

Lys

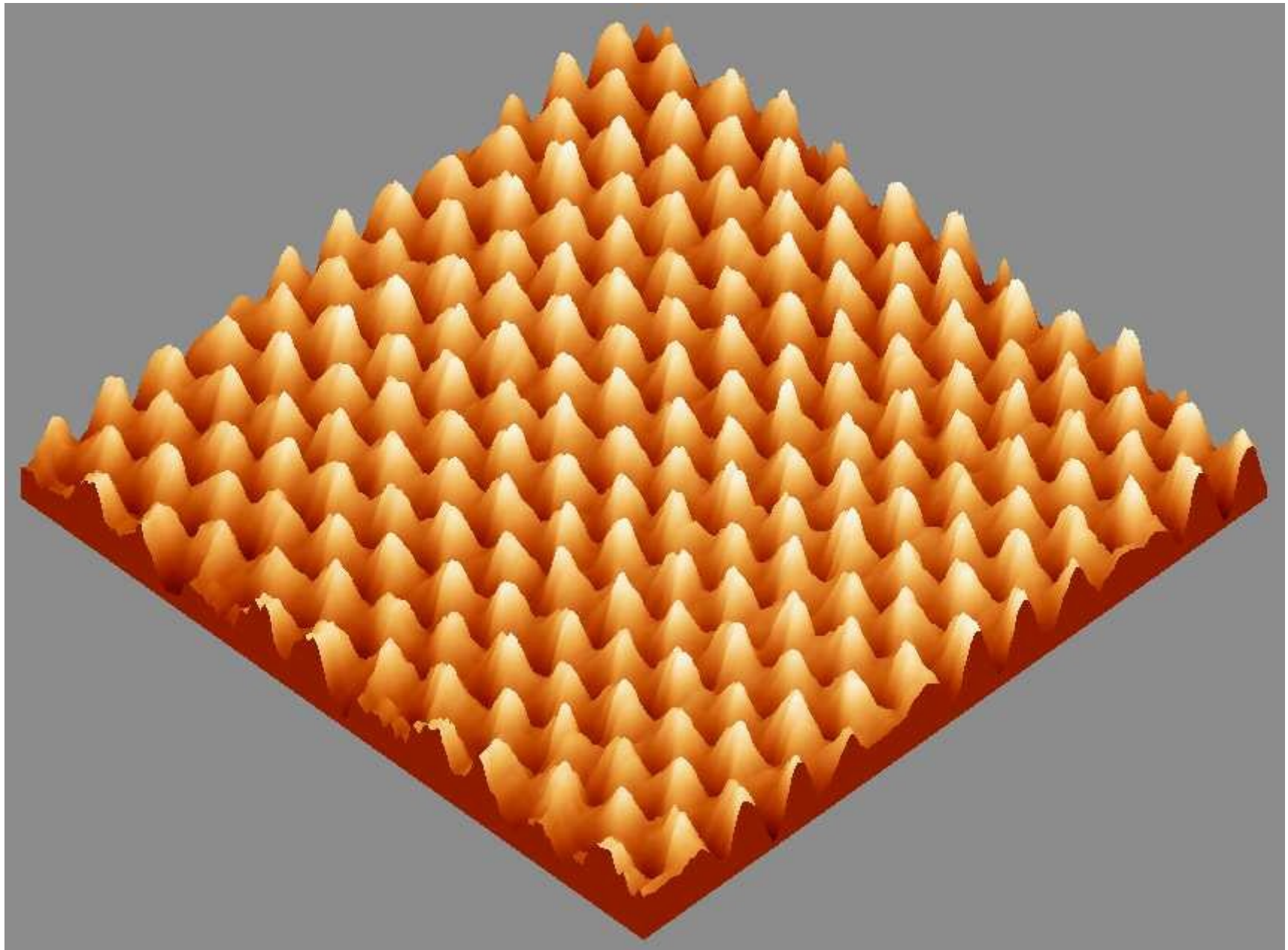
Partiklar

Bølger

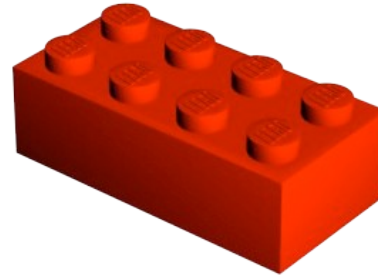
Atom



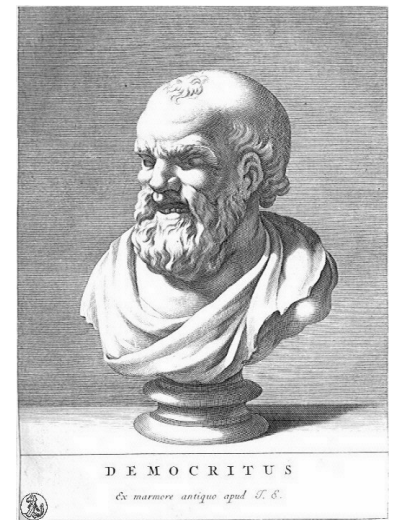
Atom



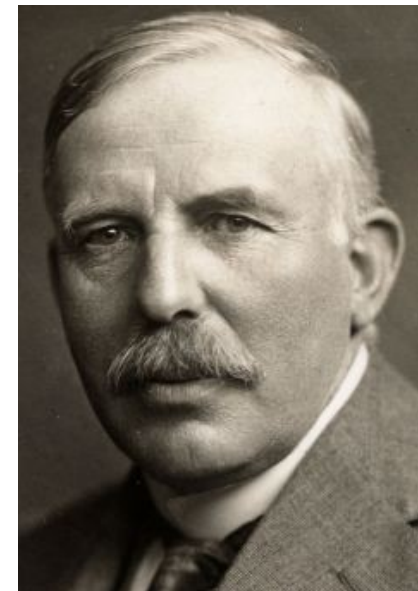
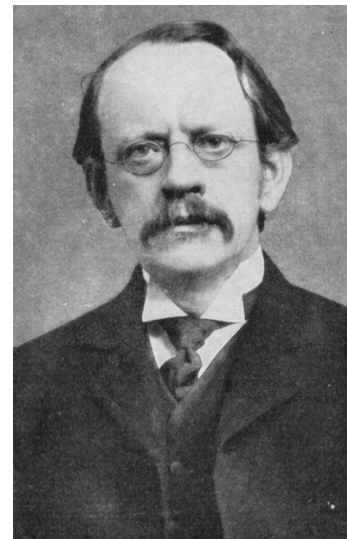
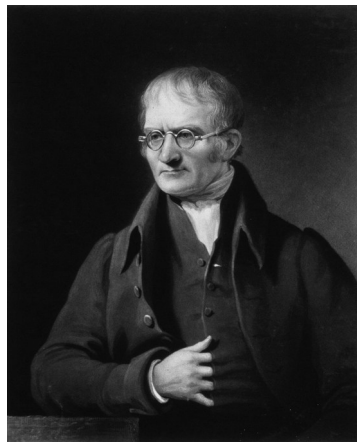
«Atomhistoria»



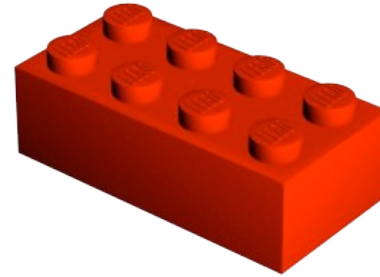
Gamle grekarar og indarar, ca 500 f. Kr.
Materien har ei minste eining;
den er bygd opp av små bitar som ikkje kan delast vidare



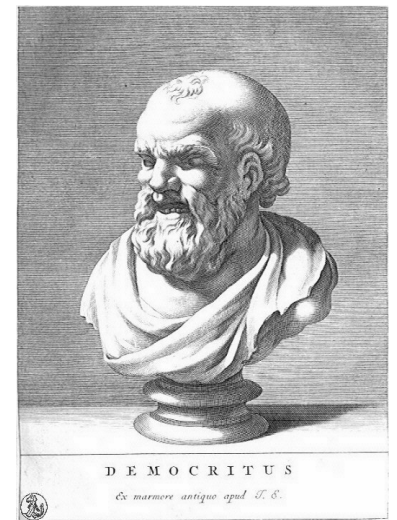
1800-talet: **Dalton, Brown, Thomson, Rutherford...**



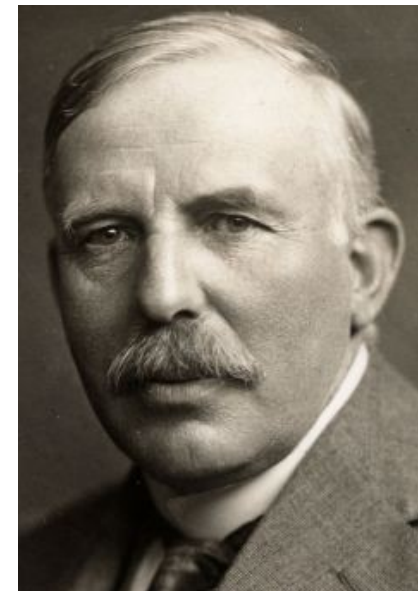
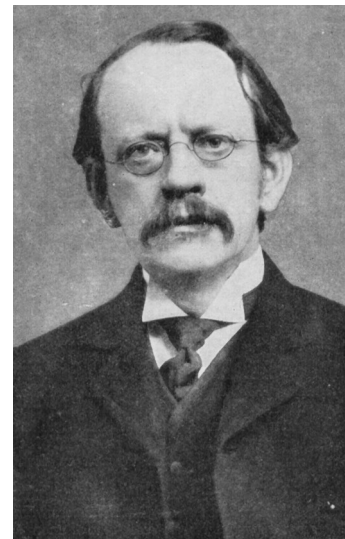
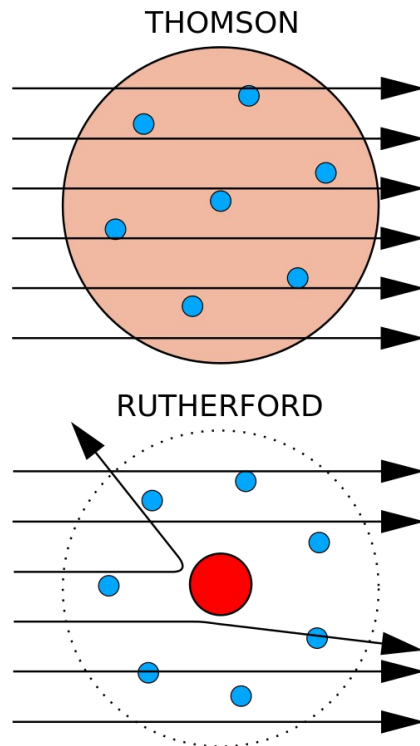
«Atomhistoria»



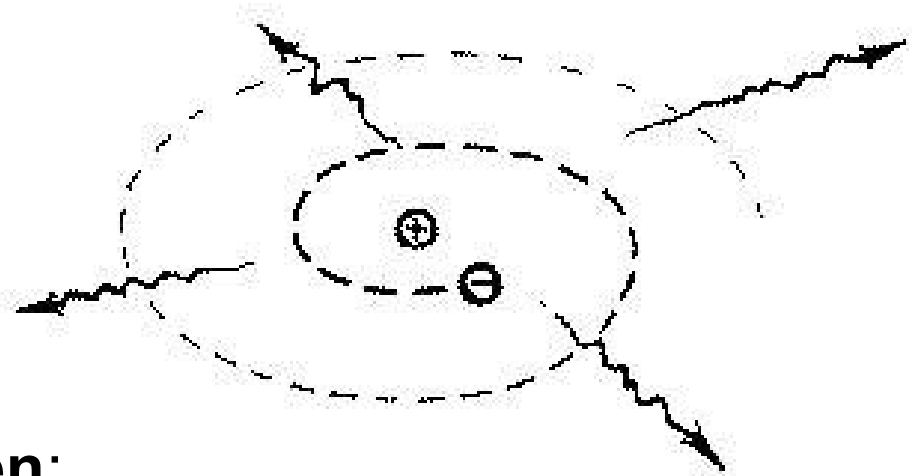
Gamle grekarar og indarar, ca 500 f. Kr.
Materien har ei minste eining;
den er bygd opp av små bitar som ikkje kan delast vidare



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

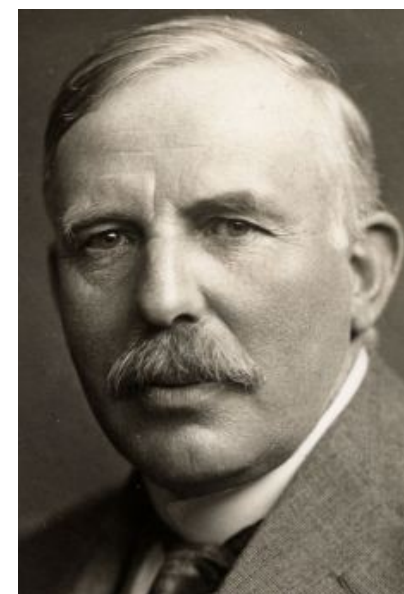


«Atomhistoria»

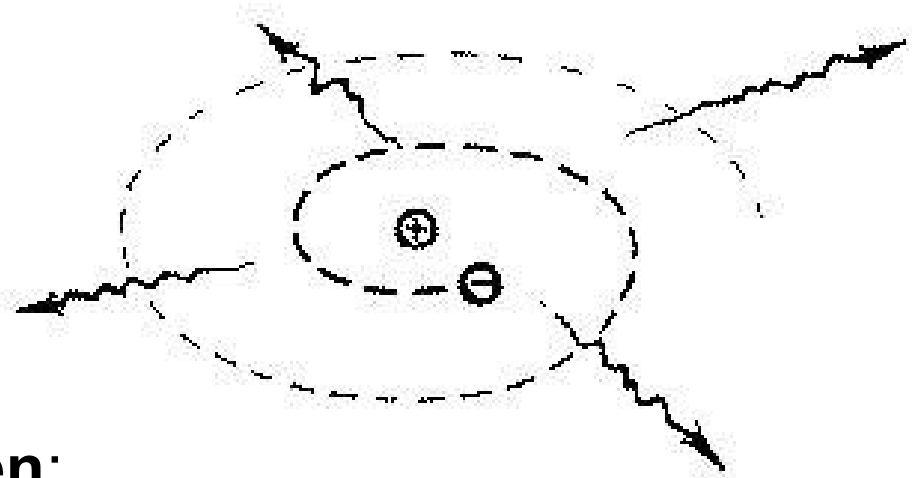


Problem med Rutherford-modellen:

- 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



«Atomhistoria»

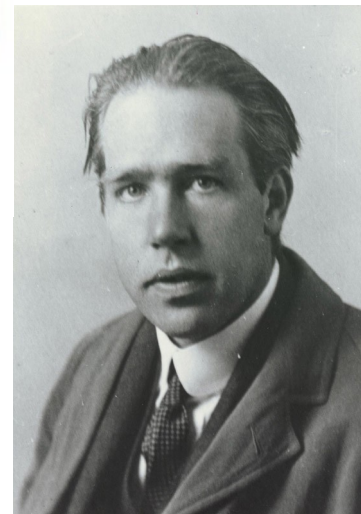


Problem med Rutherford-modellen:

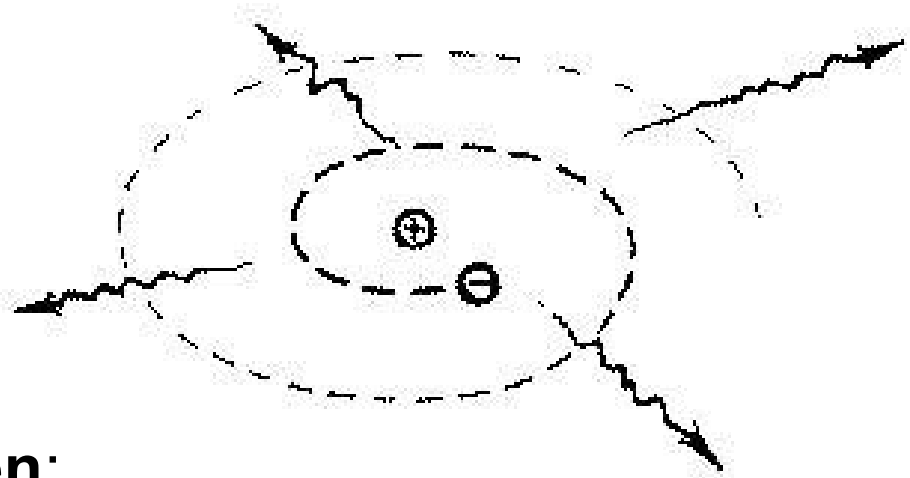
- Om elektrona svirrar rundt kjerna, blir dei akselerert heile tida
- Då *skal* dei sende ut stråling (Maxwell-likningane)
- Dermed vil dei miste energi og «kollapse» ned i kjerna

Rutherford-atomet kan ikkje vere stabilt!

Joda:)



«Atomhistoria»

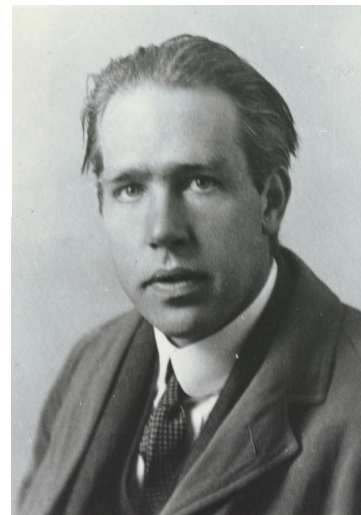


Problem med Rutherford-modellen:

- 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

Rutherford-atomet kan ikkje vere stabilt!

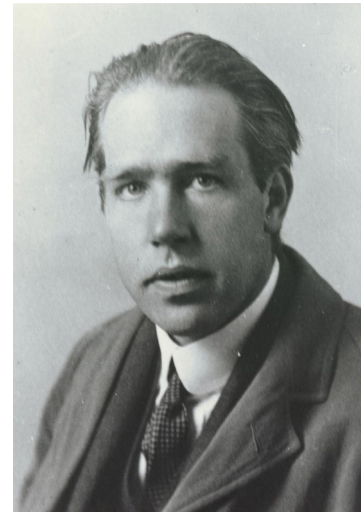
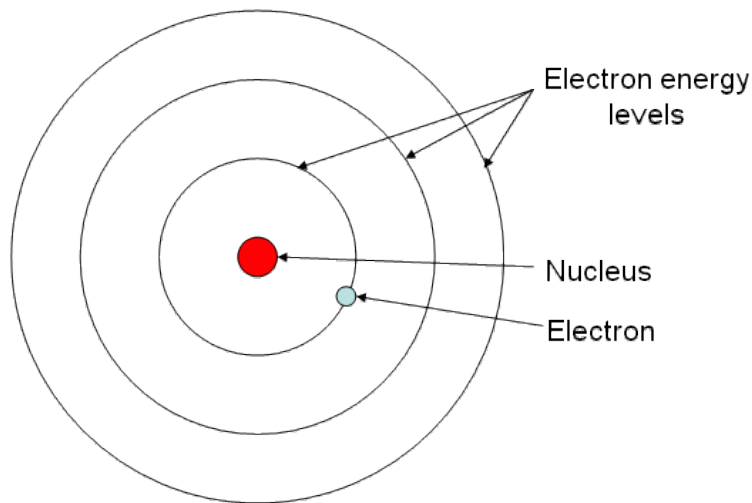
Kanskje atoma
følger andre
lover



«Atomhistoria»

Bohrs atommodell:

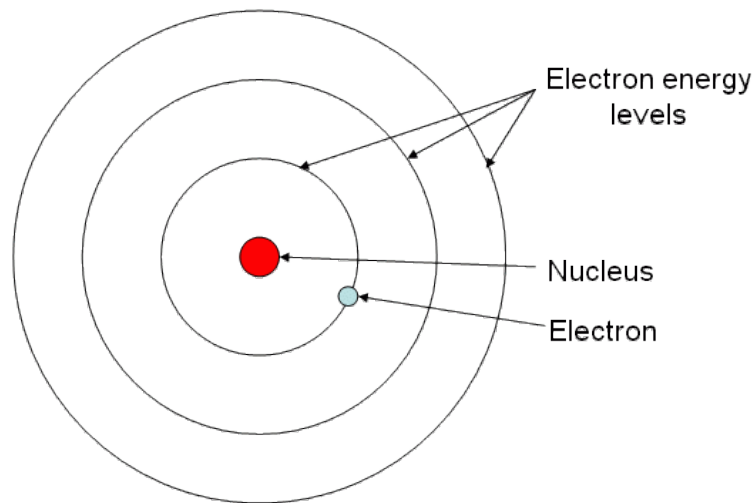
- Omtrent som eit solsystem
- Elektrona kan berre gå i heilt spesielle banar
- Det blir sendt ut stråling når elektronet hoppar ned til eit lågare nivå



«Atomhistoria»

Bohrs atommodell:

- Omtrent som eit solsystem
- Elektrona kan berre gå i heilt spesielle banar
- Det blir sendt ut stråling når elektronet hoppar ned til eit lågare nivå



NB: Dette er FEIL!

Det er ikkje heilt slik vi ser på atomet i dag.

Men Bohr hadde verkeleg skjønna eit og anna...

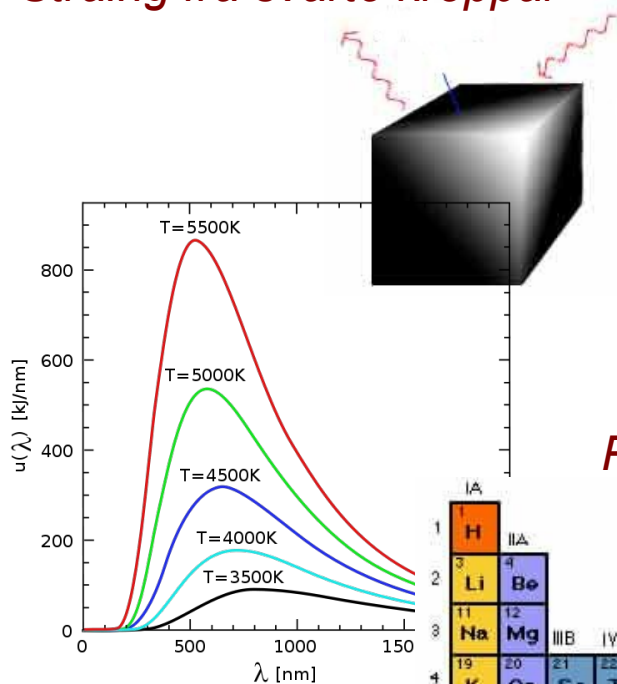
«Atomhistoria»

Rundt århundreskiftet 1800/1900:

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

Linjespektrum

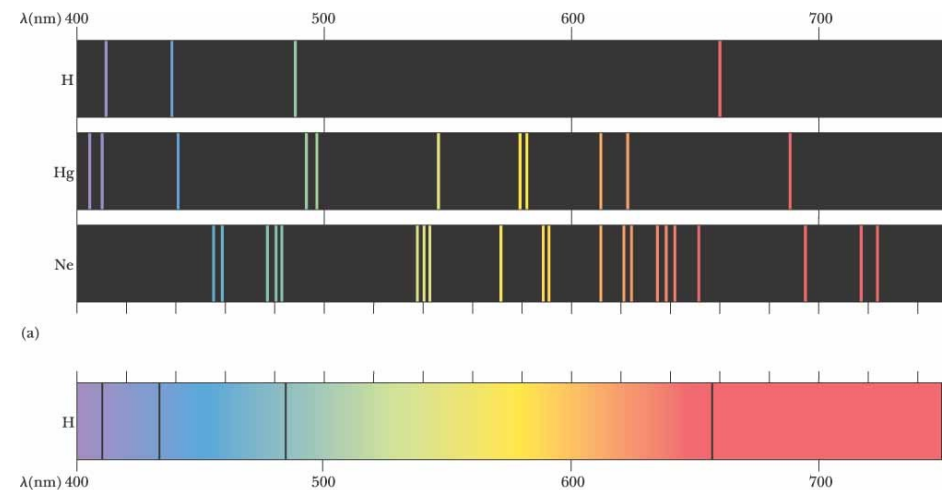
Stråling från svarte kroppar



Periodesystemet

[illegible]

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



Hydrogen

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

«Lyshistoria»



«Lyshistoria»



Isaac Newton (1642 - 1726)

Lys er små partiklar!

Lys er bølger

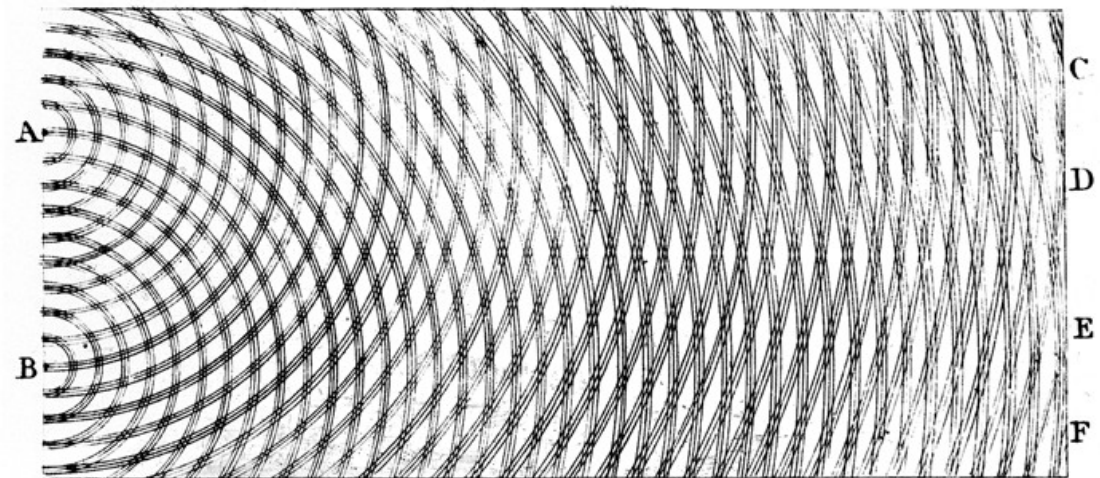
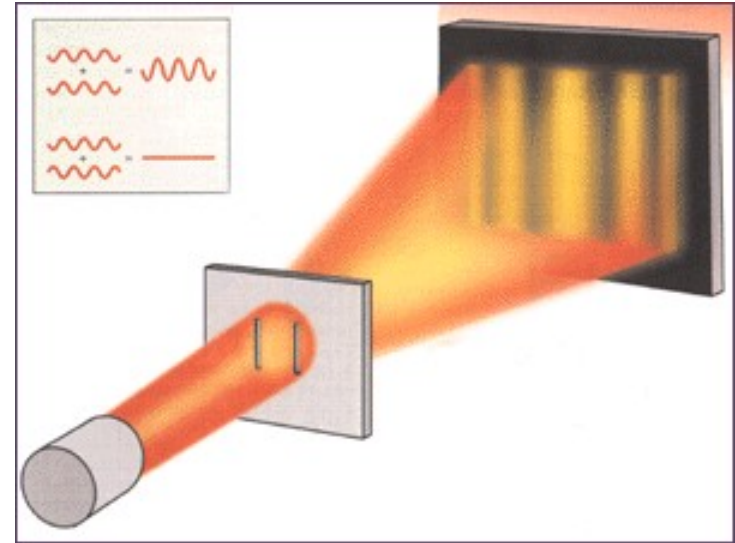
Christiaan Huygens (1629 - 1695)



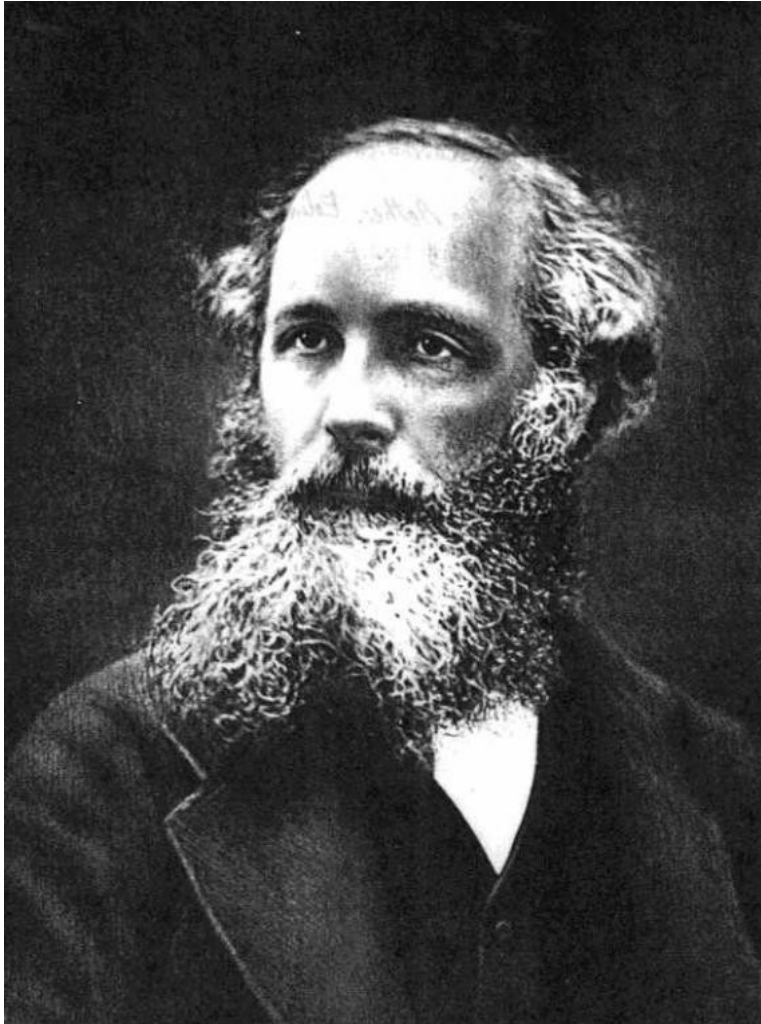
«Lyshistoria»



Thomas Young (1773 - 1829)

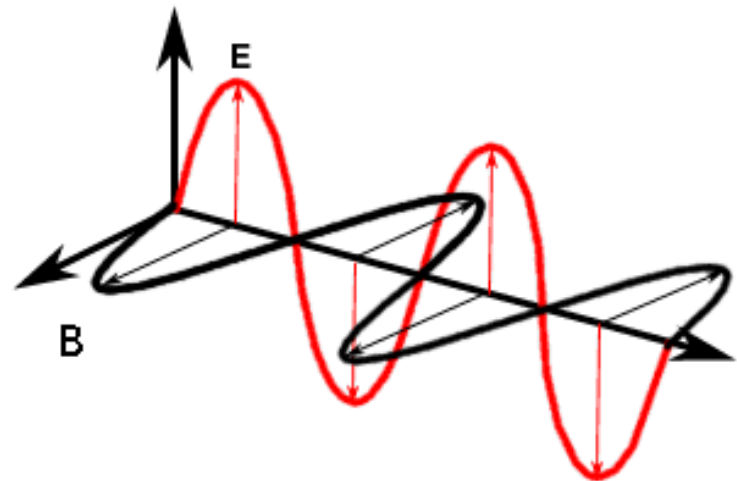


«Lyshistoria»

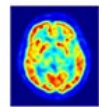


James Clerk Maxwell (1831 - 1879)

$$\begin{aligned}\nabla \cdot \mathbf{E} &= \frac{1}{\epsilon_0} \rho \\ \nabla \cdot \mathbf{B} &= 0 \\ \nabla \times \mathbf{B} &= \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \epsilon_0 \dot{\mathbf{E}} \\ \nabla \times \mathbf{E} &= -\dot{\mathbf{B}}\end{aligned}$$



Elektro-magnetisk stråling

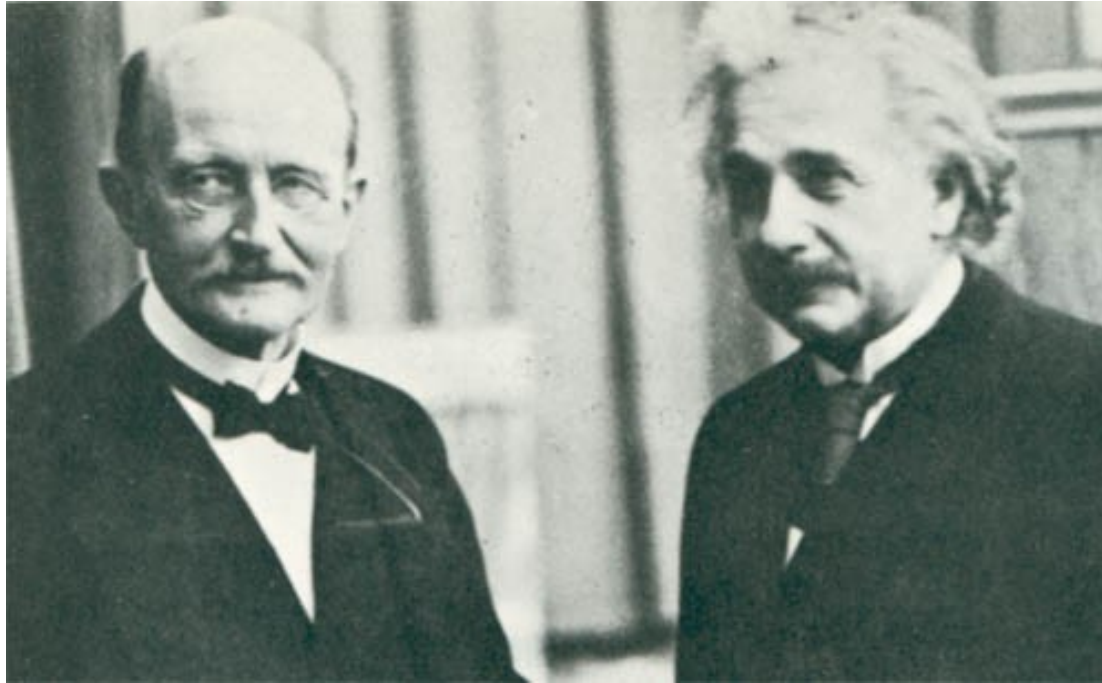
Radio		AM radio
		Amateur radio
		Aircraft communication
Microwave		Microwave oven
		TV Remote Control
Infrared		Night vision goggles
Visible		
Ultraviolet		UV light from the Sun
X-ray		Airport security scanner
Gamma-ray		PET scan
		Terrestrial gamma-ray flashes



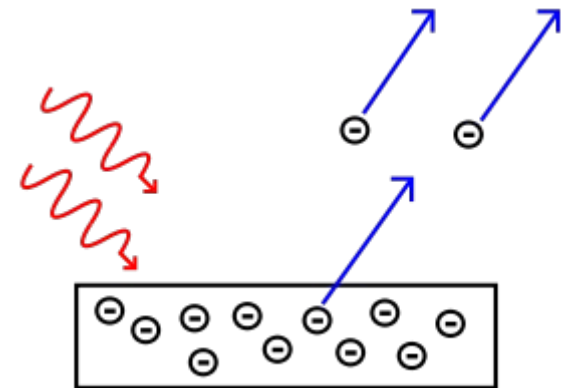
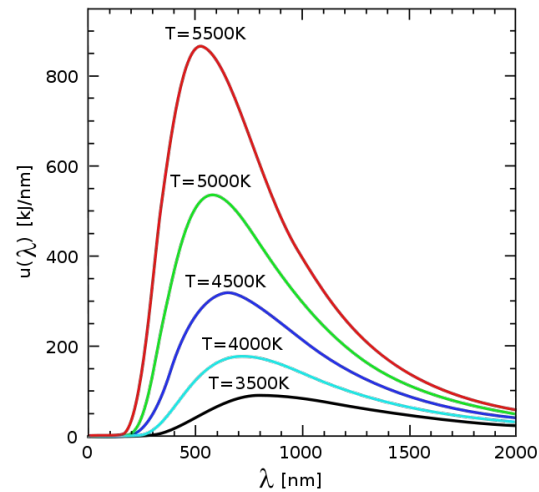
«Lyshistoria»

Partiklar likevel?

Max Planck
(1858 - 1947)



Albert Einstein
(1879 - 1955)



Fotoelektrisk effekt

Hadde sett:

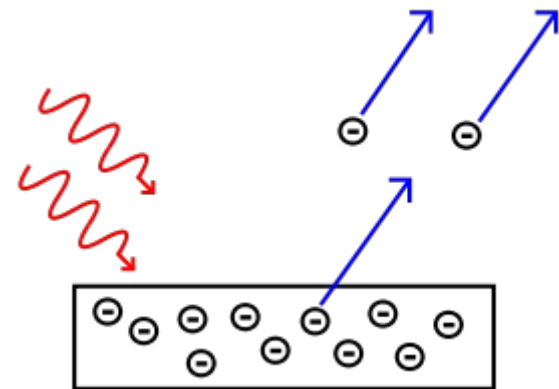
-Farten elektrona kjem ut med, er «heilt» uavhengig av intensiteten på lyset

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

$$hf < W$$

Ingen elektron

$$E_k = hf - W$$



Fotoelektrisk effekt

Einstein:

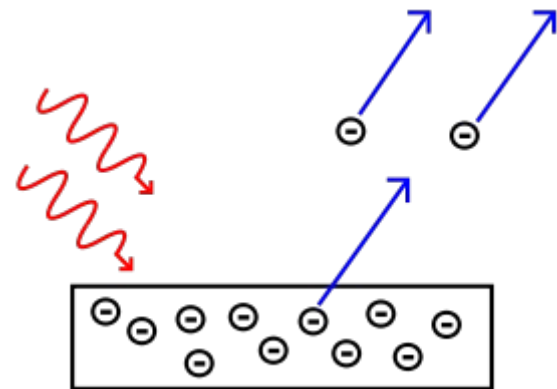
- Lys består av små bitar (kvant) med energi gitt ved frekvensen, $E=hf$
- Elektrona i metallet vert lausrivne frå metallet ved at kvart elektron tar til seg eitt – og berre eitt – kvant.



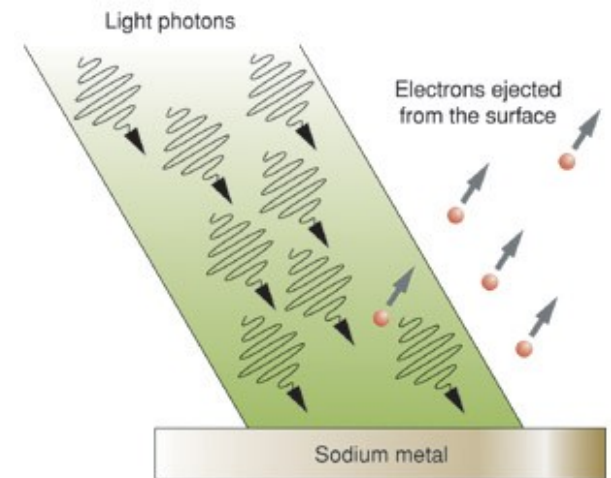
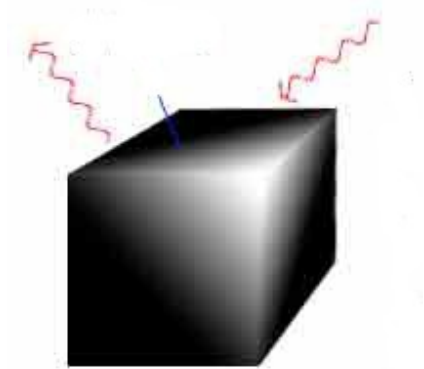
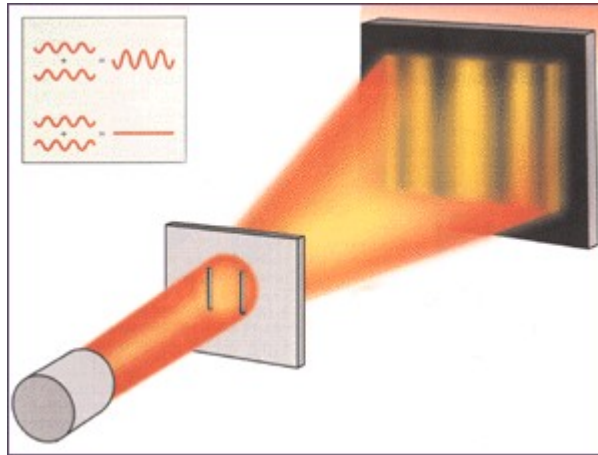
$$hf < W$$

Ingen elektron

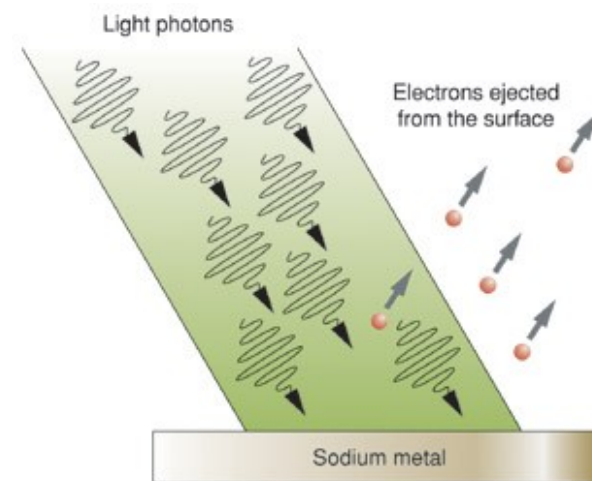
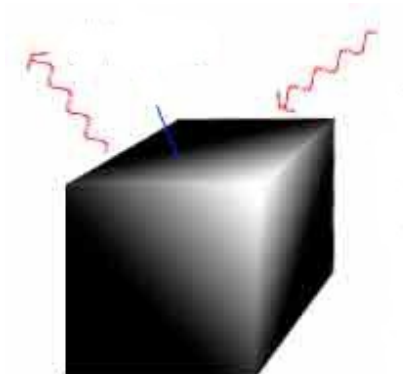
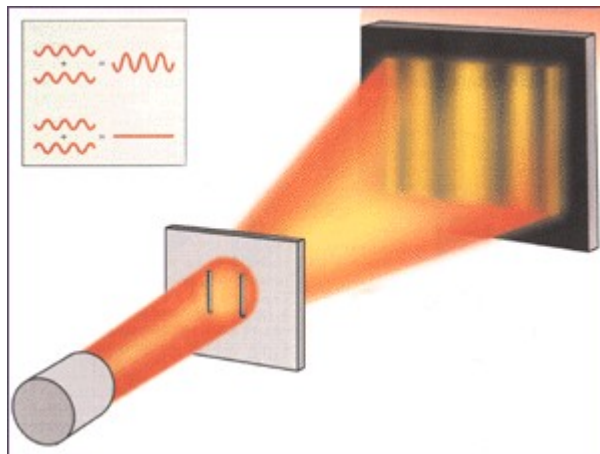
$$E_k = hf - W$$



Bølge eller partikkel?



Bølge eller partikkel?



Ja, takk



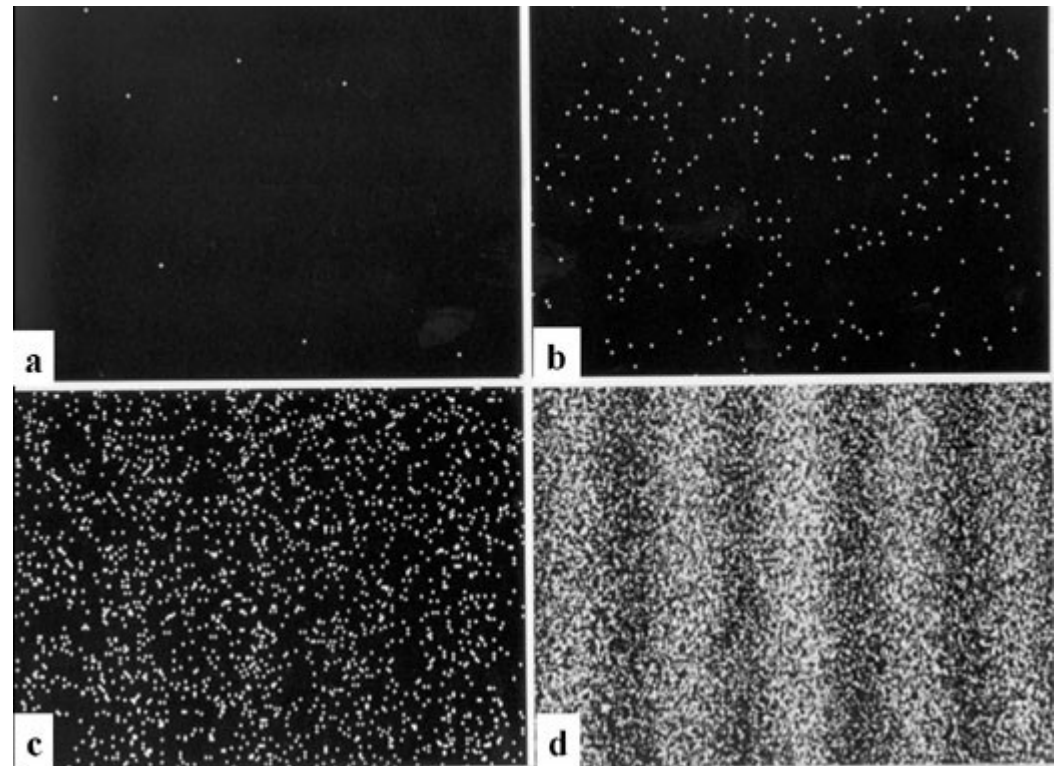
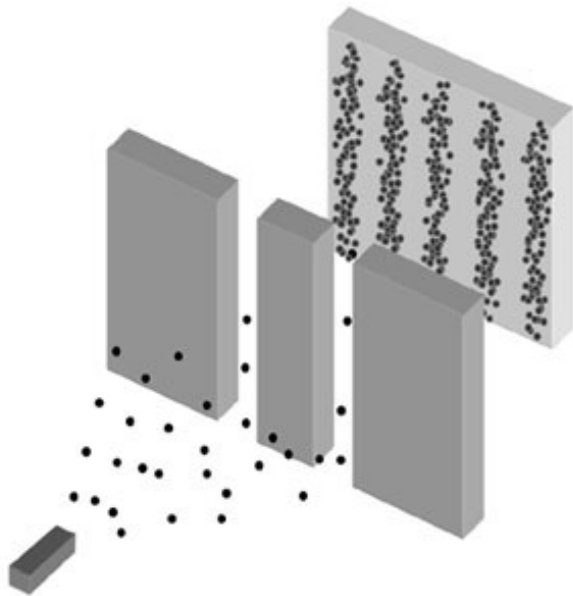
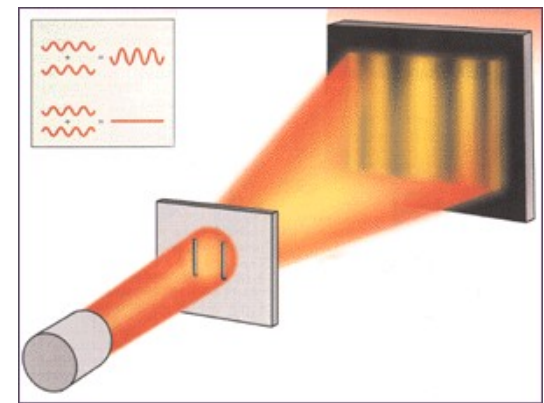


Luis de Broglie (1892 – 1987)

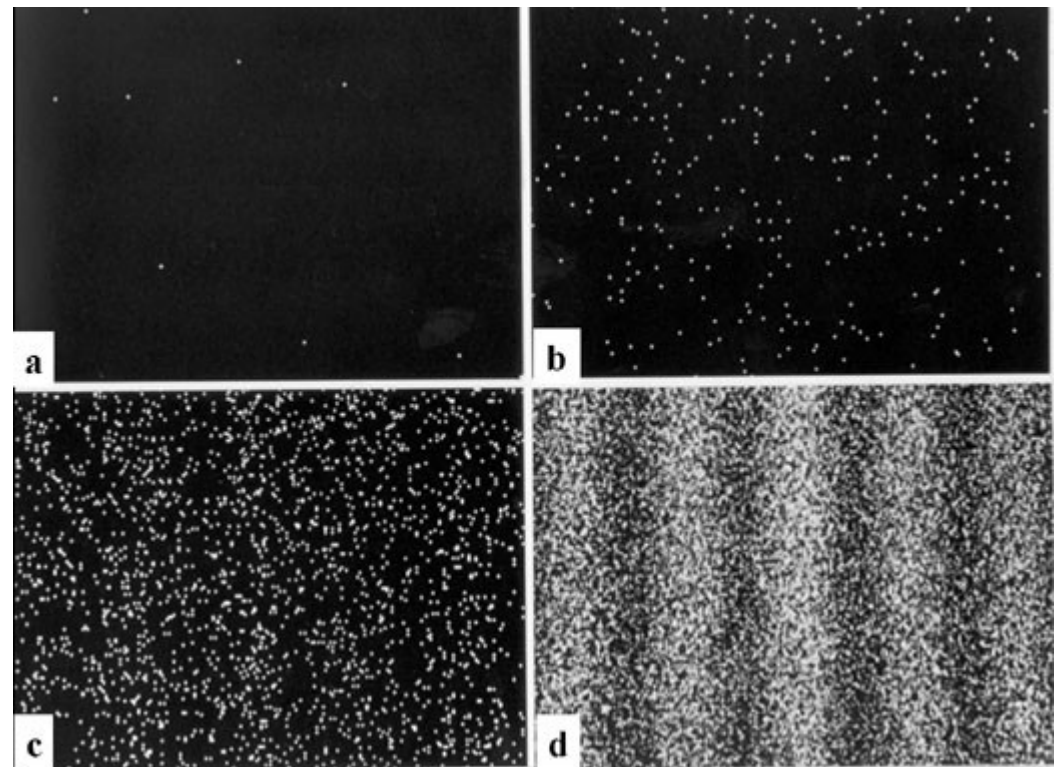
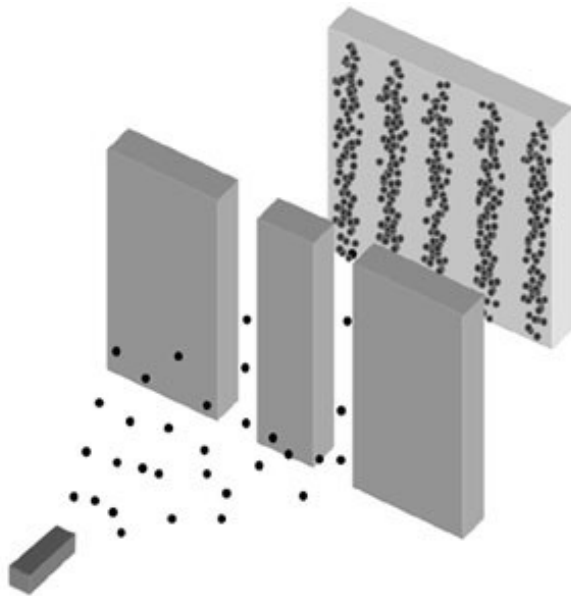
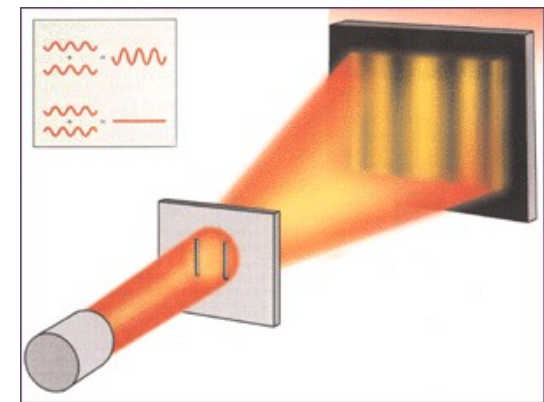


$$mv = \frac{h}{\lambda}$$
$$E = hf$$

JA!

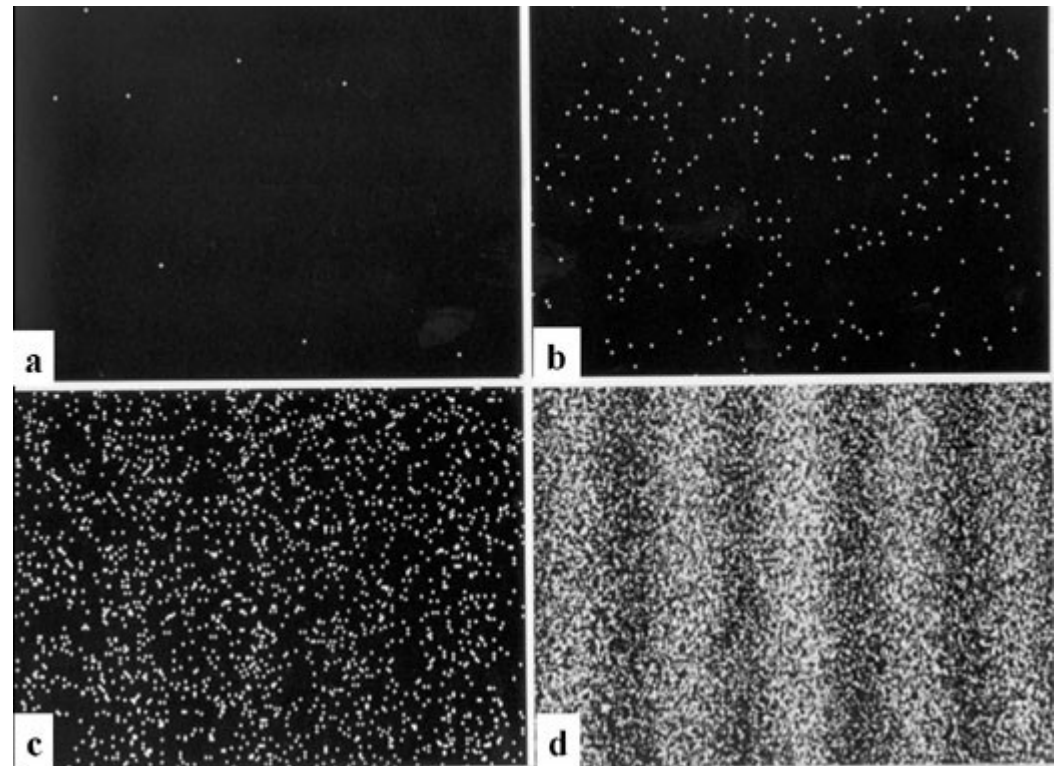
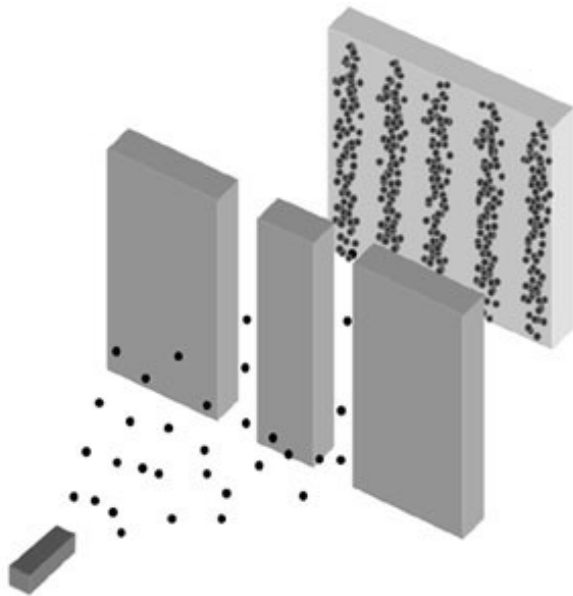
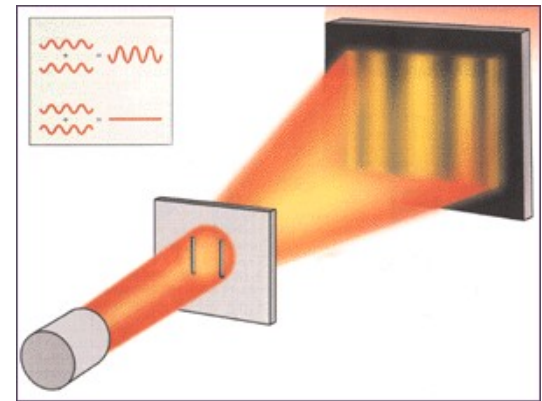


JA!



NB: Det blir også interferens om elektrona går gjennom eitt og eitt; det interfererar 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)

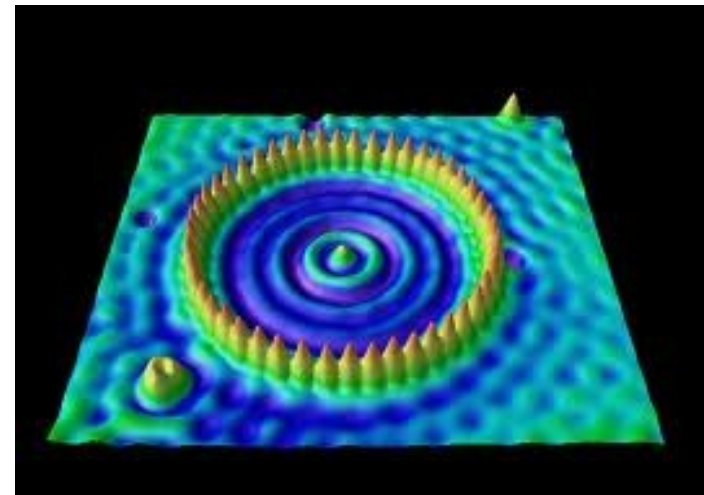


Schrödinger-likninga (for èin partikkel, tidsuavhengig)

$$\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \Psi(\mathbf{r}) + V(r) \Psi(\mathbf{r}) = E \Psi(\mathbf{r})$$

$$\Psi(x, t)$$

Bølgefunksjonen



$$\Psi(x, t)$$

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

Eksempel: Partikkel i boks -> MATLAB

Kvantisering

Sannsynstolking

Dynamikk

Måling – energi og posisjon

$$\Psi(x, t)$$

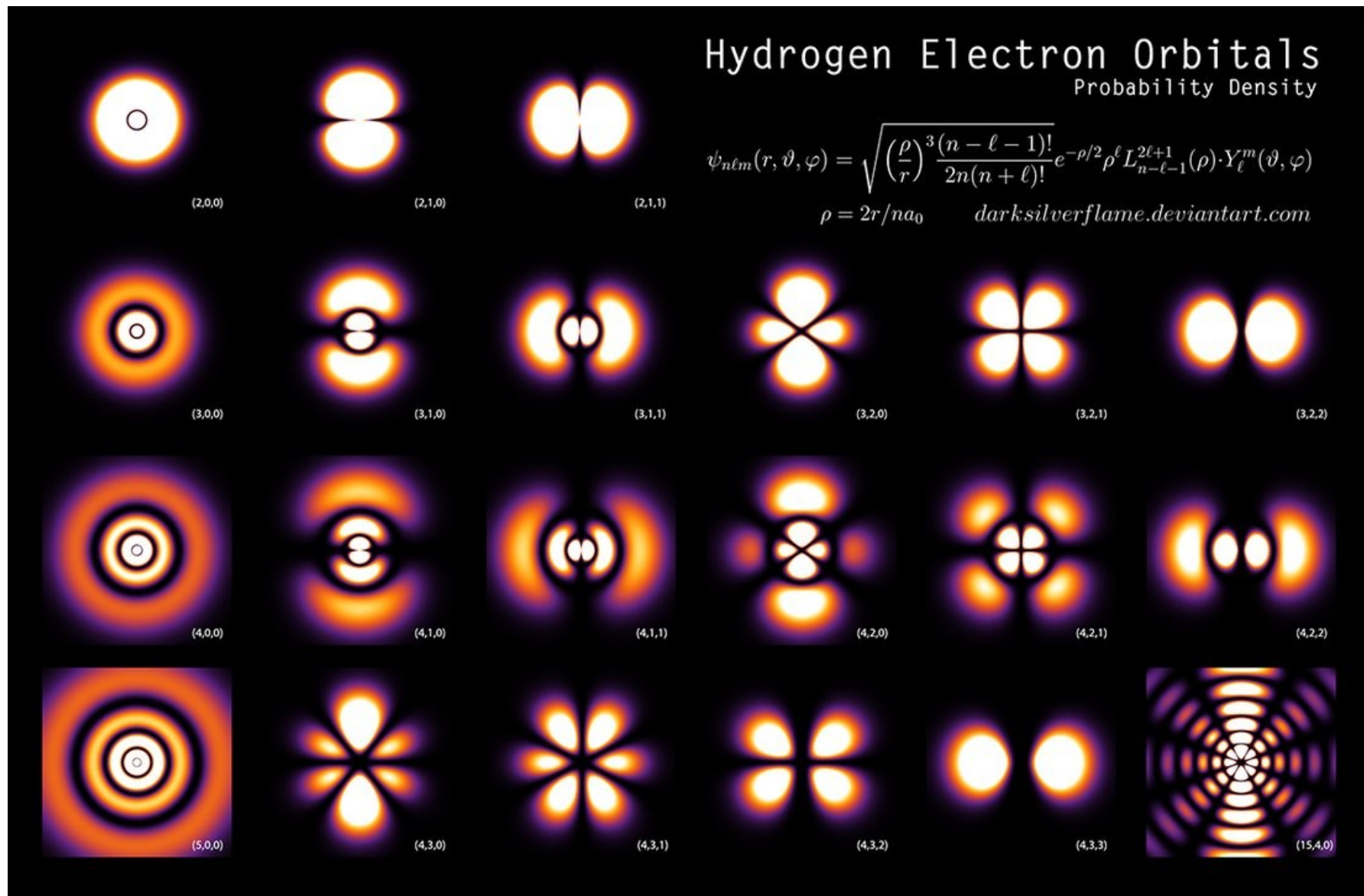
Partikkel i boks:

$$\Psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{L}} \sin\left(\frac{\pi n}{L} x\right)$$

$$E_n = \frac{\pi^2}{2L^2} n^2$$

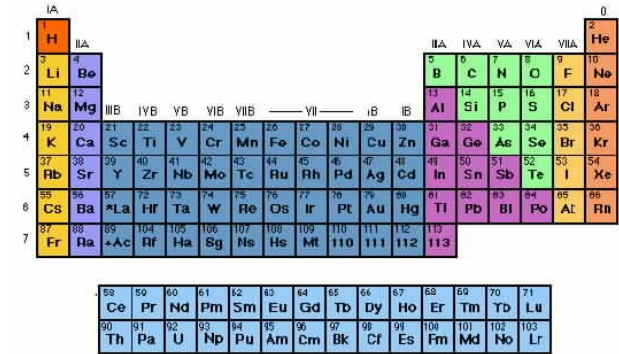
$$n=1, 2, 3, \dots$$

$\Psi(x, t)$ for hydrogen atom:



Energi for hydrogenatomet:

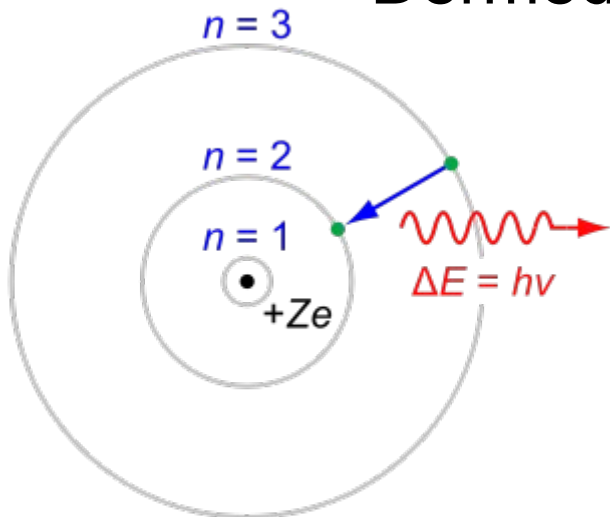
$$E_n = -\frac{B}{n^2}$$



A standard periodic table of elements, color-coded by groups. An arrow points from the text 'Alle atom:' to the periodic table.

Alle atom:

- Sett med moglege energiar, $E_1, E_2, E_3, \dots$
- Dermed: Berre visse energioverganger moglege



$$\Delta E = E_m - E_n$$

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

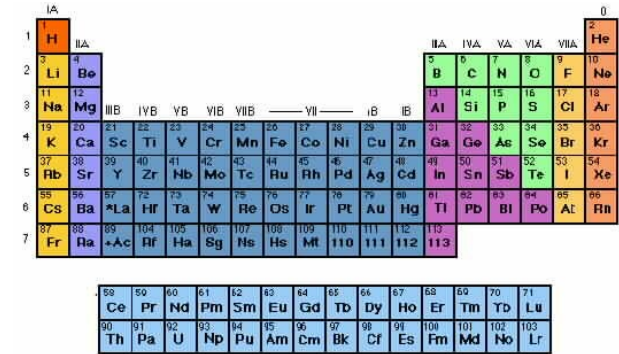
$$\frac{1}{\lambda} = K \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad n, m = 1, 2, 3, \dots$$

Energi for hydrogenatomet:

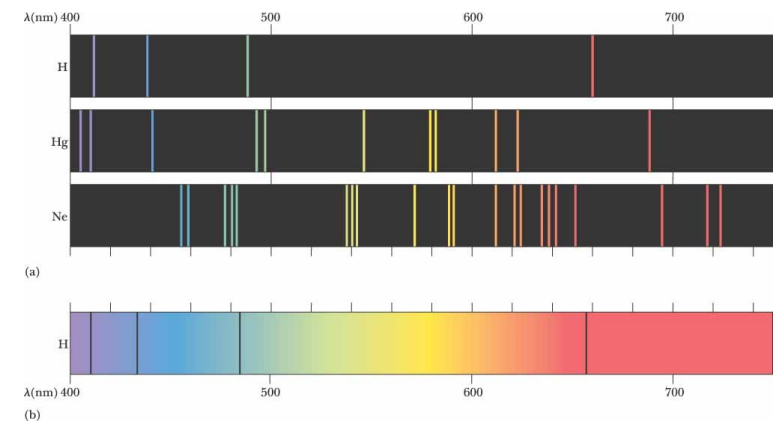
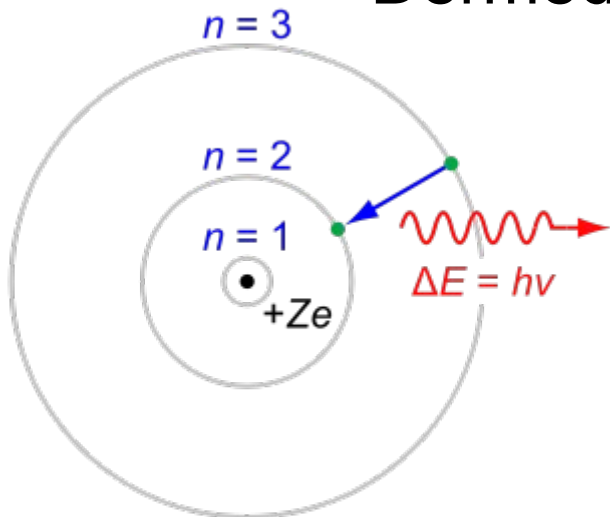
$$E_n = -\frac{B}{n^2}$$

Alle atom:

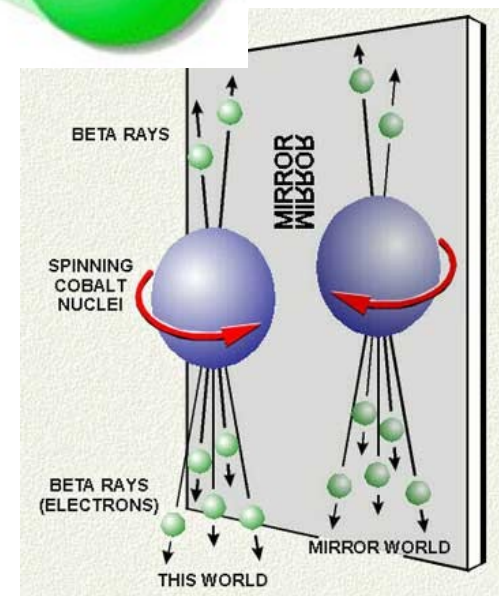
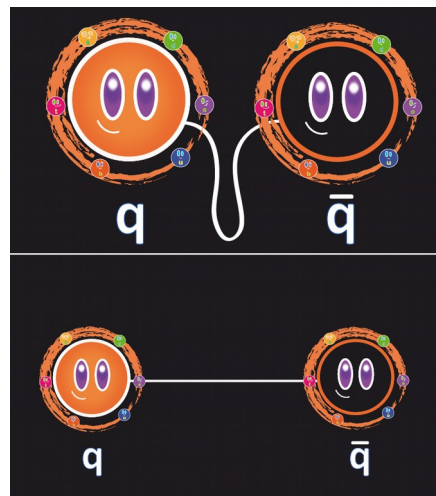
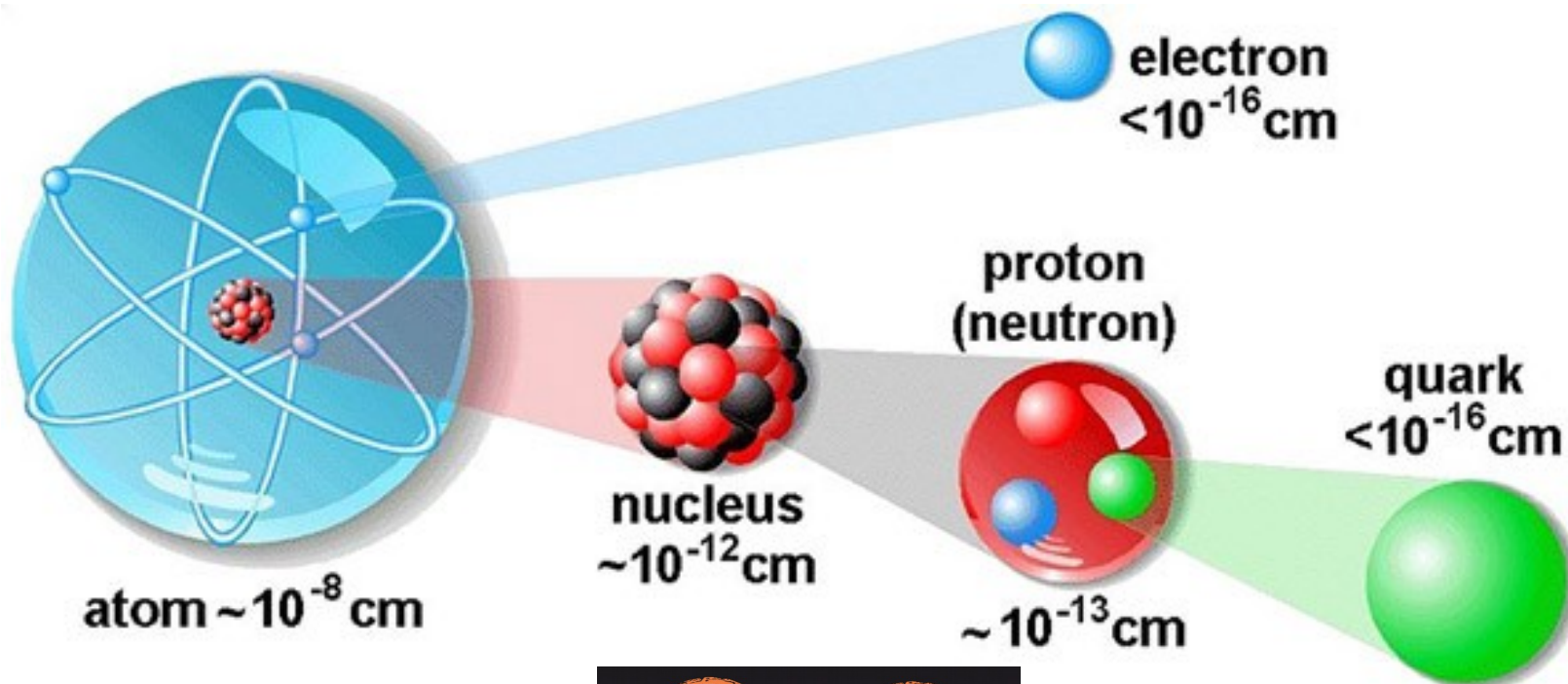
- Sett med moglege energiar, $E_1, E_2, E_3, \dots$
- Dermed: Berre visse energioverganger moglege



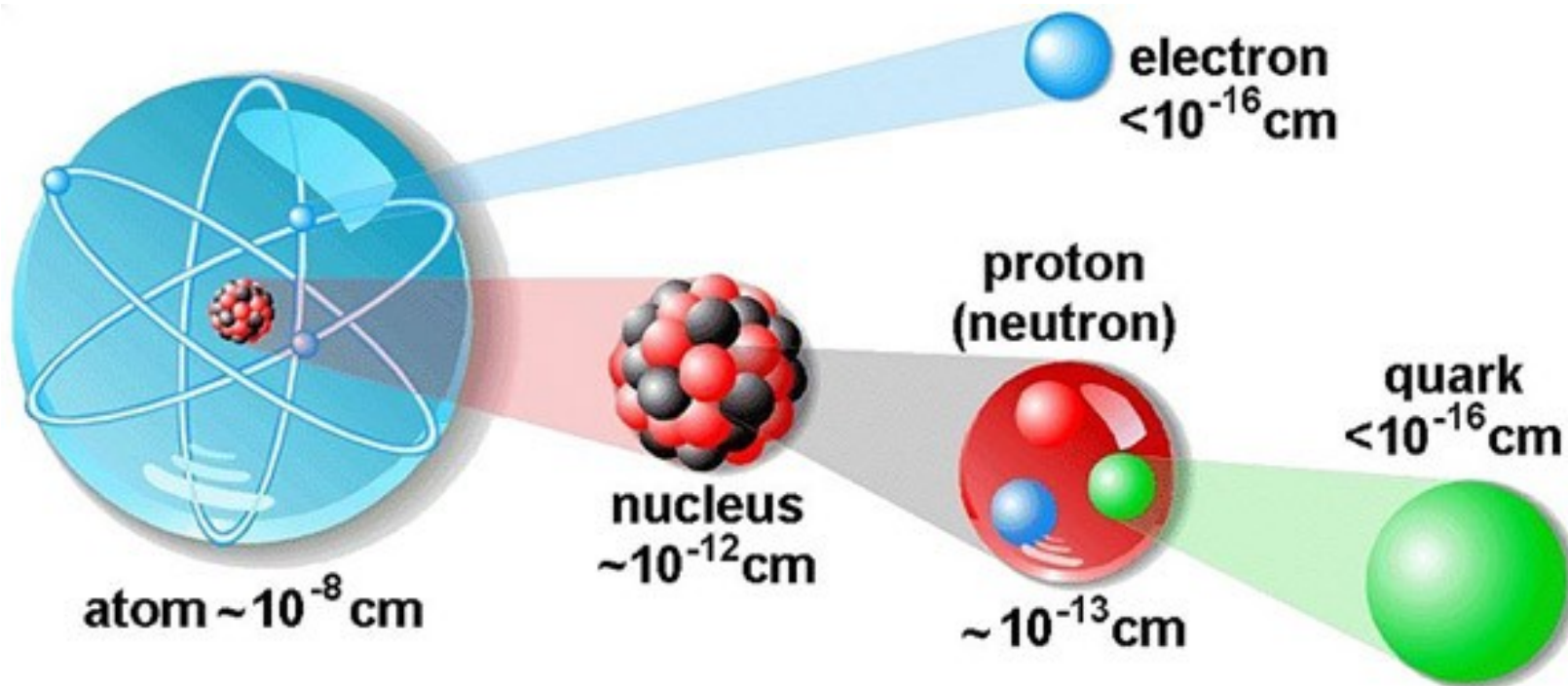
A periodic table of elements, color-coded by groups. An arrow points from the text 'Alle atom:' to the table.



Men kva er inni atomkjerna?

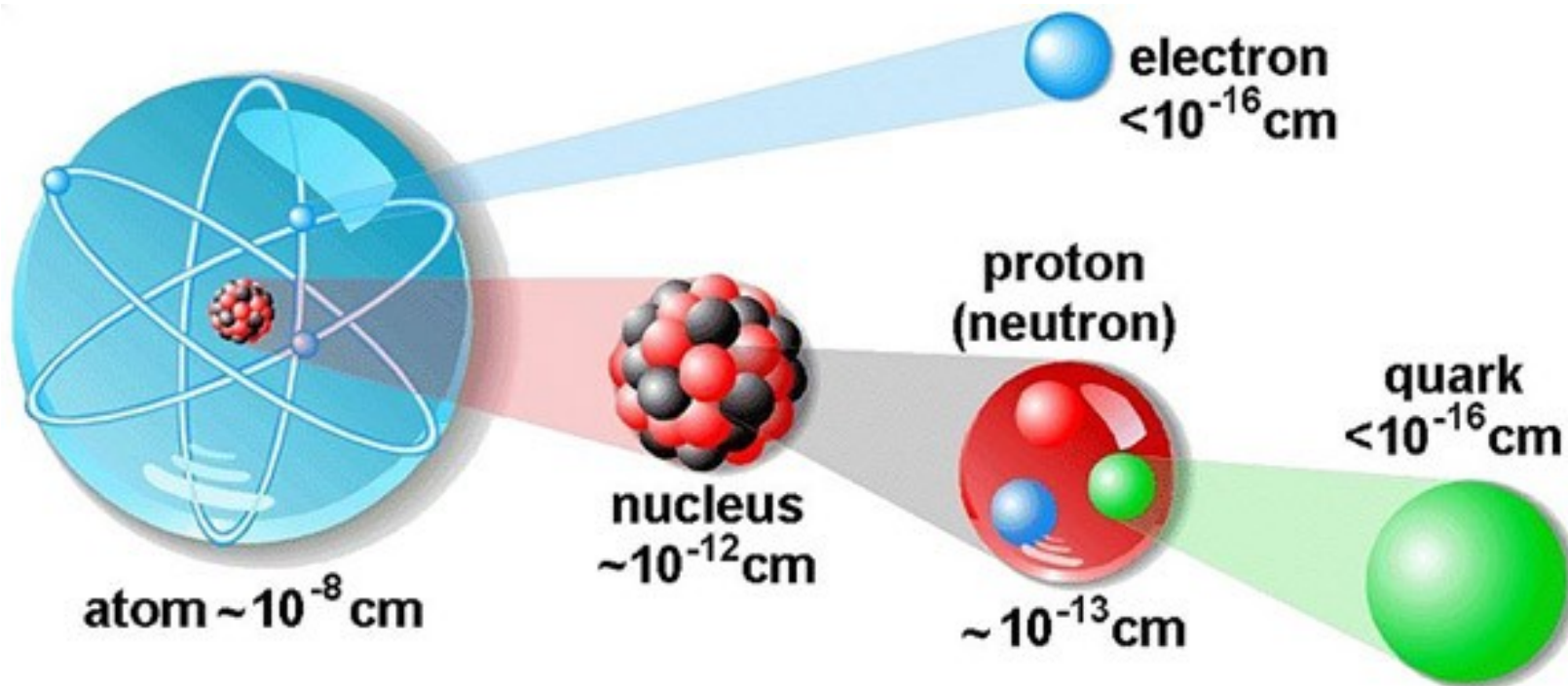


Men kva er inni atomkjerna?



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

Men kva er inni atomkjerna?



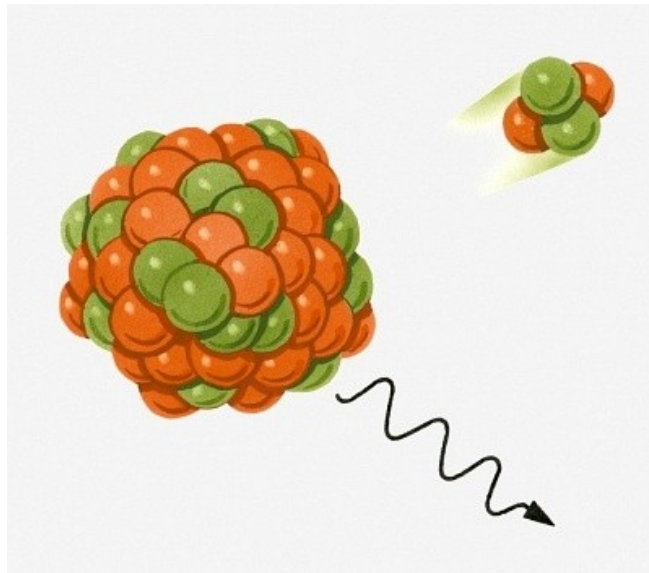
Partiklar:

Finst drøssevis (i tillegg til elektron og kvarkar).

Og vi har nok ikkje funne alle!

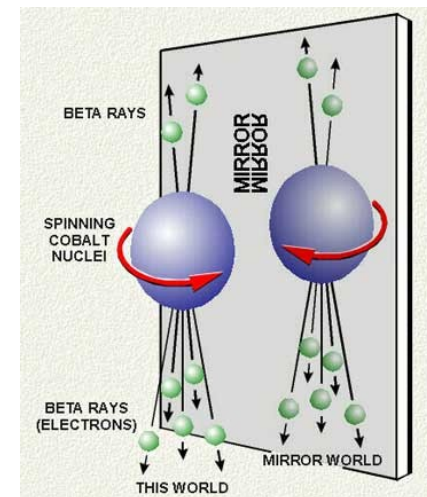
Radioaktiv stråling

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



Gamma (foton)

Beta (elektron)



Dess meir radioaktivt eit stoff er, dess raskare minkar det

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

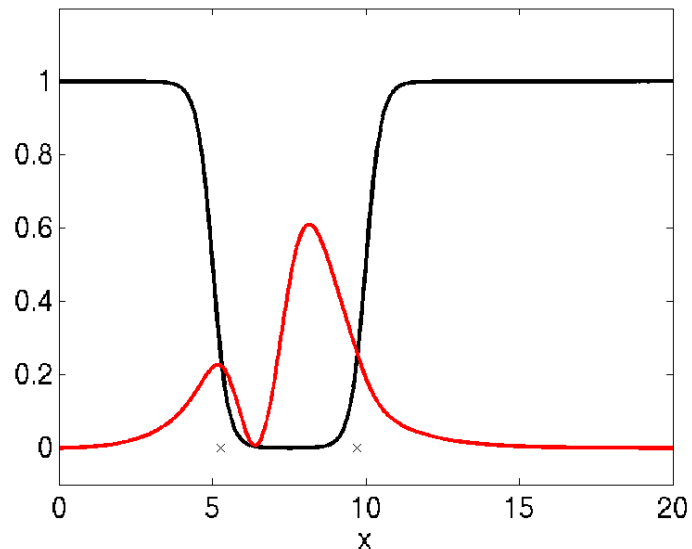
T : Halveringstid

-Tilbake til Ψ :

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?

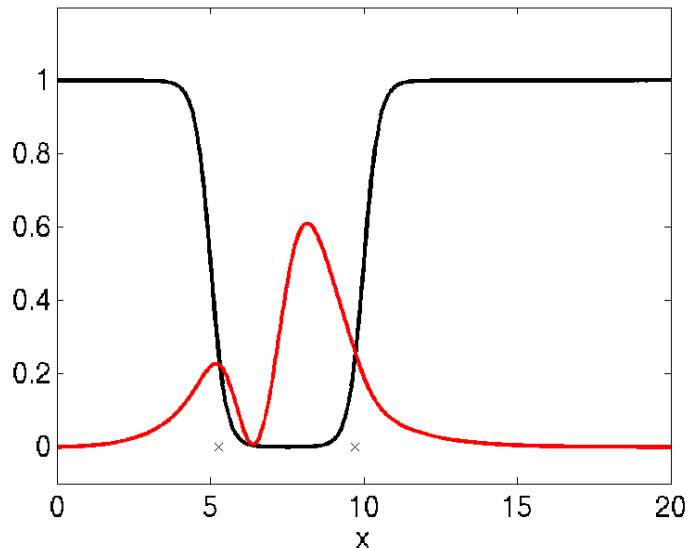


-Tilbake til Ψ :

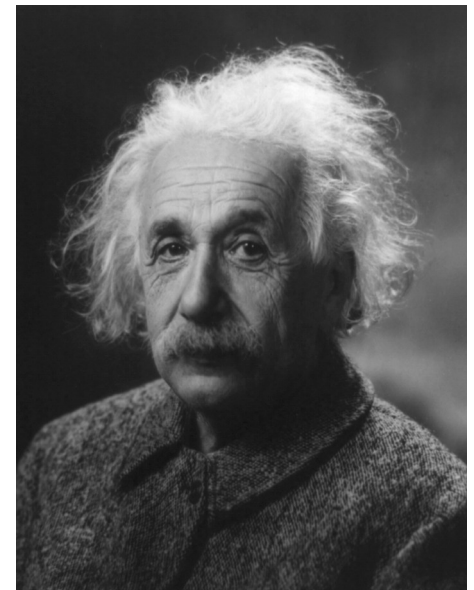
Bølgefunksjonen gir sannsynet for at ei måling av ein eller annan fysisk storleik, t.d. energi, gir eit bestemt resultat.

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 Ψ :

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 Ψ :

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?



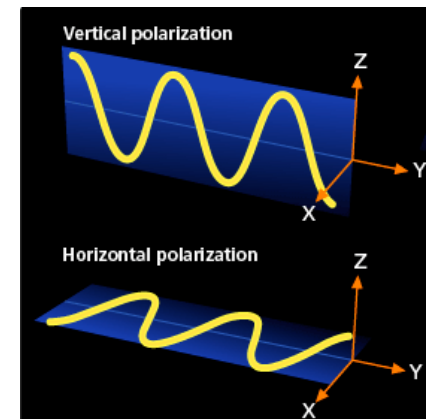
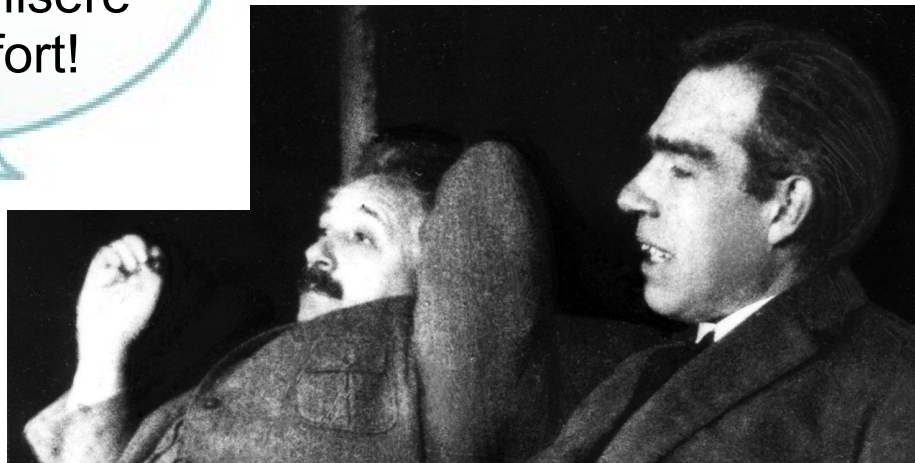
*Det gir ikkje meining
å snakke om posisjon,
energi etc. utan
måling*

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 uendeleg 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»~~



Johan Stuart Bell (1928 - 1990)

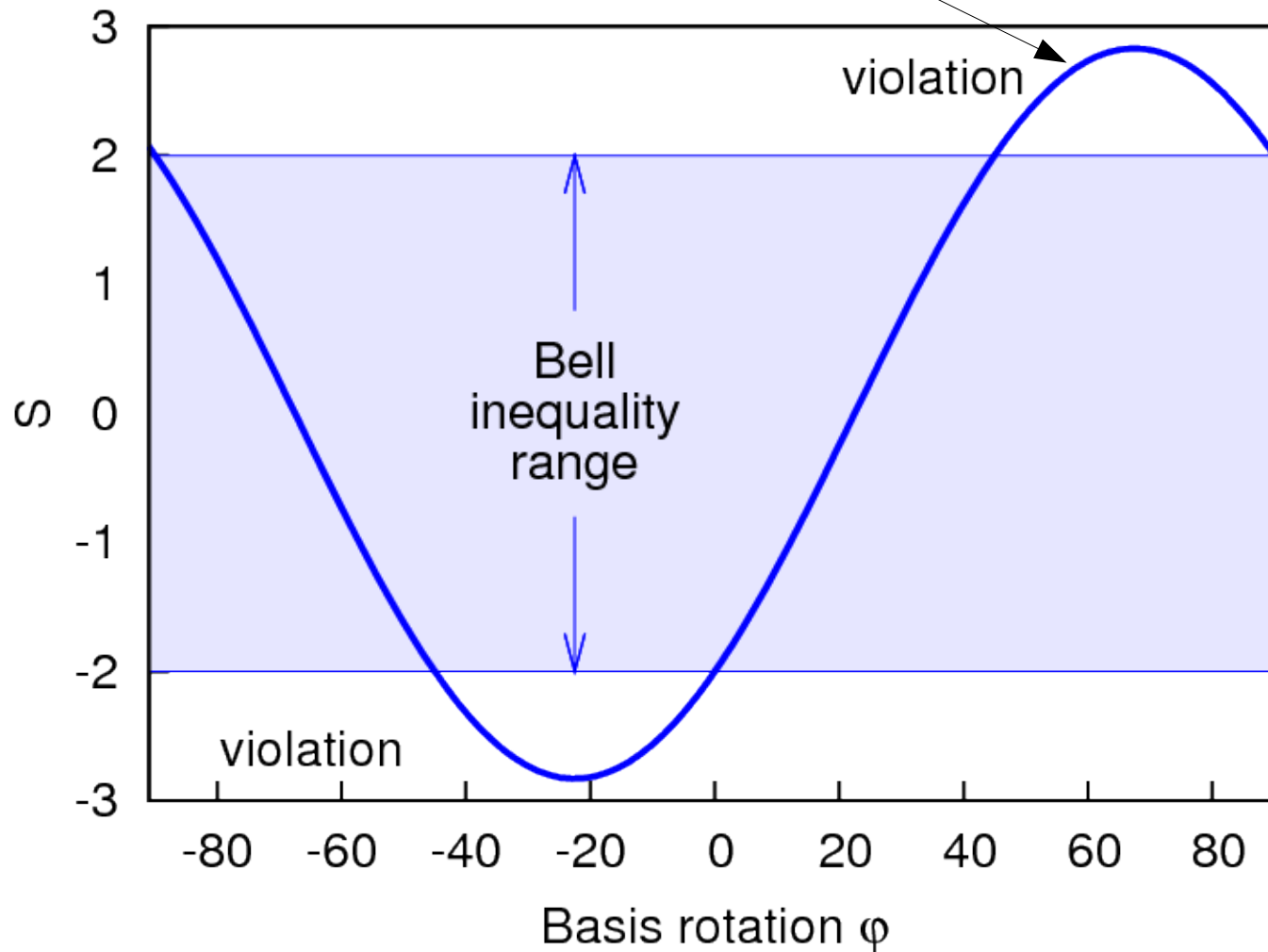
Teori

Eksperiment



Alain Aspect (f. 1947)

Bohr hadde rett!

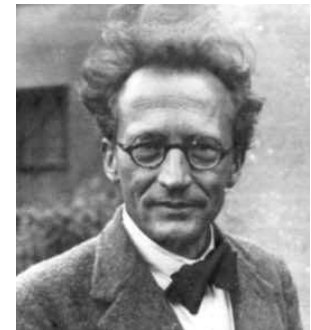


Altså:

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 partikkel!

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 *sjøve 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)

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

Eg trur eg trygt kan seie at ingen eigentleg *forstår* kvantemekanikk.

-Richard Feynman (1918 - 1988)



Ta med heim-beskjedar:

og

*-Partikkel ~~eller~~ bølge; må kunne ha to tankar
i hovudet samtidig
(dette gjeld både lys og materie)*

*-Bundne system: Kun heilt bestemte energiar mogeleg
(kvantisering)*

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

Symmetri



For kvar symmetri, er der ein
konserverv storeik

-Emmy Nöther (1882 - 1935)