

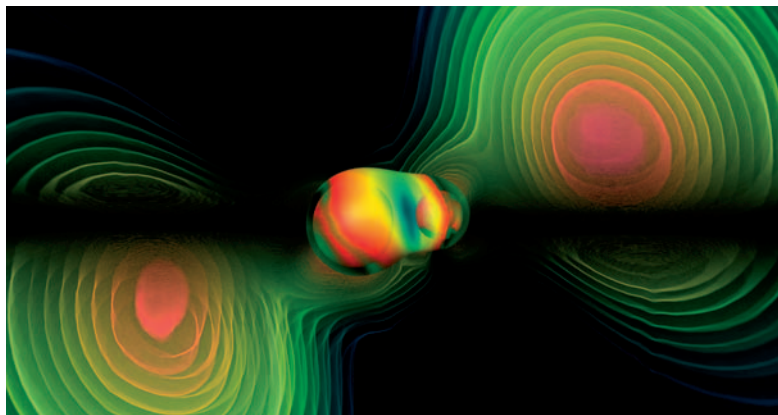
Forschen am Quantenlimit

Ziele und Aktivitäten des Exzellenzclusters „Centre for Quantum Engineering and Space-Time Research“ in Hannover

Maike Keuntje

Materie am Quantenlimit, ultrakalte Atome und Moleküle sowie hochpräzise Atomuhren sind es, die Messungen im makroskopischen Maßstab mit bislang unerreichter Genauigkeit ermöglichen sollen. So ist es eines der Ziele des Exzellenzclusters „Centre for Quantum Engineering and Space-Time Research (QUEST)¹⁾, mit sog. Quantensensoren das Schwerfeld der Erde äußerst genau zu vermessen oder sie in der nächsten Generation von Gravitationswellendetektoren einzusetzen.

Rund ein Dreivierteljahr ist vergangen, seit der Hannoveraner Physikcluster seine Arbeit aufgenommen hat, nachdem er in der zweiten Runde der Exzellenzinitiative bewilligt wurde. Das Einzigartige an QUEST hat Wolfgang Ertmer, Physikprofessor an der Uni Hannover und Koordinator des Clusters, schnell identifiziert: „Die Kombination aus innovativer Lasertechnik, modernsten optischen Technologien, Quanten-Engineering und Gravitationsphysik – alles vom Feinsten, und zwar immer experimentell und theoretisch –, das gibt es weltweit nirgends.“ Möglich geworden ist der Cluster, weil in



AEI und ZIB, Werner Bengler

Zwei Sterne, die sich umkreisen, strahlen Gravitationswellen in den Raum ab.

Gravitationswellendetektoren sollen diese nun auf der Erde aufspüren.

den letzten Jahren und Jahrzehnten in Hannover wichtige strategische Entscheidungen gefallen sind. Ende der 80er-Jahre wurde das Laserzentrum gegründet, das sich inzwischen weltweit einen Namen gemacht hat. Anfang der 90er-Jahre fiel der Startschuss für den Gravitationswellendetektor GEO600 – die Voraussetzung dafür, dass ein Teil des Albert-Einstein-Instituts der Max-Planck-Gesellschaft nach Hannover kam. Auch die PTB in Braunschweig – eines der renommiertesten Metrologie-Institute weltweit – haben die Hannoveraner mit an Bord geholt sowie das Zentrum für angewandte Raumfahrt-

technologien und Mikrogravitation in Bremen mit dem Fallturm für Schwerelosigkeitsexperimente. „All das sind wichtige Puzzlesteine, die sich jetzt zusammenfügen“, erklärt Wolfgang Ertmer.

Auf vier Säulen basiert die Forschung, der sich zahlreiche Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Rahmen von QUEST widmen (Kasten). Rund 50 bis 60 Forscher werden direkt aus Mitteln der Exzellenzinitiative bezahlt. Grundlage für viele Experimente ist das Quanten-Engineering, also die Manipulation von Licht sowie von Materie am Quantenlimit, die die Basis für die Atomoptik bildet. „Der Begriff Quanten-Engineering ist in Hannover entstanden“, blickt Wolfgang Ertmer zurück. „Da haben wir Geschichte geschrieben.“ Ein Ziel des Clusters ist es, hochpräzise Atomuhren zu entwickeln, die auf lasergekühlten, ultrakalten Ensembles von Atomen basieren und deren Standardabweichung weniger als 10^{-17} beträgt. Solche Uhren erlauben es u. a., das Schwerfeld der Erde zu vermessen. Die Genauigkeit geodätischer Messungen innerhalb Europas liegt im Zentimeterbereich, Ziel ist der Millimeterbereich. Das soll Vorhersagen für Vulkanismus oder für Veränderungen der Erdkruste erlauben. Die atomoptischen Methoden sollen z. B. auch helfen,

1) www.quest.uni-hannover.de

CENTRE FOR QUANTUM ENGINEERING AND SPACE-TIME RESEARCH

Beteiligte Institutionen:

Leibniz Universität Hannover (LUH), Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik (Albert-Einstein-Institut AEI), Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Laserzentrum Hannover e. V. (LZH), Zentrum für angewandte Raumfahrttechnologie und Mikrogravitation (ZARM)
Koordinator: Prof. Dr. Wolfgang Ertmer, LUH
Stellv. Koordinator: Prof. Dr. Karsten Danzmann, LUH und AEI

Forschungsfelder:

■ **Quanten-Engineering:** Kontrollmechanismen für Quantensysteme, Kombination von Quantensystemen aus stark korrelierten Atomen und Festkörpern, Wechselwirkung von nichtklassischen Lichtfeldern mit atomaren Ensembles, ver-



schränkte Quantenzustände aus Licht und massiven Testmassen

■ **Quantensensoren:** Entwicklung von Gravitationswellendetektoren, optischen Frequenznormalen und Uhren sowie Inertialsensoren mit Licht- und Materiewellen

■ **Raum-Zeit-Forschung** spannt den Bogen von der Quantengravitationstheorie über die Phänomenologie bis hin zum Experiment, Einschränkung der Quantengravitationsmodelle

■ **Schlüsseltechnologien:** optische Technologien (optische Materialien, Dünnschicht-Verfahren, Nanooptik, Fasertechnik), Lasertechnologien (Hochleistungslaser, ultraschmalbandige Laser, modengekoppelte Kammgeneratoren) und Welt-raumtechnologien

die Gravitationskonstante mit höherer Genauigkeit zu bestimmen.

Die vier fundamentalen Wechselwirkungen sind gut verstanden, aber es fehlt eine Theorie, die sie vereint. Bislang gibt es zwar verschiedene Ansätze, wie die Stringtheorie, „aber im Wesentlichen ist das ein Feld von Spekulation und Intuition“, konstatiert Wolfgang Ertmer. Um diese Theorien zu überprüfen, spielen Quantensensoren wie Atomuhren eine wichtige Rolle, indem man damit z. B. das Äquivalenzprinzip sowie die Konstanz der Naturkonstanten überprüft. „Im Endeffekt hilft all das, die Verbindung der Quantenwelt mit der kontinuierlichen Raum-Zeit besser zu verstehen“, fasst Ertmer zusammen.

Welle, wo bist du?

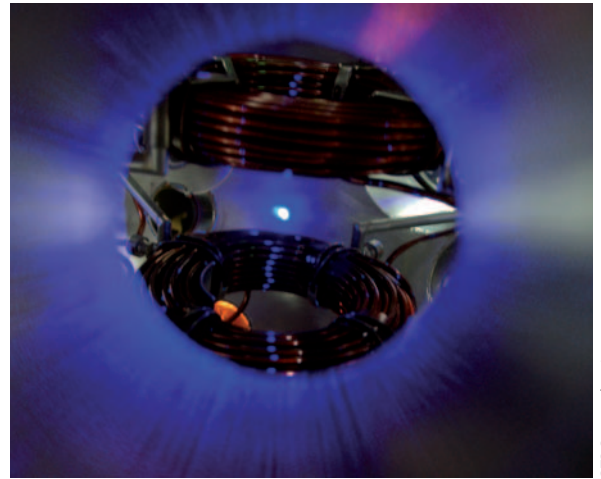
Südlich von Hannover steht mit GEO600 einer der Gravitationswellendetektoren, die schon Daten liefern. Zurzeit läuft die Auswertung der bisher weltweit aufgenommenen Daten. „Mit der gegenwärtigen Empfindlichkeit müssen wir allerdings Glück haben, um etwas zu sehen“, zeigt sich Karsten Danzmann vom Albert-Einstein-Institut realistisch. Höchstens zwei oder drei Ereignisse im Jahr liegen in dem Bereich, den man zurzeit schon messen kann. Die Suche nach Gravitationswellen wäre natürlich auch ohne QUEST weitergegangen, doch innerhalb des Clusters werden die Technologien für die nächste Detektorgeneration entwickelt, auf der viele Hoffnungen ruhen. „Wenn 2013 die nächste Ausbaustufe ans Netz geht, müsste es schon mit dem Deubel zugehen, wenn wir da nichts detektieren würden!“, ist Danzmann überzeugt.

QUEST ermöglicht es, viel breiter mit anderen Institutionen zu kooperieren, z. B. mit der Geodäsie. „Um solche Bindeglieder herzustellen, braucht man Forschungsprojekte, und diese brauchen Menschen“, erläutert Danzmann. Die dafür erforderlichen Stellen werden aus QUEST-Mitteln bezahlt. Die einzelnen Bereiche des Clusters

greifen alle ineinander. So sind für die Satellitenmissionen sog. Inertialsensoren erforderlich; bei LISA²⁾ sind das frei fliegende Testmassen. „Es ist aber durchaus denkbar, das mit kalten Atomen zu machen“, meint Danzmann. Und die Experten dafür sitzen nur einen halben Kilometer entfernt.

Im Rahmen von QUEST wurden acht W2- bzw. W3-Professuren ausgeschrieben. Eine der W3-Stellen konnte bereits besetzt werden – nur ein gutes halbes Jahr nach dem Bewilligungsschreiben. „Das ist rekordverdächtig“, freut sich Wolfgang Ertmer. Weitere Berufungsverfahren laufen, und die Hoffnung besteht, noch in diesem Jahr die nächsten Professorinnen oder Professoren berufen zu können. Überstürzen will man aber nichts: „Wir setzen uns nicht unter ungesunden Zeitdruck. Das alles muss organisch wachsen. Die guten Leute können wir nicht aus dem Ärmel schütteln!“, beschreibt Danzmann. Auf die großen Namen hofft man nicht, sondern auf den talentierten Nachwuchs, die „High Potentials“. Doch was kann Hannover denen bieten? „Ganz einfach – eine fantastische Infrastruktur. Die Umgebung hier sucht ihresgleichen“, sagt Ertmer stolz. Zu den attraktiven Arbeitsbedingungen gehört auch die gute Ausstattung der Professuren mit zugehörigen Post-Doc-Stellen. Für junge Wissenschaftler, die ihre eigene Arbeitsgruppe aufbauen sollen, sind sechs W1-Stellen vorgesehen. Die Nachwuchsförderung ist ohnehin ein wichtiger Punkt: So sind bei QUEST 16 Promotionsstipendien zu vergeben – dotiert mit monatlich 1500 Euro.

Knapp 35 Millionen Euro hat QUEST insgesamt bewilligt bekommen. Das Geld verteilt sich gleichmäßig auf Infrastruktur, Personalkosten und strategische Mittel. „Wir können eine große Geldsumme relativ flexibel in eigener Regie vergeben“, beschreibt Karsten Danzmann den großen Vorteil. Erste Investitionen sind bereits getätigt, so wurde am Laserzentrum eine Anlage aufgebaut, die modernste fasertechnische Experimente erlaubt. Zudem soll in diesem Jahr eine Molekular-



PTB Braunschweig

strahlepitaxieanlage angeschafft werden, die die Brücke zwischen Quantenoptik und Festkörperphysik schlägt. „Damit können wir z. B. BECs auf supraleitende Chips aufbringen und Vielteilchen-Quantensysteme untersuchen“, führt Wolfgang Ertmer aus.

Die neuen Arbeitsgruppen brauchen natürlich ihren Platz, und so renoviert die Universität gerade eine Etage ihres Verfügungsgebäudes, in das QUEST-Mitarbeiter einziehen sollen. „In unserem Bereich kommen dauerhaft zahlreiche Stellen hinzu“, sagt Danzmann. „Das transformiert nicht nur den Fachbereich, sondern auch die ganze Universität!“ Aber fünf Jahre sind zu wenig, so ist Ertmer und Danzmann klar, dass man in der kurzen Zeit noch nicht auf Augenhöhe mit amerikanischen Eliteunis kommen kann. „Wir müssen das pflegen und sukzessive aufbauen. Nach fünf Jahren fängt der Laden vermutlich erst richtig an zu brummen“, meint Wolfgang Ertmer. Aber ehrgeizige Zukunftspläne hat er bereits: „Das JILA³⁾ hat einen fantastischen Namen, und genau da wollen wir hin!“

Ultrakalte Atome, wie sie hier in einer Falle leuchten, bilden die Grundlage für eine neue Generation von Quantensensoren und hochpräzise Atomuhren.

2) LISA (Laser Interferometer Space Antenna) ist der geplante Gravitationswellendetektor im Weltraum.

3) Joint Institute for Laboratory Astrophysics in Boulder (USA)

DIE EXZELLENZCLUSTER

In einer losen Serie stellt das Physik Journal die Exzellenzcluster mit Schwerpunkt in der Physik vor:

- Center for Functional Nanostructures (CFN), Karlsruhe
- Munich-Center for Advanced Photonics (MAP), München
- Nanosystems Initiative Munich (NIM), München
- Origin and Structure of the Universe, München, s. Physik Journal, Juni 2008, S. 26
- Centre for Quantum Engineering and Space-Time Research (QUEST), Hannover