

F-01

Kvant fysikens principer.

Eddy Ardonne.

Information: <http://www.fysik.su.se/~ardonne/FK2003.html>

Föreläsningar; Räkneövningar  
(Carl Wilblæus)

Demonstrationskväll.

Examination: tenta: börja jobba genast!

R1 & R2: matris \* komplexa tal  
\* vektor  
\* linjär algebra.

Fråga: har alla tillgång till nätet under  
föreläsningar, räkneövningar?

---

När behövs kvant fysik?

Mikroskopiska system: molekylerna } byggestener  
                                      atomer } av  
                                      elektroner } allt.  
                                      linor

ljus /

- \* Material: magneter, halvledare
- \* Periodiska systemet
- \* atom spektra (glödlampa); LED

Problem: vi har ingen intuition för den mikroskopiska världen!

Beaktande av system kan verka vara absurd.

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

Penrose: 'Quantum mechanics makes absolutely no sense.'

Schrödinger: 'I do not like quantum mechanics, and I am sorry I had anything to do with it.'

Men: fysik svarar på frågan:

'Hur ...'; inte 'Varför ...'.

- \* Kvantfysik fungerar otroligt bra!

\* Kvantfysik fungerar otroligt bra!

Bland de bästa teorier som finns

\* Många tillämpningar: lasrar, transistorer,  
e<sup>-</sup> mikroskop, .....

---

Fysik upp till ~1900:

\* Newtons mekanik:

rörelse av kuler, solsystemet

Om man vet krafter på en partikel, och dess position  $x(0)$  och hastighet  $v(0)$ , då får vi banan mha  $\vec{F} = m\vec{a} \Rightarrow x(t)$ .

Determinism.

\* Huygens, Young: ljus är en våg  
→ interferens: dubbel spalt experiment.

\* Termodynamik: temperatur,  
omvandling av energi, ångmaskin.

\* Maxwell: elektrodynamik  
(ljus är en våg)

Man kunde beskriva 'allt'.

0 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

10 can ...

Lord Kelvin skulle ha sagt:

'There is nothing new to be discovered in physics now, all that remains is more & more precise measurement.'

Two problems remain

\* Light's speed is constant:  
doesn't depend on how fast the source  
moves or not

↳ relativity's theory

\* Black body radiation: 'ultra violet  
catastrophe'

↳ quantum mechanics.

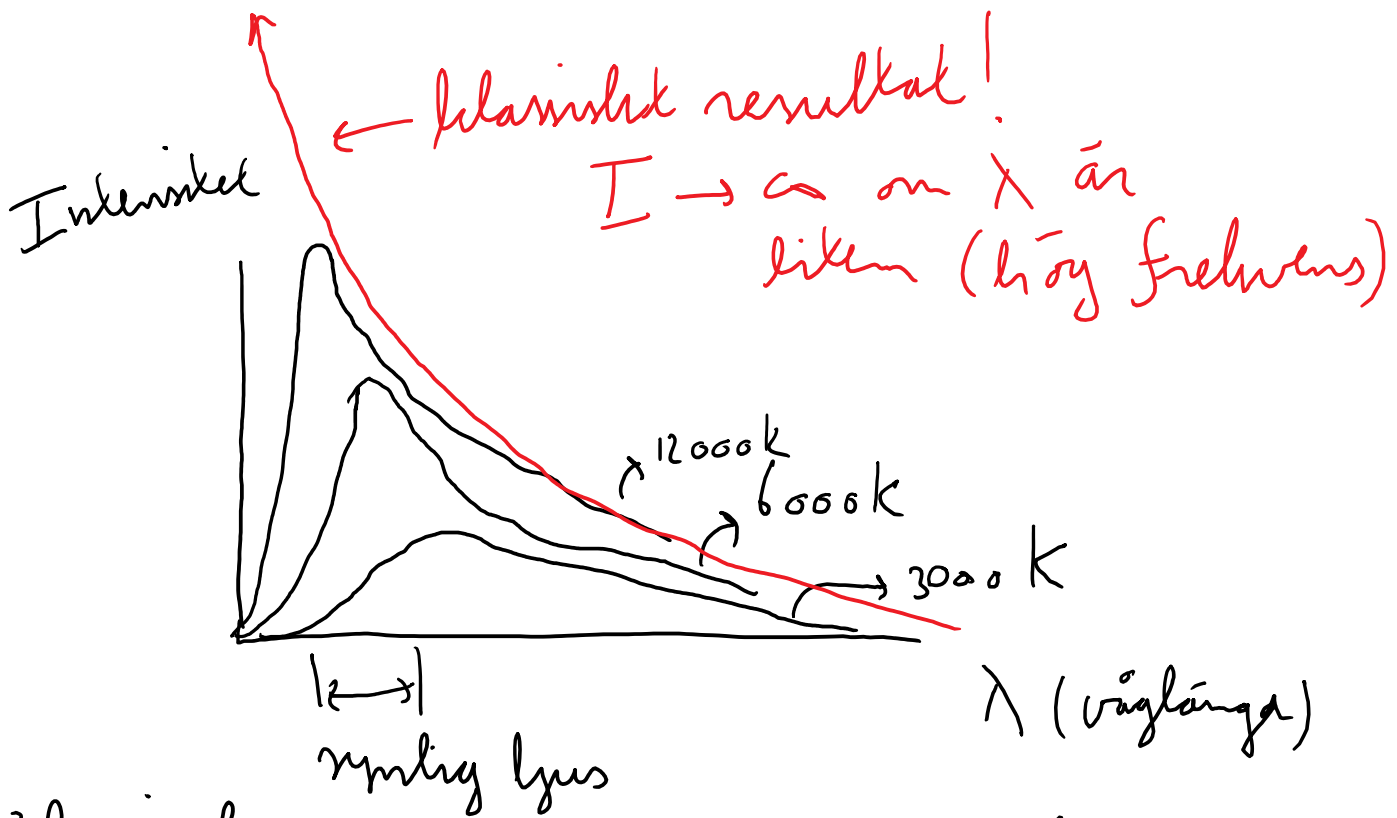
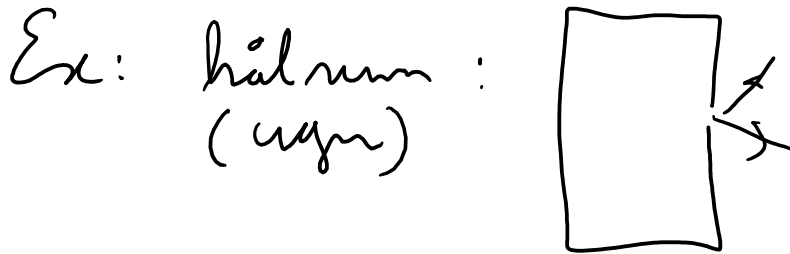
All bodies absorb and emit radiation.

Black body: \* absorbs all radiation.

\* emits radiation:  
in equilibrium with bodies:

i jämförelse med kroppar:  
samma  $T$

Hur är energi fördelat över olika frekvenser?  
Beror bara på  $T$ !



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

Utän förklaring:  $k_B = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$   
Effekt (= energi per sek.) per area, per frekvens:

effekt (→ ... per ...)

$$B_{kl}(\nu, T) = \frac{8\pi}{c} \nu^2 (k_B T)$$

bra för  $\nu$  liten (lång våglängd)

$$E_{tot}(T) = \int_0^\infty d\nu B_{kl}$$

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

Så det finns ett problem!

Planck: 'temporär lösning'

Energi kan bara skickas ut i diskreta

'paket' ('kvanta'):  $E = n h \nu$

heltal  $\uparrow$   $\uparrow$  frekvens

Då får man (utan förklaring):

konstant:  $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$

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

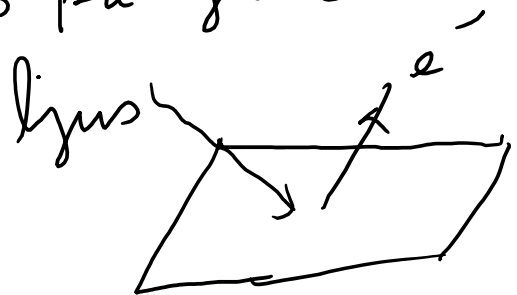
bra beskrivning av experiment!

Om  $\nu$  liten:  $e^{h\nu/k_B T} \sim 1 + \frac{h\nu}{k_B T}$

$$B(\nu, T) \rightsquigarrow B_{kl}(\nu, T)$$

Foto-elektrisk effekt:

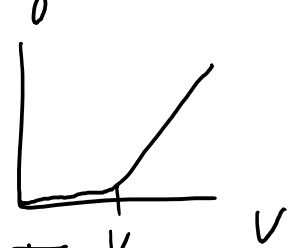
Polerade metall ytor: emitterar  $e^-$  om man skiner ljus på ytan



\* Frekvens av ljuset:  $\nu > \nu_0$

$\hookrightarrow$  tröskel värde  
(bero på vilken metall).

\* Energi av  $e^-$  beror inte på ljusets intensitet  $I$ , bara på  $\nu$



\* antalet  $e^-$ : beror på intensitet  $I$ , inte på frekvens  $\nu$

Detta kan inte förklaras klassiskt!

Einstein: energi för strålning kommer

System: energi för strålning kommer i paket, är kvantiserat.

Hela 'ljuskvanta': fotoner, absorberas. Det krävs en viss energi för att frigöra en elektron:  $E_0$ . Så,  $E_{\text{foton}}$  måste vara tillräckligt stor:  $E_f = h\nu > E_0$

$$\text{Så } \nu > E_0/h = \nu_0$$

Energi av  $e^-$  som emitteras:

$$E_{\text{el}} = h\nu - E_0 = h(\nu - \nu_0)$$

Om man höjer  $I$ , då har man fler fotoner, och fler elektroner emitteras. Deras energi är samma!

Strålning: partikel karaktär:  $E = h\nu$   
 $p = h/\lambda$

Ljus: dubbelspalt exp: våg  
Fotoelektrisk effekt: partikel.



Kvant fysik: ljus är en "partikelvåg"

Partikel - våg dualitet: mycket viktig i kvant fysik.

1913 Bohrs atommodell:  
elektroner 'rör' sig i vissa banor, med kvantiserat energi  $\rightarrow$  spektra.

1924 Pauli uteslutningsprincipen

1925 de Broglie: ljus: partikel egenskaper  
partiklar: våg egenskaper.  
 $\lambda = h/p$

1926 Schrödinger ekvationen:

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

$\hookrightarrow$  vågfunktion, har all information om partikeln

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

1927 Heisenbergs obestämbarhets princip:

$$\sigma_x \sigma_p \geq \hbar/2 \quad (\hbar = h/2\pi)$$