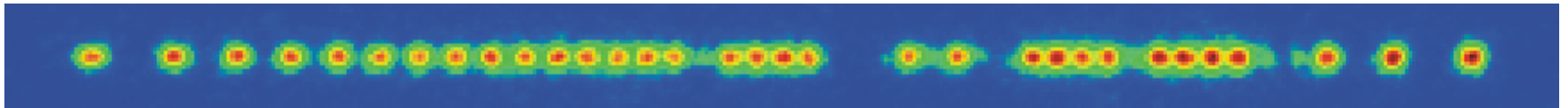


Kolde ioner

-

Kvantecomputere og andet godt



Michael Drewsen

Ionfældegruppen
QUANTOP -

Danmarks Grundforskningsfonds
Center for Kvanteeoptik Center
Institut for Fysik og Astronomi
Aarhus Universitet

Hvorfor overhovedet forsøge at eksperimentere med enkelte partikler?

"Normalt":

Påvirkning
→



Måling
→

Måling: En vægtet sum af mange forskellige enkelte bidrag

Dette medfører, at det ofte er svært at finde detaljeret årsags-virkning-sammenhænge

"Analogi" fra hverdagen



"Normalt":



Eksamen: En vægtet sum af mange enkelte præstationer

Det betyder, at vi på trods af adskillige undervisningsreformer har svært ved at forbedre indlæringen ved forelæsninger ;-)

Løsning*



Enkelt, men krævende!

*Har været kendt i århundreder!

Kan man overhovedet eksperimentere med enkelte partikler?

"Vi vil aldrig kunne eksperimentere med en enkelt elektron eller et enkelt atom..... på samme måde som vi ikke vil kunne opfostre Ichtyosauria i zoologiskhave."

Erwin Schrödinger, 1952

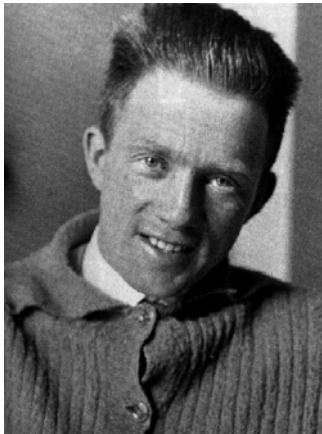


Ichtyosaurus

Et "godt" argument:

"For det første er der Werner Heisenberg's velkendte usikkerhedsrelation ifølge hvilken, en partikkel ikke samtidigt kan have en veldefineret position og en velbestemt hastighed. Denne ubestemthed betyder, at vi ikke kan være sikker på at kunne observere den samme partikkel mere end én gang."

Erwin Schrödinger, 1952



Heisenberg's usikkerhedsrelation:

$$\Delta x \Delta p > h/2\pi$$

$$(p=mv)$$

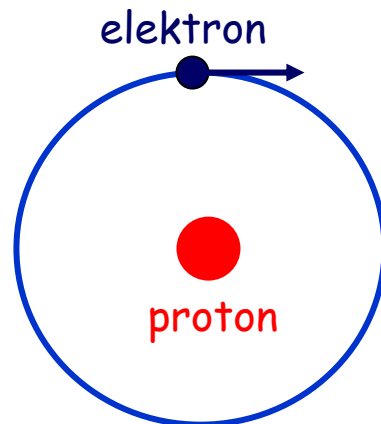
Frie partikler:

$$\Delta p(t) = \Delta p_0$$

$$\Delta x(t) = \Delta x_0 + \Delta p_0 t \rightarrow \infty, t \rightarrow \infty$$

Partikler fastholdt i rummet ved hjælp af *ydre kræfter*, kan godt være lokaliseret over længere tid

Eksempel: Elektronen i et brint-atom

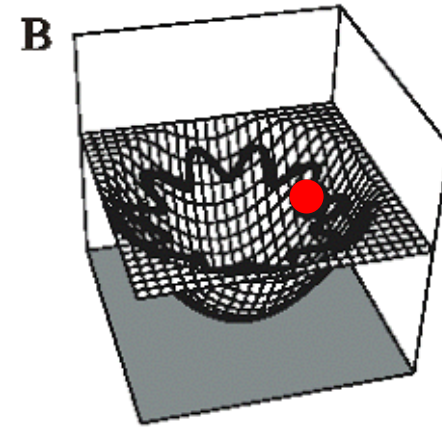
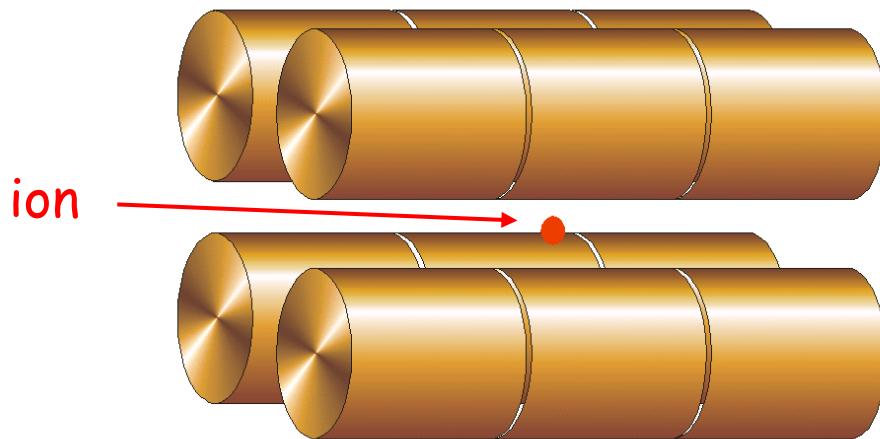


$$\Delta x \sim 1 \text{ \AA} (10^{-10} \text{ m})$$

$$\Delta v \sim 10^6 \text{ m/s}$$

Eksperimenter med indfangede ioner*

Ved tidsligt at variere ladningen på en konfiguration af elektroder kan man opnå at ioner vil føle en kraft mod ét bestemt punkt i rummet:

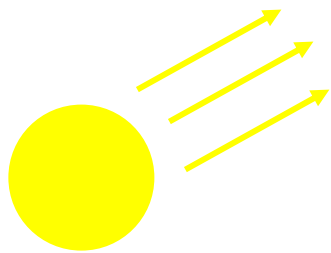


(*Fælder for ladede partikler, Nobelprisen 1989)

Laserkøling *

Simpelste form for laserkøling gør brug af
1) strålingstryk og 2) Doppler-effekten

1) Strålingstryk



Solen

(*laserkøling af atomer, Nobelprisen 1997)

2) Doppler-effekten

lyskilde



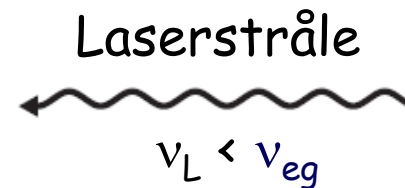
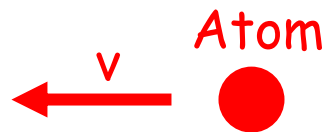
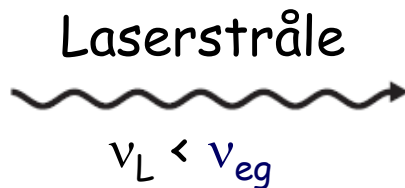
Atom i hvile



Absorptionspektrum

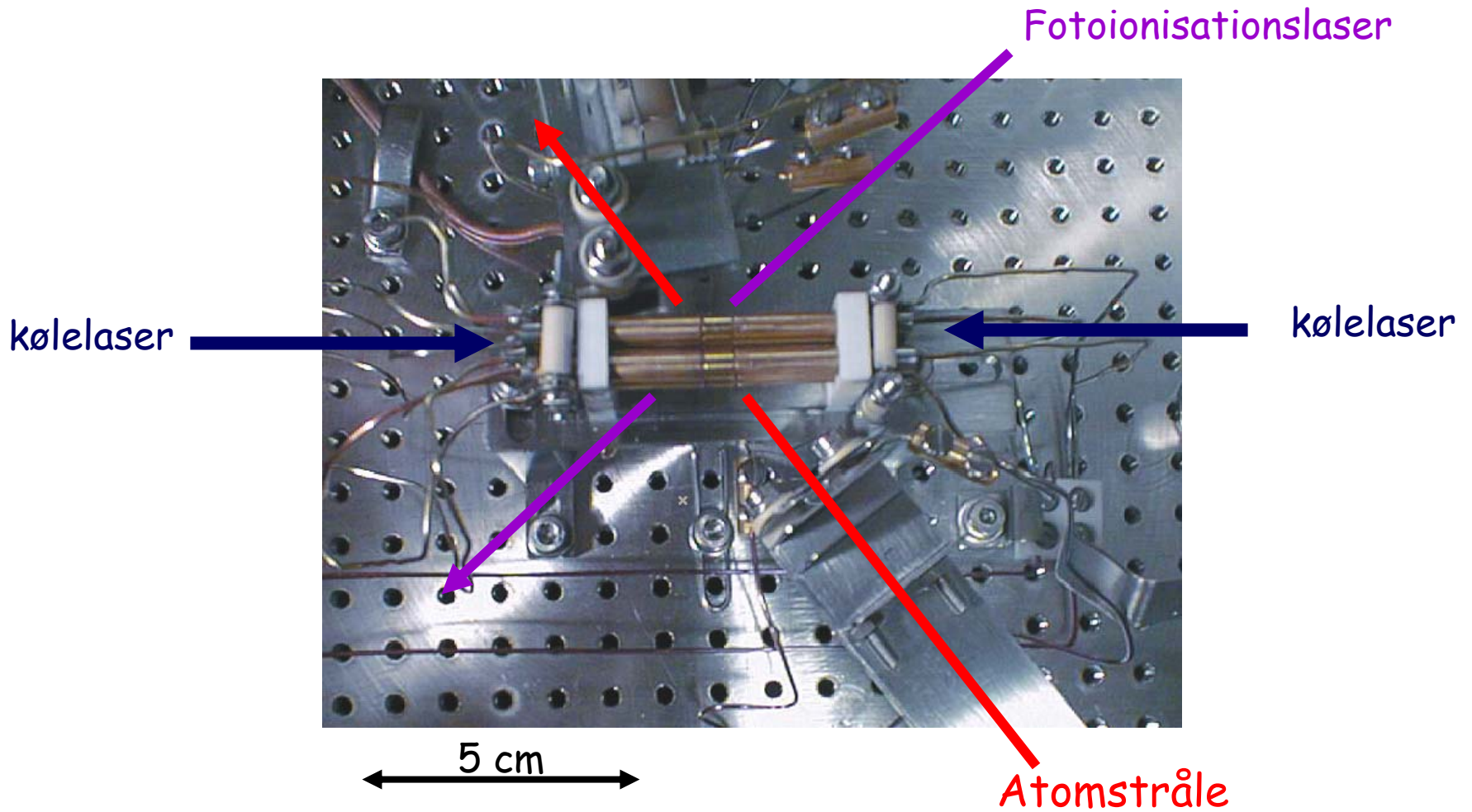


Relativitetsteori: $\nu_{\text{atom}} = (1 + v/c)\nu_L$



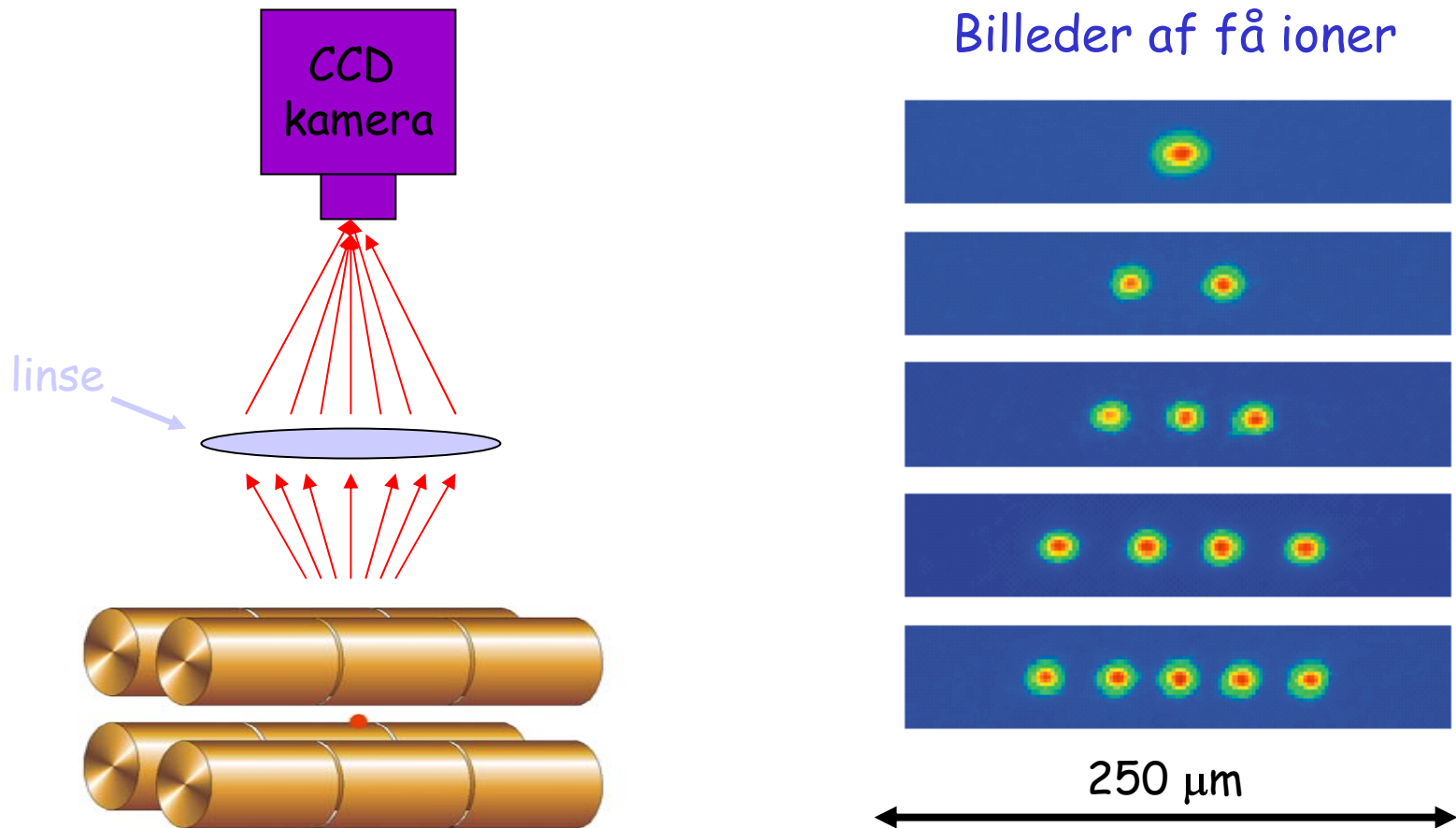
Temp. ~ 1 mK

En "rigtig" ionfælde



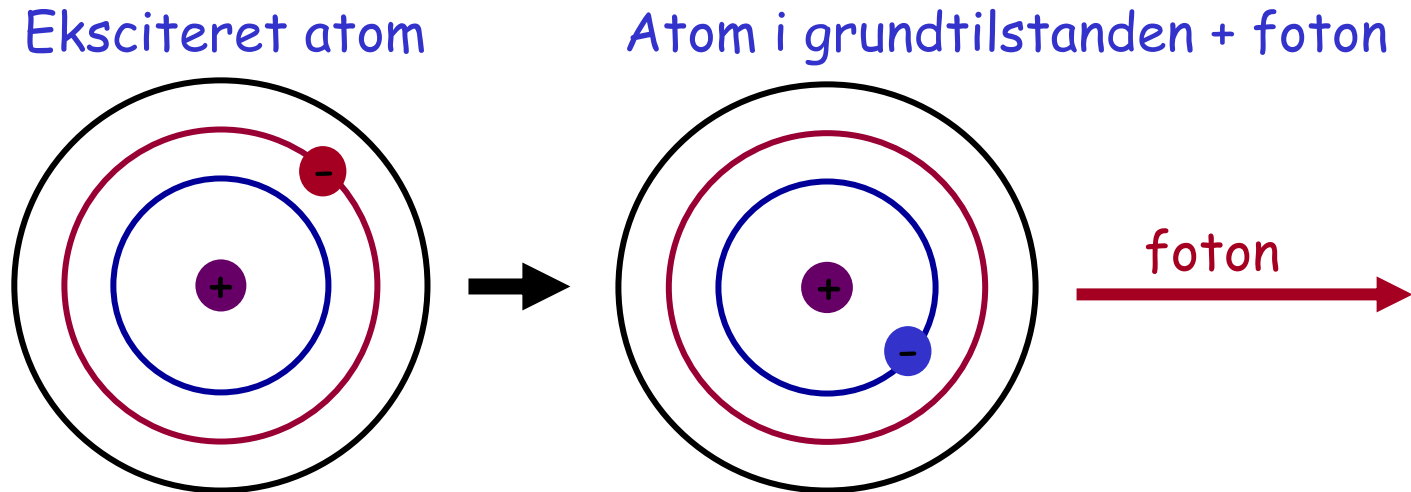
Hvordan kan man observere de enkelte ioner?

Afbildning af fluorescenslys fra ionerne udsendt under kølingsprocessen:



Hvad kan man studere med enkelte ioner?

I) Kvanteforspring:

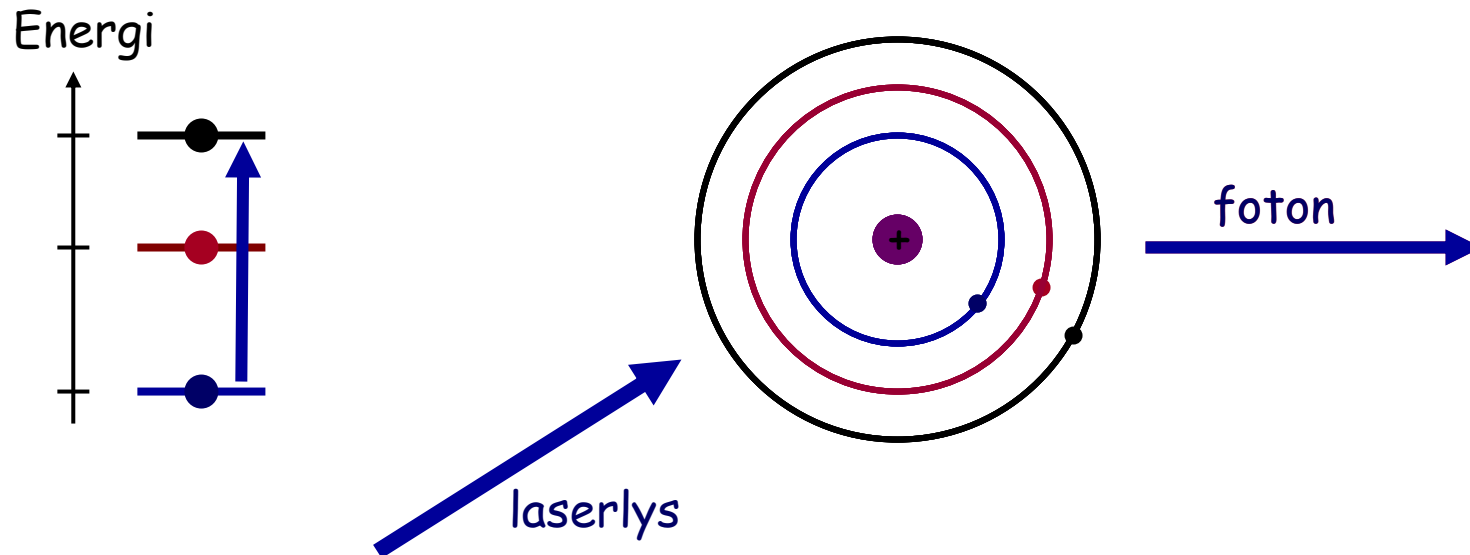


Ifølge en kvantemekanisk enkelt-partikelbeskrivelse sker denne proces abrupt.

Erwind Schrödinger, 1952:

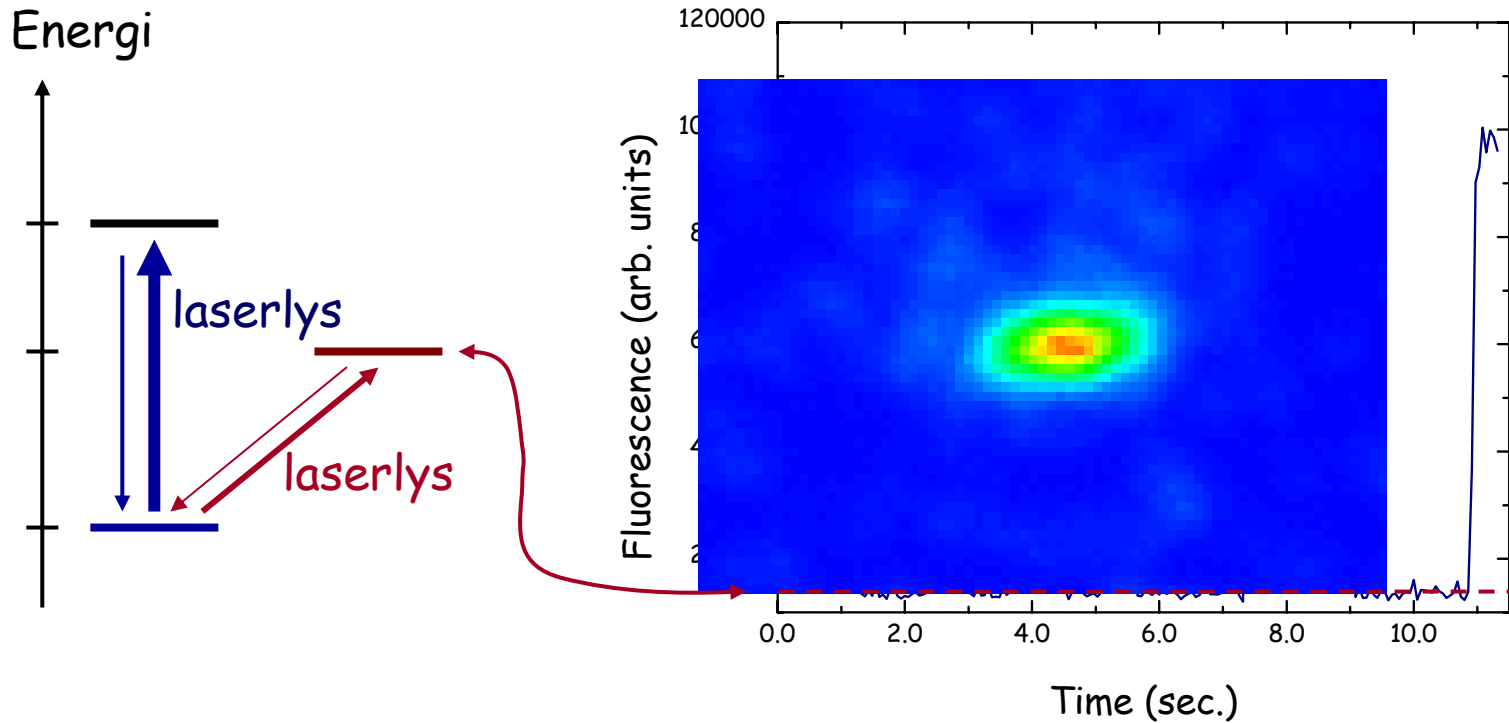
"Hvis folk bliver ved med at tale om "kvanteforspring", fortryder jeg, at jeg nogen sinde gav mig i kast med kvantemekanikken."

Hvordan observerer man et kvantespring?

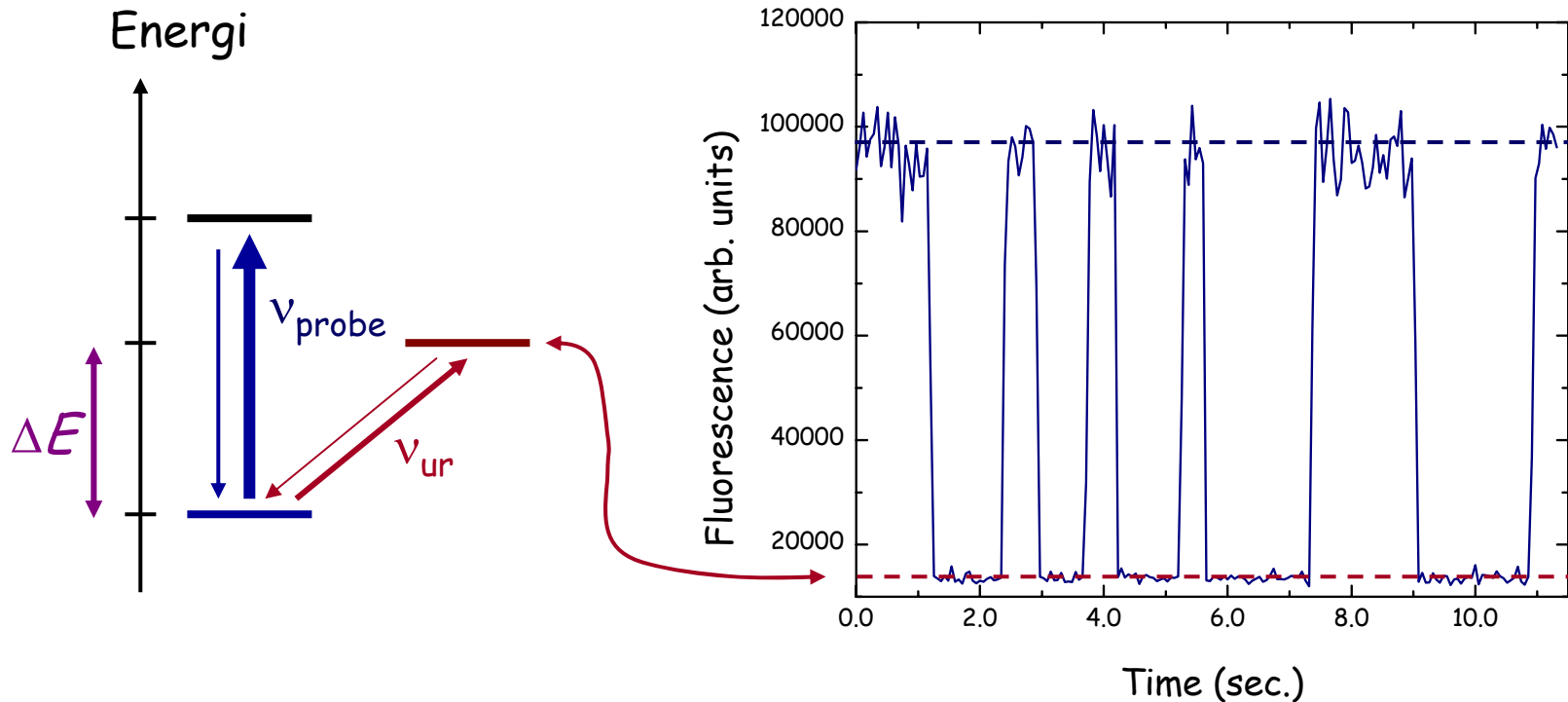


Hvad ser man i et rigtigt eksperiment?

En enkelt Ca^+ ion i en ionfælde



Atomar ure baseret på enkelte ioner



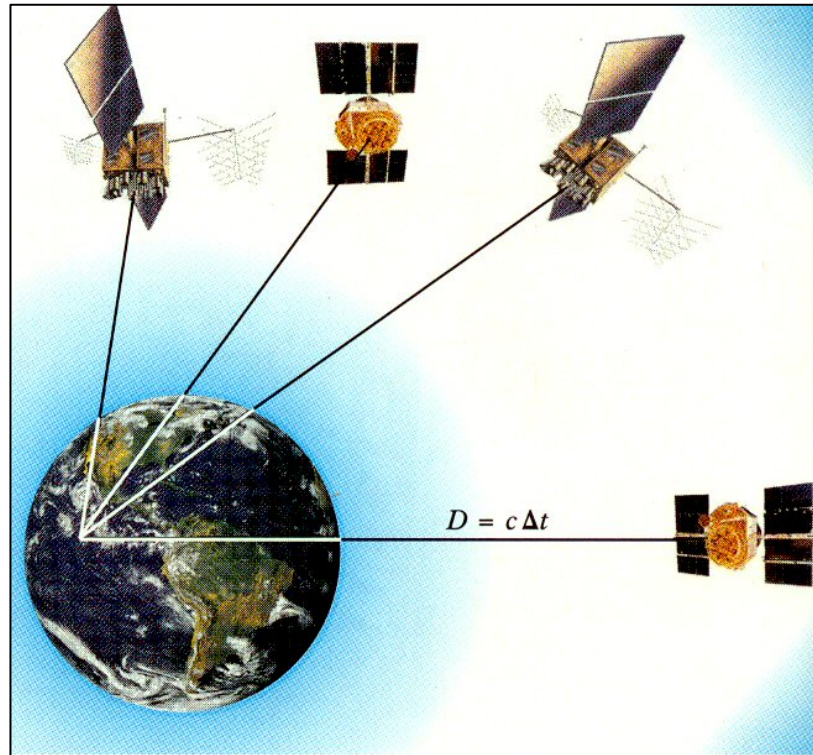
Resonans: $\Delta E = h \nu_{\text{ur}}$

Relative usikkerhed i måling af ν_{ur} idag: $< 10^{-15}$ (Måletid: ~ timer)

Hvad kan man bruge så præcise ure til?

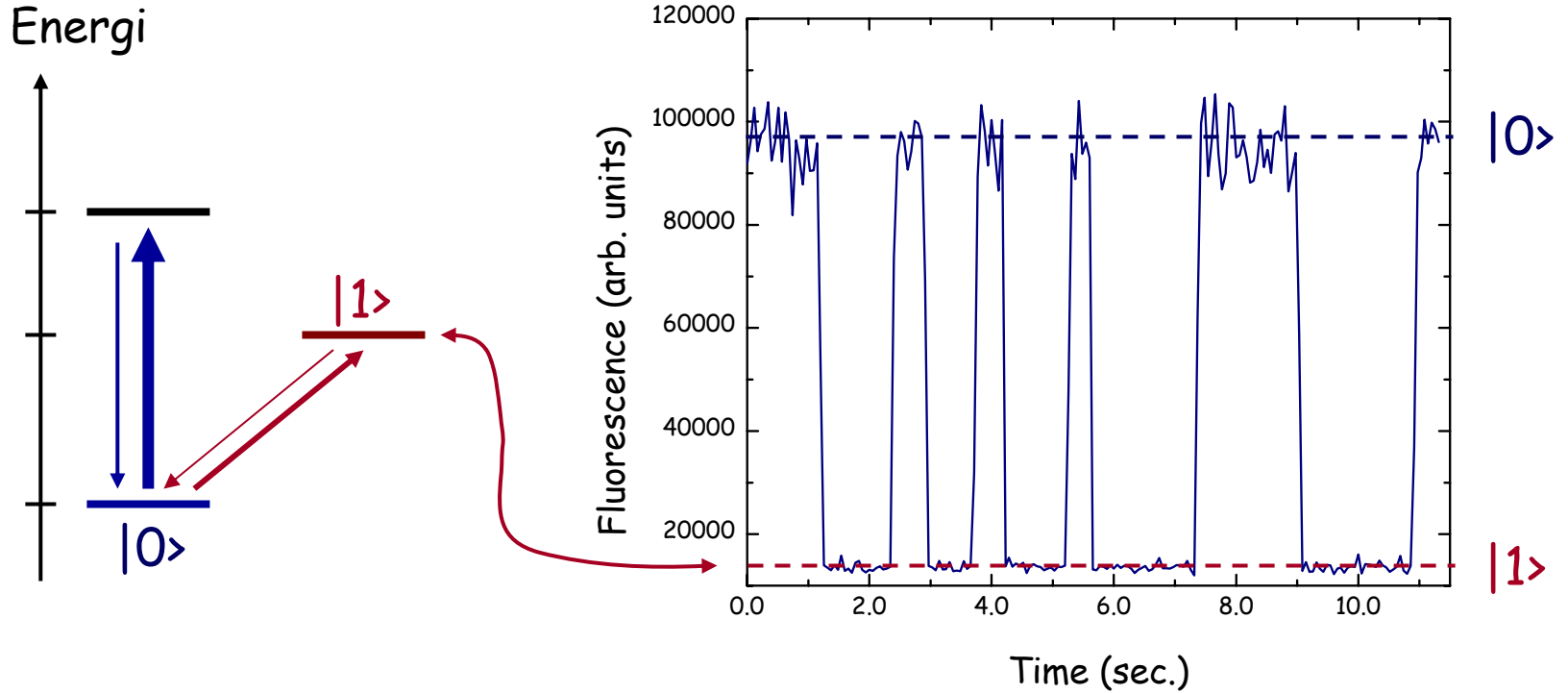
I. Måling af subtile effekter i relativitetsteorien

II. Global Positioning System (GPS)



III. Dataoverførelser med høj hastighed

Én ion - én (qu)bit

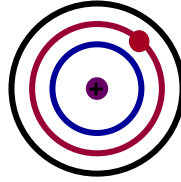
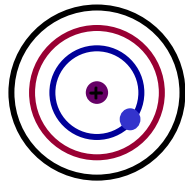


En bit:

$|0\rangle$

eller

$|1\rangle$



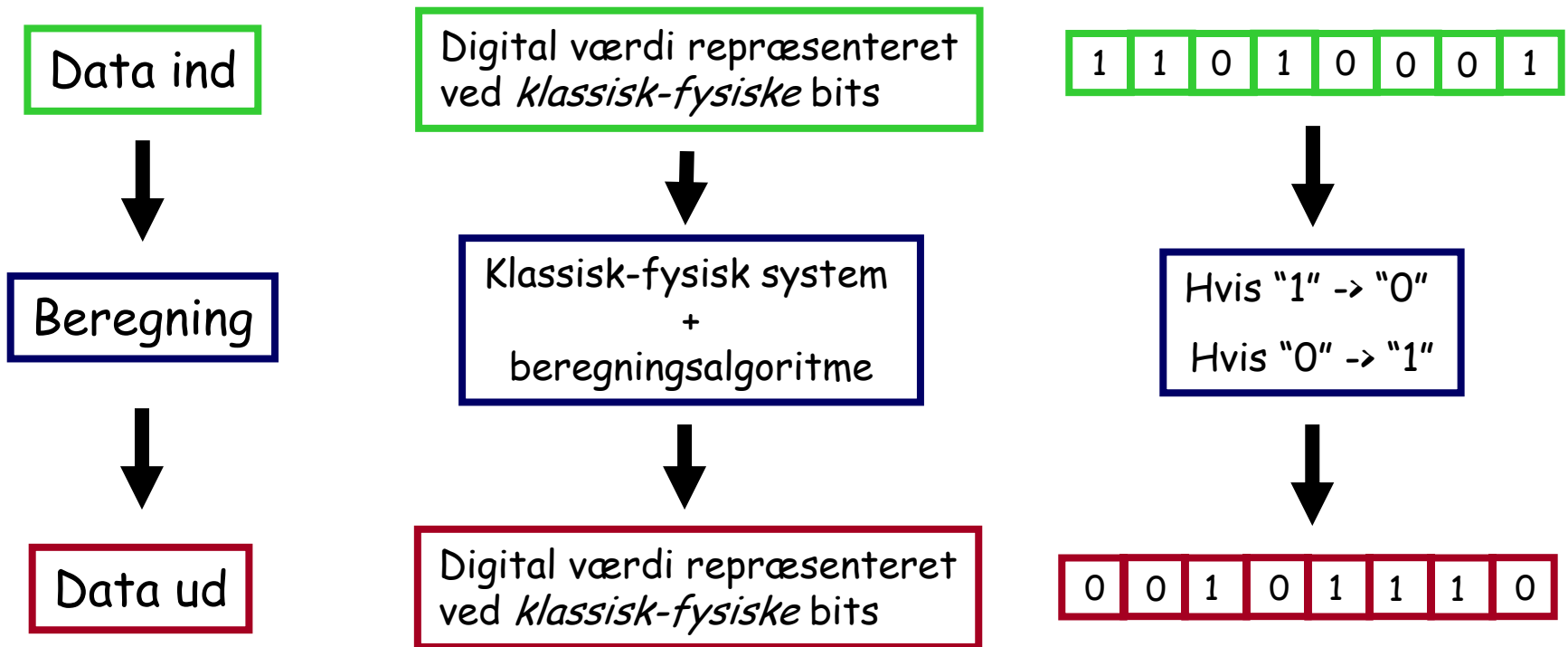
En qubit:

$\alpha |0\rangle$

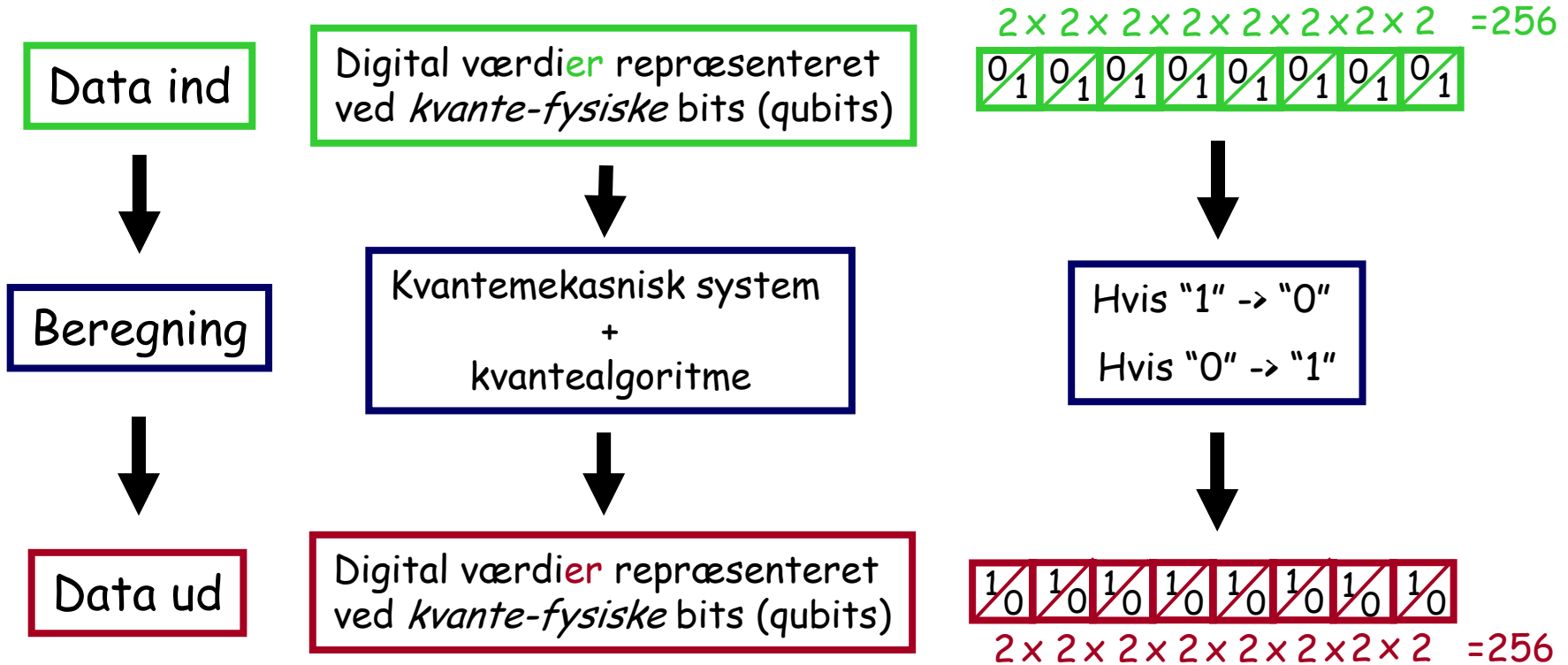
+

$\beta |1\rangle$

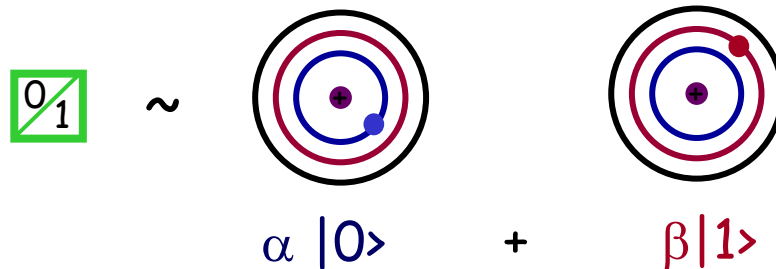
Den klassiske digitale computer



Den digitale kvantecomputer



Dvs. at
Kvanter

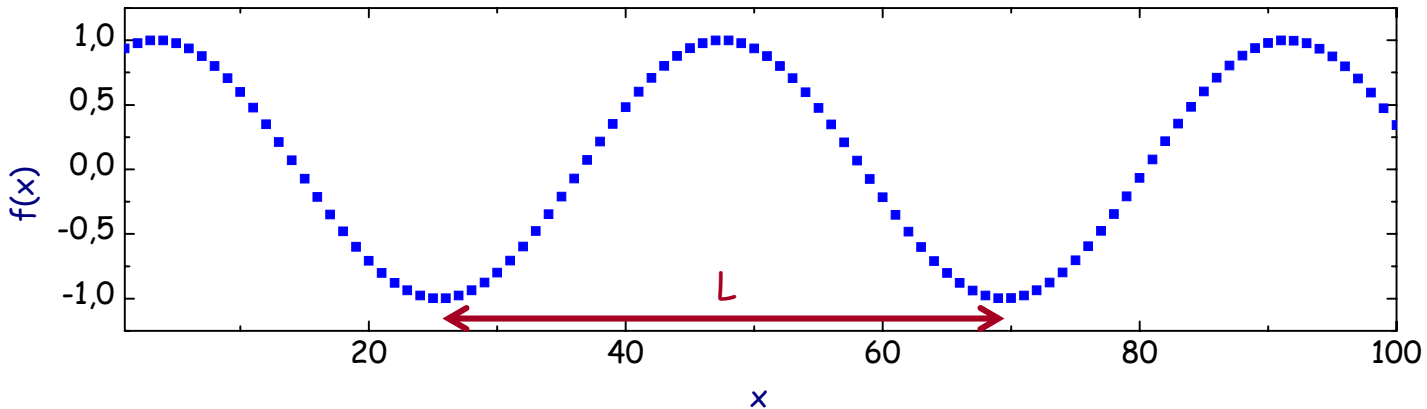


Hvornår er kvantecomputeren interessant ?

Svar:

I visse tilfælde hvor et "simpelt resultat" beror på beregninger af mange datasæt

Ex.: Find perioden L af funktionen $f(x)$



Klassisk: Evaluer funktionen f for mange værdier af x (serielt) for at beregne L (f.eks. ved Fourier-transform af data)

Kvante: Evaluer funktionen f samtidigt for alle værdier af x (parallelt) og fortsæt med at beregne L (f.eks. ved Fourier-transform af data). Man vil så med stor sandsynlighed kunne opnå at finde L ved én enkelt udlæsning.

Andre problemstillinger der vides at kunne løses hurtigere med en kvantecomputer

I. Primtals faktorisering af et tallet med bit-længden L :

Klassisk: $\sim \exp(L^{1/3})$ (ikke-polynomiel)

Kvante: $\sim L^3$ (polynomiel)

Vigtig i vores hverdag for datakryptering !

II. Søgning i en uordnet database med N elementer

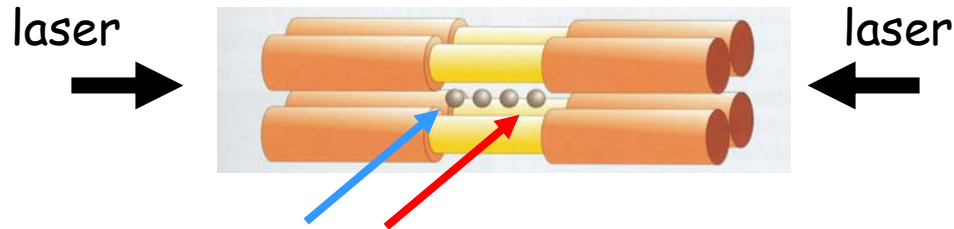
Klassisk: $\sim N/2$

Kvante: $\sim N^{1/2}$

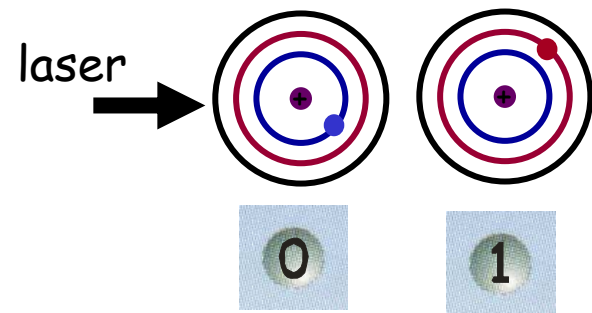
Ionfælde baserede kvantecomputere

Idé:

Laserkølede ioner i fælde



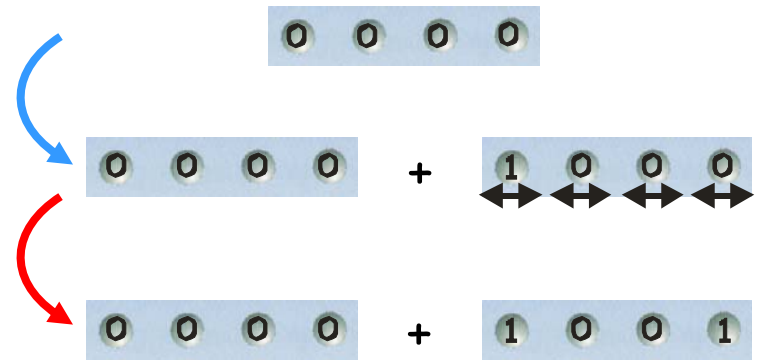
Qubit'en



Kvantelogik vha. ion vibrationer

Laserpuls på ion #1

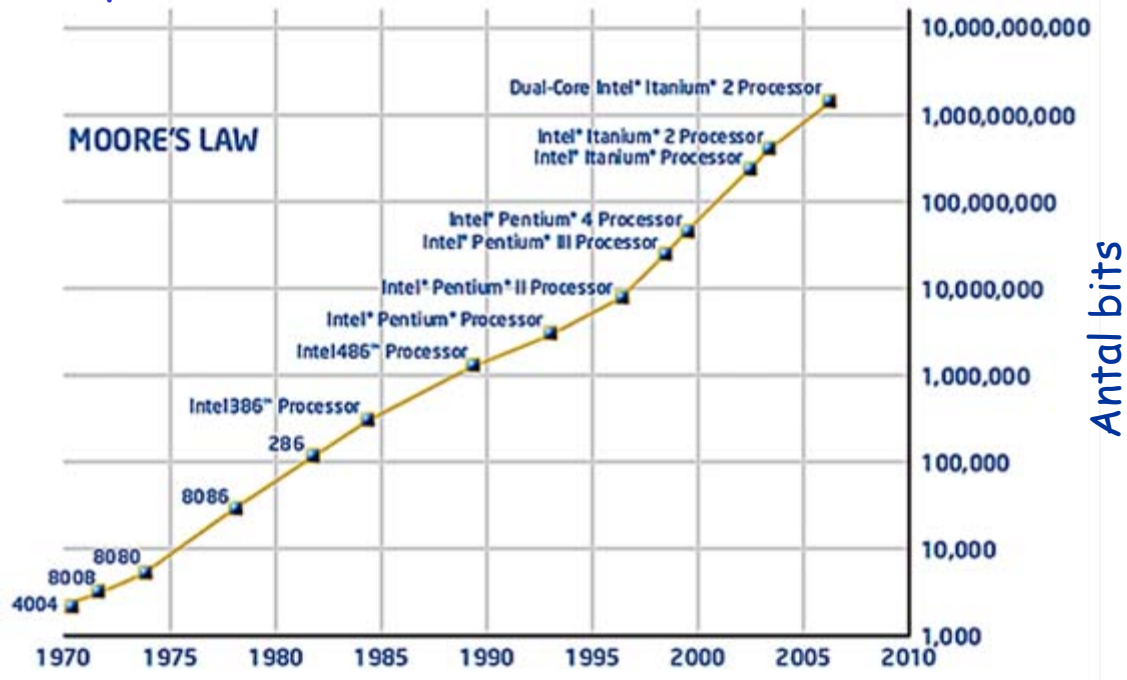
Laserpuls på ion #4



Hvor mange qubits kan man håndtere idag?

8 !

Klassiske computere:



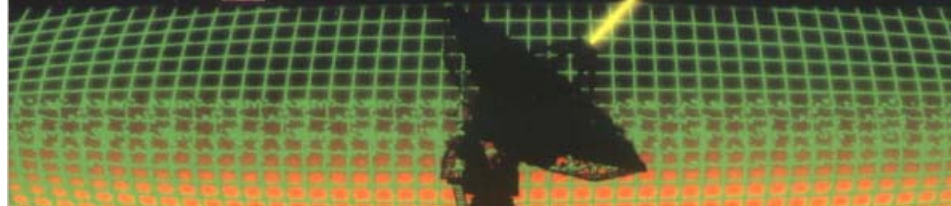
Styrken af en klassisk computer: $\sim N \times \text{Clock-frekvensen}$, $N = \text{antal bits}$

Styrken af en kvantecomputer: $\sim 2^N \times \text{Clock-frekvensen}$, $N = \text{antal qubits}$

Moore's lov for en kvantecomputere: Én mere qubit hver 18 måned !

From the #1 Bestselling Author

Tom Clancy's Op-Center



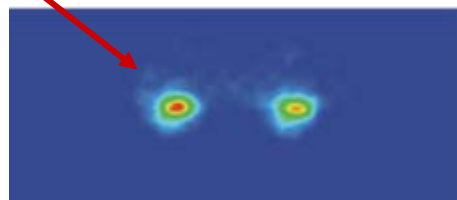
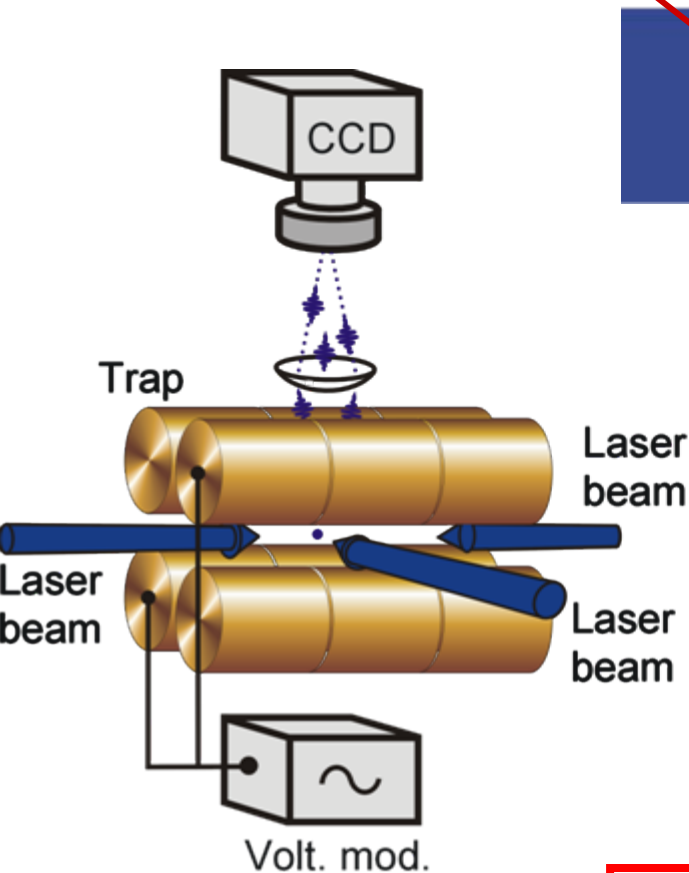
“Too bad this isn’t like quantum computing. You confine ions in webs of magnetic and electric fields, hit a trapped particle with a burst of laser light to send it into an excited energy state, the hit it again to ground it. That’s your switch. Rows of ions in a quantum logic gate, giving you the smallest, fastest computer on earth. Neat, clean, perfect.”

“Yeah,” Phil said, “too bad this isn’t like that.”

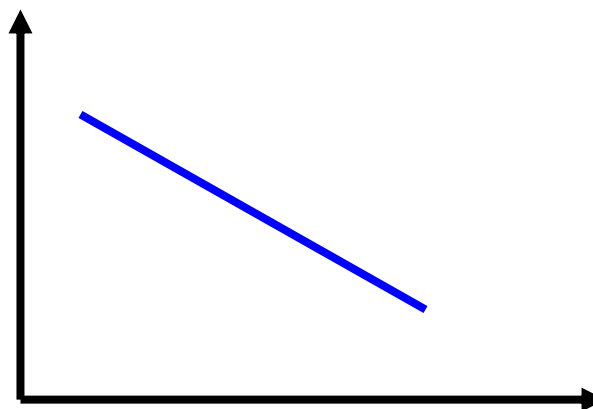
“Don’t be sarcastic,” Stoll said as he popped the last of a chocolate-covered doughnut in his mouth, then washed it down with black coffee. “Next time we’ll play baccarat and things will be different.”

Created by Tom Clancy and Steve Pieczenik

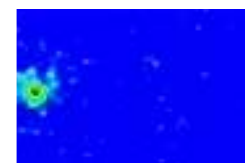
Eksperimenter med enkelte molekylære ioner



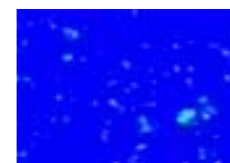
Mod. Freq.



Mg^+ ions:



ne $^{26}\text{MgH}^+$:



Time

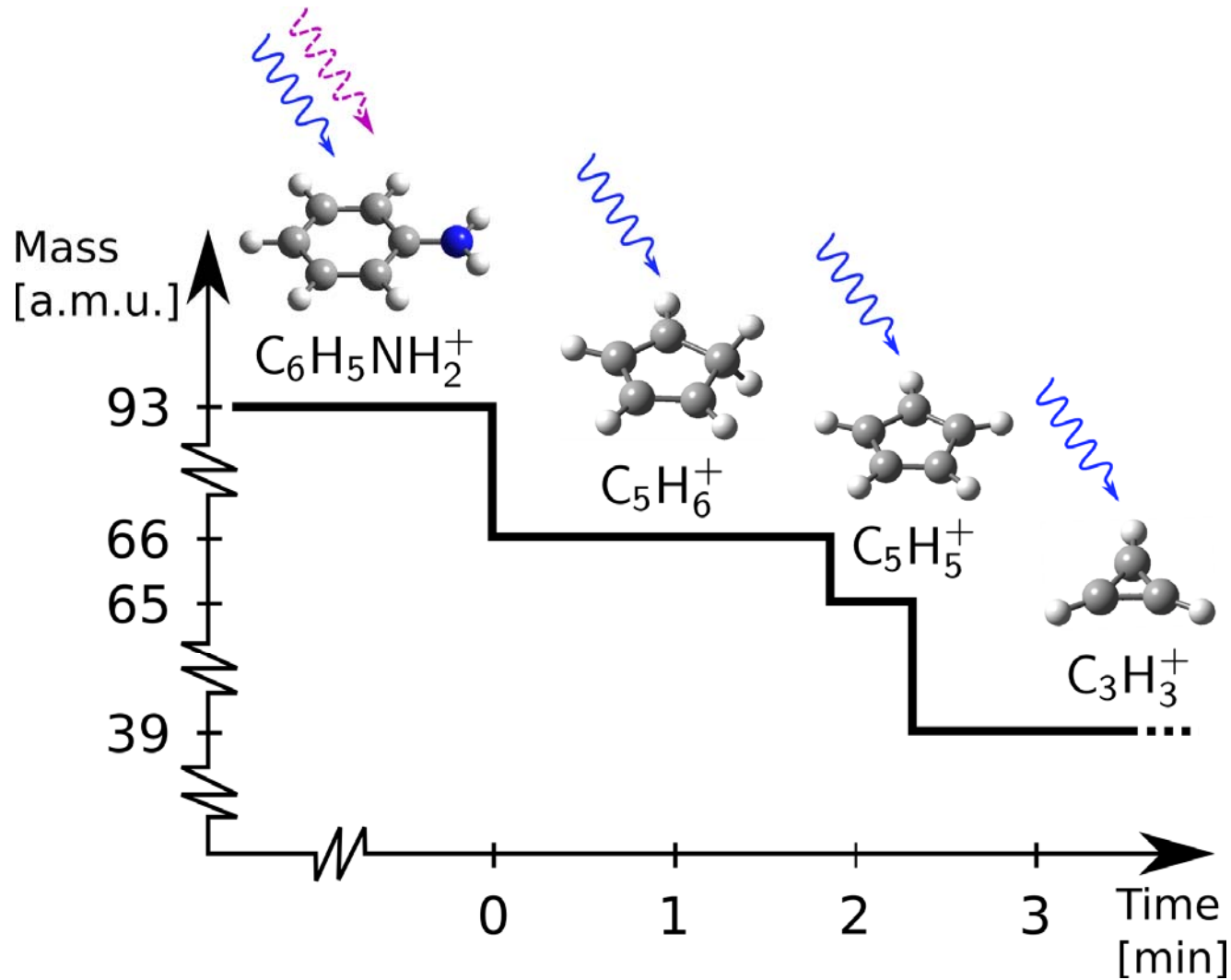
Mass resolution:

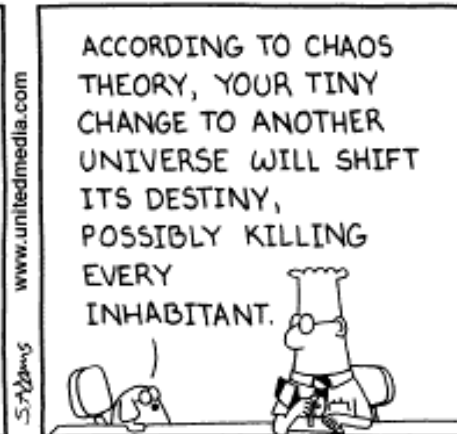
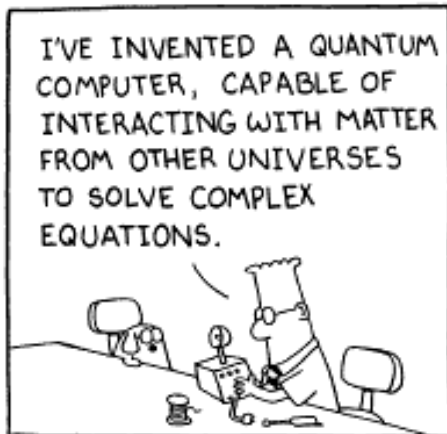
$\Delta m/m \sim 10^{-2}$

$$v_{CM} = [(1 + \mu) \frac{\eta_{MgD^+}^{HD}}{\eta_{MgH^+}^{HD}} - \mu + \mu^2] v_{Mg^+}$$

300 reactions only!
 $\mu = M_{Mg} / M_{Mol}$

Sekventiel fotofragmentering af anilin





Copyright © 1997 United Feature Syndicate, Inc.
Redistribution in whole or in part prohibited