**PRESSEMITTEILUNG**

**„Beschleunigungs-Beats “ erhellen ein neuartiges universelles Modulationsregime**

3. Juli 2024 – BERLIN, DEUTSCHLAND

Wissenschaftler des Paul-Drude-Instituts für Festkörperelektronik (PDI) haben ein neuartiges Modulationsregime beobachtet, das durch das Auftreten bisher unbekannter „Beschleunigungs-Beats“ in einem modulierten, Halbleiterlaser gekennzeichnet ist. In einem [heute in Nature Communications veröffentlichten Artikel](https://www.nature.com/articles/s41467-024-49610-5) erläutern sie, dass das wesentliche – und etwas kontraintuitive – Merkmal dieses neuen Regimes die Fähigkeit ist, Quantensysteme kohärent zu manipulieren, indem Modulationsperioden verwendet werden, die länger als die Kohärenzzeit sind, vorausgesetzt, die Modulationsamplitude ist groß genug.

Die harmonische Modulation von Lichtquellen, wie Lasern, ist das Fundament vieler moderner und künftiger Telekommunikationstechnologien. Dort sind zwei Modulationsregimes gut bekannt: das adiabatische und das nicht-adiabatische Regime.

Einerseits zerfällt im adiabatischen Regime die Kohärenz des Lichts – das Ausmaß, in dem die Lichtwellen eine konstante, vorhersagbare Phasenverbindung aufrechterhalten – schneller als die Modulationsperiode (d. h. der Kehrwert der Modulationsfrequenz). Im nicht-adiabatischen Regime passen mehrere Modulationsperioden in die Kohärenzzeit des Systems. Dieses Regime ist besonders wichtig für die kohärente Manipulation von Quantensystemen, erfordert jedoch typischerweise hohe Frequenzen im GHz-Bereich.

Die Steuerung von Modulationen wie sie zur Manipulation dieser Systeme für technologische Anwendungen notwendig ist, erfordert jedoch die Wahrung eines empfindlichen Gleichgewichts. Laut Alexander S. Kuznetsov, dem Hauptautor der Studie, wurde in früheren Studien die Amplitude der Modulation (die Stärke, mit der das System erschüttert wird) weitgehend übersehen. „Das Hauptproblem bestand darin, dass das System umso schneller seine Kohärenz verliert, je stärker die Erschütterung ist“, sagte er. „Nun hat das PDI-Team - nach unserem Wissen zum ersten Mal - gezeigt, was passiert, wenn eine laserähnliche optoelektronische Resonanz mit extremen Modulationsamplituden moduliert wird, und enthüllt einen neuartigen Aspekt einer solchen Modulation, der durch die erhöhte Beschleunigung verursacht wird. Diese Form der Modulation ist weder adiabatisch noch nicht-adiabatisch, sondern ein grundlegend anderes Regime.“

Die von Kuznetsov durchgeführten Studien führten eine harmonische Modulation mit großer Amplitude in die Emissionsenergie einer halbleiterbasierten, mikrometergroßen kohärenten Lichtquelle ein. Sie beobachteten, dass diese extremen Änderungen in der Modulationsamplitude zum Auftreten von „Beschleunigungs-Beats“ führten – das sind spektrale Oszillationen, die mit variierenden Raten der Energieänderung (d. h. der Beschleunigung) der Quelle zusammenhängen, anstatt mit der Geschwindigkeit der Energieänderungen, wie es bei den meisten physikalischen Systemen mit kleinen Amplituden der Fall ist.

Paulo V. Santos, der das Modell für die Beschleunigungs-Beats entwickelt hat, vergleicht sie mit dem Effekt, der durch ein sich schnell drehendes Licht in einem Leuchtturm entsteht: Im Ruhezustand wird angenommen, dass die Lichtquelle eine schmale spektrale Verteilung hat – vielleicht einen einzelnen, gut definierten grünen Lichtstrahl. Aber wenn sich die Quelle dreht, sieht man zunächst statt eines einzelnen Strahls zwei Strahlen mit unterschiedlichen Farben. Diese Farbänderung resultiert aus der Dopplerverschiebung: der geschwindigkeitsabhängige Änderung der Frequenz (oder Wellenlänge), die ein Beobachter wahrnimmt, wenn sich die Quelle auf ihn zu oder von ihm weg bewegt.

„Wenn die Rotationsfrequenz weiter zunimmt, sieht man kleine Wellen in der Nähe der dopplerverschobenen Emission“, sagte Santos. „Im Gegensatz zu den Dopplerverschiebungen, die aus Bewegungen mit konstanter Geschwindigkeit resultieren, entstehen diese Wellen durch schnelle Geschwindigkeitsänderungen, d. h. durch beschleunigte Bewegungen.“

Dieser beobachtete Effekt ist universell, was bedeutet, dass er prinzipiell in jedem System unter harmonischer Modulation beobachtet werden kann. Diese Ergebnisse sind jedoch der erste bekannte experimentelle Nachweise der Beschleunigungs-Beats, - dank der Fähigkeit, ein Festkörpersystem schnell genug mit ausreichend großer Amplitude zu modulieren. Dies wird auch dadurch untermauert, dass die Beats bereits mit bestehenden Modellen vorhergesagt werden konnten.

Zentral für das Design des Experiments war eine Halbleitermikrokavität – im Wesentlichen eine Box aus geschichteten Halbleitermaterialien –, die von Klaus Biermann entwickelt wurde und die die Forscher verwendeten, um das von einem eingeschlossenen Polariton-Kondensat emittierte Laserlicht zu beobachten. „Eine ganz wesentliche Komponente ist, dass diese eingeschlossenen Licht-Materie-Polariton-Kondensate in Halbleitermikrokavitäten ideale helle Quellen sind, mit abstimmbarer Kohärenz und erhöhter Anfälligkeit für die monochromatischen akustischen Felder“, sagte Kuznetsov. „Eine weiterer Bestandteil sind piezoelektrisch erzeugte akustische Wellen, die die Energie des Kondensats mit Amplituden modulieren können, die bis zu zwei Größenordnungen über dem Modulationsquantum liegen.“

Der fundamentale Charakter der Entdeckung wirft wichtige Fragen auf, ob Beschleunigungs-Beats auch unter anderen extremen Bedingungen in kosmischen Phänomenen und bei hochenergetischen Teilchen beobachtet werden können.

Während potenzielle Anwendungen dieses neuen Regimes noch erforscht werden müssen, sagen die Forscher, dass die Studie neue Möglichkeiten eröffnet, hochfrequente spektrale Merkmale mit viel niedrigerer Modulationsfrequenz zu erzeugen und neue Protokolle zur Steuerung von Quantensystemen zu entwickeln.

**Publikation**

*Titel:* Acceleration-induced spectral beats in strongly driven harmonic oscillators

*Autouren:* A. S. Kuznetsov, K. Biermann, and P. V. Santos

*DOI:*10.1038/s41467-024-49610-5

**Über das PDI**   
Das [Paul-Drude-Institut für Festkörperelektronik (PDI)](https://www.pdi-berlin.de/) in Berlin, Deutschland, ist ein führendes Forschungsinstitut, das sich auf die grundlagen- und anwendungsorientierte Forschung an der Schnittstelle von Materialwissenschaft, Festkörperphysik und Bauelementeentwicklung spezialisiert hat. Mit einem besonderen Fokus auf niedrigdimensionalen Halbleiterstrukturen ist es die Mission des PDI, neue Funktionalitäten für zukünftige Technologien zu inspirieren und zu demonstrieren.

**Wissenschaftliche Kontakte**

* Dr. Alexander Kuznetsov, Paul-Drude-Institut fur Festkörperelektronik, Leibniz Institut im Forschungsverbund Berlin e.V., Hausvogteiplatz 5-7, 10117 Berlin, Germany.  
  Email: kuznetsov@pdi-berlin.de
* Dr. Paulo Ventura Santos, Paul-Drude-Institut fur Festkörperelektronik, Leibniz Institut im Forschungsverbund Berlin e.V., Hausvogteiplatz 5-7, 10117 Berlin, Germany.  
  Email: [santos@pdi-berlin.de](https://www.pdi-berlin.de/people/people-directory/dr-paulo-ventura-santos)

**Medienkontakt**

* Eimear Bruen, Paul-Drude-Institut fur Festkörperelektronik, Leibniz-Institut im Forschungsverbund Berlin e.V., Hausvogteiplatz 5-7, 10117 Berlin, Germany.  
  Email: [bruen@pdi-berlin.de](mailto:bruen@pdi-berlin.de)