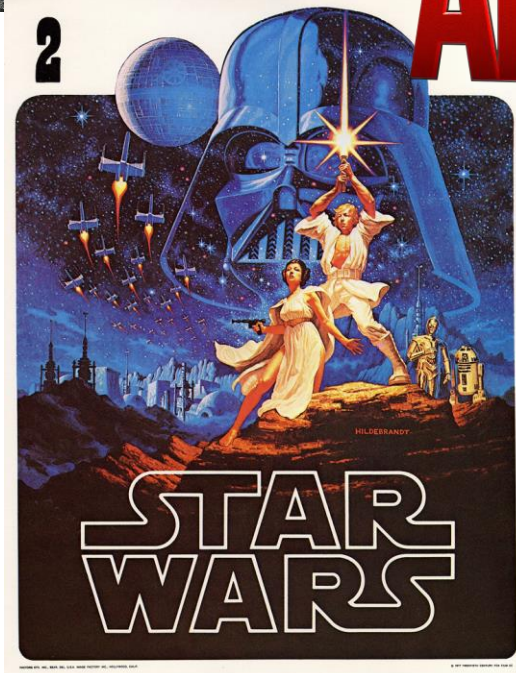




# Kvantecomputeren i praksis

Stig Elkjær Rasmussen, PhD

# Kvantecomputere: Science fiction eller virkelighed?



MARVEL  
**ANT-MAN**



# Moore's Law

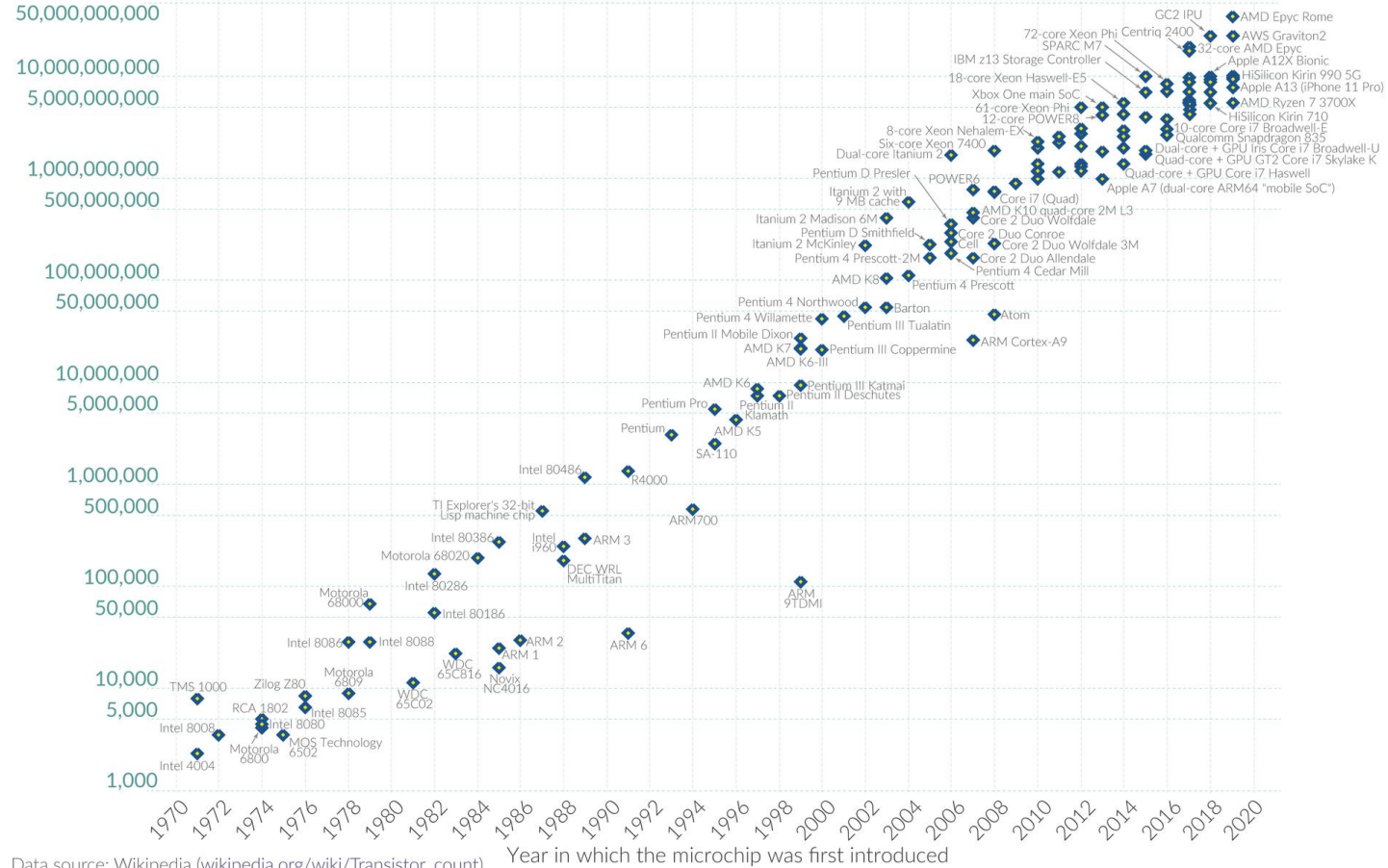


## Moore's Law: The number of transistors on microchips doubles every two years

Moore's law describes the empirical regularity that the number of transistors on integrated circuits doubles approximately every two years. This advancement is important for other aspects of technological progress in computing – such as processing speed or the price of computers.

Our World in Data

### Transistor count

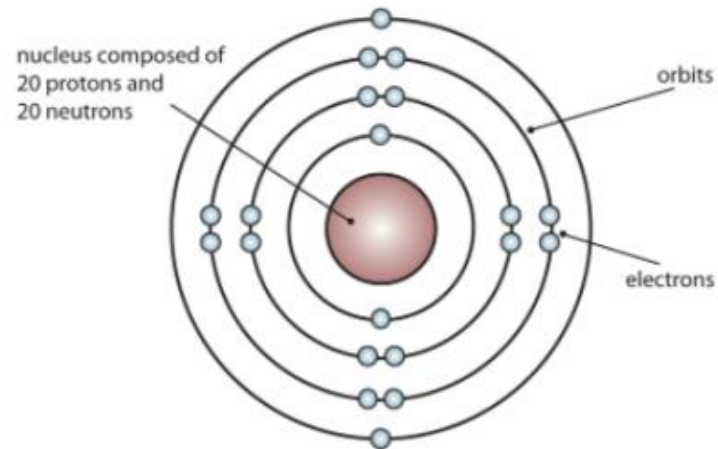


Data source: Wikipedia ([wikipedia.org/wiki/Transistor\\_count](https://wikipedia.org/wiki/Transistor_count))

OurWorldinData.org – Research and data to make progress against the world's largest problems.

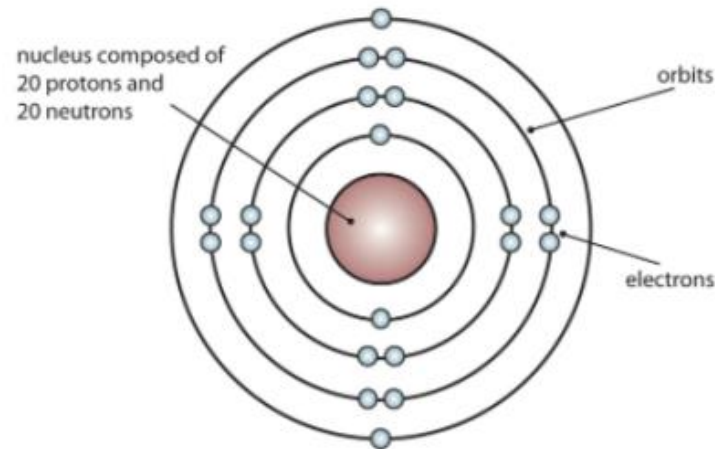
Licensed under CC-BY by the authors Hannah Ritchie and Max Roser.

# Kvantemekanik in a nutshell

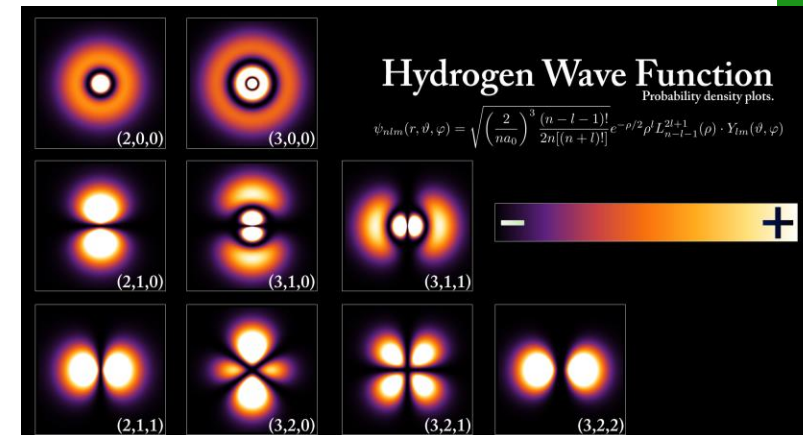


Klassisk atommodel elektroner bevæger sig som planeter omkring solen

# Kvantemekanik in a nutshell



Klassisk atommodel elektroner bevæger sig som planeter omkring solen



Kvantemekanisk atommodel elektronens position beskrives ved en *bølgefunktion* der beskriver *sandsynligheden* for at finde elektronen på en given position

# Klassiske og kvante bits

Klassisk bit

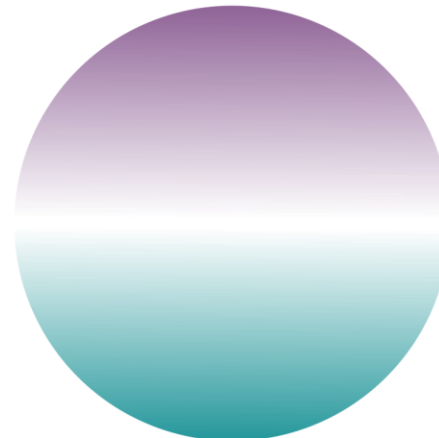
0



1

Kvante bit (qubit)

$|0\rangle$



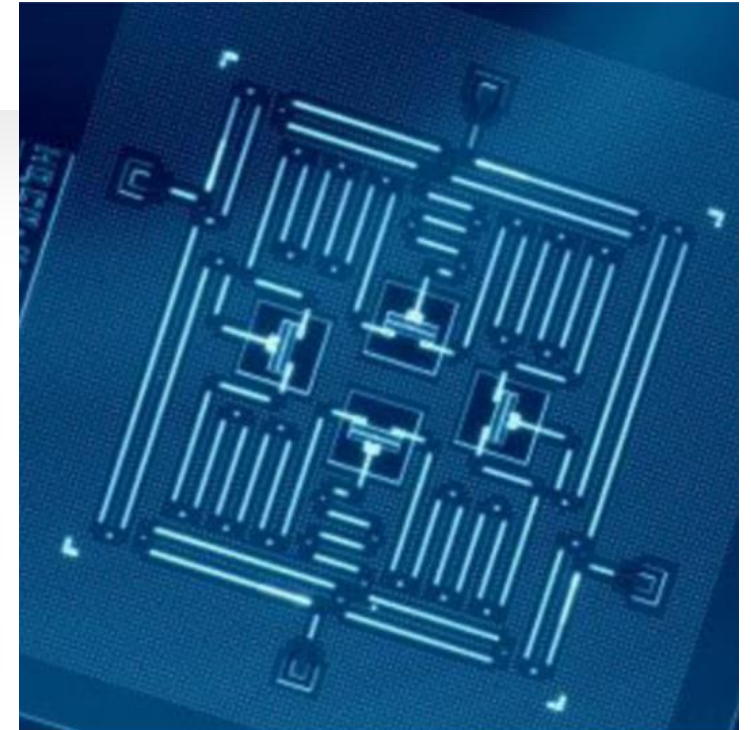
$|1\rangle$

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$$

# Hvordan bygger man qubits?

- Superledende kredsløb

IBM Q	433 qubits
rigetti	80 qubits
Google	53 qubits
Alibaba	12 qubits



Jay M. Gambetta, Jerry M. Chow & Matthias Steffen  
<https://www.nature.com/articles/s41534-016-0004-0>

# Hvordan bygger man qubits?

- Superledende kredsløb
- Ion fælder

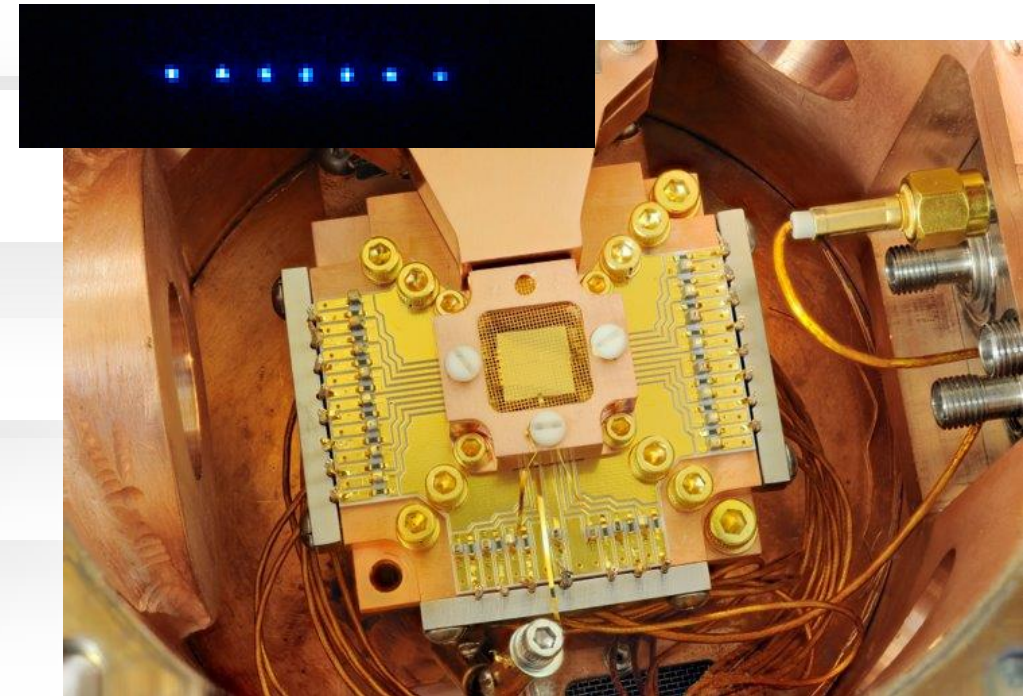


22 qubits

Honeywell



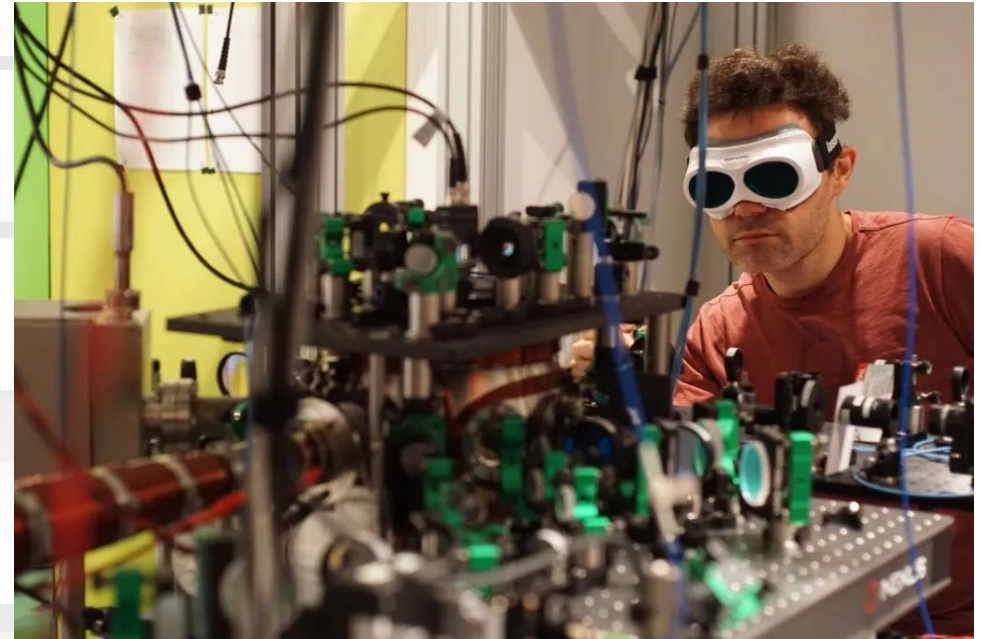
10 qubits





# Hvordan bygger man qubits?

- Superledende kredsløb
- Ion fælder
- Rydberg atomer

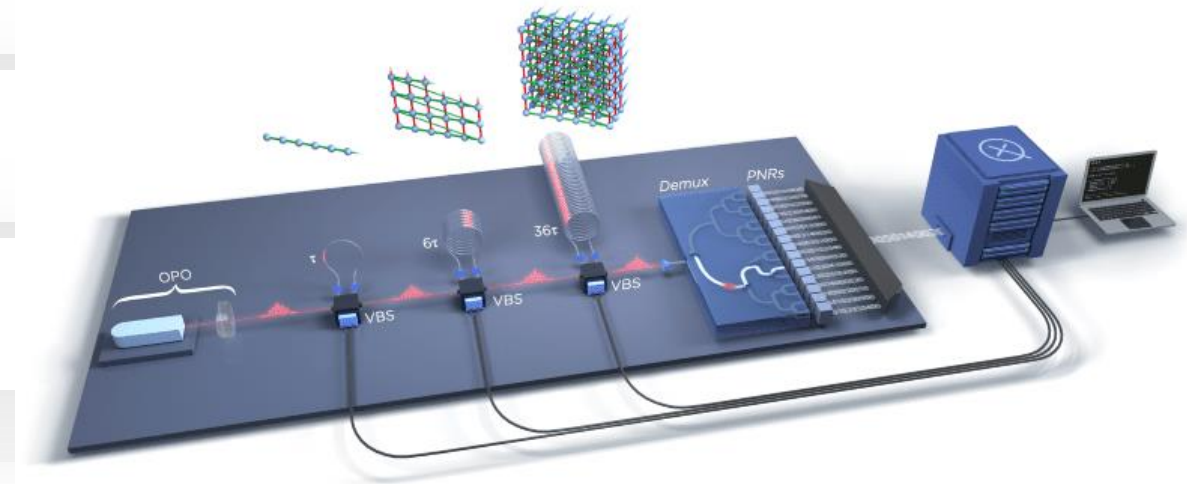


 PASQAL 324 qubits

 IonQ  
COMPUTING INC. 256 qubits

# Hvordan bygger man qubits?

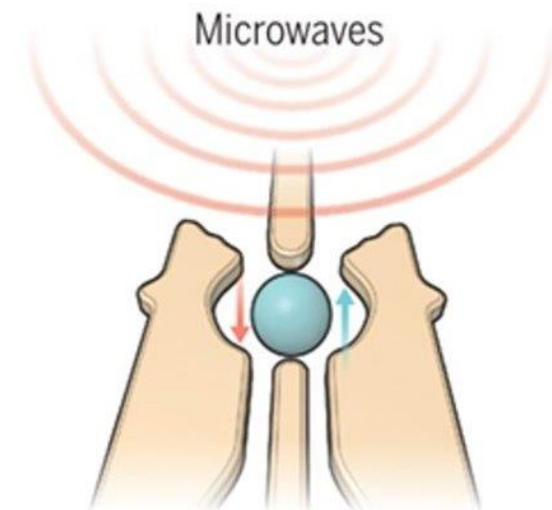
- Superledende kredsløb
- Ion fælder
- Rydberg atomer
- **Photonik**



216 qubits


# Hvordan bygger man qubits?

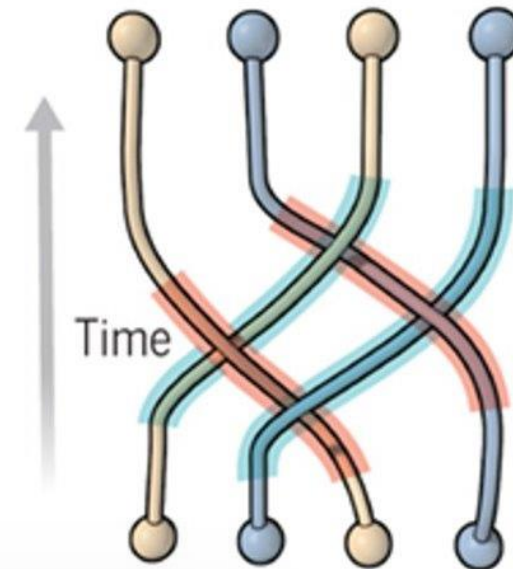
- Superledende kredsløb
- Ion fælder
- Rydberg atomer
- Photonik
- Silicon quantum dots












10 qubits

# Hvordan bygger man qubits?

- Superledende kredsløb
- Ion fælder
- Rydberg atomer
- Photonik
- Silicon quantum dots
- Topologiske qubits  Microsoft



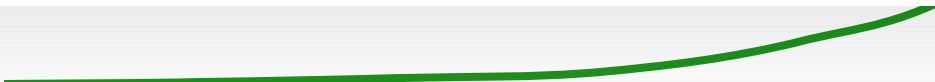
# Kvantecomputeren er allerede tilgængelig!

- Superledende kredsløb  **rigetti**  
- Ion fælder  **Honeywell**  QUANTINUUM
- Rydberg atomer  **IQuEra**  
COMPUTING INC.
- Photonik  XANADU
- Silicon quantum dots 
- Topologiske qubits  Microsoft

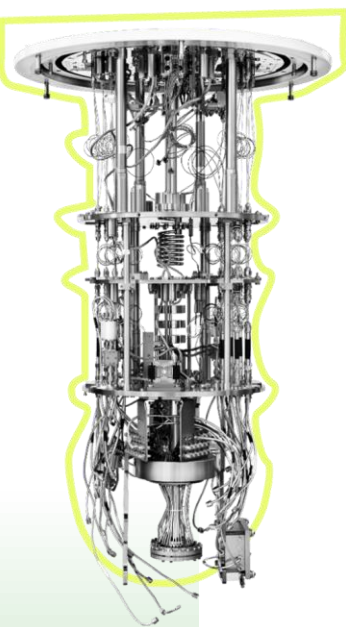


# Antallet af qubits stiger eksponentielt

IBM Q™	2018	2019	2020	2021	2022	FREM TID	
	16 qubits	27 qubits	65 qubits	127 qubits	433 qubits	2023	2025
		Falcon	Hummingbird	Eagle	Osprey	1121 qubits	4158 qubits
						Condor	Kookaburra




# Kvantecomputere i Danmark



INSIGHT  
**NEW DANISH NATO  
CENTER FOR QUANTUM  
TECHNOLOGY**

**April:** NATO annoncerer kvanteteknologi Accelerator med base i København

**September:** Novo Nordisk foundation annoncerer 1,5 mia DKK investering

novo nordisk  
fonden

Milliardinvestering skal udvikle Danmarks første fuldt funktionelle kvantecomputer

## Ansvar for Danmark

Det danske samfund skal gøres mere robust i mødet med fremtidens trusler, udfordringer og kriser. Derfor vil regeringen tage initiativ til at styrke organiseringen og prioriteringen af samfundsberedskab, krisestyring, kritisk infrastruktur og forsyningssikkerhed.

Vi er samtidig en del af en bredere global kamp om indflydelse, viden og ressourcer. Og om selve værdierne bag den internationale retsorden. Sammen med vores partnere og allierede skal vi sikre adgang til kritiske ressourcer, være på forkant med den teknologiske udvikling på f.eks. **kvanteområdet** og beskytte os mod trusler fra cyberangreb.

Vi skal styrke Udenrigstjenesten og det danske diplomati og dermed sikre Danmark en stærkere stemme globalt. Det gælder både om at udbygge samarbejdet med især ligesindede lande, og det gælder om at fremme indsatsen for at skabe frihed og menneskerettigheder verden over. Og regeringen vil arbejde målrettet for, at Danmark opnår valg til FN's Sikkerhedsråd i perioden 2025-2026.

**December:** Nyt regeringsgrundlaget inkluderer udvikling a kvanteteknologi

# Hvem er Kvantify?



 Vi udvikler software løsninger for svære beregninger (HPC / Quantum)

 30+ ansatte i Aarhus and København, primært p.hd.'er

 Samarbejder på tværs af EU, udvikler mod globalt scope (Universiteter, hardware producenter, klienter)

 Grundlags I marts 2022, af tre tidligere p.hd.'er fra AU





# Hos Kvantify laver vi (kvante)software

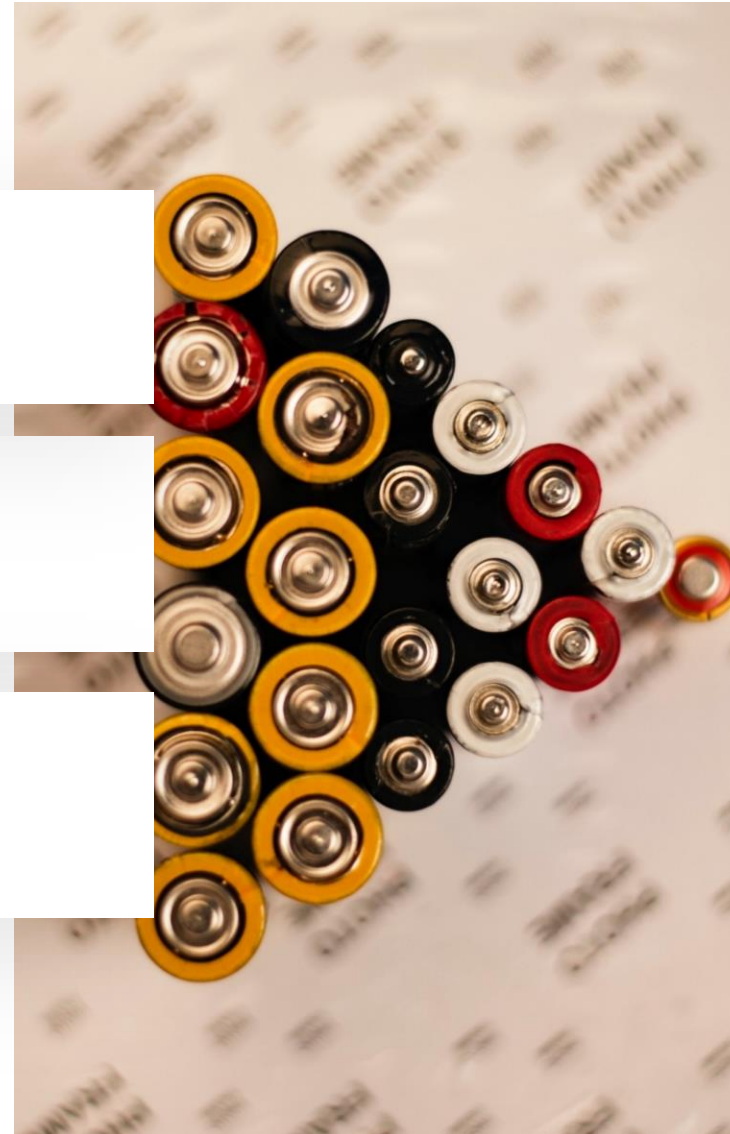


- Kvantecomputere er svære at **operere og programmere!**
- Vi udvikler **software-as-a-service** til virksomheder
- Kvantecomputerene tilgår vi via **AWS Braket** eller **Azure Quantum**



# Hvad kan potentielt løses med kvantesoftware?

- 01 Design og optimering af **molekyler**
- 02 Skabe mere **energieffektiv logistik**
- 03 Minimere **financiel risiko** og forbedre opdagelse af svindel



# Kvantekemi på en kvantecomputer



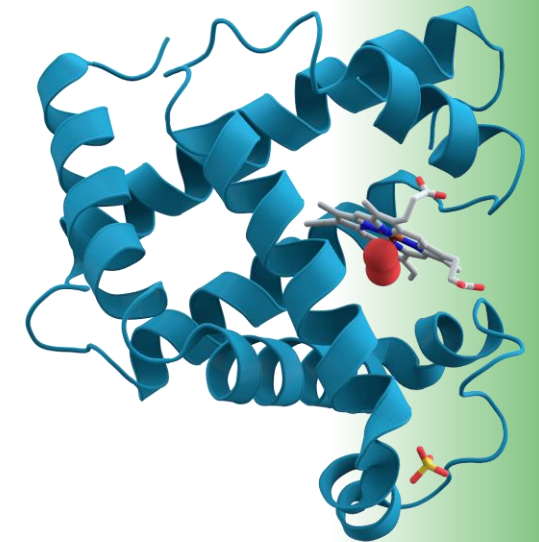
**Molekyler** er kvantemekaniske af natur



Opdagelse af nye **lægemidler**



Batterier og **grøn** omstilling



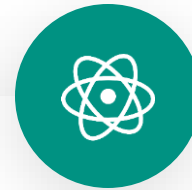
# Udnyttelse af naturens operativ system åbner for eksponentel computerkraft



Fx computerkraft nødvendig for at opdage den næste penicillin



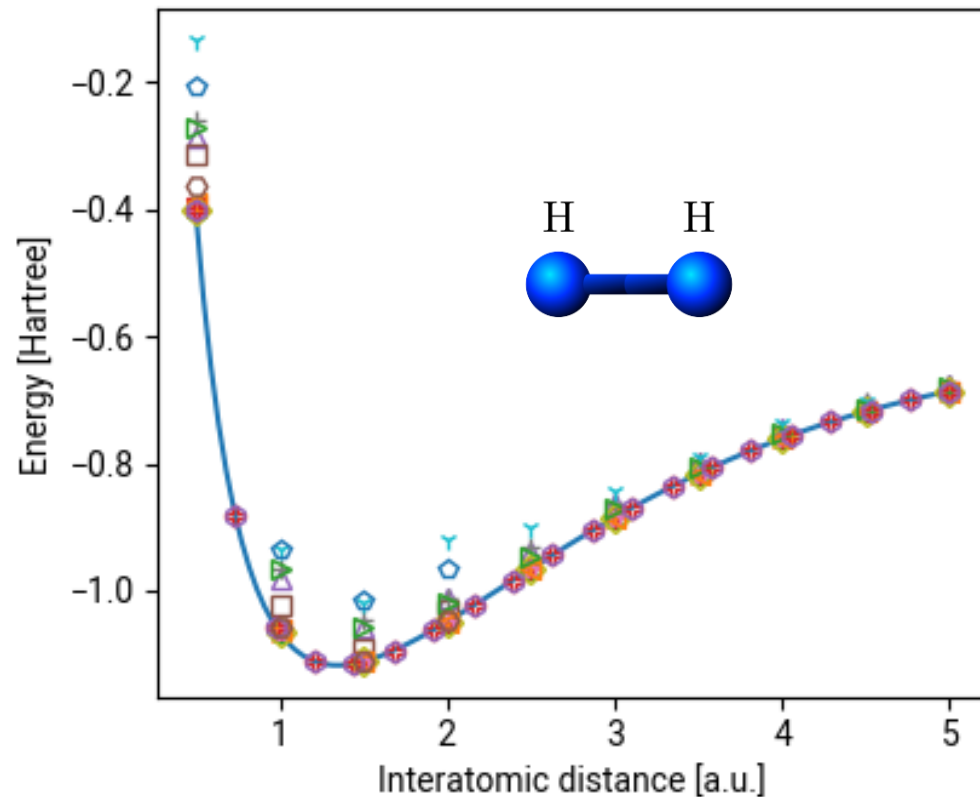
En klassisk  
computer med  
flere transistorer  
( $10^{86}$ ) end der er  
atomer i universet



En  
kvantecomputer med  
286 qubits

# Hvor er vi lige nu?

## Dihydrogen med en Variational Quantum Eigensolver (VQE)



- Classical reference calculation
- × Amazon, SV1 simulator, cloud
- ◇ Amazon, TN1 simulator, cloud
- + Amazon, statevector simulator, local
- ◁ IBM, Matrix product state simulator, cloud
- IBM, Qiskit simulator, local
- △ IBM, Quito, 5qb
- ▽ IBM, Statevector simulator, cloud
- ▷ IonQ, Harmony, 11qb (via Amazon)
- ◻ IonQ, Harmony, 11qb (via Azure)
- ☆ IonQ, Simulator, cloud (via Azure)
- + Oxford Quantum, Lucy, 8qb (via Amazon)
- Quantinuum, Simulator, cloud (via Azure)
- Υ Rigetti, Aspen-M-2, 80qb (via Amazon)
- ◇ Rigetti, Aspen-M-2, 80qb (via Azure)
- Rigetti, Quantum Virtual Machine, cloud (via Azure)



# Logistik på en kvantecomputer



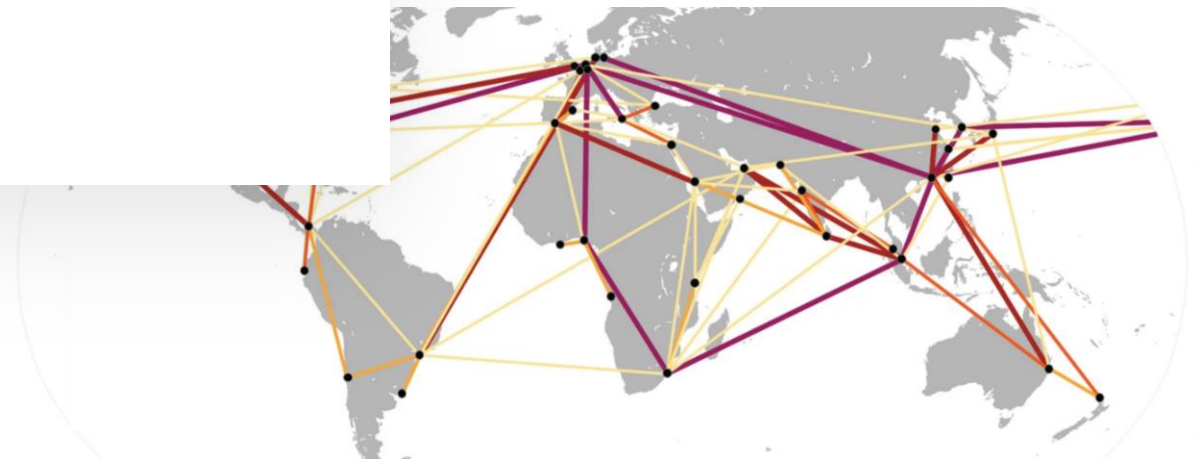
Ruteoptimering



Traveling salesperson



Lageroptimering



# Finansiell optimering på en kvantecomputer



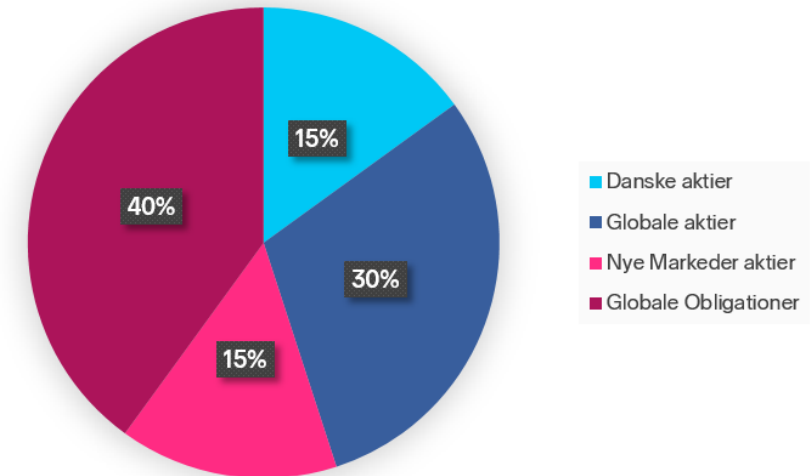
Portføljeoptimering



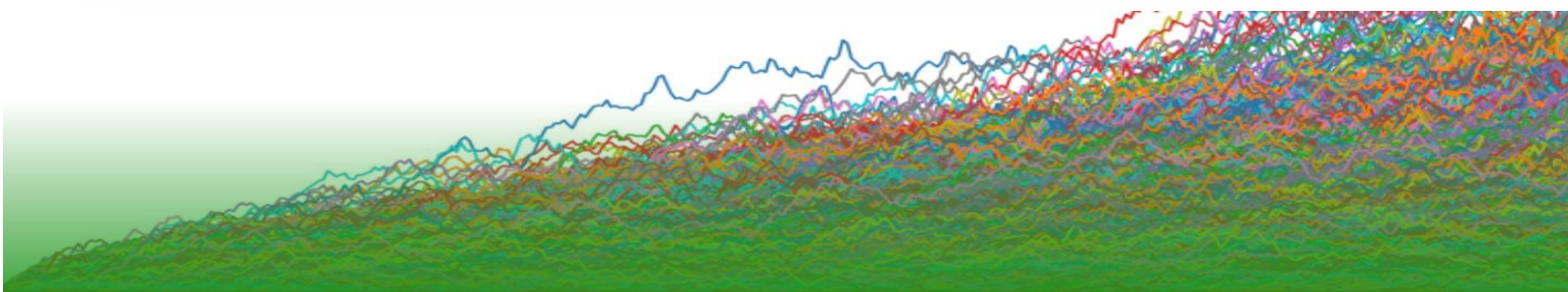
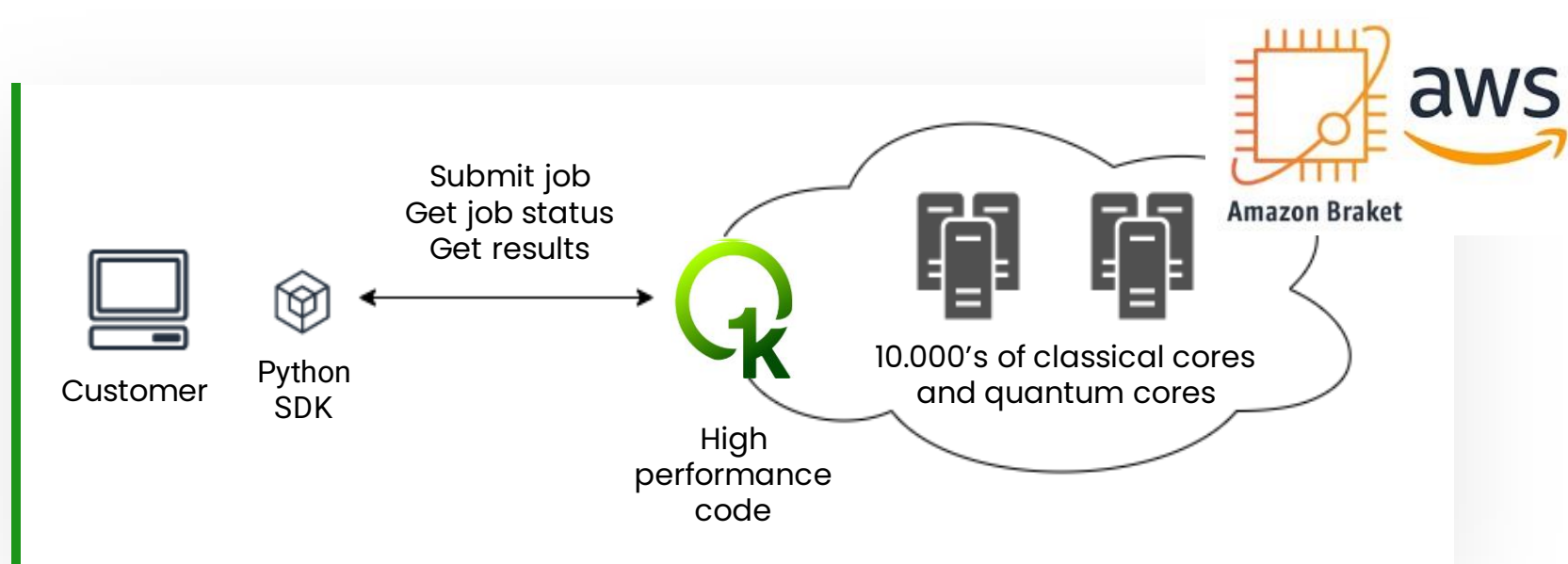
Finansielle **derivater** (Optioner, futures, etc.)



Finansiell **risiko** (XVA)

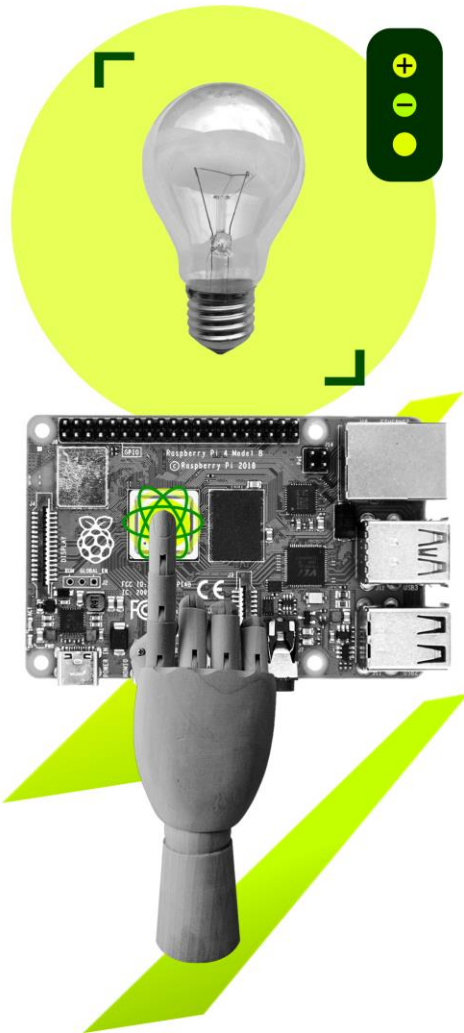


# Vores cloud services





# Kvanteløsninger i skyen



- Den industri-relevante **kvantecomputer** er på vej med **hastige skridt**
- Kvantecomputeren bliver en integreret del af **HPC stacken i skyen**
- Hos Kvantify bygger vi **højt ydende software** skræddersyet til **at løse problemer via HPC hardware i skyen**