

## Termodynamik - Slafs

Aron Granberg, Daniel Kempe, Mårten Wiman

## Utvidgning

*κ* = − 1/V (∂V/∂p)\_T [Pa<sup>−1</sup>]

Isobar volymutvidgningskoefficient

*α*<sub>V</sub> =  1/V (∂V/∂T)\_p [K<sup>−1</sup>]

Relativa volymändringen

*dV*/*V* = −*κ* · *dp* + *α*<sub>V</sub> · *dT*

## Kinetisk gasteori

*m* = massan per partikel [kg]

Molara massan

*M* = *m**N*<sub>A</sub>

*ν**R* = *Nk*<sub>B</sub>

*n* =  N/V

*v*<sub>*p*</sub> =  √2 ·  √*k*<sub>B</sub>*T*/*m*

*⟨**v**⟩* =  √8/π ·  √*k*<sub>B</sub>*T*/*m*

*v*<sub>*rms*</sub> =  √(*v*<sup>2</sup>) =  √3 ·  √*k*<sub>B</sub>*T*/*m*

*⟨**E*<sub>*k*</sub>*⟩* =  3*k*<sub>B</sub>*T*/2

Ekvipartitionsprincipen

*U* = *Nk*<sub>B</sub>*T* ·  1/2 · (#frihetsgrader) [J]

Energi i enatomig gas

*U* = *N*  *m*(*v*<sup>2</sup>)/2 =  3/2 *Nk*<sub>B</sub>*T* [J]

Notera *Nk*<sub>B</sub>*T* = *pV*

*pV* =  2/3 *U*

## Konstanter

Massenhet	u	1.66054 · 10 <sup>−27</sup>	kg
Avogadros	<i>N</i> <sub>A</sub>	6.02214 · 10 <sup>23</sup>	mol <sup>−1</sup>
Boltzmanns	<i>k</i> <sub>B</sub>	1.38065 · 10 <sup>−23</sup>	J K <sup>−1</sup>
Gaskonstanten	R	8.3145	J mol <sup>−1</sup> K <sup>−1</sup>
Stefan-Boltzmanns	<i>σ</i>	5.6704 · 10 <sup>−8</sup>	W m <sup>−2</sup> K <sup>−4</sup>
Plancks	<i>h</i>	6.62607 · 10 <sup>−34</sup>	J s
Ljushastigheten	<i>c</i>	299 792 458	ms <sup>−1</sup>

## Vettiga värden

Arbete vid sömn	1	W kg <sup>−1</sup>
Lätt arbete utvecklar vid 25% eff.	55-75	W
Energibehov människa (3000 kcal)	12	MJ d <sup>−1</sup>
Jordens radie	6.4 · 10 <sup>6</sup>	m
Månens radie	1.7 · 10 <sup>6</sup>	m
Solens radie	7.0 · 10 <sup>8</sup>	m
Sveriges area	4.5 · 10 <sup>11</sup>	m <sup>2</sup>
Solens ytttemperatur	5800	K
Värmekapacitet <i>c</i> <sub><i>luft</i></sub>	1.007	kJ kg <sup>−1</sup> K <sup>−1</sup>
Energidensitet Li-ion batteri	0.3 – 0.9	MJ kg <sup>−1</sup>
Energidensitet trä	16	MJ kg <sup>−1</sup>
Energidensitet kol	24	MJ kg <sup>−1</sup>
Energidensitet fett	37	MJ kg <sup>−1</sup>
Energidensitet bensin	44	MJ kg <sup>−1</sup>
Energidensitet uran	8.1 · 10 <sup>7</sup>	MJ kg <sup>−1</sup>
Sveriges elkonsumption	1.5 · 10 <sup>10</sup>	W
Världens elkonsumption	2.1 · 10 <sup>12</sup>	W
Sveriges energikonsumption	7.4 · 10 <sup>10</sup>	W
Världens energikonsumption	1.5 · 10 <sup>13</sup>	W
Effekt (aktivt) kärnkraftverk	1-10	GW
Effekt (aktivt) vattenkraftverk	0.2-10	GW
Effekt (aktivt) vindkraftverk	1-5	MW

Medelfri väg

*l* =  *k*<sub>B</sub>*T*/*p*π*d*<sup>2</sup>√2 =  1/nπ*d*<sup>2</sup>√2 [m]

Där *d* = partikelns diameter

Stöttal

*ν*<sup>\*</sup> =  p/√2π*m**k*<sub>B</sub>*T* =  1/4 *n*(*v*) [s<sup>−1</sup> m<sup>−2</sup>]

Maxwell-Boltzmanns hastighetsfördelning

*n*(*v*) = *K* · *v*<sup>2</sup> · *e*<sup>− *m**v*<sup>2</sup>/2*k*<sub>B</sub>*T*</sup>

om *∫* *n*(*v*)*dv* =  N/V, dvs om normaliserat

*K* =  4π*n* (m/2*π**k*<sub>B</sub>*T*

## Värme

Energi för att förändra temp.

*ΔQ* = *mcΔT* [J]

Molar isokor värmekapacitet ideal gas

*C*<sub>*V*</sub> =  1/2 (∂U/∂T)\_V [J mol<sup>−1</sup> K<sup>−1</sup>]

Enatomig ideal gas har

*C*<sub>*V*</sub> =  3/2 *R*

Molar isobar värmekapacitet ideal gas

*C*<sub>*p*</sub> = *C*<sub>*V*</sub> + *R* [J mol<sup>−1</sup> K<sup>−1</sup>]

Molar isobar värmekapacitet ideal gas

*C*<sub>*p*</sub> =  1/ν (∂U/∂T)\_p [J mol<sup>−1</sup> K<sup>−1</sup>]

Molar värmekapacitet fast kropp

*C*<sub>*m*</sub> =  3R [J mol<sup>−1</sup> K<sup>−1</sup>]

## Adiabatiska processer

*C*<sub>*p*</sub> = isobara molar värmekapaciteten

*C*<sub>*V*</sub> = isokora molar värmekapaciteten

*γ* =  *C*<sub>p</sub>/*C*<sub>V</sub> =  *c*<sub>p</sub>/*c*<sub>V</sub>

*pV*<sup>*γ*</sup> = konst.

*Tp*<sup>(1−*γ*)/*γ*</sup> = konst.

*TV*<sup>*γ*−1</sup> = konst.

Adiabatiskt arbete på en gas

*W* = − ∫ pdV = *p*<sub>1</sub>*V*<sub>1</sub>−*p*<sub>2</sub>*V*<sub>2</sub>/1 − *γ*

## Matematik

Sfär: *A* =  4π*r*<sup>2</sup>; *V* =  4π*r*<sup>3</sup>/3

## Värmetransport

*λ* = Värmekonduktivitet

*α* = Värmeövergångskoefficient

Ledning

*U* =  λ/2 [W K<sup>−1</sup> m<sup>−2</sup>]

Konvektion

*U* = *α* [W K<sup>−1</sup> m<sup>−2</sup>]

Värmemotstånd

*1/*Ḟ** =  ∑ 1/*Ḟ*<sub>*i*</sub>

Värmeflöde

*Φ* = *U* *A* (*T*<sub>1</sub> − *T*<sub>u</sub>)

Kom ihåg: Vid jämvikt är värmeflödet

konstant, och i t.ex en vägg är värmeflödet

konstant genom hela väggen.

## Första huvudsatsen

Arbete på en gas

*dW* = −*p**dV*

Energiutbyte med omgivningen

*dQ* = *dU* + *p**dV*

Derivatn av inre energi

*dU* = *dQ* + *dW* = *dQ* − *p**dV*

Vid isokor process

*dU* = *νC*<sub>*V*</sub>*dT*

Arbete på en gas

*W* = − ∫ pdV

Isotermt kompressionsarbete på en gas

*W*<sub>*T*</sub> = −*νRT* ln (*V*<sub>2</sub>/*V*<sub>1</sub>

Isobart kompressionsarbete på en gas

*W*<sub>*p*</sub> = −*p*<sub>2</sub>(*V*<sub>2</sub> − *V*<sub>1</sub>)

Isokort arbete på en gas

*W*<sub>*V*</sub> = 0

## Andra huvudsatsen

Tillförs *dQ* reversibelt till ett system så är

*dS* =  *dQ*/*T*

Reversibel process i slutet system *ΔS* = 0

Irreversibel process i slutet system *ΔS* > 0

För ideal gas

*ΔS* = *νC*<sub>*V*</sub> · ln *T*<sub>2</sub>/*T*<sub>1</sub> + *νR* · ln *V*<sub>2</sub>/*V*<sub>1</sub>

## Övrigt om entropi

*T* = 0 ⇒ *S* = 0

*W* = antal möjliga mikroskopiska tillstånd

*S* = *k*<sub>B</sub> ln *W*

Om *S*<sub>A</sub> är entropi för system A och *S*<sub>B</sub>

entropi för system B så har *S*<sub>A</sub> och *S*<sub>B</sub> sett

som ett enda system entropin

*S*<sub>*A*∪*B*</sub> = *S*<sub>A</sub> + *S*<sub>B</sub>

Entalpi

*H* = *U* + *pV*

*dH* = *dU* + *p**dV* + *V**dp*

Fria energin (Helmholtz funktion)

*F* = *U* − *TS*

*dF* = *dU* − *T**dS* − *S**dT*

Fria entalpin (Gibbs funktion)

*G* = *F* + *pV*

*μ* är en ämneskonstant

*dU* = *T**dS* − *p**dV* + *μ**dN*

*dF* = −*S**dT* − *p**dV* + *μ**dN*

*dH* = *T**dS* + *V**dp* + *μ**dN*

*dG* = −*S**dT* + *V**dp* + *μ**dN*

*dW* = *dF*

Vid fasövergång är *H* ej kontinuerlig (med

avseende på temperatur), *G* är kontinuerlig