

Kvant fysikens principer

Eddy Ardonne

Hemsida med information:

www.fysik.su.se/~ardonne/FK2003.html

Kursen består av

Föreläsningar (F) och

räknövingar (R) (Carl Niblaeus)

Examination: tenta.

Börja jobba genast med övningarna!

R1 & R2: matte bakgrund

- komplexa tal

- vågor

- linjär algebra

Quiz frågor: har alla tillgång till

- ... till F och R?

Uut flager. m...
nätet under För R?

När behövs kvantfysik?

* Mikroskopiska system:

- molekyler
 - atomer
 - elektroner
 - ljus
- } byggsdelar av materia

* 'Material': magneter, halvledare ...

* Periodiska systemet

* atomspektra (glödlampa; LED)

Problem: vi har ingen intuition för den mikroskopiska världen.

System kan bete sig på ett sätt som verkar absurd.

Feynman: 'If you think you
... theory can't

Teynman: +J 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: frågan vi ställer oss i fysik
är 'Hur...'; inte 'Varför...'

* Kvantfysik fungerar mycket bra
(bland de bästa teorier som finns)

* Många tillämpningar: • lasrar
• transistorer
• e^- mikroskop

* Na kan man göra experiment på
enstaka atomer (örhört 1920-1930).

Fysik upp till ~ 1900

* Newtons mekanik (rörelser av kuler, solsystemet)

Om man vet kraften på en partikel och dess position $x(0)$ och hastighet $v(0)$, då får man banan från $\vec{F} = m\vec{a}$
 $\rightarrow x(t)$. Determinism!

* Huygens; Young: ljus är en våg
 \rightarrow interferens (dubbel spalt experiment)

* Termodynamik: Temperatur, omvandling av energi, ångmaskin ...

* Maxwell: elektrodynamik
(ljus är en våg).

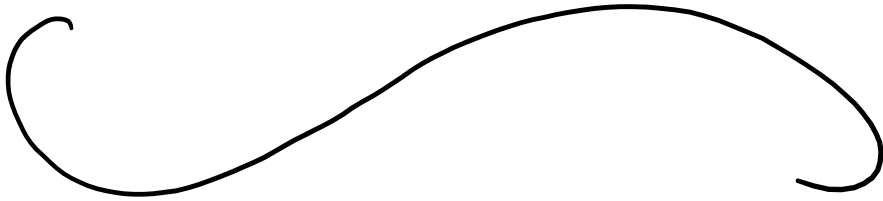
Man kunde beskriva 'allt'!

Lord Kelvin skulle ha sagt

There is nothing new to be

11 10 - 1

There is not any new
discovered in physics now, all that
remains is more & more precise
measurement!



Two problems remain:

① Light's speed is constant:

does not depend on how fast the observer
moves. \rightarrow relativity theory

② Blackbody radiation:

'ultra violet catastrophe'
 \rightarrow quantum mechanics.

All bodies absorb and emit
radiation.

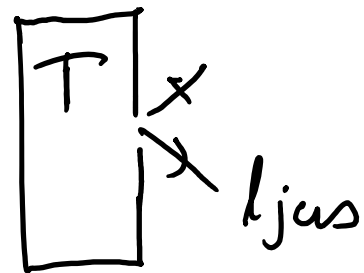
Blackbody absorbs all radiation

Δ
 Svart kropp: \times absorberar all strålning
 \times emitterar strålning som
 är i jämn rikt med kroppen:
 har samma temperatur T .

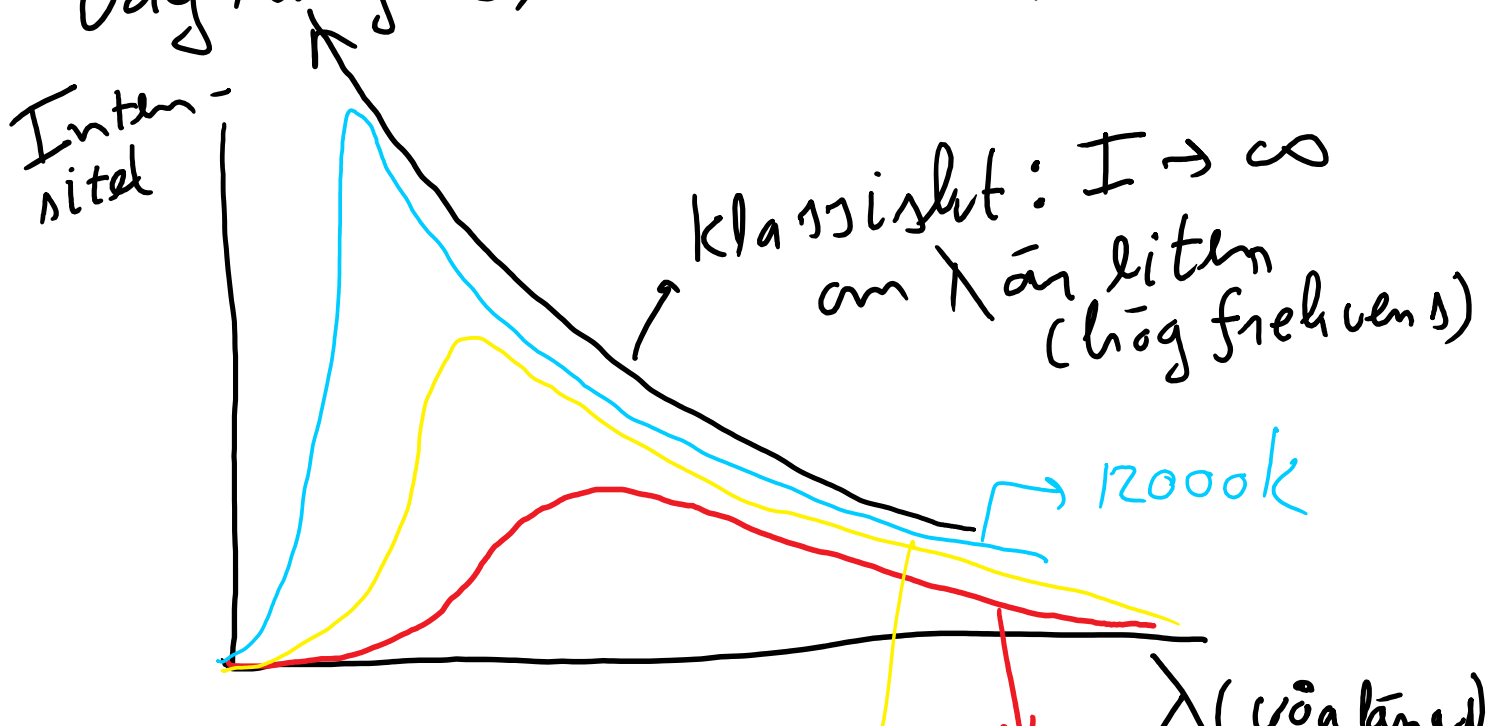
Fråga: hur är energin fördelat över de olika frekvenser?

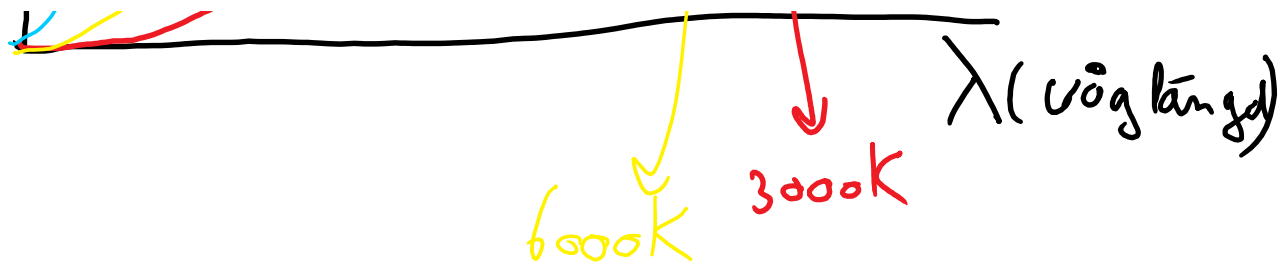
Beror bara på T !

Experiment: hålrum (ugn)



Man mäter intensitet för olika våglängder, vid olika temperaturer.





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

Utan förklaring:

Effekt per area, per frekvens:

(energi per tid) $B_{\nu} = \frac{8\pi}{c^2} \nu^2 (k_B T)$

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

Funktion bra om ν är liten (lång våglängd)

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

Se, det finns ett problem.

Planck: 'temporär' lösning.

Energi kan bara skickas ut i diskreta

'paket' ('kvanta') $E = n h \nu$
 $\uparrow \quad \uparrow \quad \rightarrow$ frekvens

'paket' (kvanta) \rightarrow helhet \rightarrow frekvens
 konstant, $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$

Då får man (utan förklaring)

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

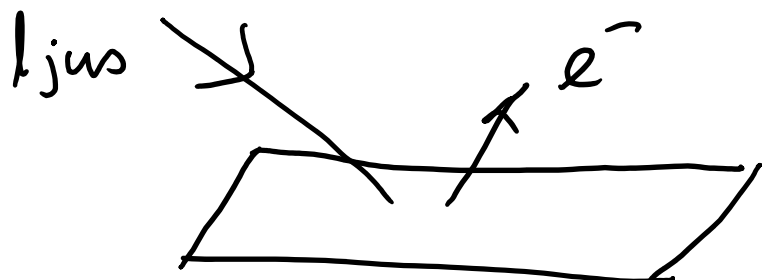
Det är en bra beskrivning av experimenten, för alla våglängder!

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

Så: $B(\nu, T) \rightarrow B_{kl}(\nu, T)$

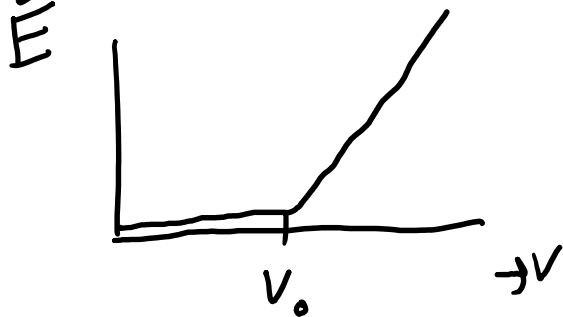
Fotoelektrisk effekt:

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



* frekvensen av ljuset: $\nu > \nu_0$
(tröskel värde beror på vilken metall man använder).

* energin av e^- beror inte på ljusets intensitet, bara på frekvensen ν .



* antalet e^- som emitteras:
beror på intensitet I , inte på frekvensen.

Det kan inte förklaras klassiskt.

Einstein: energi för strålning kommer i paket, som är kvantiserat.

Så, hela ljuskuanta (fotoner) absorberas.

absorberas.

Det krävs en viss energi E_0 för att frigöra en elektron.

Så, $E_{\text{foton}} = h\nu$ måste vara tillräcklig

stor: $E_f = h\nu > E_0$, eller $\nu > E_0/h = \nu_0$

Energien av e^- som emitteras:

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

Om intensiteten av ljuset blir större, då har man fler fotoner, och fler e^- emitteras. Men deras energi är samma!

Strålning: har partikel karaktär

$$E = h\nu; p = h/\lambda$$

Ljus: dubbelspaltt exp \rightarrow våg
fotoelektrisk effekt \rightarrow partikel.

I kvantfysik: varken eller, eller
10.1. och

I kvantfysik: vörmen h ; både och.

Partikel väg dualitet: mycket viktig i kvantfysik.

Viktiga utvecklingar:

1913: Bohr's atom modell:
elektroner rör sig bara i vissa 'banor', med kvantiserad energi.
→ atom spektra.

1924 Pauli's uteslutnings princip

1925 de Broglie: 'ljus har partikel egenskaper, så partiklar har väg egenskaper': $\lambda = h/p$

1926 Schrödinger ekvationen

$$H\psi(x,t) = i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} \quad (\hbar = \frac{h}{2\pi})$$

↳ vågfunktion, har 'all' information om partikeln.

information om partikkeln.

1927 Born's sannolikhets tolkning
av $\psi(x,t)$

1927 Heisenberg obestämbarhets
princip: $\sigma_x \sigma_p \geq \frac{\hbar}{2}$