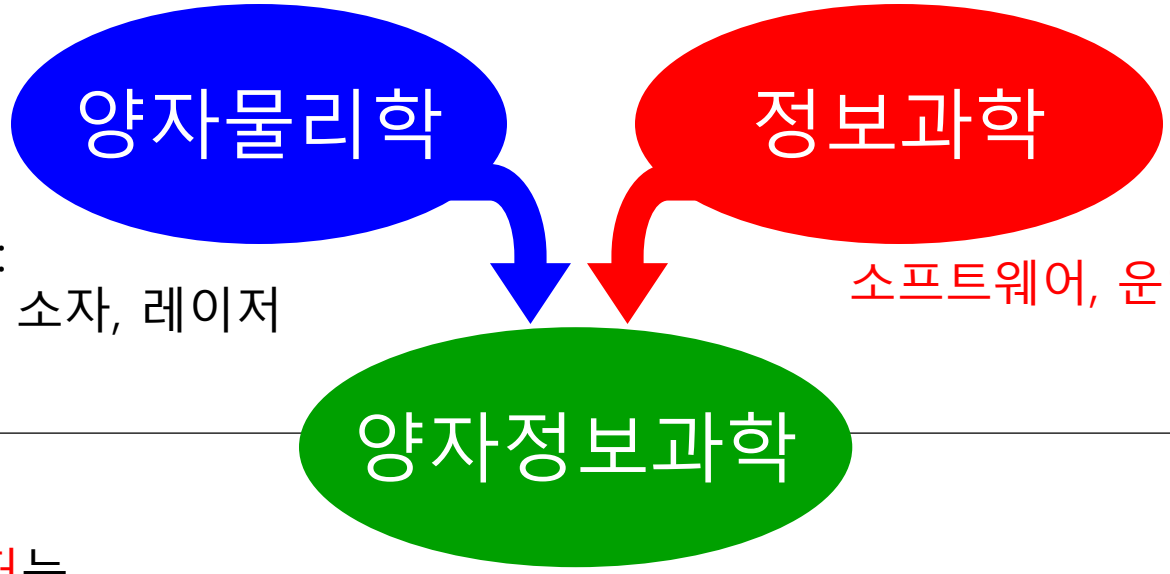




$$|\Psi\rangle = a|0\rangle + b|1\rangle$$

큐비트(Qubit) = 양자비트(quantum bit)

Businessweek 8/30/ 1999 21 Ideas for the 21st Century



하드웨어:
반도체 소자, 레이저

소프트웨어, 운영체제:

양자병렬성

→ 양자컴퓨터는

디지털보다 지수함수적으로 크고 빠른 계산을 할 수 있다.

양자푸리에변환, 데이터 검색,

양자다체문제 ➔ 나노기술, 계산화학, 바이오

양자정보의 복사불가능성, 양자측정의 비가역성

→ 양자암호 (절대안전한 통신)

양자얽힘의 양자상관성

→ 양자텔레포테이션, 양자초압축코딩, 양자암호, 양자이미징, 양자계측

20세기 정보통신기술

- 하드웨어 ← 양자물리학
  반도체, 레이저

- 소프트웨어, 운영체제 ← 수학, 정보과학
  폰노이만, 튜링, 섀넌

나노기술

- 1 nm(nano meter)=10^{-9}m
  - C-C 결합길이= 0.12~0.15 nm

- **무어**의 법칙

  반도체 집적도는 4년에 3배가 된다.

  트랜지스터의 크기: cm → nm → ?
  kB → MB → GB → TB → PB → EB → ZB → YB → ?

  Peta, Exa, Zetta, Yotta, …

  cf. pico, femto, atto, zepto, yocto, xona, weco, …

나노기술의 한계 ➔ 양자정보과학

길이가 나노미터 정도로 된다

→ 미시세계는 양자물리학으로 지배된다

→ 양자 불확정성 원리

→ 0과 1(비트)를 구분하기 어려워짐

→ 디지털 정보에 치명적

→ 무어 법칙의 끝, 나노기술의 한계

➔ 양자불확정성을 피하려는 소극적 대응보다

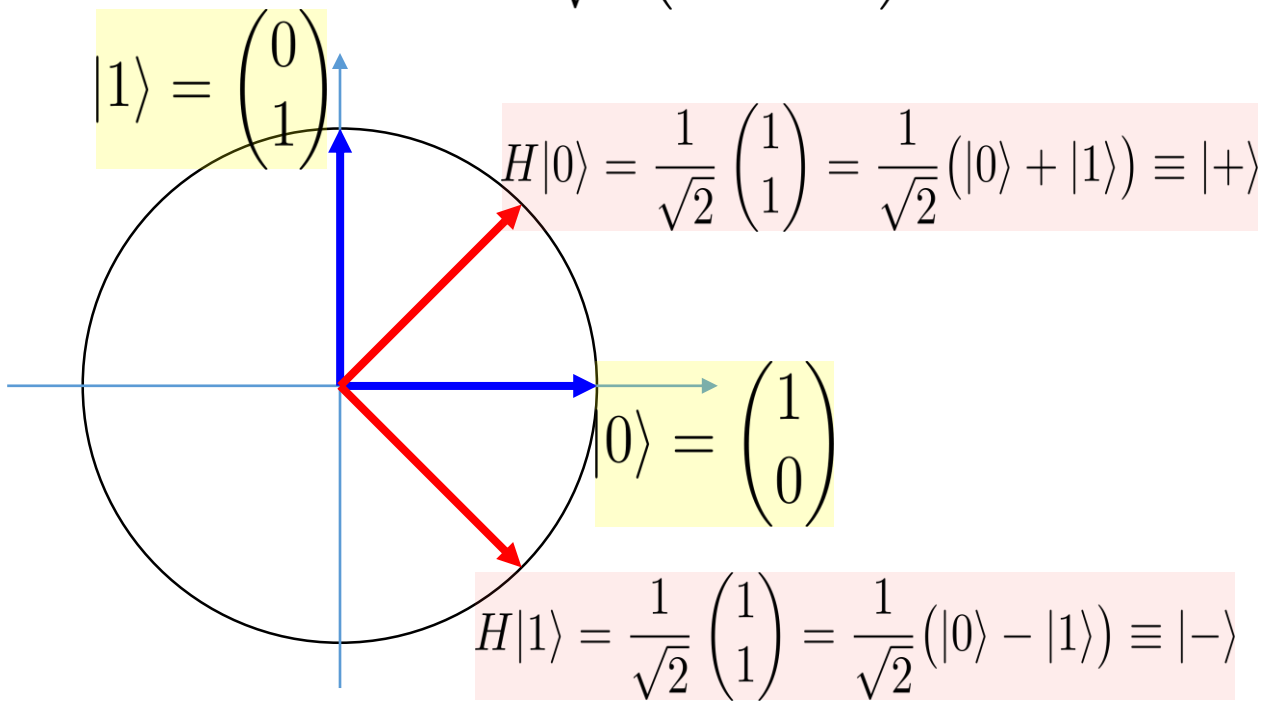
➔ 양자현상을 적극적으로 활용하려는 대응

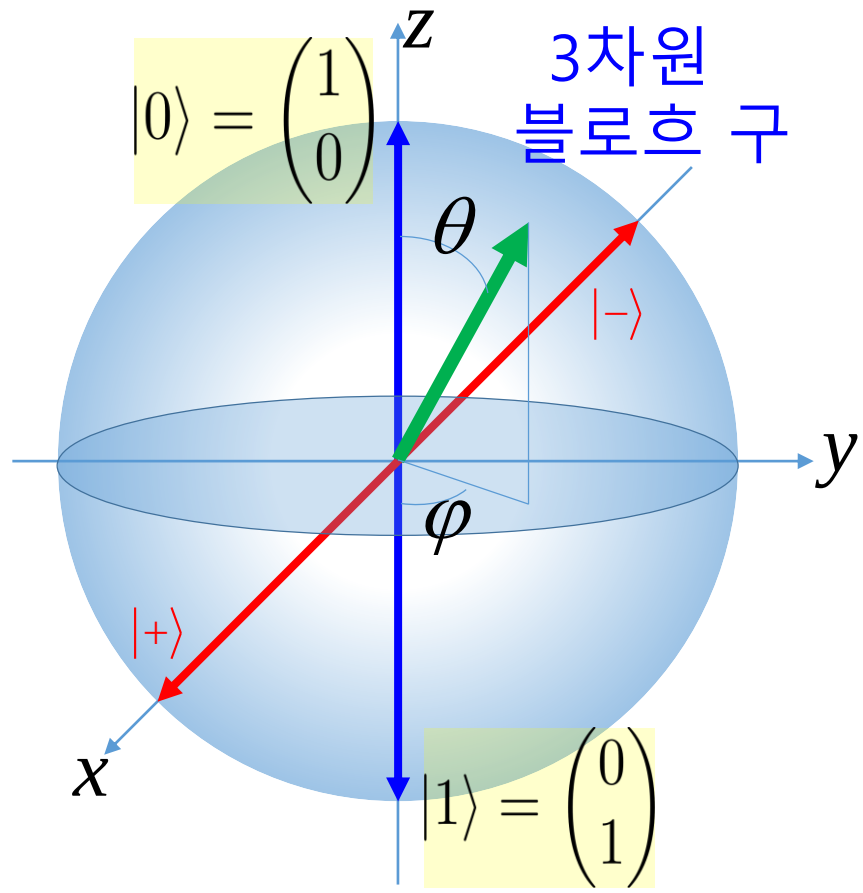
➔ 양자정보과학

비트 {0,1} ➔ 양자비트/큐비트 $\{|0\rangle, |1\rangle\}$

하다마드 게이트

$$H = \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}$$





블로흐 구 표면 위의 순수 상태

$$|\psi\rangle = e^{i\gamma}\left(\cos\frac{\theta}{2}|0\rangle + e^{i\varphi}\sin\frac{\theta}{2}|1\rangle\right)$$

하다마드 게이트

큐비트 한 개

$$H|0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(|0\rangle + |1\rangle\right)$$

"0과 1을 한꺼번에"

큐비트 N 개

$$H_1 \otimes H_2 \otimes \cdots \otimes H_N \;\; |0\rangle_1 \otimes |0\rangle_2 \cdots \otimes |0\rangle_N$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2}}\left(|0\rangle_1 + |1\rangle_1\right) \otimes \frac{1}{\sqrt{2}}\left(|0\rangle_2 + |1\rangle_2\right) \otimes \cdots \otimes \frac{1}{\sqrt{2}}\left(|0\rangle_N + |1\rangle_N\right)$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2^N}}\left(|0_1 0_2 \cdots 0_N\rangle + |1_1 0_2 \cdots 0_N\rangle + \cdots + |1_1 1_2 \cdots 1_N\rangle\right)$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2^N}} \sum_{k=0}^{2^N-1} |k(\text{ 이진법 표현 })\rangle$$

"000...00부터 111...11까지

2^N 가지 경우 모두를 한꺼번에"

디지털 정보

- 비트
- 0 또는 1, 둘 중의 하나만.
- 비트 4 개로,

  0000, 0001, 0010, 0011,
  0100, 0101, 0110, 0111,
  1000, 1001, 1010, 1011,
  1100, 1101, 1110, 1111

모두 $16=2^4$ 가지 경우를,
한 번에 하나씩

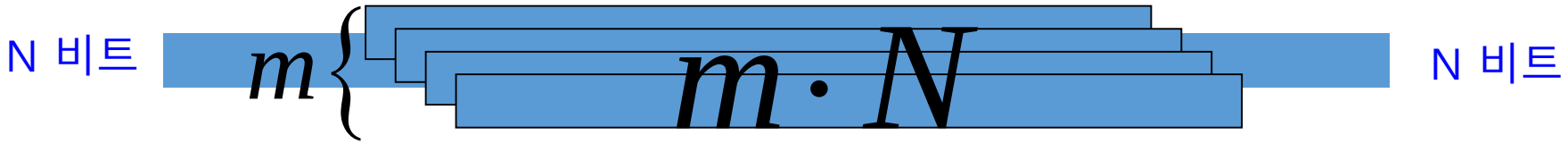
양자 정보

- 양자비트 = 큐비트
- 0 and 1 의 양자중첩: 둘 다 한꺼번에.
  ≠ 퍼지논리 (Fuzzy Logic)
- 큐비트 4 개로
- $$(|0\rangle+|1\rangle)\otimes(|0\rangle+|1\rangle)\otimes(|0\rangle+|1\rangle)\otimes(|0\rangle+|1\rangle)$$
$$= |0000\rangle + |0001\rangle + |0010\rangle + |0011\rangle$$
$$+|0100\rangle + |0101\rangle + |0110\rangle + |0111\rangle$$
$$+|1000\rangle + |1001\rangle + |1010\rangle + |1011\rangle$$
$$+|1100\rangle + |1101\rangle + |1110\rangle + |1111\rangle$$

$16=2^4$ 가지 경우
모두를 한꺼번에.

디지털컴퓨터

병렬 디지털컴퓨터



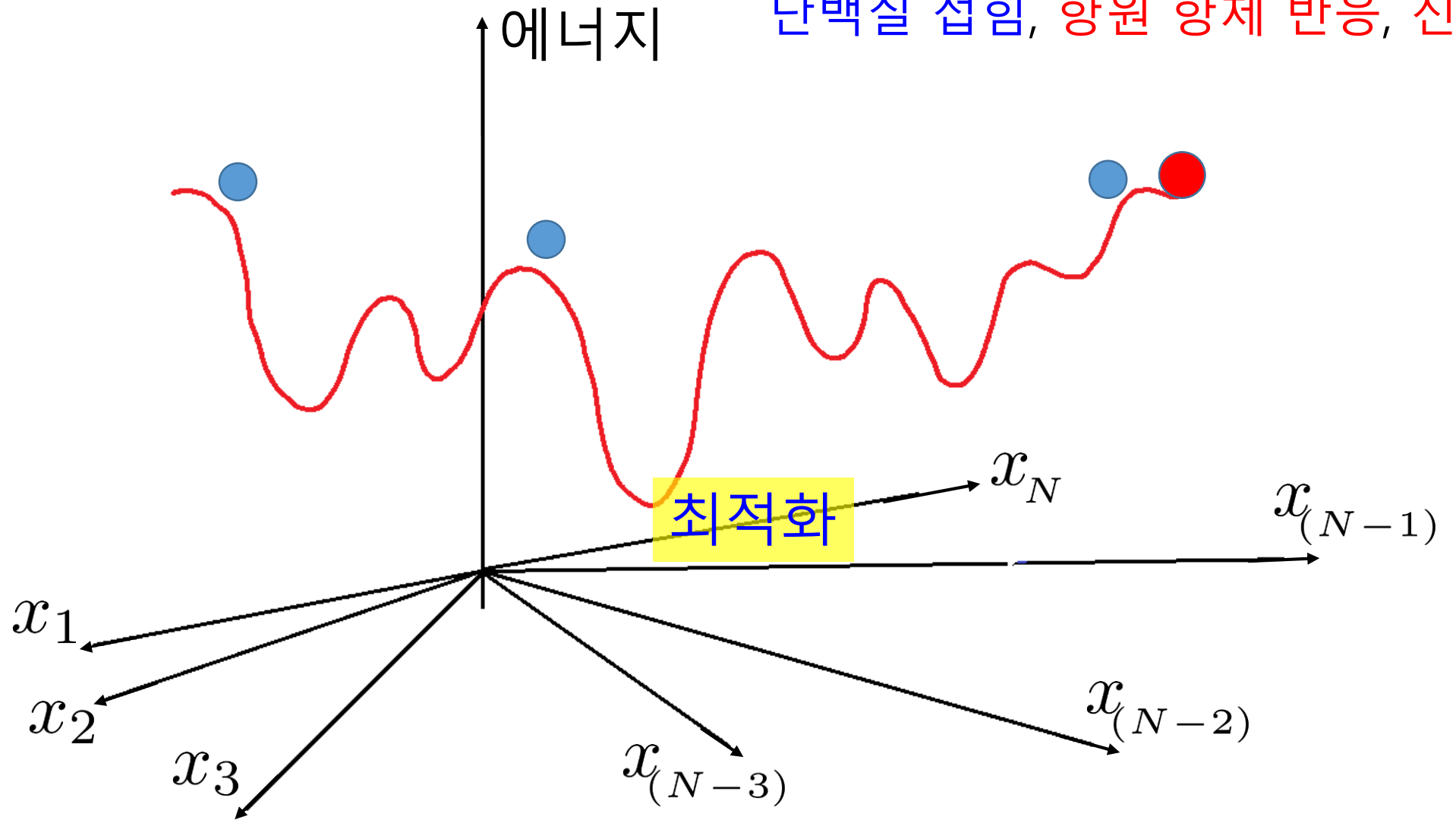
양자컴퓨터: 양자병렬성

성능비교

디지털 컴퓨터		양자컴퓨터
양자물리학	하드웨어	양자물리학
정보이론	소프트웨어 /운영체제	양자물리학 + 정보이론
$2^{N^{1/3}}$ 불가능	큰 수의 소인수분해 2000 자릿수	N^3 → IT 몇 분 ~ 몇 일
$\frac{N}{2}$ 50만회	데이터 검색 100만 항목	$\sqrt{N}$ → BT, IT 수 천회
2^N 불가능	양자다체문제 전자 50개	N^C → NT, IT, BT 큐비트 50~1000개

DNA → RNA → 단백질

단백질 접힘, 항원 항체 반응, 신약 개발 등



DNA → RNA → 단백질

단백질 접힘, 항원 항체 반응, 신약 개발 등

- 분자 동역학 시뮬레이션
  시뮬레이티드 어닐링(풀림)
  → 양자 어닐링, Coherent Ising Machine, 단열양자계산
- 정보과학적 방법 (바이오인포매틱스)
  데이터 검색 → 양자검색(그로버), 양자기계학습
- 다체문제
  지수함수적 복잡도 (e^N) → 선형적 복잡도 (N)

도전은 이제부터

- 구글: 양자 우위 (quantum supremacy)
  2019년 초전도큐비트 53개
  IBM, IonQ, …
- 오류 수정: 양자 오류는 디지털보다 훨씬 심각
  큐비트 수십 개로 논리 큐비트 1 개 역할

- 니스크=NISQ(Noisy Intermediate Scale Quantum)
  오류 수정 없이도 해 볼만한 중간 규모의 양자 기술

- 양자기계학습 (Quantum Machine Learning), 양자 AI 등.