

ئەندازىياري گواستنهوهى گهرمى

## Heat Transfer Engineering

ئەم پەرتوكە تەواو نەكر اوە بەشىوہيەكى كاتى لەسەر تۆرى ئىنتەرنىت باركر اوە

كۆرسى يەك و كۆرسى دو

[Email Address: Rawaz7509@gmail.com](mailto:Rawaz7509@gmail.com)

[Email Address: Rawaz7509@yahoo.com](mailto:Rawaz7509@yahoo.com)

Skype: Rawaz-Jalal

S I units

Note: All questions are solved according to the mass and heat transfer data book.

[www.ferhang.com](http://www.ferhang.com) قەرھەنگى ئەندازىياري

## Chapter 1

### Introduction پیشہ کی

#### Heat Energy and Heat Transfer گرمی و گواستنہوی

What is Heat energy?

Heat is a form of energy in transition and it flows from one system to another, without transfer of mass, whenever there is a temperature difference between the systems. Heat always moves from a warmer place to a cooler place.

وزہی گرمی چیہ؟

گرمی شیوہیہ کی وزہیہ لہ گواستنہوی دا وہ لہ سیستہمیکہوہ دہروات بو سیستہمیکیتر بیئہوی بارستای بگواسریتہوی ہرچونیکبیت جیاوازی پلہی گرمی ہہیہ لہنیوان سیستہمہکاندا ، ہمیشہ گرمی لہشویینیکی گرمترہوہ دہجولیت بو شویینیکی ساردتر.

What is Heat transfer?

The science of how heat flows is called heat transfer.

گواستنہوی گرمی چیہ؟

نہو زانستہی لہ چونیتی گواستنہوی گرمی دہکولیتہوی پیدہوتریت گواستنہوی گرمی.

#### Importance of Heat Transfer گرمی گواستنہوی

What is Importance of Heat Transfer?

Heat transfer processes involve the transfer and conversion of energy and therefore, it is essential to determine the specified rate of heat transfer at a specified temperature difference. The design of Equipments like boilers, refrigerators and other heat exchangers require a detailed

analysis of transferring a given amount of heat energy within a specified time. Components like gas/steam turbine blades, combustion chamber walls, electrical machines, electronic gadgets, transformers, bearings, etc require continuous removal of heat energy at a rapid rate in order to avoid their overheating.

### گرنگی گواستنوهی گهرمی چیه؟

پروسه‌کانی گواستنوهی گهرمی به‌ژدارن له گواستنوه و پاراستنی وزه وه له‌بهرئوه بنچینه‌ی دوزینه‌ی بری گهرمی دیار یکراره له جیاوازی پله‌یه‌کی گهرمی دیار یکراره . دیزاینی نامیره‌کهنی وه‌کو بویلهر و به‌فرگرو گویره‌وه گهرمی‌کانیتر پیوستیان به شیکاریکی دریزی گواستنوهی بریکی دیار یکراره وزه‌ی گهرمی هه‌یه له‌کاتیک دیار یکراره . پیکه‌ینار هکانی وه‌ک پهره‌ی تورباینی هه‌لمی و گازی ، دیوار هکانی ژوری سوتان ، مه‌کینه کار ه‌بیه‌کان نامیره ئه‌لکترۆنیه‌کان محاو یله‌کانو بیرینگه‌کانو هه‌تا دوا‌ی پیوسته به‌بهرده‌وامی گهرمی‌ه‌کیان لابیریت له‌کاتیک خیرادا بوئوه‌ی دورین له زورگهرمبون.

### هاوسه‌نگی گهرمی Thermal Equilibrium

#### What is Thermal Equilibrium?

Two bodies are in thermal Equilibrium with each other when they have the same temperature. In nature, heat always flows from hot to cold until thermal Equilibrium is reached. Hot objects in a cooler room will cool to room temperature. Cold objects in a warmer room will heat up to room temperature.

## ھاوسەنگى گەرمى چىيە؟

دو تەن لە ھاوسەنگى گرميدان لەگەل يەكترى كاتىك ھەردوکیان ھەمان پلەيگەرميان ھەبیت. لە سروشدا ، گەرمى ھەمیشە لا گەرمەوہ دەچیت بۆ سارد ھەتا دەگەنە ھاوسەنگیونی گەرمى. شتەگەرمەکان لە ژوریکى ساردا سارددەبن بۆ پلەي گەرمى ژورەكە. شتەساردەكەن لە ژوریکى گەرمدا گەرمەدەبن بۆ پلەي گەرمى ژورەكە.

If a cup of coffee and a red popsicle were left on the table in a room what would happen to them? Why?

The cup of coffee will cool until it reaches room temperature. The popsicle will melt and then the liquid will warm to room temperature.

ئەگەر کوپىك قاوہو چلورەيەكى سور بەجىبەئیرین لەسەر میزىك لە ژورىكدا چىيان بەسەردیت؟ بۆچى؟

كوپە قاوہكە سارددەبیت ھەتا دەگاتە پلەي گەرمى ژورەكە. چلورەكە گەرمەدەبیت ھەتا دەگاتە پلەي گەرمى ژورەكە.

## What are the ways of heat transfer? رینگاكانى گواستنەوہى گەرمى كامانەن؟

The heat transfer processes have been categorized into three basic modes:

کردارەكانى گواستنەوہى گەرمى جياكر اونەتەوہ بۆ سى جۆرى سەرەكى:

1. Conduction گەياندن
2. Convection ھەلگرتن
3. Radiation تيشكدان

## گهيانڊن Conduction

### 1.6 Mechanism of Heat Transfer by Conduction

What is conduction?

Conduction is the transfer of heat through materials by the direct contact of matter. Particles that are very close together can transfer heat energy as they vibrate. This type of heat transfer is called conduction. Dense metals like copper and aluminum are very good thermal conductors.

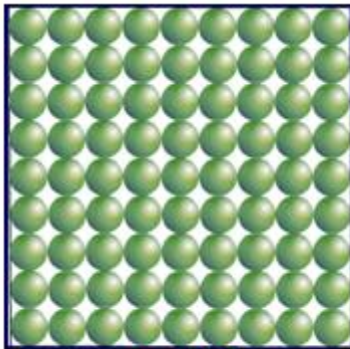
ميڪانيزمي گواستنوهي گهرمي به گهيانڊن

گهيانڊن چيه؟

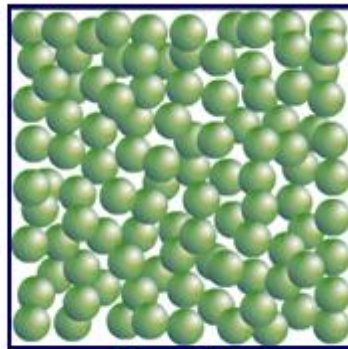
گهيانڊن گواستنوههڪهي گهرميه بهناو گهرستهگاندا به راستهوخوي گهرستهگان. نهو تنوچڪاناي كه زور نزيڪن پيڪهوه دهواننن وزهه گهرمي بگوازنهوه كه دهلهرينهوه. نهه جورهه گواستنوهههه گهرمي پي دهوتريت گهيانڊن. كانزاي پر وهك مس و نهلهمنيوم گهيانهري زور باشي گهرمين.

How are the particles arranged in a solid, a liquid and a gas?

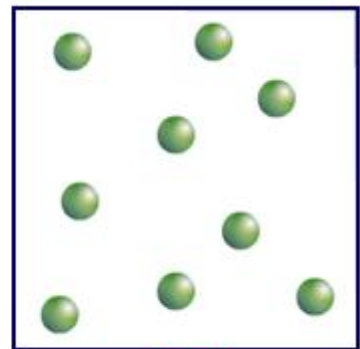
چون تنوچڪهگان له رهق و شله و گازهگاندا ريزبون؟



solid



liquid



gas

Solids usually are better heat conductors than liquids, and liquids are better conductors than gases.

رەقەكان عادەتەن باشتەر گەرمى دەگەيەنن وەك لە شلەكان، و شلەكان باشتەر گەرمى دەگەيەنن وەك لە گازەكان.

The ability to conduct heat often depends more on the structure of a material than on the material itself. For Example, Solid glass is a thermal conductor when it is formed into a beaker or cup. But when glass is spun into fine fibers, the trapped air makes a thermal insulator.

بەزۆرى توانای گەياندى گەرمى زياتر پشت دەبەستتت بە دارشتەكەى كەرەستەكە وەك لەكەرەستەكە خۆى. شوشەى پتەو گەيىنەرىكى گەرمىە كاتىك ئەو پىك هينریت بۆ پيالەيهەك يان كووپىك بەلام كاتىك شوشە دەرىسرىتەناو ريشالە وردەكان، هەوا قەنيسماواكە دەيكاتە جياكارىكى گەرمى.



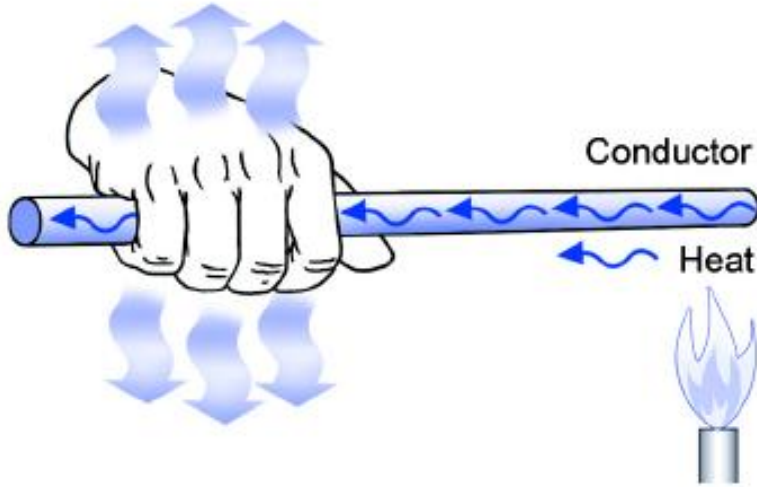
Fiberglass insulation



Fibers and airspaces

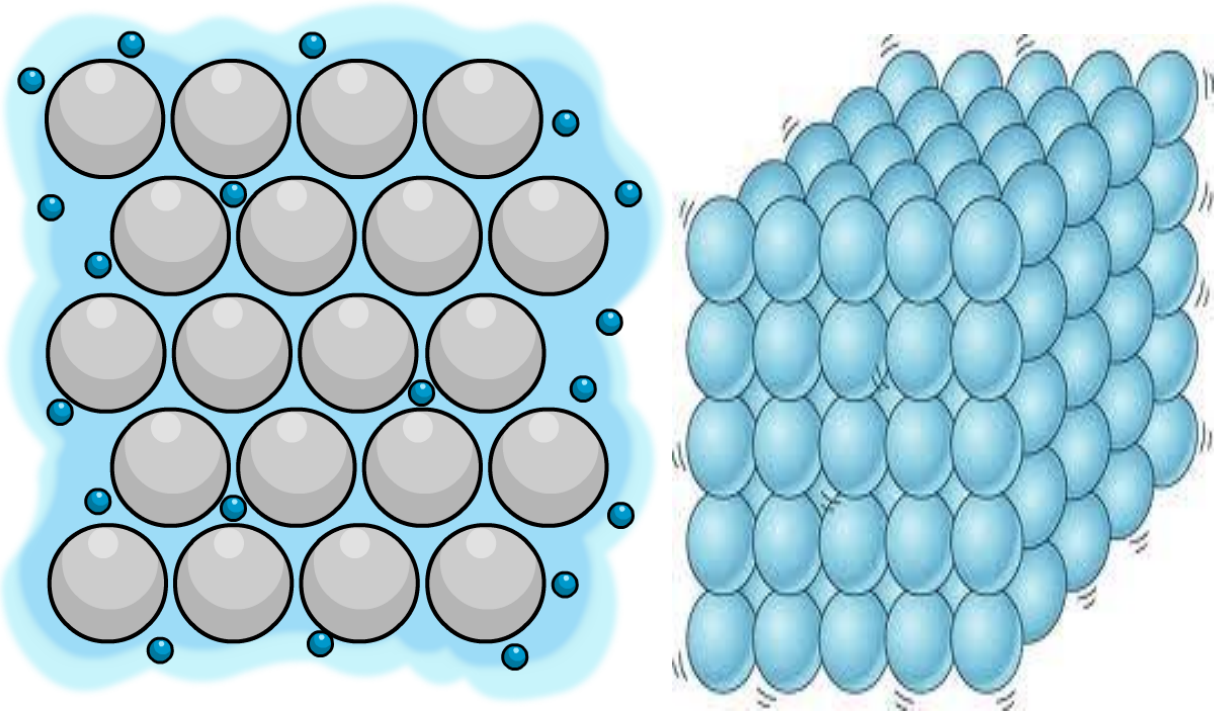
When you heat a metal strip at one end, the heat travels to the other end. As you heat the metal, the particles vibrate, these vibrations make the adjacent particles vibrate, and so on, the vibrations are passed along the metal and so is the heat.

كاتېك شىرتىكى كانزا گەرم دەكەيت لە سەرىكىيەمۇ، گەرمى دەروات بۇ كۆتايىپكەھى تىرى. ھەروەك ئەوھى كە كانزا يەك گەرم دەكەيت، تەنۆچكەكە دەلەرىنەمۇ، ئەم لەرانە وادەكەن تەنۆچكەكانى دراوسىيان بلەرىنەمۇ، وە ھەروەھا، لەرەكە تى دەپەرن بەناو كانزاكەدا وە ئەوھ گەرمىپكەھى.



Metals are different, The outer electrons of metal atoms drift, and are free to move. When the metal is heated, this 'sea of electrons' gain kinetic energy and transfer it throughout the metal. But Insulators, such as wood and plastic, do not have this 'sea of electrons' because of this they do not conduct heat as well as metals.

كانزاكان جىاوازن، ئەلىكترۆنەكانى دەروھى گەردىلەكانى كانزاكە بەرەلان وە ئازادن تا بچولت. كاتېك كانزاكە گەرم كرابىت، ئەم دەرياي ئەلىكترۆنانە جوولە وزەى دەست دەكەوت و دەىگوازىتەمۇ بەناو كانزاكەدا. بەلام جىاكارەكان، وەكو دار و پلاستىك، ئەم دەرياي ئەلىكترۆنانەيان نىبە بەھوى ئەمەمۇ ئەوان گەرمى ناگەينەن ھەروەك كانزاكان.

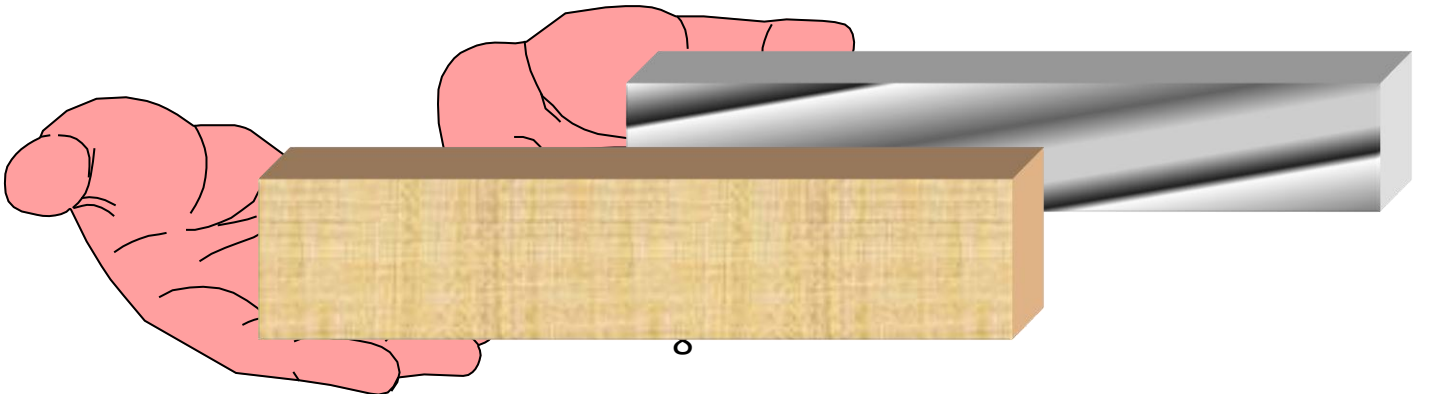


Why does metal feel colder than wood, if they are both at the same temperature?

Metal is a conductor, wood is an insulator. Metal conducts the heat away from your hands. But Wood does not conduct the heat away from your hands as well as the metal, so the wood feels warmer than the metal.

بۆچی كانزا ساردتره له دار، نهگهر نهوان ههر دوو كيان له ههمان پلهی گهرمیشداین؟

كانزا گهیهنهره، دار جیاكاره. كانزا گهرمیهكهی دهگهیهنیت له دهستی توه. بهلام دار گهرمیهكه ناگهیهنیت له دهستی توه وهك كانزاكان، لهبهر نهوه دارهكه له كانزاكه گهرمتر دهردهكهویت.





گواستنهوی گهر مییه بهناو کهر هسته رهقهکاندا وه بری گهر می گواستراوه بههوی ئهم یاسایهوه  
دهدۆز ریتهوه

$$\left( Q = KA \frac{\Delta T}{\Delta x} \right)$$

Where

Q is heat transferred rate with Watt.

K is thermal conductivity of the material.

A is area of the material with  $m^2$ .

$\Delta T$  is change in the temperature.

$\Delta x$  is the distance with m.

لهویادا

Q گهر می گواستراوهیه به وات.

K توانای گهیاندنی گهر می کهر هستهکهییه.

A پرووبهری کهر هستهکهییه به  $m^2$

$\Delta T$  گۆرانه له پلهی گهر مییهکهدا.

$\Delta x$  مهودایهکهییه به متر.

Thermal Conductivity      توانای گهیاندنی گهر می

The thermal conductivity of a material describes how well the material conducts heat.

توانای گهیاندنی گهر می کهر هستهیهک ده ریدهخات چۆن کهر هستهککه باش گهر می دهگوازیتهوه.

**Example 1-1.** One face of a copper plate 3 cm thick is maintained at 400°C, and the other face is maintained at 100°C. How much heat is transferred through the plate?

**نمونه (1.1)** يهك پرووی پلنتیکی مس (3 cm) ئهستور هیلراوتهوه له (400°C) دا، وه پروهکهی تری هیلراوتهوه له (100°C). چند گهرمی گوازاراوتهوه بهناو پلنتهکهدا؟

*Solution.* From Appendix A the thermal conductivity for copper is 370 W/M·°C at 250°C. From Fourier's law

شیکار: له پاشکوی (A) هوه توانای گهیانندی گهرمی بو مس (370 W/M·°C) ه له (250°C). له یاسای فوریروه

$$Q = KA \frac{\Delta T}{\Delta x} \rightarrow \frac{Q}{A} = K \frac{\Delta T}{\Delta x} = \frac{(370)(100 - 400)}{3 * 10} = 3.7 \text{ MW/m}^2$$

## 2. Convection ههنگرتن

Convection is the transfer of heat, occurs by the motion of liquids and gases due to random molecular motion along with the macroscopic motion of the fluid particles. Convection in a gas occurs because of gas expands when heated, hot gas rises and cool gas sink. But Convection in liquids also occurs because of differences in density.

ههنگرتن گواستنهوهی گهرمی به جوولهی شله و گازمهکان رودهدات. بههوی جوولهی ههرمهکی گهردیبهك به دریزی لهگهل جوولهی به چاو بیندراوی تهنوچکهکهی شلگازمهکه. ههنگرتن له گازدا پروو دهدهات بههوی فراوانی گازمهکه کاتیک گهرم دهکریت. گازی گهرم بهرزدهبیتهوه و گازی سارد دینهخوار. بهلام ههنگرتن له شلهکاندا پروو دهدهات بههوی جیاوازی چریبهوه.

Your hand gets hot above the flame...



but not to the side of the flame.



What happens to the particles in a liquid or a gas when you heat them?

The particles spread out and become less dense.

تەنۆچكەكان لە شلەيەكدا يان گازيەكدا چيان بەسەردیت كاتتیک گەرمیان دەكەیت؟

تەنۆچكەكان بۆ دەبنەوه و چریان كەم دەكات.

Fluid movement:

When the flow of gas or liquid comes due to differences in density and temperature zone, it is called natural convection. When the flow of gas or liquid is circulated by pumps or fans it is called forced convection.

Convection depends on speed. Motion increases heat transfer by convection in all fluids.

جوئى شلگاز مگان:

کاتیک لیشاوی گاز یان شله دیت به هوئی جیاوازی له چری و پلهی گهرمیدا، نهوه پیی دهوتریت هه لگرتی سروشتی. کاتیک رویشتی ی گاز یان شله سوورراوتهوه به ترومپاکانهوه یان به ههوادار نهوه پیی دهوتریت هه لگرتی به هیزکراو.

گواستنهوهی گهرمییه به ناوکهر هسته شلگاز مگاندا وه بری گهرمی گواستراوه به هوئی نهه یاسایهوه ده دوزریتنهوه

$$(Q = hA\Delta T)$$

Where

Q is heat transferred rate with Watt.

h is Heat transfer coefficient.

A is surface area of the material with  $m^2$ .

$\Delta T$  is change in the temperature.

لهویدا

Q گهرمی گواستراوهیه به وات.

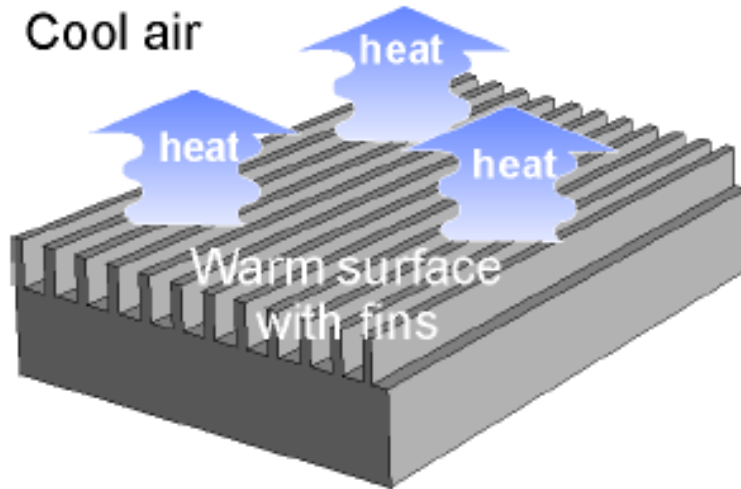
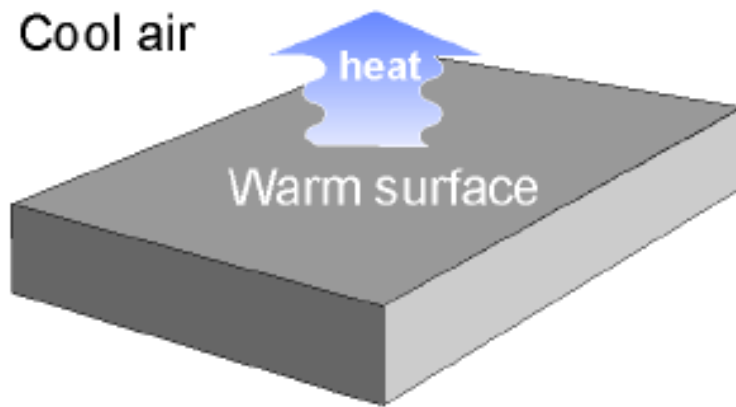
h هاوکولکهی گواستنهوهی گهرمییه.

A پرووبهری رووی کهر هسته کیه به  $(m^2)$ .

$\Delta T$  گورانیه له پلهی گهرمییه که.

Convection depends on surface area. If the surface contacting of the fluid is increased, the rate of heat transfer increases. Almost all devices made for convection have fins for this purpose.

هه‌لگرتن پشت ده‌به‌ستیت به رووبه‌ری روو. نه‌گهر رووی به‌ریه‌ک کهوتتی شلگازه‌که زیاد بکریت، ریژی گواستنه‌وهی گهرمی زۆرده‌بیت. به‌شی زۆری هه‌موو ئامرازه‌کانی که دروست کراون بو هه‌لگرتن، په‌ریان هه‌یه بو ئهم مه‌به‌سته.



**Example 1-2** Air at  $20^{\circ}\text{C}$  blows over a hot plate  $50\text{cm}$  by  $75\text{cm}$  maintained at  $250^{\circ}\text{C}$ . The convection heat transfer coefficient is  $25\text{ W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$ . Calculate the heat transfer.

نمونه (1.2) ههوا له (20°C) ددریټ لهسه پلټیکي گهرمی (50cm) به (75cm) هیشټیراوتتهوه له (250°C) دا. هاوکولکهی گوستنهوهی گهرمی هه لگرتن (25 W/m<sup>2</sup>·°C) ه. گواستنهوهکهی گهرمی ههژمار بکه.

*Solution.* From Newton's law of cooling

شیکار: له یاسای سارد بوونهوهی نیوتنهوه

$$q = hA(T_w - T_\infty)$$

$$= (25)(0.50)(0.75)(250 - 20) = 2.156 \text{ kW}$$

### تیشکدان Radiation

Radiation - It is the energy emitted by matter which is at finite temperature. All forms of matter emit radiation to changes the electron configuration of the constituent atoms or molecules. The transfer of energy by conduction and convection requires the presence of a material medium whereas radiation does not. In fact radiation transfer is most efficient in vacuum.

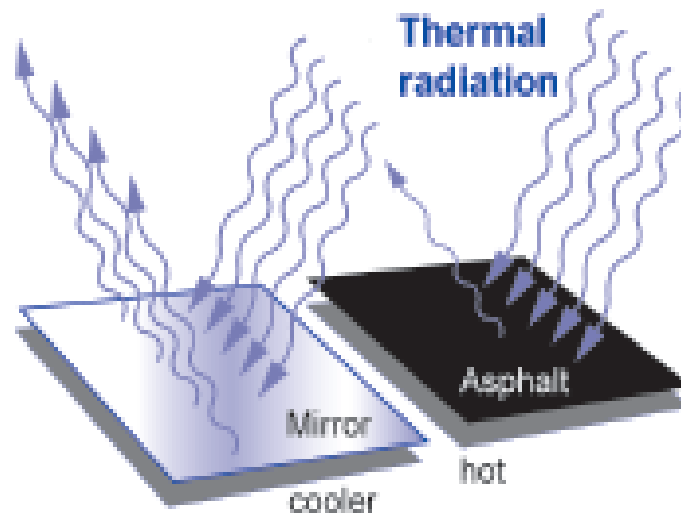
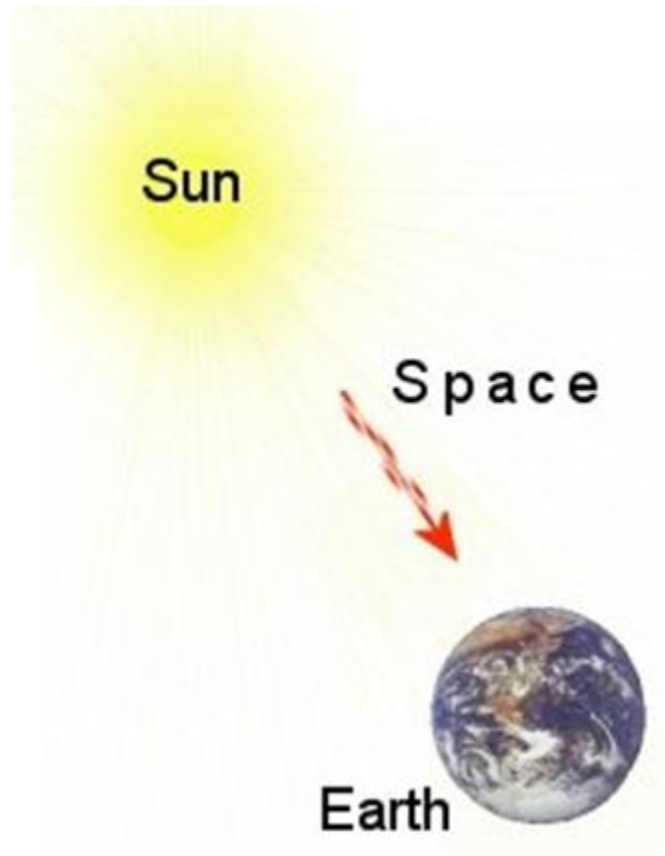
تیشکدان - نهوه وزه که کهرهسته بلاوی دهکاتهوه، که له پلهی گهرمی بهرسووردایه. ههموو شیوهکانی کهرهسته تیشکدان بلاو دهکانهوه بو گورانهکانی ریکخستنی نهلیکترونی گهردیان گهردیله دروستکهرهکان. گواستنهوهی وزه بهگیانندن و هه لگرتن پیویستی به ناکهرهسته بوونی کهرهستهی مامناوهندی ده بیټ کهچی تیشکدان نا. له راستیدا گواستنهوهی تیشکدان له بو شایي کاراتره.

How does heat energy get from the Sun to the Earth?

There are no particles between the Sun and the Earth so it CAN NOT travel by conduction or by convection.

چۆن وزەى گەرمى دەست دەكەوئىت لە خۆرموہ بۆ زەوى؟

ههچ تهنۆچكهيهك لهنيوان خۆر و يدا نيه بۆيه ناتوانئىت به گهياندىن يان بهههنگرتن بگات.



Radiation is heat transfer by electromagnetic waves. Thermal radiation is electromagnetic waves (including light) produced by objects because of their temperature. The higher the temperature of an object, the more thermal radiation it gives off.



تیشکدان گواستنوهی گهرمی به شهپولی کاروموگناتیزی. تیشکدان ی گهرمای شهپولی کاروموگناتیزیه (ههروهك رووناکي) بهرهم هینراوه بهشتهکان بههوی پلهی گهرمیانهوه. پلهی گهرمی بهرزتری شتیک، گهرمای زیاتر تیشکدهدات.

گواستنوهی گهرمی بهناوبوشایدا وه بری گهرمی گواستراوه بههوی نهم یاسایهوه دهدوزیتوه

$$Q = \sigma \epsilon A (T_1^4 - T_2^4)$$

Where

Q is heat transferred rate with Watt.

$\sigma$  is Boltzmann constant and is Equal to  $5.669 * 10^{-8}$

$\epsilon$  is emissivity .

Q گهرمی گواستراوهیه به وات.

( $\sigma$ ) نهگوره و یهکسانه به ( $5.669 * 10^{-8}$ )

$\epsilon$  توانای پهرشکردنهوهیه

**Example 1-5.** Two infinite black plates at 800°C and 300°C exchange heat by radiation. Calculate the heat transfer per unit area.

نمونه (1.1) دوو پلئیتی بیسنووری رهش له (800°C) و (300°C) گهرمی ئالوگوردهکان بهتیشکدان . گواستنوههکی گهرمی ههژمار بکه بهگویزهی رووبهری یهکه.

*Solution.* Equation (1-10) may be employed for this problem, so we find immediately

شیکار: هاوکیشهی (1.10) (لهوانهیه بهکار بهینریت بو نهم گرفته، بویه نئیمه خیرا دهیدوزینهوه

$$q/A = \sigma(T_1^4 - T_2^4)$$

$$= (5.669 \times 10^{-8})(1073^4 - 573^4) = 69.03 \text{ kW/m}^3$$

## Thermal radiation

## تیشكدانى گهرمى

We do not see the thermal radiation because it occurs at infrared wavelengths invisible to the human eye. Objects glow different colors at different temperatures. A rock at room temperature does not “glow”.

The curve for 20°C does not extend into visible wavelengths. As objects heat up they start to give off visible light, or glow. At 600°C objects glow dull red, like the burner on an electric stove. As the temperature rises, thermal radiation produces shorter - wavelength, higher energy light.

ئىمه تيشكدان ى گهرمايى نابىنين چونكه ئهو روو ديدات له دريژى شهپولى تيشكى ژير سوور نه بىنراو بو چاوى مروڤ. تهنهكان پروناكيه جياوازهكان ددهنهوه له پله گهرميه جياوازهكاندا. بهردىك له پلهى گهرمى ژوور نا درهوشيتهوه. چهمانهوهكه بو (20°C) دريژ ناكاتهوه بو ناو دريژى شهپولى بىنراو. كه تهنهكان گهرم دهكرين، دست دهكهن به بهخشىنى پروناكيى بىنراو، يان درهوشانهوه. له (600°C) تهنهكان ددرهوشيننهوه سوريكى تهلخ، وهك سوتينهرىك لهسهر ناگردانىكى كارهباي. كه پلهى گهرمى بهرز دهبيتتهوه، تيشكدانى گهرمى دريژى شهپولى كورت بهرهم دىنييت، وزهى پروناكى بهرز.

At 1,000°C the color is yellow and orange, turning to white at 1,500°C. If you carefully watch a bulb on a dimmer switch, you see its color change as the filament gets hotter.

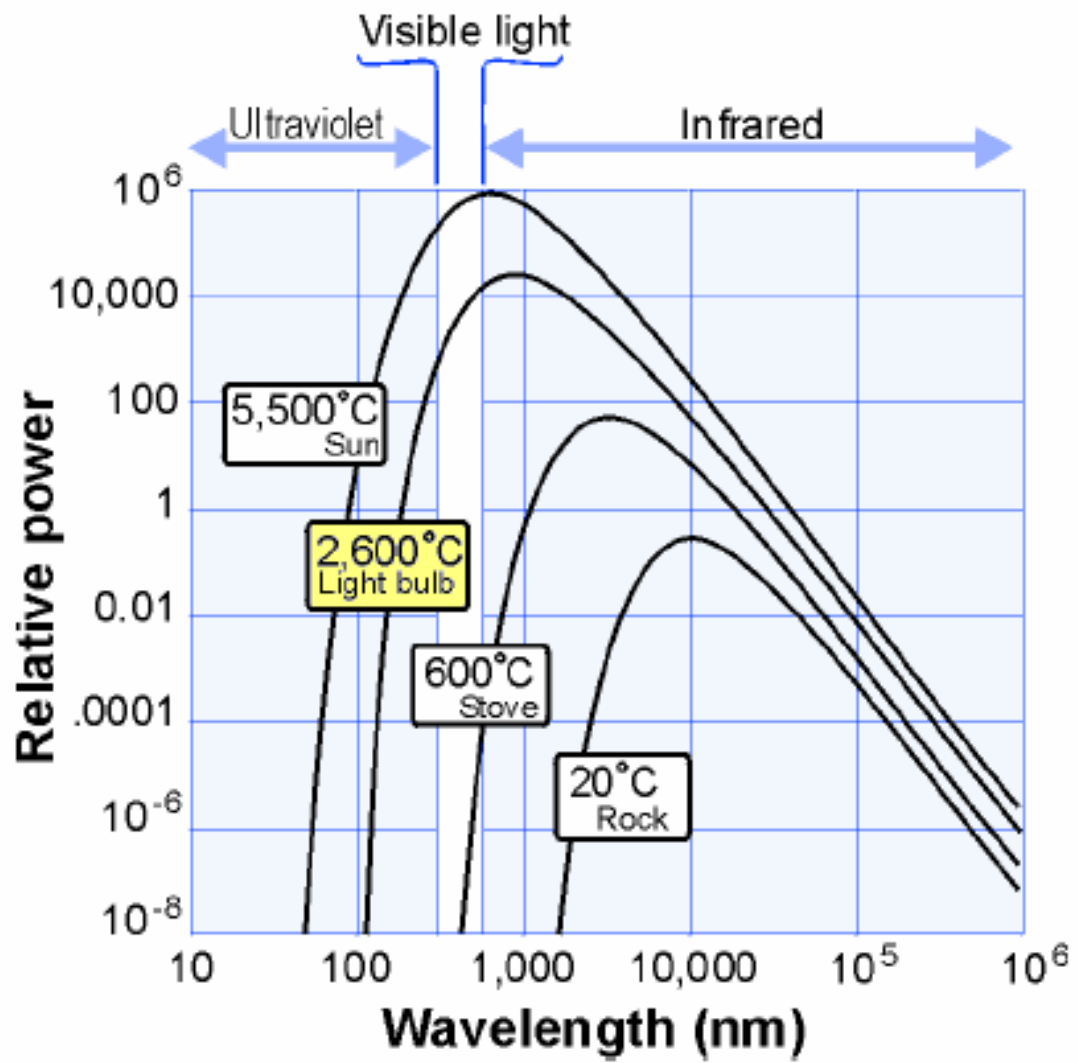
له (1,000°C) ده رنگه که زهره و پرته قالییه، له (1,500°C) دا ده گوریت بو سپی. نه گهر تو به ووریایی ته ماشای گلوپیک بکھیت به سویچیکی کزکهر، تو گورانیی رنگه که ی ده بینیت که ده زوله که ههر متر ده بیت.

The bright white light from a bulb is thermal radiation from an extremely hot filament, near 2,600°C. A perfect blackbody is a surface that reflects nothing and emits pure thermal radiation.

رووناکیی سپی دره وشاوه له گلوپیکی خره وه بریتیه له تیشکدانی گهر می له ده زوله یه کی یه گجار گهر مه وه، نزیك (2,600°C). ته نی ته و او رهش روویه که که هیچ رنگیک ناداته وه و تیشکدان ی گهر مییه کی پوخت بلاو ده کاته.

The white - hot filament of a bulb is a good blackbody because all light from the filament is thermal radiation. The curve for 2,600°C shows that radiation is emitted over the whole range of visible light.

ده زوله یه گهر می سپی هی گلوپیکی خر ته نیکی رهشی باشه چونکه هه موو رووناکییه که ی که له ده زوله که وه تیشکدان ی گهر مییه. چه مانه وه که بو (2,600°C) نیشان ده دات که تیشکدان بلاو کراو ته وه به سهر ته وای مه و دای رووناکیی بینراو.



Thermodynamics and Heat Transfer-Basic Difference

## گهرمی بزاونتن و گواستنوهی گهرمی - جیاوازیی بنه‌رهتی

Thermodynamics is mainly concerned with the conversion of heat energy into other useful forms of energy and is based on (i) the concept of thermal Equilibrium (Zeroth Law), (ii) the First Law (the principle of conservation of energy) and (iii) the Second Law (the direction in which a particular process can take place). Thermodynamics is silent about the heat energy exchange mechanism.

به‌شیوه‌یه‌کی سهره‌کی گهرمی بزاونتن خهریکه به گۆرینی وزه‌ی گهرمییه بۆ شیوه‌ی به‌سوودی تری وزه‌ی وه له‌سهر بنه‌مای (i) چه‌مکی هاوسه‌نگی گهرمی (یاسای سفر) ، (ii) یاسای یه‌که‌م (بنه‌مایه‌کی پاراستنی وزه) و (iii) یاسای دوهم (ئاراسته‌که که تیایدا کرداریکی دیاریکراو ده‌توانییت روو بدات) . بیده‌نگه‌ی دهر‌باره‌ی میکانیزمه‌کی.

The transfer of heat energy between systems can only take place whenever there is a temperature gradient and thus. Heat transfer is basically a non-Equilibrium phenomenon. The Science of heat transfer tells us the rate at which the heat energy can be transferred when there is a thermal non-Equilibrium. That is, the science of heat transfer seeks to do what thermodynamics is inherently unable to do.

گواستنوه‌ی وزه‌ی گهرمی له‌نیوان سیستمه‌کاندا ده‌توانییت رو‌بدات ته‌نها له ههرکاتیکدا که پله‌ی گهرمی پله‌یه‌ هه‌بییت وه که‌واته گواستنوه‌ی گهرمییه بنه‌ره‌ندا دیارده‌یه‌کی هاوسه‌نگ نیه. زانستی گواستنوه‌ی گهرمی پیمان ده‌لیت که ریژه‌یه‌کی گهرمی ده‌توانییت بگوزریته‌وه کاتیک ناهاوسه‌نگی گهرمی هه‌بییت. نه‌وه زانستی گواستنوه‌ی گهرمی دهریده‌خات بۆنه‌وه‌ی بکریت که له‌بنه‌ره‌ندا گهرمی بزاونتن بی‌توانایه بۆ کردنی.

However, the subjects of heat transfer and thermodynamics are highly complimentary. Many heat transfer problems can be solved by applying the principles of conservation of energy (the First Law)

لهگهل ئهوهشدا، بابهتهکانی گواستنهوهی گهرمی و گهرمی بزواتن زور تهواوکهری یهکترن. زور گرفتگی گواستنهوهی گهرمی دهتوانریت چارهسهه بکریت به جیهجی کردنی بنهمای پاراستتی وزه (یاسای یهکهه).

### Dimension and Unit رههههههه و یهکه

Table 1.1 Dimensions and units of various parameters

خشته (1. 1) رههههههه و یهکههه هۆکاری جوراوجور

Parameters	Units <span style="color: blue;">یهکههکان</span>	هیندهکان
Mass	Kilogram, kg	بارستای
Length	metre, m	دریژی
Time	seconds, s	کات
Temperature	Kelvin, K, Celcius °C	پلهی گهرمی
Velocity	metre/second, m/s	خیرای
Density	kg/m <sup>3</sup>	چری
Force	Newton, N = 1 kg m/s <sup>2</sup>	هیز
Pressure	N/m <sup>2</sup> , Pascal, Pa	پهستان
Energy	N-m, = Joule, J	وزه
Work	N-m, = Joule, J	ئیش
Power	J/s, Watt, W	توانا
Thermal Conductivity	W/mK, W/m°C	توانای گهیانندی گهرمی
Heat Transfer Coefficient	W/m <sup>2</sup> K, W/m <sup>2</sup> °C	هاوکۆلکههه گواستنهوههه گهرمی
Specific Heat	J/kg K, J/kg°C	گهرمی جوری
Heat Flux	W/m <sup>2</sup>	لئیشاوی گهرمی

Viscosity	$\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2, \text{Pa}\cdot\text{s}$	لینجی
Kinematic Viscosity	$\text{m}^2/\text{s}$	کاینه ماتیک لینجی

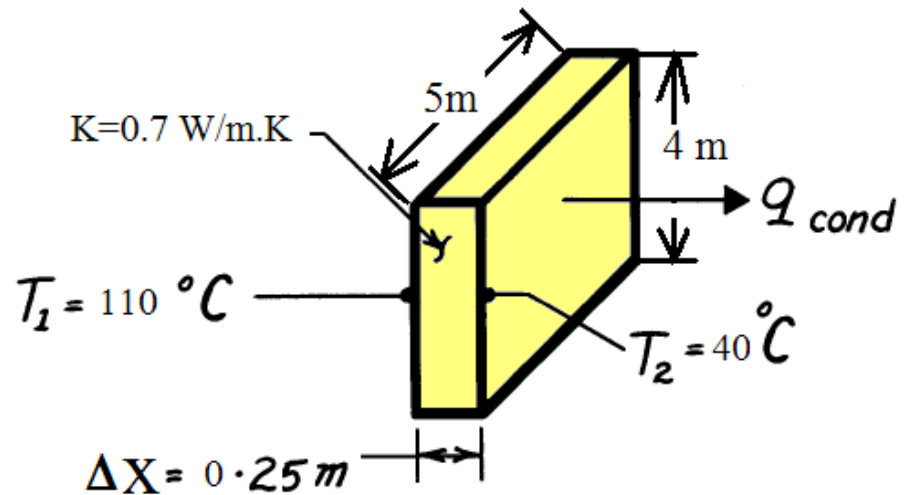
پیداچونهوه review

**Example:** A red brick wall of length 5m, height 4m and thickness 0.25m. The inner surface  $110^\circ\text{C}$  and the outer surface is  $40^\circ\text{C}$ . The thermal conductivity of the red brick,  $k=0.7 \text{ W/mK}$ . Calculate the temperature at a point 20m distance from the inner surface.

نمونه: خشتیکی سووری دیوار، دریژی (5m)، (4m) و ئهستوری (0.25m). رووی ناوهوه ( $110^\circ\text{C}$ ) و دهرهوه ( $40^\circ\text{C}$ ). توانای گهپاندنی گهرمی خشته سوورهکه، ( $k=0.7 \text{ W/mK}$ ). پلهی گهرمیکه ههژمار بکه له خالیک (20m) دور له رووی ناوهوه.

Given: length =  $L=5\text{m}$ , Height =  $h=4\text{m}$ , thickness =  $\Delta x=0.25\text{m}$ ,  $T_1 = 110^\circ\text{C}$ ,  $T_2 = 40^\circ\text{C}$ .

**SCHEMATIC:**



Solution:

$$Q = KA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$$Q = KA \frac{(T_1 - T_2)}{\Delta x}$$

$$Q = 0.7(5 * 4) \frac{(110 - 40)}{0.25} = 3920 \text{ W}$$

$$Q = KA \frac{\Delta T}{\Delta x} \text{ but } x=20\text{cm}=0.2\text{m}$$

$$3920 = 0.7(5 * 4) \frac{(110 - 40)}{0.2} \rightarrow 3920 = 14 * \frac{(110 - T_2)}{0.2}$$

$$56 = 110 - T_2 \rightarrow T_2 = 110 - 56 = 54^\circ\text{C} \text{ (Answer)}$$



**Example:** Calculate the heat transfer by convection over a surface of  $(1.5 \text{ m}^2)$  area if the surface is at  $190^\circ\text{C}$  and the fluid is at  $40^\circ\text{C}$ . The Value of convection heat transfer coefficient is  $25 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ . Also Estimate the temperature change with plate thickness if thermal conductivity of the plate is  $1 \text{ W/m} \cdot \text{K}$

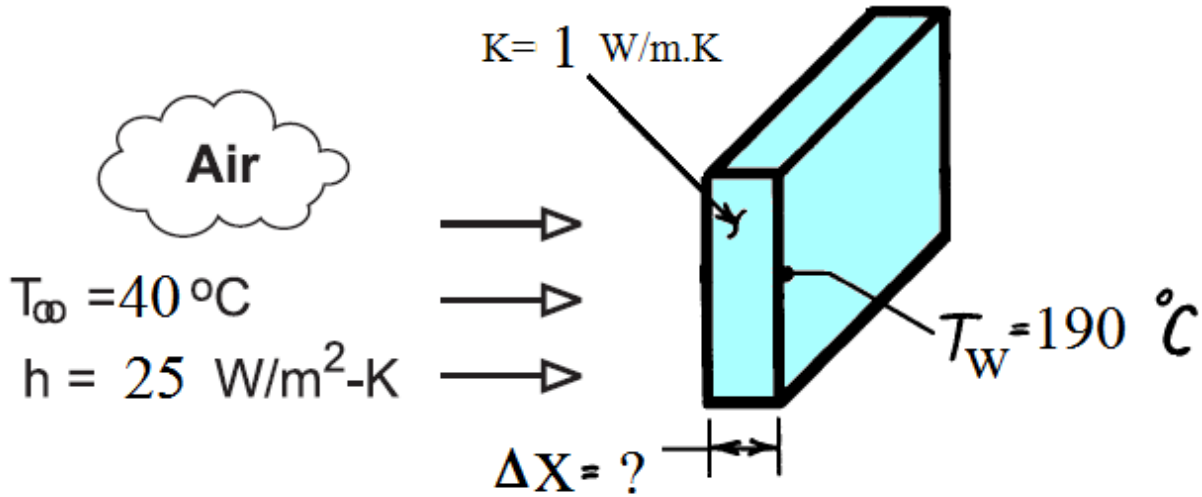
نمونہ: گواستنہوہی گہرمی ہہڑمار بکہ بہہہلگرتن لہسہر پروویہکی پروبہر  $(1 \text{ m}^2)$  نہگہر پروہکہ لہ  $(190^\circ\text{C})$  و شلہکہ لہ  $(40^\circ\text{C})$  بیٹ. نرخی ہاوکولکہکہی گواستنہوہ گہرمی ہہلگرتن  $(25 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K})$  بیٹ. ہہروہا گورانی پلہی گہرمی بخہمنہ لہگہل نہستوریی پلینہکہ نہگہر توانای گہیانندی گہرمی پلینہکہ  $(1 \text{ W/m} \cdot \text{K})$  بیٹ.

Given: Area= $A=1.5 \text{ m}^2$ ,  $T_w = 190^\circ\text{C}$ ,  $T_\infty = 40^\circ\text{C}$ .

Heat transfer coefficient =  $h = 25 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

thermal conductivity of the material =  $K = 1 \text{ W/m} \cdot \text{K}$

**SCHEMATIC:**



Solution:  $Q = hA\Delta T$

$$Q = hA(T_w - T_\infty)$$

$$Q = hA(T_w - T_\infty)$$

$$Q = 25 * 1.5 * (190 - 40)$$

$$Q = 5\,625\text{ W} \quad (\text{Answer})$$

$$Q = KA * \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$$5\,625 = 1 * 1.5 * \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad \rightarrow \quad \frac{\Delta T}{\Delta x} = 3\,750 \frac{\text{K}}{\text{m}} \quad (\text{Answer})$$

**Example:** Two infinite black plates at 800°C and 300°C exchange heat by radiation. Calculate the heat transfer per unit area.

نمونہ: دو پلٹتی بیسنووری رہش له (800°C) و (300°C) دا گہرمی نالوگور دہکن بہتیشکان  
. گواستنہوہکھی گہرمی ہہژمار بکہ له یہکھی روبردا.

Given: black plates means  $(\epsilon) = 100\% = 1.00$ ,

$$T_1 = 800^\circ\text{C} = 1073\text{K}, \quad T_2 = 300^\circ\text{C} = 573\text{K}.$$

Solution:

$$Q = \sigma \epsilon A (T_1^4 - T_2^4)$$

$$\frac{Q}{A} = \sigma \epsilon (T_1^4 - T_2^4)$$

$$\frac{Q}{A} = (5.669 * 10^{-8}) * 1 * (1073^4 - 573^4)$$

$$\frac{Q}{A} = 69.03 \text{ KW}/\text{m}^2 \quad (\text{Answer})$$

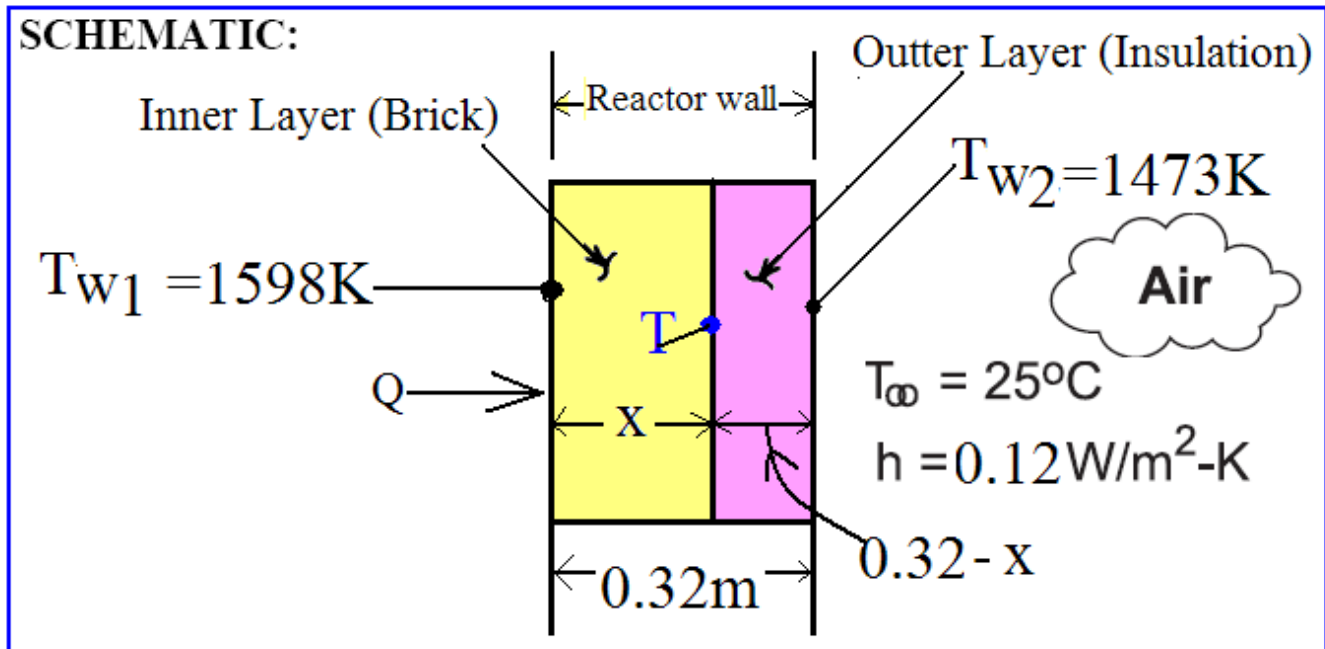
تیبینی: له Radiation دا پیویسته ہہمووکات پلہی گہرمی بہ کلن بیپوریت.

**Example:** a reactor wall, 320mm thick is made up of an inner layer of fiber brick ( $k=0.84 \text{ W/m.K}$ ), covered with a layer of insulation ( $K=0.16 \text{ W/m.K}$ ). the reactor operates at a temperature of  $1325^\circ\text{C}$  and the ambient temperature of  $25^\circ\text{C}$ . If the insulation outer surface not exceeds  $1200^\circ\text{C}$ . convection heat transfer coefficient between outer surface and surrounding is  $0.12 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ . determine the thickness of the fiber brick and insulating material.

نمونہ: دیوارِ کربنی کارتیاکر، (320mm) ٹہستور دروستکراوی چینیکی ناوہکی خشتی ریشال  
 (k=0.84 W/m.K)، داپوشراوہ بہ چینیکی جیاکرموہ (K=0.16 W/m.K). کارتیاکرموہ کہ بہکار  
 دہخرت لہ پلہی گہرمی (325°C) دا و پلہی گہرمی دہوروبہری (25°C). ٹہگہر  
 جیاکرموہ کہ پرووی دہرہوہ (200°C) تی نہپہریت. هاوکولکہی گواستنهوی گہرمی گہرمی  
 لہنیوان پرووی دہرہوہ و چوار دہوری (0.12 W/m<sup>2</sup>.K) ہ. ٹہستوری خشتہ ریشالیہکہ و  
 کہرہستہ جیاکرموہ کہ دیاری بکہ.

**Given:** reactor wall thickness=320mm=0.32m, Thermal conductivity of inner layer (fiber brick) =  $k = 0.84 \text{ W/m.K}$ , Thermal conductivity of outer layer (insulation) =  $k = 0.16 \text{ W/m.K}$ , reactor temperature =  $T_{w1} = 1325^\circ\text{C}$ , ambient temperature =  $T_\infty = 25^\circ\text{C}$ , convection heat transfer coefficient =  $h =$

$$0.12 \frac{W}{m^2} \cdot K, \text{ outer surface} = T_{w2} = 1200^\circ\text{C}.$$



Solution:

$$Q = hA\Delta T$$

$$Q = hA(T_{w1} - T_\infty)$$

$$Q = hA(T_{w1} - T_\infty)$$

$$Q = 0.12 * 1 * (1200 - 25) = 141 \text{ W}$$

For fiber brick:

$$Q = KA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad \rightarrow \quad Q = KA \frac{(T_1 - T_2)}{\Delta x}$$

$$141 = 0.84 * 1 * \frac{(1598 - T)}{x}$$

$$167.85 = \frac{(1598 - T)}{x}$$

$$167.85 * x = 1598 - T$$

$$T = 1598 - 167.85 * x \dots \dots \dots (1)$$

For insulation material:

$$Q = KA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$$Q = KA \frac{(T_1 - T_2)}{\Delta x}$$

$$141 = 0.16 * 1 * \frac{(T - 1473)}{0.32 - x}$$

$$881.25 = \frac{T - 1473}{0.32 - x} \dots \dots \dots (2)$$

Substituting Equation (1) into Equation (2)

$$881.25 = \frac{(1598 - 167.85 * x) - 1473}{0.32 - x}$$

$$881.25 = \frac{125 - 167.85 * x}{0.32 - x}$$

$$881.25 (0.32 - x) = 125 - 167.85 * x$$

$$282 - 881.25 * x = 125 - 167.85 * x$$

$$282 - 125 = 881.25 * x - 167.85 * x$$

$$157 = 713.4 * x \rightarrow x = \frac{157}{713.4} = 0.22 \text{ m}$$

the thickness of the fiber brick=  $x = 0.22 \text{ m}$  (Answer)

insulating material=  $0.32 - x = 0.32 - 0.22 = 0.10 \text{ m}$  (Answer)

چۆنیهتی بهکار هیئانی Data Book:

دۆزینهوی properties value ی کهرهستهکان.

ئهگر پیویستمان بهدۆزینهوی density( $\rho$ ) یان specific heat(C) یان thermal conductivity(k) بوو له پلهی گهرمی ( $60^{\circ}\text{C}$ ) دا بو کهرهستهیهکی دیاریکراو، ئهوا دهبیئت بزانی کهرهستهکه له چ دۆخیکدایه (رهقه یان شله یان گازه) ئهگر کهرهستهکهمان ئاو بوو ئهوا لهدۆخی شلیدایهوه دهبیئت له لاپهره 21 دا سیفتهکانی (properties) هکانی بدۆزینهوه. له پلهی گهرمی ( $60^{\circ}\text{C}$ ) دا، سیفتهکانی (properties) هکانی ئاو ئهمانهیه:

densit	Kinematic	Thermal	Prandtl	specific	thermal
y ( $\rho$ )	viscosity( $\nu$ )	diffusivity	Number(Pr)	heat( C)	conductivity
					(k)

985	0.478	0.1553	3.020	4183	0.6513
	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-6}$			

به لام له پله ی گهر می (°C50) دا سیفته کانی ئاو نهدراوه ، پیویسته سیفته کانی (properties) هکانی ئاو له پله ی گهر می (°C40) دا وه له پله ی گهر می (°C60) دا بدوزینه هو ، وه ههر سیفته تیک له ههر دو پله گهر می که دا بهیه که وه کوډه کهینه هو دابه شی دووی دهکین . بهم شیوازه ههموو سیفته کانی (properties) هکانی ئاو له پله ی گهر می (°C50) دا ددوزینه هو.

وه ههر وه ها له پله ی گهر می (°C48) وه له پله ی گهر می (°C45) دا سیفته کانی ئاو نهدراوه ، له بهر نهوه ی ئهم پله گهر میانه زور نزیکن له پله ی گهر می (°C50) هو ، ئهوا ئهم پله گهر میانه به (°C50) داده نین واته سیفته کانی (properties) هکانی ئاو له پله ی گهر می (°C50) دا ددوزینه هو له جیگای پله ی گهر می (°C48) یان پله ی گهر می (°C45) دا بهکاری ده نین.

دوزینه هو ی properties value ی کهرسته کانی تریش به ههمان شیوه ده بیته .  
دو زینه هو ی یاساکان:

ههر بابه تیکی heat transfer چهند یاسایه کی تایبته به خو ی هیه . له ناو Data Book هکه دا له ژیر ناوی ههر بابه تیکدا ، ئهوا یاسانه نوسراوه که له و بابه تها به کار دین.

## پرسیاری هه لگرتن Convection questions

Why does hot air rise and cold air sink?

*Cool air is more dense than warm air.*

بوچی ههوا ی گهرم بهرز ده بیته وه و ههوا ی سارد دیته خوار وه؟

ههوا ی سارد چر تره له ههوا ی گهرم.

Why are boilers placed beneath hot water tanks in people's homes?  
*Hot water rises. So when the boiler heats the water, and the hot water rises, the water tank is filled with hot water.*

بۆچى كولىنەرەكان دانراون لەژىر تانكى ئاوى گەرم لە مالى خەلك؟

ئاوى گەرم بەرز دەبىتەو. كەواتە كاتىك كولىنەرەكە ئاوەكە گەرم دەكات ، و ئاوە گەرمەكە بەرز دەبىتەو، تانكى ئاوەكە پر دەبىت لە ئاوى گەرم.

### Radiation questions      پرسىارى تىشكدان

Why are houses painted white in hot countries?  
*White reflects heat radiation and keeps the house cooler.*

بۆچى لە ولاتە گەرمەكاندا، خانووەكان بۆياخى سپى دەكرين؟

سپى تىشكدان ى گەرمى رەنگ دەدەنەو و خانووەكە ساردتر دەهیلنەو

Why are shiny foil blankets wrapped around marathon runners at the end of a race?

*The shiny metal reflects the heat radiation from the runner back in, this stops the runner getting cold..*

بۆچى پەتوى چىنى كانزای برىقەدار دەپچریت لە دەورى راکەرى ماراسون لە كۆتايى پىشبركيدا؟

كانزای برىقەدار تىشكدانى گەرمى رەنگ دەداتەو لە پشتى راکەرەكەو، ئەمەش وەستانى راکەرەكە سارد را دەگریت.



1. Which of the following is not a method of heat transfer?

A. Radiation B. Insulation C. Conduction

Answer : B

1. کام لهمانه ریگهیهکی گواستنوهی گهرمی نیه؟

A. تیشکدان B. دابیرین C. گهیاندن

وهلام: B

2. In which of the following are the particles closest together?

A. Solid B. Liquid C. Gas D. Fluid

Answer : A

2. له کام لهمانهدا تهنوچکهکه نزیکتترین پیکهوهیه؟

A. رهق B. شله C. گاز D. شلگاز

وهلام: A

3. How does heat energy reach the Earth from the Sun?

A. Radiation B. Conduction C. Convection D. Insulation

Answer : A

3. چون وزه ی گهرمی دهگات زهوی له خورهوه؟

A. تیشکدان B. گهیاندن C. ههلگرتن D. دابیرین

وهلام: A

4. Which is the best surface for reflecting heat radiation?

A. Shiny white B. Dull white C. Shiny black D. Dull black

Answer : A

4. كامه باشتريڻ پرووه بو رهنگ دانهوه تيشكدان ي گهرمي؟

A. بريقهدار سپي B. سپي تهلخ C. رهشي بريقهدار D. رهشي تهلخ

وهلامي: رهشي تهلخ

5. Which is the best surface for absorbing heat radiation?

A. Shiny white B. Dull white C. Shiny black D. Dull black

Answer : A

5. كامه باشتريڻ پرووه بو مژين تيشكدان ي گهرمي؟

A. بريقهدار سپي B. سپي تهلخ C. رهشي بريقهدار D. رهشي تهلخ

وهلامي: رهشي تهلخ

## Chapter 2

### STEADY STATE CONDUCTION - ONE DIMENSION

#### بەش 2

حالتی جیگیری گەیاندن - یەك رەهەند

Temperature in a system remains constant with time. Temperature varies with location.

پلەى گەرمى له سیستمەمێك بە نەگۆرى دەمینیتهوه بە تێپەربونى كات. پلەى گەرمى دەگۆریت لەگەڵ شوین.

Thermal diffusivity is a physical property of the material, and is the ratio of the material's ability to transport energy to its capacity to store energy. It is an essential parameter for transient processes of heat flow and defines the rate of change in temperature. In general, metallic solids have higher Thermal diffusivity, while nonmetallics, like paraffin, have a lower value of Thermal diffusivity. Materials having large Thermal diffusivity respond quickly to changes in their thermal environment, while materials having lower a respond very slowly, take a longer time to reach a new Equilibrium condition.

پەرشبۆنەوێ گەرمی سیفەتی فیزیای کەرەستەکەییە، وە بریتییە لە رێژەیی توانای کەرەستەکە بەرەمبەر بگواستتەوێ وزە بۆ تواناکەیی بۆ پاشەکەوت کردنی وزە. ئەو هۆکارێکی گەرمی بۆ کرداری تێپەراندنەکانی رۆیشتنی گەرمی و پێناسەکردنی رێژەیی گۆران لە پلەیی گەرمیدا. بەگشتی، کانزا رەقەکان پەرشبۆنەوێ گەرمی ( $\alpha$ ) بەرزیان هەیە، لەکاتی کە ناکانزاکان، وە ک پارافین، پەرشبۆنەوێ گەرمی نزمترین هەیە. ئەو مادانەیی کە پەرشبۆنەوێ گەرمی بەرزیان هەیە، وەلامی خێرایان هەیە بۆ گۆرانکارێکەکان لە کەشی گەرمیاندا، لەکاتی کە ئەو مادانەیی کە پەرشبۆنەوێ گەرمی نزمیان هەیە، زۆر بە هیواشی وەلامیان هەیە، کاتی کە زیاتر دەخایەنیت بۆ گەیشتن بە حالەتێکی هاوسەنگی تازە.

1. Several plane Walls together (Thermal resistance).
2. Heat generation.
3. Types of fin.

چەند دیوارێکی تەخت پێکەوێ (بەرگری گەرمی).

پەیدا بونی گەرمی.

جۆری پەرهکە.

## Several plane Walls together (Thermal resistance).

A plane wall is considered to be made out of a constant thermal conductivity material and extends to infinity in the Y- and Z- direction. The wall is assumed to be homogeneous and isotropic, heat flow is one - dimensional

چەند دیواریکی تەخت پیکهوه (بەرگری گەرمی) .

دیواریکی تەخت دادەنریت تا بکریته کەرستیهکی گەیهنەری توانا نەگۆری وە دریزی بکاتەوه بو نا کۆتایی بە ئاراستەیی (Y-) و (Z-) . دیوارەکه وا دا نراوه ببیت بە چونیەکه و ئایزۆتروپیک، رویشتنی گەرمی یەک رەهەندیە.

Thermal Resistances and Thermal Circuits: بەرگری گەرمی و سوورەکانی گەرمی:

From page 43 in the Data book:

له لاپەرەوه ٤٣ له کتیبەکهی زانیاری:

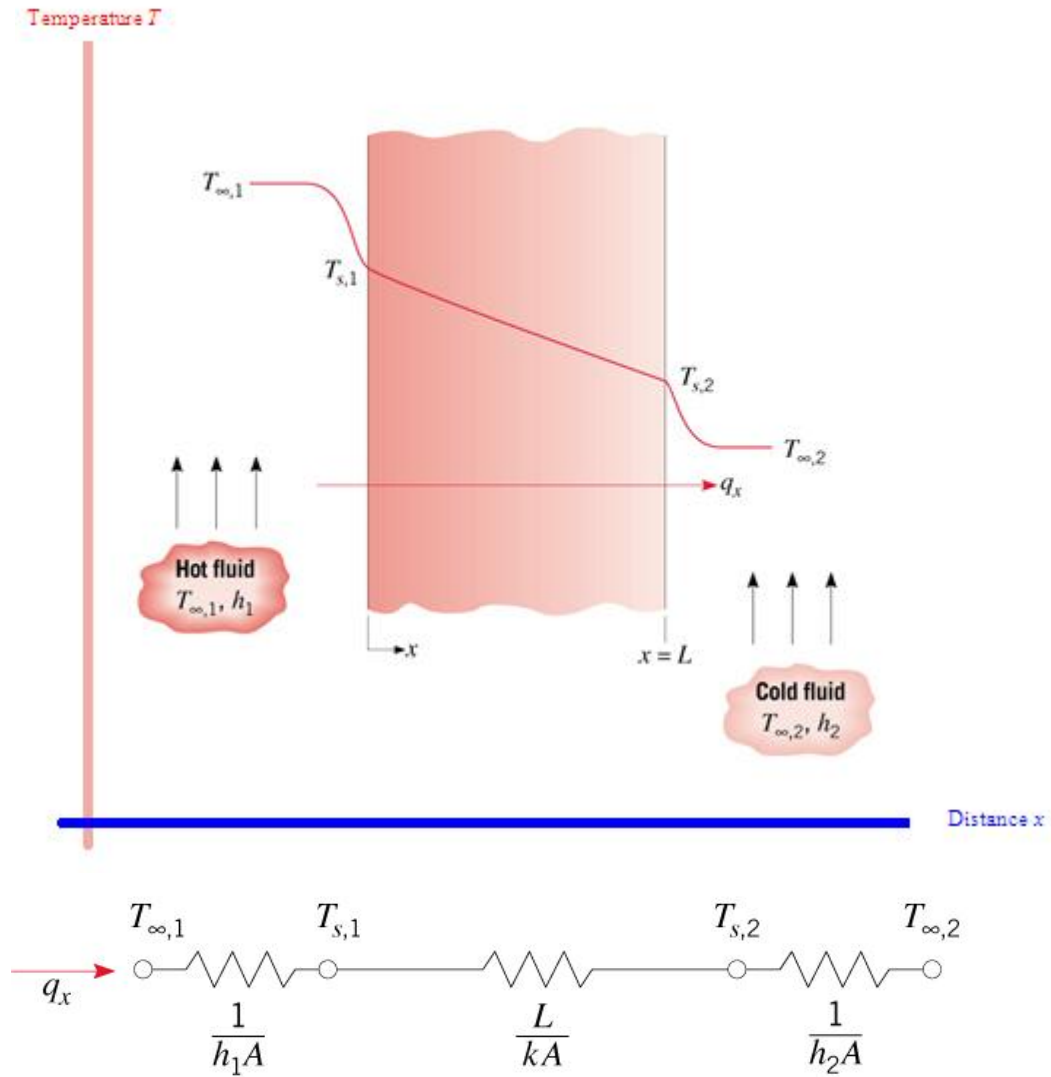
$$Q = \frac{\Delta T}{\sum R}$$

Conduction in a plane wall:  $R_{cond} = \frac{L}{KA}$

Convection:  $R_{conv} = \frac{1}{hA}$

Consider a plane wall is between two fluids of different temperature:

وایدابنی دیواریکی تەخت لەنیوان دوو شلهی پله گەرمی جیاوازدایه



$$\sum R = R_{conv 1} + R_{cond} + R_{conv 2}$$

Overall Heat Transfer Coefficient ( $U$ ) : A modified form of Newton's Law of Cooling to encompass multiple resistances to heat transfer.

ھاو کۆلکەھێ گەشتی گواستەھوێ گەرمی ( $U$ ) : بریتییە لە شێوێھێکی یاسای سارد بوونەھوێ نیوتن بۆ کۆکردنەھوێ فرە بەرگریەکان بۆ گواستەھوێ گەرمی.

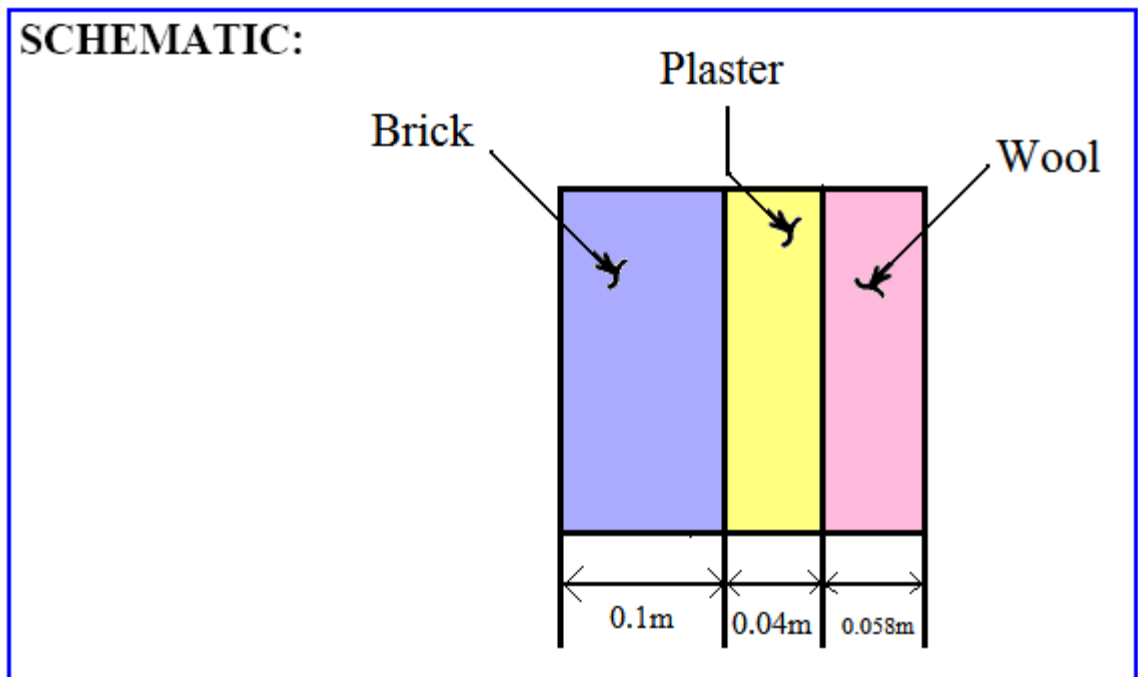
$$q = UA\Delta T$$

**Example:** An exterior wall of a house is constructed by a 0.1m layer of common brick ( $k=0.7 \text{ W/m.K}$ ) and a 0.04m layer of gypsum ( $k=0.48 \text{ W/m.K}$ ) then followed by 0.058m loosely packed rock with wool insulation ( $k=0.065 \text{ W/m.K}$ ). If the temperature difference through composite wall is  $20^\circ\text{C}$ . Find the amount of heat is transferring.

نمونه: دیوار یکی دهر کی خانویهك دروست کراوه به چینیکی (0.1m) ی خستی ناسای ( $k=0.7 \text{ W/m.K}$ ) وه چینیکی (0.04m) ی بهردی دهباشیر ( $k=0.48 \text{ W/m.K}$ ) پاشان (0.058m) بهردی پیچراوه دیت به خوری جیاکهرهوه ( $k=0.065 \text{ W/m.K}$ ). نهگهر جیاوای پلهی گهرمی بهناو دیواره پیکهینهرمهکدا ( $20^\circ\text{C}$ ) بیت. بری نهو گهرمی بهدۆزهرهوه که دهگوازیتهوه.

**Given:** Thermal conductivity of brick  $K_b = 0.7 \text{ W/m.K}$ , thermal conductivity of Plaster  $K_p = 0.48 \text{ W/m.K}$ , thermal conductivity of wool  $K_w = 0.065 \text{ W/m.K}$ ,

Temperature difference  $= \Delta T = 20^\circ\text{C} = 293 \text{ K}$



**Solution:**

From page 43 in the Data book:

$$Q = \frac{\Delta T}{\sum R}$$

$$\sum R = R_b + R_p + R_w$$

$$R_b = \frac{L}{K_b A} = \frac{0.1}{0.7 * A} = \frac{0.142}{A}$$

$$R_p = \frac{L}{K_p A} = \frac{0.04}{0.48 * A} = \frac{0.083}{A}$$

$$R_w = \frac{L}{K_w A} = \frac{0.058}{0.065 * A} = \frac{0.892}{A}$$

$$\sum R = R_b + R_p + R_w$$

$$\sum R = \frac{0.142}{A} + \frac{0.083}{A} + \frac{0.892}{A}$$

$$\sum R = \frac{0.142 + 0.083 + 0.892}{A}$$

$$\sum R = \frac{1.117}{A}$$

$$Q = \frac{\Delta T}{\sum R}$$

$$Q = \frac{293}{\frac{1.117}{A}}$$

$$Q = 293 * \frac{A}{1.117}$$



$$\frac{Q}{A} = \frac{293}{1.117} = 262.23 \frac{W}{m^2} \quad (\text{Answer})$$

Series Composite Wall and Parallel Composite Wall:

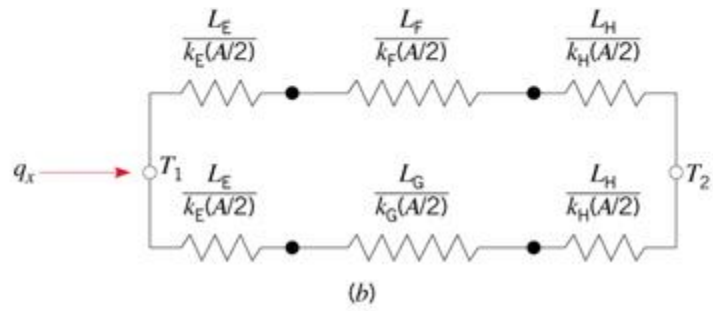
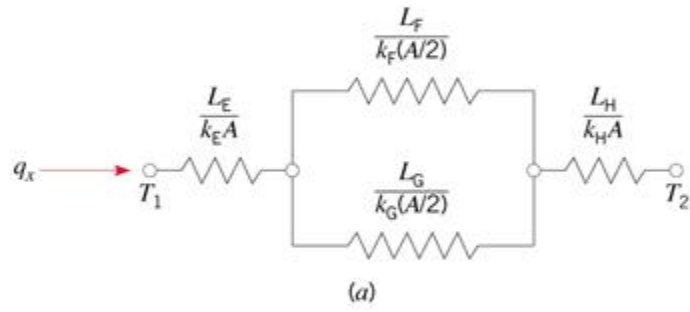
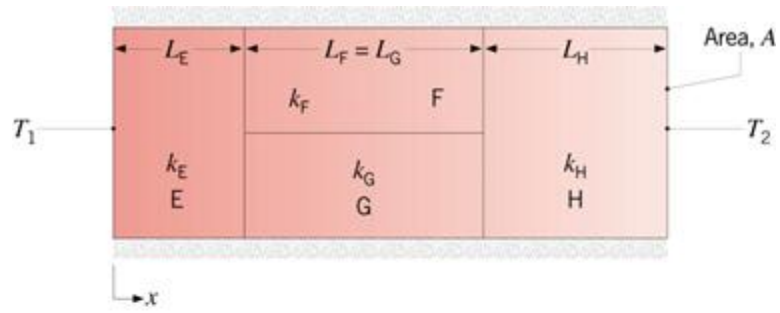
Note: departure from one - dimensional conditions for  $k_F \neq k_G$  .

Circuits based on assumption of isothermal surfaces normal to x direction or adiabatic surfaces parallel to x direction provide approximations for .

دیواری کۆکراوهی دوایهک و دیواری کۆکراوهی هاورنیک:

تیبینی : حالتهکانی رویشتنی یهک رهههندی بۆ  $k_F \neq k_G$  .

سوورهکان لهسهه بنهمای گریمانهی رووی گهرمی یهکسان ئاسایی به ئاراستهی X دانراوه یان رووی گهرمی نهگۆر تهریب به ئاراستهی X نزیکه دهسته بهر دهکات بۆ  $q_x$

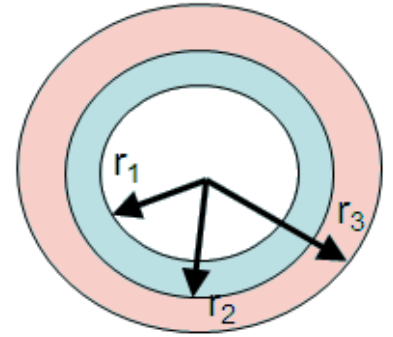


## Composite cylindrical tube (in series)

$$q_r = \frac{2\pi L k (T_i - T_o)}{\ln(r_o / r_i)}$$

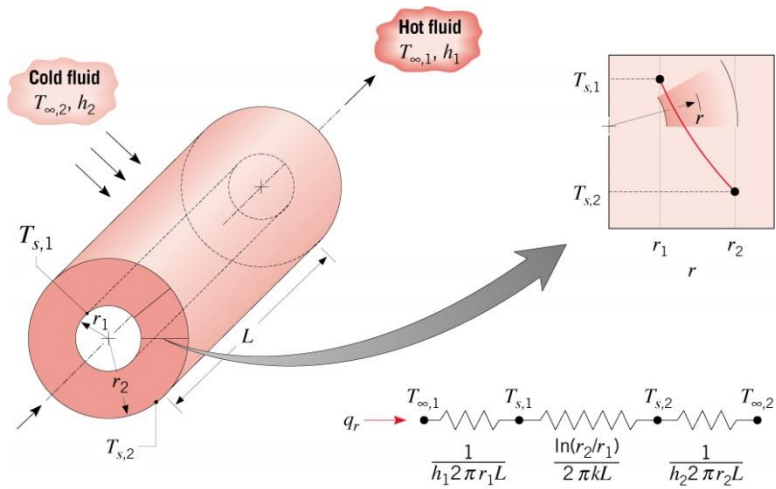
$$q_r = k A_{lm} \frac{(T_i - T_o)}{(r_o - r_i)}$$

$$A_{lm} = 2\pi L \frac{(r_o - r_i)}{\ln(r_o / r_i)}$$



### A Cylindrical Shell - Expression for Temperature Distribution

بەرگی لوله‌کی - دهربرینی بو دابه‌شکردنی پله‌ی گهرمی



What does the form of the heat Equation tell us about the variation of  $q_r$  with  $r$  in the wall? Is the foregoing conclusion consistent with the energy conservation requirement? How does  $q_r''$  vary with  $r$ ?

کام شیوهی هاوکیشه‌کمی گهرمی پیمان ده‌لنیت دهر بارهی گورانی  $q_r$  له‌گه‌ل  $r$  له‌دیواره‌که‌دا؟

نایه‌له‌پوخته‌کمی پیشودا جی‌گیری له‌گه‌ل پاراستنی وزه‌دا پیویسته؟  $q_r''$  چون ده‌گوریت له‌گه‌ل  $r$  دا؟

Temperature Distribution for Constant K :

داب‌ه‌شکردنی پله‌ی گهرمی بو K نه‌گور:

$$T(r) = \frac{T_{s,1} - T_{s,2}}{\ln(r_1/r_2)} \ln\left(\frac{r}{r_2}\right) + T_{s,2}$$

Heat Flux and Heat Rate: گورانی خیرای گهرمی و ریژهی گهرمی

$$q_r'' = -k \frac{dT}{dr} = \frac{k}{r \ln(r_2/r_1)} (T_{s,1} - T_{s,2})$$

$$q_r' = 2\pi r q_r'' = \frac{2\pi k}{\ln(r_2/r_1)} (T_{s,1} - T_{s,2})$$

$$q_r = 2\pi r L q_r'' = \frac{2\pi L k}{\ln(r_2/r_1)} (T_{s,1} - T_{s,2})$$

Conduction Resistance: بهرگری گهاندن

$$R_{t,cond} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi L k} \quad \text{Units} \leftrightarrow \text{K/W}$$

$$R'_{t,cond} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k} \quad \text{Units} \leftrightarrow \text{m} \cdot \text{K/W}$$

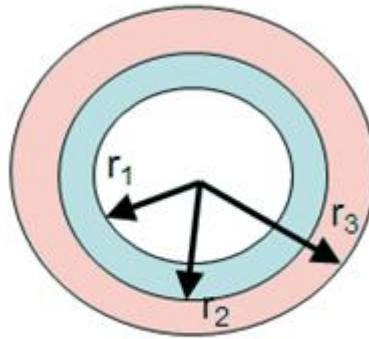
**Example 2-2** A thick walled tube of stainless steel (18%Cr, 8%Ni,  $k = 19 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$ ) with 2cm inner diameter and 4cm outer diameter is covered with a 3cm layer of asbestos insulation ( $k = 0.2 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$ ). If the inside wall temperature of the pipe is maintained at  $600\text{°C}$ , calculate the heat loss per meter of length. Also calculate the tube insulation interface temperature.

**نمونه (2.2)** بۆریهکی دیوار ئهستوری پۆلای بی خوش ( $19 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$ ,  $8\% \text{Ni}$ ,  $8\% \text{Cr}$ ) به  $(2\text{cm})$  تیره ی ناوهکی و  $(4\text{cm})$  تیره ی دهرهکی دا پۆشرابیت به  $(3\text{cm})$  چینی جیاکهروهی ئهسبست ( $0.2 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$ ). ئهگهر پلهی گهرمی لهناوی دیواری لولهکه بهیئراوتهوه له  $(600\text{°C})$  دا، لهدهستدانی گهرمی ههژمار بکه له ههر مهنریکی دریژیدا. ههروهها پلهی گهرمی واجیهه حساب دهکات.

*Solution.* The accompanying Figure shows the thermal network for this problem. The heat flow is given by

شیکار: وینه هاویچکه، توری گرمایی نیشان دهدات بو ئهم گرفته. رویشتنی گرمی دراوه به

$$\frac{q}{L} = \frac{2\pi(T_1 - T_2)}{\frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{k_s} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{k_a}} = \frac{2\pi(600 - 100)}{\frac{\ln 2}{19} + \frac{\ln\left(\frac{5}{2}\right)}{0.2}} = 680 \text{ W/m}$$



This heat flow may be used to calculate the interface temperature between the outside tube wall and the insulation. We have

ئهم رویشتنی گرمیه لهوانیه بهکار بهینریت بو حیساب کردنی پلهی گرمیی واجیهه لهنیوان دیواری دهرهوی بوری و جیاکرمهه کهدا. ئیمه ههمانه

$$\frac{q}{L} = \frac{T_a - T_2}{\frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi k_a}} = 680 \text{ W/m}$$

where  $T_a$  is the interface temperature, which may be obtained as

لهویادا  $T_a$  پلهی گرمیه کهی واجیهیه، که لهوانیه بهدهست بهینریت ههروهک.

$$T_a = 595.8^\circ\text{C}$$

The largest thermal resistance clearly results from the insulation, and thus the major portion of the temperature drop is through that material.

زاترين بهرگريي گهرمايي بهرووني دهستدهكهويت له جياكهر هو كهوه، و بهم جوړه پشكهكهه داكشاني پلهي گهرميهكه بهناو نهو كهرهستهيدا.

## 2-6 Critical thickness of insulation نوستووري شلوقي جياكهر هو

$$q = \frac{2\pi L(T_i - T_\infty)}{\frac{\ln(r_o - r_i)}{k} + \frac{1}{r_o h}}$$

$$\frac{dq}{dr_o} = 0, \quad r_o = \frac{k}{h}$$

**Example 2-5** Calculate the critical radius of insulation for asbestos ( $k = 0.17 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$ ) surrounding a pipe and exposed to room air at  $20^\circ\text{C}$  with  $h=3.0 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ . Calculate the heat loss from 5cm diameter of the pipe at  $200^\circ\text{C}$ , when covered with the critical radius of insulation and without insulation.

**نمونه:** نيوهتيرهی شلوقي جياكهر هو ههژمار بکه بو نوسبست ( $k = 0.17 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$ ) بهدهوري لولهيهکدا و خراوته بهر هواي ژوور له ( $20^\circ\text{C}$ ) به ( $h=3.0 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ ). گهرمي بهفپرو چو ههژمار بکه له تيرهی 5cm ت لولهكهوه له ( $200^\circ\text{C}$ ) دا، کاتتيک دا پوشراوه به نيوهتيرهيهکی شلوقي جياكهر هو وه بهبي جياكهر هو.

Solution. We calculate  $r_o$  as

$$r_o = \frac{k}{h} = \frac{0.17}{3.0} = 0.0567\text{m} = 5.67\text{cm}$$

The inside radius of the insulatyion is  $5.0/2 = 2.5 \text{ cm}$ , so

$$\frac{q}{L} = \frac{2\pi(200 - 20)}{\frac{\ln(5.67 / 2.5)}{0.17} + \frac{1}{(0.0567)(3.0)}} = 105.7W / m$$

$$\frac{q}{L} = h(2\pi r)(T_i - T_o) = (3.0)(2\pi)(0.025)(200 - 20) = 84.8W / m$$

So, the addition of 3.17 cm (5.67-2.5) of insulation actually increases the heat transfer by 25 percent.

As an alternative, fiberglass having a thermal conductivity of 0.04 W/m·°C might be employed as the insulation material. Then, the critical radius would be

كهواته، زيادكردنى 3.17 cm واته (5.67-2.5)ى جياكمرهه لهر استيدا به 20 لهسهدا گواستنوهكهى گهرمى زياد دهكات.

ههروهك بهديليتك، فايبهگلاس تواناى گهياندنى گهرمى (0.04 W/m·°C) ههيه، لهوانهيه بهكار بهينرئيت ههروهك كههستهكهى جياكمرهه. پاشان، نيوهتيرهى شلوق دهبييت به

$$r_o = \frac{k}{h} = \frac{0.04}{3.0} = 0.0133m = 1.33cm$$

### پهيدا بونى گهرمى Heat generation

Page 47 in the Data Book

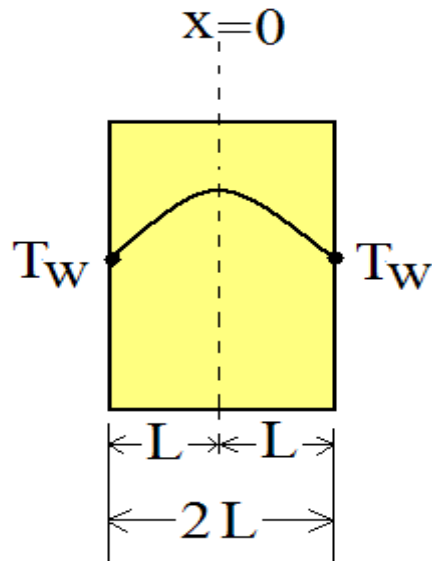
Heat generation سى حالتهى ههيه:

پلئيتيکمان ههيه گهرمى تيداا پهيدا دهبييت، كه نهههش دوو جوړه . جوړى يهكهميان خوئ پييت دهلت پلهى گهرمى نههديوو نهوه ديوى پلهيتهكه يهكسانه به نهوهنده كه نم پلهگرمييهش بريتنه له TW بهلام نهوهى تريان پييت دهلت ، پلهى گهرمى ههواكهى دهورو بهرى پلئيتهكه يهكسانه به نهوهنده كه نهه پلهى گهرمييهش بريتيه له  $T_\infty$  ، لهم حالتهدا پيوسته كه سهههتا TW بدوزينهوه بههوى نهه ياسايه



$$T_w = T_\infty + \frac{q \cdot L}{h}$$

به دوزینه وهی  $T_w$  وهکو جوړی یه کهمی لیدیتو ههر به ههمان ږیگای جوړی یه کهم شیکار دهکریت.



هموو کاتیک maximum temperature ( $T_0$ ) دهکو یته ناوهر استی پلنیه کهوه واته  $x=0$  وهبهم یاسایه دهیدوزینه وه

$$\text{maximum temperature} = T_0 = T_w + \frac{q_i}{2k} L^2$$

له ناوهر استی جسمه کهوه دهپوړیت ، واته نهگهر پرسیاره که داوای دوزینه وهی  $X$  تیبینی لهم حالته دا پلهی گهرمی کردبوو له دوریه کی زانراو له روی دهر وه جسمه کهوه نهوا پپویره نیه نهو دوریه بگورین بهگویرهی دوریه کهی له ناوهر استی جسمه کهوه

پلهی گهرمی ههواي دهوری پلنیه کهیه  $T_\infty$  پلهی گهرمی لیواری پلنیه کهیه بهلام  $T_w$

بو دوزینه وهی پلهی گهرمی له ههر جیگایه کی پلهی ته کهدا نهوا نهم یاسایه بهکار دهینین

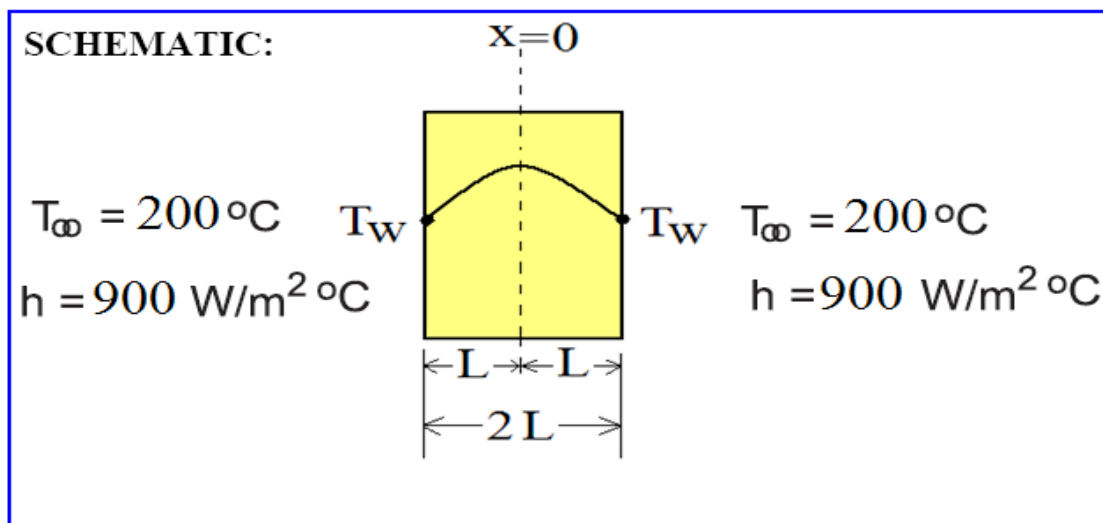
$$\frac{(T_x - T_0)}{T_w - T_0} = \left(\frac{x}{L}\right)^2$$

$$\text{Amount of heat generation} = q' = \frac{q}{\text{volume}} \quad (\text{W/m}^3)$$

**Example:** a plate of 24mm thickness is shaped to nuclear fuel element exposed on the sides to heat convection at 200 °C with a convection heat transfer coefficient of 900 W/m<sup>2</sup>°C . Generates heat at 20 MW/m<sup>3</sup> .If thermal conductivity of the plate is 25.4 W/m. °C . Determine the surface temperature and the maximum temperature.

نمونە: پلئیتیکی (24mm) ئەستوور پیکهینرا بۆ سووتەمەنیی ناوکی، لە تەنشتەکانیەوه بەرە لاکرا بۆ هەلگرتنی گەرمی لە (200 °C) بە هاوکۆلکەیهکی هەلگرتنی گواستنەوهی گەرمی (900 W/m<sup>2</sup>°C) . گەرمی دروست دەکات لە (20 MW/m<sup>3</sup>) . ئەگەر توانای گەیانندی گەرمی پلئیتەکه (25.4 W/m. °C) بێت. پلەهێ گەرمی رووکه و پلەهێ گەرمیەکهی زۆرترین دیاری بکە.

Given:  $hickness = 2L = 24mm = 0.024m \rightarrow L = \frac{0.024}{2} = 0.012m$  ,  
 $T_{\infty} = 200^{\circ}\text{C}$  , convection heat transfer coefficient of  $= h = 900 \text{ W/m}^2\text{°C}$  ,  
 Amount of heat generation  $= q' = 20 \text{ MW/m}^3 = 20 * 10^6 \text{ W/m}^3$  , thermal conductivity of plate  $= k = 25.4 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C}$



Solution: from page 47 in the Data Book:

$$\text{surface temperature} = T_w = T_{\infty} + \frac{q' \cdot L}{h}$$

$$T_w = 200 + \frac{20 * 10^6 * 0.012}{900}$$

$$T_w = 466.66 \text{ } ^\circ\text{C}$$

surface temperature =  $T_w = 466.66 \text{ } ^\circ\text{C}$  (Answer)

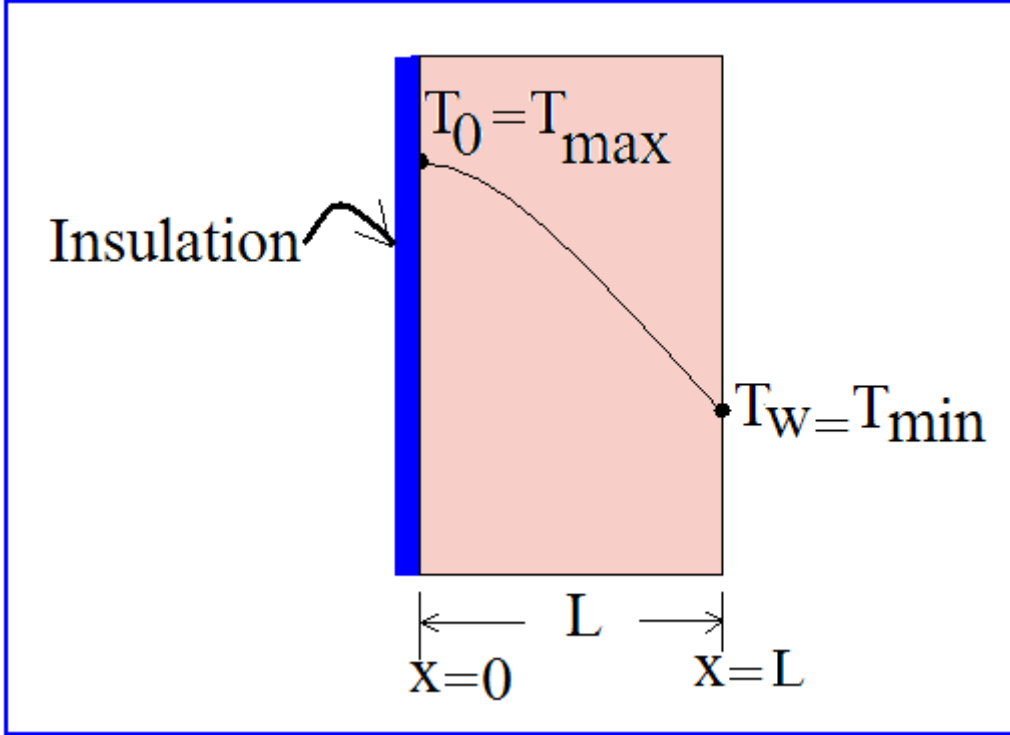
$$\text{maximum temperature} = T_o = T_w + \frac{q}{2k} L^2$$

$$\text{maximum temperature} = T_o = 466.66 + \frac{20 * 10^6}{2 * 25.4} (0.012)^2$$

maximum temperature =  $T_o = 523.35 \text{ } ^\circ\text{C}$  (Answer)

حالتی دووهم: پلیتیکه لیوار مکھی insulation کراوه واته عهزل کراوه کر اوہ به نگہینہروئو لایہی گہ رمی ناگہینیت. وہ ئو لایہی کہ عهزل کراوه بهر زترین پلہی گہ رمی ہہیہ وہ ئو لایہی کہ عهزل نہ کراوه نزمترین پلہی گہ رمی ہہیہ، وہ ہہروہا پانی پلیتیکہ  $L =$  نہوہک  $L2$  وہ  $x$  لہ لای چہپی پلیتیکہوہ دہپیوریت بؤلای راست.

نابیت  $x$  لئاوؤر استئوة بثيوريت.

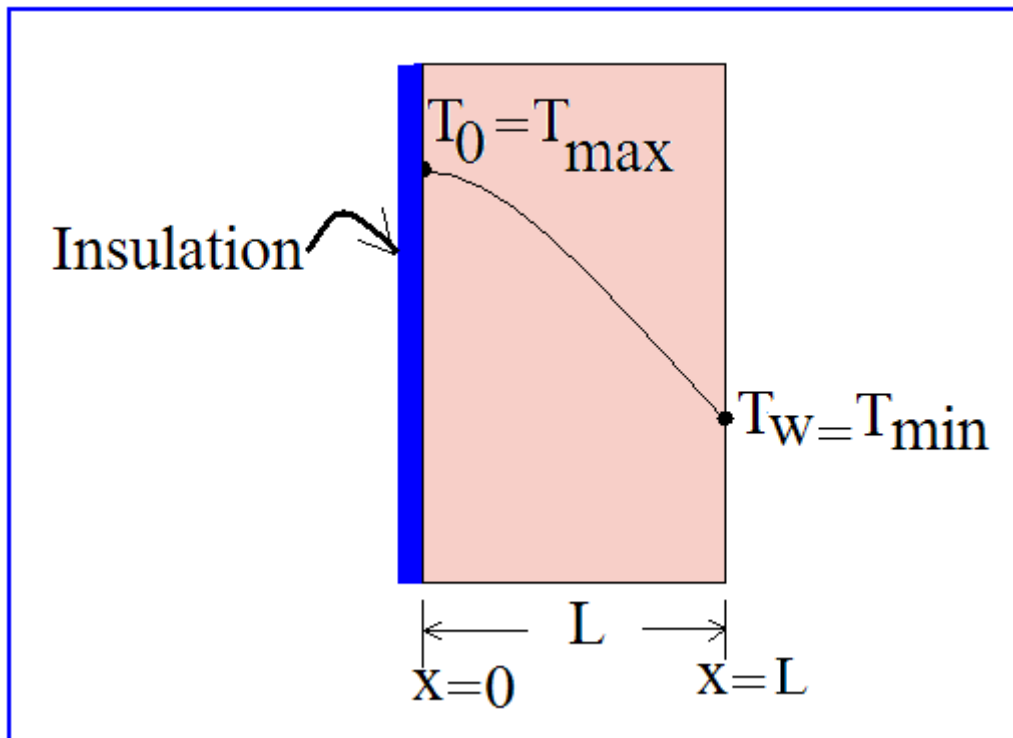


تٲيبيى: له ناو Data Book مكداء وينهى ئهم حالئهى تيدانبييه بهلام ههمان ياساكانى حالئهى يهكهمى بو بهكار دٲت.

**Example:** a plate wall is 1m thick and it has one surface ( $x=0$ ) insulated while the other surface ( $X=L$ ) is maintained at a constant temperature of  $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $K=25\text{w/mK}$ , and uniform heat generation per unit volume of  $500\text{ W/m}^3$  exists throughout the wall. Determine the maximum temperature in the wall and the location of the plane where it occurs.

نمونہ: دیوار کی توخت (m1) نھستورہ و یهك ٲوو ھھیہی ( $x=0$ ) جیای کراوھتوہ لھکاتیکدا ٲووھکھی تری ( $X=L$ ) ھنلراوھتھوہ لھ ٲلھی گھرمیھکی نھگوری ( $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) دا، ( $K=25\text{w/mK}$ )، و گھرمی ٲھیدابوی وھك یهك لھ یهکھی قھبارھدا ( $500\text{ W/m}^3$ ) ھھیہ بھدریژیایی دیوارھکھ. ٲلھی گھرمیھکی زورترین دیاری بکھ لھ دیوارھکھدا وھ شوینھکھی لھ ٲوتھختھکادا کھتیایدا ٲوو دھدات.

**Given:** thick =  $L = 1\text{m}$ , minimum temperature =  $350\text{ }^{\circ}\text{C} = 623\text{K}$ . Thermal conductivity =  $K = 25\text{w/mK}$ , heat generation per unit volume =  $q' = 500\text{ W/m}^3$



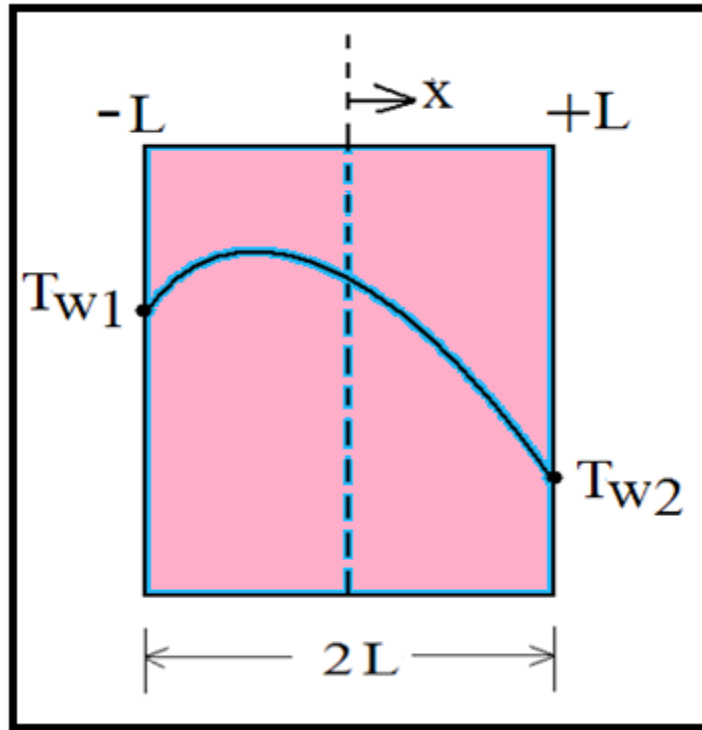
Solution: from page 47 in the Data Book:

$$\text{maximum temperature} = T_0 = T_w + \frac{q'}{2k} L^2 \rightarrow T_0 = 623 + \frac{500}{2 * 25} (1)^2$$

$$T_o = 623 + \frac{500}{50} \rightarrow \text{maximum temperature} = T_o = 633 K \quad (\text{Answer})$$

The location of maximum temperature is  $(x=0)$ . (Answer)

حالتی سی یهم :  $T_{max}$  که ویته ناوهر استی پلنته که وه ههروه ها ئهمدی و ئهودیوی پلنته که پلهی گهرمییه کانیاں جیاوازه.



بۆ دۆزینه وهی پلهی گهرمی له ههر شوینیکدا ئهم یاسایه به کار دینین:

$$T_x = \frac{q_i}{2k} (L^2 - x^2) + \frac{x}{2L} (T_{w1} - T_{w2}) + \frac{1}{2} (T_{w1} + T_{w2})$$

ئه گهر داواى شوینی بهرزترین پلهی گهرمی کرد ئهوا ئهم یاسایه به کار دینین:

$$X_{max} = \frac{k}{2 q_i L} (T_{w2} - T_{w1})$$

به لام بۆ دۆزینه وهی نرخى بهرزترین پلهی گهرمی ئهم یاسایه به کار دینین:

$$T_{max} = \frac{q \cdot L^2}{2k} + \frac{k}{8 q \cdot L^2} (T_{w1} - T_{w2})^2 + \frac{1}{2} (T_{w1} - T_{w2})$$

**Example:** The thickness of a steel plate is 25mm and ( $K = 48 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ), having a uniform heat generation per unit volume of  $30 \cdot 10^6 \text{ W/m}^3$ , the temperature on the two surfaces of the steel plate, are  $180^\circ\text{C}$  and  $120^\circ\text{C}$ . Determine the value and position of the maximum temperature and heat flow from each surface of the plate.

**نمونہ:** ئەستوری پلئیتیکی پۆلا (25mm) ە و ( $K = 48 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ )، پەیدابونی گەرمی وەکیەك لەیەكەهی قەبارەدا ( $30 \cdot 10^6 \text{ W/m}^3$ )، پلەهی گەرمی لەسەر دوو پرووی پلئیتە پۆلاکە، ( $180^\circ\text{C}$ ) و ( $120^\circ\text{C}$ ) ن. نرخ و شوینی پلەهی گەرمی زۆرتەیین و رویشتی گەرمی لە ھەر پروویەکی پلئیتەکەوہ دیاری بکە.

Given: thick =  $2L = 25\text{mm} = 0.025\text{m} \rightarrow L = 0.0125\text{m}$ , Thermal conductivity =  $K = 48 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ , heat generation =  $q = 30 \cdot 10^6 \text{ W/m}^3$ , maximum temperature =  $T_{w1} = 180^\circ\text{C}$ , minimum temperature =  $T_{w2} = 120^\circ\text{C}$ .

Solution:

$$T_{max} = \frac{q \cdot L^2}{2k} + \frac{k}{8 q \cdot L^2} (T_{w1} - T_{w2})^2 + \frac{1}{2} (T_{w1} - T_{w2})$$

$$T_{max} = \frac{30 \cdot 10^6 (0.0125)^2}{2 \cdot 48} + \frac{48}{8 \cdot 30 \cdot 10^6 (0.0125)^2} (180 - 120)^2 + \frac{1}{2} (180 - 120)$$

$$T_{max} = 48.828 + 4.608 + 30 = 83.43^\circ\text{C}. \text{ (Answer)}$$

**Example:** A wall 8cm thick has its surfaces maintained at 0°C and 100°C . The heat generation rate is  $3.25 \cdot 10^5 \text{ W/m}^3$  . If the Thermal conductivity of the material is 4W/mK, determine the temperature at the mid plane, the location and the value of the maximum temperature.

نمونە: دیواریکی (8cm) ئەستور پروەکانی هیلراوتەوه لە (0°C) و (100°C) دا. ریژی گەرمی پەیدابو ( $3.25 \cdot 10^5 \text{ W/m}^3$ ) ه. ئەگەر توانای گەیانندی گەرمی کەرەستەکە (4W/mK) بێت، پلە ی گەرمیەکە دیاری بکە لە ناوەراستی روتەختەکەدا، شوین و نرخ ی پلە ی گەرمیەکە ی زۆرترین دیاری بکە.

Given: thick =  $2L = 8\text{cm} = 0.08\text{m} \rightarrow L = 0.04\text{m}$ , , heat generation= $q' = 3.25 \cdot 10^5 \text{ W/m}^3$ , Thermal conductivity=  $K = 4 \text{ W/mK}$  maximum temperature= $T_{w1} = 100^\circ\text{C} = 373\text{K}$ , minimum temperature= $T_{w2} = 0^\circ\text{C} = 273\text{K}$ .

Solution: from page 47 in the Data Book:

بۆ دۆزینەوه ی پلە ی گەرمی لە هەر شوینیکدا ئەم یاسایە بەکار دینین:

$$T_x = \frac{q'}{2k} (L^2 - x^2) + \frac{x}{2L} (T_{w1} - T_{w2}) + \frac{1}{2} (T_{w1} + T_{w2})$$

$$T_{x=0} = \frac{3.25 \cdot 10^5}{2 \cdot 4} (0.04^2 - 0^2) + \frac{0}{0.04} (373 - 273) + \frac{1}{2} (373 + 273)$$

$$T_{x=0} = 65 + 323 = 388 \text{ K (Answer)}$$



بۇ دۆزىنەھى شۇيىنى بەرزترین پلەھى گەرمى کرد ئەوا ئەم ياسايە بەکار دىنین:

$$X_{\max} = \frac{k}{2 q \cdot L} (T_{w2} - T_{w1})$$

$$X_{\max} = \frac{4}{2 * 3.25 * 10^5 * (0.04)} (273 - 373)$$

$$X_{\max} = -0.0153\text{m} = -1.53 \text{ cm (Answer)}$$

بەلام بۇ دۆزىنەھى نرخی بەرزترین پلەھى گەرمى ئەم ياسايە بەکار دىنین:

$$T_{\max} = \frac{q \cdot L^2}{2k} + \frac{k}{8 q \cdot L^2} (T_{w1} - T_{w2})^2 + \frac{1}{2} (T_{w1} - T_{w2})$$

$$T_{\max} = \frac{3.25 * 10^5 (0.04)^2}{2 * 4} + \frac{4}{8 * 3.25 * 10^5 (0.04)^2} (373 - 273)^2 + \frac{1}{2} (373 - 273)$$

$$T_{\max} = 65 + 9.615 + 25 = 99.61 \text{ K (Answer)}$$

**Example:** a 6cm thick slab of insulating material ( $K = 0.38 \text{ W/mK}$ ) is placed between two parallel electrodes and is subjected to high electric power producing  $39000 \text{ W/m}^3$ . Under steady state condition, the convection heat transfer coefficient is  $11.8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  at left side while the right side is at  $30^\circ\text{C}$ , if ambient air temperature is  $25^\circ\text{C}$  at left side. (1) Calculate The left side surface temperature. (2) Determine Location and magnitude of maximum temperature.

نمونہ: شتایگرنیک (6cm) ئەستوری کەرەستەیی جیا کەرەوه ( $K = 0.38 \text{ W/mK}$ ) دانرا لەنیوان دوو ئەلکترۆدی تەریب و خرانە ژێر توانای بەرز کارەبایی بەرەم هینان ( $39000 \text{ W/m}^3$ ) بەرەم دینیت. لەژێر مەرجی حالەتی جیگیر، هاوکۆلکەیی گواستەوهی گەرمی هەلگرتنەکە ( $11.8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ) ه. لە لای چەپ لەکاتی کدا لای راستە لە ( $30^\circ\text{C}$ ) دا، ئەگەر پلەیی گەرمی هەوای دەورووبەر ( $25^\circ\text{C}$ ) بێت لە لای چەپ. (1) پلەیی گەرمیی رووی لای چەپ هەژمار بکە. (2) شوینو نرخی بەرزترین پلەیی گەرمی دیاری بکە.

**Given:** thick =  $2L = 6 \text{ cm} = 0.06 \text{ m} \rightarrow L = 0.03 \text{ m}$ , Thermal conductivity =  $K = 0.38 \text{ W/mK}$ , heat generation =  $q = 39000 \frac{\text{W}}{\text{m}^3}$ , heat transfer coefficient =  $11.8 \text{ W/m}^2$ . ambient air temperature =  $25^\circ\text{C} = 298 \text{ K}$ , minimum temperature =  $T_{w2} = 30^\circ\text{C} = 303 \text{ K}$ .

Solution: from page 47 in the Data Book:

$$T_w = T_\infty + \frac{q \cdot L}{h}$$

$$T_{w1} = 298 + \frac{39000 * 0.03}{11.8}$$

$$T_{w1} = 397.15K \text{ (Answer)}$$

$$X_{max} = \frac{k}{2 q \cdot L} (T_{w2} - T_{w1})$$

$$X_{max} = \frac{0.38}{2 * 39000 * (0.03)} (303 - 397.15)$$

$$X_{max} = -0.0152m = -1.52cm$$

$$\begin{aligned} \text{Location of maximum temperature} &= X_{max} = -0.0152m \\ &= -1.52cm \text{ (Answer)} \end{aligned}$$

بۇ دۆزىنەۋەدى نرخی بەرزترین پلەى گەرمى ئەم ياسايە بەكار دىننن:

$$T_{max} = \frac{q \cdot L^2}{2k} + \frac{k}{8 q \cdot L^2} (T_{w1} - T_{w2})^2 + \frac{1}{2} (T_{w1} - T_{w2})$$

$$\begin{aligned} T_{max} &= \frac{39000 * (0.03)^2}{2 * 0.38} + \frac{0.38}{8 * 39000 * (0.03)^2} (397.15 - 303)^2 \\ &\quad + \frac{1}{2} (397.15 - 303) \end{aligned}$$

$$T_{max} = 46.18 + 11.995 + 47.075 = 105.25 K$$

$$\text{Magnitude maximum temperature} = T_{max} = 105.25 K \text{ (Answer)}$$

## Fins

Types of the fin: پەرەكە

جۆرى پەرەكەكە:

1. Long Fin بههۆى ياساوه شىكار دهكرىت
2. Short Fin (end insulated)=Thin Fin بههۆى ياساوه شىكار دهكرىت
3. Short Fin (end insulated) بههۆى ياساوه شىكار دهكرىت
4. Circumferential fin بههۆى چارتهوه شىكار دهكرىت
5. Rectangular fin بههۆى چارتهوه شىكار دهكرىت
6. Triangular fin بههۆى چارتهوه شىكار دهكرىت

پرسىار: جۆرى Long fin ھىروھى short fin له كاتى تاقيكر دنه ودا ، چۆن لهيه كتر جىباكهينهوه؟

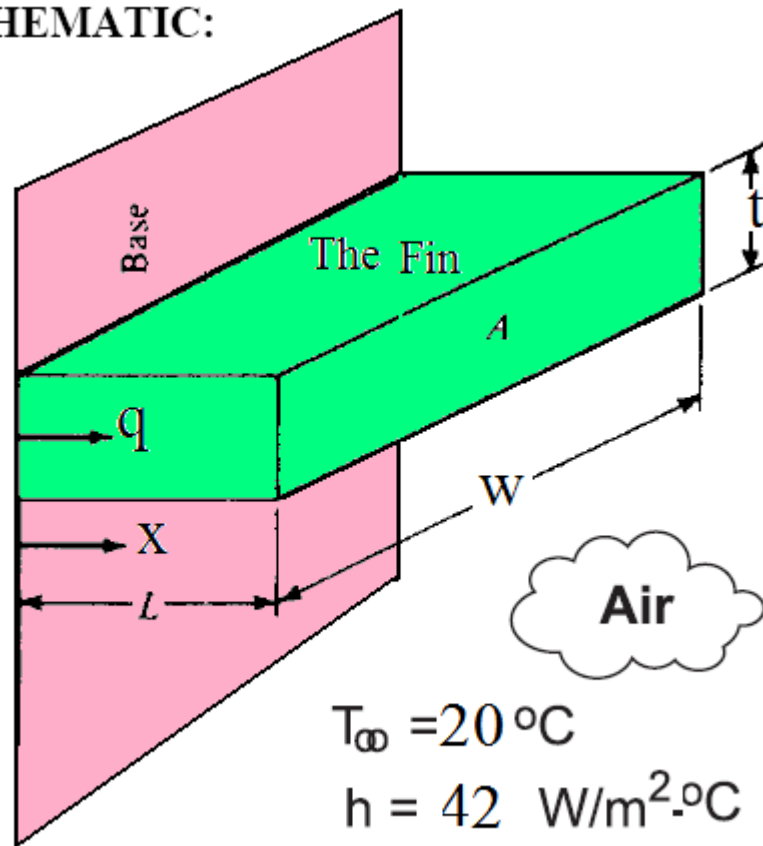
وهلام: لهههه پرسىار يكدانگهه درىژى fin كهه درابوو ئهوا ئهه جۆره برىتبه له . short fin بهلام  
ئهگهه درىژى fin كهه نه درابوو ئهوا ئهه جۆره برىتبه له. Long fin

**Example:** Find out the amount of heat transfer through an thin iron fin of length 50mm, 100mm width and thickness of 5mm. Assume  $k=210\text{W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$  for the material of the fin and  $h=42\text{W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$ , if the atmospheric temperature is  $20^{\circ}\text{C}$ . Also determine the temperature at the tip of the fin if base temperature is  $80^{\circ}\text{C}$ .

نمونہ: بیری گواستنہوہی گہرمی بزانه بہناو پھرہیہکی ئاسنی باریکی دریژی (50mm)،  
(100mm) پان و ئہستوری (5mm). وا دا بنی بو کھرہستہی پھرہکھکھ ( $k=210\text{W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$ ) و  
( $h=42\text{W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$ )، ئہگھر پلہی گہرمی کھش ( $20^{\circ}\text{C}$ ) بیٹ. ہر وہا پلہی گہرمی لہ  
سہرہنو کھکھ پھرہکھکھ دیاری بکھ ئہگھر پلہی گہرمی بنکھ ( $80^{\circ}\text{C}$ ) بیٹ.

Given: Type of the fin is thin iron fin i.e. Short Fin (end insulated), length= $L=50\text{mm}=0.05\text{m}$ , width= $w=100\text{mm}=0.1\text{m}$  thickness = $t=5\text{mm}=0.005\text{m}$ , thermal conductivity= $k=210\text{W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$ , heat transfer coefficient= $h=42\text{W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$ , atmospheric temperature =  $T_{\infty} = 20^{\circ}\text{C}$ . Base temperature  $T_b = 80^{\circ}\text{C}$ . Determine the temperature at the tip of the fin.

**SCHEMATIC:**



Solution:

From page 49 in the Data Book:

Perimeter =  $p = 2(\text{width}) + 2(\text{thickness})$

$$p = 2(0.01) + 2(0.005) = 0.02 + 0.010 = 0.03\text{m.}$$

Area =  $A = \text{width} * \text{thickness}$

$$A = 0.01 * 0.005 = 0.00005\text{ m}^2.$$

$$m = \sqrt{\frac{hP}{kA}} = \sqrt{\frac{42 * 0.03}{210 * 0.00005}} = 10.954$$

$$Q = \sqrt{hP kA} (T_b - T_\infty) \tanh(mL)$$

$$Q = \sqrt{42 * 210 * 0.03 * 0.00005} (80 - 20) \tanh(10.954 * 0.05)$$

$$Q = (0.115)(60) * 498$$

$$Q = 3.436 W$$

$$\frac{T - T_\infty}{T_b - T_\infty} = \frac{\cosh m(L - x)}{\cosh(mL)}$$

$$\frac{T - 20}{80 - 20} = \frac{\cosh 10.954(L - L)}{\cosh(10.954 * 0.005)}$$

$$\frac{T - 20}{80 - 20} = \frac{1}{1.153}$$

$$\frac{T - 20}{80 - 20} = 0.866$$

$$\frac{T - 20}{60} = 0.866 \rightarrow T - 20 = 52$$

$T = 72^\circ\text{C}$  at the tip of the fin (Answer)

**Example:** a rod of carbon steel ( $k=54 \text{ W/m.K}$ ) with a cross section of an Equilateral triangular (Each side is 5mm) is 80mm long. It is attached to a plane wall which is maintained at a temperature of  $400^\circ\text{C}$ . The surrounding environment is at  $50^\circ\text{C}$  and convection heat transfer coefficient is  $90 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ . Calculate the heat dissipated by the rod.

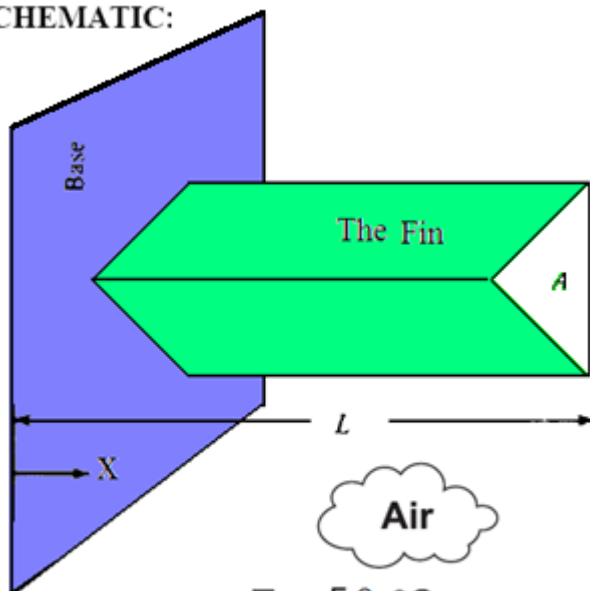
نمونە: توولیکی پۆلای کاربۆن ( $k=54 \text{ W/m.K}$ ) بە پانە برگەپهکی سێ گۆشەیی لایەکیان هەر لایەکی (5mm) ە وە (80mm) درێژە. هاوپیچ کرابیت بو دیواریکی تەخت کە هێلراوتەتەو ە لە پلەیی گەرمی ( $400^\circ\text{C}$ ) دا. ژینگەیی دەور و بەر لە ( $50^\circ\text{C}$ ) دایە وە هاوکۆلکی گواستتەو ەیی گەرمی ( $90 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ) ە. گەرمی لەناوچو بەهۆی توولەکەو ە هەژمار بکە.

Given:

تێبینی: لەهەر پرسیاریکدا ئەگەر درێژی fin ە کە درابوو ئەوا ئەو جوړه بریتیه له short fin

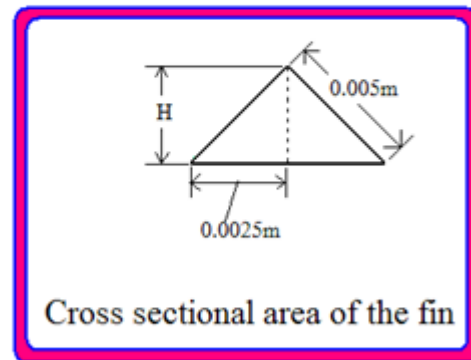
Type of the fin is short fin (end not insulated), thermal conductivity= $k=54 \text{ W/m.K}$ , length= $L= 80 \text{ mm}=0.08 \text{ m}$ , Base temperature= $T_b= 400^\circ\text{C}$ , surrounding temperature =  $T_\infty = 50^\circ\text{C}$ , heat transfer coefficient= $h=90 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ , Calculate the heat dissipated by the rod.

SCHEMATIC:



$$T_\infty = 50^\circ\text{C}$$

$$h = 90 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$





Solution:

$$(0.005)^2 = H^2 + (0.0025)^2 \quad (\text{فيساگورس})$$

$$H = 4.33 * 10^{-3} \text{ m}$$

From page 49 in the Data Book:

$$\text{Perimeter} = p = 3 * 0.005 = 0.015 \text{ m}$$

$$\text{Area} = A = \frac{1}{2} * \text{Base} * \text{Height}$$

$$\text{Area} = A = \frac{1}{2} * \text{Base} * (H)$$

$$\text{Area} = A = \frac{1}{2} * 0.005 * (4.33 * 10^{-3})$$

$$A = 1.08 * 10^{-5} \text{ m}^2.$$

$$m = \sqrt{\frac{hP}{kA}} = \sqrt{\frac{90 * 0.015}{54 * 1.08 * 10^{-5}}} = 48.112$$

$$Q = (T_b - T_\infty) \left( \frac{\tanh(mL) + \left(\frac{hL}{mk}\right)}{1 + \left(\frac{hL}{mk}\right) \tanh(mL)} \right) (hP kA)^{0.5}$$

$$Q = (400 - 50) \left( \frac{\tanh(48.112 * 0.08) + \left(90 * \frac{0.08}{48.112 * 54}\right)}{1 + \left(90 * \frac{0.08}{48.112 * 54}\right) \tanh(48.112 * 0.08)} \right) (90 * 0.015 * 54 * 1.08 * 10^{-5})^{0.5}$$

$$Q = (350) \left( \frac{\tanh(3.84) + (2.77 * 10^{-3})}{1 + (2.77 * 10^{-3}) \tanh(3.84)} \right) (7.87 * 10^{-4})^{0.5}$$

$$Q = (350) \left( \frac{(0.99) + (2.77 * 10^{-3})}{1 + (2.77 * 10^{-3})(0.99)} \right) (0.028)$$

$$Q = (350) \left( \frac{0.99277}{1 + (2.76 * 10^{-3})} \right) (0.028)$$

$$Q = (350)(0.99)(0.028) = 9.72W \text{ (Answer)}$$

**Example:** Circumferential aluminum fins ( $K=200W/mk$ ) is rectangular 1.5cm wide and 1mm thick are fitted onto a 2.5cm diameter tube. The fin base temperature is  $170^{\circ}C$  and the ambient fluid temperature is  $25^{\circ}C$ . Estimate the heat lost per fin, If  $h=130W/m^2k$ .

نمونە: پەرە ئەلەمنیۆمە چنۆهییەکان ( $K=200W/mk$ ) لاکیشییە (1.5cm) پان وە (1mm) ئەستور جیگیر کرانە سەر بۆرییەکی تیرە (2.5cm) ی. پلە ی گەرمی بنکە ی پەرە کە ( $170^{\circ}C$ ) ه وە پلە ی گەرمی شلگازە کە ی دەور و بەر ( $25^{\circ}C$ ) ه. گەرمیە بزر بوو کە بخەم لێنە لە پەرە کە دا، ئەگەر ( $h=130W/m^2k$ ).

Given: the type of the fin is circumferential fin بەهۆی چار تەو ه شیکار دەکرێت

From page 50 at the Data Book:

Circumferential rectangular fin

$$L_c = L + \frac{t}{2} = 0.015 + \frac{0.001}{2} = 0.0155m$$

$$r_{2c} = r_1 + L_c = 0.0125 + 0.0155 = 0.028m$$

$$A_m = t(r_{2c} - r_1) = 0.01(0.028 - 0.0125) = 1.55 * 10^{-5} m^2$$

$$A_s = 2\pi(r_{2c}^2 - r_1^2) = 2\pi(0.028^2 - 0.0125^2) = 1.5 * 10^{-3} m^2$$

$$X - axis = L_c^{1.5} \left( \frac{h}{kA_m} \right)^{0.5} = 0.0155^{1.5} \left( \frac{130}{200 * 1.55 * 10^{-5}} \right)^{0.5} = 0.395$$

$$\cong 0.4$$

$$The\ curve = \frac{r_{2c}}{r_1} = \frac{0.028}{0.0125} = 2.24$$

*X-axis* ئىصقات دهكەين بۆ سەر *curve number 2* دهكە لهكويادا *curve* دهكەى پرى ئهوا ئهه  
خاله ئىصقات دهكەين بۆ سەر *Y-axis* وه *fin efficiency* دههوزينهوه كهدهكاتە 85%

$$\eta = 85\% = 0.85$$

$$Q = \eta * A_s * h(T_b - T_{\infty})$$

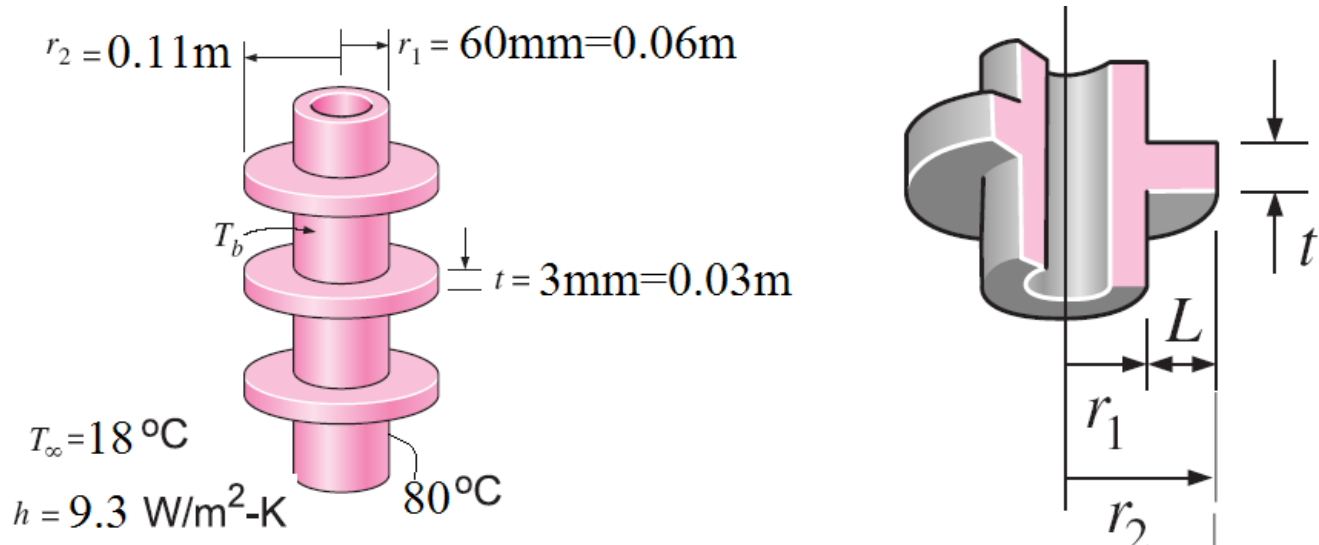
$$Q = 0.85 * 1.5 * 10^{-3} * 130(170 - 25)$$

$$Q = 24.033W \quad (Answer)$$

**Example:** A heating unit is made in the form of a vertical tube fitted with rectangular section steel fins. The tube height is 1.2m and its outer diameter is 60mm. the fins are 50mm height and 3mm thickness along the tube. The numbers of fins used are 20. The base and air surrounding temperature are 80°C and 18°C respectively,  $h=9.3W/m^2k$ . for fin material ( $k=55.7W/mK$ ). Calculate the total heat transferred from the tube with fins.

نموونه: يهكهيهكى گهرم كردن دروستكراوه له شيوهى بۆريهكى شاوليدا جيگيركراوه لهگهل پهرهكهى پۆلاى برگه لاكيشه. بهرزى بۆريهكه (1.2m). ه و تيرهى دههكهى (60mm). ه. پهرهكهكان (50mm) بهرزى (3mm) ئهستورن بهدرىژاى بۆريهكه. ژمارهى پهرهكهكانى بهكارهينراوه (20). ن. پلهى گهرمى بنكهكه و ههواى چوار دهورى (80°C) ه و (1°C) به ريز، ( $h=9.3W/m^2k$ ). بۆ كههستهى پهرهكه ( $k=55.7W/mK$ ). تىكرائى گهرمى گواستراوه ههژمار بكه له بۆريهكهوه بههوى پهرهكهكهنهوه.

بههوى چارتهوه شىكار دهكرت *Given: the type of the fin is circumferential fin*



Solution:

*Total heat transfer with all fins*  
*= heat transfer with one fin \* number of fins*

Calculation: for heat transfer with one fin :

From page 50 at the Data Book:

Circumferential rectangular fin

$$L_c = L + \frac{t}{2} = 0.05 + \frac{0.003}{2} = 0.0515 \text{ m}$$

$$r_{2c} = r_1 + L_c = 0.06 + 0.0515 = 0.1115 \text{ m}$$

$$A_m = t(r_{2c} - r_1) = 0.003(0.1115 - 0.06) = 0.003(0.0515) = 1.545 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_s = 2\pi(r_{2c}^2 - r_1^2) = 2\pi(0.1115^2 - 0.06^2) = 0.026 \text{ m}^2$$

$$X - \text{axis} = L_c^{1.5} \left( \frac{h}{kA_m} \right)^{0.5} = 0.0515^{1.5} \left( \frac{9.3}{55.7 * 1.545 * 10^{-3}} \right)^{0.5} = 0.153$$

$$\text{The curve} = \frac{r_{2c}}{r_1} = \frac{0.1115}{0.06} = 1.86 \approx 2$$

X-axis ئىصقات دەكەين بۇ سەر curve number 2 ەكە لەكويادا curve ەكەى بىرى ئەوا ئەو  
 خالە ئىصقات دەكەين بۇ سەر Y-axis ەكە fin efficiency دەدۆزىنەو ەكەدەكاتە 99%

$$\eta = 99\% = 0.99$$

$$Q = \eta * A_s * h(T_b - T_{\infty})$$

$$Q = 0.99 * 0.026 * 9.3(80 - 18)$$

$$Q = 0.239(62) = 14.841W$$

*Total heat transfer with all fins*

*= heat transfer with one fin \* number of fins*

*Total heat transfer with all fins = 14.841 \* 20 = 296.833 W (Answer)*

**Example 2-6** A current of 200 A is passed through a stainless steel wire ( $k = 19$  W/m $\cdot$ °C). it is 3mm in diameter. The resistivity of the steel may be taken as 70  $\mu\Omega\cdot$ cm, and the length of the wire is 1m. The wire is submerged in a liquid at 110°C and experiences a convection heat transfer coefficient of 4kW/m $^2\cdot$ °C. Calculate the center temperature of the wire.

**نمونه (2.6)** تەزويەكى (200 A) ى تى پەرکرا بەناو وایەرىكى پۆلای بى خەوشدا ( $k = 19$  W/m $\cdot$ °C). لە تیرەدا (3mm). بەرگری جۆریەكەى پۆلایەكە لەوانەى بە ( $70 \mu\Omega\cdot$ cm) وەر بگىریت، و دریزىەكەى وایەرەكە (1m). وایەرەكە نەوم كرا لە شلەىك لە (11°C) و ھاوكۆلكەى گواستنەوہى گەرمى ھەنگرتنى (4kW/m $^2\cdot$ °C) ى تاقیدەكاتەوہ. پلەى گەرمیەكەى ناوہندى وایەرەكە ھەژمار بکە.

**Solution.** All the power generated in the wire must be dissipated by convection to the liquid:

همو توانای پیدابو له وایر هکدا دهییت له ناو بیریت به هه لگرتن به هوی شله کهوه

$$P = I^2 R = q = hA(T_w - T_\infty)$$

The resistance of the wire is calculated from

به رگری وایر هکه حساب کراوه له

$$R = \rho \frac{L}{A} = \frac{(70 \times 10^{-6})(100)}{\pi(0.15)^2} = 0.099 \Omega$$

where  $\rho$  is the resistivity of the wire. The surface area of the wire is  $\pi dL$ , so from Equation

لهویادا ( $\rho$ ) به رگری جوری وایر هکهیه. روو بهری رووی وایر هکه ( $\pi dL$ )، کهواته له هاوکیشه کهوه

$$(200)^2 (0.099) = 4000 \pi (3 \times 10^{-3})(1)(T_w - 110) = 3960 W$$

and

$$T_w = 215^\circ\text{C} \quad (419^\circ\text{F})$$

The heat generated per unit volume  $\dot{q}$  is calculated from

گرمیه پیدابو هکه لهیه کهیه قهبار هدا ( $\dot{q}$ ) حساب کراوه له

$$P = \dot{q}V = \dot{q} \pi r^2 L$$

so that

$$\dot{q} = \frac{3960}{\pi(1.5 \times 10^{-3})^2 (1)} = 560.2 \text{ MW} / \text{m}^3 \quad (5.41 \times 10^7 \text{ Btu/h} \cdot \text{ft}^3)$$

$$T_o = \frac{\dot{q} r_o^2}{4k} + T_w = \frac{(5.602 \times 10^8)(1.5 \times 10^{-3})^2}{(4)(19)} + 215 = 231.6^\circ\text{C}$$

## Chapter 3

### بەش ۳

## Steady state conduction – multiple dimension

حالتی جیگیری گەیاندن - فرە رەهەند

### Nodal Equation

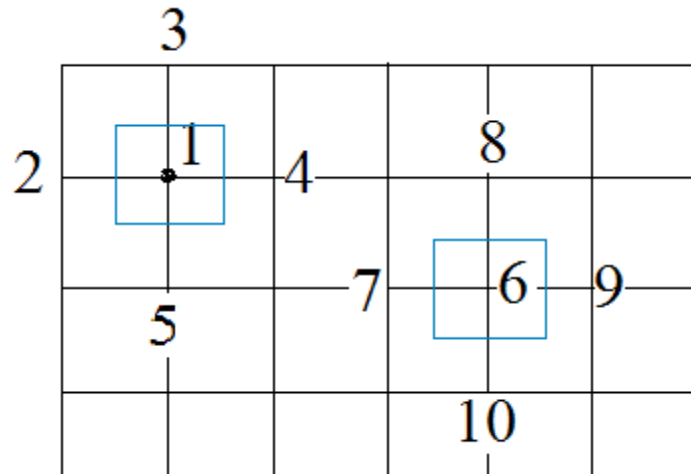
پرسیار: چۆن پلەهی گەرمی خالک دەدۆزینەوه بەهۆی پلەهی گەرمی خالەکانی دەور و بەرییەوه؟  
و ئەلام: بەهۆی nodal Equation موه ھاو کیشەیهک بۆ خالەکه دروست دەکەین و پلەهی گەرمی  
خالەکهی پێدەدۆزینەوه.

### چۆنیەتی دروستکردنی nodal Equation

سەرەتا پێویستە رەسمی ئەو خال واته ئەو (Node) ه دروست بکەین کە دەمانەوێت ھاو کیشەکهی بۆ  
بنوسین پاشان node مکه دەکەینە ناو چوار گۆشەیهکهوه یان لاکیشەیهکهوه که بنکهکهی  $(x\Delta)$  وه  
بەرزبیهکهی  $(y\Delta)$  بێت. پێویستە خالەکه بکەوێتە ناوەندی لاکیشەکه یا چوار گۆشەکهوه.

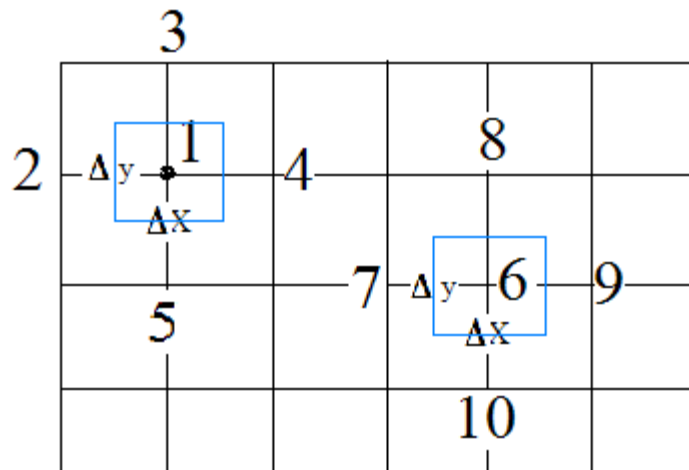
**Example:** write the nodal Equation for node 1 and node 6 as shown in the Figure below.

نمونه: هاوکیشهی گریی بنوسه بو گریی 1 و گریی 6 ههروهك له وینهکهی خواره هودا پیشان دراوه.



Answer:

سهههتا پیویسته رهسمی ئهه خال واته ئهه (Node) ه دروست بکهین کهدهمانهویت هاوکیشهکهی بو بنوسین پاشان node هکه دهکهینه ناو چوار گوشهیهکههه یان لاکیشهیهکههه که بنکهکهی ( $x\Delta$ ) بییت وه بهرزیهکهی ( $y\Delta$ ) بییت. پیویسته خالهکه بکهویته ناوهندی لاکیشهکه یا چوار گوشهکههه.



For node 1:

رونکردنهوه:



لهخاڵ (2) هوه بۆ خالی (1) ، گهرمببهكه به (conduction) دهگوازيتهوه.  
 لهخاڵ (3) هوه بۆ خالی (1) ، گهرمببهكه به (conduction) دهگوازيتهوه.  
 لهخاڵ (4) هوه بۆ خالی (1) ، گهرمببهكه به (conduction) دهگوازيتهوه.  
 لهخاڵ (5) هوه بۆ خالی (1) ، گهرمببهكه به (conduction) دهگوازيتهوه.

$$(\sum q) + q \cdot \Delta V = 0$$

$$(q_2 + q_3 + q_4 + q_5) + q \cdot \Delta V = 0$$

$$\left( KA \frac{\Delta T}{\Delta x}_2 + KA \frac{\Delta T}{\Delta y}_3 + KA \frac{\Delta T}{\Delta x}_4 + KA \frac{\Delta T}{\Delta y}_5 \right) + q \cdot (\Delta V) = 0$$

$$\left( KA \frac{\Delta T}{\Delta x}_2 + KA \frac{\Delta T}{\Delta y}_3 + KA \frac{\Delta T}{\Delta x}_4 + KA \frac{\Delta T}{\Delta y}_5 \right) + q \cdot (Area * 1) = 0$$

$$\left( K(\Delta y * 1) \frac{T_2 - T_1}{\Delta x} + K(\Delta x * 1) \frac{T_3 - T_1}{\Delta y} + K(\Delta y * 1) \frac{T_4 - T_1}{\Delta x} + K(\Delta x * 1) \frac{T_5 - T_1}{\Delta y} \right) + q \cdot (\Delta y * \Delta x * 1) = 0 \quad (Answer)$$

For node 6:

رونکردنهوه:

لهخاڵ (7) هوه بۆ خالی (1) ، گهرمببهكه به (conduction) دهگوازيتهوه.  
 لهخاڵ (8) هوه بۆ خالی (1) ، گهرمببهكه به (conduction) دهگوازيتهوه.  
 لهخاڵ (9) هوه بۆ خالی (1) ، گهرمببهكه به (conduction) دهگوازيتهوه.

لهخاڵ (10) هوه بو خاڵی (1) ، گهر ميبهكه به (conduction) دهگوازيتهوه.

$$(\sum q) + q \cdot \Delta V = 0$$

$$(q_7 + q_8 + q_9 + q_{10}) + q \cdot \Delta V = 0$$

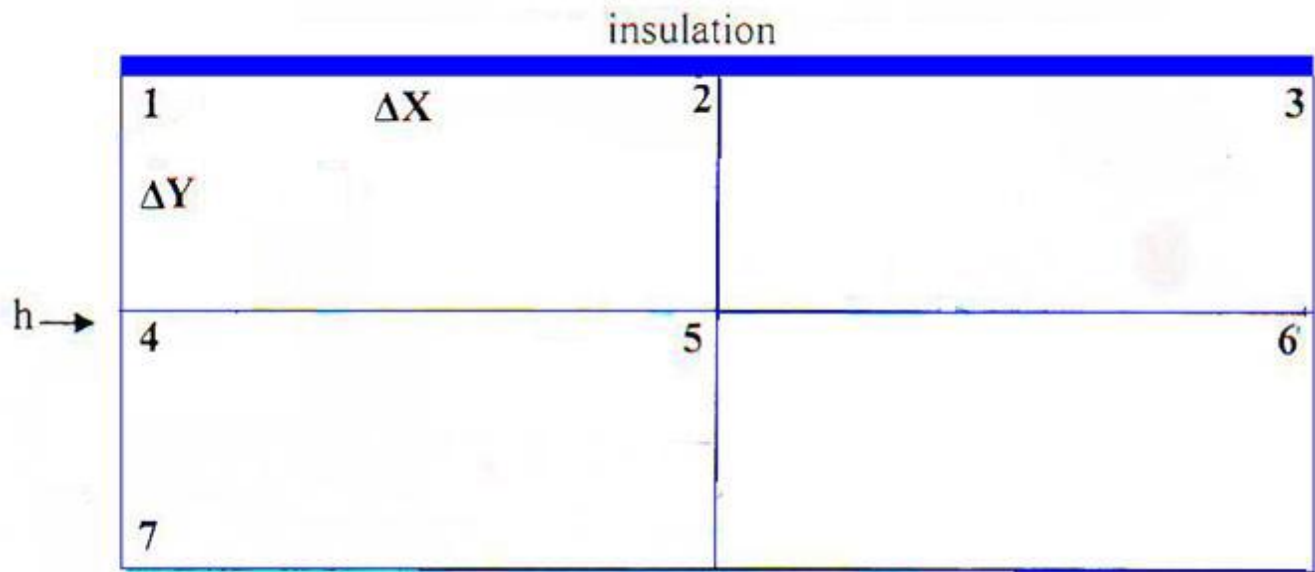
$$\left( KA \frac{\Delta T}{\Delta x}_7 + KA \frac{\Delta T}{\Delta y}_8 + KA \frac{\Delta T}{\Delta x}_9 + KA \frac{\Delta T}{\Delta y}_{10} \right) + q \cdot (\Delta V) = 0$$

$$\left( KA \frac{\Delta T}{\Delta x} + KA \frac{\Delta T}{\Delta y} + KA \frac{\Delta T}{\Delta x} + KA \frac{\Delta T}{\Delta y} \right) + q \cdot (Area * 1) = 0$$

$$\left( K(\Delta y * 1) \frac{T_7 - T_6}{\Delta x} + K(\Delta x * 1) \frac{T_8 - T_6}{\Delta y} + K(\Delta y * 1) \frac{T_9 - T_6}{\Delta x} + K(\Delta x * 1) \frac{T_{10} - T_6}{\Delta y} \right) + q \cdot (\Delta y * \Delta x * 1) = 0 \quad (Answer)$$

**Example:** write the nodal Equation for points 1,2,4 as shown in the Figure below.

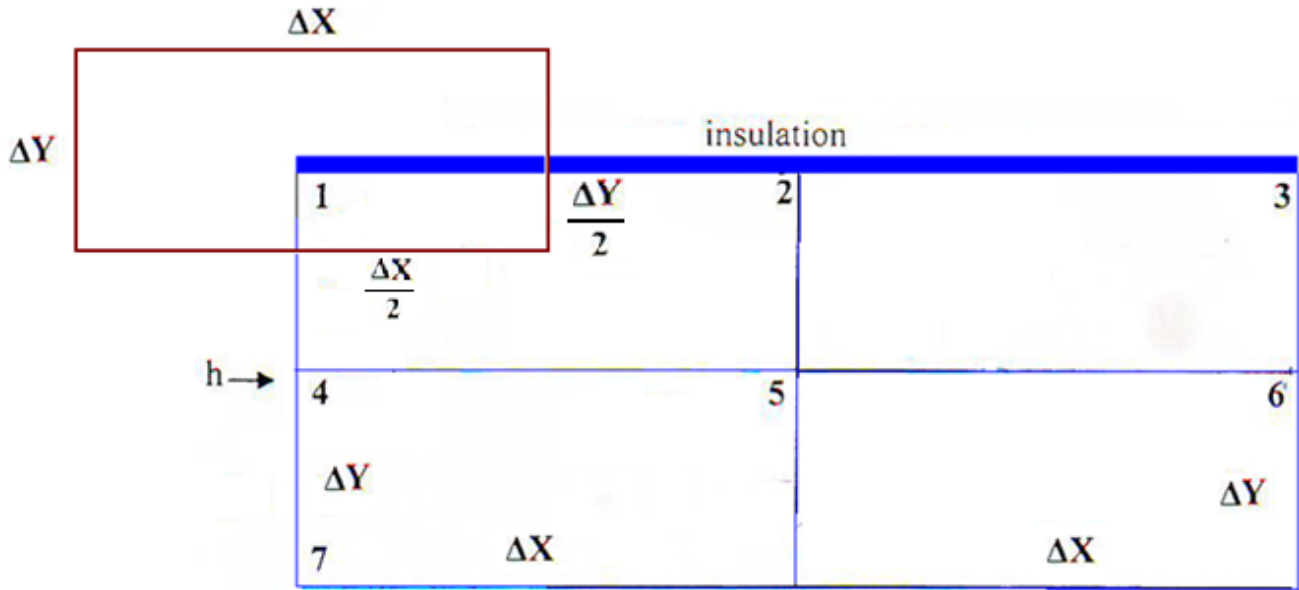
نموونه: هاوكيشه گرایی بنووسه بو خاڵ 1,2,4, ههروهك له وینهكهی خوارهوهدا پيشان دراوه.



Answer:

For node 1:

سەرەتا پێویستە ڕەسمی ئەو خال واته ئەو (Node) ه دروست بکەین کە دەمانەوێت هاوکێشەکە ی بۆ بنوسین پاشان node ه که دهکەینه ناو چوارگۆشەیه کە یان لاکێشەیه کە ی ه که بنکەکە ی ( $x\Delta$ ) و ه بەرزبیه کە ی ( $y\Delta$ ) بێت. پێویستە خالە کە بکەوێتە ناو هندی لاکێشە کە ی یا چوارگۆشە کە ی ه.



رونکردنهوه:

لهخاڵ (2) هوه بو خالی (1) ، گهر مېبهکه به (conduction) دهگوازيتهوه.

لهخاڵ (4) هوه بو خالی (1) ، گهر مېبهکه به (conduction) دهگوازيتهوه.

- گوستنهوهی گهرمی به (Conduction) تنها لهنیوان خالهکاندا رودهدات ، بهلام گوستنهوهی گهرمی به (Convection) تنها لهنیوان ههواکهو پرووی دهرهوهی کهرهستههرهقهکهدا رودهدات.

$$(\sum q) + q \cdot \Delta V = 0$$

$$(q_2 + q_4 + q_{convection}) + q \cdot \Delta V = 0$$

$$\left( KA \frac{\Delta T}{\Delta x}_2 + KA \frac{\Delta T}{\Delta y}_4 + hA\Delta T \right) + q \cdot (Area * 1) = 0$$

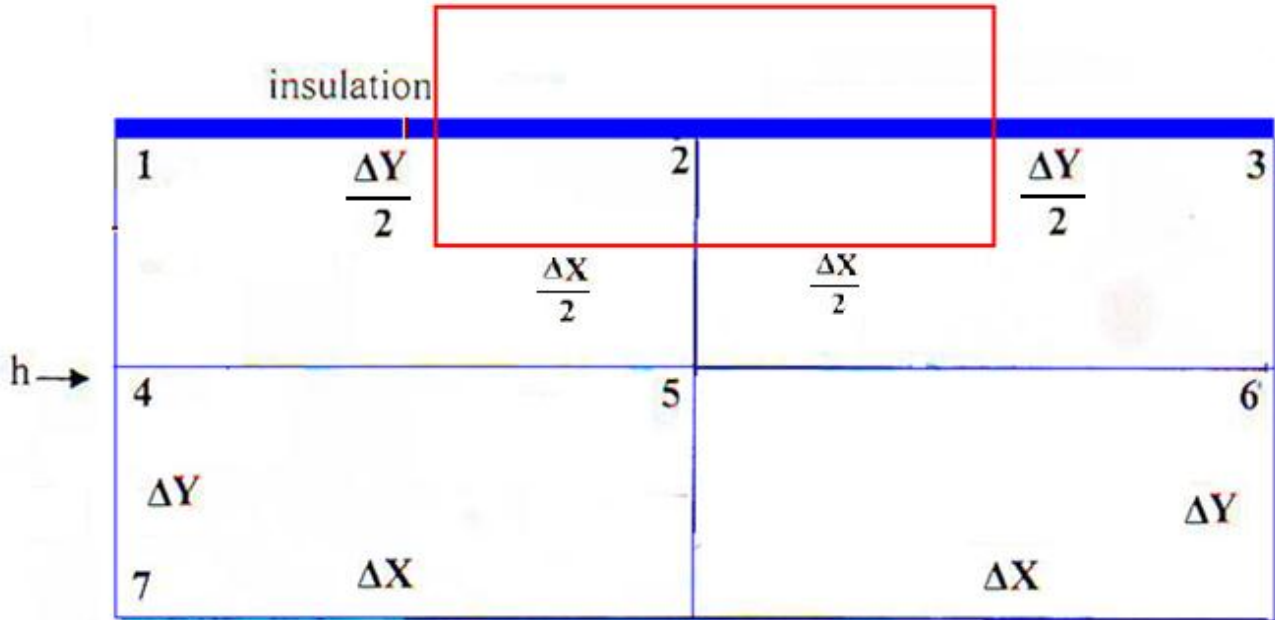
$$\left[ K \left( \frac{\Delta y}{2} * 1 \right) \frac{T_2 - T_1}{\Delta x} + K \left( \frac{\Delta x}{2} * 1 \right) \frac{T_4 - T_1}{\Delta y} + h \left( \frac{\Delta y}{2} * 1 \right) (T_\infty - T_1) \right]$$

$$+ q \cdot \left( \frac{\Delta y}{2} * \frac{\Delta x}{2} * 1 \right) = 0 \quad (Answer)$$

تیبینی : لہرویسر ہوہ گہرمی ناچیت بو خالی 1 چونکہ عہزل کراوہ و ہتہ insulation

For node 2:

سہر ہتا پیویستہ رہسمی نئو خال واتہ نئو (Node) ہ دروست بکہین کہدہمانہویت ہاوکیشہکہی بو بنوسین پاشان node کہہ دکہینہ ناو چوار گوشہیہکہوہ یان لاکیشہیہکہوہ کہ بنکہکہی ( $\Delta x$ ) و ہ بہرزیہکہی ( $\Delta y$ ) بیت پیویستہ خالکہہ بکہویتہ ناو ہندی لاکیشہکہہ یا چوار گوشہکہوہ.



رونکر دنہوہ:

لہخال (1) ہوہ بو خالی (2) ، گہرمیبہکہہ بہ (conduction) دہگواز ریتہوہ.

لہخال (3) ہوہ بو خالی (2) ، گہرمیبہکہہ بہ (conduction) دہگواز ریتہوہ.

لہخال (5) ہوہ بو خالی (2) ، گہرمیبہکہہ بہ (conduction) دہگواز ریتہوہ.

- گوستنہوہی گہرمی بہ (Conduction) تہنہا لہنیوان خالہکاندا روددات ، بہ لام گوستنہوہی گہرمی بہ (Convection) تہنہا لہنیوان ہواکہوہ رووی دہر ہوہی کہر ہستہر ہقہکہدا روددات. لیرہدا (Node 2) رووی دہر ہوہی عہزل کراوہ واتہ ہواکہی بہر نہکہوتووہ کہواتہ (Convection) مان نیبہ.

$$(\sum q) + q \cdot \Delta V = 0$$

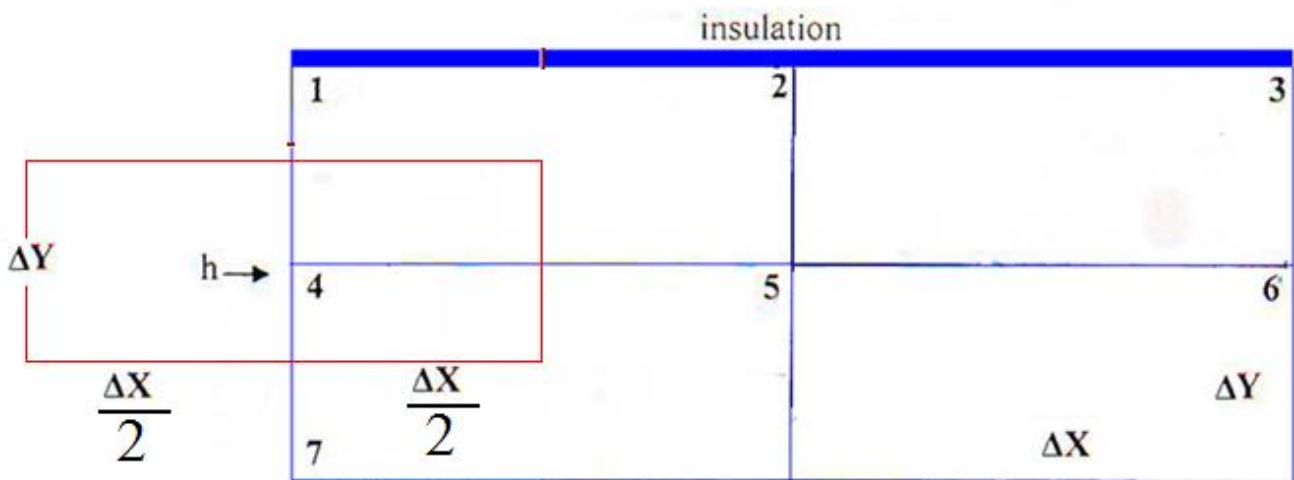
$$(q_1 + q_3 + q_5 + q_{convection}) + q \cdot \Delta V = 0$$

$$\left( KA \frac{\Delta T}{\Delta x}_1 + KA \frac{\Delta T}{\Delta y}_3 + KA \frac{\Delta T}{\Delta x}_5 + hA\Delta T_{conv} \right) + q \cdot (Area * 1) = 0$$

$$\left[ K \left( \frac{\Delta y}{2} * 1 \right) \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} + K \left( \frac{\Delta y}{2} * 1 \right) \frac{T_3 - T_2}{\Delta x} + K (\Delta x * 1) \frac{T_5 - T_2}{\Delta y} + h (\Delta x * 1) (T_\infty - T_2) \right] + q \cdot \left( \frac{\Delta y}{2} * \Delta x * 1 \right) = 0 \quad (Answer)$$

For node 4:

سەر هتا پێویسته رهسمی ئهو خال واته ئهو (Node) ه دروست بکهین که ده مانه ویت هاوکیشه که ی بو بنوسین پاشان node ه که ده کهینه ناو چوار گوشه یه که وه یان لاکیشه یه که وه که بنکه که ی (xΔ) وه بهرزیه که ی (yΔ) بیت. پێویسته خاله که بکه ویتته ناو هندی لاکیشه که ی چوار گوشه که وه.



رونکردنه وه:

له خال (1) وه بو خالی (4) ، گهر مبه که به (conduction) ده گوازیته وه.

له خال (5) وه بو خالی (4) ، گهر مبه که به (conduction) ده گوازیته وه.

له خال (7) وه بو خالی (4) ، گهر مبه که به (conduction) ده گوازیته وه.

گوستنهوهی گهرمی به (Conduction) تهنه لهنیوان خالهکاندا رودهدات ، به لام گوستنهوهی گهرمی به (Convection) تهنه لهنیوان ههواکهو رووی دهرموهی کهرستههقهکهدا رودهدات.

$$(\sum q) + q \cdot \Delta V = 0$$

$$(q_1 + q_5 + q_7 + q_{convection}) + q \cdot \Delta V = 0$$

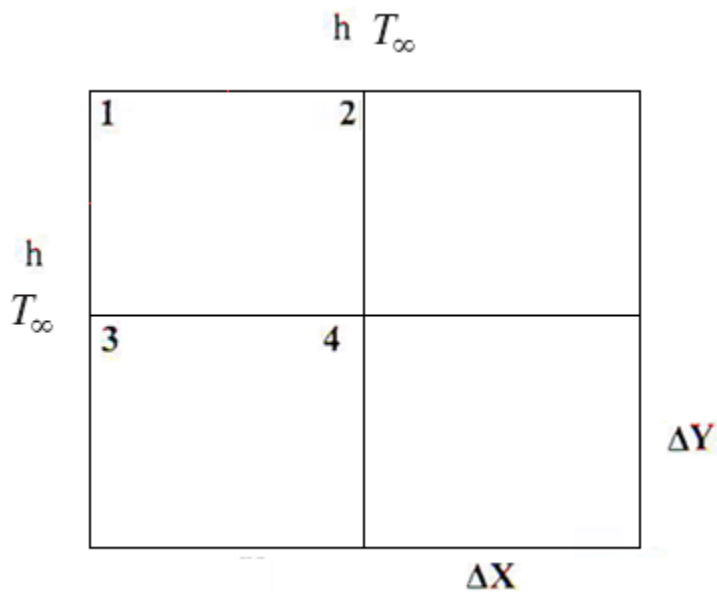
$$\left( KA \frac{\Delta T}{\Delta y}_1 + KA \frac{\Delta T}{\Delta x}_5 + KA \frac{\Delta T}{\Delta y}_7 + hA\Delta T_{conv} \right) + q \cdot (Area * 1) = 0$$

$$\left[ K \left( \frac{\Delta x}{2} * 1 \right) \frac{\Delta T}{\Delta y} + K(\Delta y * 1) \frac{\Delta T}{\Delta x} + K \left( \frac{\Delta x}{2} * 1 \right) \frac{\Delta T}{\Delta y} + h(\Delta y * 1)(T_\infty - T_1) \right] + q \cdot (\Delta V) = 0$$

$$\left[ K \left( \frac{\Delta x}{2} * 1 \right) \frac{T_1 - T_4}{\Delta y} + K(\Delta y * 1) \frac{T_5 - T_4}{\Delta x} + K \left( \frac{\Delta x}{2} * 1 \right) \frac{T_7 - T_4}{\Delta y} + h(\Delta y * 1)(T_\infty - T_1) \right] + q \cdot (\Delta V) = 0 \quad (Answer)$$

**Example:** write the nodal Equation for node 1 as shown in the Figure below.

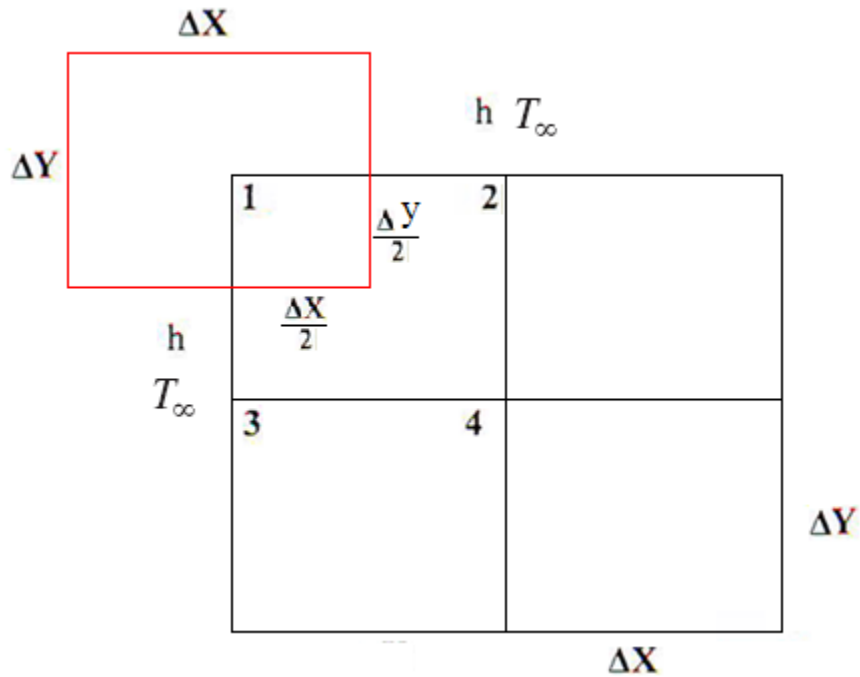
نموونه: هاوکیشهی گریی بنوسه بو گریی 1 ههروهک له وینهکهی خوارموهدا پیشان دراوه.



Answer:

For node 1:

سەرەتا پێویستە رەسمى ئەو خال واتە ئەو (Node) ه دروست بکەین کە دەمانەوێت هاوکێشەکەى بۆ بنوسین پاشان node هکە دەکەینە ناو چوار گۆشەیهکەوه یان لاکێشەیهکەوه کە بنکەکەى  $(x\Delta)$  وه بەرزیهکەى  $(y\Delta)$  بێت. پێویستە خالەکە بکەوێتە ناوەندى لاکێشەکە یا چوار گۆشەکەوه.





$$(\sum q) + q \cdot \Delta V = 0$$

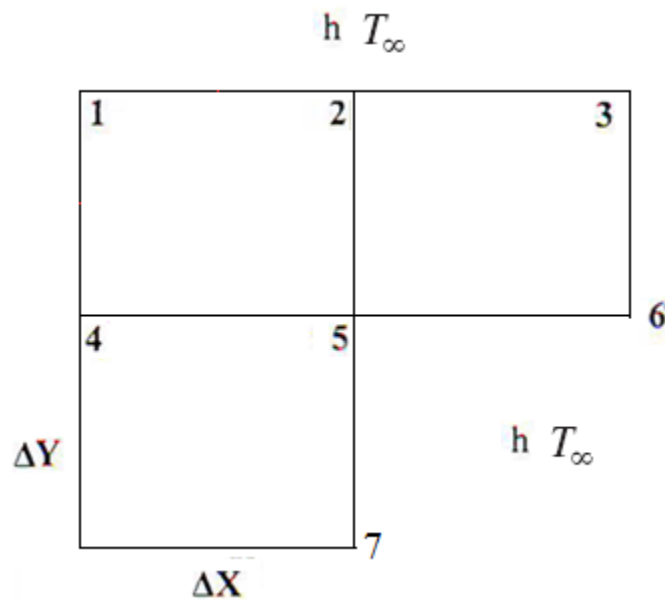
$$(q_2 + q_3 + q_{conv-left} + q_{conv-top}) + q \cdot \Delta V = 0$$

$$\left( KA \frac{\Delta T}{\Delta x}_2 + KA \frac{\Delta T}{\Delta y}_3 + hA\Delta T_{conv-left} + hA\Delta T_{conv-top} \right) + q \cdot (Area * 1) = 0$$

$$\left[ K \left( \frac{\Delta y}{2} * 1 \right) \frac{T_2 - T_1}{\Delta x} + K \left( \frac{\Delta x}{2} * 1 \right) \frac{T_3 - T_1}{\Delta y} + h \left( \frac{\Delta y}{2} * 1 \right) (T_\infty - T_1) + h \left( \frac{\Delta x}{2} * 1 \right) (T_\infty - T_1) \right] + q \cdot \left( \frac{\Delta y}{2} * \frac{\Delta x}{2} * 1 \right) = 0 \quad (Answer)$$

**Example:** write the nodal Equation for node 5 as shown in the Figure below.

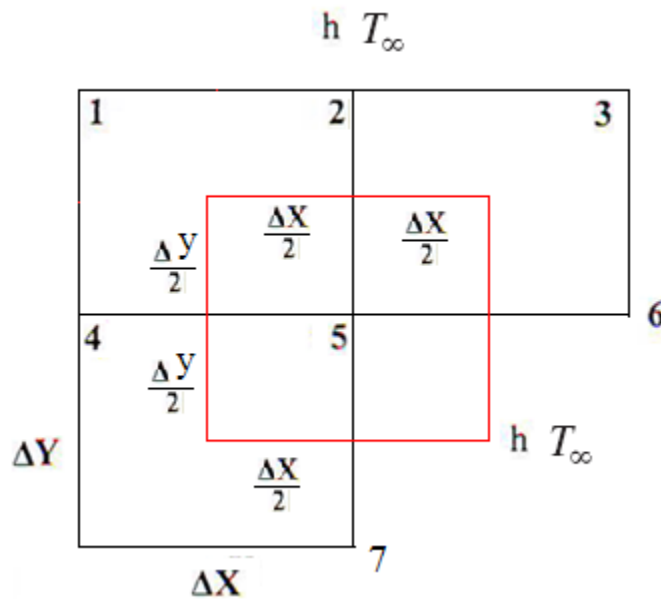
نمونہ: ھاوکیٹشہی گریبی بنوسہ بۆ گریبی 5 ھسروہک لہ وینہکھی خوارموہدا پیشان دراوہ.



Answer:

For node 5:

سەر هتا پێویسته رهسمی ئهو خال واته ئهو (Node) ه دروست بکەین کە دەمانهویت هاوکیشهکە ی بۆ بنوسین پاشان node ه که دهکەینه ناو چوار گوشهیهکە وه یان لاکیشهیهکە وه که بنکهکە ی  $(x\Delta)$  وه بهرزیهکە ی  $(y\Delta)$  بیت. پێویسته خاله که بکهوینته ناوهندی لاکیشه که یا چوار گوشهکە وه.



$$(\sum q) + q \cdot \Delta V = 0$$

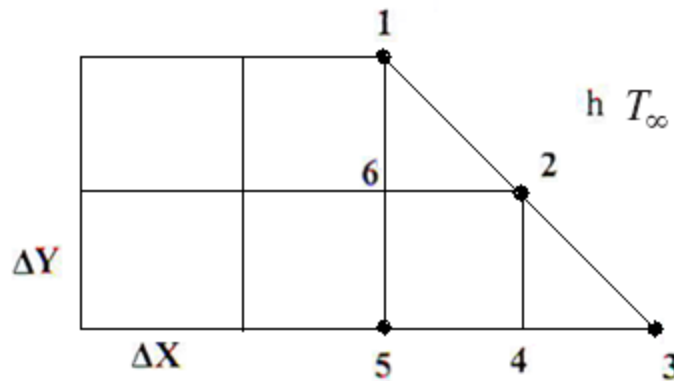
$$(q_2 + q_6 + q_4 + q_7) + q \cdot \Delta V = 0$$

$$\left( KA \frac{\Delta T}{\Delta y}_2 + KA \frac{\Delta T}{\Delta x}_6 + KA \frac{\Delta T}{\Delta x}_4 + KA \frac{\Delta T}{\Delta y}_7 \right) + q \cdot (Area * 1) = 0$$

$$\left( K(\Delta x * 1) \frac{T_2 - T_1}{\Delta y} + K\left(\frac{\Delta x}{2} * 1\right) \frac{T_6 - T_1}{\Delta x} + K(\Delta y * 1) \frac{T_4 - T_1}{\Delta x} + K\left(\frac{\Delta x}{2} * 1\right) \frac{T_7 - T_1}{\Delta y} \right) + q \cdot (\Delta y * \Delta x * 1) = 0 \quad (Answer)$$

**Example:** write the nodal Equation for node 2 as shown in the Figure below.

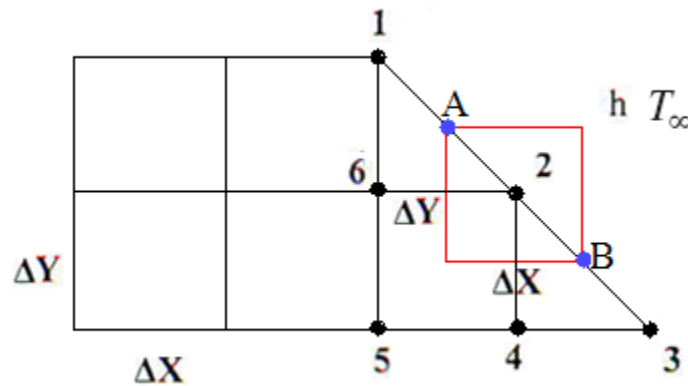
نمونہ: ھاوکیشہی گریبی بنوسہ بو گریبی 2 ھەروەك لہ وینەكەھى خوار مودا پيشان دراوہ.



Answer:

For node 2:

سەر هتا پێویسته رهسمی ئهو خال واته ئهو (Node) ه دروست بکەین کە دەمانهویت هاوکیشهکە ی بۆ بنوسین پاشان node ه که دهکینه ناو چوار گوشهیه که وه یان لاکیشهیه که وه که بنکهکە ی  $(x\Delta)$  وه بهرزیهکە ی  $(y\Delta)$  بیت. پێویسته خاله که بکهوینته ناوهندی لاکیشه که یا چوار گوشه که وه.



رونکردنه وه:

له خال (6) وه بۆ خالی (2) ، گهرمببه که به (conduction) دهگوازریته وه.

له خال (6) وه بۆ خالی (2) ، گهرمببه که به (conduction) دهگوازریته وه.

گوستنه وه ی گهرمی به (Conduction) تهنها له نیوان خالهکاندا رودهدات ، به لام گوستنه وه ی گهرمی به (Convection) تهنها له نیوان ههواکهو رووی دهره وه ی که سه سه ره هه که دا رودهدات.

پێویسته که درێژی (AB) بدۆزینه وه چونکه له وه رویهیه وه (Convection) رودهدات .

یاسای فیساکۆرس به کارده هینین بۆ دۆزینه وه ی درێژی. (AB)

$$(AB)^2 = (\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 \quad \text{یاسای فیساکۆرس:}$$

$$\therefore AB = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}$$

$$(\sum q) + q \cdot \Delta V = 0$$

$$(q_6 + q_4 + q_{convection}) + q \cdot \Delta V = 0$$

$$\left( KA \frac{\Delta T}{\Delta x}_6 + KA \frac{\Delta T}{\Delta y}_4 + hA\Delta T \right) + q \cdot (Area * 1) = 0$$

$$\left[ K(\Delta y * 1) \frac{T_6 - T_2}{\Delta x} + K(\Delta x * 1) \frac{T_4 - T_2}{\Delta y} + h(AB * 1) (T_\infty - T_2) \right]$$

$$+ q \cdot \left( \frac{1}{2} * \Delta y * \Delta x * 1 \right) = 0 \quad \text{Because area of triangel}$$

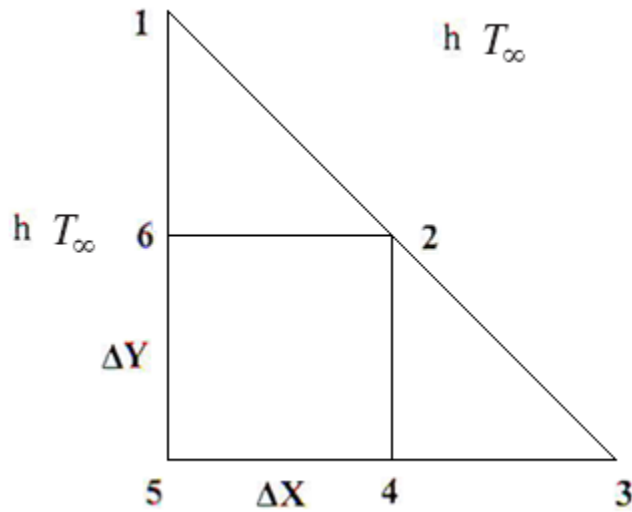
$$= \frac{1}{2} * base * height$$

$$\left[ K(\Delta y * 1) \frac{T_6 - T_2}{\Delta x} + K(\Delta x * 1) \frac{T_4 - T_2}{\Delta y} + h \left( \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2} * 1 \right) (T_\infty - T_2) \right]$$

$$+ q \cdot \left( \frac{1}{2} * \Delta y * \Delta x * 1 \right) = 0 \quad (\text{Answer})$$

**Example:** write the nodal Equation for node 1 as shown in the Figure below.

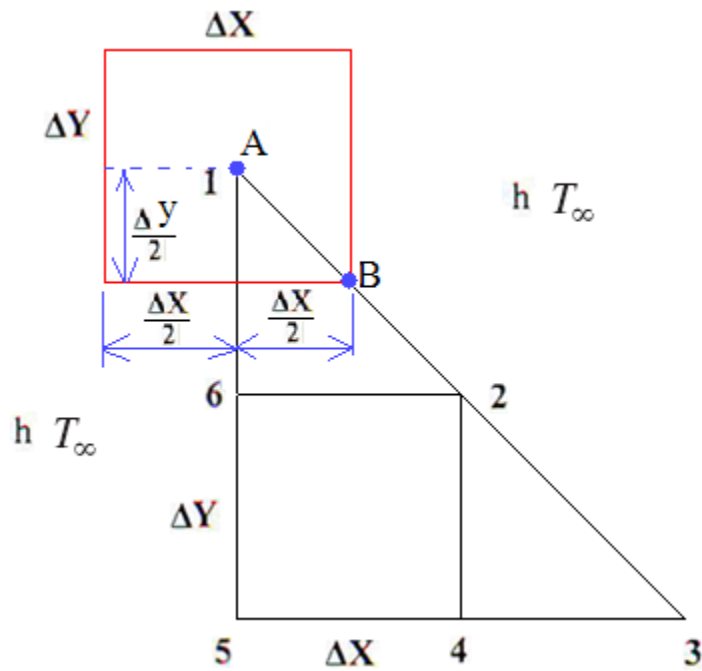
نمونە: ھاوکیڭشە ی گری ی بنوسه بۆ گری ی 1 ھەروەك له وینەکە ی خوار ھودا پیشان دراوہ.



Answer:

For node 1:

سەرەتا پێویستە ڕەسمی ئەو خال واته ئەو (Node) ه دروست بکەین کە دەمانەوێت هاوکێشەکە ی بۆ بنوسین پاشان node ه که دهکەینه ناو چوارگۆشەپێکەوه یان لاکێشەپێکەوه که بنکەکە ی ( $x\Delta$ ) وه بەرزبێهکە ی ( $y\Delta$ ) بێت. پێویستە خالەکه بکەوێتە ناو مەندی لاکێشەکه یا چوار گۆشەکەوه.



ڕونکردنەوه:

لهخال (6) هوه بو خالی (1) ، گرممبیهکه به (conduction) دهگوازیتهوه.

گوستنهوهی گهرمی به (Conduction) تهنه لهنیوان خالهکاندا رودهدات ، بهلام گوستنهوهی گهرمی به (Convection) تهنه لهنیوان ههواکهو رووی دهرهوهی کهرهستههقهکهدا رودهدات.

پیویسته که دریژی (AB) بدوزینهوه چونکه لهوو رویهیهوه (Convection) رودهدات.

یاسای فیساکورس بهکاردههینین بو دوزینهوهی دریژی (AB).

$$(AB)^2 = \frac{(\Delta x)^2}{2} + \frac{(\Delta y)^2}{2} \quad \text{یاسای فیساکورس:}$$

$$\therefore AB = \sqrt{\frac{(\Delta x)^2}{2} + \frac{(\Delta y)^2}{2}}$$

$$(\sum q) + q \cdot \Delta V = 0$$

$$(q_6 + q_{conv-left} + q_{conv-right}) + q \cdot \Delta V = 0$$

$$\left( KA \frac{\Delta T}{\Delta x}_6 + hA\Delta T + hA\Delta T \right) + q \cdot (Area * 1) = 0$$

$$\left[ K(\Delta y * 1) \frac{T_6 - T_1}{\Delta x} + h \left( \frac{\Delta y}{2} * 1 \right) (T_\infty - T_1) + h(AB * 1) (T_\infty - T_1) \right]$$

$$+ q \cdot \left( \frac{1}{2} * \frac{\Delta y}{2} * \frac{\Delta x}{2} * 1 \right) = 0 \quad \text{Because area of triangel}$$

$$= \frac{1}{2} * \text{base} * \text{height}$$

$$\left[ K(\Delta y * 1) \frac{T_6 - T_1}{\Delta x} + h \left( \frac{\Delta y}{2} * 1 \right) (T_\infty - T_1) \right. \\ \left. + h \left( \sqrt{\frac{(\Delta x)^2}{2} + \frac{(\Delta y)^2}{2}} * 1 \right) (T_\infty - T_1) \right] \\ + q \cdot \left( \frac{1}{8} * \Delta y * \Delta x * 1 \right) = 0 \quad (Answer)$$

#### Chapter 4

#### بہش ۴

Unsteady state conduction

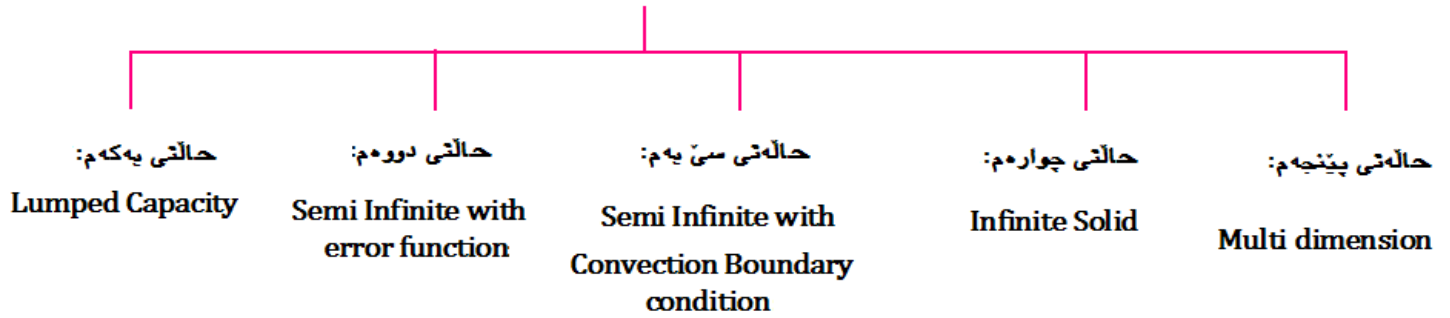
حالتی ناجیگیری گہیاندن



## Chapter 4

### Unsteady state

#### له پېنچ حالت پیکډیټ



تیبینی: پرسپاره کانی Chapter 4 به وده دا ده ناسینه وه که باس کات (time) ی له ناودایه

The process of heat transfer by conduction where the temperature varies with time and with space coordinates, is called unsteady or transient.

کرداری گواستنوهی گهرمی به گه یانندن له و یادا پلهی گهر میه که ده گوریت له گهل کات و له گهل پوتانه کانی بوشایدا، پیی دهوتریت ناجیگیر یان کاتی.

Lumped Capacity: حالتی یه که م:

Page 57 in the Data Book

حالتی یه کهم به دوو خالدا دهناسینهوه:

1. پرسار هکه داوات لیناکات له چ شوینیکی جسمه کهدا، چونکه له ههموو شوینیکی جسمه کهدا پلهی گهرمی یه کسانه.

2. قهبار هی جسمه که volume هی وه پرو بهر هکهی Area هی زانراوه یان خومان دهنانین بیدوزینهوه.

پرسیار هکه به هوی ئهم یاسایهوه شیکار ده کهین

$$\frac{T - T_{\infty}}{T_o - T_{\infty}} = \exp \left[ - \frac{hA_s}{cV\rho} \tau \right] \quad \text{at page 57 in the Data Book}$$

**Example:** a thermocouple junction, which may be approximated as a sphere, is to be used for temperature measurement in a gas. The h between the

junction surface and the gas is  $400W /m^2 .K$  With the junction properties are  $K=20W/mK$ ,

نمونه: دوانهیهکی گهرمی، که تارادهیهک شیوه گوییه، بهکار دهینریت بو پیوانی پلهی گهرمی له گازیکدا. (h) لهنیوان پرووهکهی و گازهکدا  $(400W /m^2 .K)$ . لهگهئ تاییهتمهندیهکهی سهری دوریکهدا  $(K=20W/mK)$  ،

$C_p = 400 J/kg .K$  and density  $8500kg/m^3$  .If thermocouple junction diameter assumed to be 0.7mm, how long will it take for the junction to reach  $199^\circ C$  , If junction temperature is at  $25^\circ C$  and placed in a gas steam that is at  $200^\circ C$ .

Given:  $h = 400W /m^2 .K$ , Thermal conductivity= $K=20W/mK$ ,  $C_p = 400 J/kg .K$  , density  $=\rho = 8500kg/m^3$  junction diameter = 0.7mm  $\rightarrow$   $radius = r = 0.35mm = 3.5 * 10^{-4}m$  , Inital temperature  $T_o=25^\circ C$  , fluid temperature= $T_\infty=20^\circ C$ .

Solution:

Lumped Capacity لهبهر نهوهی باسی شوینی نهکردوو کهواته نهمه حالتی یهکهمه

From page 57 in the Data Book:

$$\frac{T - T_\infty}{T_o - T_\infty} = \exp \left[ - \frac{hA_s}{cV\rho} \tau \right]$$

$$Surface\ area\ of\ sphere = A_s = 4 * \pi * r^2$$

$$A_s = 4 * \pi * (3.5 * 10^{-4})^2 = 1.53 * 10^{-6} m^2$$

$$Volume\ of\ sphere = V = \frac{4 * \pi * r^3}{3}$$

$$V = \frac{4 * \pi * (3.5 * 10^{-4})^3}{3} = 1.75 * 10^{-10} m^3$$

$$\frac{T - T_{\infty}}{T_o - T_{\infty}} = \exp \left[ -\frac{hA_s}{cV\rho} \tau \right]$$

$$\frac{199 - 25}{200 - 25} = e^{-\left(\frac{400 * 1.53 * 10^{-6}}{400 * 1.75 * 10^{-10} * 8500}\right) \tau}$$

$$0.99 = e^{-(1) \tau}$$

Taking logarithms for both sides

$$\ln 0.99 = \ln e^{-1 \tau}$$

$$-0.01 = -\tau$$

$$\tau = 0.041 \text{ sec (Answer)}$$

## حالتی دووم خالدا دهناسینهوه: Semi Infinite with error function:

حالتی دووم بهدوو خالدا دهناسینهوه:

پرساره که هیچ قیاساتیکی جسمه که مان ناداتی. وه لهناکاو پلهی گهرمی جسمه که دهگورت. یان دهلئت نهوهنده گهرمی flux مان پیدا که نم بره گهرمییه بریتیه له  $q \cdot A$ .

پرسیاره که به هیچ شیوهیه که باسی fluid ناکات.

پرسیاره که به هوی نم یاسایه وه شیکار دهکین:

$$\frac{T_x - T_0}{T_i - T_0} = \text{erf} \frac{x}{2\sqrt{\alpha\tau}} \text{ at page 58 in the Data Book}$$

**Example:** A thick concrete wall fairly large in size initially at 30°C suddenly has its surface temperature increased to 600°C . Determine the depth at which the temperature become 400°C after 25 minutes. Thermal diffusivity is  $4.92 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 / \text{s}$  and  $K=1.28 \text{ W/mK}$ .

نمونه: دیواریکی کونکریتی نهستور تارادهیه که زل له قهباردها سههتا له (30°C) لهپر پلهی گهرمییه پرووهکهی زیاد کرا بو (600°C). قوولیه که دیاری بکه که پلهی گهرمی تیا دا دهبیت به (400°C) دوای 25 خولهک.  $\alpha=4.92 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 / \text{s}$  وه  $K=1.28 \text{ W/mK}$ .

Given: Initial temperature =  $T_i=30^\circ\text{C}$  , surface temperature= $T_o =600^\circ\text{C}$ .  $T_x =400^\circ\text{C}$  , Thermal diffusivity = $\alpha=4.92 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 / \text{s}$ , Thermal conductivity= $K=1.28 \text{ W/mK}$

Solution:

لهبهر ئهوهى هيچ دوريهك dimension كى جسمهكه نه دراوه وه باسى fluid ي نهكر دووه كهواته ئهمه  
حالتى دوومه

### Semi Infinite with error function

From page 58 in the Data Book:

$$\frac{T_x - T_o}{T_i - T_o} = erf \frac{x}{2\sqrt{\alpha \tau}}$$

$$\frac{400 - 600}{30 - 600} = erf \frac{x}{2\sqrt{4.92 * 10^{-7} * 1500}}$$

$$0.35 = erf \frac{x}{0.054}$$

$$0.35 = erf(z)$$

$$\therefore z = \frac{x}{0.054} \dots \dots \dots (1)$$

According to the table from page 59 in the Data Book:

له column ي يه كه مدا سهير ده كهين له ژير erf(z) دا هاتا 0.35 ده دوزينه وه ده بينين له ستونى  
يه كه مدا له پيش ريزى كوتايدا 0.35928 نوسراوه كه زور نزيكه له 0.35 كهواته ئه و ژماره يه  
هه لده بژيرين كه له تهنيشتيا نوسراوه كه بر يتيه له 0.33 وه ئهمه ش نرخى (z) هكه مانه ئهمه ده خهينه ناو  
هاوكيشه ي يه كه مه وه.

$$\therefore z = \frac{x}{0.054} \dots \dots \dots (1)$$

$$0.33 = \frac{x}{0.054} \rightarrow x = 0.01782 \text{ m} = 1.782 \text{ cm}$$

The depth= x=0.01782 m=1.782 cm (Answer)

## حالتی سی یهه: Semi Infinite with Convection Boundary condition

حالتی سی یهه به دوو خالدا ده ناسینه وه:

پرساره که هیچ قیاساتیکی جسمه که مان ناداتی. وه له نا کاو پله ی گهر می جسمه که ده گورت. یان ده لیت نه ونده گهر می flux مان پیدا که نم بره گهر می به بریتیه له  $q^{\wedge}/A$  پرسیاره که باسی fluid ده کات. وه  $h$  که یو پله گهر می به که ی  $T_{\infty}$  باسکرا وه.

پرسیاره که به هوی نهه Chart هوشیکار ده که ی:

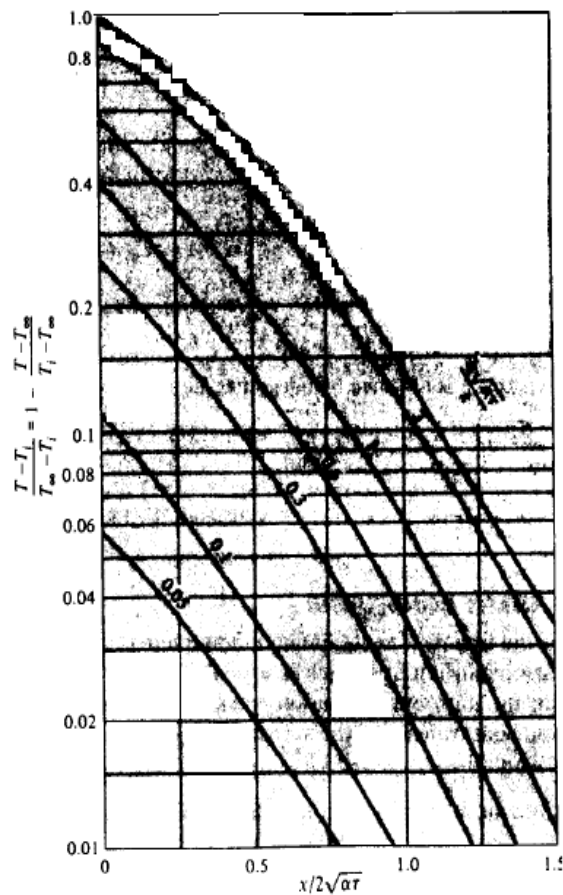


Fig. 4-5 Temperature distribution in the semi-infinite solid with convection boundary condition.

جياوازي حالتى سى يەم لەگەل حالتەى چوار ەمدا تەنھا ئەو يە كە لە حالتى سى يەمدا پارسار ەكە باسى (Fluid) ناكات بەلام لە حالتەى چوار ەمدا جسمەكە (Fluid) ى لەگەلدايە. وەبەو ەدا دەزانين كە Fluid ى لەگەلدايەكە (h) ەكەى يان پلەى گەرمى Fluid ەكە باسكراو ە.

لە حالتى سى يەمدا دوو چۆر پارسيار ەيەكە ەمريەكەيان بەشيو از يك شيكار دەكرين بەلام ەدووو شيواز ەكە بەهوى chart ى لا پەرە 60 مو ە شيكار دەكرين:

ئەگەر لەپرسيار ەكەدا كاتەكە (time) درابوو.

ئەگەر لەپرسيار ەكەدا كاتەكە (time) نە درابوو.

ئەگەر لەپرسيار ەكەدا كاتەكە (time) درابوو:

ئەوا داواى دۆزىنەوى پلەى گەرمى دەكات لە x دا يان بەپيچەوانەو ە داواى دۆزىنەوى x دەكات لەپاەيەكى گەرمى دا (T) ، ئەگەر (T) درابوو دەبیت سەرەتا Y-axis بدۆزىنەو ەكە دەكاتە ژمارەيك پاشان curve ەكە بەم ھاكيشەيە  $\frac{h\sqrt{\alpha t}}{k}$  دەدۆزىنەو ەكە ئەميش دەكاتە ژمارەيكەى تر ، ئيمە ژمارەكەى Y-axis ئيصقات دەكەين بۆ سەر curve ەكە وە لەكو يادا curve ەكەى پرى ئەوا ئوخال ئيصقات دەكەين بۆ سەر X-axis كە لە ژمارەيكەدا دەى پريت. وەئەم ژمارەيكەسانە ھاوكيشەكەى ژير X-axis كەبريتيەلە  $\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}$  . بەلام ئەگەر داواى دۆزىنەوى پلەى گەرمى كر دبوو لە x دا ئەوا ئەم ەنگاوانەى كە باسمان كر د پيچەوانەى دەكەينەو ە واتە يەكەم جار X-axis دەدۆزىنەو ەكە پاشان curve ەكە بەم ھاكيشەيە  $\frac{h\sqrt{\alpha t}}{k}$  دەدۆزىنەو ە ، ئيمە ژمارەكەى X-axis ئيصقات دەكەين بۆ سەر curve ەكە وە لەكو يادا curve ەكەى پرى ئەوا ئوخال ئيصقات دەكەين بۆ سەر Y-axis كە لە ژمارەيكەدا دەى پريت. وەئەم ژمارەيكەسانە بە ھاوكيشەكەى Y-axis

ئەگەر لەپرسيار ەكەدا كاتەكە (time) نە درابوو. دەبیت سەرەتا Y-axis بدۆزىنەو ەكە دەكاتە ژمارەيكە پاشان خومان كاتيك بەگريمان دادەنئين واتە assume ى دەكەين دواتر X-axis دەدۆزىنەو ە وە پاشان curve ەكە بەم ھاكيشەيە  $\frac{h\sqrt{\alpha t}}{k}$  دەدۆزىنەو ە ، ئيمە ژمارەكەى X-axis ئيصقات دەكەين بۆ



سەر curve هکه وه لهکویادا curve هکهی بری ئەوا ئەوخال ئیصقات دهکهین بۆ سەر Y-axis که له ژمارهیهکدا دهی بریت. وهنهم ژمارهیه لهگهڵ ژمارهکهی تری Y-axis دا بهراورددهکهین کهیهکهه جار دۆزیمانوه دهبی بزاینن ئەم دووژمارهیه لهیهکهوه نزیکن یان دورن ، ئەگهه دوربوون لهیهکهوه ئەوا دهبیت سەرلهنوئ کاتیکی تر بهگریماندا بنینیهوه هههمان هانگاو هکانی پێشودوباره دهکهینهوه ههتا ژمارهیهکهمان دهست دهکویت یهکسان دهبیت بهژماره ئەصلیهکهی Y-axis.

**Example:** a steel ingot (large in size) heated uniformly to  $415^{\circ}\text{C}$  is hardened by quenching it in an engine oil maintain at  $20^{\circ}\text{C}$  with  $h = 58\text{W}/\text{m}^2\text{C}$ . Determine the time required for the temperature to reach  $595^{\circ}\text{C}$  at a depth of 12mm. Steel has those properties  $\rho = 7833 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ,  $C = 465 \text{J}/\text{kg.K}$ ,  $k = 48\text{W}/\text{m}.\text{C}$ . The ingot may be approximated as a large flat plate.

نمونه: دارشتهیهکی پۆلا (زل له قهباره) به شیوهیهکی چوویهک گهرم کرا بۆ ( $415^{\circ}\text{C}$ ) پتهو کرا به تیههلهکیشانی له رۆنیککی بزوینهردا هیلراوهتهوه له ( $20^{\circ}\text{C}$ ) به ( $h = 58\text{W}/\text{m}^2\text{C}$ ). کاتی پێویست دیاری بکه بۆ ئەوهی پلهی گهرمی بگاته ( $595^{\circ}\text{C}$ ) له قوولی (12mm) دا. پۆلا ئەو تایبهتمهندیانهی ههیه  $\rho = 7833 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ,  $C = 465 \text{J}/\text{kg.K}$ ,  $k = 48\text{W}/\text{m}.\text{C}$  لهوانهیه تارا دهیهک وهک پلنیتکی تهختی گهوره بیت.

Given: Initial temperature =  $T_i = 415^{\circ}\text{C}$ , fluid temperature =  $T_{\infty} = 20^{\circ}\text{C}$ .  $T = 595^{\circ}\text{C}$ , depth  $x = 12\text{mm} = 0.012\text{m}$ .  $\rho = 7833 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ,  $C = 465 \text{J}/\text{kg.K}$ ,  $k = 48\text{W}/\text{m}.\text{C}$

Solution:

لهبهر ئەوهی ههچ دوریهک (dimension) کی جسمهکه نهراوه، وه باسی fluid کراوه کهواته ئەمه حالتی سی یهمه.

Semi infinite with convection boundary condition.

From page 60 in the Data Book:

نیمچه بیسنوور له گهډل مهرجی هه لگرتتی دهو رو بهر .

له لاپه ره وه 60 له کتیبه که هی زانیاری:

### حالتی چوار هم: Infinite Solid

حالتی چوار هم له سی جور پیکهاتو وه. که هر سی جور هکشی به Heisler chart شیکار ده کرین و هئمه ش هر سی جور هکشی تی.

1. Infinite plate
2. Long cylinder
3. Sphere

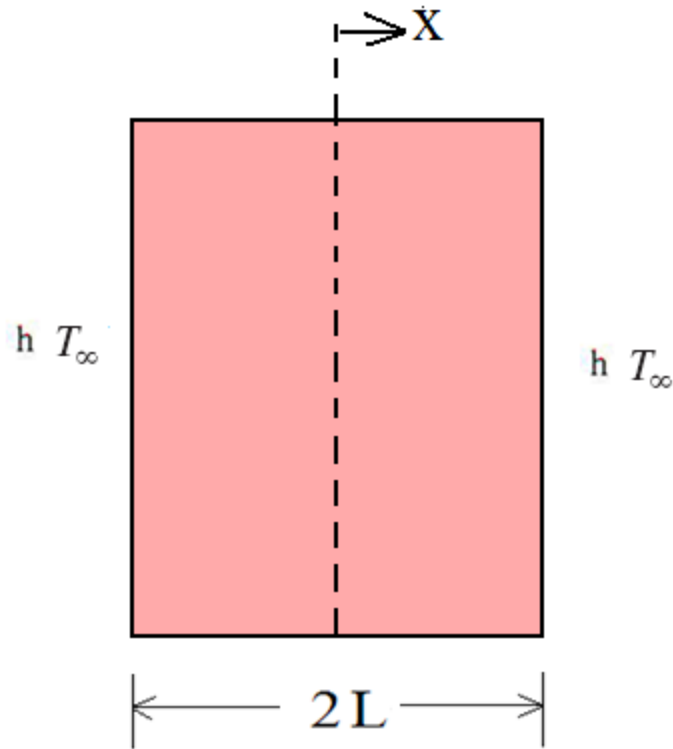
#### 1. Infinite plate

پلنیکه پانیه که هی زانرا وه ، که پانیه که هی دهکاته (L2) وه (x) له ناوهر استی پلنیکه وه پئورا وه. وه هر دولای پلنیکه که convection دهکات له گهډل شلگاز یکدا واته له گهډل (Fluid) کدا. پرسیاره که داوهی دوزینه وهی پلهی گهرمی دهکات له ناوهر استی پلنیکه که هی یان له دووریهی که هی زانرا وه له ناوهر استی پلنیکه که وه له دوا ی کاتیکی دیار یکر او یان به پیچه وانوه.

ئه گهر داوهی دوزینه وهی پلهی گهرمی کرد له ناوهر استی پلنیکه که هی ئهوا chart ی لاپه ره 65 له Data Book هکدها به کار دینین ، به لام ئه گهر داوهی دوزینه وهی پلهی گهرمی کرد له دووریهی که هی زانرا وه له ناوهر استی پلنیکه که هی ئهوا سهره تا ده بیت پلهی گهرمی له ناوهر استی پلنیکه که هی بدوزینه وه به هوی chart

ی لاپه‌ره 65 له Data Book هکه کهدا چونکه پئویستمان پئی ده‌بیت بو دۆزینه‌وه‌ی پله‌ی گهرمی له دوورییه‌کی زانراو له ناوه‌راستی پلنیه‌که‌وه دواتر پله‌ی گهرمی له دوورییه‌کی زانراو له ناوه‌راستی پلنیه‌که‌دا ده‌دۆزینه‌وه به‌هۆی chart ی لاپه‌ره 66 له Data Book هکه کهدا.

### SCHEMATIC:



تییینی : نه‌گهر پرسیاره‌که داوا‌ی دۆزینه‌وه‌ی پله‌ی گهرمی کردبوو له دوورییه‌کی زانراو له رووه‌که‌یه‌وه واته له (surface) مه‌ نه‌وا ده‌بیت ئیمه‌ نه‌م دوورییه‌ بگۆرین به‌گۆیره‌ی ناوه‌راستی پلنیه‌که‌. چونکه (x) له‌ناوه‌راسته‌وه پئوراوه.

تییینی : نه‌گهر پرسیاره‌که داوا‌ی دۆزینه‌وه‌ی پری گهرمی ئالوگۆرکراوی کردبوو (Heat transfer rate) له‌ناو پلنیه‌که‌وه بو دهر مه‌وه‌ی پلنیه‌که‌ نه‌وا chart ی لاپه‌ره 67 به‌کادینین له Data Book هکه‌دا.

**Example:** A plane wall is 0.12m thick ,made of material of density  $7800\text{kg}/\text{m}^3$  , thermal conductivity  $45\text{W}/\text{mK}$ , and specific heat  $465\text{ J}/\text{kg.K}$ . It is initially at a uniform temperature of  $310^\circ\text{C}$  , the wall is exposed suddenly to convection on both sides at  $30^\circ\text{C}$  with a convection heat transfer coefficient of  $450\text{W}/\text{m}^2.\text{K}$  . Determine the temperature after 8 minute at (1)mid plane (2) 0.03m from center.

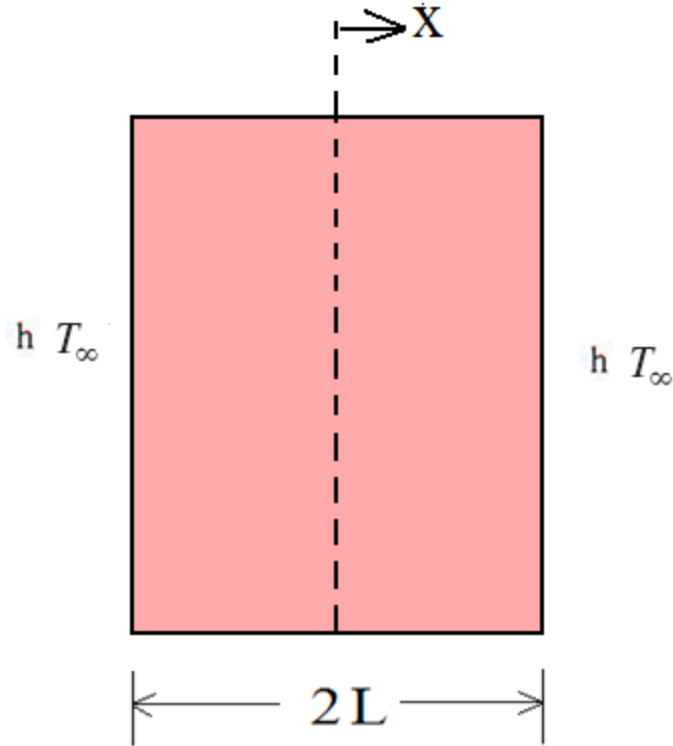
نمونہ: دیوار کی تہخت (0.12m) ٹہستورہ، دروستکراوی کھہرستہیہکی چریی ( $7800\text{kg}/\text{m}^3$ ) ، توانای گہیانندی گہرمی ( $45\text{W}/\text{mK}$ )، و گہرمیی جوری ( $465\text{ J}/\text{kg.K}$ ). سہرہتا لہ پلہیہکی گہرمی چونیہکی  $310^\circ\text{C}$  دایہ، دیوار مکہ لہپر کھوتہ بہر ہہلگرتن لہ ہہردوو لاکہیہوہ لہ ( $30^\circ\text{C}$ ) بہ ہاوکولکہیہکی ہہلگرتتی گواستتہوہی گہرمی ( $450\text{W}/\text{m}^2.\text{K}$ ). پلہی گہرمیہکہ دیاری بکہ پاش (8) خولہک لہ (1) ناوہراستی روتہختہکدا (2) (0.03m) لہ ناوہندہوہ

Given: density  $=\rho = 7800\text{kg}/\text{m}^3$ , Thermal conductivity  $= K=20\text{W}/\text{mK}$ ,  $C =400\text{ J}/\text{kg.K}$  Thickness  $=2L=0.12\text{m} \rightarrow L = 0.06\text{m}$ , initial temperature  $=T_i = 310^\circ\text{C}$ , fluid temperature  $=T_\infty=30^\circ\text{C}$ .  $h = 450\text{W}/\text{m}^2.\text{K}$ , time  $=t =8\text{ minute}=8*60\text{sec}=480\text{sec}$ .

**Solution:**

لہبہر ٹہوہی لہ پرسیارہکدا پانیی پلینیکہ زانراوہ وہ ہہردولای پلینیکہ convection دہکات لہگہل شلگازیکدا واتہ لہگہل (Fluid) کدا، کھواتہ ٹہمہ حالتی چوارہم Infinite Solid اوہجوری یہکہمیانہ واتہ infinite plate

**SCHEMATIC:**



From page 63 and page 65 in the Data Book:

$$\alpha = \frac{k}{\rho * C_p} = \frac{20}{7800 * 400} = 6.41 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{X-axis} = \frac{\alpha \tau}{L^2} = \frac{6.41 * 10^{-6} * 480}{0.06^2} = 0.85$$

$$\text{The curve} = \frac{hL}{k} = \frac{450 * 0.06}{20} = 1.35$$

نیمه ژماره‌مکی X-axis ئیصقات ده‌مکین بۆ سەر curve مکه وه له‌کویادا curve مکه‌ی بری ئه‌وا  
 ئه‌وخال ئیصقات ده‌مکین بۆ سەر Y-axis که له ژماره‌مکه‌دا ده‌ی بریت. وه‌ئهم ژماره‌ی بربیتیه‌له 0.52

$$Y - axis = 0.52 = \frac{T_o - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}}$$

$$0.52 = \frac{T_o - 30}{310 - 30}$$

$$145.6 = T_o - 30$$

$$145.6 + 30 = T_o$$

$$T_o = 175.6^\circ\text{C}$$

Temperature at the mid of the plate=

$$T_o = 175.6^\circ\text{C} \quad (\text{Answer})$$

From page 63 and page 66 in the Data Book:

$$\text{X-axis} = \frac{hL}{k} = \frac{450 \cdot 0.06}{20} = 1.35$$

$$\text{The curve} = \frac{x}{L} = \frac{0.03}{0.06} = 0.5$$

ئىمە ژمارەكەى X-axis ئىصقات دەكەين بۆ سەر curve كەكە وە لەكويادا curve كەكەى بىرى ئىوا  
ئىخال ئىصقات دەكەين بۆ سەر Y-axis كە لە ژمارەكەدا دەى بىرىت. وەئىم ژمارەكە بىرىتەلە 0.89

$$Y - \text{axis} = 0.89 = \frac{T_{x/L} - T_\infty}{T_o - T_\infty}$$

$$0.89 = \frac{T_{x/L} - 30}{175.6 - 30}$$

$$129.58 = T_{x/L} - 30$$

$$T_{x/L} = 159.58^\circ\text{C} \quad (\text{Answer})$$

**Example:** a plate of 20cm thickness at temperature of 500°C ;  $k=57W/m^{\circ}C$ , suddenly air at 25°C is blown over the surface with  $h=200W /m^2. ^{\circ}C$ ,  $\alpha= 11.85 * 10^{-5}m^2/sec$ . (1) At what time the mid temperature will be 240°C. (2)At what time the temperature at 1cm from the surface will be 240°C.

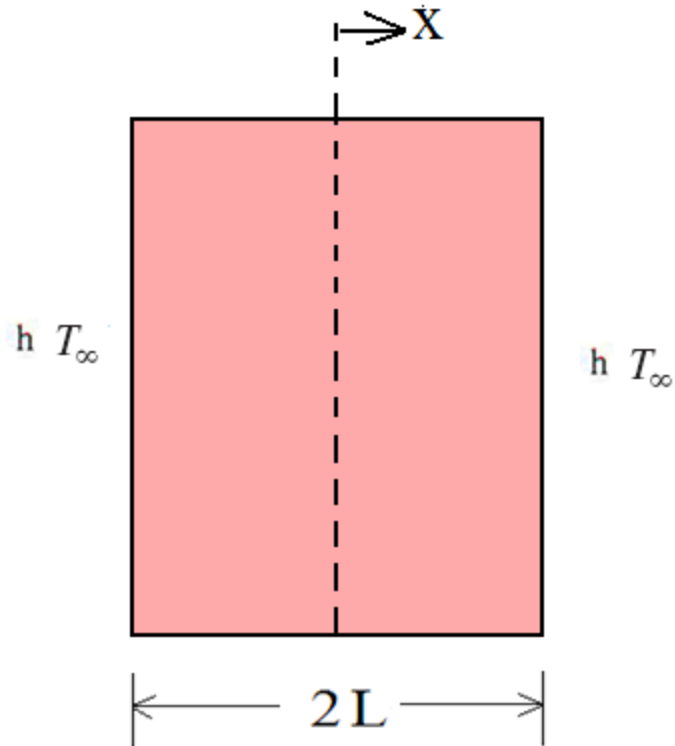
نمونہ: پلٹیکی (20cm) ئستور لہ پلہی گرمی (500°C) دا، ( $k=57W/m^{\circ}C$ )، لہپر ہوا لہ (25°C) بہسر رووہکیدا برا بہ ( $h=200W /m^2. ^{\circ}C$ )، ( $\alpha= 11.85 * 10^{-5}m^2/sec$ )۔ (1) لہ چی کاتیکدا پلہی گرمی ناوہراست دہیتہ (240°C)۔ (2) لہ چی کاتیکدا پلہی گرمی لہ (1cm) لہوہ رووہکیدی دہیتہ (240°C)۔

Given: Thickness=2L=20cm  $\rightarrow L = 10cm = 0.1m$ , initial temperature= $T_i = 500^{\circ}C$  , Thermal conductivity=  $K=20W/mK$ , fluid temperature= $T_{\infty}=25^{\circ}C$ .  $K$  ,  $h = 200W /m^2. ^{\circ}C$ ,  $\alpha= 11.85 * 10^{-5}m^2/s$

Solution:

لہسر ئہوی لہ پرسیارہکدا پانیی پلٹیکہ زانراوہ وہ ہمدولای پلٹیکہ convection دہکات لہگہل شلگازیکدا واتہ لہگہل (Fluid) کدا، کہواتہ ئمہ حالتی چوارہم Infinite Solid اوہجوری یہکہمیانہ واتہ infinite plate

**SCHEMATIC:**



1- Mid temperature:

From page 63 and page 65 in the Data Book:

$$Y - axis = \frac{T_o - T_\infty}{T_i - T_\infty}$$

$$Y - axis = \frac{240 - 25}{500 - 25} = 0.45$$

$$\text{The curve} = \frac{hL}{k} = \frac{200 * 0.1}{57} = 0.35$$

$X - axis = 2.7$  according to the chart

$$X - axis = 2.7 = \frac{\propto \tau}{L^2}$$

$$2.7 = \frac{11.85 * 10^{-5} * \tau}{0.1^2}$$



$$0.027 = 11.85 * 10^{-5} * \tau$$

$$\tau = \frac{0.027}{11.85 * 10^{-5}} = 227.84 \text{ sec (Answer)}$$

- 2- At what time the mid temperature at 1cm from the surface will be 240°C.

له چی کات پلهی گهرمی ناوهر است له (1جم) لهوه پرووهکه (240°C) دهییت

تیبینی : نهگهر پرسیارهکه داوای دوزینهوهی پلهی گهرمی کردبوو له دوریهکی زانراو له پرووهکهیهوه واته له (surface) موه نهوا دهییت نیمه نهم دوورییه بگورین بهگوریهی ناوهر استی پلنیهکه. چونکه (x) لهناوهر استهوه پیوراوه.

$$L=10\text{cm but } x=10-1=9\text{cm}=0.09\text{m}$$

From the chart of page 66 in the Data Book:

$$\frac{x}{L} = \frac{0.09}{0.1} = 0.9$$

$$\text{The curve} = \frac{hL}{k} = \frac{200 * 0.1}{57} = 0.35$$

*Y – axis = 0.91 accorging to the chart*

$$Y - axis = 0.91 = \frac{T_{x/l} - T_{\infty}}{T_o - T_{\infty}}$$

$$0.91 = \frac{240 - 25}{T_o - 25}$$

$$0.91(T_o - 25) = 215$$

$$(T_o - 25) = 236.26$$

$$T_o = 261.26^{\circ}\text{C}$$

Temperature at the mid of the plate=261.26°C when the surface will be 240°C.

پلهی گهرمی له ناوهراستی (پلاته=261.26°C کاتیک رووهکه (240°C) دهبیت.

From page 6 3 in the Data Book:

$$Y - axis = \frac{T_o - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}}$$

$$Y - axis = \frac{261.26 - 25}{500 - 25} = 0.49 \cong 0.5$$

X-axis=2.35 according to the chart

$$X - axis = 2.35 = \frac{\alpha \tau}{L^2}$$

$$2.35 = \frac{\alpha \tau}{L^2}$$

$$2.35 = \frac{11.85 * 10^{-5} * \tau}{0.1^2}$$

$$0.0235 = 11.85 * 10^{-5} * \tau$$

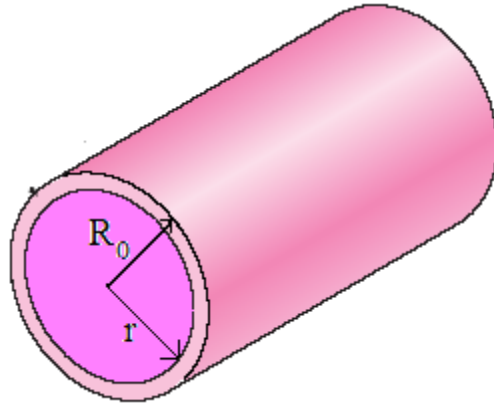
$$\tau = \frac{0.0235}{11.85 * 10^{-5}} = 207.04 \text{ sec (Answer)}$$

## 2. Long cylinder

لولهکینکه نیوهتیرمهکی زانراوه (r) لهناوهراستی لولهکهکهوه پئوراوه. وهرووی دهرموهی لولهکهکه convection دهکات لهگهل شلگازیکدا واته لهگهل (Fluid) کدا. پرسیارمهکه داوهی دۆزینهوهی پلهی گهرمی دهکات له ناوهراستی لولهکهکهکدا یان له دووریهکی زانراو له ناوهراستهوه لهوای کاتیک دیاریکراو یان بهپنچهوانهوه.

ئهگهر داوهی دۆزینهوهی پلهی گهرمی کرد له ناوهراستی لولهکهکهکدا ئهوا chart ی لاپهره 68 له Data Book هکدا بهکار دینین ، بهلام ئهگهر داوهی دۆزینهوهی پلهی گهرمی کرد له دووریهکی

زانراو له ناوهراستی لولهکهکهدا ئهوا سه رهتا دهبیت پلهی گهرمی له ناوهراستی لولهکهکهدا بدوزینهوه بههوی chart ی لاپه ره 68 له Data Book هکهکهدا چونکه پیویستمان پیی دهبیت بو دوزینهوهی پلهی گهرمی له دوورییهکی زانراو له ناوهراستی لولهکهکهوه دواتر پلهی گهرمی له دوورییهکی زانراو له ناوهراستی لولهکهکهدا ده دوزینهوه بههوی chart ی لاپه ره 69 له Data Book هکهکهدا.



تییینی : ئهگهر پرسیارهکه داوای دوزینهوهی پلهی گهرمی کردبوو له دوورییهکی زانراو له رووهکهیهوه واته له (surface) هوه ئهوا دهبیت ئیمه ئهم دوورییه بگورین بهگویرهی ناوهراستی لولهکهکه. چونکه  $(r)$  له ناوهراستهوه پیوراوه.

تییینی : ئهگهر پرسیارهکه داوای دوزینهوهی بری گهرمی ئالوگورکراوی کردبوو (Heat transfer rate) له ناو لولهکهکهوه بو دهرهوهی لولهکهکه ئهوا chart ی لاپه ره 70 بهکادینین له Data Book هکهدا.

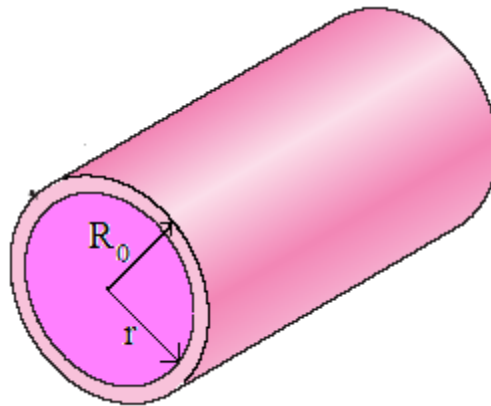
**Example:** a long cylindrical bar of radius 80mm comes out off oven at  $830^{\circ}\text{C}$  and is cooled by quenching in a large bath of  $40^{\circ}\text{C}$  coolant. The heat transfer coefficient between the bar and coolant is  $180\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ . Determine the time required the shaft center to reach  $120^{\circ}\text{C}$ . If  $(K=17.4\text{ W}/\text{mK}$  and  $\alpha= 5.28 * 10^{-6}\text{ m}^2/\text{sec})$

نمونه: شیشیکی دریز لولهکی نیوهتیره (80mm) دهرهوه دور له تهنور دا دهبیزیت له  $(830^{\circ}\text{C})$  و سارد براوتهوه بهکپ دهکات له گهرماویکی زلی  $(40^{\circ}\text{C})$  ساردکهرهوه. هاوکۆلکهکهی لهنیوان گواستنهوه گهرمی شیشهکه و ساردکهرهوه  $(180\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K})$  ه. کات پیویست بووهکهی شهفت دیاری بکه ناوهند تا  $(120^{\circ}\text{C})$  بگات به. ئهگهر  $(K=17.4\text{ W}/\text{mK}$  and  $\alpha= 5.28 * 10^{-6}\text{ m}^2/\text{sec})$

Given: Thermal conductivity=  $K=17.4\text{W/mK}$ ,  $\alpha= 5.28 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$  ,  
 $R_0 = 80\text{mm} = 0.08\text{m}$ , initial temperature= $T_i = 830^\circ\text{C}$  , fluid  
 temperature= $T_\infty=40^\circ\text{C}$ .  $h = 180\text{W} / \text{m}^2 . \text{K}$  ,  $T_o = 120^\circ\text{C}$  , time =  $t = ?$

Solution:

لهبهر ئهوهی باسی لولهکێکه نیوهتیرمهکی زانراوه وهههر دولای لولهکهکه convection دهکات لهگهڵ  
 شلگازی کدا واته لهگهڵ (Fluid) کدا، کهواته ئهمه حالتی چوارهم Infinite Solid وهجووری دووهمیانه  
 واته Long cylinder



From page 63 and page 68 in the Data Book:

له لاپهروهه 63 و لاپهروه 68 له کتێبهکهی زانیاری

$$Y - axis = \frac{T_o - T_\infty}{T_i - T_\infty}$$

$$Y - axis = \frac{120 - 40}{830 - 40} = 0.1$$

$$The\ curve = \frac{hR_0}{k} = \frac{180 * 0.08}{17.4} = 0.82$$

$$X-axis=2 = \frac{\alpha\tau}{R_0^2} = \frac{5.28*10^{-6}*\tau}{0.08^2} = \frac{5.28*10^{-6}*\tau}{6.4*10^{-3}}$$

$$0.0128 = 5.28 * 10^{-6} * \tau$$

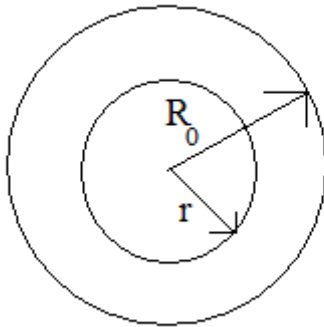
$$\tau = \frac{0.0128}{5.28 * 10^{-6}} = 2424.24 \text{ sec (Answer)}$$

رافه‌کە‌ی: ئیمه ژماره‌کە‌ی Y-axis ئیصقات ده‌کە‌ین بۆ سه‌ر curve ه‌که‌ وه‌ له‌کویادا curve ه‌کە‌ی بری  
 ئە‌وا ئە‌و خاڵ ئیصقات ده‌کە‌ین بۆ سه‌ر X-axis که‌ له‌ ژماره‌یه‌ک‌دا ده‌ی بریت. وه‌ئهم ژماره‌یه‌بریتیه‌له‌ 2

### 3. Sphere

گۆیه‌که‌ نیوه‌تیره‌کە‌ی زانراوه‌ (r) له‌ناوه‌راستی گۆیه‌که‌وه‌ پێوراوه‌. وه‌رووی ده‌ره‌وه‌ی  
 گۆیه‌که‌ convection ده‌کات له‌گه‌ڵ شلگازیک‌دا واته‌ له‌گه‌ڵ (Fluid) ک‌دا. پرسیاره‌که‌ داوه‌ی  
 دۆزینه‌وه‌ی پله‌ی گه‌رمی ده‌کات له‌ ناوه‌راستی گۆیه‌که‌دا یان له‌ دووریه‌کی زانراو له‌  
 ناوه‌راسته‌وه‌ له‌دوای کاتیکی دیاریکراو یان به‌پێچه‌وانه‌وه‌.

ئه‌گه‌ر داوه‌ی دۆزینه‌وه‌ی پله‌ی گه‌رمی کرد له‌ ناوه‌راستی گۆیه‌که‌دا ئە‌وا chart ی لاپه‌ره‌  
 68 له‌ Data Book ه‌که‌دا به‌کار دێنن ، به‌لام ئە‌گه‌ر داوه‌ی دۆزینه‌وه‌ی پله‌ی گه‌رمی کرد له‌  
 دووریه‌کی زانراو له‌ ناوه‌راستی گۆیه‌که‌وه‌ ئە‌وا سه‌ر ه‌تا ده‌بیت پله‌ی گه‌رمی له‌ ناوه‌راستی  
 گۆیه‌که‌دا بدۆزینه‌وه‌ به‌هۆی chart ی لاپه‌ره‌ 68 له‌ Data Book ه‌که‌دا چونکه‌  
 پێویستمان پێی ده‌بیت بۆ دۆزینه‌وه‌ی پله‌ی گه‌رمی له‌ دووریه‌کی زانراو له‌ ناوه‌راستی  
 گۆیه‌که‌وه‌ دواتر پله‌ی گه‌رمی له‌ دووریه‌کی زانراو له‌ ناوه‌راستی گۆیه‌که‌دا ده‌دۆزینه‌وه‌  
 به‌هۆی chart ی لاپه‌ره‌ 69 له‌ Data Book ه‌که‌دا.



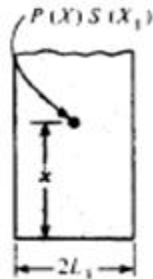
تێبینی : ئە‌گه‌ر پرسیاره‌که‌ داوای دۆزینه‌وه‌ی پله‌ی گه‌رمی کردبوو له‌ دووریه‌کی زانراو له‌ رووه‌که‌یه‌وه‌  
 واته‌ له‌ (surface) مه‌ ئە‌وا ده‌بیت ئیمه‌ ئهم دووریه‌ بگۆرین به‌گۆیره‌ی ناوه‌راستی گۆیه‌که‌. چونکه‌ (r)  
 له‌ناوه‌راسته‌وه‌ پێوراوه‌.

تیبینی : ئەگەر پرسیار مکه داوای دۆزینەوی بێری گەرمی ئالوگۆرکراوی کردبوو (Heat transfer rate) لەناو گۆیەکەرە بو دەر مەوی گۆیەکە ئەوا chart ی لاپەرە 70 بەکادینین لە Data Book مکهدا.

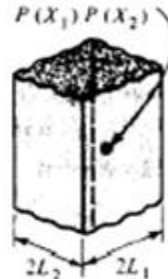
حالهتی پینجەم: Multi dimension

From page 74 in the Data book:

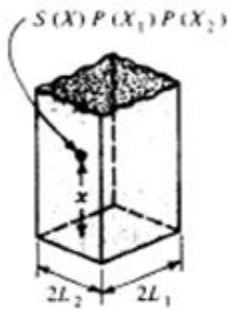
لەم شێوە جیاوازانه پیکدیت:



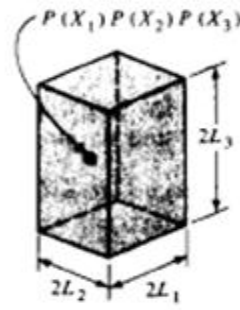
(a) semi-infinite plate;



(b) infinite rectangular bar



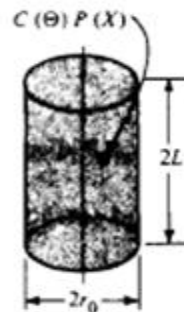
(c) semi-infinite rectangular bar;



(d) rectangular parallelepiped;



(e) semi-infinite cylinder;



(f) short cylinder.

وینہی (a) بریتیلہ (semi-infinite plate) پلٹیکہ پانیہکھی زانراوہ و ہر سیارہ کہ داوای  
 دوزینہوی پلہی گہرمی خالک دکات دوریہکی زانراوی ہہ لہ بنہی پلٹیکہکھوہ و دہلت دکھویتہ  
 ناوہرستہوہ یان دوریہکی زانراو لہناوہر استہوہ.

$$P(X) S(X_1) = \frac{T - T_\infty}{T_i - T_\infty}$$

شیکاری بہشی  $P(X)$  و ہک شیکاری infinite plate وایہ

شیکاری بہشی  $S(X_1)$  و ہک شیکاری

Semi-infinite solid with convection boundary condition وایہ

وینہی (b) بریتیلہ (infinite rectangular bar) دریژی دولای زانراوہ و ہر سیارہ کہ داوای  
 دوزینہوی پلہی گہرمی خالک دکات ناوہرستی جسمہکدا.

$$P(X_1) P(X_2) = \frac{T - T_\infty}{T_i - T_\infty}$$

شیکاری بہشی  $P(X_1)$  و ہک شیکاری infinite plate وایہ

شیکاری بہشی  $P(X_2)$  و ہک شیکاری infinite plate وایہ

وینہی (c) بریتیلہ (Semi-infinite rectangular bar) دریژی دولای زانراوہ و ہر سیارہ کہ  
 داوای دوزینہوی پلہی گہرمی خالک دکات دوریہکی زانراوی لہ بنہی پلٹیکہکھوہ و دہلت دکھویتہ  
 ناوہرستہوہ یان دوریہکی زانراو لہناوہر استہوہ.

$$S(X) P(X_1) P(X_2) = \frac{T - T_\infty}{T_i - T_\infty}$$

شیکاری بهشی  $P(X_1)$  و هك شیکاری infinite plate وایه

شیکاری بهشی  $P(X_2)$  و هك شیکاری infinite plate وایه

شیکاری بهشی  $S(X)$  و هك شیکاری

Semi-infinite solid with convection boundary condition وایه

وینهی (d) بریتیهله (rectangular parallelepiped) دریژی دولای زانراوه لهگهل بهرزیهکهیدا و هپرسیارمهکه داوای دوزینهوهی پلهی گهرمی خالك دهکات لهجیگهیهکی دیاریکراوی جسمهکهدا .

$$P(X_1)P(X_2) P(X_3) = \frac{T - T_\infty}{T_i - T_\infty}$$

شیکاری بهشی  $P(X_1)$  و هك شیکاری infinite plate وایه

شیکاری بهشی  $P(X_2)$  و هك شیکاری infinite plate وایه

شیکاری بهشی  $P(X_3)$  و هك شیکاری infinite plate وایه

وینهی (e) بریتیهله (Semi-infinite cylinder) تیرمهکی زانراوه و هپرسیارمهکه داوای دوزینهوهی پلهی گهرمی خالیک دهکات له دوریهکی زانراوه له بنکهی لولهکهکهوه و دهآلت دهکهوئته ناوهرستهوه یان دوریهکی زانراوه لهناوهرستهوه.

$$C(\theta) S(X) = \frac{T - T_\infty}{T_i - T_\infty}$$

شیکاری بهشی  $C(\theta)$  و هك شیکاری

Infinite solid (Long cylinder) وایه



شیکاری بهشی  $S(X)$  وهك شیکاری

Semi-infinite solid with convection boundary condition وایه

وینهی (f) بریتیله (short cylinder) تیرهکی زانراوه لهگهل درژییهکهیدا وهرسیارمهکه داوای دوزینهوهی پلهی گهرمی خالک دهکات دوریهکی زانراوی له بنهی لولهکهکهوه ودهلت دهکویته ناوهرستهوه یان دوریهکی زانراو لهناوهراستهوه.

$$C(\theta) \quad P(X) = \frac{T - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}}$$

شیکاری بهشی  $C(\theta)$  وهك شیکاری

Infinite solid (Long cylinder) وایه

شیکاری بهشی  $P(X)$  وهك شیکاری infinite plate وایه.

**Example:** a cube of aluminum 10cm on each side is initially at a temperature of 300°C and is immersed in a fluid at 100°C . The heat transfer coefficient is 900W/m<sup>2</sup>.°C. Calculate the temperature in the center of one face after 1min. Take  $\alpha = 8.418 * 10^{-5} m^2/s$ ,  $k = 220W/m.°C$

نمونه: شهشپالویکی ئەلهمنیۆم (10cm) لهسههر ههر لا سههرهتاه له پلهی گهرمییهکی (300°C) و نوقوم بوون ریت له شلهیهك له (100°C). هاوکۆلکهکهیه گهرمی (900W/m<sup>2</sup>.°C) گواستهوه.

پلهی گهر میهکه همژمار بکه له ناوهندهکهی بهک پروو پاش 1 خولهک. وهریبگره  $\alpha = 8.418 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $k = 220 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$

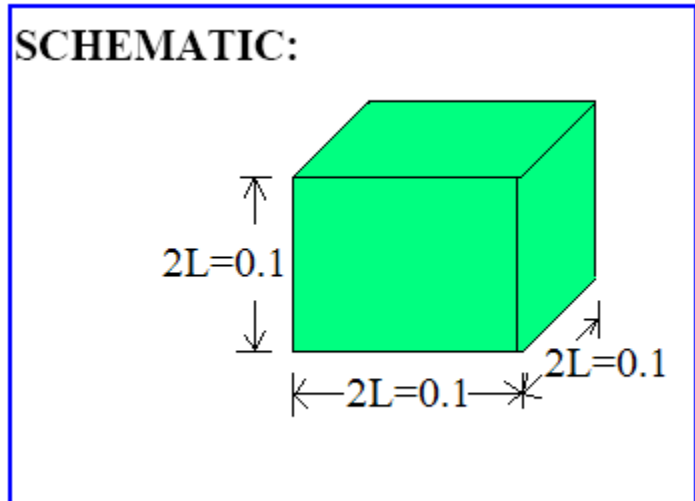
Given:  $2L=10\text{cm}=0.1\text{m} \rightarrow L=0.05\text{m}$ , initial temperature  $=T_i=300^\circ\text{C}$ , fluid temperature  $=T_\infty=100^\circ\text{C}$ , heat transfer coefficient  $=h=900\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ , time  $=\tau=1\text{min}=60\text{sec}$ .  $\alpha = 8.418 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$   $k = 220 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$

Solution:

From the chart of page 65 in the Data Book:

لهوه هیلکار بهکهی لایهره 60 له کتیهکهی زانیاری:

$$\begin{aligned} X - axis &= \frac{\alpha \tau}{L^2} \\ &= \frac{8.418 \times 10^{-5} \times 60}{0.05^2} \\ &= 20.02 \cong 20 \end{aligned}$$



$$\text{The curve} = \frac{hL}{k} = \frac{900 \times 0.05}{220} = 0.2$$

$Y - axis = 0.02$  accorging to the chart

$$Y - axis = 0.02 = P(X_1) = \frac{T - T_\infty}{T_i - T_\infty}$$

$$0.02 = \frac{T - 100}{300 - 100}$$

$$0.02 \times 200 = T - 100$$

$$4 = T - 100 \rightarrow T = 100 + 4 = 104^\circ\text{C} \text{ (Answer)}$$

**Example:** a cube of aluminum 12cm on each side is initially at a temperature of 400°C and is suddenly immersed in a tank of oil maintained at 85°C . The heat transfer coefficient is 1100W/m<sup>2</sup>.°C. Calculate the temperature at 1cm far from the three faces after 2 minutes. Take  $\alpha = 8.418 * 10^{-5} m^2/s$   
 $k = 220W/m.°C$

نمونہ: شہشپالوئیکی ٹھلہ منیوم ہر لایہ کی (12cm) سہرہتا لہ پلہی گہرمی (400°C) دایہ و لہ پیر نوقوم بوو لہ تانکیکی رۆن ماوتہوہ لہ (85°C). هاو کۆلکەکەپہ گواستتہوہ گہرمی (1100W/m<sup>2</sup>.°C) ہ. پلہی گہرمیہکە ہہژمار بکە لہ (1cm) دوور لہ ہر سی روہکەپہوہ پاش 2 خولەک.

Given:  $2L=12\text{cm}=0.12\text{m} \rightarrow L=0.06\text{m}$ , initial temperature  $=T_i=400^\circ\text{C}$ , fluid temperature  $=T_\infty=85^\circ\text{C}$ , heat transfer coefficient  $=h=1100\text{W}/\text{m}^2.^\circ\text{C}$ ,  $x=0.01\text{m}$  from the surfaces  $=0.11\text{m}$  from the center, time  $=\tau=2\text{min}=120\text{sec}$ .  $\alpha = 8.418 * 10^{-5} m^2/s$   $k = 220\text{W}/\text{m}.^\circ\text{C}$

تیبینی : ئەگەر پرسیارەکە داوای دۆزینەوہی پلہی گہرمی کردبوو لہ دورییەکی زانراو لہ رووہکەپہوہ واتە لہ (surface) موہ ئەوا دەبیت ئیمہ ئەم دووریہ بگۆرین بەگۆیرەہی ناوہراستی گۆپەکە. چونکە (x) لہ ناوہراستتہوہ پێوراوہ.

Solution:

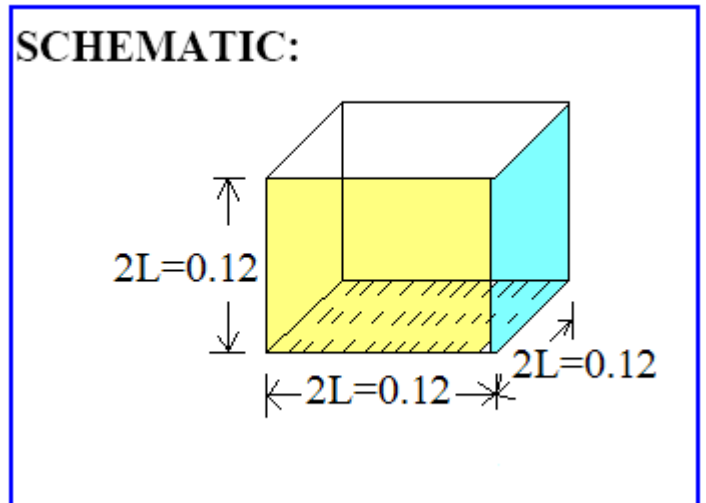
From the chart of page 65 in the Data Book:

$$P(X_1) = P(X_2) = P(X_3)$$

$$X - axis = \frac{\alpha \tau}{L^2} = \frac{8.418 * 10^{-5} * 120}{0.06^2} = 2.85$$

$$The\ curve = \frac{hL}{k} = \frac{1100 * 0.06}{220} = 0.3$$

Y - axis = 0.48 according to the chart



$$Y - axis = 0.48 = \frac{T_o - T_\infty}{T_i - T_\infty}$$

1cm from the surface:

تئیبینی : نهگهر پرسیارهکه داوای دوزینهوهی پلهی گهرمی کردبوو له دوریهکی زانراو له پرووهکهیهوه واته له (surface) هوه نهوا دهبیت ئیمه نهم دوورییه بگورین بهگویرهی ناوهراستی پلنیهکه. چونکه (x) لهناوهراستهوه پیوراوه.

$$L=0.06\text{cm but } x=0.06-0.01=0.05\text{cm}$$

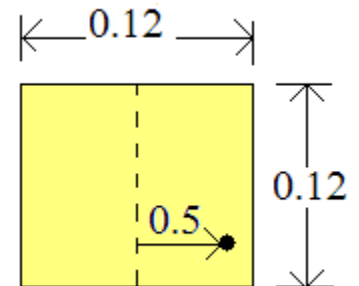
From the chart of page 66 in the Data Book:

$$\text{The curve} = \frac{x}{L} = \frac{0.05}{0.06} = 0.8$$

$$X - axis = \frac{hL}{k} = \frac{1100 * 0.06}{220} = 0.3$$

$Y - axis = 0.94$  according to the chart

$$Y - axis = 0.94 = \frac{T_{x/l} - T_\infty}{T_o - T_\infty}$$



$$P(X_1) = (Y - axis)_{x=0} * (Y - axis)_{x=0.05} = 0.94 * 0.48 = 0.45$$

$$P(X_1) = 0.45$$

$$P(X_1) = P(X_2) = P(X_3) = 0.45$$

$$P(X_1) * P(X_2) * P(X_3) = \frac{T - T_\infty}{T_i - T_\infty}$$

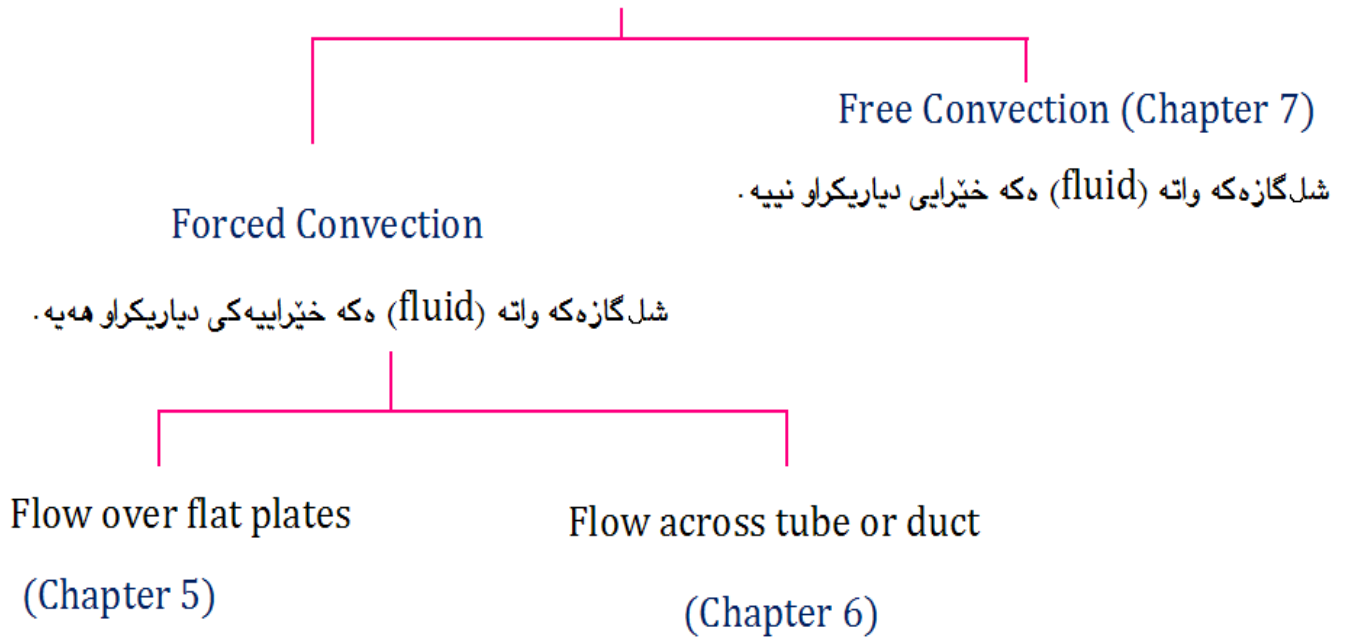
$$0.45 * 0.45 * 0.45 = \frac{T - 85}{400 - 85}$$

$$0.091 = \frac{T - 85}{315}$$

$$28.7 = T - 85 \rightarrow T = 28.7 + 85 = 113.7^\circ\text{C}(\text{Anser})$$

## Types of convection

جوڑه كاني بلا بونه وه:



## MODULE CONVECTION

### Convection Heat Transfer-Requirements

هه لگرتن

پیداویستییه كاني گواستنه وه ی گهرمی هه لگرتن

The heat transfer by convection requires a solid - fluid interface, a temperature difference between the solid surface and the surrounding fluid

and a motion of the fluid. The process of heat transfer by convection would occur when there is a movement of macro-particles of the fluid in space from a region of higher temperature to lower temperature.

گواستنهوهی گهرمی بهههگرتن پیویستی به نیوانهرو ( رهق- شلگاز)، جیاوازیهکی پلهی گهرمی لهنیوان پرووه پتهوهکه و شلگازهکهی چواردهوری وه جولهی شلگازهکه دهییت. پیقازوی گواستنهوهی گهرمی بهههگرتن پروو دههات کاتیک جولهی تهنولکه وردهکانی شلهکه له بوشایدا ههییته له ناوچهیهکی پلهی گهرمی بهرزترهوه بو پلهی گهرمی نزمتر.

### Convection Heat Transfer Mechanism میکانیزی گواستنهوهی گهرمی هههگرتن

Let us imagine a heated solid surface, say a plane wall at a temperature  $T_w$  placed in an atmosphere at temperature  $T_\infty$ , Figure 2.1 Since all real fluids are viscous, the fluid particles adjacent to the solid surface will stick to the surface. The fluid particle at A, which is at a lower temperature, will receive heat energy from the plate by conduction.

با ئیمه بیهینینه پیش چاوی خویمان رویهکی رهقی گهرمکراو، بلی دیواریکی تهخت له پلهی گهرمی  $T_w$  دا دانرا له کهشینکدا له پلهی گهرمی  $T_\infty$ ، وینهی. (2.1) لهبهرئهوهی ههموو شلگازه راستهقینهکان لینجن، تهنوچکهکانی شلگازهکه هاوسی دهن بو پرووه پتهوهکه و دنوسین بهرووهکهوه. تهنوچکهکانی شلگازهکه له A دا، که له پلهی گهرمی نزمتر دایه، وزهی گهرمی وهر بگریته لهپلتهکهوه بهگیانندن.

The internal energy of the particle would increase and when the particle moves away from the solid surface (wall or plate) and collides with

another fluid particle at B which is at the ambient temperature, it will transfer a part of its stored energy to B. And, the temperature of the fluid particle at B would increase. In this way, the heat energy is transferred from the heated plate to the surrounding fluid. Therefore in the process of heat transfer by convection involves a combined action of heat conduction, energy storage and transfer of energy by mixing motion of fluid particles.

وزەى ناوەككىي تەنۆچكەكە زىياد دەكات وە كاتىك تەنۆلكەكە دەجولتت لہ روه رەقەكەوہ (دیوار یان پلئیت) وە خۆی دەكیشیت بە تەنۆلكەپەكی تری شلگازەكەدادا لہ B دا كە لہ پلەى گەرمى دەور و بەردایە، بەشئىكى وزە خەزىنكراوەكەى دەگوازیتەوہ بۆ B وە پلەى گەرمى شلگازەكە لہ B دا زىياد دەكات. لہم رینگەپەدا، وزەى گەرمى دەگوازیتەوہ لہ پلئتە گەرمكراوەكەوہ بۆ شلگازەكەى چوار دەورى. لەبەرئەوہ لہ پىفاژۆى گواستتەوہى گەرمى بە ھەلگرتندا، كاردارى كۆكراوہى گەياندى گەرمى، خەزىنكردنى وزە و گواستتەوہى وزە بە جولەى تىكەلكردى تەنۆلكەكانى شلگازەكە.

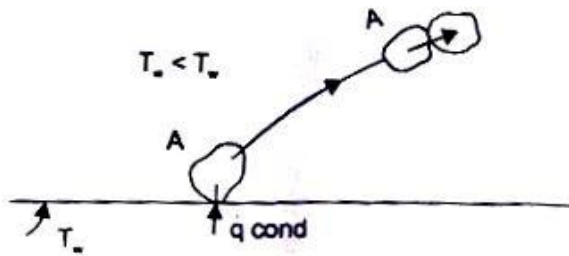


Figure Principle of heat transfer by convection

وینەى بنەمای گواستتەوہى گەرمى بە ھەلگەتن

### Free and Forced Convection

ھەلگرتنى سەربەست و بەھیزكراو

When the mixing motion of the fluid particles is the result of the density

difference caused by a temperature gradient, the process of heat transfer is called natural or free convection. When the mixing motion is created by an artificial means (by some external agent), the process of heat transfer is called forced convection, it is essential to have knowledge of the characteristics of fluid flow. Since the effectiveness of heat transfer by convection depends largely on the mixing

کاتیک جولہی تیکہلکردنی تہنؤچکہکانی شلگازاکہ بریتیلہ ئہجامی جیاوازی چری کہ بوہتہ ہوی گریگریونی پلہی گہرمی، پیٹاژوی گواستہوہی گہرمی پییدہوتریت ہلگرتی سروشٹی یان ہلگرتی سہربہست . کاتیک کہ جولہی تیکہلکردنہکہ بہریگیہکی دستکرد (بہہندیک بریکاری دہرہکی) دروست دہکرت، پیٹاژوی گواستہوہی گہرمی پییدہوتریت ہلگرتی بہہیزکراو، ئہوہ گرنگہ بو زانیی تاییہتمہندیہکانی رویشتی شلگاز. لہبہرئہوہ کاریگری گواستہوہی گہرمی بہہلگرتن بہزوری بہندہ لہسہر تیکہلکردن.

## Basic Difference between Laminar and Turbulent Flow

جیاوازی بنہرہتی لہنیوان رویشتی خشوک و رویشتی شیواو

In laminar or streamline flow, the fluid particles move in layers such that each fluid particle follows a smooth and continuous path. There is no macroscopic mixing of fluid particles between successive layers, until the fluid will turn around a corner or an obstacle is to be crossed.

لہ رویشتی خشوک یان لہ رویشتی ہیئہجوگہدا، تہنؤچکہکانی شلگازہکہ دہجولین بہشیوہی



چین چین ھەر وەك ئەوھى كە ھەر تەنۆلكەھىكى شلگازەكە شوئىنى رېرھوئىكى بەردەوام و لووس كەوتوھ. وردىلەى تەنۆچكەكانى شلگازەكە تىكەلبونيان نىھ لەنئوان چىنە يەك لەدواى يەكەكاندا، ھەتا ئەو كاتەى شلگازەكە پىچدەكاتەوھ بەدەورى سوچىكدا يان بەر بەستىكە تا بىپەررېتەوھ.

If a line dependent fluctuating motion is observed in directions which are parallel and transverse to the main flow, i.e., there is a random macroscopic mixing of fluid particles across successive layers of fluid flow, the motion of the fluid is called 'turbulent flow'. The path of a fluid particle would then be zigzag and irregular, but on a statistical basis, the overall motion of the macro-particles would be regular and predictable.

ئەگەر ھىلئىك پىشت بەستوو بە جولە ھەلبەزودابەز كردن تىبىنى بكرىت لە ئاراستەكاندا كە تەرىب و ئاسۆى بۆ رۆيشتنە سەر ھىكە، بە واتايەكىتر، تەنۆلكەكانى شلگازەكە وردە تىكەلبونيان ھىيە بە ستونى چىنەكانى رۆيشتنى شلگازەكە، جولەى شلگازەكە پىدەوترىت رۆيشتنى شىواو. رىچكەى تەنۆلكەى شلگازىك زىگزاگ و نارىك دەبىت، بەلام لەسەر بنەما وەستاوھكان، جولەى گىشتىگىرى تەنۆلكە وردەكان رىك و چاوەروانكراو دەبىت .

## Formation of a Boundary Layer

## دروست كردنى چىنكى سنوور

When a fluid flows over a surface, irrespective of whether the flow is laminar or turbulent, the fluid particles adjacent to the solid surface will always stick to it and their velocity at the solid surface will be zero, because of the viscosity of the fluid. Due to the shearing action of one fluid layer over the adjacent layer moving at the faster rate, there would be a velocity gradient in a direction normal to the flow.

كاتىك شلگازىك بەسەر رويەكدا دەروات، بەبىنەوھى پەيوەندى ھەبىت بەوھو داخوا رۆيشتنەكە خشۆكە يان شىواوھ، تەنۆچكەكانى شلگازەكە ھاوسى دەبن بۆ رووھ پتەوھكە و دەنوسىن بەرووھكەوھ. وە خىرايىيان لە رووھ پتەوھكەدا دەبىت سفر، بەھوى لىنجى شلگازەكەوھ. بەھوى كارى ترازانى يەك چىنى شلگازەكە بەسەر چىنەكەى دراوسىيدا كە جولەكەى بە رىژمىكەى خىراترە، لەوى خىرايەكى پلەپلە دەبىت بە ئەستون بۆ رۆيشتنەكە.

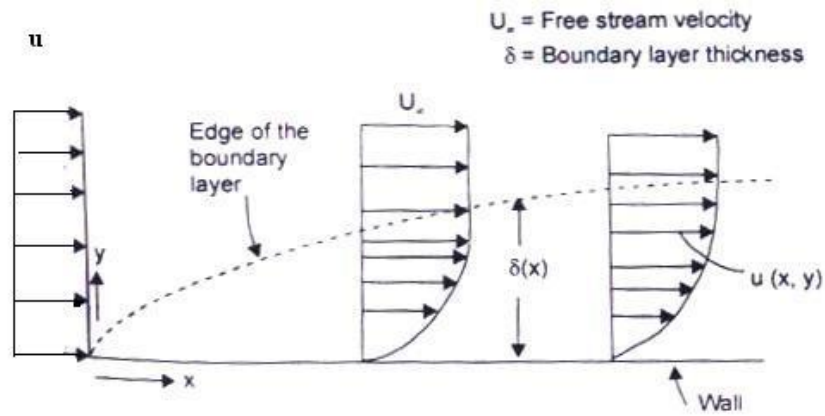


Figure 2.2: sketch of a boundary layer on a wall

### هیلکاری چینیکی سنور لهسەر دیوار نیک

Let us consider a two-dimensional flow of a real fluid about a solid (slender in cross-section) as shown in Figure 2.2. Detailed investigations have revealed that the velocity of the fluid particles at the surface of the solid is zero. The transition from zero velocity at the surface of the solid to the free stream velocity at some distance away from the solid surface in the  $V$ -direction (normal to the direction of flow) takes place in a very thin layer called 'momentum or hydrodynamic boundary layer'. The flow field can thus be divided in two regions:

با ئیمة رویشتنیکی دو رههندی شلگازیکی راستهقینه دا دهئین به نزیکی پتهو (باریک له پانهپرگه‌دا) ههروهك نیشاندراره له وینهی (2.2) دا. پشکینه دریزه پیدراوهکان دهریانخستوه که تهنوچکهکانی شلگازه که خیراییهکهیان سفره لهسەر رووه پتهوهکه. تیپهرینهکه له خیرایی سفر دا لهسەر رووهی پتهوهکه به ئاراستهی  $V$  (ئهستون بو ئاراستهی رویشتنهکه) له چینیکی زور تهنکدا پرودهدات پیی دهوتریت تهوژم یان جینی سنوری ئاوهبزاوتن. بهمشیهیه بواری رویشتنهکه دهتوانریت دابهشکریت بو دو پرژیم:

( i ) A very thin layer in the vicinity 0, a velocity gradient normal to the direction of flow, the velocity gradient  $du/dy$  being large. In this thin region, even a very small Viscosity  $\mu$  of the fluid exerts a substantial Influence and the shearing stress  $\tau = \mu du/dy$  may assume large values. The thickness of the boundary layer is very small and decreases with decreasing viscosity.

( i ) چینی زور باریک لهنزیک سفر، خیراییهکی پلهپله نهستونه بو ئاراسته ی رویشتهکه، خیراییهکی پلهپلهیهکه  $(du/dy)$  زل دهبیت. لهم ناوچه باریکهدا، تهناهت لینی زور بچووی شلهکه  $\mu$  کاریگهیهکی گرنگ کوشش دهکات وه فشاری ترازان  $(\tau = \mu du/dy)$  لهوانیه وا دا بنیت نرخی زل بیت. نهستوری چینی سنورهکه زور بچووه و کهم دهکات لهگهل کهم بوونهوی لینی.

(ii) In the remaining region, no such large velocity gradients exist and the Influence of viscosity is unimportant. The flow can be considered frictionless and potential.

(ii) له ناوچهی مانهوهدا، خیرایی پلهپلهبوی نهوها زل بونی نیه و کاریگهیهکی لینییهکهی ناگرنکه. رویشتهکه دهوانیتوانریت دا بنیریت به بیلیخشان و مات و شاراه.

## 2.6. Thermal Boundary Layer

چینی گهرمی دهوروبهر

Since the heat transfer by convection involves the motion of fluid particles, we must superimpose the temperature field on the physical motion of fluid and the two fields are bound to interact. It is intuitively evident that the temperature distribution around a hot body in a fluid stream will often have the same character as the velocity distribution in the boundary layer flow.

لهبهر نهوهی گواستنهوهی گهرمی بهههگرتن، جولهی تهنولکهکانی شلگازهکه بهشداری دهکان، نیمه دهبیت رهچاوی بواری پلهی گهرمی بکهین لهسهر جولهی فیزیای شلگازهکه و دوو بوارهکه دهبهسترین تا کار له یهک بکهن. نهوه به ژیرانهی دیاره که دابهشبوونی پلهی گهرمی بهدهوری لهشیکه گهرمدا له چهمیکی شلگازدا زورجار ههمان سیفتهی دهبیت ههروهک دابهشبوونی خیرایی له رویشتهی چینی دهوروبهر.

When a heated solid body is placed in a fluid stream, the temperature of the fluid stream will also vary within a thin layer in the neighbourhood of the solid body. The variation in temperature of the fluid stream also takes place in a thin layer in the neighbourhood of the body and is termed 'thermal boundary layer'.

کاتیکیک لهشیکي پتهوی گهرمکراو دا دهنریت له چه میکی شلگازدا، پلهی گهرمی چه مه شلگاز هکه دهگوریت لهناو چینیکي ته نکدا له دهوروبهری له شه پتهوه کهدا. ههروه ها گورانکاری له پلهی گهرمی جوگهی شلگاز هکهدا رودهدات لهناو چینیکي ته نکدا له دهوروبهری له شه کهدا و پیی دهوتریت 'چینی گهرمی دهوروبهر'

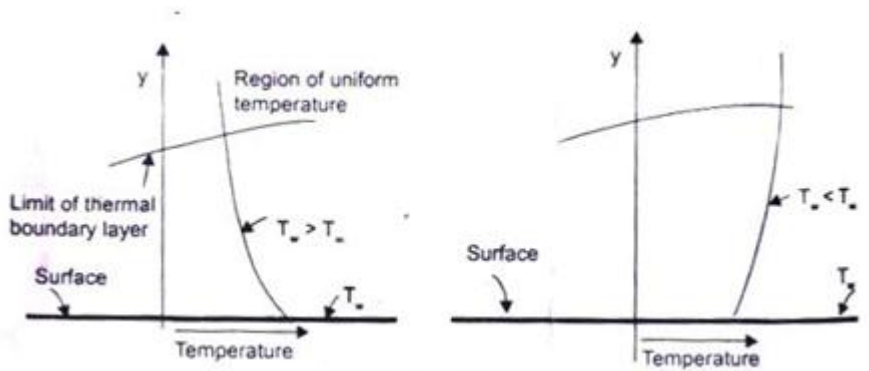


Figure 2.3: The thermal boundary layer

چینی گهرمی دهوروبهر

## 2.9. Modified Grashof Number (G) ژمارهی گروشنوفی دهسکاریکراو

When a surface is being heated by an external source like solar radiation incident on a wall, a surface heated by an electric heater or a wall near a furnace, there is a uniform heat flux distribution along the surface. The wall surface will not be an isothermal one. Extensive experiments have been performed by many research workers for free convection on vertical and inclined surfaces to water under constant heat flux conditions. the temperature difference ( $\Delta T$ ) is not known beforehand, the Grashof number is modified by multiplying it by Nusselt number. That is,

كاتىك پروويه گهرم كرابىت بهسەرچاوهيهكى دهرهكى وهك پروودانى تيشكدانى خورى لهسەر ديوارىك، پروويهكى گهرمكراو بههيتهرىكى كارهبابى يان ديوارىكى نزيك كوورهيهك، دابهشبونىكى ليشاوى گهرمى وهكيهك ههيه بهدرىزاىي روهكه. پرووى ديواركه نابىته نايزوسىرمالنىك. تاقىكردنهوى فراوان ئهنجام دراوون لهريگهى ژمارهيهكى زورى كرىكارى تويزينهوهوه بو ههنگرتنى سروشتى لهسهره پرووه ستوونى و لارهكان بو ئاو لهزير مهرجى ليشاوى نهگورى گهرمى. لهپيشدا جياوازى پلهى گهرمى ( $T\Delta$ ) نازانراوه، ژمارهى گرؤشؤف دهسكارى دهكرىت به بهلىكدانى له ژمارهى نهسلت. كه برىتيله،

$$Gr_x^* = Gr_x \cdot Nu_x = (g \beta \Delta T / \nu^2) \times (hx/k) = g \beta x^4 q/k \nu^2 \quad (2.11)$$

where  $q$  is the wall heat flux in  $Wm^2$ .  $q = h (\Delta T)$

It has been observed that the boundary layer remains laminar when the modified Rayleigh number,  $Ra^* = Gr_x^* / Pr$  is less than  $3 \times 10^{12}$  and fully turbulent flow appears for  $Ra^* > 10^{14}$ . The local heat transfer coefficient can be calculated from:

تیبىنى كراوه كه چینهكهى دهوروبهر بهخشوكى دهمنینتهوه كاتىك ژمارهى ریلی دهسكارىكراو،  $Ra^* = Gr_x^* / Pr$ . كه متره له ( $3 \times 10^{12}$ ) و بهتهواوى رۆيشتنى شیواو دهر دهكهویت بو ( $Ra^* > 10^{14}$ ) هاوكۆلكهى گواستنوه گهرمى ناوچهیى دهتوانىت حىساب بكرىت له:

$$q \text{ constant and } 10^5 < Gr_x^* < 10^{11}: Nu_x = 0.60 (Gr_x^* \cdot Pr)^{0.2} \quad (2.12)$$

$$q \text{ constant and } 2 \times 10^{13} < Gr_x^* < 10^{16}: Nu_x = 0.17 (Gr_x^* \cdot Pr)^{0.25} \quad (2.13)$$

Although these results are based on experiments for water, they are applicable to air as well. The physical properties are to be evaluated at the local film temperature.

ههرچهنده ئهم ئهنجامانه بنىات نراون لهسەر تاقىكردنهوهكانى ئاو، ههروهها ئهو تاقىكردنهوانه كاریان پى دهكرىت بو ههوا. سيفهته فیزیایهكان ههله دهسنگینرین له پلهى گهرمى تويزالى ناوچهییدا.

## Chapter 5

### Principles of Convection

بەش ۵

بەنەمای هەلگرتن

Forced convection (flow over flat plates)

Page 111 in the Data Book:

هەلگرتن زۆری لێ کرد (رۆیشتن لەسەر پلێتی تەخت)

لاپەرە 111 لە کتێبەکە ی زانیاری:

## پرسیاره‌کانی به‌شی پینجه م

### پرسیاره‌که باسی

### پرسیاره‌که باسی Q ده‌کات

## Boundary thickness ده‌کات

پرسیاره‌که به م هه‌نگاوانه‌ی

پرسیاره‌که به م هه‌نگاوانه‌ی خوارده‌ی شیکارده‌کریت:

خوارده‌ی شیکارده‌کریت:

1. Find  $T_{\text{average}}$ .
2. Find properties value at  $T_{\text{average}}$ .
3.  $Re = \frac{\rho U X}{\nu}$
4. Laminar or Turbulent
5. Choose suitable rule according to the  $Re$ . for boundary thickness.

1. Find  $T_{\text{average}}$ .
2. Find properties value at  $T_{\text{average}}$ .
3.  $Re = \frac{\rho U X}{\nu}$
4. Laminar or Turbulent
5. Choose suitable rule according to the  $Re$ . for Nusselt number
6. Find  $h$  from  $Nu = \frac{hL}{k}$
7.  $Q = hA \Delta T$

## 2 Laminar Flow Forced Convection Heat Transfer

2 رویشتی خشوکی گواستنه‌وی گهرمی به هه‌لگرتتی زورلیکراو

### 2.1 Forced Convection Heat Transfer Principles

بنه‌مای گواستنه‌وی گهرمی به هه‌لگرتتی زورلیکراو

The mechanism of heat transfer by convection requires mixing of one portion of fluid with another portion due to gross movement of the mass of the fluid. The transfer of heat energy from one fluid particle or a molecule to another one is by conduction but the energy is transported from one point in space to another by the displacement of fluid.

میکانیزمه‌کی گواستنه‌وی گهرمی به هه‌لگرتن پیویستی به تیکه‌لگرتنی یه‌ک پشکی شلگازیکه ده‌بیت له‌گه‌ل پشکیکی تر به‌هوی جو‌له‌ی تیکراییی بارسته‌ی شلگازه‌که‌وه. گواستنه‌وی وزه‌ی گهرمی له یه‌ک تهنوچکه‌ی شلگازه‌وه یان گهردی‌که‌وه بو یه‌کیکی تر به‌گه‌یاندنه به‌لام وزه‌که ده‌گوازریته‌وه له یه‌ک خاله‌وه له بو‌شاییدا بو‌یکی تر به‌جیگورکیی شلگازه‌که.

When the motion of fluid is created by the imposition of external forces in the form of pressure differences, the process of heat transfer is called 'forced convection'. And the motion of fluid particles may be either laminar or turbulent and that depends upon the relative magnitude of inertia and viscous forces, determined by the dimensionless parameter Reynolds number. In free convection, the velocity of fluid particle is very small in comparison with the velocity of fluid particles in forced convection, whether laminar or turbulent. In forced convection heat transfer,  $Gr/Re^2 \ll 1$ , in free convection heat transfer,  $GrRe^2 \gg 1$  and we have combined free and forced convection when  $Gr/Re^2 \approx 1$ .

کاتیك جولہی شلگازہ کہ دروست دہکریٹ بہ سہ پاندنی ہیزہ دہر مکیہکان لہ شیوہی جیاوازہکانی فشاردا، رہوتی گواستنہوہی گہرمی پیی دہوتریٹ 'ہہلگریٹتی زورلیکراو!'. و جولہی تہنولکہکانی شلگازہکہ لہوانیہ یان خشوک بیٹ یان شیواو بیٹ و کہ پشت دہبہستیٹ بہ بری ریژہی بارنہگورین و ہیزی لینج، دیاری کراوہ بہ ہوکاری ژمارہی ریہنہلدز. لہ ہہلگریٹتی سروشتی، خیرایی تہنوچکہکانی شلگازہکہ زور بچووکہ بہہراورد لہگہل خیرایی تہنوچکہکانی شلگازہکہ لہ ہہلگریٹتی زورلیکراودا، ئەگہر خشوک بیٹ یان شیواو بیٹ. لہ گواستنہوہی گہرمیدا بہ ہہلگریٹتی زورلیکراو،  $(Gr/Re^2 \ll 1)$ . لہ گواستنہوہی گہرمیدا بہ ہہلگریٹتی سروشتی،  $(GrRe^2 \gg 1)$  وہ ئیمہ ہہلگریٹتی سروشتی و زورلیکراومان کوکردوہتہوہ کاتیك  $(Gr/Re^2 \approx 1)$ .

## 2.2. Methods for Determining Heat Transfer Coefficient

ریگہکان بو دیاری کردن ہاوکولکہی گواستنہوہ گہرمی

The convective heat transfer coefficient in forced flow can be evaluated by:

- (a) Dimensional Analysis combined with experiments;
- (b) Reynolds Analogy – an analogy between heat and momentum transfer;
- (c) Analytical Methods – exact and approximate analyses of boundary layer Equations.



هاوكۆلكەى گواستتەوہ گەرمىي ھەلگىراو لە رۆيشتتى زۆرلىكراودا دەتوانىت ھەل بسەنگىنرىت بە :  
(a) شىكردەنەوہى رەھەندى كۆكراوہ لەگەل تاقىكردەنەوہكاندا؛

(b) نەوونەى رىنەلدز - نەوونەيەك لەنيوان گواستتەوہى گەرمى و گواستتەوہى تەوژمدا؛

(c) رىگەكانى لىكۆلنەوہ - دروست و شىكردەنەوہى نزيكى ھاوكىشەى چىنى دەوروبەر.

### 2.3. Method of Dimensional Analysis

رىگەى شىكردەنەوہى رەھەندى

As pointed out in Chapter 5, dimensional analysis does not yield Equations which can be solved. It simply combines the pertinent variables into non-dimensional numbers which facilitate the interpretation and extend the range of application of experimental data. The relevant variables for forced convection heat transfer phenomenon whether laminar or turbulent, are:

(i) the properties of the fluid – density  $\rho$ , specific heat capacity  $C_p$ , dynamic or absolute viscosity  $\mu$ , thermal conductivity  $k$ .

(ii) the properties of flow – flow velocity  $Y$ , and the characteristic dimension of the system  $L$ .

ھەر وەك لە بەش (5) دا ديارى كرا، شىكردەنەوہى رەھەندى ھاوكىشەكان ناھىنىتە بەر ھەم كە دەتوانرىن شىكار بكرىن. بەسادیى گۆراوہ پەيوەستەكان كۆ دەكاتەوہ بۆ ناو ژمارە بىيەكەكان كە لىكدانەوہكە ئاسان دەكەن و مەودايى جىبەجىكردى زانىارىيە ئەزمونىيەكان درىژ دەكەنەوہ. گۆراوى پەيوەندىدار بۆ دياردەى گواستتەوہى گەرمى بە ھەلگرتتى زۆرلىكراو ئەگەر خشوك يان شىواو، برىتىن لە:

(i) تايبەتمەندىەكانى شلگازەكە - چرى، گەرمىي جۆرى، جولەدار يان لىنجى رەھا، تواناى گەياندىنى گەرمى.

(ii) تايبەتمەندىەكانى رۆيشتتەكە - خىراى رۆيشتن، و رەھەندى تايبەتمەندى سىستەمەكە.

As such, the convective heat transfer coefficient,  $h$ , is written as

بەم شۆهە، ھاوئۆلکەى گواستەو گەرمىيە ، h ، دەنوسرئیت ھەروەك

$$h = f(\rho, V, L, \mu, C_p, k) = 0 \quad (5.14)$$

there are seven variables and four primary dimensions, we would expect three dimensionless numbers. As before, we choose four independent or core variables as  $\rho, V, L, k$ , and calculate the dimensionless numbers by applying Buckingham  $\pi$ 's method:

لەوئى ھەوت گۆراو و چوار رەھەندى يەكەمى ھەيە، ئىمە سى ژمارەى بئىيەكە چاوەرئ دەكەين. ھەروەك لە پئش، ئىمە چوار سەربەخۆ ھەل دەبژئيرين يان گۆراو ھاوئۆلکەى ھەروەك، ( $V, \rho, L, k$ )، و ژمارە بئىيەكەى ھەسەب دەكەين بەجئىيەجئى كردن رئگەى بەكئنگەم:

$$\begin{aligned} \pi_1 &= \rho^a V^b L^c K^d h = (ML^{-3})^a (LT^{-1})^b (L)^c (MLT^{-3}\theta^{-1})^d (MT^{-3}\theta^{-1}) \\ &= M^0 L^0 T^0 \theta^0 \end{aligned}$$

Equationuating the powers of M, L, T and  $\theta$  on both sides, we get

$$M : a + d + 1 = 0$$

$$L : -3a + b + c + d = 0$$

$$T : -b - 3d - 3 = 0$$

By solving them, we have

$$\theta : -d - 1 = 0.$$

$$D = -1, a = 0, b = 0, c = 1.$$

Therefore,  $\pi_1 = hL/k$  is the Nusselt number.

$$\begin{aligned} \pi_2 &= \rho^a V^b L^c K^d \mu = (ML^{-3})^a (LT^{-1})^b (L)^c (MLT^{-3}\theta^{-1})^d (ML^{-1}T^{-1}) \\ &= M^0 L^0 T^0 \theta^0 \end{aligned}$$

Equationuating the powers of M, L, T and on both sides, we get

$$M : a + d + 1 = 0$$

$$L : -3a + b + c + d = 1 = 0$$

$$T : -b - 3d - 1 = 0$$

$$\theta : -d = 0.$$

By solving them,  $d = 0$ ,  $b = -1$ ,  $a = -1$ ,  $c = -1$

$$\text{and } \pi_2 = \mu / \rho VL; \text{ or, } \pi_3 = \frac{1}{\pi_2} = \frac{\rho VL}{\mu}$$

(Reynolds number is a flow parameter of greatest significance. It is the ratio of inertia forces to viscous forces and is of prime importance to ascertain the conditions under which a flow is laminar or turbulent. It also compares one flow with another provided the corresponding length and velocities are comparable in two flows. There would be a similarity in flow between two flows when the Reynolds numbers are Equal and the geometrical similarities are taken into consideration.)

ژماره ی ریه‌لدز هۆکاریکی رویشتنی مهزنترین بایه‌خه. ئه‌وه ریژه‌ی هیزه‌کنی بارنه‌گورییه بو هیزی لینیج و بریتیه‌له گرنگی یه‌که‌می تا حالته‌که ساغ بکاته‌وه له‌ژی‌ر کامه‌دایه رویشتنیکه خشۆکه یان شیواوه. ئه‌وه هه‌روه‌ها به‌راوردی یه‌که رویشتن ده‌کات له‌گه‌ل یه‌کی تره که دریزی و خراییه هاوباره ده‌سته‌به‌ر کرداوه‌کان هاوشیوه‌ن له دوو رویشتندا. له‌وی لیکچوونیک دروسته‌بی‌ت له رویشتن له‌نیوان دوو رویشتندا کاتیک ژماره ریه‌لدزه‌کان یه‌کسانن و لیکچوونه ئه‌ندازه‌ییه‌کان وه‌رده‌گیرین بو ره‌چاوه‌کردن.

$$\pi_4 = \rho^a V^b L^c k^d C_p = (ML^{-3})^a (LT^{-1})^b (L)^c (MLT^{-3}\theta^{-1})^d (L^2T^{-2}\theta^{-1})$$

$$M^0 L^0 T^0 \theta^0$$

Equationating the powers of M, L, T, on both Sides, we get

$$M : a + d = 0;$$

$$L : -3a + b + c + d + 2 = 0$$

$$T : -b - 3d - 2 = 0;$$

$$\theta : -d - 1 = 0$$

By solving them,

$$d = -1, a = 1, b = 1, c = 1,$$

$$\pi_4 = \frac{\rho VL}{k} C_p; \quad \pi_5 = \pi_4 \times \pi_2$$

$$= \frac{\rho VL}{k} C_p \times \frac{\mu}{\rho VL} = \frac{\mu C_p}{k}$$

∴  $\pi_5$  is Prandtl number.

Therefore, the functional relationship is expressed as:

بۆيە، پەيوەندىيى فرمانى دەر دەپرىت ھەروەك

$$\text{Nu} = f(\text{Re}, \text{Pr}); \text{ or } \text{Nu} = C \text{Re}^m \text{Pr}^n \quad (5.15)$$

where the values of c, m and n are determined experimentally.

لەويادا نرخیەكەى c, m و n بەتاقىکردنەو دەيارى دەكرىن.

**Example:** in a process, water at 30°C flows over a plate maintained at 10°C with a free stream velocity of 0.3m/s. Determine the hydrodynamic boundary layer thickness, thermal boundary thickness, convection heat transfer coefficient, heat transferred rate . Consider the plate of 1m\*1m. Take the following properties of air:  $v=1.006 \cdot 10^{-6} \text{m}^2 / \text{sec}$  ,  $k=0.5978 \text{W/m} \cdot \text{°C}$ ,  $\text{Pr}=7.02$

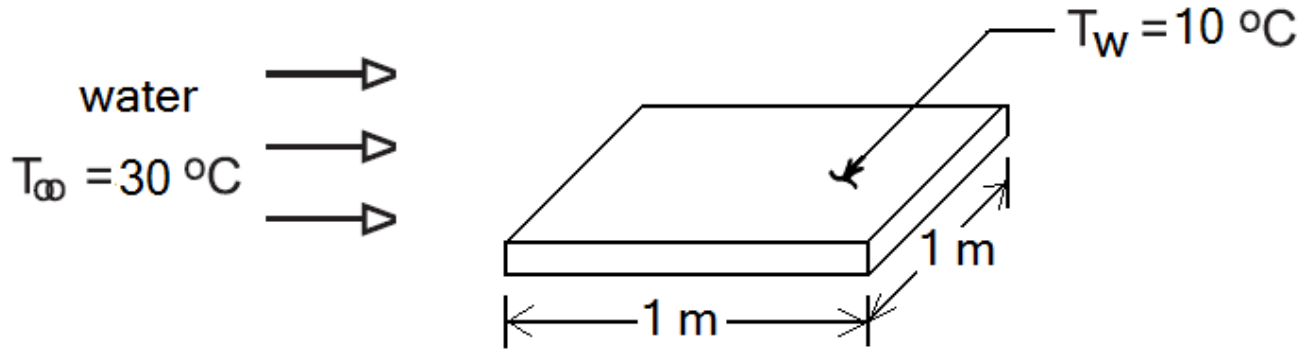
نمونه: لە پرۆسەيەكدا، ئاو لە (30°C) بەسەر پلېتېكدا دەروات كە لە (10°C) دا ماوتەو بە خېرايەكی جوگەى سەربەستى (0.3m/s). ئەستورىي چینی دەوروبەرى ھايدرحداينەمیک دیاری بکە، ئەستورىي گەرمایي دەوروبەرى، ھاوکۆلكەى گواستتەوہى گەرمى بە ھەلگرتن، ریزە گواستتەوہ گەرمى. پلېتەكە بە (1m\*1m) دا بنى. ئەم تاتبەتمەندیانەى ھەوا وەربگرە:

$$v=1.006 \cdot 10^{-6} \text{m}^2 / \text{sec} , k=0.5978 \text{W/m} \cdot \text{°C}, \text{Pr}=7.02$$

Given: Fluid temperature =  $T_{\infty} = 30^{\circ}\text{C}$  , plate temperature =  $T_w = 10^{\circ}\text{C}$  stream velocity =  $u = 0.3 \text{m/s}$ . plate 1m\*1m. Kinematic viscosity =  $v = 1.006 \cdot 10^{-6} \text{m}^2 / \text{sec}$  , thermal conductivity =  $k = 0.5978 \text{W/m} \cdot \text{°C}$ ,  $\text{Pr} = 7.02$ . Determine the

hydrodynamic boundary layer thickness, thermal boundary thickness, convection heat transfer coefficient, heat transfer rate?

**SCHEMATIC:**



Solution :

لهبهرئوهی لهم پرسیارهدا پلنتمان همیه وه شلگازنیک واته (Fluid) نیک بهخیراییهک بهسه ریدا تییهردهبیت، کهواته لهم پرسیاره (Chapter 5) .ه

From Page 111 in the Data Book:

$$\text{Reynolds Number} = Re = \frac{uL}{\nu}$$

$$\text{Reynolds Number} = Re = \frac{0.3 * 1}{1.006 * 10^{-6}} = 298210.735 < 5 * 10^5$$

$\therefore$  the type of the flow is laminar flow

From Page 112 in the Data Book:

$$\text{Hydraulic boundary thickness} = \delta_{hx} = 5x * Re_x^{-0.5}$$

$$\text{Hydraulic boundary thickness} = \delta_{hx} = 5 * 1(298210.735)^{-0.5}$$

$$\delta_{hx} = 9.156 * 10^{-3} \text{ m (Answer)}$$

$$\text{Thermal boundary thickness} = \delta_{Tx} = \delta_{hx} Pr^{-0.333}$$

$$\delta_{Tx} = (9.156 * 10^{-3}) * (7.02)^{-0.333} = 4.784 * 10^{-3} \text{m (Answer)}$$

From Page 112 in the Data Book:

تیبینی: یاسای (Nusselt Number) له‌ناو (Data Book) هکهدا به‌مشیوهیه نوسراوه  
 (  $Nu_x = 0.332 * Re_x^{0.5} * Pr^{0.333}$  ) که ئه‌مشیوهیه‌ش هه‌له‌یه، راسته‌که‌ی به‌م  
 شیوه‌یه‌یه.

$$\begin{aligned} \text{Nusselt Number} = Nu_x &= 0.664 * Re_x^{0.5} * Pr^{0.333} \\ Nu_x &= 0.664 * (298210.735)^{0.5} * (7.02)^{0.333} \\ Nu_x &= 0.664 * (546.086) * (1.913) \\ Nu_x &= 693.84 \dots \dots \dots (1) \end{aligned}$$

From Page 111 in the Data Book:

$$\text{Nusselt Number} = Nu_x = \frac{hL}{k}$$

$$Nu_x = \frac{h * 1}{0.5978} = \frac{h}{0.5978} \dots \dots \dots (2)$$

Equation (1) = Equation (2)

$$693.84 = \frac{h}{0.5978} \rightarrow h = 693.84 * 0.5978$$

$$h = 414.777 \frac{W}{m^2} \cdot ^\circ C$$

Convection heat transfer coefficient =  $h = 207.388 \text{W/m}^2 \cdot ^\circ C$  (Answer)

Heat transfer rate =  $Q = hA\Delta T = hA(T_\infty - T_w)$

$$Q = 414.777(1 * 1)(30 - 10)$$

$$Q = 414.777 (20)$$

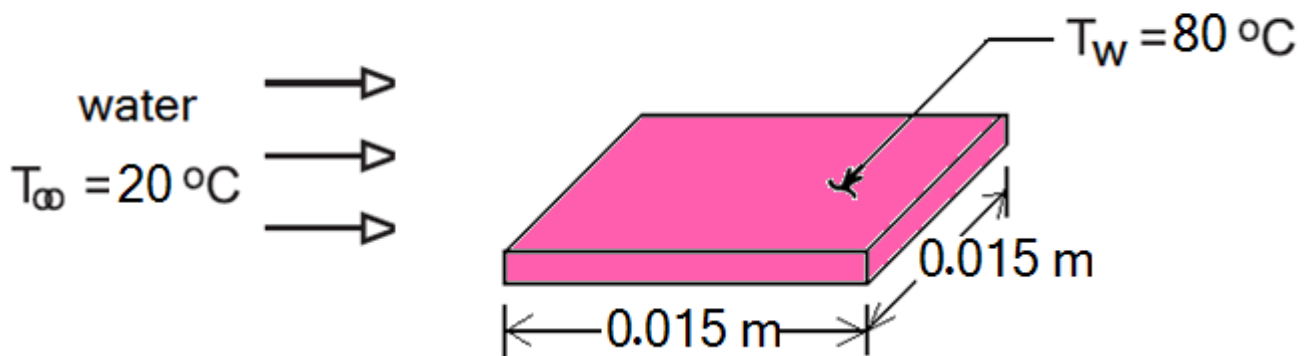
$$Q = 8295.551 \text{ W (Answer)}$$

**Example:** water flows over a flat plate which its surface has a uniform temperature of  $80^{\circ}\text{C}$  , the plate is  $15\text{mm} * 15\text{mm}$  side. The Water is at  $20^{\circ}\text{C}$  and the flow velocity is  $3\text{m/sec}$ . Determine the heat carried away by the water. Use the following properties,  $Pr=3.68$ ,  $\nu=0.5675*10^{-6}\text{m}^2/\text{sec}$  ,  $k=0.6395\text{W/m.K}$

نمونه: ئاو بەسەر پلێتێکی تەختدا دەروات کە رووەکی پلەیی گەرمی چونیەکی ( $80^{\circ}\text{C}$ ) ی هەیه، پلێتێکە، لاکانی ( $15\text{mm} * 15\text{mm}$ ) ه. ئاو کە لە ( $20^{\circ}\text{C}$ ) دایه و خێرای رویشتنهکە ( $3\text{m/sec}$ ) ه. گەرمی هەلگیراو بەهۆی ئاو کە دیاری بکە. ئەم تاییەتمەندیانە بەکار بێنە،  $Pr=3.68$ ,  $\nu=0.5675*10^{-6}\text{m}^2/\text{sec}$  ,  $k=0.6395\text{W/m.K}$

Given: plate temperature =  $T_w = 80^{\circ}\text{C}$  , plate  $0.015\text{m} * 0.015\text{m}$ . Fluid temperature =  $T_{\infty} = 20^{\circ}\text{C}$  , stream velocity =  $u = 3\text{m/s}$ . Kinematic viscosity =  $\nu = 0.5675*10^{-6}\text{m}^2/\text{sec}$   $Pr=3.68$ , thermal conductivity =  $k = 0.6395\text{W/m.K}$ . Determine heat transfer rate?

**SCHEMATIC:**



**Solution :**

لەبەرئەوهی لەم پرسیارەدا پلێتمان هەیه وە شلگازیک واتە (Fluid) یک بەخێرااییەک بەسەریدا تێپەردەبێت، کەواتە ئەم پرسیارە (Chapter 5) ه.

From Page 111 in the Data Book:

$$Reynolds\ Number = Re = \frac{uL}{\nu}$$

$$Reynolds\ Number = Re = \frac{3 * 0.015}{0.5675 * 10^{-6}} = 79295.154 < 5 * 10^5$$

$\therefore$  the type of the flow is laminar flow

From Page 112 in the Data Book:

تیبینی: یاسای (Nusselt Number) له‌ناو (Data Book) ه‌که‌دا به‌مشیوه‌یه نوسراوه  
 (  $Nu_x = 0.332 * Re_x^{0.5} * Pr^{0.333}$  ) که ئه‌مشیوه‌یه‌ش هه‌له‌یه، راسته‌که‌ی به‌م  
 شیوه‌یه‌یه

تکایه خۆتان راستیکه‌نه‌وه.  $\left( Nu_x = 0.664 * Re_x^{0.5} * Pr^{0.333} \right)$

$$Nusselt\ Number = Nu_x = 0.664 * Re_x^{0.5} * Pr^{0.333}$$

$$Nu_x = 0.664 * (79295.154)^{0.5} * (3.68)^{0.333}$$

$$Nu_x = 0.664 * (281.593) * (1.543)$$

$$Nu_x = 288.546 \dots \dots \dots (1)$$

From Page 111 in the Data Book:

$$Nusselt\ Number = Nu_x = \frac{hL}{k}$$

$$Nu_x = \frac{h * 0.015}{0.5978}$$

$$Nu_x = 0.023 * h \dots \dots \dots (2)$$

Equation (1)= Equation (2)

$$288.546 = 0.023 * h \rightarrow h = \frac{288.546}{0.023} \quad h =$$

$$12\ 301.676\ W/m^2.K$$

Convection heat transfer coefficient=h=6150.838W/m<sup>2</sup>.K



Heat transfer rate =  $Q = hA\Delta T = hA(T_w - T_\infty)$

$$Q = 12301.676(0.015 * 0.015)(80 - 20)$$

$$Q = 2.76 (60)$$

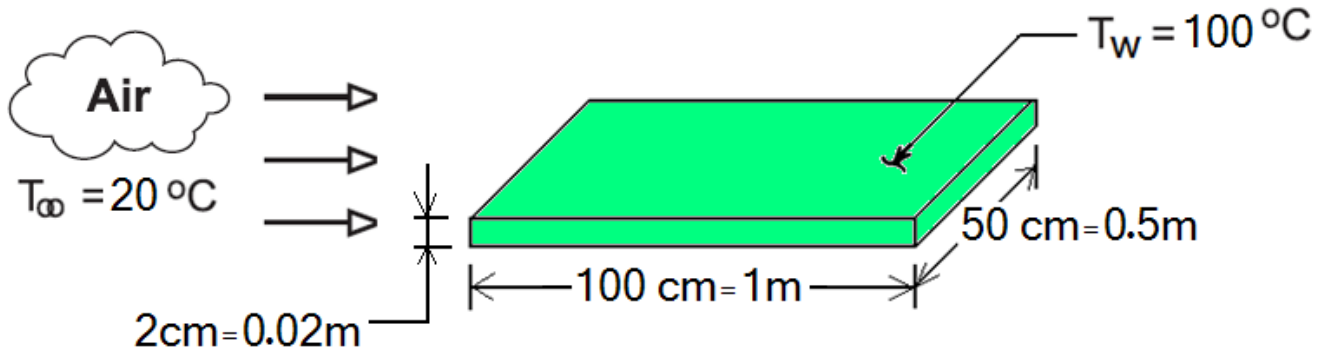
$$Q = 165.6W \text{ (Answer)}$$

**Example:** A plate of 100cm\*50cm and 2cm thick is placed in a horizontal plane. The top surface is maintained at 100°C . If the air is flowing over the plate at 3m/sec and 20°C . Find the heat lost by the plate per hour. What should be the bottom temperature of the plate at steady state condition? Take thermal conductivity of the plate 20W/m.k, 100cm side of the plate is parallel to the air flow. Take properties of air at mean temperature of 60°C .

نمونہ: پلٹیکے (100cm\*50cm) و (2cm) نئستور لہ روتہختیکی ناسوییدا دانرا. پرووہکے سہروہی لہ (100°C) ہیلاوہتہوہ. نئگس ہواکہ بہسہرہ پلٹیکہکدا بروات لہ (3m/sec) و (20°C) دا. گہرمیہ بزربوہکہ بہہوی پلٹیکہکہوہ بدوزیتہوہ لہ ہر کاتزمیریکدا. لہ مہرجی حالتی جیگیردا پلہی گہرمی ژیرہوی پلٹیکہکہ دہبتہ چہند؟ توانای گہاندنی گہرمی پلٹیکہکہ و ہر بگرہ (20W/m.k)، لا (100cm) یہکھی پلٹیکہکہ تہریبہ بہ رویشتنی ہواکہ. تاییہتمہندیہکانی ہوا لہ تیکرای پلہی گہرمی (60°C) دا و ہر بگرہ.

Given: plate 1m\*0.5m, plate temperature =  $T_w = 100^\circ\text{C}$  , stream velocity =  $u = 3\text{m/s}$  Fluid temperature =  $T_\infty = 20^\circ\text{C}$  , thermal conductivity of the plate =  $k = 20\text{W/m.K}$  , Determine heat transfer rate?

**SCHEMATIC:**



Solution :

لهبهرئوهی لهم پرسیار هدا پلئتمان ههیه وه شلگازیک واته (Fluid) یک بهخیراییهك بهسه ریدا تیپهردهبیت، كهواته ئهم پرسیاره (Chapter 5) .ه

From Page 33 in the Data Book we will find properties of air at mean temperature of  $60^{\circ}\text{C}$

له لاپهروهه ۳۳ له کتیهکهی زانیاری ئیمه تایبهمندیی ههوا بدۆزینهوه له پلهی گهرمی تیكرای

Kinematic viscosity= $\nu=18.97 \cdot 10^{-6} \text{m}^2 / \text{sec}$   $Pr=0.696$ , thermal conductivity of the air= $k=0.02896 \text{W/m.K}$ ,

From Page 111 in the Data Book:

$$\text{Reynolds Number} = Re = \frac{uL}{\nu}$$

$$\text{Reynolds Number} = Re = \frac{3 * 1}{18.97 * 10^{-6}} = 158144.438 < 5 * 10^5$$

$\therefore$  the type of the flow is laminar flow

From Page 112 in the Data Book:

$$\text{Nusselt Number} = Nu_x = 0.664 * Re_x^{0.5} * Pr^{0.333}$$

$$Nu_x = 0.664 * (158144.438)^{0.5} * (0.696)^{0.333}$$

$$Nu_x = 0.664 * (397.673) * (0.886)$$

$$Nu_x = 234.036 \dots \dots \dots (1)$$

From Page 111 in the Data Book:

$$Nusselt\ Number = Nu_x = \frac{hL}{k}$$

$$Nu_x = \frac{h * 1}{0.02896}$$

$$Nu_x = \frac{h}{0.02896} \dots \dots \dots (2)$$

ناگدار به لهم پرسيار هدا دوو (thermal conductivity) مان هميه نابيت (thermal conductivity of the plate) بهكار بينريت لخواه ياساي (Nu) دا دهبيت (thermal conductivity of the air) بهكابهينريت. چونكه نممه (Convection) .

Equation (1) = Equation (2)

$$234.036 = \frac{h}{0.02896} \rightarrow h = 234.036 * 0.02896$$

$$h = 6.776 W/m^2.K$$

Convection heat transfer coefficient =  $h = 6.776 W/m^2.K$

Heat transfer rate =  $Q = hA\Delta T = hA(T_w - T_\infty)$

$$Q = 6.776 (1 * 0.5)(100 - 20)$$

$$Q = 6.776 * 0.5 * (80)$$

$$Q = 271.1 W$$

Heat lost per second =  $Q = 271.1 W$

Heat lost per hour =  $Q * 3600 = 975.986 KW$  (Answer)

Bottom temperature:

$$Q = KA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$$Q = KA \frac{(T_1 - T_2)}{\Delta x}$$

نابیت (thermal conductivity of the air) به کار بینریت له‌ناو یاسای (Q) دا ده‌بیت به‌کار بینریت. چونکه ئهمه (Conduction) ه.

$$271.1 = 20(0.5 * 1) \frac{(T_1 - 100)}{0.02}$$

$$271.1 = 10 * \frac{(T_1 - 100)}{0.02}$$

$$271.1 = \frac{(T_1 - 100)}{0.02}$$

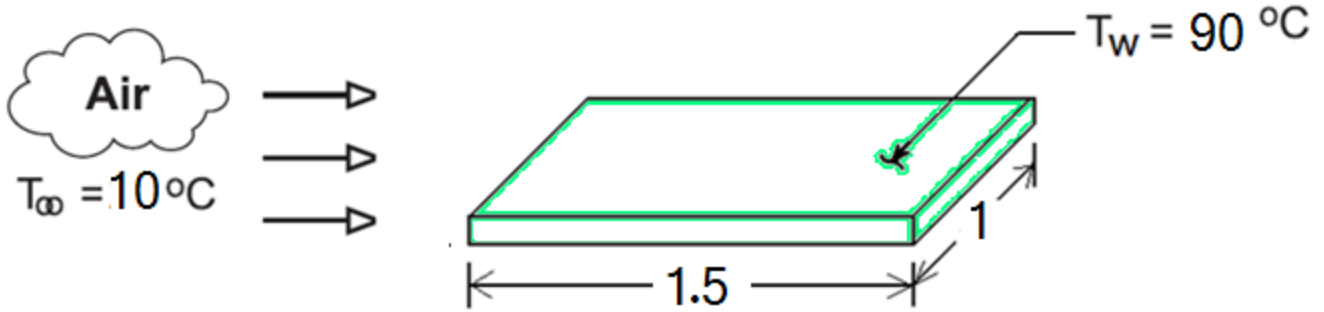
$$0.54 = T_1 - 100 \rightarrow T_1 = 100.54^\circ\text{C} \text{ (Answer)}$$

**Example:** a flat plate 1m wide and 1.5m long is to be maintained at 90°C in air with temperature of 10°C. Determine the velocity with which air must flow over the plate so that heat dissipated from plate is 3.75 Kw. Take air property at 50°C. Take the flow laminar.

نمونه: پلئتیکی تهختی (1m) فراوان و (1.5m) درئژ تا بهیلریتهوه له (90°C) له ههوا به پلهی گهرمی (10°C). دیاری بکه ههواکه ده‌بیت به خیرایی چهند پروات به‌سهر پلئته‌که‌دا بۆ ئه‌وهی گهرمی په‌رته‌وازه‌بو له پلئته‌که‌وه (3.75 Kw) بیت. تایه‌تمه‌ندییه‌کانی ههوا و هرگه له (50°C). رویشتنی خشوک و هرگه.

Given: plate 1m\*1.5m, plate temperature =  $T_w = 90^\circ\text{C}$ , Fluid temperature =  $T_\infty = 10^\circ\text{C}$ , heat dissipated from plate =  $Q = 3.75 \text{ Kw} = 3750 \text{ W}$ .

**SCHEMATIC:**



Solution: From Page 33 in the Data Book we will find properties of air at mean temperature of 50°C

شیکار: له لاپهروه ۳۳ له کتبهکهی زانیاری نئمه تایه تمندیی ههوا بدوزینهوه له پلهی گهرمیی تیکرای

Kinematic viscosity= $\nu=17.95 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{ sec}$  , Prandtl Number= $Pr=0.6968$ , thermal conductivity of the air= $k=0.02826 \text{ W/m.K}$ ,

Heat transfer rate = $Q=hA\Delta T= hA(T_w - T_\infty)$

$$3750 = h(1.5 \times 1)(90 - 10)$$

$$3750 = 120 \times h$$

$$h = \frac{3750}{120} = 31.25 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

From Page 111 in the Data Book:

$$\text{Nusselt Number} = Nu_x = \frac{hL}{k}$$

$$Nu_x = \frac{31.25 \times 1.5}{0.02826} = 1658.704$$

From Page 112 in the Data Book:

*the type of the flow is laminar flow*

$$\therefore \text{Nusselt Number} = Nu_x = 0.664 * Re_x^{0.5} * Pr^{0.333}$$

$$1658.704 = 0.664 * Re_x^{0.5} * (0.698)^{0.333}$$

$$1658.704 = 0.664 * Re_x^{0.5} * (0.887)$$

$$1658.704 = 0.588 * Re_x^{0.5}$$

$$Re_x^{0.5} = \frac{1658.704}{0.588} = 2820.925$$

$$\sqrt{Re_x} = 2820.925$$

$$(\sqrt{Re_x})^2 = (2820.925)^2$$

$$Re_x = 7957618.81$$

From Page 111 in the Data Book:

$$\text{Reynolds Number} = Re_x = \frac{uL}{\nu}$$

$$7957618.81 = \frac{u * 1.5}{17.95 * 10^{-6}}$$

$$142.83 = u * 1.5 \rightarrow u = \frac{142.83}{1.5} = 95.22 \text{ m/sec (Answer)}$$

**Example:** air at 30°C flows with a velocity of 2.8m/s over a plate 1000mm length 600mm width 25mm thickness. The top surface of the plate is maintained at 90°C. If the thermal conductivity of the material is 25W/m.°C,

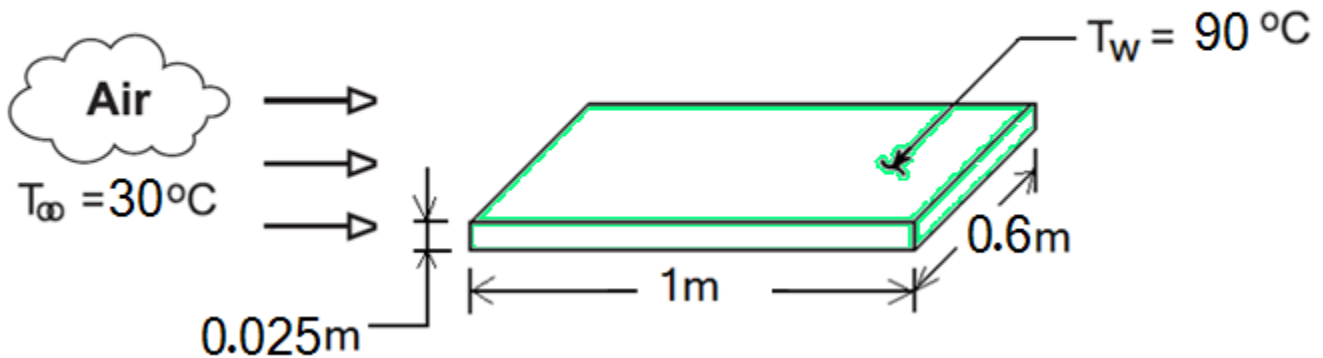
(i) calculate heat lost by the plate (ii) calculate bottom temperature of the plate.

نمونه: هوا له  $(30^{\circ}\text{C})$  دا به خیرایی  $(2.8\text{m/s})$  دمرات بهسهر پلنټیکي  $(1000\text{mm})$  دریزی  
 $(600\text{mm})$  پان  $(25\text{mm})$  ئهستوری. پرووی سهرهوهی پلنټهکه له  $(90^{\circ}\text{C})$  هیلراوتهوه. ئهگهر  
 توانای گهماندنی گهرمی کهرستهکه  $(25\text{W/m}^{\circ}\text{C})$  بیت، (i) گهرمی بزری بوو بهپلنټهکه ههژمار  
 بکه (ii) پلهی گهرمی خوارهوهی پلنټهکه ههژمار بکه.

Use the following properties for air:  $\rho = 1.06\text{kg/m}^3$ ,  $C=1.005\text{Kj/kg.K}$ ,  
 $k=0.02894\text{W/m}^{\circ}\text{C}$ ,  $v=18.97*10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$ ,  $\text{Pr}=0.696$ .

Solution:

SCHEMATIC:



Solution :

لهبهرئوهی لهم پرسیارهدا پلنټمان ههیه وه شلگازیک واته (Fluid) نیک بهخیراییهک بهسهریدا  
 تیپهردهبیت، کهواته ئهم پرسیاره (Chapter 5) ه.

From Page 111 in the Data Book:

$$\text{Reynolds Number} = Re = \frac{uL}{v}$$

$$\text{Reynolds Number} = Re = \frac{2.8 * 1}{18.97 * 10^{-6}} = 147601.476 < 5 * 10^5$$

$\therefore$  the type of the flow is laminar flow

From Page 112 in the Data Book:

$$Nusselt\ Number = Nu_x = 0.664 * Re_x^{0.5} * Pr^{0.333}$$

$$Nu_x = 0.664 * (147601.476)^{0.5} * (0.696)^{0.333}$$

$$Nu_x = 0.664 * (384.189) * (0.886)$$

$$Nu_x = 226.02 \dots \dots \dots (1)$$

From Page 111 in the Data Book:

له لاپهروهه 111 له كتيبكهه زانبارى:

$$Nusselt\ Number = Nu_x = \frac{hL}{k}$$

$$Nu_x = \frac{h * 1}{0.02896}$$

$$Nu_x = \frac{h}{0.02894} \dots \dots \dots (2)$$

له بهرئوهه لهم پرسيارهه پلنتمان ههيه وه شلگازنك واته (Fluid) نك بهخيراييهك بهسريدا  
تتپهردهبنت، كهواته نهه پرسياره (Chapter 5) ه.

Equation (1)= Equation (2)

$$226.02 = \frac{h}{0.02894} \rightarrow h = 226.02 * 0.02894$$

$$h = 6.54\ W/m^2 \cdot ^\circ C$$

Convection heat transfer coefficient=h=6.54 W/m<sup>2</sup>.K

Heat transfer rate =Q=hAΔT= hA(T<sub>w</sub> - T<sub>∞</sub>)

$$Q = 6.54 (1 * 0.6)(90 - 30)$$

$$Q = 235.44\ W$$

Heat lost Q = 235.44 W (Answer)

Bottom temperature:



$$Q = KA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$$Q = KA \frac{(T_1 - T_2)}{\Delta x}$$

نابیت (thermal conductivity of the air) به کار بینریت لهناو یاسای (Q) دا ده بیت  
(thermal conductivity of the plate) به کار بینریت. چونکه ئهمه (Conduction) ه.

$$235.44 = 25(1 * 0.6) \frac{(T_1 - 90)}{0.025}$$

$$235.44 = 15 * \frac{(T_1 - 90)}{0.025}$$

$$15.696 = \frac{(T_1 - 90)}{0.025}$$

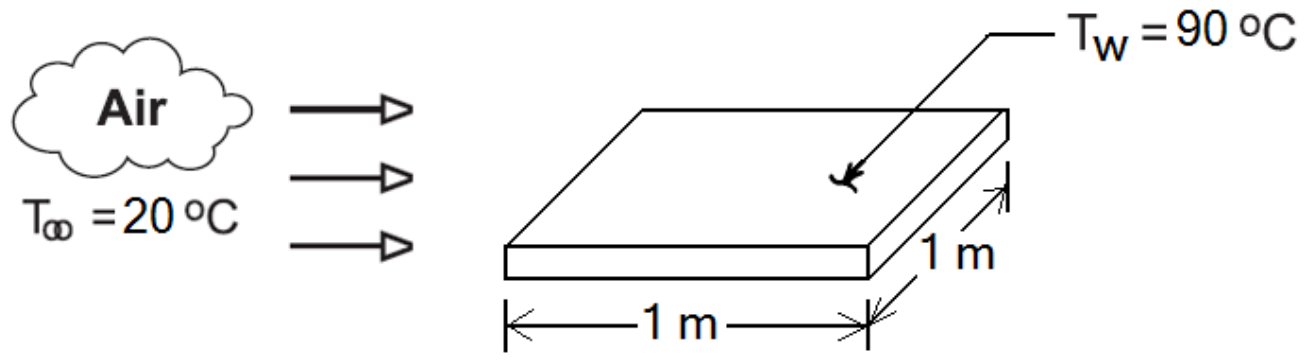
$$0.392 = T_1 - 90 \rightarrow T_1 = 90.392^\circ\text{C} \text{ (Answer)}$$

**Example:** a square plate  $1m^2$  area heated uniformly to constant temperature of  $90^\circ C$  after that is cooled by air at  $20^\circ C$  flowing over the plate at  $2m/sec$ . Calculate heat lost from the plate. Take the following properties of air,  $\rho = 1.075kg/m^3$ ,  $C = 1.008Kj/kg.K$ ,  $k = 0.0286W/m.k$ ,  $\mu = 19.8 * 10^{-6} Ns/m^2$ .

نمونە: پلئیتیکی چوارگۆشە روبر (  $1m^2$  ) بەشیوەیهکی چونیەك گەرم کرا بۆ پلەهی گەرمیی نەگۆری ( $90^\circ C$ ) پاش ئەو سارد کراوتەو بەهەوا لە ( $20^\circ C$ ) دەروات بەسەر پلئیتەکهەدا بە ( $2m/sec$ ). گەرمی بزری بوو لە پلئیتەکهەو هەژمار بکە. ئەم تائینەتمەندیانەهی هەوا وەر بگرە،  $\rho = 1.075kg/m^3$ ,  $C = 1.008Kj/kg.K$ ,  $k = 0.0286W/m.k$ ,  $\mu = 19.8 * 10^{-6} Ns/m^2$ .

Given: plate  $1m * 1m$ , plate temperature =  $T_w = 90^\circ C$ , Fluid temperature =  $T_\infty = 20^\circ C$ , stream velocity =  $u = 2m/s$  thermal conductivity of the plate =  $k = 20W/m.K$ ,  $\rho = 1.075kg/m^3$ ,  $C = 1.008Kj/kg.K$ ,  $k = 0.0286W/m$ .  $^\circ C, \mu = 19.8 * 10^{-6} Ns/m^2$ , Determine heat transfer rate?

**SCHEMATIC:**



Solution :

لەبەر ئەوەی لەم پرسیارەدا پلئیمان هەیه وە شلگازیک واتە (Fluid) یک بەخیراییهك بەسەریدا تئیهردەبیت، کهواتە ئەم پرسیارە (Chapter 5) .

From Page 111 in the Data Book:

$$\text{Prandtl Number} = Pr = \frac{C * \mu}{k}$$

$$Pr = \frac{1.008 * 19.8 * 10^{-6}}{0.0286} = 0.697$$

$$\text{Reynolds Number} = Re = \frac{u L \rho}{\mu}$$

$$\text{Reynolds Number} = Re = \frac{2 * 1 * 1.075}{19.8 * 10^{-6}} = 108585.858 < 5 * 10^5$$

$\therefore$  the type of the flow is laminar flow

From Page 112 in the Data Book:

$$\text{Nusselt Number} = Nu_x = 0.664 * Re_x^{0.5} * Pr^{0.333}$$

$$Nu_x = 0.664 * (108585.858)^{0.5} * (0.697)^{0.333}$$

$$Nu_x = 0.664 * (329.523) * (0.887)$$

$$Nu_x = 194.07 \dots \dots \dots (1)$$

From Page 111 in the Data Book:

$$\text{Nusselt Number} = Nu_x = \frac{hL}{k}$$

$$Nu_x = \frac{h * 1}{0.0286}$$

$$Nu_x = \frac{h}{0.0286} \dots \dots \dots (2)$$

Equation (1)= Equation (2)

$$194.07 = \frac{h}{0.0286} \rightarrow h = 194.07 * 0.0286$$

$$h = 5.55 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Convection heat transfer coefficient=h=5.55W/m<sup>2</sup>.K

Heat transfer rate =  $Q = hA\Delta T = hA(T_w - T_\infty)$

$$Q = 5.55 (1 * 1)(90 - 20)$$

$$Q = 388.544 \text{ W}$$

Heat lost =  $Q = 388.544 \text{ W}$  (Answer)

**Example:** air at  $20^\circ\text{C}$  is flowing over a flat plate which is 200mm wide and 500mm long. The plate is maintained at  $100^\circ\text{C}$ . Find the heat lost per hour from the plate if the air is flowing parallel to 500mm side with 2m/sec velocity. if the flow is parallel to 200mm side, What will be the effect on heat transfer? Properties of air at  $60^\circ\text{C}$  are these:  $\nu = 18.97 * 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{sec}$ ,  $Pr = 0.7$ , thermal conductivity of the air =  $k = 0.025 \text{ W/m.k}$ .

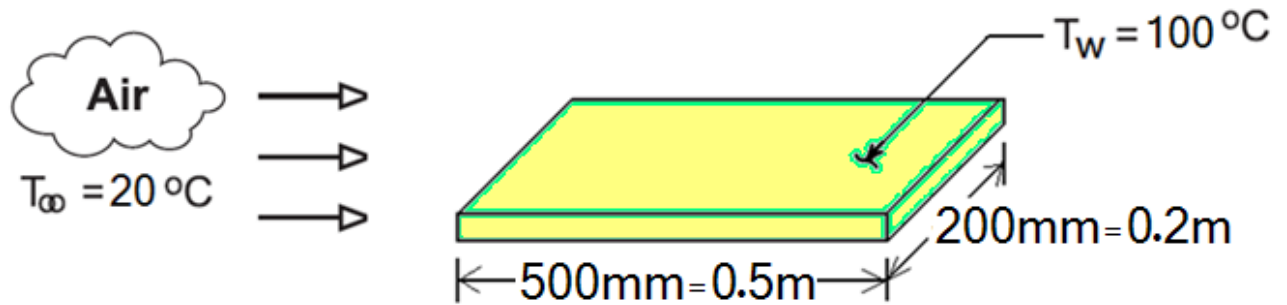
نمونہ: ہوا لہ  $(20^\circ\text{C})$  دہروا ت بہ سہر پلنٹیکے تہختدا کہ  $(200\text{mm})$  فراوانہ و  $(500\text{mm})$  دریژہ. پلنٹیکہ کدا ہیئر اوہتہوہ لہ  $(100^\circ\text{C})$  دا. گہرمی بزربو و بدوزہرہوہ لہ ہر کاتژمیریکدا لہ پلنٹیکہوہ نہگہر ہوا کہ تہریب بروا ت بو لا  $(500\text{mm})$  ہکہ بہ خیرایی  $(2\text{m/sec})$ . نہگہر رویشتنہ کہ تہریبہ بو لا  $(200\text{mm})$  ہکہ، ئہوہ کاریگہریہ کہ لہ سہر گو استنہوہی گہرمی چی دہبیت؟ تاییہ تمہندی ہوا لہ  $(60^\circ\text{C})$  ئہمانیہ  $\nu = 18.97 * 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{sec}$ ,  $Pr = 0.7$ , thermal conductivity of the air =  $k = 0.025 \text{ W/m.k}$ .

Given: Fluid temperature =  $T_\infty = 20^\circ\text{C}$ , plate  $0.5\text{m} * 0.2\text{m}$ , plate temperature =  $T_w = 100^\circ\text{C}$ , stream velocity =  $u = 2\text{m/s}$ , Kinematic viscosity =  $\nu = 18.97 * 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{sec}$ ,  $Pr = 0.7$ , thermal conductivity of the air =  $k = 0.025 \text{ W/m.K}$ , Determine heat transfer rate?

Solution : (A) If the air is flowing parallel to the 500mm side

شیکار: : (a) نہگہر ہوا کہ (فلوئیہینگ) تہریبہ بو  $(2\text{m/sec})$  لا:

**SCHEMATIC:**



لهبهر ئهوهی لهم پرسیار هدا پلنتمان ههیه وه شلگازیک واته (Fluid) نیک بهخیراییهک بهسه ریدا تیپهر ده بئیت، کهواته ئهم پرسیاره (Chapter 5) .ه

From Page 111 in the Data Book:

$$\text{Reynolds Number} = Re = \frac{uL}{\nu}$$

$$\text{Reynolds Number} = Re = \frac{2 * 0.5}{18.97 * 10^{-6}} = 52714.812 < 5 * 10^5$$

*∴ the type of the flow is laminar flow*

From Page 112 in the Data Book:

$$\text{Nusselt Number} = Nu_x = 0.664 * Re_x^{0.5} * Pr^{0.333}$$

$$Nu_x = 0.664 * (52714.812)^{0.5} * (0.7)^{0.333}$$

$$Nu_x = 0.664 * (229.597) * (0.888)$$

$$Nu_x = 135.378 \dots \dots \dots (1)$$

From Page 111 in the Data Book:

$$\text{Nusselt Number} = Nu_x = \frac{hL}{k}$$

$$Nu_x = \frac{h * 0.5}{0.025}$$

$$Nu_x = 20 * h \dots \dots \dots (2)$$

Equation (1)= Equation (2)

$$135.378 = 20 * h \rightarrow h = \frac{135.378}{20}$$

$$h = 6.768 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Convection heat transfer coefficient= $h=6.768 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Heat transfer rate = $Q=hA\Delta T= hA(T_w - T_\infty)$

$$Q = 6.768 (0.2 * 0.5)(100 - 20)$$

$$Q = 6.768 * 0.1 * (80)$$

$$Q = 54.15 \text{ W}$$

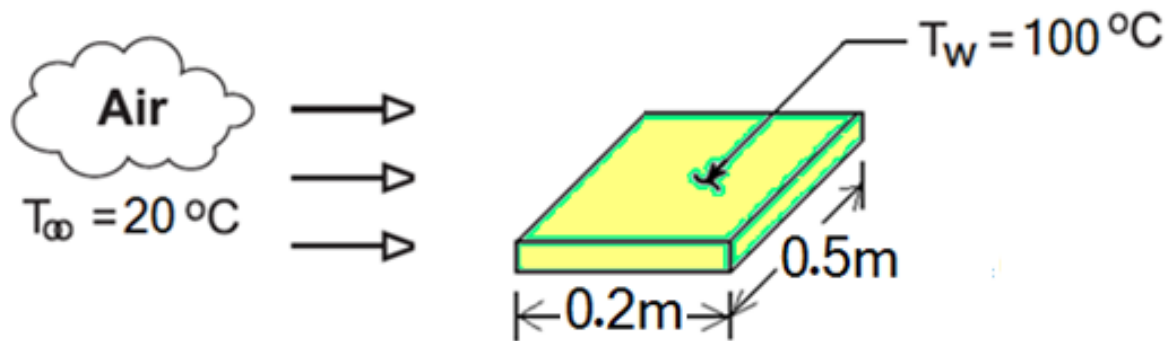
Heat lost per second= $Q = 54.15 \text{ W}$

Heat lost per hour= $Q * 3600 = 194 940 \text{ W (Answer)}$

(B)If the air is floeing parallel to the 200mm side:

(b) نەگەر ھەواکە تەریب پروات بۆ لا (200mm) ەکە:

**SCHEMATIC:**



From Page 111 in the Data Book:

$$\text{Reynolds Number} = Re = \frac{uL}{\nu}$$

$$\text{Reynolds Number} = Re = \frac{2 * 0.2}{18.97 * 10^{-6}} = 21085.9258 < 5 * 10^5$$

$\therefore$  the type of the flow is laminar flow

From Page 112 in the Data Book:

$$\begin{aligned} \text{Nusselt Number} = Nu_x &= 0.664 * Re_x^{0.5} * Pr^{0.333} \\ Nu_x &= 0.664 * (21085.9258)^{0.5} * (0.7)^{0.333} \\ Nu_x &= 0.664 * (145.209) * (0.888) \\ Nu_x &= 85.62 \dots \dots \dots (1) \end{aligned}$$

From Page 111 in the Data Book:

$$\begin{aligned} \text{Nusselt Number} = Nu_x &= \frac{hL}{k} \\ Nu_x &= \frac{h * 0.2}{0.025} \\ Nu_x &= 8 * h \dots \dots \dots (2) \end{aligned}$$

Equation (1)= Equation (2)

$$85.62 = 8 * h \rightarrow h = \frac{85.62}{8}$$

$$h = 10.7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Convection heat transfer coefficient= $h=10.7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Heat transfer rate = $Q=hA\Delta T= hA(T_w - T_\infty)$

$$Q = 10.7 (0.2 * 0.5)(100 - 20)$$

$$Q = 10.7 * 0.1 * (80)$$

$$Q = 85.616 \text{ W}$$

Heat lost per second= $Q = 85.616 \text{ W}$     گرمی بزی بوو له چرکه (=Q)

Heat lost per hour= $Q * 3600 = 308 232 \text{ W}$  (Answer)

گهرمى بزرى بوو له كاتژمير

The effect on the heat transfer: كاريگهريهكه لهسهه گواستنهوهكهى گهرمى

heat transfer will increase from 54.15 Watt to 85.62 Watt.

## Chapter 6

Forced convection (flow across tubes or ducts)

بهش 6

ههنگرتن زورى لى كراو (رؤيشتن له بؤرى يان لووله)



پرسیاره‌کانی بخشی ششم

External Flow

Enternal Flow

تیبینی: له (External Flow) دا، جیاوازی نیه لئینیوان (Lminar) و (Turbulent) دا، ههردوو جزره‌که بهه‌مان ریگا شیکارده‌کرتین.

Flow across one tube or one duct page 115

across tube Banks page 120

پرسیاره‌که به‌م هه‌نگاوانه‌ی خوارده‌ه شیکارده‌کرتیت:

1. Find  $T_{average}$ .
2. Find properties value at  $T_{average}$ .
3.  $Re = \frac{\rho u d}{\mu}$
4.  $Nu = C Re^m Pr^{0.333}$   
at page 115 in the Data Book
5. Find C and m  
at page 115 in the Data Book
6. Find h from  $Nu = \frac{hd}{k}$
7.  $Q = hA \Delta T$

پرسیاره‌که به‌م هه‌نگاوانه‌ی خوارده‌ه شیکارده‌کرتیت:

1. maximum velocity =  $u_{max}$
2. Find  $T_{average}$ .
3. Find properties value at  $T_{average}$ .
4.  $Re = \frac{\rho u_{max} d}{\mu}$
5.  $Nu = C Re^n$  at page 122 in the Data Book
6. Find C and n at page 122 in the Data Book
7. Find h from  $Nu = \frac{hd}{k}$
8.  $A_s = \pi d L N$   
N ژماره‌ی هه‌موو لوله‌که‌کانه که‌ریزکراوه.
9.  $\dot{m} = \rho u n (s l)$  n ژماره‌ی ریزه‌کانه
10.  $Q = hA \Delta T = \dot{m} C \Delta T$

Flow over one tube or one duct, page 115 in the Data Book

رۆیشتن به‌سه‌ر یه‌ک بۆرییدا یان یه‌ک لوله‌دا ، لاپه‌ره 115 له کتێبه‌که‌ی زانیاری

**Example:** air at 90°C and 1 atmosphere, flows across a heated 1.5mm diameter wire at a velocity of 6m/sec. The wire is a temperature of 150°C . Use the following data. Kinematic viscosity  $25.6 \times 10^{-6} m^2 / sec$  , thermal conductivity of the air 0.03365W/m.K , Pr=0.689, Calculate heat lost per unit length.

نمونہ: ہوا لہ (90°C) و 1 کھشدا، دہرؤات بہسہر وایہریکی گہرمی تیرہ (1.5mm) دا بہ خیرایبہک (6m/sec). وایہرہکہ لہ پلہی گہرمی (150°C) دایہ. نئم زانیاریانہ بہکار بینہ. لینجی جولاً و  $25.6 \times 10^{-6} m^2 / sec$  ، توانای گہیاندنی گہرمی ہوا (0.03365W/m.K) ، (Pr=0.689) ، گہرمی بزری بوو ہہژمار بکہ بہگویرہی یہکہی دریژی.

Given: Fluid temperature=  $T_{\infty} = 90^{\circ}C$ , wire diameter= $d=0.5mm=1.5 \times 10^{-3}$ , air velocity = $u= 6m/s$  , wire temperature=  $T_w = 150^{\circ}C$  , Kinematic viscosity= $\nu=25.6 \times 10^{-6} m^2 / sec$  , thermal conductivity of the air= $k=0.03365W/m.K$ , Pr=0.689, Determine heat lost per unit length= $\frac{q}{L}$  ?

Solution :

$$Reynolds Number = Re = \frac{ud}{\nu}$$

$$Reynolds Number = Re = \frac{6 * 1.5 * 10^{-3}}{25.6 * 10^{-6}} = 351.562$$

From Page 115 in the Data Book:

$$Nusselt Number = Nu_D = C * Re_D^m * Pr^{0.333}$$

Reynolds number is between 40-4000

∴ C=0.683 , m=0.466 from the table at page 115 in the Data Book.

$$Nusselt Number = Nu_D = 0.683 * (351.562)^{0.466} * (0.689)^{0.333}$$

$$Nu_x = 0.683 * (15.361) * (0.883)$$

$$Nu_x = 9.267 \dots \dots \dots (1)$$

From Page 111 in the Data Book:

$$\text{Nusselt Number} = Nu_x = \frac{hd}{k}$$

$$Nu_x = \frac{h * 1.5 * 10^{-3}}{0.03365}$$

$$Nu_x = 0.044 * h \dots \dots \dots (2)$$

Equation (1)= Equation (2)

$$9.267 = 0.044 * h \rightarrow h = \frac{9.267}{0.044}$$

$$h = 207.889 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Convection heat transfer coefficient= $h=207.889 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

$$\text{Surface area} = A_s = \pi d L = \pi * 1.5 * 10^{-3} * L = 4.712 * 10^{-3} * L$$

Heat transfer rate = $Q=hA_s\Delta T= hA_s(T_w - T_\infty)$

$$Q = 207.889(4.712 * 10^{-3} * L) (150 - 90)$$

$$Q = 0.979 * L * (60)$$

$$\frac{Q}{L} = 58.779 \frac{\text{W}}{\text{m}}$$

$$\text{Heat lost per unit length} = \frac{Q}{L} = 58.779 \frac{\text{W}}{\text{m}} \text{ (Answer)}$$

**Example:** air at 20°C flows with a velocity of 0.33m/s is around of 25mm diameter horizontal tube 400mm long, calculate heat transfer if the tube wall is maintained at 180 °C .

نمونە: ھەوا لە (20°C) بە خێراییەکی (0.33m/s) ی دەروات بەدەورو بەری بۆریەکی ئاسۆیی تیرە (25mm) ی (400mm) درێژ، گواستنەوی گەرمی ھەژمار بکە ئەگەر دیواری بۆریەکی بەئێرتەو لە (180 °C) دا.

Given: Fluid temperature=  $T_{\infty} = 20^{\circ}\text{C}$ , air velocity =  $u = 6\text{m/s}$  , tube diameter =  $d = 25\text{mm} = 0.025\text{m}$ , tube length =  $L = 400\text{mm} = 0.4\text{m}$ , tube temperature =  $T_w = 180^{\circ}\text{C}$  , Determine heat transfer rate .

Solution :

$$\text{film temperature} = T_f = \frac{T_w + T_{\infty}}{2} = \frac{180 + 20}{2} = \frac{200}{2} = 100^{\circ}\text{C}$$

We will find properties for air at  $T_f = 100^{\circ}\text{C}$

From page 33 in the Data Book:  $\rho = 0.946\text{kg/m}^3$

Kinematic viscosity =  $\nu = 23.13 \times 10^{-6}\text{m}^2/\text{sec}$  ,  $Pr = 0.688$ ,  $C = 1009\text{J/kg.K}$ , thermal conductivity of the air =  $k = 0.0321\text{W/m.K}$ ,

From page 111 in the Data Book:

$$\text{Reynolds Number} = Re = \frac{ud}{\nu}$$

$$\text{Reynolds Number} = Re = \frac{0.33 * 0.025}{23.13 * 10^{-6}} = 356.679$$

From Page 115 in the Data Book:

$$\text{Nusselt Number} = Nu_D = C * Re_D^m * Pr^{0.333}$$

Reynolds number is between 40-4000

∴ C=0.683 , m=0.466 from the table at page 115 in the Data Book.

$$\text{Nusselt Number} = Nu_D = 0.683 * (356.679)^{0.466} * (0.688)^{0.333}$$

$$Nu_x = 0.683 * (15.465) * (0.882)$$

$$Nu_x = 9.325 \dots \dots \dots (1)$$

From Page 111 in the Data Book:

$$\text{Nusselt Number} = Nu_x = \frac{hd}{k}$$

$$Nu_x = \frac{h * 0.025}{0.0321}$$

$$Nu_x = 0.778 * h \dots \dots \dots (2)$$

Equation (1)= Equation (2)

$$9.325 = 0.778 * h \rightarrow h = \frac{9.325}{0.778}$$

$$h = 11.973W/m^2.K$$

Convection heat transfer coefficient=h=11.973W/m<sup>2</sup>.K

$$\text{Surface area} = A_s = \pi d L = \pi * 0.025 * 0.4 = 0.031 m^2$$

Heat transfer rate =Q=hA<sub>s</sub>ΔT= hA<sub>s</sub>(T<sub>w</sub> - T<sub>∞</sub>)

$$Q = 11.973(0.031) (180 - 20)$$

$$Q = 60.182 W$$

heat transfer rate=Q = 60.182 W (Answer)

## Flow across tube Banks, page 120 in the Data Book

رویشتن له بانکی بورد، لاپره 120 له کتیهکهی زانیاری

پرسیارهکانی بشی ششم

External Flow

External Flow

تیبینی: له (External Flow) دا، جیوازی نیه لنینار (Laminar) و  
(Turbulent) دا، هردور جوره که بهمان رنگا شیکارده کرین.

Flow across one tube or  
one duct page 115

across tube Banks  
page 120

پرسیاره که به م ههنگاوانه ی خوارده شیکارده کریت:

1. Find  $T_{average}$ .
2. Find properties value at  $T_{average}$ .
3.  $Re = \frac{ud}{\nu}$
4.  $Nu = C Re^m Pr^{0.333}$   
at page 115 in the Data Book
5. Find C and m  
at page 115 in the Data Book
6. Find h from  $Nu = \frac{hd}{k}$
7.  $Q = hA \Delta T$

پرسیاره که به م ههنگاوانه ی خوارده شیکارده کریت:

1. maximum velocity =  $u_{max}$
2. Find  $T_{average}$ .
3. Find properties value at  $T_{average}$ .
4.  $Re = \frac{u_{max} d}{\nu}$
5.  $Nu = C Re^n$  at page 122 in the Data Book
6. Find C and n at page 122 in the Data Book
7. Find h from  $Nu = \frac{hd}{k}$
8.  $A_S = \pi d L N$   
N ژماره ی هه موو لوله که کانه کپریزکراوه.
9.  $\dot{m} = \rho u n (s l)$  n ژماره ی پیزه کانه
10.  $Q = hA \Delta T = \dot{m} C \Delta T$

دۆزىنەھى (maximum velocity) واتە ( $u_{max}$ ) دوو جۆرە:

1. ئەگەر (in line) بوو ، ئەوا تەنھا بەم ھاوكېشەيە دەيدۆزىنەھى:  $u_{max} = \left( \frac{S_t}{S_t - D} \right) u_{\infty}$

2. ئەگەر (Staggered) بوو ، ئەوادوو جار ( $u_{max}$ ) دەدۆزىنەھى. بەھۇى ئەم دوو ھاوكېشەيەى خوارەھە، وە كامەيان گەورەتر دەرچوو ئەھەيان بەكار دىننن.

$$(1) u_{max} = \left( \frac{S_t}{S_t - D} \right) u_{\infty}$$

$$(2) u_{max} = \frac{S_l}{2(S_d - D)} u_{\infty} \text{ which } S_d = \sqrt{S_l^2 + \left( \frac{S_t}{2} \right)^2}$$

**Example:** a tube bank uses an in-line arrangement of 30mm diameter tubes with  $C_p=C_n=60\text{mm}$  a tube length is 2m. There are 10 tube rows in the flow direction and seven tubes high. Air at  $27^\circ\text{C}$  and  $15\text{m/s}$  flow in cross flow over the tubes, while a tube wall temperature is maintained at  $100^\circ\text{C}$ . Determine the temperature of air leaving the tube bank and the rate of heat transfer.

نمونە: بانكىكى بۆرى بەكار دەھىننن رېكخستنىكى بەھىلى بۆرىيە تىرە (30mm) ھەكان لەگەل ( $C_p=C_n=60\text{mm}$ ) درىژى بۆرىك (2m). لەھى 10 رىز بۆرى بە ئاراستەى رۆىشتەكە ھەيە و ھەوت بۆرى بەرزە. ھەوا لە ( $27^\circ\text{C}$ ) و ( $15\text{m/s}$ ) دەروات بە رۆىشتەى پەرىنەھە بەسەر بۆرىكەندا، لەكاتىكدا پلەى گەرمى دىوارى بۆرىكە ھىلراوتەھە لە ( $100^\circ\text{C}$ ) دا. پلەى گەرمى ھەوا رۆىشتەكە لە بانكە بۆرىيەكەھە دىارى بکە و رىژەى گواستەھەى گەرمىكە دىارى بکە.

**Given:** tubes diameter=30mm=0.03m, pitch transverse to flow= $S_t=S_p = C_p=60\text{mm}=0.06\text{m}$ , pitch along the flow= $S_l=S_n = C_n=60\text{mm}=0.06\text{m}$ , tube length= $L=2\text{m}$ , number of rows= $n=10$ , Total number of tubes =  $N = \text{row} * \text{column} = 10 * 7 = 70 \text{ Tubes}$ , air velocity= $15 \text{ m/s}$ , air temperature= $T_{\infty 1}=27^\circ\text{C}$ , tube wall temperature = $100^\circ\text{C}$ .

Solution:

$$\text{film temperature} = T_f = \frac{T_w + T_\infty}{2} = \frac{100 + 270}{2} = \frac{127}{2} = 63.5 \cong 60 \text{ }^\circ\text{C}$$

We will find properties for air at  $T_f = 60^\circ\text{C}$

From page 33 in the Data Book:  $\rho = 1.06 \text{ kg/m}^3$

Kinematic viscosity  $\nu = 18.97 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$ , Prandtl Number  $\text{Pr} = 0.696$ ,  $C = 1005 \text{ J/kg.K}$ , thermal conductivity of the air  $k = 0.02896 \text{ W/m.K}$ .

It is in-line arrangement. From page 120 in the Data Book:

$$\text{maximum velocity} = u_{max} = \left( \frac{S_t}{S_t - D} \right) u_\infty$$

$$u_{max} = \left( \frac{0.06}{0.06 - 0.03} \right) * 15 = \frac{0.06}{0.03} = 2 * 15 = 30 \text{ m/s}$$

Reynolds Number to be calculated on the basis of maximum fluid velocity ( $u_{max}$ ):

From page 111 in the Data Book:

$$\text{Reynolds Number} = Re = \frac{u_{max} d}{\nu}$$

$$\text{Reynolds Number} = Re = \frac{30 * 0.03}{18.97 * 10^{-6}} = 47\,443.331$$

From Page 122 in the Data Book:

(FLOW ACROSS BANKS TUBES)

$$\text{Nusselt Number} = Nu = C * Re^n$$

The values of C and n are given in table of page 122:

$$\frac{S_t}{D} = \frac{0.06}{0.03} = 2$$



$$\frac{S_l}{D} = \frac{0.06}{0.03} = 2$$

$$\therefore C = 0.229, n = 0.632$$

$$\text{Nusselt Number} = Nu = C * Re^n$$

$$Nu = 0.229 * (47\,443.331)^{0.632} = 0.229 (902.282)$$

$$Nu = 206.622 \dots \dots \dots (1)$$

From Page 111 in the Data Book:

$$\text{Nusselt Number} = Nu = \frac{hd}{k}$$

$$Nu = \frac{h * 0.03}{0.02896}$$

$$Nu = 1.035 * h \dots \dots \dots (2)$$

Equation (1)= Equation (2)

$$206.622 = 1.035 * h \rightarrow h = \frac{206.622}{1.035}$$

$$h = 199.459 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Convection heat transfer coefficient=h=199.459 W/m<sup>2</sup>.K

$$\text{Surface area} = A_s = \pi d L * N \quad (N \text{ is total number of tubes } )$$

$$A_s = \pi * 0.03 * 2 * 70 = 13.194 \text{ m}^2$$

Heat transfer rate =Q=h A<sub>s</sub> ΔT= hA<sub>s</sub>(T<sub>w</sub> – T<sub>∞</sub>)

$$Q = 199.459(13.194) (100 – 27)$$

$$Q = 192\,121.363 \text{ W}$$

Total heat transfer rate=Q = 192 121.363 W (Answer)

Mass flow rate= m<sup>·</sup> = ρ<sub>∞</sub> \* u<sub>∞</sub> \* n \* S<sub>l</sub>

$$m^{\cdot} = 1.06 * 15 * 10 * 0.06 = 9.45 \text{ kg/s}$$

$$q = m \cdot C (T_{\infty 2} - T_{\infty 1})$$

$$192\,121.363 = 9.45 * 1005 (T_{\infty 2} - 27)$$

$$192\,121.363 = 9\,587.7 (T_{\infty 2} - 27)$$

$$20.038 = (T_{\infty 2} - 27)$$

$$20.038 + 27 = T_{\infty 2}$$

$$T_{\infty 2} = 47.038^{\circ}\text{C}$$

The exit air temperature =  $T_{\infty 2} = 47.038^{\circ}\text{C}$  (Answer)

**Example:** 20mm out diameter copper tubes are arranged in in-line at 30mm pitch  $S_p$  and 25mm pitch  $S_n$ . The entry velocity of air is 1m/s at  $20^{\circ}\text{C}$ . The tube wall is at  $40^{\circ}\text{C}$ . Determine the exit air temperature and total heat transfer rate if the numbers of tube are arranged as 6 rows with 6 columns.

نمونە: بۆرییە مسە تیرە دەرەکیە (20mm) کان ریک دەرەین بەشیوہی بەھیل لە (30mm) ی ئاوازی  $S_p$  و (25mm) ی ئاوازی  $S_n$ . خیرایی چوونە ناوی ھواکە (1m/s) ھ لە ( $20^{\circ}\text{C}$ ) دا. دیواری بۆریەکە لە ( $40^{\circ}\text{C}$ ) دایە. پلە ی گەرمی ھوا دەرچوہکە دیاری بکە و سەرجم ریزہی گواستتەوہ گەرمی دیاری بکە ئەگەر ژمارە ی بۆریەکان ریک بخرین بەشیوہی 6 ریز لەگەڵ 6 ستوون.

**Given:** tubes diameter = 20mm = 0.02m, pitch transverse to flow =  $S_t = S_p = 30\text{mm} = 0.03\text{m}$ , pitch along the flow =  $S_l = S_n = 25\text{mm} = 0.025\text{m}$ , air velocity = 1 m/s, air temperature =  $20^{\circ}\text{C}$ , tube wall temperature =  $40^{\circ}\text{C}$

of is at  $20^{\circ}\text{C}$  the tube wall is at  $40^{\circ}\text{C}$ , number of rows = 6 rows, number of columns = 6 columns.

**Solution:**

$$\text{film temperature} = T_f = \frac{T_w + T_\infty}{2} = \frac{40 + 20}{2} = \frac{60}{2} = 30^\circ\text{C}$$

We will find properties for air at  $T_f = 30^\circ\text{C}$

From page 33 in the Data Book:  $\rho = 1.165 \text{ kg/m}^3$

Kinematic viscosity  $\nu = 16 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$ ,  $Pr = 0.701$ ,  $C = 1005 \text{ J/kg.K}$ , thermal conductivity of the air  $k = 0.02675 \text{ W/m.K}$ .

It is in-line arrangement. From page 120 in the Data Book:

$$\text{maximum velocity} = u_{max} = \left( \frac{S_t}{S_t - D} \right) u_\infty$$

$$u_{max} = \left( \frac{0.03}{0.03 - 0.02} \right) * 1 = \frac{0.03}{0.01} = 3 \text{ m/s}$$

Reynolds Number to be calculated on the basis of maximum fluid velocity ( $u_{max}$ ):

From page 111 in the Data Book:

$$\text{Reynolds Number} = Re = \frac{u_{max} d}{\nu}$$

$$\text{Reynolds Number} = Re = \frac{3 * 0.02}{16 * 10^{-6}} = 3750$$

From Page 122 in the Data Book:

(FLOW ACROSS BANKS TUBES)

$$\text{Nusselt Number} = Nu = C * Re^n$$

The values of C and n are given in table of page 122:

$$\frac{S_t}{D} = \frac{0.03}{0.02} = 1.5$$

$$\frac{S_1}{D} = \frac{0.025}{0.02} = 1.25$$

$$\therefore C = 0.367, n = 0.586$$

$$\text{Nusselt Number} = Nu = C * Re^n$$

$$Nu = 0.367 * (3750)^{0.586} = 0.367(124.274)$$

$$Nu = 45.608$$

تیبینی: له بهر ئه وهی ژماره ی ریزه کان له 10 ریز که متره، کواته ده بیت (Nusselt Number) مکه جاران ی (C1) بکریت.

تیبینی: ریز قوول = ستوون      note : Rows deep= column

Multiply the above Nusselt Number by C1. See tables 122:

For in line tubes C1=0.94

$$Nu = 45.608 * 0.94 = 42.871 \dots \dots \dots (1)$$

From Page 111 in the Data Book:

$$\text{Nusselt Number} = Nu = \frac{hd}{k}$$

$$Nu = \frac{h * 0.02}{0.02675}$$

$$Nu = 0.747 * h \dots \dots \dots (2)$$

Equation (1)= Equation (2)

$$42.871 = 0.747 * h \rightarrow h = \frac{42.871}{0.747}$$

$$h = 57.391 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Convection heat transfer coefficient=h=57.391 W/m<sup>2</sup>.K

Assuming the length of tubes =1m

$$\text{Surface area} = A_s = \pi d L * N \quad (N \text{ is total number of tubes})$$

$$A_s = \pi * 0.02 * 1 * 36 = 2.261 \text{ m}^2$$

Heat transfer rate =  $Q = hA_s \Delta T = hA_s(T_w - T_\infty)$

$$Q = 57.391(2.261) (40 - 20)$$

$$Q = 57.391(2.261) (20)$$

$$Q = 2595.247 \text{ W}$$

Total heat transfer rate =  $Q = 2595.247 \text{ W}$  (Answer)

Mass flow rate =  $m \cdot = \rho_\infty * u_\infty * n * S_l$

$$m \cdot = 1.165 * 1 * 6 * 0.025 = 0.174 \text{ kg/s}$$

$$q = m \cdot C (T_{\infty 2} - T_{\infty 1})$$

$$2595.247 = 0.174 * 1005 (T_{\infty 2} - 20)$$

$$2595.247 = 174.87 (T_{\infty 2} - 20)$$

$$14.841 = (T_{\infty 2} - 20)$$

$$14.841 + 20 = T_{\infty 2}$$

$$T_{\infty 2} = 34.841^\circ\text{C}$$

The exit air temperature =  $34.841^\circ\text{C}$  (Answer)

**Example:** air 1 atmosphere and  $10^{\circ}\text{C}$  flows across a bank of tubes 15 rows high and 10 rows deep at a velocity of  $7\text{m/s}$  measured before entering the tube bank. The tubes are maintained at  $65^{\circ}\text{C}$ . The diameter of the tubes is  $2.54\text{cm}$  they are arranged in an in-line manner so that the spacing in both normal and parallel directions to the flow is  $3.8\text{cm}$ . Calculate the total heat transfer per unit length for the tube bank and the exit temperature. Air properties at  $27.5^{\circ}\text{C}$  are  $\rho = 1.137\text{kg/m}^3$ ,  $\text{viscosity} = \mu = 1.894 * 10^{-5}\text{kg/m}\cdot\text{sec}$ ,  $\text{Pr}=0.706$ ,  $C=1007\text{ j/kg}\cdot\text{K}$ , thermal conductivity of the air= $k=0.027\text{W/m}\cdot\text{K}$ .

رېز قوول له 10 رېز بهرز و 15) د پروات بهناو بانكيكي بوري  $10^{\circ}\text{C}$  نمونونه: هوا 1 كمش و  
 ( دا ده هيلرنهوه.  $65^{\circ}\text{C}$ ) پيوراو له پيش چونهناو بانكي بوريكهوه. بوريكه له  $7\text{m/s}$  خيراى  
 (ه نوان ريك دهخرين له شيوهيهكي بههيدا بو نهوهى ماوداكه له  $2.54\text{cm}$  تيرهى بوريهكان  
 ه. سهرجهمى گواستهوهى گهرمى  $3.8\text{cm}$  هر دوو ناراستهى نهستونى و تهرييدا بو رويشتنهكه  
 ههژمار بكه له هر يهكهيهكى دريژييدا بو بانكه بوريهكه و هوا دهرچوهكه. سيفهتهكهنى هوا له  
 $27.5^{\circ}\text{C}$ ) ( $\rho = 1.137\text{kg/m}^3$ ,  $\text{viscosity} = \mu = 1.894 * 10^{-5}\text{kg/m}\cdot\text{sec}$ ,  $\text{Pr}=0.706$ ,  $C=1007\text{ j/kg}\cdot\text{K}$ , thermal conductivity of the  
 air= $k=0.027\text{W/m}\cdot\text{K}$ .

**Given:** air temperature= $T_{\infty}=10^{\circ}\text{C}$ , air velocity= $u_{\infty}=7\text{ m/s}$ , number of rows= $n=15$  rows, number of columns=rows deep =10 columns, tube wall temperature = $65^{\circ}\text{C}$ , tubes diameter= $2.54\text{ cm}=0.0254\text{m}$ , pitch transverse to flow= $S_t=S_p=3.81\text{cm}=0.0381\text{ m}$ , pitch along the flow= $S_l=S_n=3.81\text{cm}=0.0381\text{ m}$ ,  $\rho = 1.137\text{kg/m}^3$ ,  $\text{viscosity} = \mu = 1.894 * 10^{-5}\text{kg/m}\cdot\text{sec}$ ,  $\text{Pr}=0.706$ ,  $C=1007\text{ j/kg}\cdot\text{K}$ , thermal conductivity of the air= $k=0.027\text{W/m}\cdot\text{K}$ .

Solution:

note : Rows deep= column

It is in-line arrangement. From page 120 in the Data Book:

$$\text{maximum velocity} = u_{max} = \left( \frac{S_t}{S_t - D} \right) u_{\infty}$$

$$u_{max} = \left( \frac{0.0381}{0.0381 - 0.0254} \right) * 7 = 21 \text{ m/s}$$

Reynolds Number to be calculated on the basis of maximum fluid velocity ( $u_{max}$ ):

From page 111 in the Data Book:

$$\text{Reynolds Number} = Re = \frac{\rho u_{max} d}{\mu}$$

$$\text{Reynolds Number} = Re = \frac{1.137 * 21 * 0.0254}{1.894 * 10^{-5}} = 32\,020.897$$

From Page 122 in the Data Book:

(FLOW ACROSS BANKS TUBES)

$$\text{Nusselt Number} = Nu = C * Re^n$$

The values of C and n are given in table of page 122:

$$\frac{S_t}{D} = \frac{0.0381}{0.0254} = 1.5$$

$$\frac{S_l}{D} = \frac{0.0381}{0.0254} = 1.5$$

$$\therefore C = 0.250, n = 0.620$$

$$\text{Nusselt Number} = Nu = C * Re^n$$

$$Nu = 0.250 * (32\,020.897)^{0.620} = 0.250(621.396)$$

$$Nu = 155.349 \dots \dots \dots (1)$$

From Page 111 in the Data Book:

$$\text{Nusselt Number} = Nu = \frac{hd}{k}$$

$$Nu = \frac{h * 0.0254}{0.027}$$

$$Nu = 0.94 * h \dots \dots \dots (2)$$

Equation (1)= Equation (2)

$$155.349 = 0.94 * h \rightarrow h = \frac{155.349}{0.94}$$

$$h = 165.134 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Convection heat transfer coefficient=h=165.134 W/m<sup>2</sup>.K

Surface area =  $A_s = \pi d L * N$  ( $N$  is total number of tubes = 10 \* 15 = 150)

$$A_s = \pi * 0.0254 * L * 150 = 11.969 * L$$

Heat transfer rate =  $Q = hA_s\Delta T = hA_s(T_w - T_\infty)$

$$Q = 165.134(11.969 * L) (65 - 10)$$

$$Q = 108\,711.137 * L$$

$$\frac{Q}{L} = 108\,711.137 \text{ W/m}$$

Total heat transfer per unit length= $\frac{Q}{L} = 108\,711.137 \text{ W/m}$  (Answer)

Mass flow rate=  $m \cdot = \rho_\infty * u_\infty * n * S_l$

$$m \cdot = 1.137 * 7 * 15 * 0.0381 = 4.548 \text{ kg/s}$$

$$q = m \cdot C (T_{\infty 2} - T_{\infty 1})$$

$$108\,711.137 = 4.548 * 10057 (T_{\infty 2} - 10)$$

$$108\,711.137 = 4580.408 (T_{\infty 2} - 10)$$

$$23.733 = (T_{\infty 2} - 10)$$



$$23.733 + 10 = T_{\infty 2}$$

$$T_{\infty 2} = 33.733^{\circ}\text{C}$$

The exit air temperature=33.733°C (Answer)

Internal flow at Page 123 in the Data Book

رؤیشتنی ناوځوی له لاپره 12<sup>3</sup> له کتیبه که ی زانیاری

پرسیاره کانی بهشی ششم

External Flow

Internal Flow

پرسیاره که به م هه نگانوه ی خواره وه شیکارده کریت:

1. Find  $T_{\text{average}}$ .
2. Find properties value at  $T_{\text{average}}$ .
3.  $Re = \frac{ud}{\nu}$
4. Laminar or Trbulent
5. Find Nu

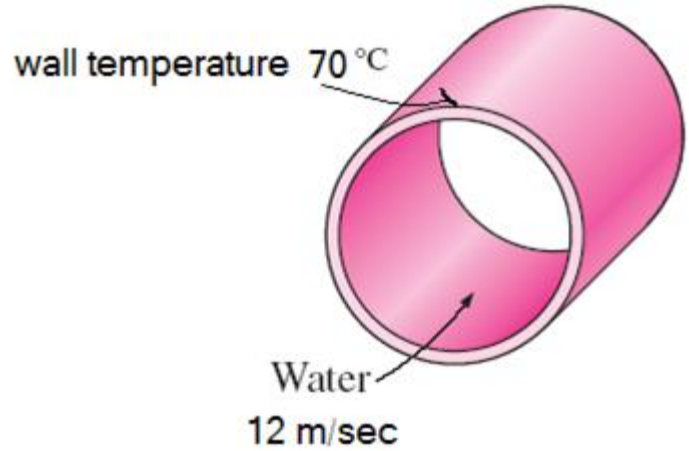
نه گهر Laminar بوو ده بیټ له (Table) دا بدوزینه وه in page 127

نه گهر Trbulent بوو ده بیټ به م یاسایه  $Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^n$  بدوزینه وه at page 125 in the Data Book

6. Find h from  $Nu = \frac{hd}{k}$
7.  $Q = hA \Delta T = \dot{m} C \Delta T$

**Example:** In a straight tube of 60mm diameter, water is flowing at a velocity of 12m/sec. The tube surface temperature is maintained at 70°C and the flowing water will be heated from the inlet temperature 15°C to an outlet

temperature of 45°C . Take properties of water at its mean temperature.  
 Calculate (1) heat transfer coefficient. (2) Heat transferred. (3) The length of the tube.



نمونە: لە بۆرییەکی ریکی تیرە  
 (60mm)دا، ئاو دەروات بە خیراییەکی  
 (12m/sec)دا. پلەیی گەرمی پرووی بۆریەکە  
 هیلراوەتەوه لە (70°C) وه ئاوه رۆیشتووەکە  
 گەرم دەبیت لە پلەیی گەرمیەکەیی چونەژورەیی  
 (15°C)هوه بۆ پلەیی گەرمی چونەدەرەوهی (45°C). تاییەتمەندیەکانی ئاو وەرگرە لە تیکرای پلەیی  
 گەرمیدا. (1) هاوکۆلکەیی گواستنهوه گەرمیی هەژمار بکە. (2) گەرمی گواستراوه هەژمار بکە.  
 (3) دریزی بۆریەکە هەژمار بکە.

**Given:** tubes diameter=60 mm=0.06m, water velocity= $u=1$  m/s, tube wall temperature =70°C, inlet temperature= $T_{b1}=15$ °C, outlet temperature= $T_{b2}=45$ °C.

Solution: *Bulk mean temperature*  $= T_m = \frac{T_{b1}+T_{b2}}{2} = \frac{15+45}{2} = \frac{60}{2} = 30$ °C

We will find properties for water at  $T_f = 30$ °C

From page 21 in the Data Book:

Water properties at 30°C are not possess, we will find Water properties at 20°C and 40°C after that we will find at 30°C due to interpolation.

تاییەتمەندیەکانی ئاو لە (30°C)دا نیە، ئیئە تاییەتمەندیی ئاو دەدۆزینەوه لە (20°C) و (40°C) پاش ئیئە لە (30°C)دا دەدۆزینەوه بەهۆی ئینتەرپۆلەیشنەوه.

temperature	density	Kinematic	Number(Pr)	specific	thermal
	( $\rho$ )	viscosity( $\nu$ )		heat (C)	conductivity
					(k)

20°C	1000	$1.006 \times 10^{-6}$	7.020	4178	0.5978
40°C	995	$0.657 \times 10^{-6}$	4.34	4178	0.628

Water properties at 30°C:

$$\rho_{30} = \frac{\rho_{20} + \rho_{40}}{2} = \frac{1000 + 995}{2} = 997.5 \text{ kg/m}^3$$

$$v_{30} = \frac{v_{20} + v_{40}}{2} = \frac{1.006 \times 10^{-6} + 0.657 \times 10^{-6}}{2} = 0.8315 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Pr_{30} = \frac{Pr_{20} + Pr_{40}}{2} = \frac{7.02 + 4.34}{2} = 5.68$$

$$C_{30} = \frac{C_{20} + C_{40}}{2} = \frac{4178 + 4178}{2} = 4178 \text{ J/kg.K}$$

$$k_{30} = \frac{k_{20} + k_{40}}{2} = \frac{0.5978 + 0.628}{2} = 0.6129 \text{ W/m.K}$$

From page 111 in the Data Book:

$$\text{Reynolds Number} = Re = \frac{ud}{v}$$

$$\text{Reynolds Number} = Re = \frac{0.06 \times 12}{0.8315 \times 10^{-6}} = 865\,904.991$$

$$Re > 2300$$

$\therefore$  The type of the flow is turbulent

From Page 125 in the Data Book:

$$\begin{aligned} \text{Dittus – Boelter equation: Nusselt Number} &= Nu_D \\ &= 0.023 * Re_D^{0.8} * Pr^n \end{aligned}$$

N=0.4 for heating of fluids

N=0.3 for cooling of fluids

Outlet temperature (45 °C) > inlet temperature (15 °C)

$\therefore$  it is heating of fluids and  $n = 0.4$

$$Nu_D = 0.023 * (865\ 904.991)^{0.8} * (5.68)^{0.4}$$

$$Nu_x = 0.683 * (56231.05) * (2)$$

$$Nu_x = 2586.628 \dots \dots \dots (1)$$

From Page 111 in the Data Book:

$$\text{Nusselt Number} = Nu_x = \frac{hd}{k}$$

$$Nu_x = \frac{h * 0.06}{0.06129}$$

$$Nu_x = 0.097 * h \dots \dots \dots (2)$$

Equation (1)= Equation (2)

$$2586.628 = 0.097 * h \rightarrow h = \frac{2586.628}{0.097}$$

$$h = 26422.405 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Convection heat transfer coefficient= $h=26422.405 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot \text{K}$  (Answer)

$$\text{Cross sectional area} = A_c = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi 0.06^2}{4} = 2.827 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

Mass flow rate=  $m \cdot = \rho * u * A_c$

$$m \cdot = 997.5 * 12 * 2.827 * 10^{-3} = 33.844 \text{ kg/s}$$

$$q = m \cdot C (T_{b2} - T_{b1})$$

$$q = 33.844 * 4178 (45 - 15)$$

$$q = 4242006.96 \text{ W}$$

2. The heat transferred = $q = 4242006.96 \text{ W}$  (Answer)

Heat transfer rate = $Q=hA_s\Delta T= hA_s(T_w - \frac{T_{b1}+T_{b2}}{2})$

$$4242006.96 = 26422.405 * A_s (70 - 30)$$

$$4242006.96 = 26422.405 * 40 * A_s$$

$$A_s = \frac{4242006.96}{26422.405 * 40} = 4.013 \text{ m}^2$$

$$\text{Surface area} = A_s = \pi d L$$

$$4.013 = \pi * 0.06 * L$$

$$L = \frac{4.013}{0.188} = 21.289 \text{ m (Answer)}$$

ئەگەر شەكەكەمان بازە نەبوو ئەوا دەبیت (hydraulic diameter) بدۆزینەو بەهۆی ئەم یاسایەو  
 كه له لاپەرە 126 دایە لەناو (Data Book) هەدا. وە له هەموو ئەو یاسانەشدا كه له  
 شیکار کردنی پرسیار هەدا بەکار دین، (d) لەناو یاساکەدا هەبوو ئەوا (hydraulic diameter)  
 بەکار دیت. وەك ئەم نمونەیهی خوارەو:

**Example:** Water flows in a duct having a cross section 5mm\*10mm with a mean bulk temperature of 20°C . The duct wall temperature is constant at 60°C , for fully laminar flow, calculate the water flow velocity and amount of heat transfer, if exit water temperature is 30°C . Take the following properties of water.  $\rho=1000\text{kg/m}^3$  ,  $\nu=1.006*10^{-6}\text{m}^2/\text{sec}$  ,  $Pr=7.02$  ,  $C=4216\text{J/kg.K}$  ,  $k=0.5978\text{W/m.K}$  .

نمونه: ئاو دەروات بە لۆولەیهکا هەیهتی برگیهکی پهرینهو (5mm\*10mm) بە تیکرا پلهی  
 گهرمی سهرهکی (20°C). پلهی گهرمی دیواری لۆولەکه نهگۆر له (60°C) دا، بۆ بهتهواری  
 رویشتنی خشۆك، خیرایی رویشتنی ئاو و بری گواستنوهی گهرمی حیساب بکه، ئەگەر پلهی

گرمی چوونه دهره وهی ئاو (30°C) بیت. ئهم تاییه تمه ندیانهی ئاو وهر بگره.  $\rho=100\text{kg/m}^3$ ,  $\nu=1.006*10^{-6}\text{m}^2/\text{sec}$ ,  $\text{Pr}=7.02$ ,  $C=4216\text{J/kg.K}$ ,  $k=0.5978\text{W/m.K}$ .

Given:

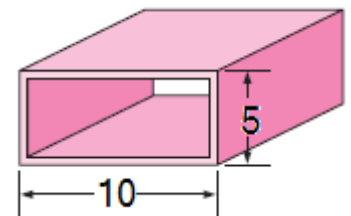
*Bulk mean temperature* =  $T_m = 20^\circ\text{C}$ , *exit temperature* =  $T_{b2} = 30^\circ\text{C}$ ,  
*duct wall temperature* =  $60^\circ\text{C}$ .

Solution:

$$\text{Bulk mean temperature} = T_m = 20^\circ\text{C} = \frac{T_{b1} + T_{b2}}{2}$$

$$\rightarrow 20 = \frac{T_{b1} + 30}{2}$$

$$40 = T_{b1} + 30 \rightarrow T_{b1} = 10^\circ\text{C}$$



The type of the flow is Laminar. From Page 127 in the Data Book:

Because  $\frac{2b}{2a} = \frac{5}{10} = \frac{1}{2}$  and the duct wall temperature is constant

$$\therefore Nu = 3.391 \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{Cross sectional area} = A_c = 0.005 * 0.01 = 5 * 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\text{perimeter} = 2(\text{Length}) + 2(\text{width})$$

$$P = 2 * 0.005 + 2 * 0.01 = 0.03\text{m}$$

from page 126 in the Data Book:

$$\text{Hydraulic diameter} = \frac{4 * \text{Area}}{\text{Perimeter}}$$

$$D_h = \frac{4 A}{P}$$

$$D_h = \frac{4 * 5 * 10^{-5}}{0.03} = 6.66 * 10^{-3} m$$

Assuming duct length=1 m.

$$\text{Surface area} = A_s = \pi d L = \pi * 6.66 * 10^{-3} * 1 = 0.02 m^2$$

From Page 111 in the Data Book:

$$\text{Nusselt Number} = Nu_x = \frac{hd}{k}$$

$$3.391 = \frac{h * 6.66 * 10^{-3}}{0.5978}$$

$$2.027 = h * 6.66 * 10^{-3}$$

$$h = \frac{2.027}{6.66 * 10^{-3}} = 304.101 W/m^2.K$$

$$T_{b2} > T_{b1}$$

$\therefore$  it is heating

$$\text{Heat transfer rate} = Q = m \cdot C(T_{b2} - T_{b1}) = hA_s \left( T_w - \frac{T_{b1} + T_{b1}}{2} \right)$$

$$m \cdot C(T_{b2} - T_{b1}) = hA_s \left( T_w - \frac{T_{b1} + T_{b1}}{2} \right)$$

$$m * 4216(30 - 10) = 304.1 * 0.02(60 - 20)$$

$$m * 4216(20) = 304.1 * 0.02(40)$$

$$m * 84320 = 243.28$$

$$m = \frac{243.28}{84320} = 2.885 * 10^{-3} kg/sec$$

$$\text{Mass flow rate} = m = \rho u A_c$$

$$2.885 * 10^{-3} = 1000 * u * 5 * 10^{-5}$$

$$2.885 * 10^{-3} = 0.05 * u$$

$$u = \frac{2.885 * 10^{-3}}{0.05} = 0.0577 \frac{m}{sec} \text{ (Answer)}$$

Amount of heat transfer:

$$Q = hA_s \left( T_w - \frac{T_{b1} + T_{b2}}{2} \right)$$

$$Q = 304.1 * 0.02(60 - 20)$$

$$Q = 243.28 W$$

Heat transfer rate= $Q = 243.28 W$  (Answer)

**Example:** n-butyl alcohol flows through a square duct of 0.1m side with a velocity of 30mm/sec. the duct is 4m long. The walls are at constant

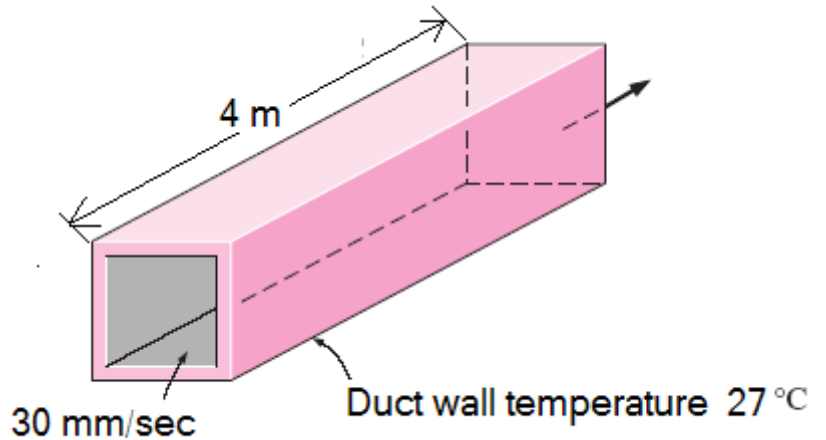


temperature of 27°C . The bulk mean temperature of n-butyl is 20°C .  
Determine Heat transferred. Take the following properties of n-butyl.

$$\rho=810\text{kg/m}^3,$$

$$\mu=29.5 \times 10^{-4}\text{Ns/m}^2, \text{Pr}=50.8,$$

$$k=0.167\text{W/m.K}.$$



نمونه: کحولی نین-بیوتیل بهناو لولہیہکی  
چوار گوشہی لا (0.1m) دا دہروات به  
خیرایی (30mm/sec). لولہکه 4m  
دریژہ. دیوار مکان له پلهی گہرمیی  
نہگوری (27°C) دان. تیکرای پلهی

گہرمیی بارستہ (نین-بیوتیل) که (20°C) ه. گہرمی گواستراوه دیاری بکه. نهم تاییہتمہندیانہی  
(نین-بیوتیل) وەرگرہ.  $\rho=810\text{kg/m}^3, \mu=29.5 \times 10^{-4}\text{Ns/m}^2, \text{Pr}=50.8, k=0.167\text{W/m.K}.$

**Given:** duct wall temperature =27°C, fluid velocity= $u=30\text{mm/sec}=0.03\text{m/sec}$ ,  
*Bulk mean temperature*= $T_m = 20^\circ\text{C}$ .

Solution:

The type of the flow is Laminar. From Page 127 in the Data Book:

Because  $\frac{2b}{2a} = \frac{0.1}{0.1} = 1$  and the duct wall temperature is constant

$$\therefore Nu = 2.976 \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{Cross sectional area} = A_c = \text{Length} * \text{width}$$

$$= 0.1 * 0.1 = 0.01 \text{ m}^2$$

$$\text{perimeter} = 2(\text{Length}) + 2(\text{width})$$

$$P = 2 * 0.1 + 2 * 0.1 = 0.4 \text{ m}$$

from page 126 in the Data Book:

$$\text{Hydraulic diameter} = \frac{4 * \text{Area}}{\text{Perimeter}}$$

$$D_h = \frac{4 A}{P}$$

$$D_h = \frac{4 * 0.01}{0.4} = \frac{0.04}{0.4} = 0.1 \text{ m}$$

From Page 111 in the Data Book:

$$\text{Nusselt Number} = Nu_D = \frac{hd}{k}$$

$$2.976 = \frac{h * 0.1}{0.167}$$

$$2.976 = h * 0.598$$

$$h = \frac{2.976}{0.598} = 4.969 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\text{Surface area} = A_s = \pi d L = \pi * 4 * 0.1 = 1.256 \text{ m}^2$$

$$T_w > T_m$$

$\therefore$  it is heating

$$\text{Heat transfer rate} = Q = hA_s \left( T_w - \frac{T_{b1} + T_{b1}}{2} \right)$$

$$q = hA_s \left( T_w - \frac{T_{b1} + T_{b1}}{2} \right)$$

$$q = 4.962 * 1.256(27 - 20)$$

$$q = 43.648 \text{ W}$$

Heat transfer rate= $Q = 43.648 \text{ W}$  (Answer)

**Example:** Air at 20°C flows through a tube 8cm diameter with a velocity of 9m/sec. The tube wall is 80°C . Determine the tube length required for exit air temperature of 36°C .

نمونہ: ہوا لہ (20°C) دا بہناو بوریہ کی تیرہ (8cm) دا دہروات بہ خیرایی (9m/sec) . دیواری بوریہ کہہ (80°C) . دریزی پنیستی بوریہ کہہ دیاری بکہ بؤئہوی پلہی گہرمیی چونہ دہرہوی ہوا ی (36°C) .

**Given:** inlet temperature= $T_{b1}=20^{\circ}\text{C}$ , tube diameter= $d=8\text{cm}=0.08\text{m}$ , air velocity= $u=9\text{ m/s}$ , tube wall temperature = $80^{\circ}\text{C}$ , outlet temperature= $T_{b2}=45^{\circ}\text{C}$ .

Solution:

$$\text{Bulk mean temperature} = T_m = \frac{T_{b1} + T_{b2}}{2} = \frac{20 + 36}{2} = \frac{56}{2} = 28^{\circ}\text{C} \\ \cong 30^{\circ}\text{C}$$

We will find properties for air at  $T_f = 30^{\circ}\text{C}$

From page 33 in the Data Book:

$$\rho = 1.165\text{ kg/m}^3, \nu = 16 * 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}, Pr = 0.701, C = 1005\text{ J/kg.K}, k = 0.02675\text{ W/m.K}$$

From page 111 in the Data Book:

$$\text{Reynolds Number} = Re = \frac{ud}{\nu}$$

$$\text{Reynolds Number} = Re = \frac{9 * 0.08}{16 * 10^{-6}} = 45000$$

$$Re > 2300$$

$\therefore$  The type of the flow is turbulent

From Page 125 in the Data Book:

Dittus-Boelter Equation:

$$\text{Nusselt Number} = Nu_D = 0.023 * Re_D^{0.8} * Pr^n$$

N=0.4 for heating of fluids

N=0.3 for cooling of fluids

Outlet temperature (36 °C) > inlet temperature (20 °C)

$\therefore$  it is heating of fluids and n = 0.4

$$Nu_D = 0.023 * (45000)^{0.8} * (0.701)^{0.4}$$

$$Nu_x = 0.683 * (5279.223) * (0.867)$$

$$Nu_x = 105.337 \dots \dots \dots (1)$$

From Page 111 in the Data Book:

$$\text{Nusselt Number} = Nu_x = \frac{hd}{k}$$

$$Nu_x = \frac{h * 0.08}{0.02675}$$

$$Nu_x = 2.99 * h \dots \dots \dots (2)$$

Equation (1)= Equation (2)

$$105.337 = 2.99 * h \rightarrow h = \frac{105.337}{2.99}$$

$$h = 35.22 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\text{Cross sectional area} = A_c = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi (0.08)^2}{4} = 5 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\text{Mass flow rate} = m \cdot = \rho * u * A_c$$

$$m \cdot = 1.165 * 9 * 5 * 10^{-3} = 0.052 \text{ kg/s}$$

$$q = m \cdot C (T_{b2} - T_{b1})$$

$$q = 0.052 * 1005 * (36 - 20)$$

$$q = 847.47 \text{ W}$$

$$\text{Heat transfer rate} = Q = hA_s \Delta T = hA_s (T_w - \frac{T_{b1} + T_{b2}}{2})$$

$$847.47 = 35.222 * A_s (80 - 28)$$

$$847.47 = 1831.544 * A_s$$

$$A_s = \frac{847.47}{1831.544} = 0.462 \text{ m}^2$$

$$\text{Surface area} = A_s = \pi d L$$

$$0.462 = \pi * 0.08 * L$$

$$0.462 = 0.25 * L$$

$$L = \frac{0.462}{0.25} = 1.838 \text{ m (Answer)}$$

Tube length=L=1.838 m (Answer)

## Chapter 7

### Free Convection

بەش ۷

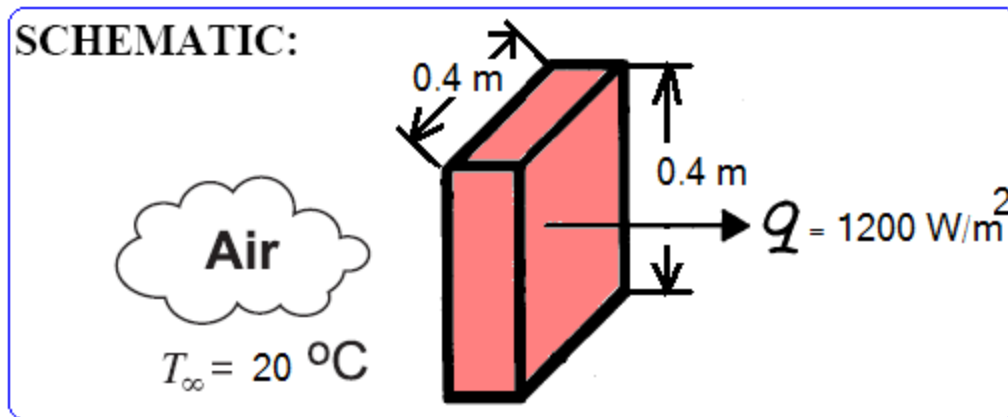
ھەنگرتنى سروشتى

تېبىنى : لە (Free convection) دا ، بەھىچ جۆرىك پىويست ناكات (Reynolds Number) بدۆزىنەھە . بەلام پىويستە (Grashof Number) بدۆزىنەھە بۇ ئەو پىسيارانەھى ( Constant wall temperature) يان ھەيە ھەروھە پىويستە كە (Modify Grashof Number) بدۆزىنەھە بۇ ئەو پىسيارانەھى (Constant heat flux) يان ھەيە .

**Example:** a flat electrical heater of 0.4 m\*0.4m size is placed vertically in air at 20°C . The flux from the heater is 1200W/m<sup>2</sup>. Determine the value of convection heat transfer coefficient and the plate temperature.

نمونه: هیتھریکی تهختی کاره بای قهباره (0.4 m\*0.4m) ی به ستونی دا دهنیریت له ههوادا له (20°C) دا. لیشاوه که له هیتهره کهوه (1200W/m<sup>2</sup>) ه. نرخی هاوکولکهی گواستنوهی گهرمی به هه لگرتن و پلهی گهرمی پلنیه که دیاری بکه.

Given: Area=(0.4 m\*0.4 m)air, temperature= $T_{\infty}=20^{\circ}\text{C}$ , heat flux= $q=1200\text{ W/m}^2$ .



Solution: From page 33 in the Data Book:

We will find air properties at 20°C

ئیمه تاییه تمه ندیی ههواد ده دوزینه وه له (20°C) دا.

temperature	density ( $\rho$ )	Kinematic viscosity( $\nu$ )	Number(Pr)	thermal diffusivity( $\alpha$ )	thermal conductivity (k)
20°C	1.205	$15.06 \times 10^{-6}$	0.703	$21.417 \times 10^{-6}$	0.02593

We will find coefficient of thermal expansion ( $\beta$ ) from page 29 in the Data Book at 20°C.

$$\beta = 3.42 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

This question is constant heat flux. ئەم پرسیاره لیشاوی گهرمی نه گۆره

پۆیسته كه (Modify Grashof Number) بدۆزینهوهی بۆ ئهو پرسیارانهی ( Constant heat ) یان ههیه (flux).

$$\text{Modify Grashof Number} = Gr^* = \frac{g\beta qx^4}{kv^2}$$

$$Gr^* = \frac{(9.81)(3.42 * 10^{-3})(1200)(0.4)^4}{(0.02593)(15.06 * 10^{-6})^2}$$

$$Gr^* = \frac{1.03}{5.88 * 10^{-12}} = 1.75 * 10^{11}$$

$$Gr^* * pr = 1.75 * 10^{11} * 0.703 = 1.23 * 10^{11} > 10^9$$

ئهو شێواوه It is turbulent

We will choose a suitable rule to find Nusselt Number (Nu): from page 135 in the Data Book:

ئیمه یاسایهکی شیاو ههڵ بپزیرین تا ژماره نهسلت بدۆزیتهوه (Nu) : له لایهروه 135 له کتیهکهی زانیاری:

$$Nu_x = 0.17(Gr^* * pr)^{0.25}$$

$$Nu_x = 0.17(1.23 * 10^{11})^{0.25}$$

$$Nu_x = 0.17(592.35) = 100.7 \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{Nusselt Number} = Nu_x = \frac{hL}{k}$$

$$Nu_x = \frac{h * 0.4}{0.02593}$$

$$Nu_x = 15.426 * h \dots \dots \dots (2)$$



Equation (1)= Equation (2)

$$100.7 = 15.426 * h \rightarrow h = \frac{100.7}{15.426}$$

$$h = 6.52 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Convection heat transfer coefficient= $h = 6.52 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot \text{K}$  (Answer)

Heat transfer rate = $Q=hA \Delta T= hA (T_w - T_\infty)$

$$Q = hA (T_w - T_\infty)$$

$$\frac{Q}{A} = h (T_w - T_\infty)$$

$$1200 = 6.52 (T_w - 20)$$

$$183.82 = (T_w - 20)$$

$$183.82 + 20 = T_w$$

$$T_w = 203.82 \text{ }^\circ\text{C}$$

The plate temperature= $T_w = 203.82 \text{ }^\circ\text{C}$  (Answer)

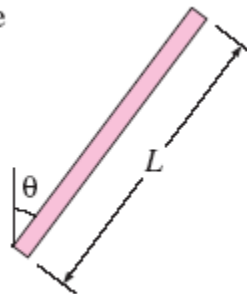
تیبینی: (Upper surface is heated) واته روی سهرهوی گهر مکر اوه.

**Example:** A flat plate 1m by 1m is inclined at  $30^\circ$  with the horizontal and exposed to atmospheric air at  $30^\circ\text{C}$ . The plate receives a net radiant heat energy flux from the sun of  $700\text{W}/\text{m}^2$  which then is dissipated to the surrounding by free convection. What temperature will be attained by the plate?

نمونه: پلئیتیکی تهختی (1m) به (1m) مهتر لار کرایهوه به  $(30^\circ)$  لهگهل ئاسودا و خرایه بهر ههواي کهش له  $(30^\circ\text{C})$  دا. پلئتهکه لئشاویکی وزه ی گهرمی تیشکدرای پوختی  $(700\text{W}/\text{m}^2)$  وهر دهگریته له خورهوه که دواتر پهرش دهگریتهوه بو چواردهور به ههنگرتتی سوشتی. چی پلهیهکی گهرمی دهست دهکویت بههوی بهپلئتهکهوه؟

Given: Length= $L=1$  m, width= $w=1$  m, angle with the horizontal= $30^\circ$  ∴  
 angle with the Vertical =  $\theta = 90 - 30 = 60^\circ$ , air temperature= $T_\infty = 30^\circ\text{C}$ ,  
 heat flux= $q=700$   $\text{W}/\text{m}^2$ .

Inclined plate



Solution: From page 33 in the Data Book:

We will find air properties at  $30^\circ\text{C}$ .

شیکار: : له لاپهروه ۳۳ له کتیهکهی زانیاری:

ئیمه تایهتهدندی ههوا ده دوزینهوه له  $(30^\circ\text{C})$

temperature	density ( $\rho$ )	Kinematic viscosity( $\nu$ )	Number(Pr)	Specific heat (C)	thermal conductivity (k)
20°C	1.165	$16 \cdot 10^{-6}$	0.701	1005	0.02675

We will find coefficient of thermal expansion ( $\beta$ ) from page 29 in the Data Book at 30°C.

نیمه هاوکولکهی فراوان بوونی گهرمایی ده دوزینهوه ( $\beta$ ) له لایهروهه 29 له کتیبهکهی زانیاری له (30°C) دا.

$$\beta = 3.3 \cdot 10^{-3} K^{-1}$$

This question is constant heat flux.

پښوېسته که (Modify Grashof Number) بدوزینهوهی بوئو پرسیارانهی (Constant heat flux) یان ههیه.

$$\text{Modify Grashof Number} = Gr^* = \frac{g\beta qx^4}{k\nu^2}$$

$$Gr^* = \frac{(9.81)(3.3 \cdot 10^{-3})(700)(1)^4}{(0.02675)(16 \cdot 10^{-6})^2}$$

$$Gr^* = \frac{22.66}{6.848 \cdot 10^{-12}} = 3.3 \cdot 10^{12}$$

$$Gr^* * pr = (3.3 \cdot 10^{12}) * 0.701 = 2.31 \cdot 10^{12} > 10^9$$

It is turbulent

We will choose a suitable rule to find Nusselt Number (Nu): from page 136 in the Data Book:

$$Gr^* * pr * \cos 60 = (2.31 \cdot 10^{12}) * (0.5) = 1.155 \cdot 10^{12}$$

$$Nu_x = 0.17(Gr^* * pr)^{0.25}$$

$$Nu_x = 0.17(2.31 * 10^{12})^{0.25}$$

$$Nu_x = 209.58 \dots \dots \dots (1)$$

from page 111 in the Data Book:

$$\text{Nusselt Number} = Nu_x = \frac{hL}{k}$$

$$Nu_x = \frac{h * 1}{0.02675}$$

$$Nu_x = 37.38 * h \dots \dots \dots (2)$$

Equation (1)= Equation (2)

$$209.58 = 37.38 * h \rightarrow h = \frac{209.58}{37.38}$$

$$h = 5.6 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Convection heat transfer coefficient= $h = 5.6 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  (Answer)

Heat transfer rate = $Q=hA \Delta T=hA (T_w - T_\infty)$

$$Q = hA (T_w - T_\infty)$$

$$\frac{Q}{A} = h (T_w - T_\infty)$$

$$700 = 5.6 (T_w - 30)$$

$$124.86 = (T_w - 30)$$

$$124.86 + 30 = T_w$$

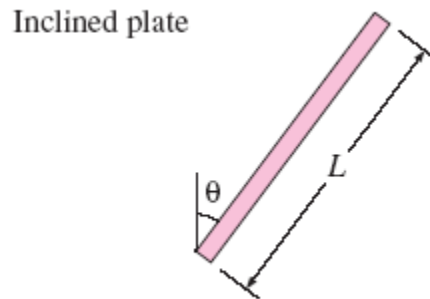
$$T_w = 154.86 \text{ }^\circ\text{C}$$

The wall plate temperature= $T_w = 154.86 \text{ }^\circ\text{C}$  (Answer)

**Example:** consider a surface 0.5m high kept in an angle of  $45^\circ$  from the horizontal and the wall has a constant temperature of  $40^\circ\text{C}$ , in air at  $20^\circ\text{C}$ . Determine the value of convective heat transfer coefficient.

نمونه: وای دابنی روویه کی (0.5m) بهرز ده هیئتیه به گوشه ی ( $45^\circ$ ) له ناسووه و دیوارمه که پلهیه کی گهرمی نهگوری ( $40^\circ\text{C}$ ) ههیه، له ههوای ( $20^\circ\text{C}$ ) دا. نرخی هاوکولکه ی گواستنهوه گهرمی هه لگیراو دیاری بکه.

**Given:** Length= $L=1$  m, angle with the horizontal= $45^\circ$   $\therefore$  angle with the Vertical =  $\theta = 90 - 45 = 45^\circ$ , air temperature= $T_\infty = 20^\circ\text{C}$ , wall temperature =  $T_W = 40^\circ\text{C}$ .



Solution:

$$\text{film temperature} = T_f = \frac{T_w + T_\infty}{2} = \frac{40 + 20}{2} = \frac{60}{2} = 30^\circ\text{C}$$

From page 33 in the Data Book:

We will find air properties at  $30^\circ\text{C}$ .

temperature	density ( $\rho$ )	Kinematic viscosity( $\nu$ )	Number(Pr)	Specific heat (C)	thermal conductivity (k)
$20^\circ\text{C}$	1.165	$16 \cdot 10^{-6}$	0.701	1005	0.02675

We will find coefficient of thermal expansion ( $\beta$ ) from page 29 in the Data Book at 30°C.

$$\beta = 3.3 * 10^{-3} K^{-1}$$

This question is constant wall temperature.

پېويسته (Grashof Number) بدوزينه وهى بوئو پرسيارانهى (Constant wall temperature) بيان ههيه.

$$\text{Grashof Number} = Gr = \frac{g\beta x^3 \Delta T}{\nu^2} \text{ (at page 134 in the Data Book)}$$

$$Gr = \frac{(9.81)(3.3 * 10^{-3})(0.5)^3(40 - 20)}{(16 * 10^{-6})^2}$$

$$Gr = \frac{0.08}{2.56 * 10^{-10}} = 312\,500\,000$$

$$Gr * pr = (312\,500\,000) * 0.701 = 219\,062\,500 < 10^9$$

It is Laminar.

We will choose a suitable rule to find Nusselt Number (Nu): from page 134 in the Data Book:

$$Nu_x = 0.59(Gr * pr * \cos 45)^{0.25}$$

$$Nu_x = 0.59((219\,062\,500) * (0.707))^{0.25}$$

$$Nu_x = 0.59(111.56)$$

$$Nu_x = 65.82 \dots \dots \dots (1)$$

From page 111 in the Data Book:

$$\text{Nusselt Number} = Nu_x = \frac{hL}{k}$$

$$Nu_x = \frac{h * 0.5}{0.02675}$$

$$Nu_x = 18.69 * h \dots \dots \dots (2)$$

Equation (1)= Equation (2)

$$65.82 = 18.69 * h \rightarrow h = \frac{65.82}{18.69}$$

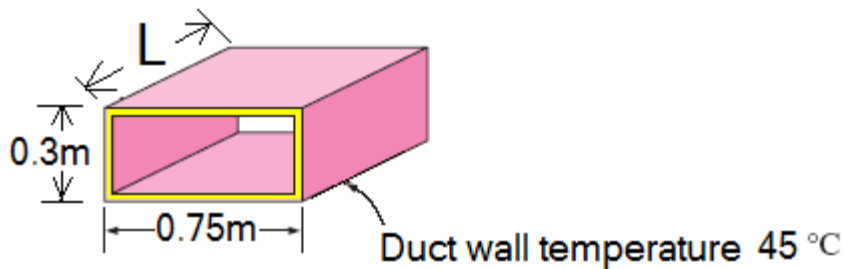
$$h = 3.52 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Convection heat transfer coefficient= $h = 3.52 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  (Answer)

**Example:** a long rectangular duct of width and height of 0.75m and 0.3m respectively. The outer surface temperature of the duct is maintained at 45°C. If the duct is exposed to air at 15°C in a ramp space beneath a home, what is the heat loss from the duct per meter length?

نمونہ: دھکتیکی لاکیشہی دریژی پانی و بہرزی (0.75m) و (0.3m) بہدواییہکدا. پلہی گہرمی روی دہرہوہ دہکتہکہ ہیلراوتہوہ لہ (45°C) دا نہگہر دہکتہکہ بخریتہ بہر ہہوا لہ (15°C) دا لہ بوشاییہکی رہمپہدا لہژیئر مالنکدا، گہرمی ونبو چہ لہ دہکتہکہوہ بہگویرہی ہہرمہتریکی دریژی؟

**Given:** width=0.75 m and height = 0.3 m, Surface temperature =  $T_w = 45^\circ\text{C}$ . air temperature =  $T_\infty = 15^\circ\text{C}$



Solution:

$$\text{film temperature} = T_f = \frac{T_w + T_\infty}{2} = \frac{45 + 15}{2} = \frac{60}{2} = 30^\circ\text{C}$$

From page 33 in the Data Book:

We will find air properties at 30°C.

temperature	density ( $\rho$ )	Kinematic viscosity( $\nu$ )	Number(Pr)	Specific heat (C)	thermal conductivity (k)
-------------	-----------------------	---------------------------------	------------	----------------------	--------------------------------

20°C	1.165	$16 \times 10^{-6}$	0.701	1005	0.02675
------	-------	---------------------	-------	------	---------

We will find coefficient of thermal expansion ( $\beta$ ) from page 29 in the Data Book at 30°C.

$$\beta = 3.3 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$$\text{Cross sectional area} = A_c = \text{height} * \text{width}$$

$$= 0.75 * 0.3 = 0.225 \text{ m}^2$$

$$\text{perimeter} = 2(\text{height}) + 2(\text{width})$$

$$P = 2 * (0.75) + 2 * (0.3) = 2.1 \text{ m}$$

from page 126 in the Data Book:

$$\text{Hydraulic diameter} = \frac{4 * \text{Area}}{\text{Perimeter}}$$

$$D_h = \frac{4 A}{P}$$

$$D_h = \frac{4 * 0.225}{2.1} = \frac{0.9}{2.1} = 0.42 \text{ m}$$

This question is constant wall temperature.



پڻويستنه (Grashof Number) بدؤزينهوهى بو ئهو پرسيارانهى (Constant wall temperature) يان ههيه.

$$\text{Grashof Number} = Gr = \frac{g\beta D^3 \Delta T}{\nu^2} \quad (\text{at page 134 in the Data Book})$$

$$Gr = \frac{(9.81)(3.3 * 10^{-3})(0.42)^3(45 - 15)}{(16 * 10^{-6})^2}$$

$$Gr = \frac{0.071}{2.56 * 10^{-10}} = 281\,068\,455.9$$

$$Gr * pr = (281\,068\,455.9) * 0.701 = 197\,028\,987.6 < 10^9$$

It is Laminar.

We will choose a suitable rule to find Nusselt Number (Nu): from page 137 in the Data Book:

3.1 Horizontal cylinders long cylinders:

$$Nu_x = C(Gr * pr)^m$$

$$10^7 < Gr * pr < 10^{12} \quad \therefore C = 0.125, m = 0.333$$

$$Nu_x = 0.125((281\,068\,455.9) * (0.707))^{0.333}$$

$$Nu_x = 0.125(587.2)$$

$$Nu_x = 72.27 \dots \dots \dots (1)$$

From page 111 in the Data Book:

$$\text{Nusselt Number} = Nu_x = \frac{hL}{k}$$

$$Nu_x = \frac{h * 0.42}{0.02675}$$

$$Nu_x = 15.7 * h \dots \dots \dots (2)$$

Equation (1)= Equation (2)

$$72.27 = 15.7 * h \rightarrow h = \frac{72.27}{15.7}$$

$$h = 4.6 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Convection heat transfer coefficient= $h = 4.6/\text{m}^2 \cdot \text{K}$  (Answer)

$$Q = hA (T_w - T_\infty)$$

$$Q = 4.6(1.319 * L)(45 - 15)$$

$$\frac{Q}{L} = 182.02 \text{ Watt}$$

the heat loss from the duct per meter length=

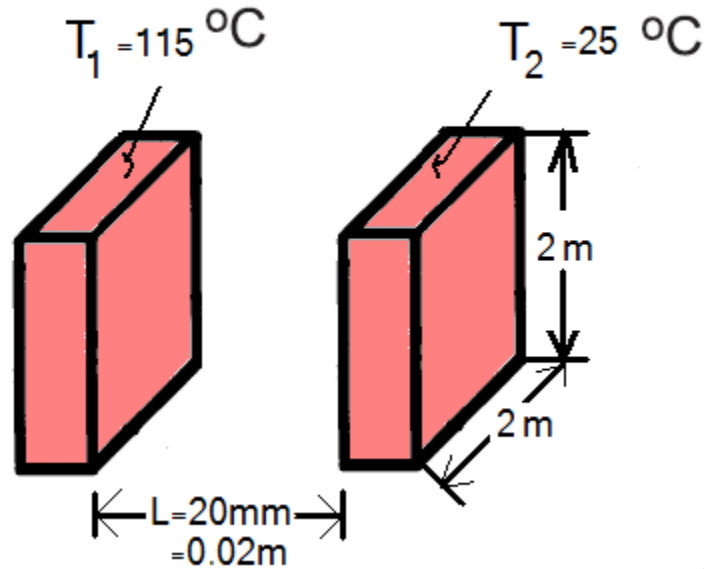
$$\frac{Q}{L} = 182.02 \text{ Watt (Answer)}$$

**Example:** A vertical slot of 20mm thickness is formed by two 2m\*2m square plates. If the temperatures of the plates are 115°C and 25°C respectively, calculate the following: (1) the effective thermal conductivity. (2) The rate of the heat flow through the slot.

نمونہ: درزیکے ستوونی (20mm) نھستور پیک دھینریت به دو پلیتی چوار گوشہی (2m\*2m).  
نھگہر پلہی گہرمی پلنتھکان (115°C) و (25°C) بن بهدواییهکدا، نھمانه ههژمار بکه: (1) توانای  
گہیاندنی گہرمی کاریگہر. (2) ریژہی رویشتنی گہرمی بهناو درزهکدا.

**Given:** Length=L=20mm=0.02 m, width=2 m and height = 2 m , temperature of plate 1 = $T_1 = 115^\circ\text{C}$  . temperature of plate 2 = $T_2 = 25^\circ\text{C}$

**SCHEMATIC:**



Solution:

$$\text{film temperature} = T_f = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{115 + 25}{2} = \frac{140}{2} = 70^\circ\text{C}$$

From page 33 in the Data Book:

We will find air properties at  $70^\circ\text{C}$ .

temperature	density ( $\rho$ )	Kinematic viscosity( $\nu$ )	Number(Pr)	thermal diffusivity( $\alpha$ )	thermal conductivity (k)
$70^\circ\text{C}$	1.029	$20.02 \cdot 10^{-6}$	0.694	$28.55 \cdot 10^{-6}$	0.02966

We will find coefficient of thermal expansion ( $\beta$ ) from page 29 in the Data Book at  $70^\circ\text{C}$ .

$$\beta = 2.91 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$$Ra = \frac{g\beta L^3 \Delta T}{\alpha \nu} \text{ (at page 137 in the Data Book)}$$

$$Ra = \frac{(9.81)(2.91 * 10^{-3})(0.02)^3(115 - 25)}{(28.556 * 10^{-6})(20.02 * 10^{-6})}$$

$$Ra = \frac{2 * 10^{-5}}{5.71 * 10^{-10}} = 34\,983.92$$

We will choose a suitable rule to find Nusselt Number (Nu): from page 138 in the Data Book:

$$Nu_L = 0.22 \left( \frac{Pr}{0.2 + Pr} * Ra \right)^{0.23} \left( \frac{H}{L} \right)^{0.25}$$

$$Nu_L = 0.22 \left( \frac{0.694}{0.2 + 0.694} * 34\,983.92 \right)^{0.23} \left( \frac{2}{0.02} \right)^{0.25}$$

$$Nu_L = 0.22(10.46)(3.16) = 7.27 \dots \dots \dots (1)$$

From page 111 in the Data Book:

$$\text{Nusselt Number} = Nu_L = \frac{hL}{k}$$

$$Nu_L = \frac{h * 0.02}{0.02966}$$

$$Nu_L = 0.67 * h \dots \dots \dots (2)$$

Equation (1) = Equation (2)

$$7.27 = 0.67 * h \rightarrow h = \frac{7.27}{0.67}$$

$$h = 10.86 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Convection heat transfer coefficient =  $h = 10.86 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  (Answer)

$$Q = hA(T_1 - T_2)$$

$$Q = 10.86(2 * 2)(115 - 25)$$

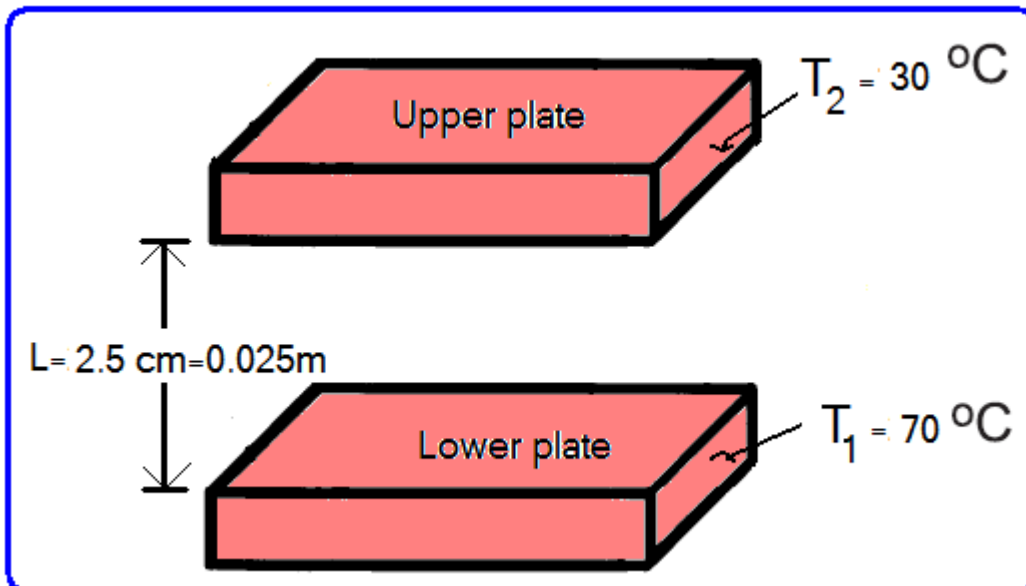
$$Q = 10.86(4)(90)$$

$$Q = 3\,909.6\text{ W (Answer)}$$

**Example:** The horizontal air space over a solar collector has a spacing of 2.5cm. The lower plate is maintained at 70°C while the upper plate is at 30°C . Calculate the free heat convection across the space for air at 1 atm.

نمونە: بۆشاییهکی هه‌وای ئاسۆیی له‌سه‌ر کۆکه‌ر موه‌یه‌کی خۆری، مه‌ودای (2.5cm) هه‌یه. پلێته‌که‌ی بنه‌وه هیلراوه‌ته‌وه له (70°C) دا له‌کاتی‌کدا پلێته‌که‌ی سه‌ر موه‌یه له (30°C) دایه. هه‌لگرتن گه‌رمیی سروشتی هه‌ژمار بکه له بۆشاییه‌که‌دا بۆ هه‌وا له 1 که‌شدا.

Given: Length= $L=2.5\text{ cm}=0.025\text{ m}$ , temperature of plate 1 = $T_1=70^\circ\text{C}$  .  
temperature of plate 2 = $T_2=30^\circ\text{C}$



Solution:

$$\text{film temperature} = T_f = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{30 + 70}{2} = \frac{100}{2} = 50^\circ\text{C}$$

From page 33 in the Data Book:

We will find air properties at 50°C.

temperature	density ( $\rho$ )	Kinematic viscosity( $\nu$ )	Number(Pr)	thermal diffusivity( $\alpha$ )	thermal conductivity (k)
50°C		$17.95 \times 10^{-6}$	0.698	$25.722 \times 10^{-6}$	0.02826

We will find coefficient of thermal expansion ( $\beta$ ) from page 29 in the Data Book at 70°C.

$$\beta = 3.10 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$$Ra = \frac{g\beta L^3 \Delta T}{\alpha \nu} \text{ (at page 137 in the Data Book)}$$

$$Ra = \frac{(9.81)(3.10 \times 10^{-3})(0.025)^3(70 - 30)}{(25.722 \times 10^{-6})(17.952 \times 10^{-6})}$$

$$Ra = \frac{1.9 \times 10^{-5}}{4.617 \times 10^{-10}} = 41\,151.38$$

We will choose a suitable rule to find Nusselt Number (Nu): from page 138 in the Data Book:

$$Nu_L = 0.069 Ra^{0.333} Pr^{0.074}$$

$$Nu_L = 0.069 (41\,151.38)^{0.333} (0.698)^{0.074}$$

$$Nu_L = 0.22(34.402)(0.973) = 2.311 \dots \dots \dots (1)$$

From page 111 in the Data Book:

$$\text{Nusselt Number} = Nu_L = \frac{hL}{k}$$

$$Nu_L = \frac{h * 0.025}{0.02826}$$

$$Nu_L = 0.88 * h \dots \dots \dots (2)$$

Equation (1)= Equation (2)

$$2.311 = 0.88 * h \rightarrow h = \frac{2.311}{0.88}$$

$$h = 2.612 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

Convection heat transfer coefficient= $h = 10.86 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  (Answer)

$$Q = hA (T_1 - T_2)$$

$$Q = 2.612 * A * (70 - 30)$$

$$\frac{Q}{A} = 2.612 * (40) \rightarrow \frac{Q}{A} = 104.494 \text{ W} \text{ (Answer)}$$

## Chapter 8

بەش ٨

### Radiation Heat Transfer

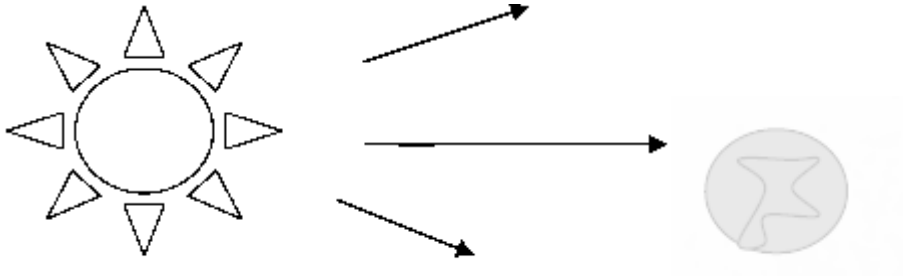
گواستنهوهی گهرمی به تیشکدان

#### 8.1 RADIATION

Definition: Radiation is the energy transfer across a system boundary due to a  $\Delta T$ , by the mechanism of photon emission or electromagnetic wave emission. Because the mechanism of transmission is photon emission, unlike conduction and convection. The significance of this is that radiation will be the only mechanism for heat transfer whenever a vacuum is present.

پیناسه: تیشکدان گواستنهوهی وزهکویه بهناو دهورو بهری سیسته میکدا بههوی ( $\Delta T$ )، بهمیکانیزمی دههپه راندنی فۆتۆن یان دههپه راندنی شهپۆلی کارۆموگناتیزی. چونکه میکانیزمی ناردن دههپه راندنی فۆتۆنه، جیا له گهیاندن و ههنگرتن. بایهخی ئەمه بریتی لهوهی که تیشکدان تهنها میکانیزم دههپت بۆ گواستنهوهی گهرمی ههه کاتی بۆشاییهک هههپت.



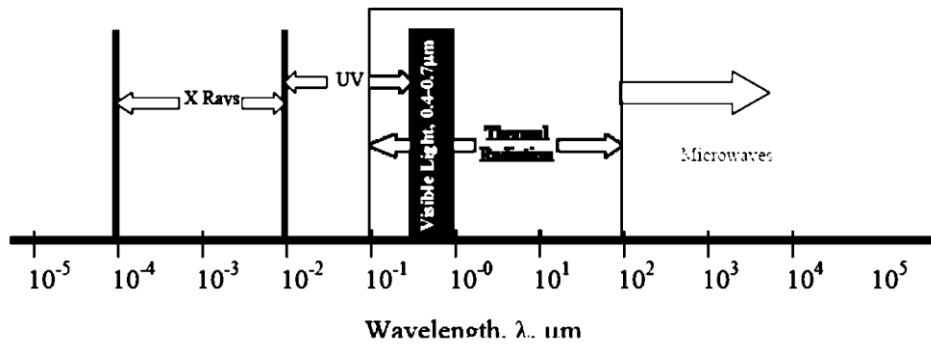


## 4.2 Electromagnetic Phenomena.

We are well acquainted with a wide range of electromagnetic phenomena in modern life. These phenomena are sometimes thought of as wave phenomena and are, consequently, often described in terms of electromagnetic wave length,  $\lambda$ . Examples are given in terms of the wave distribution as shown below:

### دیاردەى کارۆموگناتیزی.

ئیمە باش پیی ئاشناده بین له گه ل مهودایه کی فراوانی دیاردەى کارۆموگناتیزی له ژیانى هاوچەرخدا. ئەم دیاردانه هەندى جار بیریان لى دەکریتەوه هەروەك دیاردەى شەپۆل له ئەنجامدا، زۆر جار باس دەکرین به درێژی شەپۆلى کارۆموگناتیزی ، ( $\lambda$ ). نموونه کان دراون به ناوی شەپۆله دابه شبوه کان که له خوار هوه نیشان دراون:



One aspect of electromagnetic radiation is that the related topics are more closely associated with optics and electronics than with those normally found in mechanical engineering courses. Nevertheless, these are widely encountered topics and the student is familiar with them through every day life experiences.

يەك لايەنى تېشكدانى كارۋموگناتىزى ئەومىيە كە بابەتە پەيوەندىدارەكان زىاتر لەنزىكەو پەيوەندىدارن لەگەل بىنايزانى و زانستى ئەلەكترونى لە لەگەل ئەوانە بە شىوهمىكى ئاسايى دۆزىيەو لە كۆرسەكانى ئەندازىارىيى ميكانيكى. سەرەراي ئەومەش، ئەمانە بەفرەوانى بابەتەكان بەرەورە بونەتەو و قوتابى ئاشنايە لەگەل ئەوان بەهۆى ھەر شارەزايى رۆژانى ژيانەو.

### 4.3 Stefan-Boltzman Law

Both Stefan and Boltzman were physicists; any student taking a course in quantum physics will become well acquainted with Boltzman's work as he made a number of important contributions to the field. Both were contemporaries of Einstein so we see that the subject is of fairly recent vintage. (Recall that the basic Equation for convection heat transfer is attributed to Newton)

ياسای ستيفان-بۆلتزمان

ھەردوو ستیەفۆن و بۆلتزمان فیزیزان بوون؛ ھەر قوتابەھک کۆرسێک وەر بگرتیت لە فیزیای قوانتەم باش پێی ئاشنادهبیت لەگەڵ کارەکانی بۆلتزمان کە بەشداریی ژمارەبەھک پێشکەشکردنی گەرنە کردی بۆ بواری ھەر دووکیان ھاوتەمەنی ئەینشتاین بوون بۆیە ئەم دەبینین کە بەم دوواییە بابەتەکە تارا دەبەھک بەپەرۆشی ھەلبژێرراو. (بیر بکەووە کە ھاوکێشە بێرەتی بۆ گواستنەوێ ھەلگرتنی گەرمی دەرنێتە پال نیوتن)

$$E_b = \sigma \cdot T_{abs}^4$$

where:  $E_b$  = Emissive Power, the gross energy emitted from an ideal surface per unit area, time.

لەو یادا:  $E_b$  = توانای دەرپەرێو، تیکراییی وزە دەرپەرێنراو مەکیە لە پروویەکی نمونەیی لە یەکەیی روبرەدا، کات.

$\sigma$  = Stefan Boltzman constant,  $5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$

$T_{abs}$  = Absolute temperature of the emitting surface, K.

Take particular note of the fact that absolute temperatures are used in Radiation. It is suggested, as a matter of good practice, to convert all temperatures to the absolute scale as an initial step in all radiation problems.

تەبیینییەکی دیاریکراوی راستیەکە وەر بگرە کە پلەیی گەرمییە رەھاکان بەکار دەھێنرین لە تیشکداندا. ئەو پێشنیار دەکرتیت، ھەر وەھک بابەتیی کرداری باش، بۆ گۆرینی ھەموو پلە گەرمیەکان بۆ پێوھری رەھا ھەر وەھک ھەنگاویکی بەرایی لە ھەموو گرتەکانی تیشکداندا.

You will notice that the Equation does not include any heat flux term,  $q''$ . Instead we have a term the emissive power. The relationship between these terms is as follows. Consider two infinite plane surfaces, both facing one another. Both surfaces are ideal surfaces. One surface is found to be at temperature,  $T_1$ , the other at temperature,  $T_2$ . both temperatures are at temperatures above absolute zero, both will radiate energy as described by the Stefan-Boltzman law. The heat flux will be the net radiant flow as given by:

تو تیبینی دهکیت که هاوکیشهکه هیچ زار او هیهکی لیشاوی گهرمی لهخو ناگریت،  $q''$ . لهجیاتی نیمه زار او هی توانا در پهریومان هیه. پهیهندیهکه لهنیوان ئەمانه زار او هیه ههروهک دین. وای دابنی روهکانی دوو روتتهختی بیسنوور، ههردووکیان پروو بهروو یهکترین. ههردوو پرووهکه پرووی نمونهیین. یهک پروو دهووزریتهوه تا له پلهی گهرمی،  $T_1$  دا بییت، نهوهی دیکه له پلهی گهرمی،  $T_2$  بییت. ههردوو پلهی گهرمی که له پله گهرمی هکانی سهرو سفری پهتیوهن، ههردوکیان وزه تیشک ددهن وهک باسکراوه به یاسای ستیفان-بولتزمان. لیشاوی گهرمی که دهبییت به لیشاویکی تیشکانی پخت وهک دراوه به:

$$q'' = E_{b1} - E_{b2} = \sigma \cdot T_1^4 - \sigma \cdot T_2^4$$

تیشکانی تهنی رهش Blackbody Radiation

Blackbody – a perfect emitter & absorber of radiation -Emits radiation uniformly in all directions

تهنی رهش - وهشینهریکی تهواو و ههلمژهری تیشکان- تیشکان بلاو دهکاتهوه به ههموو ناراسته بهشیوهیهکی چونیهک

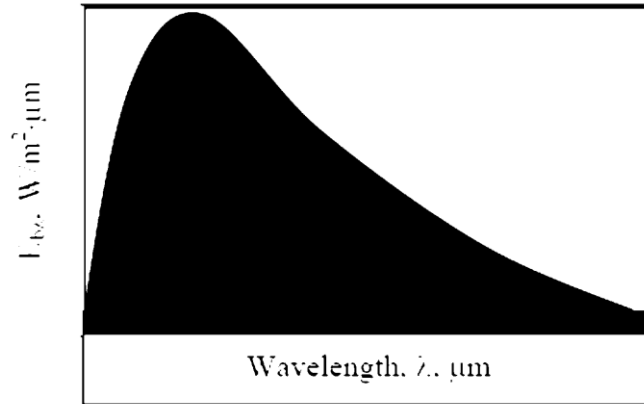
$$s = \text{Stefan-Boltzmann constant} = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$$

#### 4.4 Plank's Law

While the Stefan-Boltzman law is useful for studying overall energy emissions, it does not allow us to treat those interactions, which deal specifically with wavelength,  $\lambda$ . This problem was overcome by another of the modern physicists, Max Plank, who developed a relationship for wave-based emissions.

لهكاتيكداساي ستيفان-بۆلتزمان كهلكى لى وهردهگيريت بۆ خويىندنى دهرپهراندنى وزه به گشتى، رىگهمن نادات تامامه له لهگه لئو كارليكانه دا بكهين، كه بهتايهتى له دريژى شهپۆل دهكۆلنهوه، ( $\lambda$ ) زالبوون بهسهر ئهم گرفتهدا لهلايهن فيزيازانه هاوچهرخهكانهوه، ماكس پلانك، ئهو كهسه بو كه پهيوهنديهكى پيگهينا بۆ شهپۆلى بنياتنراوى دهرپهرينهكان.

$$E_{b\lambda} = f(\lambda)$$



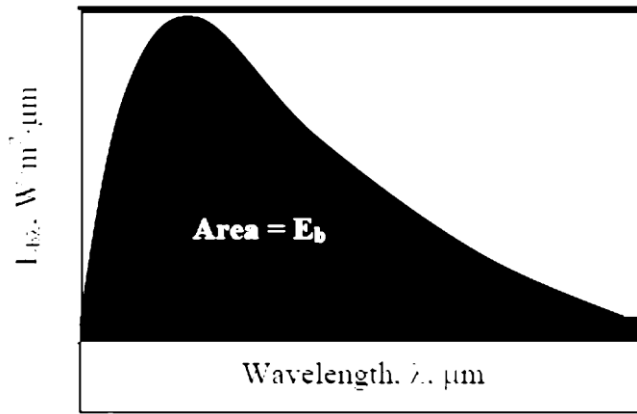
We haven't yet defined the Monochromatic Emissive Power,  $E_{b\lambda}$ . An implicit definition is provided by the following Equation:

ئيمه تائيستا تواناي دهرپهريوى تاكرهنگمان پيناسه نهكردوه، ( $E_{b\lambda}$ ) پيناسهيهكى شاراوه دهستهبر دهكرت بههوى ئهم هاوكيشهيهوه:

$$E_b = \int_0^{\infty} E_{b\lambda} \cdot d\lambda$$

We may view this Equation graphically as follows:

لهوانهيه ئيمه ئهم هاوكيشه وينهيه بينين ههروهك هاتوه:



A definition of monochromatic Emissive Power would be obtained by differentiating the integral Equation:

پیناسه‌یه‌کی توانای دهر پهر یوی تاکر هنگ به دست ده هینریت جیاکاری هاوکیشه‌ی ته‌واوه‌که:

$$E_{b\lambda} \equiv \frac{dE_b}{d\lambda}$$

The actual form of Plank's law is: شیوه‌ی راسته‌قینه‌ی یاسای پلانک بریتیه له:

$$E_{b\lambda} = \frac{C_1}{\lambda^5 \cdot \left[ e^{C_2/\lambda \cdot T} - 1 \right]}$$

$$C_1 = 2 \cdot \pi \cdot h \cdot c_0^2 = 3.742 \cdot 10^8 \text{ W} \cdot \mu\text{m}^4/\text{m}^2$$

$$C_2 = h \cdot c_0/k = 1.439 \cdot 10^4 \mu\text{m} \cdot \text{K}$$

Where: h, c<sub>0</sub>, k are all parameters from quantum physics. We need not worry about their precise definition here.

له‌وی: (h, c<sub>0</sub>, k) ههموو هوکاره‌کانی فیزیای کوانتەمن. ئیمه پیویست ناکات نیگه‌ران بین دهر باره‌ی پیناسه‌ی ته‌واویان لیرەدا.

This Equation may be solved at any T,  $\lambda$  to give the value of the monochromatic emissivity at that condition. Alternatively, the function may be substituted into the integral  $E_b = \int_0^{\infty} E_{b\lambda} \cdot d\lambda$  to find the Emissive power for any temperature. While performing this integral by hand is difficult, students may readily evaluate the integral through one of several computer programs, i.e. MathCad, Maple, Mathematica, etc.

ئەم ھاوکیشەییە لەوانەییە شیکار بکرنیت لە ھەر  $(T, \lambda)$  دا بۆ پێدانی نرخى توانای دەرپەراندنی تاکرەنگەکە لەم حالەتەدا، بەرئیگەییەکی دیکە، نەخشەکە لەجیاتیدانانی بۆ بکرنیت لەناو تەواوکاری (  $E_b = \int_0^{\infty} E_{b\lambda} \cdot d\lambda$  ) دا بۆ دۆزینەوی توانای دەرپەریو بۆ ھەر پلەى گەرمیەك. لەکاتیکیدا جیئەجیکردنی ئەم تەواوکارییە بە دەست زەحمەتە، خویندکاران بەشیوەییەکی ئامادە تەواوکاریەکە ھەل دەسەنگینن بەھۆی یەکنیک لە بەرنامەکانی کۆمپیوتەرەو، بەواتایەکی تر مازکاد، ماپل، مازماتیکا، ھتد.

$$E_b = \int_0^{\infty} E_{b\lambda} \cdot d\lambda = \sigma \cdot T^4$$

### Planck's Distribution Law

### یاسای دابەشبوونی پلانک

Sometimes we're interested in radiation at a certain wavelength.

blackbody emissive power ( $E_{bl}$ ) = "amount of radiation energy emitted by a blackbody at an absolute temperature T per unit time, per unit surface area, and per unit wavelength about the wavelength  $\lambda$ ."

ھەندى جار ئیمە ھەز دەکەین تیشکدان لە درئیزی شەپۆلیکی زانراودا بێت. توانای دەرپەریوی تەنیرەش = "بری وزەى تیشکدانى دەرچو لە تەنیکى رەشەوہ لە پلەییەکی گەرمى رەھادا (T) بەگۆیرەى یەکەى کات، بەگۆیرەى یەکەى رۆبەرى رۆو، و بەگۆیرەى یەکەى درئیزی شەپۆل نزیکی درئیزی شەپۆلەکە  $\lambda$

For a surface in a vacuum or gas  $E_{b\lambda}(T) = \frac{C_1}{\lambda^5 [\exp(C_2/\lambda T) - 1]}$  (W/m<sup>2</sup> ·  $\mu$ m)

where

$$C_1 = 2\pi^5 hc_o^2 = 3.742 \times 10^8 \text{ W} \cdot \mu\text{m}^4 / \text{m}^2$$

$$C_2 = \frac{hc_o}{k} = 1.439 \times 10^4 \mu\text{m} \cdot \text{K}$$

$$k = 1.3805 \times 10^{-23} \text{ J/K} = \text{Boltzmann's constant}$$

Other media: replace  $C_1$  with  $C_1/n^2$

Integrating this function over all,  $\lambda$  gives us the Equation for  $E_b$ .

تەواوکردنى ھەمو ئەم نەخشە،  $\lambda$  ھاو كۆشەكەمان دەدات بۆ  $E_b$

#### 4.5 Emission Over Specific Wave Length Bands

دەرپەرین لەسەر گورزەى درىژى شەپۆلى دیاریکراو

Consider the problem of designing a tanning machine. As a part of the machine, we will need to design a very powerful incandescent light source. We may wish to know how much energy is being emitted over the ultraviolet band ( $10^{-4}$  to  $0.4 \mu\text{m}$ ).

واى دابنى گرتەكەى دروست كردن ئامىرىكى پىستەخۆشكردن. ھەروەك بەشكىكى ئامىرەكە، ئىمە پىويست سەرچاوه پرووناكىى زۆر بەھىزىدەرەوشاوه دروست بكەين. ئىمە لەوانەى نازوو بکەين تا بزانیين چەند وزە دەر دەپەرىت لەسەر و گورزەى سەر وو و نەوشەى ( $10^{-4} \mu\text{m}$  بۆ  $0.4 \mu\text{m}$ ).

$$E_b(0.0001 \rightarrow 0.4) = \int_{0.0001 \mu\text{m}}^{0.4 \mu\text{m}} E_{b\lambda} \cdot d\lambda$$

With a computer available, evaluation of this integral is trivial. Alternatively, the text books provide a table of integrals. The format used is as follows:

بە كۆمپيوتهرىكى بەردەست، ھەلسەنگاندنى ئەمە تەواوکارىە بىباىخە. لەسەرىكى ترەوه، كتیبە مەنھەجىەكان خستەىەكى تەواوکارىەكان دەستەبەر دەكەن. شىوہ بەكار ھىنار اوەكان ھەروەك ئەمەىە:

$$\frac{E_b(0.001 \rightarrow 0.4)}{E_b} = \frac{\int_{0.001 \mu\text{m}}^{0.4 \mu\text{m}} E_{b\lambda} \cdot d\lambda}{\int_0^{\infty} E_{b\lambda} \cdot d\lambda} = \frac{\int_0^{0.4 \mu\text{m}} E_{b\lambda} \cdot d\lambda}{\int_0^{\infty} E_{b\lambda} \cdot d\lambda} - \frac{\int_0^{0.0001 \mu\text{m}} E_{b\lambda} \cdot d\lambda}{\int_0^{\infty} E_{b\lambda} \cdot d\lambda} = F(0 \rightarrow 0.4) - F(0 \rightarrow 0.0001)$$