

Von der Geometrie des Lichts

06.05.2026, 16:14 | Wissenschaft, Forschung, Bildung

Pressemitteilung von: *idw - Informationsdienst Wissenschaft*



Die Quantengeometrie ist ein mathematisches Werkzeug mit dem sich Quantenzustände beschreiben lassen, wenn sich die Parameter eines Systems verändern. Diese abstrakte geometrische Beschreibung hilft Forschenden beispielsweise dabei, Eigenschaften in Quantenmaterialien besser zu verstehen oder die Genauigkeit von Messungen in Quantenmetrologie zu verbessern. Ein deutsch-japanisches Forscherteam unter Beteiligung des Max-Planck-Instituts für die Physik des Lichts, Erlangen und des Advanced Institute for Materials Research der Tohoku-Universität, Sendai hat die Quantengeometrie auf photonische Systeme angewendet und mit ihrer neuen Methode den Werkzeugkoffer für die topologische Photonik erweitert. Ihre Ergebnisse wurden in *Physical Review Research* veröffentlicht.

Die Quantengeometrie beschreibt Quantenzustände in Systemen mit sich ändernden Systemparametern. Ein Elektron, das sich in einem Magnetfeld dreht, dessen Richtung sich langsam ändert, wäre so ein System mit sich ändernden Systemparametern. Der Zustand des Elektrons entwickelt sich weiter, und diese Veränderung wird durch den sogenannten quantengeometrischen Abstand quantifiziert. Mithilfe dieser abstrakten geometrischen Beschreibung lässt sich beispielsweise die Supraleitung – darunter versteht man die widerstandslose Leitung von Strom – in exotischen Quantenmaterialien erklären. Ein anderes Beispiel findet sich in der Quantenmetrologie: Durch die Anwendung der Quantengeometrie können grundlegende Grenzen für die Messgenauigkeit erweitert werden. In einem internationalen Forschungsprojekt haben Anton Montag, Doktorand am Max-Planck-Institut für die Physik des Lichts, Erlangen, und Dr. Tomoki Ozawa, ein weltweit führender Experte für topologische Photonik des Advanced Institute for Materials Research der Tohoku-Universität, Sendai, die Quantengeometrie erstmals auf nicht hermitesche photonische Systeme angewendet.

Nicht-hermiteschen Beschreibungen von Systemen sind im Gegensatz der herkömmlichen Betrachtung von geschlossenen physikalischen Systemen deutlich komplexer: Sie berücksichtigen den Austausch zwischen dem System und seiner Umgebung. So fließen wichtige zusätzliche Eigenschaften wie beispielsweise der Intensitäts- oder Energiegewinn und -verlust in diesen mathematischen Ansatz ein. In den letzten Jahren hat sich das Forschungsfeld nicht-hermitescher topologischer Systeme rasant entwickelt und weitreichende Erkenntnisse für die Experimentalphysik geliefert. Zahlreiche theoretische Vorhersagen wie der nicht-hermitesche Skin-Effekt, die Trichterbildung von Licht oder die unidirektionale Unsichtbarkeit wurden in photonischen Experimenten verifiziert.

Montag und Ozawa haben untersucht, ob „quantengeometrische“ Effekte das Verhalten von nicht-hermiteschen

Systemen photonischen Systemen beeinflussen und damit einen neuen Grad der Komplexität in die mathematische Beschreibung ein- gebracht. Die Wissenschaftler veröffentlichten kürzlich drei wesentliche Erkenntnisse. Künstliche Potentiale für Licht – Wenn polarisiertes Licht ein anisotropisches Medium durchläuft (ein Medium, das in verschiedene Richtungen unterschiedliche Eigenschaften hat), in dem die Intensitätsänderung von der Polarisation des Lichts abhängt, bewegt es sich nicht geradlinig, sondern wird abgelenkt. Der Weg wird dabei durch die „Quantengeometrie“ bestimmt. Durch die nicht-hermiteschen Erweiterungen kann man nun auch steuern, wie stark das Licht dabei an Intensität gewinnt oder verliert – sozusagen ein programmierbares künstliches Potenzial für Licht. Direkte Messung der Quantenmetrik – Das deutsch-japanische Team hat eine Methode entwickelt, mit der die Quantenmetrik direkt experimentell messbar ist. Dabei liegt folgendes Prinzip zugrunde: Man regt ein photonisches System mit einem schwachen periodischen Signal an und misst die Antwort des Systems. Durch die Anregung entsteht ein wenig Licht, das aus dem System austritt. Die Intensität dieses austretenden Lichts ist direkt proportional zur Quantenmetrik – man kann sie quasi einfach ablesen.

„Für die vorliegende Fragestellung war die Zusammenarbeit mit der japanischen Gruppe eine ideale Konstellation. Dr. Tomoki Ozawa brachte seiner außergewöhnliche Expertise in der topologischen Photonik ein, während die Erlanger Gruppe um Dr. Flore Kunst den Schwerpunkt aus dem Bereich ›Nicht-Hermitesche topologische Phänomene‹ ergänzt“, sagt Anton Montag. „Das Ergebnis begeistert mich sehr, da es sich grundlegend von den Situationen der (gewöhnlichen) hermiteschen Quantenmechanik unterscheidet und damit eine einzigartige Eigenschaft nicht-hermitescher Systeme hervorhebt“, ergänzt Tomoki Ozawa.

In den letzten Jahren hat die experimentelle topologische Photonik enorme Fortschritte gemacht. Viele der Vorhersagen können direkt experimentell überprüft werden. Auf der anderen Seite liefern die künstlichen Potentiale für Licht einen neue Designmöglichkeiten für photonische Systeme. Das gleiche Prinzip gilt auch für extrem kalte Gase aus Atomen. Dort werden solche künstlichen Potenziale beispielsweise genutzt, um künstliche Magnetfelder zu erzeugen. Atomverluste aus dem Gas – bisher als Problem betrachtet – könnten nach dieser Theorie gezielt genutzt werden, um nicht-hermitesche Effekte in ultrakalten Atomgasen zu erzeugen.

wissenschaftliche Ansprechpartner:

Anton Montag

Max-Planck-Institut für die Physik des Lichts, Erlangen

Forschungsgruppe ›Nicht-Hermitesche topologische

Phänomene‹ / Dr. Flore Kunst

www.mpl.mpg.de / anton.montag@mpl.mpg.de

Dr. Tomoki Ozawa

Advanced Institute for Materials Research at Tohoku

University, Sendai / Ozawa Group

<https://www.wpi-aimr.tohoku.ac.jp/en/>

tomoki.ozawa.d8@tohoku.ac.jp

Originalpublikation:

A. Montag, T. Ozawa. Quantum geometrical effects in non-Hermitian systems. Phys. Rev. Research 8 (2026).

DOI: <https://doi.org/10.1103/qb8s-9c6y>

Max-Planck-Institut für die Physik des Lichts

Maximilian Rinke (Mitarbeiter in der Presse- und Öffentlichkeitsarbeit)

09131 7133807

maximilian.rinke@mpl.mpg.de

News-ID: 1311239 • Views: 132 (Stand: 15.05.2026)

Link zur Pressemitteilung:

<https://www.openpr.de/news/1311239/Von-der-Geometrie-des-Lichts-idw.html>