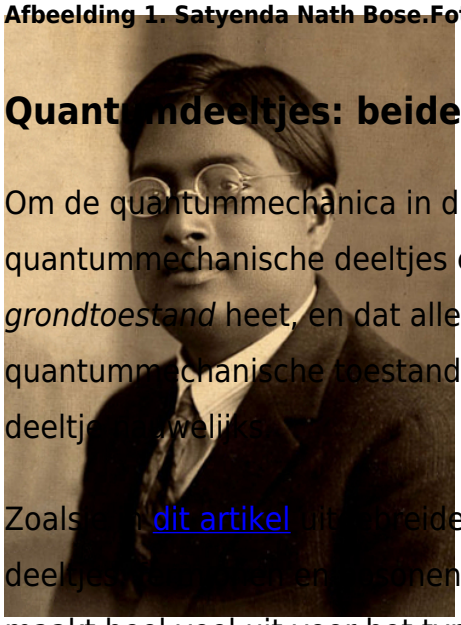
Quantummechanica zien met het blote oog

Over het algemeen gedragen gassen zich redelijk saai op kamertemperatuur: ze gedragen zich precies zoals je zou verwachten van een gas. Wanneer we de temperatuur lager maken zal er op een bepaald moment echter iets bijzonders gebeuren. Quantummechanische effecten zullen bepalend worden voor het gedrag van het gas. Voor bepaalde soorten deeltjes staat er vlak boven het absolute nulpunt van temperatuur zelfs een verrassing te wachten!

Afbeelding 1. Satyenda Nath Bose.Foto genomen in Parijs in 1925.



Quantumdeeltjes: beide smaken paraat

Om de quantummechanica in dit artikel te kunnen volgen hoef je alleen te weten dat quantummechanische deeltjes een minimale hoeveelheid energie kunnen hebben die de *grondtoestand* heet, en dat alle quantummechanische deeltjes van hetzelfde type in dezelfde quantummechanische toestand *ononderscheidbaar* zijn. In de grondtoestand beweegt een deeltje namelijk niet.

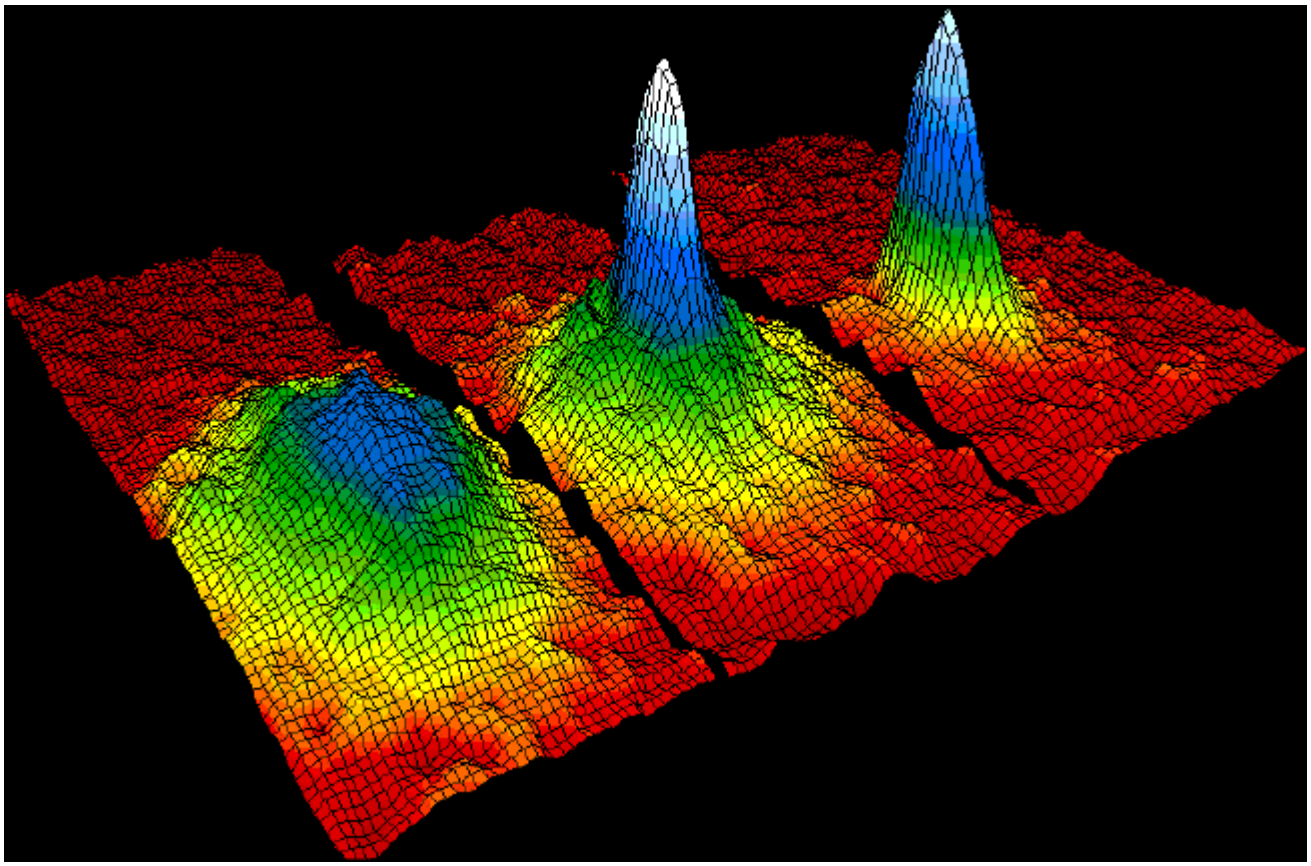
Zoals in dit artikel uitgelegd kunt lezen, zijn er twee smaken quantummechanische deeltjes: fermionen en bosonen. Of het gas uit fermionische of bosonische deeltjes bestaat maakt heel veel uit voor het type quantummechanisch effect dat je ziet naarmate je de temperatuur blijft verlagen. Voor bosonen werd namelijk in 1925 al voorspeld dat er een kritische temperatuur bestaat waaronder er iets bijzonders gebeurt. Die voorspelling werd gedaan door degene waarnaar deze deeltjes ook vernoemd zijn: Satyendra Bose. Fermionen vertonen dit bijzondere gedrag niet.

Communisme in de deeltjeswereld

Het bijzondere dat plaatsvindt onder de kritische temperatuur is dat een significante hoeveelheid van de bosonen in een gas, of ander materiaal, zich in de grondtoestand gaan bevinden. Aangezien deze deeltjes ononderscheidbaar zijn, vormen ze een soort

“communistisch collectief” dat zelfs met het blote oog te zien is! Dit heet een Bose-Einsteincondensaat.

In 1995 slaagden Eric Cornell, Carl Wieman en Wolfgang Ketterle er voor het eerst in om zo’n condensaat in het laboratorium te verwerkelijken. Dit gebeurde met tussen de 10.000 en 10.000.000 atomen van rubidium, natrium of lithium. De kritische temperatuur die hierbij hoort is grofweg 0,0000001 K, ontzettend dichtbij het absolute nulpunt dus! In 2001 kregen Cornell, Wieman en Ketterle de Nobelprijs voor deze experimenten.



Afbeelding 2. Een Bose-Einsteincondensaat.In deze drie grafieken staan de snelheden van de bosonen in een gas van rubidium-atomen weergegeven. In het linker plaatje is de temperatuur boven de kritische temperatuur, in de rechterplaatjes daaronder. We zien dat plotseling heel veel deeltjes een snelheid van vrijwel 0 (de locatie van de blauwe piek) krijgen. Afbeelding: NIST.

Kwetsbaarheid en lasers

Er dient opgemerkt te worden dat het koelen van deze systemen niet gebeurt volgens de methode van Joule-Thomson (of Joule-Kelvin) zoals we die beschreven in het artikel “door

meten tot weten in het ultrakoude", maar door middel van *laserkoeling*. Hierbij wordt er met lasers van een bepaalde frequentie geschoten op de deeltjes. Het doel is dat deeltjes hierdoor worden afgeremd, zodat ze energie verliezen en naar een lagere energietoestand gaan. Met behulp van dit principe kan het absolute nulpunt heel goed benaderd worden.

Doordat de techniek van laserkoeling behoorlijk complex is, is het niet moeilijk om te begrijpendat pas in 1995, 70 jaar na de theoretische voorspelling, een condensaat voor het eerst is gerealiseerd. Dit geeft ook aan hoe kwetsbaar een condensaat is: door kinetische energie toe te voegen warmt het systeem immers weer op!

Waarom zijn deze Bose-Einsteincondensaten nu zo interessant? Zoals we al zeiden geldt al het bovenstaande alleen voor bosonen: in principe kunnen fermionen (zoals elektronen, de deeltjes die de stroom geleiden) geen condensaat vormen. Verrassend genoeg blijken Bose-Einsteincondensaten toch ten grondslag te staan aan stroomgeleiding zonder weerstand: supergeleiding! Hoe dat precies mogelijk is, zien we in een volgend artikel. Voor die tijd gaan we het volgende week echter eerst hebben over een heel speciaal soort Bose-Einsteincondensaat: één waarin de deeltjes fotonen – dus lichtdeeltjes – zijn.

Bron: David Tong, Lectures on Statistical Physics