

Lys

Partiklar

Bølger

Atom



Lys



«Lyshistoria»



Isaac Newton (1642 - 1726)

Lys er små partiklar!

Lys er bølger

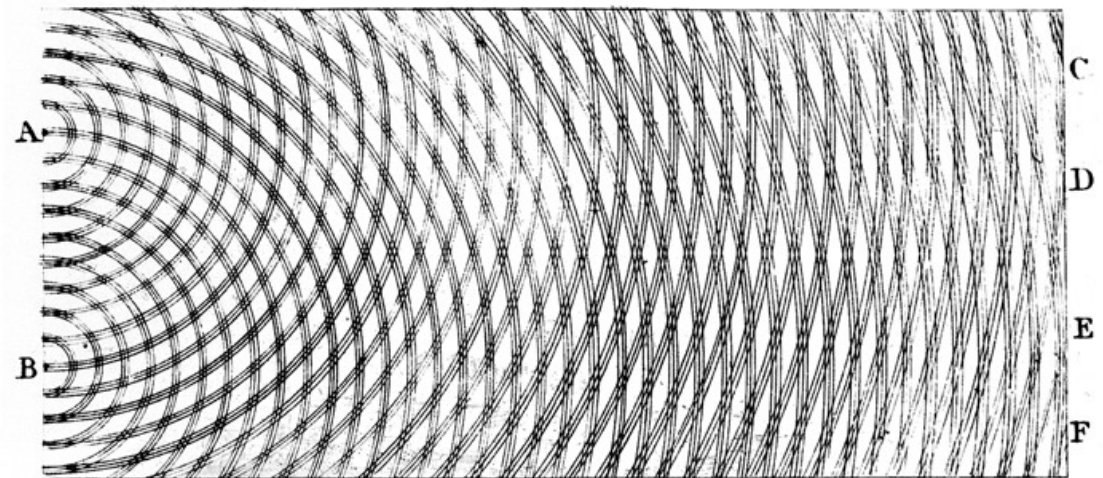
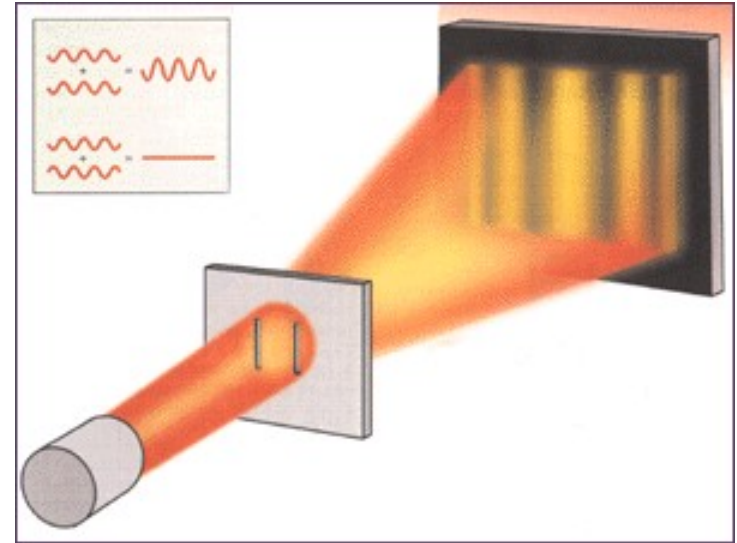
Christiaan Huygens (1629 - 1695)



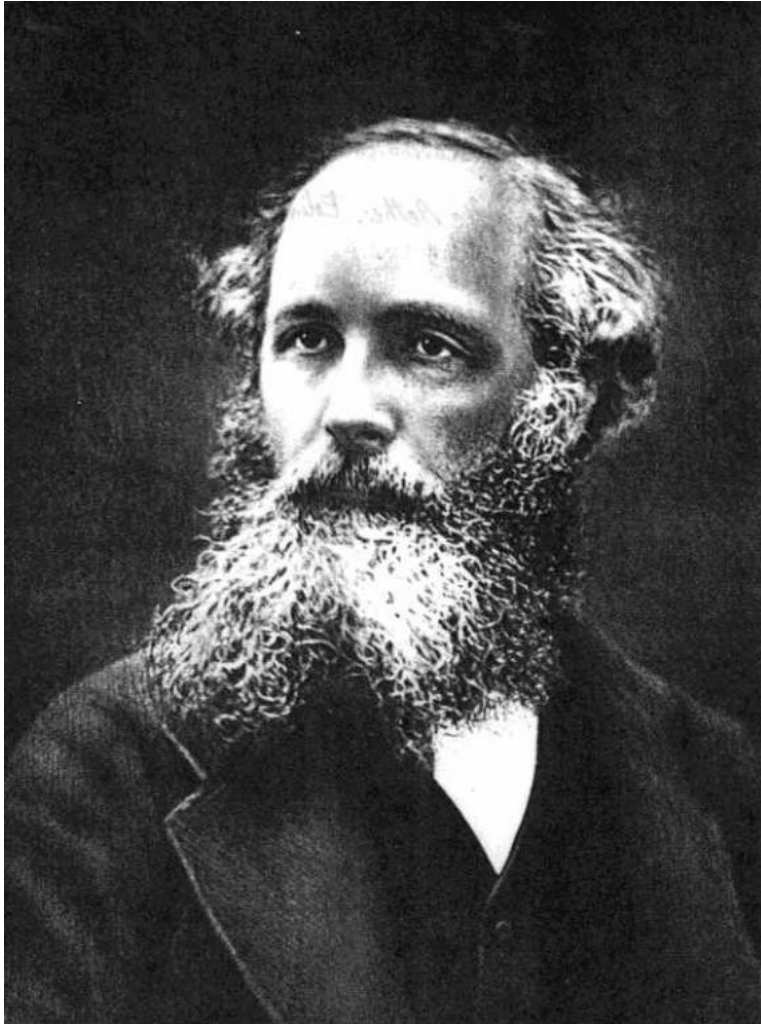
«Lyshistoria»



Thomas Young (1773 - 1829)

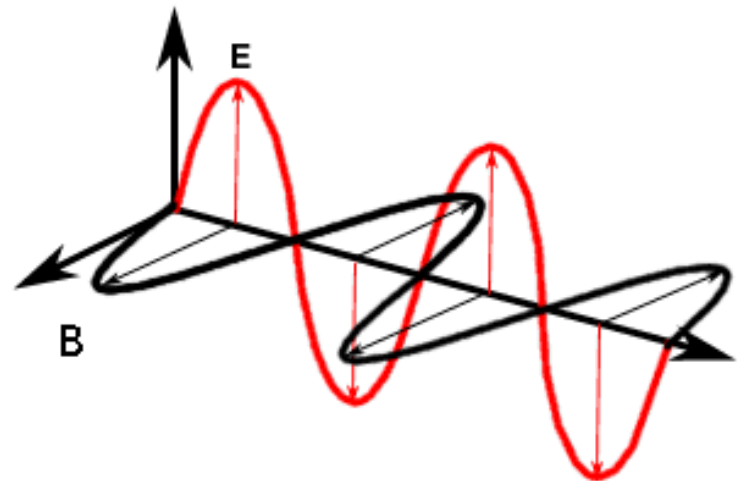


«Lyshistoria»

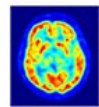


James Clerk Maxwell (1831 - 1879)

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



Elektro-magnetisk stråling

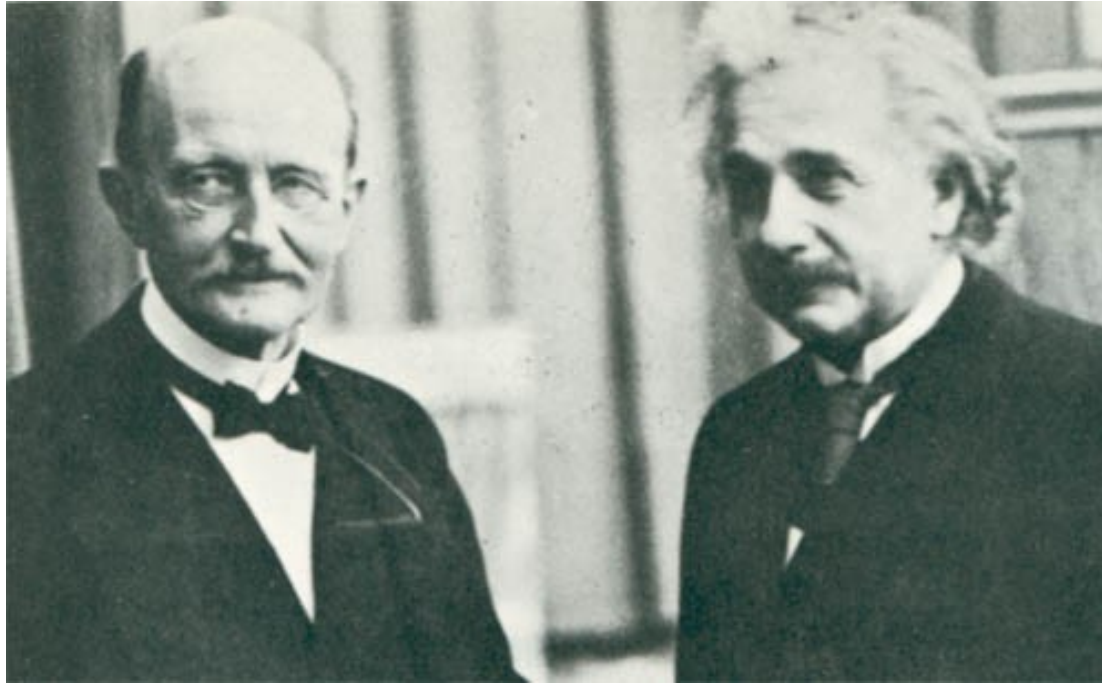
Radio		AM radio
		Amateur radio
		Aircraft communication
Microwave		Microwave oven
		TV Remote Control
Infrared		Night vision goggles
Visible		
Ultraviolet		UV light from the Sun
X-ray		Airport security scanner
Gamma-ray		PET scan
		Terrestrial gamma-ray flashes



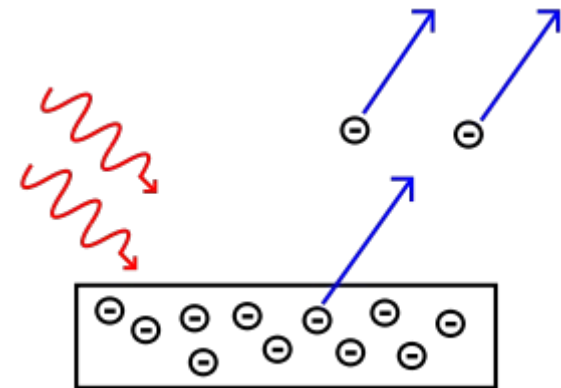
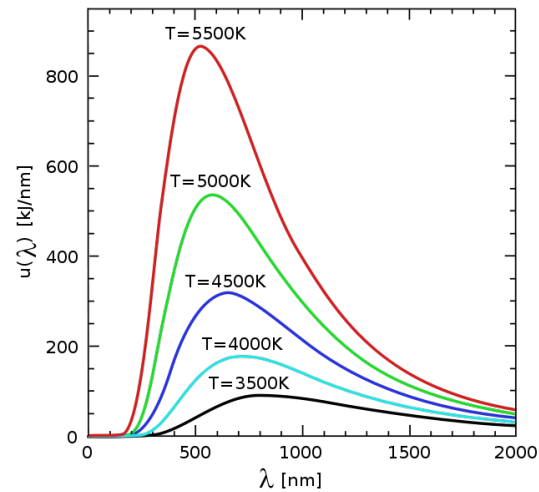
«Lyshistoria»

Partiklar likevel?

Max Planck
(1858 - 1947)



Albert Einstein
(1879 - 1955)



Fotoelektrisk effekt

Hadde sett:

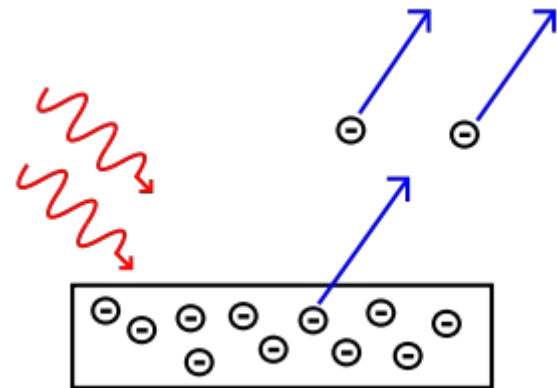
-Farten elektrona kjem ut med, er «heilt» uavhengig av intensiteten på lyset

-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:

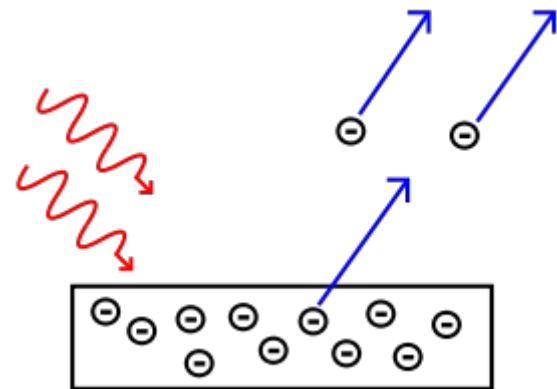
- Lys består av små bitar (kvant) med energi gitt ved frekvensen, $E=hf$
- Elektrona i metallet vert lausrivne frå metallet ved at kvart elektron tar til seg eitt – og berre eitt – kvant.



$$hf < W$$

Ingen elektron

$$E_k = hf - W$$



Fotoelektrisk effekt

Planck-konstanten:

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

Einstein:

-Lys består av små bitar (kvant) med energi gitt ved frekvensen,

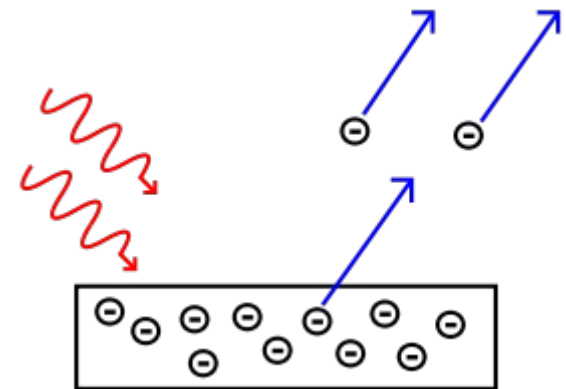
$$E=hf$$

-Elektrona i metallet vert lausrivne frå metallet ved at kvart elektron tar til seg eitt – og berre eitt – kvant.



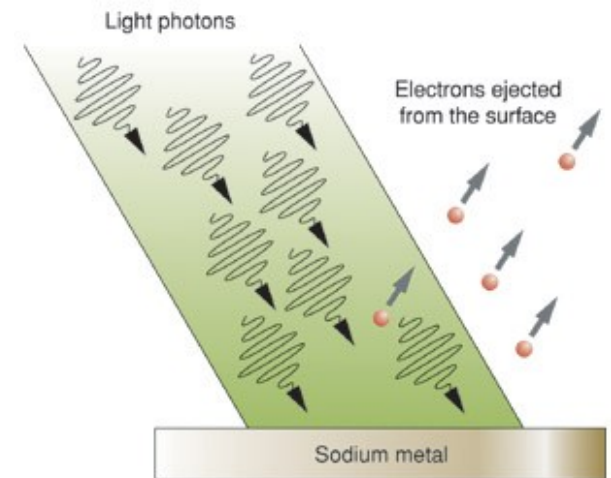
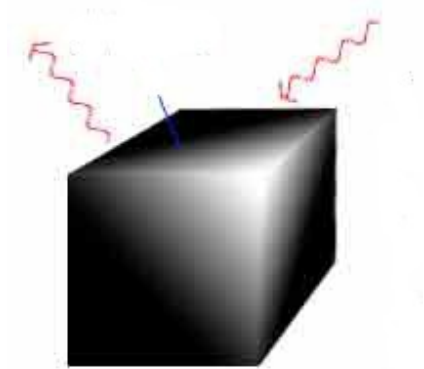
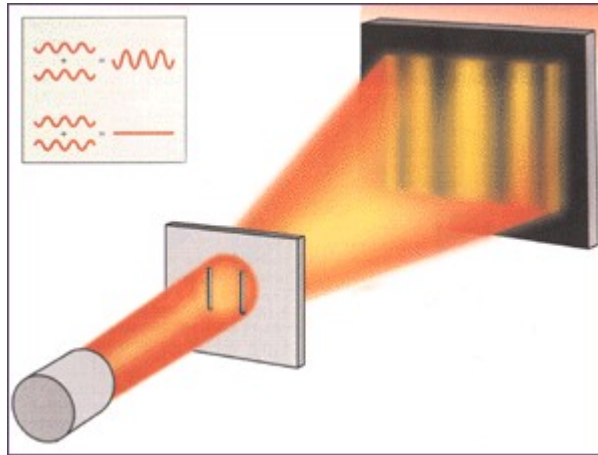
$$hf < W$$

Ingen elektron

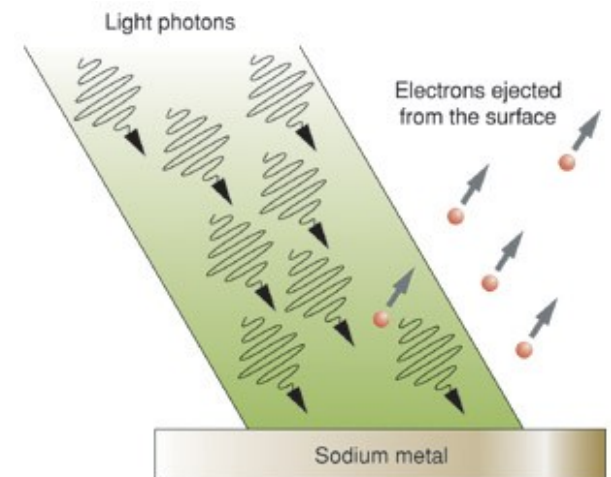
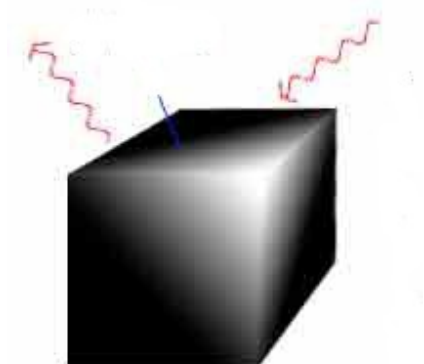
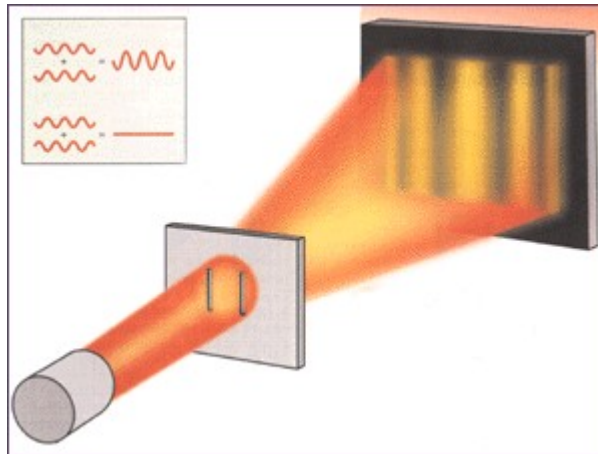


$$E_k = hf - W$$

Bølge eller partikkel?



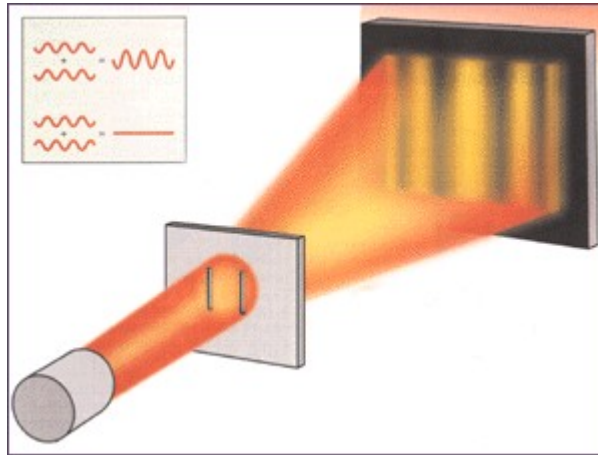
Bølge eller partikkel?



Ja, takk

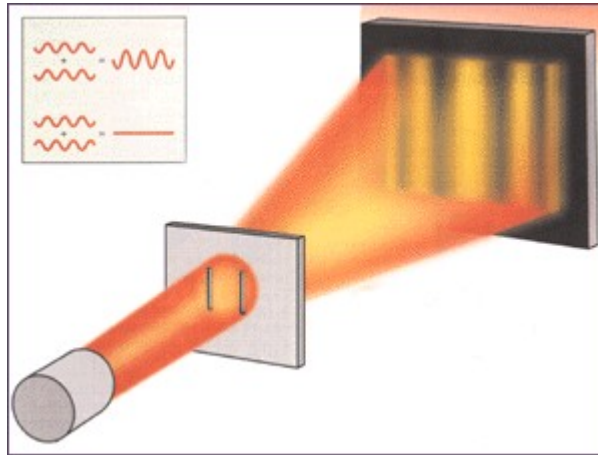


1000-kroners-spørsmålet:



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

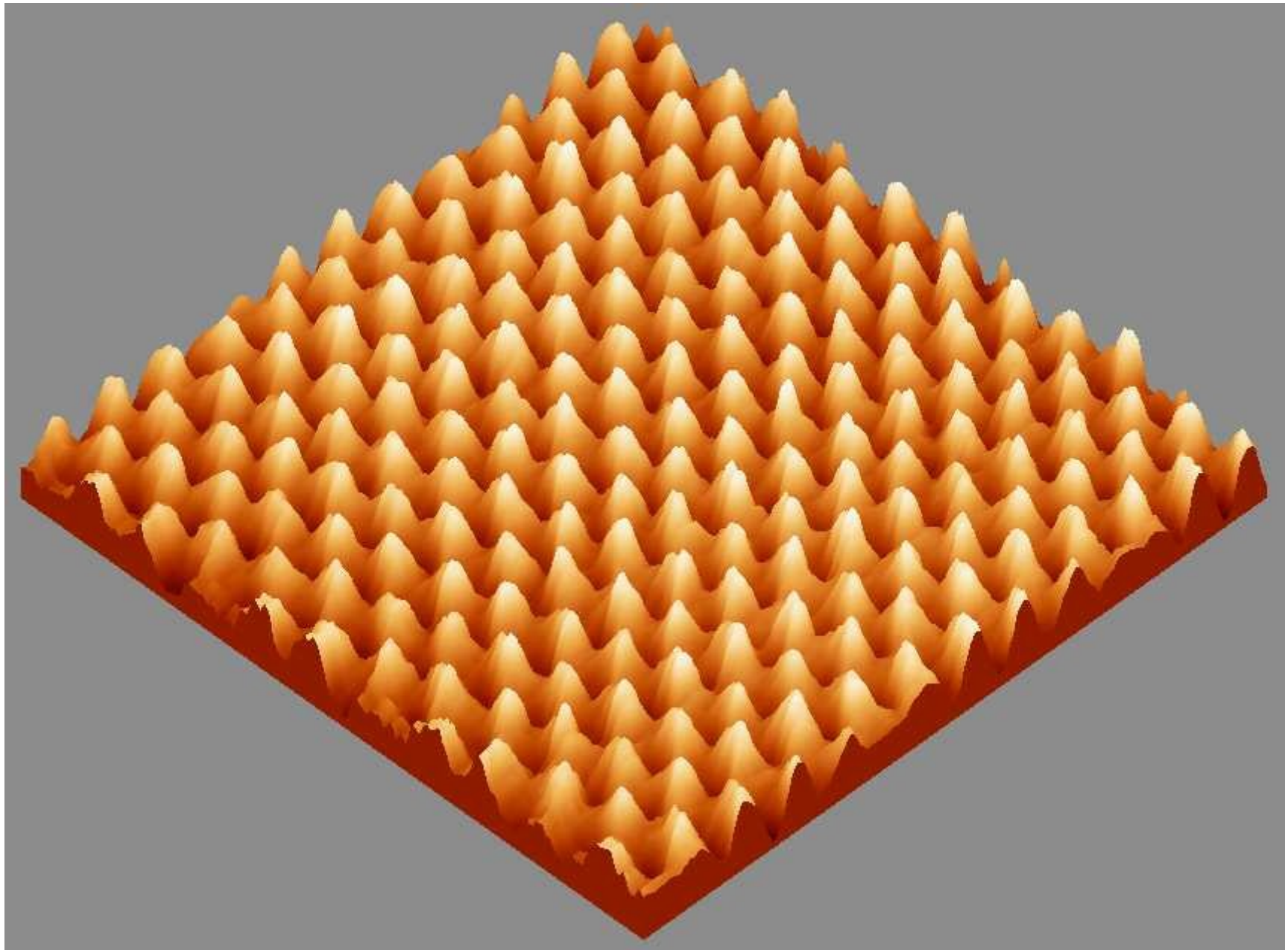
Ein partikkel kan jo ikkje gjennom begge spalter samtidig og interferere med seg sjølv

B: Interferens

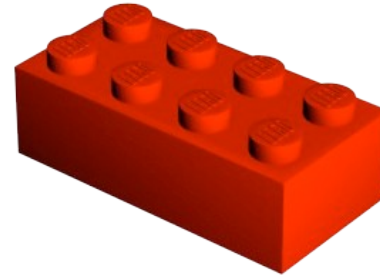
Lys er jo framleis også ei bølge

Svar: Video

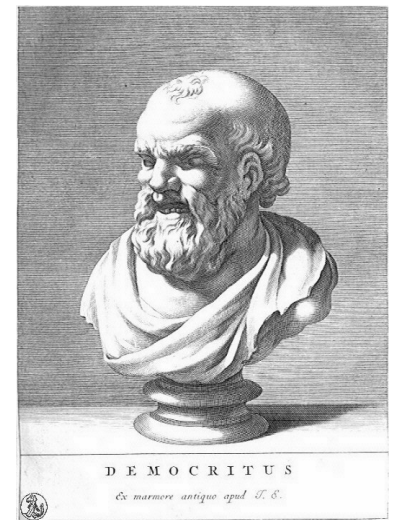
Atom



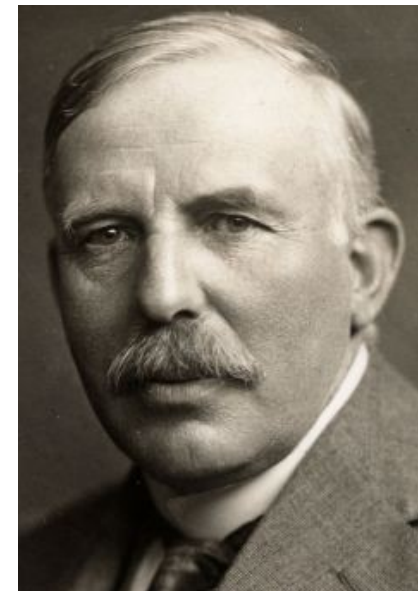
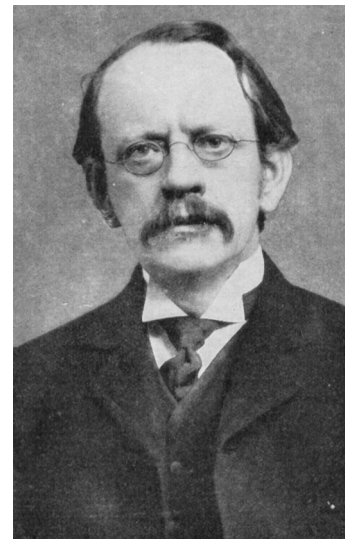
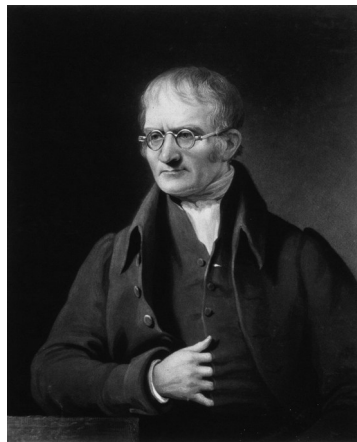
«Atomhistoria»



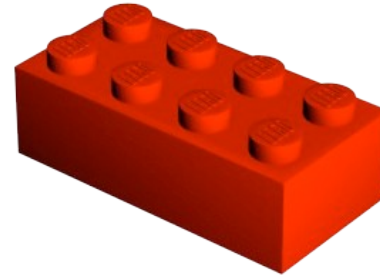
Gamle grekarar og indarar, ca 500 f. Kr.
Materien har ei minste eining;
den er bygd opp av små bitar som ikkje kan delast vidare



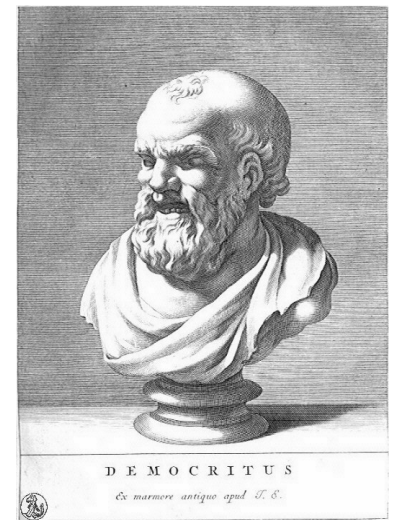
1800-talet: **Dalton, Brown, Thomson, Rutherford...**



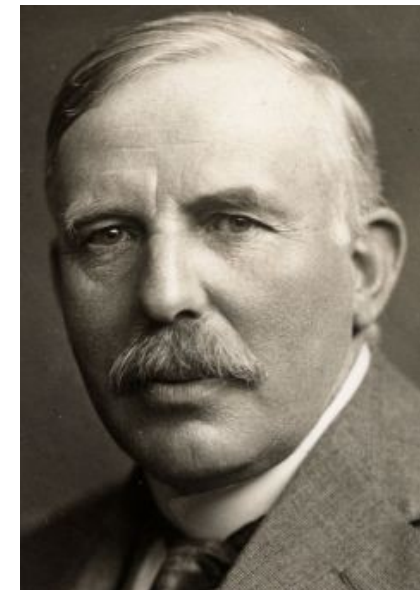
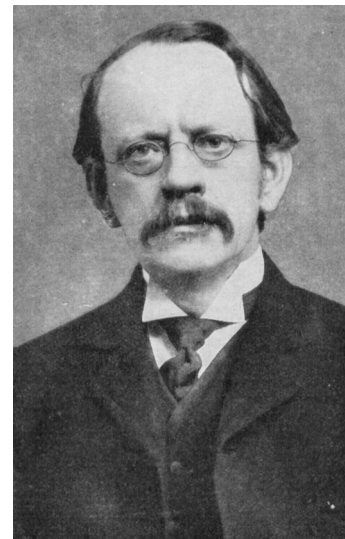
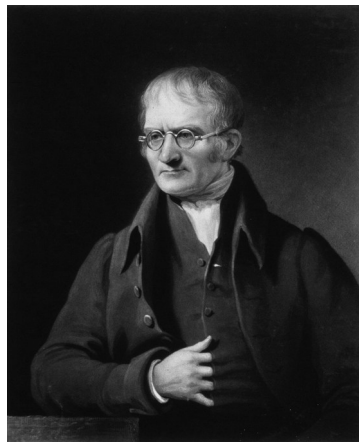
«Atomhistoria»



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...**

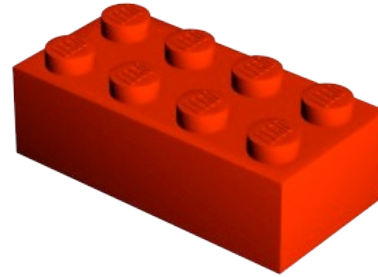


Oppdaga elektronet,
«Plum pudding»

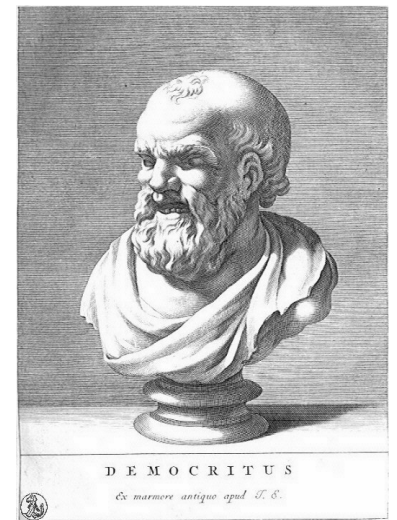
«Law of multiple proportions»

«Brownsk» røyrslé

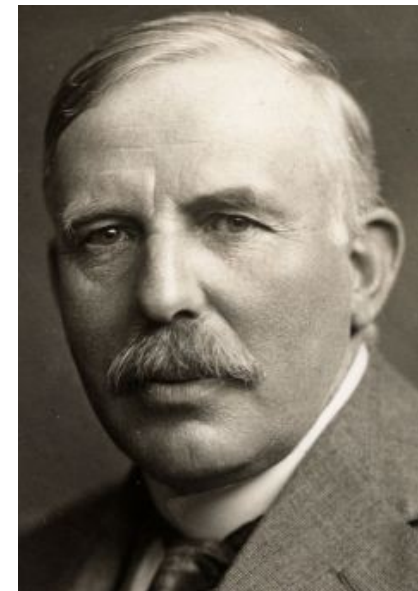
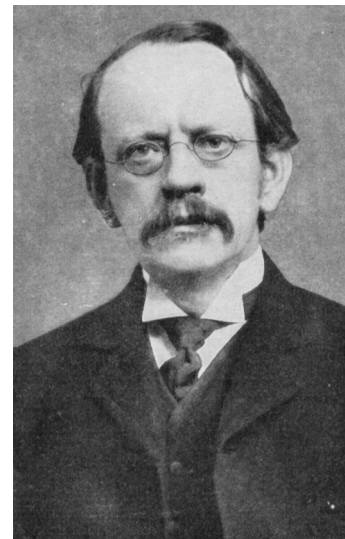
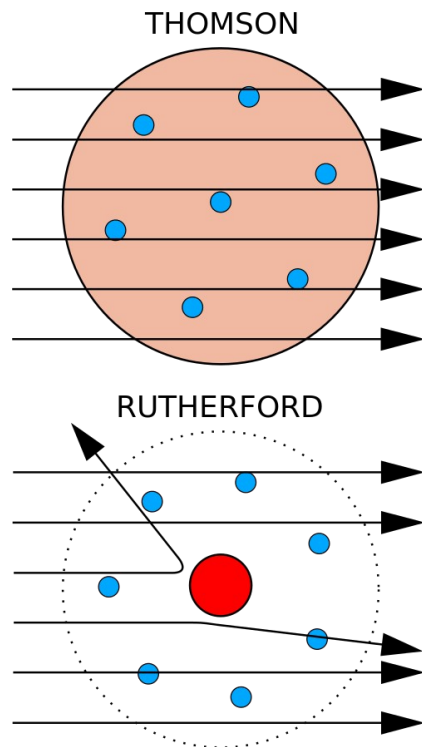
«Atomhistoria»



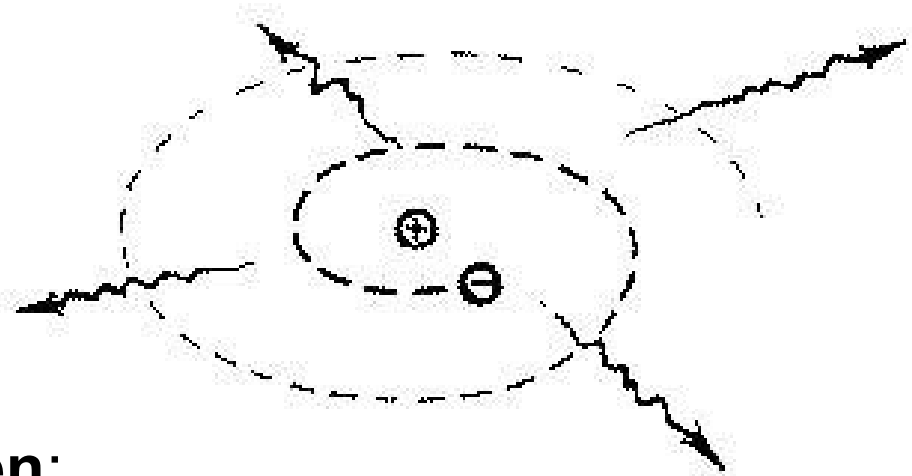
Gamle grekarar og indarar, ca 500 f. Kr.
Materien har ei minste eining;
den er bygd opp av små bitar som ikkje kan delast vidare



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

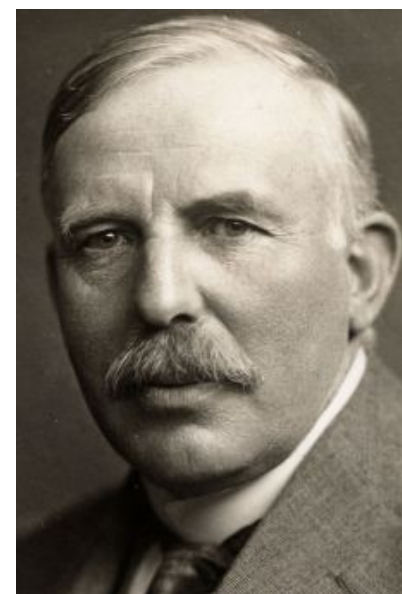


«Atomhistoria»

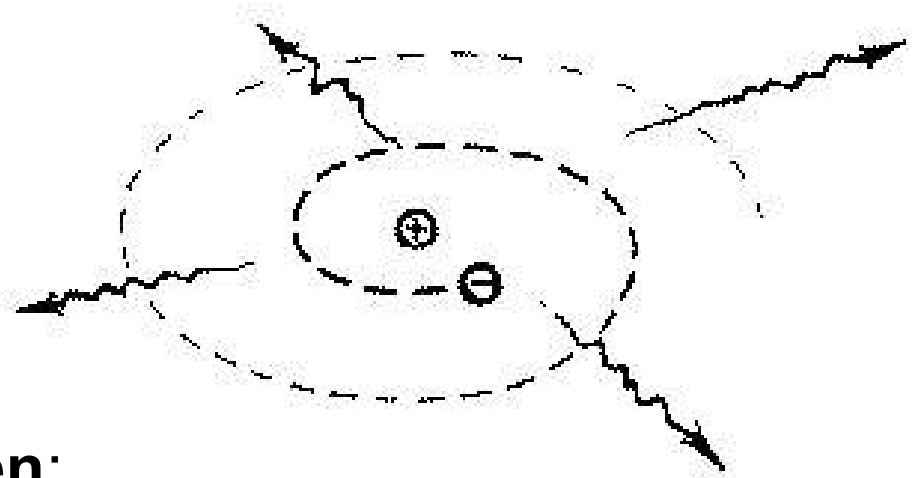


Problem med Rutherford-modellen:

- 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

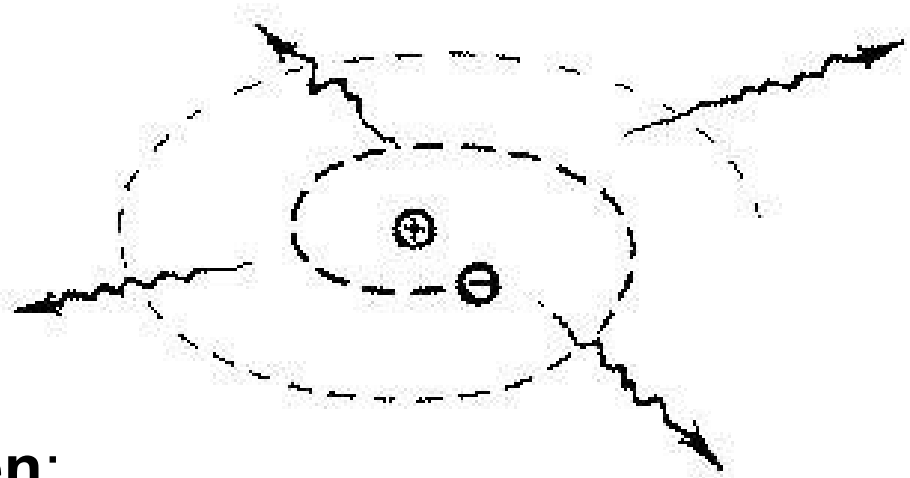


Problem med Rutherford-modellen:

- 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

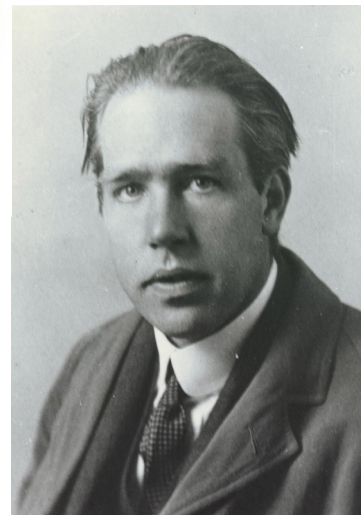


Problem med Rutherford-modellen:

- 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



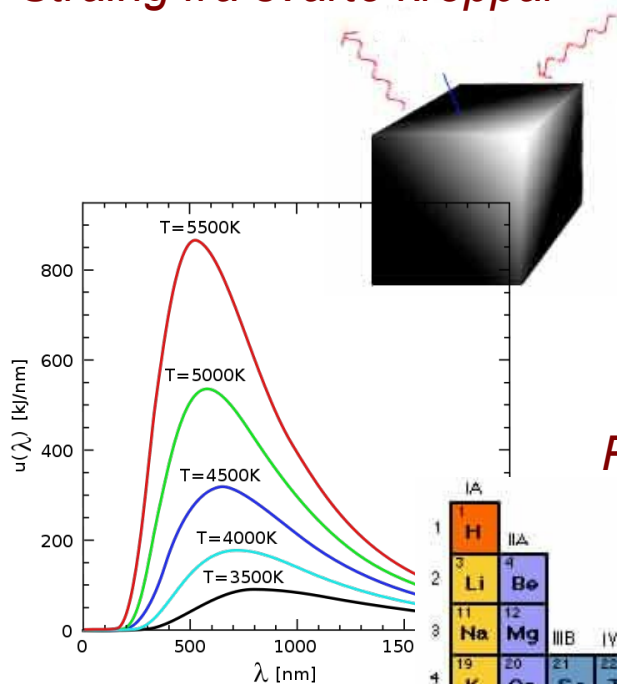
«Atomhistoria»

Rundt århundreskiftet 1800/1900:

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

Linjespektrum

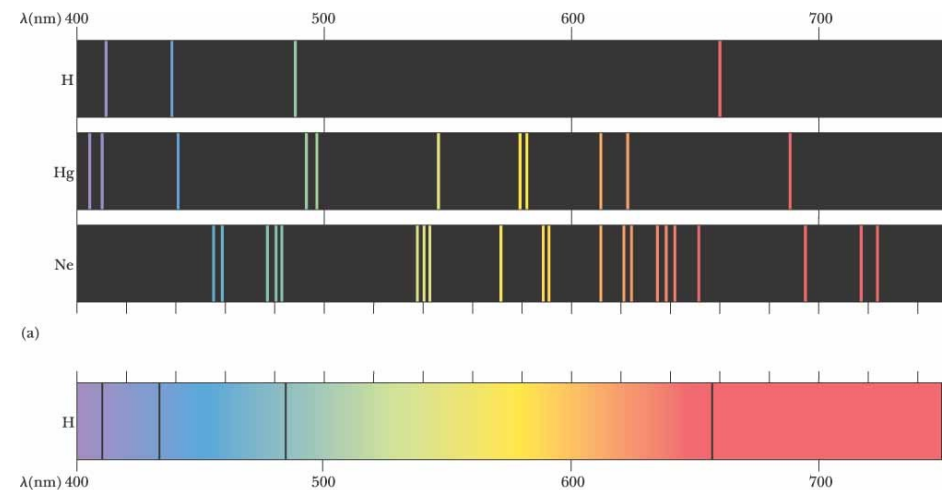
Stråling från svarte kroppar



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

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

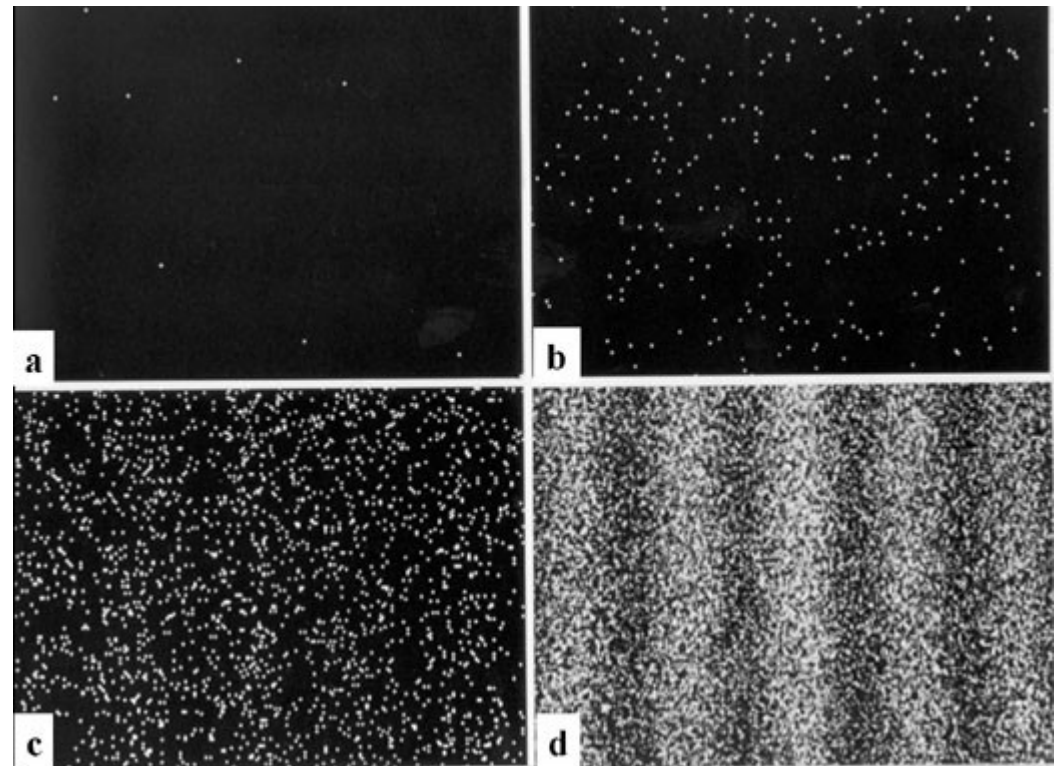
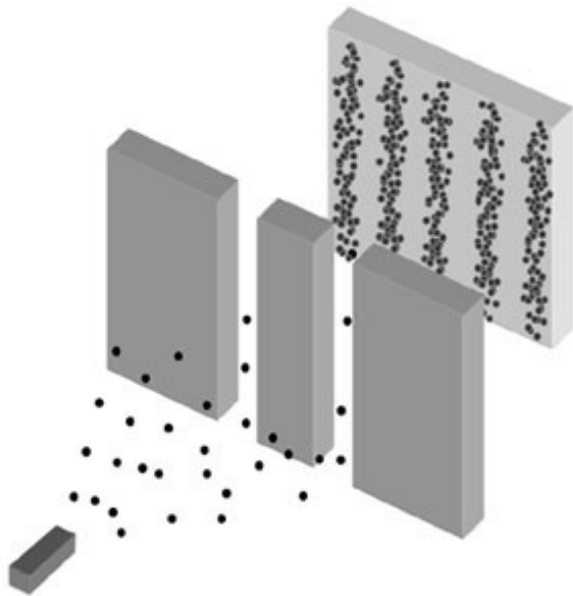
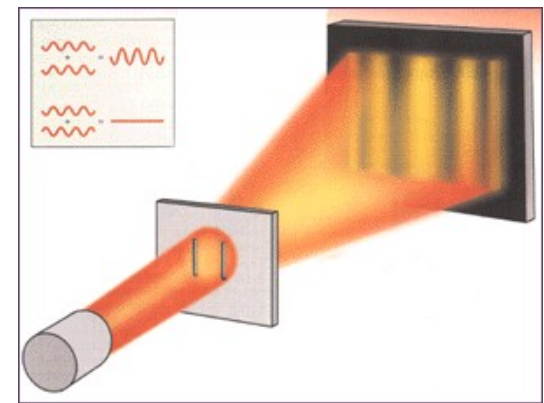


Luis de Broglie (1892 – 1987)

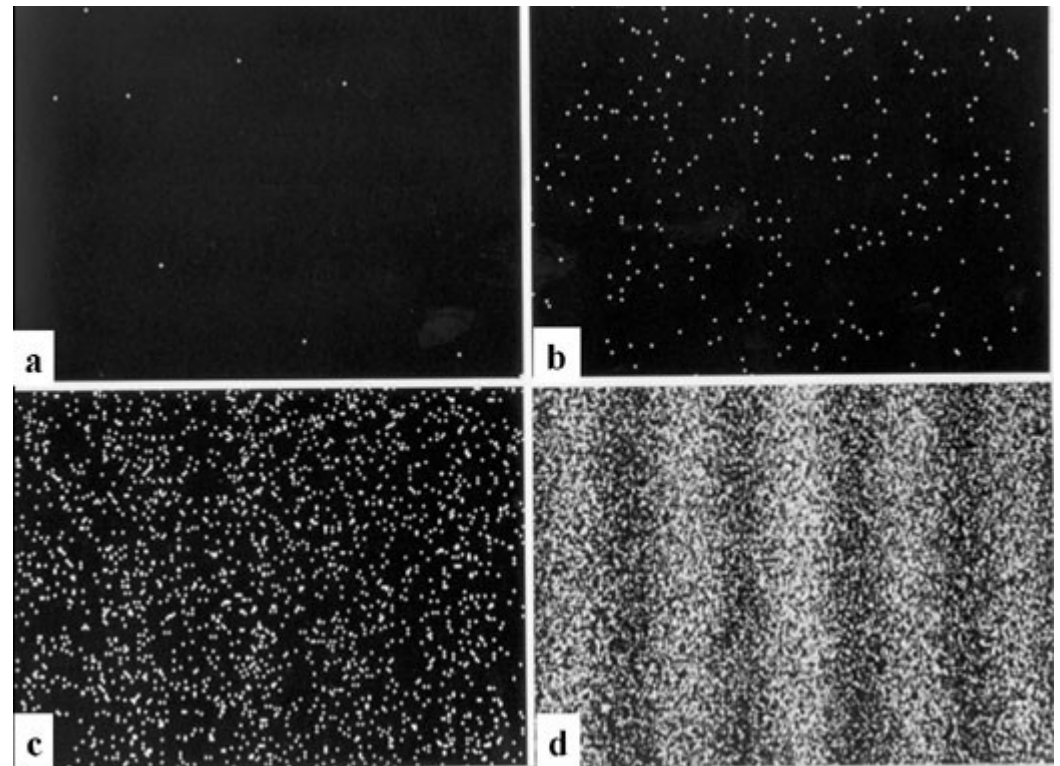
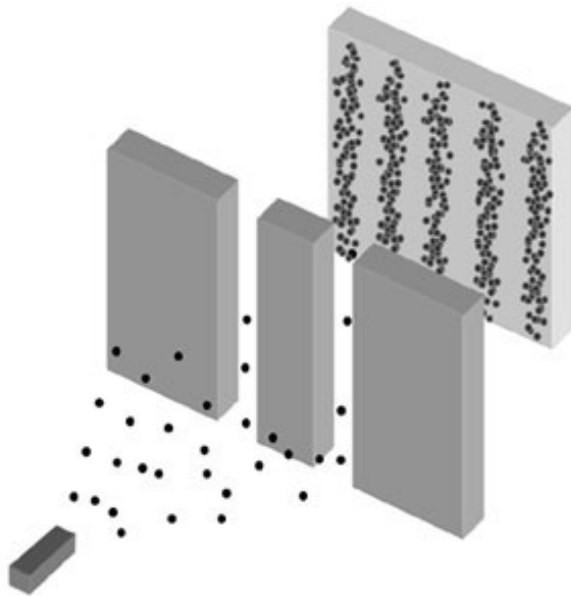
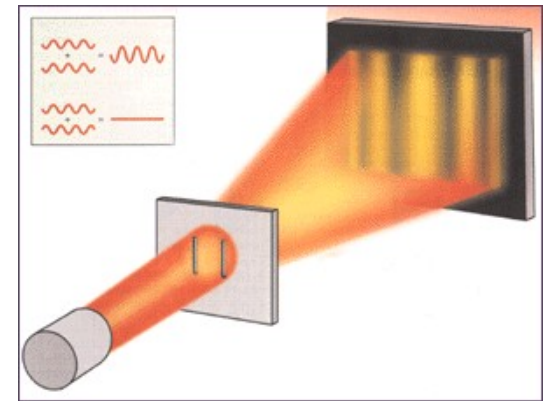


$$\begin{aligned}mv &= \frac{h}{\lambda} \\ E &= hf\end{aligned}$$

JA!

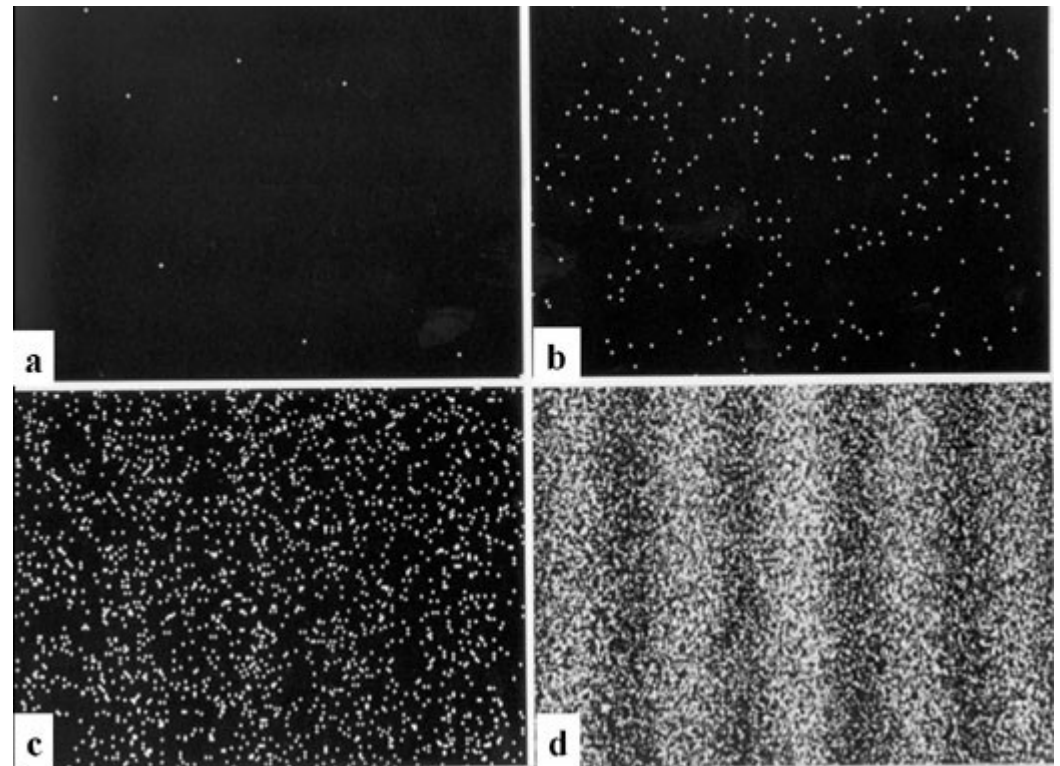
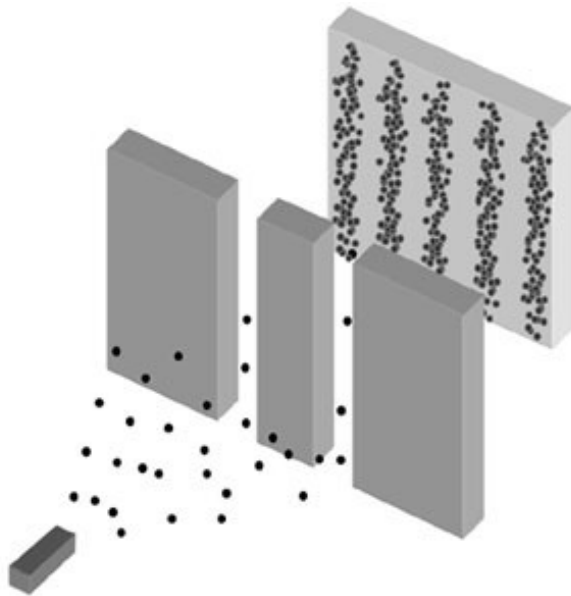
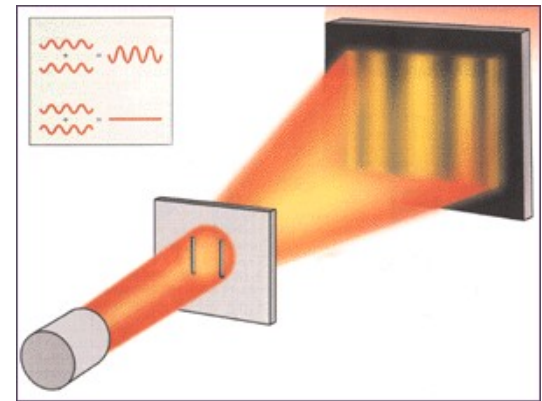


JA!



NB: Det blir også interferens om elektrona går gjennom eitt og eitt;
som fotonet interfererer 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)

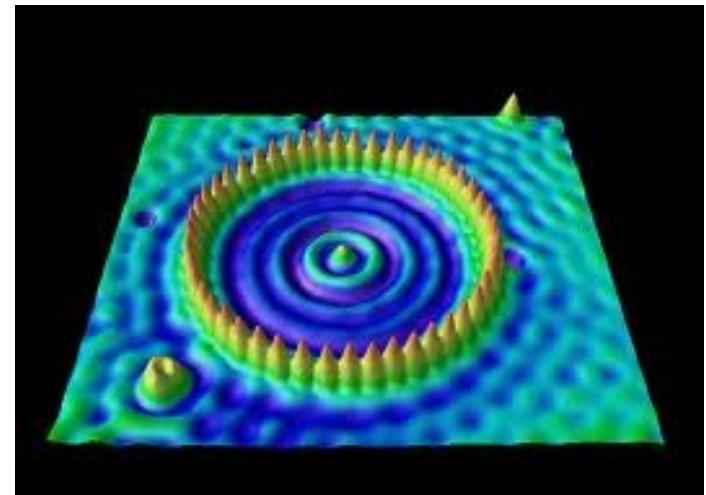


Schrödinger-likninga (for èin partikkel, tidsavhengig)

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

$$\Psi(x, t)$$

Bølgefunksjonen

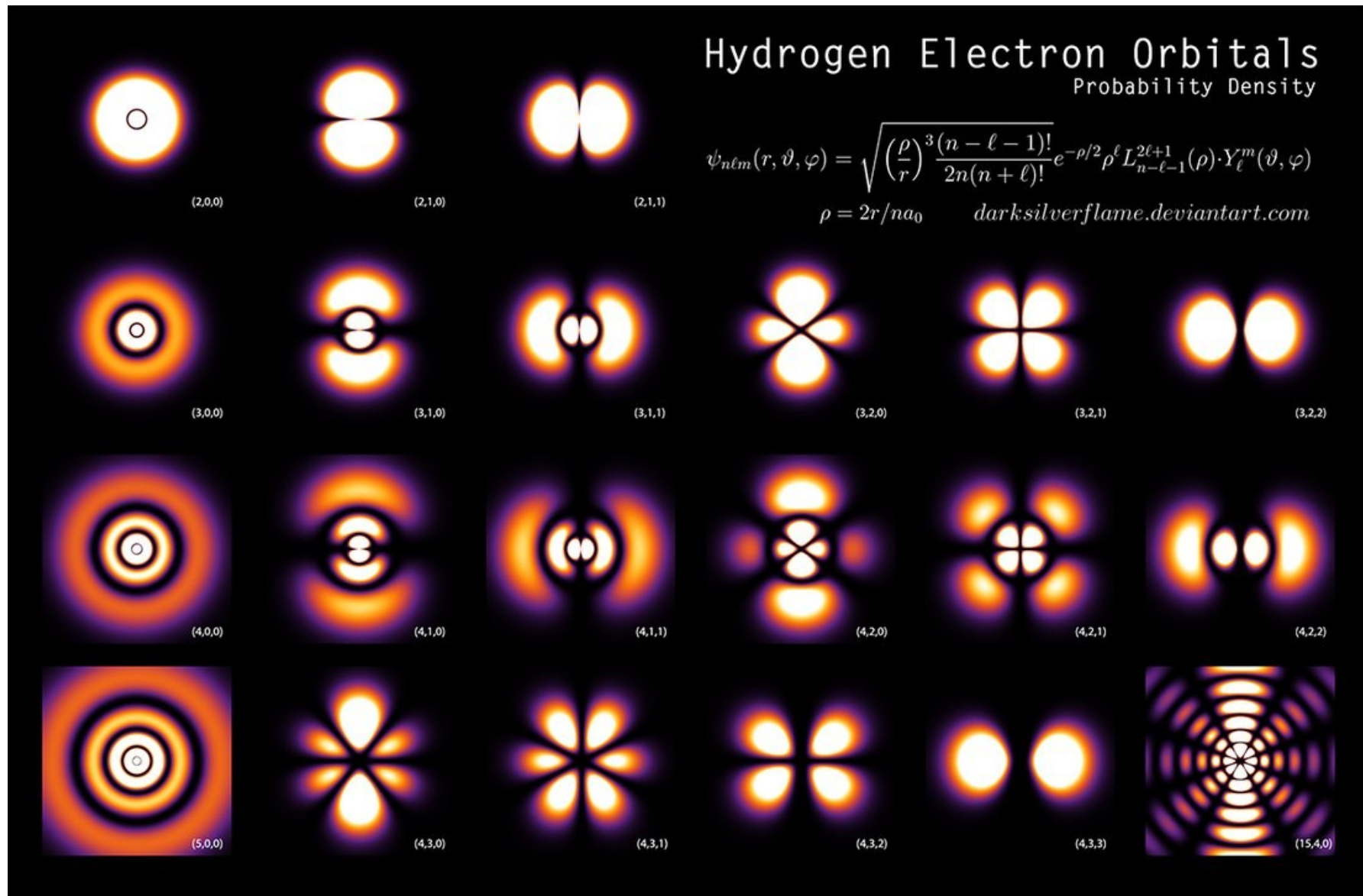


$$\Psi(x, t)$$

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

MATLAB-demo...

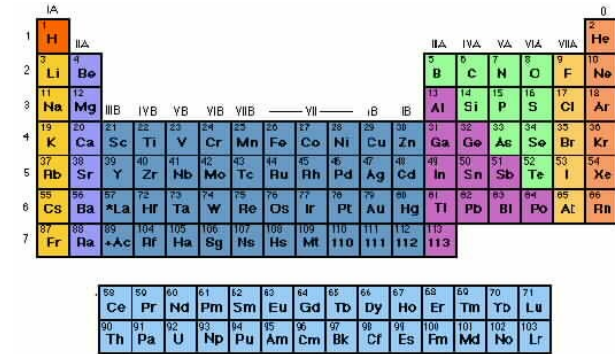
Stasjonære bølgefunksjoner for hydrogenatomet:



Energi for hydrogenatomet:

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

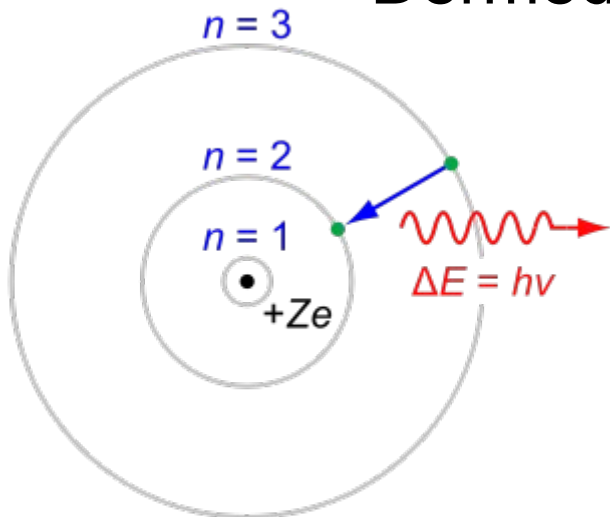
Konstant:
 $B = 2.18 \cdot 10^{-18} \text{ J}$



A standard periodic table of elements, color-coded by groups (IA to VIIA, IBA to VB, etc.) and periods (1 to 7). It includes elements from Hydrogen (H) to Oganesson (Og).

Alle atom:

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



$$\Delta E = E_m - E_n$$

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

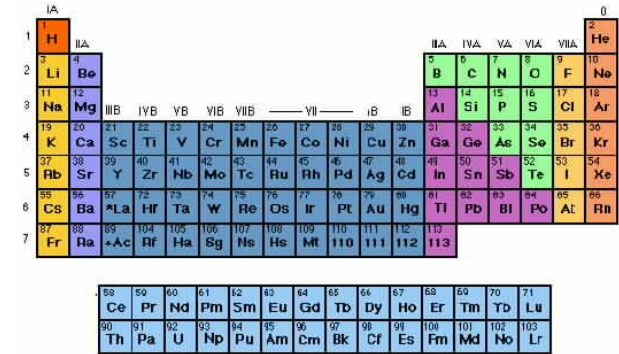
$$\frac{1}{\lambda} = K \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad n, m = 1, 2, 3, \dots$$

Energi for hydrogenatomet:

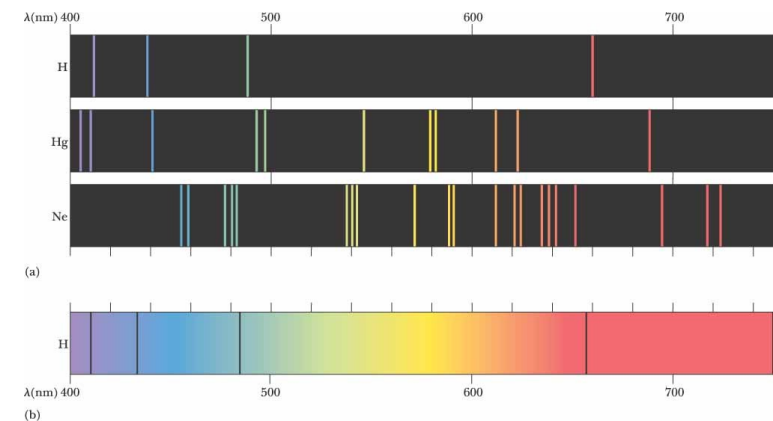
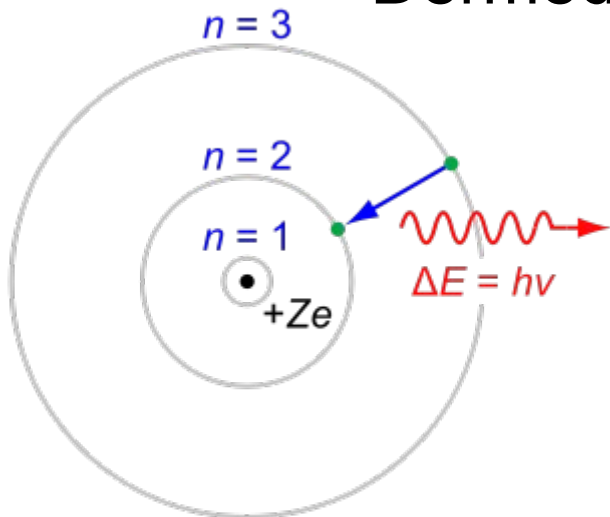
$$E_n = -\frac{B}{n^2}$$

Alle atom:

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



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

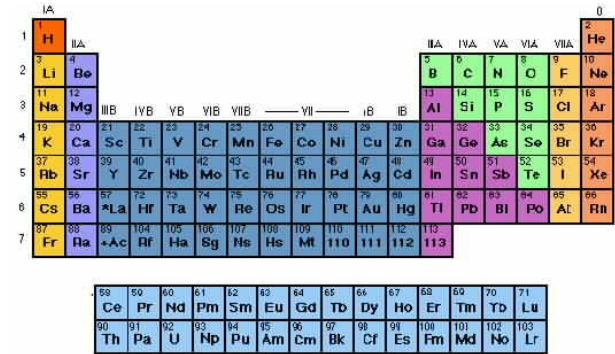


Energi for hydrogenatomet:

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

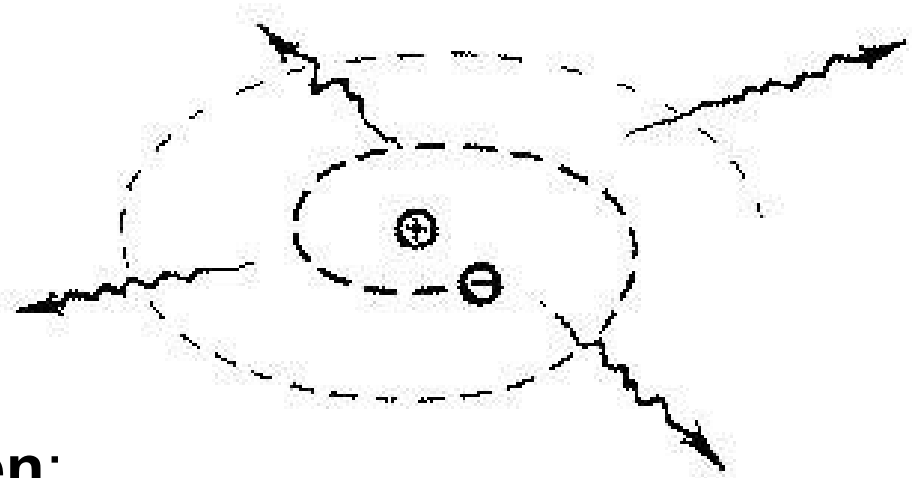
Alle atom:

- Sett med moglege energiar, $E_1, E_2, E_3, \dots$
- Dermed: Berre visse energiovergangar moglege
- Merk: Oftast veldig **komplisert** å bestemme desse energiane; det er nesten berre for hydrogen-atomet det er «lett»
- Det er også veldig **interessant**!



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Litt meir om Bohr

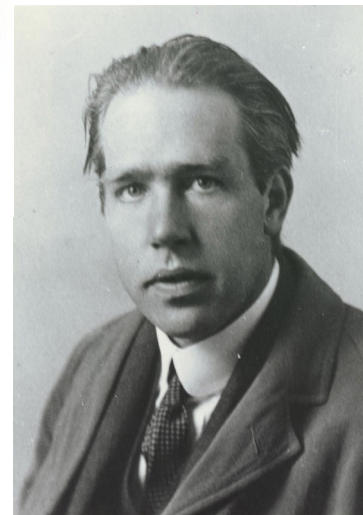


Problem med Rutherford-modellen:

- 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!

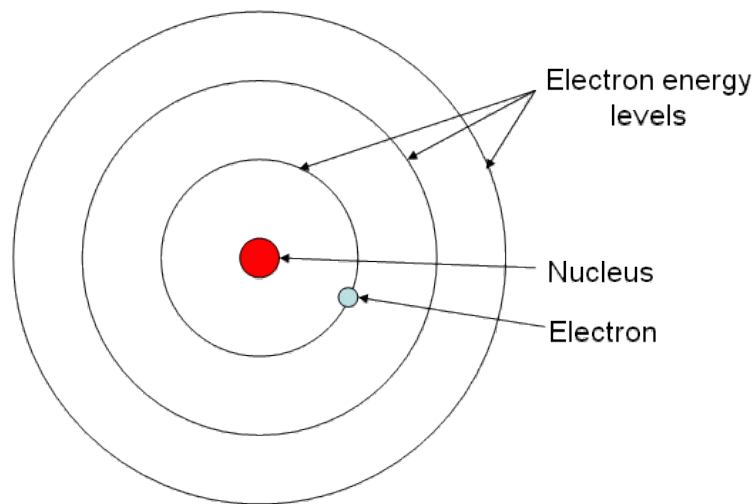
Joda, kanskje
atoma følger
andre lover



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,
$$h f = E_m - E_n$$

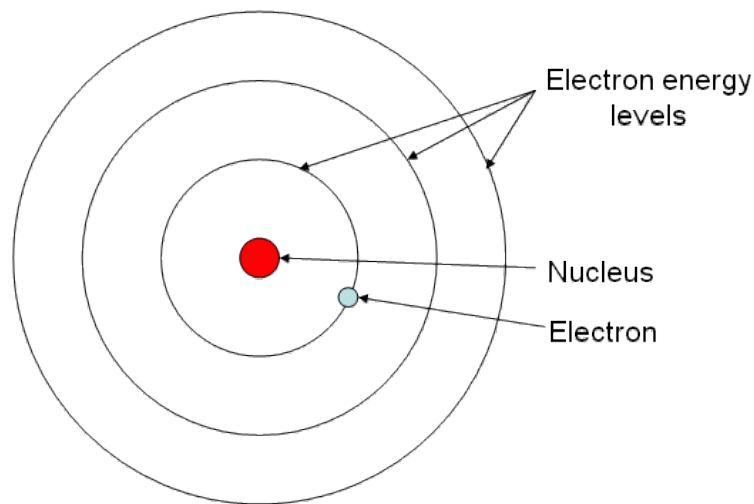


Bohrs atommodell

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,

$$h f = E_m - E_n$$



**-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

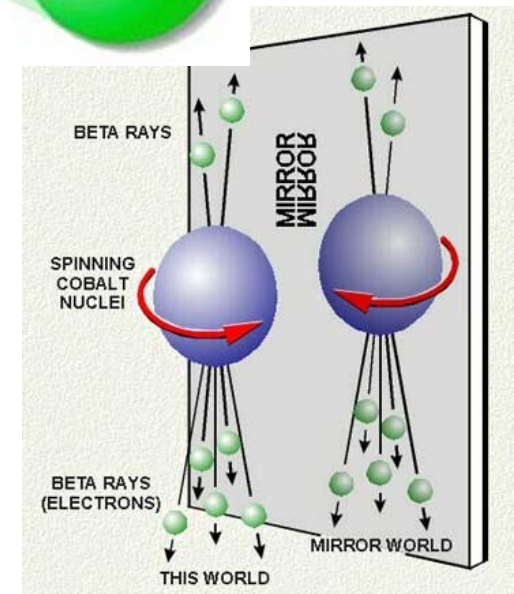
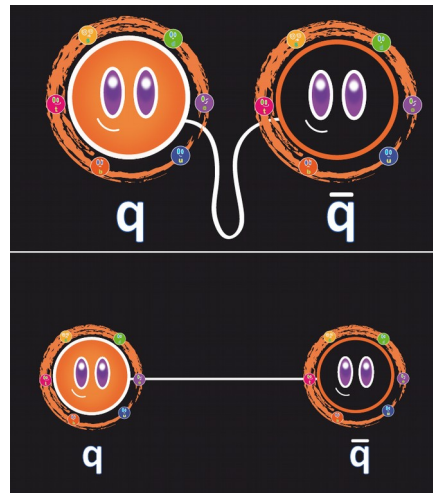
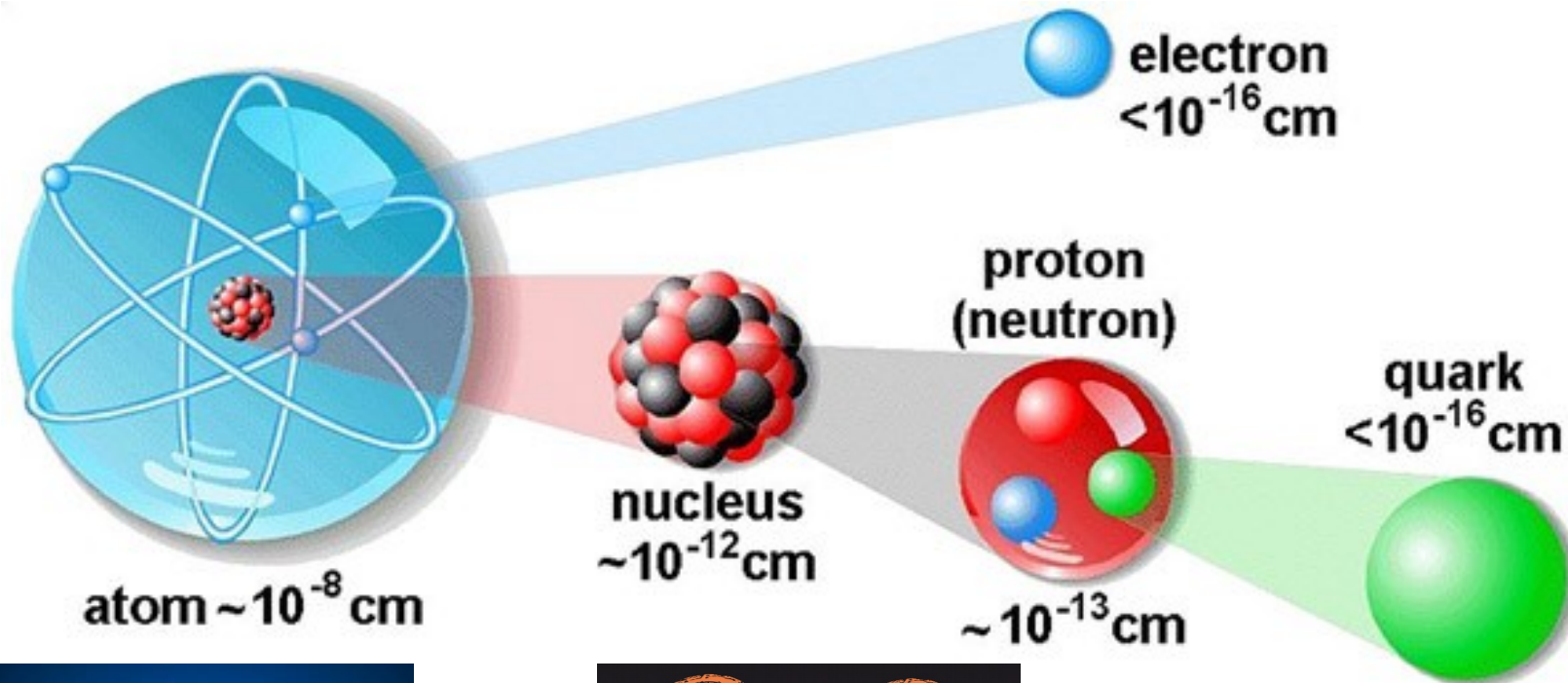
- Er lys med bølgelengda $\lambda=102.5$ nm synleg? Kva farge har det i så fall?
- Kva frekvens og energi har kvart enkelt foton som dette lyset består av?

$$(c=3.00 \cdot 10^8 \text{ m/s}, h=6.62 \cdot 10^{-34} \text{ Js})$$

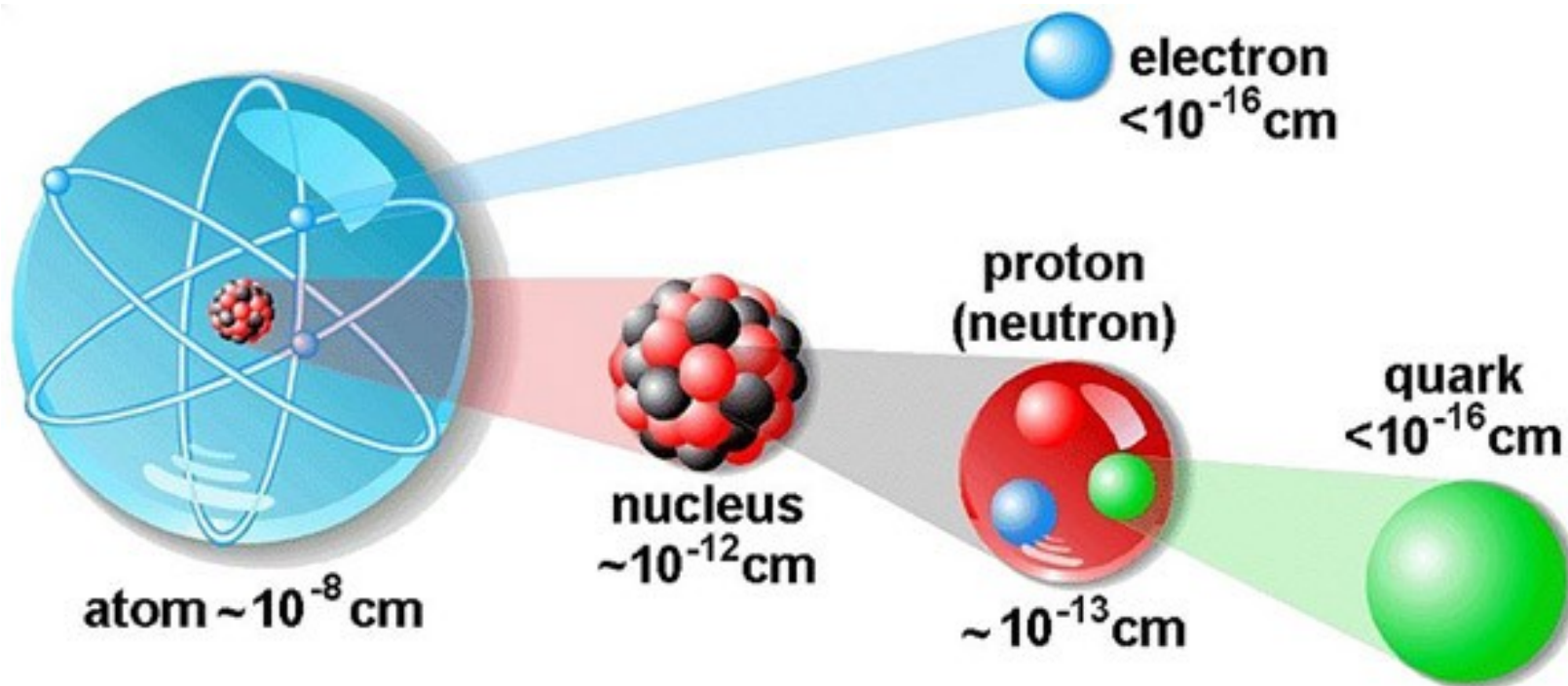
- Lyset kjem frå at mange hydrogenatom går frå ein bestemt eksitert tilstand til grunntilstanden. Kva eksitert tilstand var hydrogenatoma i?

$$(B=2.18 \cdot 10^{-18} \text{ J})$$

Men kva er inni atomkjerna?

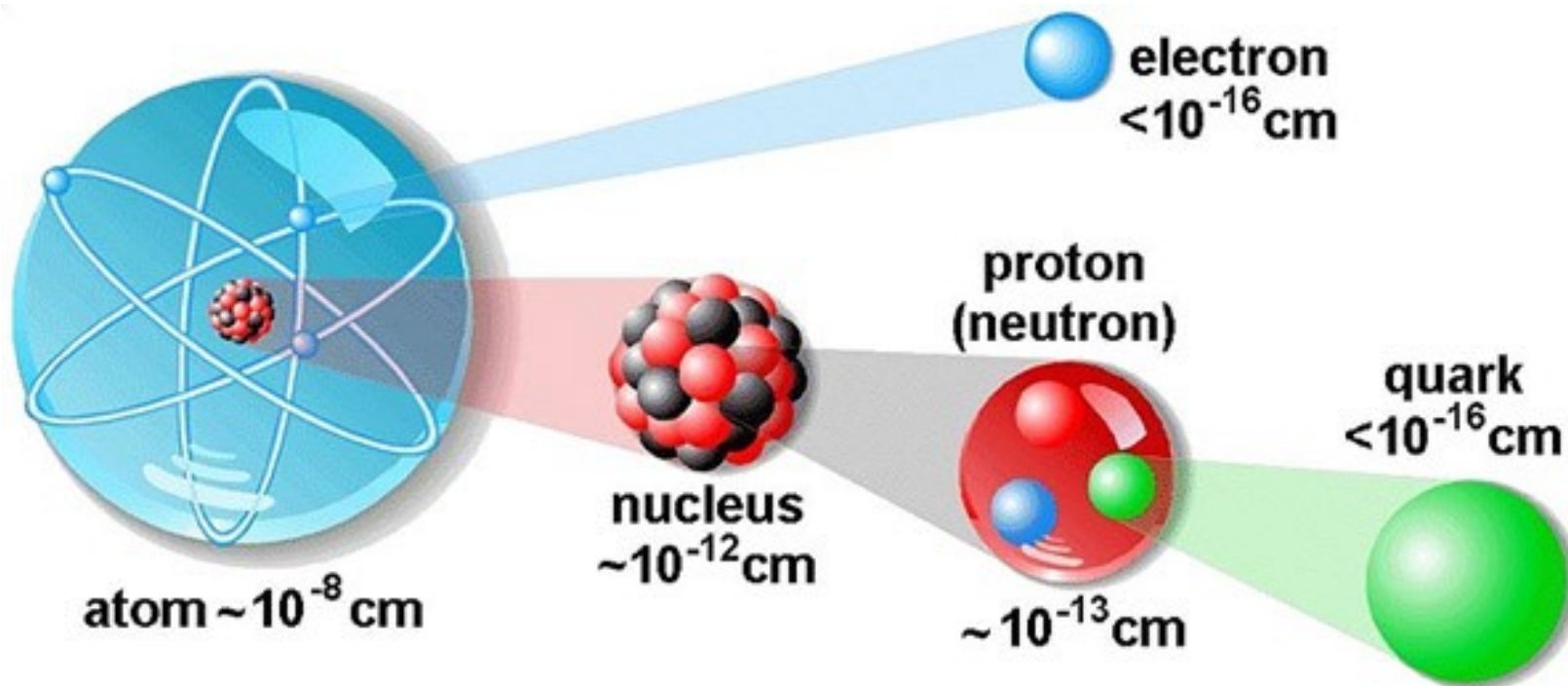


Men kva er inni atomkjerna?



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

Men kva er inni atomkjerna?

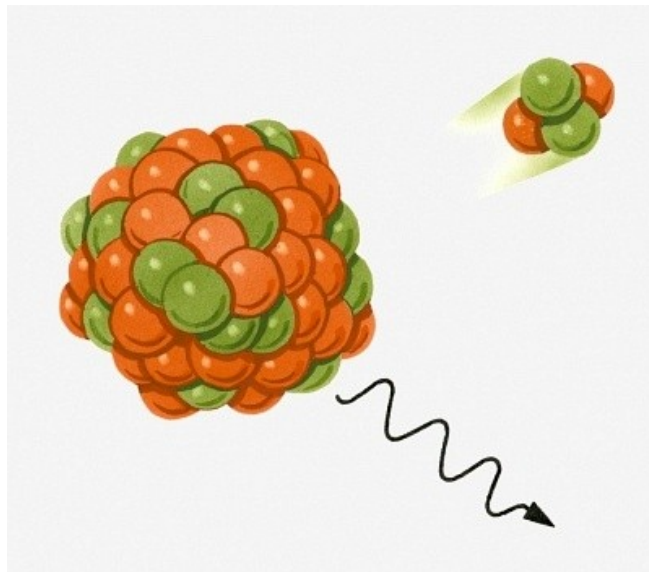


Partiklar:

Finst drøssevis (i tillegg til elektron og kvarkar).

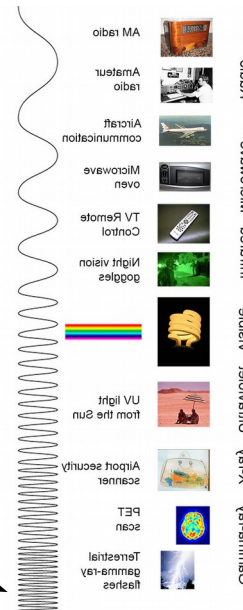
Og vi har nok ikkje funne alle!

Radioaktiv stråling

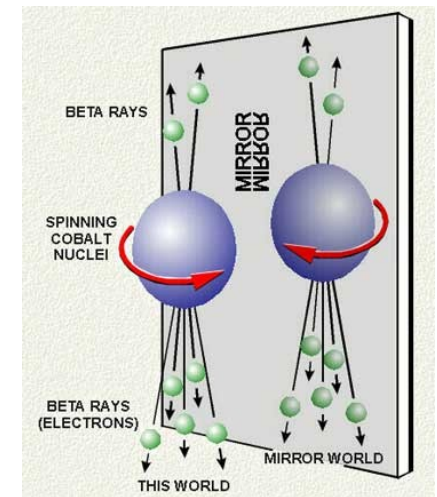


Alfa (${}^4_2\text{He}$)

Gamma (foton)



Beta (elektron)



Dess meir radioaktivt eit stoff er, dess raskare minkar det

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

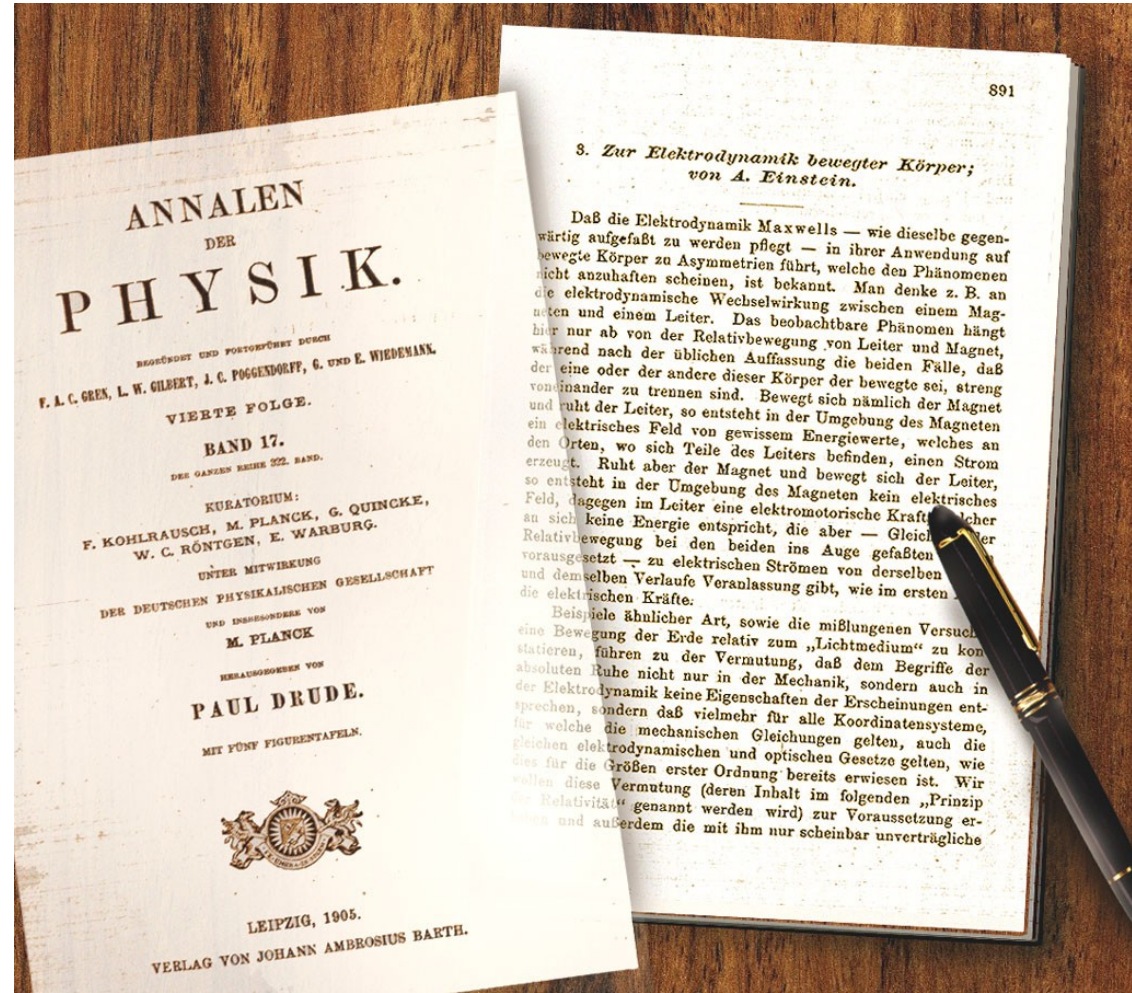
T : Halveringstid

Men korleis blir kjernereaksjonar til energi?



Men korleis blir kjernereaksjonar 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.



Men korleis blir kjernereaksjonar 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 «Brownske rørsle» med atom å gjere?

og

3) Korleis kan vi forklare fotoelektrisk effekt?

Men korleis blir kjernereaksjonar til energi?

Bevaringslover:

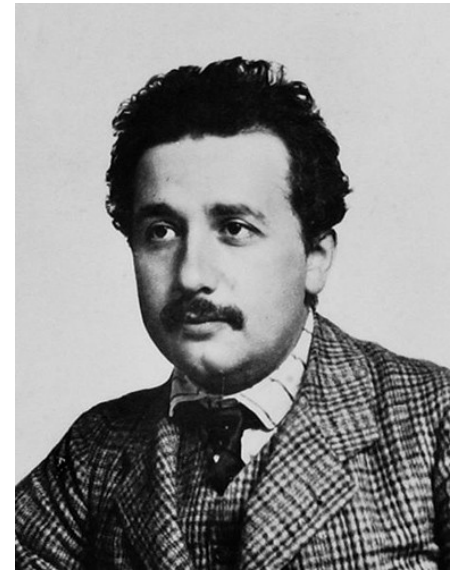
-Energi

-Bevegelsesmengde

-Ladning (kjem til dette seinare)

-Masse?

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



Men korleis blir kjernereaksjonar til energi?

Bavaringslover:

-Energi

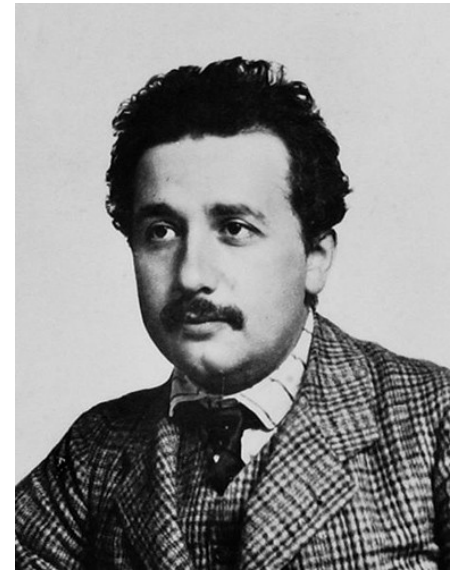
-Bevegelsesmengde

-Ladning (kjem til dette seinare)

-Masse?

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

NEI.
Masse er berre ein form for energi.



Men korleis blir kjernereaksjonar til energi?

Bavaringslover:

- Energi*
- Bevegelsesmengde*
- Ladning (kjem til dette seinare)*
- Masse?*

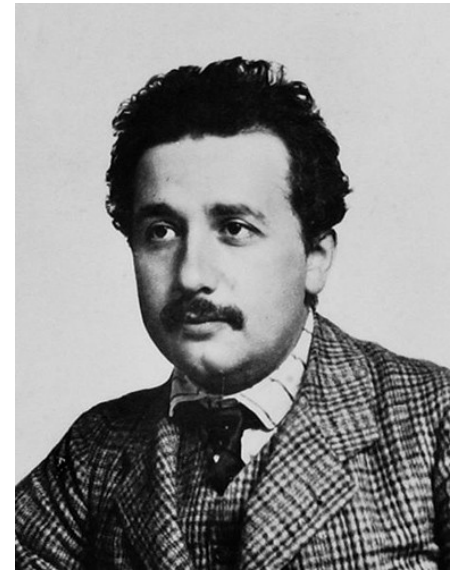
JA: *Når du knuser ein vase, veg vel alle bitane til saman like mykje som vassen før vi knuste han – eller?*

$$E=mc^2$$

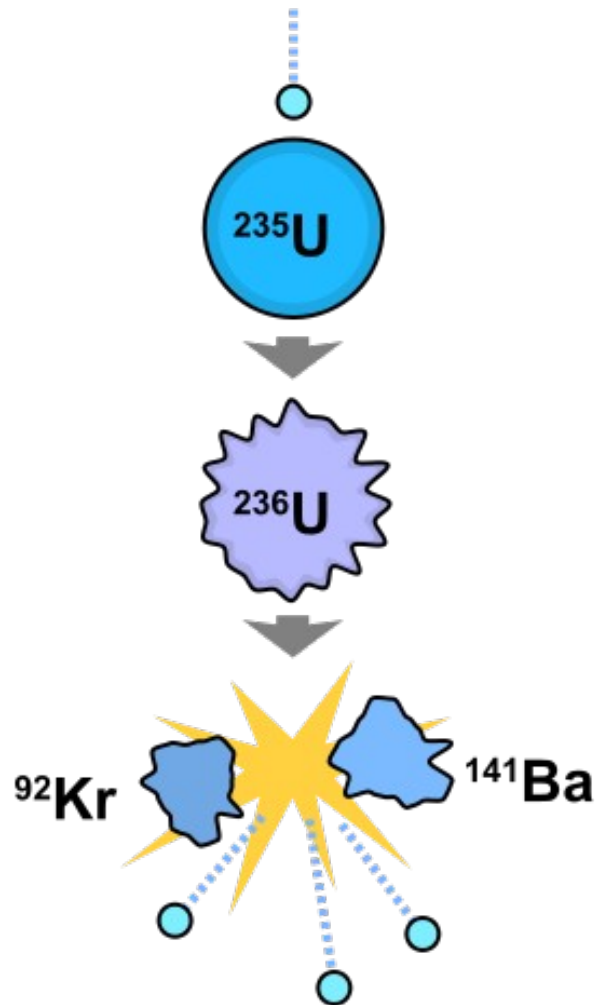
Lysfarten $c=3.00 \cdot 10^8$ m/s

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

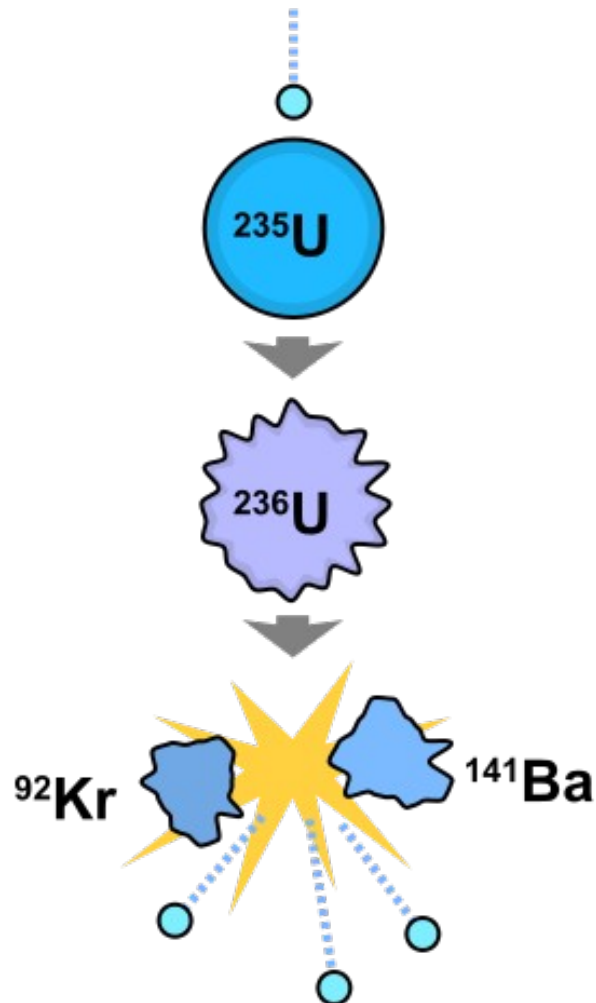
Kr92-masse: 91.926 u

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

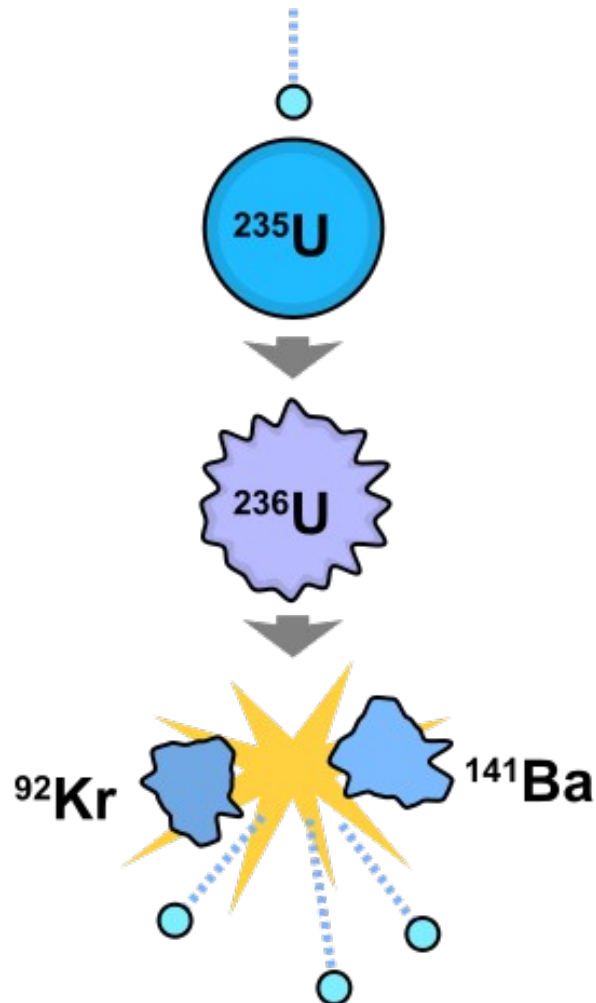
Atomær masse-eining:

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

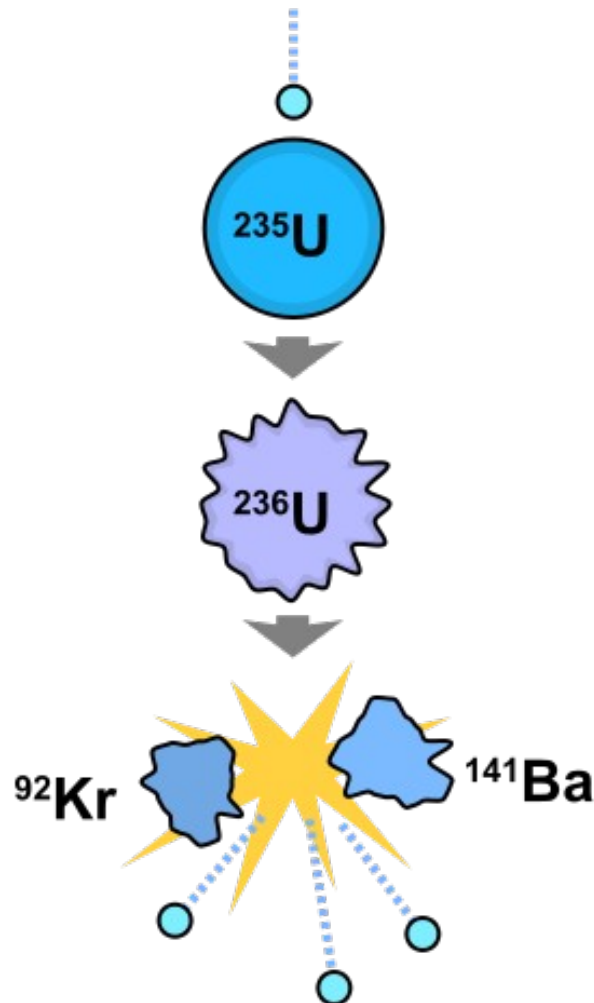
Atomær masse-eining:

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

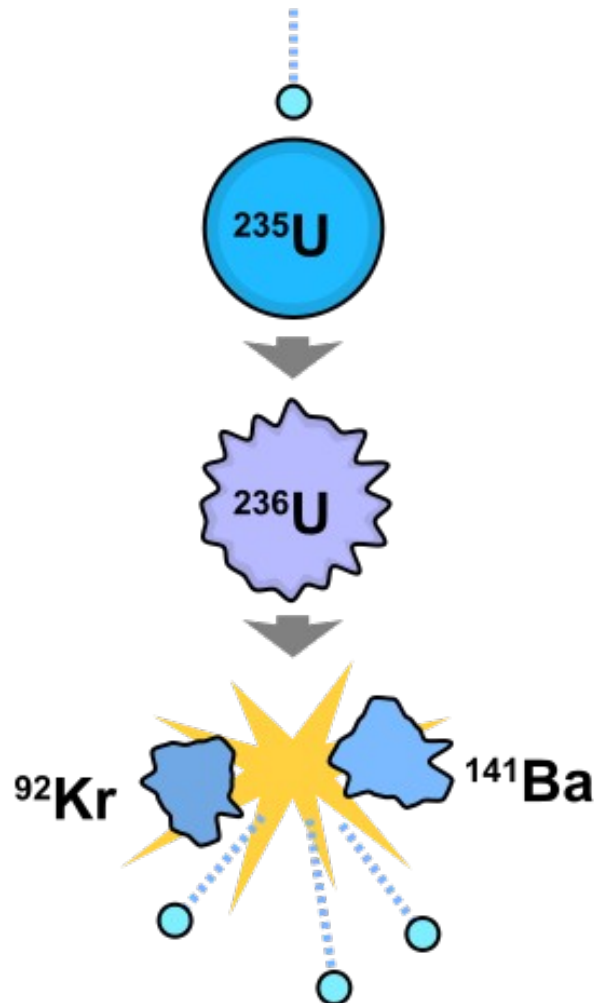
1 u = $1.6605 \cdot 10^{-27}$ kg

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

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

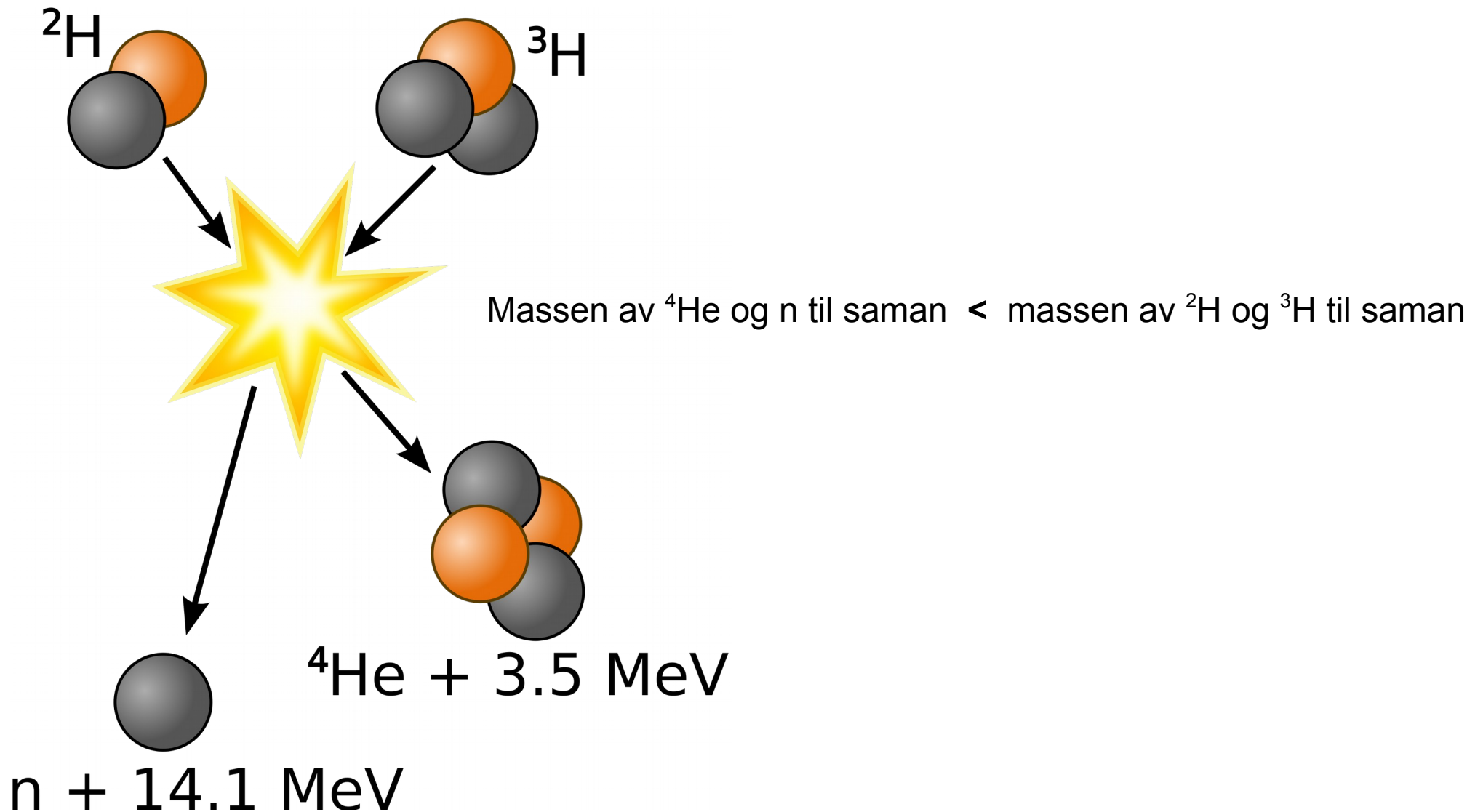
Masse etter: $3 \cdot 1.009 \text{ u} + 91.926 \text{ u} + 140.914 \text{ u} = 235.867 \text{ u}$

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

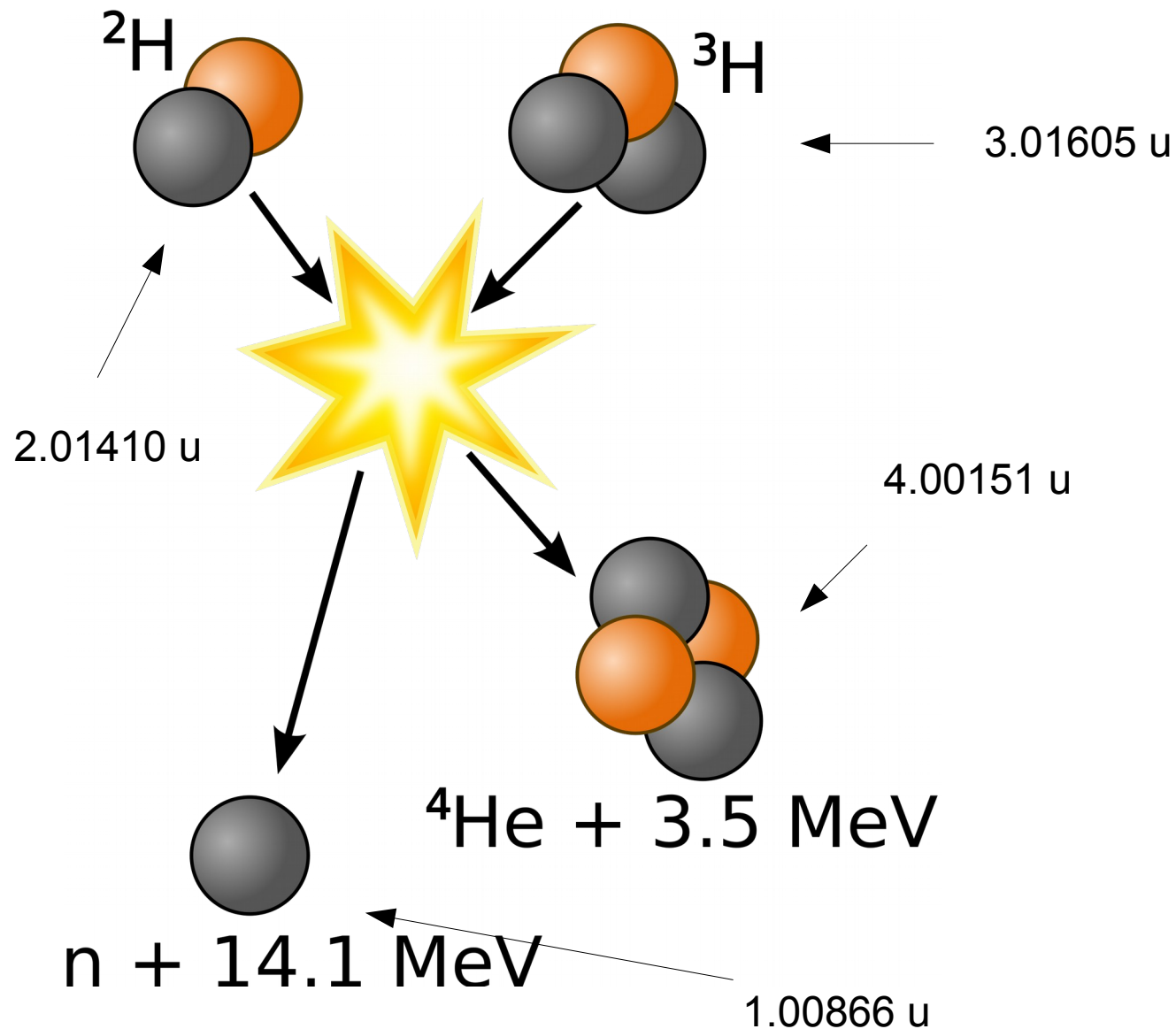
$E = mc^2 \rightarrow \Delta E = \Delta m c^2 =$

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

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



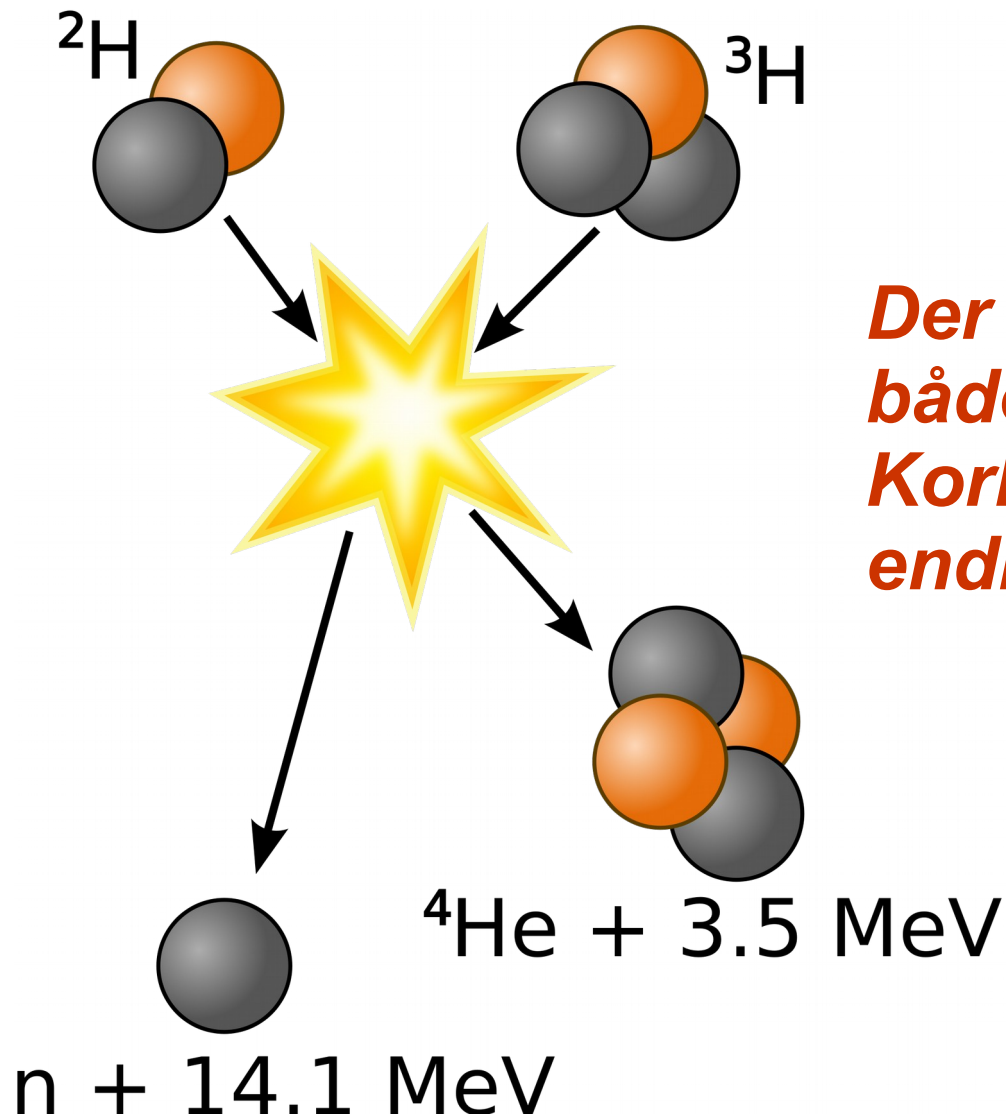
Motsett av spalting (fisjon): ***Fusjon***



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

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

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



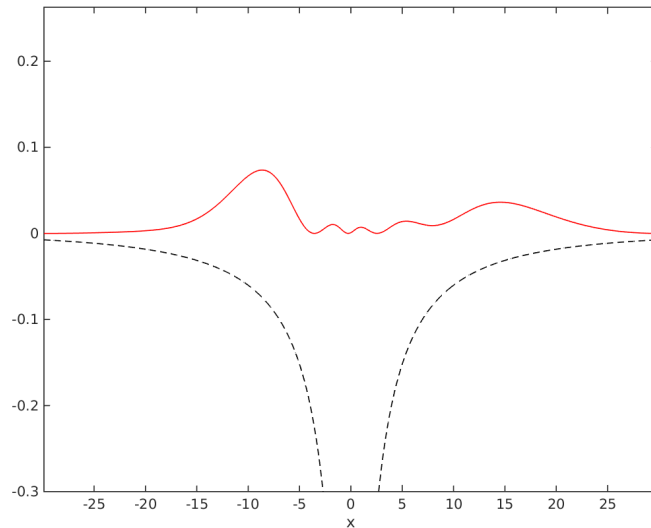
*Der er tre nøytron og to proton
både før og etter.
Korleis kan då totalmassen
endre seg?!*

-Tilbake til 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?

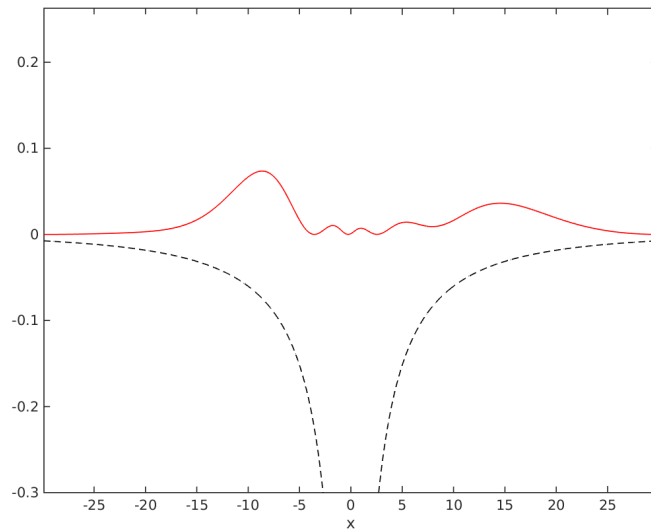


-Tilbake til Ψ :

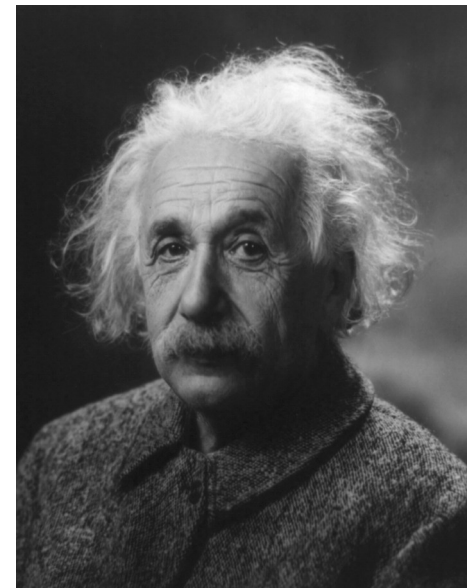
Bølgefunksjonen gir sannsynet for at ei måling av ein eller annan fysisk storleik, t.d. energi, gir eit bestemt resultat.

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?



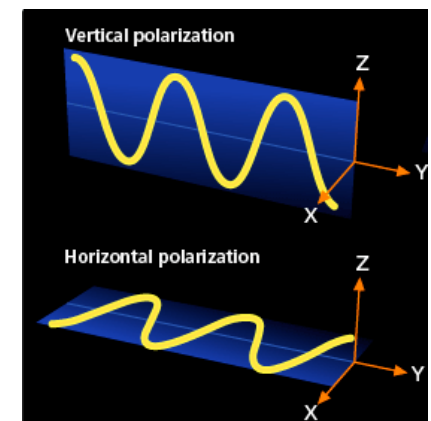
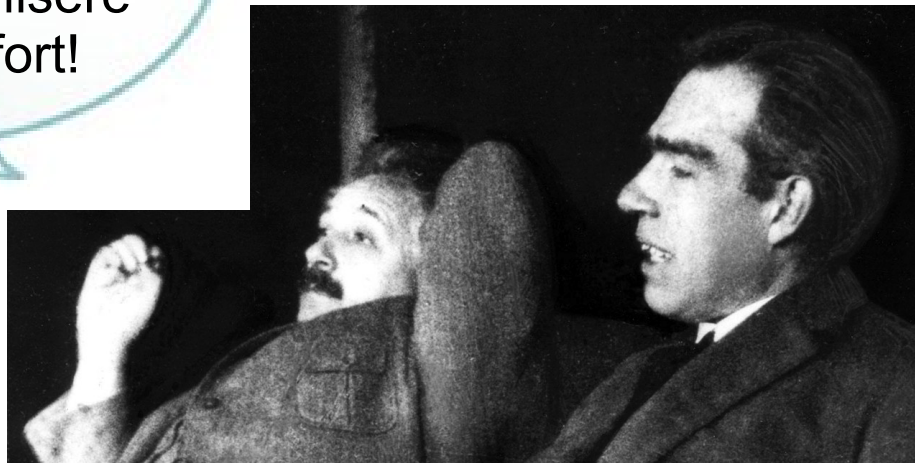
*Det gir ikkje meining
å snakke om posisjon,
energi etc. utan
måling*

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)

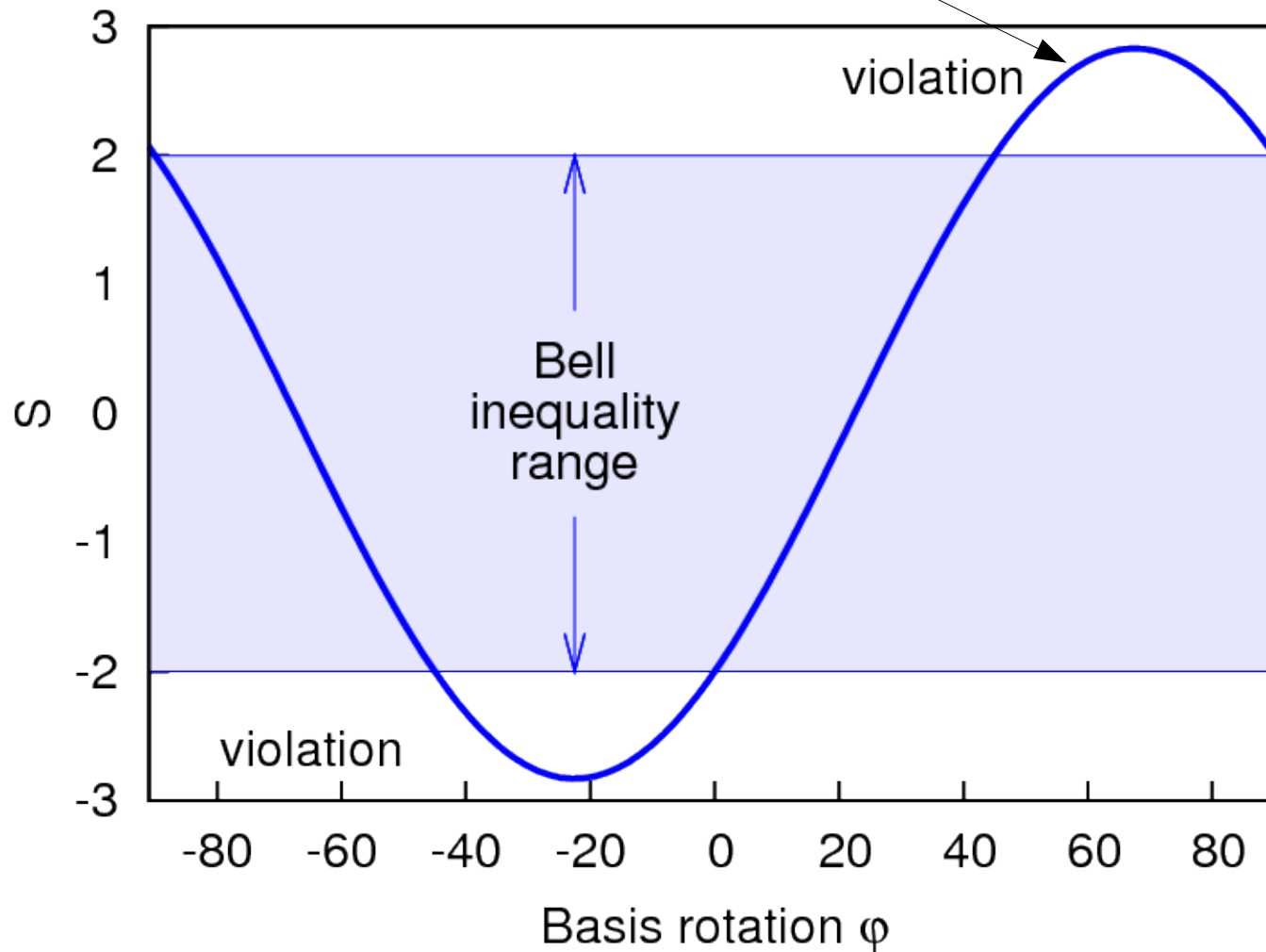
Teori

Eksperiment



Alain Aspect (f. 1947)

Bohr hadde rett!

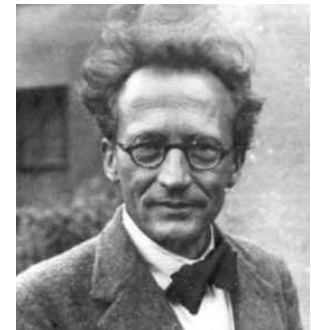


Altså:

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 *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:

og

-Partikkel ~~eller~~ 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 tinga vi ser til dagleg.

Symmetri



-Emmy Nöther (1882 - 1935)

For kvar symmetri er der ein
konserverv storleik

