



문의 : 담당자 연락처(02-880-6588)

연구단장/연구책임자 안경원 교수(02-880-8286) / 교신저자

연구단/연구진 김준기 연구원(02-871-2861) / 제1저자

## 단일 원자의 초방사 현상 구현

- 문턱 없는 초방사 레이저, 고효율 양자정보처리를 가능케 함 -

### □ 단일 원자만으로 초방사 발생

#### ○ 원자 하나로 초방사가 가능할까?

물리천문학부 안경원 교수 연구팀은 독자적으로 단일 원자의 초방사 현상을 최초로 구현하여 그 결과를 최고 권위 학술지 사이언스에 출판하였다. 공진기 안에 원자를 하나씩 넣고 초방사를 발생시키는데 성공한 것이다. 초방사가 일어나려면 좁은 공간에 많은 수의 원자가 밀집해 있어야 하는데, 서울대 연구진은 공진기를 매개로 하여 원자 하나로도 초방사를 발생시킬 수 있음을 처음으로 입증한 것이다. 이 결과는 향후 문턱이 없는 레이저의 개발과 고효율 양자정보 처리에 도움이 될 것으로 기대된다.

○ 서울대 물리천문학부 안경원 교수 연구팀(제1저자 김준기 박사)이 독자적으로 수행한 이번 연구는 삼성미래기술육성재단의 지원으로 수행되었고 연구결과는 사이언스(Science)지 12월 21일(목)자 온라인판(First Release)에 우선 게재되었다 (논문명: Coherent single-atom superradiance).

### □ 단일 원자 초방사 원리 및 응용분야

○ 양자중첩상태의 원자가 공진기를 하나씩 통과하면, 공진기 안에 있는 단일 원자와 이미 공진기를 통과한 원자들 사이에 강한 상호작용이 공진기를 통해 유도되어 초방사 현상이 발생함을 관측했다.

○ 공진기가 빛을 가둘 수 있는 시간동안 공진기를 통과한 원자수의 제공에 비례하여 초방사가 발생하였으며, 그 결과 공진기 안에 많은 수의 광자가 축적이 되며 레이저 발진이 이루어졌다.

- o 일반 레이저의 경우 레이저 발진을 위해서는 일정 파워 이상으로 에너지를 공급해야 한다. 그러나 안 교수 팀의 연구에서는 초방사에 의해 레이저 발진이 이루어 지기 때문에 이러한 문턱이 존재하지 않는다. 따라서 이번 연구 결과는 향후 문턱이 없는 고효율 레이저의 개발에 활용될 것으로 전망된다.
- o 아울러 고효율로 원자의 양자 중첩상태를 빛의 중첩상태로 전달할 수 있기 때문에 고효율 양자정보 처리에도 도움이 될 것으로 보인다.

[붙임] 1. 연구결과      2. 용어설명      3. 그림설명  
4. 연구진 이력사항

# 연구 결과

## Coherent Single-Atom Superradiance

Junki Kim, Daeho Yang, Seunghoon Oh, and Kyungwon An  
(Science, *in press*)

원자 하나 하나를 동일한 양자 중첩상태(quantum superposition)로 준비하여 광공진기(optical cavity)를 통과시키면, 공진기 안의 원자수가 하나임에도 불구하고 공진기를 통과한 원자수의 제곱에 비례하여 초방사(superradiance)가 일어나고, 그 결과 문턱(lasing threshold) 없는 레이저 발진이 이루어지는 것을 관측하였다.

# 용 어 설 명

## 1. 초방사 (superradiance)

- 미국의 물리학자 로버트 디키(Robert Dicke)가 1954에 이론적으로 제안한 현상. 원자들이 빛의 파장 보다 훨씬 가깝게 밀집되어 여기 상태(excited state)에 놓이면, 서로 간 위상결맞음이 발생하여 개별적으로 빛을 방사(radiate)하지 않고 집단적으로(collectively) 빛을 방사하게 된다는 현상.
- 본 연구에서는 원자들이 수십 미터 떨어져 있음에도 불구하고 공진기 장(field)을 매개체로 하여 초방사 현상이 발생함. 따라서 기존에 관측된 초방사 현상과 차별됨.

## 2. 광공진기 (optical cavity)

- 빛을 오랫동안 가둘 수 있는 장치. 반사율이 매우 높은 두 개의 작은 거울로 구성됨.
- 본 연구에 사용된 광공진기는 반사율이 99.9999%인 작은 거울 2개가 1mm 간격을 갖고 마주보도록 구성됨. 빛을 1 마이크로 초 동안 가둘 수 있었음.

## 3. 양자 중첩상태 (quantum superposition)

- 원자의 양자역학적 파동함수가 바닥상태(ground state)와 여기상태(excited state)의 선형 합으로 표시되는 상태.
- 본 연구에서 다룬 중첩상태는 바닥 상태 50%, 여기상태 50%로 구성된 상태로 양자역학적 결맞음이 최대가 되는 중첩상태 였음.

## 4. 레이저 발진 문턱 (lasing threshold)

- 일반적인 레이저에서는 외부로부터 에너지를 일정 속도 이상으로 공급해야만 레이저 발진이 이루어지는데, 이때 필요한 임계일률을 레

이저 발진에 필요한 문턱이라고 함.

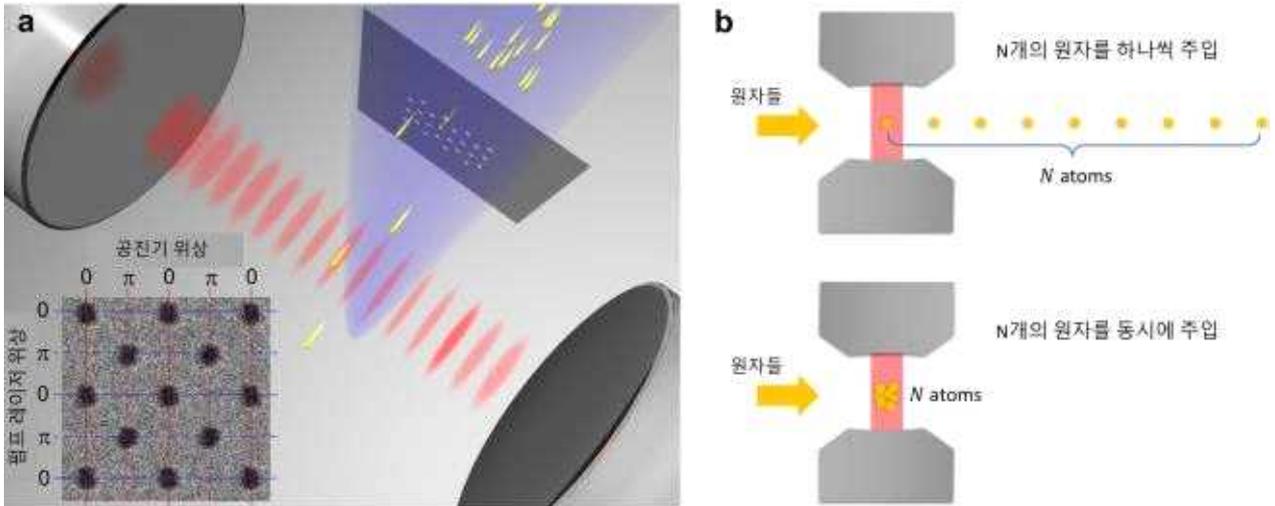
- 본 연구에서 에너지는 공진기를 통과하는 원자들을 통해서 공진기로 전달됨. 원자를 공진기에 얼마나 빈번하게 주입하느냐가 에너지 공급의 일률에 해당함. 본 연구에서는 공진기 감쇠시간 동안 공급된 원자수의 제공에 비례하여 빛의 세기가 결정되기 때문에 레이저 발진 문턱이 사라지게 됨.
- 기존의 연구에서 레이저 발진 문턱을 없애기 위해서는 원자가 발생하는 빛을 한 데 모을 수 있는 특별한 공진기 구조가 필요하였으나 현실적으로 이런 공진기 구조를 구현하는 것은 거의 불가능함.
- 본 연구에서 관측한 초방사 현상을 이용한다면 일반 공진기 구조를 갖고도 발진문턱이 없는 고효율 레이저를 제작할 수 있음.

## 5. Science 지

- 미국의 AAAS(미국과학진흥협회)에서 1880년부터 발간하는 과학 국제학술지로 과학 전 분야를 다루는 세계 최고의 학술지 중 하나이다. (피인용지수 37.205, 2016년 기준)

# 그림 설명

## 단일 원자 초방사의 개념도



(a) 배리움(barium-138) 원자를 바닥상태와 여기상태의 중첩상태로 준비하여 공진기에 하나씩 주입한다. 공진기 앞에 놓여있는 나노 격자에는 직경 180 나노미터의 작은 구멍들이 빛의 파장(791 나노미터) 간격으로 격자형태로 뚫려있다. 그 결과 나노 격자를 통과하여 공진기로 들어가는 원자들은 동일한 위상을 갖는 양자상태로 준비된다. (b) 기존의 초방사에서는 다수의 원자들이 좁은 공간에 밀집해 있어야 한다(아래 그림). 반면, 단일 원자에 의한 초방사에서는 원자들이 하나씩 공진기를 통과한다. 그러면 공진기 장을 매개로 하여 이미 공진기를 지나간 원자들과 공진기에 있는 원자 사이의 상호작용이 발생하고, 그 결과 초방사가 일어난다(위 그림). 두 경우 초방사의 세기는 원자수의 제곱에 비례한다. 일반 초방사가 펄스형태로만 가능한데 비해, 단일 원자의 초방사는 지속적으로 일어난다는 장점과 레이저 발진 문턱이 사라진다는 잇점을 갖고 있다.

## 연구자 이력사항 [안경원 교수]

### 1. 인적사항

- 소 속 : 서울대학교 물리천문학부 교수
- 전 화 : 02-880-8286
- E-mail : kwan@phya.snu.ac.kr



### 2. 학력

- 1979 - 1983 서울대학교 학사
- 1983 - 1985 서울대학교 석사
- 1986 - 1994 MIT 박사

### 3. 경력사항

- 1995 - 1998 MIT 연구원
- 1998 - 2001 KAIST 조교수, 부교수
- 2001 - 현재 서울대학교 조교수, 부교수, 교수

### 4. 기타 정보

- 서울대 교육상 (2011)
- 젊은 과학자상, 한국과학기술한림원 (1999)
- Vinci of Excellence Award, Sciencepour l'art Prize (LVMH, France) (1995)