NAME – SAROJ KUMAR SAHANI

CLASS – FINAL YEAR

BRANCH – CHEMICAL ENGG.

SUBJECT – HEAT TRANSFER OPERATIONS. (HTO)

INSTITUTE – GOVT POLYTECHNIC GKP

Scanned by CamScanner

* Modes of Heat transfer *

There are three types of modes of Heat transfer.

1 → conduction
2 → convection
3 → Radiation.

* Conduction *

"Heat transfer की वह mode, जिसमे किसी body के molecule बिना migrate (place change) हुए vibration करते है, जिससे vibration के कारण इनकी amplitude बढ जाती है। इस प्रकार ~~कारण~~ molecule बिना migrate हुए V.M के momentum का transfer करते है, जिससे heat, high temp से low temp की ओर move होती है, Heat transfer की इस mode को conduction कहते है।"

* conduction की घटना normally, solid मे होती है, लेकिन थोडी मात्रा मे liq & gas मे भी होती है।
* conduction मे molecule अपना place नही छोडते है, अर्थात् molecule का migration नही होता है।
* conduction मे transfer of momentum होता है।
* conduction की process अकेले हो सकती है।
*

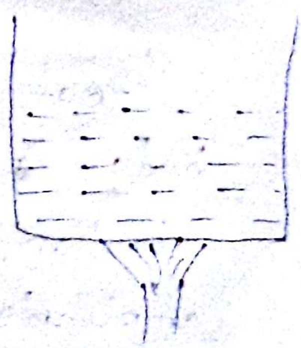
Scanned by CamScanner

* convection *

"Heat transfer की इस mode मे molecule का migration होता है। इसमे molecule energy (Hea लेकर अपना स्थान छोड़ देते है, जिसके कारण इसमे transport ~~ation~~ of momentum होता है।"

Ex - माना एक vessel मे water लेकर heat देते है। As shown in fig

सबसे पहले vessel के molecule मे conduction के कारण Heat transfer होता है तथा उसके बाद water का वह molecule जो vessel के bottom के contact मे है, ~~उस~~ वह heat होता है, जिससे उसका temp increase होता है, इस कारण उस molecule का volume increase होता है, जिससे उस molecule की density decrease हो जाती है। अतः molecule अपना स्थान छोड़कर ऊपर आ जाता है तथा उसका स्थान cold water लेता है। बार-2 यही process होती है, जिससे liq मे heat transfer होता है। Heat transfer की इस mode को convection कहते है।



यह दो प्रकार से/का होता है।

1 → Natural convection → Heat देने पर molecule का volume increase होने से उसकी density मे कमी हो जाती है। अतः volume expansion / density decrease / diff in density के कारण जो convection होती है, उसे Natural convection कहते है।

Scanned by CamScanner

2 → Forced convection → वह convection जिसमे molecule का migration (place change) करने के लिए mechanical media की आवश्यकता पड़ती है forced convection कहलाती है।

Ex – Agitator, pump. etc. (mechanical media)

* some imp note *

1 → convection की घटना liq & gas मे होती है।

2 → convection मे transport of momentum होता है।

3 → convection की घटना अकेले नही होती।

* Radiation *

Heat transfer की वह mode जिसमे material / medium की आवश्यकता नही होती; Radiation कहलाती है।

Radiation electromagnetic waves के कारण होती है। अतः इस mode मे Heat electromagnetic waves के form मे चलती है।

जब Radiation होता है, तो electromagnetic wave चलती है तथा जिस body से टकराती है वहा पर तीन action होती है।

1 → Refraction
2 → Reflection
3 → Absorption.

जो waves उस body मे Absorb हो जाती है, उसे Heat energy / Radiate energy कहते है। तथा जो waves Refract / Reflex हो जाती है, उसे Radiation ही कहते है।

Scanned by CamScanner

"Electromagnetic waves के द्वारा जब Heat transfer होता है, तो उसे Radiation कहते है।"

* some imp note *

1→ Heat transfer सबसे fast radiation मे होता है उससे कम convection मे तथा सबसे कम conduction मे होता है।

Radiation > convection > conduction

2→ Radiation की घटना solid, liq & gas तीनो मे होती है।

* Rate of transfer *

Rate of transfer is defined as two term.

(i) Driving force.

(ii) Resistance.

* Driving force जितना अधिक होगा, Rate of transfer उतना ही अधिक होगा।

$$D.F \propto \text{Rate of transfer.}$$

* Resistance जितना अधिक होगा, Rate of transfer उतना ही कम होगा। अतः

$$\text{Rate of transfer} \propto \frac{1}{\text{Resistance}}$$

Scanned by CamScanner

* Heat transfer को समझने के लिए हम दो term मान लेते है।

1 → unidirection Heat transfer.
(अर्थात् Heat transfer, unidirectional हो.)

2 → steady state.
(अर्थात् Heat transfer steady state मे हो)

* steady state *

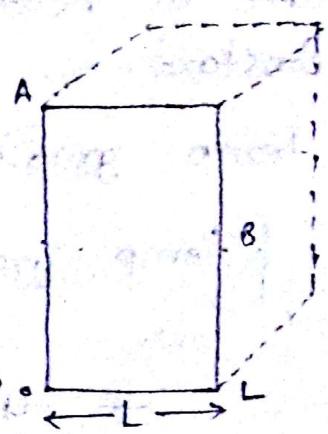


Fig मे एक body है, जो एक ही material.. की बनी है तथा Heat की conductor है। तथा body के दोनो ends के surface समान है।

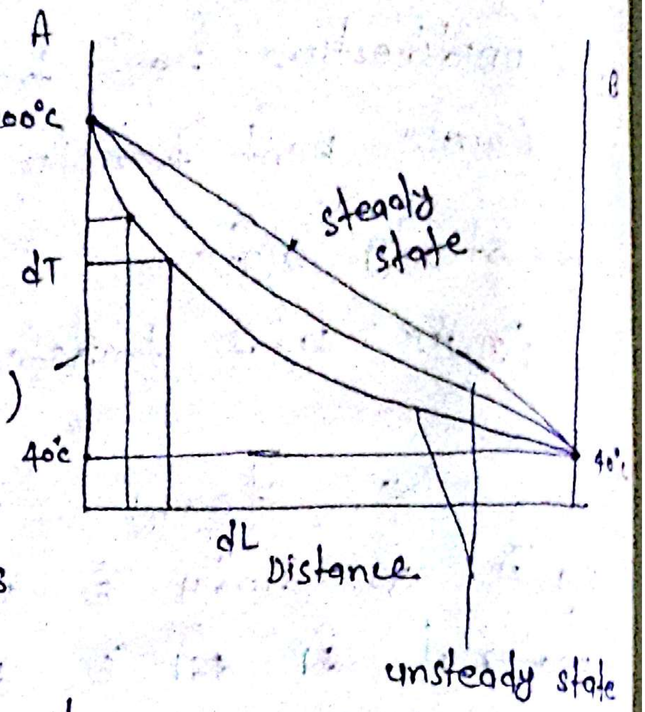
माना हम पहले body को Atm के air मे रख देते है, तो body का temp भी, air का temp के equal होता है। अब इसके surface A पर कोई 1200°c का flame डाले, तो surface के layer का temp 1200°c होगा, But उसी body का इसके आगे का layer का temp अभी वही होगा, जो air का है। तथा धीरे-2 body का temp बढ़ता है। अत: उस body के layer का temp one by one बढ़ता है। जब तक surface B के layer तक temp न पहुच जाय। अब एक ऐसी condt आती है, जब body का every layer heat लेना बन्द कर देता है।

अब उस body को जितनी heat point A पर देगे, उतनी heat point B पर मिलेगी। इस state को ही steady state कहते है।

Scanned by CamScanner

अतः [input heat = output heat.]

* At steady state *



→ location के साथ temp मे change होता है, But time के साथ एक location पर temp change नही होता है।

2→ Rate of heat transfer is constant.

3→ temp gradient is constant.

[temp gradient $= \frac{dT}{dL}$]

* unsteady state *

In unsteady state

temp is the function of location

& time is the function of temp

अर्थात् unsteady state मे locationwise & timewise दोनो प्रकार से temp change होता है।

इस state मे temp gradient भी vary करता है।

Scanned by CamScanner

*. Rate of heat transfer *

if Amount of heat transfer = Q,

& Time of heat transfer = θ

then. rate of heat transfer.

$$q = \frac{Q}{\theta}$$

Imp * Fourier's Law *

According to this law.

In any uniform body. (In which conduction takes place)

(i) The rate of heat transfer is proportional to the temp diff between two ends.

$$q \propto \Delta T \quad \text{———— (i)}$$

(ii) The rate of heat transfer is proportional to surface area which is perpendicular to heat flow. path.

$$q \propto A \quad \text{———— (ii)}$$

(iii) The rate of heat transfer is inversaly proportional to distance / Length between two ends.

$$q \propto \frac{1}{L} \quad \text{———— (iii)}$$

Scanned by CamScanner

combining eqn (I), (II) & (III)

$$q \propto \frac{\Delta T \cdot A}{L}$$

$$q = -K \frac{\Delta T \cdot A}{L}$$

where K = thermal conductivity of that matterial
It is property of that material.

Rate of Heat transfer.

$$q = -KA \cdot \frac{\Delta T}{L}$$

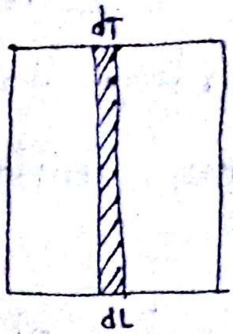


fig से thin layer के लिए

$$q = -KA \frac{dT}{dL}$$

This eqn is known as Differential form of Fourier's Law.

* Significance of ~~hea~~ negative sign (-) *

negative sign का mean यह है कि Length बढ़ने के साथ - 2 temp घटता जाता है।

$$q = -KA \frac{dT}{dL}$$

where $q = \frac{Q}{\theta}$ = Rate of Heat transfer.

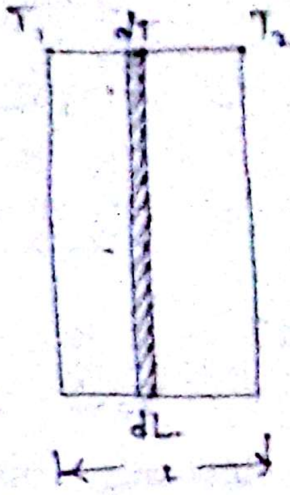
A = surface area of H.T ⊥ to the path of heat flow.

dT = temp diff in between two points which dL apparte

Scanned by CamScanner

* Rate of Heat transfer through at Flat wall, Flat slab, Flat plain. *

Let एक b rectangular plain है, जो uniform material की बनी है। इसके दोनो ends की equal surface area A है तथा इन दोनो ends के बीच की दूरी L है।



पहले end का temp T_1 तथा दूसरे end का temp T_2 है। ($T_1 > T_2$)

दोनो surface isothermal है।

माना इस body मे एक thin layer dL thickness की consider करते है, जिसमे Heat transfer dT के कारण हो रहा है। material की thermal conductivity k है।

under steady state H.T conduction

then इस layer पर Differential form of fourier's Law apply करने पर

$$q = -KA\frac{dT}{dL}$$

$$q \cdot dL = -K \cdot A \, dT$$

Integrating this eqn with limit.

$$\int_0^L q \, dL = -\int_{T_1}^{T_2} K \cdot A \, dT$$

$$q \int_0^L dL = -K \cdot A \int_{T_1}^{T_2} dT$$

Scanned by CamScanner

$$q \cdot (L-0) = -K \cdot A \, (T_2 - T_1)$$

$$q \cdot L = +K \cdot A \, (T_1 - T_2)$$

$$\boxed{q = \frac{K \cdot A \, (T_1 - T_2)}{L}}$$

NOTE → K का मान जितना अधिक होगा, Rate of Heat transfer उतना ही अधिक होगा। तथा K का मान जितना कम होगा, Rate of Heat transfer उतना ही कम होगा।

we know that :-

$$q = \frac{K \cdot A \, \Delta T}{L}$$

$$q = \frac{\Delta T}{\frac{L}{K \cdot A}} = \frac{\text{Driving force}}{\text{Resistance}}$$

~~when~~ then.

$$\boxed{\text{Resistance} = \frac{L}{K \cdot A}}$$

NOTE → L का मान बढ़ने पर Resistance बढ़ता है तथा घटने पर घटता है।

* unit of thermal conductivity *

we know that :-

$$q = \frac{K \cdot A \, \Delta T}{L}$$

$$K = \frac{q \cdot L}{A \cdot \Delta T}$$

Scanned by CamScanner

then

$$k \text{ की unit} = \frac{q \text{ की unit} \times L \text{ की unit}}{A \text{ की unit} \times \Delta T \text{ की unit}}$$

$$= \frac{watt \cdot m}{m^2 \cdot K} \quad (\text{actual})$$

$$= \frac{watt}{m \cdot K} \quad [\text{This unit is not actual}]$$

✱ Thermal conductivity ✱

we know that.

$$q = \frac{K \cdot A \cdot \Delta T}{L}$$

if $A = 1\ m^2$, $\Delta T = 1\ K$, $L = 1\ m$.

then $\boxed{q = K}$

Then.

" Thermal conductivity is defined as the amount of heat transfer per unit time through a surface having unit area perpendicular to the path of heat transfer, if two surface of that material is unit length aparte & temp diff in between both surface is unit.

NOTE →

1→ Thermal condictivity of solid $= 2.3 - 420 \left(\frac{w}{m.k}\right)$

" " " Liquid $= 0.09 - 0.7$ "

" " " Gas. $= 0.006 - 0.6$ "

Scanned by CamScanner

2→ some data of good conductor. *

(i) Thermal conductivity of silver. (Ag) = 420 $\frac{W}{m.k}$

(ii) Thermal conductivity of copper (Cu) = 395 $\frac{W}{m.k.}$

(iii) Thermal conductivity of Gold (Au) = 302 $\frac{W}{m.k}$

(iv) Thermal conductivity of Aluminium (Al)

$$= 210 \frac{W}{m.k.}$$

3→. Heat exchanger की tube mostly Cu की बनी होती है।

4→ Bad conductor or insulator के लिए thermal conductivity का मान less than 0.2 $\frac{W}{m.k}$ होता है।

* conductance *

we know that.

$$\text{Resistance} = \frac{L}{K.A}$$

∵ conductance is defined as the receprocal of Resistance

then. $$\text{conductance} = \frac{1}{\text{Resistance.}}$$

$$\therefore \boxed{\text{conductance} = \frac{K.A}{L}}$$

Scanned by CamScanner

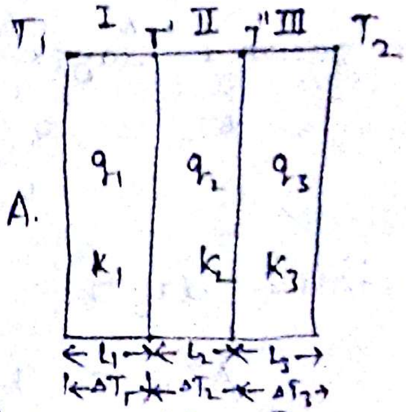
multiply by ΔT in both side.

then.

$$\text{conductance} \times \Delta T = \frac{K A \cdot \Delta T}{L}$$

$$\boxed{\text{conductance} \times \Delta T = q.}$$

* Rate of heat transfer the composite wall / combined surfaces / multilayer wall of diff material *



माना diff-2 material की बनी wall को परस्पर ऐसे सटाकर रखे कि उन wall के बीच Air gap न हो, तीनो wall की surface area, same (A) है। अब इन तीन wall से बनी wall को multilayer wall कहते है। अब तीनो wall को तीन layer मे बाट दिये। पहले layer का free surface का temp T_1 तथा III layer के free surface का temp T_2 है। माना I, II & III layer की thickness, L_1, L_2 & L_3 है। माना I, II, & III layer मे temp diff, ΔT_1, ΔT_2 & ΔT_3 है। I, II & III layer की thermal conductivity, K_1 K_2 & K_3 है। q_1, q_2 & q_3 is the rate of heat transfer through I, II & III layer respectively.

Let Heat transfer takes place. T_1 to T_2.

overall temp diff

$$\Delta T = T_1 - T_2$$

Scanned by CamScanner

$$\Delta T = \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3 \quad \text{———} \quad (1)$$

we know that.

$$q = K \cdot A \frac{\Delta T}{L}$$

$$\Delta T = \frac{qL}{KA}.$$

then, for first layer.

$$\Delta T_1 = \frac{q_1 L_1}{K_1 A} \quad \text{———} \quad (2)$$

For second layer.

$$\Delta T_2 = \frac{q_2 L_2}{K_2 A} \quad \text{———} \quad (3)$$

For third layer.

$$\Delta T_3 = \frac{q_3 L_3}{K_3 A} \quad \text{———} \quad (4)$$

put the values of ΔT_1, ΔT_2 & ΔT_3 from eqn. (2), (3) & (4) in eqn (1).

$$\Delta T = \frac{q_1 L_1}{K_1 A} + \frac{q_2 L_2}{K_2 A} + \frac{q_3 L_3}{K_3 A} \quad \text{———} \quad (5)$$

since steady state Heat transfer.

$\therefore \quad q_1 = q_2 = q_3 = q \quad (\text{let})$

then.

$$\Delta T = \frac{qL_1}{K_1 A} + \frac{qL_2}{K_2 A} + \frac{qL_3}{K_3 \cdot A}$$

$$\Delta T = q \left[\frac{L_1}{K_1 A} + \frac{L_2}{K_2 A} + \frac{L_3}{K_3 A} \right]$$

Scanned by CamScanner

$$q = \frac{\Delta T}{\left[\frac{L_1}{K_1 A} + \frac{L_2}{K_2 A} + \frac{L_3}{K_3 A}\right]}$$

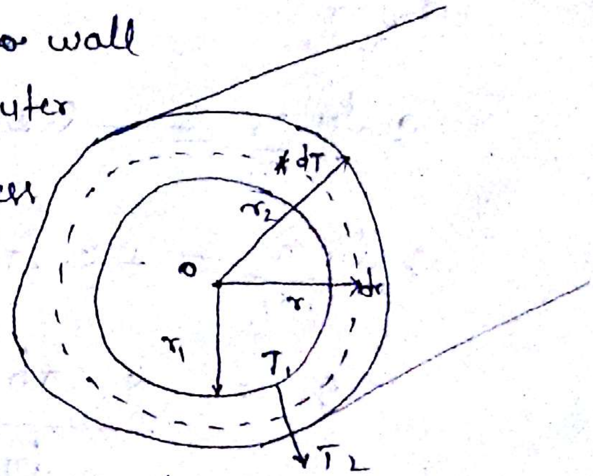
$$q = q_1 = q_2 = q_3 \quad (s.s)$$

then.

$$\frac{\Delta T\,(T_1 - T_2)}{\frac{L_1}{K_1 A} + \frac{L_2}{K_2 A} + \frac{L_3}{K_3 A}} = \frac{T_1 - T''}{\frac{L_1}{K_1 A}} = \frac{T' - T''}{\frac{L_2}{K_2 A}} = \frac{T'' - T_2}{\frac{L_3}{K_3 A}}$$

* Heat transfer through thick hallow cylinderical wall*

माना एक hallow cylindrical ~~wall~~ wall जिसकी inner radius r_1 तथा outer radius r_2 है। अतः इसकी thickness $(r_2 - r_1)$ होगी। inner surface का temp T_1 तथा outer surface का temp T_2 है।



$T_1 > T_2$ अतः heat flow की direction T_1 से T_2 की ओर होती है। wall की Length h है।

माना centre से r (radius की) दूरी पर एक thin cylindrical (layer) element की कल्पना करते है।

माना इस layer की thickness dr तथा इस layer की thickness के through temp diff dT है।

we know that

Diff form of fourier's Law

$$q = -KA\frac{dT}{dL} \quad [\text{steady state}]$$

Scanned by CamScanner

Apply diff form of fourier's Law on this thin cylindrical layer.

$$q = \frac{-k \cdot 2\pi r h \, dT}{dr}$$

$$q \cdot dr = -k \cdot 2\pi r h \, dT$$

$$\frac{q}{r} dr = -k \cdot 2\pi h \, dT$$

Integrating for both side with upper & Lower limit

$$\int \frac{q}{r} dr = \int -k \cdot 2\pi h \, dT$$

$$q \int_{r_1}^{r_2} \frac{1}{r} dr = -k \cdot 2\pi h \int_{T_1}^{T_2} dT$$

$$q \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} = -k \cdot 2\pi h \, (T_2 - T_1)$$

$$q \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} = +k \cdot 2\pi h \, (T_1 - T_2)$$

$$q = \frac{k \cdot 2\pi h \, (T_1 - T_2)}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$$

$$\boxed{q = \frac{k \cdot 2\pi h \, \Delta T}{\ln \frac{r_2}{r_1}}} \quad \text{——— (1)}$$

$$q = \frac{\Delta T}{\frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{k \cdot 2\pi h}} = \frac{D \cdot F}{\text{Resistance } (R)}.$$

$$\therefore \quad \boxed{R = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{k \cdot 2\pi h}}$$

Scanned by CamScanner

Eqn ① मे ऊपर नीचे $(r_2 - r_1)$ से गुणा करने पर

$$q = \frac{k \cdot 2\pi h \, \Delta T \, (r_2 - r_1)}{\ln \frac{r_2}{r_1} \cdot (r_2 - r_1)} = \frac{k \cdot 2\pi h \, \Delta T \cdot (r_2 - r_1)}{\ln \frac{r_2}{r_1} \cdot L}$$

माना $(r_2 - r_1) = \Delta L$.

$$q = \frac{K \cdot A \, \Delta T}{L}$$ से compare करने पर

$$A_{LM} = \frac{2\pi h \, (r_2 - r_1)}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$$

where A_{LM} = logarithmic mean area

$$\therefore \quad r_{LM} = \frac{r_2 - r_1}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$$

where r_{LM} = logarithmic mean radius.

* For multilayer hallow cylindrical wall *

we know that.

$$R = \frac{\ln r_2/r_1}{K \cdot 2\pi h} \quad \text{so} \quad R_1 = \frac{\ln r_2/r_1}{k_1 \cdot 2\pi h}, \quad R_2 = \frac{\ln r_3/r_2}{K_2 \cdot 2\pi h}$$

$$R_3 = \frac{\ln r_4/r_3}{K_3 \cdot 2\pi h}.$$

then

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R = \frac{\ln r_2/r_1}{K_1 \cdot 2\pi h} + \frac{\ln r_3/r_2}{K_2 \cdot 2\pi h} + \frac{\ln r_4/r_3}{K_3 \cdot 2\pi h}$$

then.

$$q = \frac{\Delta T}{R} = \frac{\Delta T}{\frac{\ln r_2/r_1}{K_1 \cdot 2\pi h} + \frac{\ln r_3/r_2}{K_2 \cdot 2\pi h} + \frac{\ln r_4/r_3}{K_3 \cdot 2\pi h}}$$

Scanned by CamScanner

we know that.

$$q = \frac{k \cdot 2\pi h \, \Delta T \cdot (r_2 - r_1)}{\ln \frac{r_2}{r_1} \cdot (r_2 - r_1)}$$

$$= \frac{k \cdot A_{LM} \cdot \Delta T}{r_2 - r_1}$$

$$= \frac{\Delta T}{\frac{r_2 - r_1}{k \cdot A_{LM}}} = \frac{\Delta T}{R}.$$

then.

$$R = \frac{r_2 - r_1}{k \cdot A_{LM}}.$$

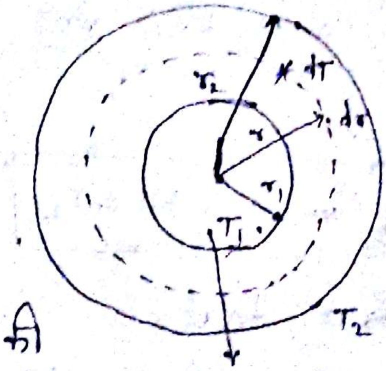
for multilayer. ÷

$$q = \frac{\Delta T}{\frac{r_2 - r_1}{k_1 A_{LM_1}} + \frac{r_3 - r_2}{k_2 \cdot A_{LM_2}} + \frac{r_4 - r_3}{k_3 \cdot A_{LM_3}}}.$$

Scanned by CamScanner

* Rate of Heat transfer through hallow sphere *

माना एक hallow sphere जिसकी inner radius r_1 तथा outer radius r_2 है। inner surface का temp T_1 & outer surface का temp T_2 है। $(T_1 > T_2)$.



Direction of heat flow

माना centre से r radius की एक thin layer की sphere consider करते है, जिसकी length मे diff dr तथा temp diff dT है।

then,

Apply Fourier's law on this thin layer. (sphere)

$$q = -\frac{K \cdot 4\pi r^2 \cdot dT}{dr}$$

$$\frac{q \cdot dr}{r^2} = -K\ 4\pi\ dT$$

Integrating both side with limit.

$$\int_{r_1}^{r_2} \frac{q}{r^2}\, dr = \int_{T_1}^{T_2} -K \cdot 4\pi\, dT$$

$$q \int_{r_1}^{r_2} \frac{1}{r^2}\, dr = -K \cdot 4\pi \int_{T_1}^{T_2} dT$$

$$q \cdot \left[\frac{r^{-2+1}}{-2+1}\right]_{r_1}^{r_2} = -K\ 4\pi\ (T_2 - T_1)$$

$$-q \left[\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1}\right] = K \cdot 4\pi\ (T_1 - T_2)$$

$$-q \left[\frac{r_1 - r_2}{r_1 r_2}\right] = K\ 4\pi\ (T_1 - T_2)$$

$$q \left[\frac{r_2 - r_1}{r_1 r_2}\right] = K \cdot 4\pi\ (T_1 - T_2)$$

$$\boxed{q = \frac{K \cdot 4\pi\ r_1 r_2\ (T_1 - T_2)}{(r_2 - r_1)}}$$

Scanned by CamScanner

$$q = \frac{K \cdot 4\pi r_1 r_2 \, \Delta T}{(r_2 - r_1)}$$

Fourier's Law :

$$q = \frac{K \cdot A \, \Delta T}{L}$$ से compare करने पर

$$\boxed{A_{gm} = 4\pi r_1 r_2}$$ where A_{gm} = Geometric mean area.

we know that

$$A = 4\pi r^2.$$

then

$$r^2 = r_1 r_2$$

$$\boxed{r_{gm} = \sqrt{r_1 r_2}}$$ where r_{gm} = Geometric mean radius.

~~For~~

$$q = \frac{\Delta T}{\frac{r_2 - r_1}{K \cdot 4\pi r_1 r_2}} = \frac{\Delta T}{R}.$$

then

$$\boxed{R = \frac{r_2 - r_1}{K \cdot 4\pi r_1 r_2}}$$

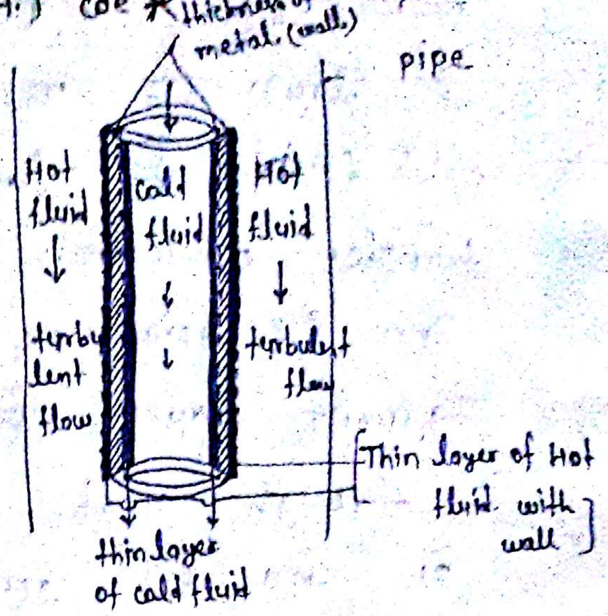
For multilayer ~~sp~~ hallow sphere :-

$$\boxed{q = \frac{\Delta T}{\frac{r_2 - r_1}{K_1 4\pi r_1 r_2} + \frac{r_3 - r_2}{K_2 \cdot 4\pi r_2 r_3} + \cdots}}$$

Scanned by CamScanner

Imp.
* Individual H.T coe and overall H.T coe *

माना एक Double heat pipe heat exchanger है, जिसके inner pipe मे cold fluid तथा outer pipe के anular space मे Hot fluid flow हो रही है। तथा दोनो turbulent flow मे है। अतः दोनो fluid का temp uniform होगा।



[Double pipe H.E]

माना हमें Hot fluid से cold fluid मे heat transfer करना है।

Hot fluid मे एक ऐसा zone होगा, जहा पर temp high होगा। वहा से temp diff (D.F) के कारण Heat covection के द्वारा Hot fluid के उस layer पर आयी होगी जो wall से सटी है। जैसा कि हम जानते है, wall से सटी layer की velocity zero होती है। अतः Hot fluid की यह layer stagnant होगी। अतः इस layer के through heat transfer covection के through नही होगा। अब इस layer के through Heat transfer, conduction के through होगा, लेकिन हम जानते है कि fluid की thermal conductivity बहुत low होती है अतः यहा पर rate of heat transfer के लिए बहुत ज्यादा Driving force की जरुरत पडती है। क्योंकि

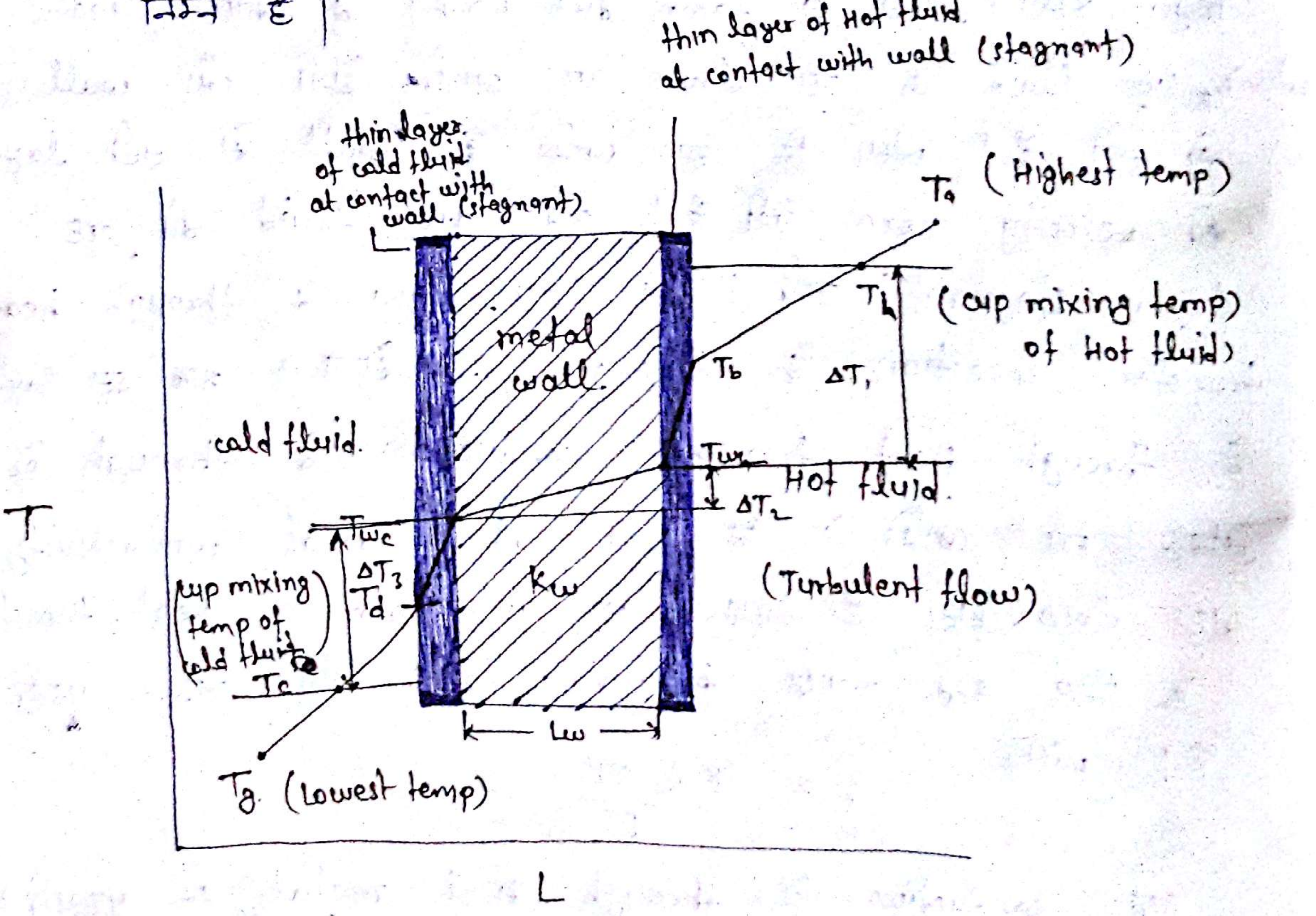
$$q = \frac{KA\,\Delta T}{L}$$

अतः conduction के through Heat metal तक पहुचती है। metall wall मे heat transfer easily हो जाता है

Scanned by CamScanner

क्योकि ~~यह~~ metal की thermal conductivity ज्यादा होती है। तथा फिर यह 'cold layer' fluid के layer तक पहुचती है। पुनः wall के contact मे cold fluid की layer stagnant है अतः यहा Heat transfer convection से नही होकर conduction से होता है। इसके बाद जैसे ही heat cold fluid की stagnant layer को cross करती है। फिर convection के through Heat का transfer पूरे cold fluid मे हो जाता है। इस तरह से Hot fluid से cold fluid मे Heat का transfer होता है।

इस mechanism को graphical समझने के लिए Temp & Length के बीच graph खींचते है, जो निम्न है।



हम इस graph का अध्ययन करने पर यह देख रहे कि Hot fluid का temp point to point varry कर रहा है। ठीक इसी प्रकार cold fluid का temp point to point varry करता है।
अतः हम temp diff कहां से कहां ले। यह भी एक समस्या होती है। अतः हम Hot fluid के सभी temp का average value लेते है, जिसे cup mixing temp कहते है। माना यह T_h है। ठीक इसी प्रकार cold fluid का cup mix temp T_c है।
अतः ~~ovell~~ overall Driving force

$$\Delta T = T_h - T_c$$
$$= \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3$$
$$= (T_h - T_{wh}) + (T_{wh} - T_{wc}) + (T_{wc} - T_c) \quad \text{——— (1)}$$

अगर stagnant layer की हम thickness की बात करे, तो यह turbulent flow (Rynold no), बढने पर बढती है अतः इसे कोई Fix thickness नही मिलती है।
अतः इस layer के through H.T निकालने के लिए एक term आया, जिसे Heat flux कहते है।

Heat flux is defined as the rate of heat transfer per unit area.

$$\boxed{\text{Heat flux} = \frac{q}{A}}$$

Experimentally.

$$\text{Heat flux} \propto \Delta T$$
$$\frac{q}{A} \propto \Delta T$$

Scanned by CamScanner

$$\frac{q}{A} = h \cdot \Delta T$$

$$\boxed{q = h \cdot A \cdot \Delta T}$$

where h = individual heat transfer coefficient / Heat transfer film coefficient / Heat transfer surface coefficient.

Let.

q_o = rate of H.E through stagnant layer of Hot fluid.

h_o = individual heat transfer coe for outer film.

A_o = surface area of ~~outer film~~ H.T based on the outside diameter.

$\therefore$ $q_o = h_o A_o \cdot (T_h - T_{wh})$

$$\therefore \quad T_h - T_{wh} = \frac{q_o}{h_o A_o} \quad \text{———} \quad (2)$$

As the same way :-

$q_i = h_i A_i \, (T_{wc} - T_c)$

$$\therefore \quad T_{wc} - T_c = \frac{q_i}{h_i A_i} \quad \text{———} \quad (3)$$

For the metallic layer. (wall)

$$q_w = \frac{k_w \, 2\pi h \, (T_{wh} - T_{wc}) \, (r_2 - r_1)}{\ln r_2/r_1 \cdot (r_2 - r_1)}$$

$$q_w = \frac{k_w \, A_{LM} \cdot (T_{wh} - T_{wc})}{L_w}$$

$$\therefore \quad T_{wh} - T_{wc} = \frac{q_w L_w}{k_w A_{LM}} \quad \text{———} \quad (4)$$

Scanned by CamScanner

putt the value of ①, ②, ③ & ④ in eqn ①.
therefore.

$$\Delta T = \frac{q_o}{h_o A_o} + \frac{q_w \cdot L_w}{K_w \cdot A_{LM}} + \frac{q_i}{h_i A_i}$$

At steady state heat transfer.

$$q_o = q_i = q_w = q \text{ (say)}$$

$$\therefore \quad \Delta T = q \left[\frac{1}{h_o A_o} + \frac{L_w}{K_w A_{LM}} + \frac{1}{h_i A_i} \right]$$

$$\boxed{q = \frac{\Delta T}{\frac{1}{h_o A_o} + \frac{L_w}{K_w A_{LM}} + \frac{1}{h_i A_i}}} = \frac{D.F}{\text{Resistance } (R)}$$

$$R_o = \frac{1}{h_o A_o}, \quad R_i = \frac{1}{h_i A_i}, \quad R_w = \frac{L_w}{K_w \cdot A_{LM}}$$

$$\therefore \quad \boxed{R = R_o + R_w + R_i}$$

A_o से ऊपर नीचे multiply करने पर

$$q = \frac{A_o \, \Delta T}{\left(\frac{1}{h_o A_o} + \frac{L_w}{K_w A_{LM}} + \frac{1}{h_i A_i} \right) A_o}$$

$$q = \frac{A_o \cdot \Delta T}{\left(\frac{1}{h_o} + \frac{L_w A_o}{K_w A_{LM}} + \frac{A_o}{h_i A_i} \right)}$$

$q = h \cdot A \, \Delta T$ से compare करने पर

$$\boxed{U_o = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + \frac{L_w A_o}{K_w A_{LM}} + \frac{A_o}{h_i A_i}}}$$

where U_o = overall H.T coe based on outer surface area

यहा पर H.T coe को U से denote करते हैं, क्योंकि यह overall

Scanned by CamScanner

H.T coe होता है।

∴ Thus

ऊपर नीचे Ai से multiply करने पर

$$q = \frac{A_i \Delta T}{\left(\frac{1}{h_o A_o} + \frac{l_w}{k_w A_{LM}} + \frac{1}{h_i A_i}\right) A_i}$$

$$\boxed{q = \frac{A_i \Delta T}{\frac{A_i}{h_o A_o} + \frac{l_w A_i}{k_w A_{LM}} + \frac{1}{h_i}}}$$

पुनः $q = h \cdot A \, \Delta T$ से compare करने पर

$$\boxed{U_i = \frac{1}{\frac{A_i}{h_o A_o} + \frac{l_w A_i}{k_w A_{LM}} + \frac{1}{h_i}}}$$

where U_i = overall H.T coe based on inner surface area

Generally we get overall ~~ke~~ rate of heat transfer

$$\boxed{q = U \cdot A \, \Delta T}$$

where U = overall H.T coe

* overall heat transfer coefficient *

we know that

$$q = U \cdot A \, \Delta T$$

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

$\Delta T = 1°C$, $A = 1\ m^2$, then $\boxed{U = q}$

Scanned by CamScanner

" overall heat transfer coefficient is defined as the rate of heat transfer per unit area when overall temp diff is unit, b/w Hot fluid & cold fluid.

unit → unit of U = $\frac{\text{unit of } q}{\text{unit of } A \times \text{unit of } \Delta T}$

$$\boxed{\text{unit of } U = \frac{\text{watt}}{m^2 \cdot K}}$$

* calculation of individual heat transfer coefficient (h) *

h का मान निकालने के लिए हमें fluid की properties को जानना होगा,

क्योंकि h का मान D, u, ρ, μ, Cp, β (coe of thermal expansion), ΔT, g, L, K, सभी पर depend करता है। इसमें भी अगर ΔT में variation होने पर ρ, μ, Cp, β, K में भी variation आता है।

अतः इन सभी को एक साथ collect करके h का correct मान निकालना impossible है।

अतः जब हमारे पास कोई मार्ग नहीं बचता है, तो हमें Dimentional analysis का सहारा (help) लेना पड़ता है।

इस analysis मे हम कुछ Dimensionless number का help लेते हैं, जो, निम्न है।

1→ Reynald no. , $N_{Re} = \frac{DU\rho}{\mu}$

2→ Nussult no , $N_{Nu} = \frac{hD}{K}$

3→ Parandd no, $N_{Pr} = \frac{C_p \cdot \mu}{K}$

4→ Grashof no. $N_{Gr} = \frac{g D^3 \beta \Delta T \rho^2}{\mu^2}$

5→ Dimention ratio , $D_r = \frac{L}{D}$

6→ peclet no. $N_{Pe} = \frac{C_p D U \rho}{K}$

इन सभी no. मे Nussult no मे h का मान है, अतः शेष no को कैसे calculate करे कि वह nussalt no के equal हो,

अतः suppose.

$$N_{Nu} = K \cdot (N_{Re})^a (N_{Pr})^b (N_{Gr})^c (D_R)^d \quad \text{———} \quad (1)$$

अगर इस eqn की बात करे, तो N_{Re} भी तीन तरह mainly two type होते है | 1→ laminar, 2→ turbulent

अतः केवल N_{Re} से h का मान दो प्रकार का आ रहा है |

Scanned by CamScanner

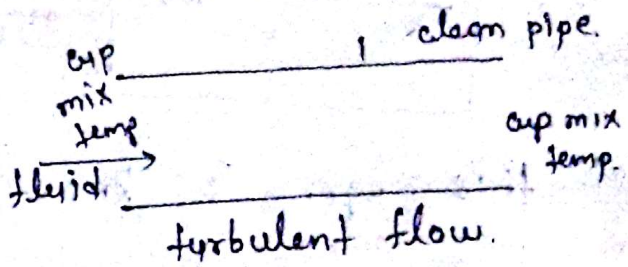
Imp * Dittus - Boelter eqn *

Dittus - Boelter ने high turbulent flow के लिए एक eqn दिया।

इन्होंने एक clean pipe मे fluid को tube side से enter कराया तथा flow, high turbulent flow ($N_{Re} = 10000 - 500000$) थी।

यह eqn निम्न है।

$$\frac{hD}{k} = .023 \left(\frac{DV\rho}{\mu}\right)^{.8} \left(\frac{C_p \mu}{k}\right)^{.3 - .4}$$



heating purpose के लिए = 0.4
cooling purpose के लिए = 0.3

$N_{Pr} = 0.7 - 95 - 160.$

This eqn is known as Dittus boelter eqn.

* इस eqn मे हम देखते है कि N_{Re} & N_{Pr} है, But $\frac{L}{D}$, & N_{Gr} नही है। $\frac{L}{D}$ का value very less होता है तथा turbulent flow होने के कारण यह forced convection होता है जबकि N_{Gr} natural convection पर depend करता है अत: इस eqn मे N_{Gr} नही है।

* यह eqn उपरोक्त condition तक ही aplicable है।

* Dittus boelter eqn मे individual H.T coe. h_i तथा Dia D_i होती है।

Scanned by CamScanner

* sider - tate eqn *

यह eqn Dittus - Boelter eqn पर ही आधारित है। लेकिन इसमे $N_{Re} = 2100 - 10000$ तक लिया गया। यह भी medium turbulent flow के लिए ही है। $N_{Pr} = 0.7 - 700$

1→ $$\frac{hD}{K} = .023\left[\left(\frac{DU\rho}{\mu}\right)^{.8}\left(\frac{C_p\mu}{K}\right)^{.33}\left(\frac{\mu_B}{\mu_s}\right)^{.14}\right]$$

this eqn is known as sider - tate eqn.

2. $\left(\frac{\mu_B}{\mu_s}\right)^{.14}$ is known as sider tate corrector factor.

where μ_B = viscosity at Bulk inlet temp.
μ_s = viscosity at tube surface temp

÷ For laminar flow. ÷

2→ $N_{Re} = 2100$ से कम

$$\frac{hD}{k} = 1.86\left[N_{Re} \cdot N_{Pr} \frac{D}{L}\right]^{1/3}\left(\frac{\mu_B}{\mu_s}\right)^{.11 - .14}$$

यह भी eqn sider tate ने दिया था।

Scanned by CamScanner

3→
* For case of malten metal *

अगर pipe मे कोई malten metal flow हो रही हो, तो इसके लिए h का value निकालने के लिए निम्न eqn है।

$$\frac{hD}{K} = 7 + 0.025\,(N_{Pe})^{.8}$$

where $N_{Pe} = N_{Re} \times N_{Pr}$.

यह eqn भी sider tate ने दिया था।

* calburn eqn *

we know that sider tate eqn (for medium turbulent flow)

$$N_{Nu} = .023\,(N_{Re})^{.8}\,(N_{Pr})^{1/3}\left(\frac{\mu}{\mu_s}\right)^{.14} \quad \text{——— ①}$$

calburn ने medium turbulent flow को ही लेकर एक dimension less number दिया, जिसे stanton no. कहा गया।

stanton no.

$$N_{St} = \frac{N_{Nu}}{N_{Re} \times N_{Pr}}$$

$$N_{Nu} = N_{St} \times N_{Re} \times N_{Pr} \quad \text{——— ②}$$

Scanned by CamScanner

from eqn ① & ②

$$N_{st} \times N_{Re} \times N_{Pr} = .023 \, (N_{Re})^{.8} \, (N_{Pr})^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_s}\right)^{.14}$$

$$N_{st} \times N_{Pr} = 0.023 \, \frac{(N_{Re})^{.8}}{N_{Re}} \, (N_{Pr})^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_s}\right)^{.14}$$

$$N_{st} \times \frac{N_{Pr}}{(N_{Pr})^{1/3}} = .023 \, (N_{Re})^{-0.2} \left(\frac{\mu}{\mu_s}\right)^{.14}$$

$$N_{st} \cdot (N_{Pr})^{1-1/3} \left(\frac{\mu_s}{\mu}\right)^{.14} = .023 \, (N_{Re})^{-0.2}$$

$$N_{st} \, (N_{Pr})^{2/3} \left(\frac{\mu_s}{\mu}\right)^{.14} = .023 \, (N_{Re})^{-0.2}$$

$$N_{st} \, (N_{Pr})^{0.67} \left(\frac{\mu_s}{\mu}\right)^{.14} = .023 \, (N_{Re})^{-0.2}$$

$$\boxed{N_{st} \left(\frac{c_p \mu}{k}\right)^{0.67} \left(\frac{\mu_s}{\mu}\right)^{.14} = .023 \left(\frac{D u \rho}{\mu}\right)^{-0.2}}$$

This eqn is known as colburn eqn.

we know that -

$$N_{st} = \frac{N_{Nu}}{N_{Re} \times N_{Pr}}$$

$$= \frac{hD}{k} \times \frac{\mu}{D u \rho} \times \frac{k}{c_p \mu}$$

$$\boxed{N_{st} = \frac{h}{c_p \cdot u \rho}}$$

$$\boxed{N_{st} = \frac{h}{c_p \cdot G}}$$

where

G = mass velocity.

Scanned by CamScanner

* Graetz No *

Graetz no is defined as the ratio of the product of mass flow rate of fluid & specific heat at constant pressure of fluid to the product of thermal conductivity & Length of pipe in which fluid is flowing.

It is denoted by. N_{Gz}

In mathematically

$$N_{Gz} = \frac{\dot{m}\, c_p}{K \cdot L}$$

we know that.

$$\dot{m} = A u \rho$$

$$\dot{m} = \frac{\pi}{4} D^2 u \rho.$$

then

$$N_{Gz} = \frac{\frac{\pi}{4} D^2 u \rho \cdot c_p}{K \cdot L}$$

$$N_{Gz} = \frac{\frac{\pi}{4} D \cdot D u \rho \cdot c_p \mu}{K \cdot L \mu}$$

$$N_{Gz} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{D u \rho}{\mu} \cdot \frac{c_p \mu}{K} \cdot \frac{D}{L}$$

$$N_{Gz} = \frac{\pi}{4} N_{Re} \cdot N_{Pr} \cdot \frac{D}{L}$$

$$N_{Re} \cdot N_{Pr} \cdot \frac{D}{L} = \frac{4}{\pi} N_{Gz} \quad \text{———} \quad (1)$$

we know that sider tate eqn (for laminar flow)

$$\frac{hD}{k} = 1.86 \left[N_{Re} \cdot N_{Pr} \cdot \frac{D}{L} \right]^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{.14} \quad \text{———} \quad (2)$$

Scanned by CamScanner

put the value of $N_{Re} \cdot N_{Pr} \cdot \frac{D}{L}$ from eqn ①.
in eqn ②.
then we get.

$$\frac{hD}{K} = 1.86 \left[\frac{4}{\pi} N_{Gz}\right]^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_s}\right)^{.14}$$

$$\frac{hD}{K} = 1.86 \left[\frac{4 \times 7}{22} N_{Gz}\right]^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_s}\right)^{.14}$$

$$\boxed{\frac{hD}{K} = ~~1.86~~ \; 2.0 \left[N_{Gz}\right]^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_s}\right)^{.14}}$$

* calculate the overall H.T coe *

we know that.

$$U_o = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + \frac{L_w A_o}{K_w A_{LM}} + \frac{A_o}{h_i A_i}}$$

$$\frac{1}{U_o} = \frac{1}{h_o} + \frac{L_w A_o}{K_w A_{LM}} + \frac{A_o}{h_i A_i}$$

we have

$$A_o = \pi D_o L$$

$$A_i = \pi D_i L$$

$$A_{LM} = \pi D_{LM} L$$

$$\therefore \frac{A_o}{A_i} = \frac{\pi D_o L}{\pi D_i L} = \frac{D_o}{D_i}$$

$$\frac{A_o}{A_{LM}} = \frac{\pi D_o L}{\pi D_{LM} L} = \frac{D_o}{D_{LM}}$$

$$\therefore \frac{1}{U_o} = \frac{1}{h_o} + \frac{L_w D_o}{K_w D_{LM}} + \frac{D_o}{h_i D_i}$$

Scanned by CamScanner

similary.

$$\frac{1}{U_i} = \frac{1}{h_i} + \frac{L_w D_i}{K_w D_{LM}} + \frac{D_i}{h_o D_o}$$

For thin walled tube the inside & outside radii are not much different from each other. The overall heat transfer coe U_o & U_i may be replaced by simply U. ($D_i = D_o = D_{LM}$)

then.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{L_w}{K_w} + \frac{1}{h_o}$$

when the metal wall resistance is very small in comperison with the resistance of fluid film. ($L_w = 0$)

then

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + 0 + \frac{1}{h_o}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{h_o + h_i}{h_i h_o}$$

$$U = \frac{h_i h_o}{h_o + h_i}$$

We know that

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_o A_o} + \frac{L_w}{K_w A_{LM}} + \frac{1}{h_i A_i}$$

$$\frac{1}{U} = R$$

अतः U का मान increase होगा तो R का मान decrease होगा ।

Scanned by CamScanner

Imp.
* Fouling factor *

जब हम किसी Heat exchanger के through Heat transfer कराते हैं, तो Hot fluid से cold fluid तक Heat का transfer होने के लिए three resistance को cross करना पड़ता है। अतः इसके लिए U का मान निम्न होता है।

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_o A_o} + \frac{L_w}{K_w A_{LM}} + \frac{1}{h_i A_i}}$$

$$\boxed{\frac{1}{U} = \frac{1}{h_o A_o} + \frac{L_w}{K_w A_{LM}} + \frac{1}{h_i A_i}} \quad \text{——— ①}$$

$\frac{1}{h_o A_o}$ = Resistance offered by outside stagnant fluid.

$\frac{1}{h_i A_i}$ = Resistance offered by inside stagnant fluid.

$\frac{L_w}{K_w A_{LM}}$ = Resistance offered by metal wall.

But अगर flow होने वाले hot fluid और cold fluid में dirt / impurity हो, तो ~~pipe~~ tube के Inner side तथा outer side पर इस impurity का scale formation / Deposition हो जाता है। जिससे इस impurity की एक layer बन जाती है, जिससे heat transfer कम होता है। अतः pipe / tube के inner व outer surface पर impurity का Deposition को ही fouling कहते हैं।

अब heat transfer के लिए 5 resistance हो जाते हैं। पहले के तीन resistance और दो निम्न हैं।

Scanned by CamScanner

R_i = Resistance due to deposition of inner surface.
R_o = " " " " " outer "

इन दोनो को Add करके total Resistance निकाल लेते है।
deposition

$$R_d = R_i + R_o$$

R_d is known as fouling factor.

then eqn becomes.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_o A_o} + \frac{L_w}{K_w A_{LM}} + \frac{1}{h_i A_i} + (R_{di} + R_o)$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_o A_o} + \frac{L_w}{K_w A_{LM}} + \frac{1}{h_i A_i} + R_d$$

* overall Heat transfer coe *

There are two types of overall heat transfer coe.

1→ clean overall H.T coe.

2→ Dirty overall H.T coe.
(Design overall H.T coe)

* किसी भी heat exchanger को Design करते समय Dirty / Design overall H.T coe को ही calculate करते है।

Scanned by CamScanner

Unit → 5 [Heat exchanger]

* Flow arragement *

There are three types of flow arragement in Heat exchanger.

1 → co current / parallel current flow

2 → counter current flow

3 → cross flow.

* Imp Log mean temp diff * (LMTD)

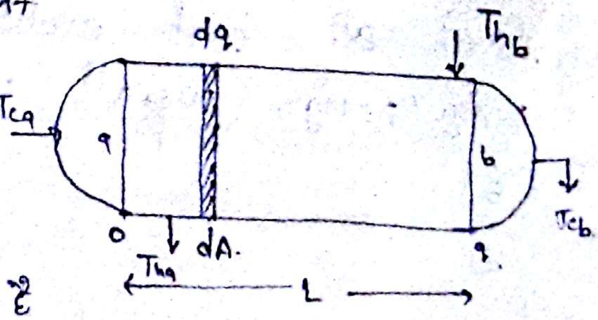
we know that H.E मे overall heat transfer का eqn.

$$q = U A \Delta T$$

अत: यहा पर हमारी सबसे बडी समस्या यह होती है कि ΔT कहा का ले, क्योकि ΔT का मान H.E के अन्दर point - 2 पर varry करता है।

अत: हम ΔT के स्थान पर ΔT_{LM} का use करते है।

माना कोई H.E है, जिसमे heat flow counter current मे हो रहा है। इस H.E के अन्दर एक thin film की कल्पना करते है, जिसकी Heat flow की area, dA है तथा इसके through rate of heat transfer dq है। तथा इस film के दोनो side के temp मे diff ΔT है।



we know that.

Heat flux $\propto$ D.F.

अतः thin film के लिए

$$\frac{dq}{dA} \propto \Delta T$$

$$\frac{dq}{dA} = U \Delta T$$

$$dq = U \cdot dA \, \Delta T \quad \text{———} \quad (1)$$

अब H.E मे flow हो रही fluid के लिए कुछ Assumption लेते है।

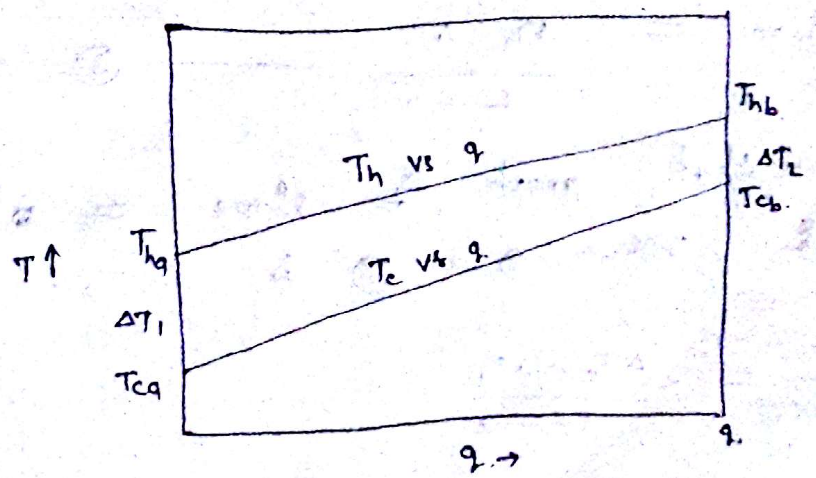
1→ U is constant throughout.

2→ specific heat of fluids is constant.

3→ There is no heat loss to the ambient & no heat gain from the ambient.

4→ steady state heat transfer.

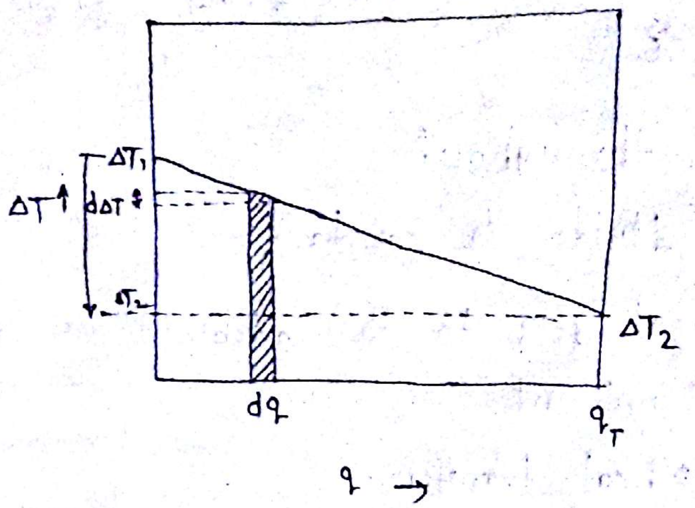
अगर flow counter current की हो रही है, तो T & q के बीच graph निम्न प्राप्त होता है।



Scanned by CamScanner

इस graph मे hot fluid & cold fluid दोनो का graph straight line प्राप्त होती है, क्योंकि दोनो fluid के specific heat constant है। तथा system (HE) से न heat loss हो रही है और न ही system मे add हो रही है।

अब अगर हम hot & cold fluid के बीच temp diff और q मे graph खींचते है, तो निम्न आता।



अब thin film को इस graph पर दिखाते है।
graph से –

$$\text{slope} = \frac{d\Delta T}{dq} \quad (\text{thin layer का}) \text{ —— } ②$$

$$\text{slope} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{q_T - 0} \text{ —— } ③$$

∵ we know that graph के slope equal होते है। अतः ② & ③ से

$$\frac{d\Delta T}{dq} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{q_T - 0}$$

put the value of dq from eqn ①

Scanned by CamScanner

$$\frac{d\Delta T}{U \cdot dA \cdot \Delta T} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{q_T}$$

$$\frac{d\Delta T}{\Delta T} = \frac{U \cdot dA\, (\Delta T_2 - \Delta T_1)}{q_T}$$

Integrating with limit

$$\int_{\Delta T_1}^{\Delta T_2} \frac{d\Delta T}{\Delta T} = \int_0^{A_T} \frac{U \cdot (\Delta T_2 - \Delta T_1)\, dA}{q_T}$$

$$\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} = \frac{U \cdot (\Delta T_2 - \Delta T_1)}{q_T} (A_T - 0)$$

$$\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} = \frac{(\Delta T_2 - \Delta T_1)\; U \cdot A_T}{q_T}$$

$$q_T = U \cdot A_T \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}}$$

$$q_T = U \cdot A\; \Delta T_{LM}$$

where

$$\boxed{\Delta T_{LM} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}}}$$

is known as Logrithmic mean temp diff.

* Most imp note *

1→ we know that

$$q = U_i A_i \Delta T_{LM} = U_o A_o \Delta T_{LM} = U \cdot A\, \Delta T_{LM}.$$

overall heat transfer. coe U_o & U_i मे से कौन ले कर calculation करे इसके लिए निम्न condt है।

we know that.

Hot fluid का heat, cold fluid मे जाता है, तो उसे तीन resistance पार करना होता है।

first resistance (Resistance offered by stagnant film of Hot fluid)

$$R_o = \frac{1}{h_o A_o}$$

second resistance (metal wall)

$$R_w = \frac{L_w}{k_w \cdot A_{LM}}$$

third resistance = (Resistance offered by stagnant film of cold fluid.)

$$R_i = \frac{1}{h_i A_i}$$

metal का Resistance कम होता है, क्योकि इसकी thermal conductivity ज्यादा होती है।

अतः R_o & R_i मे जिसका मान ज्यादा हो अर्थात् जिसका resistance अधिक हो, उसी side की area के base पर overall heat transfer coefficient निकालते है।

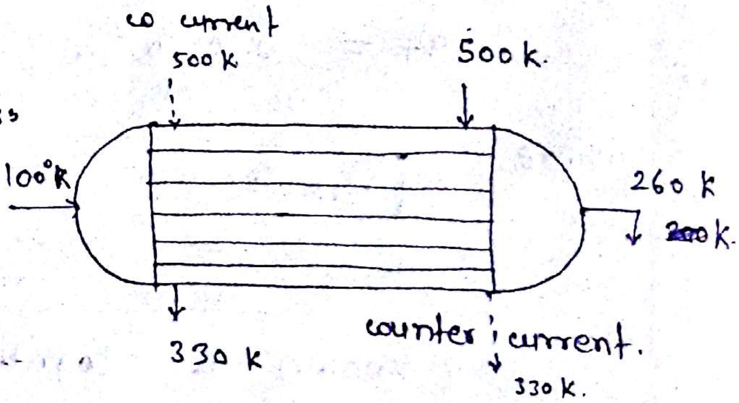
2→ For counter current. *

$$\Delta T_{LM} = \frac{\cancel{320}-\cancel{100}}{\ln \frac{\cancel{330}}{\cancel{100}}} = \frac{23\cancel{0}}{1.19} \quad \frac{10}{0.035}$$

$\Delta T_1 = 230$ k

$\Delta T_2 = 240.$

$= \cancel{121.05}$ k.
256.41



For co current.

$\Delta T_1 = 400$ k. $\Delta T_2 = 70$ k.

$$\Delta T_{LM} = \frac{70-400}{\ln \frac{70}{400}} = \frac{-330}{-1.74} = 189.65 \text{ k.}$$

Eqn :-

$$q = U \cdot A \, \Delta T_{LM}$$

$$q \propto \Delta T_{LM}$$

अतः जिस flow arragement मे Δ LMTD का मान ज्यादा होगा, उसमे उतनी ही rate of H.T अधिक होगी। अतः parallel current की अपेक्षा counter current मे rate of heat transfer ज्यादा होती है

parallel current मे LMTD का मान कम है। अतः इसमे rate of heat transfer उतनी ही पाने के लिए (जितनी counter current flow मे हो रही थी) ~~ज्यादा~~ surface area को बढाना होगा। क्योंकि

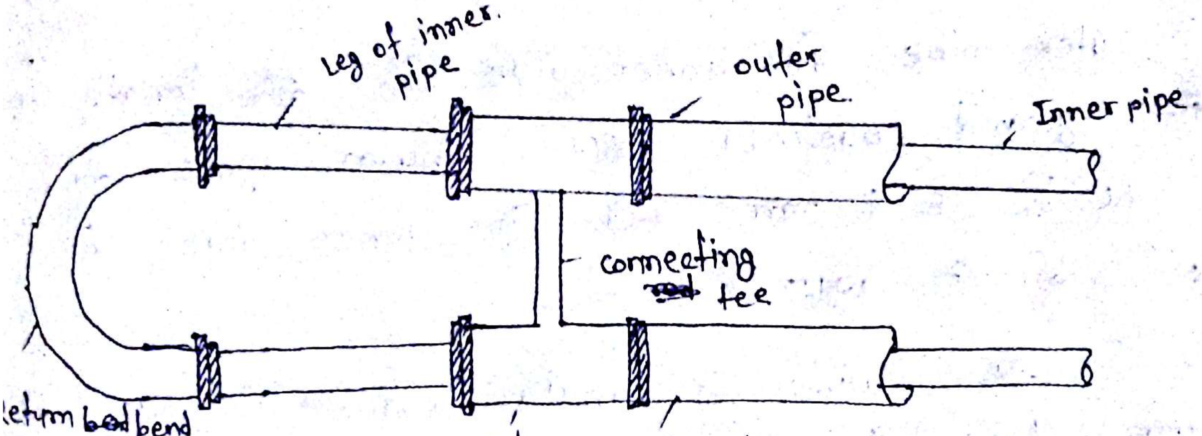
$$\boxed{q = U \cdot A \cdot \Delta T_{LM}}$$

$$q \propto A \cdot \Delta T_{LM}.$$

अगर ΔT_{LM} कम है, तो A बढाना होगा तभी q constant होगा।

अतः surface बढाने के लिए Heat exchanger की length भी बढानी होगी।

Imp * Double pipe heat exchanger *



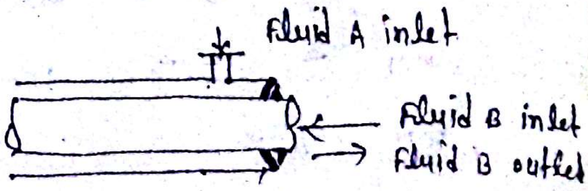
[This is one single Hair pin.]

* surface area = 100 - 150 ft² ($9.29 - 14\ m^2$) (maximum)

* pipe size normally .

Dia of inner pipe = $1\frac{1}{4}$" (inch)

Dia of outer pipe = $2\frac{1}{2}$" (inch)



packing gland or stuffing box support the inner pipe within the outer pipe.

* construction & working *

इसमे दो concentric pipe होती है। inner pipe की Dia $1\frac{1}{4}$" तथा outer pipe की dia $2\frac{1}{2}$" होती है। inner pipe की दो leg को Return bend की help से जोड़ देते है। outer pipe, inner pipe की पूरी length पर नही लगी होती है उसके कुछ ही length पर लगी होती है। inner pipe के दोनो length पर लगे outer pipe को connecting tee से जोड़ देते है, जिससे hot & cold मे से कोई एक fluid inner pipe मे तथा दूसरी fluid anular space मे flow होती है।

outer pipe को inner pipe के कुछ length पर लगाकर gland packing करके anular space को Jam कर देते है। Jam करने से inner pipe को support भी हो जाता है।

एक fluid को anular space मे तथा दूसरी fluid को inner pipe मे देते है तथा outer pipe के outer surface पर insulation कर देते है ताकि heat loss न हो। अब दोनो fluid के flow होने के कारण दोनो fluid thermal contact मे आती है, तथा Heat का transfer Hot fluid से cold fluid मे होता है।

* इसका use वहा करते है जहा surface area कम हो, तो कम rate of heat transfer करना है।

* Advantage *

1→ construction is simple , 4→ easily to clean
2→ Low mantenance cost.
3→ cheap

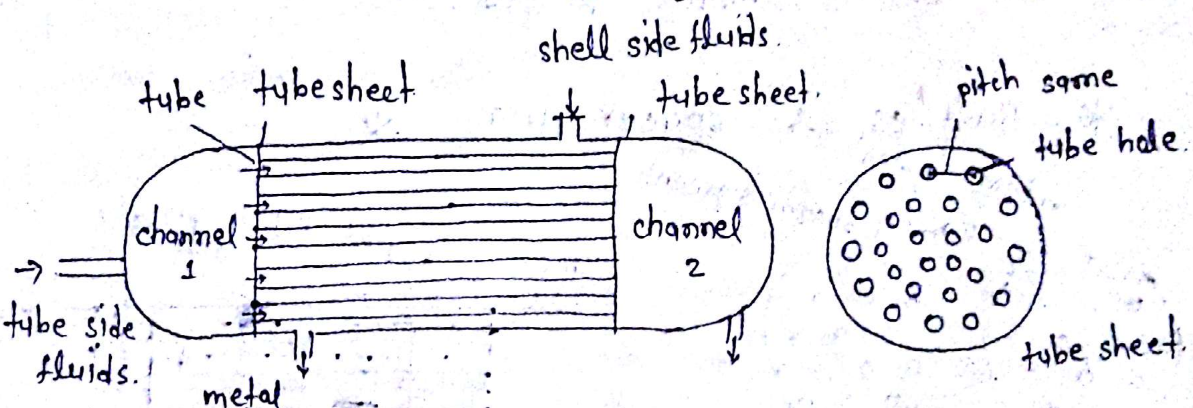
* Disadvantage *

1→ small heat transfer takes place.
2→ Dismantling requires large time.
3→ maximum leakage point.

* uses *

1→ Refregeration service
2→ cold store.

Imp * shell & tube type heat exchanger *
(tubular exchanger)



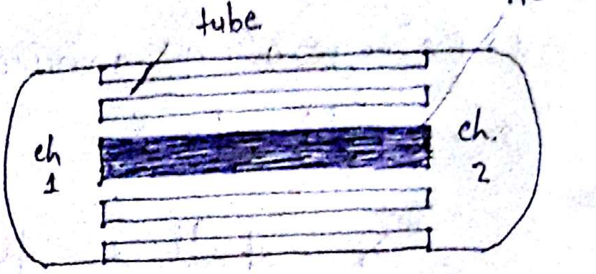
इसमे metal की दो tube sheet होती है | जिनमे tube के लिए hole बने होते है | दो hole के centre के बीच की दूरी (pitch), same होती है | दोनो sheet को tube से connect कर देते है | अब जो structure बनता है, उसे tube bundle कहते है | tube bundle मे लगे tube sheet की outer dia के equal, inner dia की एक pipe लेकर tube bundle के ऊपर लगा देते है तथा tube sheet के दोनो ओर

एक hemispherical wall लगा देते है। जिससे tube के दोनो ओर channel बन जाते है। इसी wall मे एक inlet line तथा दूसरी तरफ outlet line निकाल देते है। pipe पर भी fig के acc. inlet & outlet line बना देते है। यह shell side होता है।

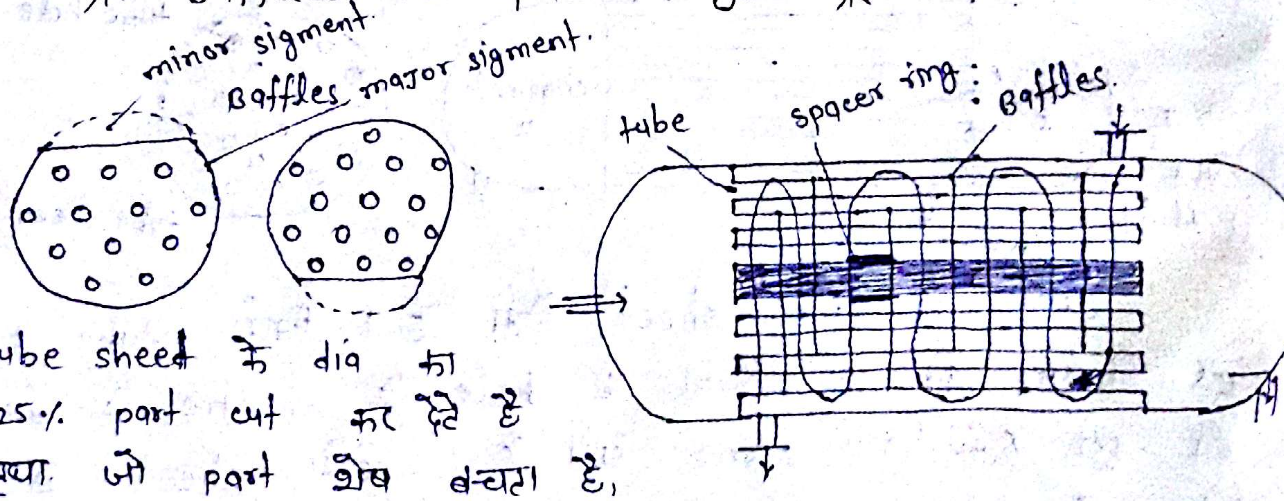
इस type के heat exchanger मे tie rod, Baffles & spacer ring भी लगे होते है।

Tie rod →

tube sheet को fix करने के लिए tie rod लगाये जाते है। यह tube की अपेक्षा मोटे होते है। इन्हे भी tube की तरह ही tube sheet मे बने hole मे लगाकर joint कर देते है।



* Baffles & spacer ring. *



tube sheet के dia का 25% part cut कर देते है तथा जो part शेष बचता है, उसे baffle के रूप मे use करते है।

अगर heat exchanger मे baffel न हो, तो shell side की fluid direct bottom मे गिरकर straight जाते हुए bottom से निकल जायेगी तथा major part of tube के surface को heat नही देगी। अर्थात heat transfer नही होगा। इसलिए हम Baffle का use करते है।

Scanned by CamScanner

ताकि सभी tube के surface के through heat transfer हो सके। (49)

* Advantage *

1→ जब tube, Baffle से होकर गुजरते हैं, जिसके कारण HP की fluids को tube आसानी से सहन कर लेते हैं तथा damage नहीं होते क्योंकि Baffles tube को support किये होते हैं।

2→ Baffles के कारण fluids बार-2 मुड़ती है, जिसके कारण इसमे turbulent flow होती है। turbulent flow होने के कारण fluids की stagnant layer बहुत पतली होती है अर्थात् resistance कम होता है, जिससे rate of heat transfer ज्यादा होता है।

or.

turbulent flow के कारण N_{Re} का मान बढ़ता है। जिससे h का मान बढ़ता है, फलस्वरूप rate of heat transfer बढ़ जाता है।

$h \propto N_{Re}$ {from Dittus boelter or sider tate eqn}

* Spacer ring *

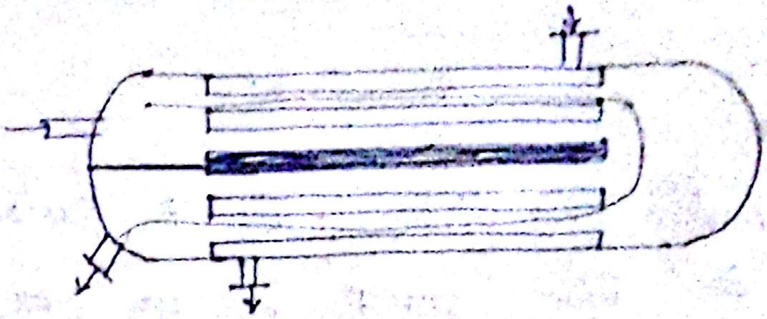
दोनों Baffle को tie rod से spacer ring से connect कर देते हैं, ताकि Baffle भी Fix हो जाय।

उपरोक्त Heat exchanger मे shell fluid व tube fluid दोनों 1 pass से होकर जाती है।

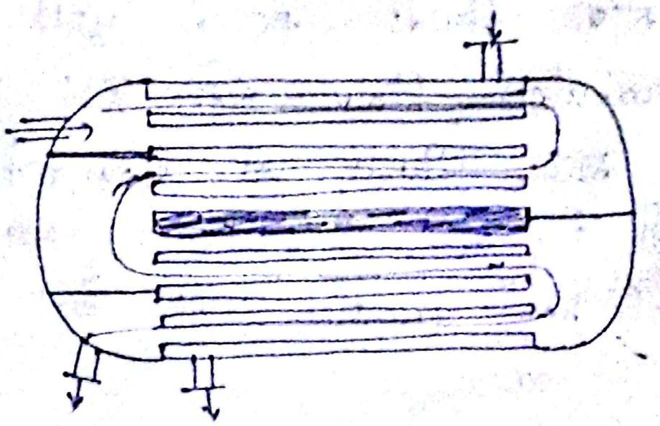
अतः इस heat exchanger को 1-1 pass shell व tube type heat exchanger कहते हैं।

इसमे पहले वाला no, shell side तथा दूसरा no tube side के लिए होता है।

Scanned by CamScanner



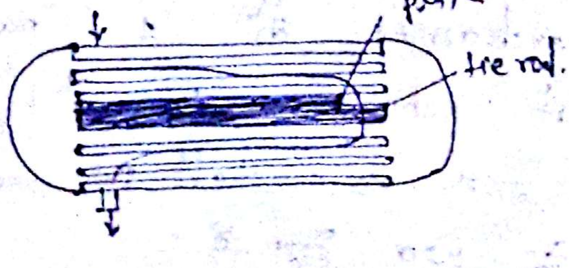
(1-2 pass shell & tube type H.E)



(1-4 pass shell & tube type H.E)

इसी प्रकार tube side के fluid को 2, 4, 6, 8, max 12 pass का बना सकते है। But ऐसा करने से Heat exchanger complicated होता जायेगा।

ठीक इसी प्रकार shell side के fluid को भी एक से अधिक pass मे ले जा सकते है। इसके लिए tie rod को tube sheet के centre पर लगा देते है तथा tube sheet के dia के equal plate, जिसकी length H.E के से थोडी कम होती है, लगा देते है। इससे shell side की fluid भी दो pass मे बट जाती है।



Scanned by CamScanner

* some imp notes *

1→ H.E मे no of pass बढ़ाने से fluid को same mass flow rate पर flow होने के लिए surface area कम मिलती है, जिससे fluid की velocity बढ़ जाती है। velocity बढ़ने से N_{Re} का मान बढ़ता है। we know that

$$\frac{hD}{k} = .023 (N_{Re})^{.8} (N_{Pr})^{.33} \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{.14}$$

$$h \propto (N_{Re})^{.8} \quad \left[\because N_{Re} = \frac{DU\rho}{\mu}\right]$$

अतः velocity बढ़ने पर h का मान बढ़ता है, जिससे rate of heat transfer ज्यादा होता है।

But ऐसा करने से frictional losses होता है, जिससे fluid को flow कराने के लिए अधिक क्षमता के pump का use करना होगा और बहुत सारे problem create हो जाते है।

2→ shell & tube heat exchanger की construction मे निम्न चीजे होती है।

1→ two tube sheet
2→ Tie rod
3→ spacer rings.
4→ Baffles
5→ tubes.
} (tube bundle).

~~tubes~~
6→ shell
7→ channel.

8→ channel covers
9→ 4 Nozzles
(2 shells + 2 tubes)

3→ (i) There is no clearance b/w shell & baffle
(ii) There is no clearance b/w tube & baffle

4→ (i) अगर H.E मे no of pass even है, तो inlet & outlet एक ही channel मे होता है।

(ii) अगर no of pass odd है, तो inlet पहले (first) channel से तथा outlet दूसरे channel से होता है।

Scanned by CamScanner

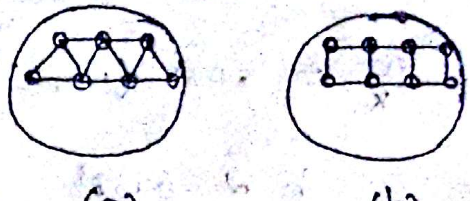
* tube pitch *

दो Adjacent tube के centre की minimum दूरी को ही tube pitch कहते है।

यह दो प्रकार का होता है।

1→ 60° pitch (Triangular pitch) (a)

2→ 90° pitch (square pitch) (b)



(a) (b)

* Difference b/w triangular & square pitch arragements

Triangular pitch	square pitch
1→ इसमे no of tubes ज्यादा होती है।	इसमे no of tubes अपेक्षाकृत कम होती है।
2→ no of tubes अधिक होने के कारण tube की surface area अधिक होती है, जिससे rate of heat transfer ज्यादा होता है।	no of tubes कम होने के कारण tube की surface area कम होती है, जिससे rate of heat transfer कम होता है।
3→ tubes अधिक होने के कारण shell की area कम हो जाती है, जिसे shellside की fluid की velocity बढ जाती है। तथा fanning eqn के acc $\Delta P \propto u^2$ pressure drop बढ जाता है। अतः fluid को H.E में भेजने के लिए pump लगाना पडेगा। अतः pumping cost बढेगी तथा frictional losses भी बढेगी।	इसमे shell की area ज्यादा होती है। अतः frictional losses अपेक्षाकृत कम होते है तथा pump की आवश्यकता नही पडती है। अर्थात pressure drop low होता है।
4→ tube की outer surface clean करने मे problem होती है।	tube की outer surface की cleaning easily हो जाती है।
5→ अगर shell side की fluid very clean हो, तो इस pitch का use करते है।	इस pitch मे shell side की fluid impure हो, तो भी use करते है।

Scanned by CamScanner

Imp * Removal of scale formation / Deposition *
in shell & tube type HE

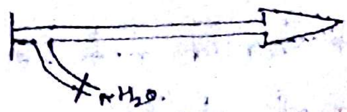
Heat exchanger मे Deposition को दो तरह से remove करते है।

1 → Mechanical means *

इस means मे Deposition remove करने के लिए दो mechanical device का use करते है।

(i) wire brushes → अगर Deposition hard नही है, तो इसका use करते है। इससे tube की internal surface तथा square pitch है, तो outer surface of tube की cleaning हो जाती है।

(ii) Augars *



अगर Deposition hard है, तो इसका use करते है। इससे tube की internal surface तो साफ हो जाती है, लेकिन outer surface की cleaning नही हो पाती है।

2 → chemical means *

जब mechanical means से Deposition की cleaning नही हो पाती है, तब chemical means का use करते है।

जहा पर cleaning करनी होती है वहा dil HCl (·5 – 2% conc) देते है, जिससे Deposition से rxn करके HCl, sludge के रूप मे बाहर आ जाती है। इसके बाद water से flash कर देते है ताकि acid भी धुल जाय तथा corrosion न हो। पुनः dil alkali देते है जिससे शेष बची acid nutralize हो जाय तथा CrO_4 भी देते है, जिससे cromium oxide की layer tube की surface

Scanned by CamScanner

पर हो जाती है।

* Baffles pitch *

H.E में दो Baffles (adjacent) के centre की minimum distance को Baffle pitch कहते है।

* Data of tube pitch, clearance and Baffle pitch *

1→ Dia of tubes = 6 mm - 40 mm ($\frac{1}{4}$" - 1") maximum use

2→ thickness of tubes = 10 - 12 BWG (Birmingham wire gauge)

3→ tube pitch = minimum 1.25 x outer dia of tube

4→ clearance = 0.25 of outer dia of tube (not less than)
= 4.76 mm (minimum)

5→ Baffle pitch = It should not be higher than internal dia of shell.
= 20% of the internal dia of shell. (not less than)
= 30% — 50% of I.D of shell.
= 50% of I.D of shell. (maximum use) (optimum)

* B.W.G *

The wall thickness of tube is usually expressed in term of BWG. It depend upon the material of construction and diameter.

It ranges about from 10 - 24 BWG.

(i) The value of BWG increase then wall thickness of tube is decreases.

(ii) The value of BWG decrease then wall thickness of tube is increases.

Scanned by CamScanner

* Baffles *

Tubular H.E के मे Baffles तीन तरह से लगाई जाती है।

1→ Segmental Baffle *

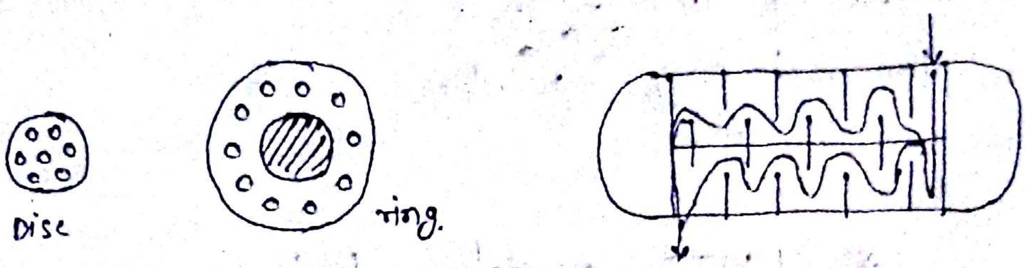
इसे दो अन्य नामो से भी जानते है।

25% cut segment Baffle

75% segment Baffle.

इसका use mostly होता है।

2→ Ring & Disc type Baffles *



3→ orific type Baffle *

इसका use बहुत कम होता है। यह छोटे H.E के लिए use होती है।

* Fluid flow arrangement in shell & tube side of H.E *

हमारे लिए यह भी एक problem होती है कि किस fluid को shell side से गुजारे तथा किस fluid को tube side से दे। कुछ निम्न problem salve किए गए है।

1→ corrosive fluid = tube

Non corrosive fluid = shell

2→ High corrosive fluid = tube

low corrosive fluid = shell

Scanned by CamScanner

3 → viscous fluid = shell
Less viscous " = tube

4 → Gas ⟹ shell
Liq = tube

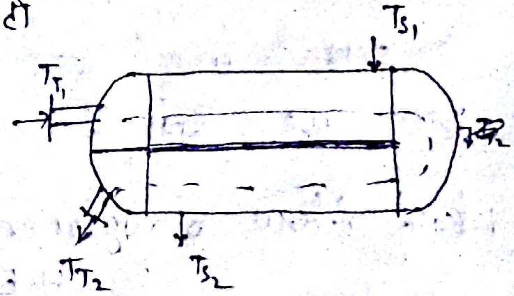
5 → Dirty fluid = tube
clean fluid = shell.

6 → High dirty fluid = tube
Low Dirty fluid = shell

7 → condensing fluid = shell
Non condensing fluid. = tube

* LMTD correction factor *

जब H.E मे passes होती है, तो उसमे co current & counter current दोनो प्रकार के flow होते है, तब LMTD का मान निकालने मे दिक्कत होती है। अतः हम जैसा कि जानते है, कि LMTD counter current मे अधिक तथा co current मे कम होती है। अतः जब co current & counter current दोनो flow होती है, तो LMTD का मान इन्ही के बीच मे होता है। अतः rate of heat transfer.



$$q = UA\, F_T \cdot \Delta T_{LM}$$

where F_T = LMTD correction factor.

F_T का मान 0.85 – 0.9 के बीच vary करता है।

Scanned by CamScanner

* Classification of Heat exchanger *

1 → Based on purpose *

(a) Heater (b) cooler (c) condenser (d) Reboiler (e) Boiler

(f) WHB (g) vapouriser (h) Evaporator (i) chiller.

2 → Based on construction *

(i) Double pipe heat exchanger.

(ii) shell & tube type heat exchanger

- fixed head or fixed tube sheet H.E
- Floating Head H.E
  - internal
  - external
- straight tube HE
- U tube H.E
  - (straight tube HE & U tube H.E) → Reboiler.
- unremovable tube bundle H.E
- Removable tube bundle HE
- composite HE & Evapt
  - (No shell the shell is this body of evapt)
- kettle type Reboiler

(iii) Extended surface type H.E (or Finned tube H.E)

(iv) plate/ frame type H.E

(v) scrapped surface H.E.

(vi) Graphite block H.E

Scanned by CamScanner

* Extended surface type H.E *
(Finned tube type heat exchanger)

माना कोई H.E है जिसमे tube side मे flow होने वाली fluid का heat transfer coe high है तथा shell side मे flow होने वाली fluid का heat transfer coefficient बहुत low है (in comperision to fluid of tube side). तब shell side से rate of heat transfer बहुत कम होगा, क्योंकि h_o का मान बहुत less हो जाने से इसका resistance बहुत अधिक हो जाता है जिससे rate of heat transfer कम हो जाता है।
चूंकि resistance अधिक होने के कारण overall heat transfer coe भी कम होगा। जिससे q का मान भी कम होगा।

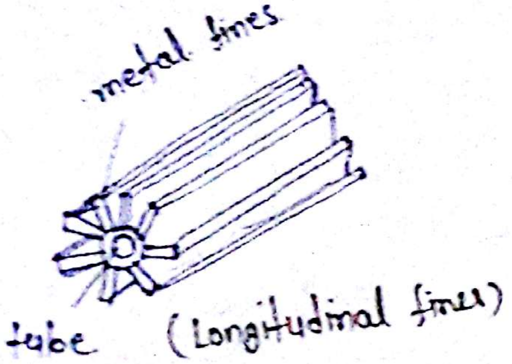
$$R_o = \frac{1}{h_o A_o}$$

$$R_o \propto \frac{1}{h_o}$$

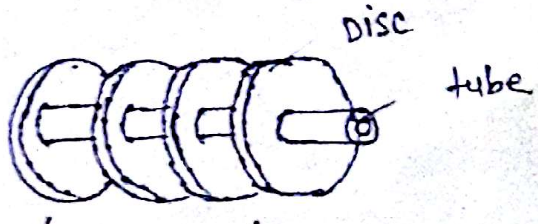
$$q = U_o A_o \Delta T_{Lm}$$

अतः अगर rate of heat transfer बढाना है, तो A_o बढाना होगा। But A_o बढाने पर उसी ratio मे A_i भी बढती है। अतः हम यहा shell & tube type H.E का इस्तेमाल नही कर सकते है।

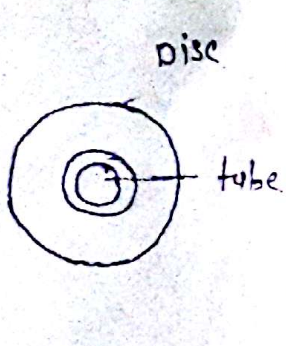
अतः हम एक ऐसा H.E बनाते है, जिसमे A_i fix हो तथा A_o का मान बहुत अधिक हो।

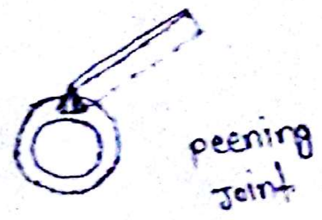


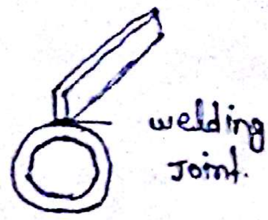
(Longitudinal fines)



(Transverse fines)







Scanned by CamScanner

इस type के heat exchanger को Extended surface type heat exchanger कहते है।

इस H.E मे दो तरह से Extended surface बढाते है।

1 → Longitudinal fines (Axially fines)

2 → Transverse fines (Radially fines)

इसमे एक tube होती है, जिसके ऊपर metal strip लगा दी जाती है, जिससे outer surface area बढ जाती है। यह Longitudinal fines का case होता है।

In case of transverse.

इसमे tube के ऊपर metal disc लगा दी जाती है, जिससे outer surface area बढ जाती है।

metal Disc के centre मे tube के outer dia काट लेते है तथा उसमे tube लगाकर weld कर देते है।

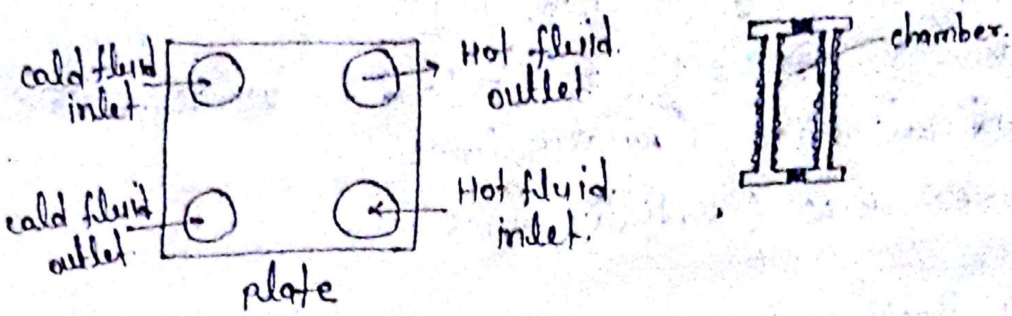
NOTE – 1 → जब एक fluid बहुत viscous हो तथा एक fluid कम viscous हो, तो भी इसका use करते है।

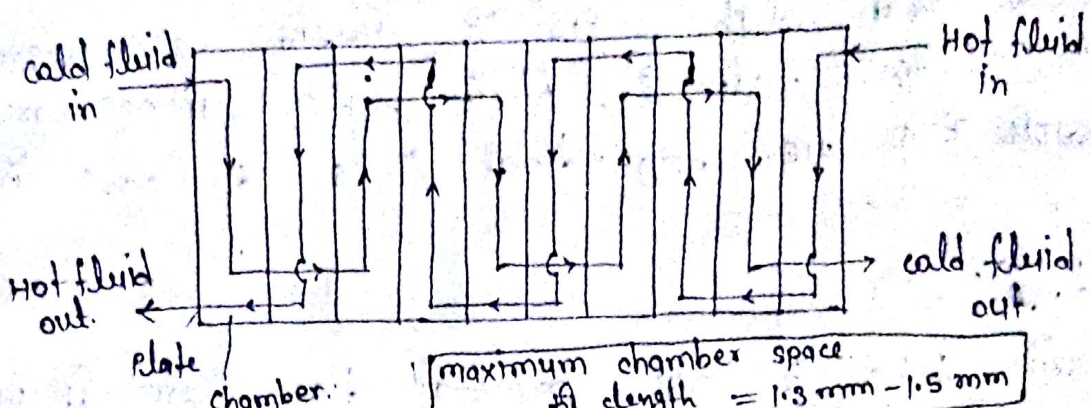
जब एक fluid की H.T coe अच्छी हो तथा एक fluid की H.T coe बहुत low हो, तो भी इसका use करते है।

2 → जब peening joint होती है, तो cleaning easily हो जाती है।

Scanned by CamScanner

Imp ✱ Plate type of H.E ✱





maximum chamber space की length = 1.3 mm – 1.5 mm

यह Heat exchanger Rectangular plate के series मे लगाने से बनता है, जिसकी thickness side मे मोटी तथा बीच मे पतली होती है। इन plates को series मे रखने पर chamber बनता है। इन्ही chamber मे hot fluid and cold fluid को Alternatlly flow कराते है अर्थात् जिस chamber मे hot fluid flow होती है, उसमे cold fluid नही flow होती है।

plates के चारो cone पर चार holes होते है, जिसमे से दो Hot fluid के in और out तथा दो cold fluid के in और out के लिए होते है। इन holes पर rubber gasket लगे होते है। इसकी help से बहुत viscous fluid को भी Handle किया जा सकता है।

इसके द्वारा लगभग 300 poise or 30000 cp तक की viscous fluid को handle कर सकते है। क्योंकि इसमे fluid की heating दोनो तरफ से हो सकती है। इस plate का surface plane न होकर corrugated होती है, ऐसा turbulence उत्पन्न करने के लिए होता है। इस heat exchanger की area हम अपने इच्छानुसार घटा बढा सकते है।

Scanned by CamScanner

* Advantages of plate type H.E. *

1→ It requires very small floor space.

2→ Low pressure drop

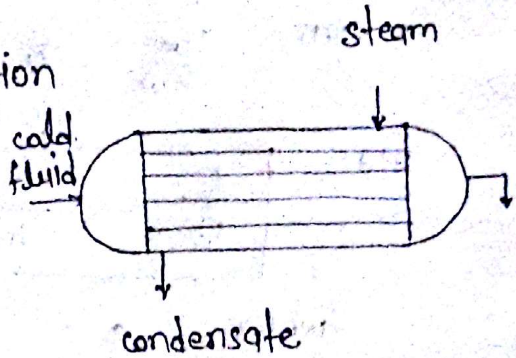
3→ Easily dismantling for inspection of plates

4→ High H.T coe and provide large H.T. area in a small volume.

* Disadvantage *

1→ Necessity of long gaskets.

* ~~Imp~~ Wilson plot *



This plot is used for determination of film heat transfer coe.

consider.

माना एक shell & tube he type H.E है, जिसमे shell side, से steam flow हो रही है। तथा condensate out हो जाती है। cold fluid tube side से inlet होकर hot होकर out हो जाती है। इस H.E मे clean fluid होनी चाहिए इसलिए steam का use करते है।

इस plot को खींचने के लिए कुछ assumption करते है।

1→ wall of the tube is very thin.

2→ out side of tube steam is flowing.

3→ Both side of fluid are flowing turbulent flow.

4→ Tube surface is clean.

In this condition.

$$A_i = A_o = A_{LM}$$

then overall heat transfer coe

$$\frac{1}{U_i} = \frac{1}{h_o} + \frac{L_w}{k_w A} + \frac{1}{h_i}$$

Scanned by CamScanner

यहा h_o constant होगा क्योंकि shell side की fluid का temp constant है।

shell side मे steam देते है, जो clean fluid होती है तथा turbulent flow होने के कारण outside film पतली होती है, जिससे इसका resistance constant होता है। (तथा thin wall के कारण)

$$R = \frac{1}{h_o}.$$

अतः h_o भी constant होता है।

तथा $\frac{L_w}{k_w}$ भी constant होता है।

अतः

$$\boxed{\frac{1}{U_i} = \frac{1}{h_i} + c} \quad \text{——— (1)}$$

where $c = \frac{1}{h_o} + \frac{L_w}{k_w}$

From Dittus Boelter eqn.

$$\frac{h_i D_i}{K} = .023 (N_{Re})^{.8} (N_{Pr})^{.3-.4}$$

$$h_i \propto u^{.8} \qquad [D_i, K, C_p, \mu, \rho \text{ is constant}]$$

$$h_i = a u^{.8}$$

put the value of h_i in eqn (1).

$$\frac{1}{U_i} = \frac{1}{a \cdot u^{.8}} + c$$

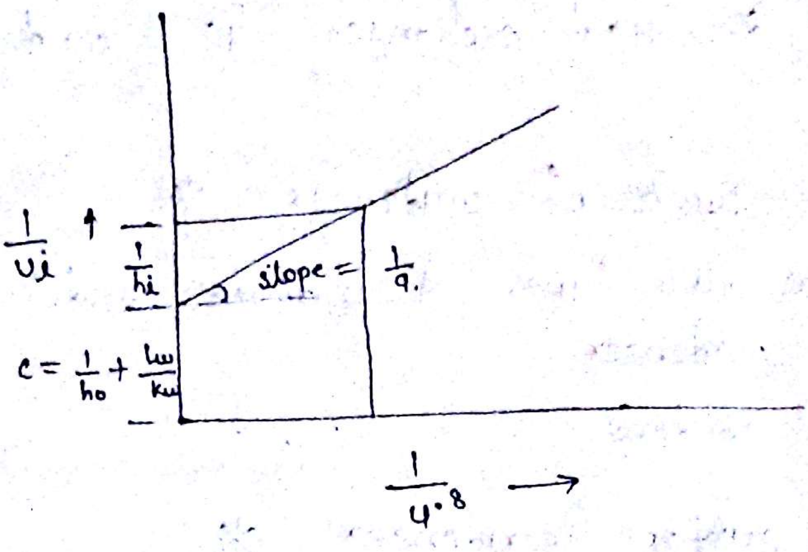
$$\frac{1}{U_i} = \frac{1}{a} \cdot \frac{1}{u^{.8}} + c$$

यह eqn $y = mx + c$ के रूप का है।

Scanned by CamScanner

अतः जब हम $\frac{1}{U_i}$ तथा $\frac{1}{u^{0.8}}$ के मध्य graph खींचते हैं, तो एक सरल रेखा प्राप्त होती है। इस graph की help से overall heat transfer coe. based on inside का मान आसानी से निकाला जा सकता है।

इस graph को सबसे पहले wilson नामक scientist ने दिया था इसलिए इसे wilson plot कहते हैं।



* Radiation *

Radiation, heat transfer की वह mode है, जिसमे किसी material or media की आवश्यकता नही होती है। इसमे केवल source तथा sink की जरुरत होती है।

कोई भी body जो absolute temp (0 K) से ऊपर के temp पर होती है, वह Radiation छोड़ती है।

Radiation के through heat transfer electro magnetic wave के कारण होता है। Electro magnetic wave निम्न type की होती है।

(i) Cosmic ray.
(ii) Gamma ray.
(iii) X - ray
(iv) Ultra voilet ray.
(v) visible light (.38 - .78 μm) (VIBGYOR)
(vi) Infra red ray. (.8 - 400) μm.
(vii) Radio ray.

* यह wavelength के बढ़ते क्रम मे rays को दिखाया गया है। तथा जिस ray की wavelength जितनी कम होती है वह उसकी भेदन क्षमता ~~ख~~ उतनी ही अधिक होती है।
* सभी rays मे Heating energy नही होती है केवल infra red ray मे ही Heat energy होती है। अतः

Radiation के ~~कारण~~ द्वारा Heat का transfer इसी ray के कारण होता है।

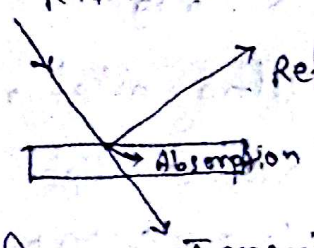
* Radiation का जो part किसी body मे absorb होता है, केवल वही part Heat energy मे convert होता है। जिसे ~~Radiator~~ Radiant energy कहते है।

* Electromagnetic wave, straight line मे light के velocity से चलती है।

* हम chemical ~~in~~ engg मे infra red ray के ·8 - 25 μm wavelength तक ही study करते है।

* Radiation के द्वारा heat transfer, conduction तथा convection की अपेक्षा ज्यादा होता है।

* Imp Reflection, Absorption & transmission of Radiation *



माना कोई radiation कही से आ रही है, जब radiation आ रही है, तो वह straight line मे चलकर आती है तथा जैसे ही किसी body पर गिरती है, उस radiation की तीन अवस्थाए होती है।

1→ Reflection → जब Radiation reflect होता है तो वह reflection of radiation कहलाता है।

2→ Absorption → जब Radiation, body द्वारा absorb होती है, वह Absorption of radiation कहलाती है तथा यही Heat energy मे convert होती है

Scanned by CamScanner

तथा अब इसे Radiation नहीं कहते हैं।

3→ Transmission → जब radiation body के पार हो जाती है तो उसे transmission of Radiation कहते हैं।

Radiation का Reflect व transmit part radiation ही होता है।

* Reflectivity *

जब कोई unit radiation किसी body पर गिरती है, तो उस unit radiation का जितना part body द्वारा reflect होता है, वह उस body की reflectivity होती है।

इसे ρ से denote करते हैं।

* जिस body की reflectivity 1 होती है उसे specular body कहते हैं।

अतः

$\rho = 1$	$\alpha = 0$	$\tau = 0$

* Absorptivity *

जब कोई unit radiation किसी body पर fall होता है, तो उस unit radiation का जितना part body द्वारा absorb होता है, उसे Absorptivity कहते हैं।

इसे α से denote करते हैं।

* जिस body की Absorptivity 1 होती है, वह body black body कहलाती है।

अतः

$\alpha = 1$,	$\rho = 0$,	$\tau = 0$

Scanned by CamScanner

* transmissivity *

जब कोई unit radiation किसी body पर fall होती है, तो unit radiation का जितना part transmit हो जाता है, transmissivity कहलाता है।

इसे τ से denote करते है।

* जिस body की transmissivity 1 होती है, transparent body कहलाती है।

अतः

$\tau = 1$,	$\rho = 0$	$\alpha = 0$

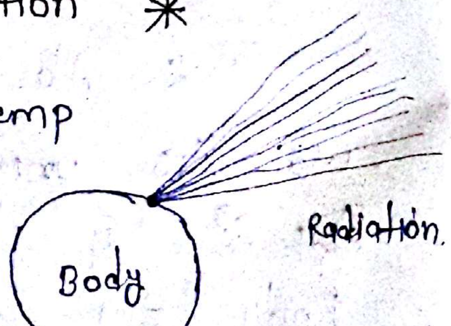
* thus. *

$$\rho + \alpha + \tau = 1$$

* किसी body का temp जितना अधिक होगा उसकी wavelength उतनी ही कम होती है।

* monochromatic radiation *

कोई भी body जो absolute temp से ऊपर के temp पर होती है, वह Radiation emitt करती है।



जब किसी body से Radiation निकलती है, तो उसमे कई प्रकार की ray होती है, जिसकी wavelength diff-2 होती है। जिन-2 ray की wavelength equal होती है, उन सबको monochromatic ray कहते है। इन सभी monochromatic ray को collect करके एक Beam (पुंज)

Scanned by CamScanner

बना हो, तो इस Beam से जो radiation निकलती है, उसे monochromatic radiation कहते हैं।

* Total emitting power *

माना किसी body से radiation हो रही है, तथा λ_1 wavelength के monochromatic ray की emitting power or Radiating power ω_{λ_1} है।

then $\lambda_2 \longrightarrow \omega_{\lambda_2}$

$\lambda_3 \longrightarrow \omega_{\lambda_3}$

$\lambda_4 \longrightarrow \omega_{\lambda_4}$

अतः उस body की total emitting power

$$\boxed{\omega = \int_0^{\infty} \omega_\lambda \, d\lambda}$$

Imp * Emmitting power or Radiating power *

Emitting power of any body is defined as the energy emitted from the body, per unit area per unit time.

It is denoted by ω.

$$\boxed{\omega = \frac{\text{energy emitted}}{\text{Area} \times \text{time}}} \qquad \frac{\text{watt}}{m^2}$$

* अगर Black body की absorptivity 1 है, तो उसकी emmiting power भी 1 होगी।

Scanned by CamScanner

* Emissivity *

किसी भी ~~to~~ दो diff body की emitting power same नहीं होती है।

only black body की emitting power 1 के लगभग होती है।

" Emissivity is defined as the emitting power of any ~~a~~ body devided by emitting power of black body at given temp.

(Both body are same temp)

It is denoted by ~~e~~ ε

$$\varepsilon = \frac{\omega}{\omega_b} \quad \text{———} \quad (A)$$

where ω = emitting power of any body.

ω_b = emitting power of black body.

* only black body की emissivity 1 होती है तथा other body की emissivity 1 से कम होती है।

* thermal equillibrium मे any body की absorptivity & emissivity equal होती है।

अतः $\alpha = \varepsilon$

*. Black body पर कुछ rule दिए गए जो आगे दिए जा रहे है।

Scanned by CamScanner

* "Imp" stefan - baltman Rule for black body radiation *

stefan & baltman नामक दो scientist ने black body से होने वाली radiation के लिए एक Rule दिया, जिसे stefan - baltman rule कहते है।

"It states that the emitting power of a black body is directly proportional to the four ~~times~~ power of absolute temp."

consider. ω_b = emitting power of a black body.

T = Absolute temp.

then

$$\omega_b \propto T^4$$

$$\boxed{\omega_b = \sigma T^4} \quad \text{———— (X)}$$

where σ = stefan - baltman constant & its value is $5.67 \times 10^{-8} \frac{\omega}{m^2 \cdot k^4}$.

∵ we know that.

$$\epsilon = \frac{\omega}{\omega_b}$$

$$\omega = \epsilon \cdot \omega_b$$

then from eqn ①

$$\boxed{\omega = \epsilon \sigma T^4} \quad \text{———— (Y)}$$

where ω = emitting power of any body

Scanned by CamScanner

* In other word stefan boltman law for black body. *

किसी emitting body के surface से होने वाली rate of energy emitted

$$q_r = \frac{\text{energy emitted}}{\text{time}} = \frac{Q_r}{\theta}$$

(i) Rate of energy emitted is directly proportional to surface area of body.

$$q_r \propto A \quad \text{———} \quad ①$$

(ii) Rate of energy emitted is directly proportional to four power of Absolute temp.

$$q_r \propto T^4 \quad \text{———} \quad ②$$

combining eqn ① & ②

$$q_r \propto A \cdot T^4$$

$$\boxed{q_{rb} = \sigma A T^4} \quad \text{(for black body)} \quad \text{———} \quad ③$$

For non black body.

$$\boxed{q_r = \epsilon A \sigma T^4} \quad \text{———} \quad ④$$

~~for~~ from eqn ③

$$\frac{q_{rb}}{A} = \sigma T^4 \quad \text{———} \quad ⑤$$

where from eqn (x) & (5)

$$\boxed{w_b = \frac{q_{rb}}{A}}$$

w_b = emitting power of black body.

Scanned by CamScanner

where $\frac{q_{rb}}{A}$ = emitting flux of black body

— From eqn (4) —

$$\frac{q_r}{A} = \varepsilon A \sigma T^4 \quad \text{——} \quad (6)$$

from eqn (6) & (y)

$$\boxed{w = \frac{q_r}{A}}$$

where w = emitting power of non black body

$\frac{q_r}{A}$ = emitting flux of " " "

Imp

* kirchoff's Law *

* First statement *

यदि कई body, एक साथ surrounding मे रखी गयी है तथा सभी body, परस्पर तथा surrounding के साथ thermal equillibrium मे है, तो thermal equillibrium के temp पर सभी body की emitting power तथा Absorptivity का ratio same होता है।

Let कुई body, A, B, C . . . . जो thermal equillibrium मे है। तथा body की emitting power क्रमशः w_A, w_B, w_C, ... तथा Absorptivity α_A, α_B, α_C, ... है, तो :

Scanned by CamScanner

* According to this law. *

$$\frac{\omega_A}{\alpha_A} = \frac{\omega_B}{\alpha_B} = \frac{\omega_c}{\alpha_c} = \cdots\cdots$$

Let → two body जिनमे एक Black body तथा दूसरी non black body है, तथा दोनो body thermal equillibrium मे है। then acc to kirchoff's law.

$$\frac{\omega_b}{\alpha_b} = \frac{\omega}{\alpha}$$

where $\frac{\omega_b}{\alpha_b}$ = for black body.

& $\frac{\omega}{\alpha}$ = for non black body.

~~then~~ ∵ we know that.

For black body

$$\alpha_b = 1$$

then.

$$\frac{\omega_b}{1} = \frac{\omega}{\alpha}$$

$$\alpha = \frac{\omega}{\omega_b} \quad \text{———} \quad (7)$$

from eqn (A) & (7)

$$\alpha = \varepsilon \quad \text{———} \quad (8)$$

Scanned by CamScanner

* second statement of kirchoff's Law *

Eqn (8) is known as second statement of kirchoff's law.

अतः " जब कोई body surrounding के साथ thermal equillibrium मे होती है, तो उस equillibrium temp पर उस body की absorptivity & emissivity same होती है।

$$\boxed{\alpha = \epsilon}$$

* Absorptivity & emissivity is depended upon temp.

अगर temp बढ़ता है, तो body की absorptivity & emissivity दोनो बढ़ती है।

* Imp wein's displacement law *

we know that

जैसे-2 temp बढ़ता है, body की wavelength कम होती जाती है तथा जैसे-2 temp घटता है जाता है उस body से emitted radiation की wavelength बढ़ती जाती है तथा एक एक ऐसे temp पर पहुँच जाती है, जिस पर उस body से emitted radiation की wavelength maximum हो जाती है।

* Acc to this law. *

maximum wavelength at certain absolute temp is inversaly proportional to that absolute temp.

Scanned by CamScanner

if maximum wavelength is λ_m & Absalute temp is T, then.
acc to this law.

$$\lambda_m \propto \frac{1}{T}$$

$$\lambda_m = \frac{c}{T}$$

$$\boxed{\lambda_m \cdot T = c}$$

where c is constant & value of c is 2890 μm.k.

Imp

* Gray body *

We know that किसी body का temp घटने बढने पर उससे emitted radiation की wavelength घटती है - बढती है।

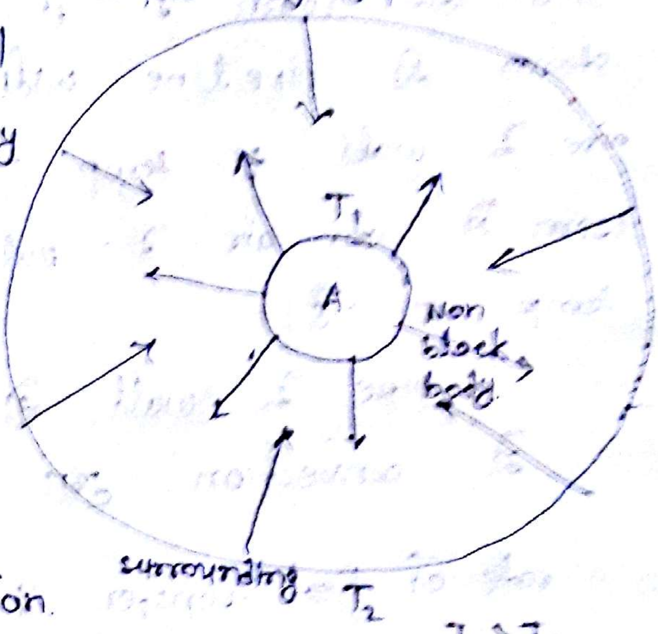
अत: वह imageney body, जिसकी किसी particular temp पर wavelength घटने - बढने पर भी उस body की absorptivity & emissivity मे अन्तर न आता हो, ऐसी body को gray body कहते है।

Scanned by CamScanner

* Heat transfer from one body to other body by radiation *

माना एक body A है, जो non black body है। तथा surrounding मे रखी है।

माना यह surface A से energy emitt कर रही है तथा इस body की emissivity ε है। body का temp T_1 है तथा surrounding का temp T_2 है।



then.

rate of heat transfer by radiation from body to surrounding.

$$q_{r_1} = \varepsilon \cdot A \sigma T_1^4 \quad \text{——— (1)}$$

rate of Heat transfer by radiation from surrounding to body.

$$q_{r_2} = \varepsilon A \sigma T_2^4 \quad \text{——— (2)}$$

∴ Net heat transfer from the body to surrounding

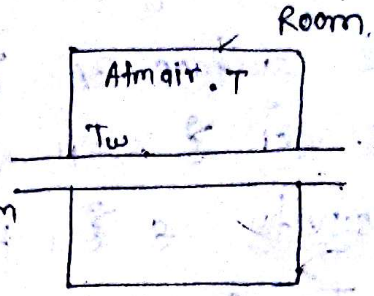
$$q_r = \varepsilon A \sigma T_1^4 - \varepsilon A \sigma T_2^4$$

$$\boxed{q_r = \varepsilon A \sigma (T_1^4 - T_2^4)}$$

Scanned by CamScanner

* Radiation heat transfer coefficient *
(Radiant heat transfer coefficient)

माना एक room मे से होकर steam की pipe line जाती है। pipe के wall का temp T_w तथा room मे atm air के Bulk का temp T है।



∴ pipe के wall से Heat का transfer room मे convection तथा radiation के through होता है

∴ rate of heat transfer through convection.

$$q_c = h_c A \cdot (T_w - T)$$

rate of heat transfer through radiation.

$$q_R = \varepsilon A \sigma (T_w^4 - T^4)$$

total rate of Heat transfer.

$$q_T = h_c A (T_w - T) + \varepsilon A \sigma (T_w^4 - T^4) \quad \text{—— (1)}$$

we know that.

Heat flux $\propto \Delta T$

∴ Radiation Heat flux.

$$\frac{q_r}{A} \propto (T_w - T)$$

$$\frac{q_r}{A} = h_r \cdot (T_w - T)$$

$$q_r = h_r \cdot A (T_w - T)$$

Scanned by CamScanner

$\because \quad q_T = q_c + q_r.$

$$q_T = h_c \cdot A(T_w - T) + h_r \cdot A(T_w - T) \quad \text{—— (2)}$$

from eqn (1) & (2).

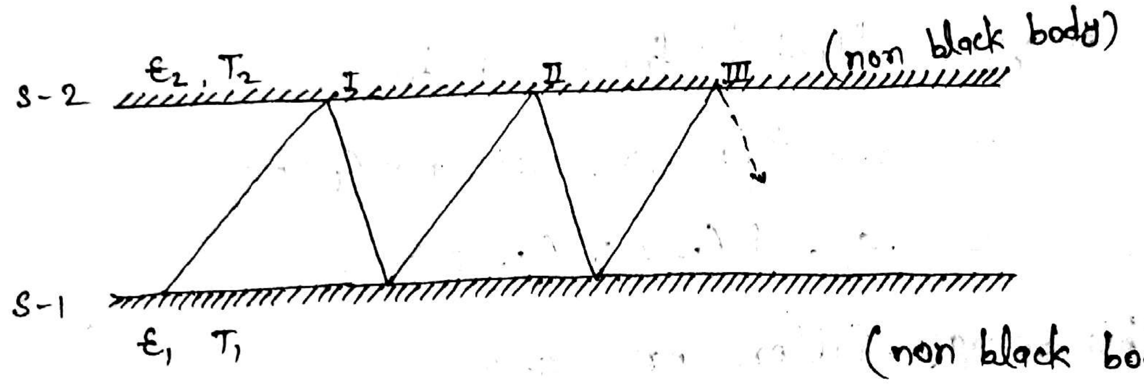
$$h_r A(T_w - T) = \varepsilon A \sigma (T_w^4 - T^4)$$

$$\boxed{h_r = \frac{\varepsilon \sigma (T_w^4 - T^4)}{(T_w - T)}}$$

where h_r = Radiant heat transfer coefficient.

Imp

* Heat transfer by radiation b/w two parallel plane (non black body surface) close to each other *



माना दो non black body surface S-1 & S-2 है, जिनकी emissivity क्रमशः ε_1 & ε_2 है तथा S-1 & S-2 क्रमशः T_1 & T_2 temp पर है। दोनो surface opque है अर्थात् दोनो surface की transmissivity zero है। तथा stefan baltman constant σ है।

then.

energy radiated from S-1 per unit area per unit time $= \varepsilon_1 \sigma T_1^4$

This energy fallen on S-2

then.

energy absorbed by s-2 at point I

$= \varepsilon_1 \sigma T_1^4 \cdot \varepsilon_2$

$= \varepsilon_1 \varepsilon_2 \sigma T_1^4$ ——— ①

energy reflected from s-2 to s-1

$= \varepsilon_1 \sigma T_1^4 - \varepsilon_1 \varepsilon_2 \sigma T_1^4$

$= \varepsilon_1 \sigma T_1^4 (1 - \varepsilon_2)$

This energy fallen on s-1

then. energy absorbed by s-1

$= \varepsilon_1 \sigma T_1^4 (1 - \varepsilon_2) \cdot \varepsilon_1$

energy reflected from s-1 to s-2.

$= \varepsilon_1 \sigma T_1^4 (1 - \varepsilon_2) - \varepsilon_1^2 \sigma T_1^4 (1 - \varepsilon_2)$

$= \varepsilon_1 \sigma T_1^4 (1 - \varepsilon_2)(1 - \varepsilon_1)$.

this energy fallen on s-2.

then. energy absorbed by s-2 at point II

$= \varepsilon_1 \sigma T_1^4 (1 - \varepsilon_1)(1 - \varepsilon_2) \cdot \varepsilon_2$

$= \varepsilon_1 \varepsilon_2 \sigma T_1^4 (1 - \varepsilon_1)(1 - \varepsilon_2)$ ——— ②

energy reflected from s-2 to s-1

$= \varepsilon_1 \sigma T_1^4 (1 - \varepsilon_1)(1 - \varepsilon_2) - \varepsilon_1 \varepsilon_2 \sigma T_1^4 (1 - \varepsilon_1)(1 - \varepsilon_2)$

$= \varepsilon_1 \sigma T_1^4 (1 - \varepsilon_1)(1 - \varepsilon_2)(1 - \varepsilon_2)$

$= \varepsilon_1 \sigma T_1^4 (1 - \varepsilon_1)(1 - \varepsilon_2)^2$.

This energy fallen on s-1

Scanned by CamScanner

energy absorbed by s-1

$$= \epsilon_1 \sigma T_1^4 (1-\epsilon_1)(1-\epsilon_2)^2 \cdot \epsilon_1$$

energy reflected from s-1 to s-2.

$$= \epsilon_1 \sigma T_1^4 (1-\epsilon_1)(1-\epsilon_2)^2 - \epsilon_1 \sigma T_1^4 (1-\epsilon_1)(1-\epsilon_2)^2 \cdot \epsilon_1$$

$$= \epsilon_1 \sigma T_1^4 (1-\epsilon_1)(1-\epsilon_2)^2 (1-\epsilon_1)$$

$$= \epsilon_1 \sigma T_1^4 (1-\epsilon_1)^2 (1-\epsilon_2)^2$$

this energy fallen on s-2

energy absorbed by s-2 at point III

$$= \epsilon_1 \sigma T_1^4 (1-\epsilon_1)^2 (1-\epsilon_2)^2 \cdot \epsilon_2$$

$$= \epsilon_1 \epsilon_2 \sigma T_1^4 (1-\epsilon_1)^2 (1-\epsilon_2)^2 \quad \text{——— (3)}$$

similarly at point IV on s-2.

energy absorbed $= \epsilon_1 \epsilon_2 \sigma T_1^4 (1-\epsilon_1)^3 (1-\epsilon_2)^3$

at point V

energy absorbed $= \epsilon_1 \epsilon_2 \sigma T_1^4 (1-\epsilon_1)^4 (1-\epsilon_2)^4$

therefore total energy absorbed by s-2 by only radiation.

$$= \epsilon_1 \epsilon_2 \sigma T_1^4 + \epsilon_1 \epsilon_2 \sigma T_1^4 (1-\epsilon_1)(1-\epsilon_2) + \epsilon_1 \epsilon_2 \sigma T_1^4 (1-\epsilon_1)^2 (1-\epsilon_2)^2 + \epsilon_1 \epsilon_2 \sigma T_1^4 (1-\epsilon_1)^3 (1-\epsilon_2)^3 + \cdots \infty$$

$$= \epsilon_1 \epsilon_2 \sigma T_1^4 \left[1 + (1-\epsilon_1)(1-\epsilon_2) + (1-\epsilon_1)^2 (1-\epsilon_2)^2 + (1-\epsilon_1)^3 (1-\epsilon_2)^3 + \cdots \infty \right]$$

$$= \epsilon_1 \epsilon_2 \sigma T_1^4 \left[\frac{1}{1-(1-\epsilon_1)(1-\epsilon_2)} \right]$$

$$= \frac{\epsilon_1 \epsilon_2 \sigma T_1^4}{1-(1-\epsilon_1)(1-\epsilon_2)}$$

Scanned by CamScanner

$$= \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2 \sigma T_1^4}{1-(1-\varepsilon_2-\varepsilon_1+\varepsilon_1\varepsilon_2)}$$

$$= \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2 \sigma T_1^4}{1-1+\varepsilon_2+\varepsilon_1-\varepsilon_1\varepsilon_2}$$

$$= \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2 \sigma T_1^4}{\varepsilon_2+\varepsilon_1-\varepsilon_1\varepsilon_2}$$

Devide numerator & Denominator by $\varepsilon_1 \varepsilon_2$ then we get.

$$= \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2 \sigma T_1^4 / \varepsilon_1\varepsilon_2}{\frac{\varepsilon_2+\varepsilon_1-\varepsilon_1\varepsilon_2}{\varepsilon_1\varepsilon_2}}$$

$$= \frac{\sigma T_1^4}{\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1\varepsilon_2}+\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_1\varepsilon_2}-\frac{\varepsilon_1\varepsilon_2}{\varepsilon_1\varepsilon_2}}$$

$$= \frac{\sigma T_1^4}{\frac{1}{\varepsilon_1}+\frac{1}{\varepsilon_2}-1}$$

∴ energy transfer from s-1 to s-2

$$\boxed{W_{1-2} = \frac{\sigma T_1^4}{\frac{1}{\varepsilon_1}+\frac{1}{\varepsilon_2}-1}}$$

similarly.

energy transfer from s-2 to s-1

$$\boxed{W_{2-1} = \frac{\sigma T_2^4}{\frac{1}{\varepsilon_2}+\frac{1}{\varepsilon_1}-1}}$$

Scanned by CamScanner

so . Net heat transfer by radiation from s-1 to s-2

$$w_{net} = w_{1-2} - w_{2-1}$$

$$= \frac{\sigma T_1^4}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1} - \frac{\sigma T_2^4}{\frac{1}{\epsilon_2} + \frac{1}{\epsilon_1} - 1}$$

$$\boxed{w_{net} = \frac{\sigma (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1}}$$

where.

$\frac{1}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1}$ is known as. overall transfer factor. or overall interchange factor. & denoted by F_{12}

so.

$$\boxed{w_{net} = \sigma F_{12} (T_1^4 - T_2^4)}$$

where

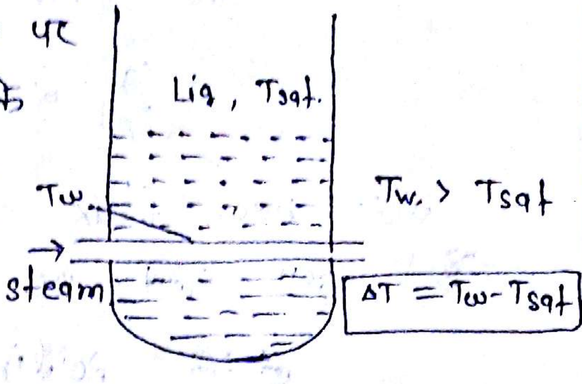
$$\boxed{F_{12} = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1}}$$

Scanned by CamScanner

Most imp

* Boiling of Liquid *

माना एक vessel मे एक Liq है, जो ठीक अपने saturation temp पर है। इस vessel से एक tube के जरिए Hot fluid (steam) देते है, अगर metalic wall का outer surface का temp (Tw), Liq के Tsat से अधिक है, तो Driving force (Tw - Tsat) के कारण Liq मे heat transfer होगा। जैसा कि हम जानते है कि जब Liq अपने saturation temp पर है तथा उसका और heat दी जाय, तो वह Latent heat उस Liq को vapour मे change करने के लिए जिम्मेदार होगी तथा सबसे पहले जो Liq tube के outer surface पर होगी वह vapour मे change हुई होगी तथा छोटे - 2 drop के रूप मे vapour के bubble बने होगे। इस bubble का surface tension tube के surface के साथ कम है, तो ये vapour के bubble अपने density के कारण ऊपर उठकर Liq level को cross करते हुए Liq के surface पर आते है तथा वहा से उसके vapour ऊपर भाग जाते है। इस प्रकार के boiling को pool boiling कहते है।



यदि यही bubble, density कम होने के कारण Liq level से होकर जा रहे हो तथा अगर Liq अपने saturation temp से कम के temp पर है, तो Liq उस bubble के Latent heat को लेकर उसे पुनः condense कर देती है। इस प्रकार के boiling को subcooled boiling कहते है तथा Liq को subcooled Liq कहते है।

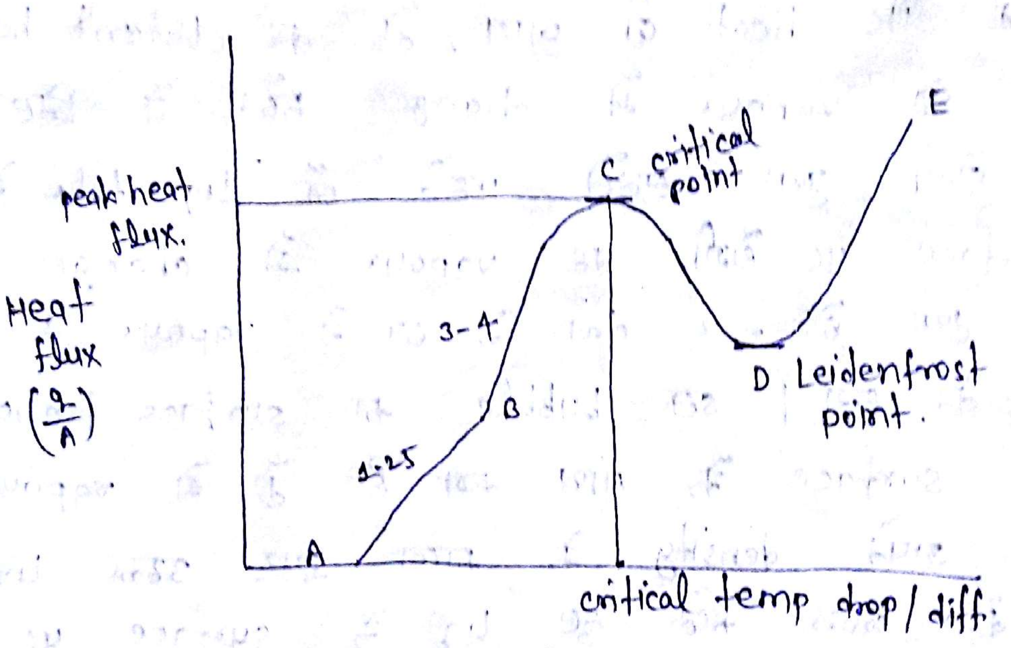
As we know that

Heat flux ∝ Driving force

$$\frac{q}{A} \propto \Delta T \ (T_w - T_{sat})$$

अतः Heat flux का मान temp बढ़ने पर बढ़ता है। तथा घटने पर घटता है।

लेकिन Boiling of liquid के लिए जब Heat flux तथा ΔT (Driving force) के बीच graph plot करते है, तो निम्न प्राप्त होता है।



इस पूरे graph को समझने के लिए इसे 4 part मे Devide कर देते है।

1 → जब steam का temp थोड़ा बढ़ाते है, तो धीरे-2 bubbles बनते है तथा density ~~को बिना disturb~~ कम होने के कारण धीरे-2 ऊपर आ जाते है। इस condition मे bubble Liq surface को disturb नही करते है। इस type के boiling को boiling

Scanned by CamScanner

under natural convection कहते है। इस condition मे ΔT का मान बढाने पर Heat flux का मान बढ़ता है तथा इसकी slope 1.25 होती है

यह process AB मे होती है। या A से B तक होती है।

2 → अब steam का temp और बढाते जाय, तो rate of formation of bubble बढ़ता जाता है। तथा bubble ~~की~~ की संख्या बढ जाती है। ये Bubble तेजी से ऊपर भागते है, जिससे liq मे turbulance उत्पन्न होती है। अतः Heat flux का मान तेजी से बढ़ता है। इस condition मे nucleate boiling होती है। इसकी slope 3-4 होती है। यह process B-C तक होती है।

Heat flux का मान B से C तक बढ़ता है तथा C पर maximum heat flux होता है, इस point को critical point कहते है। इस point के corresponding heat flux को peak heat flux कहते है। तथा इस point के corresponding temp diff को critical temp drop / diff कहते है।

3 → अब steam का temp और बढाते जाय, तो अनेक bubble मिलकर एक बडी bubble बना लेते है, जिसके कारण Liq ~~wall~~ tube की wall को छू नही पाती है, तथा एक resistance पैदा हो जाता है, जिसके कारण Heat flux का मान कम होता जाता है तथा एक ~~minimum~~ point पर Heat flux का मान minimum हो जाता है। उस point को Leidenfrost point कहते है।

Scanned by CamScanner

यह process C- से D तक होती है।

अत: C से D तक transition boiling होती है।

4→ अब steam का temp और बढ़ाते जाय, तो transition boiling मे जो बड़े bubble बने रहे थे। वह break होकर vapour की एक थोड़ी सी thick layer/film बना लेते है; जिससे यहा Heat का transfer, convection से न होकर conduction तथा radiation दोनो से होता है। अत: rate of Heat transfer बढने से heat flux का मान बढ जाता है। इस condition मे film boiling होती है। यह process D से E तक होता है।

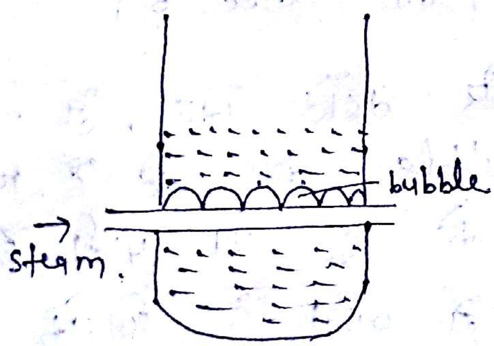
अर्थात -

AB = Boiling under natural convection

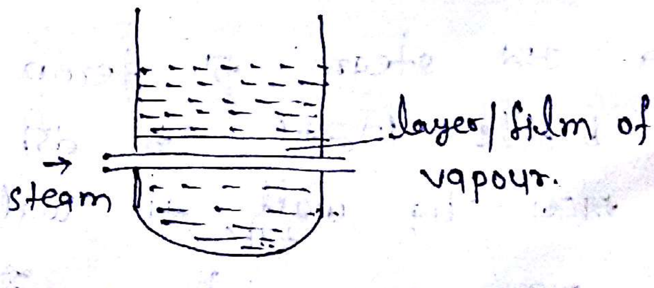
BC = nucleate boiling.

CD = Transition boiling.

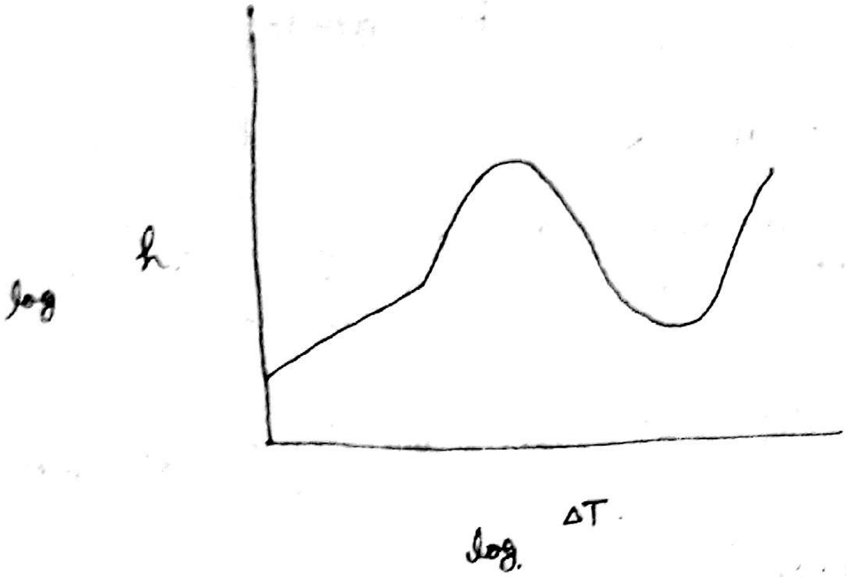
DE = film boiling.



(3)



(4)



* Heat flux का मान critical point के बाद कम होने लगता है अतः किसी भी equipment की designing (evapt, Boiler etc), critical point से कम (Peak heat flux से कम or critical temp drop से कम) पर ही की जाती है।

Scanned by CamScanner

Unit → 7 [Evaporation]

* vapour *

vapour वह material होती है, जिन पर केवल pressure लगाकर liquified / condense किया जा सकता है।

vapour always अपने critical temp से कम temp पर होते है।

* Gases *

Gas पर कितना भी pressure लगा दिया जाय, यह कभी liquified नही होती, जब तक कि इसके temp को कम न किया जाय।

यह always अपने critical temp से ऊपर के temp पर होती है।

* vapourisation *

vapourisation is a surface phenomena.
It is a process in which vapour of liquid forms each & every temp.

माना एक, पात्र मे water है। water के सभी molecule की energy same नही होती। अतः जो molecule energetic होती है वह अन्य molecule को धक्का मारते हुए surface पर आता है तथा surface वाले molecule को हेदकर vapour के रूप मे निकल जाता है।

Scanned by CamScanner

* Evaporation & evaporators *

Evaporation is a unit operation in which a weak liquor concentrated to thick liquor by the use of thermal energy.

In evaporation process solid liquid mixture is used as feed in which ~~salvent~~ liquid should be volatile salvent & solid should be non valatile soul. salute.

This type of unit operation takes place in which equipment. This equipment is known as evaporators.

The weak liquor is composed of a non valatile salute and a valatile salvent.

* In this unit operation thick liquor / conc solution is the desired product.
* It differs from drying in ~~that~~ drying very less amount of water present in wet solid are seperated by hot air.
* It differs from crystalization in that the purpose is to concentrated a salution rather than to form and build crystal.
* It differs from distillation in that —

distillation से जो vapour निकलती है वह pure नहीं होती है। multi component की होती है।

Scanned by CamScanner

* Evaporation is a unit operation in which solid liquid mixture (in which one component is valatile salvent & second is the non valatile salute) concentrated by removal of a considerable amount of salvent by use of heat energy.

* selection of feed in evaporation *

1→ viscosity of salution *
viscosity of salution is low

2→ Density of salution *
Density of salution should not be higher.

3→ scale forming or non scale forming *
non scale forming.

4→ foaming or non foaming. *
Non foaming.

5→ crystalline or non crystalline *
Non crystalline

6→ corrosive or non corosive *
Non corrosive

7→ Heat sensitive or non heat sensitive *
Non heat sensitive

8→ Boiling point rise *
Boiling point rise slowly due to increasing concentration of salution.

9→ salution does not react with material of construction of evaporator.

Scanned by CamScanner

* Classification of evaporators *

1→ Based on construction *

(a) open pan evaporator
(b) closed type evaporator.

2→ Based on heating arragement *

(a) Appartus heated by direct fire (Boilers , pans)
(b) Apparatus heating media in Jacked or Double wall (Jacked evapt)
(c) vapour or steam heated evapt with H.E or tubular heating surface.

(i) Horizontal tube evapt (vapour or steam in tube of HE)
(ii) vertical tube evapt (vapour or steam in shell of H.E)

(a) standard or short tube or Robert type evapt. with vertical tube
(b) Basket type evapt.
(c) Long tube vertical evapt or calanderia tube
(d) forced circulation verticle tube evapt.

3→ Based on circulation of solution *

(a) once through type [for heat sensitive material]
(b) circulation type evapt.

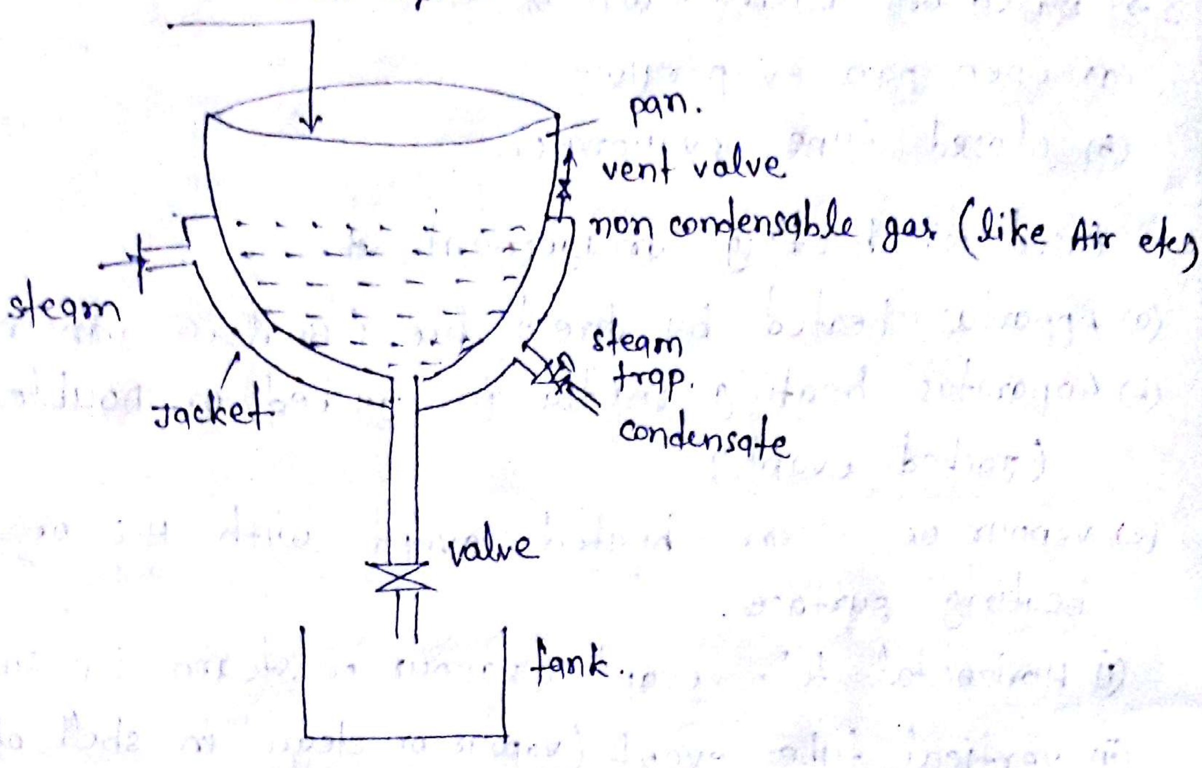
- Natural circulation
- Forced circulation.

4→ Tubes of spherical shape e.g. coils etc (specialy used in sugar industries)

5→ Falling film type.

Scanned by CamScanner

* open pan evapt (Jacketted) *



यह एक simple type का evapt है; जो open pan type का होता है। इसमे pan को Jacketted कर देते है तथा इस Jacketted anular space मे steam देकर pan मे उपस्थित weak liquor को conc करते है। (by removal of a considerable amount of valatile salvent)

तथा condensate को बाहर निकाल देते है। condensate के outlet पर एक steam trap लगा देते है, जिससे steam व condensate के साथ न भागे। इस Jacket मे एक vent valve भी होता है, जिसके through steam मे उपस्थित non condensable gas remove हो जाती है। Jacket मे steam देने पर weak liquor मे Heat transfer होता है तथा जब weak liquor अपने B.P पर पहुचता है. Evaporation होने लगती है तथा liquor conc होने लगता है।

Scanned by CamScanner

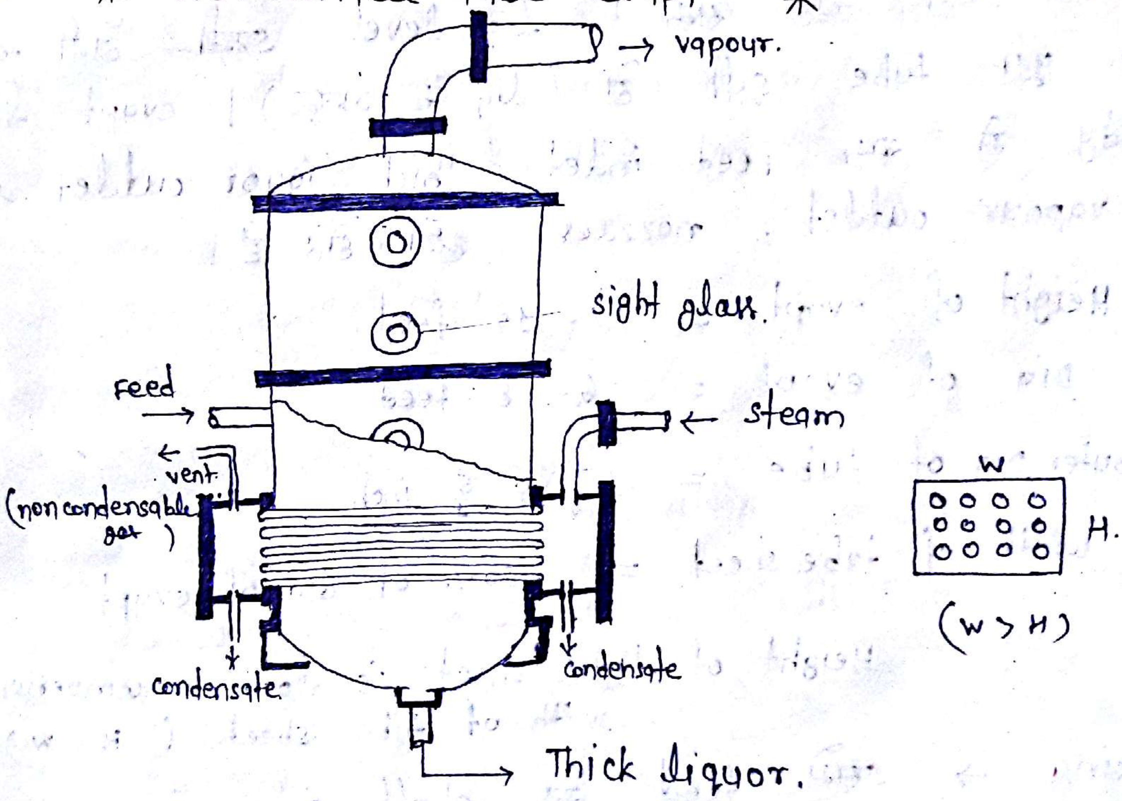
जब एक desire concentrated की solution प्राप्त हो जाती है, तो valve खोलकर desire conc solution को एक tank मे product के रूप मे प्राप्त कर लेते है।

* material of construction → commonly cast iron. (pan)
  generally mild steel. (Jacket)

* use → food processing industry, pharmaceutical & fine chemical industries.

* Rate of heat transfer → 50 to 300 $\frac{Btu}{ft^2 \cdot °F \cdot hr.}$ (Range).

Imp
* Horizontal tube evapt *



* Introduction *

world मे सबसे पहले Horizontal tube evapt ही बनायी गई थी। इसे Norbert Rillieux ने सन 1843 मे बनाया था। सन 1879 मे wellner Jebinek नामक scientist ने इसमे कई सुधार किये, जिससे यह famous हुआ।

construction → यह एक cylindrical body होती है, जिसका top hemispherical तथा bottom hemispherical or conical भी हो सकती है। इस body मे rect-angular tube sheet fit करते है जो squre pitch की होती है, जिससे tube की outer surface की cleaning आसानी से हो सके। दोनो ओर के tube sheets को channel covers से close करके, steam inlet, condensate outlet & non condensable gas outlet के लिए nozzles लगा देते है। तथा body मे एक से अधिक sight glass लगे होते है, जिससे liq की level पता चल सके। liq level इतनी होनी चाहिए कि पूरी tube डूबी हो (liq के अन्दर)। evapt की body मे एक feed inlet, thick liquor outlet & vapour outlet, nozzles लगे होते है।

Height of evapt = 8 - 12 feet

Dia of evapt = 6 - 8 feet

outer Dia of tube = $\frac{7}{8}$ to $\frac{5}{4}$ inch

width of tube sheet = 50% of dia of evapt

Height of tube sheet is low in comperision to width of tube sheet. (H < W)

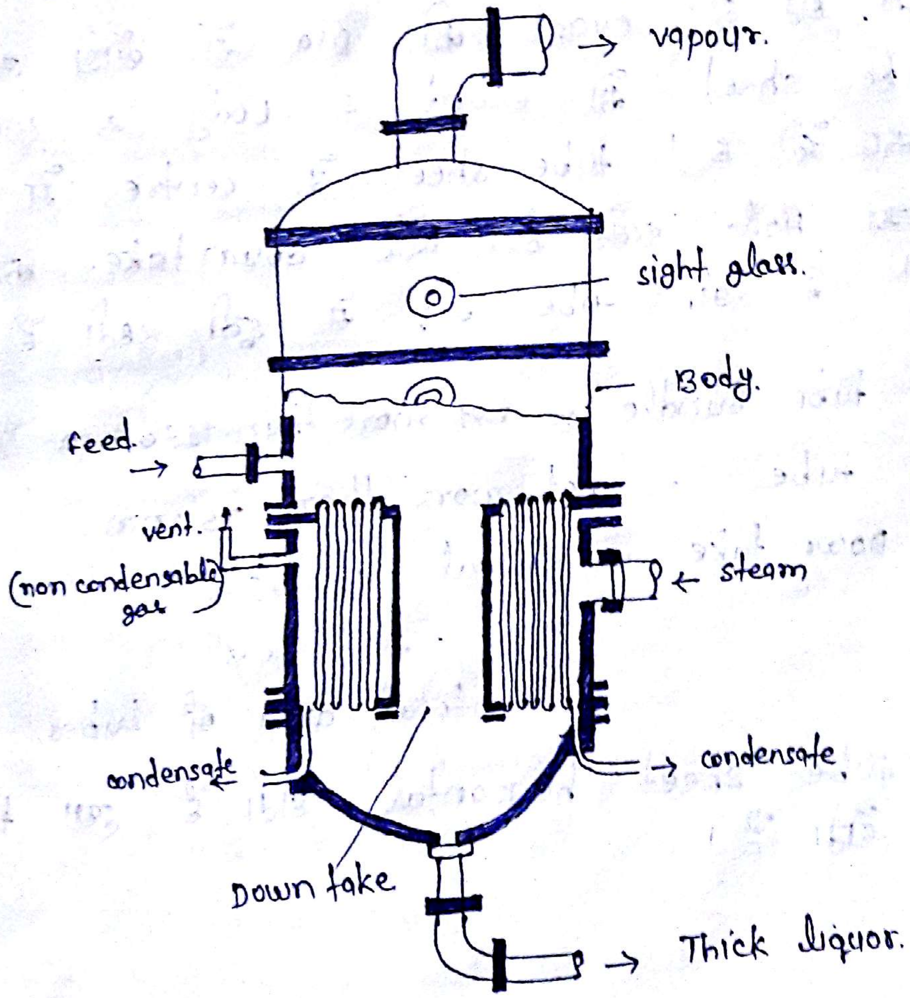
working → इसमे feed को shell side से तथा steam को tube side से देते है, जिससे feed & steam thermal contact मे आते है तथा steam से latent heat feed मे जाती है तथा feed अपने boiling point पर पहुचता है तथा feed जैसे ही होने लगता है तथा feed मे present volatile solvent (like water), vapour मे form होकर top के nozzle से निकल जाता है तथा soln

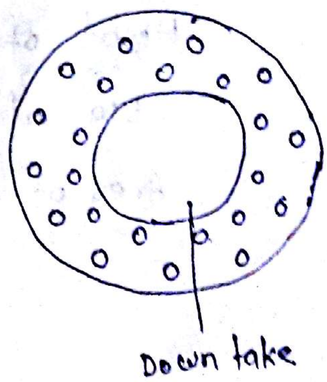
thick solution bottom से प्राप्त हो जाता है।

* Advantages *

* very low head room requirement and large vapour liquid disengaging area
* It is not suited for salting and scaling liquids as deposits form on the outside of the tubes.
* It is commonly employed for small capacity services and for simpler problems of concentration for processes wherein the final product ~~of~~ is liquor such as industrial sirups.

* ~~Imp~~ vertical tube evapt / standard type evapt / Robert type evapt / short tube evapt. *





* Introduction → सबसे पहले vertical tube evapt नहीं बनाया गया, फिर भी यह बहुत लोकप्रिय हुआ। vertical tube evapt सबसे पहले Robert नामक scientist ने बनाया था in 1850. Robert Austria मे एक sugar mill के director थे। अत: इनके नाम पर ही इस evapt को Robert evapt भी कहते है। लोकप्रिय होने की वजह से इसे standard type evapt भी कहते है। short tube इस evapt मे use करते है। अत: इसे evapt को short tube evapt भी कहते है।

* construction → इस evapt मे भी Body मे feed inlet, vapour outlet, & thick liquor outlet के लिए nozzles लगे होते है। evapt की Dia से थोडी अधिक dia की tube sheet को evapt के Body के साथ flange कर देते है। tube sheet के centre मे एक बडे Dia का Hole रखतें है, जिसे down take कहते है इस evapt मे भी tube liq से डूबी रहती है।

Hight of tube bundle = not more than 150 cm
Dia of tube = not more than 75 mm.
Area of Down take = normal 40 - 75 %
max 100 - 150 %
...... total area of tubes.

इसमे tube sheet horizontal होती है तथा tubes vertical होती है।

* working → इस evapt मे shell side से steam तथा tube side से feed solution आती है। जब हम feed को देते है, तो वह पहले bottom मे collect होता है, तथा धीरे.2 level बढ़ता है, तो वह tube मे भरकर ऊपर आता है। जब shell side से steam आती है, तो यह अपनी latent heat solution को देती है, जिससे solution boil होने लगता है तथा vapour बनने लगते है। vapour top से तथा thick liquor को bottom से निकाल लेते है। steam condensate होकर अलग nozzle से निकल जाती है तथा vent gas भी अलग nozzle से निकल जाती है।

* यह evapt scaling material के लिए भी useful है क्योकि इसमे solution tube से होकर जाती है तथा tube की internal surface की cleaning हम easily कर लेते है।

* यह foaming material के लिए useful नही है। क्योकि foam, vapour को impure कर देता है। तथा feed मे present solid material भी loss होगा।

* Advantages *

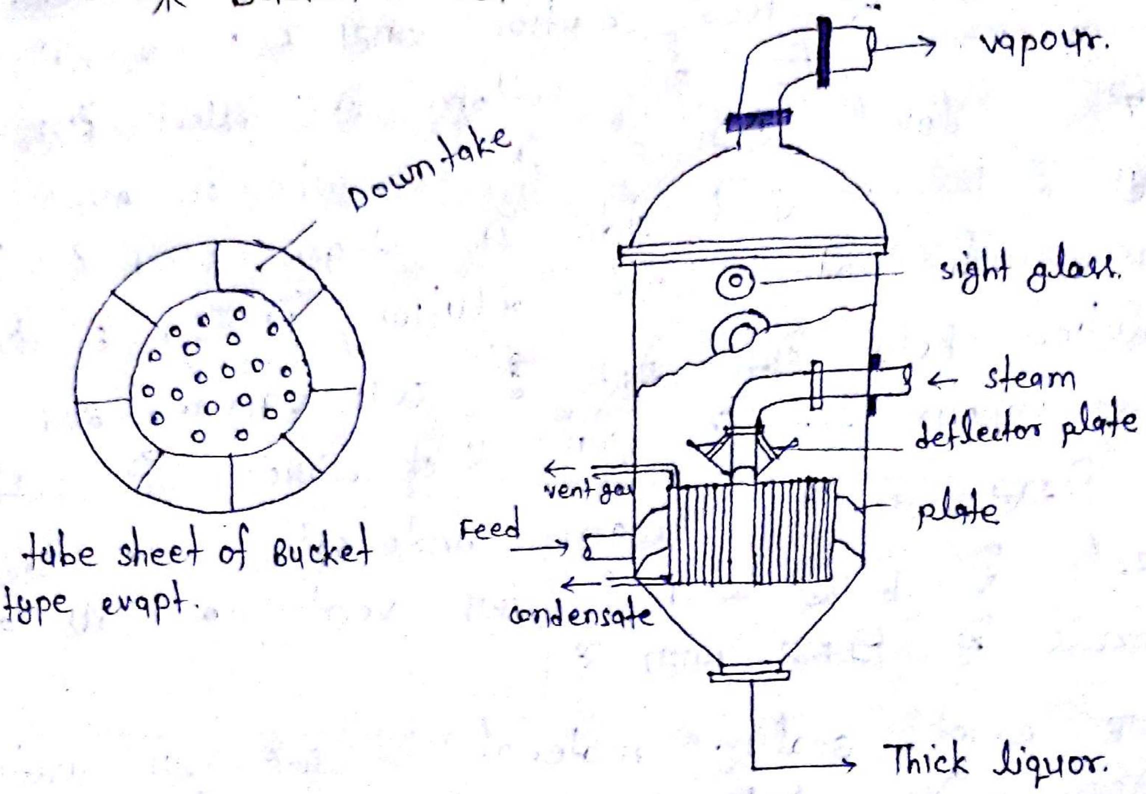
1→ Relatively inexpensive
2→ High heat transfer coefficient
3→ Requires low head room.

* Disadvantage *

1→ Floor space required is large.
2→ since there is no circulation these are not suitable for viscous liquid.

Scanned by CamScanner

* Basket type evapt *



पहला Basket type evapt सन 1877 मे बनाया गया था। इसका working same vertical tube evapt के समान ही है। इस evapt का construction, vertical tube evapt से थोड़ा सा diff है। इस evapt मे diff यह है कि evapt Body & tube bundle के बीच Anular space ही down take होता है तथा इसमे से tube bundle को completely निकालकर cleaning कर लेते है।

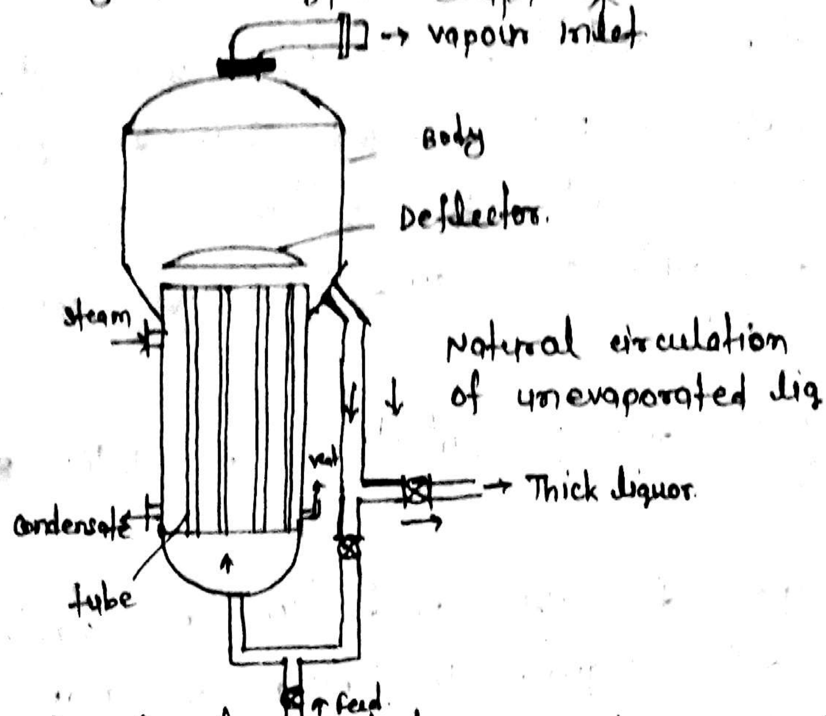
इसमे tube bundle को plate से evapt body से ~~weld~~ Lock nut के through arrange कर देते है ताकि जरूरत पड़ने पर cleaning के लिए tube bundle को निकाला जा सके।

इसमे tube sheet की dia, evapt के dia से छोटी होती है।

यह foaming material के लिए भी useful होता है क्योंकि इसमे difulutor deflector plates होती है, जो foams को रोकते है।

Scanned by CamScanner

* IIrd Long tube type evapt *



Construction → A long tube evapt consists of a long tubes heating element incorporating tubes 25-50 mm in dia ($1\frac{1}{4}$ - $2\frac{1}{2}$ inch) and 4-8 meter in length (10-20 feet).

इसमे नीचे से feed solution को देते है। इसमे steam shell side मे flow होती है।

working → इसमे feed solution को नीचे से tube side से तथा steam को shell side से देते है। starting मे जब हम feed करते है तो इसकी height 2-3 feet रखते है। steam की help से solution गर्म होता है और उसके vapour बनते है। vapour तथा liq दोनो जैसे ही top वाली tube के मुँह से निकलते है vapour तेज आवाज के साथ top से निकल जाता है। अतः इसे calanderia type evapt भी कह सकते है। तथा thick liquor को हम ऊपर से ही प्राप्त कर लेते है। इस evapt मे एक deflector होता है, जो vapour & liq को seperate करता रहता है।

Scanned by CamScanner

* use →

1→ यह scaling solution के लिए use की जाती है क्योंकि इसमे vapour इतनी तेजी से ऊपर जाते है कि tube के wall पर collect होने वाली कणों को ऊपर लेते जाते है | या tube की cleaning easily कर लेते है|

2→ इसका use foamy solution के लिए भी किया जाता है|

3→ इस evapt का use production of condensed milk and black liquor in pulp & paper industry मे करते है|

*. इस type के evapt मे vapour bubble को wipe करते हुए जाता है अतः इसमे Heat flux की value peak heat flux तक नही पहुँच पाता है|

Imp
* Forced circulation evapt *

ये evapt भी Long tube type vertical evapt ही होते है| अन्तर बस इतना है कि ~~उसमे~~ उनमे natural circulation होता है तथा इसमे forced circulation होता है| natural circulation वाले evapt मे enter करने वाली solution की velocity 0.3 - 1.0 m/s तथा forced circulation मे solution की velocity 2- 6 m/s होता है (लगभग 6 गुना)

forced circulation evapt मे solution को एक centrifugal pump से भेजते है| ये evapt भी viscous solution scaling foaming, solution के लिए use किये जाते है|

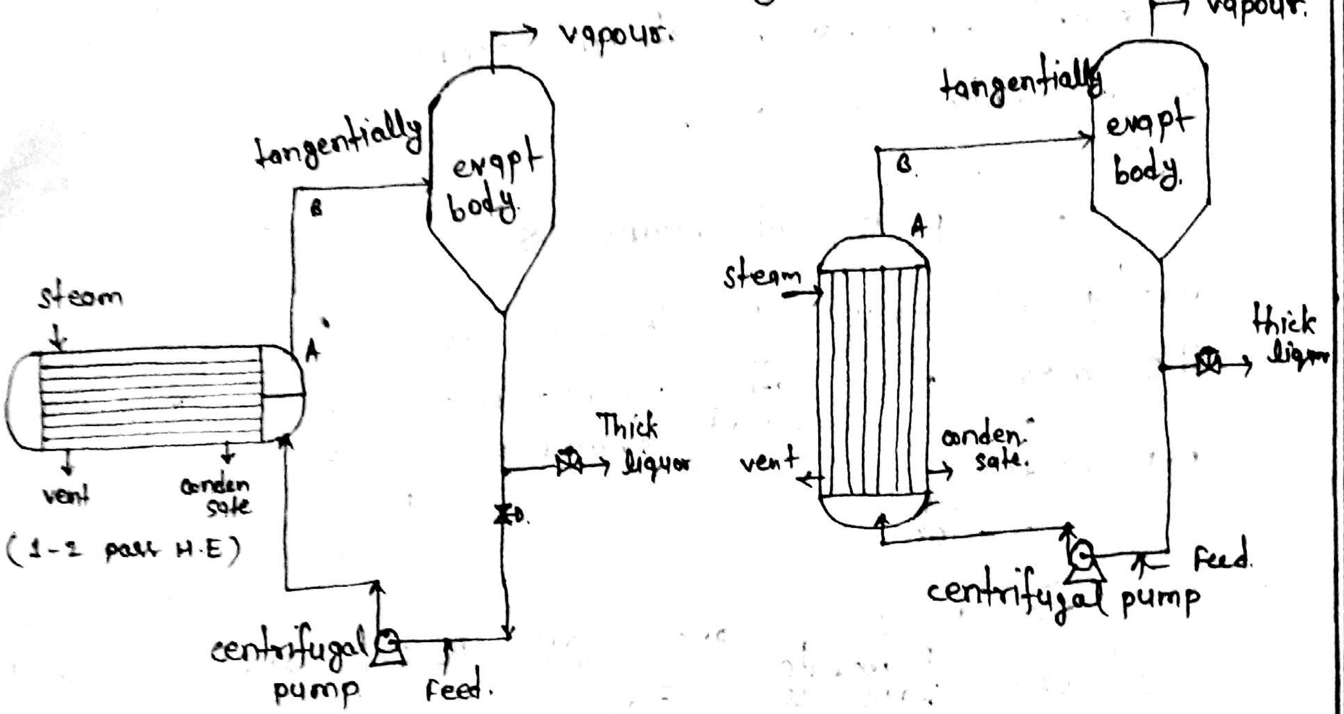
Scanned by CamScanner

मे two type के होते है।

1→ External heating surface → इस type के evapt मे H.E evapt body के बाहर होता है।

2→ internal heating surface → इस type के evapt मे H.E evapt body के अन्दर ही होता है।

* External heating surface *



इस type के evapt मे H.E से निकलने वाली solution पर AB height तक भरी solution का pressure रहता है, जिससे यहा पर solution की Boiling point अधिक होती है। But जैसे ही वह A.B height पर पहुँच जाता है। उस पर AB height का pressure कम हो जाता है, जिसके कारण इसकी boiling point भी low हो जाती है। अब इस solution को जैसे ही evapt body मे tangentially enter कराते है, vapour top से निकल जाता है तथा liq bottom से thick liquor के रूप मे प्राप्त हो जाती है। इस type के evapt को Flash evaporation कहते है।

Scanned by CamScanner

NOTE → Horizontal tube type evapt मे Heat flux का मान peak heat flux तक पहुच सकता है. लेकिन vertical tube type evapt मे नही ।

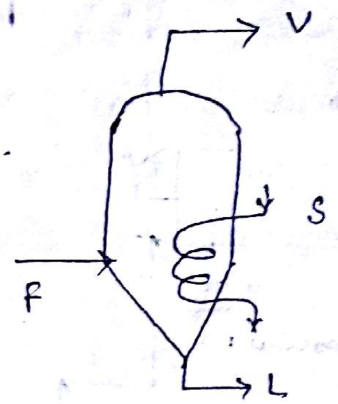
* Important terms for evapt *

किसी भी evapt के गुणवत्ता की जांच निम्न factor के आधार पर की जाती है ।

1→ capacity of evapt
2→ evapt economy or steam economy
3→ consumption of steam.

* capacity of evapt *

capacity of evapt is defined as. the mass (kg) of water/salvent evaporated per hour.



or

1 घंटे मे इस evapt द्वारा जितनी मात्रा water/salvent Evaporate होती है, वह उस evapt की capacity कहलाती है ।

$$\text{Evapt capacity} = \frac{\text{mass of water/salvent (in kg) evaporated}}{\text{time (hr)}}$$

* steam economy *

evapt के H.E मे 1 kg steam देने पर जितनी water evaporate होती है, वह evapt की steam economy होती है ।

or.

It is defined as the kg of water evaporated per kg of steam used in evapt.

$$\text{steam economy} = \frac{\text{water evaporated (kg)}}{\text{steam used in evapt (kg)}}$$

*** consumption of steam ***

It is defined as the ratio of capacity of evapt to steam economy.

$$\text{consumption of steam} = \frac{\text{capacity of evapt}}{\text{steam economy}}$$

$$= \frac{\dfrac{\text{water evaporated (kg)}}{\text{hr.}}}{\dfrac{\text{water evaporated (kg)}}{\text{steam used in evapt (kg)}}}$$

$$\text{Consumption of steam} = \frac{\text{steam used in evapt (kg)}}{\text{hr.}}$$

In other word, the kg of steam used in evapt per hour is known as consumption of steam. (same water evaporated).

* single effect evapt की steam economy, always 1 से कम ही होती है। (max 1 हो सकती है उससे अधिक नहीं).

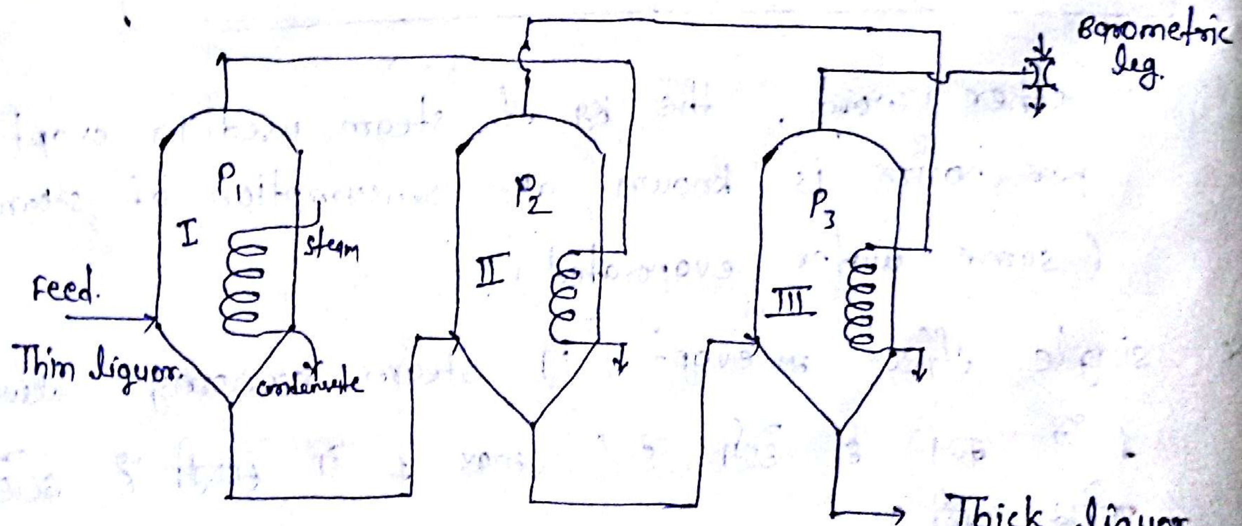
* multiple effect evapt की steam economy always 1 से ज्यादा होती है।

* pressure बढ़ने पर Liquid के latent heat कम होती है तथा pressure के घटने पर Latent heat बढ़ जाती है।

* pressure बढ़ने पर Liquid की sensible heat बढ़ती है, तथा घटने पर घटती है।

* Evapt मे जो steam देते है वह High pressure पर होती है अत: इस steam का latent heat Liq को vapour बनाने के लिए पर्याप्त नही होता है। अत: यही reason है कि single effect evapt मे steam economy 1 से अधिक नही होती है।
(अगर Liq (feed) अपने Boiling point पर होती है, तो steam economy ≈ 1 होती है)

* multiple effect evapt *



$P_1 > P_2 > P_3$

Scanned by CamScanner

जब हम किसी thin liquor को thick liquor मे convert करते है तथा हमे एक evapt मे desire conc नही प्राप्त होती है, तो इस condition मे एक से अधिक evapt का use करते है, तो इस प्रकार के evaporation को multiple effect evaporation तथा evapts को multiple effect evapts कहते है।

* evapt की numbering, steam के flow के according करते है। तथा evapt की counting roman मे करते है।

* last evapt से निकली water vapour को Barometric leg मे दे देते है, जिससे इस evapt मे Low pressure create हो जाती है। तथा उससे पहले वाले evapt मे थोड़ा अधिक pressure होता है तथा पहले evapt का pressure सबसे ज्यादा होता है।

अर्थात् $P_1 > P_2 > P_3$

अत: steam & thick liquor की Handling pressure diff के कारण automatic हो जाती है।

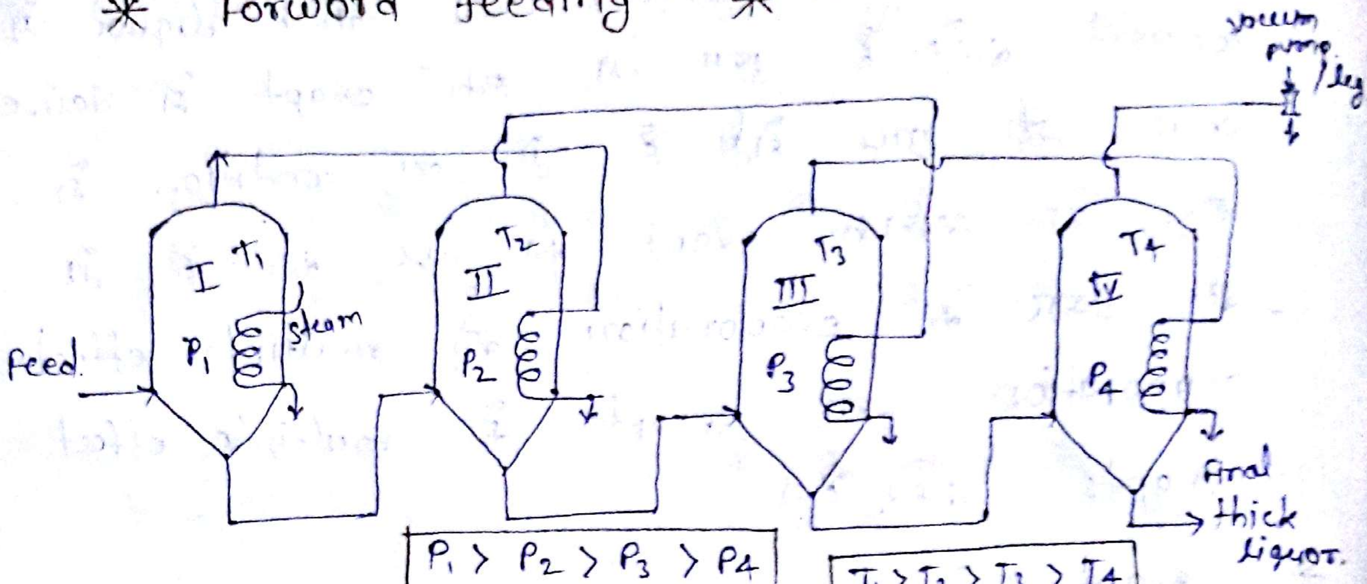
* Imp Types of feeding of multiple effect evapt

* There are four types of feeding of multiple effect evapt.

1→ Forword feeding.
2→ Backword feeding.
3→ Mixed feeding.
4→ Parallel feeding.

Scanned by CamScanner

* Forword feeding *



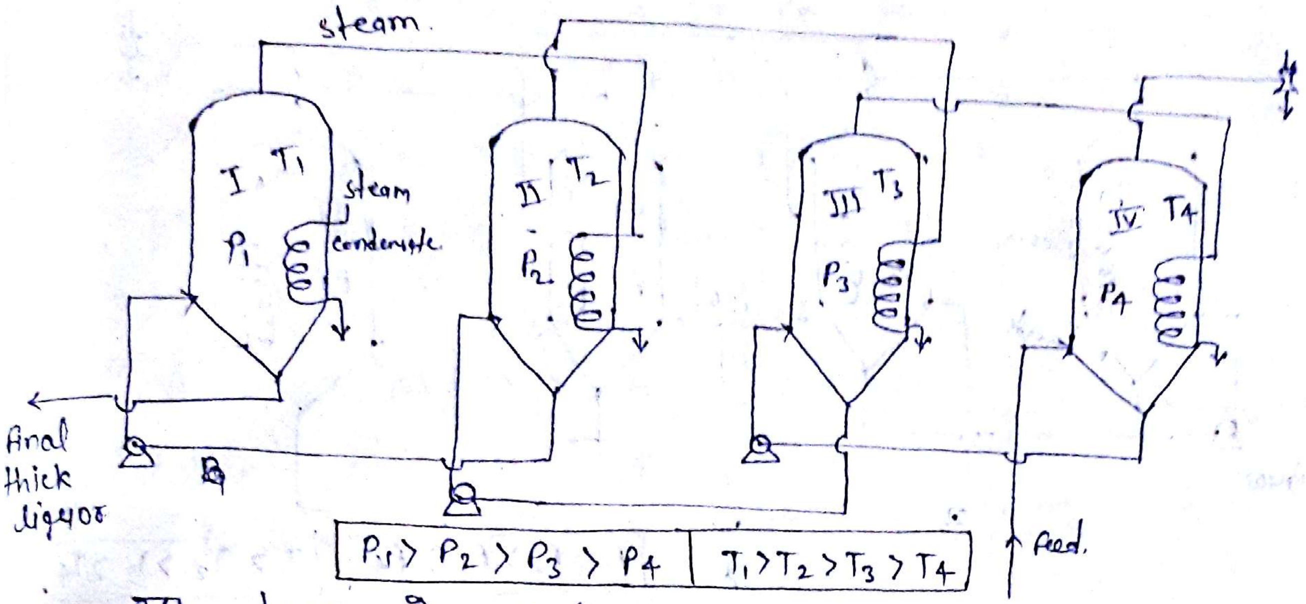
$P_1 > P_2 > P_3 > P_4$

$T_1 > T_2 > T_3 > T_4$

इस type के feeding मे evapts मे feed तथा steam एक ही direction मे दिये जाते है। एक flow की एक ही direction होने के कारण यह co-current arragement होती है। अतः इसमे Heat transfer कम होता है।

इस type of feeding मे solution को एक evapt से दूसरे evapt मे भेजने के लिए pump नही लगाना पडता है। pressure diff के कारण ही solution का Handling हो जाता है multiple effect evapt मे temp क्रमशः घटता जाता है। अतः temp घटने के कारण solution की viscosity बढती जाती है। जिससे N_{Re} कम हो जाता है, फलस्वरुप Heat transfer coe का मान कम हो जाता है, जिससे rate of heat transfer कम होता है।

* Backword feeding *



इस type के feeding मे steam व feed को एक दूसरे के opposite direction मे देते है । यह counter current arragement होती है । अतः इसमे Heat transfer ज्यादा होती है ।

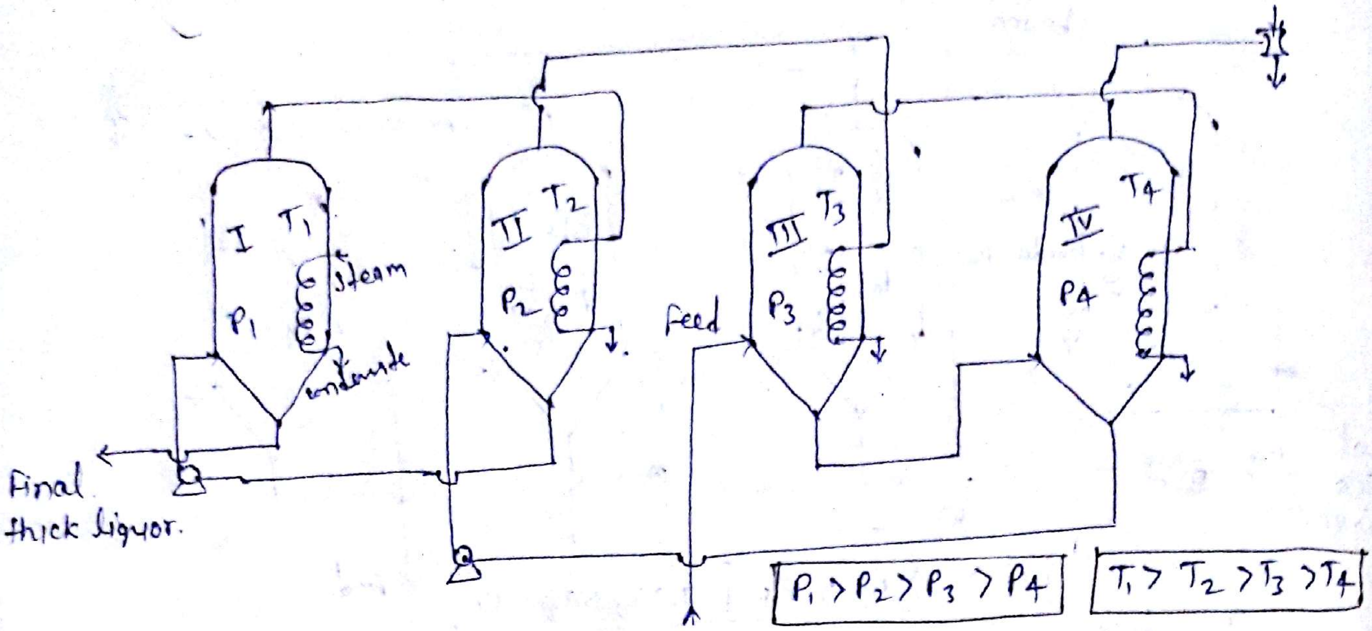
इसमे feed को last evapt मे देते है तथा प्राप्त thick liquor को III evapt मे pump की help से देते है क्योकि ($P_3 > P_4$).

अतः इस type के feeding मे pump लगाना पड़ता है । जैसे-2 feed आगे जाता है, temp बढ़ता जाता है जिससे solution की viscosity घटती जाती है अतः N_{Re} बढ़ता है । अतः Heat transfer बढ़ता है ।

pump लगाने से initial cost बढ़ जाती है।

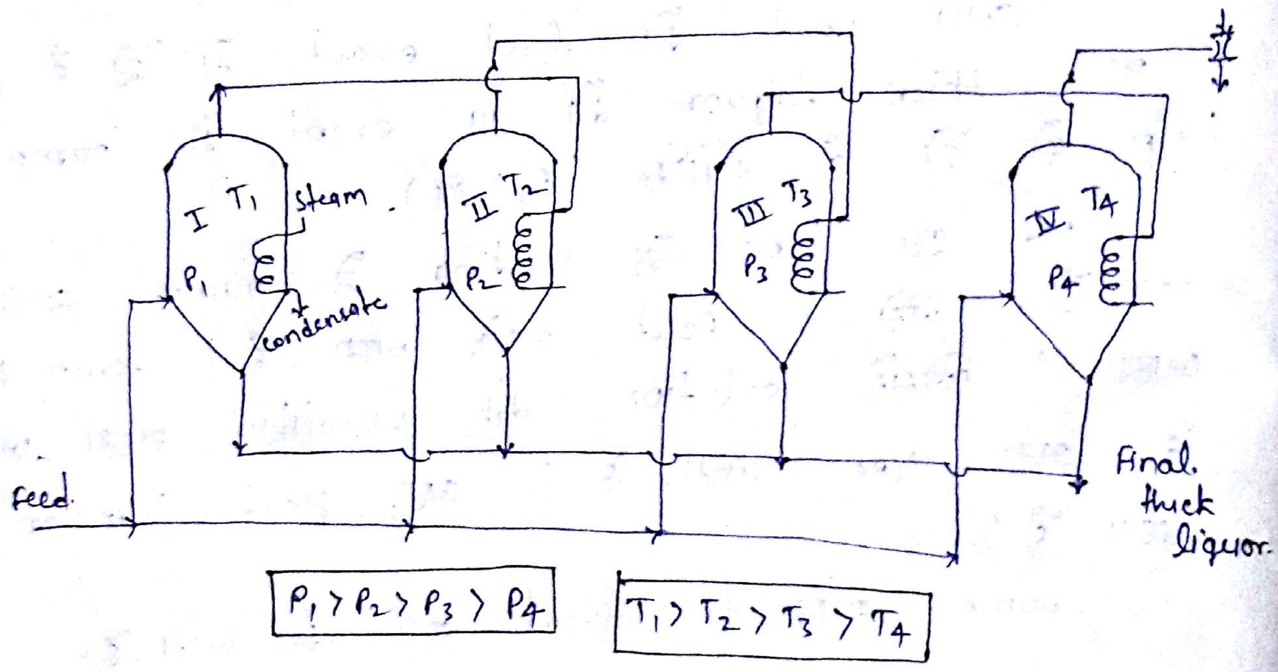
Scanned by CamScanner

* Mixed feeding *



इस type of feeding मे Backword feeding & forword feeding दोनो होती है।

* parallel feeding *



इस type के feeding मे सभी evapt मे feed एक channel से देते है तथा सभी evapt से प्राप्त thick liquor को एक channel मे collect कर लेते है। केवल steam की flow same होती है।

Imp * scale formation *

The solubility of most of the solute increases with the increase of temp & such solutes are known as solutes / salts of normal solubility. but some solutes are their the solubility of which decreases with the increase of temp. such as $CaSO_4$, Na_2SO_4, $Na_2CO_3 \cdot H_2O$ etc. such solutes are known as solute / salt of inverted solubility or reverse solubility..

when such solution is heated, solubility of solute decreases and it is minimum at the wall of heating surface, Because temp at the tube wall surface is highest. precipitates takes place at tube wall. In this precipitates is of adhering nature. there will be formation of hard dense & strong scale of this precipitate. This phenomena is known as scale formation.

* prevention & removal of scale formation *

if velocity of the solution in the heating element & evapt escaped high all the times. scale formation will be minimum. that is why forced circulation type evapt are prefered when the evaporate the solution of scale forming nature.

If scale is formed on the heating surface It can be removed by fallowing methods.

Scanned by CamScanner

1→ If scale is soluble in hot water, only boiling with water will remove the scale.

2→ If scale is not soluble in hot water. It is removed by impting the evapt and drilling out the tubes with scale removing tubes like Auguar & wire brushes.

3→ If scale is removable by chemical solution only. dilute acid (0.5% HCl) or alkali boiling may be done for scale removal such as the scale of $CaSO_4$.

Imp

* Foam & foam formation *

Formation of stable blanket of the bubbles which lies on the surface of boiling liquid is known as foam.

It is very easily seen in the operation of milk boiling. The reasons behind foam formation for mainly two as given.

1→ difference of surface tension of the new layer formed & the surface tension of bulk of the solution.

2→ presence of finely devided particles for the calloidal matters in the solution. besides these two foaming depends upon the nature of liq also.

* prevention & removal of foam formation *

1→ A can be prevented by keeping the liq level below the top of heating surface. so that bubble can be in contact of hot surface & can break.

2→ A steam jet is directed against the layer of the foam at high velocity to break the foam.

3→ ejecting the foam through a ejector & throwing it to a baffle or plate to break the foam.

4→ By addition of sulfonated castor oil, cotton seed oil or other vegetable oils or some of the silicones.

5→ By using deflector in the outlet of heating tube

But complete elemination of foam is not possible.

Imp
* Entrainment *

when bubbles of the vapour burst above the liquid surface the liquid film of the bubbles which was covering the vapour inside it breaks the film changes into tiny droplets of liquid which may differ in size and density. Those particles which are considerably bigger. They may settle back & go back to the liq from with it has comeout. But very lighter particles may rise up with the vapour. because they are unable to settle down and ~~the~~ at the same time. if the vapour velocity is high. they are tiny droplet of the liquid & carried along with the stream of vapour

This phenamena is known as entrainment.
This causes serious loss in liq & causes the contamination of vapour phase.

Scanned by CamScanner

* prevention of entrainment *

prevention of entrainment can be done by following means.

1 → By increasing the dia of vapour space of evapt so that the velocity of vapour may get down.

2 → By providing baffle or deflector on the path of outgoing liq & vapour mixture. This is one kind of sudden change in the direction. of vapour.

3 → Give rotory motion to the mixture of vapour & liquid. by centrifugal force. Liquid will be thrown out to the wall & vapour will leave upside toword the vapour outlet nozzle.

4 → By providing entrainment seperator in the vapour outlet line which also uses the rotory motion of vap liq motion causing the evaporation by centrifugal force.

Imp * Boiling point elevation or Boiling point rise *

Boiling point of solution increases with the increases with concentration. Boiling. point of water & Boiling point of solution both increases with increase of pressure over the water or solution.. Thus the boiling point of water and solution are not same at diff pressure. This diff in boiling point between the boiling point of a solution of particular concentration and the boiling point of pure water at a

Scanned by CamScanner

given ~~temp~~ pressure is known as boiling point rise/elevation

* Duhring rules *

Duhring given has given an emperical eqn between the boiling point of pure water & the Boiling point of particular solution at a given pressure. This rules states that boiling point of a solution is the linear function of the boiling point of pure water at same pressure.

If the boiling point of solution is ploted against the boiling point of pure water at same pressure. A straight line is obtain for a given solution for all diff pressures diff lines of are also obtained on the same way for the solution of diff concentration from such plot the boiling point rise/ elevation can be easily obtain from this plot.

Scanned by CamScanner