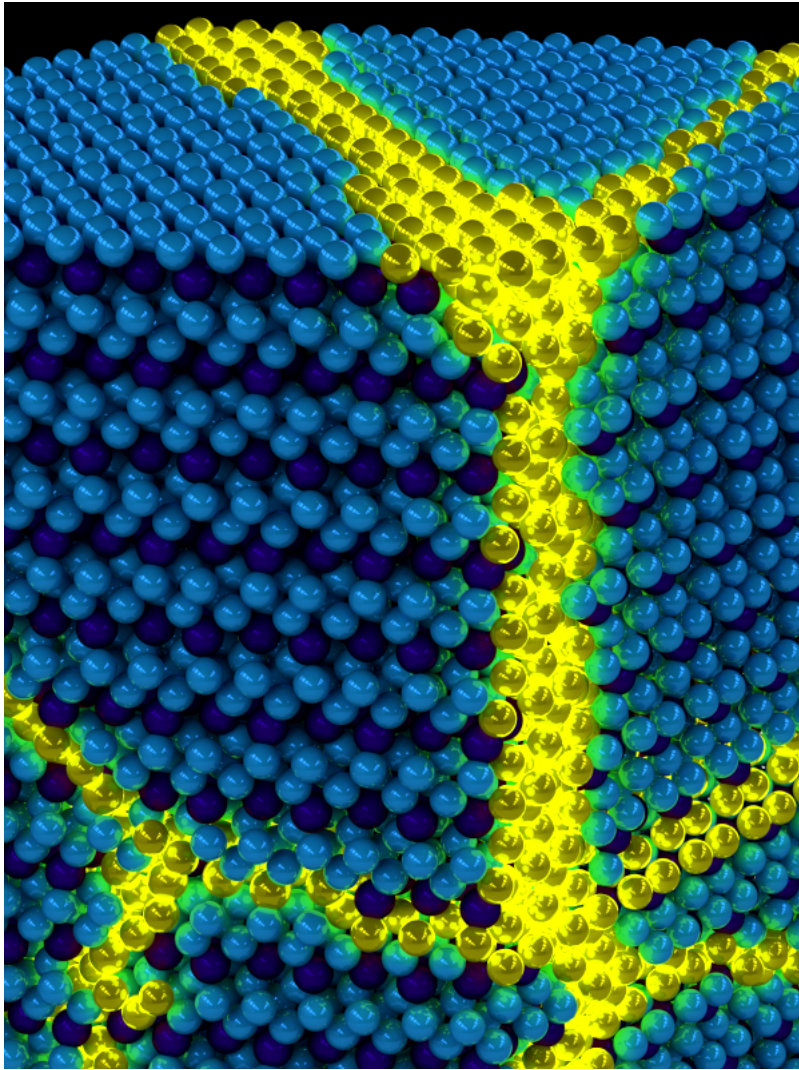


Excitonen: bijzondere deeltjesparen

Excitonen zijn paren van elektronen en “gaten” in een vaste stof die zich samen gedragen als één deeltje. Er werd al lange tijd vermoed dat zulke excitonen, wanneer ze in grote aantallen in een stuk materiaal voorkomen, samen een gigantische quantumtoestand kunnen vormen die een Bose-Einsteincondensaat heet - hetzelfde proces waardoor bijvoorbeeld een metaal zijn elektrische weerstand kan verliezen en een supergeleider kan worden. Om ook te bewijzen dat Bose-Einsteincondensatie van excitonen in echte materialen voorkomt, bleek echter al decennialang een grote uitdaging voor natuurkundigen. Een experiment aan de Universiteit van Illinois in Urbana-Champaign, uitgevoerd in samenwerking met UvA-onderzoeker Jasper van Wezel, heeft nu bewijs geleverd voor het bestaan van deze bijzondere materietoestand.



Afbeelding 1. Excitonen.Een artist's impression van de collectieve excitaties van een excitoncondensaat in een stuk materiaal. De excitaties kunnen voorgesteld worden als voortbewegende “domain walls” (geel) in een verder geordende vaste exciton-achtergrond (blauw). Afbeelding: Peter Abbamonte, University of Illinois Department of Physics en Frederick Seitz Materials.

Al vroeg in de 20e eeuw ontdekten natuurkundigen dat de wereld om ons heen uit twee soorten deeltjes bestaat: *bosonen* en *ferminonen*. Het belangrijkste verschil tussen deze deeltjes is hun gedrag wanneer we ze in dezelfde natuurkundige toestand proberen te brengen – met dezelfde positie, snelheid, enzovoort. Waar het voor twee fermionen (zoals elektronen) fundamenteel onmogelijk is om ooit in precies dezelfde toestand te verkeren, kunnen twee of meer bosonen (zoals lichtdeeltjes) zonder enig probleem tegelijkertijd in dezelfde toestand zijn. Sterker nog: bij lage temperaturen vertonen bosonen een voorkeur voor die situatie. De deeltjes hebben de neiging om allemaal dezelfde toestand op te zoeken, een proces dat bekend staat als *Bose-Einsteincondensatie*.

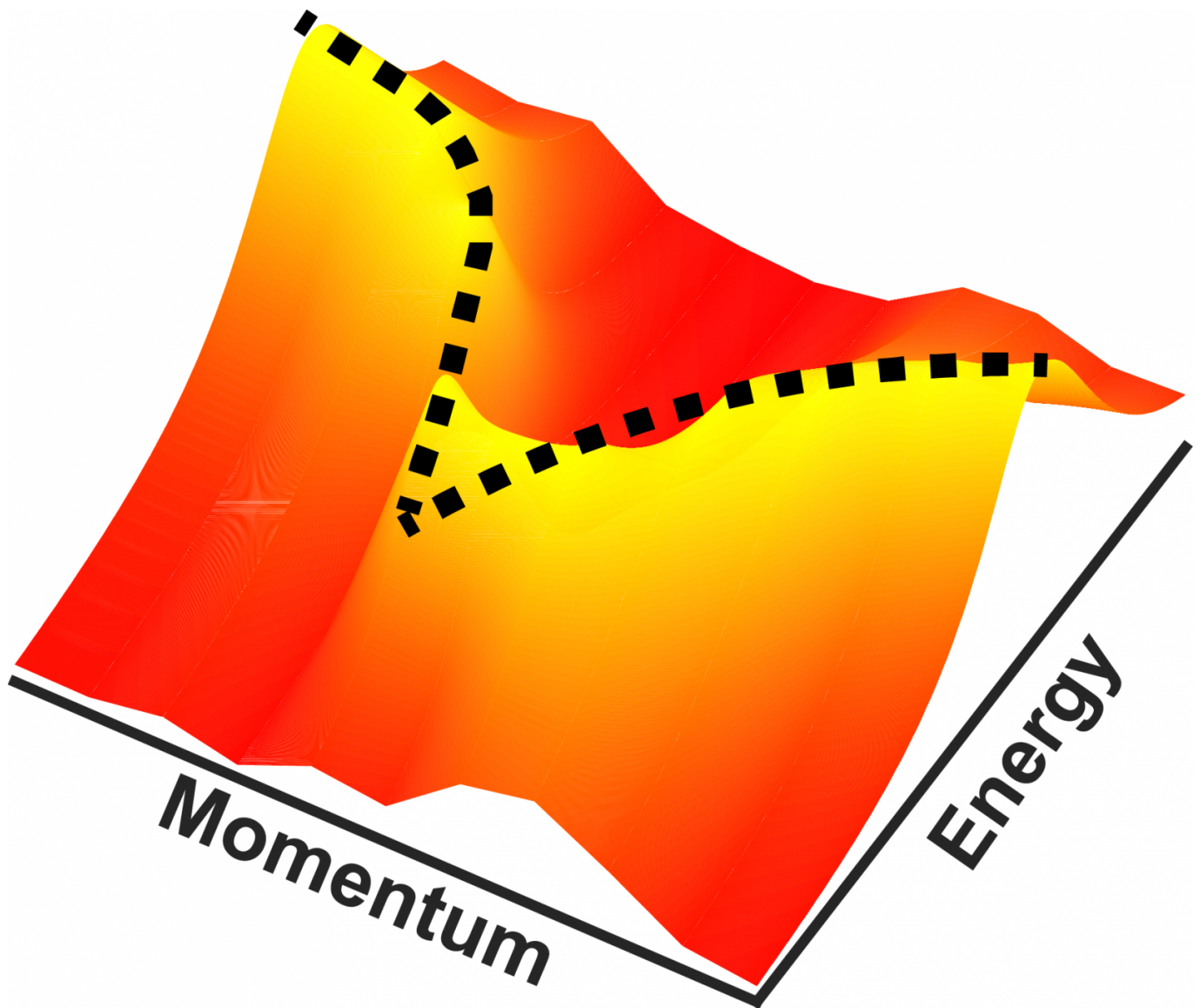
Excitonen

Voor de meeste soorten bosonen vindt Bose-Einsteincondensatie plaats bij heel lage temperaturen, in de buurt van het absolute temperatuurminimum van 273 graden Celsius onder nul. Een uitzondering op deze regel zou het gedrag van *excitonen* in een kristal kunnen zijn. Excitonen zijn combinaties van een negatief geladen elektron en een zogeheten *gat* – de afwezigheid van een elektron ergens in het kristal, waardoor lokaal een overschot aan positieve lading ontstaat. Paren van elektronen en gaten kunnen aan elkaar gebonden zijn en gedragen zich dan als één enkel bosonisch deeltje, het exciton.

In de jaren 60 werd voorspeld dat excitonen net als andere bosonen Bose-Einsteincondensaten kunnen vormen. Dit zou bovendien moeten gebeuren bij veel hogere temperaturen dan voor de meeste andere deeltjes – in theorie zou het zelfs bij kamertemperatuur mogelijk zijn. Aangezien hogere temperaturen veel gemakkelijker in het laboratorium te bereiken zijn, zouden excitonen een toegankelijke manier kunnen vormen om zowel de ongebruikelijke quantumeigenschappen van Bose-Einsteincondensaten zelf te onderzoeken, als de unieke materiaaleigenschappen die ze geven aan de kristallen waarin ze huizen.

M-EELS

Ondanks de relatief hoge temperatuur van het effect dat beschreven is in het *Science*-artikel (slechts zo'n 100 graden onder kamertemperatuur) en ondanks het feit dat het bestaan van excitonen al jarenlang wordt vermoed, bleek het toch verrassend moeilijk om met zekerheid vast te stellen dat excitonen een Bose-Einsteincondensaat vormen. De belangrijkste reden daarvoor is dat er een ander natuurkundig fenomeen is dat moeilijk te onderscheiden is van een Bose-Einsteincondensaat van excitonen: de vorming van een zogeheten *Peierls-toestand*, waarbij elektronen in een kristal zich spontaan organiseren in een golfpatroon, met afwisselende pieken en dalen in de elektronendichtheid. Een dergelijke golf heeft veel eigenschappen gemeen met het verwachte Bose-Einsteincondensaat van excitonen.



Afbeelding 2. Resultaten M-EELS. Met behulp van de M-EELS-techniek kan het verband tussen energie en impuls ("momentum") van de excitonen gemeten worden. Deze metingen worden gebruikt om aan te tonen dat excitonen inderdaad Bose-Einsteincondenseren.

Een nieuw experiment, uitgevoerd aan de Universiteit van Illinois in Urbana-Champaign, in samenwerking met onderzoekers aan de universiteiten van Oxford en Amsterdam, heeft nu laten zien dat de nieuw ontwikkelde experimentele techniek *Momentum-resolved Electron Energy-loss Spectroscopy* (afgekort tot M-EELS) het mogelijk maakt om unieke kenmerken van gecondenseerde excitonen te onderscheiden in het materiaal titanium-diselenide. Door de unieke mogelijkheden van deze techniek is het de onderzoekers gelukt om te bewijzen dat excitonen in titanium-diselenide spontaan samenkomen in een Bose-Einsteincondensaat zodra het materiaal gekoeld wordt tot 100 graden onder kamertemperatuur.

Science

Deze metingen geven voor het eerst overtuigend bewijs voor het feit dat excitonen een Bose-Einsteincondensaat kunnen vormen bij relatief hoge, gemakkelijk toegankelijke temperaturen. Bovendien tonen ze aan dat M-EELS een krachtige en veelzijdige techniek is met veel potentiële toekomstige toepassingen. De resultaten zijn deze week in *Science* gepubliceerd.

- Het [artikel in Science](#) (alleen toegankelijk voor abonnees)
- [Persbericht](#) van de Universiteit van Illinois