

Press release

Ruhr-Universität Bochum

Dr. Julia Weiler

06/26/2025

<http://idw-online.de/en/news854438>

Research results, Scientific Publications
Physics / astronomy
transregional, national



Ein Teilchenbeschleuniger im Miniaturformat

Ein internationales Forschungsteam aus der Physik hat neue Erkenntnisse gewonnen, wie sich Elektronen kollektiv in winzigen Quantenbauteilen verhalten. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Ruhr-Universität Bochum, des Institut polytechnique (INP) de Grenoble und der Universität Lettland erzeugten Elektronen-Tröpfchen auf einem Chip, die wie ein Nano-Teilchenbeschleuniger wirkten. Damit zeigte die Gruppe, dass Elektronen eine Art Coulomb-Flüssigkeit bilden, also einen stark korrelierten Zustand, in dem sie kollektiv agieren. Die Erkenntnisse bereiten den Weg zu neuen Entdeckungen im Bereich der Quantenmaterialien und der Simulation exotischer Materiezustände.

Die Forschenden berichten über ihre Versuche in der Zeitschrift Nature, online veröffentlicht am 25. Juni 2025.

Elektronen sausen an der Weggabelung gemeinsam weiter

Herzstück des Experiments war ein zweidimensionales Elektronengas, das das Team um Dr. Arne Ludwig am Lehrstuhl von Prof. Dr. Andreas Wieck von der Ruhr-Universität Bochum mit Molekularstrahlepitaxie züchtete. Diese ultrasaubere Plattform ermöglichte es den Forschenden des INP Grenoble, Bauteile mit rekordverdächtig geringem Rauschen herzustellen. In diesen konnten sie Elektronen eingrenzen und mit akustischen Oberflächenwellen manipulieren. Die entstehenden Tröpfchen enthalten jeweils nur eine Handvoll Elektronen. Mit Methoden aus der Hochenergiephysik beobachteten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, wie sich die Elektronen-Tröpfchen an einer Y-förmigen Verzweigung auf dem Chip aufteilten.

Das Ergebnis: Bereits bei drei bis fünf Elektronen zeigten sich deutliche Anzeichen für kollektives Verhalten. Es entstand ein stark korrelierter Zustand, in dem sich die Elektronen gemeinsam bewegen und der an die kollektiven Phasen in viel größeren Systemen erinnert. Das Studienteam sieht darin eine Analogie zu dem Verhalten der Quark-Gluon-Materie, die in den größten Teilchenbeschleunigern der Welt erzeugt wird.

„Wir sehen einzigartige Anzeichen, dass kollektives Verhalten – das normalerweise bei Tausenden oder Millionen von Teilchen beobachtet wird – auch mit wenigen Elektronen auftritt“, erklärt das Team. „Das spiegelt die nicht komprimierbare flüssige Phase von Hadronen wider, die durch Kernkräfte gebunden sind – aber jetzt auf einem Chip und bei ultra-niedrigen Energien.“

Kollektives Verhalten in kleinen Systemen untersuchen

Theoretische Arbeiten der Universität Lettland halfen dabei, die Daten zu interpretieren. Sie zeigten, dass die beobachtete Elektronen-Antibündelung als eine Form der antiferromagnetischen Ordnung verstanden werden kann.

Die Forschung bringt nicht nur das Verständnis stark korrelierter Elektronensysteme und der Quantenelektronenoptik voran, sondern eröffnet auch neue Wege zur Simulation der Physik der Quark-Gluon-Materie und anderer exotischer

Zustände mithilfe von chipbasierten Bauteilen. Die Fähigkeit, kollektives Verhalten in solch kleinen Systemen zu entwickeln und zu untersuchen, könnte weitreichende Auswirkungen auf die Quantentechnologie haben.

Künftig möchte das Team seine Methode weiter optimieren, um noch exotischere korrelierte Zustände zu erforschen und zu zeigen, wie Fortschritte in der Materialentwicklung, der Gerätetechnik und der Theorie zusammenkommen können, um einige der faszinierendsten Fragen der modernen Physik zu beantworten.

Förderung

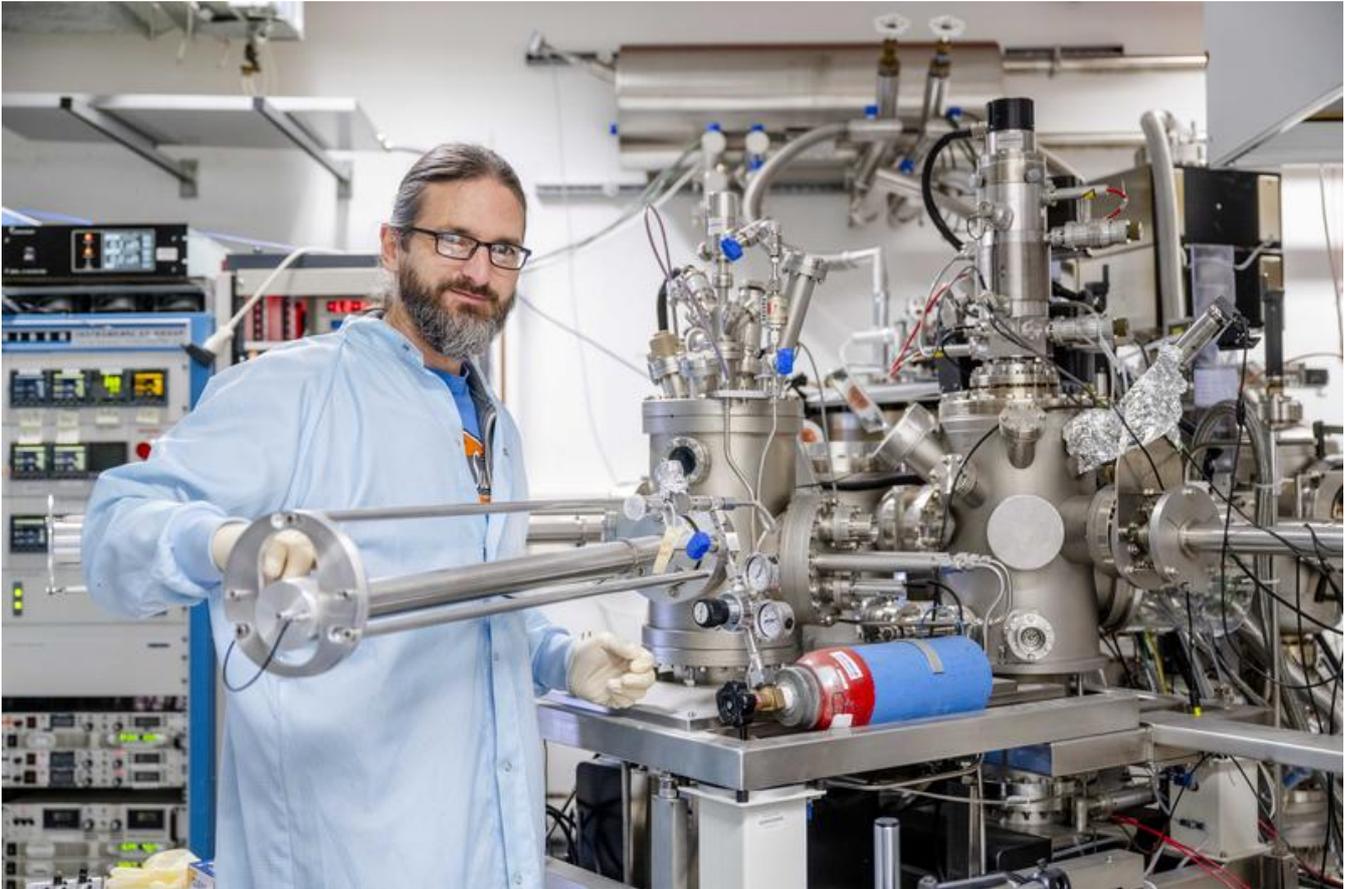
Die Arbeiten wurden unterstützt von dem Horizon-2020-Programm der Europäischen Union (Grant Nr. 862683, Marie Skłodowska-Curie grant 754303), dem Marie Skłodowska-Curie Actions-Grant Nummer 101081458, dem Programm QuanTEdu-France (ANR-22-CMAS-0001), der Agence Nationale de la Recherche (ANR-22-PETQ-0012, QUABS ANR-21-CE47-0013-01), dem French Laboratory of Excellence-Projekt ANEF (ANR-10-LABX-0051), der Deutschen Forschungsgemeinschaft (ML4Q EXC 2004/1 – 390534769), dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF-QR.X-Projekt 16KISQ009), dem DFH/UFA-Projekt CDFA-05-06, der Latvian Quantum Initiative (2.3.1.1.i.o/1/22/I/CFLA/001) sowie dem Latvian Council of Science (lzp2021/1-0232).

contact for scientific information:

Dr. Arne Ludwig
Molecular Beam Epitaxy Group
Fakultät für Physik und Astronomie
Ruhr-Universität Bochum
Tel.: +49 234 32 25864
E-Mail: arne.ludwig@ruhr-uni-bochum.de

Original publication:

Jashwanth Shaju, Elina Pavlovska et al.: Evidence of Coulomb Liquid Phase in Few-electron Droplets, in: Nature, 2025, DOI: 10.1038/s41586-025-09139-z, <https://www.nature.com/articles/s41586-025-09139-z>



Arne Ludwig an der Molekularstrahlepitaxie-Anlage der Ruhr-Universität Bochum, mit der er das Elektronengas für die Studie erzeugte
RUB, Marquard