



Quantenphysik ermöglicht revolutionäres Abbildungsverfahren

Quantenphysik ermöglicht revolutionäres Abbildungsverfahren
 "Wir beleuchten ein Objekt mit infraroten Photonen, die sie gar nicht detektieren. Dann gewinnen wir das Bild mit roten Photonen, die nie in der Nähe des Objekts waren", sagt die brasilianische Physikerin Gabriela Barreto Lemos, die als Postdoktorandin am Institut von Anton Zeilinger im Rahmen eines "Vienna Quantum Fellowships" forscht. Was wie Zauberei klingt, hat eine solide quantenmechanische Erklärung. Die infraroten und die roten Photonen bilden quantenmechanisch verschränkte Paare, die ihr Verhalten eng miteinander abstimmen. Die ForscherInnen erzeugten diese Photonenpaare, indem sie einen optisch nichtlinearen Kristall mit grünem Laserlicht bestrahlten. Im Kristall konnten aus dem grünen Laserlicht Photonenpaare aus jeweils einem roten und einem infraroten Lichtquant entstehen. Diese Quanten wurden dann mit einem speziellen Spiegel getrennt, sodass nur die infraroten Photonen auf das Objekt, das abgebildet werden sollte, gelenkt wurden. Nachdem sie dieses passiert hatten, enthielten nicht nur die infraroten, sondern auch die mit ihnen verschränkten roten Photonen die optische Information über das Objekt. Die ForscherInnen ließen die in den Photonenpaaren enthaltene optische Information auf die roten Photonen übergehen, indem sie ein Verfahren nutzten, das Physiker um Leonhard Mandel von der University of Rochester 1991 entwickelt hatten. Von dem grünen Laserlicht, mit dem sie die Photonenpaare erzeugten, zweigten sie mit einem Strahlteiler die Hälfte ab. Der so gewonnene Lichtstrahl wurde mit den vom Objekt kommenden infraroten Photonen zusammengeführt und auf einen zweiten optisch nichtlinearen Kristall gelenkt. Auch in diesem Kristall entstanden aus dem grünen Laserlicht Paare von infraroten und roten Photonen, die gemeinsam in einem Lichtstrahl weiterflogen. Der Trick ist nun, dass die in diesem Strahl enthaltenen infraroten Photonen vom ersten oder vom zweiten Kristall stammen können, beide Möglichkeiten aber prinzipiell nicht unterscheidbar sind. Den einzelnen Photonen kann man nicht mehr ansehen, woher sie kommen", erklärt der am Experiment beteiligte Sven Ramelow, der inzwischen an der Cornell University forscht. Die Ununterscheidbarkeit der infraroten Photonen hatte zur Folge, dass sie keine optische Information über das Objekt mehr enthielten. Deshalb wurde die zuvor auf beide Photonensorten verteilte Information nur noch allein von den roten Photonen getragen. Zur Abbildung des Objektes brauchten die nun wertlosen infraroten Photonen nicht mehr detektiert zu werden. Tatsächlich gibt es gegenwärtig auch gar keine ausreichend leistungsfähigen Infrarotkameras. Rote Photonen mit Strahlteiler zusammengeführt Die nun ausschließlich in den roten Photonen enthaltene Information machten Gabriela Barreto Lemos und ihre Kollegen sichtbar, indem sie die von den beiden Kristallen kommenden roten Lichtwellen mit Hilfe eines weiteren Strahlteilers zusammenführten und zur Interferenz brachten. Die Lichtsignale in den beiden Ausgängen des Strahlteilers ergaben zwei einander ergänzende Bilder, die von einer CCD-Kamera aufgezeichnet wurden. CCD steht für Charge Coupled Device, diese speziellen Kameras nehmen elektronisch verstärkte und aus vielen Pixeln bestehende Bilder auf, mit denen sich Bewegungsvorgänge dokumentieren lassen. Was ihr Abbildungsverfahren leisten kann, demonstrierten die ForscherInnen an drei verschiedenen, mikroskopisch strukturierten Objekten, die Garrett Cole von der Universität Wien und dem Vienna Center for Quantum Science and Technology (VCQ) hergestellt hatte. Zuerst hielten sie eine Blende mit dem Umriss einer Katze in den infraroten Lichtstrahl. Daraufhin zeigte die Kamera zwei Bilder, in denen die Katzensilhouette im roten Licht deutlich als Positiv bzw. als Negativ sichtbar war. Das zweite Objekt war ein Siliziumplättchen, in das der Umriss der Katze eingätzt worden war. Wieder zeigten die beiden Bilder der CCD-Kamera die Katzensilhouette als rotes Positiv bzw. Negativ. Durch direkte Bestrahlung mit rotem Licht lassen sich solche Bilder nicht gewinnen, da das benutzte Siliziumplättchen für rotes Licht völlig undurchlässig ist. Anhand eines Plättchens aus Silikatglas mit einer Vertiefung in Form eines "ψ" (griechisch Psi) demonstrierten die Forscher, dass ihr Abbildungsverfahren Unsichtbares sichtbar machen kann. Die Vertiefung in dem für infrarotes und rotes Licht durchlässigen Glas änderte lediglich die Schwingungsphase des durchgehenden Lichts. Die Phase des roten Lichts änderte sich dabei genau um eine Schwingung. Deshalb war das rote Licht nach dem Passieren des Plättchens überall wieder in Phase, sodass das "ψ" völlig unsichtbar blieb. Für infrarotes Licht hingegen verursachte die Vertiefung einen Phasenunterschied von einer halben Schwingung, der sich durch Interferenz sichtbar machen ließ. So war auf den beiden Kamerabildern deutlich ein "ψ" zu sehen - obwohl für die Abbildung rotes Licht verwendet worden war. Anwendung in der Medizin und in Umweltuntersuchungen Das Experiment unterstreicht die fundamentale Rolle, die Information in der Quantenphysik spielt", betont Anton Zeilinger. Zudem eröffnet das neue Abbildungsverfahren vielfältige Anwendungsmöglichkeiten. "Man kann ein Objekt fotografieren, indem man es mit Licht bestrahlt, das vom Ultravioletten über das Infrarote vielleicht sogar bis zur Terahertzstrahlung reicht, während man das Bild bei einer freigewählten Wellenlänge aufzeichnet, für die es leistungsfähige Detektoren gibt", erklärt Zeilinger. Das könnte man etwa für die Bildgebung in der Medizin und für Umweltuntersuchungen nutzen. Gabriela Barreto Lemos fügt hinzu: "Man kann biologische Proben oder Halbleiterstrukturen aus Silizium mit Licht einer bestimmten Wellenlänge, das sich für die Bildaufnahme besonders eignet, bestrahlen. Das Bild wird dann mit Licht einer anderen Wellenlänge, das auf die Detektoren abgestimmt ist, erzeugt." Dadurch wird es auch möglich, Bilder in Wellenlängenbereichen aufzunehmen, für die man gar keine Detektoren besitzt. Auf ihr Verfahren, das sie weiterentwickeln wollen, haben Gabriela Barreto Lemos und ihre KollegInnen inzwischen ein Patent angemeldet. (Text von Rainer Scharf) Publikation in Nature: Quantum imaging with undetected photons: Gabriela Barreto Lemos, Victoria Borish, Garrett D. Cole, Sven Ramelow, Radek Lapkiewicz, Anton Zeilinger. Nature, 2014. DOI: 10.1038/nature13586 Kontakt: Universität Wien, VCQ Dr. Gabriela Barreto Lemos 1090 Wien, Boltzmanngasse 3 T +43-699-1925 50 14 gabriela.barreto.lemos@univie.ac.at Rückfragen: VCQ Press Media Mag. Barbara Suchanek 1090 Wien, Boltzmanngasse 5 T +43-1-4277-725 45 vcq@quantum.at http://vcq.quantum.at 

Pressekontakt

Universität Wien

1010 Wien

Firmenkontakt

Universität Wien

1010 Wien

Die Universität Wien wurde im Jahr 1365 von Herzog Rudolf IV. gegründet. Sie ist die älteste Universität im deutschen Sprachraum und eine der größten Universitäten Zentraleuropas. 2015 feiert die Universität Wien ihr 650 jähriges Jubiläum.