



6.325 Zeichen
Abdruck honorarfrei
Beleg wird erbeten

Dr. Martin Gläsel ist Postdoktorand am Lehrstuhl
Theoretische Physik III der Universität Bayreuth.

In „Nature Photonics“: Ein neues Verfahren fördert Quantenkryptographie und Quanten-Computing

Daten sicher zu verschlüsseln, ist eine Herausforderung nicht nur für die Informatik, sondern auch für die physikalische Grundlagenforschung. Am Physikalischen Institut der Universität Bayreuth hat Dr. Martin Gläsel jetzt durch theoretische Berechnungen gezeigt, wie leistungsfähig ein neues Verfahren arbeitet, das von zentraler Bedeutung für die Quantenkryptographie – eine neuartige Verschlüsselungstechnologie – ist. Das Verfahren wurde erst kürzlich an der Universität Stuttgart entwickelt. Im Forschungsmagazin „Nature Photonics“ berichten die Wissenschaftler gemeinsam über ihre wegweisenden Ergebnisse.

Voraussetzungen der Quantenkryptographie

Licht kann in der Physik alternativ als Teilchen oder als Welle beschrieben werden. Im Teilchenmodell des Lichts werden die Lichtquanten, also die kleinsten „Einheiten“ des Lichts, als Photonen bezeichnet. Die Quantenkryptographie ist eine Technologie, die vorwiegend



mit Photonen arbeitet und eine abhörsichere Kommunikation ermöglicht. Damit diese Technologie mit der angestrebten Zuverlässigkeit zum Einsatz kommen kann, müssen wiederholt – und zwar auf Knopfdruck und in genau definierten zeitlichen Abständen – einzelne Paare von Photonen erzeugt werden, die spezielle Eigenschaften besitzen:

- Zunächst einmal müssen die Photonen, die jeweils paarweise entstehen sollen, ununterscheidbar sein; sie müssen also beispielsweise die gleiche Wellenlänge aufweisen.
- Darüber hinaus ist es erforderlich, dass sie polarisationsverschränkt sind. Dies bedeutet: Wird die Polarisation – also die Schwingungsrichtung – eines der beiden Photonen gemessen, kann dadurch zugleich die Polarisation des zweiten Photons ermittelt werden; und zwar unabhängig davon, wie weit die beiden Partnerphotonen räumlich voneinander entfernt sind, und obwohl die Polarisation jedes einzelnen der beiden Photonen vor der Messung komplett unbestimmt war.

Mit hoher Zuverlässigkeit realisiert: Photonenpaare „on demand“

Es war schon länger bekannt, dass nanostrukturierte Halbleiter, die in der Forschung als Quantenpunkte bezeichnet werden, für die Erzeugung solcher Photonenpaare besonders gut geeignet sind. Durch einen kurzen elektrischen oder optischen Puls können diese Punkte gezielt angeregt werden, damit anschließend Photonen ausgesendet werden. Allerdings entstehen die Photonenpaare mit den gewünschten Eigenschaften und in vorhersagbarer Weise nur dann, wenn spezielle Voraussetzungen erfüllt sind: Der optische Puls – beispielsweise erzeugt von einem Laser – muss im Quantenpunkt zwei Elektronen simultan auf das gleiche höhere, exakt definierte Energieniveau heben. In diesem Fall entstehen parallel dazu zwei gleiche Elektronenfehlstellen, sogenannte Löcher. Fallen die Elektronen kurze Zeit später auf das niedrigere Niveau zurück, verschwinden die Löcher, und es werden zwei Photonen erzeugt: im Idealfall ununterscheidbar und polarisationsverschränkt.

Diesen Vorgang gleichsam auf Bestellung zu realisieren und in definierten Abständen zu wiederholen, gestaltet sich in der Praxis äußerst schwierig. Denn die verwendeten Objekte sind sehr klein: Ein Quantenpunkt hat eine Ausdehnung von nur wenigen Nanometern.



Zudem ist die Dauer des verwendeten Laserpulses extrem kurz; sie liegt typischerweise im Bereich des milliardsten Teils einer Sekunde. Und nicht zuletzt kann die unmittelbare Umgebung der Quantenpunkte eine gezielte energetische Anregung störend beeinflussen.

Am Institut für Halbleiteroptik und Funktionelle Grenzflächen der Universität Stuttgart ist es jedoch einer experimentellen Arbeitsgruppe unter der Leitung von Prof. Dr. Peter Michler vor kurzem gelungen, diese Schwierigkeiten zu überwinden. Es wurde ein Versuchsaufbau entwickelt, der es über einen „resonanten Zweiphotonen-Anregungsprozess“ ermöglicht, mit hoher Zuverlässigkeit und auf Knopfdruck wiederholt einzelne Paare von Photonen zu erzeugen, die sowohl ununterscheidbar als auch polarisationsverschränkt sind. Damit sind die Grundlagen für ein Verfahren gelegt, das beispielsweise die Verschlüsselung von Daten mithilfe von Lichtquanten – aber auch weitere Technologien – erheblich voranbringen kann.

Theoretische Berechnungen verifizieren die experimentellen Erfolge

Wie konnte festgestellt werden, dass der neue Versuchsaufbau sich durch eine derart hohe Zuverlässigkeit auszeichnet? An dieser Stelle waren die Forschungsarbeiten von Dr. Martin Gläsel am Physikalischen Institut der Universität Bayreuth von zentraler Bedeutung. Mit theoretischen Berechnungen, die insbesondere die Anregungszustände der Elektronen in den Quantenpunkten und die Einwirkungen des umgebenden Halbleiter-Materials berücksichtigten, hat der Bayreuther Physiker den resonanten Zweiphoton-Anregungsprozess mit hoher Genauigkeit modelliert.

Erst diese Modellierung machte es möglich, die zuvor unerreichte Leistungsfähigkeit des neuen Versuchsaufbaus zu verifizieren. „In 86 Prozent aller Fälle führt die gezielte Anregung der Quantenpunkte durch Laserpulse in den Experimenten unserer Stuttgarter Kollegen dazu, dass ein Paar ununterscheidbarer und verschränkter Photonen erzeugt wird“, erklärt Dr. Gläsel. „Damit werden die eher bescheidenen Erfolgsraten, die in früheren Experimenten erzielt wurden, bei weitem übertroffen.“



Ein Meilenstein für die Entwicklung des Quanten-Computing

Das neue Verfahren, das sich jetzt als derart zuverlässig erwiesen hat, kommt nicht allein der Verschlüsselung von Daten mithilfe der Quantenkryptographie zugute. „Es ist ebenso ein Meilenstein für viele weitere Anwendungen der Quanteninformationstheorie, wie etwa das Quanten-Computing“, meint Dr. Gläßl. „Dabei handelt es sich um einen Computer, der die Gesetze der Quantenmechanik ausnutzt um Probleme zu lösen, die herkömmliche Rechner nicht effizient lösen können, wie etwa die Faktorisierung sehr großer Zahlen. Damit könnte man dann beispielsweise die heute gängigen Verschlüsselungsverfahren brechen.“

Dr. Martin Gläßl hat an der Universität Bayreuth ein Physikstudium absolviert und hier, gefördert durch ein Promotionsstipendium der Studienstiftung des deutschen Volkes im Jahre 2013, mit einer Arbeit über die quantendissipative Dynamik in optisch getriebenen Quantenpunkten promoviert. Derzeit arbeitet er an der Universität Bayreuth als Postdoktorand am Lehrstuhl Theoretische Physik III, der von Prof. Dr. Vollrath Martin Axt geleitet wird.

Veröffentlichung:

M. Müller, S. Bounouar, K. D. Jöns, M. Gläßl and P. Michler,
On-demand generation of indistinguishable polarization-entangled photon pairs,
Nature Photonics 8, 224-228
DOI: 10.1038/nphoton.2013.377

Kontaktadresse für weitere Informationen:

Dr. Martin Gläßl
Lehrstuhl Theoretische Physik III
Universität Bayreuth
D-95440 Bayreuth
Telefon: +49 (0)921 55-3328
E-Mail: martin.glaessl@uni-bayreuth.de



Text und Redaktion:

Christian Wißler M.A.
in Zusammenarbeit mit Dr. Martin Gläßl
Stabsstelle Presse, Marketing und Kommunikation
Universität Bayreuth
D-95440 Bayreuth
Tel.: 0921 / 55-5356 / Fax: 0921 / 55-5325
E-Mail: mediendienst-forschung@uni-bayreuth.de

Foto:

Dr. Martin Gläßl, Universität Bayreuth;
zur Veröffentlichung frei

In hoher Auflösung zum Download unter:
www.uni-bayreuth.de/presse/images/2014/040

Kurzporträt der Universität Bayreuth

Die Universität Bayreuth ist eine junge, forschungsorientierte Campus-Universität. Gründungsauftrag der 1975 eröffneten Universität ist die Förderung von interdisziplinärer Forschung und Lehre sowie die Entwicklung von Profil bildenden und Fächer übergreifenden Schwerpunkten. Die Forschungsprogramme und Studienangebote decken die Natur- und Ingenieurwissenschaften, die Rechts- und Wirtschaftswissenschaften sowie die Sprach-, Literatur und Kulturwissenschaften ab und werden beständig weiterentwickelt.

Gute Betreuungsverhältnisse, hohe Leistungsstandards, Fächer übergreifende Kooperationen und wissenschaftliche Exzellenz führen regelmäßig zu Spitzenplatzierungen in Rankings. Die Universität Bayreuth belegt 2013 im weltweiten Times Higher Education (THE)-Ranking ,100 under 50' als eine von insgesamt drei vertretenen deutschen Hochschulen eine Top-Platzierung.

Seit Jahren nehmen die Afrikastudien der Universität Bayreuth eine internationale Spitzenposition ein; die Bayreuther Internationale Graduiertenschule für Afrika-



studien (BIGSAS) ist Teil der Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder. Die Hochdruck- und Hochtemperaturforschung innerhalb des Bayerischen Geoinstituts genießt ebenfalls ein weltweit hohes Renommee. Die Polymerforschung ist Spitzenreiter im Förderranking der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG). Die Universität Bayreuth verfügt über ein dichtes Netz strategisch ausgewählter, internationaler Hochschulpartnerschaften.

Derzeit sind an der Universität Bayreuth rund 13.000 Studierende in mehr als 100 verschiedenen Studiengängen an sechs Fakultäten immatrikuliert. Mit ca. 1.200 wissenschaftlichen Beschäftigten, davon 224 Professorinnen und Professoren, und rund 900 nichtwissenschaftlichen Mitarbeitern ist die Universität Bayreuth der größte Arbeitgeber der Region.