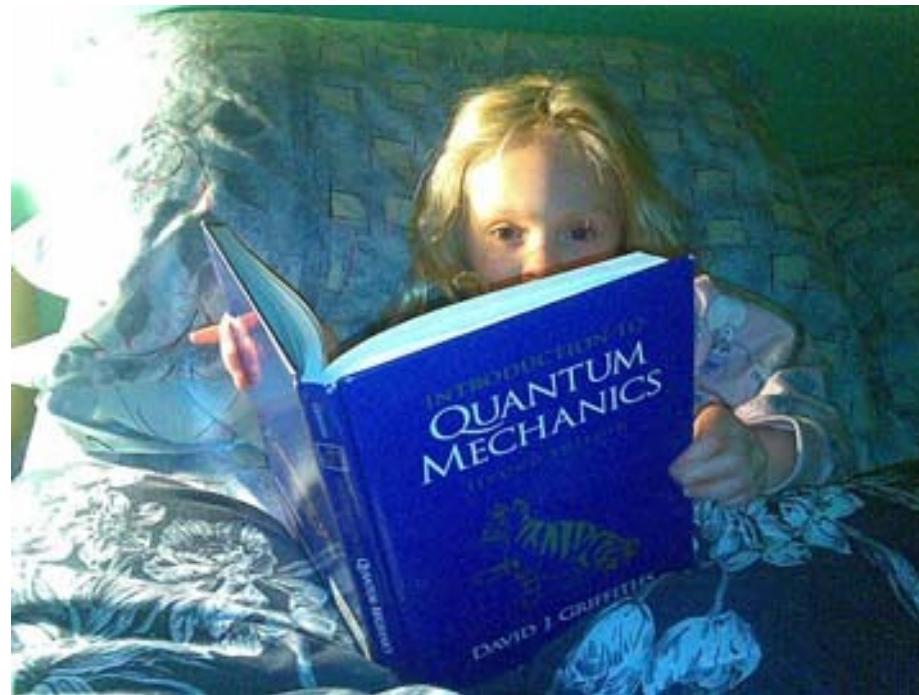


Lys

Partiklar

Bølger

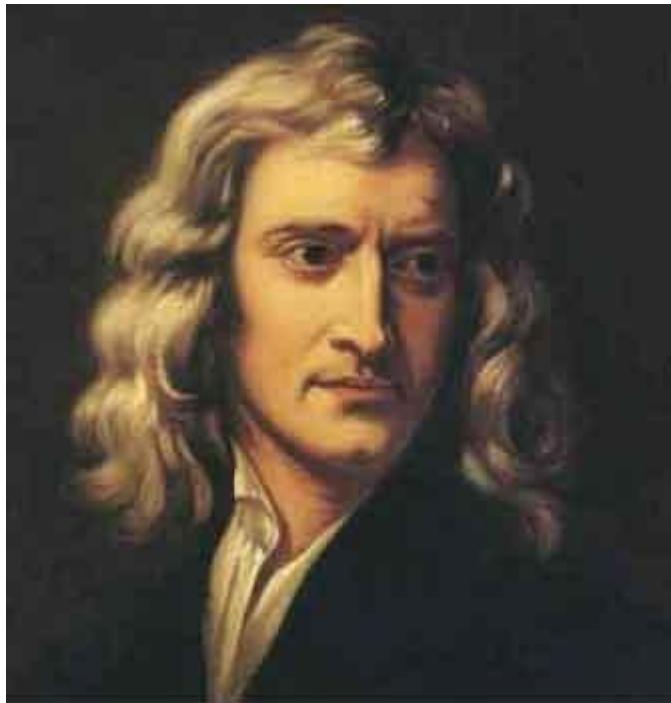
Atom



# Lys



# «Lyshistoria»



Isaac Newton (1642 - 1726)



*Lys er små partiklar!*

*Lys er bølger*

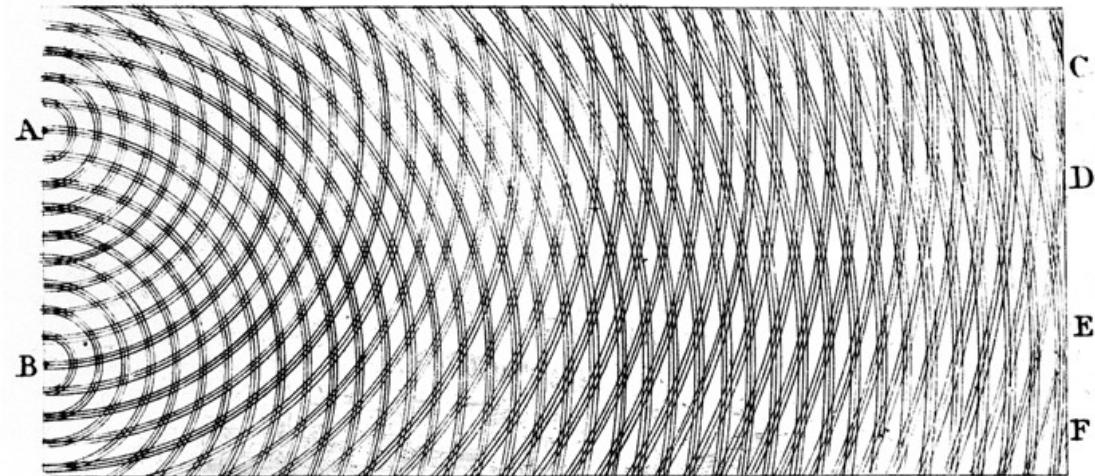
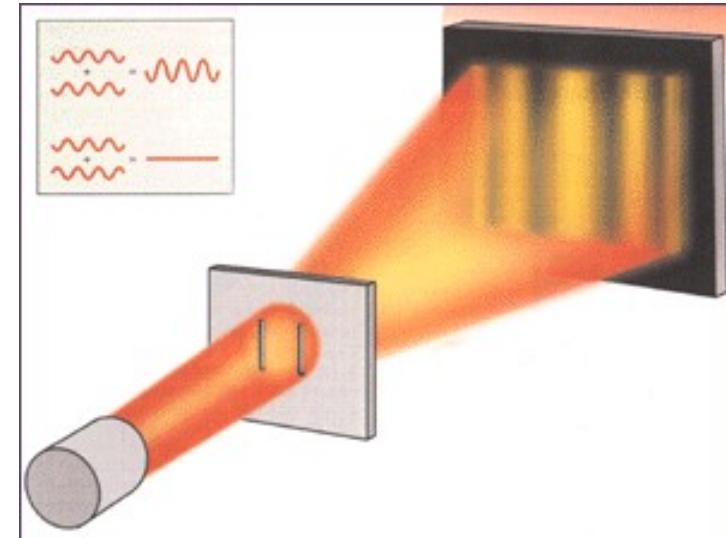
Christiaan Huygens (1629 - 1695)



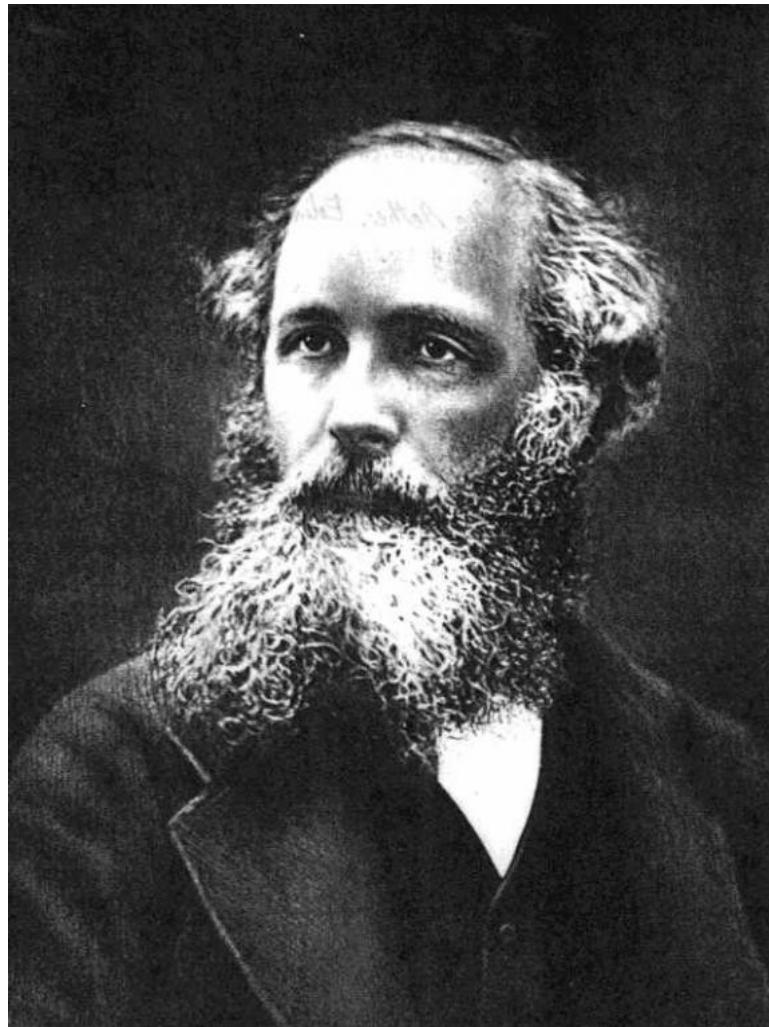
# «Lyshistoria»



Thomas Young (1773 - 1829)

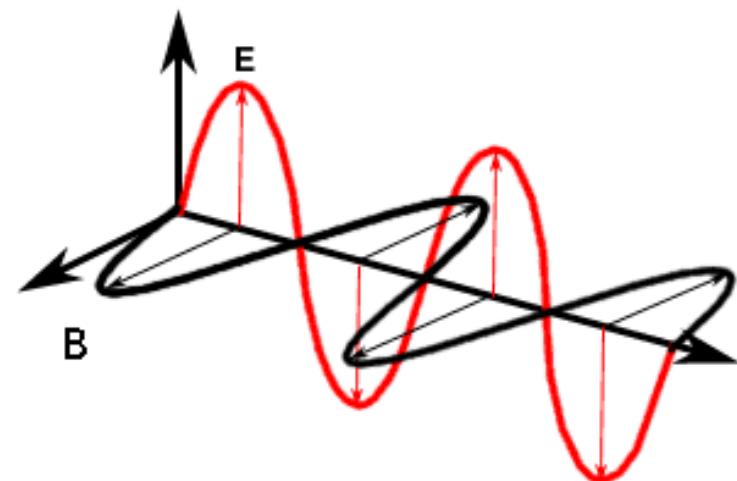


# «Lyshistoria»



James Clerk Maxwell (1831 - 1879)

$$\begin{aligned}\nabla \cdot \mathbf{E} &= \frac{1}{\varepsilon_0} \rho \\ \nabla \cdot \mathbf{B} &= 0 \\ \nabla \times \mathbf{B} &= \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \varepsilon_0 \dot{\mathbf{E}} \\ \nabla \times \mathbf{E} &= \dot{\mathbf{B}}\end{aligned}$$



# Elektro-magnetisk stråling

Gamma-ray	X-ray	Ultraviolet	Visible	Infrared	Microwave	Radio	AM radio
							Amateur radio
							Aircraft communication
							Microwave oven
							TV Remote Control
							Night vision goggles
							UV light from the Sun
							Airport security scanner
							PET scan
							Terrestrial gamma-ray flashes

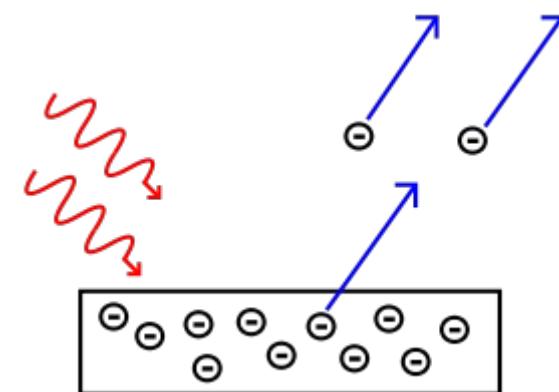
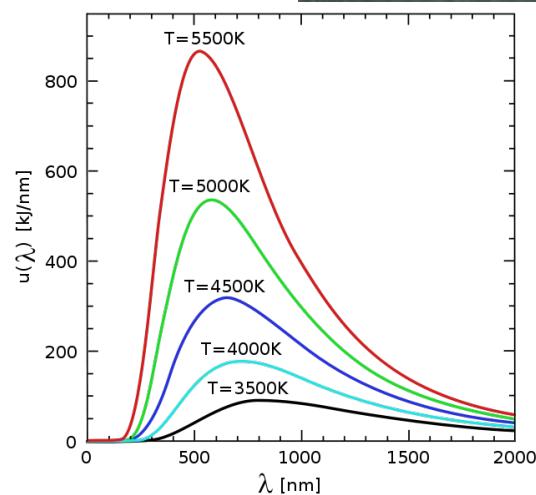
# «Lyshistoria»

*Partiklar likevel?*

Max Planck  
(1858 - 1947)



Albert Einstein  
(1879 - 1955)



## Fotoelektrisk effekt

Hadde sett:

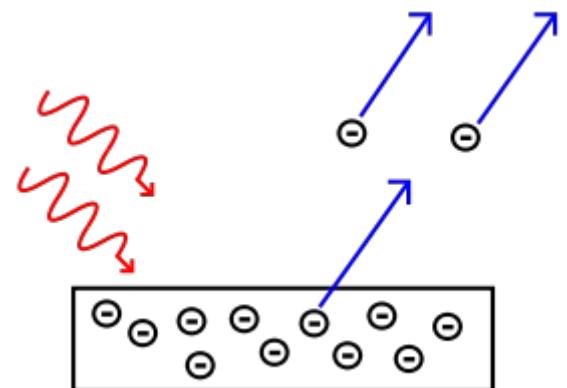
-Farten elektrona kjem ut med, er «heilt» uavhengig av intensiteten på lyset

-Energien elektrona kjem ut med, aukar derimot med frekvensen på lyset som kjem inn.

$$E_k = hf - W$$

$$hf < W$$

Ingen elektron



# Fotoelektrisk effekt

Einstein:

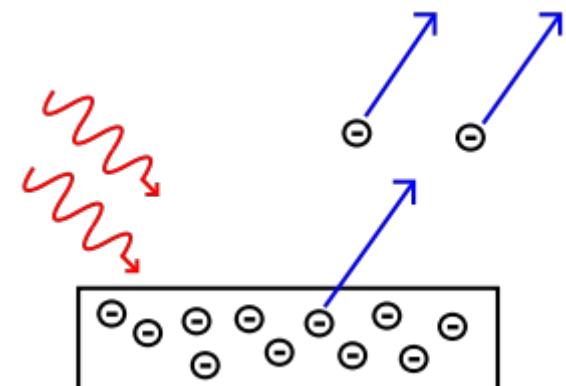
- Lys består av små bitar (kvant) med energi gitt ved frekvensen,  $E=hf$
- Elektrona i metallet vert lausrivne frå metallet ved at kvart elektron tar til seg eitt – og berre eitt – kvant.



$$hf < W$$

Ingen elektron

$$E_k = hf - W$$



# Fotoelektrisk effekt

Planck-konstanten:

$$h=6.63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

Einstein:

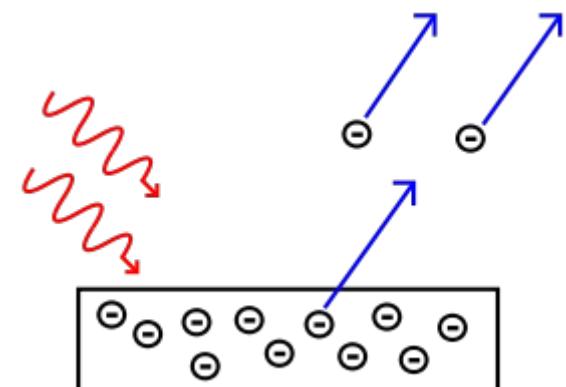
- Lys består av små bitar (kvant) med energi gitt ved frekvensen,  $E=hf$
- Elektrona i metallet vert lausrivne frå metallet ved at kvart elektron tar til seg eitt – og berre eitt – kvant.



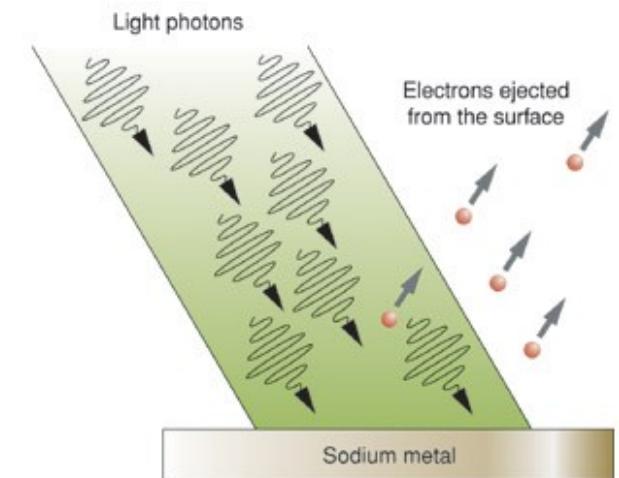
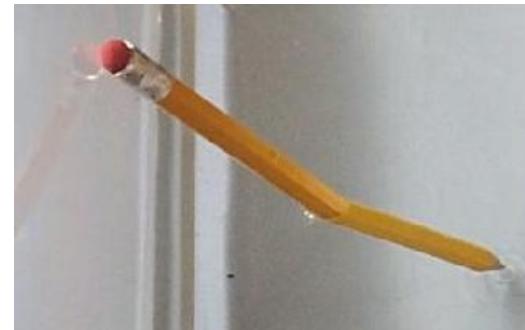
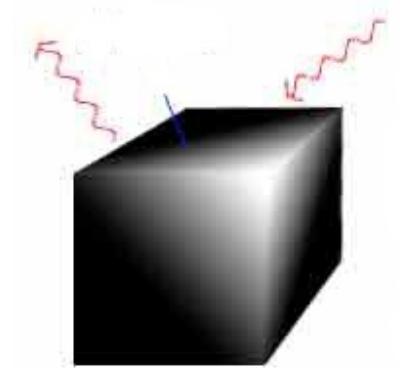
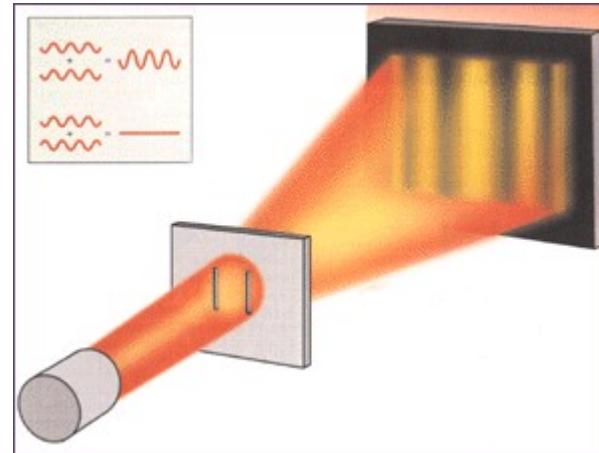
$$hf < W$$

Ingen elektron

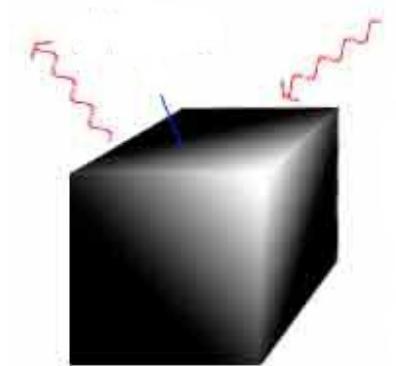
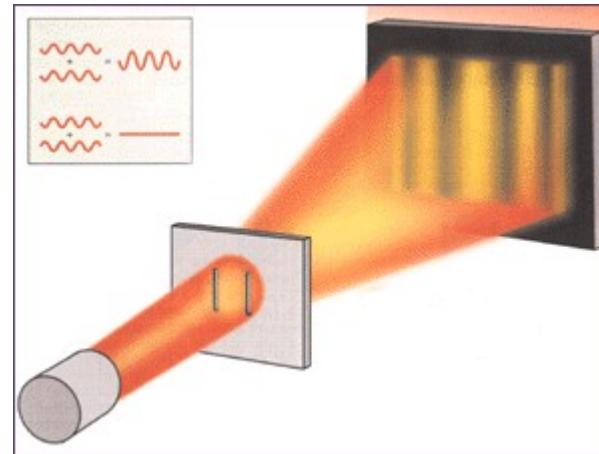
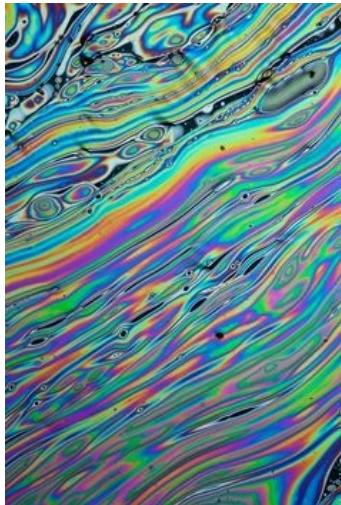
$$E_k = hf - W$$



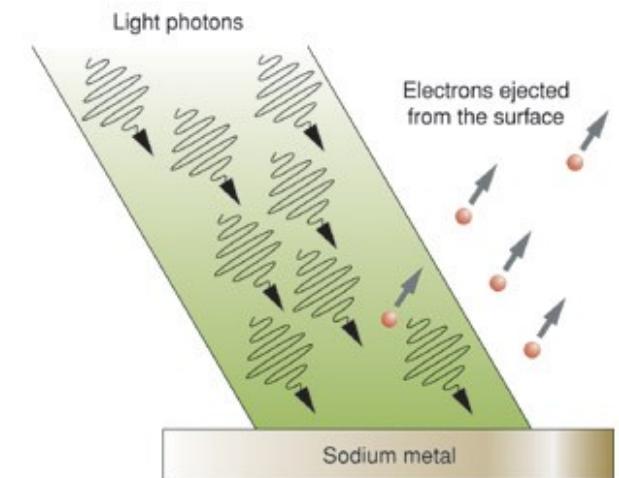
# Bølge eller partikkel?



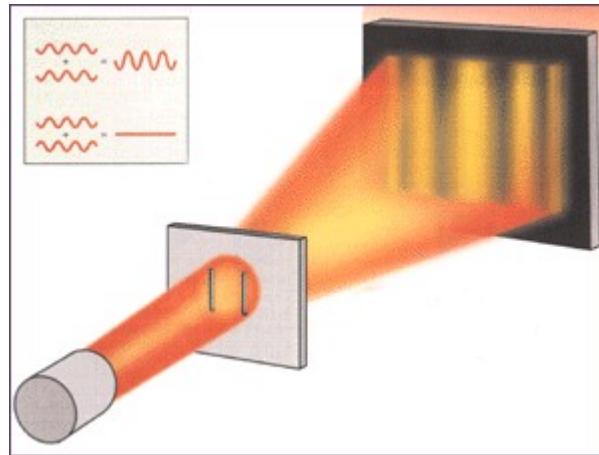
# Bølge eller partikkel?



Ja, takk

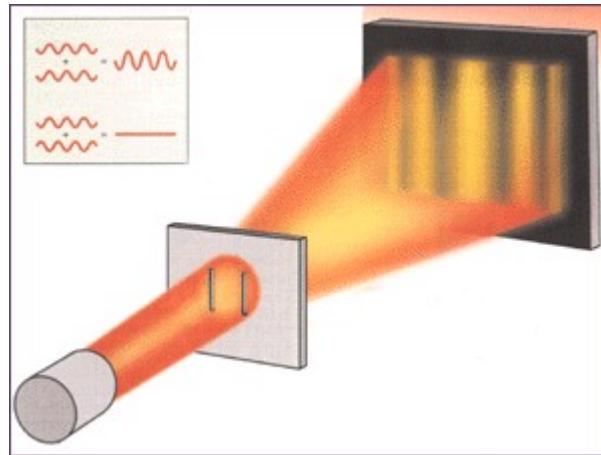


## 1000-kroners-spørsmålet:



Om dette stemmer: Lys består av foton, kva skjer om vi sender inn enkelt-foton på ei dobbeltspalte?

# 1000-kroners-spørsmålet:



Om dette stemmer: Lys består av foton, kva skjer om vi sender inn enkelt-foton på ei dobbeltspalte?

**A: Ikkje interferens**

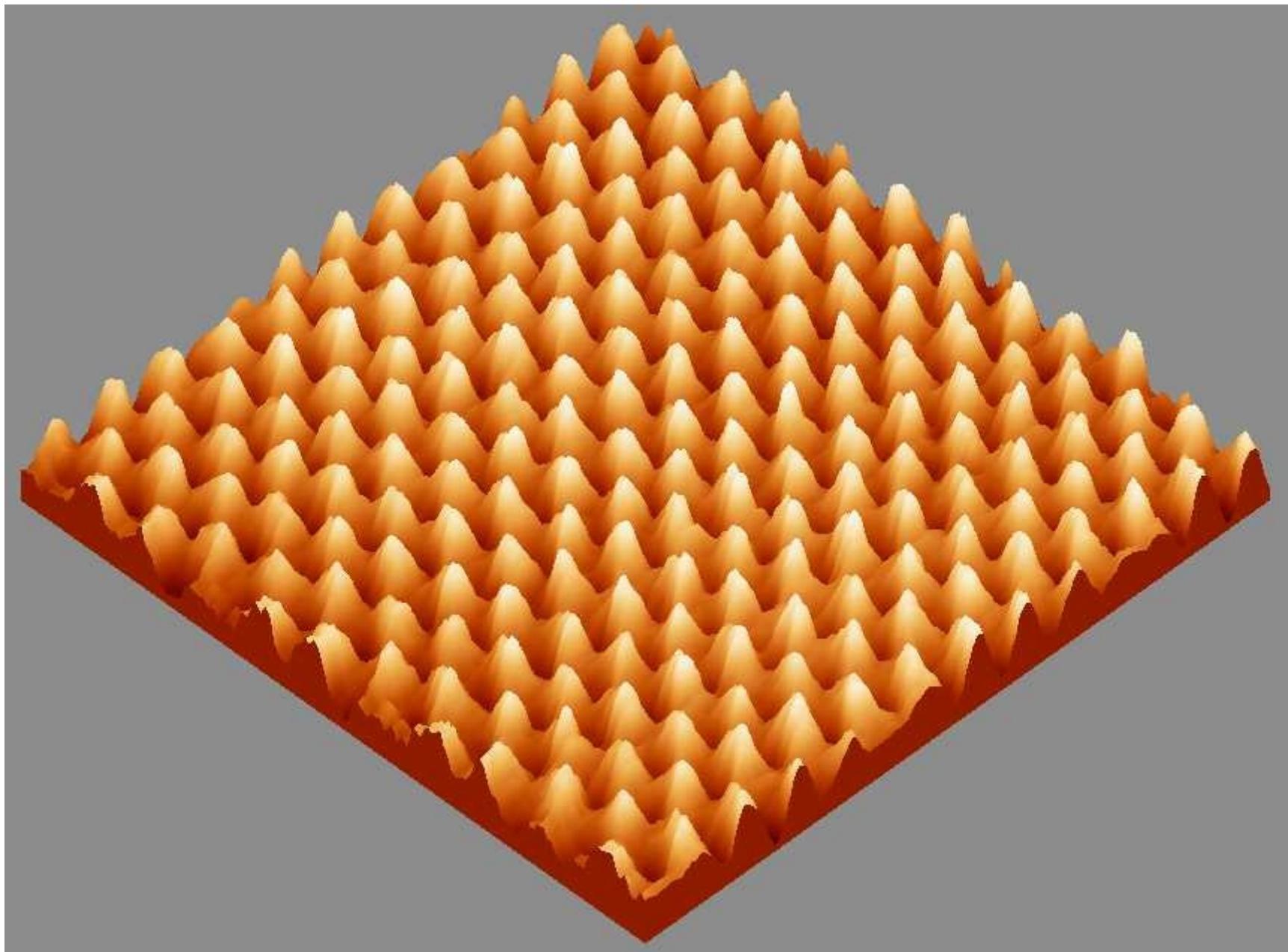
Ein partikkel kan jo ikkje gjennom begge spalter samtidig og interferere med seg sjølv

**B: Interferens**

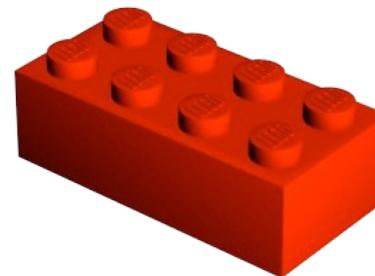
Lys er jo framleis også ei bølge

Svar: Video

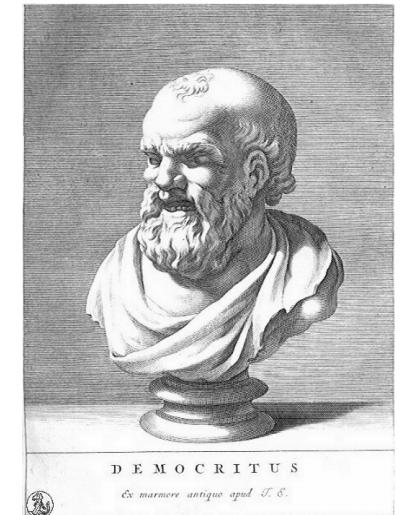
# Atom



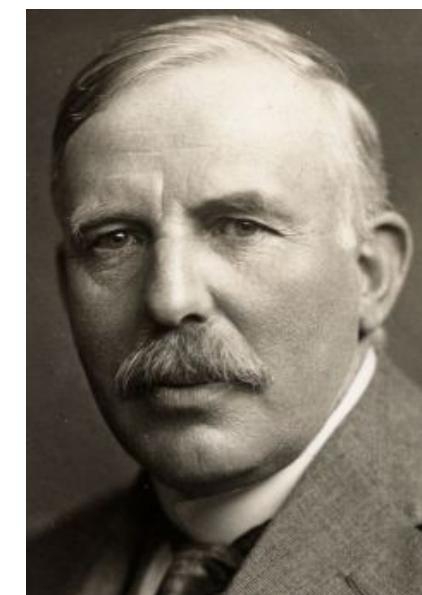
# «Atomhistoria»



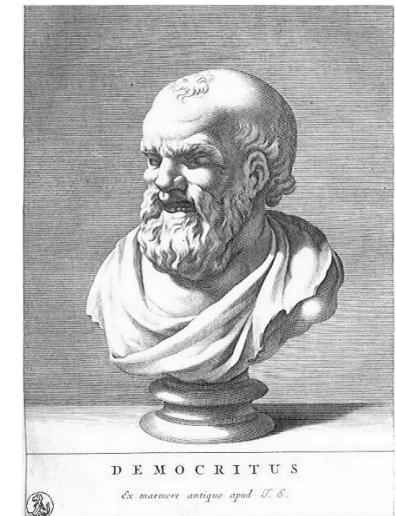
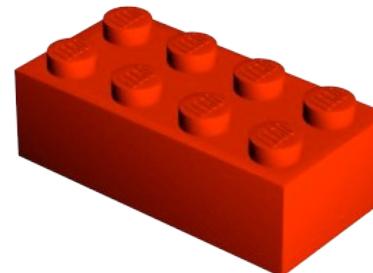
**Gamle grekarar og indarar, ca 500 f. Kr.**  
Materien har ei minste eining;  
den er bygd opp av små bitar som ikkje kan delast vidare



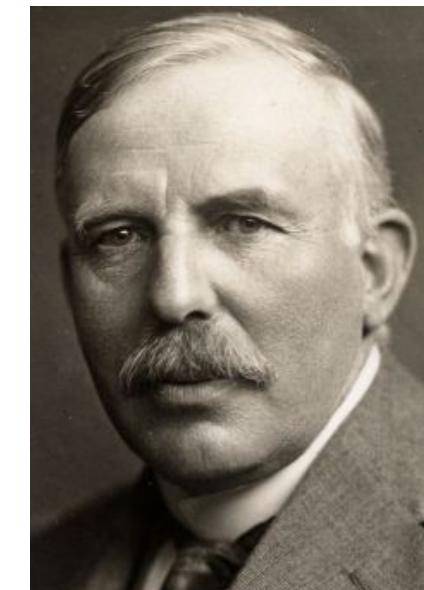
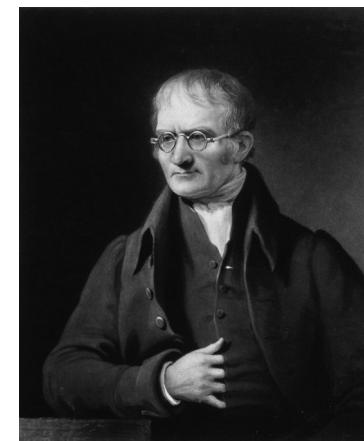
1800-talet: **Dalton, Brown, Thomson, Rutherford...**



# «Atomhistoria»



**Gamle grekarar og indarar, ca 500 f. Kr.**  
Materien har ei minste eining;  
den er bygd opp av små bitar som ikkje kan delast vidare



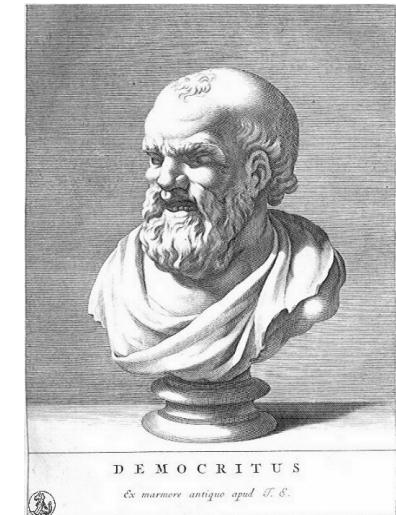
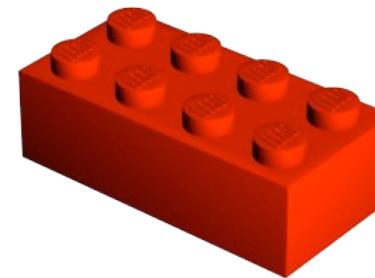
1800-talet: **Dalton, Brown, Thomson, Rutherford...**

Oppdaga elektronet,  
«Plum pudding»

«Law of multiple proportions»

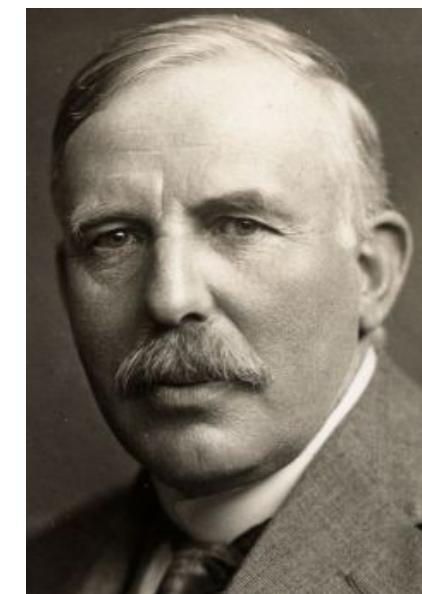
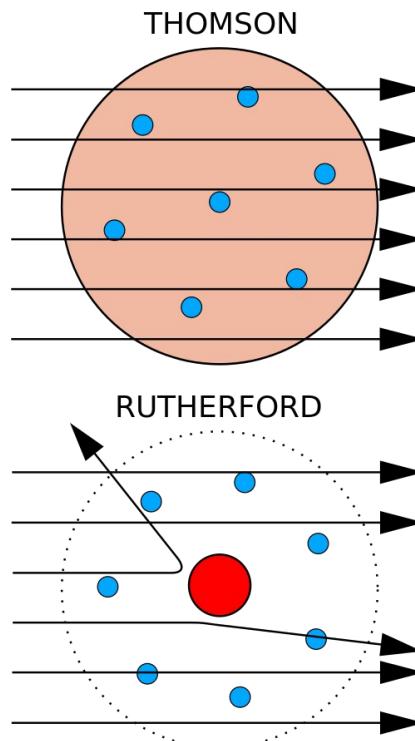
«Brownsk» rørysle

# «Atomhistoria»

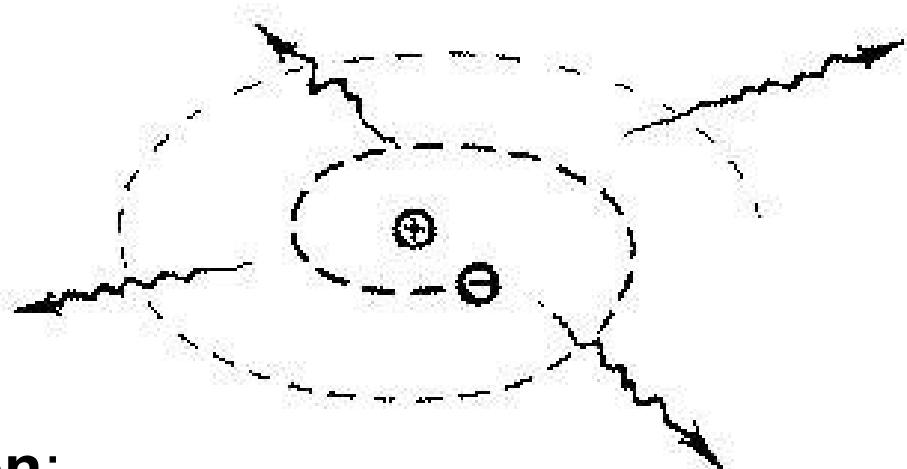


**Gamle grekarar og indarar, ca 500 f. Kr.**  
Materien har ei minste eining;  
den er bygd opp av små bitar som ikkje kan delast vidare

1800-talet: **Dalton, Brown, Thomson, Rutherford...**

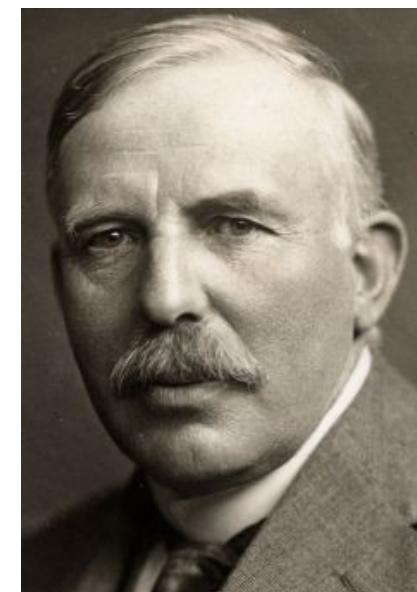


# «Atomhistoria»

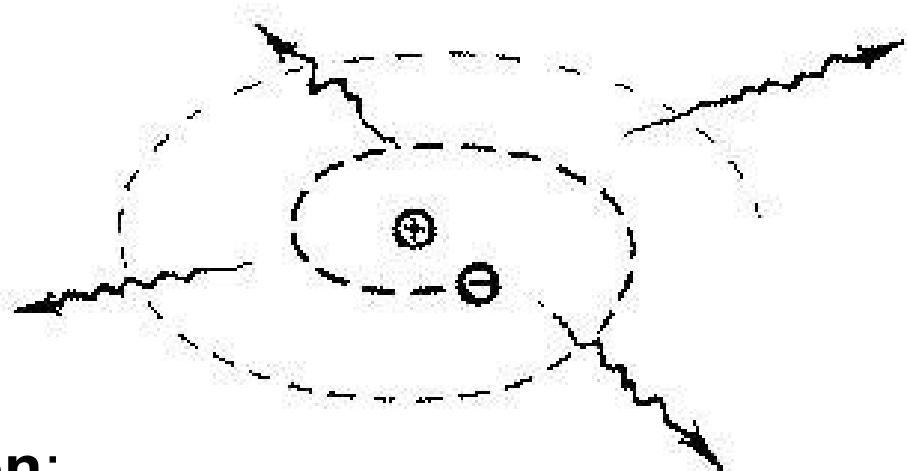


## Problem med Rutherford-modellen:

- Om elektrona svirrar rundt kjerna, blir dei akselerert heile tida
- Då *skal* dei sende ut stråling (Maxwell-likningane)
- Dermed vil dei miste energi og «kollapse» ned i kjerna



# Litt meir om Bohr

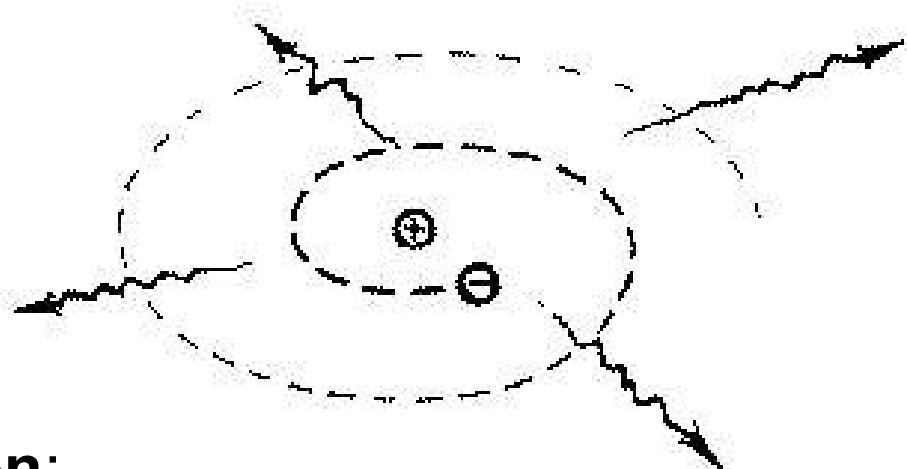


## Problem med Rutherford-modellen:

- Om elektrona svirrar rundt kjerna, blir dei akselerert heile tida
- Då *skal* dei sende ut stråling (Maxwell-likningane)
- Dermed vil dei miste energi og «kollapse» ned i kjerna

**Rutherford-atomet kan ikkje vere stabilt!**

# Litt meir om Bohr



## Problem med Rutherford-modellen:

- Om elektrona svirrar rundt kjerna, blir dei akselerert heile tida
- Då *skal* dei sende ut stråling (Maxwell-likningane)
- Dermed vil dei miste energi og «kollapse» ned i kjerna

**Rutherford-atomet kan ikkje vere stabilt!**

Joda, kanskje  
atoma følger  
andre lover

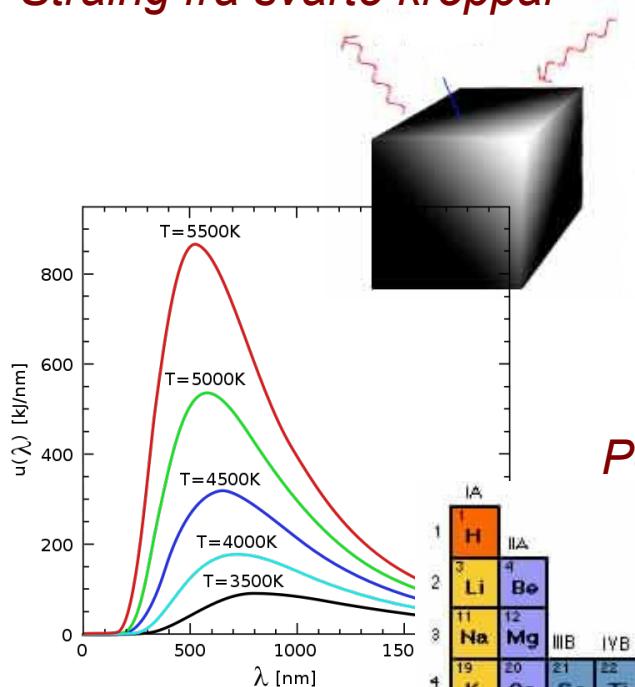


# «Atomhistoria»

Rundt århundreskiftet 1800/1900:

Visste ein del om korleis atom og slikt oppfører seg – men kunne ikkje forklare det

## Stråing frå svarte kroppar

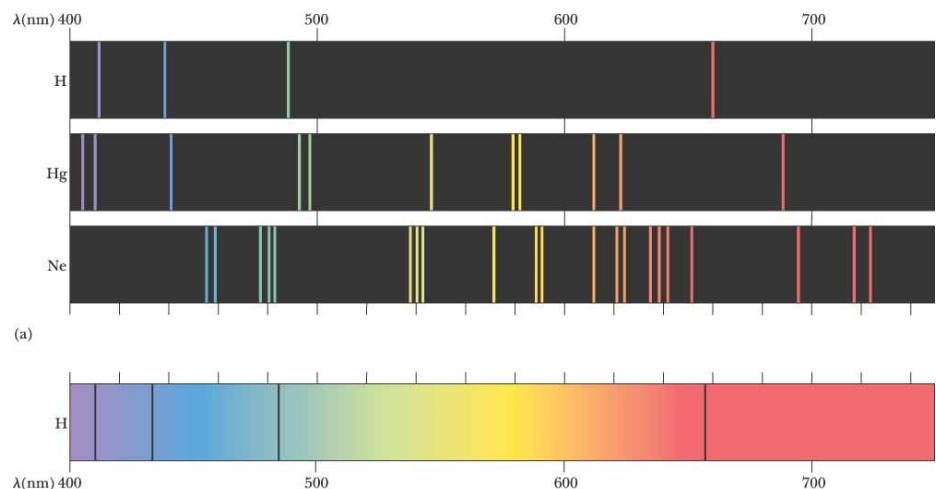


## Periodesystemet

A standard periodic table of elements, organized by atomic number (1 to 118) and groups (IA, IIA, IIIA, IVA, VA, VIA, VIIA, 0). Elements are color-coded by group: IA (orange), IIA (purple), IIIA (blue), IVA (green), VA (light green), VIA (yellow-green), VIIA (yellow), and 0 (orange).

1	H	2	He																								
3	Li	4	Be																								
5	Na	6	Mg																								
7	K	8	Ca																								
11	Sc	12	Ti																								
19	V	20	Cr																								
37	Nb	38	Mo																								
55	Tc	56	Ru																								
87	Hf	88	Ta																								
	La		W																								
	Rf		Re																								
	Ac		Os																								
	Ra		Ir																								
			Pt																								
			Au																								
			Hg																								
			Tl																								
			Pb																								
			Bi																								
			Po																								
			At																								
			Rn																								
69	Ce	59	Pr	60	Nd	61	Pm	62	Sm	63	Eu	64	Gd	65	Tb	66	Dy	67	Ho	68	Er	69	Tm	70	Td	71	Lu
90	Th	91	Pa	92	U	93	Np	94	Pu	95	Am	96	Cm	97	Bk	98	Cf	99	Es	100	Fm	101	Md	102	No	103	Lr

## Linjespektrum



## Hydrogen

$$\frac{1}{\lambda} = K \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad n, m = 1, 2, 3, \dots$$

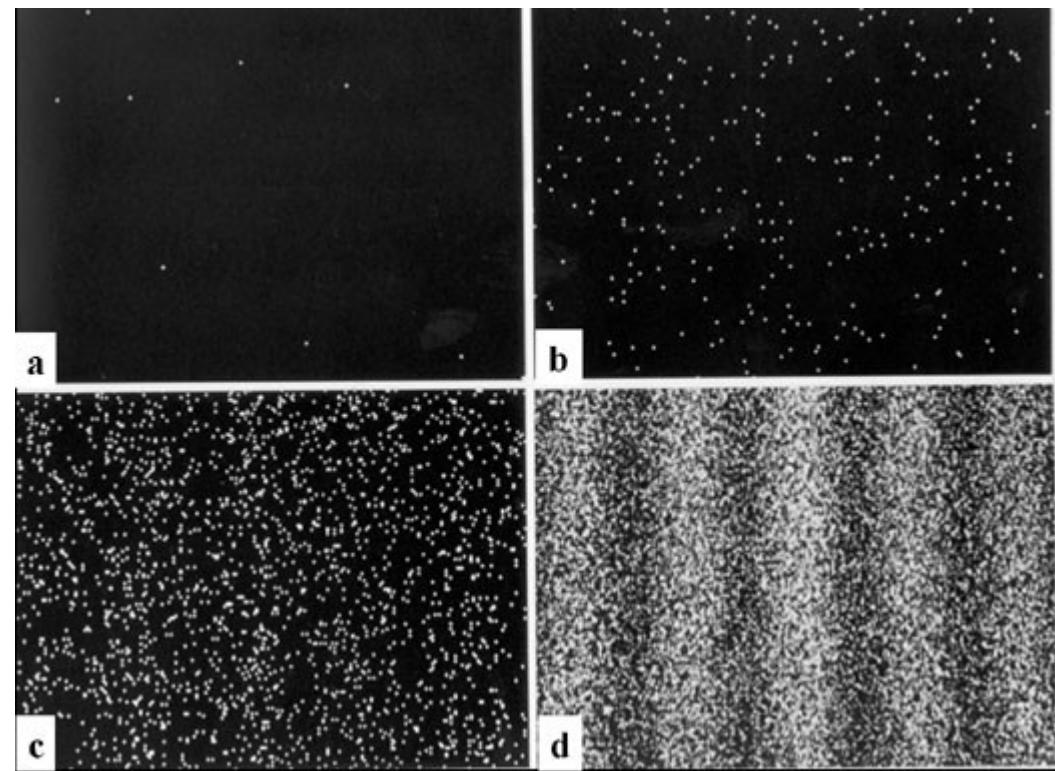
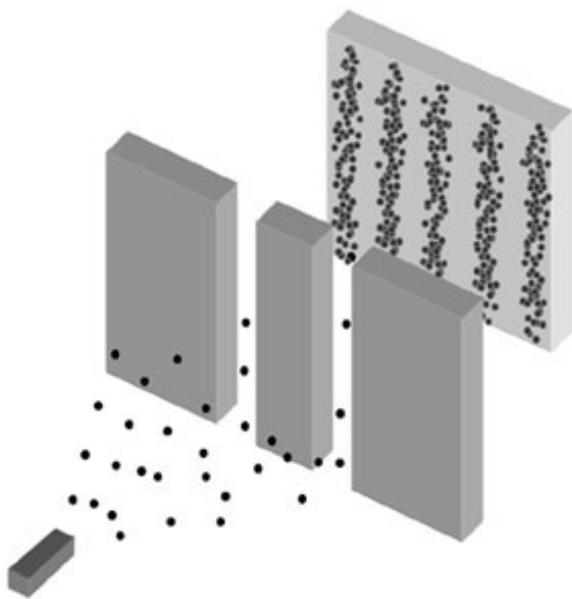
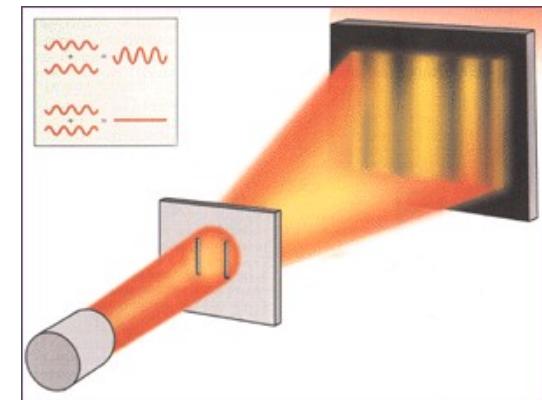


Luis de Broglie (1892 – 1987)

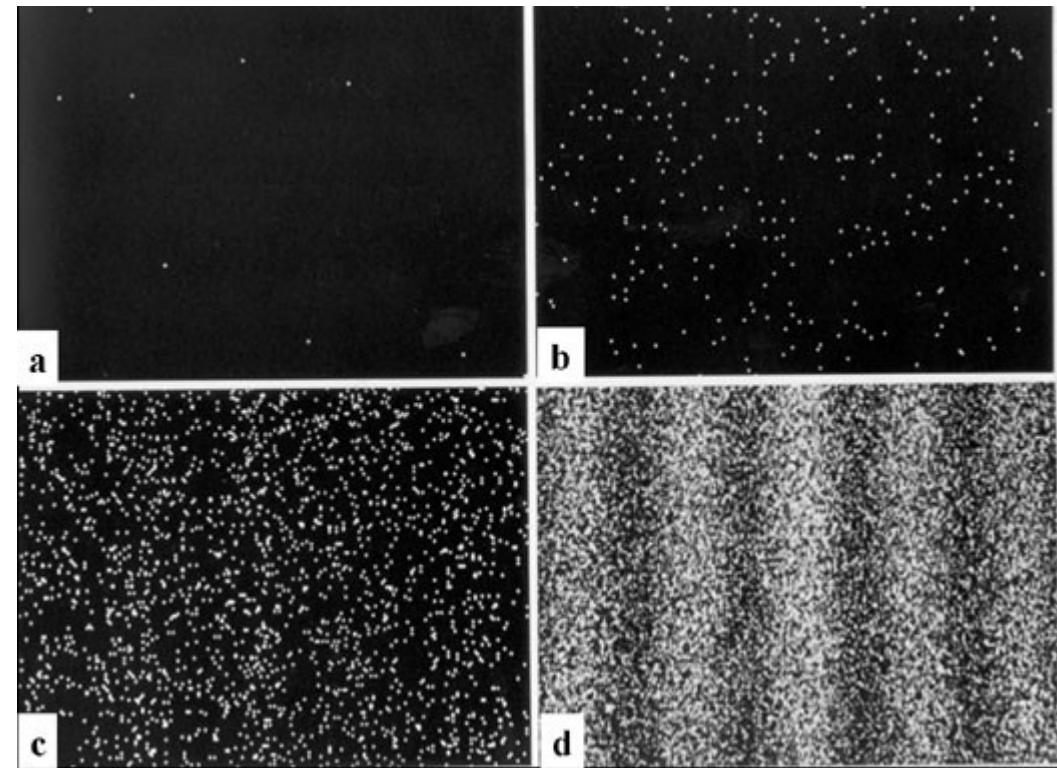
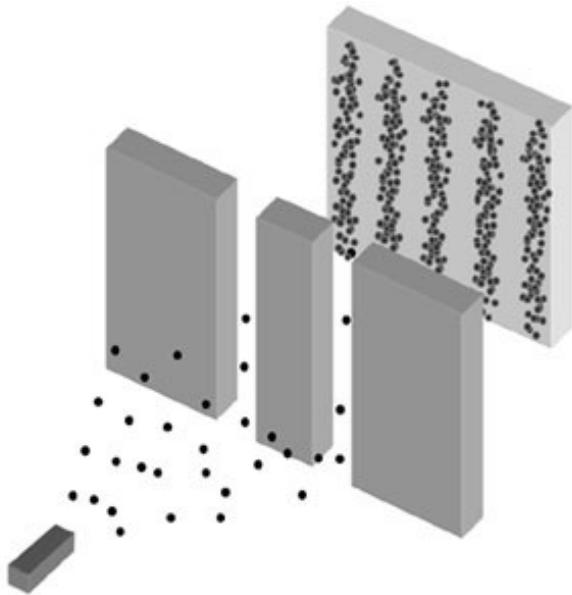
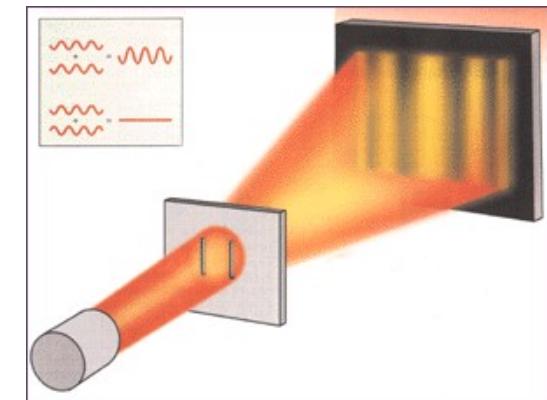
*Lys er ikke berre bølger,  
det er også partiklar.  
Er det slik for materie også?  
Er materie ikke berre  
partiklar men også  
bølger?*

$$mv = \frac{h}{\lambda}$$
$$E = hf$$

**JA!**

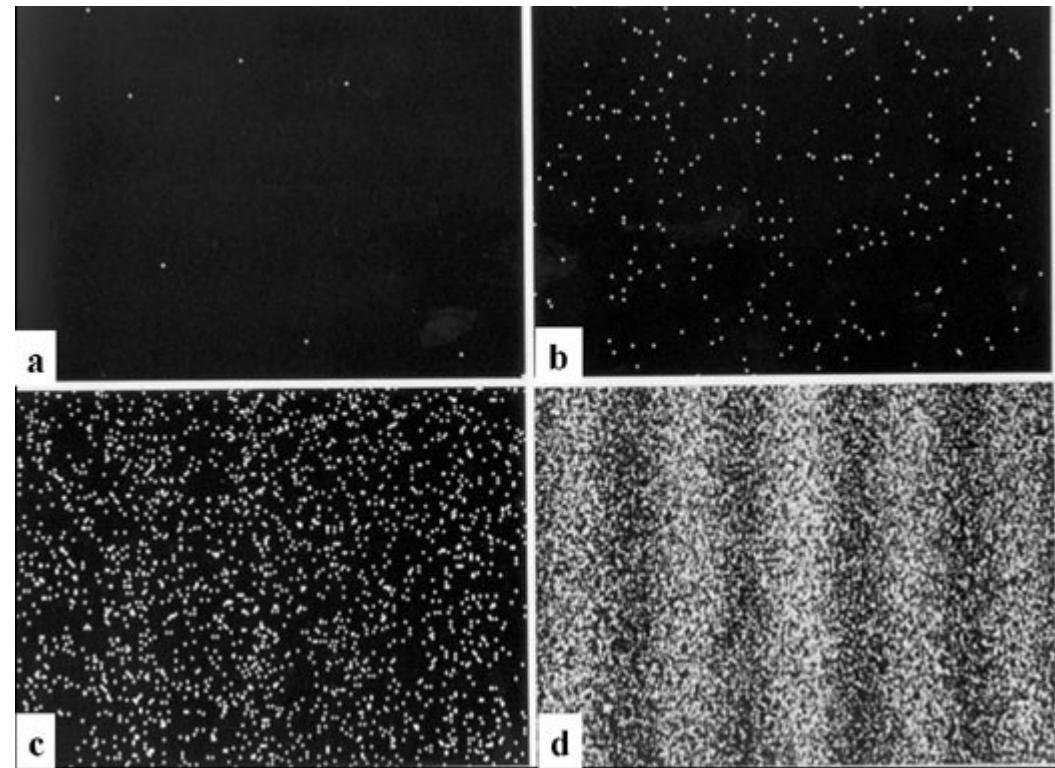
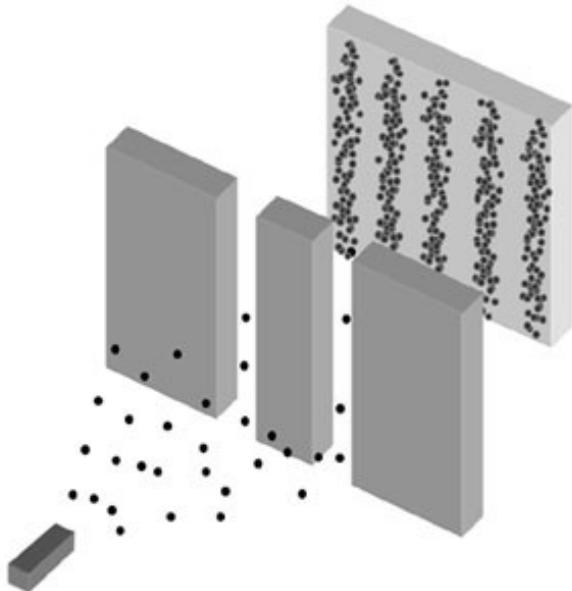
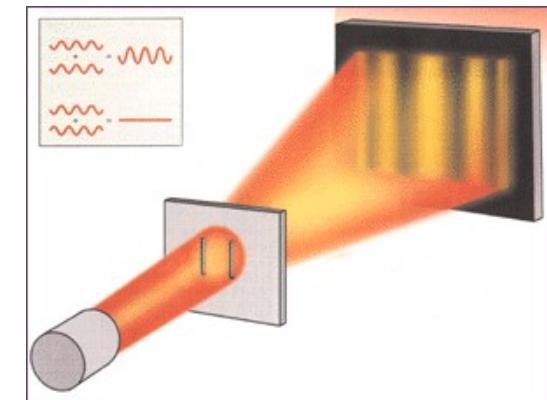


**JA!**



NB: Det blir også interfeferens om elektrona går gjennom eitt og eitt; som fotonet interfefererer elektronet med seg sjølv!

JA!



Treng teori som skildrar elektron som *bølger*  
-ein **Maxwell** for materien



Werner Heisenberg (1901 - 1976)



Erwin Schrödinger (1887 - 1961)



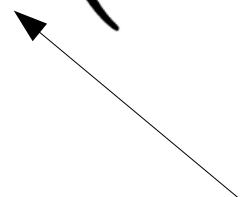
Niels Bohr (1885 - 1962)



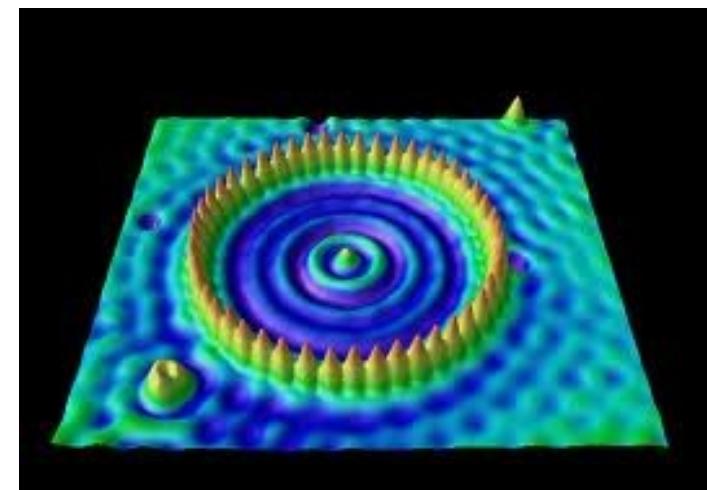
*Schrödinger-likninga (for ein partikkel, tidsavhengig)*

$$-\frac{\hbar^2}{8\pi^2 m} \nabla^2 \Psi(\vec{r}, t) + V(\vec{r}) \Psi(\vec{r}, t) = i \frac{\hbar}{2\pi} \frac{d}{dt} \Psi(\vec{r}, t)$$

$\Psi(x, t)$



Bølgefunktjonen

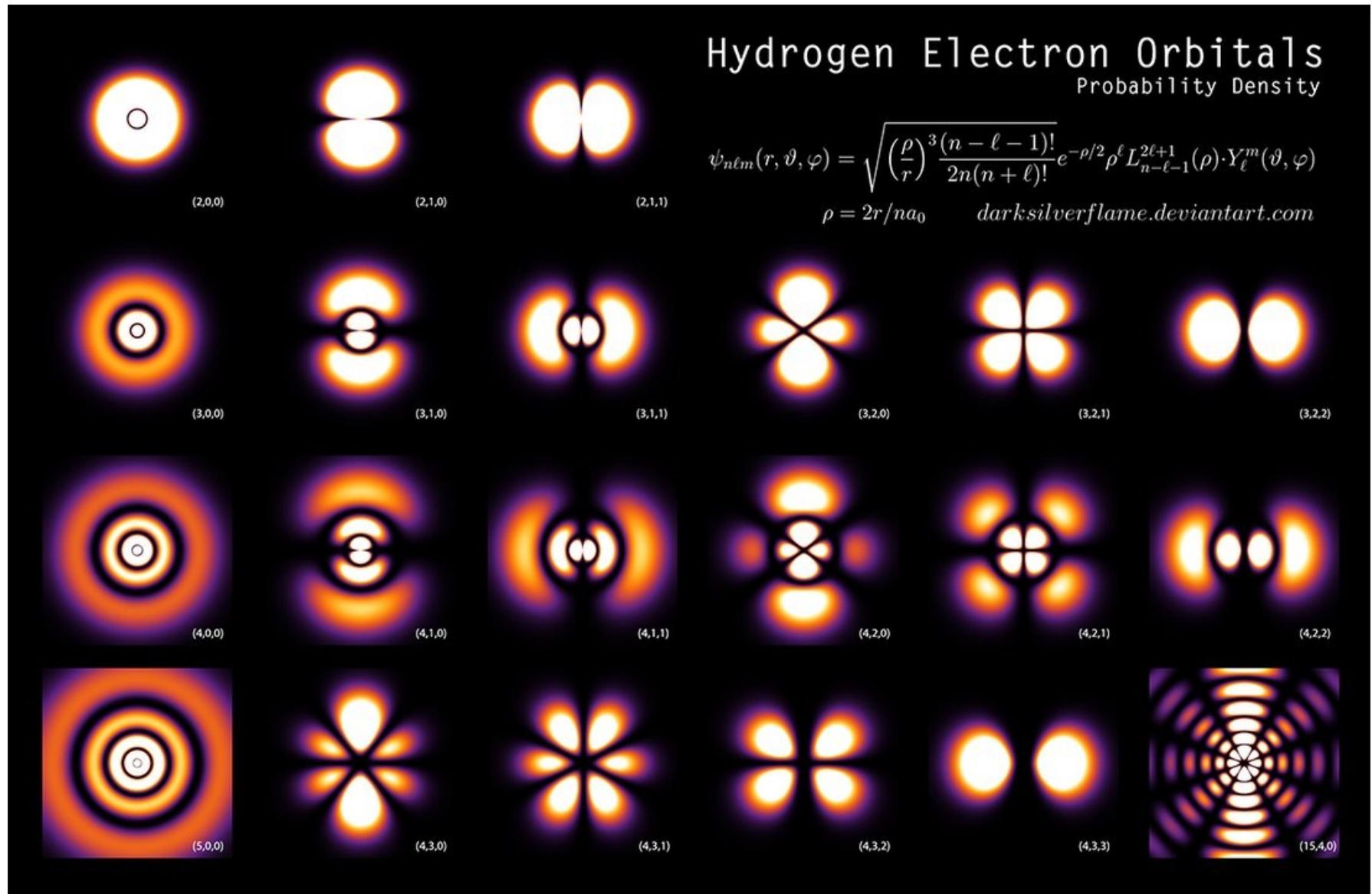


$$\Psi(x, t)$$

-Inneheld all informasjon om det (kvantefysiske) systemet vi studerar

*MATLAB-demo...*

# Stasjonære bølgefunksjonar for hydrogenatomet:



# Energi for hydrogenatomet:

$$E_n = -\frac{B}{n^2}$$

Konstant:  
 $B=2.18 \cdot 10^{-18} \text{ J}$

A standard periodic table of elements is shown, displaying groups IIA through VIIA and the noble gases. Elements are color-coded by group: IIA (light blue), IVA (light green), VA (light purple), VIA (light orange), VIIA (pink), and noble gases (yellow).

## Alle atom:

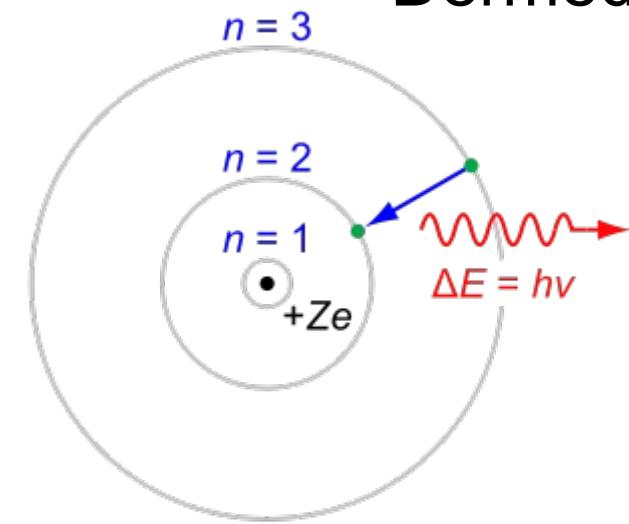
-Sett med mogelege energiar,  $E_1, E_2, E_3, \dots$

-Dermed: Berre visse energiovergangar mogeleg

$$\Delta E = E_m - E_n$$

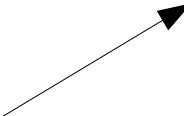
$$\Delta E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\frac{1}{\lambda} = K \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad n, m = 1, 2, 3, \dots$$



# Energi for hydrogenatomet:

$$E_n = -\frac{B}{n^2}$$

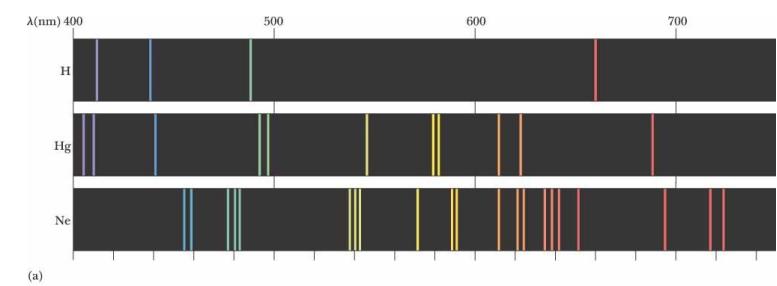
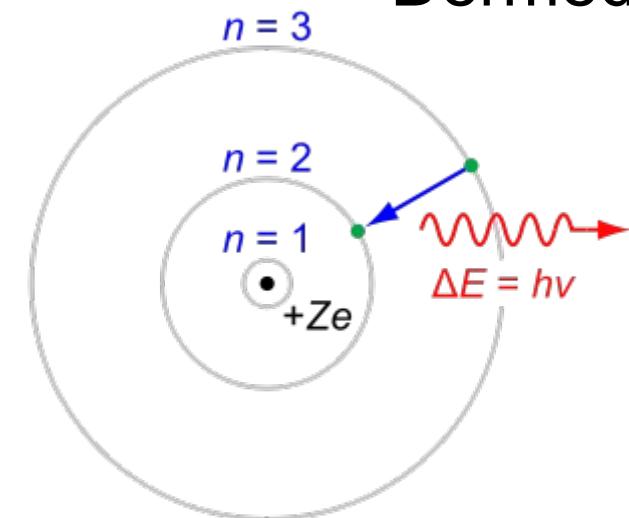


IA		IIA		IVA		VA		VIA		VIIA		0			
1	H	2	Li	3	Na	4	Mg	5	Ca	6	Sc	7	B	8	He
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	

58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Fm	Tm	Tb	Lu
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	

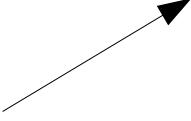
## Alle atom:

- Sett med mogelege energiar,  $E_1, E_2, E_3, \dots$
- Dermed: Berre visse energiovergangar mogeleg



# Energi for hydrogenatomet:

$$E_n = -\frac{B}{n^2}$$



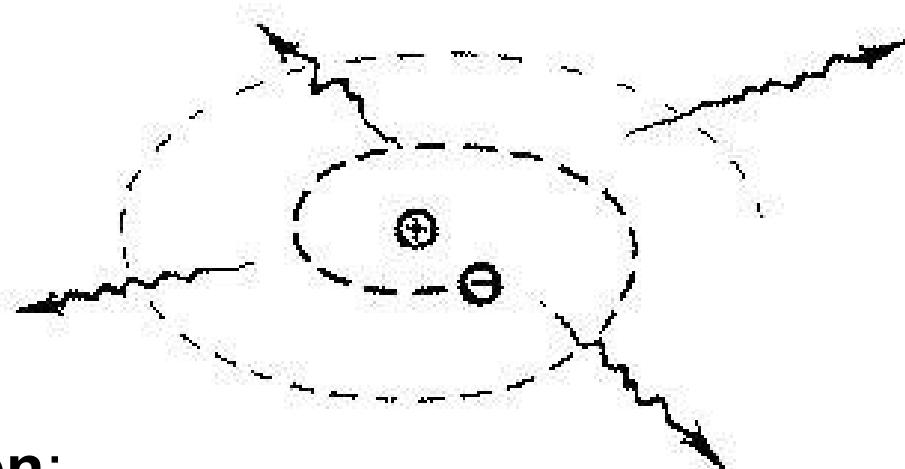
IA		IIA												VIIA		VIIIA		0		
1	H	2	Li	3	Na	4	Mg	5	K	6	Ca	7	Sc	8	Ti	9	V	10	B	He
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Ne	
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	F	
4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	Ar	
5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Ne	
6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Kr	
7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	Xe	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	

## Alle atom:

- Sett med mogelege energiar,  $E_1, E_2, E_3, \dots$
- Dermed: Berre visse energiovergangar mogeleg

- Merk: Oftast veldig **komplisert** å bestemme desse energiane; det er nesten berre for hydrogen-atomet det er «lett»
- Det er også veldig **interessant!**

# Litt meir om Bohr



## Problem med Rutherford-modellen:

- Om elektrona svirrar rundt kjerna, blir dei akselerert heile tida
- Då *skal* dei sende ut stråling (Maxwell-likningane)
- Dermed vil dei miste energi og «kollapse» ned i kjerna

**Rutherford-atomet kan ikkje vere stabilt!**

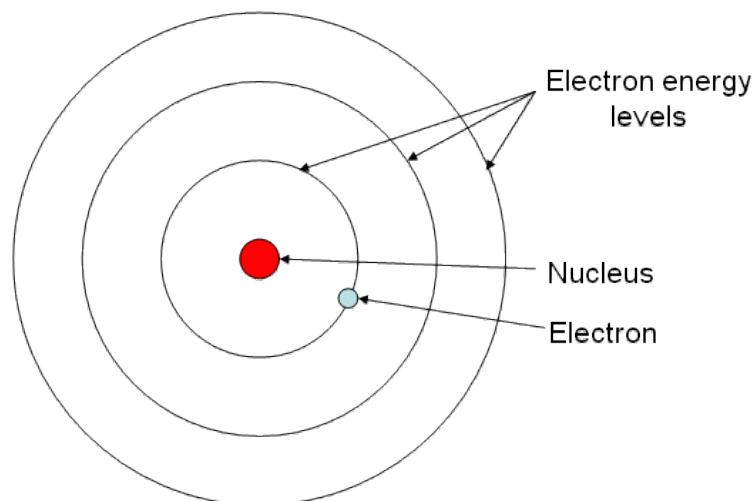
Joda, kanskje  
atoma følger  
andre lover



# Bohrs atommodell

## Bohrs atommodell:

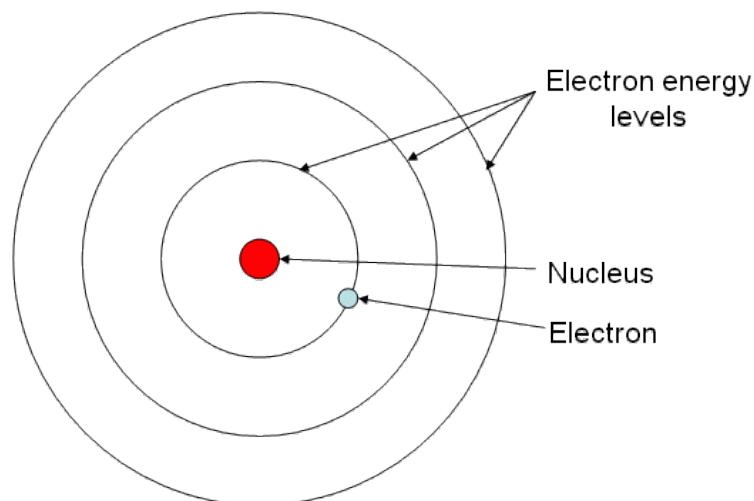
- Omtrent som eit solsystem
- Elektrona kan berre gå i heilt spesielle banar med energiar gitt ved Bohr-formelen,  $E_n = -B/n^2$ ; det var Bohr som «forklarte» denne
- Det blir sendt ut stråling når elektronet hoppar ned til ein lågare tilstand
- Motsett: Atomet kan «hoppe opp» i ein høgare tilstand ved å ta til seg (absorbere) eit foton
- I begge tilfeller er energidifferansen lik fotonenergien,  
$$hf = E_m - E_n$$



# Bohrs atommodell

## Bohrs atommodell:

- Omtrent som eit solsystem
- Elektrona kan berre gå i heilt spesielle banar med energiar gitt ved Bohr-formelen,  $E_n = -B/n^2$ ; det var Bohr som «forklarte» denne
- Det blir sendt ut stråling når elektronet hoppar ned til ein lågare tilstand
- Motsett: Atomet kan «hoppe opp» i ein høgare tilstand ved å ta til seg (absorbere) eit foton
- I begge tilfeller er energidifferansen lik fotonenergien,  
$$hf = E_m - E_n$$



**-Dette med banar er FEIL;  
atomet ser slett ikkje ut som  
nokon solsystem i miniatyr**

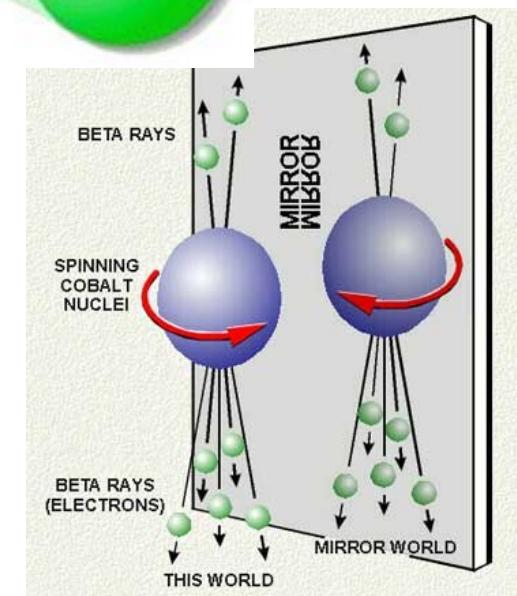
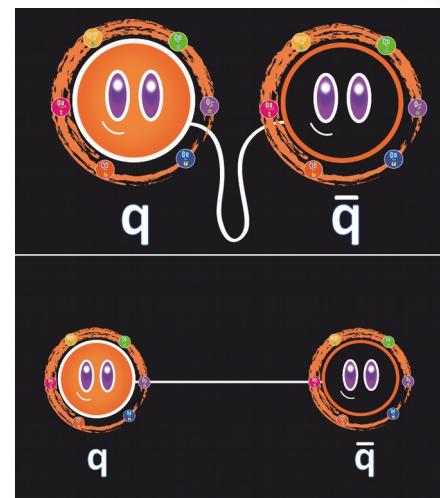
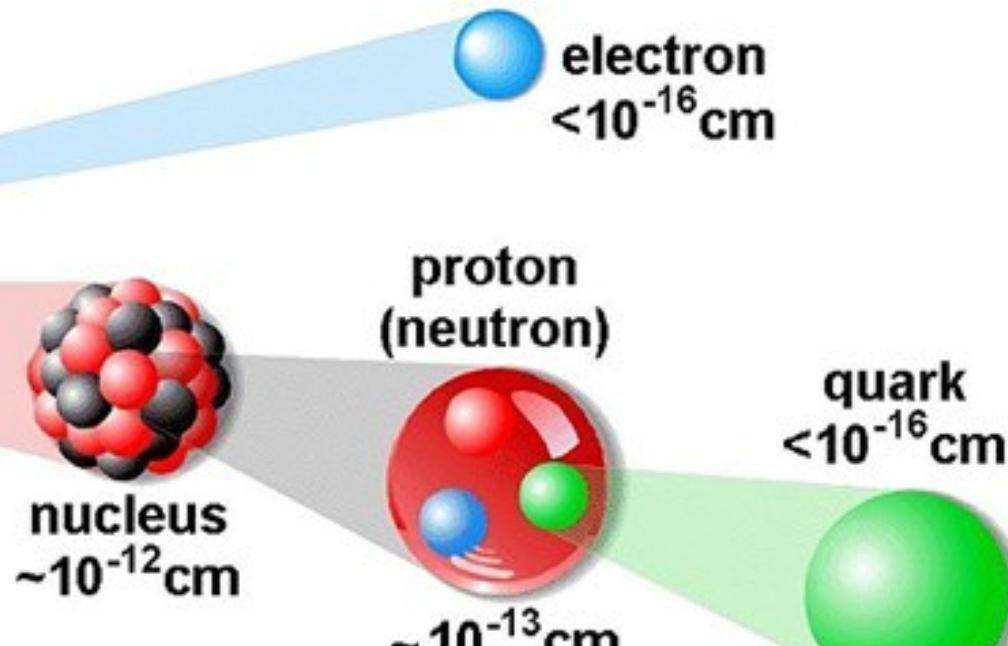
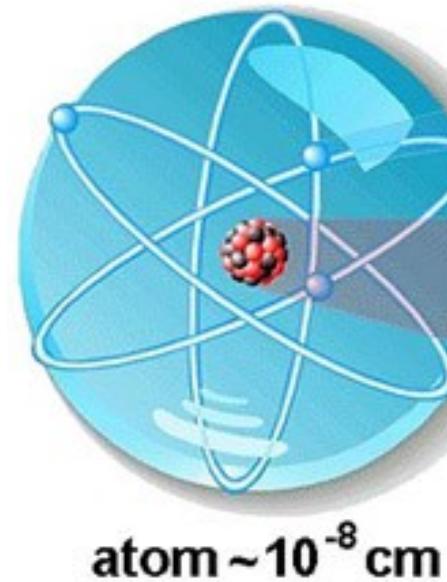
**-Men Bohr forstod at energien  
til eit atom er *kvantisert***

**Han var høgst delaktig i at  
kvantefysikken blei til!**

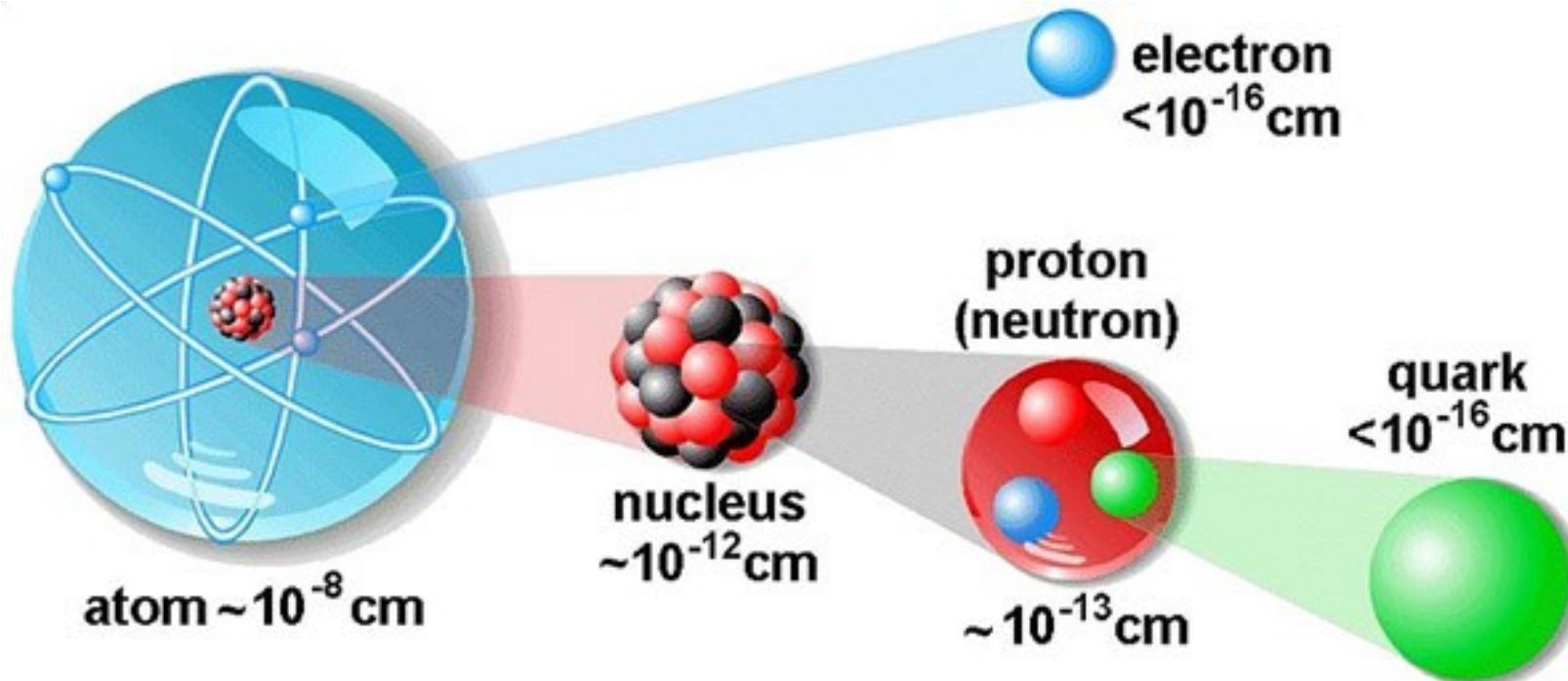
# Oppgåve

- Er lys med bølgelengda  $\lambda=102.5$  nm synleg? Kva farge har det i så fall?
- Kva frekvens og energi har kvart enkelt foton som dette lyset består av?  
 $(c=3.00 \cdot 10^8 \text{ m/s}, h=6.62 \cdot 10^{-34} \text{ Js})$
- Lyset kjem frå at mange hydrogenatom går frå ein bestemt eksitert tilstand til grunntilstanden. Kva eksitert tilstand var hydrogenatoma i?  
 $(B=2.18 \cdot 10^{-18} \text{ J})$

# Men kva er inni atomkjerna?

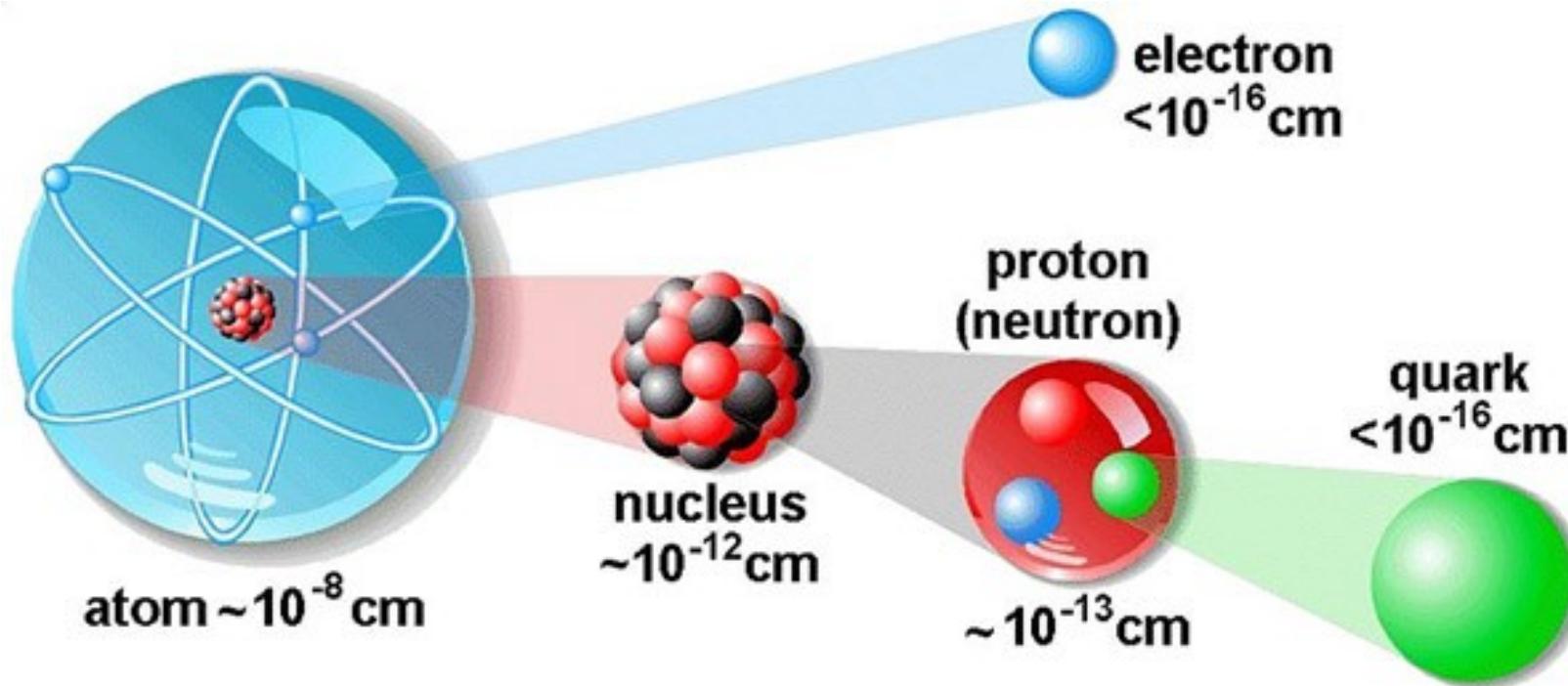


# Men kva er inni atomkjerna?



Lette kjerner har typisk like mange proton og nøytron.  
Tunge kjerner har fleire nøytron enn proton.  
*Kvifor?*

# Men kva er inni atomkjerna?



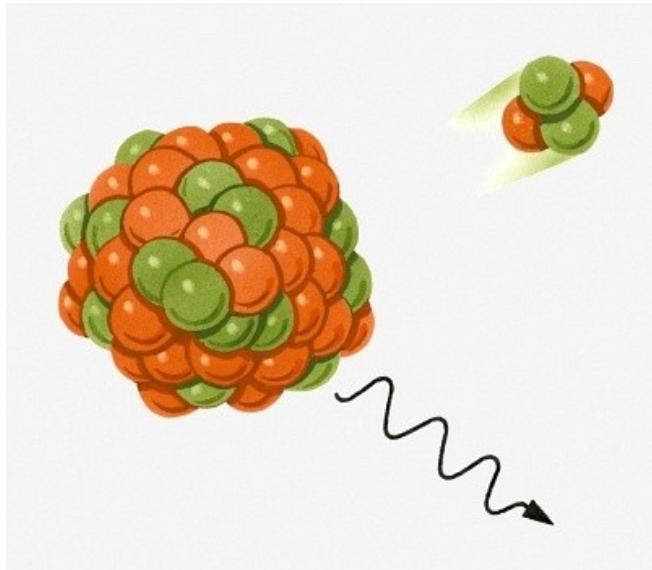
Partiklar:

*Finst drøssevis (i tillegg til elektron og kvarkar).  
Og vi har nok ikkje funne alle!*

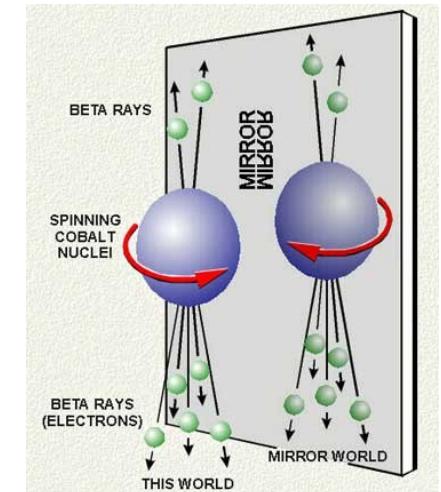
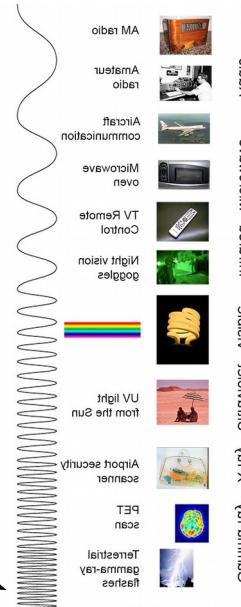
# Radioaktiv stråling

Beta (elektron)

Alfa ( ${}^4_2 \text{He}$ )



Gamma (foton)



Dess meir radioaktivt eit stoff er, dess raskare minkar det

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{t/T}$$

$T$ : Halveringstid

# *Men korleis blir kjernreaksjonar til energi?*



# **Men korleis blir kjernreaksjonar til energi?**

Verd å nemne: Dette er eitt av tre spørsmål som vi har vore innom i dag som Einstein fann svaret på i 1905.



891

**ANNALEN  
DER  
PHYSIK.**

BEREUT UND FORTGESETZT DURCH  
F. A. C. GREY, L. W. GILBERT, J. C. POGGENDORFF, G. E. WIEDEMANN.

VIERTE FOLGE.

BAND 17.  
DES GANZEN REIHE 322. BAND.

KURATORIUM:  
F. KOHLRAUSCH, M. PLANCK, G. QUINCKE,  
W. C. RÖNTGEN, E. WARBURG.

UNTER MITWIRKUNG  
DER DEUTSCHEN PHYSIKALISCHEN GESELLSCHAFT  
UND INSbesondere von  
M. PLANCK

HERAUSGEGEBEN VON  
PAUL DRUDE.

MIT FÜNF FIGURENTAFELN.

LEIPZIG, 1905.

VERLAG VON JOHANN AMBROSIUS BARTH.

3. Zur Elektrodynamik bewegter Körper;  
von A. Einstein.

Daß die Elektrodynamik Maxwells — wie dieselbe gegenwärtig aufgefaßt zu werden pflegt — in ihrer Anwendung auf bewegte Körper zu Asymmetrien führt, welche den Phänomenen nicht anzuhafeln scheinen, ist bekannt. Man denke z. B. an die elektrodynamische Wechselwirkung zwischen einem Magnet und einem Leiter. Das beobachtbare Phänomen hängt nur ab von der Relativbewegung von Leiter und Magnet, während nach der üblichen Auffassung die beiden Fälle, daß der eine oder der andere dieser Körper der bewegte sei, streng voneinander zu trennen sind. Bewegt sich nämlich der Magnet und ruht der Leiter, so entsteht in der Umgebung des Magneten ein elektrisches Feld von gewissen Energiewerte, welches an dem Orten, wo sich Teile des Leiters befinden, einen Strom erzeugt. Ruht aber der Magnet und bewegt sich der Leiter, so entsteht in der Umgebung des Magneten kein elektrisches Feld, dagegen im Leiter eine elektromotorische Kraft, welche an sich keine Energie entspricht, die aber — Gleiches gilt für Relativbewegung bei den beiden ins Auge gefassten Fällen — vorausgesetzt — zu elektrischen Strömen von derselben Richtung und demselben Verlaufe Veranlassung gibt, wie im ersten Falle.

Beispiele ähnlicher Art, sowie die mißlungenen Versuche einer Bewegung der Erde relativ zum „Lichtmedium“ zu konstatieren, führen zu der Vermutung, daß dem Begriffe der absoluten Ruhe nicht nur in der Mechanik, sondern auch in der Elektrodynamik keine Eigenschaften der Erscheinungen entsprechen, sondern daß vielmehr für alle Koordinatensysteme, für welche die mechanischen Gleichungen gelten, auch die gleichen elektrodynamischen und optischen Gesetze gelten, wie dies für die Größen erster Ordnung bereits erwiesen ist. Wir wollen diese Vermutung (deren Inhalt im folgenden „Prinzip der Relativität“ genannt werden wird) zur Voraussetzung erläutern und außerdem die mit ihm nur scheinbar unverträgliche

## ***Men korleis blir kjernreaksjonar til energi?***

Verd å nemne: Dette er eitt av tre spørsmål som vi har vore innom i dag som Einstein fann svaret på i 1905.

Dei to andre er

2) Kva har «Brownsk røysle» med atom å gjere?

og

3) Korleis kan vi forklare fotoelektrisk effekt?

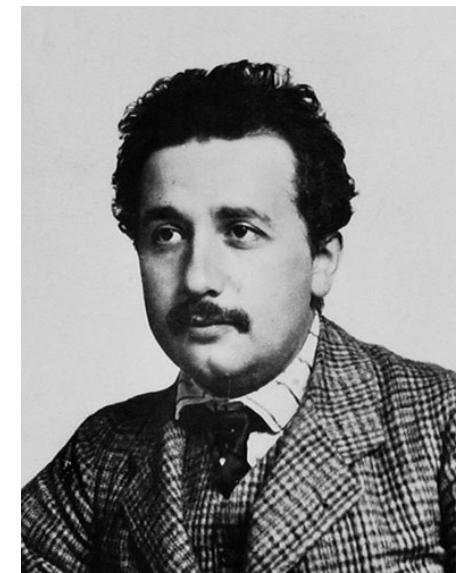
# **Men korleis blir kjernreaksjonar til energi?**

*Bevaringslover:*

- Energi
- Bevegelsesmengde
- Ladning (kjem til dette seinare)

-Masse?

**JA:** Når du knuser ein vase, veg vel  
alle bitane til saman like mykje som vasen  
før vi knuste han – eller?



# **Men korleis blir kjernreaksjonar til energi?**

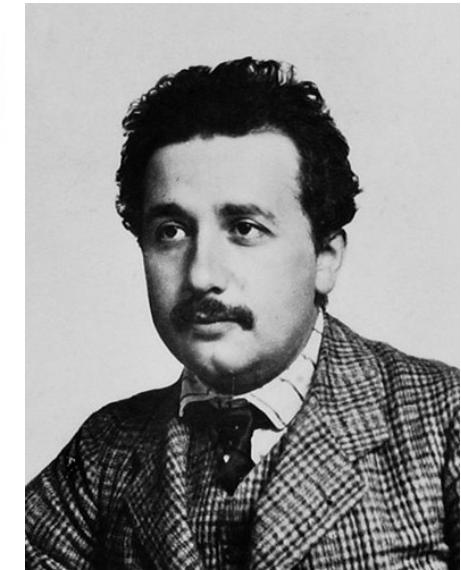
*Bavaringslover:*

- Energi
- Bevegelsesmengde
- Ladning (kjem til dette seinare)

-Masse?

**JA:** Når du knuser ein vase, veg vel alle bitane til saman like mykje som vasen før vi knuste han – eller?

**NEI.**  
**Masse er berre  
ein form for  
energi.**



# **Men korleis blir kjernreaksjonar til energi?**

*Bavaringslover:*

- Energi
- Bevegelsesmengde
- Ladning (kjem til dette seinare)

-Masse?

**JA:** Når du knuser ein vase, veg vel alle bitane til saman like mykje som vasen før vi knuste han – eller?

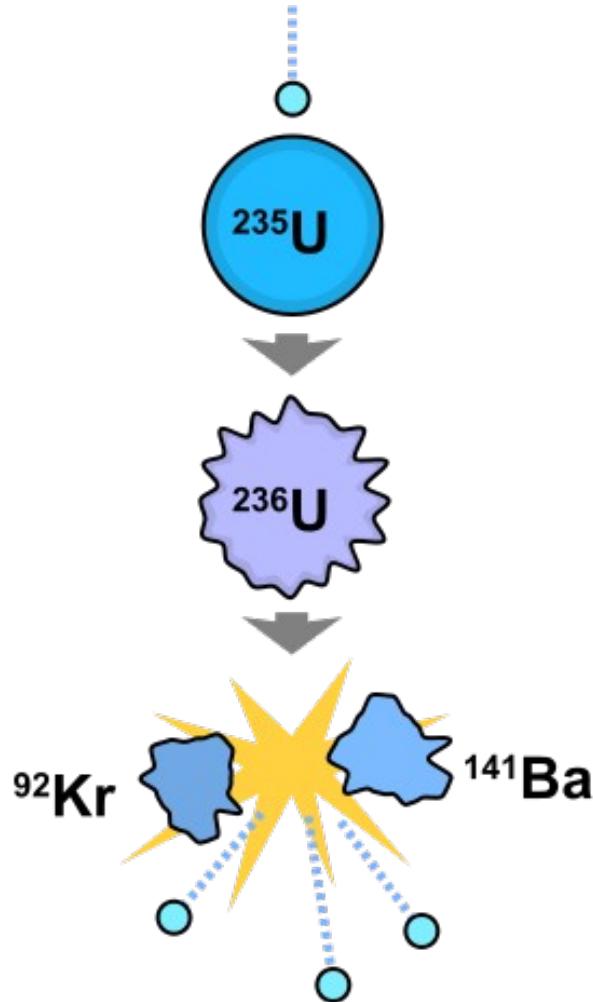
$$E=mc^2$$

Lysfarten  $c=3.00 \cdot 10^8$  m/s  
Kor mykje energi er det i 1 kg av noko?

**NEI.**  
**Masse er berre  
ein form for  
energi.**



## Eit eksempel på kva som kan skje i ein kjernereaktor

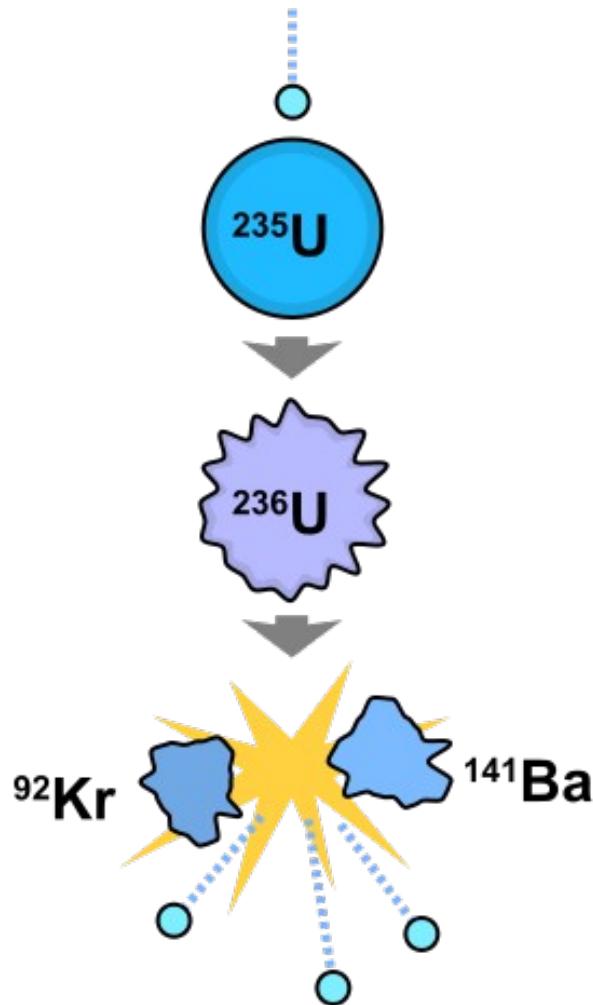


Nøytronmasse: 1.007 u  
U235-masse: 235.044 u

Kr92-masse: 91.926 u  
Ba141-masse: 140.914 u

Atomær masse-eining:  
 $1 \text{ u} = 1.6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

## Eit eksempel på kva som kan skje i ein kjernereaktor



Nøytronmasse: 1.007 u

U235-masse: 235.044 u

Kr92-masse: 91.926 u

Ba141-masse: 140.914 u

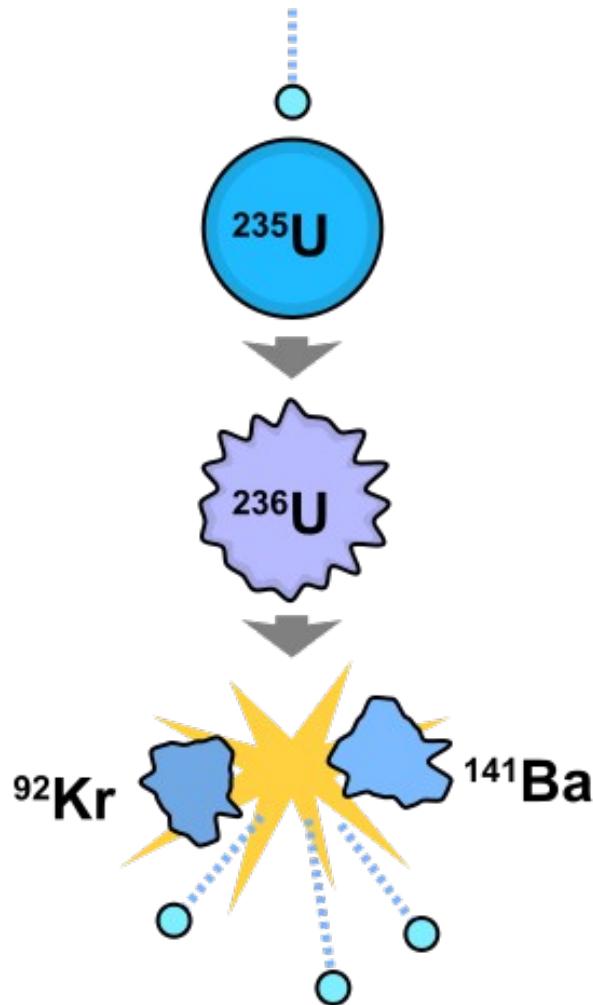
Atomær masse-eining:

$$1 \text{ u} = 1.6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Kor mykje har total masse blitt endra her?

Kor mykje energi har blitt frigjort i prosessen?

## Eit eksempel på kva som kan skje i ein kjernereaktor



Nøytronmasse: 1.009 u

U235-masse: 235.044 u

Kr92-masse: 91.926 u

Ba141-masse: 140.914 u

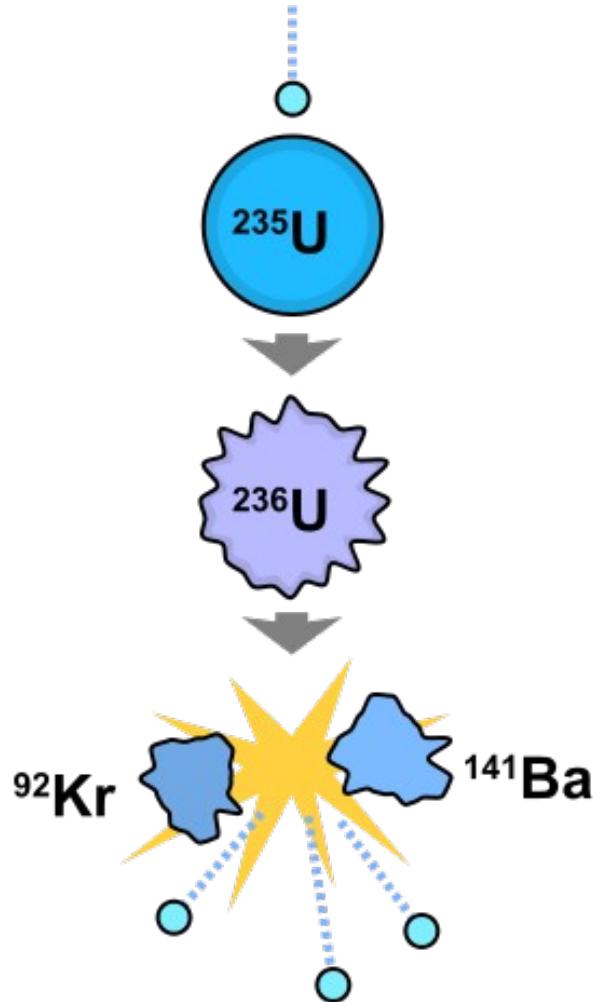
Atomær masse-eining:

$1 \text{ u} = 1.6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

Masse før:  $1.009 \text{ u} + 235.044 \text{ u} = 236.053 \text{ u}$

Masse etter:  $3 \cdot 1.009 \text{ u} + 91.926 \text{ u} + 140.914 \text{ u} = 235.867 \text{ u}$

## Eit eksempel på kva som kan skje i ein kjernereaktor



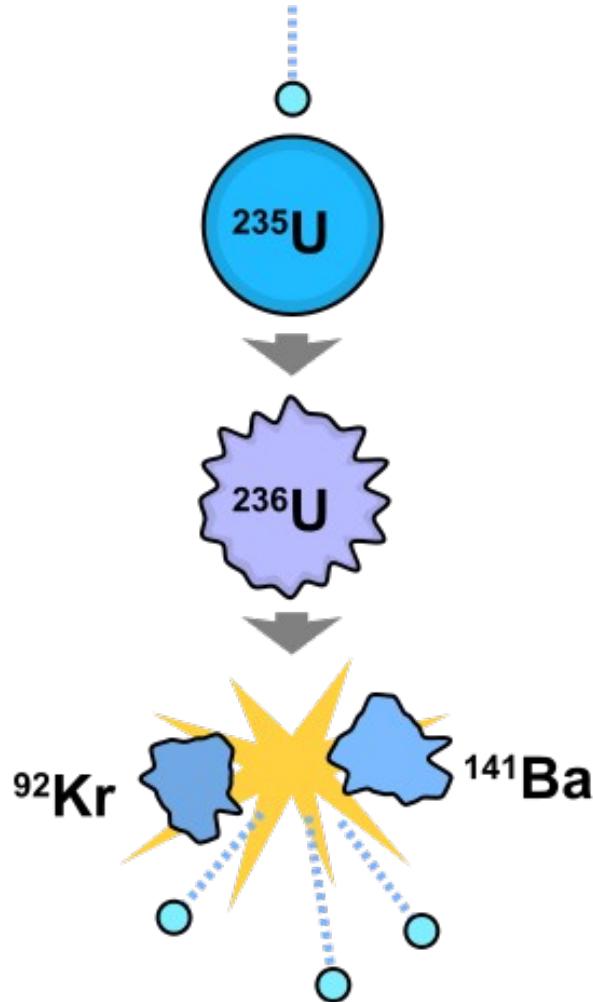
Nøytronmasse: 1.009 u  
U235-masse: 235.044 u

Kr92-masse: 91.926 u  
Ba141-masse: 140.914 u

Atomær masse-eining:  
 $1 \text{ u} = 1.6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

Masse før:  $1.009 \text{ u} + 235.044 \text{ u} = 236.053 \text{ u}$   
Masse etter:  $3 \cdot 1.009 \text{ u} + 91.926 \text{ u} + 140.914 \text{ u} = 235.867 \text{ u}$   
Forskjell:  $\Delta m = 236.053 \text{ u} - 235.867 \text{ u} = 0.186 \text{ u}$

## Eit eksempel på kva som kan skje i ein kjernereaktor



Nøytronmasse: 1.009 u  
U235-masse: 235.044 u

Kr92-masse: 91.926 u  
Ba141-masse: 140.914 u

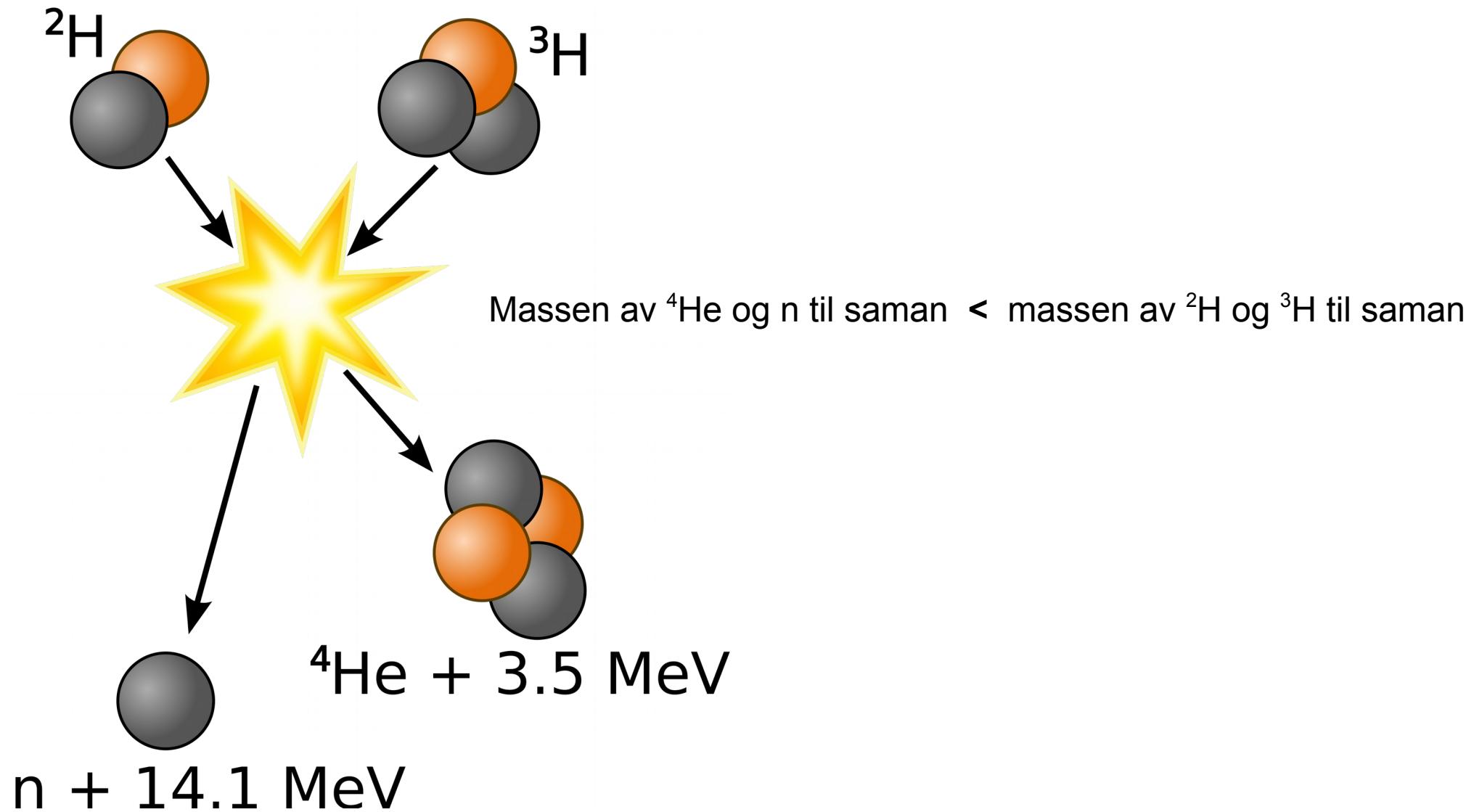
Atomær masse-eining:  
 $1 \text{ u} = 1.6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

Masse før:  $1.009 \text{ u} + 235.044 \text{ u} = 236.053 \text{ u}$   
Masse etter:  $3 \cdot 1.009 \text{ u} + 91.926 \text{ u} + 140.914 \text{ u} = 235.867 \text{ u}$

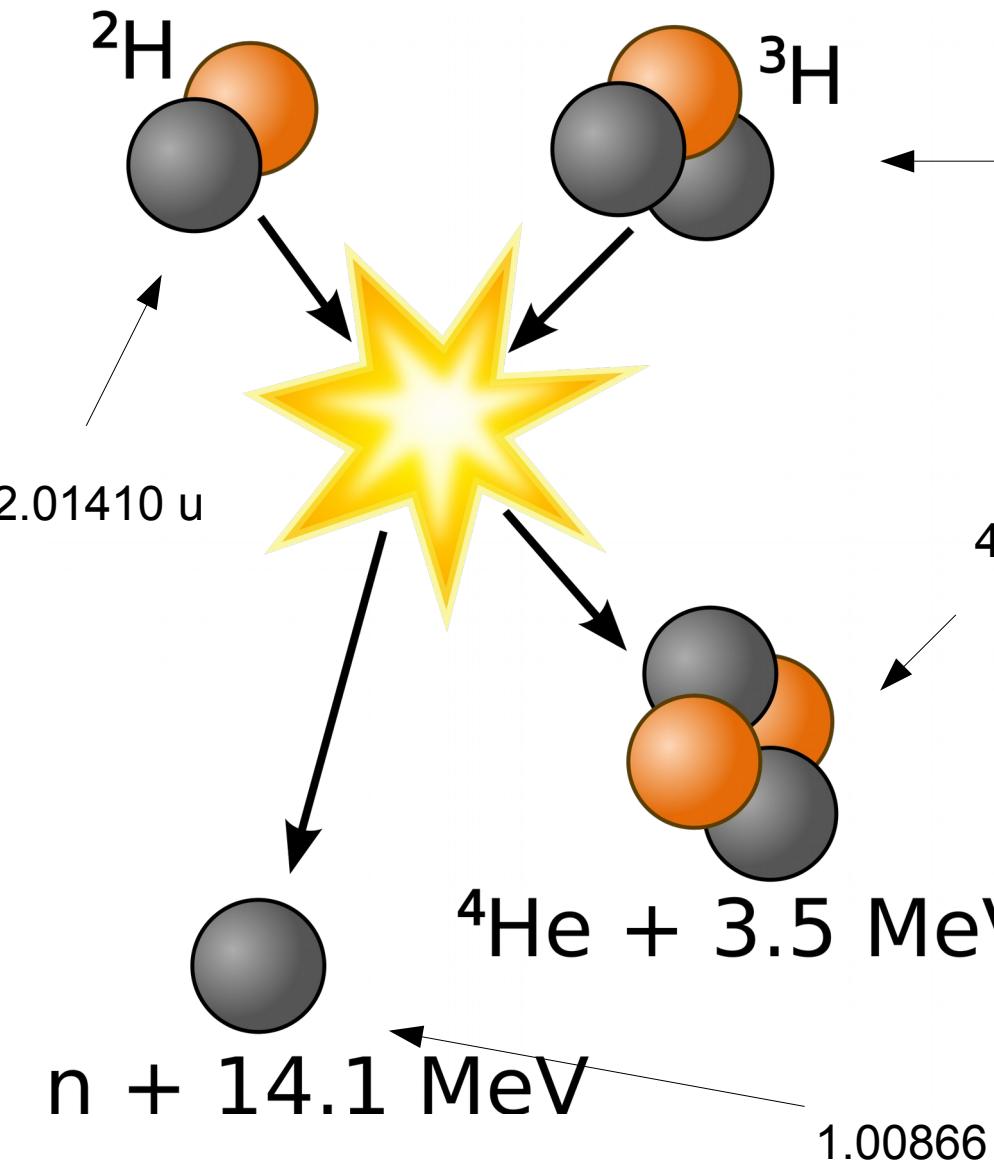
Forskjell:  $\Delta m = 236.053 \text{ u} - 235.867 \text{ u} = 0.186 \text{ u}$

$$E=mc^2 \rightarrow \Delta E = \Delta m c^2 = \\ 0.186 \cdot 1.6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot (3.00 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2 = 2.78 \cdot 10^{-11} \text{ J}$$

## Motsett av spalting (fisjon): *Fusjon*



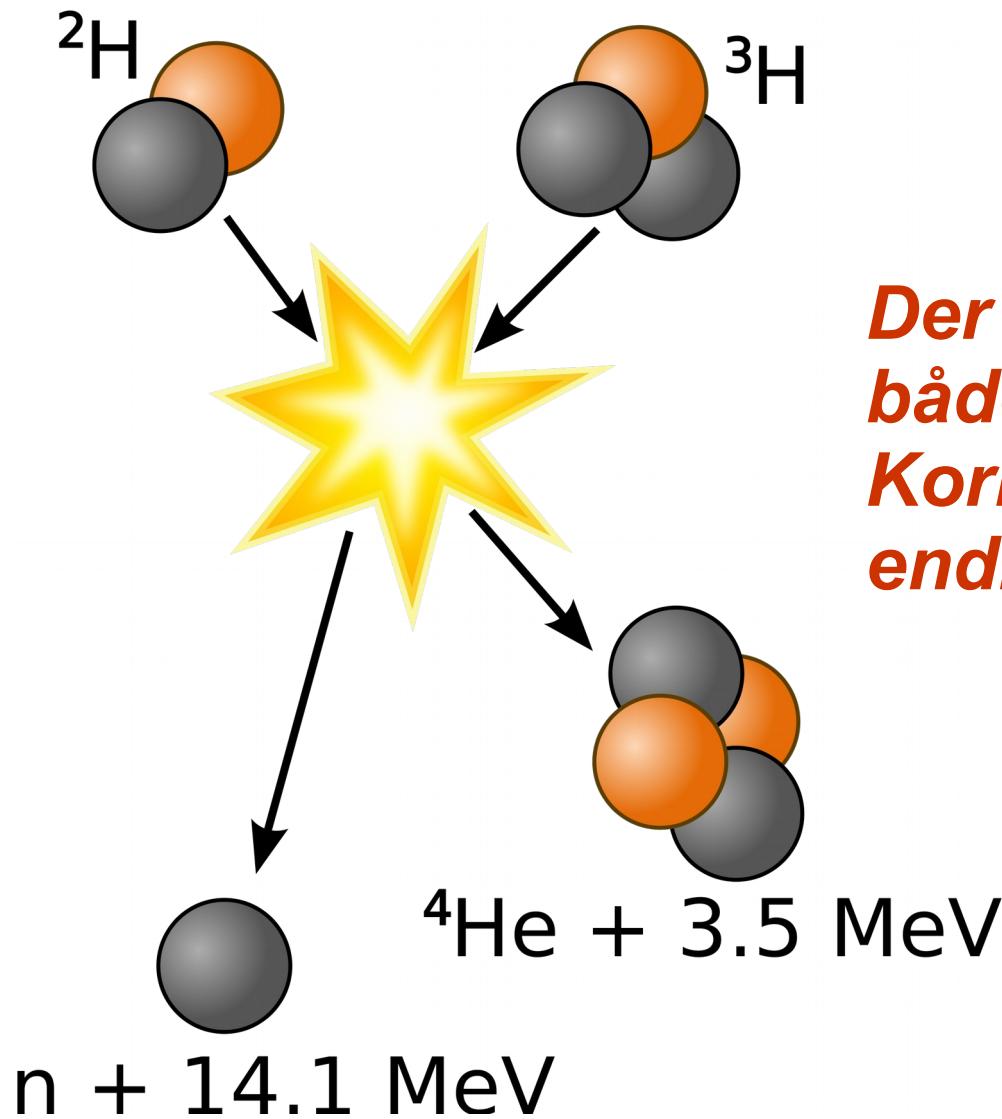
## Motsett av spalting (fisjon): *Fusjon*



$$1 \text{ u} = 1.6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$c = 3.00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

## Motsett av spalting (fisjon): **Fusjon**



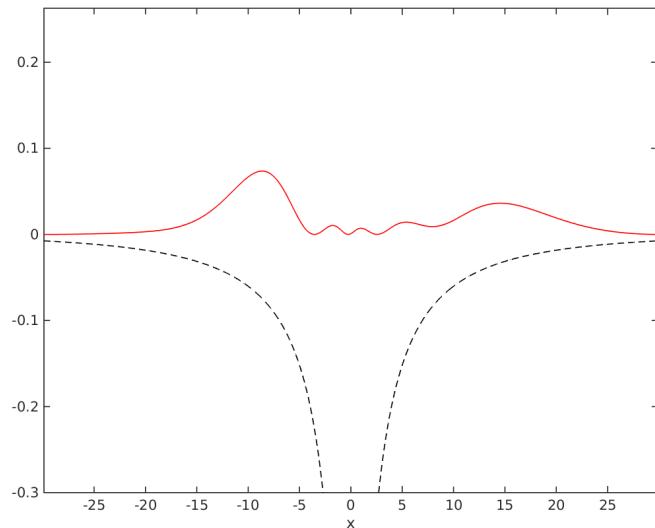
*Der er tre nøytron og to proton  
både før og etter.  
Korleis kan då totalmassen  
endre seg?!*

-Tilbake til  $\Psi$ :

Bølgefunksjonen gir sannsynet for at ei måling av ein eller annan fysisk storleik, t.d. energi, gir eit bestemt resultat.

Bølgefunksjonen gir også sannsynet for å finne partikkelen på ein bestemt plass.

Men kva energi *har* partikkelen? Og kvar er han?

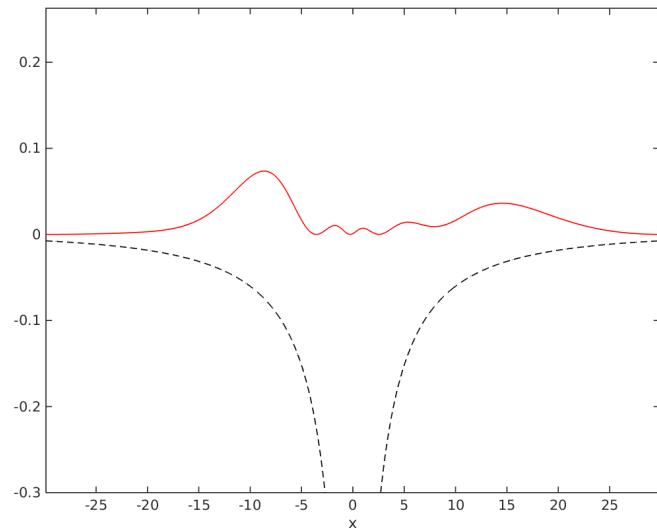


-Tilbake til  $\Psi$ :

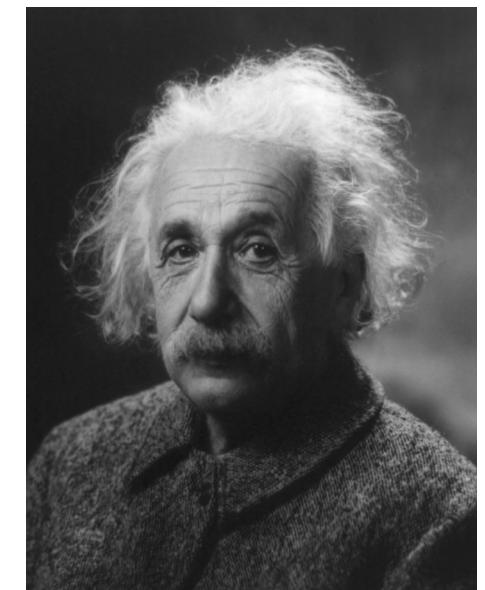
Bølgefunksjonen gir sannsynet for at ei måling av ein eller annan fysisk storleik, t.d. energi, gir eit bestemt resultat.

Bølgefunksjonen gir også sannsynet for å finne partikkelen på ein bestemt plass.

Men kva energi *har* partikkelen? Og kvar er han?



*Kvantemekanikken  
er sikkert rett, men  
den kan umogeleg  
vere komplett*

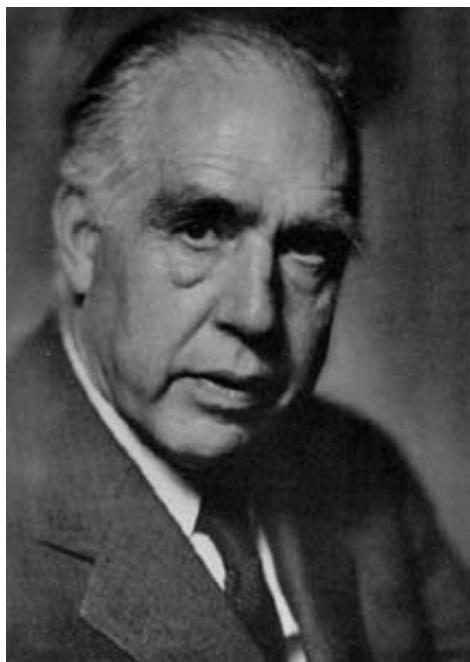


-Tilbake til  $\Psi$ :

Bølgefunksjonen gir sannsynet for at ei måling av ein eller annan fysisk storleik, t.d. energi, gir eit bestemt resultat.

Bølgefunksjonen gir også sannsynet for å finne partikkelen på ein bestemt plass.

Men kva energi *har* partikkelen? Og kvar er han?



*Vi kan ikkje gjere  
noko måling på  
systemet utan å  
påverke det*

-Tilbake til  $\Psi$ :

Bølgefunksjonen gir sannsynet for at ei måling av ein eller annan fysisk storleik, t.d. energi, gir eit bestemt resultat.

Bølgefunksjonen gir også sannsynet for å finne partikkelen på ein bestemt plass.

Men kva energi *har* partikkelen? Og kvar er han?

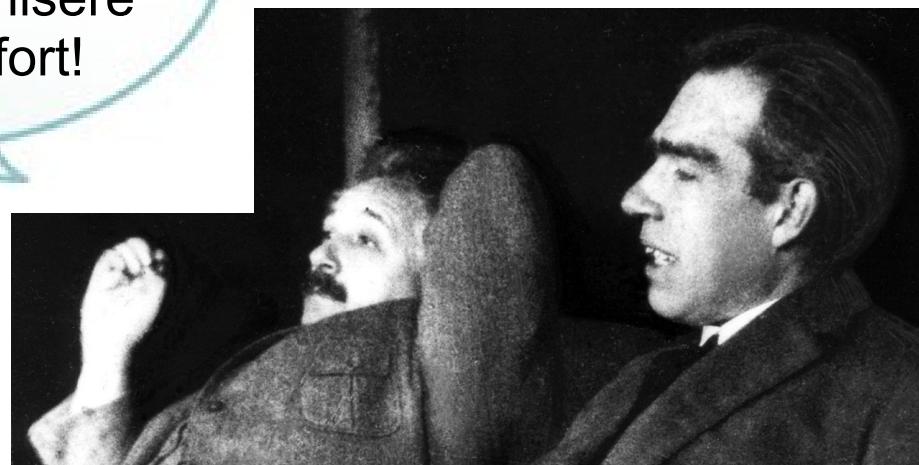


*Det gir ikkje mening  
å snakke om posisjon,  
energi etc. utan  
måling*

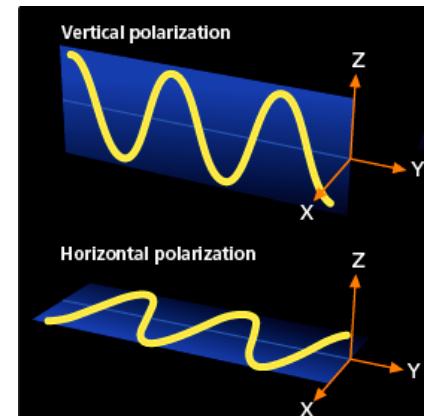
## Tanke-test, «EPR-paradokset»

- Bølgefunksjonen for to foton, t.d., kan vere slik at vi veit heilt sikkert at dei har motsett polarisering – samtidig som vi ikkje veit noko som helst om polariseringa til kvar av dei
- Ei måling av polariseringa til den eine, gir umiddelbart polariseringa til den andre også – uansett kor langt frå kvarandre dei er.

Fotona må jo ha ei polarisering; dei kan jo ikkje kommunisere uendeleig fort!



Nja...



## *Tanke-test, «EPR-paradokset»*

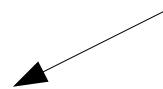
- Bølgefunksjonen for to foton, t.d., kan vere slik at vi veit heilt sikkert at dei har motsett polarisering – samtidig som vi ikkje veit noko som helst om polariseringa til kvar av dei
- Ei måling av polariseringa til den eine, gir umiddelbart polariseringa til den andre også – uansett kor langt frå kvarandre dei er.

Utruleg: Testen *kan* gjennomførast!

# ~~Tanke-test, «EPR-paradokset»~~



*Teori*



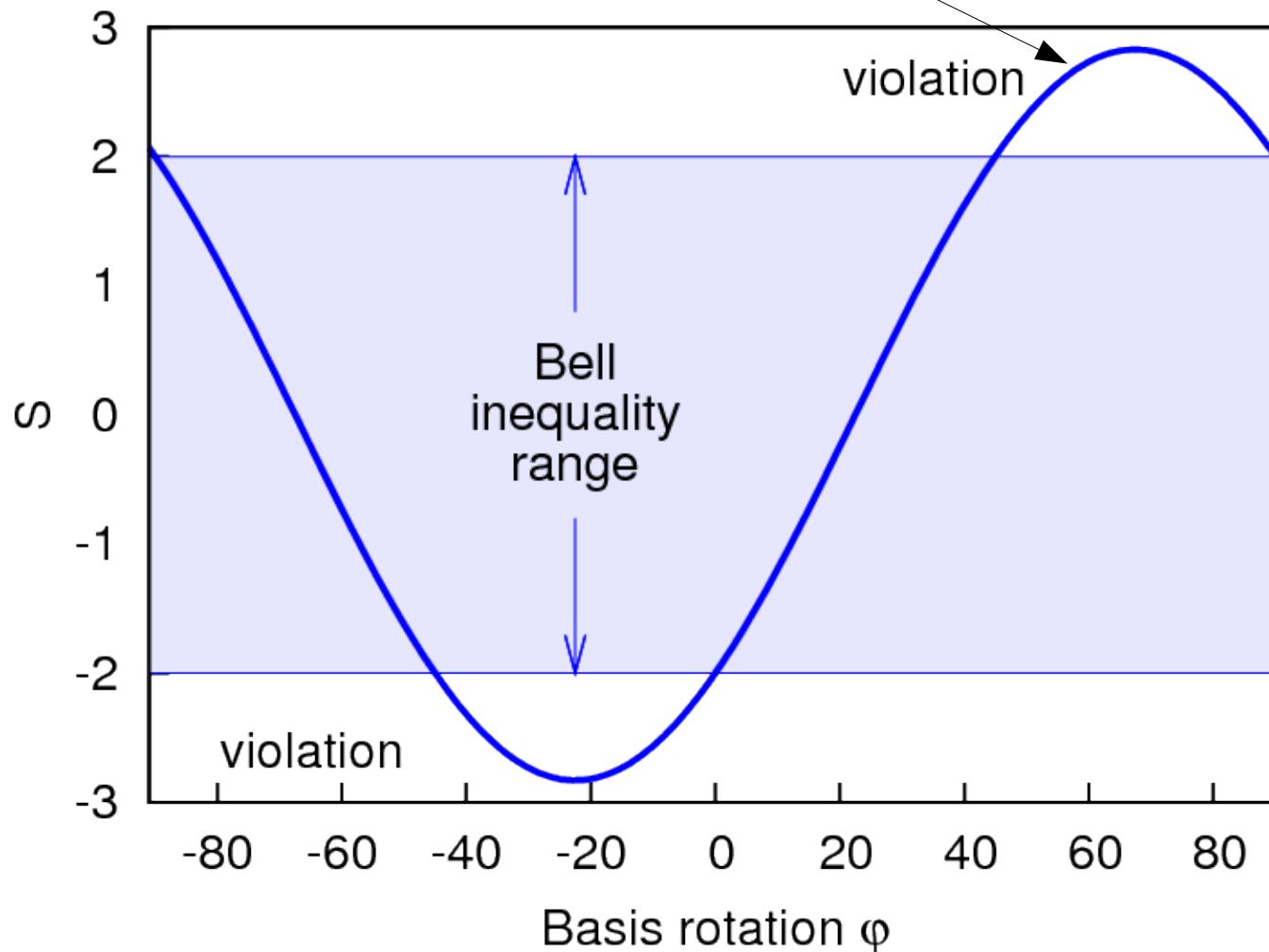
*Eksperiment*



Johan Stuart Bell (1928 - 1990)

Alain Aspect (f. 1947)

**Bohr hadde rett!**

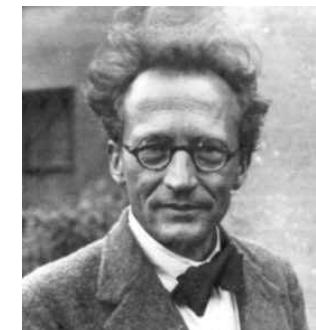


Altså:

*Partiklane kan vere slik at visse eigenskapar for den eine er fullstendig bestemt av eigenskapane til den andre – samtidig som desse eigenskapane er fullstendig ubestemt for kvar partikkelen!*

Når to system påverkar kvarandre og så vert skilde frå kvarandre, kan vi ikkje lenger sjå på dei som separate system. Dette vil eg ikkje kalle *ein* av eigenskapane som kjenneteiknar kvantemekanikken, men heller *sjølve eigenskapen* som kjenneteiknar kvantemekanikken – den som tvingar oss til å tenkje langs heilt andre linjer enn klassisk fysikk.

-E. Schrödinger (nokså fritt oversett)



Dei som ikkje vert sjokkert når dei fyrst kjem over kvantemekanikk, har ikkje forstått det.



-*Niels Bohr (1885 - 1962)*

(Sagt om Louis Armstrong: «*Armstrong is to music what Einstein is to physics and the Wright Brothers are to travel.*»)

## Ta med heim-beskjedar:

-Partikkel ~~eller~~<sup>og</sup> bølge; må kunne ha to tankar i hovudet samtidig.

Dette gjeld både lys og materie

-System som heng saman:

Kun heilt bestemte energiar mogeleg (kvantisering)

-Utfallet av visse målingar ser ut til å vere tilfeldige - fundamentalt sett

-Generelt: Mikroskopiske ting, som atom, kjerner, partiklar og slikt, følger andre lover enn dei ting vi ser til dagleg.

# Symmetri



-Emmy Nöther (1882 - 1935)

For kvar symmetri er der ein  
konservert storleik

