

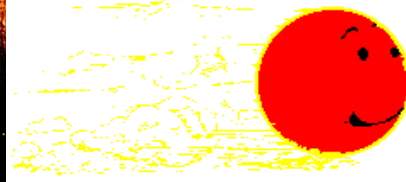
Universiteit Antwerpen
| TQC | Theorie van Kwantumsystemen
en Complexe Systemen

Koud, kouder, koudst

Een reis doorheen de temperatuur

Wat is temperatuur?

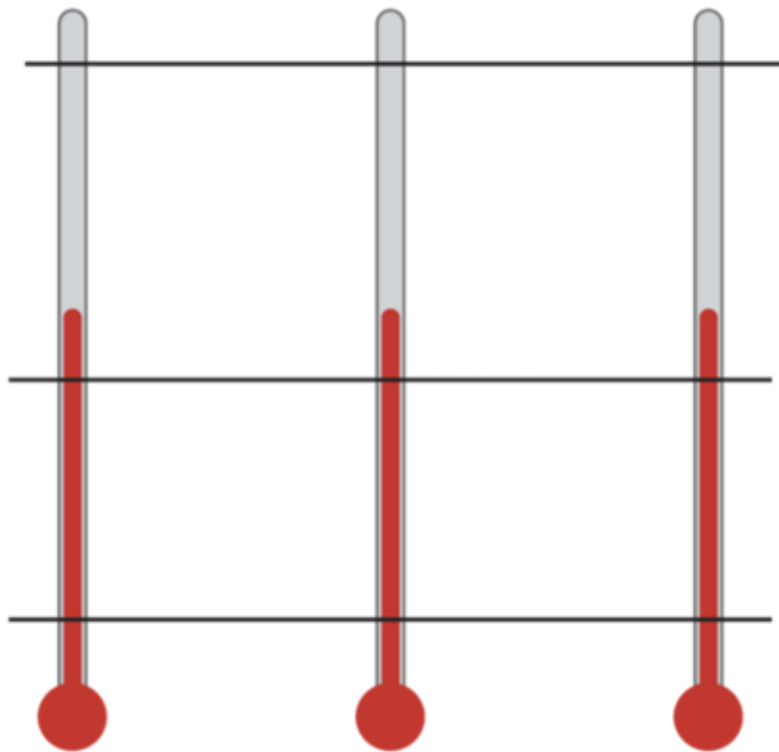
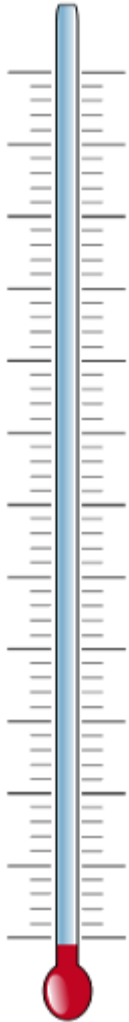
- **Alle materie is opgebouwd uit atomen**
 - Deze atomen hebben energie en bewegen
 - Hoe sneller ze bewegen, hoe warmer



- **Temperatuur is een aanduiding voor de snelheid van atomen**

Hoe meten we temperatuur?

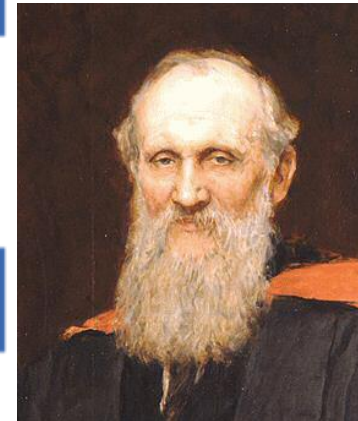
➤ Er bestaan verschillende temperatuurschalen:



Kookpunt

Vriespunt

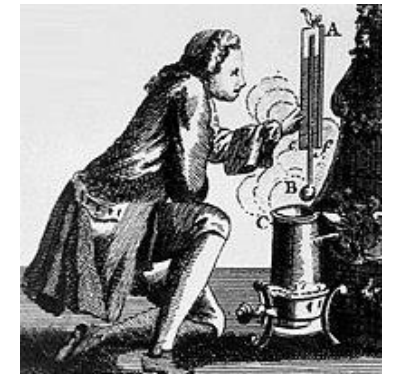
Absoluut nulpunt



Lord Kelvin
1824 - 1907



Anders Celsius
1701 - 1744



Daniel Gabriel
Fahrenheit
1686 - 1736

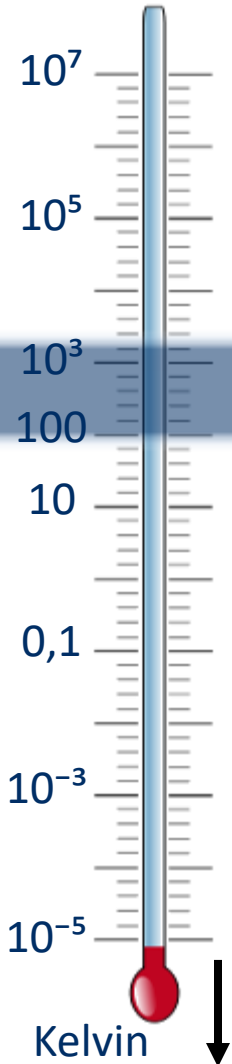
De Kelvin Schaal

- Fysisch gebruiken we een absolute schaal
- 0K = Absolute nulpunt. Geen energie = geen beweging?

} You are here

- Enkele waarden:

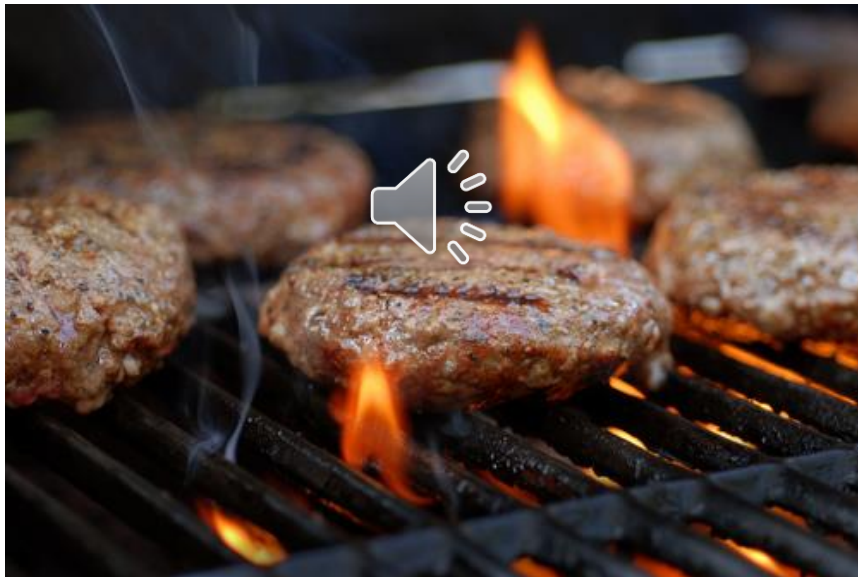
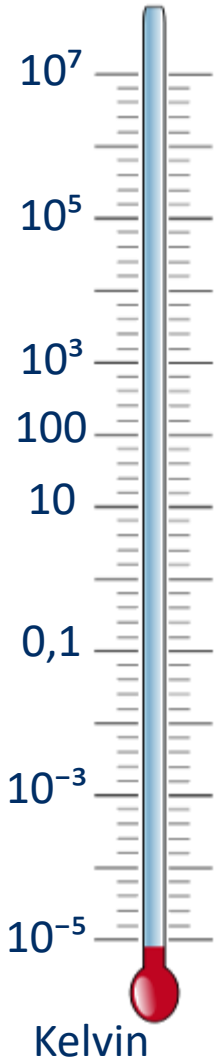
	Celsius (°C)	Kelvin (K)
Kern zon	15.699.726,85	15.700.000,00 $\times 10^7$
Oppervlakte zon	5504	5777
Kookpunt water	100	373,15
Tripelpunt water	0,01	273,16
Laagste temp. Aarde	-89,2	183,95
Temp. in ruimte	-270,42	2,73
Absoluut nulpunt	-273,15	0



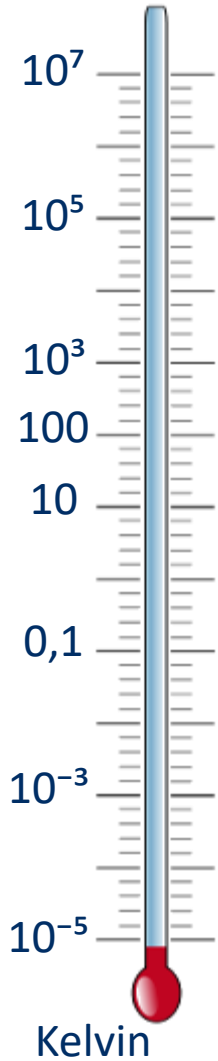
Hoe bewegen we op deze schaal?

➤ Opwarmen is eenvoudig: energie toevoegen

- wrijving
- elektrische weerstand
- exotherme reactie



Hoe bewegen we op deze schaal?



➤ Opwarmen is eenvoudig: energie toevoegen

- wrijving
- elektrische weerstand
- exotherme reactie



➤ Afkoelen is moeilijker:

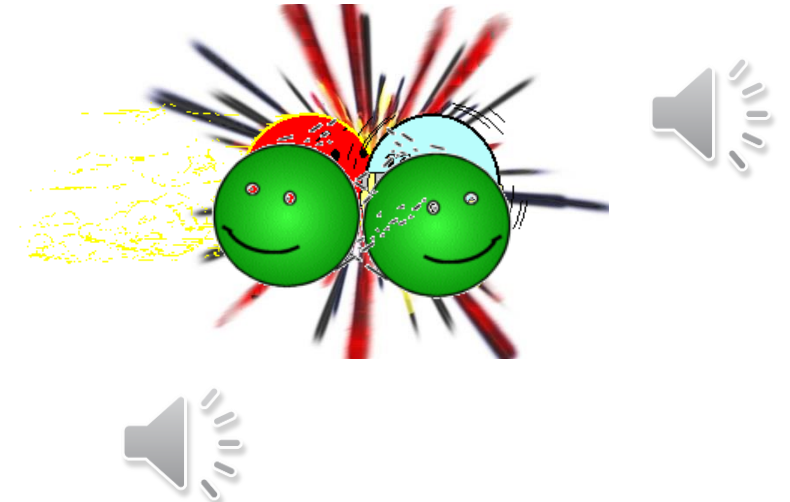
- ijsblokjes toevoegen
- warmte wegpompen
- afkoelen met koelvloeistof



Hoe bewegen we op deze schaal?

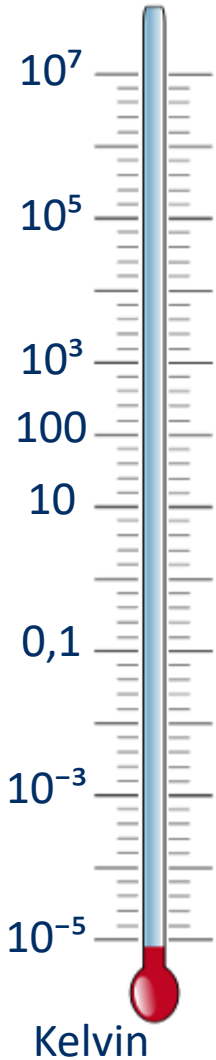
➤ Opwarmen is eenvoudig: energie toevoegen

- wrijving
- elektrische weerstand
- exotherme reactie



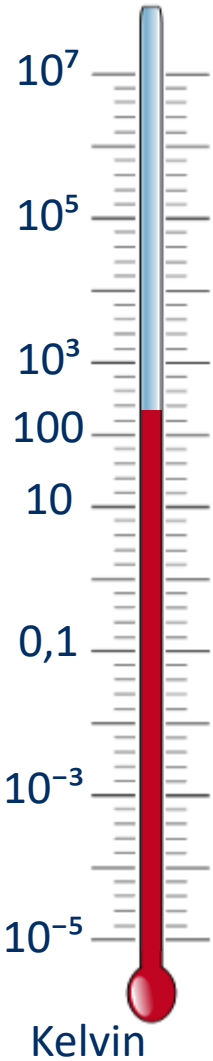
➤ Afkoelen is moeilijker:

- ijsblokjes toevoegen
- warmte wegpompen
- afkoelen met koelvloeistof



In het dagelijkse leven

- We zijn het meest vertrouwd met temperaturen rond 300K
- Welke temperaturen maken we op aarde mee?



56,7°C

Warmste plekje op aarde:
Furnace Creek



-89,2°C

Koudste plekje op aarde:
Vostok, Antartica

Aggregatietoestanden

➤ In welke vormen kan materie verschijnen?

→ Vast

→ Vloeibaar

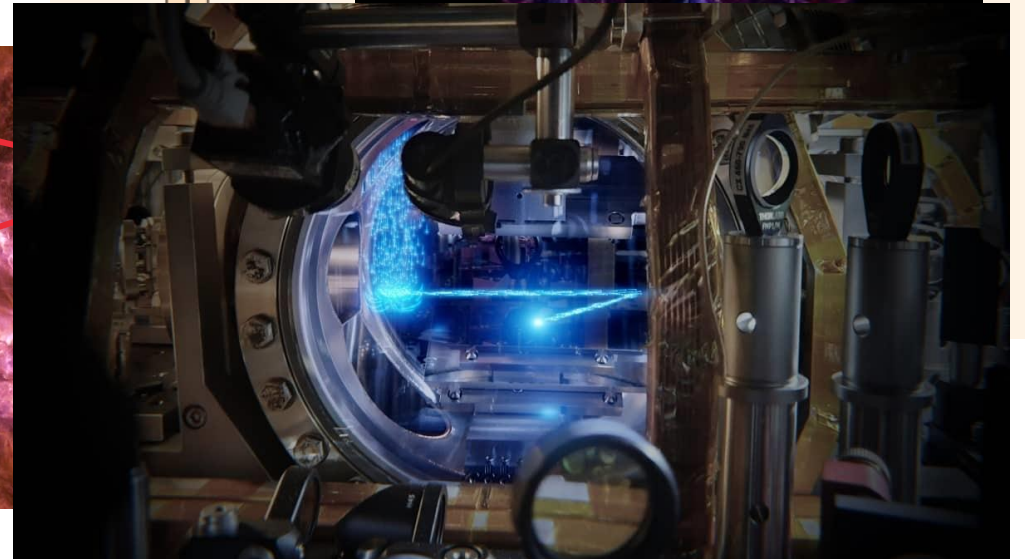
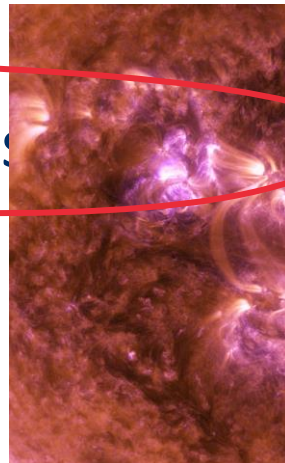
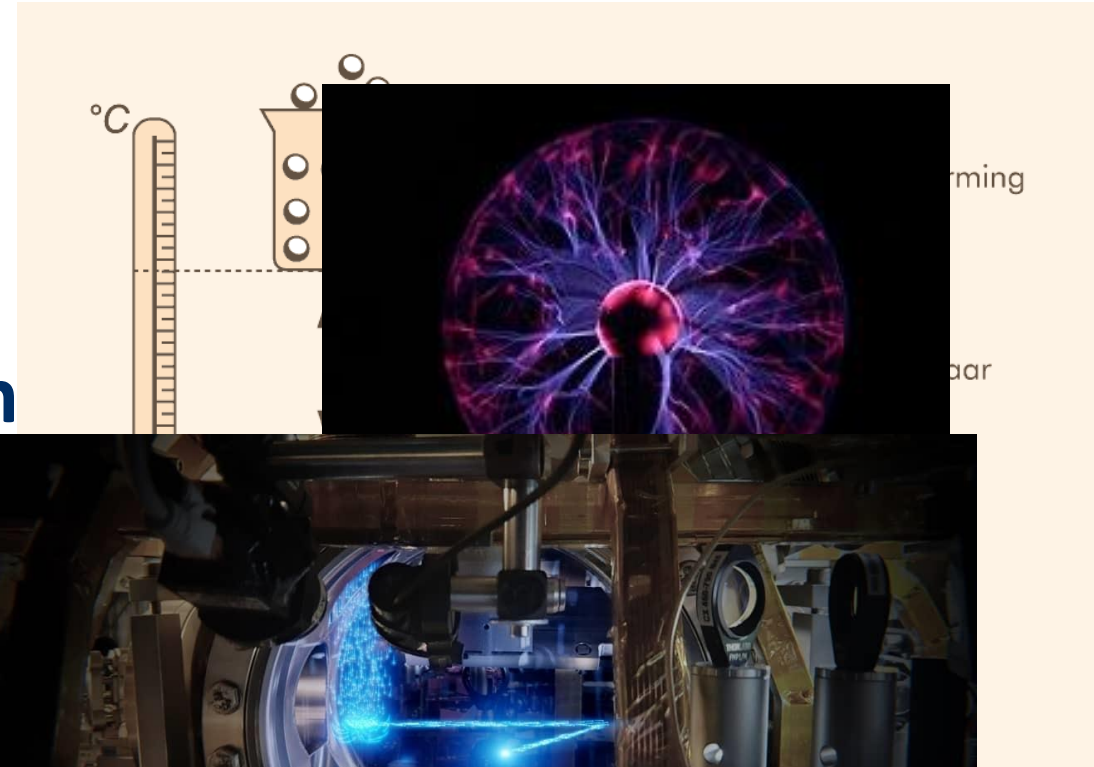
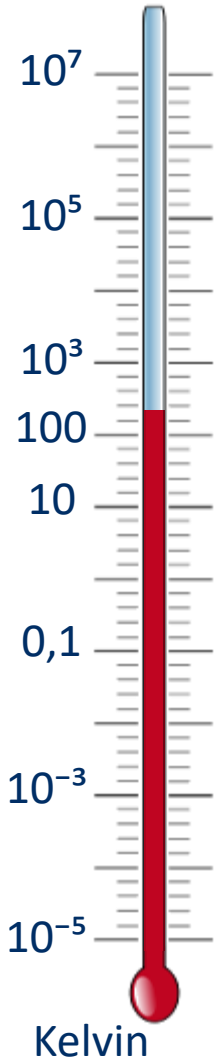
→ Gas

➤ Hebben we daarmee alles geh

→ Plasma

→ Bose-Einstein condens

→ ...

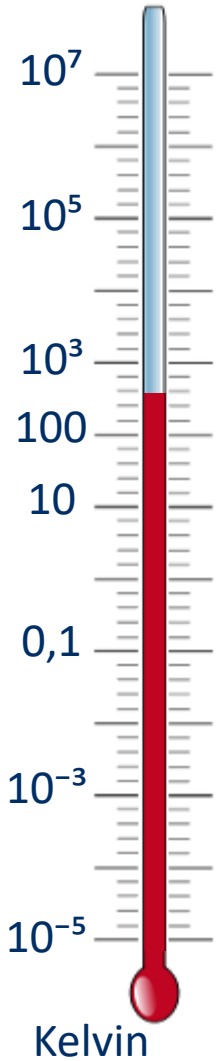


We koelen af

Over vloeibare stikstof, laserkoeling
en magnetische vallen

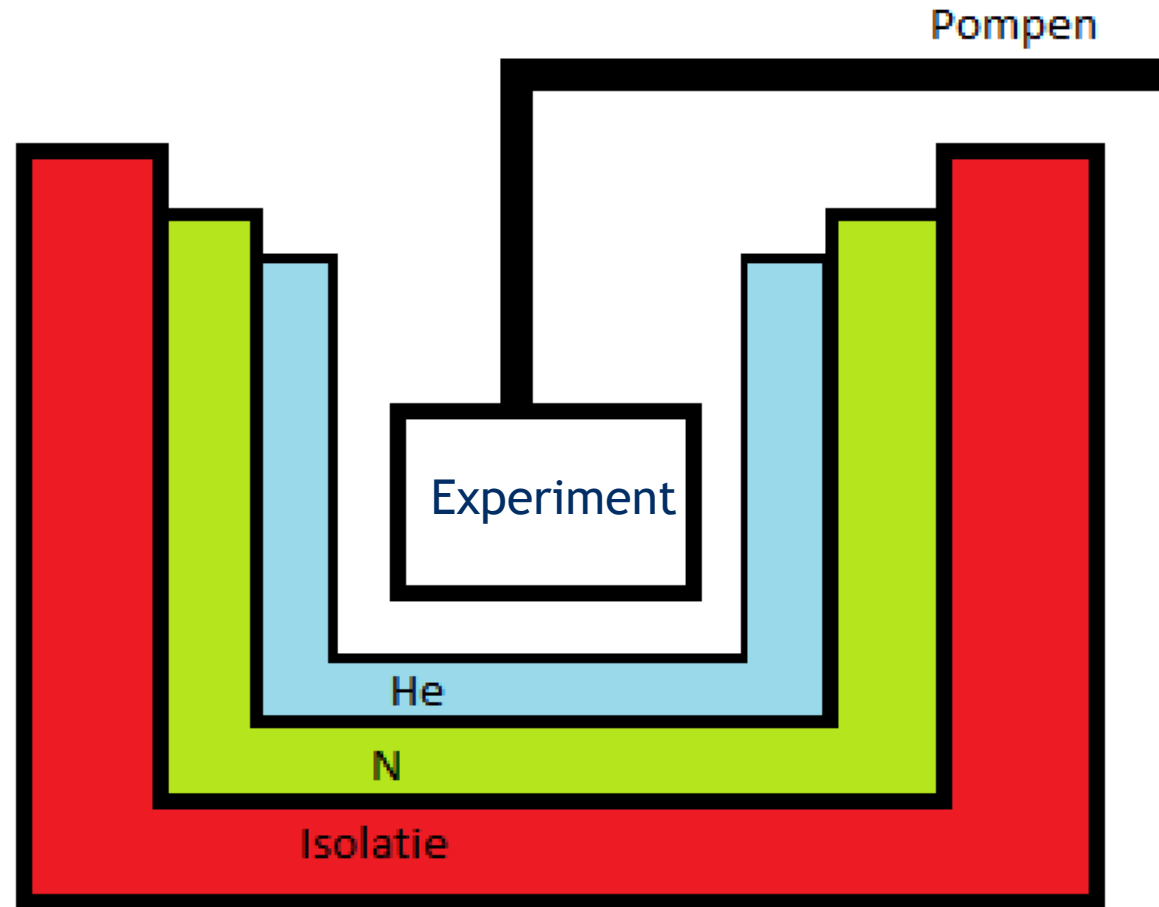
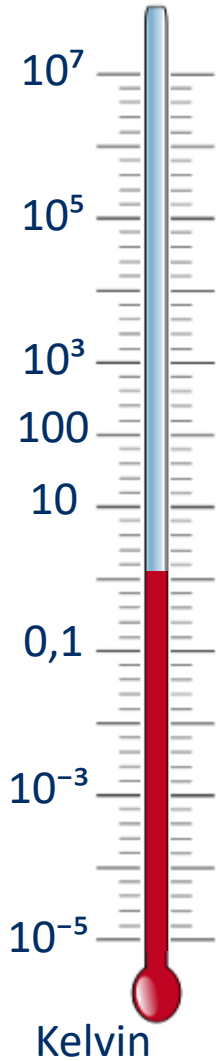
We koelen af

- Afkoelen met ijs → 273,15K
- Of met vloeibaar Stikstof (N_2) → 77K
- Nog verder met vloeibaar Helium (He)
- Pompen op vloeibaar He



Afkoelen in lagen

➤ In realiteit wordt alles gecombineerd



We willen nog lager

➤ Laserkoeling

→ Nobelprijs Fysica 1997

Dalen tot 0,1 milliKelvin



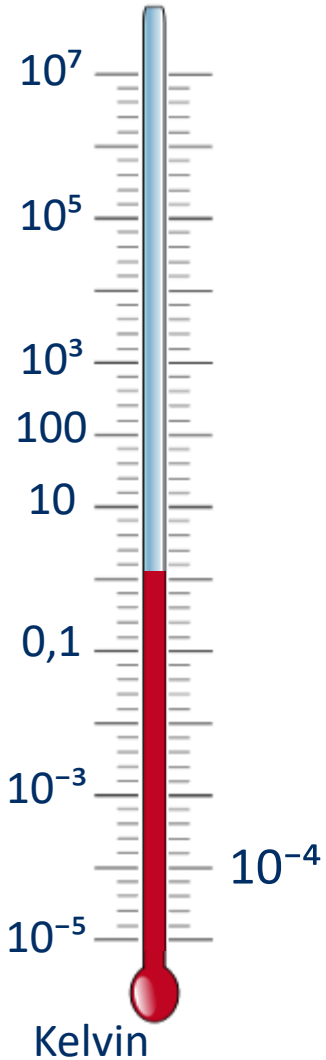
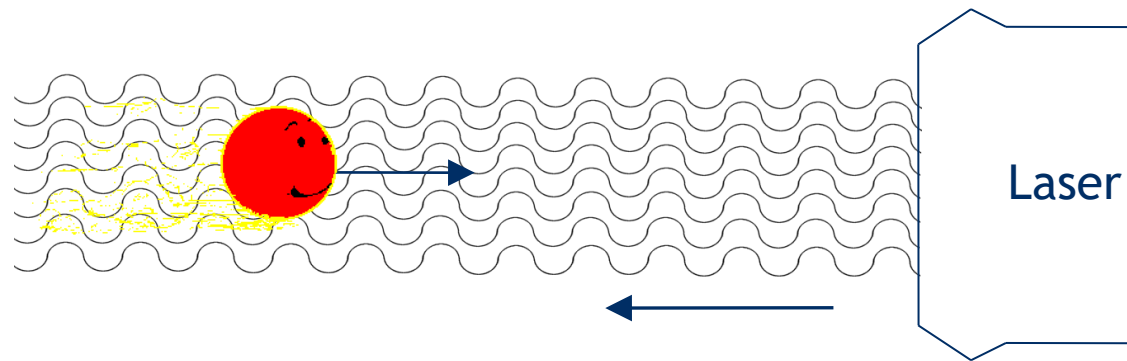
Steven Chu



Claude Cohen-Tannoudii



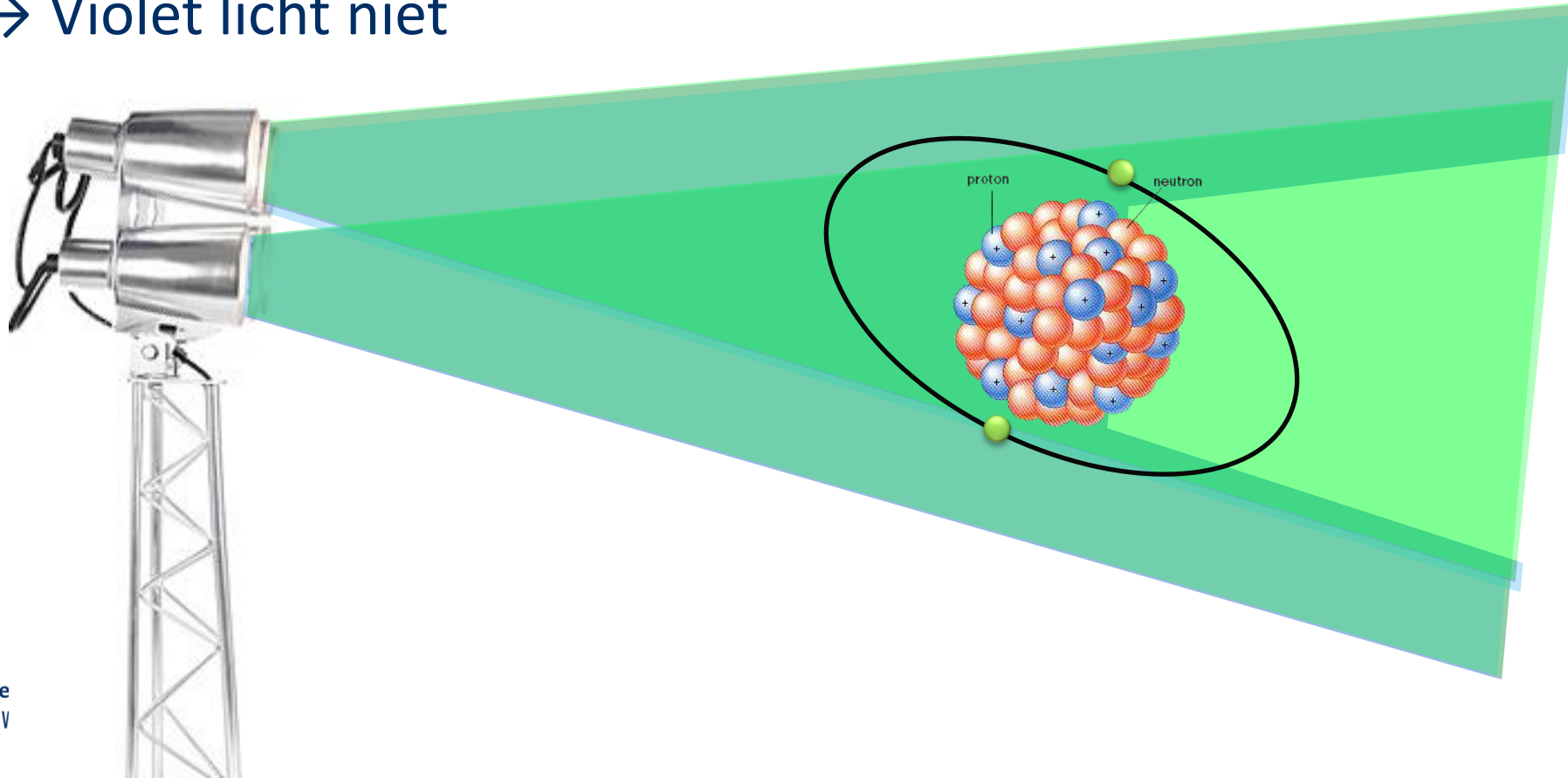
William Daniel Phillips



Laserkoeling

➤ Interactie van licht met atomen:

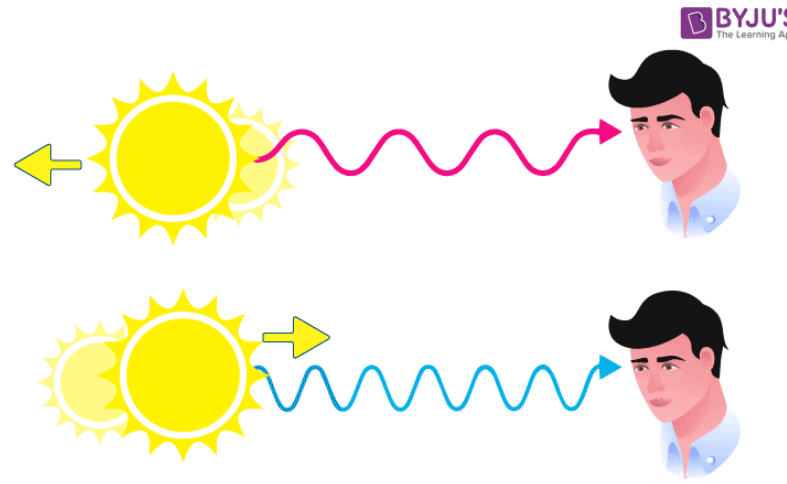
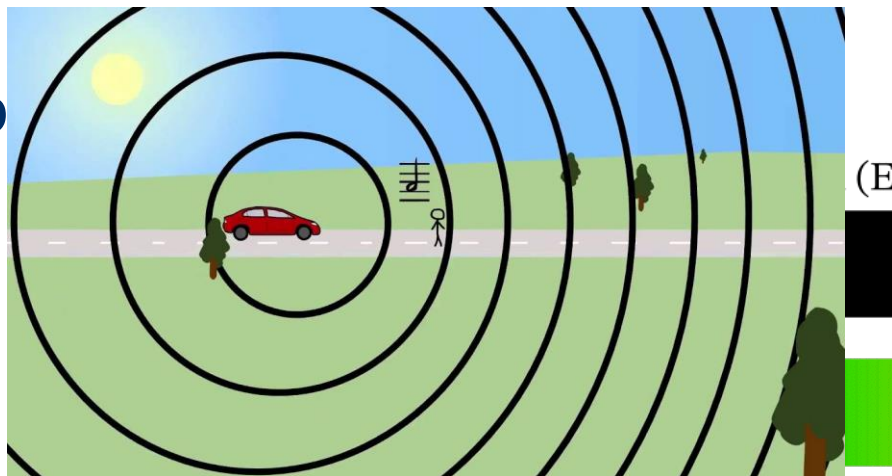
- Blauw licht wordt geabsorbeerd
- Violet licht niet



Laserkoeling

- **Interactie van licht met atomen:**
- Blauw licht wordt geabsorbeerd
 - Violet licht niet
 - Afhankelijk van atoomsoort en frequentie van het licht
 - Maar ook van de snelheid van het atoom: **Doppler effect**

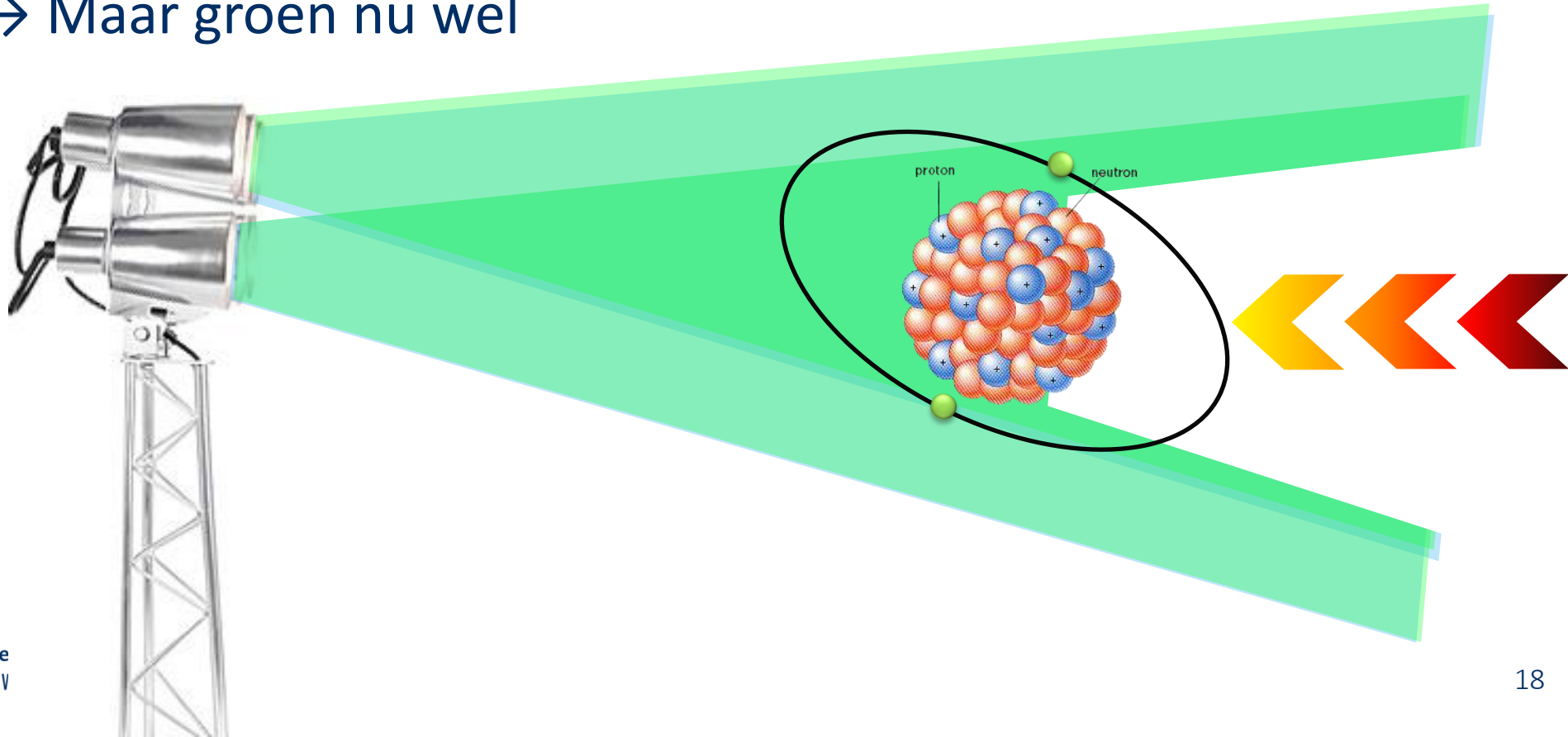
Bijvoo



Helium (Absorption spectra)

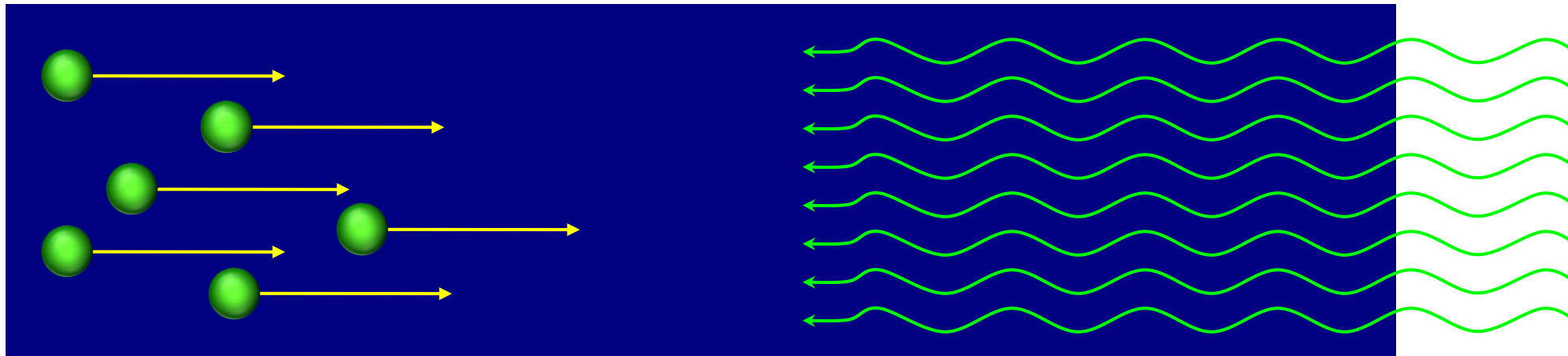
Laserkoeling: Gebruik Doppler

- **Door zijn snelheid 'ziet' het atoom een andere kleur**
 - Blauw wordt niet langer geabsorbeerd
 - Maar groen nu wel



Laserkoeling: Gebruik Doppler

- **Door zijn snelheid 'ziet' het atoom een andere kleur**
 - Blauw wordt niet langer geabsorbeerd
 - Maar groen nu wel
 - **Gevolg:**



BUNDEL AANSTORMENDE ATOMEN

GROEN LASERLICHT

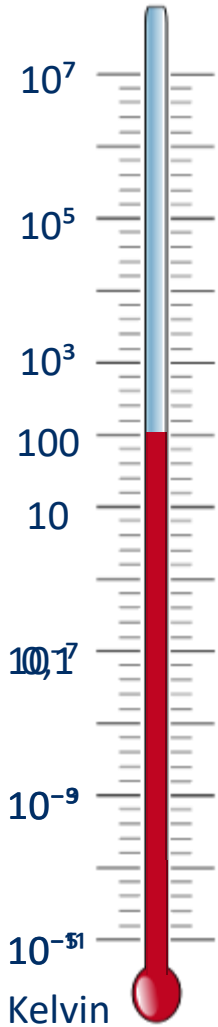
Laatste stap: Verdampingskoeling

- Zelfde principe als afkoelen van hete soep
- Hoe laag kunnen we gaan?



Record:
38
picokelvin

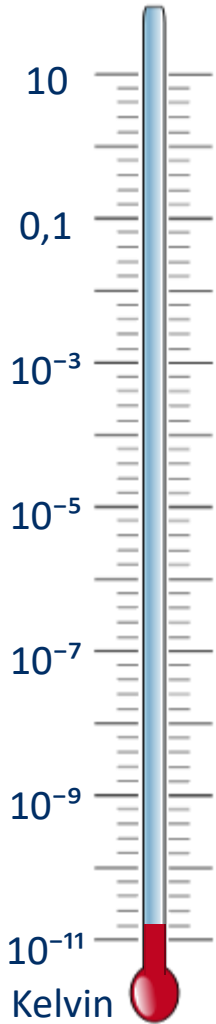
Koudste plekje in het
universum!



UGent 2022

Vangen van ultrakoude atomen

- Elk contact zorgt voor opwarming
- Hoe dan wel?
- Magnetische doos waar deeltjes in vast worden gehouden

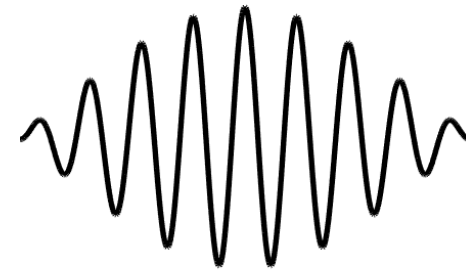
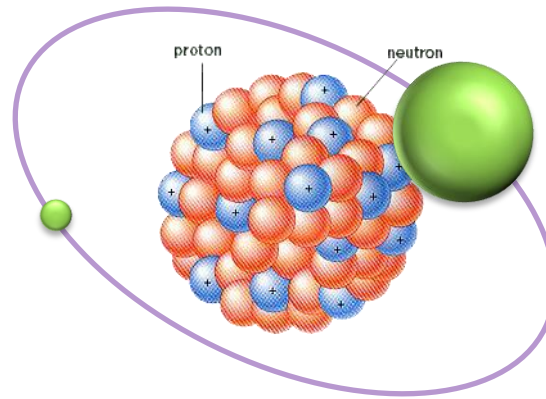


Bose-Einstein condensatie

Een nieuwe aggregatietoestand

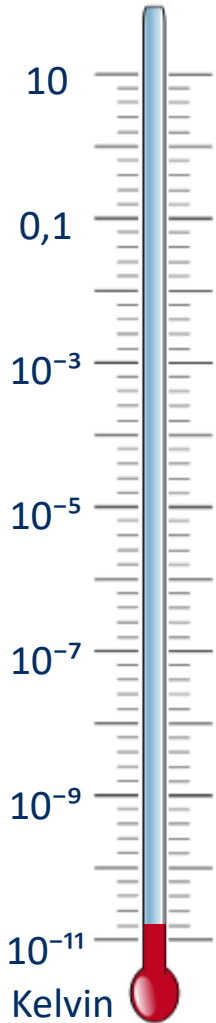
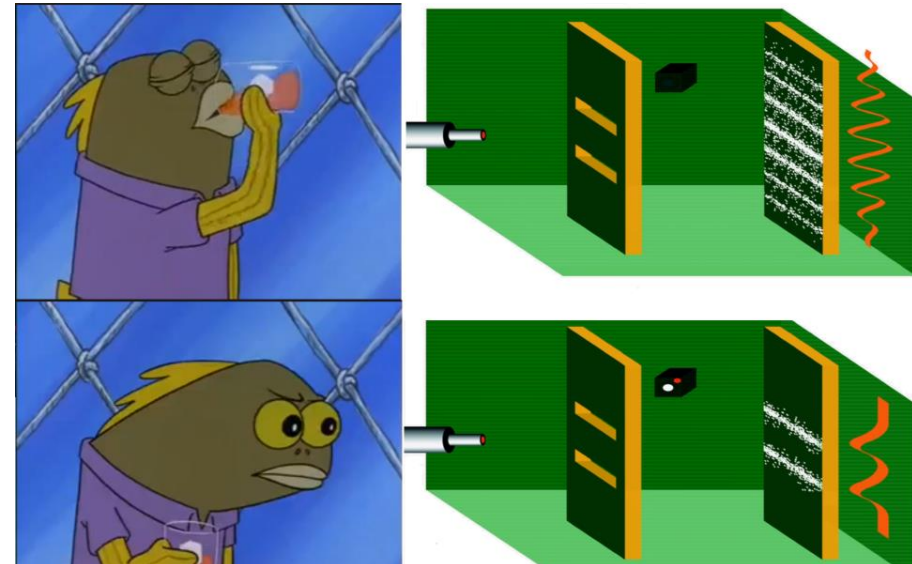
Een snuifje kwantummechanica

➤ De wereld bestaat uit deeltjes



➤ Alle deeltjes vertonen soms deeltjes- en soms golfeigenschappen

golf-deeltje dualiteit

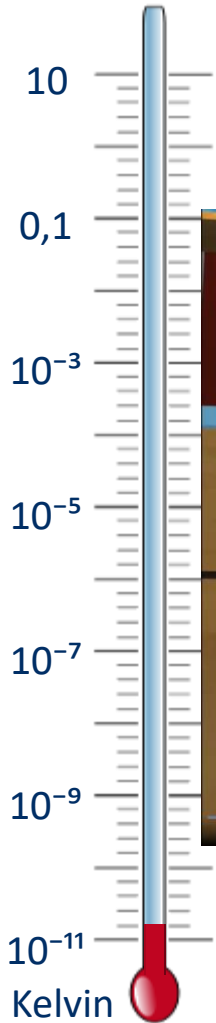


Een snuifje kwantummechanica

Hoe gedragen harde deeltjes zich?

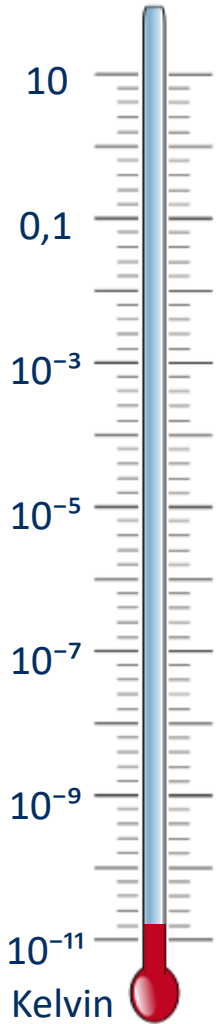
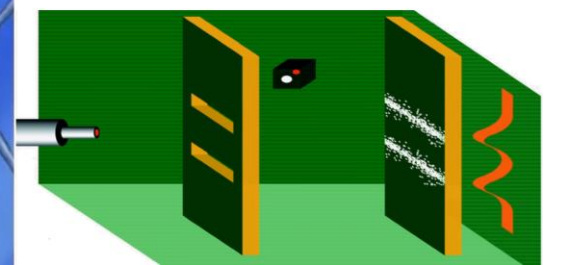
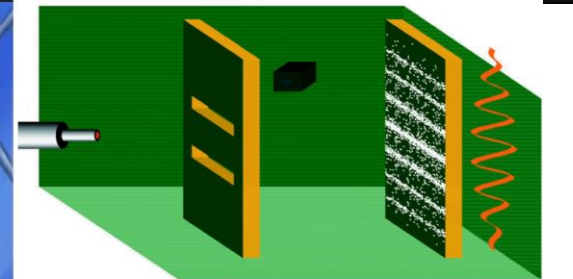
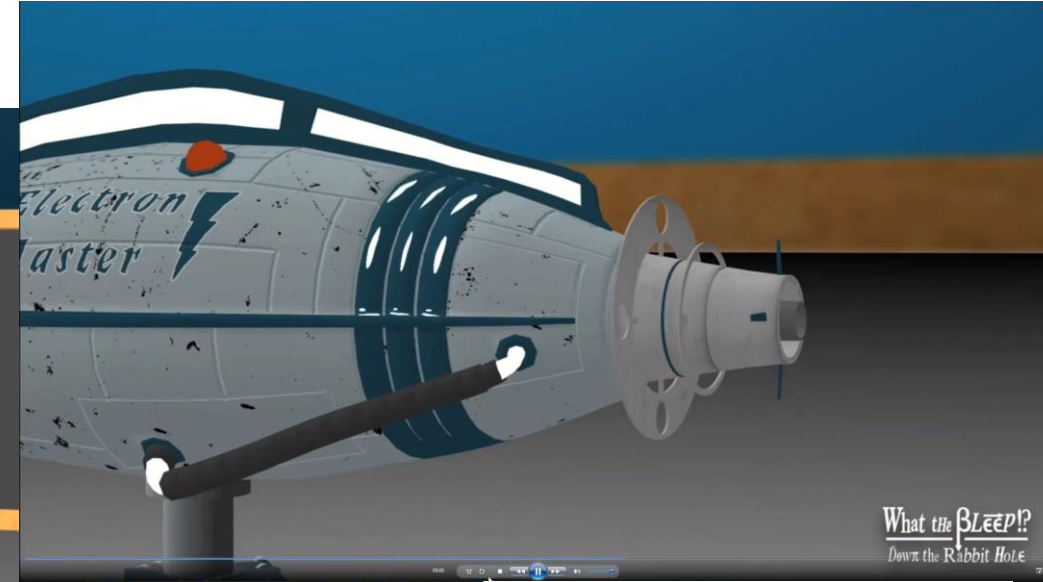
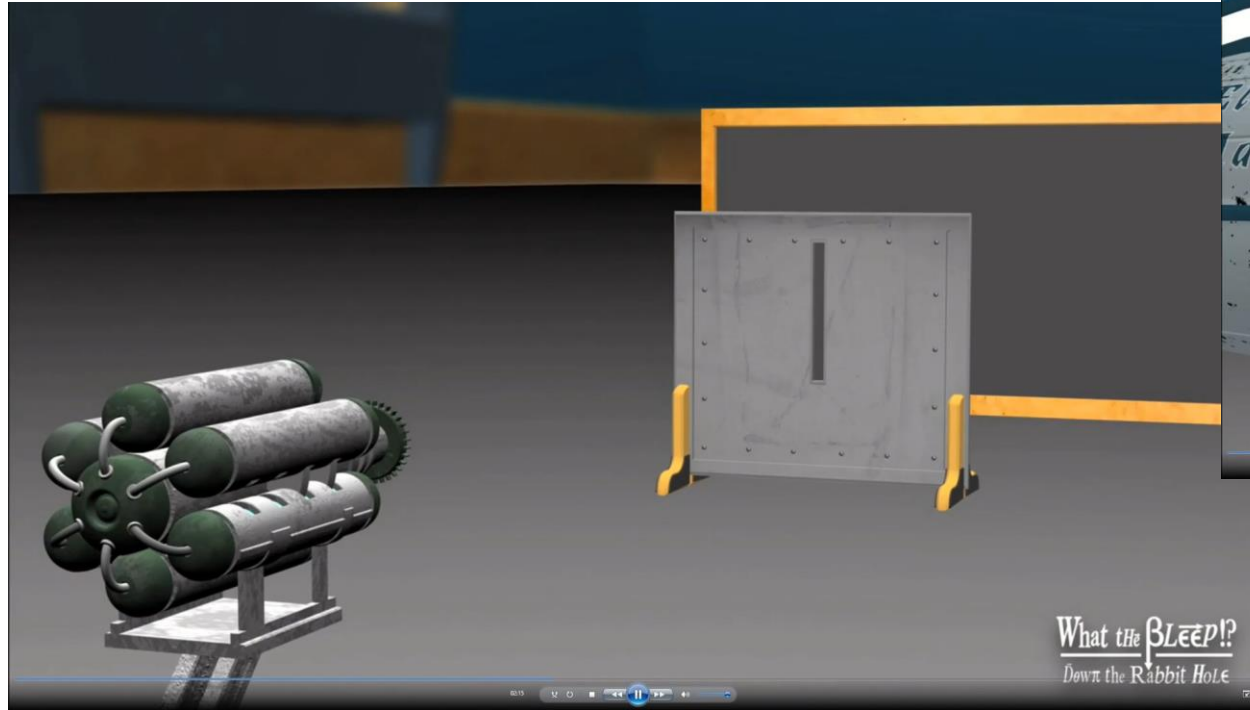


Hoe gedragen golven zich?



Een snuifje kwantummechanica

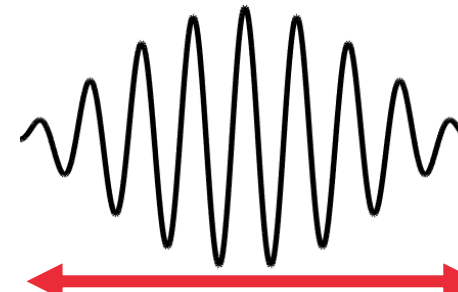
En op **microscopisch** niveau?



Een snuifje kwantummechanica

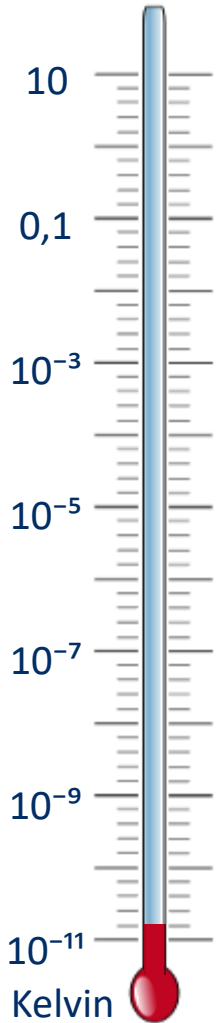
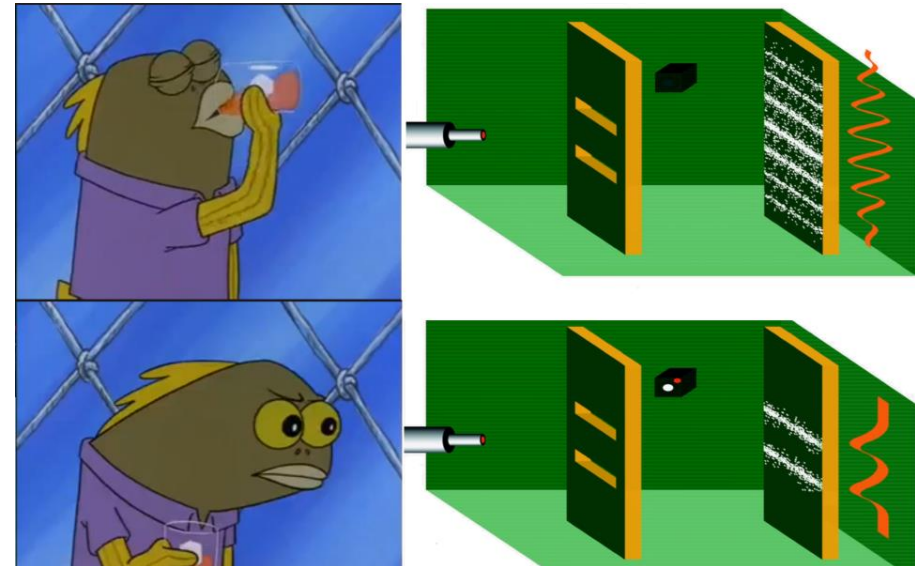
➤ De wereld bestaat uit deeltjes, en tegelijk uit golven?




$$\lambda_{dB} = \sqrt{\frac{2\pi\hbar^2}{mk_B T}}$$

➤ Alle deeltjes vertonen soms deeltjes- en soms golfeigenschappen

golf-deeltje dualiteit

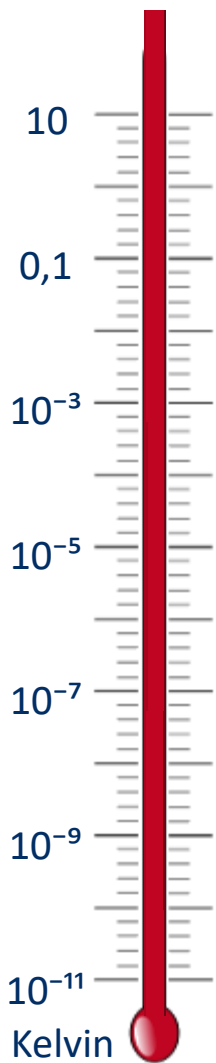
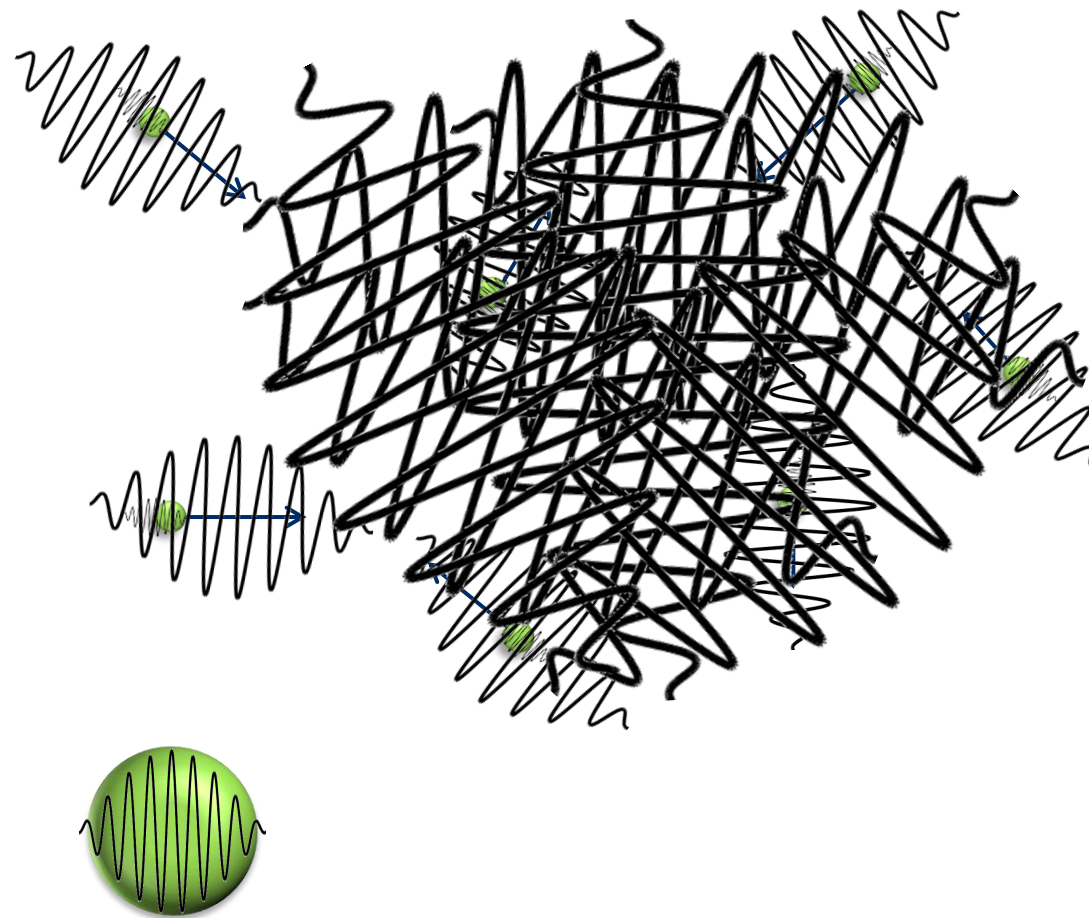


Een snuifje kwantummechanica

- We hebben een gas
- We koelen af
- En verder

$$\lambda_{dB} = \sqrt{\frac{2\pi\hbar^2}{mk_B T}}$$

Hoge temperatuur $\Rightarrow$ kleine golflengte



Een snuifje kwantummechanica

➤ Nu zijn er 2 mogelijkheden:

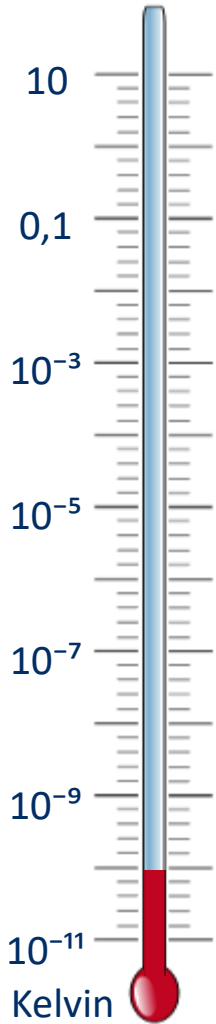
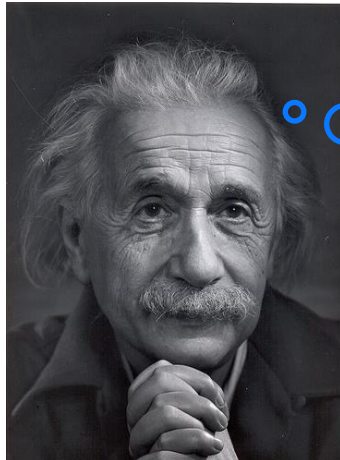
→ De deeltjes zijn **fermionen**

*Twee fermionen mogen
nooit dezelfde
toestand innemen.*



→ De deeltjes zijn **bosonen**

*Bosonen kunnen wel
dezelfde toestand
innemen.*



Wat is dan een condensaat?

- Alle bosonen condenseren in dezelfde kwantumtoestand
- Ze gedragen zich dus allemaal hetzelfde
- Een toestand waarin de **microscopische** kwantumwetten het **macroscopische** gedrag bepalen.

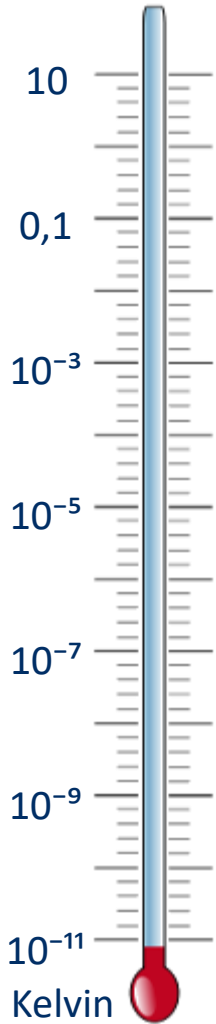
Atomen in een klassiek
gas: **Chaos**



Atomen in een BEC:
Orde



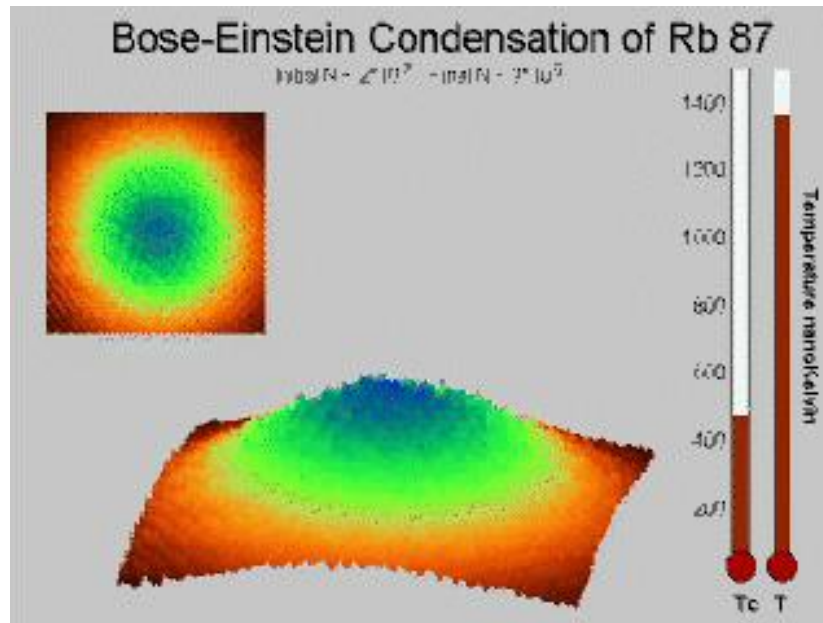
SUPERatoom



Wat is dan een condensaat?

- Alle bosonen condenseren in dezelfde kwantumtoestand
- Ze gedragen zich dus allemaal hetzelfde
- Een coherente toestand waarin de **microscopische** kwantumwetten het **macroscopische** gedrag bepalen.

→ Nobelprijs Fysica 2001



Eric Cornell



Wolfgang Ketterle



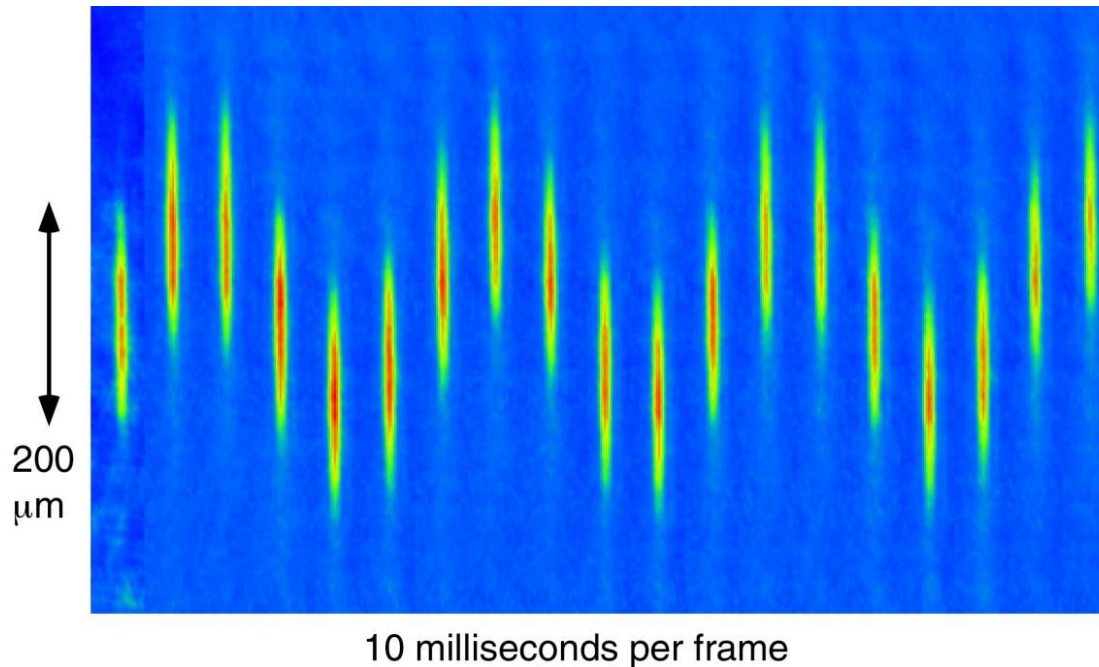
Carl Wieman

Wat doen we ermee?

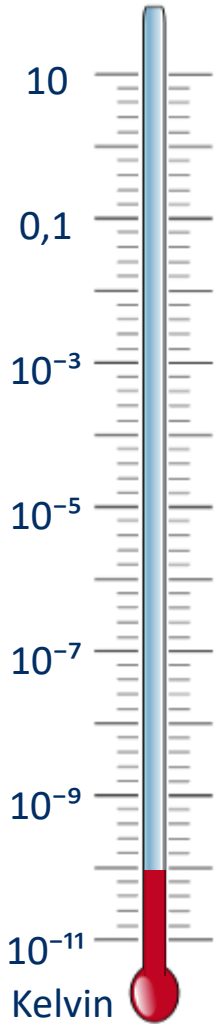
En hoe gedraagt het zich?

We schudden ermee

➤ We schudden door de val een beetje te verschuiven.

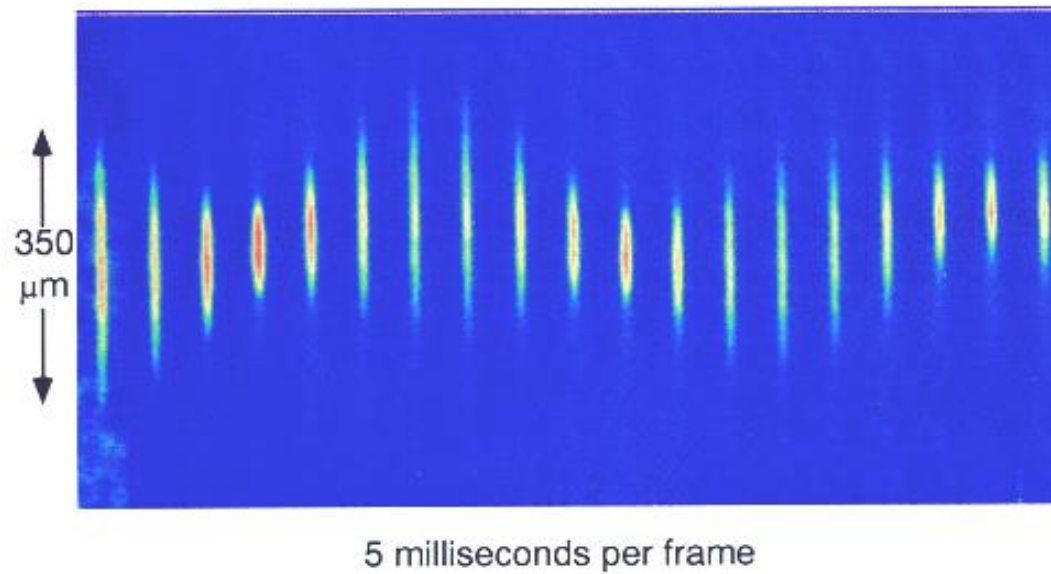


Geen damping!



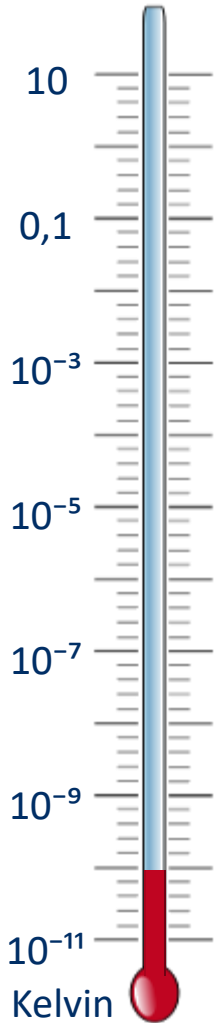
We knijpen erin

- Door de val sterker te maken kunnen we het condensaat samendrukken



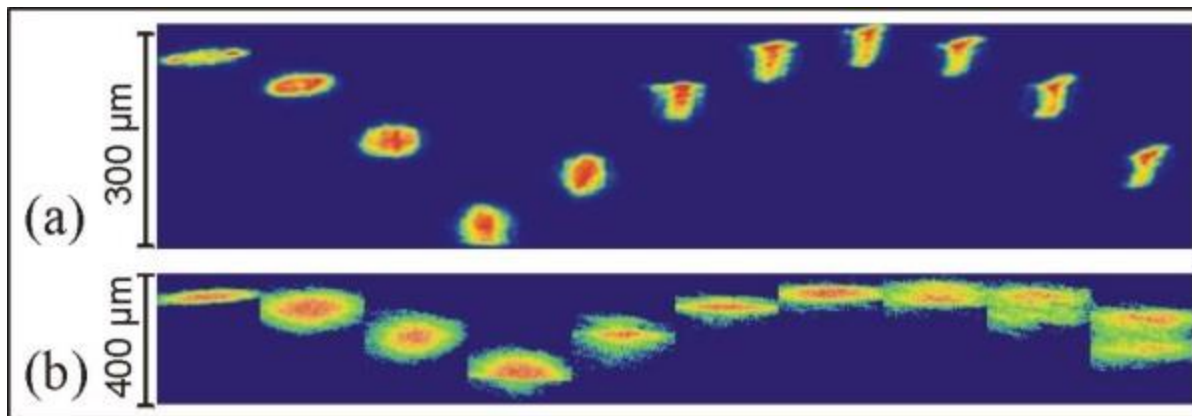
Toont de trillingswijze van het condensaat

Geen damping!



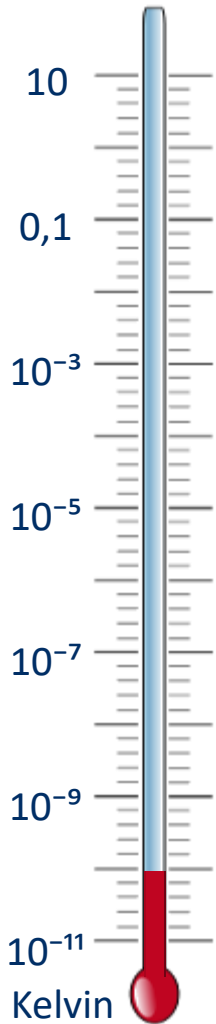
We laten het vallen

- Door de val te verlagen kunnen we het condensaat laten vallen



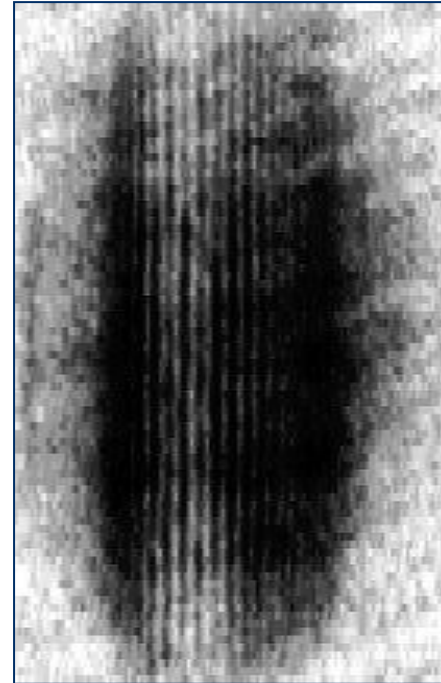
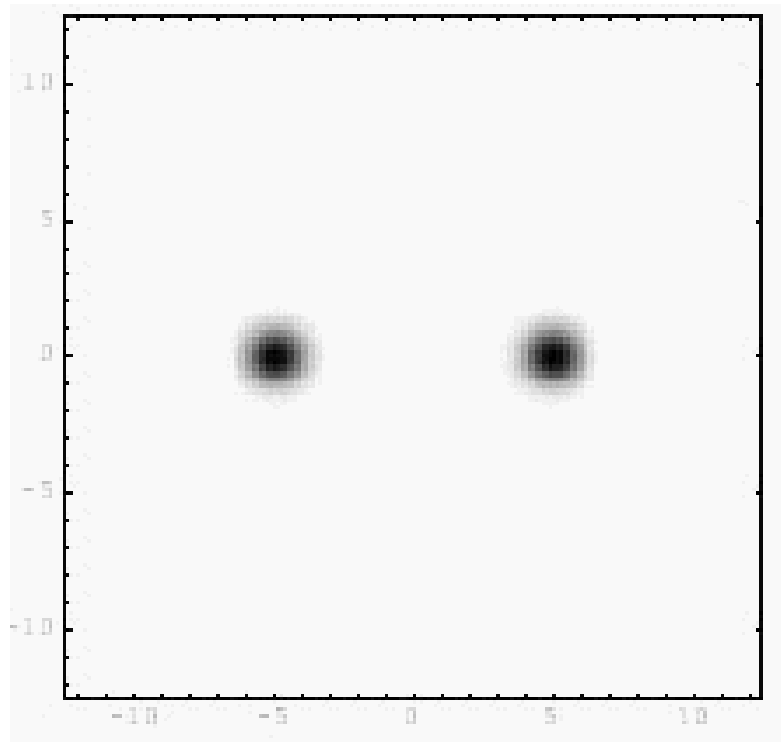
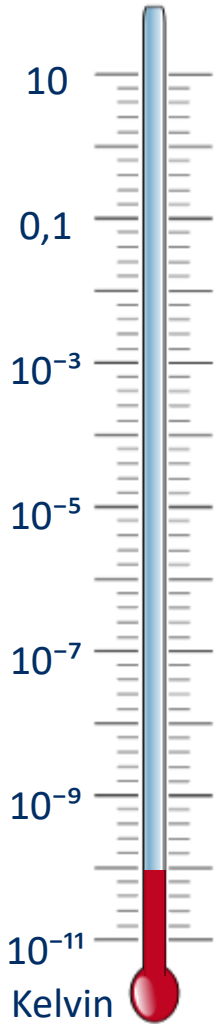
Het stuitert op en neer

Geen wrijving!



We laten ze botsen

- Wat gebeurt er als een auto botst?
- En een condensaat?

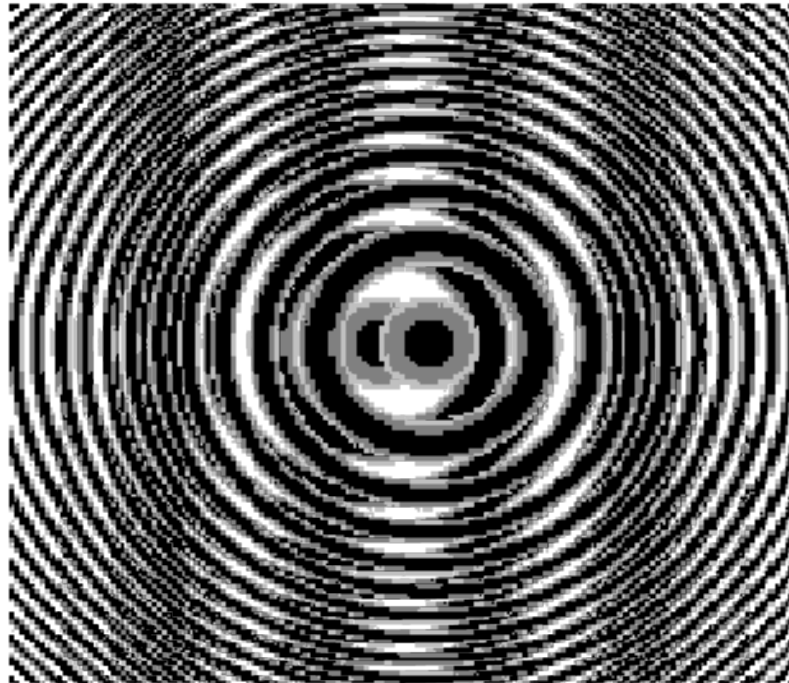


Waarom zien
we streepjes?

Golfkarakter!

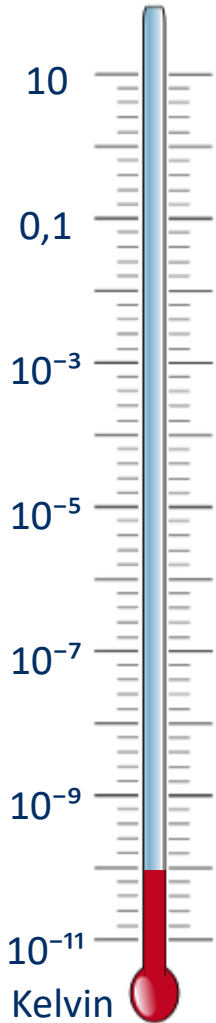
We laten ze botsen

- Wat gebeurt er als een auto botst?
- En een condensaat?



Waarom zien
we streepjes?

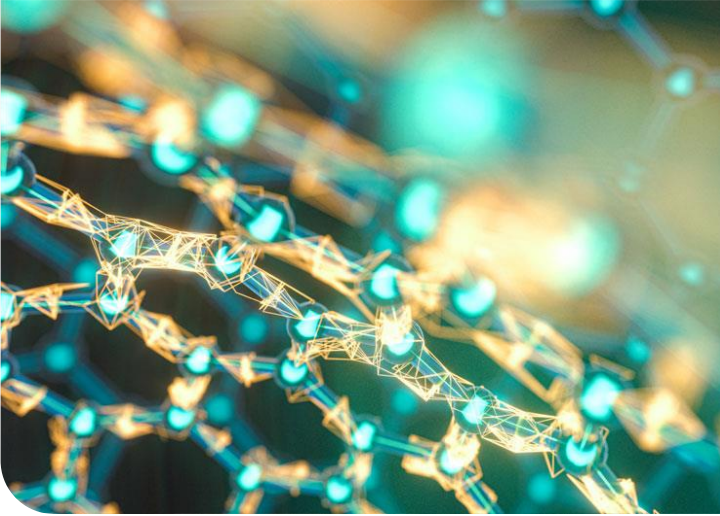
Golfkarakter!



Waarom?

Wat is het nut van dit onderzoek?

Waar vind je kwantummechanica?



Materialen

- Elektronenstructuren,
- Supergeleiding
- Elektronica, nano-technologie

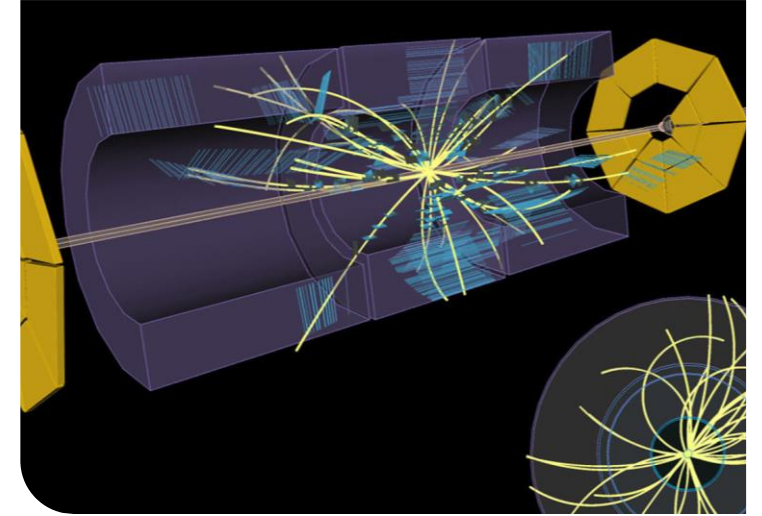
KLEIN



Het heelal

- Zwarte gaten
- Neutronensterren
- De oerknal

VER WEG

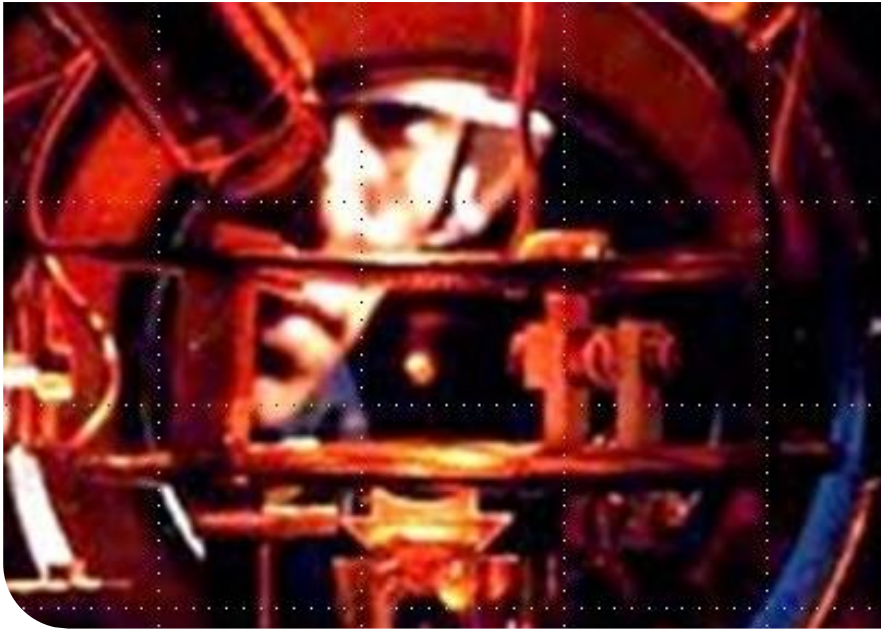


Elementaire deeltjes

- Sterke en zwakke wisselwerking
- Fundamentele theorieën
-

SNEL

Waar vind je kwantummechanica?



Ultrakoude atomen:

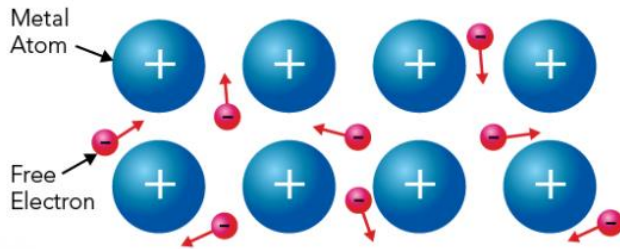
- In het labo
- Groot ($\mu\text{m} - \text{cm}$)
- Traag ($\mu\text{s} - \text{s}$)

Experimenteel toegankelijk model
voor andere kwantum-fenomenen

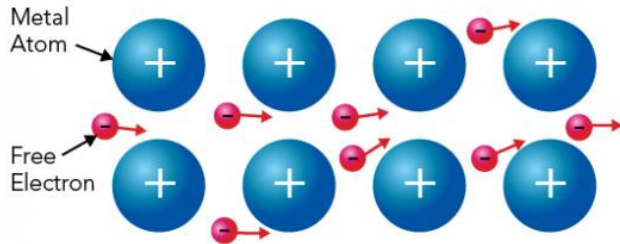
Kwantumsimulatie

Elektrische geleiding

Metal under normal conditions



Metal in an electric field



- Elektronen in een metaal bewegen vrij tussen de atoomkernen
- Wat als de elektronen een condensaat vormen?

Chaos



Orde



SUPERgeleiding

- Wrijvingsloze stroom! → Gevolgen?

Inductiewet van Faraday:

Een elektrisch circuit in een magneetveld wekt een stroom op om de verandering van het magneetveld te compenseren.



- Wat gebeurt er bij een supergeleider?



SUPERgeleiding

■ Toepassingen?



Energietransport



Medische beeldvorming



Magnetische levitatie



Besluit

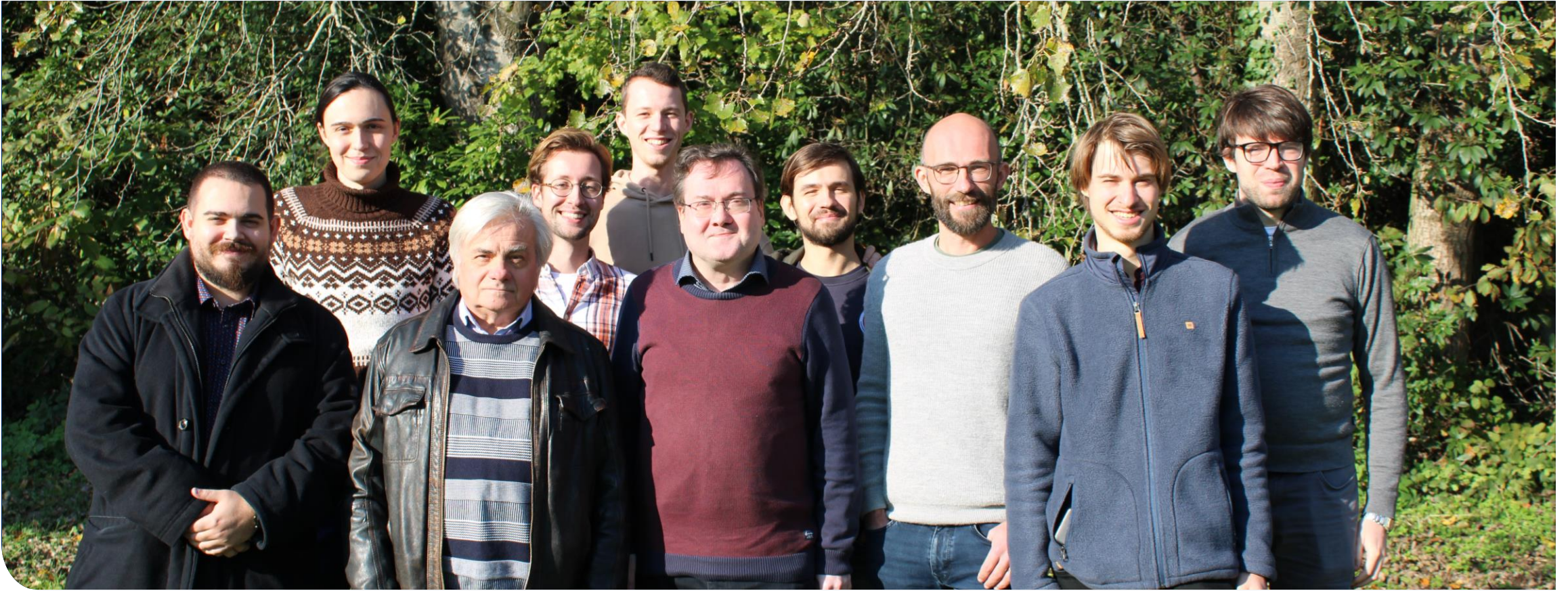
- Bij lage temperaturen ontdekken we een heel nieuwe wetenschap.
- We krijgen informatie via experimenten
- We gebruiken theorie om ze te begrijpen
- Nog veel werk voor de boeg!

Tot slot: TQC

Wie zijn ze? Wat doen ze?
Wat drijft hen?



Wait a minute, who are you?



Theory of Quantum and Complex systems



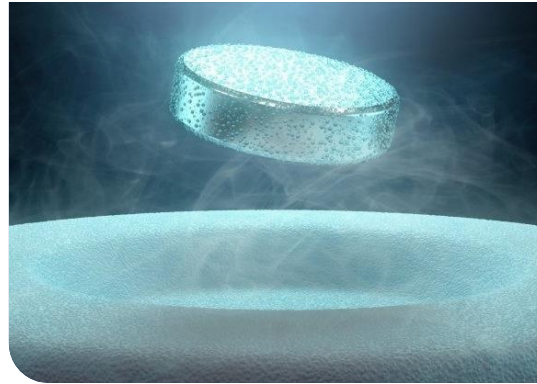
Universiteit Antwerpen
| Faculteit Wetenschappen

Theory of Quantum and Complex systems

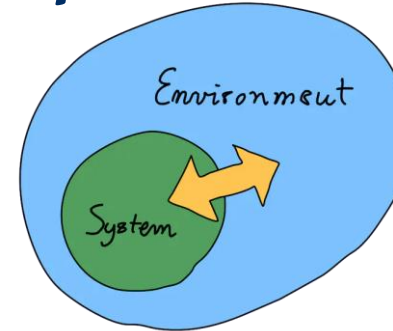
Atomaire gassen



Supergeleiding

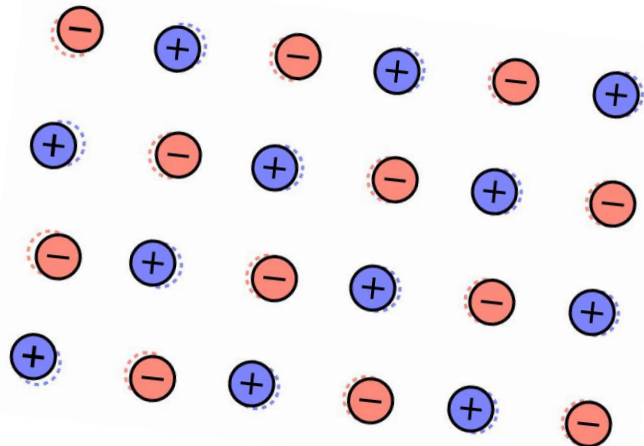


Open systemen

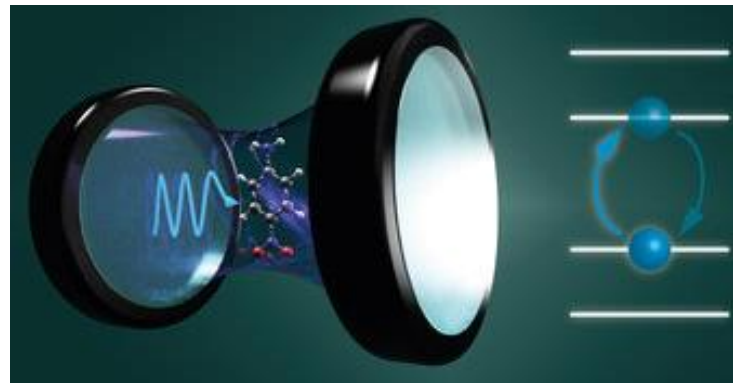


Econofysica

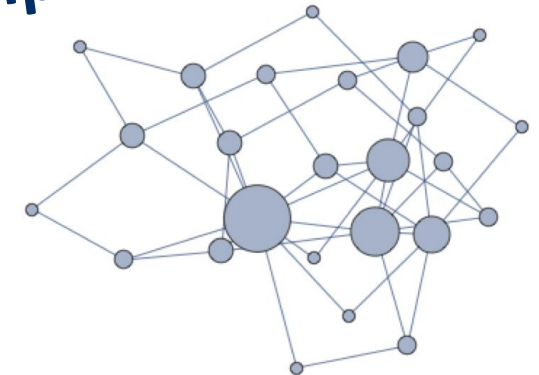
Onzuiverheden



Condensaten van licht



Complexe netwerken



www.uantwerpen.be/nl/onderzoeksgroep/tqc/

Prof. Jacques Tempere

Prof. Michiel Wouters

Matthew Houtput

Lucas Levrouw

Lennart Fernandes

Laura Van den Bremen

Ivan-Jago Goric

Robbe Ceulemans

Wouter Van Werveke

Laurent Simons

Filippo Pascucci

Serghei Klimin

Vladimir Gladilin



Universiteit Antwerpen
Faculteit Wetenschappen

Bedankt!

Zijn er nog vragen? 😊



Wat vond jij van Studio STEM?

- Wij horen graag jouw mening!
- Tot een volgende keer?
- Je bent welkom op:
 - de Openlesdagen tijdens de krokusvakantie
 - de Infodag van zaterdag 11 maart
- uantwerpen.be/infomomenten

