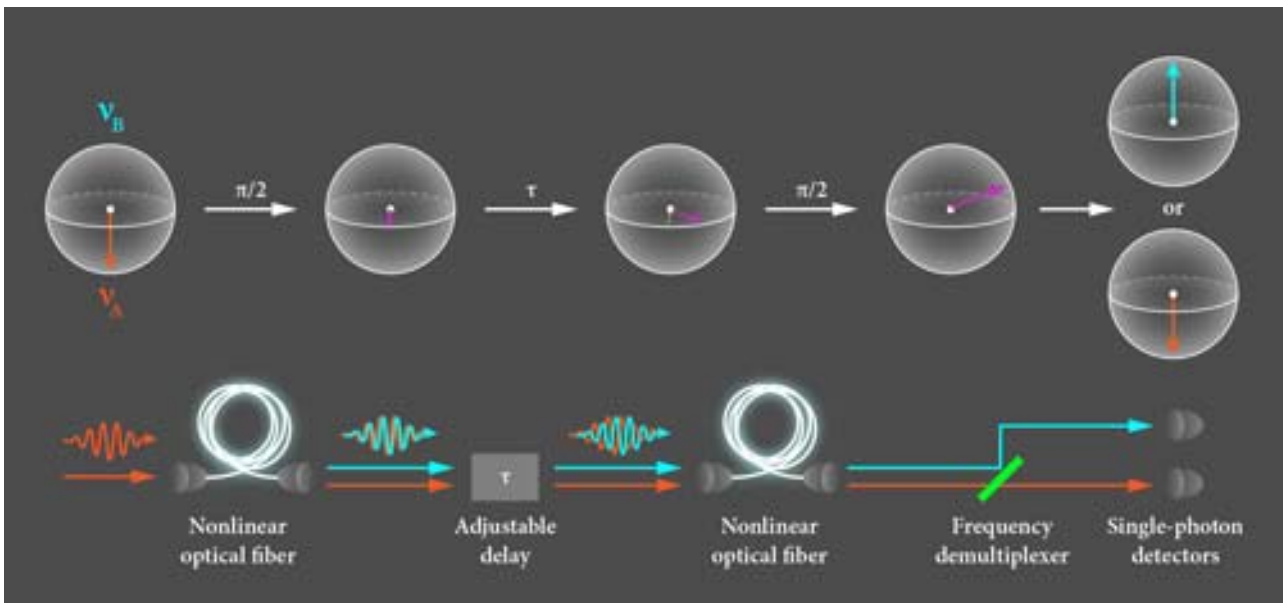


Farb-Dualität von Photonen

Normalerweise wird Quantenfrequenz-Konvertierung eingesetzt um Photonen (einzelnen Lichtquanten) möglichst vollständig von einer Farbe (Frequenz) in eine andere zu transferieren. Hierfür gibt es verschiedene Gründe, zum Beispiel um die Detektionseffizienz zu erhöhen oder um Photonen für die Quanten-Kommunikation ins Telekommunikations-Band zu bringen, wo sie unter kleinstmöglichem Verlust durch optische Glasfasern geführt werden können.

Aber was genau passiert, wenn man den Konvertierungsprozess exakt "in der Mitte" stoppt? Quantenmechanisch landet man dann in einem Überlagerungszustand eines Photons, dass sich in zwei Farbzuständen befindet. Das ist einerseits sehr spannend und interessant! Aber wie beweist man, dass tatsächlich ein echten (kohärenter) Quanten-Überlagerungszustand vorliegt? Und könnten solche Zustände vielleicht sogar nützlich sein?



APS/Alan Stonebraker

Die Illustration zeigt die Umwandlung eines Photons von einer Frequenz – oder Farbe – in ein Photon in einer Quanten-Superposition von zwei verschiedenen Farben, dessen Kohärenz mit Hilfe eines Ramsey-Interferometers nachgewiesen wird.

Für andere Quantensysteme (wie den Spin von einzelnen Elektronen, einzelnen Atomen/Ionen...) sind solche überlagerten Energiezustände zwischen Grundzustand und angeregtem Zustand (des Elektrons) längst bekannt. Eine Möglichkeit, sie zu erzeugen, ist das Anlegen eines sogenannten $\pi/2$ -Pulses aus Laserlicht oder Mikrowellen. Indem man dann dem System die Möglichkeit zur freien Entwicklung gibt, wobei eine Phasenänderung proportional zur Energiedifferenz aufgenommen wird, und man direkt danach einen weiteren $\pi/2$ -Puls hinzufügt, erzeugt man ein sogenanntes Ramsey Interferometer. Und diese Art des Quanteninterferometers ist bereits sehr weit verbreitet in einer Vielzahl von Anwendungen.

Um also zu zeigen, dass tatsächlich einzelne Photonen in einem echten quantenmechanischen Überlagerungszustand von zwei Farben erzeugt wurden und dies auch Anwendung finden kann, sollte erstmalig die Ramsey Interferenz mit einzelnen Photonen gezeigt werden. Technisch besteht dabei die Herausforderung darin, dass die Quantenfrequenz-Konvertierung derart präzise sein muss, dass man zwei Konvertierungen kaskadieren und eine kontrollierbare Phasenänderung dazwischen implementieren kann. Und genau dies ist in der vorliegenden Arbeit gelungen.

Nebenbei bemerkt gibt es in allen "traditionellen" Ramsey Interferometern immer auch die Möglichkeit, dass der Überlagerungszustand aus Grundzustand und angeregtem Zustand spontan in den Grundzustand kollabiert -

wegen der Kopplung zum elektromagnetischen (Vakuum-)Feld. Für Photonen, die selbst die Quanten des elektromagnetischen Feldes darstellen, existiert dieser Möglichkeit prinzipiell nicht. Das heißt intrinsisch „leben“ solche Farb-Überlagerungszustände unbegrenzt lange.

Die entsprechende Physical Review Letters Publikation “Ramsey Interference with Single Photons”^[1] und der begleitende Viewpoint “Photon Qubit is Made of Two Colors”^[2] sind als eines der “Highlights of the Year 2016” vom APS Physics ausgewählt worden. Einer der Autoren dieser Arbeit ist Dr. Sven Ramelow, der assoziiert ist mit IRIS Adlershof und seit kurzem seine Emmy-Noether-Gruppe am Institut für Physik der Humboldt Universität leitet. Während im letzten Jahr wieder sehr viele Meilensteine der Physik in PRL publiziert wurden, begründete APS Physics die Auswahl: “Es ist keine Überraschung, dass der Nachweis von Gravitationswellen durch LIGO an der Spitze der Liste der steht. Die anderen Plätze gingen an Arbeiten, die einen besonderen Perspektivwechsel markierten, eine besonders beeindruckenden experimentelle Leistung demonstrierten oder uns einfach zu nachdenken brachten.

Nicht ganz zufällig arbeitet Dr. Sven Ramelow gerade an auf dieser Arbeit aufbauenden Ideen und Experimenten, und freut sich schon auf deren Implementierung am IRIS Adlershof und am Institut für Physik und die entsprechenden neuen, faszinierenden Ergebnisse.



APS/[Alan Stonebraker](#)

[1] Ramsey Interference with Single Photons

S. Clemmen, A. Farsi, S. Ramelow, A.L. Gaeta

[Phys. Rev. Lett. 117, 223601 \(2016\)](#)

[2] Viewpoint: Photon Qubit is Made of Two Colors

P. Treutlein

[Physics 9, 135 \(2016\)](#)