Downloaded from UvA-DARE, the institutional repository of the University of Amsterdam (UvA)
http://hdl.handle.net/11245/2.144531

File ID	uvapub:144531
Filename	Samenvatting
Version	final

SOURCE (OR PART OF THE FOLLOWING SOURCE):

Type	PhD thesis
Title	Bose-Einstein condensates in radio-frequency-dressed potentials on an atom chip
Author(s)	J.J.P. van Es
Faculty	FNWI: Van der Waals-Zeeman Institute (WZI)
Year	2009

FULL BIBLIOGRAPHIC DETAILS:
http://hdl.handle.net/11245/1.293016

Copyright

It is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), other than for strictly personal, individual use, unless the work is under an open content licence (like Creative Commons).

UvA-DARE is a service provided by the library of the University of Amsterdam (http://dare.uva.nl)
(pagedate: 2014-11-17)

Samenvatting

In dit proefschrift doen we verslag van experimenten om de eigenschappen van ijle atomaire gassen dichtbij het absolute nulpunt ($\leq 1\ \mu$K). Bij deze lage temperaturen gedragen de atomen zich anders dan bij kamertemperatuur. Meest opvallend is een faseovergang die optreedt wanneer de De Broglie golflengte van dezelfde grootte-orde wordt als de interatomaire afstand en de atomen een Bose-Einstein condensaat (BEC) vormen, waarmee hun quantummechanische aard duidelijk zichtbaar wordt.

Het doel van onze experimenten is om fundamentele fysische vragen te beantwoorden. Denk bijvoorbeeld aan een beter begrip van de dynamica van eendimensionale (1D) systemen en de coherentie van gassen bestaande uit Bosonen. Verder is de verwachting dat de technieken die voor deze experimenten worden ontwikkeld, zullen leiden tot nieuwe produkten zoals zeer precieze sensoren en klokken. Volgens sommigen zouden deze ontwikkelingen zelfs kunnen leiden tot de constructie van een quantumcomputer, een computer die voor bepaalde toepassingen oneindig veel sneller is dan hedendaagse computers.

In ons experiment koelen we gaswolkjes bestaande uit miljoenen ^{87}Rb atomen af van kamertemperatuur tot $\leq 1\ \mu$K, waarbij we gebruik maken van twee verschillende technieken: laserkoeling en verdampingskoeling. Het koude gas sluiten we op in een magneetveld in een vacuumsysteem om het contact met de omgeving te minimaliseren en opwarming en verliezen te voorkomen. Het magnetisch veld maken we met behulp van een atoomchip, die bestaat uit een substraat waarop we een draadpatroon gemaakt hebben waardoor we stroom sturen. We vangen de atomen ofwel in een statisch magnetisch veld of in een magneetveld dat bestaat uit een gecombineerd statisch en een radiofrequent (rf, ~ 2 MHz) magnetisch veld. De potentiaal volgend uit zo'n gecombineerd veld noemen we rf-gemodificeerd (engels: rf-dressed) om het te onderscheiden van de statische potentiaal.

Hoofdstuk 1 van dit proefschrift schetst kort de ontwikkelingen die vooraf gingen aan experimenten met koude atomen zoals we die nu doen. We vermelden hoe de quantummechanica ontstond en het principe van Bose-Einstein condensatie werd ontdekt aan het begin van de 20e eeuw. Afgezien van deze theoretische ontwikkelingen was ook de ontwikkeling van de techniek in de tweede helft van die eeuw erg belangrijk. Denk aan de uitvinding van de laser en de ontwikkeling van de microfabricage voor de productie van computerchips. De nieuwe theoretische inzichten en nieuwe technologie kwamen samen in de tachtiger jaren bij de ontwikkeling van laserkoeling voor neutrale atomen en in het gebruik van atoomchips om BECs te produceren.

Hoofdstuk 2 is gewijd aan berekeningen van de magnetische potentiaal waarin we onze koude gas wolken produceren en opsluiten. In het eerste deel van het hoofdstuk geven we verschillende benaderingen voor de potential van de statische

magneetval gemaakt met een Z-vormige draad op de chip. In het tweede deel geven we uitdrukkingen voor de rf-gemodificeerde potentiaal. De precieze vorm van deze potentiaal kan aangepast worden via de amplitude, polarizatie en frequentie van het rf-veld. Meest opvallend hierbij is de mogelijkheid om een potentiaal met een enkel minimum geleidelijk te vervormen zodat er twee minima ontstaan. Een BEC kan op deze manier in twee delen worden gesplitst.

Hoofdstuk 3 beschrijft de atoomchip waarmee we onze magneetvelden maken. We maken gebruik van microfabricage-technieken zoals optische lithografie en PVD (Physical vapor deposition) om gouddraden te vervaardigen met een dikte van $\sim$ 2 μm en een breedte van $\geq$ 5 μm. De microfabricage moet zorgvuldig gebeuren om uiteindelijk gladde en defectvrije potentialen te maken. In het tweede deel van hoofdstuk 3 karakteriseren we de chip. We sturen gewoonlijk 2.25 A door een draad van 125 μm breed wat een stroomdichtheid betekent van 10^6 A/cm^2. De maximale stroomdichtheid van $\geq 10^7$ A/cm^2 bereiken we in smallere draden. De stroom door de chipdraden wordt begrensd door de warmteweerstand tussen de draden en de omgeving die 9.9 K/W bedraagt. Uit een eerste karakterisatie blijkt dat de ruwheid van de magnetische potentiaal $\Delta B/B$ ongeveer 5×10^{-5} is op een afstand van 77 μm van het chipoppervlak.

Hoofdstuk 4 beschrijft de experimentele opstelling met uitzondering van de atoomchip. Het ultrahoogvacuumsysteem, het lasersysteem, de magneetspoelen en de besturings hard- en software komen aan bod. We besteden veel aandacht aan de rf-bronnen die we gebruiken om de rf magneetvelden mee op te wekken. Deze bronnen hebben we zelf ontworpen op basis van DDS-technologie. Ze hebben als voordeel dat ze heel snel geprogrammeerd kunnen worden (binnen 10 μs). Dit is veel sneller dan commercieel beschikbare rf-generatoren wat veel flexibiliteit geeft bij het uitvoeren van onze experimenten.

In hoofdstuk 5 beschrijven we verschillende experimenten waarin we BECs gebruiken om de rf-gemodificeerde potentiaal te karakteriseren. We gebruiken rf-spectroscopie en metingen van de valfrequentie om te laten zien dat variaties in de potentiaal ten gevolge van kleine variaties in het longitudinale magneetveld tot minstens een factor 10 kunnen worden onderdrukt vergeleken met een normale magnetische potentiaal. Dit effect kan mogelijk gebruikt worden om betere golfgeleiders op atoomchips te maken. We splitsen een BEC in verticale richting door het enkele potentiaalminimum te transformeren in twee minima. We laten zien dat het daarbij mogelijk is om de zwaartekracht te compenseren, zodat een BEC gelijkelijk over de twee minima wordt verdeeld door de verticale gradient van het statische en het rf magneetveld juist te kiezen. Ook beschrijven we in hoofdstuk 5 hoe het mogelijk is een condensaat te splitsen terwijl het zich voortbeweegt door de rf-gemodificeerde potentiaal, zodat we een ruimtelijke bundelsplitser (engels: spatial beamsplitter) creëren.

In hoofdstuk 6 tenslotte geven we de eerste resultaten van experimenten waarin we kijken naar de interferentie van materiegolven. We verkrijgen de interferentie door een BEC verticaal te splitsen en vervolgens te laten vallen uit de potentiaal met twee minima. Tijdens het vallen expanderen de twee atoomwolken waarbij ze overlappen en interfereren. Middels analyse van het interferentiepatroon bepalen

we verschillende zaken, zoals het potentiaalverschil tussen de twee potentiaalminima en de fase coherentie lengte. Het loslaten van de atomen uit de rf-gemodificeerde potentiaal gebeurt niet-adiabatisch waardoor de atomen na het loslaten in verschillende Zeemantoestanden terecht komen. We laten zien dat de verdeling van de atomen over de verschillende Zeemantoestanden beinvloed kan worden door de precieze manier waarop de potentiaal uitgeschakeld wordt. Hierbij maken we gebruik van de flexibiliteit van de door ons zelf ontworpen rf-generatoren.