



지스트(광주과학기술원) 보도자료

<http://www.gist.ac.kr>

보도시점	배포 즉시 보도 부탁드립니다.	
배포일	2020.05.07.(목)	
보도자료 담당	홍보팀 김효정 팀장	062-715-2061
	홍보팀 이나영 선임행정원	062-715-2062
자료 문의	전기전자컴퓨터공학부 함병승 교수	062-715-3502

지스트 함병승 교수, 빛의 양자성(비고전성)에 대한 재해석 제시

- 빛의 비고전성에 있어 불특정 입자성에 대한 반론으로 100년 전 코펜하겐 논쟁을 재점화할 것으로 기대
- 연구결과 네이처자매지인 사이언티픽 리포트에 게재

□ 지스트(광주과학기술원, 총장 김기선) 전기전자컴퓨터공학부 함병승 교수(지스트 광양자정보처리센터장)가 양자역학에서 핵심이론이 된 빛의 양자성(비고전성)*에 있어 불특정 입자성에 대한 반론으로써 빛의 파동성을 입증하였다.

*빛의 양자성(duality of light) : 빛의 이중성이라고도 하며, 빛은 입자성과 파동성을 동시에 가지고 있다. 입자성이란 하나의 물질로서 다른 물질에 충돌하면 충돌된 물질을 움직이게 하는 운동에너지를 갖고 있다는 것이고, 파동성이란 빛의 에너지가 마치 물결처럼 일정한 굴곡을 형성하고 있어서 그 파장으로 인해 여러 가지 색깔을 나타내고 있다는 것이다.

- 이번 연구는 약 100년 전 양자역학 태동기에 등장한 보어(Niels Bohr), 슈뢰딩거(Erwin Schrodinger), 아인슈타인(Albert Einstein) 등을 중심으로 한 일명 코펜하겐 해석*을 재점화하는 기폭제가 될 것으로 기대된다.

*코펜하겐 해석(Copenhagen interpretation) : 1920년대 중반 보어, 슈뢰딩거 등 당대 양자역학의 창시자들을 중심으로 한 자연에 대한 물리학적 해석에 관한 것으로 기존의 인과론에 충실했던 뉴턴역학에 반하여 직접 보기 전까지는 그 상태를 알 수 없다는 확률론적 해석에 관한 것으로써 양자중첩이 그 핵심 원리이다.

□ 기존 양자역학의 주류이론인 빛의 비고전화(예컨대 단일광자 이중슬릿 실험이나 양자얽힘)에 있어 빛은 알갱이, 즉 특정 위상정보를 갖지 않는 입자로 이해되어 왔는데, 함병승 교수는 빛의 파동성(위상정보)이 빛의 비고전성(양자성)을 결정짓는 핵심원리가 됨을 입증하여 미시세계에 국한된 양자역학을

거시세계로 확장할 수 있는 단초를 제시하였다.

- 양자얽힘은 양자중첩에 기반한 대표적 양자성(혹은 비고전성) 현상인데, 이에 의하면 국지적 물리법칙의 한계 밖에서, 예컨대 아주 멀리 떨어진 두 개의 입자가 특정 위상, 편광, 파장 등에 있어 긴밀히 연결되어 있는 광자쌍을 말하는 것으로 기존 상식으로는 이해하기 어려운 개념이다. 이를 증명하는 대표적 방법이 광자쌍에 대한 빛 가르개* 상에서의 반상관성(anticorrelation)이다.

*빛 가르개(beam splitter) : 입사 광선 다발을 강도나 분광선을 이용하여 2개 이상으로 나누는 광학 소자

□ 함병승 교수는 빛의 반상관성이 단순히 태양빛과 같은 불특정 입자쌍으로 구성된 광자쌍에서 나타나는 현상이 아니라, 그 광자쌍이 특정한 위상관계를 가질때에야 발현될 수 있음을 이론적으로 증명하여 빛의 양자성은 빛의 파동성에 그 핵심원리가 있음을 제시하였다.

- 따라서, 전형적인 빛의 양자성을 입증하는 빛 가르개는 포토닉스 양자컴퓨팅에 있어 핵심도구가 되어 왔는데 이를 고전적 마하젠더 간섭계로 치환할 수 있음을 입증하였고, 이에 따라 빛이 단일광자이든 레이저 빛이든 양자성을 달성하는데 차이가 없으므로 마하젠더 간섭계는 빛의 거시양자성(쉬뢰딩거의 고양이*)을 구현할 수 있는 핵심도구가 된다.

*쉬뢰딩거의 고양이(Schrödinger's cat): 양자역학의 코펜하겐 해석을 비판하기 위하여 쉬뢰딩거가 고안한 사고 실험으로, 중첩으로 설명할 수 있는 양자 대상이 측정장치를 함께 고려하면 결국 측정장치도 중첩을 일으켜야 한다는 역설이다. 중첩된 파동함수가 측정하는 순간 환원된다는 것에 대한 문제 제기이다.

□ 함병승 교수는 “결론적으로 빛의 파동성은 레이저나 광통신 등 거시적 현상을 대표하는 고전역학과 다르지 않고, 거시상태에서도 빛의 양자성이 가능하게 됨을 예언하게 되는 것” 이라면서, “이는 향후 양자적 효과를 갖는 결맞는 통신, 컴퓨팅, 센싱 등 기존 양자역학의 지평을 넓히는데 기여할 것으로 기대된다” 고 말했다.

□ 지스트 함병승 교수 주도로 수행된 이번 연구결과는 네이처(Nature) 자매지인 사이언티픽 리포트(Scientific Reports)에 2020년 4월 30일 온라인 게재되었다.

- 한편 함 교수는 후속 연구로 현재 광통신과 호환가능한 무조건적으로 안전한 고전암호통신 방법과 현재 양자기술로 불가능한 고차 양자상태구현에 관한 이론논문을 제출한 상태다. <끝>

논문의 주요 내용

1. 논문명, 저자정보

- 논문명 : The Origin of anticorrelation for photon bunching on a beam splitter
- 저자 정보 : 지스트 함병승 교수(Ham, Byoung S.)

용어 설명

1. 빛의 비고전성(nonclassicality)

- 일반적으로 압착상태(광자) 혹은 얽힘상태(광자)에서 나타나는 고전적으로 설명할 수 없는 현상이다. 이를 규명하는 실험적 방법은 벨 부등식이나 반상관성(anticorrelation)인데, 불특정 단일광자의 경우에도 반상관성을 만족하는 이유로 비고전적 빛으로 분류해왔다. 그러나 얽힘없는 불특정 단일광자의 경우 반상관성은 철저하게 특정위상차에 기초함을 본 논문에서 규명하였다.

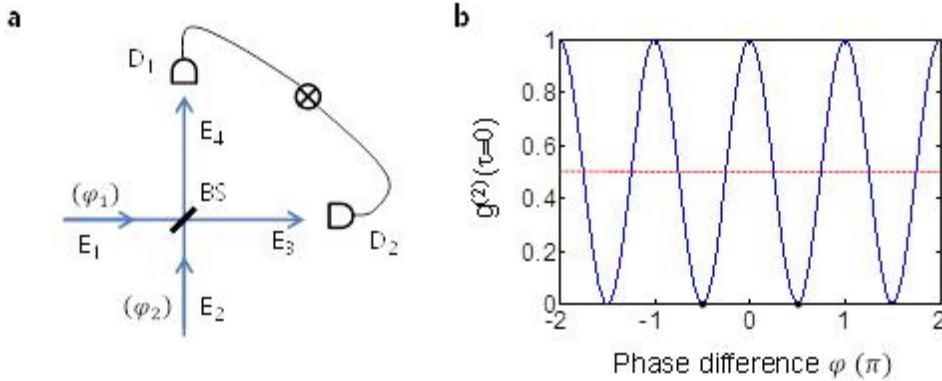
2. 양자중첩(quantum superposition)

- 영의 이중슬릿 실험에서 나타나는 빛의 간섭무늬가 대표적 현상인데, 이는 두 개의 경로를 갖는 빛의 서로다른 위상차에 의한 것이고 이를 양자중첩이라 하는데, 심지어 빛의 최소단위인 두 개의 경로로 쪼개질 수 없는 단일광자에도 적용된다.

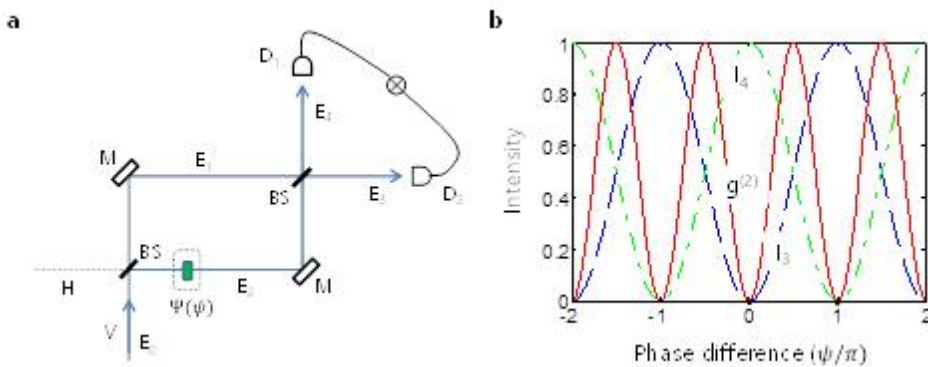
3. 반상관성(anti-correlation)

- 빛의 양자성을 결정짓는 대표적 현상으로써 빛가르개에 입사하는 두 개의 서로 다른 빛은 각각의 빛이 단일광자로 구성되어 있을 경우 반드시 합체하여 출력되는 현상이다. 지금까지 이 현상은 반드시 위상관계로 설명되어야 하나 주류 양자학계는 sub-Poisson 확률분포에 의한 오직 빛의 입자성으로만 해석해왔다.

그림 설명



[그림 1] 빛가르개에 입사하는 두 개 서로다른 빛 사이의 2차 세기상관관계 구성도. a. 2차 세기상관성을 측정하는 빛가르개를 이용한 구성도. b. 계산결과로써 반상관성($g^{(2)}=0$)은 특정 위상차에서만 발생하므로 빛의 불특정 입자성은 빛의 비고전성을 나타내는 반상관성에 있어 무의미함



[그림 2] 빛의 반상관성(양자성)을 구현하는 전형적 마하젠더 간섭계. a. 그림 1의 빛가르개에 있어 반상관성을 충족하는 특정위상을 자연적으로 제공하는 마하젠더 간섭계. b. 계산결과로써 반상관성(양자성)과 상관성(고전성)은 위상차에 관계될 뿐 입력빛의 입자성과 무관하므로 빛의 거시양자성에 적용가능함