

Zo **koud** mogelijk

Een ion in een wolk van atomen

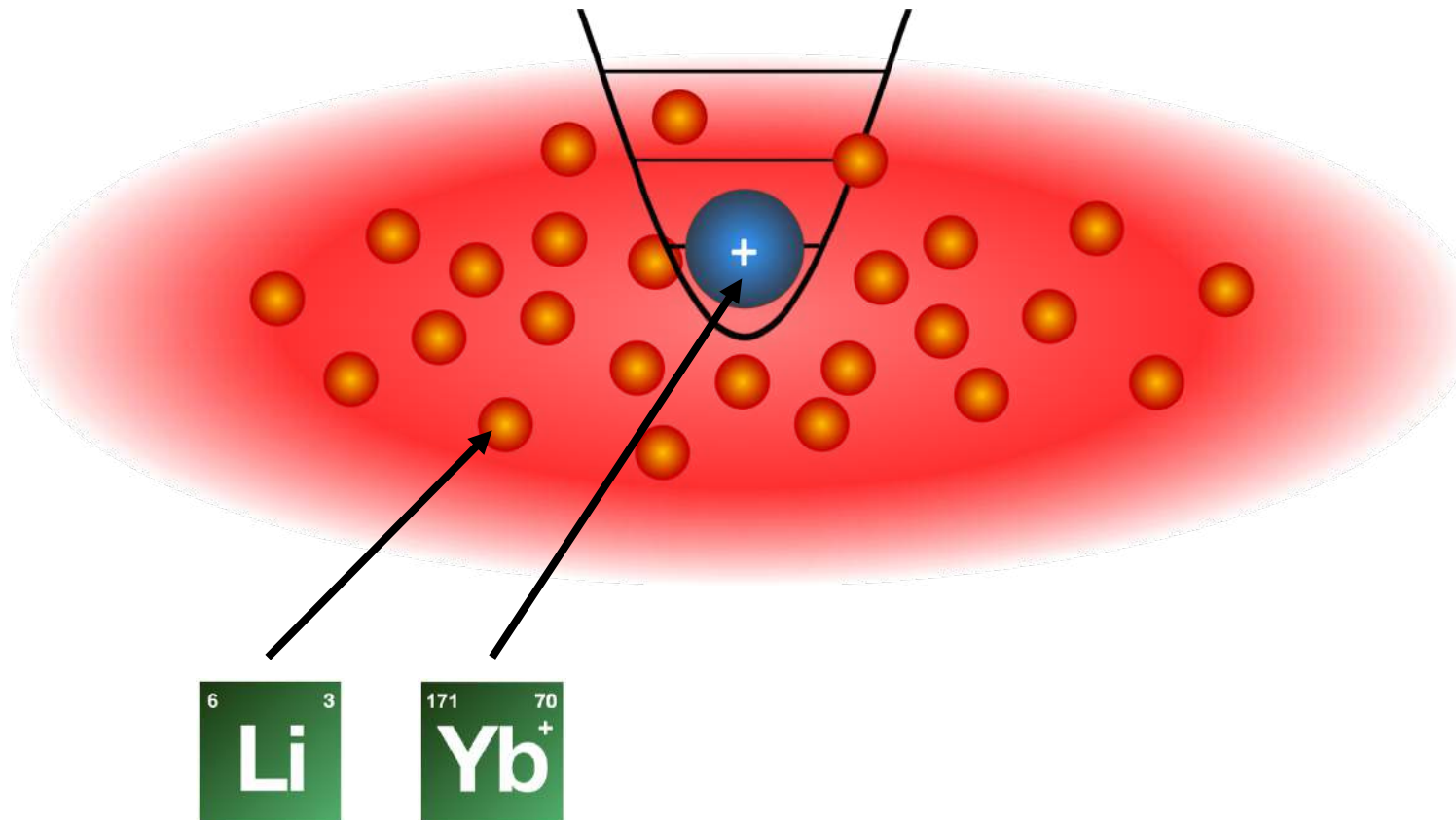


Rianne S. Lous

Van der Waals-Zeeman Instituut

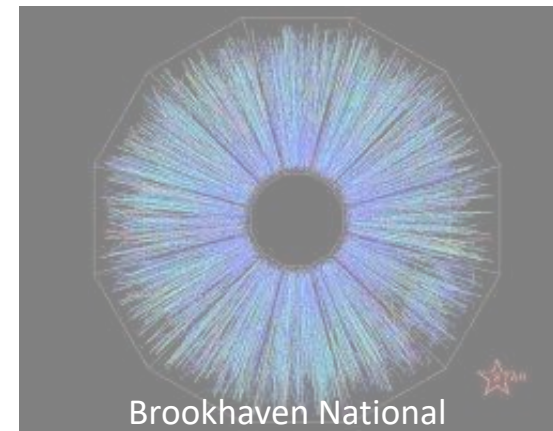
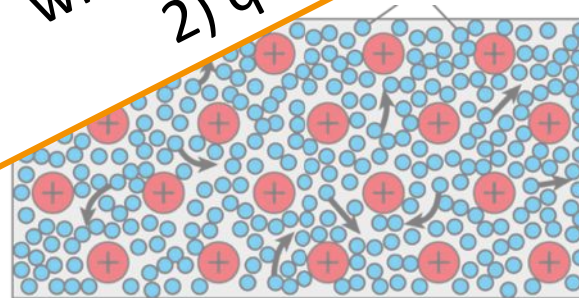
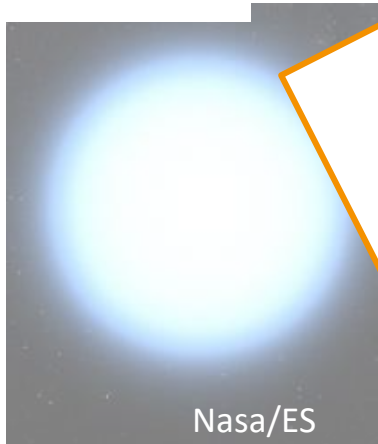
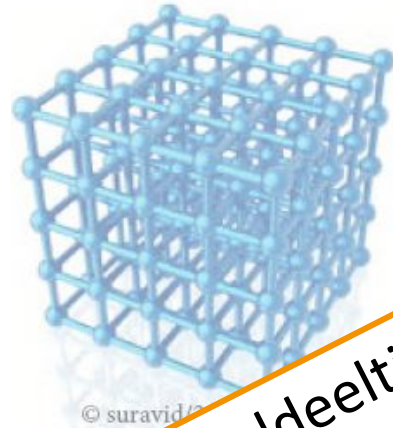
Groep: Hybrid Atom-ion Quantum Systems, Dr. Rene Gerritsma (www.hyqs.nl)

Het experiment



- Waarom
- Hoe
- Wat

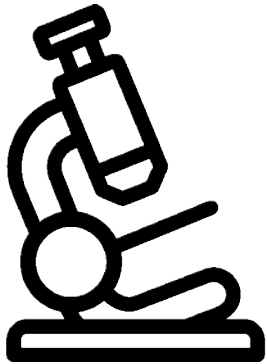
Zoek de overeenkomst



Veeldeeltjes systemen met:
1) wisselwerking tussen de deeltjes
2) quantum effecten

Hoe onderzoek je veeldeeltjes systemen?

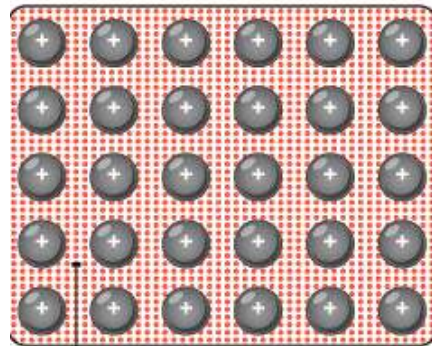
1) Experiment (meten)



Te ver weg

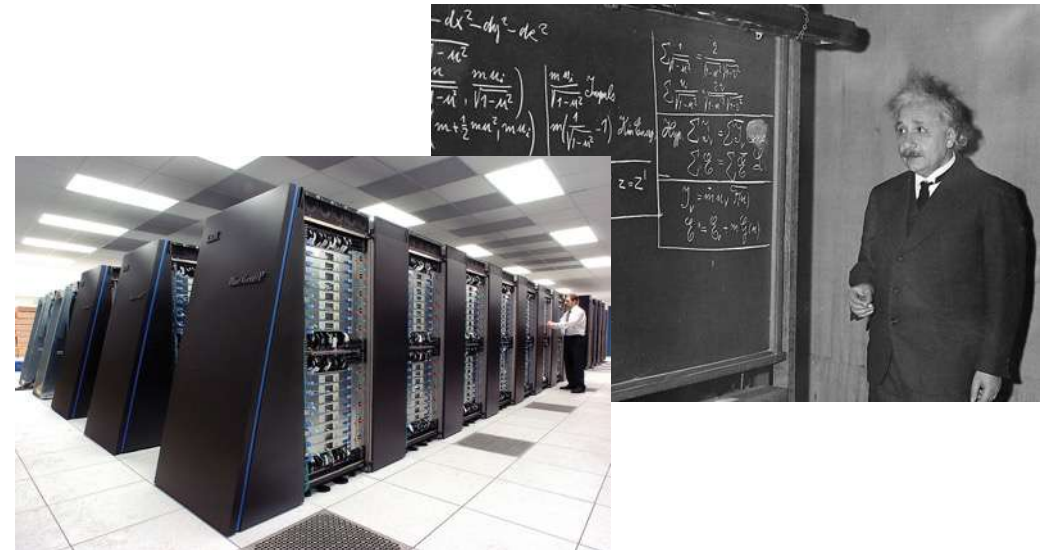


Moeilijk
Isoleerbaar



Quantum effecten
met femtoseconden
(10^{-15} s) tijdsduur

2) Theorie (berekenen)



Probleem: berekeningen vragen veel rekenkracht
(exponentieel met het aantal deeltjes)

→ Quantum computer ontwikkelen



Quantum Simulatie



Goed controleerbaar model bouwen,
om aan te meten en theorieën mee te
testen

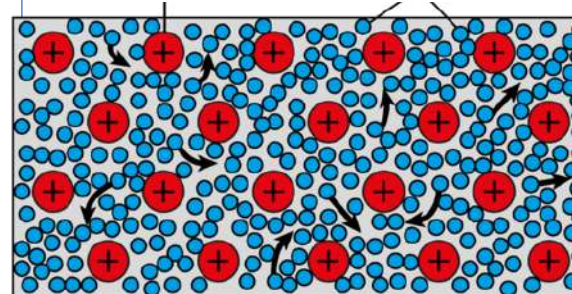


Belangrijke eigenschappen van een goede QS:

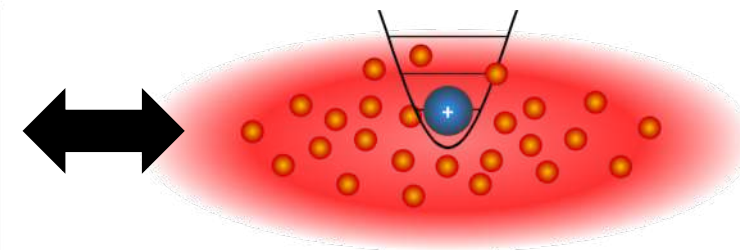
- controleerbare wisselwerking tussen de deeltjes
- het systeem is quantum, door QM wetten beschreven
- goede controle over het gehele systeem

Voorbeeld: Metalen

Metaal ion zit vast, elektronen wolk beweegt vrij



(10^{-15} s)



(10^{-6} s)

Wat doen wij?

Fundamenteel onderzoek naar *quantum effecten* in
veeldeeltjes systemen om gelijksoortige systemen
beter te begrijpen



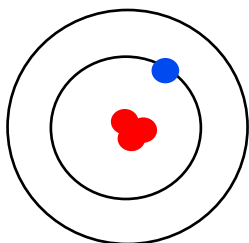
Intermezzo: Wat is quantum?



Wanneer de quantum mechanica nodig is om het verschijnsel te beschrijven, spreken we van een quantumeffect

Kwantisatie

$$E = \frac{h c}{\lambda}$$



Licht: fotonen zijn energie pakketjes, gekwantiseerd

Voor atomen/ionen: elektronen zitten in bepaalde energieniveau's

Golf & Deeltje

$$\lambda_{dB} = \frac{h}{p}$$



Licht: zowel een deeltje (foton) als golf

Voor atomen/ionen: geen losse biljartballen maar golven en golf-vergelijkingen

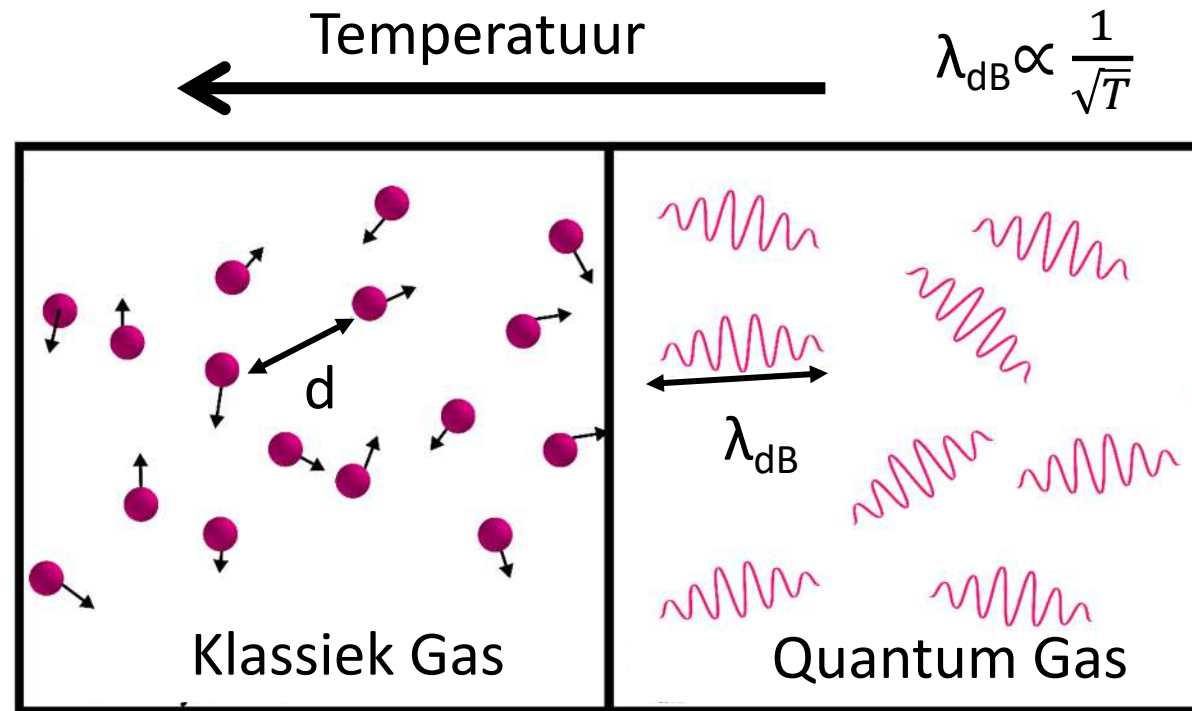
Collectiviteit



Identiek deeltjes kun je niet onderscheiden en dat leidt tot collectief gedrag!

Quantum statistiek: Bosonen & Fermionen

Quantum Gassen; een kwestie van schaal



Typisch: $T \sim 0.000001\text{K} (=1\mu\text{K})$

→ Quantum gas als $d \leq \lambda_{dB}$

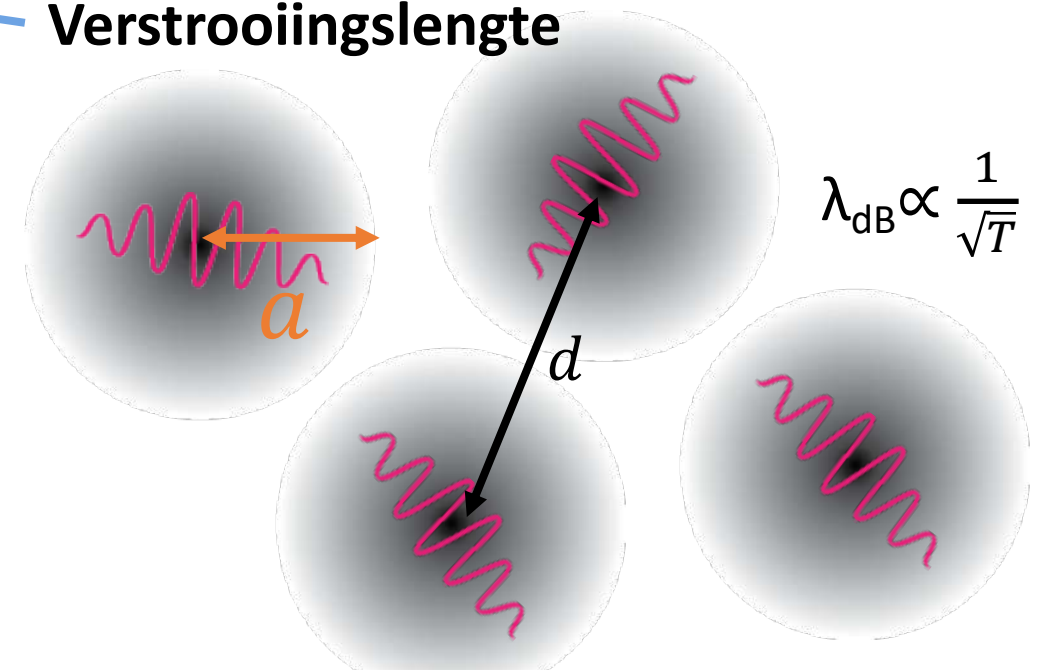
Interacties: een 3^{de} lengte schaal

Werkzame doorsnede =
effectieve oppervlak waarin een
deeltje zich moet bevinden om
met een ander deeltje te botsen
(=wisselwerken)

$$\sigma = 4\pi a^2$$

Verstrooiingslengte

Gas: $a \ll d$



Soorten interacties:

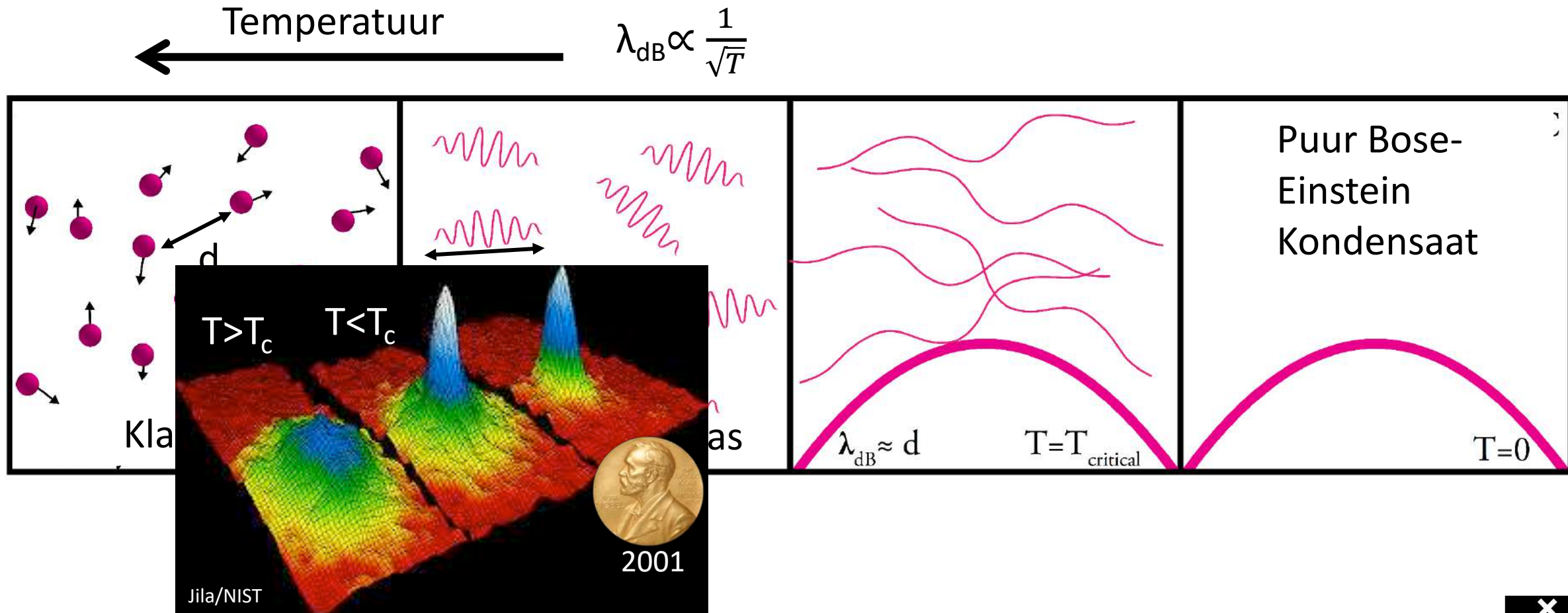
Tussen alkali atomen: van der Waals interactie

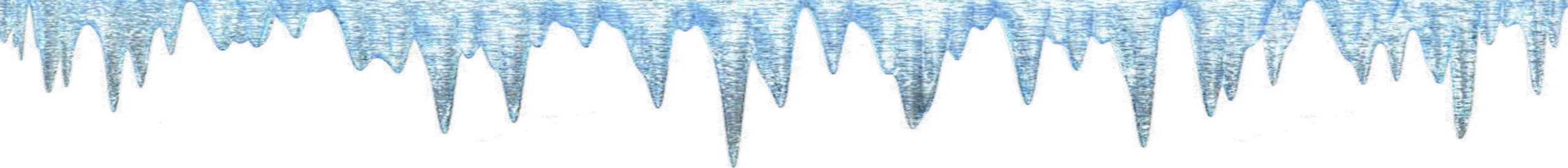
Tussen atomen en ionen: geïnduceerde dipool interactie

→ Quantum gedrag als $a \ll \lambda_{dB}$



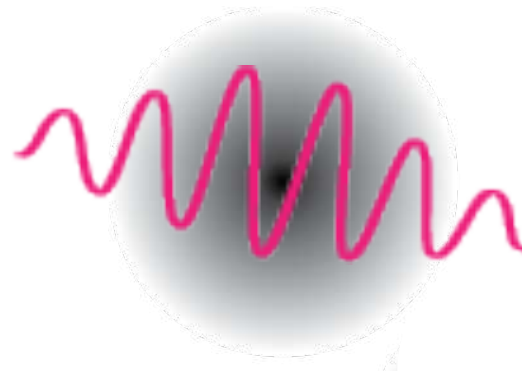
Intermezzo: Speciaal voor bosonen





Hoe bereik je de quantum wereld?

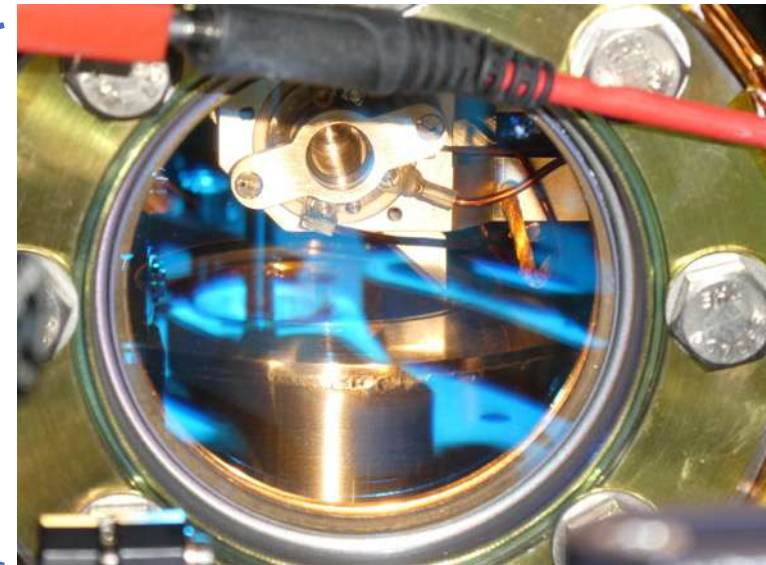
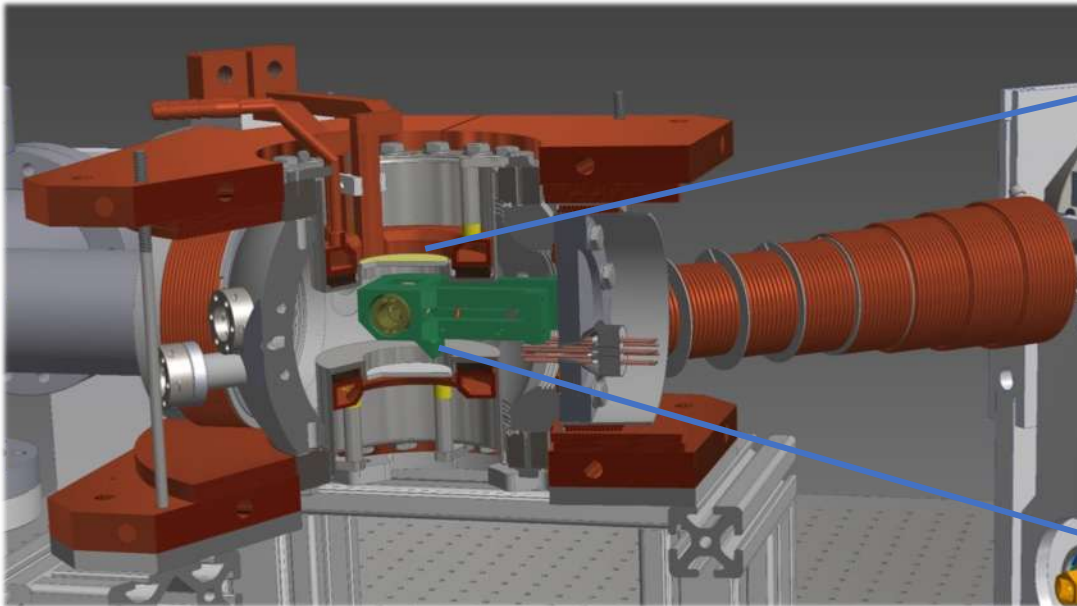
Oftewel: hoe maak je ons systeem?



Het Lab in 't kort



Het Lab in 't kort

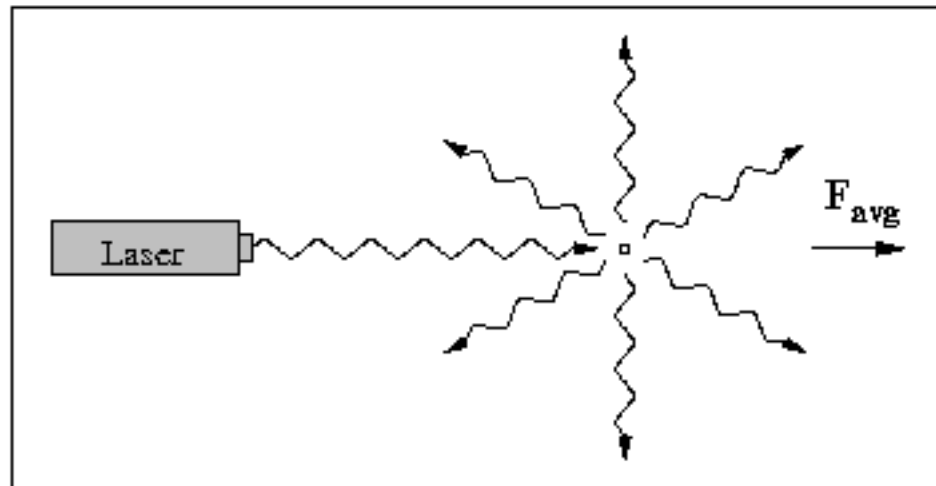


Li en Yb gas, Elektronika, Lasers, Optica, Magneetvelden, hoog vacuum

Multifunctionaliteit van de Laser



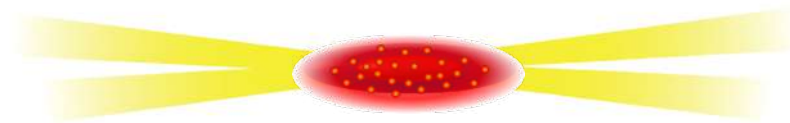
Als koelelement



1997

Als optische val

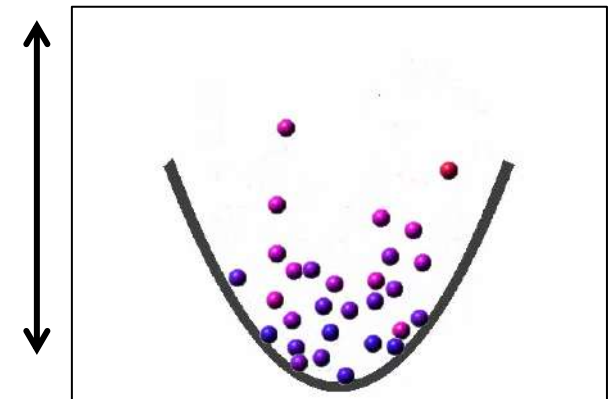
Potentiaal gevormd door laser licht vangt de atomen



2018

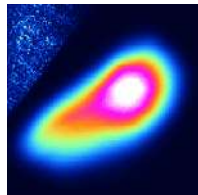
Verdampingskoeling

Potentiaal $\propto I$

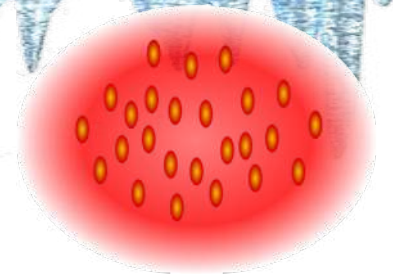


JILA physics 2000 webpage

Als detector: absorptie of fluorescentie



Atomen vangen en afkoelen

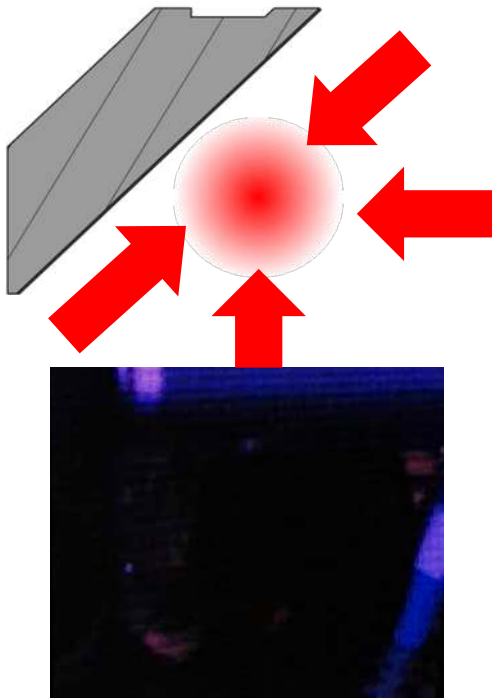


Oven

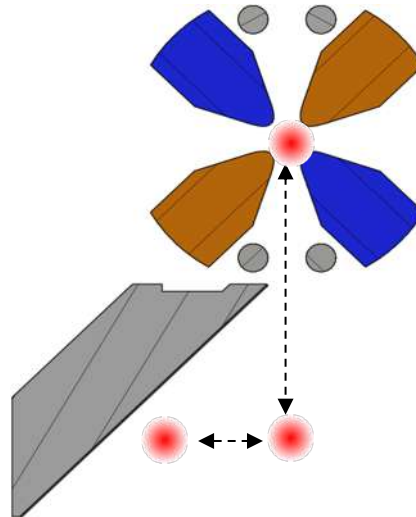
Zeemanslower
(Laser koeling
671nm)



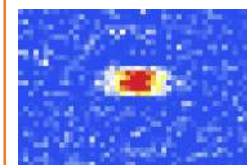
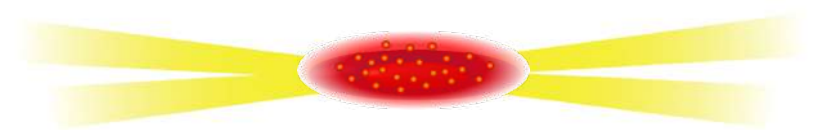
Magnetisch en
optische val



Transport in
magnetisch val

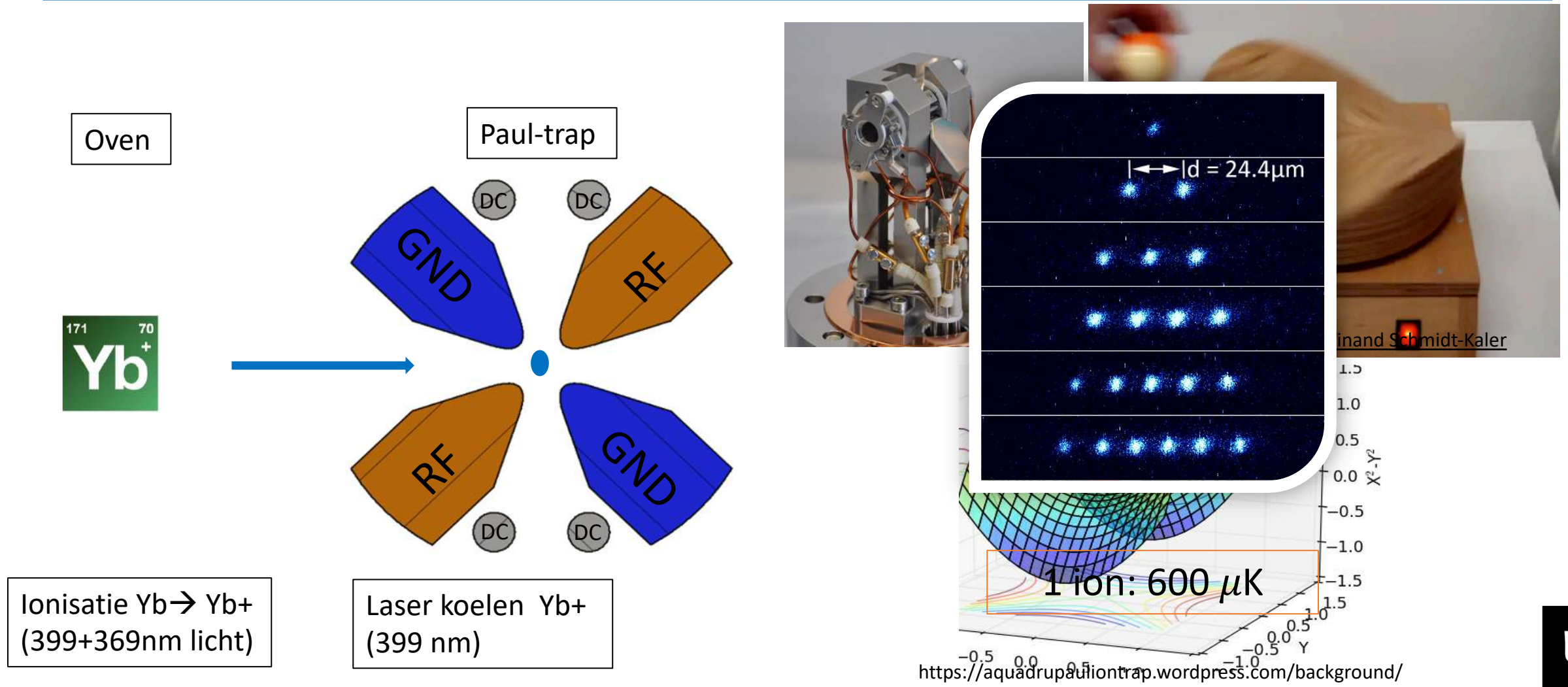
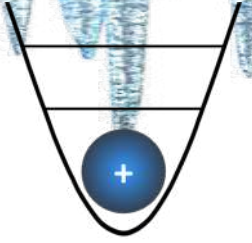


Optisch val &
verdamplingskoeling



2-10 μK
10 000 tot 100 000
atomen

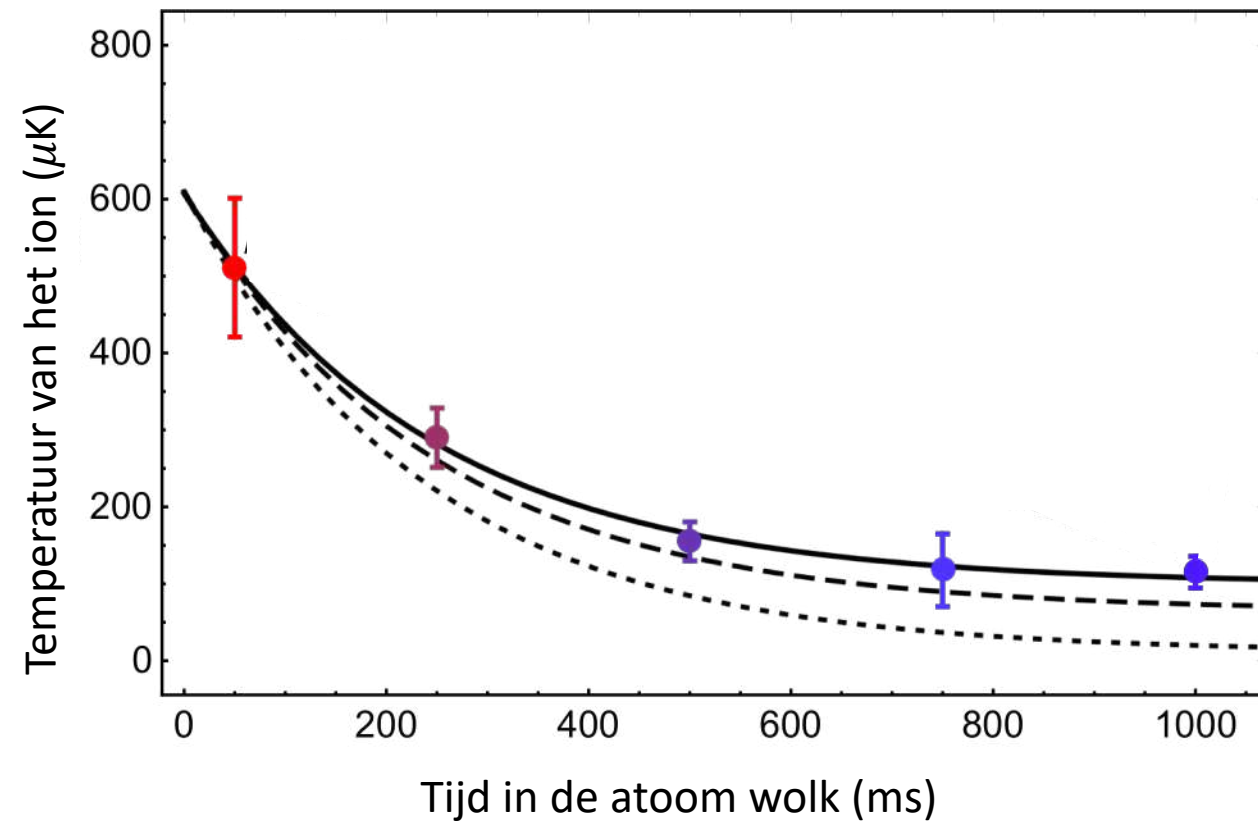
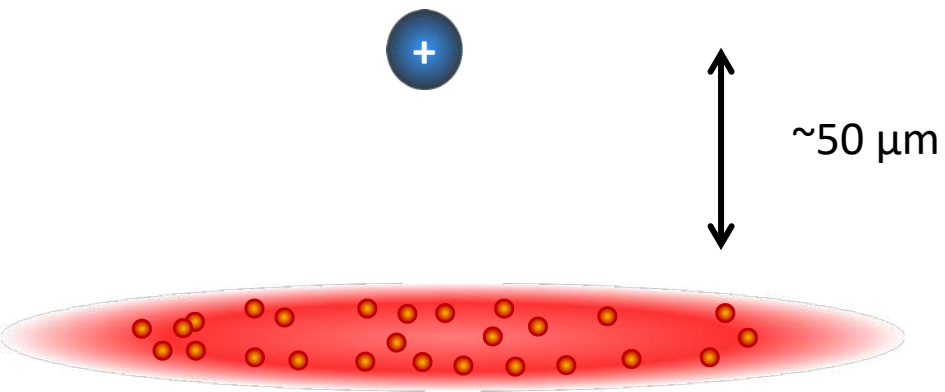
Het ion maken, koelen en vangen



Uiteindelijk: Ion koelen met de atomen



100 000 atomen @ $10\ \mu\text{K}$
1 ion @ $600\ \mu\text{K}$

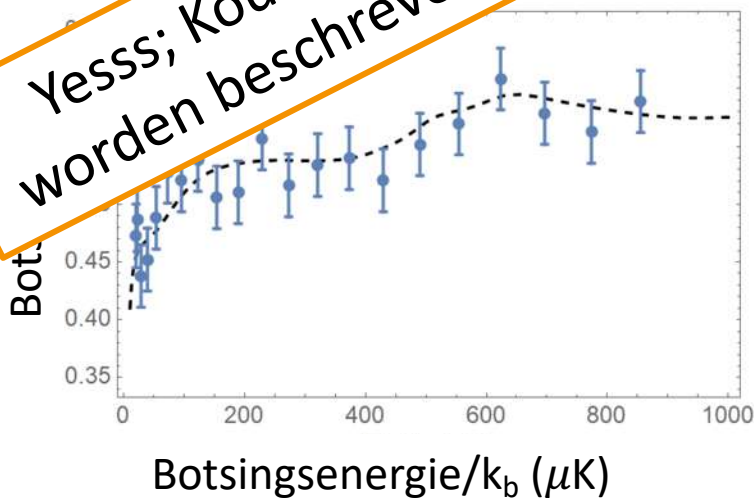
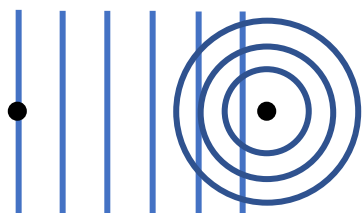
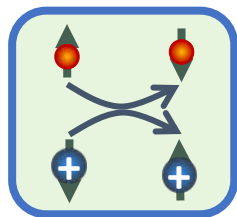


Resultaat

Eerste keer dat een atoom-ion systeem zo koud is!

Maar zijn we quantum?

→ Klassiek: botsingskans veranderd niet met botsingsenergie



Yesss; Koud genoeg! → botsingen moeten worden beschreven met quantum mechanica!

arXiv.org > quant-ph > arXiv:1907.10926
Quantum Physics
Buffer gas cooling of a trapped ion to the quantum regime
T. Feldker, H. Furst, H. Hirzler, N. V. Ewald, M. Mazzanti, D. Wiater, M. Tomza, R. Gerritsma
(Submitted on 25 Jul 2019)

Great advances in precision quantum measurement have been achieved with trapped ions and atomic gases at the lowest possible temperatures. These successes have inspired ideas to merge the two systems. In this way one can study the unique properties of ionic impurities inside a quantum fluid or explore the trapped ion quantum regime. Remarkably, in spite of its importance, classical collision theory. We report a collision energy of 1.15(0.23) times the behavior in the atom-ion collisions. Our results open up numerous possibilities, in analogy to neutral systems.

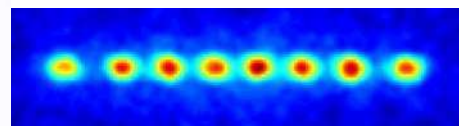
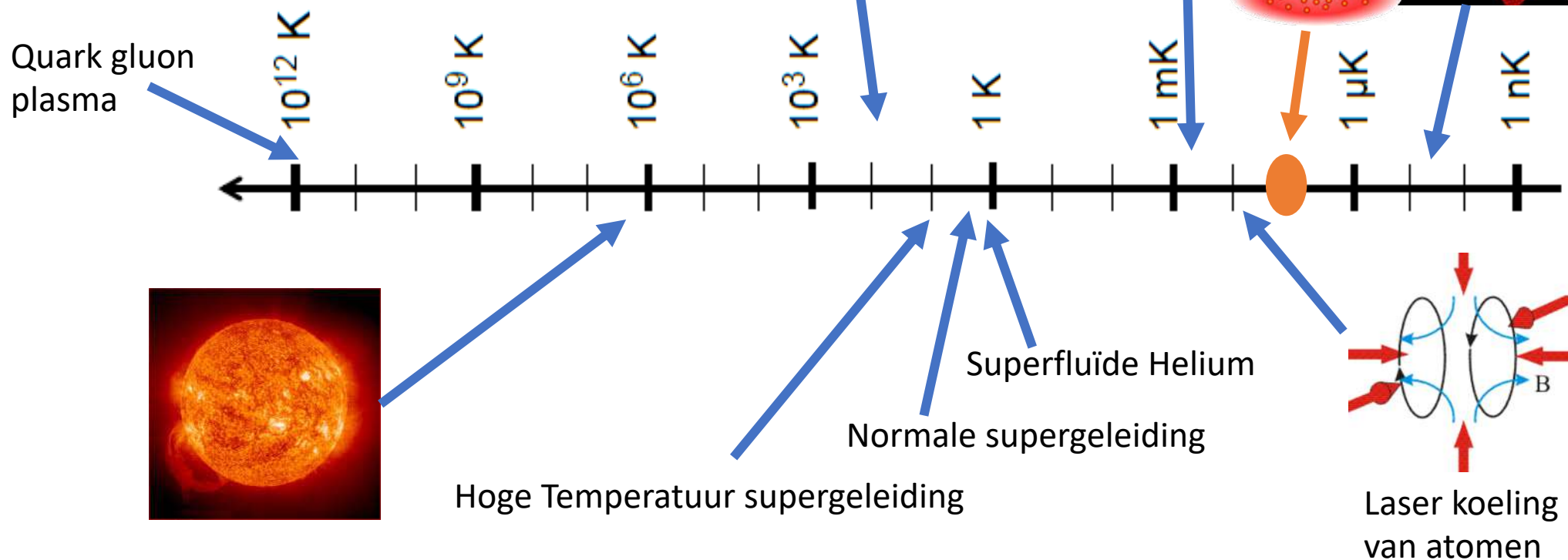
→ Geaccepteerd in Nature Physics

Theory by: D. Wiater & M. Tomza

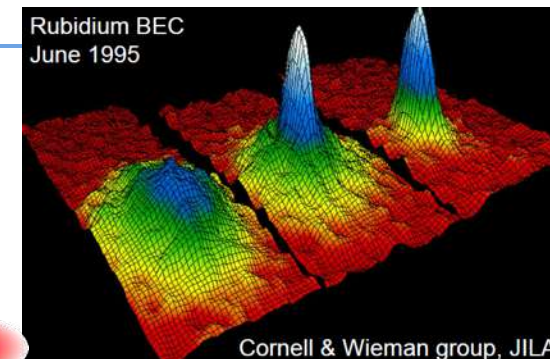
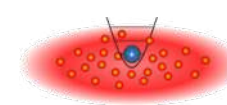


Perspectief

De kern van de zon $\sim 15 \cdot 10^6$ K
Kamer temperatuur ~ 298 K
Ons quantum system $\sim 98 \cdot 10^{-6}$ K



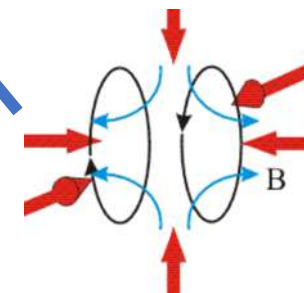
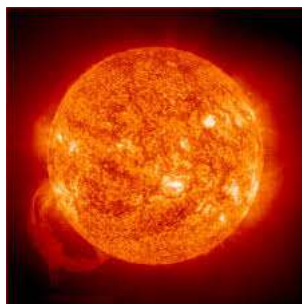
Koude ionen



Rubidium BEC
June 1995

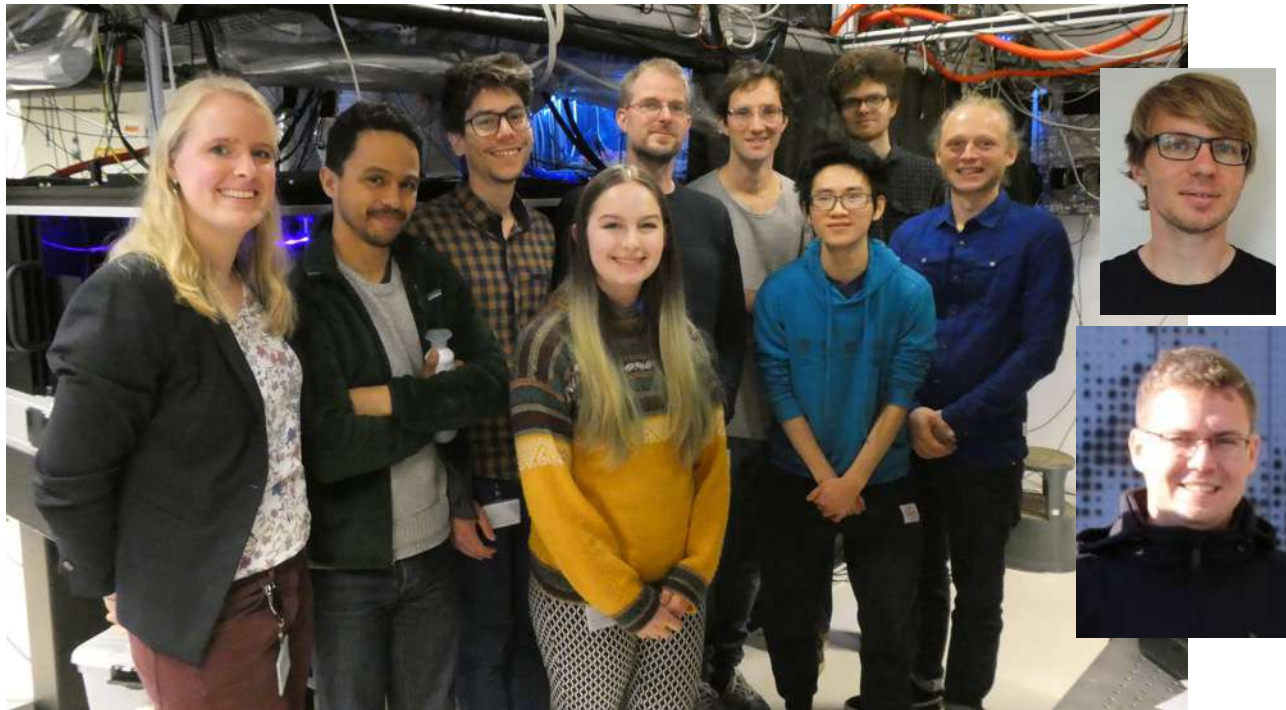
Cornell & Wieman group, JILA

BEC



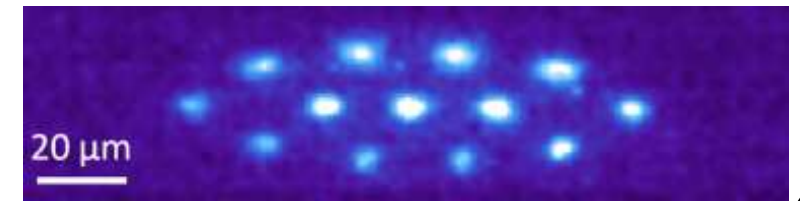
Groep: Hybrid Atom-Ion Quantum Systems

www.hyqs.nl



2^{de} experiment: 2D ion kristal

Doel: quantum berekeningen / simulatie



Mede mogelijk gemaakt door:

- ERC grant
- Vidi grant



Netherlands Organisation for Scientific Research

Rianne S. Lous, Juan Arias Espinoza, [Matteo Mazzanti](#), Eleanor Trimby, **Rene Gerritsma**, [Henrik Hirzler](#), Laurens de Haan, Shen Li, [Norman Ewald](#),
Oudleden: [Thomas Feldker](#), [Henning Fürst](#)



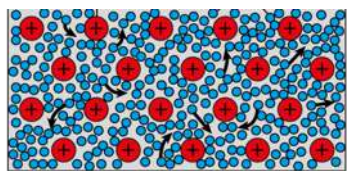
UNIVERSITY OF AMSTERDAM



Research Center for Quantum Software

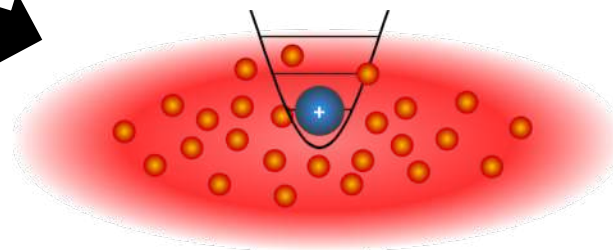
Samenvatting

Waarom?



Moeilijk te onderzoeken
systeem

Quantum
simulatie



Meetbaar system in ons lab

Wat?
Koud genoeg om
quantum effect te
zien in de botsingen!

Hoe?

