

Lys, materie og kvantemekanikk

Kvinnherad senioruniversitet, 27 april 2011



Presisering:

Teoretisk fysikk er IKKJE **ontologi**.

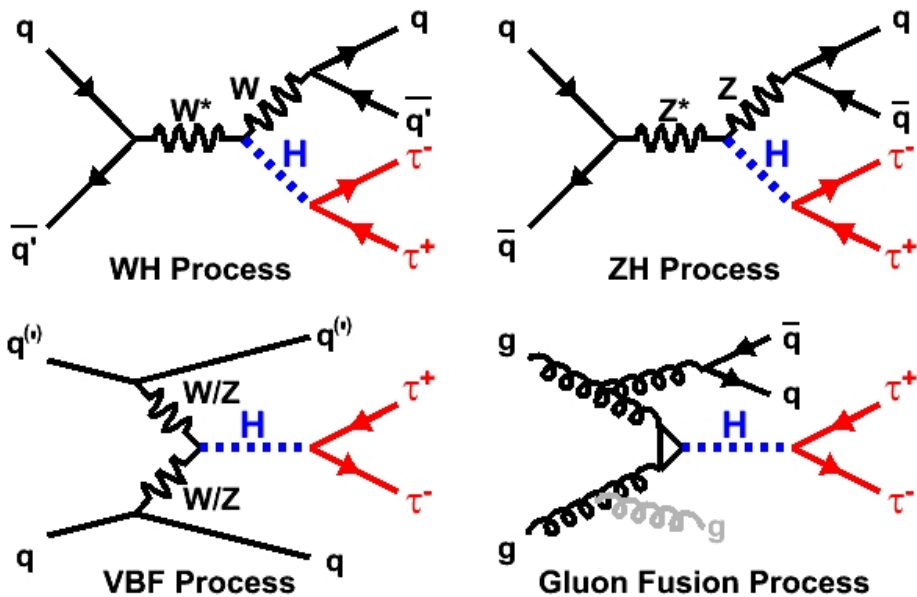
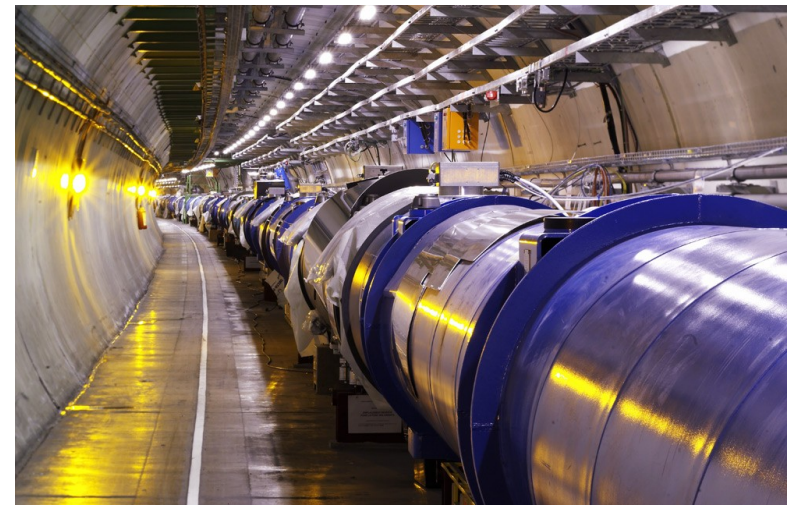
***Fysikk handlar berre om å skildre
korleis vi opplever at **materie**
oppfører seg.***



høgskolen i oslo
avdeling for ingeniørutdanning

Kvantemekanikk

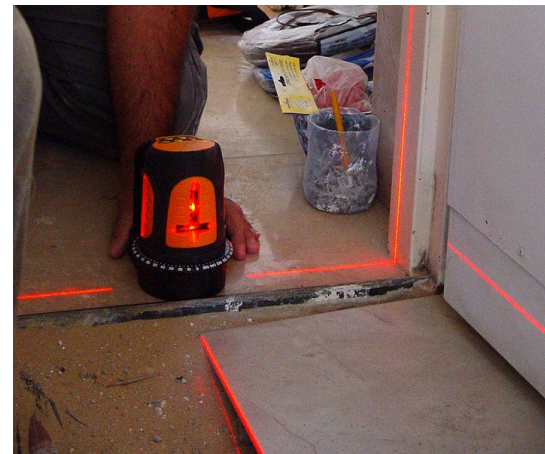
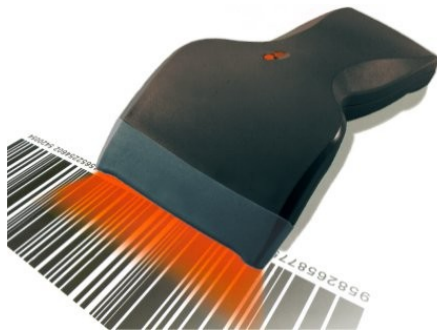
- fjern
- abstrakt
- vanskeleg
- teknisk
- for spesielt interesserte



høgskolen i oslo
avdeling for ingeniørutdanning

I dagleglivet:

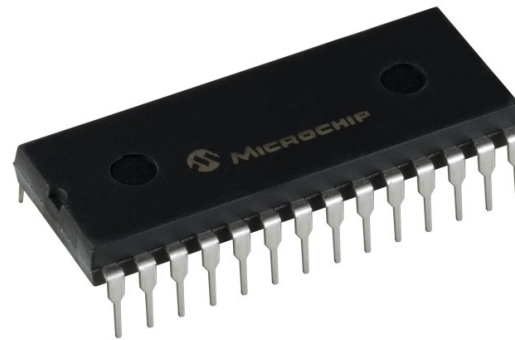
LASER



I dagleglivet:



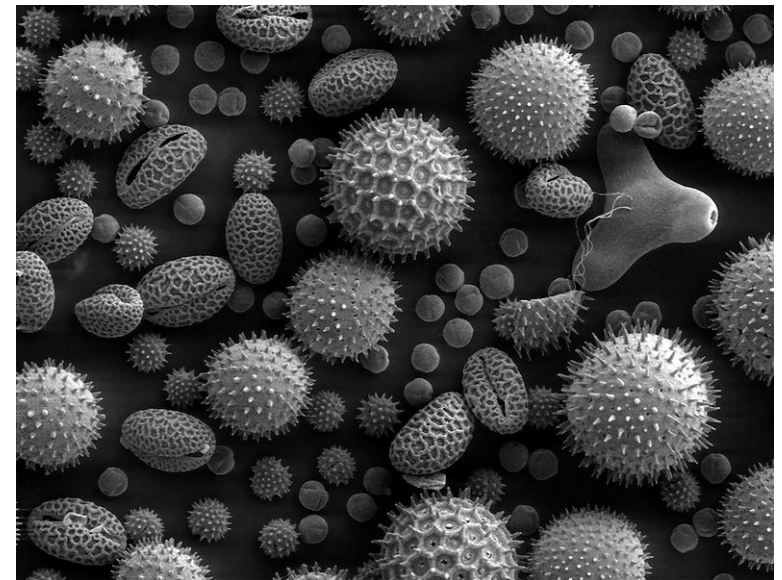
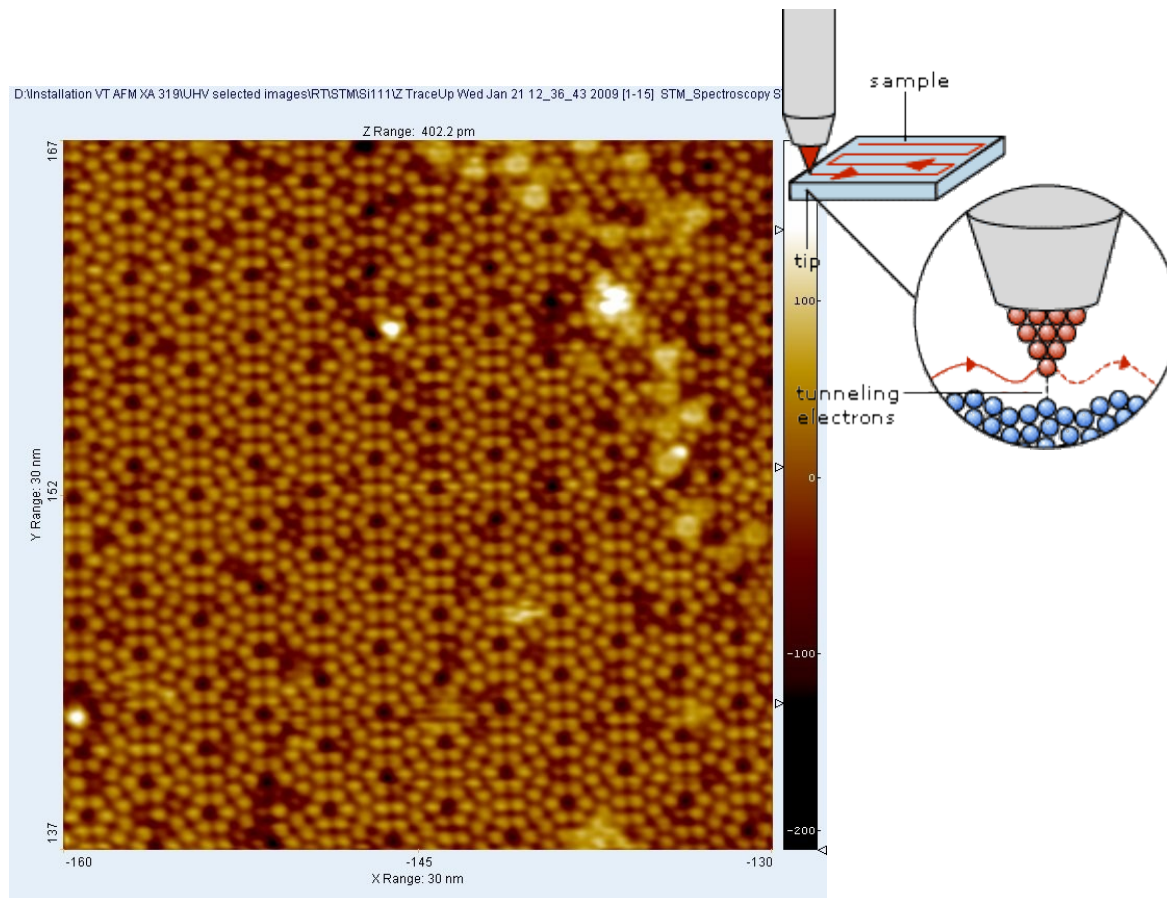
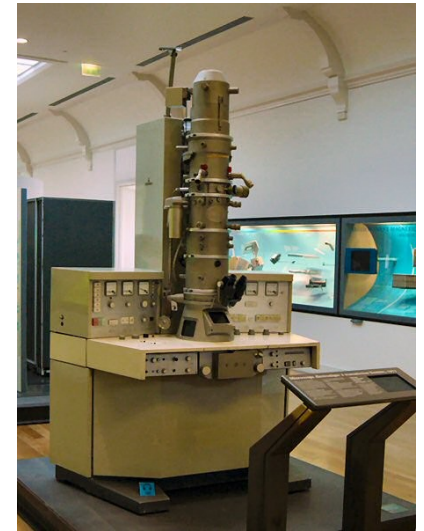
Integrerte krinsar, halvleiar-teknologi, transistorar



høgskolen i oslo
avdeling for ingeniørutdanning

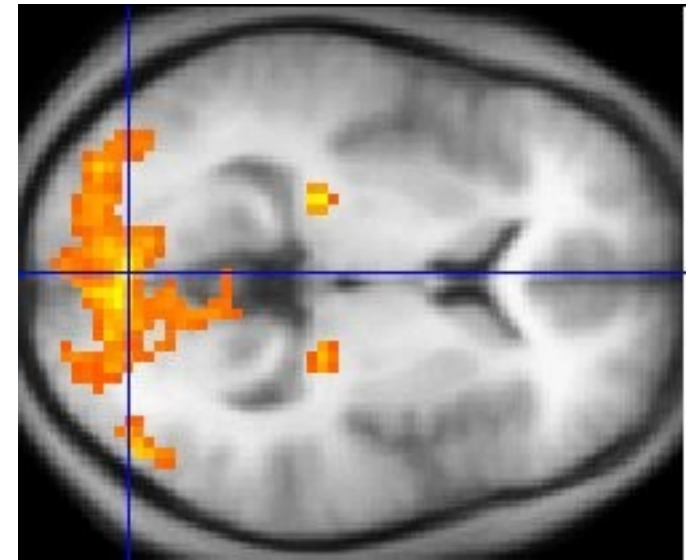
Mikroskop:

Elektron-mikroskop, «scanning tunneling» mikroskop



Innan medisin:

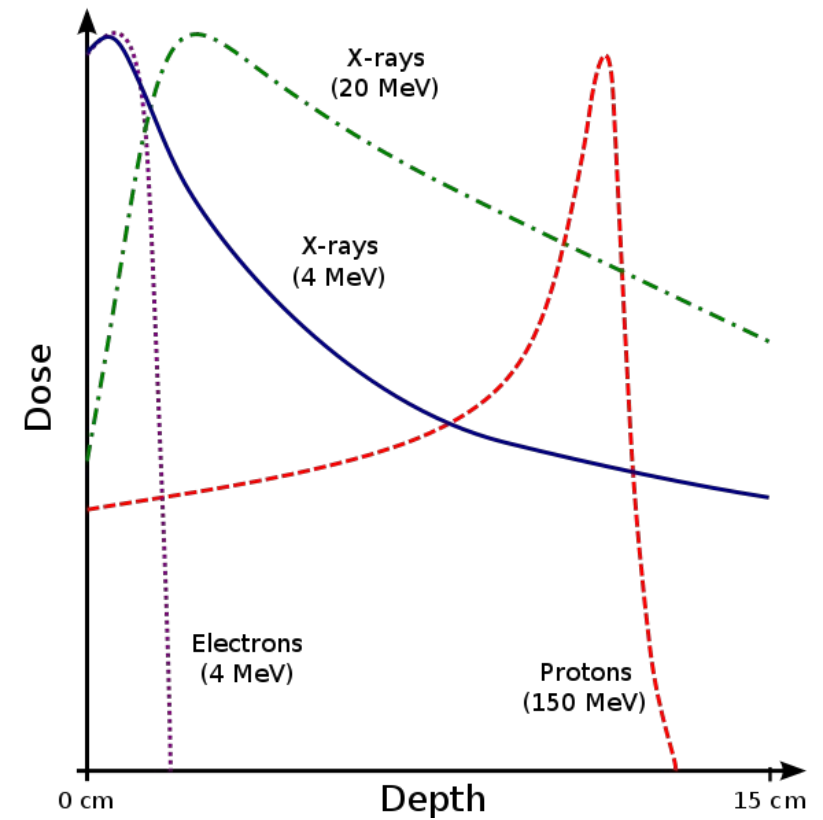
(N)MR(I)



*+fleire bilde- og
diagnostiserings-
teknikkar*

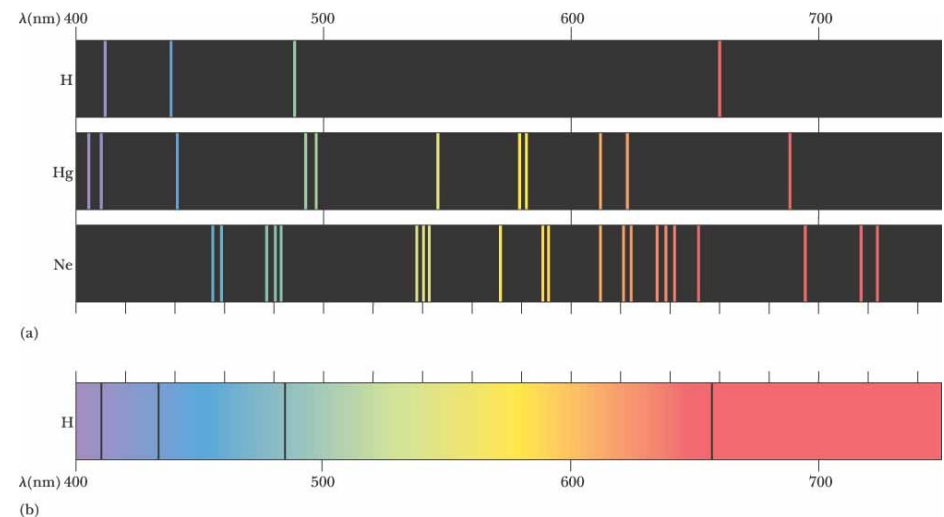
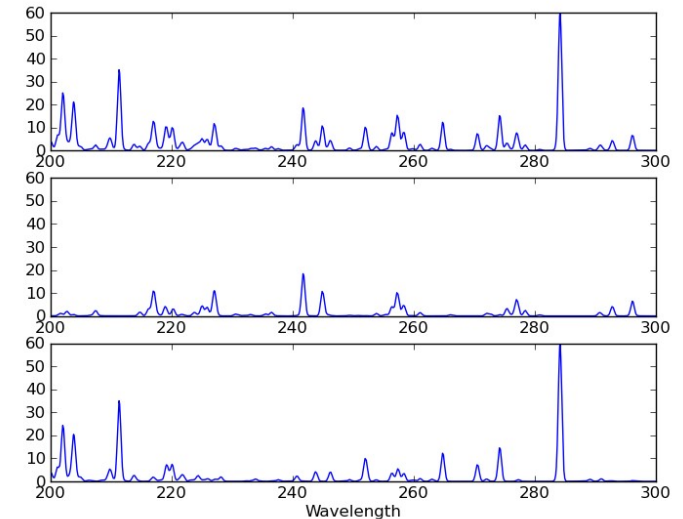
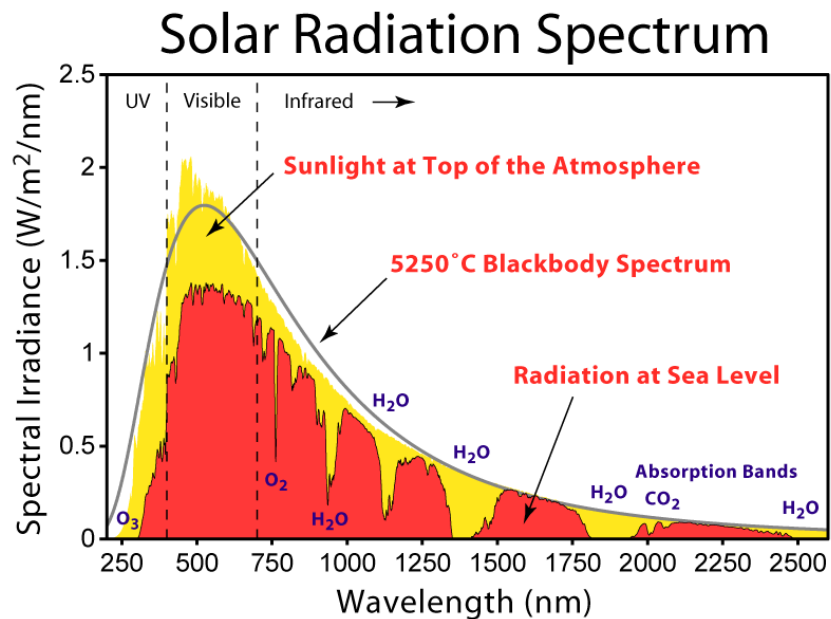
Innan medicin:

Strålingsterapi



Spektroskopi:

Identifiserer stoff ved å sende lys på det og studere lyset som kjem tilbake



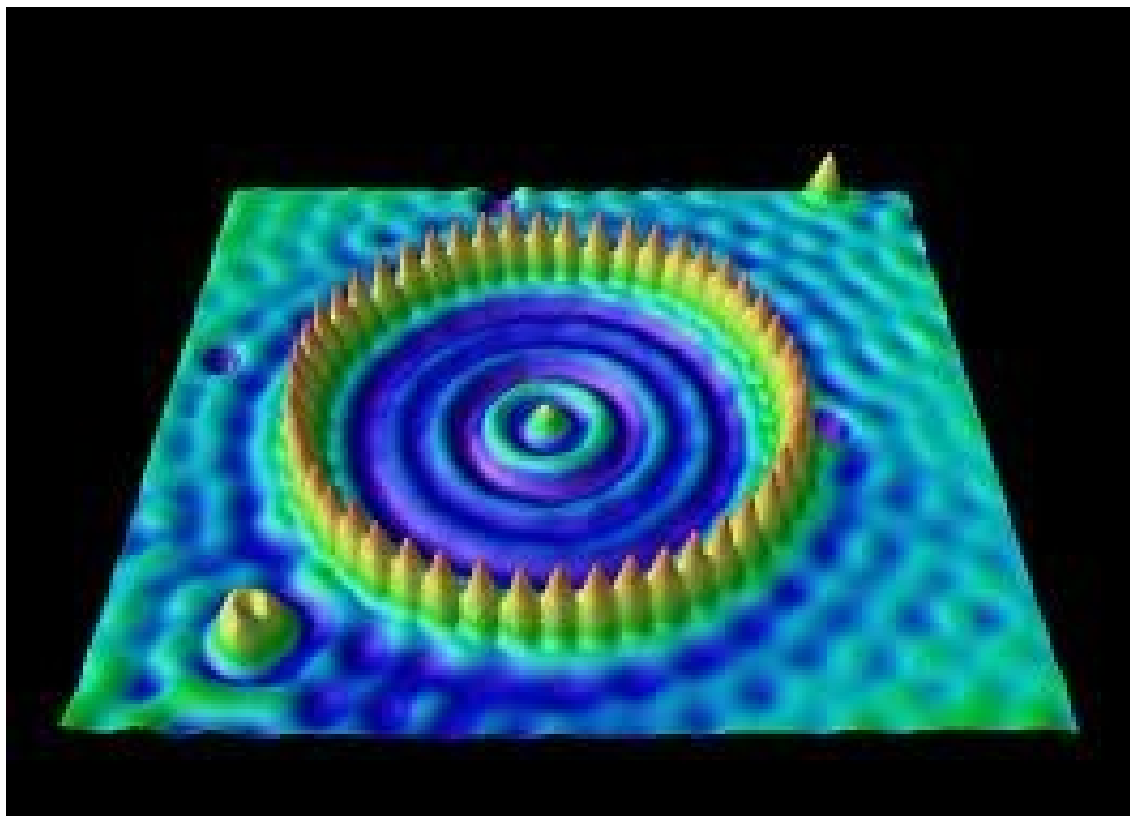
©2004 Thomson - Brooks/Cole

Energiproduksjon:



Våpen:

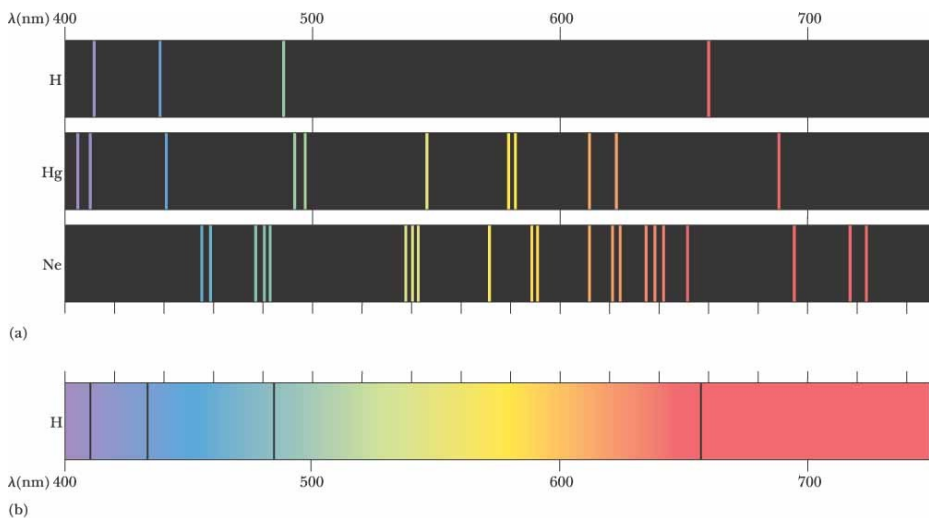




To store bragder som kvantemekanikken har oppnådd i høve til det å forstå ting vi observerar:

Forklurar det periodiske systemet

Forklarar linjespektrum

[illegible]

Kanskje enda større følger for måten vi ser den fysiske verda på:

-Partikkel eller bølge; må kunne ha to tankar i hovudet samtidig

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

Lys





Isaac Newton (1642 - 1726)

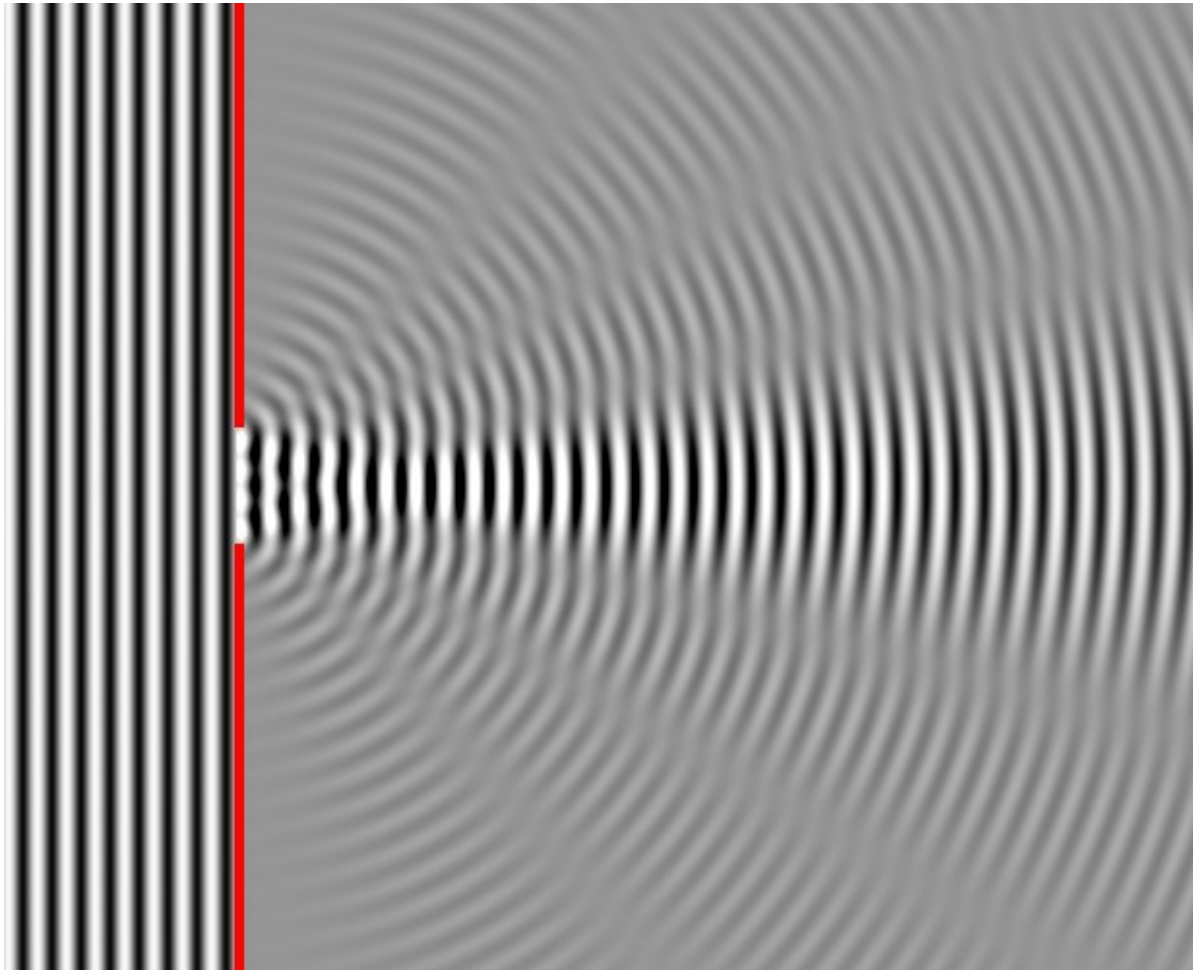
*Lys må oppfattast
som små partiklar*

*Lys må oppfattast
som bølger*

Christiaan Huygens (1629 - 1695)

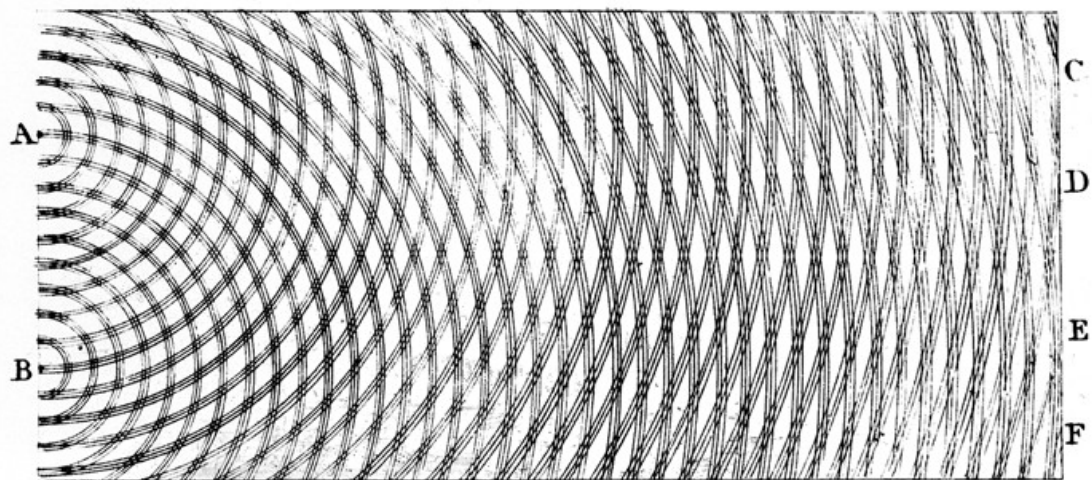
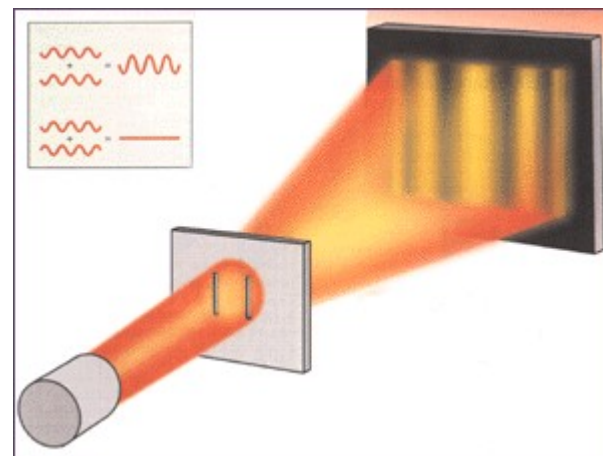


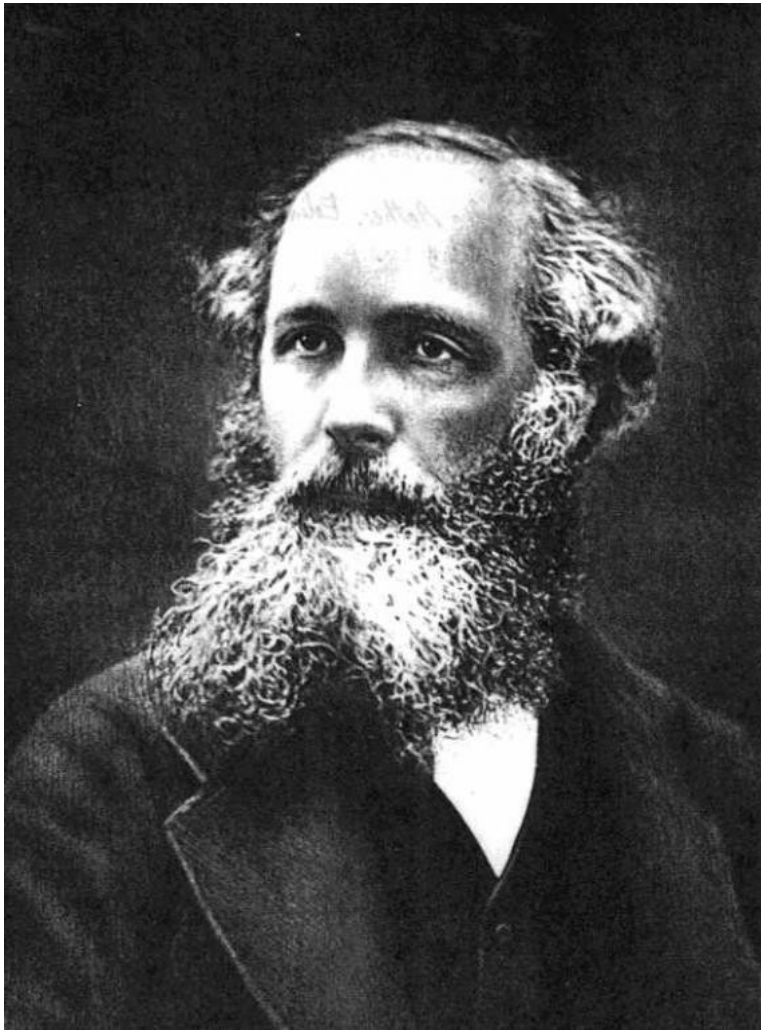
Bølger blir bøygde





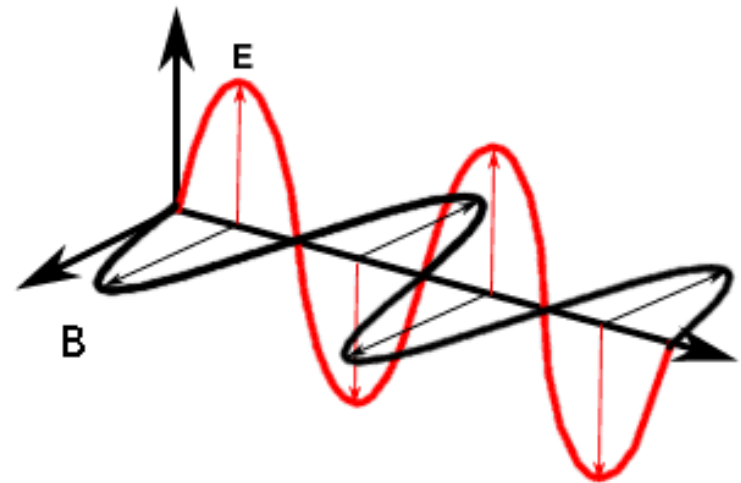
Thomas Young (1773 - 1829)



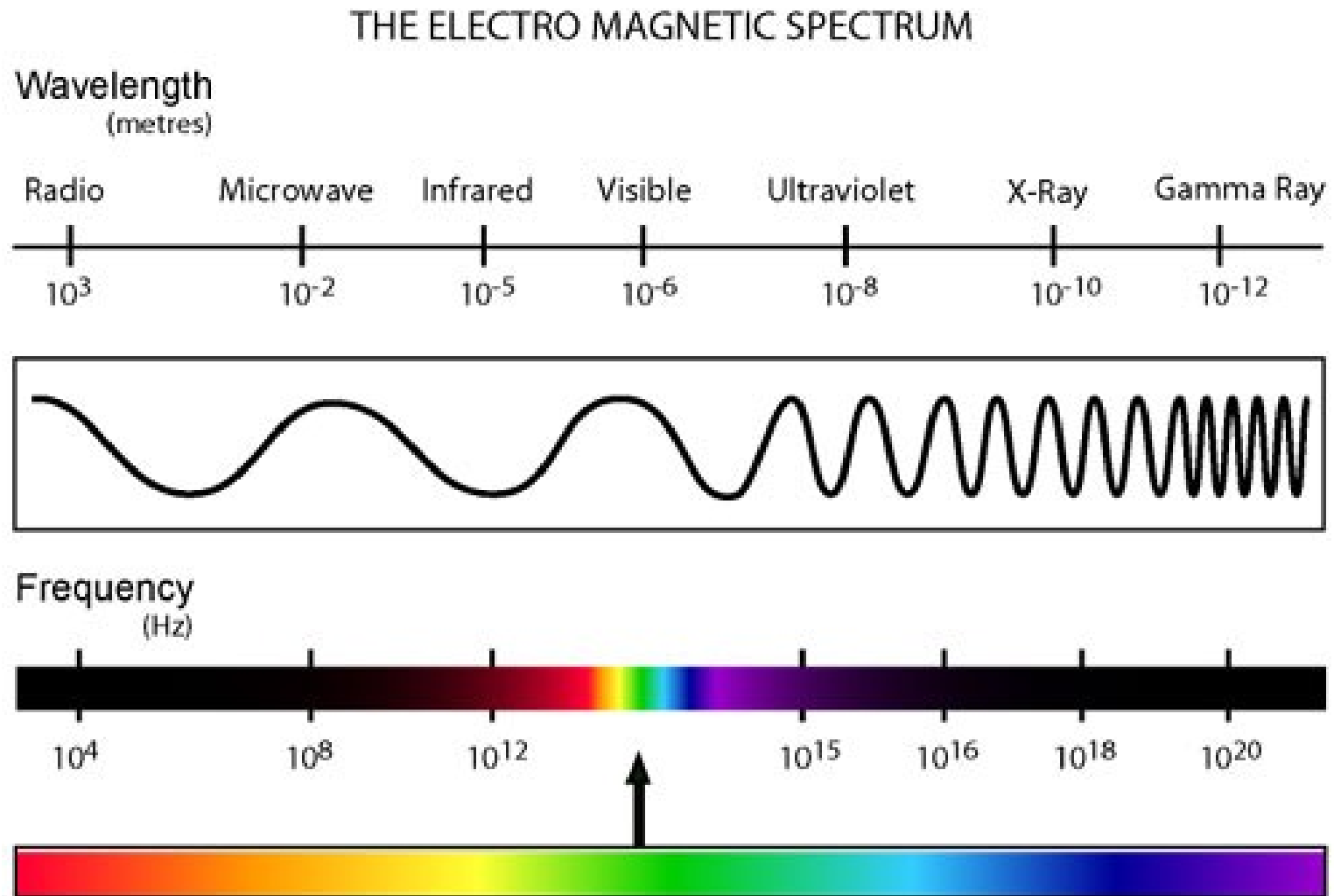


James Clerk Maxwell (1831 - 1879)

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



Elektro-magnetisk stråling



Polarisering

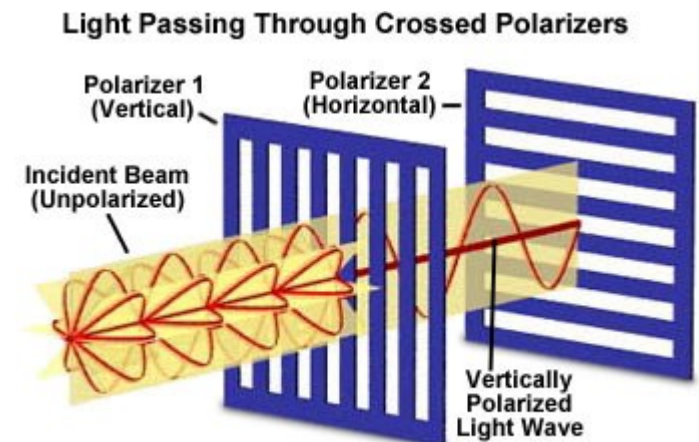
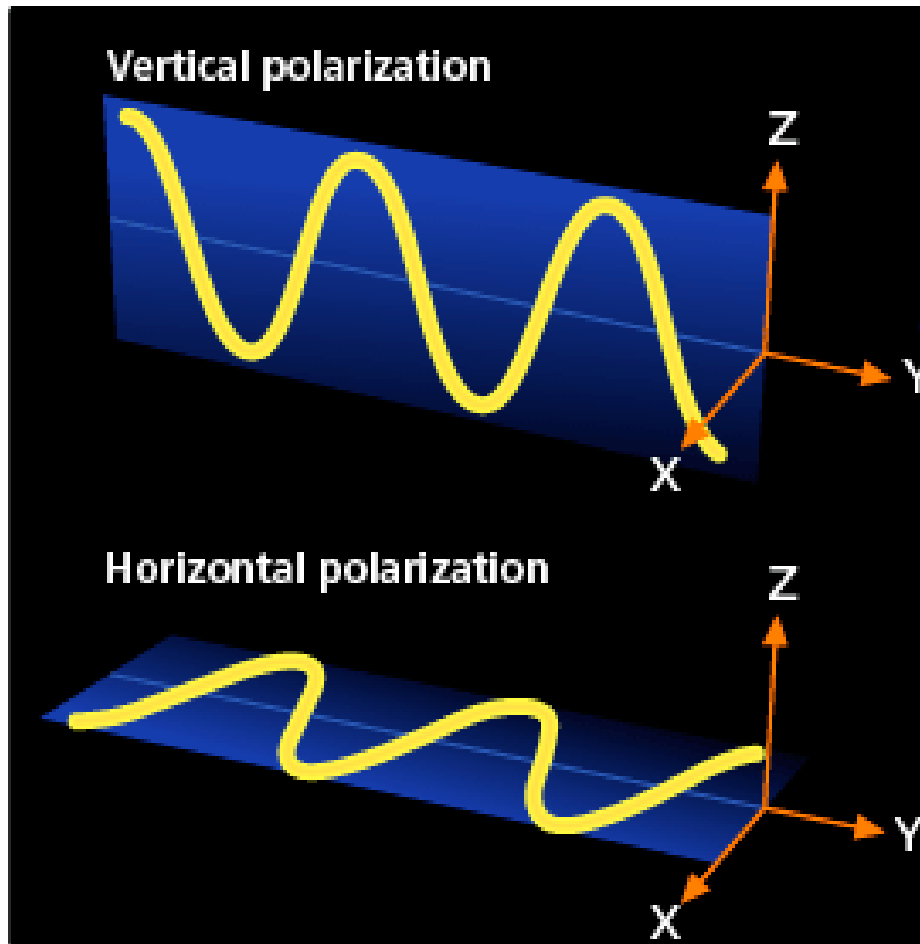
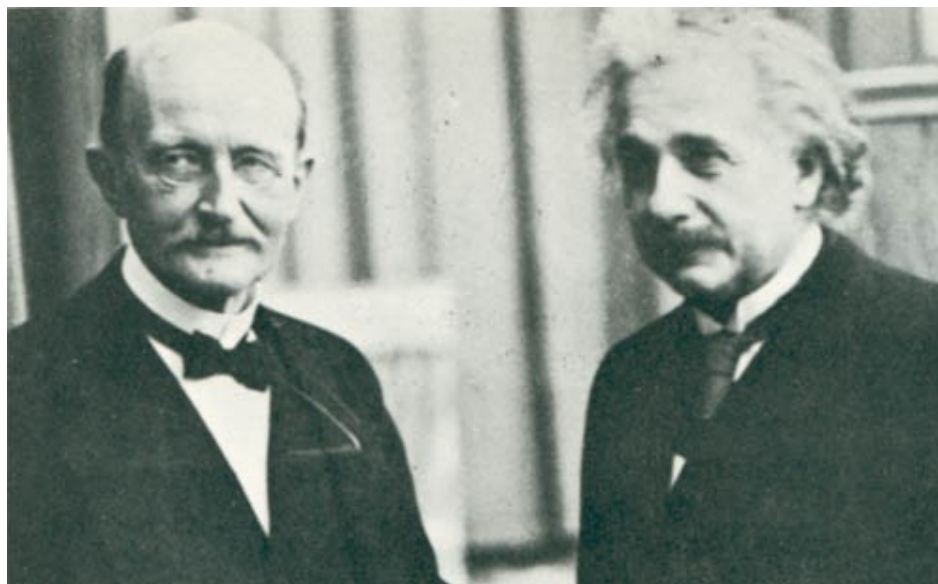
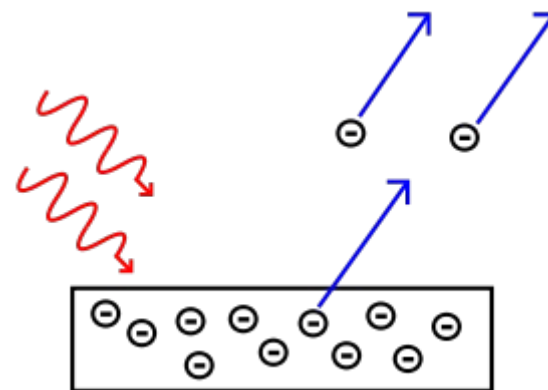
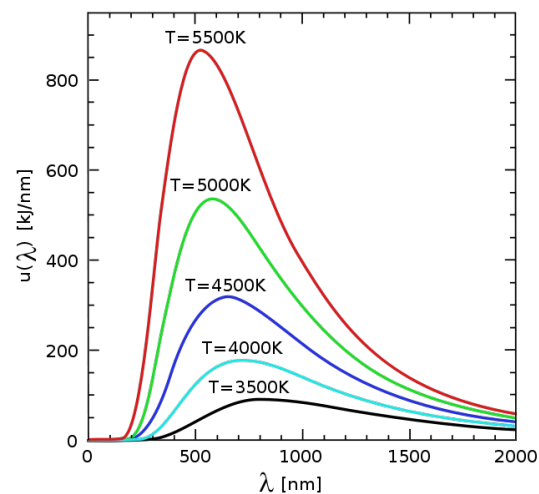


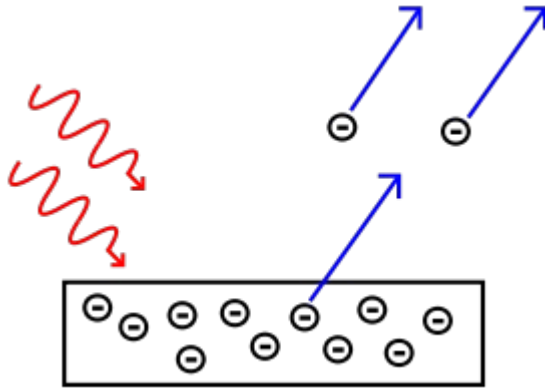
Figure 1

Max Planck
(1858 - 1947)



Albert Einstein
(1879 - 1955)





Hadde sett:

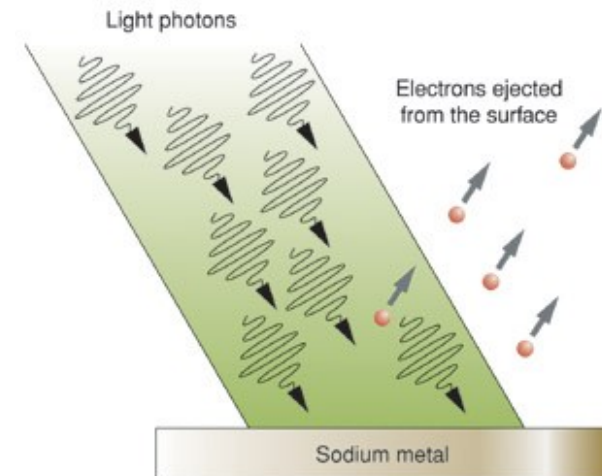
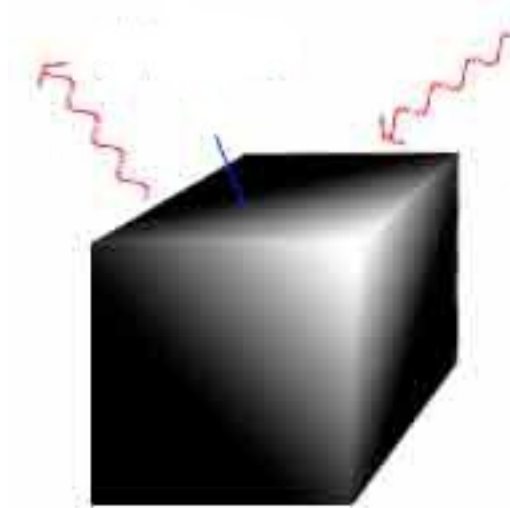
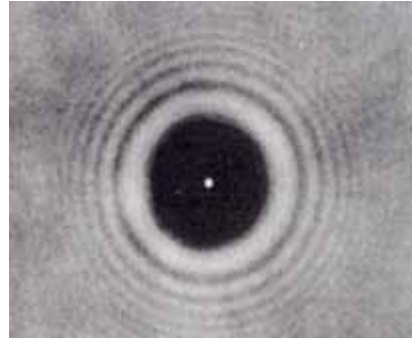
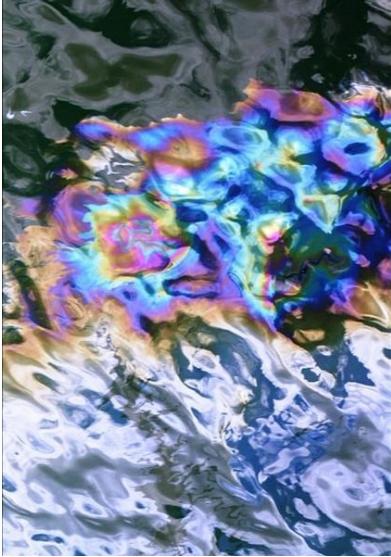
-Farten elektrona kjem ut med, er heilt uavhengig av intensiteten på lyset

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

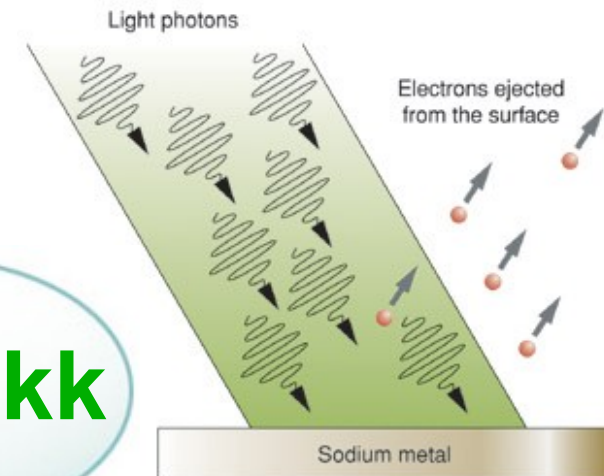
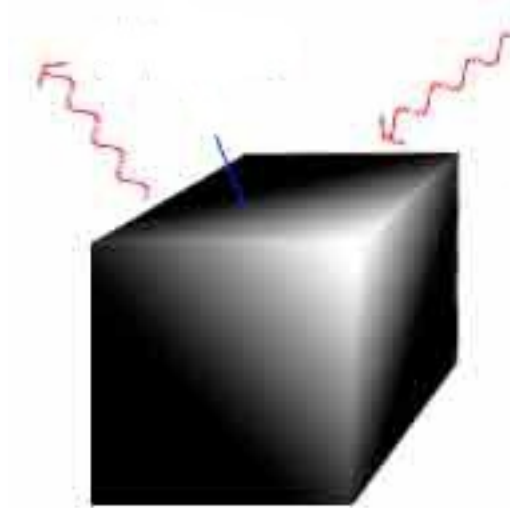
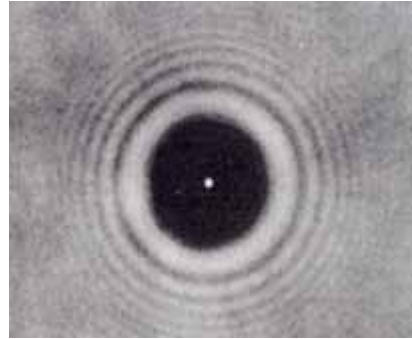
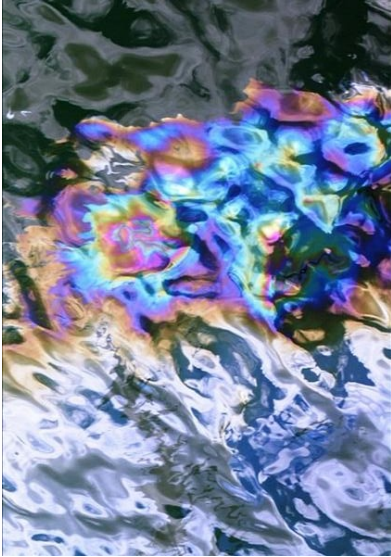
Einstein:

- Lys består av små kvant med energi gitt ved frekvensen
- Elektrona i metallet vert lausrivne frå metallet ved at kvart elektron tar til seg eitt foton.

Bølge eller partikkel?



Bølge eller partikkel?

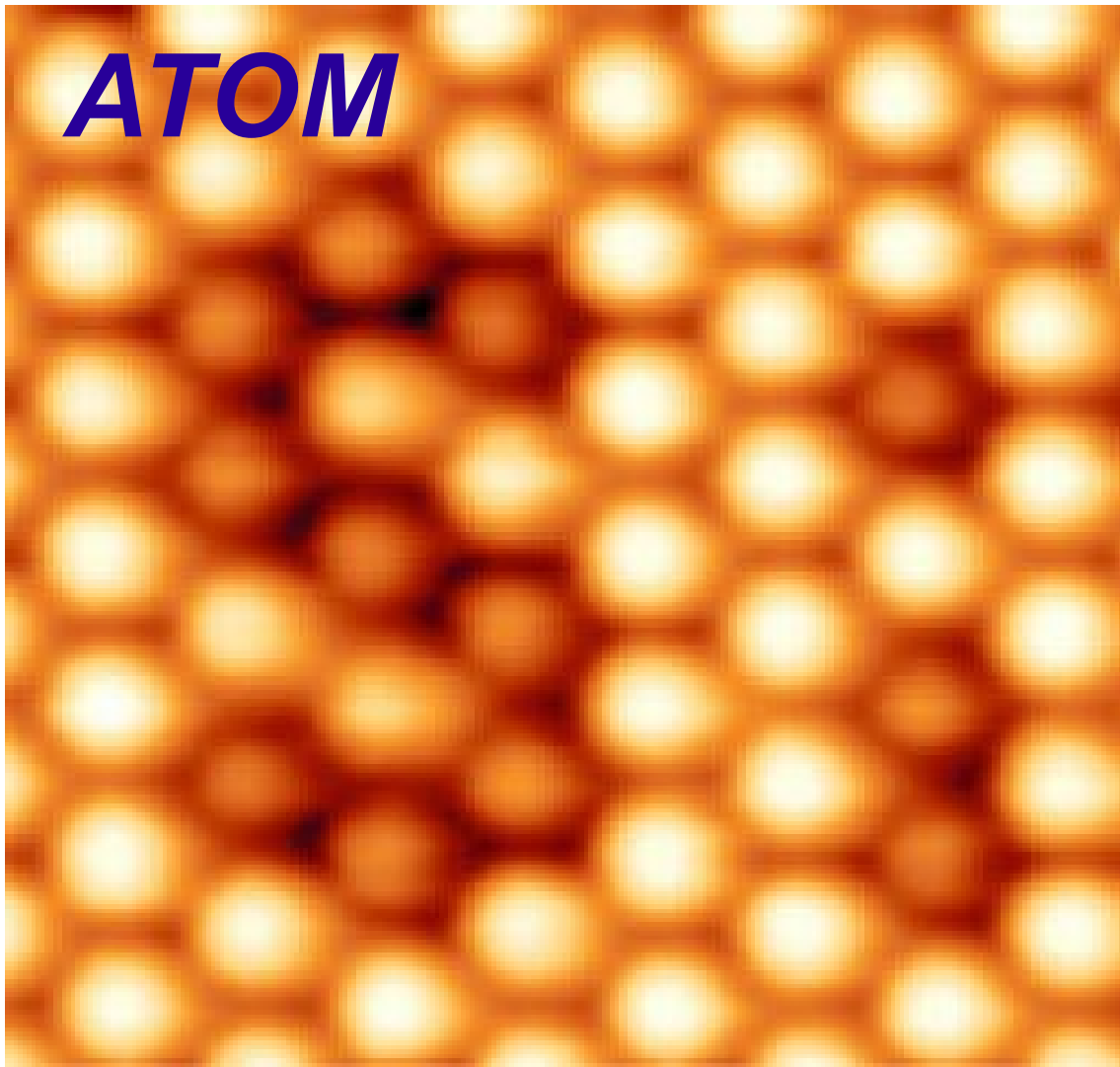


Ja, takk



høgskolen i oslo
avdeling for ingeniørutdanning

ATOM

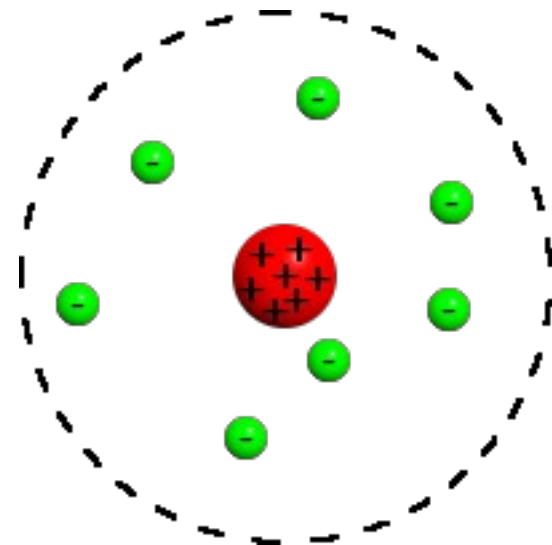


ATOM

-Tanken om at materien har ein minste del er minst 2600 år gamal (India, Hellas)

-Meir konkrete teikn på at materie er bygd opp av atom frå 1800-talet av (Dalton, Brown, Thomson, Rutherford...)

-Starten på 1900-talet:



høgskolen i oslo

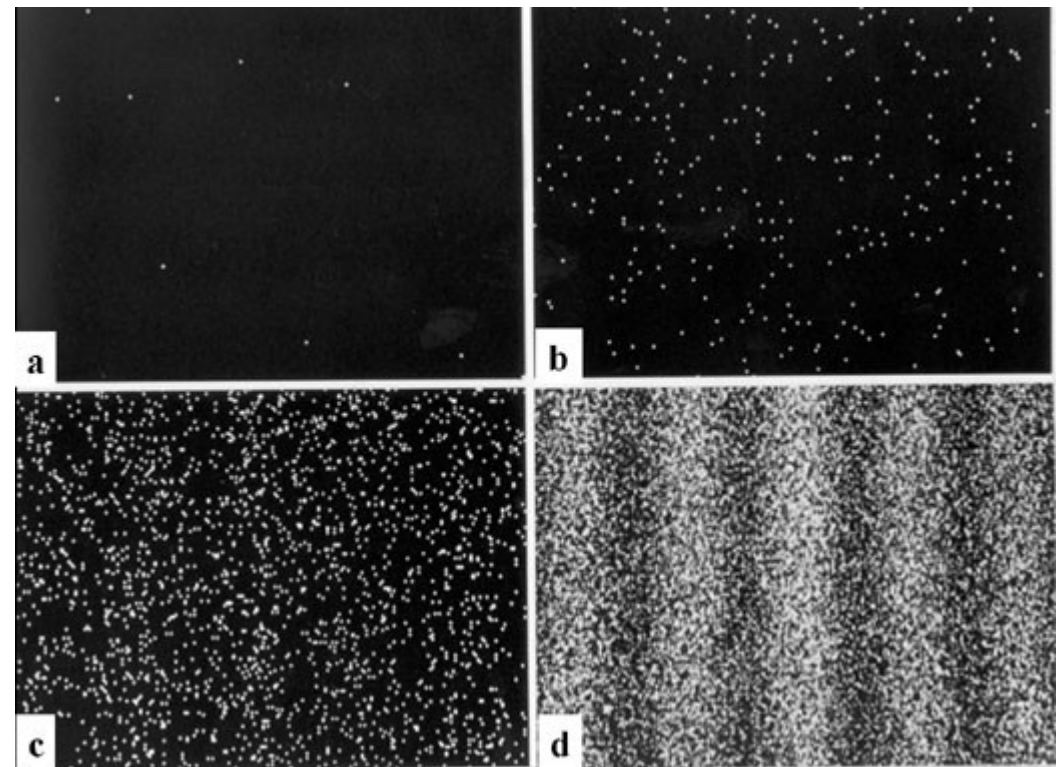
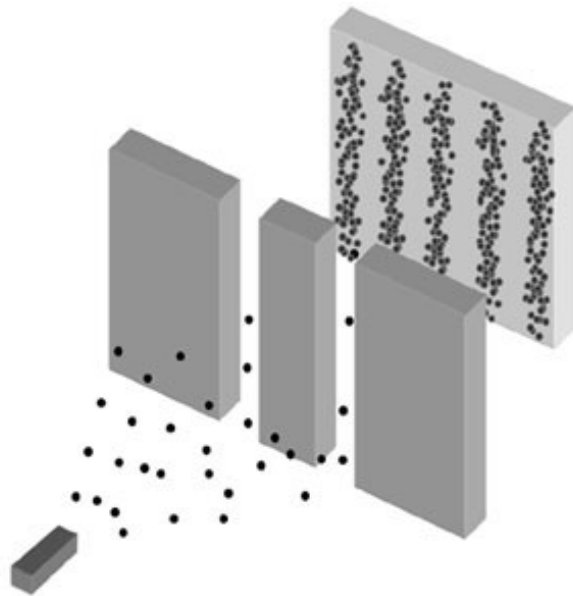
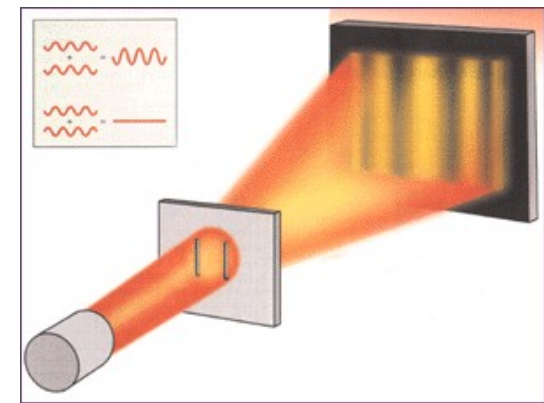
avdeling for ingeniørutdanning



Luis de Broglie (1892 – 1987)



JA!



Miraklet at matematikk-språket passer så bra til å formulere dei fysiske lovene er ei fantastisk gave vi korkje forstår eller fortener.

Eugene P. Wigner (1902 - 1995)



Hvis folk ikkje trur at matematikk er enkelt, kan det berre skuldast at dei ikkje forstår kor komplisert livet er.

John von Neumann (1903 - 1947)



høgskolen i oslo
avdeling for ingeniørutdanning



Werner Heisenberg (1901 - 1976)



Erwin Schrödinger (1887 - 1961)



Niels Bohr (1885 - 1962)



Schrödinger-likninga (for èin partikkel, èin romleg dimensjon)

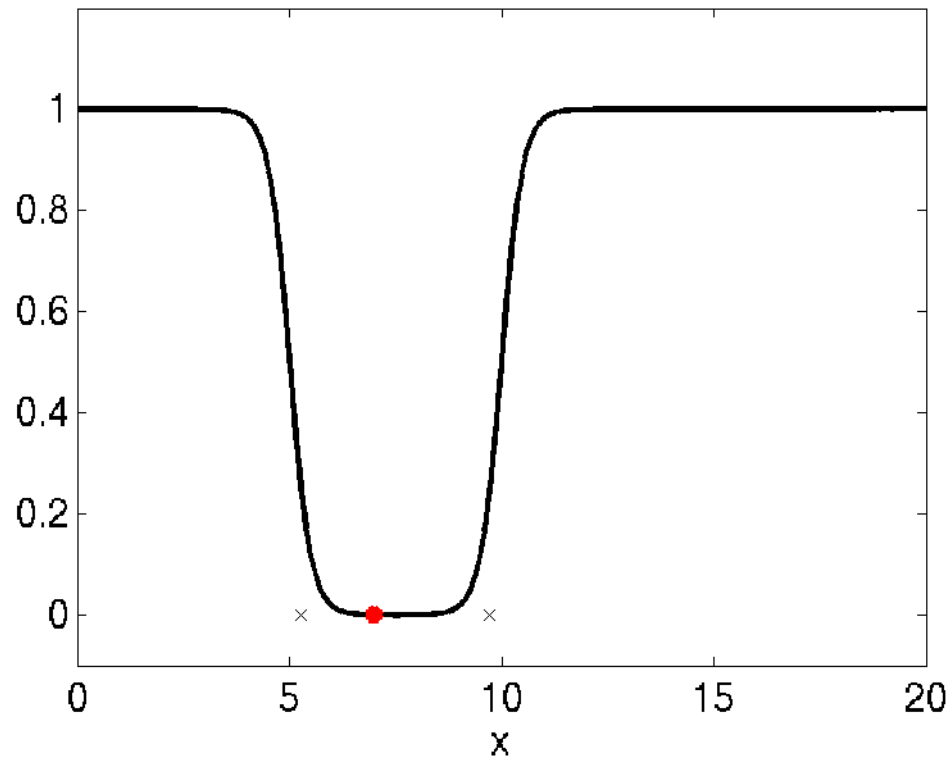
$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 \Psi}{dx^2} + V(x) \Psi = i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t}$$

$\Psi(x, t)$

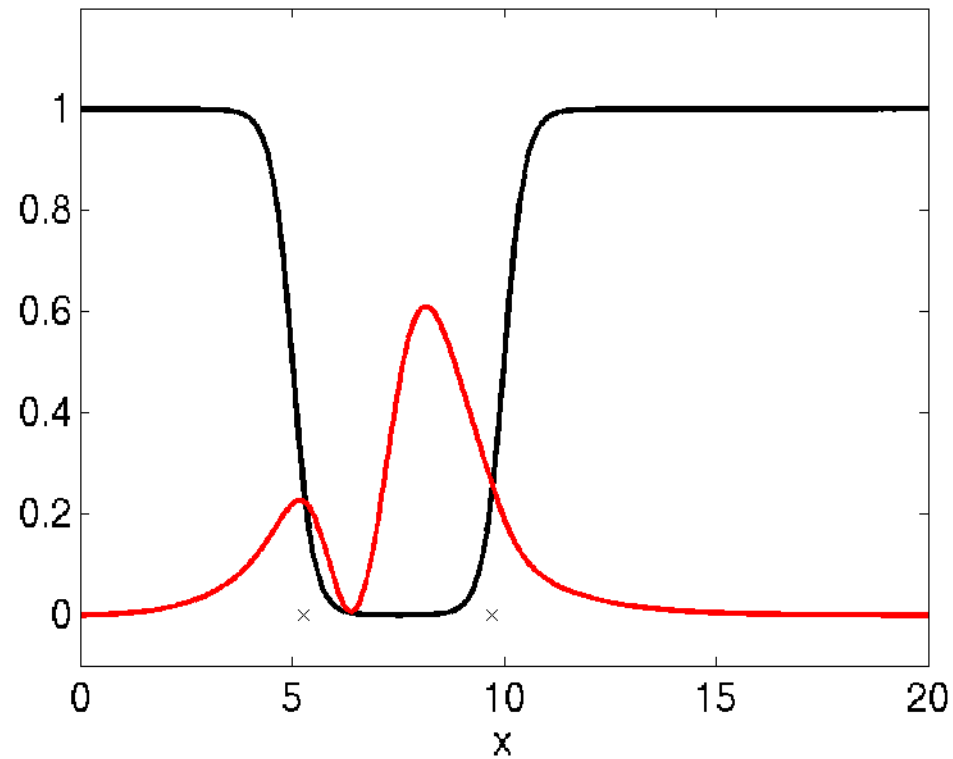
Bølgjefunksjonen



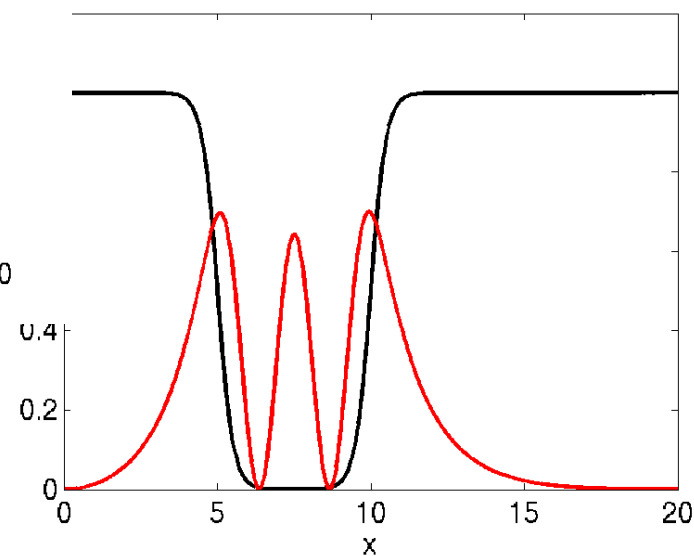
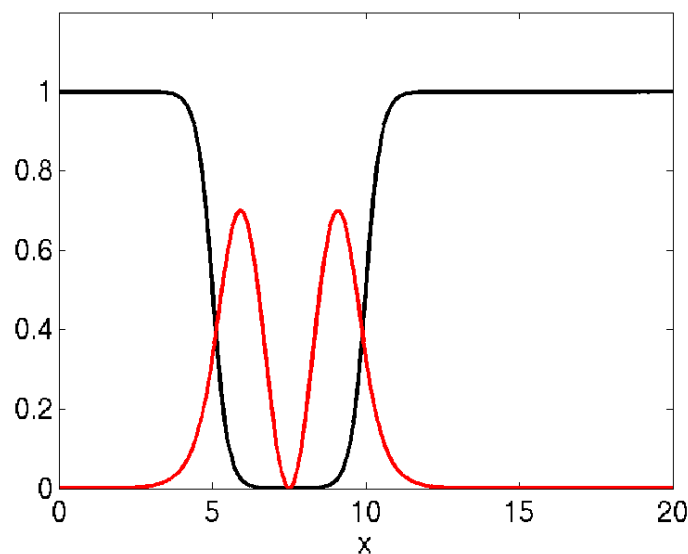
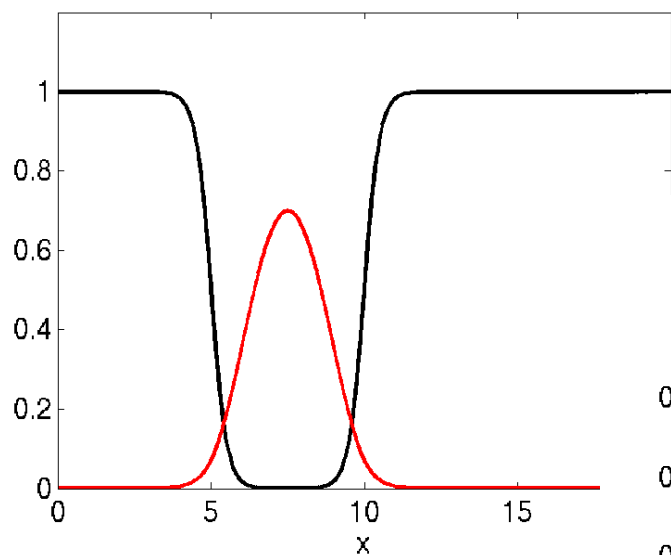
Klassisk: Posisjonen $x(t)$ gitt ved at $F=ma$



Kvante-mekanisk: $\Psi(x, t)$



Visse Ψ er slik at dei ikkje endrar seg med tida

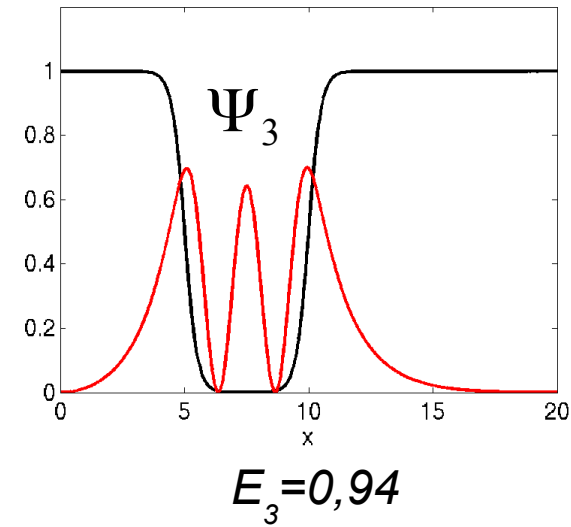
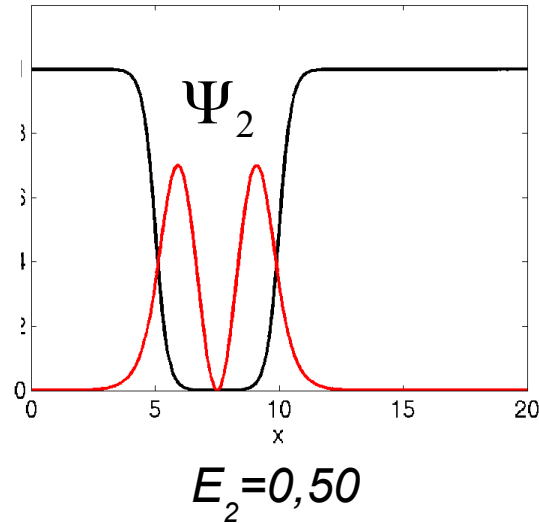
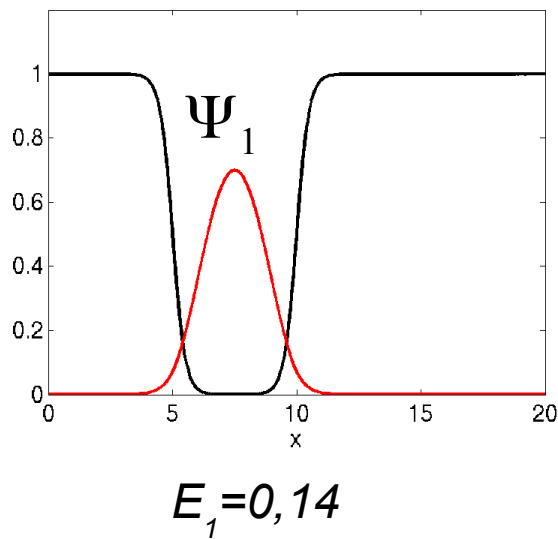


Tilsvarar tre heilt spesifikke energiar:

$E_1=0,14$, $E_2=0,50$ og $E_3=0,94$

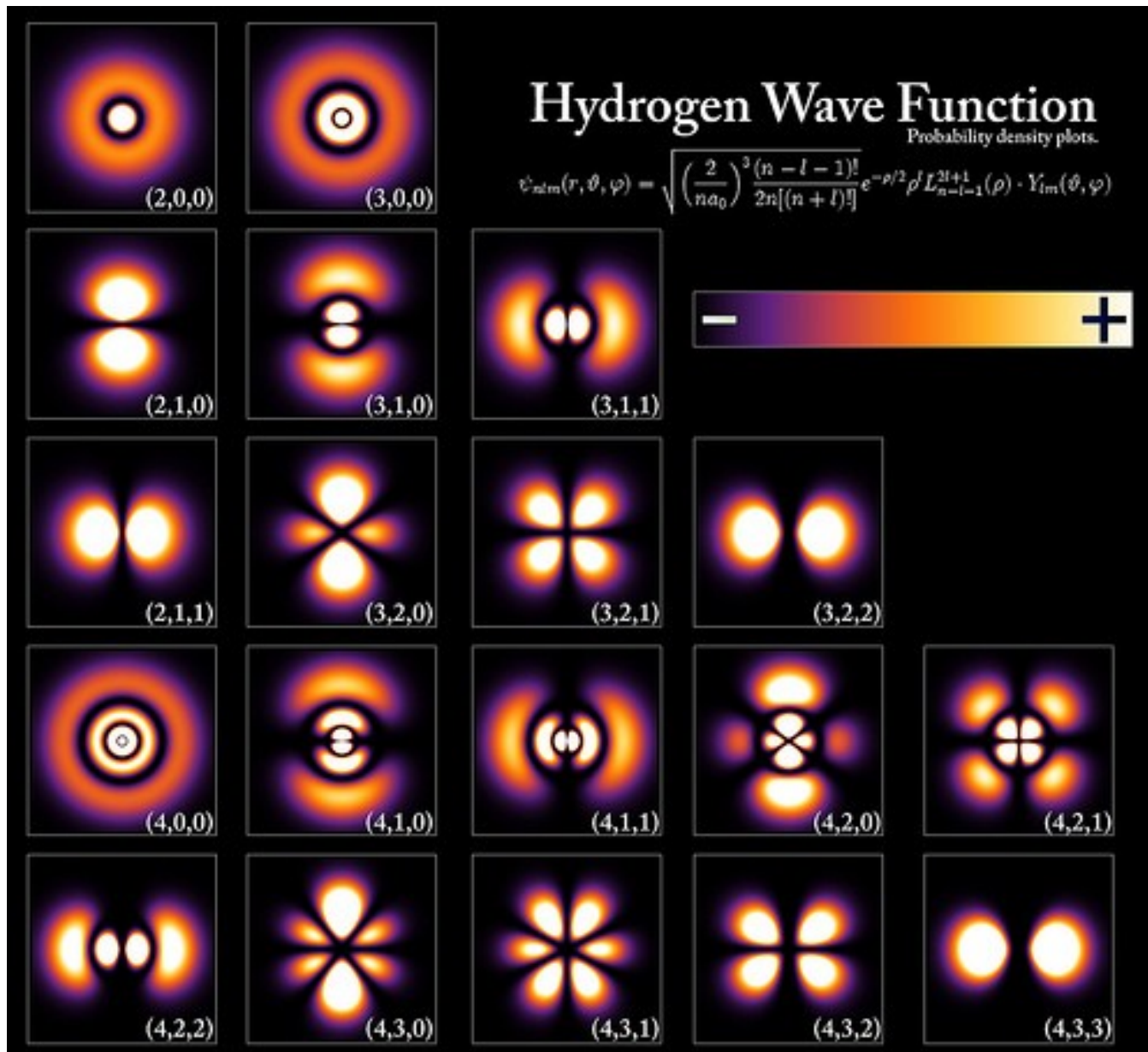


høgskolen i oslo
avdeling for ingeniørutdanning

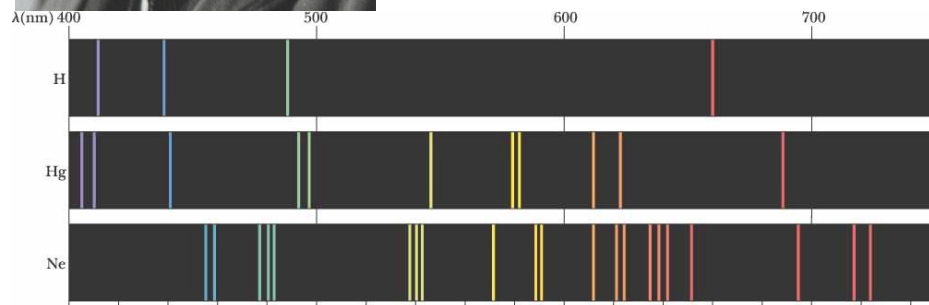
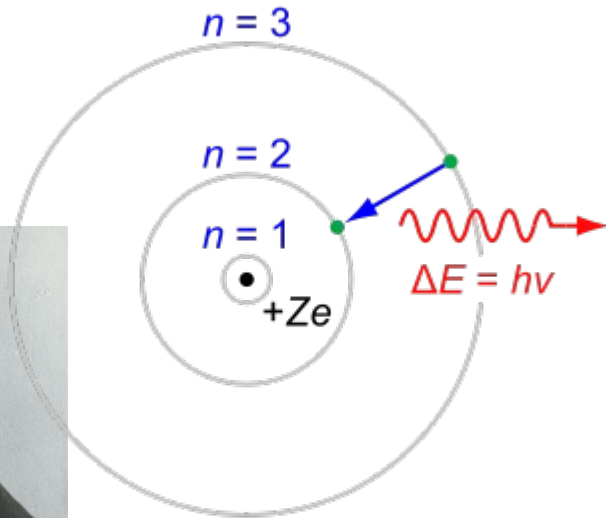


Om vi måler energien til partikkelen, får vi naudsynleg ein av desse verdiane; vi kan ikkje få nokon energi som ligg mellom.

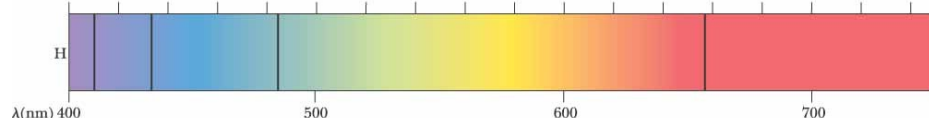
*Det er dette vi kallar **kvantisering***



Kvantisering



(a)



(b)

©2004 Thomson - Brooks/Cole

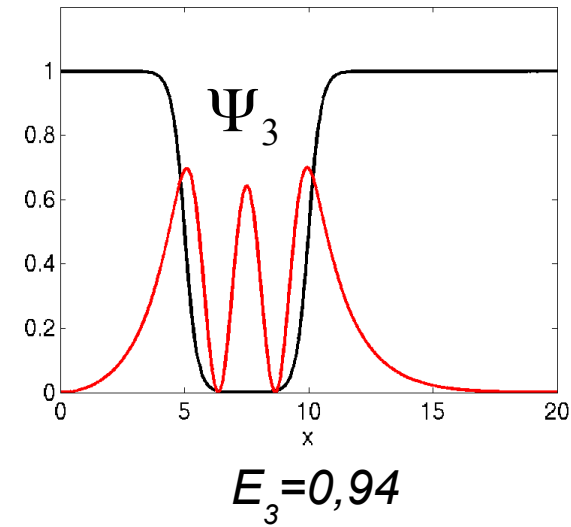
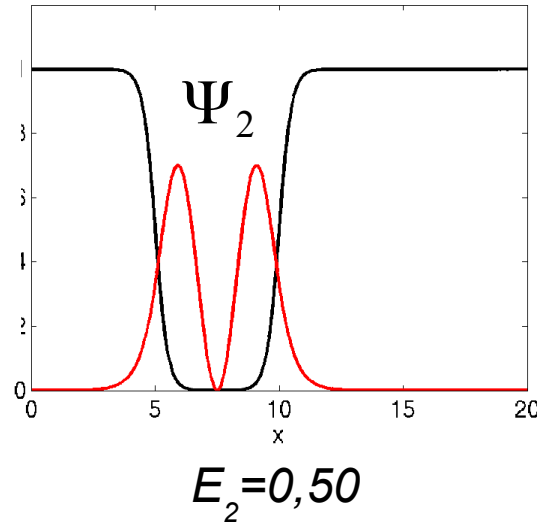
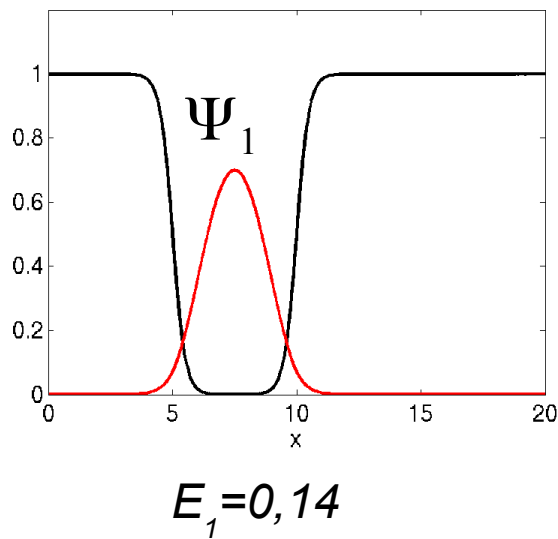


1	IA	1	H	2	IIA	3	Li	4	Be	5	B	6	C	7	N	8	O	9	F	10	He
2																					
3																					
4																					
5																					
6																					
7																					

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



høgskolen i oslo
avdeling for ingeniørutdanning

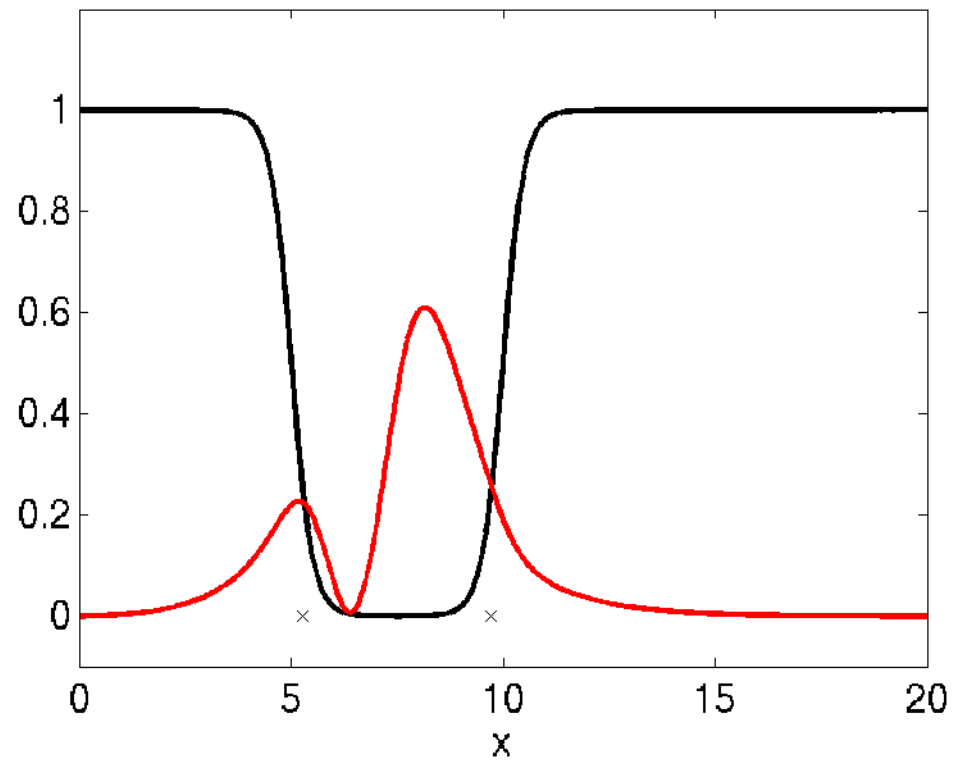


Dersom bølgefunksjonen vår er ei blanding av t.d. 25% Ψ_1 , 35% Ψ_2 og 40% Ψ_3 , vil sannsynet for at vi måler energien 0,14 vere 25%.

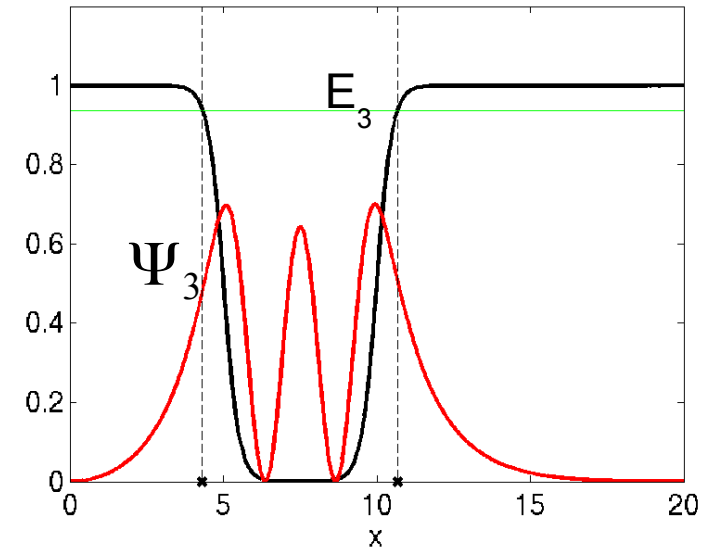
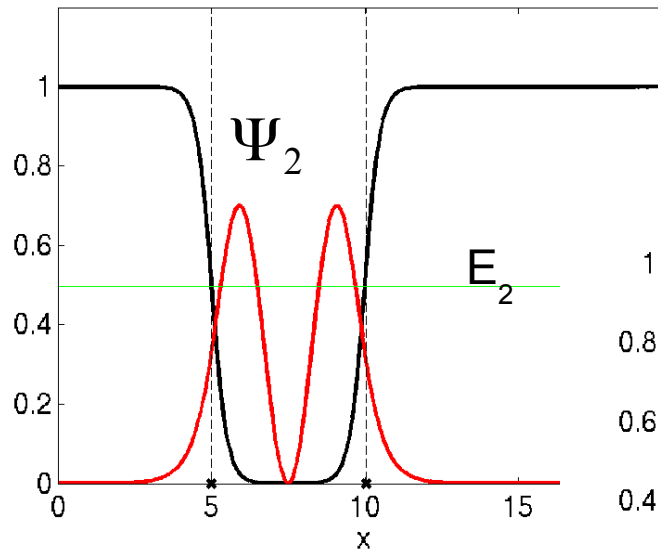
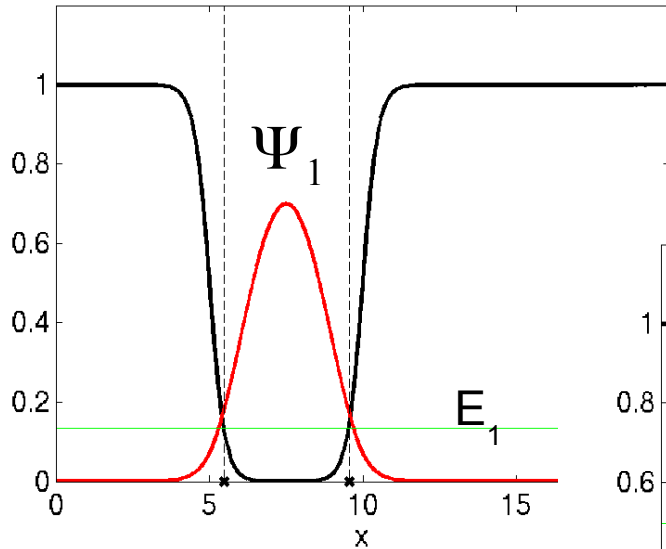
Men bølgefunksjonen seier **ingenting sikkert** om *kva* resultat vi vil få av målinga.

Etter målinga, derimot, om vi har målt energien 0,14, vil bølgefunksjonen vere ein rein Ψ_1 -funksjon, og ei eventuell ny energi-måling vil naudsynleg gi resultatet 0,14.

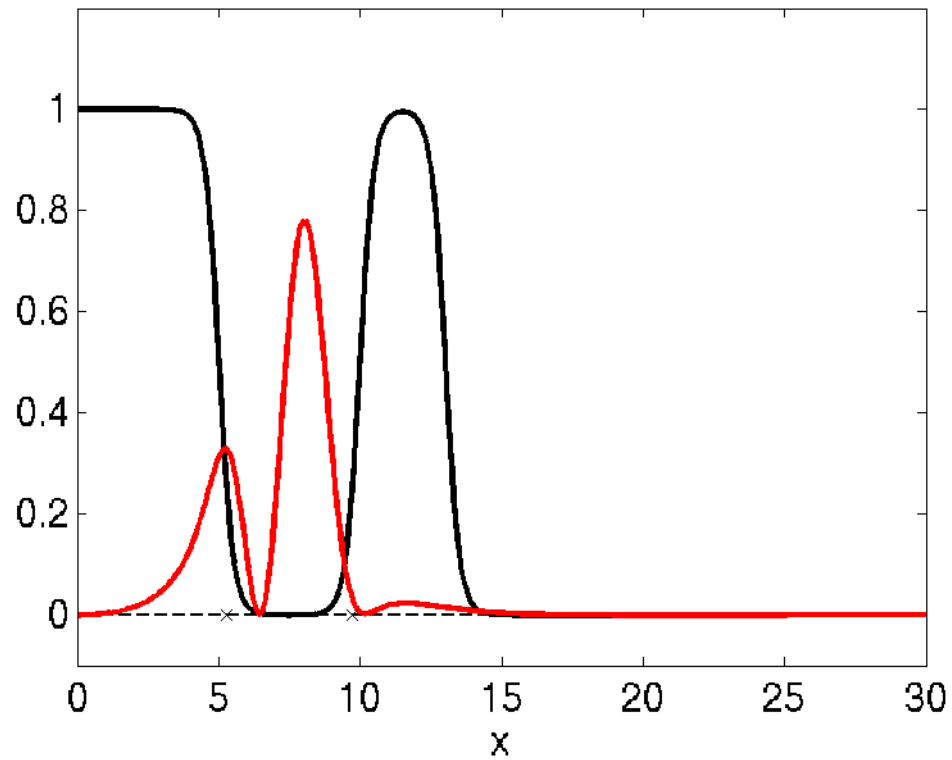
Kollaps av bølgefunksjonen



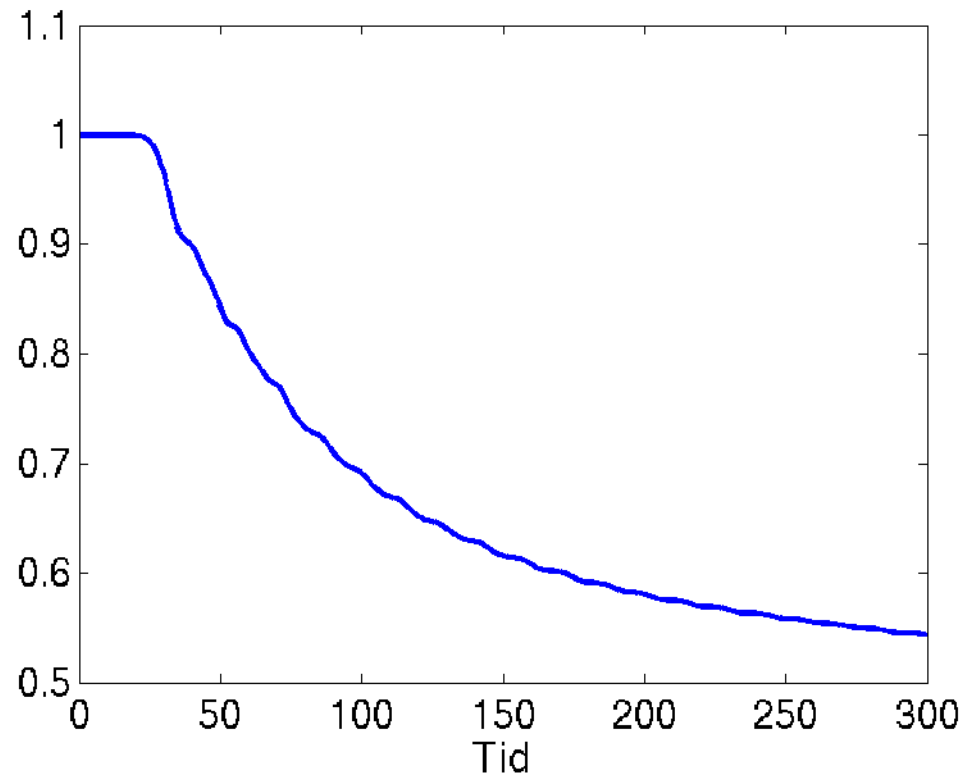
Bølgjefunksjonen er ikkje 0 der den «burde» vere det

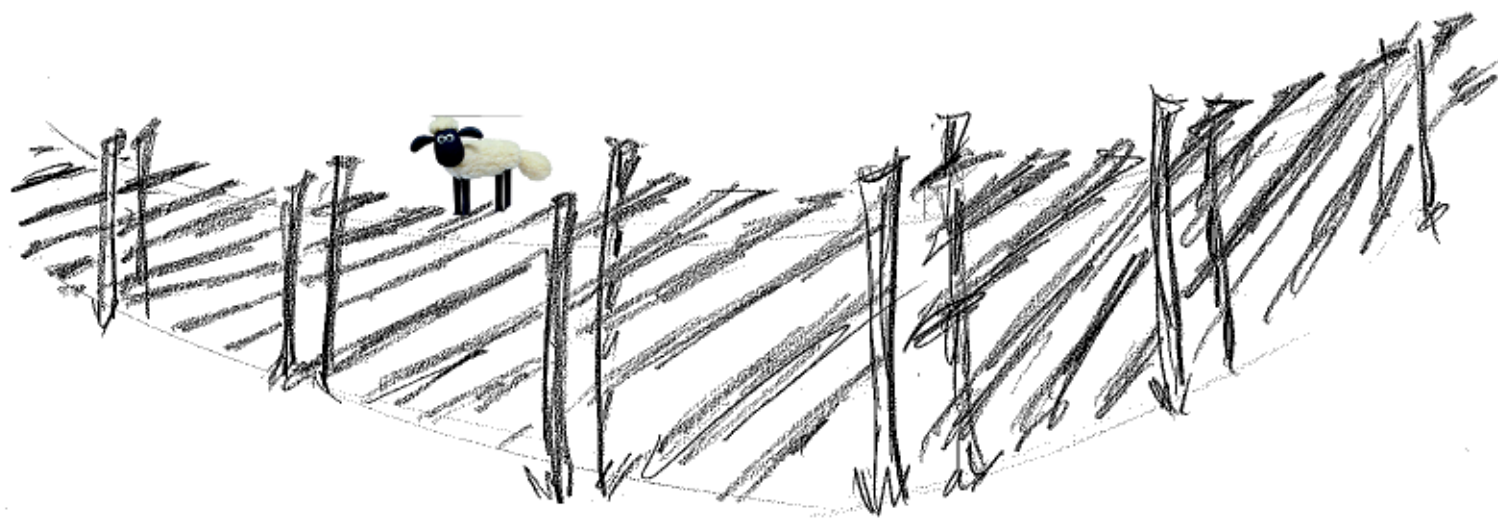


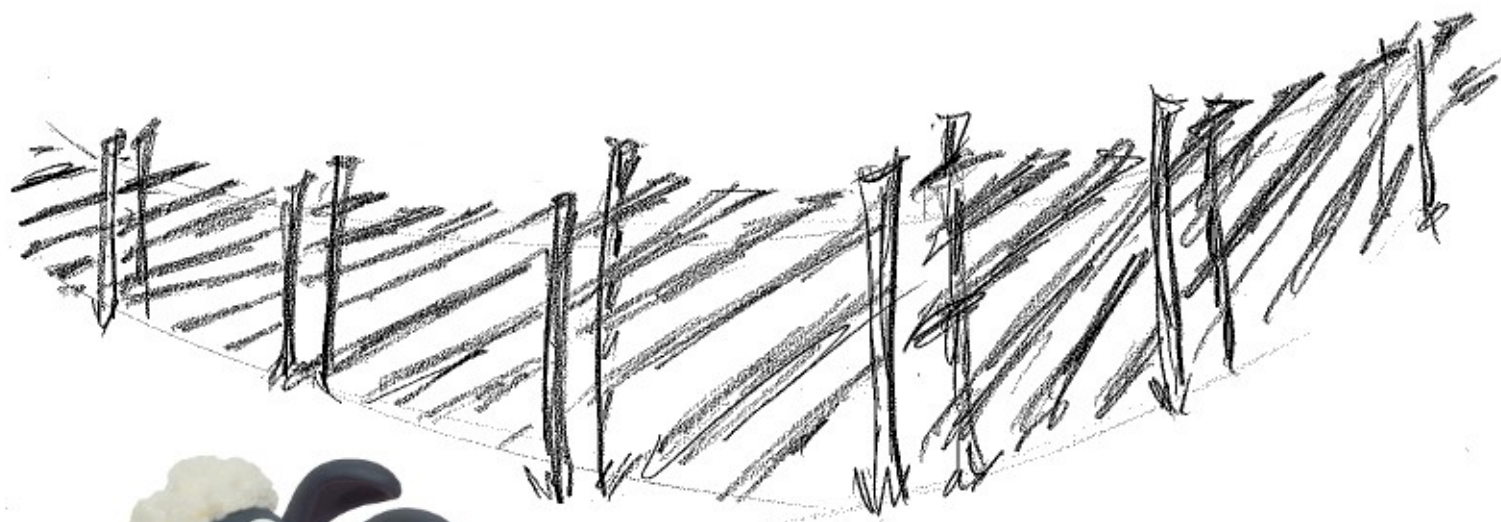
Tunellering



Tunellering

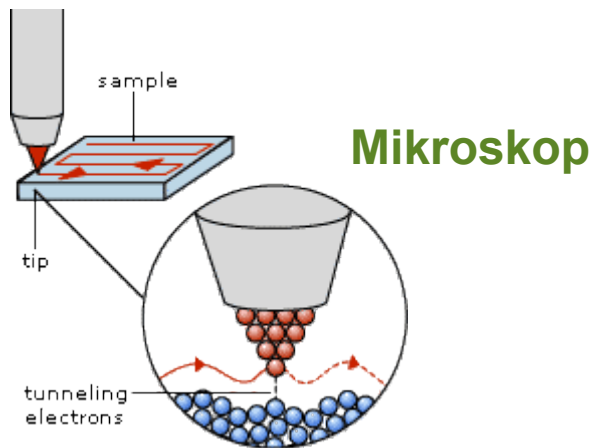




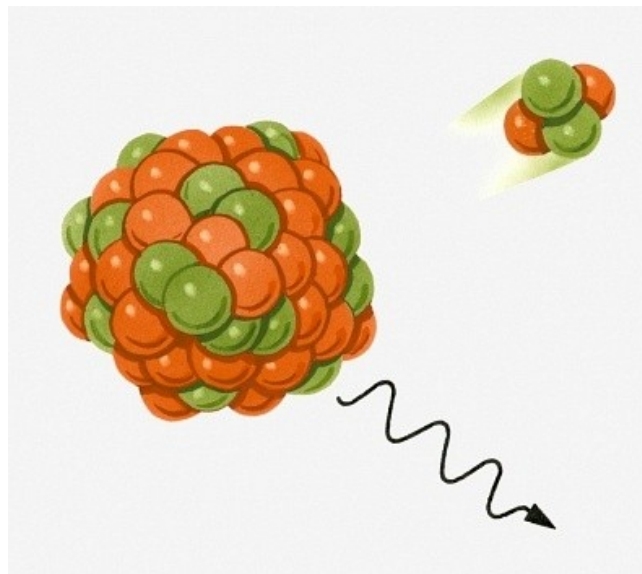
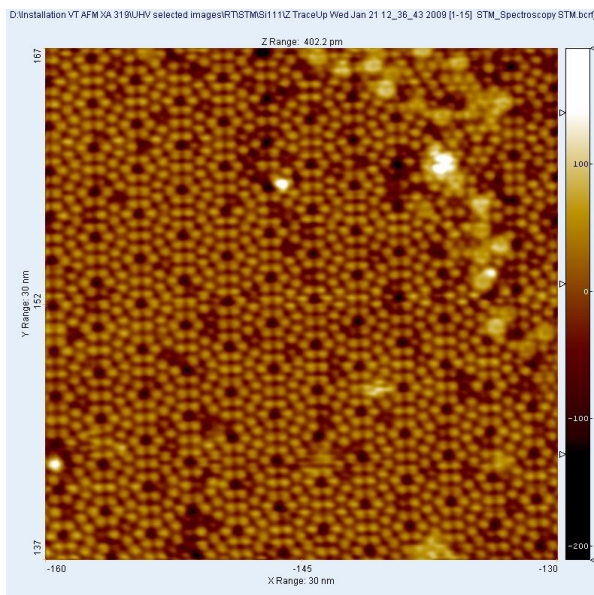




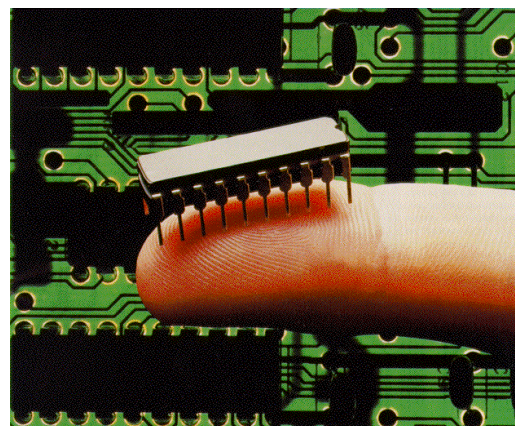
Relevans?



Mikroskop



Alfa-stråling

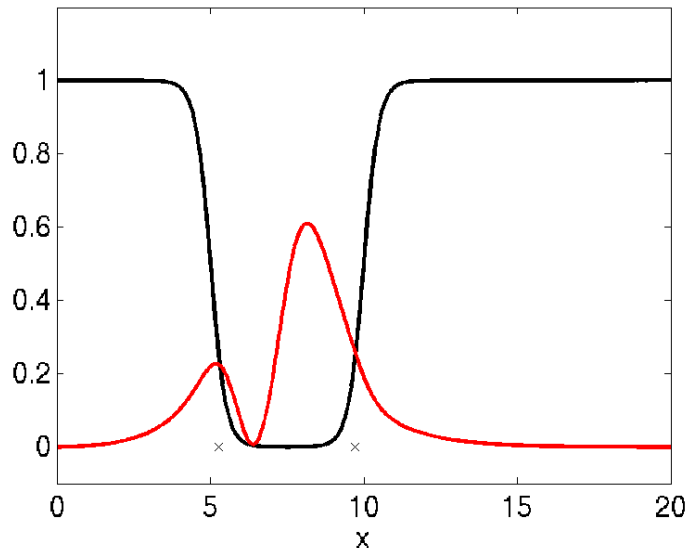


Halvleiar-
teknologi

-Tilbake til Ψ :

Bølgefunksjonen gir sannsynet for at ei måling av ein eller annan fysisk storleik gir eit bestemt resultat. (I eksempelet, var sannsynet 40% for at vi kom til å få resultatet 0,94 for energien ved måling.)

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

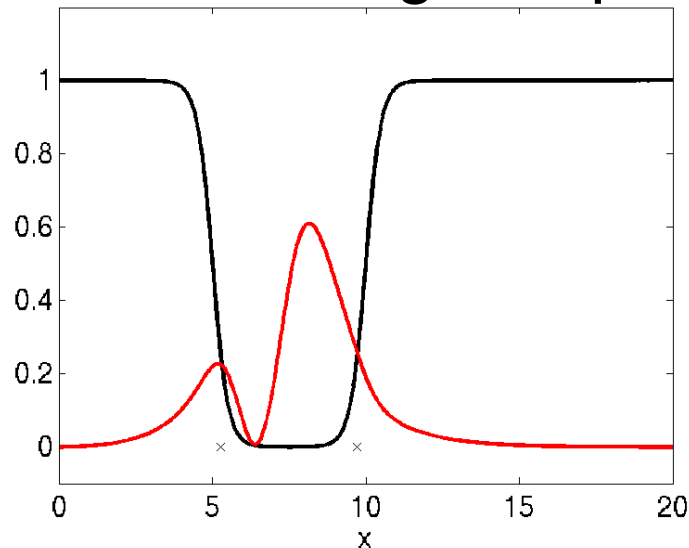


-Tilbake til Ψ :

Bølgefunksjonen gir sannsynet for at ei måling av ein eller annan fysisk storleik gir eit bestemt resultat. (I eksempelet, var sannsynet 40% for at vi kom til å få resultatet 0,94 for energien ved måling.)

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

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

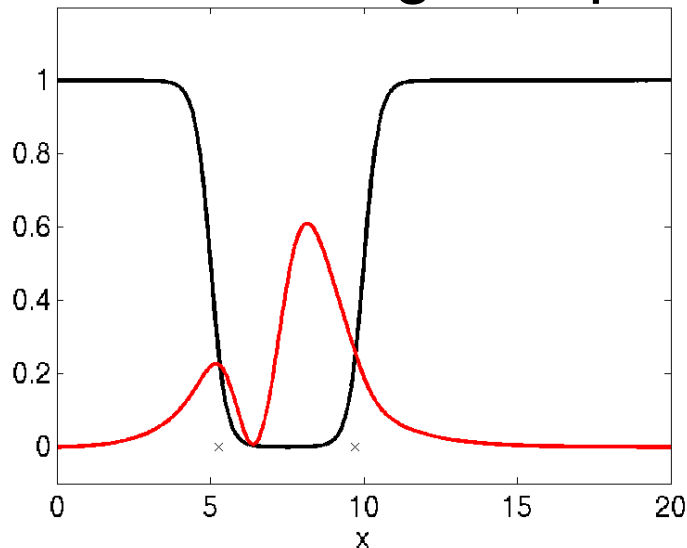


-Tilbake til Ψ :

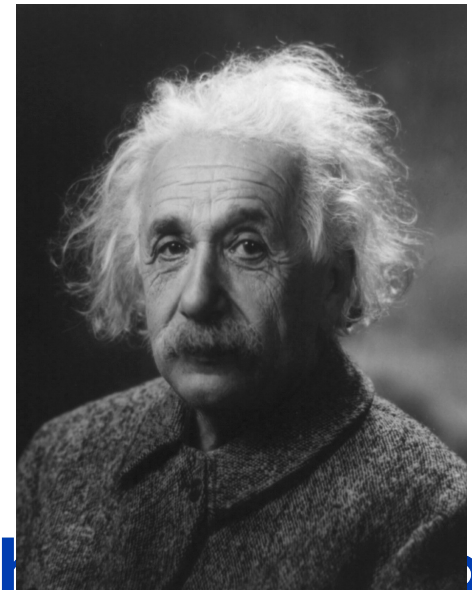
Bølgefunksjonen gir sannsynet for at ei måling av ein eller annan fysisk storleik gir eit bestemt resultat. (I eksempelet, var sannsynet 40% for at vi kom til å få resultatet 0,94 for energien ved måling.)

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 gir eit bestemt resultat. (I eksempelet, var sannsynet 40% for at vi kom til å få resultatet 0,94 for energien ved måling.)

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*



høgskolen i oslo
avdeling for ingeniørutdanning

-Tilbake til Ψ :

Bølgefunksjonen gir sannsynet for at ei måling av ein eller annan fysisk storleik gir eit bestemt resultat. (I eksempelet, var sannsynet 40% for at vi kom til å få resultatet 0,94 for energien ved måling.)

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

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



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



høgskolen i oslo
avdeling for ingeniørutdanning

Utruleg nok: Vi kan finne svaret på dette spørsmålet ved å gjere eit eksperiment!



Johan Stuart Bell (1928 - 1990)

Teori

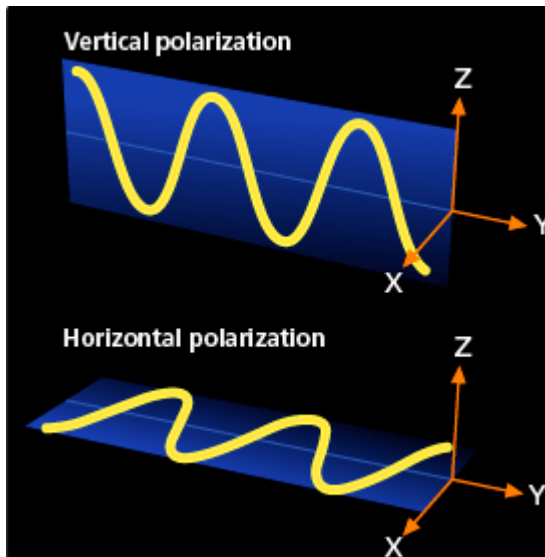
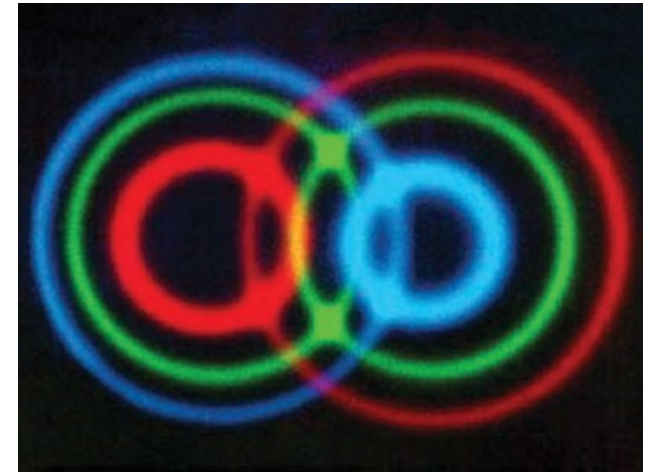
Eksperiment



Alain Aspect (f. 1947)

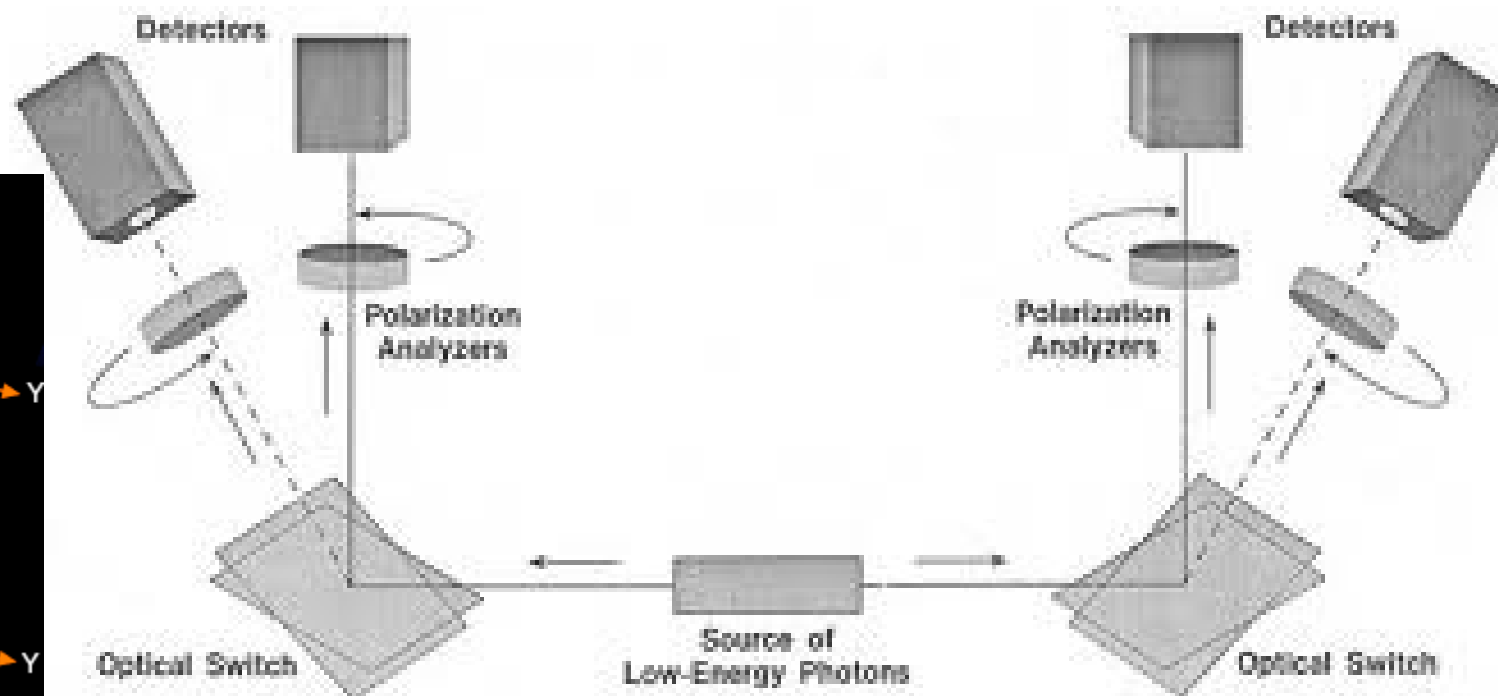
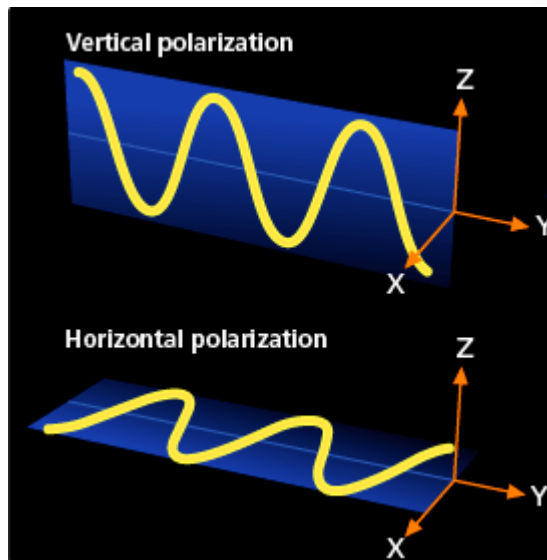
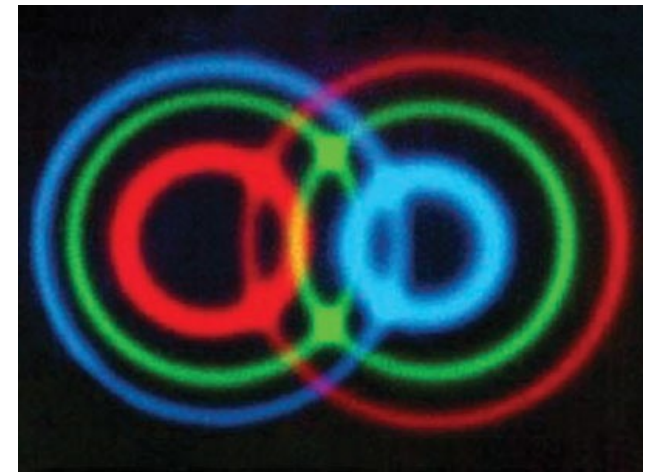
Kan lage par av foton som er slik at dei naudsynleg har motsett polarisering; dersom det eine fotonet har loddrett polarisering, må det andre ha vassrett polarisering

Betyr det at det eine fotonet *i utgangspunktet* har loddrett polarisering og det andre fotonet *har* vassrett polarisering?



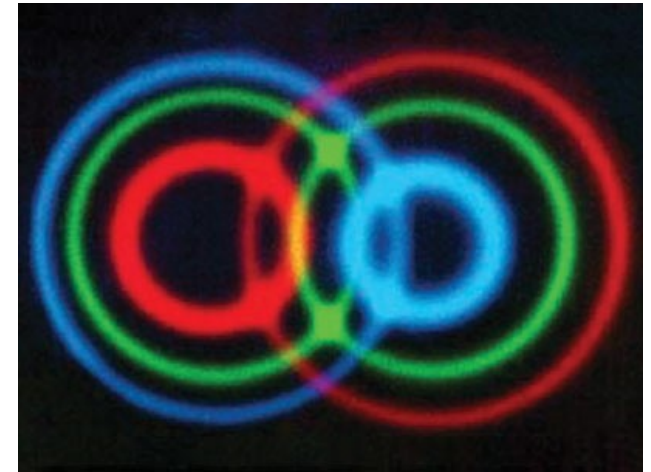
Kan lage par av foton som er slik at dei naudsynleg har motsett polarisering; dersom det eine fotonet har loddrett polarisering, må det andre ha vassrett polarisering

Betyr det at det eine fotonet *i utgangspunktet* har loddrett polarisering og det andre fotonet *har* vassrett polarisering?

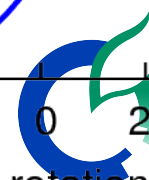
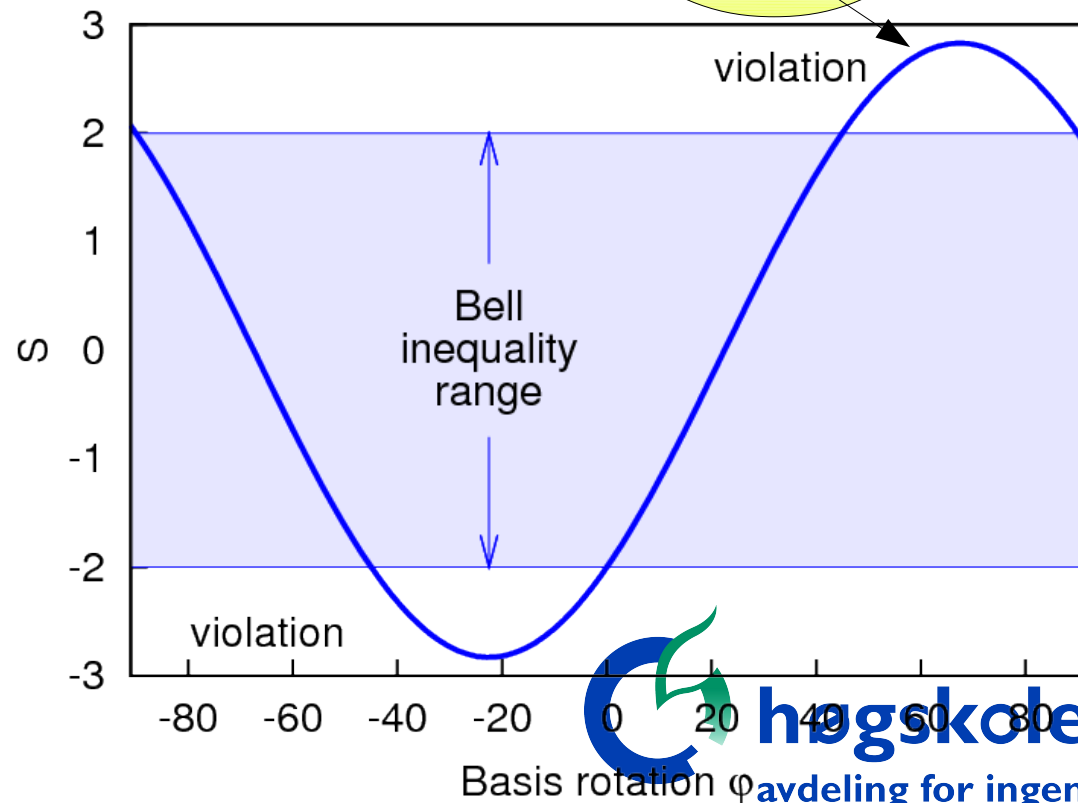
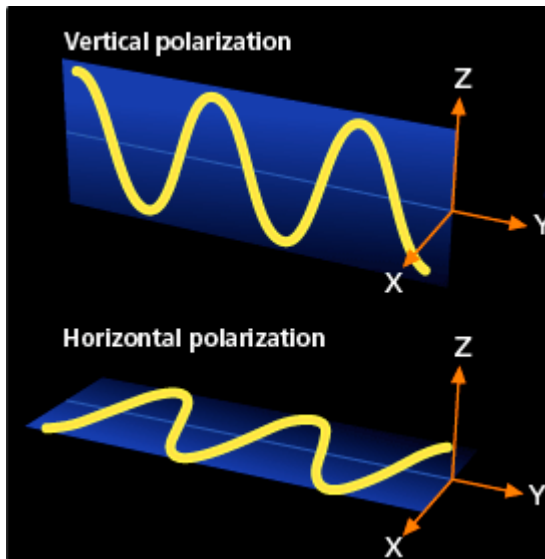


Kan lage par av foton som er slik at dei naudsynleg har motsett polarisering; dersom det eine fotonet har loddrett polarisering, må det andre ha vassrett polarisering

Betyr det at det eine fotonet *i utgangspunktet* har loddrett polarisering og det andre fotonet *har* vassrett polarisering?



NEI

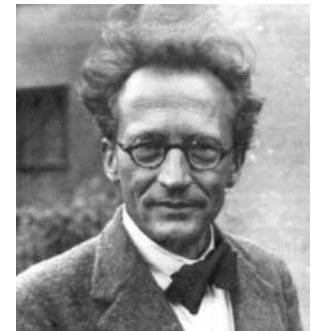


Altså:

Partiklane kan vere slik at visse eigenskapar for den eine er fullstendig bestemt av eigenskapane til den andre – samtidig som desse eigenskapane ikkje er bestemt for nokon av dei kvar for seg!

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)



høgskolen i oslo
avdeling for ingeniørutdanning

Ei lita oppsummering

Både lys og materie er slik at det av og til oppfører seg som *bølgjer*, andre gonger som *partiklar*.

For kvantemekaniske system som er bundne, er energien til systemet *kvantisert*.

Ei måling vil gjere at bølgefunksjonen «kollapsar»; det er umogeleg å hente ut informasjon om systemet utan å påverke det.

Eit kvantemekanisk system er fullt ut skildra ved *bølgefunksjonen* Ψ - sjølv om denne ikkje gir oss nøyaktig posisjon, energi, fart etc. til partiklane det er tale om. Den gir oss berre *sannsyna* for dei ulike moglege resultata av ei eventuell måling.

Med andre ord ser det ut til at naturen oppfører seg *tilfeldig* på ein grunnleggande måte (på visse område).

Dei som ikkje vert sjokkert når dei fyrst kjem over kvante-mekanikk, 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)



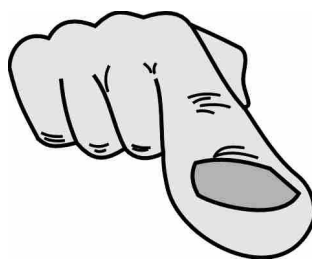
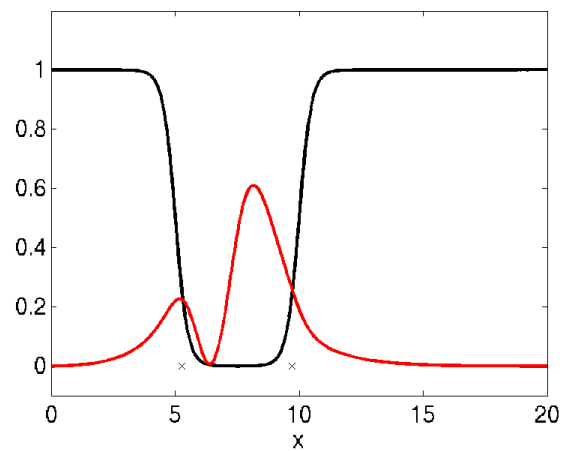
Kva no?

Når det gjeld å forstå

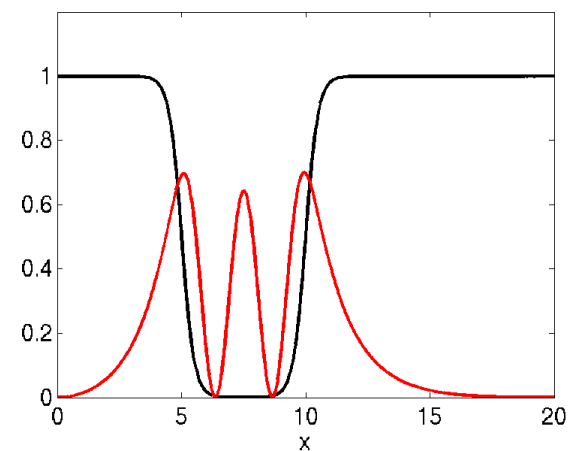
- Måleproblemet
- Overgangen mellom klassisk fysikk og kvantefysikk
- Spontane/irreversible prosessar i kvantemekanikken?
- Kvante-gravitasjon?

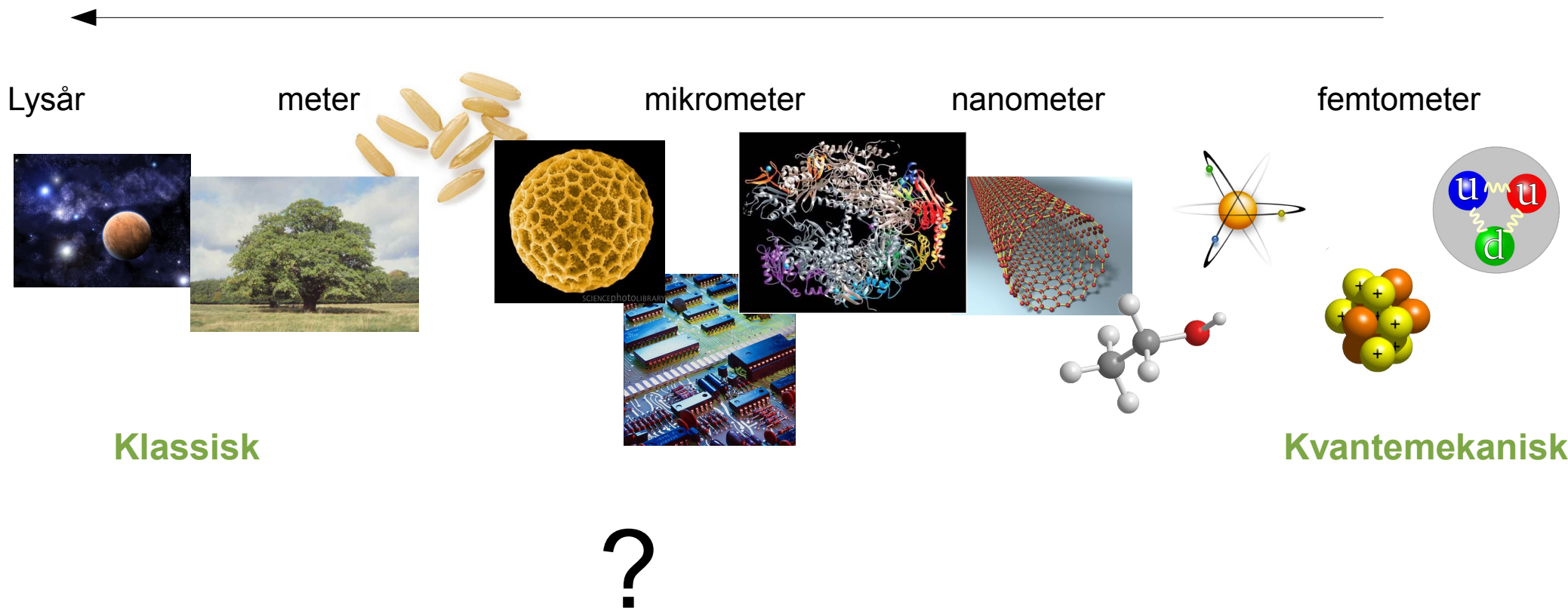
Teknologisk

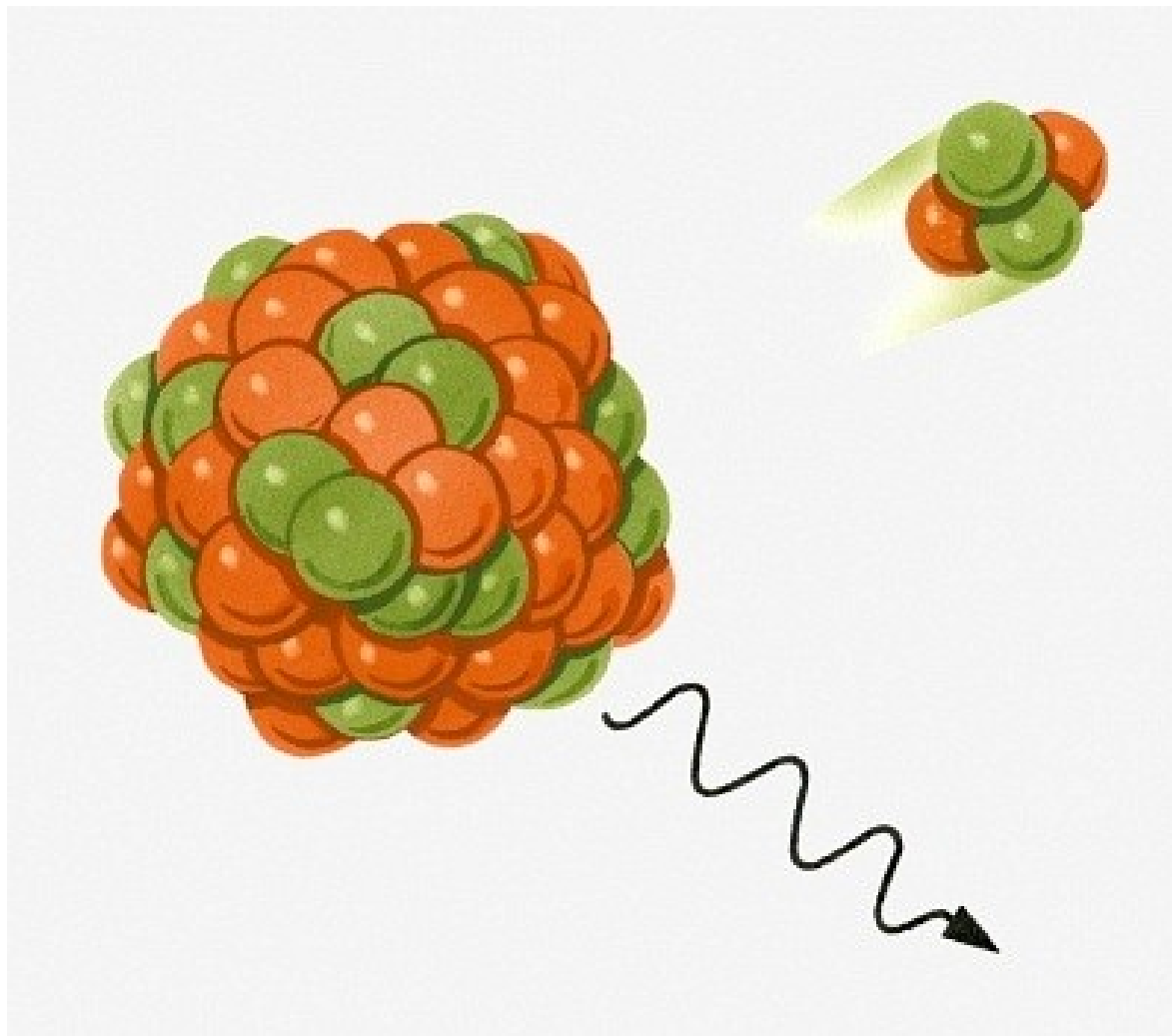
- Kvantedatamaskin/ kvanteinformatikk
- Fusjonsenergi
- Rubbia-reaktor?
- Hadron-stråle-terapi
- Kvantepunkt
 medisin
 halvleiarteknologi



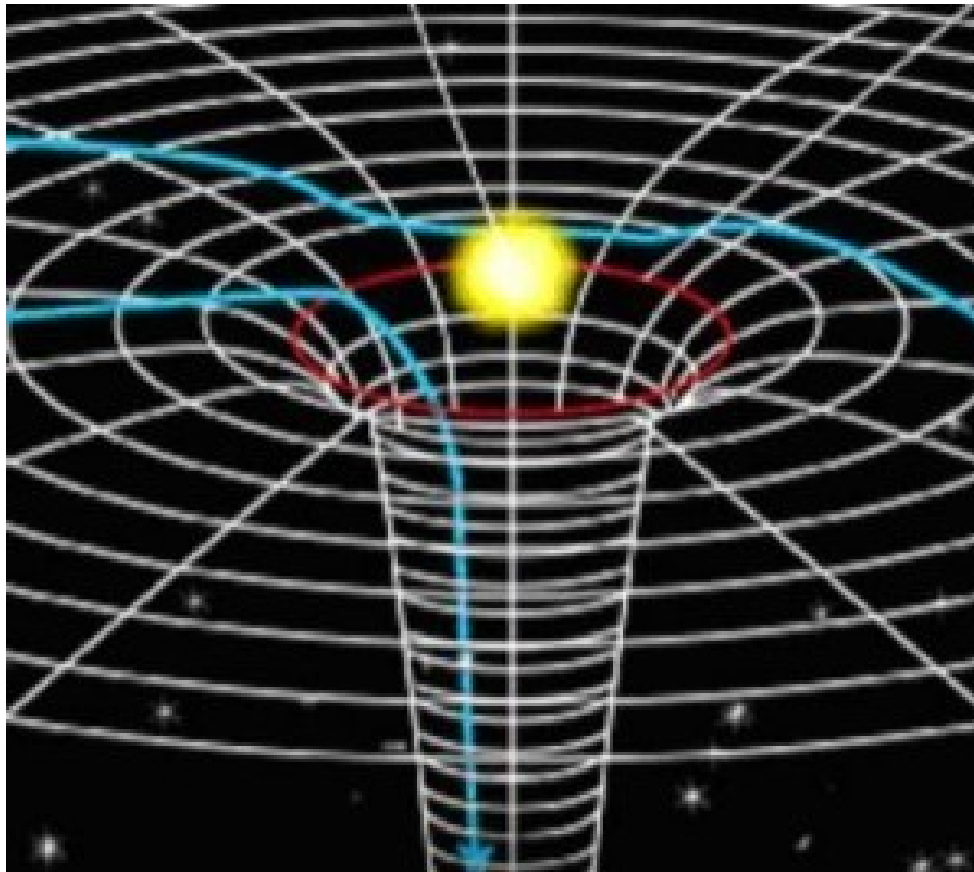
→
Energimåling



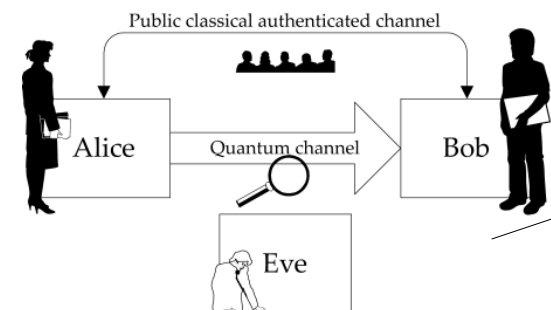
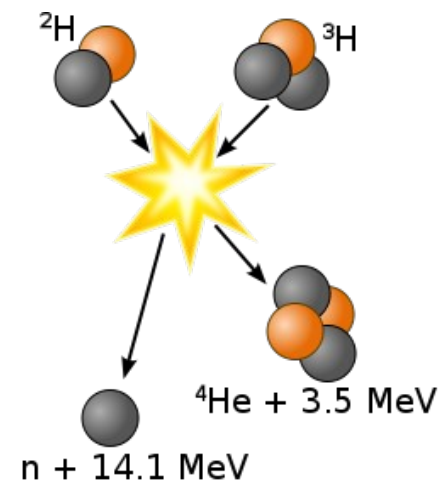




Gravitasjons-kvant?

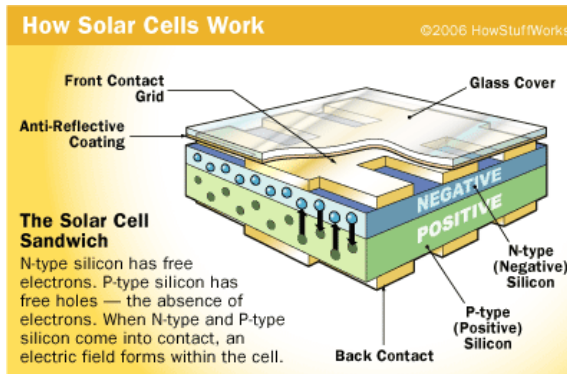
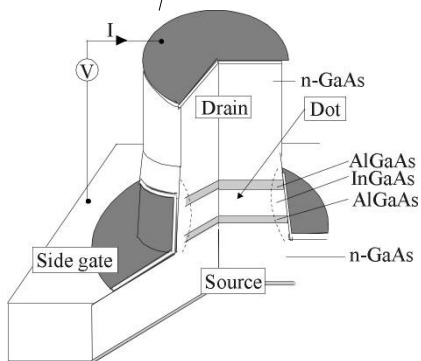
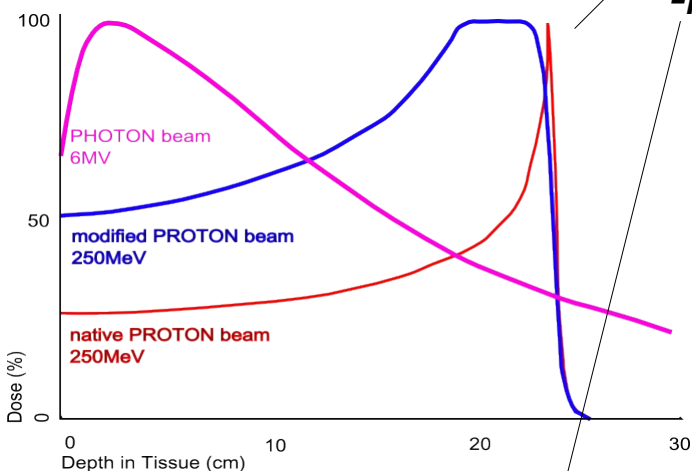


$$|\Psi\rangle = c_1 \cdot |0\rangle + c_2 \cdot |1\rangle$$



Teknologisk

- Kvantedatamaskin/ kvanteinformatikk
- Fusjonsenergi
- Rubbia-reaktor?
- Hadron-stråle-terapi
- Kvantepunkt medisin
- halvleiarteknologi



Symmetri



-Emmy Nöther (1882 - 1935)

For kvar symmetri, er der ein
konserverv storeik

Ψ

Takk!