## Strålningslagar

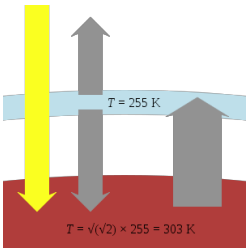
- Kirchhoffs strålningslag (1859)
- Stefan-Boltzmanns lag (1879/1884)
- Wiens förskjutningslag (1893)
- Planck fördelning (1900)

## Kirchhoffs strålningslag

- bakgrund: Fraunhoferlinjerna i solens spektrum
- emissivitet av en yta är lika med dess absorptionsfaktor
- tveksamma härledningar från termodynamikens andra huvudsats
- ska gälla för varje våglängd, temperatur, riktning och polarisation
- det har inte varit lätt att ge ett vattentätt bevis
- mikroskopisk förklaring: kvantmekanik, Einsteinkoefficienter
-
- hursomhelst:
- existensen av en universal funktion för värmestrålning
- jakten var igång
- tog 40 år

## Stefan - Boltzmanns lag

- 1879 - mätningar av Jozef Stefan: strålningen går som $T^4$
- 1884 - teoretisk bevis av Ludwig Boltzmann (du/dT = u/4)
- laboration
- exempel: växthuseffekten




## Wiens förskjutningslag

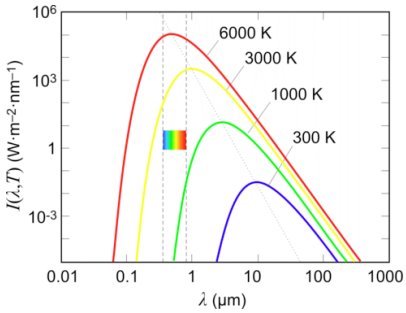
- den universella funktionen ser ut som lambda$^{-5}$ x f(lambda x T)
- alternativt som frekvens$^3$ x f(frekvens/T)
- maximum ligger till exempel så här:

| | | |
|---|---|---|
| sol | 6000 K | 0,5 um |
| halogenlampa | 3000 K | 1 um |
| människa | 300 K | 10 um |
| universum | 3 K | 1 mm |

## Plancks strålningslag

- kan härledas ur statistik för fotongas

$$U_\nu^o(\nu,T) = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3}\frac{1}{e^{\left(\frac{h\nu}{kT}\right)}-1}$$




## Entalpi (kapitel 10)

Kap. 10 definierar tillståndsfunktionen: $H = U + pV$

Uppvärmning av gaser, fasövergångar och kemiska reaktioner sker ofta under konstant tryck. Vanligt är 1 atmosfär. Då ändras systemets volym, och då uträttas arbete på systemet.

Entalpi är en tillståndsfunktion, ändringen beror inte på vägen. Kemister kan använda H för att räkna ut entalpiändring av reaktioner. Den beror inte på vilka delreaktioner ingår och den ger värmet, som man kan mäta med kalorimetri, utan att man behöver räkna på volymer av gaser.

## Energi är bevarad

... men inte värmet ("caloric" existerar inte) och inte arbete.

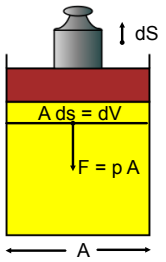
Inre energi beror endast på tillståndsvariabler som p, V, T.

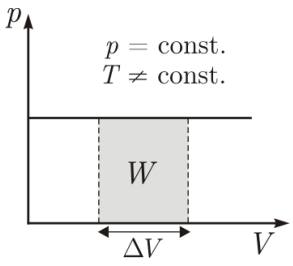
$$\Delta U = \int_{U_i}^{U_f} dU = U_f - U_i$$ oberoende av väg över pVT-ytan

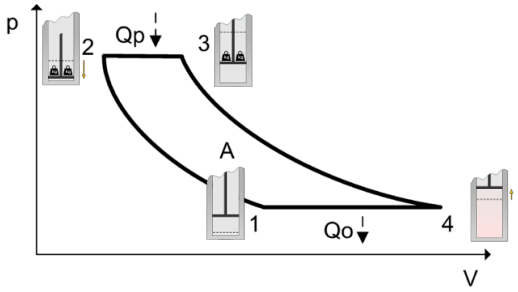
matematiskt: dU är en exakt differential
för infinitesimala ändringar: dU = dQ + dW
(streckade d kan ange att dQ och dW inte är differentialer)

## Arbete

mekanik: W = F s
utvidgning av en volym mot tryck p: F = p x A (yta)
för infinitesamal sträcka ds: W = p x A x ds = p dV




Termodynamisk cykel, där värmet lyfter två tyngder

## Värmekapacitet av gaser

- termodynamiska cykelns yta i p-V diagram ger arbetet
- men hur mycket värme-energi går åt?
- vi måste veta värmekapacitet
- ideala gaser: U beror endast på T
- en-atomiga gaser: U = 3/2 $Nk_BT$ = 3/2 nRT
- vid konstant volym: $C_v = dU/dT|_v$ = 3/2 R per mol
- molekyler kan ha energi i rotation och vibration
- två-atomiga atomer har två rotationsaxlar
- 1/2 $k_BT$ per rotationsfrihetsgrad
- $H_2$, $N_2$ och $O_2$ är i grundtillstånd för vibration vid rumstemperatur
- -> molär $C_v$ = 5/2 R

## Värmekapacitet vid konstant tryck

- isobar uppvärmning betyder volymökning och arbete
- det behövs mer tillfört värme för samma temperaturökning
- $C_p$ är högre än $C_v$
- $dQ|_p$ = dH = d(U + pV) = dU + d(pV) = dU + d(RT) = ($C_v$ + R) dT
- för ideala gaser: $C_p = C_v + R$
- en-atomiga gaser: gamma = $C_p/C_v$ = (5/2 R)/(3/2 R) = 5/3 = 1,67
- två-atomiga gaser (endast rotation): $C_p/C_v$ = 7/5 = 1,40