

# Kvant fysikens principer

Eddy Ardonne

\* Föreläsningar

\* Räkneövningar Carl Wilblæus

\* Demonstrationskväll (nov. ell. dec)

Information: [WWW.FYSIK.SU.SE/~ARDONNE/FK2003.HTM](http://WWW.FYSIK.SU.SE/~ARDONNE/FK2003.HTM)  
(~~sk~~ schema, anteckningar, nyheter, osv).

Examination: Tenta

Börja jobba genast, kom till räkneövningar

R & R<sub>2</sub>: ~~background~~ bakgrund i matke: \* komplexa tal

\* vågor

\* linjär algebra

⇒ För vilka slags system behöver vi kvant fysik?

Beskriver system på mikroskopisk nivå: \* molekyler

\* atomer (subatomär nivå)

\* elektroner

\* ljus

Så ~~bygger~~ byggestener av allt omkring oss!

Behövs för att kunna beräkna egenskaper av

\* många material: halvledare, magneter,

\* periodiska systemet

\* ~~ljus~~ ljus från atomer (glödlampa!)  
atomspektra

Fysik vid ~1900. (finde siècle).

\* Newtons mekanik + rörelse av kulor, solsystemet

Om man vet kraften på en partikel, och partikelns position och hastighet vid en viss tid ( $t=0$ ):  $x(0)$ ,  $v(0)$ , då kan vi bestämma banan:  $F = ma \Rightarrow x(t)$

Determinism!

\* Huygens, Young: ljus är en våg: interferens (dubbelspalt ~~experiment~~ experiment, nästa föreläsning).

\* Termodynamik: temperatur, energi omvandling ångmaskiner

\* Maxwell: elektrodynamik: ekvationer för  $\vec{E}$ , och  $\vec{B}$ ,  
ljus är en våg!

Man kunde lätt tro att fysiken var klar.

Lord Kelvin skulle ha sagt:

'There is nothing new to be discovered in physics  
~~now~~ now, all that remains is more and more  
precise measurement!'

Vi har ingen intuition för vad som händer på mikroskopisk nivå!

Bekändhet av ett kvant system kan vara helt 'counterintuitive', vaka våra kretsar...

Citat: Feynman: 'If you think you understand quantum theory, you don't understand quantum theory'

Demose: 'Quantum mechanics makes absolutely no sense'

Schrodinger: 'I do not like quantum mechanics and I'm sorry I ever had anything to do with it.'

⇒ Men: jämför frågor: hur och varför?

\* Kvantfysik fungerar otroligt bra, bland de bästa teorier som finns (Quantum ~~elektro~~ electrodynamics)

\* Tillämpningar: lasrar, transistorer, e<sup>-</sup> mikroskop



Två problem återstår:

Ljuset hastighet är konstant (bero inte på  
hur snabbt den som mäter den rör sig)

→ relativitetsteori

Svart kropps strålning: → Kvant mekanik  
'ultraviolett katastrofen'

Svartkroppsstrålning:

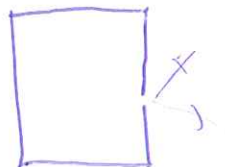
Alla kroppar absorbera och emitterar strålning  
vid varje temperatur.

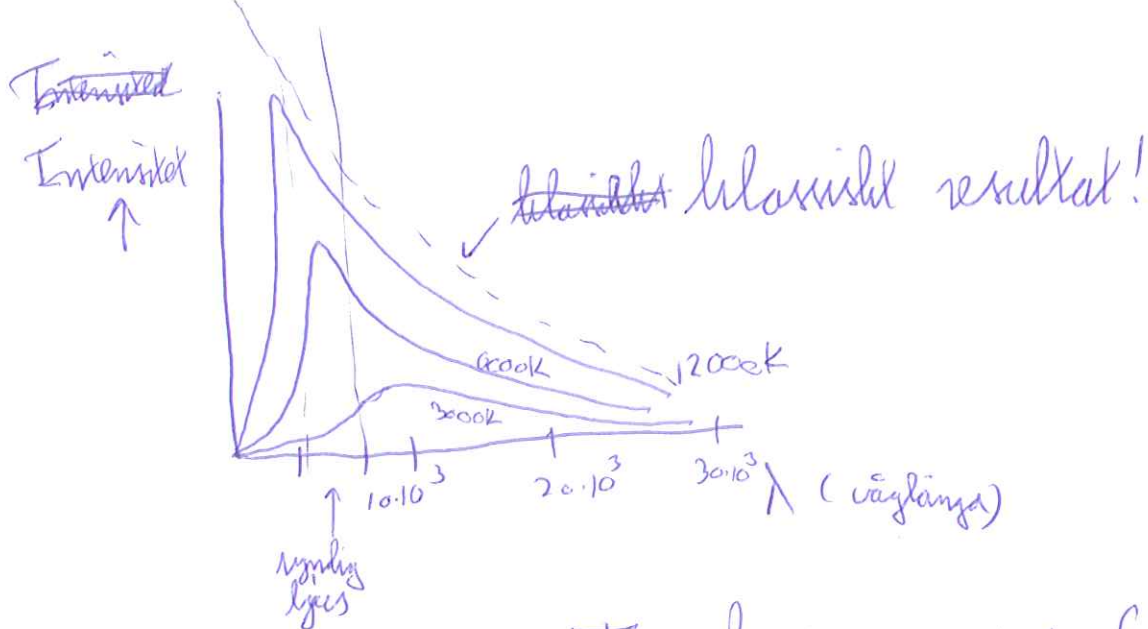
\* Svartkropp: absorberar allt strålning som faller på  
den.

\* Emitterar strålning i jämvikt med kroppen (och dens  
temperatur).

\* Hur energi är fördelat över de olika frekvenser  
bero bara på  $T$ !

Exempel: hålrum:  
(ugn)





Klassisk:  $\lambda_{\max} \cdot T = \text{konstant}$  (Wien förförklaring)  
 $E_{\text{tot}} = \sigma T^4$  (Stefan-Boltzmann)

Energi, per tidsenhet, per area enhet, per frekvens (utan förklaring!)

$$B(\nu, T) = \frac{8\pi}{c^2} \nu^2 (k_B T) \quad \text{funktion bara för långa våglängder.}$$

$$E_{\text{tot}} = \int_0^\infty d\nu \frac{8\pi}{c^2} \nu^2 (k_B T) \rightarrow \infty. \text{ Problem.}$$

(per area, tid)

$k_B$ : Boltzmann konstant  $= 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$

Planck: "temporär lösning": energi kan bara skickas  
 1901 ut i diskreta ~~paket~~ paket:

$$E = n h \nu \leftarrow \text{Frekvens}$$

heltal  $\uparrow$  konstant  $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$

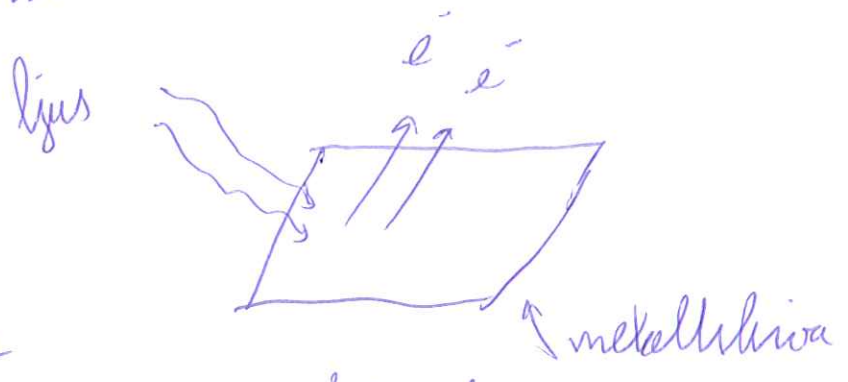
Då för man (visas inte här):

$$B(\nu, T) = \frac{8\pi \nu^2}{c^2} \frac{h \nu}{e^{\frac{h \nu}{k_B T}} - 1}$$

som beskriver experiment bra!

OBS: för  $\nu$  liten,  $e^{\frac{h \nu}{k_B T}} \sim 1 + \frac{h \nu}{k_B T}$  och  $B(\nu, T) \rightarrow B_{\text{class}}(\nu, T)$

# Fotoelektrisk effekt:

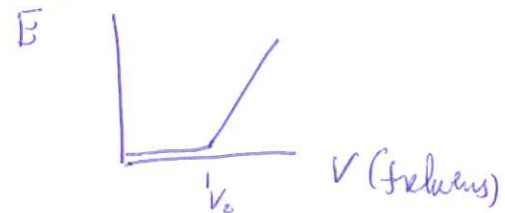


Polerade metallytor

emitterar elektroner när man skiner ljus på dem!

- \* Man måste ha att ~~l~~ ljusets frekvens  $\nu > \nu_0$   
↑  
tröskel värde.
- \* Energi av  $e^-$  beror linjärt av  $\nu$ , inte av  
~~l~~ ljusets intensitet
- \* Antalet  $e^-$  beror på intensiteten, inte på  $\nu$ !

Gör inte att förklara klassiskt.



Einstein 1905: Energi för strålning kommer i paket, det är kvantiserat; hela ljuskvant, fotoner absorberas!

- \* Det krävs en viss energi att frigöra en elektron:  
Så energin av fotonen måste vara tillräckligt stor:

$$E_f = h\nu > E_0 \Rightarrow \nu > \frac{E_0}{h} = \nu_0 \text{ (def.)}$$

Energien av elektronen:  $E_d = h\nu - E_0 = h(\nu - \nu_0)$

- \* Om man höjer intensiteten av ljuset, höjs antalet elektroner som emitteras, men inte deras energi.

EM strålning har partikelkaraktär:  $E = h\nu$   
 $p = \frac{h}{\lambda}$



Ljus: dubbelspalteexperiment: interferens  $\rightarrow$  vågor!

Fotoelektrisk effekt  $\rightarrow$  partiklar!

Kvantfysik: Ljus ~~är~~ är ingen våg, ingen partikel,  
utan "partikelvåg".

Partikelvåg dualiteten är central inom kvantfysik

1913: Bohrs atommodell: elektronerna 'rör' sig i  
~~issa~~ vissa banor, med kvantiserad energi  
Förklarar atomernas linje spektra!

1924: Pauli uteslutningsprincipen

1925 de Broglie: Ljus har partikelegenskaper, så  
partiklar har vågegenskaper!

$$\lambda = h/p$$

1926 Schrödingers ekvationen:  $H\psi(x,t) = i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t}$

$\psi(x,t)$ : vågfunktionen, har all information om  
partikeln.

1927 Borns sannolikhets tolkning av  $\psi(x,t)$

1927 Heisenberg bestämbarhets principen:

$$\Delta x \Delta p \geq \hbar/2$$