SHORT NOTE

4

Physics

තාප භෞතිකය

Thermal Physics

කෙටි සටහන්

මොරටුව විශ්ව විද්‍යාලයීය ලියෝ සමාජය

උෂ්ණත්වමිතිය
Thermometry

උණුසුම හෝ සිසිලස ඇති කරන ශක්ති විශේෂය **තාපය** වේ.

SI ඒකකය : ජූල් [J]

පැරණි ඒකකය : කැලරි [cal]

1cal = 4.2J

උෂ්ණත්වය යනු , ස්පර්ශිත වස්තූන් 2ක් ගත්විට ඒවා අතර තාපය හුවමාරු වන්නේද නොවන්නේද යන්න තීරණය කරනු ලබන එකී වස්තූන් සතු ගුණයයි.

තාපය ගලායන්නේ උෂ්ණත්වය වැඩි තැන සිට අඩු තැනටය.

තාපජ සමතුලිතතාව

අසමාන උෂ්ණත්ව ඇති වස්තූන් 2ක් එකිනෙක ස්පර්ශව තැබූ විට අවසානයේ වස්තූන් දෙක සම උෂ්ණත්වයකට පත්වේ. එවිට එම වස්තූන් **තාපජ සමතුලිතතාවයේ** ඇතැයි කියනු ලැබේ.

තාප ගති විද්‍යාවේ ශුන්‍යාදී නියමය

A හා B යන වස්තු දෙකකින් එක එකක් තවත් C වස්තුවක් සමග තාපජ සමතුලිතතාවයේ පවතී නම් , A හා B වස්තු දෙකද එකිනෙකට තාපජ සමතුලිතතාවයේ පවතී.

උෂ්ණත්වමිතික ගුණ

උෂ්ණත්වය සමග ඒකාකාරව වෙනස් වන පදාර්ථයේ පවතින විවිධ ගුණ **උෂ්ණත්වමිතික ගුණ** වේ.

උදා: ඒකාකාර නලයක ඇති ද්‍රව කඳක දිග

නියත පරිමාවක් සහිත වායු ස්කන්ධයක පීඩනය

නියත පීඩනයක් සහිත වායු ස්කන්ධයක පරිමාව

සන්නායක වල ප්‍රතිරෝධය

තාප විද්‍යුත් යුග්මයක විද්‍යුත් ගාමක බලය

උෂ්ණත්වමිතික ගුණවල තිබිය යුතු අවශ්‍යතා

- උෂ්ණත්වයේ සන්තතික ශ්‍රිතයක් විය යුතුය
- උෂ්ණත්වයේ ඒක ඵල ශ්‍රිතයක් විය යුතුය
- උෂ්ණත්වයේ රේඛිය ශ්‍රිතයක් විය යුතුය

උෂ්ණත්වමාන ක්‍රමාංකනය

අචල ලක්ෂ්‍ය

උෂ්ණත්වමාන පරිමාණ නිර්මාණයේදී ඕනෑම ස්ථානයක පහසුවෙන් තෝරා ගත හැකි උෂ්ණත්ව දෙකක් තෝරාගෙන පරිමාණය නිර්මාණය කරගනියි.ඒවා අචල ලක්ෂ්‍ය වේ.

පහළ අචල ලක්ෂ්‍යය (අයිස් ලක්ෂ්‍යය)

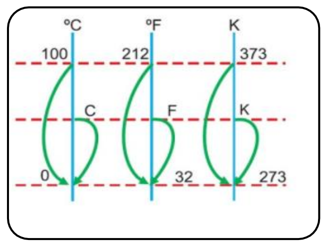
වායුගෝලීය පීඩනයේදී පිරිසිදු **අයිස් හා ජලය** සමතුලිතව පවතින උෂ්ණත්වයයි

ඉහළ අචල ලක්ෂ්‍යය (හුමාල ලක්ෂ්‍යය)

වායුගෝලීය පීඩනයේදී ජලය හා හුමාලය සමතුලිතව පවතින උෂ්ණත්වය වේ

උෂ්ණත්වය මැනීමේ පරිමාණ

1. ෆැරන්හයිට් ^{0}F
2. සෙල්සියස් සෙන්ටිග්‍රේඩ් ^{0}C
3. කෙල්වින් නිරපේක්ෂ උෂ්ණත්වය K



$$\frac{C-0}{100-0}=\frac{F-32}{212-32}=\frac{K-273}{373-273}$$

$$\frac{C}{100}=\frac{F-32}{180}=\frac{K-273}{100}$$

$$\frac{C}{5}=\frac{F-32}{9}=\frac{K-273}{5}$$

පරිමාණය	පහළ අචල ලක්ෂ්‍යය	ඉහළ අචල ලක්ෂ්‍යය
සෙන්ටිග්‍රේඩ්	0 ^{0}F	100 ^{0}F
ෆැරන්හයිට්	32 ^{0}C	212 ^{0}C
කෙල්වින්	273.15 K	373.15 K

උෂ්ණත්වමානයක තිබිය යුතු ලක්ෂණ

- එය පහසුවෙන් ගෙන යාමට හැකි විය යුතුය
- මැනිය හැකි උෂ්ණත්ව පරාසය විශාල විය යුතුය
- සමහර පරීක්ෂණ වලදී සීඝ්‍රයෙන් වෙනස් වන උෂ්ණත්ව මැනීමට අවශ්‍ය වන හෙයින් උෂ්ණත්වමානය ක්ෂණිකව ක්‍රියා කළ යුතුය
- යම් ලක්ෂ්‍යයක හෝ ඉතා කුඩා ප්‍රදේශයක උෂ්ණත්වය මැනීමට සිදු වන විටදී උෂ්ණත්වමානයේ උෂ්ණත්ව සංවේදී කොටස කුඩා විය යුතුය
- කුඩා උෂ්ණත්ව වෙනසක් වුව පැහැදිළිව විශාලව ප්‍රදර්ශනය කළ හැකි ලෙස උෂ්ණත්වමානය නිර්මාණය කර තිබිය යුතුය. එනම් උපකරණය වඩා සංවේදී විය යුතුය.
- උෂ්ණත්වමානය නිර්මාණයට යොදාගත් ද්‍රව්‍ය වල තාප සන්නායකතාවය වැඩි විය යුතු අතර තාප ධාරිතාව අඩු විය යුතුය.

හොඳ උෂ්ණත්වමිතික ද්‍රව්‍යයක තිබිය යුතු ගුණ

- ඉතා හොඳ තාප සන්නායකතාවයක් තිබිය යුතුය
- අවස්ථා විපර්යාසයකට භාජනය නොවී උපරිම උෂ්ණත්ව පරාසයක් තුළ ක්‍රියාකාරී වියයුතුය (මෙහිදී ද්‍රවනම් අඩු ද්‍රවාංක හා වැඩි තාපාංක ද , වායු නම් අඩු තාපාංක ද තිබිය යුතුය)
- උෂ්ණත්වය සමග උෂ්ණත්වමිතික ගුණයේ විචලනය ඒකාකාර විය යුතුය.
- අඩු තාප ධාරිතාවක් හා අඩු ඝනත්වයක් තිබිය යුතුය

උෂ්ණත්වමානයක සංවේදීතාවය

ඒකක උෂ්ණත්ව වෙනසකට උෂ්ණත්වමිතික ගුණයේ සිදුවන වෙනස්වීම

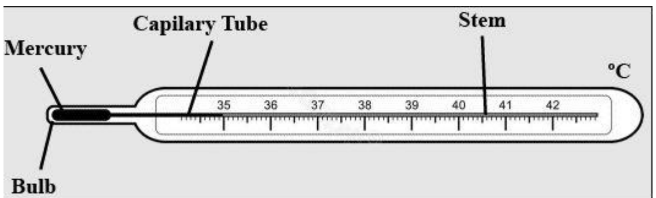
$$\text{සංවේදීතාවය} = \frac{\text{උෂ්ණත්වමිතික ගුණයේ වෙනස්වීම}}{\text{උෂ්ණත්වය}}$$

උෂ්ණත්වමාන වර්ග

- වීදුරු තුළ රසදිය උෂ්ණත්වමානය
- වීදුරු තුළ මද්‍යසාර උෂ්ණත්වමානය
- තාප විද්‍යුත් යුග්මය

වීදුරු තුළ රසදිය උෂ්ණත්වමානය

යොදා ගනු ලබන උෂ්ණත්වමිතික ගුණය = රසදිය කඳක දිග/ පරිමාව



පහළ අචල ලක්ෂ්‍යය ක්‍රමාංකනය

උෂ්ණත්වමාන බල්බය වායුගෝල පීඩනයේ පවතින දියවන අයිස් මත තබා රසදිය මට්ටම නියත වූ පසු එය පහළ අචල ලක්ෂ්‍යය ලෙස ලකුණු කරයි.

ඉහළ අචල ලක්ෂ්‍යය ක්‍රමාංකනය

උෂ්ණත්වමානය හිප්සොමීටරය තුළ තබා හුමාලය නිපදවන වේගය පීඩනමානයේ ද්‍රව මට්ටම් සමාන වන පරිදි සකස් කරනු ලැබේ. රසදිය කඳ නතර වන ස්ථානය ඉහළ අචල ලක්ෂ්‍යය ලෙස ලකුණු කෙරේ.(හිප්සොමීටරයෙන් උපදින හුමාලය 76 Hg cm විය යුතුය)

සෙල්සියස් 1 හි අර්ථ දැක්වීම

පහළ අචල ලක්ෂ්‍යය හා ඉහළ අචල ලක්ෂ්‍යය අතර පරතරය සමාන කොටස් 100කට බෙදු විට ඉන් එක් කොටසකට සමාන ප්‍රමාණයකින් රසදිය කඳ ඉහළ යැවීමට අවශ්‍ය උෂ්ණත්වය සෙල්සියස් 1 නම් වේ.

වීදුරු තුළ රසදිය උෂ්ණත්වමානයක සංවේදීතාවය රඳා පවතින සාධක

- උෂ්ණත්වමාන බල්බයේ අඩංගු රසදිය පරිමාව
- කේශික නලයේ හරස්කඩ වර්ගඵලය

බල්බයේ අඩංගු රසදිය පරිමාව වැඩි කිරීමෙන් සහ කේශික නලයේ හරස්කඩ වර්ගඵලය අඩුකිරීමෙන් සංවේදීතාවය වැඩි කළ හැක

වාසි

- නිර්මාණය කිරීම,ක්‍රමාංකනය හා පරිහරණය පහසුය
- පාඨාංක සෘජුවම ලබා ගත හැක
- ක්ෂණික උෂ්ණත්ව වෙනස් වීම් නිරීක්ෂණය සඳහා යොදාගත හැක

අවාසි

- උෂ්ණත්වය සමග කඳෙහි දිග වෙනස් වීම ඒකාකාරී නොවන බැවින් පාඨාංක වල නිරවද්‍යතාව අඩුය
- උෂ්ණත්ව පරාසය සීමා සහිත වේ
- බල්බයේ පරිමාව හා කේශික නලයේ අභ්‍යන්තර හරස්කඩ වර්ගඵල වෙනස්වීම් නිසා පාඨාංක දෝෂ සහිත වේ

වීදුරු-රසදිය / මද්‍යසාර උෂ්ණත්වමාන අතර වෙනස

ගුණය	රසදිය	මද්‍යසාර
ප්‍රසාරණය	ඒකාකාරය සාමාන්‍ය	ඒකාකාර නොවේ අධික
සන්නායකතාව	වැඩි	අඩු
ඝනත්වය	වැඩි	අඩු
විශිෂ්ට තාප ධාරිතාව	අඩු	වැඩි
වීදුරු තෙත් කිරීම	නොකරයි	කරයි
දෘශ්‍යතාව	පාරාන්ධ	පාරදෘශ්‍ය
තාපාංක ^0C	වැඩි 357^{0}C	අඩු 78^{0}C
හිමාංක ^0C	-39^{0}C	-112^{0}C(අඩු උෂ්ණත්ව සඳහා සුදුසුය)

පරිමාණ අතර සම්බන්ධය

ෆැරන්හයිට් (F), සෙල්සියස් (C), කෙල්වින් (K)

$$F = 9/5\, C + 32$$

$$K = C + 273$$

X_θ = අදාළ උෂ්ණත්වයේදී උෂ්ණත්වමිතික ගුණය

X_L = පහළ අචල උෂ්ණත්වයේදී උෂ්ණත්වමිතික ගුණය

X_H = ඉහළ අචල උෂ්ණත්වයේදී උෂ්ණත්වමිතික ගුණය

θ_H = ඉහළ අචල උෂ්ණත්වය

θ_L = පහළ අචල උෂ්ණත්වය

θ = අදාළ උෂ්ණත්වය

$$\theta = \left(\frac{X_\theta - X_L}{X_H - X_L}\right)(\theta_H - \theta_L) + \theta_L$$

ජලයේ ත්‍රික ලක්ෂ්‍යය

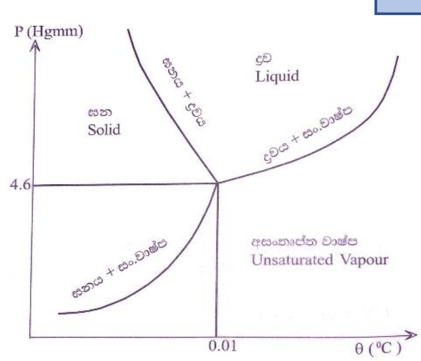
ජලය එහි ඝන ද්‍රව වායු යන අවස්ථා තුනම සමතුලිතව පවතින ලක්ෂ්‍ය වේ. ත්‍රික ලක්ෂ්‍යයේ උෂ්ණත්වය = 273.16 K

සෙල්සියස් උෂ්ණත්වයක් සඳහා,

C_θ

$$\theta = \left(\frac{X_\theta - X_L}{X_H - X_L}\right) \times 100$$

$$T = \frac{X_T}{X_{tr}} \times 273.16$$



X_T = උෂ්ණත්වයේදී උෂ්ණත්වමිතික ගුණ

X_{tr} = ජලයේ ත්‍රික ලක්ෂ්‍යයේදී උෂ්ණත්වමිතික ගුණ

තාප ප්‍රසාරණය

Thermal Expansion

ඝන ද්‍රව්‍ය ප්‍රසාරණය

ඝන ද්‍රව්‍යයක් රත් කරන විට බාහිරින් සපයන තාප ශක්තිය නිසා එහි පරාමණු දෝලක හෝ අණුක දෝලක වල චාලක ශක්තිය හා කම්පන විස්තාර ඉහළ යාම නිසා එම වස්තුවේ සිදුවන ප්‍රමාණය වෙනස්වීම එහි නිදහස් ප්‍රසාරණයයි

රේඛීය ප්‍රසාරණය (දිගෙහි ඇතිවන වෙනස්වීම)

රේඛීය ප්‍රසාරණතාව

යම් වස්තුවක ඒකක මුල් දිගක උෂ්ණත්වය 1^0C කින් වැඩි කළ විට එහි දිගෙහි ඇතිවන වැඩිවීම

මුල් දිග L අවසාන දිග L_2 උෂ්ණත්ව වෙනස θ ප්‍රසාරණතාව α විට

$$\Delta l = \alpha l \theta$$

අවසාන දිග L_2 සඳහා ප්‍රකාශනය

$$l_2 = l_1(1 + \alpha\theta)$$

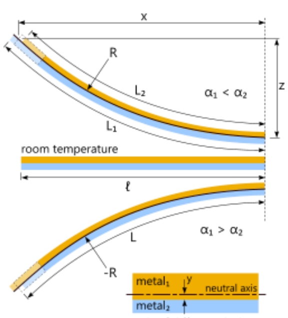
රේඛීය ප්‍රසාරණයේ භාවිත

උෂ්ණත්වය සමග සරල අවලම්බයක ආවර්ත කාලය වෙනස් වීම

උෂ්ණත්වය θ වලින් වෙනස් වූ විට නව උෂ්ණත්වය $T^/$ නම්

$$T^/ = T\left(1 + \frac{\alpha\,\theta}{2}\right)$$

ද්විලෝහ පටිය



β

වර්ගඵල ප්‍රසාරණය (වර්ගඵලය වෙනස්වීම)

වර්ගඵල ප්‍රසාරණතාව

යම් වස්තුවක ඒකක වර්ගඵලයක උෂ්ණත්වය 1^0C කින් වැඩි කළ විට එහි වර්ගඵලයහි ඇතිවන වැඩිවීම

$$\beta = \frac{\text{ක්ෂේත්‍රඵලයේ වැඩිවීම}}{\text{මුල් ක්ෂේත්‍රඵලය x උෂ්ණත්ව වෙනස}}$$

$$\therefore \beta = \frac{\Delta A}{A\theta} \qquad \Delta A = A\beta\theta$$

අවසාන ක්ෂේත්‍රඵලය = මුල් ක්ෂේත්‍රඵලය + ප්‍රසාරණය

$$A_2 = A_1 + \beta\,\theta$$

$$\mathbf{A_2 = A_1(1 + \beta\theta)}$$

පරිමා ප්‍රසාරණය (පරිමාව වෙනස්වීම) γ

$$\gamma = \frac{\text{පරිමාවේ වැඩිවීම}}{\text{මුල් පරිමාව x උෂ්ණත්වය නැගීම}}$$

$$\gamma = \frac{\Delta V}{V\Delta\theta} \qquad \mathbf{\Delta V = V\,\gamma\,\Delta\theta}$$

අවසාන පරිමාව = මුල් පරිමාව + ප්‍රසාරණය

$$V_2 = V_1 + V_1\gamma\,\theta$$

$$\mathbf{V_2 = V_1(1 + \gamma\,\theta)}$$

පරිමා ප්‍රසාරණතාව

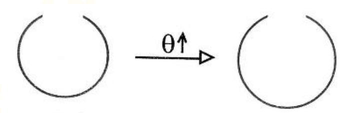
යම් වස්තුවක ඒකක පරිමාවක උෂ්ණත්වය 1^0C කින් වැඩි කළ විට එහි පරිමාවහි ඇතිවන වැඩිවීම

ඝන ද්‍රව්‍යයක පරිමා ප්‍රසාරණයේදී උෂ්ණත්වය සමග ඝනත්වය වෙනස් වන අයුරු

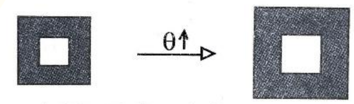
α^2 , $\alpha^3 \approx 0$ බැවින්

$\beta \approx 2\alpha$ හා $\gamma \approx 3\alpha$

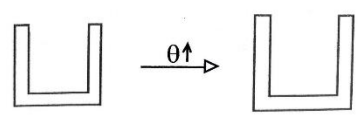
ලෙස ගත හැක



රත් කිරීමේදී හිදැසේ දිග වැඩිවේ



රත් කිරීමේදී හිදැසේ වර්ගඵලය වැඩිවේ



රත් කිරීමේදී කුහරයේ පරිමාව වැඩිවේ

ද්‍රව ප්‍රසාරණය

ද්‍රව ප්‍රසාරණතාව

යම් ද්‍රවයක ඒකක මුල් පරිමාවක උෂ්ණත්වය $1\,^oC$ කින් ඉහළ නැංවූ විට එහි පරිමාවේ වැඩිවීම

ද්‍රවයක දෘශ්‍ය ප්‍රසාරණය-- සාපේක්ෂ ප්‍රසාරණය

බඳුනේ ප්‍රසාරණය නොසලකා හැරිවිට එනම් බඳුනට වඩා වැඩිපුර ද්‍රවයේ සිදුවන ප්‍රසාරණය දෘශ්‍ය ප්‍රසාරණයයි

ද්‍රවයක සත්‍ය ප්‍රසාරණය--නිරපේක්ෂ ප්‍රසාරණය

සත්‍ය ප්‍රසාරණය = දෘශ්‍ය ප්‍රසාරණය + බඳුනේ පරිමා ප්‍රසාරණය

දෘශ්‍ය ප්‍රසාරණතාව--සාපේක්ෂ ප්‍රසාරණතාවය(γR)

ද්‍රවයේ ඒකක මුල් පරිමාවක උෂ්ණත්වය 1 °C කින් වැඩි කළවිට බඳුනට වඩා වැඩිපුර ද්‍රවයේ ඇතිවන ප්‍රසාරණය

සත්‍ය ප්‍රසාරණතාව--නිරපේක්ෂ ප්‍රසාරණතාවය(γ)

ද්‍රවයේ ඒකක මුල් පරිමාවක උෂ්ණත්වය 1 °C කින් වැඩි කළවිට බඳුනේ ප්‍රසාරණයද ඇතුළුව වඩා වැඩි වන පරිමාව වැඩිවීම

සත්‍ය ප්‍රසාරණතාව = දෘශ්‍ය ප්‍රසාරණතාව + බඳුනේ පරිමා ප්‍රසාරණතාව

$$\gamma = \gamma R + 3\alpha$$

ඒ අනුව ද්‍රවයක V_1 මුල් පරිමාවක උෂ්ණත්වය θ වලින් වැඩි කළවිට සිදුවන පරිමාවේ වැඩිවීම ,

දෘශ්‍ය ප්‍රසාරණය $=V_1\gamma_R\theta$

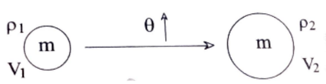
සත්‍ය ප්‍රසාරණය $= V_1\gamma\theta$

ද්‍රවයේ අවසාන පරිමාව = මුල් පරිමාව + සත්‍ය ප්‍රසාරණය

$$V_2=V_1(1 + \gamma\theta)$$

උෂ්ණත්වය සමඟ ද්‍රවයක ඝනත්වයේ විචලනය

$\rho 1 = \frac{m}{V1}$ $\rho 2 = \frac{m}{V2}$

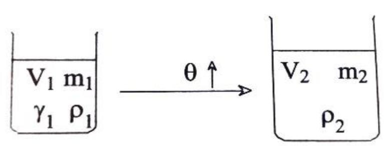


$m=\rho_1V_1$ $m=\rho_2V_2$

අවස්ථා දෙකේම ස්කන්ධ සමාන බැවින්

$$\rho_1V_1=\rho_2V_2$$
$$V_2=V_1(1 + \gamma\theta)$$
$$\rho_1= \rho_2 (1 + \gamma\theta)$$

ද්‍රවයක සත්‍ය ප්‍රසාරණතාව, දෘශ්‍ය ප්‍රසාරණතාවය හා බඳුනේ ප්‍රසාරණතාවය අතර සම්බන්ධය



γ_2 - ද්‍රවයේ සත්‍ය ප්‍රසාරණතා සංගුණකය γ_1 - භාජනයේ පරිමා ප්‍රසාරණතා සංගුණකය

$\frac{(m_1 - m_2)}{m_2\theta}$ = දෘශ්‍ය පරිමා ප්‍රසාරණතා සංගුණකය

∴ ද්‍රවයේ සත්‍ය ප්‍රසාරණ සංගුණකය = භාජනයේ ප්‍රසාරණ සංගුණකය + ද්‍රවයේ දෘශ්‍ය ප්‍රසාරණතා සංගුණකය

$\gamma = 3\alpha + \gamma_R$ $\gamma = \gamma_R + 3\alpha$

$$\gamma = \gamma R + 3\alpha$$

ජලයේ අනියම් ප්‍රසාරණය

සාමාන්‍ය පීඩනය යටතේ 0°C සිට 4°C දක්වා උෂ්ණත්වය වැඩි කරන විට ජලය සංකෝචනය වීමක් පෙන්නුම් කරන අතර ඊට වඩා වැඩි කරන විට සාමාන්‍ය ද්‍රවයක් ලෙස ප්‍රසාරණය වේ

වායු නියම හා චාලක අණුකවාදය
Laws of Gases & Kinetic Theory of Gases

වායු පීඩනය

වායුවක් නිසා පෘෂ්ඨයක ඒකක වර්ගඵලයක් මත අභිලම්භව යෙදෙන මධ්‍යන්‍ය බලය

ඒකක → Nm^{-2} (Pa) , {Hgcm, bar}

1Hgcm = 1334.16 Pa   1 bar = 10^5 Pa

** බොහෝ විට වායුවක පීඩනය ද්‍රව කඳක උස ලෙස නිරූපණය කරයි

වායුවේ පීඩනය = වා.ගෝ.පී. + ද්‍රව කඳේ උසෙන් ඇතිවන පීඩනය

බොයිල් නියමය

නියත උෂ්ණත්වයකදී අචල වායු ස්කන්ධයක පීඩනය (P) එහි පරිමාව (V)ට ප්‍රතිලෝමව සමානුපාතික වේ

$$P \propto \frac{1}{V}$$

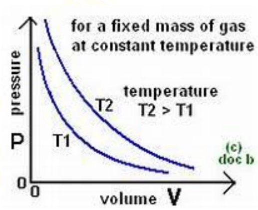
$$P = k \left(\frac{1}{V}\right) \; k \; is \; an \; constant$$

$$PV = k$$

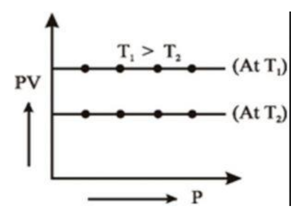
බොයිල් නියමය අවස්ථා දෙකකදී,

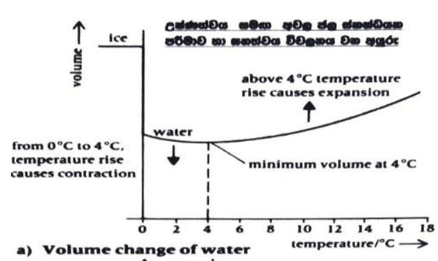
$$P_1V_1=P_2V_2$$

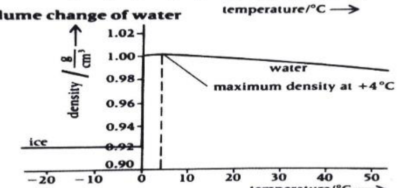
P හා V අතර ප්‍රස්තාර



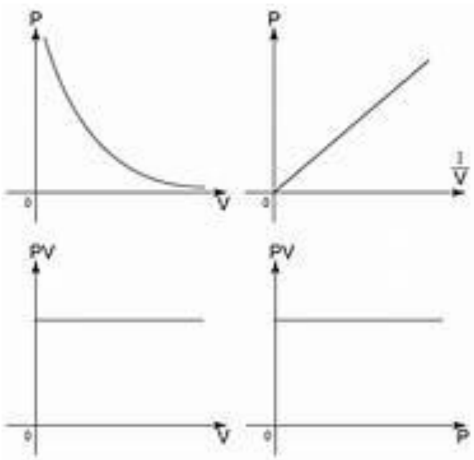
P හා PV අතර ප්‍රස්තාර





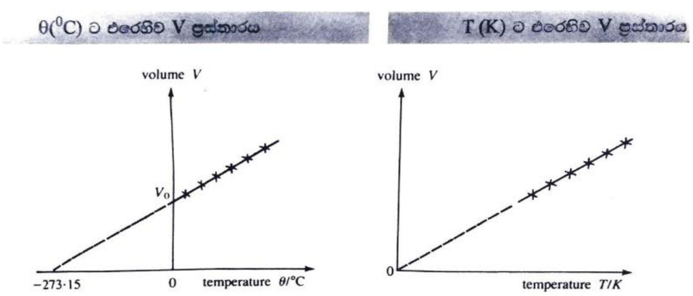


ස්ථිරතාපි වක්‍ර



චාල්ස් නියමය

නියත පීඩනයකදී අචල වායු ස්කන්ධයක පරිමාව (V) නිරපේක්ෂ උෂ්ණත්වය (T) ට අනුලෝමව සමානුපාතික වේ



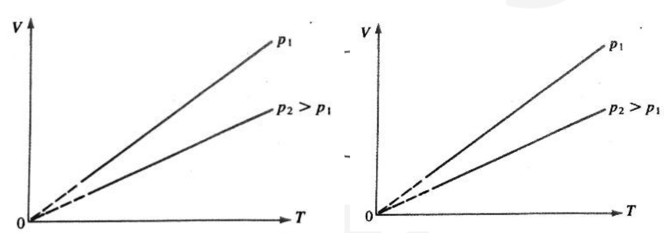
$$V \propto T$$

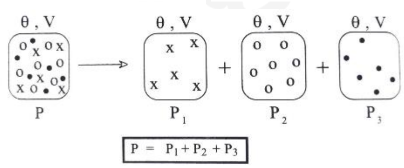
$$V = kT \quad k \ is \ a \ constant$$

$$\frac{V}{T} = k$$

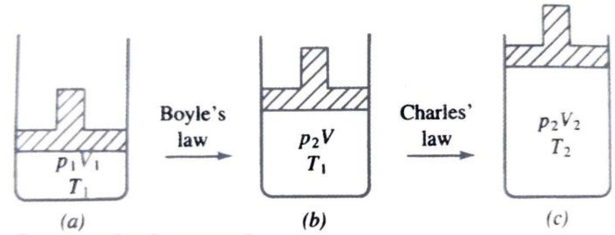
චාල්ස් නියමය අවස්ථා දෙකකදී,

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$





පීඩන නියමය



නියත පරිමාවේදී අචල වායු ස්කන්ධයක පීඩනය(P) එහි නිරපේක්ෂ උෂ්ණත්වය(T) ට අනුලෝම වශයෙන් සමනුපාත වේ

$$P \propto T$$

$$P = kT \quad k \ is \ a \ constant$$

$$\frac{P}{T} = k$$

පීඩන නියමය අවස්ථා දෙකකදී

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

ඩෝල්ටන් ආංශික පීඩන නියමය

වායු හෝ වාෂ්ප මිශ්‍රණයක් මගින් ඇති කරන මුළු පීඩනය, මිශ්‍රණයේ ඇති එක් එක් වායුව/වාෂ්පය මගින් ඇතිකරන ආංශික පීඩන වල එකතුවට සමාන වේ

වායු පිළිබඳ අවස්ථා සමීකරණ

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

පරිපූර්ණ වායු සමීකරණ

P – වායුවේ පීඩනය
T – වායුවේ නිරපේක්ෂ උෂ්ණත්වය
m – වායුවේ ස්කන්ධය
n – වායුවේ මවුල සංඛ්‍යාව
N – වායුවේ අණු සංඛ්‍යාව
M – වායුවේ මවුලික ස්කන්ධය
V - වායුවේ පරිමාව

අචල m ස්කන්ධයක් සඳහා

$$\frac{PV}{T} = k \quad ; k \ is \ a \ constant$$

PV=kT

වායුවේ ස්කන්ධය ඇසුරෙන්

$PV = mR'T$ මෙහි R' යනු ඒකක වායු ස්කන්ධයක් සඳහා වායු නියතය වේ.

වායුවේ මවුල සංඛ්‍යාව ඇසුරෙන්

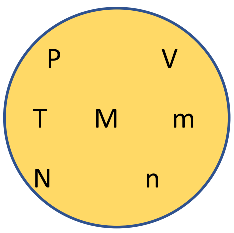
$PV = nRT$ R යනු සාර්වත්‍ර වායු නියතය වේ.

වායුවේ ඇති අණු සංඛ්‍යාව ඇසුරෙන්

$PV = NkT$ k යනු බෝල්ට්ස්මාන් නියතය වේ

ඒකක : R' = $J\ kg^{-1}K^{-1}$ R = $J\ mol^{-1}K^{-1}$

R = 8.31 $J\ mol^{-1}K^{-1}$ k = 1.38 x $10^{-23}J\ molecule^{-1}K^{-1}$



වායු පිළිබඳ චාලක අණුක වාදය

(Kinetic Theory of Gases)

මූලික සංකල්ප

1 සෑම වායුවක්ම අංශු නමැති ඒකක වලින් සෑදී ඇත එක වායුවක අංශු සෑම අතින්ම එක හා සමානය.

2 වායු අංශු අතර ආකර්ෂණ බල නොසලකා හැරිය හැකි තරම් කුඩාය.

3 වායු අංශු ලක්ෂ්‍යාකාර කුඩා ස්කන්ධ මෙනි. අවකාශයේ පරිමාව හා සැසඳීමේදී අංශු වල පරිමාව ඉතා කුඩාය.

4 අංශු එකිනෙක සමග සහ අඩංගු බඳුනේ බිත්ති සමග ඇති කරන ගැටීම් ප්‍රත්‍යස්ථ වේ එනම් ගැටීමේදී ඒවායේ වේග (චාලක ශක්ති) වෙනස් නොවේ.

5 වායු අංශු 2ක් එකිනෙක ගැටීමට ගත කරන කාලය හා සැසඳීමේදී ස්පර්ශව පවතින කාලය නොසලකා හල හැක.

වර්ග මධ්‍යයනය වේගය $(\bar{C}^2) = \frac{C_1^2 + C_2^2 + C_3^2 \dots\dots\dots + C_n^2}{n}$

වර්ග මධ්‍යයනය මූල වේගය $\left(\sqrt{\bar{C}^2}\right) = \sqrt{\frac{C_1^2 + C_2^2 + C_3^2 \dots\dots\dots + C_n^2}{n}}$

චාලක අණුක වාදය අනුව පහත ප්‍රකාශනය ලබා ගත හැක

P =පීඩනය V=පරිමාව N=අණු ගණන C^2 =වර්ග මධ්‍යනය වේගය
m = අංශුවක ස්කන්ධය M= මුළු ස්කන්ධය

$PV = \frac{1}{3}(Nm\bar{C}^2)$ N x m = M

$\rho = \frac{M}{V}$ බැවින් $P = \frac{1}{3}(\rho\bar{C}^2)$

අණුක චාලක ශක්තිය හා උෂ්ණත්වය අතර සම්බන්ධය

$E = \frac{3}{2}kT$ k යනු බෝල්ට්ස්මාන් නි

වායු අණුවල වර්ග මධ්‍යන්‍ය මූල ප්‍රවේගය හා උෂ්ණත්වය අතර සම්බන්ධය

$$\sqrt{c^2} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

ඝනත්වය හා $\sqrt{c^2}$ අතර සම්බන්ධය

$$\sqrt{\bar{C}^2} = \sqrt{\frac{3P}{\rho}}$$

දී ඇති වායුවක් සඳහා ව.ම.මූ. වේගය $\sqrt{c^2}$ නම් $\sqrt{c^2} \propto \sqrt{T}$

එකම වායුවේ T_1 හා T_2 උෂ්ණත්ව 2ක ව. ම. මූ. වේග $\sqrt{{c_1}^2}$ හා $\sqrt{{c_2}^2}$ නම්

$$\frac{\sqrt{{c_1}^2}}{\sqrt{{c_2}^2}} = \frac{\sqrt{T1}}{\sqrt{T2}}$$

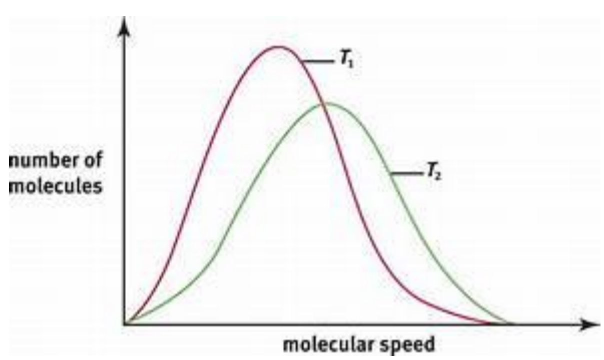
එකම උෂ්ණත්වයේ පවතින විවිධ වායු සඳහා ව.ම.මූ. වේගය $\sqrt{c^2}$ නම් $\sqrt{c^2} \propto \sqrt{\frac{1}{M}}$

එකම උෂ්ණත්වයේ පවතින මවුලික ස්කන්ධ M1 හා M2 වායු දෙකක ව.ම.මූ. වේග පිළිවෙලින් $\sqrt{{c_1}^2}$ හා $\sqrt{{c_2}^2}$ නම්

$$\frac{\sqrt{{c_1}^2}}{\sqrt{{c_2}^2}} = \frac{\sqrt{M2}}{\sqrt{M1}}$$

විවිධ උෂ්ණත්ව වලදී අණුක වේග වල ව්‍යාප්තිය

$T_1 < T_2$



තාපමිතිය හා තාපගති විද්‍යාව

Calorimetry & Thermodynamics

වස්තුවක තාප ධාරිතාව (C)

යම් වස්තුවක උෂ්ණත්වය 1 °C (1K) කින් ඉහළ නැංවීමට අවශ්‍ය තාප ප්‍රමාණය එම වස්තුවේ තාප ධාරිතාවයි

උෂ්ණත්වය 1°C කින් ඉහළ නැංවීමට අවශ්‍ය තාප ප්‍රමාණය = C

උෂ්ණත්වය ϴ කින් ඉහළ නැංවීමට අවශ්‍ය තාප ප්‍රමාණය =Cϴ

C හි ඒකක: JK^{-1}

$$Q = C\theta$$

වස්තුවක විශිෂ්ට තාප ධාරිතාව (s)

යම් වස්තුවක 1kgක උෂ්ණත්වය 1 °C (1K) කින් ඉහළ නැංවීමට අවශ්‍ය තාප ප්‍රමාණය එම වස්තුවේ තාප ධාරිතාවයි

1kg උෂ්ණත්වය 1 K කින් ඉහළ නැංවීමට අවශ්‍ය තාප ප්‍රමාණය =s

mkg උෂ්ණත්වය ϴ කින් ඉහළ නැංවීමට අවශ්‍ය තාප ප්‍රමාණය =msϴ

s හි ඒකක: $Jkg^{-1}K^{-1}$

$$Q = ms\theta$$

විශිෂ්ට ගුප්ත තාපය(L)

පදාර්ථයේ උෂ්ණත්ව වෙනස්වීමක් නොමැතිව එහි ඒකක ස්කන්ධයක් අවස්ථා විපර්යාසයේදී හුවමාරු කරන ගුප්ත තාපය නම් වේ

විලයනයේ විශිෂ්ට ගුප්ත තාපය

යම් ද්‍රව්‍ය 1kgක් ඝන සිට ද්‍රව අවස්ථාවට පත්වීමේදී උෂ්ණත්වයේ වෙනසක් නොමැතිව උරාගන්නා තාපය

වාෂ්පීකරණයේ විශිෂ්ට ගුප්ත තාපය

යම් ද්‍රව්‍ය 1kgක් ද්‍රව සිට වායු අවස්ථාවට පත්වීමේදී උෂ්ණත්වයේ වෙනසක් නොමැතිව උරාගන්නා තාපය

m kgක් සඳහා ගුප්ත තාපය $Q = mL$

තාප ගති විද්‍යාව

තාපය මගින් හෝ කාර්යය මගින් තාපය වෙනස් කිරීමේ ක්‍රියාවලින් පිළිබඳ අධ්‍යයනය මෙහිදී සිදුවේ

සංවෘත පද්ධති (ස්කන්ධය නියත පද්ධතියක්)

තාපගති විද්‍යාවේ පළමු නියමය

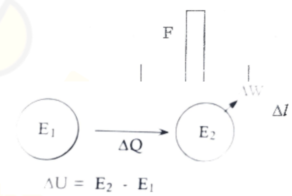
යම් සංවෘත පද්ධතියකට ලබා දෙන ශක්තිය , එම පද්ධතියේ අභ්‍යන්තර ශක්තිය වැඩිවීමෙත් පද්ධතිය මගින් කරන ලද බාහිර කාර්යය ප්‍රමාණයේත් එකතුවට සමාන වේ

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta W$$

ΔQ= පද්ධතියට ලබා දෙන ශක්තිය
ΔU=පද්ධතියේ අභ්‍යන්තර ශක්තියේ වෙනස
ΔW= පද්ධතිය මගින් කරන ලද බාහිර කාර්යය

නියත වායු පීඩනයේදී වායු පද්ධතියක් මගින් කරන ලද කාර්යය

P= වායුවේ පීඩනය
V= වායුවේ පරිමාව
T= උෂ්ණත්වය
A= පිස්ටනයේ වර්ගඵලය
F= පිස්ටනය මගින් පහළට යොදන බලය



$$\Delta W = P.\,\Delta V$$

පීඩන පරිමා වක්‍ර

පීඩන පරිමා වක්‍රයෙන් ආවරණය වන වර්ගඵලයෙන් පද්ධතිය මත කරන ලද හෝ පද්ධතියෙන් කරන ලද බාහිර කාර්යය ප්‍රමාණය නිරූපණය වේ

පද්ධතියෙන් කාර්ය කරයිනම් එනම් පරිමාව වැඩිවේනම් වේ
පද්ධතිය මත කාර්යකරයි නම් එනම් පරිමාව අඩුවේ නම් වේ

පරිපූර්ණ වායුවක අභ්‍යන්තර ශක්තිය

(උෂ්ණත්වය මත පමණක් රඳා පවති)

වායු අණුවක උත්තාරණ චාලක ශක්තිය (E)

$E = \frac{3}{2}kT$ $E = \frac{3}{2}nRT$ $E = \frac{3}{2}PV$

- ❖ නියත පීඩන ක්‍රියාවේදී අභ්‍යන්තර ශක්ති වෙනස = උත්තාරණ චාලක ශක්ති වෙනස
- ❖ නියත පරිමා ක්‍රියාවේදී එනම් සමෝෂ්ණ ක්‍රියාවලියේදී අභ්‍යන්තර ශක්ති වෙනස ශුන්‍යය වේ
- ❖ චක්‍රීය ක්‍රියාවලිය දක්ෂිණාවර්තව සිදුවේ නම් ΔW (+) ෙ
- ❖ චක්‍රීය ක්‍රියාවලිය වාමාවර්තව සිදුවේ නම් ΔW (-) වේ
- ❖ චක්‍රීය ක්‍රියාවලියේ ආරම්භක හා අවසාන ලක්ෂ්‍ය සමපාතවේ නම් මුළු අභ්‍යන්තර ශක්ති වෙනස ශුන්‍ය වේ $\Delta U=0$
- ❖ ΔW (+) හා ΔU=0 වනවිට ΔQ > 0 බැවින් පද්ධතිය මගින් **තාප අවශෝෂණය** කර ඇත

❖ ΔW (-) හා ΔU=0 වනවිට ΔQ < 0 බැවින් පද්ධතියෙන් පරිසරයට **තාපය නිදහස් වේ**

වායුන්ගේ විශිෂ්ට තාප ධාරිතා C

නියත පරිමාවේදී වි.තා.ධාරිතාව C_V

පරිමාව නියතව තබා ගනිමින් 1 kg වායු ස්කන්ධයක උෂ්ණත්වය 1K කින් ඉහල නැංවීම සඳහා අවශ්‍ය තාප ප්‍රමාණය

ඒකක $Jkg^{-1}K^{-1}$

නියත පරිමාවේදී මවුලික තාප ධාරිතාව C_v

පරිමාව නියතව තබා ගනිමින් වායු මවුලයක උෂ්ණත්වය 1K වලින් ඉහල නැංවීම සඳහා අවශ්‍ය තාපය ඒකක $Jmol^{-1}K^{-1}$

නියත පීඩනයේදී විශිෂ්ට තාප ධාරිතාව C_p

පීඩනය නියතව තබා ගනිමින් 1kgක වායු ස්කන්ධයක උෂ්ණත්වය 1K කින් ඉහල නැංවීමට අවශ්‍ය තාපය

නියත පීඩනයේදී වායුවක මවුලික තාප ධාරිතාව C_P

පීඩනය නියතව තබා ගනිමින් වායු මවුලයක උෂ්ණත්වය 1K කින් ඉහල නැංවීමට අවශ්‍ය තාපය

වායුවක මවුලික තාප ධාරිතා අතර වෙනස

$C_P - C_v = R$; R යනු මවුලික වායු නියතය වේ

$C_p - C_V = R^{/}$; $R^{/}$ යනු ඒකක ස්කන්ධයකට අනුරූප වායු නියතය

වායුවක ප්‍රධාන වි.තා.ධා. අතර අනුපාතය

මෙහි වායුවේ පරමාණුකතාවය /වායු අණුවක ඇති පරමාණු ගණන මත රඳා පවතී

$$\frac{C_p}{C_V} = \gamma \qquad ;\gamma > 1$$

සියළු ද්වි පරමාණුක වායු සඳහා $\gamma = 1.4$

සමෝෂ්ණ හා ස්ථිරතාපි ක්‍රියාවලි

සමෝෂ්ණ විපර්යාස

❖ යම් තාපගතික පද්ධතියකට පිටතින් තාපය සැපයූ විට එහි උෂ්ණත්වය නියතව පවතීනම් එවැනි විපර්යාස සමෝෂ්ණ විපර්යාස ලෙස හැඳින්වේ.

මෙහිදී ΔU=0 බැවින් ΔQ= ΔW වේ

ස්ථිරතාපි විපර්යාස

❖ පද්ධතිය තුලට හෝ පිටතට තාපය ගැලීමකින් තොරව සිදුවන ක්‍රියාවලි මෙහිදී ΔQ=0 බැවින් ΔW= −ΔU වේ

තාප සංක්‍රමණය

Thermal Transmission

1 තාප සංවහනය
2 තාප සන්නයනය
3 තාප විකිරණය

තාප සංවහනය

රත්වූ තරල ප්‍රවාහයක් මගින් තාපය ප්‍රචාරණය වීම

1 ස්වාභාවික සංවහන ස්වාභාවික සංවහන ධාරා මගින්
2 කෘත සංවහන කෘතිමව කැලඹීම මගින්

රත්වූ වස්තුවකින් තාපය හානිවන සීඝ්‍රතාවය රඳා පවතින සාධක

රත්වූ වස්තුව හා පරිසරය අතර උෂ්ණත්ව අන්තරය (θ-θ_0)

වස්තුවේ පෘෂ්ඨ වර්ගඵලය(A)

වස්තුවේ පෘෂ්ඨ ස්වාභාවය

පරිසරයේ ස්වාභාවය

නිව්ටන්ගේ සිසිලන නියමය

පරිසරයක තබා ඇති උණුසුම් වස්තුවක් අනෙකුත් පරිසර සාධක නියතව පවතින විට අනවරත වාත ප්‍රවාහයක් යටතේ සිසිල් වන විට යම් මොහොතක තාපය හානිවීමේ සීඝ්‍රතාවය, වස්තුව සහ පරිසරය අතර අමතර උෂ්ණත්වයට අනුලෝමව සමානුපතික වේ.

තාපය හානිවීමේ සීඝ්‍රතාවය ∝ අමතර උෂ්ණත්වය

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} \propto (\Theta - \Theta 0)$$

$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = k(\Theta - \Theta 0)$ k යනු සිසිලන නියමය වේ.

kහි ඒකක = WK^{-1} ,WC^{-1}

තාපවත් වස්තුවක **තාපය හානිවීමේ සීඝ්‍රතාවය** එහි නිරාවරණය වූ **පෘෂ්ඨ වර්ගඵලයට** සමානුපාතික වේ.

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} \propto A$$

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} \propto A(\Theta - \Theta 0)$$

$\frac{\Delta \Theta}{\Delta t} = \varepsilon A(\Theta - \Theta 0)$ ε = පෘෂ්ඨීක තාප විමෝචකතාව

ε හි ඒකක = $Wm^{-2}K^{-1}$,$Wm^{-2}C^{-1}$

පෘෂ්ඨික තාප විමෝචකතාව = තාපවත් වස්තුවක ඒකක වර්ගඵලයක් හරහා ඒකක කාලයකදී අතිරේක උෂ්ණත්ව ඒකකයකට විමෝචනය කරන තාප ප්‍රමාණය

නිව්ටන්ගේ සිසිලන නියමය වලංගු වන තත්ත්ව

- ❖ තාප සංවහන තත්ත්ව යටතේ ඕනෑම අමතර උෂ්ණත්වයක් සඳහා සත්‍ය වේ
- ❖ ස්වාභාවික සංවහන තත්ත්ව යටතේ 30 වඩා අඩු අමතර උෂ්ණත්ව සඳහා සත්‍ය වේ
- ❖ නියමය යොදන වස්තුව වෙනත් වස්තූන් සමග ඝන ද්‍රව්‍යයක් සමග ස්පර්ශ නොවිය යුතුය

උෂ්ණත්වය වෙනස් වීමේ සීඝ්‍රතාවය හා අමතර උෂ්ණත්වය අතර සම්බන්ධය

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = kA(\theta - \theta 0) \qquad \frac{\Delta Q}{\Delta t} = ms(\frac{\Delta\theta}{\Delta t})$$

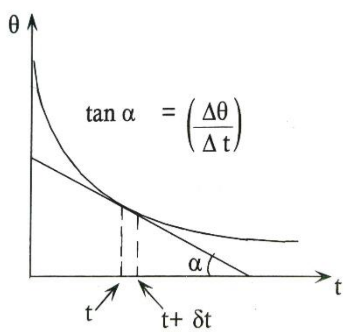
$$ms\left(\frac{\Delta\theta}{\Delta t}\right) = kA(\theta - \theta 0)$$

$\frac{\Delta\theta}{\Delta t} \propto (\theta - \theta 0)$ අනුලෝමව සමානුපාතික වේ

අවස්ථා විපර්යාසයක් නම්

$$Q = mL$$

$$\left(\frac{\Delta m}{\Delta t}\right) = \frac{kA}{L}(\theta - \theta 0)$$



සිසිලන වක්‍ර

කාලය සමග උෂ්ණත්වය කියවාගෙන කාලය සහ උෂ්ණත්වය අතර නිර්මාණය කරන ප්‍රස්ථාරය

සිසිලන වක්‍රයේ බෑවුම

වක්‍රයේ ලක්ෂ්‍යයකට ස්පර්ශකයක්ඇඳ එය x අක්ෂය සමග සාදන සුළු කෝණයේ tan අගය මගින් එම අවස්ථාවේ සිසිලන සීඝ්‍රතාවය නිරූපණය කරයි

තාප සන්නයනය

තාප සුසන්නායක

හොඳින් තාප සන්නයනය කරන ද්‍රව්‍ය

තාප කුසන්නායක

මඳ වශයෙන් තාප සන්නයනය කරන ද්‍රව්‍ය

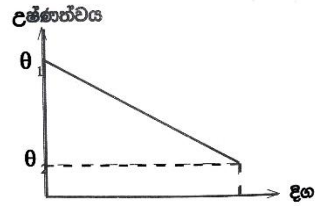
තාප සන්නායකතාව

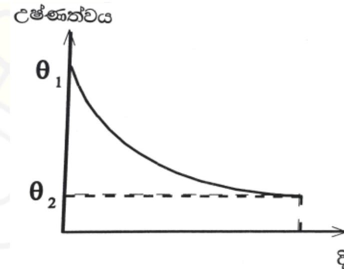
සන්නායකයක් දිගේ උෂ්ණත්ව ව්‍යාප්තිය

පරිවරණය නොකළ

ලබාදෙන තාපය වැයවෙන ක්‍රම

කොටසකින් දණ්ඩේ අංශු රත්වේ
කොටසක් විවෘත පෘෂ්ඨයෙන් පරිසරයට හානිවේ
ඉතිරිය දණ්ඩේ යාබද අංශූන්ට සන්නයනය මගින් සම්ප්‍රේෂණය





අනවරත අවස්ථාව=දණ්ඩේ සෑම ලක්ෂ්‍යකම උෂ්ණත්වය නියතව පවතින අවස්ථාව

පරිවරණය කළ

අනවරත අවස්ථාවේ ඇති ආවරණය කළ දණ්ඩක් දිගේ තාපය හානි වීමේ සීඝ්‍රතාවය

දණ්ඩ තුලින් t කාලයකදී ගලායන තාප ප්‍රමාණය Q නම්

සීඝ්‍රතාව $\dot{Q} = \frac{Q}{t}$

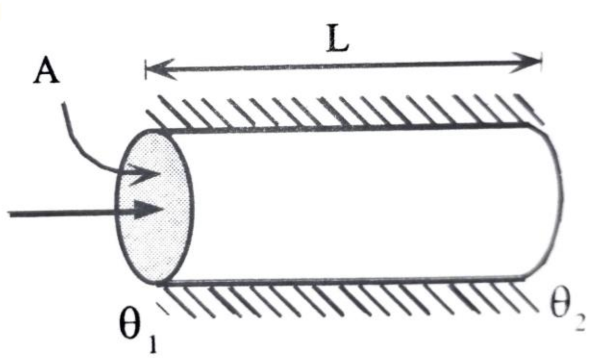
තාපය ගලායාමේ සීඝ්‍රතාව දණ්ඩේ හරස්කඩ වර්ගඵලයට හා දණ්ඩේ උෂ්ණත්ව අනුක්‍රමණයට අනුලෝමව සමානුපාතික වේ

$\dot{Q} \propto A \quad , \quad \dot{Q} \propto (\frac{\Delta\theta}{\Delta L}) \quad \rightarrow \dot{Q} \propto A(\frac{\Delta\theta}{\Delta L})$

$$\frac{Q}{t} = kA(\frac{\Delta\theta}{\Delta L})$$

k යනු තාප සන්නායකතා සංගුණකය/තාප සන්නායකතාව

ඒකකය= $Wm^{-1}K^{-1}$



වාෂ්ප හා ආර්ද්‍රතාමිතිය

Vapour & Hygrometry

වාෂ්පීභවනය

තාපාංකයට පැමිණීමට පෙර සිදුවන වාෂ්පවීම

වාෂ්පීකරණය

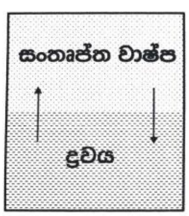
තාපාංකයේදී වාෂ්පවීම

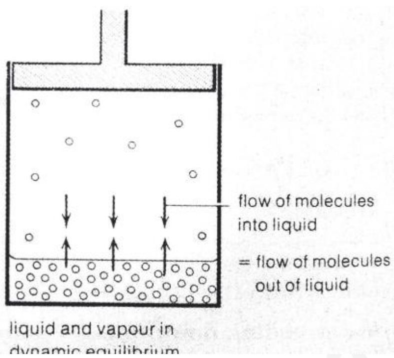
වාෂ්පීභවන සීඝ්‍රතාවය රඳා පවතින සාධක

- ද්‍රවයේ උෂ්ණත්වය
- ද්‍රවයේ පෘෂ්ඨීක ක්ෂේත්‍රඵලය
- පරිසරයේ උෂ්ණත්වය
- තෙතමනය /ආර්ද්‍රවතාවය
- පරිසරයේ ස්වාභාවය
- පරිසරයේ පීඩනය

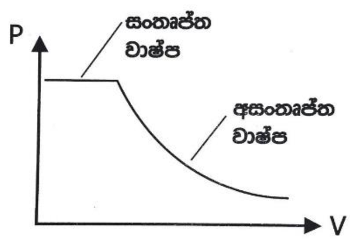
❖ වාෂ්ප ඝනත්වය = ඒකක පරිමාවක ඇති වාෂ්ප ස්කන්ධය

❖ සංතෘප්ත වාෂ්පය වාෂ්පයක් තමාගේම සමජාතිය ද්‍රවය සමග **ගතික සමතුලිතතාවයේ** පවතී නම්

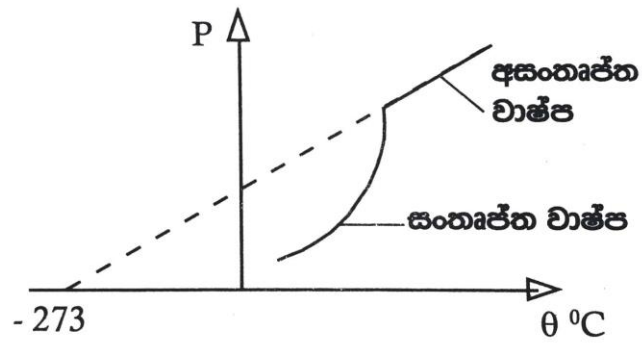




නියත උෂ්ණත්වයක ඇති අචල වාෂ්ප ස්කන්ධයක පරිමාව සමග පීඩනය විචලනය



උෂ්ණත්වය සමග වාෂ්ප පීඩනය විචලනය



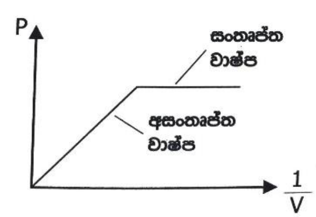
❖ ගැටළුවකදී වාෂ්පය අසංතෘප්ත නම් වායු නියම යෙදිය හැක

❖ සංතෘප්ත වාෂ්ප සඳහා වායු නියම යෙදිය නොහැක

සංතෘප්ත වාෂ්ප පීඩනය හා තාපාංකය අතර සම්බන්ධය

ද්‍රවයක යම් අවස්ථාවකදී යම් උෂ්ණත්වයකදී සං.වා.පී. ,වායුගෝල පීඩනයට සමාන වේ.එවිට වාෂ්ප අණු නිදහසේ වායුගෝලයට පිවිසේ. එම උෂ්ණත්වය ද්‍රවයේ තාපාංකයයි

❖ ද්‍රවයක තාපාංකය පීඩනය මත රඳා පවතී



ආර්ද්‍රතාමිතිය

නිරපේක්ෂ ආර්ද්‍රතාවය

යම් උෂ්ණත්වයකදී වාතයේ ඒකක පරිමාවක් තුල අඩංගු ජල වාෂ්ප ස්කන්ධය එම උෂ්ණත්වයේදී නිරපේක්ෂ ආර්ද්‍රතාවය වේ

සාපේක්ෂ ආර්ද්‍රතාවය

$$\text{සාපේක්ෂ ආර්ද්‍රතාවය} = \frac{\text{කාමරයේ ඕනෑම පරිමාවක ඇති ජලවාෂ්ප ස්කන්ධය}}{\text{කාමර උෂ්ණත්වයේදීම සංතෘප්ත අවස්ථාවේදී එම පරිමාවේම තිබිය යුතු වාෂ්ප ස්කන්ධය}}$$

$$\text{සාපේක්ෂ ආර්ද්‍රතාවය} = \frac{\text{වායුගෝලයේ ජලවාෂ්ප ඝනත්වය}}{\text{කාමර උෂ්ණත්වයේ සංතෘප්ත වාෂ්ප ඝනත්වය}} \times 100\%$$

$$\text{සාපේක්ෂ ආර්ද්‍රතාවය} = \frac{\text{කාමරයේ ජල වාෂ්පවල ආංශික පීඩනය}}{\text{කාමර උෂ්ණත්වයේ සංතෘප්ත වාෂ්ප පීඩනය}} \times 100\%$$

$R.H. = P/P_s \times 100\%$

$R.H. = m/m_s \times 100\%$

නියත උෂ්ණත්වයේදී වාෂ්ප ඝනත්වය වාෂ්ප පීඩනයට අනුලෝමව සමානුපාත වේ.

තුෂාර අංකය

වායුගෝලයේ දැනට පවතින වාෂ්ප ඝනත්වයෙන් එය යම්තම් සංතෘප්ත වන උෂ්ණත්වය **තුෂාර අංකය** වේ

- ❖ තුෂාර අංකය , කාමර උෂ්ණත්වයට වඩා අඩු විට ආර්ද්‍රවතාවය අඩුය.
- ❖ තුෂාර අංකය , කාමර උෂ්ණත්වයට සමාන නම් ආර්ද්‍රවතාවය 100 කි.
- ❖ තුෂාර අංකය , කාමර උෂ්ණත්වයට වඩා වැඩි විය හැක.

$$\text{සාපේක්ෂ ආර්ද්‍රතාවය} = \frac{\text{තුෂාර අංකයේදී සං.වා.පී.}}{\text{කාමර උෂ්ණත්වයේදී සං.වා.පී.}} \times 100\%$$

$R.H. = \frac{\rho}{\rho_s} \rightarrow = \frac{m}{m_s} \times 100\%$

$R.H. = P_D/P_s \times 100\%$