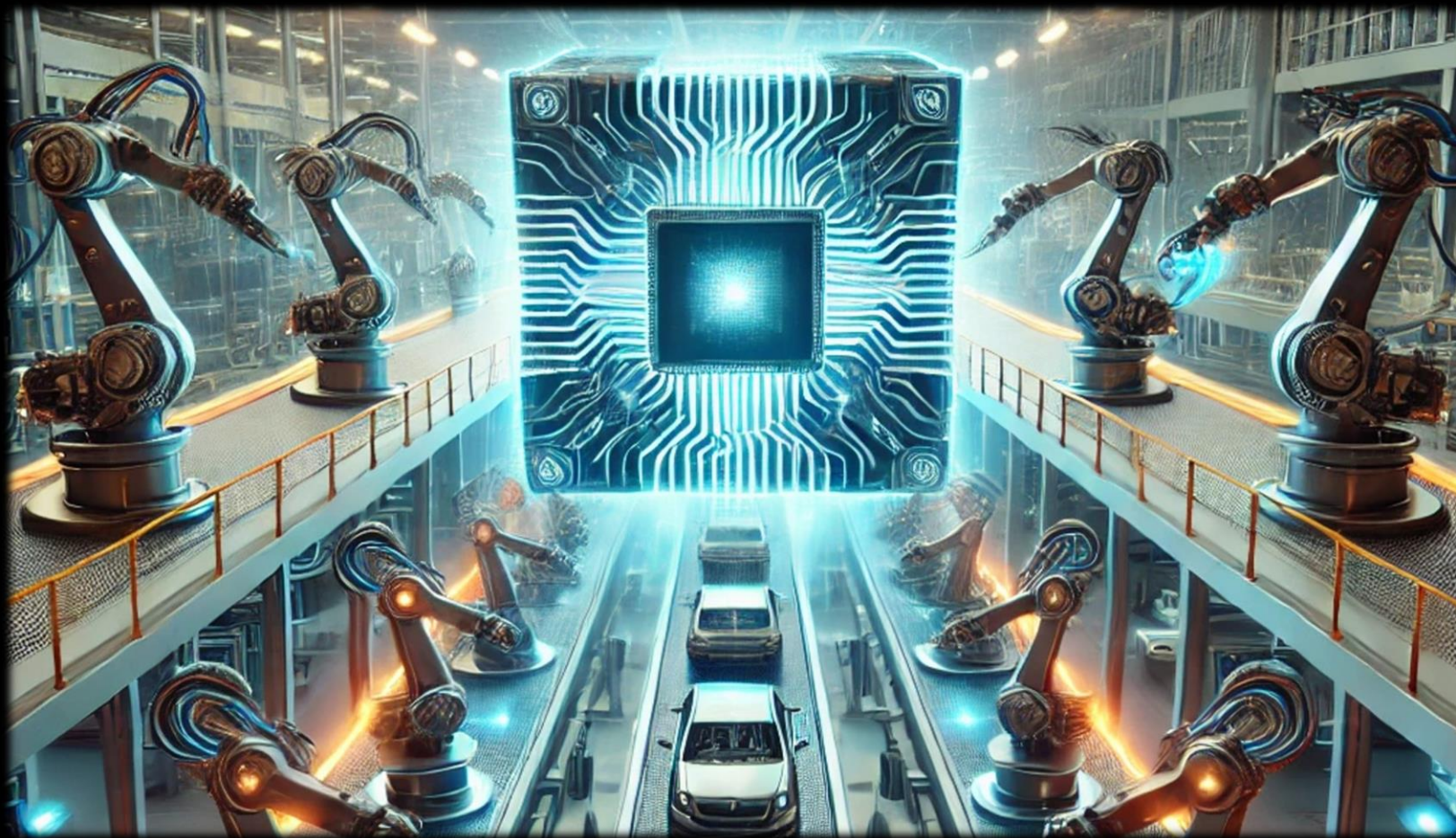


# *Kvanttitietokoneet ja kvanttilaskennan vaikutus*

prof. Mikko Möttönen

Aalto-yliopisto ja VTT\*



# Kvanttitekhnologia

on jo käytössä



Aalto University  
School of Science



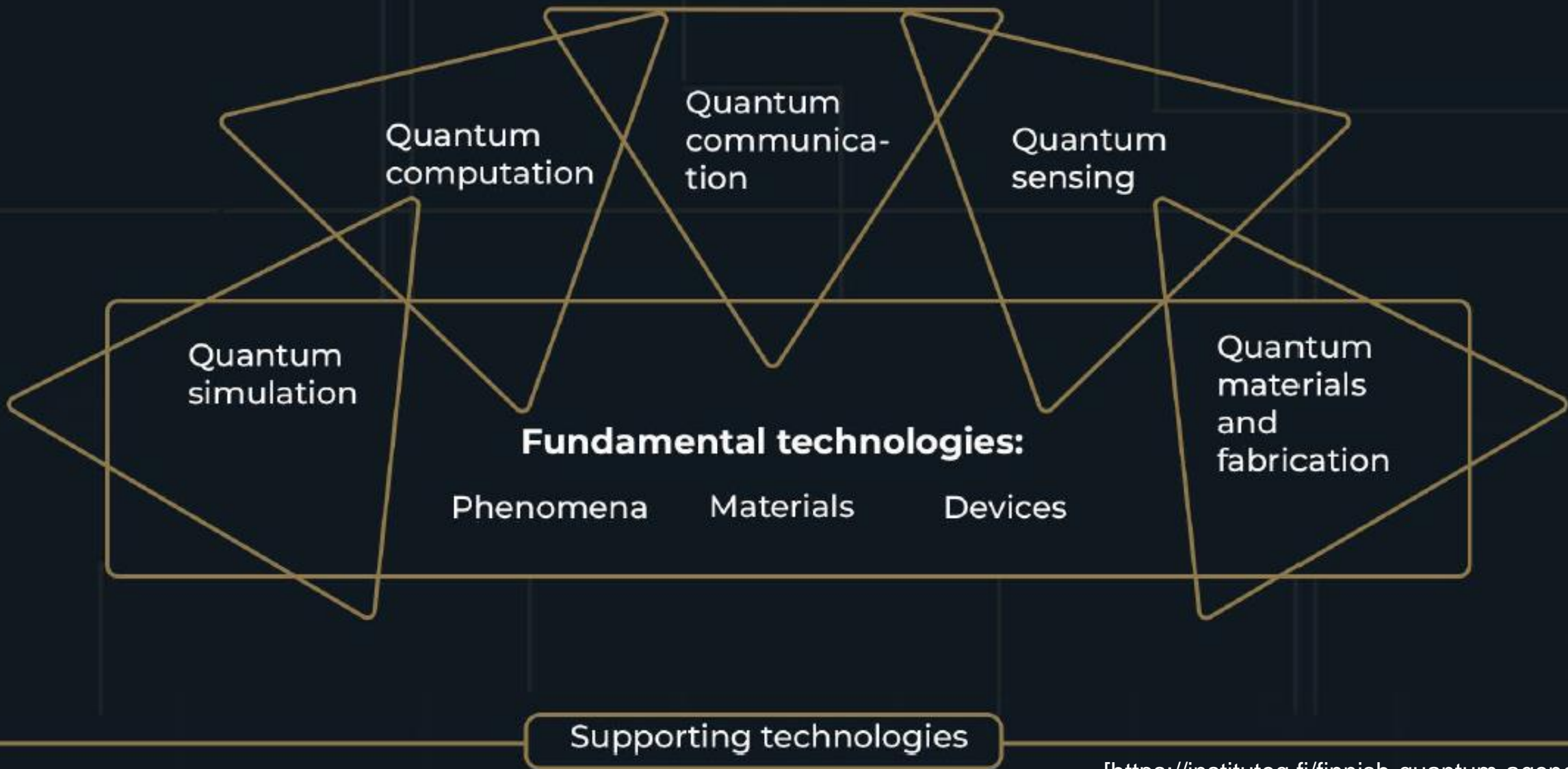
Institute



Quantum  
Technology  
Finland



QCD Labs



[<https://instituteq.fi/finnish-quantum-agenda/>]

[<https://instituteq.fi/finnish-quantum-agenda/>]



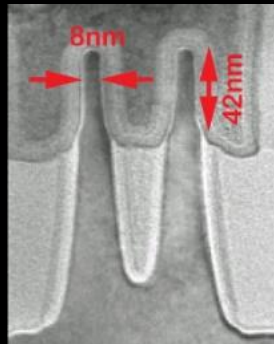
# Kvanttitekniologia 1.0

Kvantti-ilmiöt ovat toiminnallisuuden taustalla

## LASKENTA



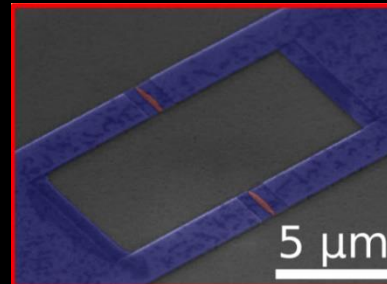
Johtavuusvyöt mahdollistavat transistorin



## KUVANTAMINEN



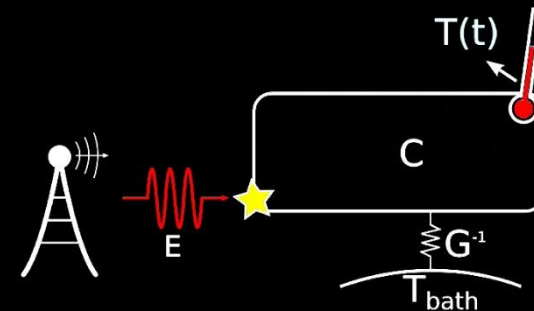
Suprajohtavuus



## SÄLEILYANTURIT



Fotonien absorboituminen



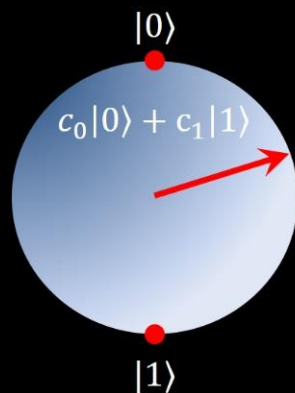
# Kvanttitekniologia 2.0

Toiminnassa hyödynnetään kvanttimekaniikkaa yksittäisten kvanttien tasolla

## LASKENTA



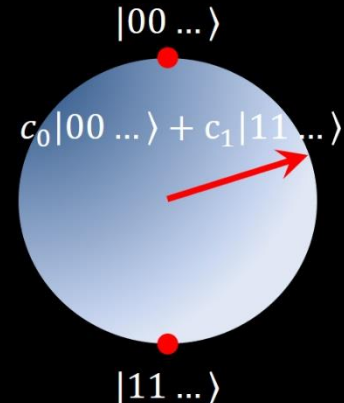
### Kubitti



## KUVANTAMINEN



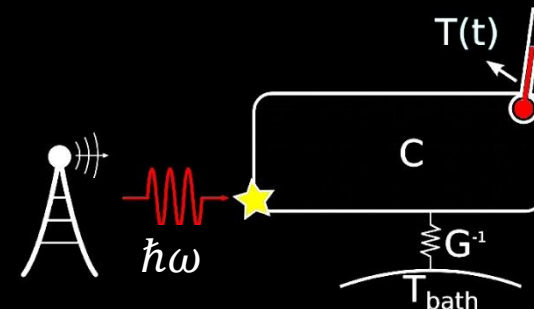
### Lomittuminen



## SÄLEILYANTURIT



### Fotonien laskenta



# Kvanttaviestintä

- Kaupallisesti saataville vuodesta 2004
- Salakuunteluvapaa periaate
- Maailmalla rakennetaan verkkoja kiihtyvällä tahdilla
- Suomi on mukana EU:n verkkohankkeessa



satunnaistettuja yhden fotonin vaihtoja



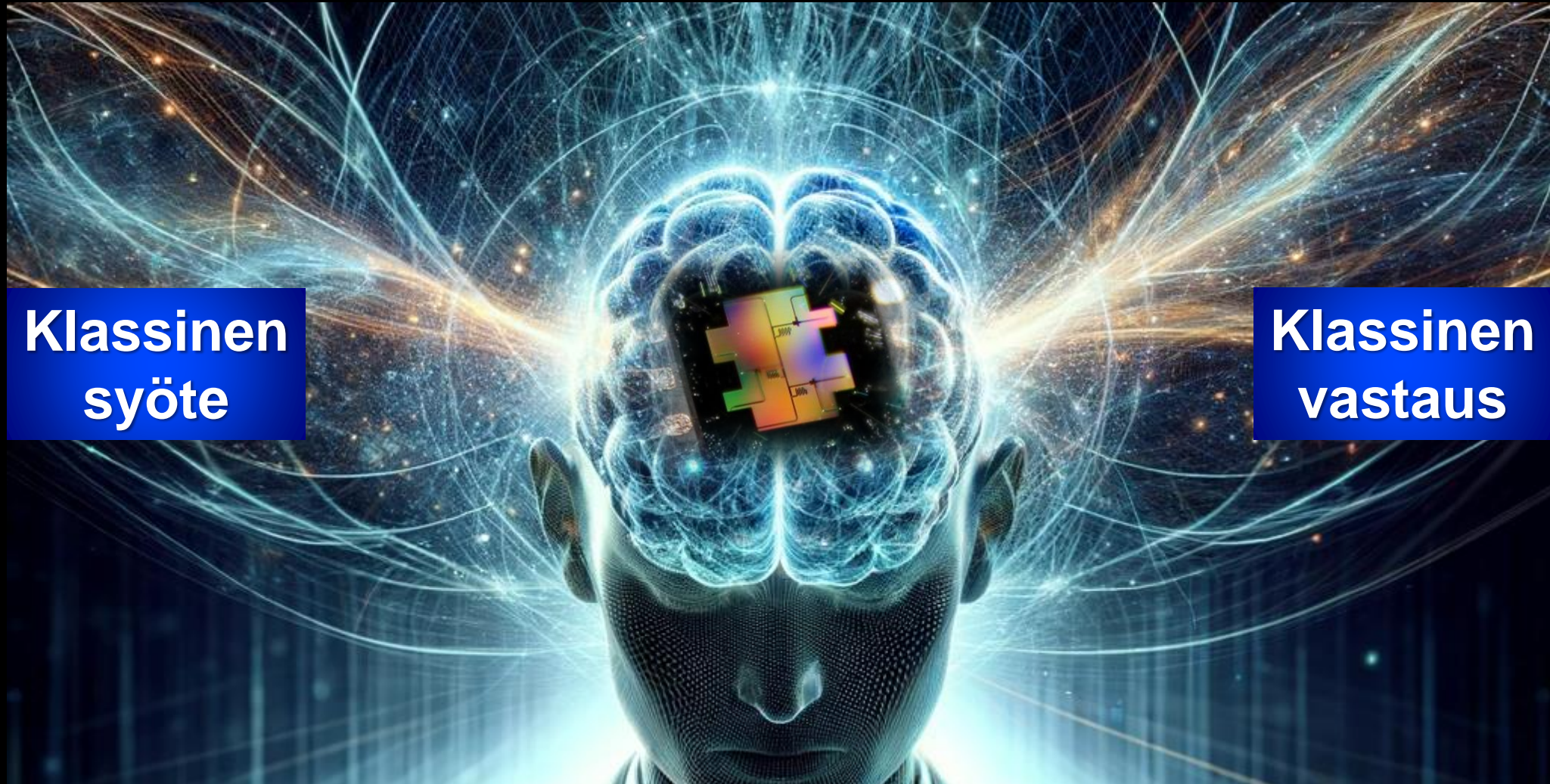
Cedit: ID Quantique

# Kvanttilaskenta

tekee tuloaan  
(nopeasti)



# Kvanttilaskenta

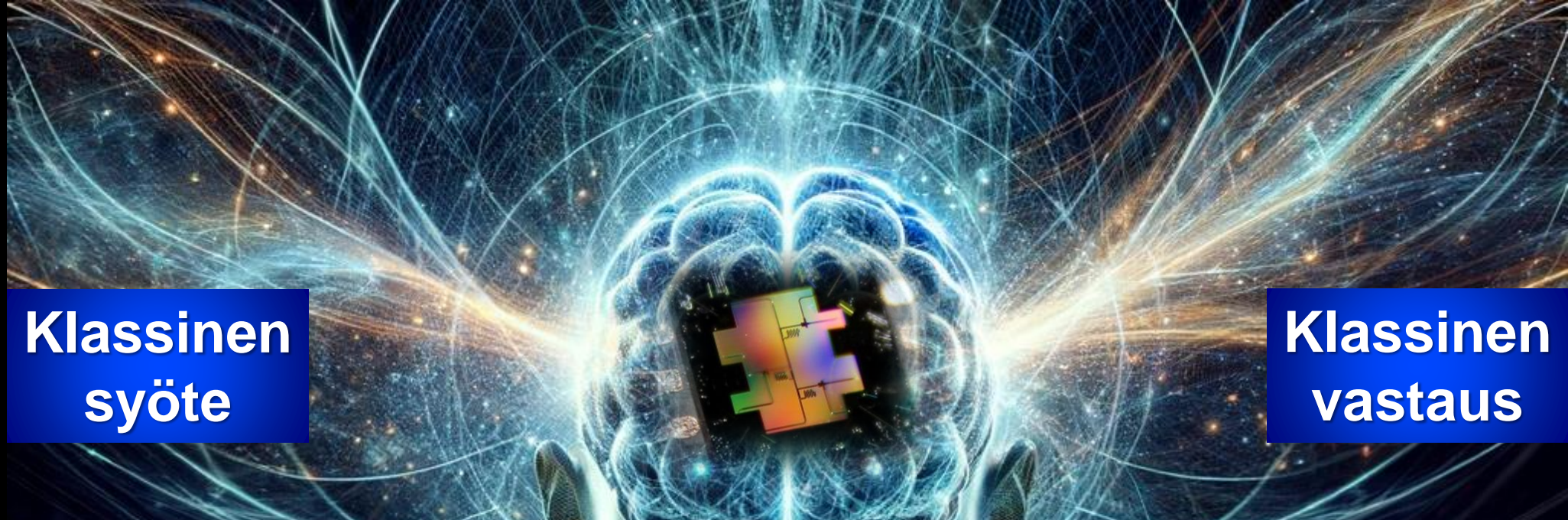


**Klassinen  
syöte**

**Klassinen  
vastaus**



# Kvanttilaskenta



LASKENNALLISIA OIKOPOLKUJA LÄPI  
YLIMÄÄRÄISTEN ULOTTUVUUKSIEN

# Kvanttibitti = Kubitti

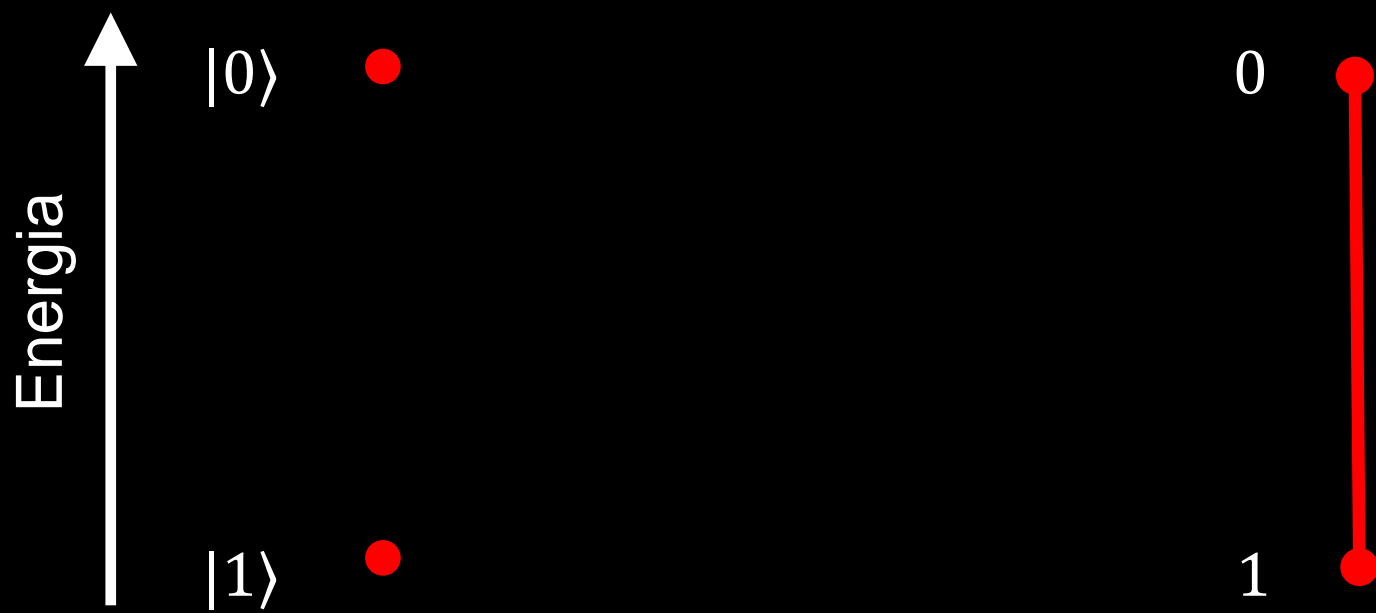
<https://vttblog.com/2019/05/23/quantum-technology-what-is-that/>

## Yksi kubitti

- Vain kaksi energiatilaa

## Yksi bitti (klassinen)

- Jatkumo energiatiloja



# Kvanttibitti = Kubitti

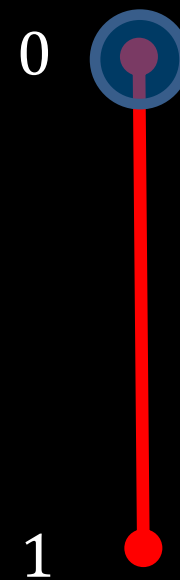
## Yksi kubitti

- Vain kaksi energiatilaa



## Yksi bitti (klassinen)

- Jatkumo energiatiloja

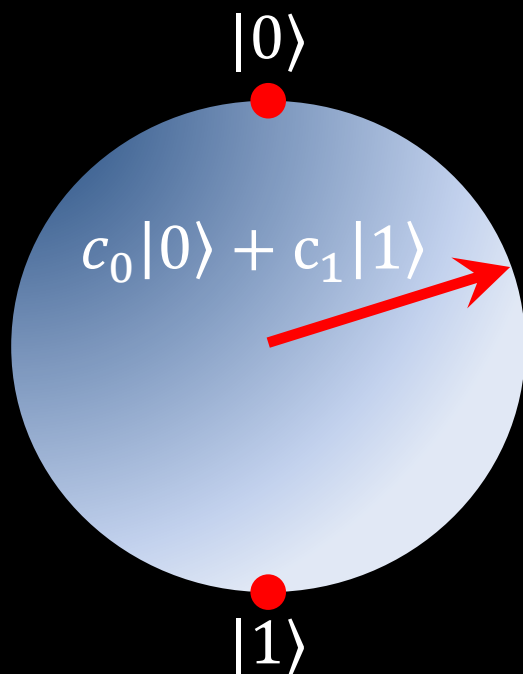




# Huima kvanttimekaaninen ulottuvuus

## Yksi kubitti

- Kaksi muuttujaa (todennäköisyys ja vaihe)
- 16 tavua



## Kaksi kubittia

$$c_0|00\rangle + c_1|01\rangle + c_2|10\rangle + c_3|11\rangle$$

- Neljä lukua

LOMITTUMINEN  
 $\propto |01\rangle + |10\rangle$

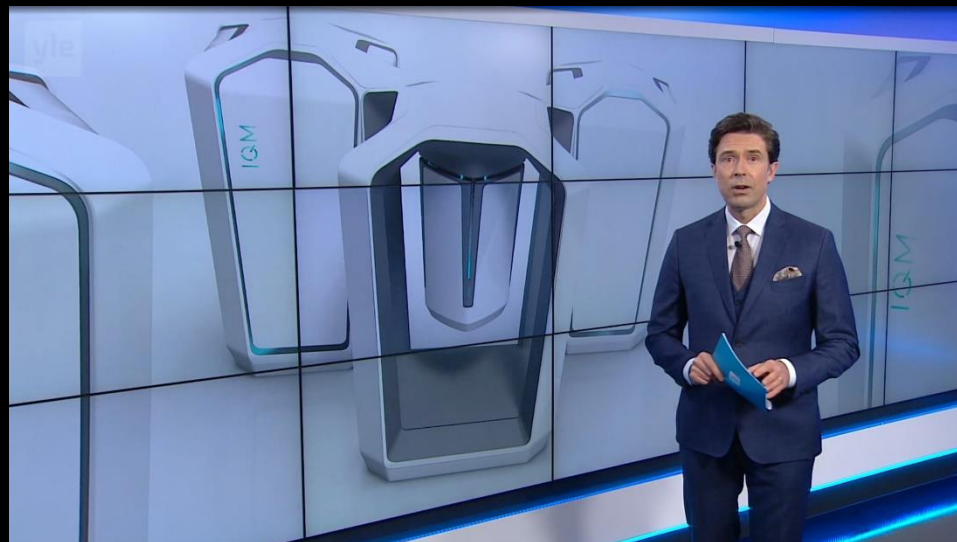
## 1000 kubittia

- $2^{1000} \approx 10^{300}$  muuttujaa
- Järjetön määrä tavuja

Maailmankaikkeudessa  
on alle  $10^{100}$  hiukkasta!

# Miltä kvanttietokone näyttää?

Tältäkö?



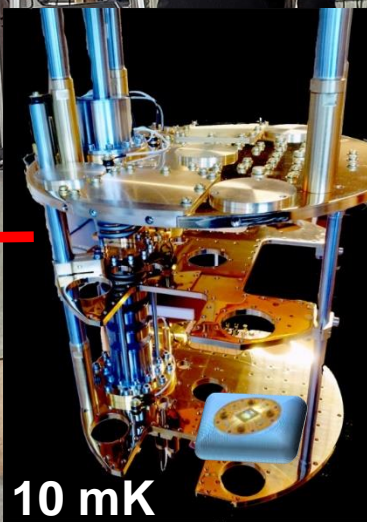
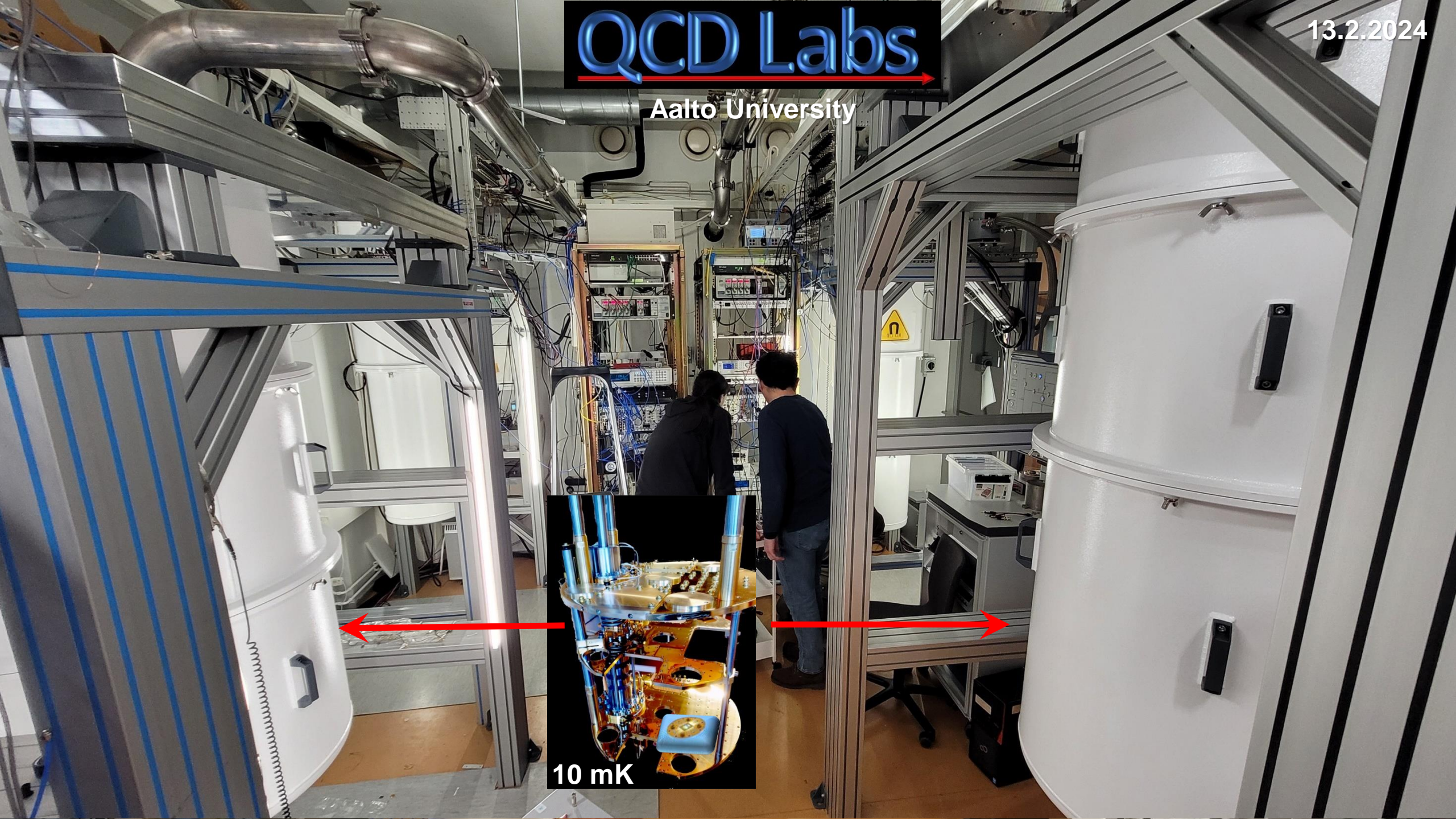
Kuva: IQM



# QCD Labs

Aalto University

13.2.2024



10 mK



# Kvanttisiru



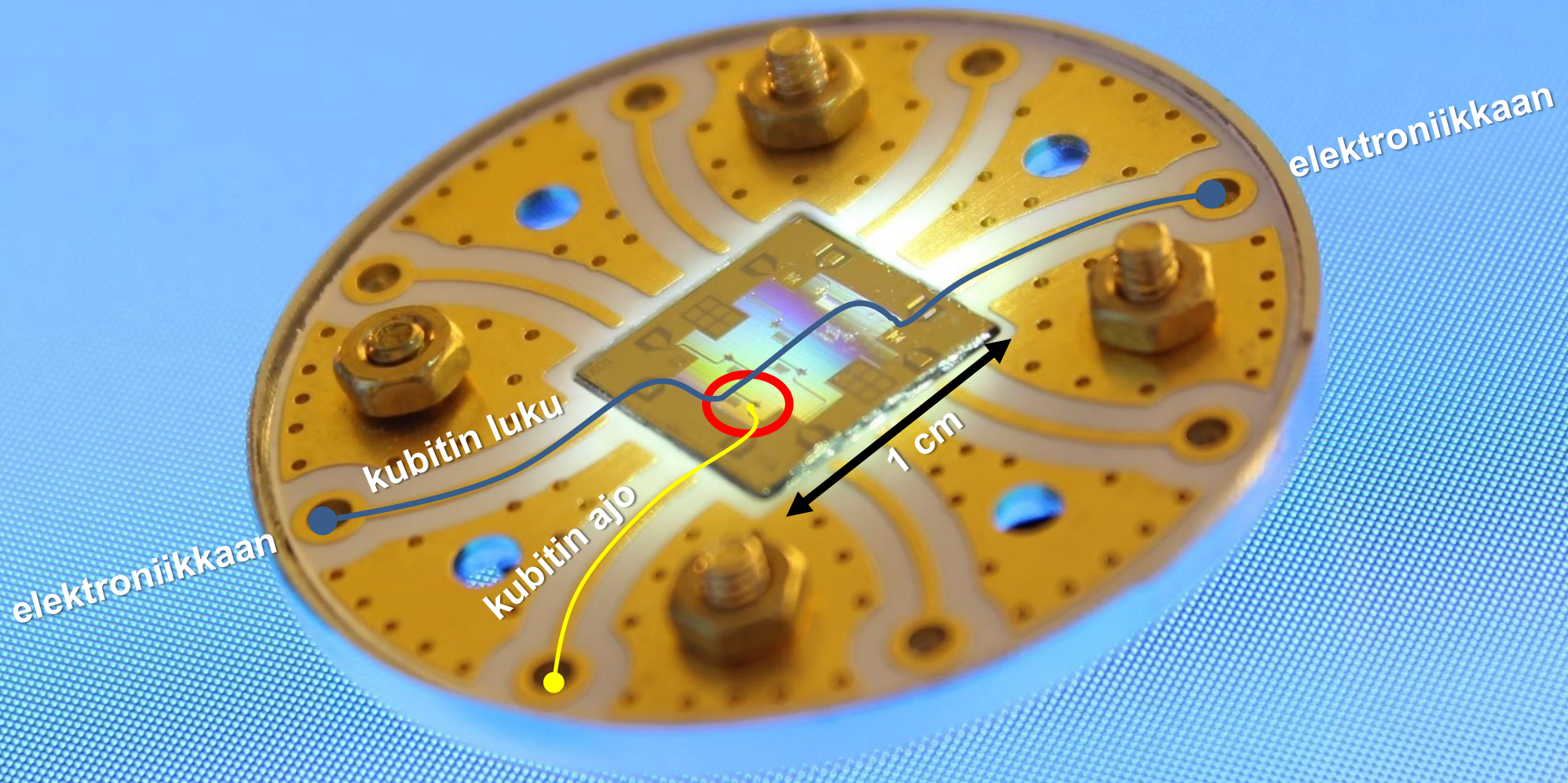
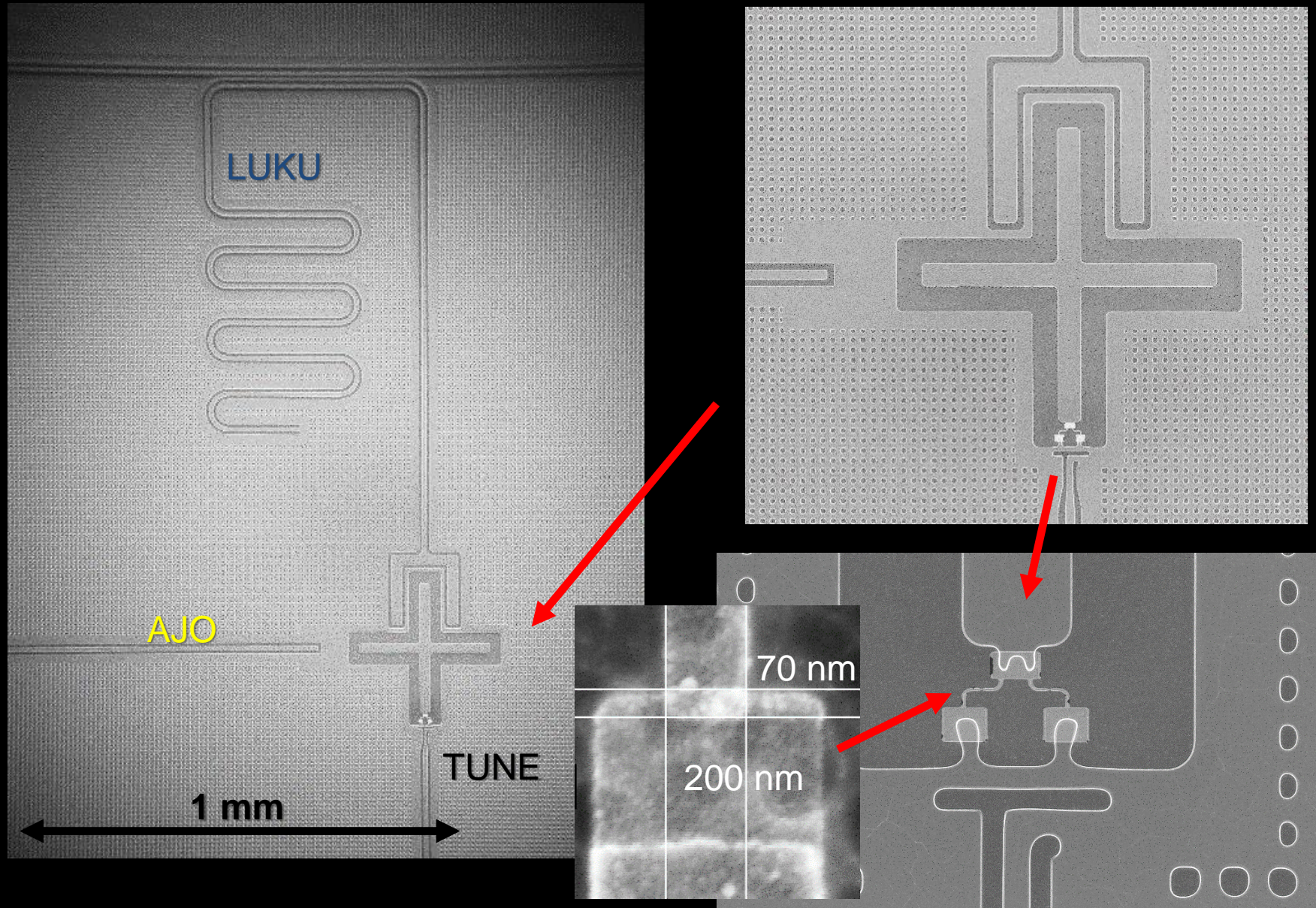


Figure: Jan Goetz

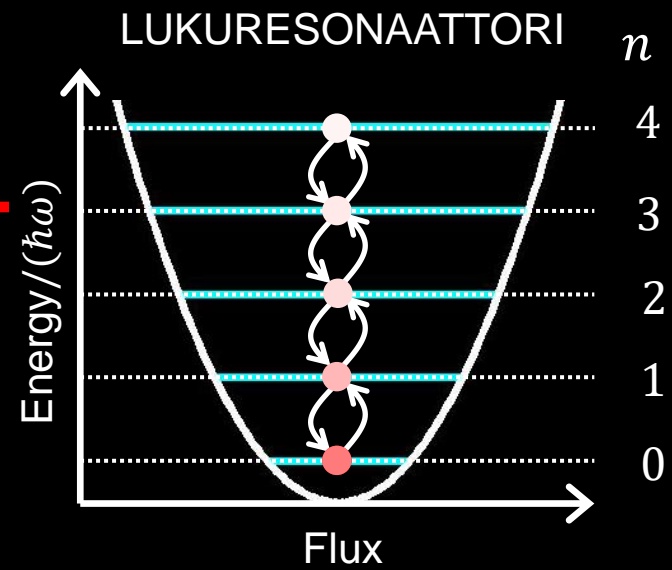
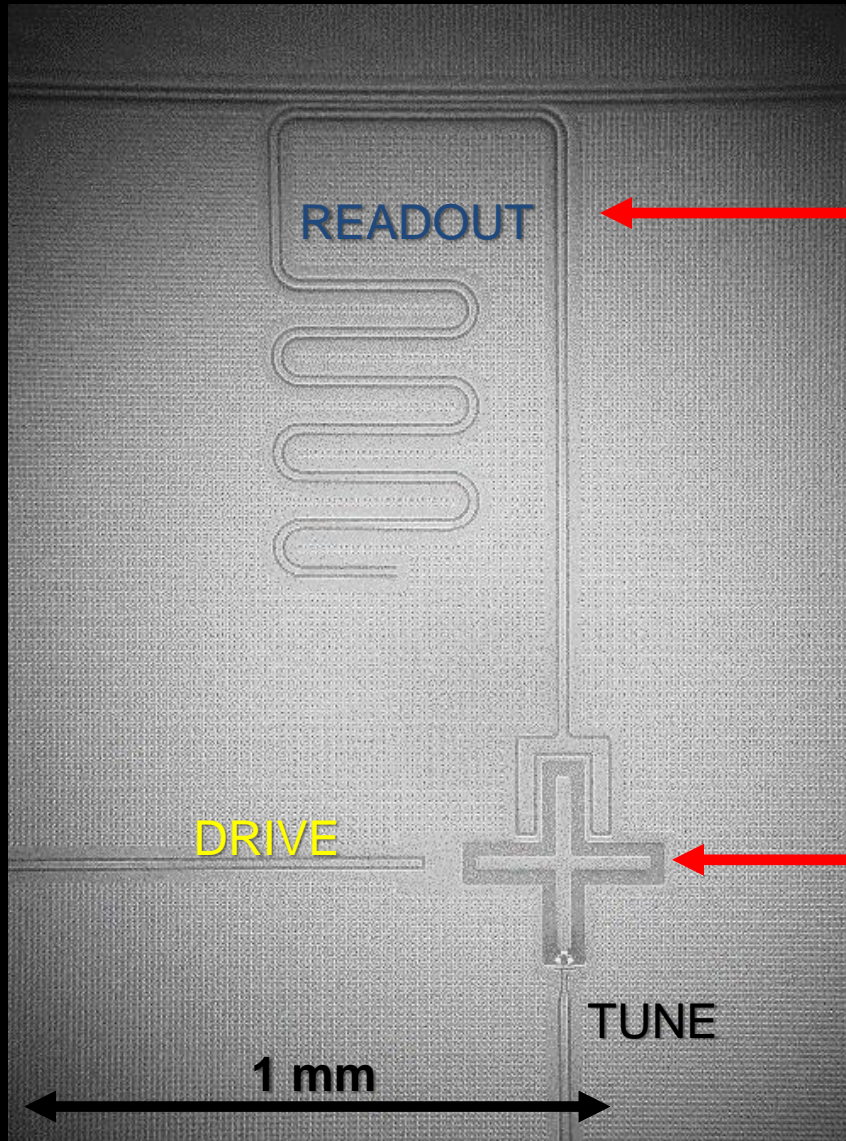


# QCD-ryhmässä tehty suprajohtava kubitti

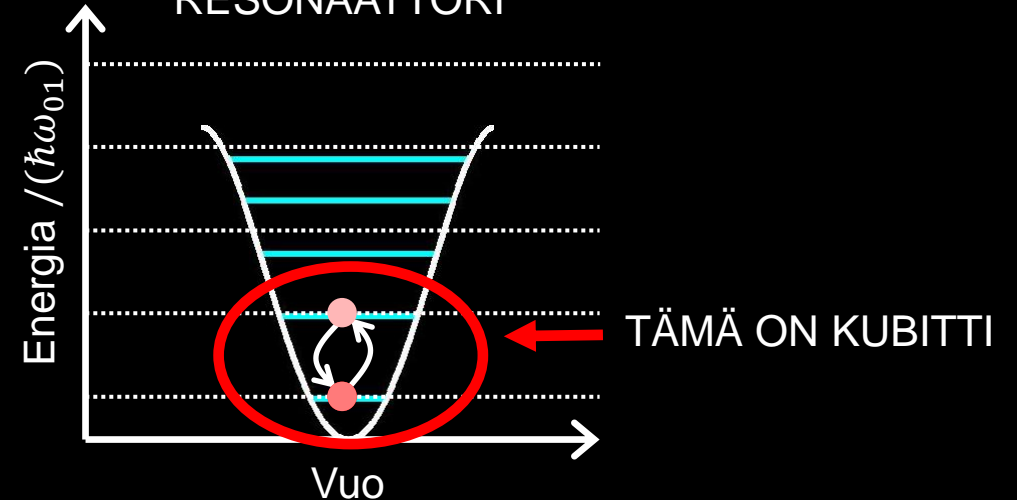




# QCD-ryhmässä tehty suprajohtava kubitti



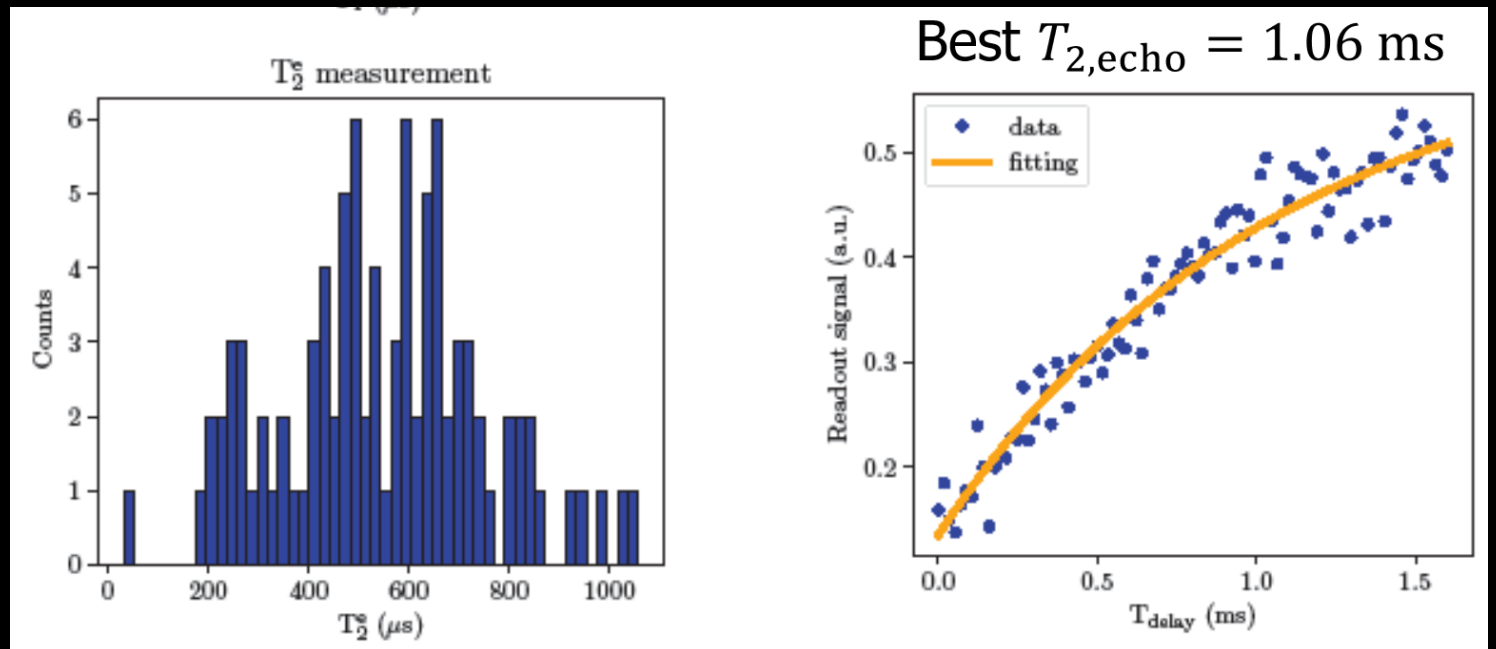
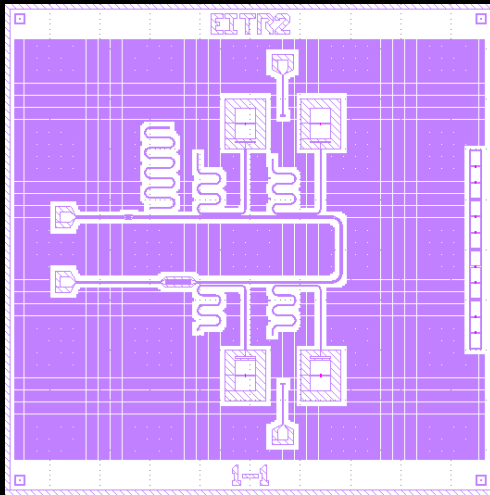
KUBITTI = EPÄLINEAARINEN RESONAATTORI



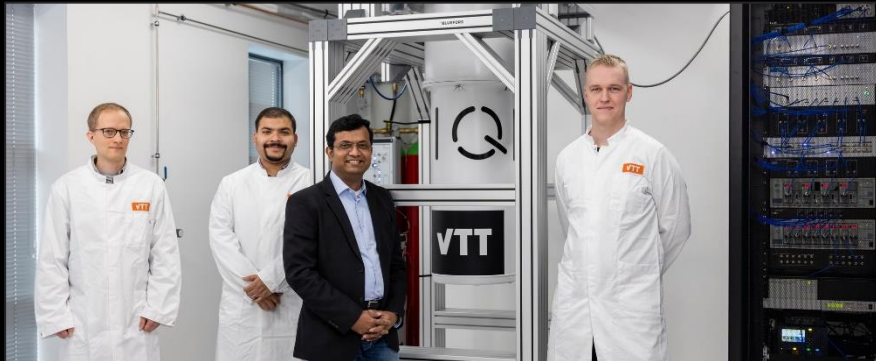
# Millisekunnin koherenssiaika transmon-kubitille

[Tuokkola et al., arXiv:2407.18778 (2024)]

- Transmon kubitit yleisimpiä kvanttietokoneissa (IBM, IQM...)
- QCD-ryhmä on ensimmäisenä maailmassa raportoinut millisekunnin koherenssiajan.



# Suomalaiset kvanttietokoneet



Visa  
Vesterinen

Kuva: VTT

- 5 kubitin kone toiminnassa VTT:llä
  - Yhdistetty LUMI-supertietokoneeseen
  - Palvelee jo ulkopuolisia käyttäjiä

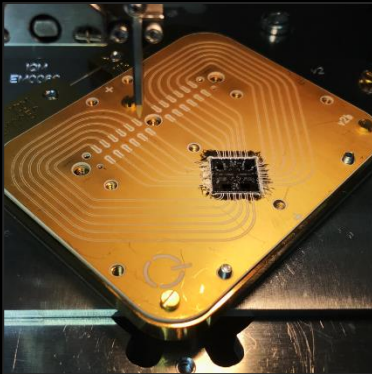


Kuva: CSC

**HALLITUS ON ALLOKOINUT 70 M€ SUOMALAISEN 300-KUBITTISEN KVANTTITIEKONEEN RAKENTAMISEKSI!**

## 5 kubitin kone

- Testattu ja toimitettu



Kuva: IQM

## 20 kubitin kone

- Testattu ja toimitettu



Kuva: IQM

## 54 kubitin kone

- Valmistuu lähikuukausina



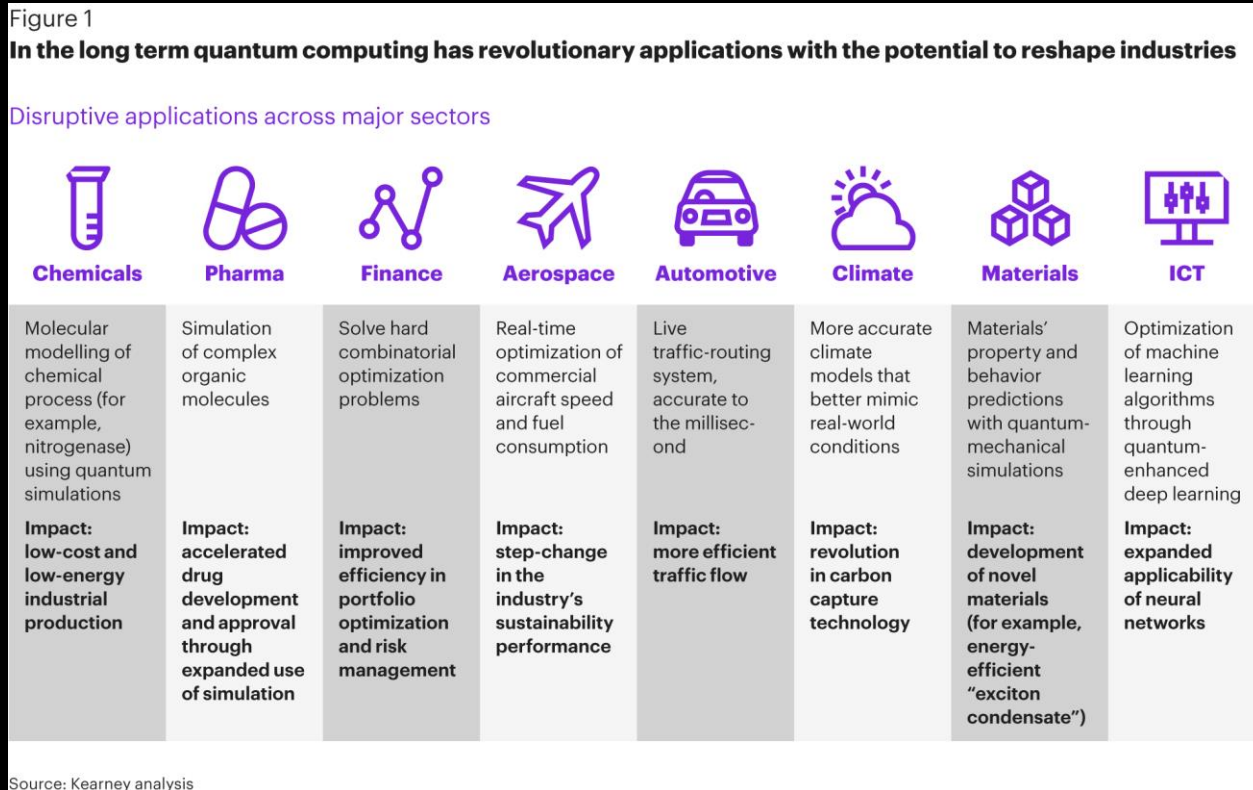
Kuva: IQM



# Kvanttilaskennan sovellusalueita

Lähde: [KEARNEY, Quantum computing: why you should care (2021)]

Taulukossa kirjain  $n$  tarkoittaa formuloidun ongelman kokoa.



ONGELMA	OPERAATIOITA: KLASINEN	OPERAATIOITA: KVANTTI
Tekijöihinjako ja diskreetti logaritmi	$\sim \exp(n)$	$\sim n^{2.5}$
Tietokantahaku	$\sim n$	$\sim \sqrt{n}$
Vaikeita optimointiongelmia	$\sim \exp(n)$	$\sim \sqrt{\exp(n)}$
Harvojen suurten matriisien $n$ :s tulo	$\sim \exp(n)$	$\sim n$
Joidenkin differentiaaliyhtälöiden ratkaisu	eksponentiaalinen kvanttinopeutus	

# Millaisella koneella voi olla mahdollista saada kaupallista hyötyä?

~99,9% tarkkuus ja ~100 kubittia (~2025-2027)

~99,99% tarkkuus ja ~300 kubittia (~2027-2029)



# Kiitos!

