

Lars Pedersen

Fysik

Førstehjælp til formler

112



Nyt Teknisk Forlag

Fysik 112

– Førstehjælp til formler

4. udgave 2010
© Nyt Teknisk Forlag 2006, 2010

Forlagsredaktion: Thomas Rump, tr@nyttf.dk
Omslag: Henrik Stig Møller
Illustrationer: Henrik Stig Møller
Dtp: Gitte Frederiksen
Tryk: Preses Nams Baltic
ISBN 978-87-571-2727-0

Bestillingsnummer: 54028-1

Bogen er sat med Minon 10/12 og Myriad Roman

Mekanisk, fotografisk, elektronisk eller anden gengivelse af denne bog eller dele heraf er ikke tilladt ifølge gældende dansk lov om ophavsret. Alle rettigheder forbeholdes.

Nyt Teknisk Forlag
Ingerslevsgade 44
1705 København V
info@nyttf.dk

www.nyttf.dk

Forord

Fysik 112 – Førstehjælp til formler er udarbejdet til brug for kursister i faget fysik, ved de gymnasiale uddannelser STX, HTX og HF

Formelsamlingen er opbygget efter bekendtgørelsen i dette fag, og dækker således de emner man finder i pensum på gymnasiet niveau. Formelsamlingen dækker både C-, B- og A-niveau inden for fysik.

Formlerne er markeret med kolonner af forskellig farve.

- Markerer formler, man normalt finder på C-niveau.
- Markerer formler, man normalt først møder på B-niveau.
- Markerer formler, man normalt først møder på A-niveau eller valgemner.

Alle C-niveauformler hører således også til B-niveauet og ligeledes hører C- og B-niveauformlerne således også til A-niveauet. Nogle C-niveauformler er forenklet, så de passer til niveauet, fx skelnes der ikke mellem masse- og volumenspecifik varmekapacitet.

Indekset sidst i bogen er opbygget med samme farvemarkering af tallene, og angiver dermed de enkelte opslags niveau.

En række af formlerne, kan kun anvendes under bestemte forudsætninger, fx hvis nævneren i en brøk ikke er nul, osv. Fysiske konstanter er afrundet i formlerne, mens de eksakte værdier findes bagest i appendix.

Der er, så vidt muligt, medtaget figurer som illustration til formlerne. Illustrationen angiver oftest kun én mulighed, hvor mange flere tilfælde normalt kan forekomme.

Der er tilføjet flere formler i 3. udgave indenfor akustik.

En speciel tak til mine klasser på Holstebro Gymnasium & HF samt Holstebro Tekniske Skole for deres mange og konstant kritiske spørgsmål.

Holstebro, august 2008

Lars Pedersen

Indhold

Termodynamik 1

Væskefysik 20
Gasfysik 23
Termodynamiktabeller 46

Ellære 51

Elektriske kredsløb 51
Spændingskilder 62
Elektroniske komponenter 68
Elektriske felter 80
Elektrisk potential 83
Ladningsfordeling 90
Eltabeller 94

Magnetisme 96

Magnetismetabeller 112

Mekanik 113

Kinematik 113
Dynamik 117
Arbejde og energi 132
Bevægelse i et plan 144
Impuls 160
Impulsmoment og inertimoment 170
Roterende systemer 177
Mekaniktabeller 184

Bølgelære 187

Bølgelæretabeller 204

Atomfysik 208

Atomfysiktabeller 218

Kernefysik 222

Kernefysiktabeller 244

Materialefysik 246

Materialefysiktabeller 257

Speciel relativitetsteori 258

Astrofysik 269

Astrofysiktabeller 272

Kosmologi 273

Appendix 283

Præfikser 283
Græske alfabet 284
Fysiske konstanter 285

Enheder 286

SI-enheder 286
Afledte enheder 287
Andre enheder 288

Index

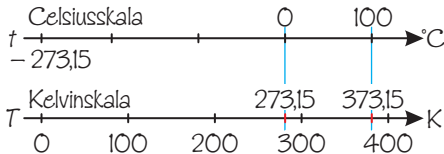
Nuklidkort

Grundstoffernes periodesystem

Termodynamik

1

Omregning mellem Kelvin og grader Celsius



$$T = t + 273,15$$

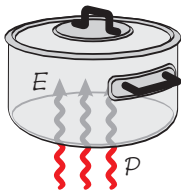
T : Temperaturen. [T] = K (Kelvin)

$$t = T - 273,15$$

t : Temperaturen. [t] = °C (grader Celsius)

2

Effekt (definition)



$$P = \frac{E}{t}$$

P : Effekten. [P] = W (Watt)

$$E = P \cdot t$$

E : Energien. [E] = J (Joule)

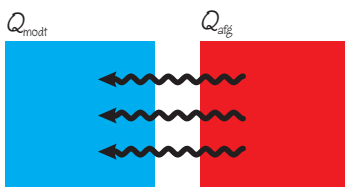
$$t = \frac{E}{P}$$

t : Tiden. [t] = s

3

Varmeoverførsel i isoleret system

I et isoleret system, gælder for varmeoverførslen:



$$Q_{\text{afg}} = Q_{\text{modt}}$$

Q_{afg} : Afgivet energi. [Q_{afg}] = J (Joule)

Q_{modt} : Modtaget energi. [Q_{modt}] = J (Joule)

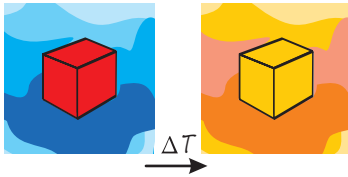
Bemærkning: Formlen gælder kun, når der ikke er noget form for udveksling af energi med omgivelserne (tabsfri proces).

4 - 6

Termodynamik

4

Varmeenergi og specifik varmekapacitet



$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Q: Varmeenergien. [Q] = J (Joule)

$$m = \frac{Q}{c \cdot \Delta T}$$

m: Massen. [m] = kg

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$$

c: Specifik varmekapacitet. [c] = $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

$$\Delta T = \frac{Q}{m \cdot c}$$

ΔT : Temperaturforskellen. [ΔT] = K (Kelvin)

Bemærkning: Se **46** og **47** for tabelværdier for den specifikke varmekapacitet.

5

Varmekapacitet

Varmekapaciteten for et system, kan beregnes som:

$$C = m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2 + \dots + m_n \cdot c_n \quad C: \text{Varmekapaciteten. } [C] = \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

m_i : Massen af de indgående materialer. [m] = kg

c_i : Specifik varmekapacitet af de indgående materialer. [c] = $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

Bemærkning: Se **46** og **47** for tabelværdier for den specifikke varmekapacitet.

6

Varmeenergi og varmekapacitet

$$Q = C \cdot \Delta T$$

Q: Varmeenergien. [Q] = J (Joule)

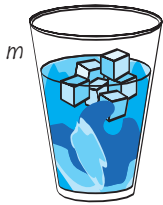
$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

C: Varmekapaciteten. [C] = $\frac{\text{J}}{\text{K}}$

$$\Delta T = \frac{Q}{C}$$

ΔT : Temperaturforskellen. [ΔT] = K (Kelvin)

7 Smelteenergi og størkningsenergi



$$Q = m \cdot L_s$$

Q : Smelte- eller størkningsenergien. [Q] = J (Joule)

$$m = \frac{Q}{L_s}$$

m : Massen. [m] = kg

$$L_s = \frac{Q}{m}$$

L_s : Specifik smeltevarme. [L_s] = $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$

Bemærkning: Se **46** og **47** for tabelværdier for den specifikke smeltevarme.

8 Fordampningsenergi og fortætningsenergi



$$Q = m \cdot L_f$$

Q : Fordampnings- eller fortætningsenergien. [Q] = J (Joule)

$$m = \frac{Q}{L_f}$$

m : Massen. [m] = kg

$$L_f = \frac{Q}{m}$$

L_f : Specifik fordampningsvarme. [L_f] = $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$

Bemærkning: Se **46** og **47** for tabelværdier for den specifikke fordampningsvarme.

9

Kemisk energi

Den kemiske energi, der frigives, ved afbrænding af et stof, er givet ved:

$$E = B \cdot m \quad E: \text{Kemisk energi. } [E] = \text{J (Joule)}$$

$$B = \frac{E}{m} \quad B: \text{Brændværdien. } [B] = \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$m = \frac{E}{B} \quad m: \text{Massen. } [m] = \text{kg}$$

Bemærkning: Se **48** for tabelværdier for brændværdien.

10

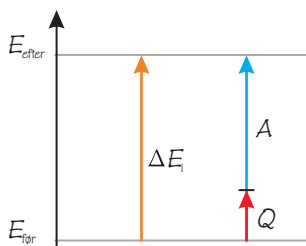
Nyttevirkning (definition)

$$\eta = \frac{E_{\text{nytte}}}{E_{\text{ialt}}} \quad \eta: \text{Nyttevirkningen eller virkningsgraden. } \eta \text{ er enhedsløs}$$

$$E_{\text{nytte}} = \eta \cdot E_{\text{ialt}} \quad E_{\text{nytte}}: \text{Energi der bruges nyttigt. } [E_{\text{nytte}}] = \text{J (Joule)}$$

$$E_{\text{ialt}} = \frac{E_{\text{nytte}}}{\eta} \quad E_{\text{ialt}}: \text{Samlet energi. } [E_{\text{ialt}}] = \text{J (Joule)}$$

11

Termodynamikkens første hovedsætning

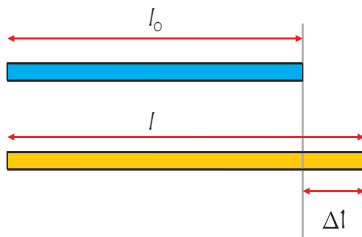
$$\Delta E_i = Q + A \quad \Delta E_i: \text{Ændringen i indre energi. } [\Delta E_i] = \text{J (Joule)}$$

$$Q = \Delta E_i - A \quad Q: \text{Varmeenergien. } [Q] = \text{J (Joule)}$$

$$A = \Delta E_i - Q \quad A: \text{Arbejdet. } [A] = \text{J (Joule)}$$

12

Længdeudvidelse



$$l = l_0 + \Delta l = l_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T) \quad l: \text{Længden efter udvidelsen. } [l] = \text{m}$$

$$\Delta l = l - l_0 = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta T \quad \Delta l: \text{Længdeudvidelsen. } [\Delta l] = \text{m}$$

$$\alpha = \frac{l - l_0}{l_0 \cdot \Delta T} = \frac{\Delta l}{l_0 \cdot \Delta T} \quad \alpha: \text{Længdeudvidelseskoefficienten. } [\alpha] = \text{K}^{-1}$$

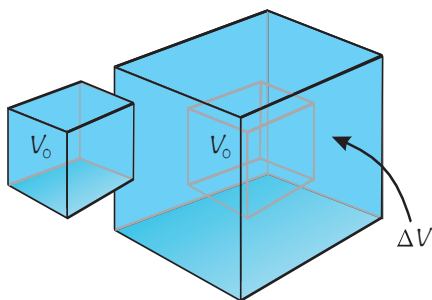
$$l_0 = \frac{l}{1 + \alpha \cdot \Delta T} = l - \Delta l \quad l_0: \text{Begyndelseslængden. } [l_0] = \text{m}$$

$$\Delta T = \frac{l - l_0}{\alpha \cdot l_0} = \frac{\Delta l}{\alpha \cdot l_0} \quad \Delta T: \text{Temperaturforskellen. } [\Delta T] = \text{K (Kelvin)}$$

Bemærkning: Se 49 for tabelværdier for længdeudvidelseskoefficienten.

13

Rumudvidelse



$$V = V_0 + \Delta V = V_0 \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta T) \quad V: \text{Volumen efter udvidelsen. } [V] = \text{m}^3$$

$$\Delta V = V - V_0 = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta T \quad \Delta V: \text{Rumudvidelsen. } [\Delta V] = \text{m}^3$$

$$\gamma = \frac{V - V_0}{V_0 \cdot \Delta T} = \frac{\Delta V}{V_0 \cdot \Delta T} \quad \gamma: \text{Rumudvidelseskoefficienten. } [\gamma] = \text{K}^{-1}$$

$$V_0 = \frac{V}{1 + \gamma \cdot \Delta T} = V - \Delta V \quad V_0: \text{Begyndelsesvolumen. } [V_0] = \text{m}^3$$

$$\Delta T = \frac{V - V_0}{\gamma \cdot V_0} = \frac{\Delta V}{\gamma \cdot V_0} \quad \Delta T: \text{Temperaturforskellen. } [\Delta T] = \text{K (Kelvin)}$$

14

Sammenhæng mellem rum- og længdeudvidelseskoefficient

$$\gamma = 3 \cdot \alpha$$

γ : Rumudvidelseskoefficienten. $[\gamma] = \text{K}^{-1}$

$$\alpha = \frac{\gamma}{3}$$

α : Længdeudvidelseskoefficienten. $[\alpha] = \text{K}^{-1}$

Bemærkning: Se 49 for tabelværdier for længdeudvidelseskoefficienten.

15

Densitet som funktion af temperatur

Densiteten af et stof afhænger af temperaturen, på følgende måde:

$$\rho_T = \frac{\rho_0}{1 + \gamma \cdot \Delta T}$$

ρ_T : Densiteten (massefylden) ved temperaturen T . $[\rho_T] = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$$\rho_0 = \rho_T \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta T)$$

ρ_0 : Densiteten (massefylden) ved temperaturen 0°C . $[\rho_0] = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$$\gamma = \frac{\rho_0 - \rho_T}{\rho_T \cdot \Delta T}$$

γ : Rumudvidelseskoefficienten. $[\gamma] = \text{K}^{-1}$

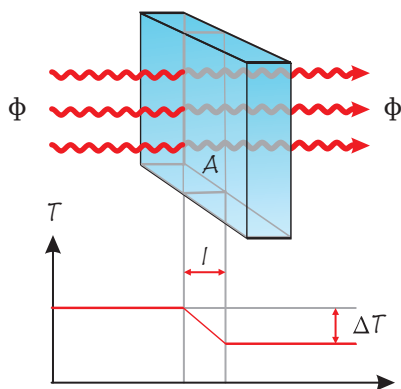
$$\Delta T = \frac{\rho_0 - \rho_T}{\rho_T \cdot \gamma}$$

ΔT : Temperaturforskellen. $[\Delta T] = \text{K}$ (Kelvin)

16

Varmestrøm

Varmestrømmen Φ , gennem et materiale, er givet ved:



$$\Phi = U \cdot A \cdot \Delta T = \frac{\lambda \cdot A \cdot \Delta T}{l} \quad \Phi: \text{Varmestrømmen. } [\Phi] = \text{W (Watt)}$$

$$U = \frac{\Phi}{A \cdot \Delta T}$$

U : U -værdien. $[U] = \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$

$$A = \frac{\Phi}{U \cdot \Delta T} = \frac{\Phi \cdot l}{\lambda \cdot \Delta T}$$

A : Arealet. $[A] = \text{m}^2$

$$\Delta T = \frac{\Phi}{U \cdot A} = \frac{\Phi \cdot l}{\lambda \cdot A}$$

ΔT : Temperaturforskellen. [ΔT] = K (Kelvin)

$$\lambda = \frac{\Phi \cdot l}{A \cdot \Delta T}$$

λ : Varmekonduktiviteten eller varmeledningsevnen. [λ] = $\frac{W}{m \cdot K}$

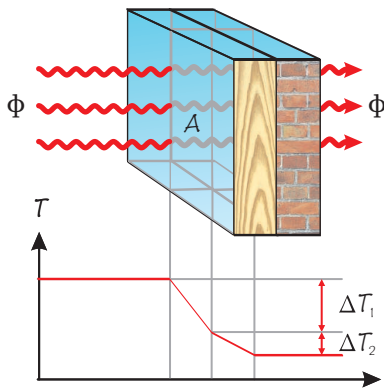
$$l = \frac{\lambda \cdot A \cdot \Delta T}{\Phi}$$

l : Tykkelsen af materialet. [l] = m

Bemærkning: Se 49 for tabelværdier for varmekonduktiviteten.

17

U-værdi for flerlags materialer



$$U_{\text{ialt}} = \frac{1}{\frac{1}{U_1} + \frac{1}{U_2} + \dots + \frac{1}{U_n}}$$

U_i : U-værdien for de indgående materialer. [U] = $\frac{W}{m^2 \cdot K}$

$$\Delta T_{\text{erstatning}} = \Delta T_1 + \Delta T_2 + \dots + \Delta T_n$$

ΔT_i : Temperaturforskellen for materialerne.
 [ΔT] = K (Kelvin)

$$A_{\text{erstatning}} = A_1 = A_2 = \dots = A_n$$

A : Arealet. [A] = m^2

$$\Phi_{\text{erstatning}} = \Phi_1 = \Phi_2 = \dots = \Phi_n$$

Φ : Varmestrømmen. [Φ] = W (Watt)

18

Varmekonduktivitet

Varmekonduktiviteten, eller varmeledningsevnen, kan beregnes som:

$$\lambda = U \cdot l$$

λ : Varmekonduktiviteten eller varmeledningsevnen. [λ] = $\frac{W}{m \cdot K}$

$$U = \frac{\lambda}{l}$$

U : U-værdien. [U] = $\frac{W}{m^2 \cdot K}$

$$l = \frac{\lambda}{U}$$

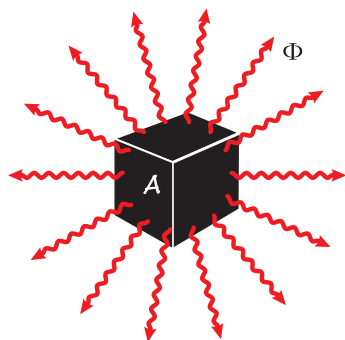
l : Tykkelsen af materialet. [l] = m

Bemærkning: Se 49 for tabelværdier for varmekonduktiviteten.

19

Varmestråling (Stefan-Boltzmanns lov)

Varmestrålingen fra et absolut sort legeme med temperatur T og areal A , er givet ved:



$$\Phi = A \cdot \sigma \cdot T^4$$

Φ : Varmestrålingens effekt. [Φ] = W (Watt)

$$A = \frac{\Phi}{\sigma \cdot T^4}$$

A : Overfladearealet. [A] = m^2

$$\sigma = \frac{\Phi}{A \cdot T^4}$$

σ : Stefan-Boltzmanns konstant. $\sigma \approx 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$

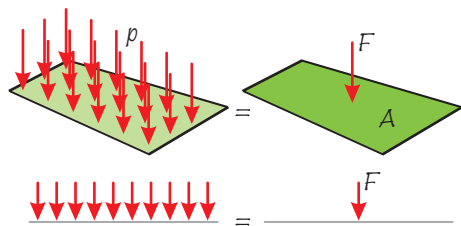
$$T = \sqrt[4]{\frac{\Phi}{A \cdot \sigma}}$$

T : Temperaturen. [T] = K (Kelvin)

Væskefysik

20

Tryk (definition)



$$p = \frac{F}{A}$$

p : Trykket. [p] = Pa (Pascal)

$$F = p \cdot A$$

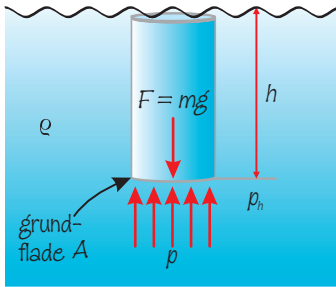
F : Kraften. [F] = N (Newton)

$$A = \frac{F}{p}$$

A : Arealet. [A] = m^2

21

Tryk afhængigt af gas- eller væskehøjde



$$\Delta p = \rho \cdot h \cdot g$$

Δp : Ændringen i tryk fra overfladen til dybden h . [Δp] = Pa (Pascal)

$$\rho = \frac{\Delta p}{h \cdot g}$$

ρ : Densiteten (massefylden) af gassen eller væsken. [ρ] = $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$$h = \frac{\Delta p}{\rho \cdot g}$$

h : Dybden eller højden. [h] = m

$$g = \frac{\Delta p}{\rho \cdot h}$$

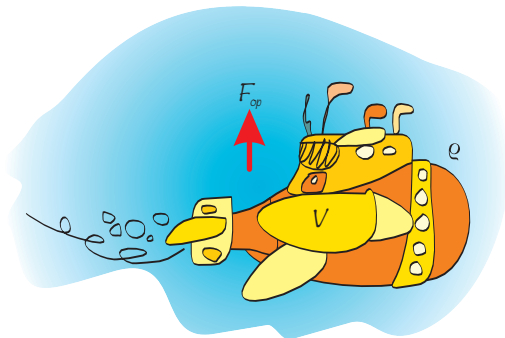
g : Tyngdeaccelerationen. $g \approx 9,82 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Bemærkning: Se 46 og 47 for tabelværdier for densiteten.

22

Opdrift

Opdriften på et legeme, med volumen V , i en væske eller gas, er givet ved:



$$F_{\text{op}} = \rho \cdot V \cdot g$$

F_{op} : Opdriften. [F_{op}] = N (Newton)

$$\rho = \frac{F_{\text{op}}}{V \cdot g}$$

ρ : Densiteten (massefylden) af væsken eller gassen. [ρ] = $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$$V = \frac{F_{\text{op}}}{\rho \cdot g}$$

V : Volumen af objektet i væsken eller gassen. [V] = m^3

$$g = \frac{F_{\text{op}}}{\rho \cdot V}$$

g : Tyngdeaccelerationen. $g \approx 9,82 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Bemærkning: Se 46 og 47 for tabelværdier for densiteten.

Gasfysik

23

Stofmængde for gas (definition)

$$n = \frac{m}{M} \quad n: \text{Stofmængden. } [n] = \text{mol}$$

$$m = M \cdot n \quad m: \text{Massen. } [m] = \text{kg}$$

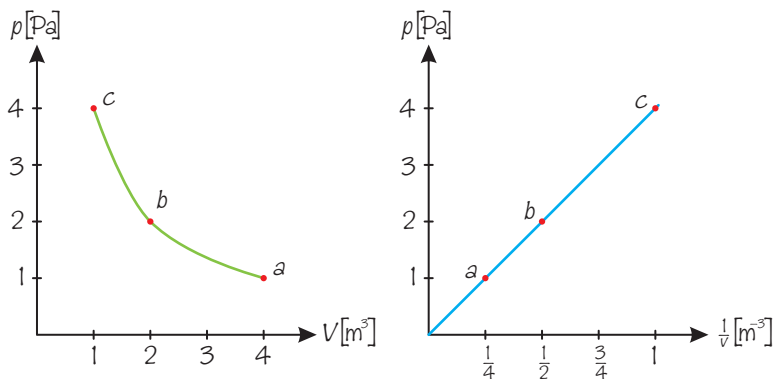
$$M = \frac{m}{n} \quad M: \text{Molmassen. } [M] = \frac{\text{kg}}{\text{mol}}$$

Bemærkning: Se **46** for tabelværdier for molmassen.

24

Boyle-Mariottes lov

Ved ændring af volumen og tryk for en fastholdt gasmængde, der er fastholdt ved samme temperatur, gælder:



$$p \cdot V = \text{konstant}$$

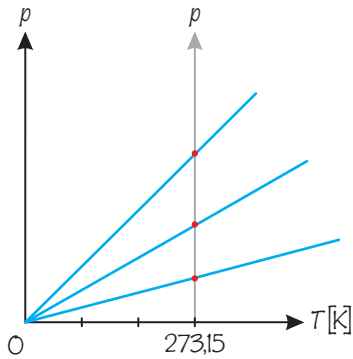
p : Trykket. [p] = Pa (Pascal)

V : Volumen. [V] = m³

25

Gay-Lussacs lov

Ved ændring af temperatur og tryk for en fastholdt gasmængde, der er fastholdt ved samme volumen, gælder:



$$\frac{p}{T} = \text{konstant} \quad p: \text{Trykket. } [p] = \text{Pa (Pascal)}$$

$$T: \text{Temperaturen. } [T] = \text{K (Kelvin)}$$

Bemærkning: Loven er også kendt som Charles lov.

26

Tilstandsligning for idealgas (idealgasligningen)

For en idealgas, gælder følgende sammenhæng:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$p = \frac{n \cdot R \cdot T}{V} \quad p: \text{Trykket. } [p] = \text{Pa (Pascal)}$$

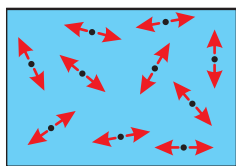
$$V = \frac{n \cdot R \cdot T}{p} \quad V: \text{Volumen. } [V] = \text{m}^3$$

$$n = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} \quad n: \text{Stofmængden. } [n] = \text{mol}$$

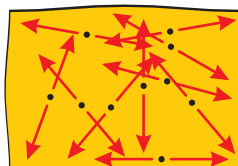
$$R = \frac{p \cdot V}{n \cdot T} \quad R: \text{Gaskonstanten. } R \approx 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

$$T = \frac{p \cdot V}{n \cdot R} \quad T: \text{Temperaturen. } [T] = \text{K (Kelvin)}$$

27 Tilstandsændring for idealgas



Lav temperatur
 (lavt tryk)



Høj temperatur
 (højt tryk)



Lav temperatur
 og halveret volumen
 (højt tryk)

$$\frac{p_0 \cdot V_0}{T_0} = \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1}$$

$$p_0 = \frac{p_1 \cdot V_1 \cdot T_0}{T_1 \cdot V_0}$$

$$V_0 = \frac{p_1 \cdot V_1 \cdot T_0}{T_1 \cdot p_0}$$

$$T_0 = \frac{p_0 \cdot V_0 \cdot T_1}{p_1 \cdot V_1}$$

$$p_1 = \frac{p_0 \cdot V_0 \cdot T_1}{T_0 \cdot V_1}$$

$$V_1 = \frac{p_0 \cdot V_0 \cdot T_1}{T_0 \cdot p_1}$$

$$T_1 = \frac{p_1 \cdot V_1 \cdot T_0}{p_0 \cdot V_0}$$

p_0 : Trykket i begyndelsestilstand. [p_0] = Pa (Pascal)

V_0 : Volumet i begyndelsestilstand. [V_0] = m³

T_0 : Temperaturen i begyndelsestilstand. [T_0] = K (Kelvin)

p_1 : Trykket i sluttilstand. [p_1] = Pa (Pascal)

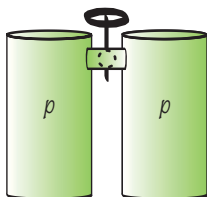
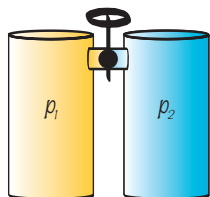
V_1 : Volumet i sluttilstand. [V_1] = m³

T_1 : Temperaturen i sluttilstand. [T_1] = K (Kelvin)

Bemærkning: Formlen gælder kun for en fastholdt gasmængde.

28 Daltons lov

Ved sammenblanding af flere gasser, med forskellige tryk, i samme volumen, gælder Daltons lov:



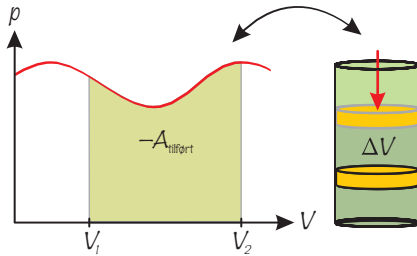
$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_n \quad p: \text{Trykket. } [p] = \text{Pa (Pascal)}$$

p_i : Partialtryk. [p_i] = Pa (Pascal)

29

Arbejde udført på gas

Omgivelsernes arbejde på en gas, er givet ved:



$$A_{\text{tilført}} = -p \cdot \Delta V$$

$A_{\text{tilført}}$: Tilført arbejde. [$A_{\text{tilført}}$] = J (Joule)

$$p = -\frac{A_{\text{tilført}}}{\Delta V}$$

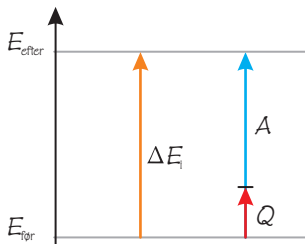
p : Trykket. [p] = Pa (Pascal)

$$\Delta V = -\frac{A_{\text{tilført}}}{p}$$

ΔV : Volumenændringen for gassen. [ΔV] = m³

30

Termodynamikkens første hovedsætning for gas



$$\Delta E_i = Q + A$$

ΔE_i : Ændringen i indre energi i gassen. [ΔE_i] = J (Joule)

$$Q = \Delta E_i - A$$

Q : Varmeenergien der tilføres gassen. [Q] = J (Joule)

$$A = \Delta E_i - Q$$

A : Arbejdet udført på gassen. [A] = J (Joule)

31

Standarddensitet (standardmassefylde)

$$\rho_D = \frac{m}{V_0}$$

ρ_D : Standarddensiteten. [ρ_D] = $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$$m = \rho_D \cdot V_0$$

m : Massen af gassen. [m] = kg

$$V_0 = \frac{m}{\rho_D}$$

V_0 : Standardvolumen. $V_0 \approx 2,24 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$