$$\eta = \frac{\hbar w}{KT} \; x3 \; \rightarrow \; \lambda_{max.} \; T = 2898 \; \mu m \; K$$

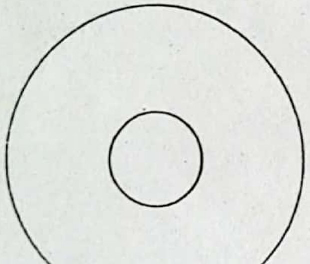
Integrando-se a Lei de Plãnck obtem-se a potência total irradiada em todas as freqüências, chamada Lei de Stefan-Boltzmann:

$$\dot{Q}_r = \sigma \varepsilon A T^4$$

σ é a constante de Stefan-Boltzmann cujo valor é $(5.6697 \pm 0,0029) \times 10^{-5} \text{erg seg}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{K}^{-4}$

A tabela I dá os valores de ε para vários materiais em várias temperaturas.

b) <u>Superisolamento</u> - Aplicando-se a Lei de Stefan-Boltzmann a duas superfícies à temperatura T_1 e T_2



pode-se calcular a quantidade de calor recebido pela superfície 1. Admitindo-se que a superfície 1 intercepta A_1/A_2 do calor irradiado pela superfície 2, teremos:

$\sigma A_2 \varepsilon_2 T_2^4$ - calor emitido pelo corpo 2

$(A_1/A_2)\varepsilon_1$ - fração absorvida pelo corpo 1

$1 - A_1/A_2 \varepsilon_1$ - fração refletida pelo corpo 1

O calor total absorvido pelo corpo 1 é:

$$\sigma A_2 \varepsilon_2 T_2^4 \left(\frac{A_1}{A_2}\varepsilon_1\right) + \sigma A_2 \varepsilon_2 T_2^4 \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\varepsilon_1\right)(1 - \varepsilon_2)\left(\frac{A_1}{A_2}\varepsilon_1\right) +$$

$$+ \sigma A_2 \varepsilon_2 T_2^4 \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\varepsilon_1\right)^2 (1 - \varepsilon_2)^2 + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

A equação acima é uma série geométrica de razão

$$\left(1 - \frac{A_1}{A_2}\varepsilon_1\right)(1 - \varepsilon_2)$$

$$\dot{q}_1 = \sigma A_1 T_2^4 \left[\frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2}{\varepsilon_2 + (A_1/A_2)(1 - \varepsilon_2)\varepsilon_1}\right]$$

Igualmente o calor recebido pelo corpo 2 admitindo que toda irradiação de 1 alcança 2.

$$\sigma A_1 \varepsilon_1 T_1^4 \varepsilon_2 + \sigma A_1 \varepsilon_1 T_1^4 (1 - \varepsilon_2)(1 - A_1 \varepsilon_1/A_1)\varepsilon_2 +$$

$$+ \sigma A_1 \varepsilon_1 T_1^4 (1 - \varepsilon_2)^2 (1 - A_1 \varepsilon_1/A_2)^2 \varepsilon_2 + \ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$\dot{q}_2 = \sigma A_1 T_1^4 \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2}{\varepsilon_2 + (A_1/A_2)(1 - \varepsilon_2)\varepsilon_1}$$

O calor líquido recebido pelo corpo 1

$$\dot{q}_r = \dot{q}_1 - \dot{q}_2 = \sigma A_1 \left[\frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2}{\varepsilon_2 + (A_1/A_2)(1 - \varepsilon_2)\varepsilon_1}\right](T_2^4 - T_1^4)$$

Para os casos particulares de $A_2 = A_1$ (placas paralelas) e $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon$.

$$\dot{q}_r = \sigma A \left(\frac{\varepsilon}{2 - \varepsilon}\right)(T_2^4 - T_1^4)$$

Uma maneira de diminuir o calor incidente sobre o corpo 1 é usar n camadas refletoras (superisolamento). Reescrevendo a equação de $\dot{q}_r$ teremos:

$$\frac{\dot{q}_r \left[\frac{1}{\varepsilon_1} + A_1/A_2 \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right)\right]}{\sigma A_1} = T_2^4 - T_1^4$$

Considerando que cada camada está isolada, o fluxo é o mesmo através delas. Portanto:

$$\frac{\dot{q}_r \left[\frac{1}{\varepsilon_2} + (A_2/A_3)\left(\frac{1}{\varepsilon_3} - 1\right)\right]}{\sigma A_2} = T_3^4 - T_2^4$$

$$\frac{\dot{q}_r \left[\frac{1}{\varepsilon_{n+1}} + (A_{n+1}/A_{n+2})\left(1/_{n+2} - 1\right)\right]}{\sigma A_{n+1}} = T_{n+2}^4 - T_{n+1}^4$$

Somando todas estas equações teremos:

$$\frac{\dot{q}_r}{\sigma} \sum_{L=1}^{n+1} \frac{1}{A_i}\left[\frac{1}{\varepsilon_i} + \frac{A}{A_{i+1}}\left(\frac{1}{1+1} - 1\right)\right] = T_{n+2}^4 - T_1^4$$

Para o caso de placas paralelas:

$$\frac{\dot{q}_r}{\sigma A}\,(n+1)\,\left(\frac{2}{\varepsilon}-1\right) = T^4_{n+2} - T^4_1$$

$$\dot{q}_r = \left(\frac{1}{n+1}\right)\,\sigma A\,\left(\frac{\varepsilon}{2-\varepsilon}\right)\,(T^4_{n+2} - T^4_1)$$

o que significa que a introdução de n na camada refletora, diminui a transferência de calor em (n + 1) vezes.

d) 1º exemplo de transferência de calor - Criostato de Pesquisa

A figura 8 mostra um criostato de pesquisa básico. É basicamente composto de quatro câmaras: 1) câmara de hélio líquido, 2) câmara de nitrogênio líquido, 3) câmara de vácuo de isolamento térmico e 3 camadas para suporte de amostras. Esta última é arranjada em geral em três configurações a saber: térmica, óptica e vari-temp. A térmica é sempre duas janelas ópticas(fria e quente). Vari-temp é o arranjo destinado a variar a temperatura das amostras.

O dimensionamento do criostato requer os seguintes cálculos:

1) Calor de radiação da T=300 K para T=77 K.
2) Calor de condução através do vácuo de 10^{-5} mm Hg de T=300 K a T=77 K.
3) Calor de condução através da parede Ø 147 de T=300 K a T=77 K.
4) Taxa de evaporação de LN_2.
5) Calor de radiação de T=77 K a T=4,2 K.
6) Calor de condução através do vácuo de 10^{-5} mm Hg de 77 K a T=4,2 K.
7) Calor de condução através do pescoço de T= 77 K a T=4,2 K.
8) Taxa de evaporação de hélio.

① $A_1 \approx A_2 = \pi\ 17{,}5 \times 65 + \pi\ 9{,}5 \times 39{,}5 = 4750\ cm^2$

$\dot{q}_r = \sigma\ A\ (\varepsilon/2-\varepsilon)\ (T_2^4 - T_1^4)$

$= 5{,}7\ 10^{-5} \times 4750\ (0{,}05/2-0{,}05)(300^4-77^4)$

$= 5{,}46 \times 10^7$ erg/seg= 5,46 W

② $\dot{q}_g = 0{,}28\ P_{mm}\ a_o\ \Delta T\ A$ (watts) onde

0,28 coeficiente para o sistema de unidades usado.

P_{mm} pressão em mm Hg = 10^{-5} mm Hg

a_o = a/2-a onde a é o coeficiente de acomodação da molécula à superfície,em geral da ordem de 0,5.

$a_o = 0{,}5/2-0{,}5 = 0{,}333$

ΔT = gradiente de temperatura (K)

A = área (cm^2)

$\dot{q}_g = 0{,}28 \times 10^{-5} \times 0{,}333 \times (300 - 77) \times 4750 = 0{,}99W$

③ $\dot{q}_c = K\ A\ \Delta T/\Delta x$

K = 0,123 watts/cm K para inoxidável T=300 K e T=77 K.

$A = \pi\ 14{,}7 \times 0{,}05 + \pi\ 7{,}5 \times 0{,}05 = 3{,}48\ cm^2$

onde 0,05 é a espessura dos tubos de inox usados.

$\Delta T = (300 - 77)$ K

$\Delta x = 13{,}3$ cm

$\dot{q}_c = 0{,}123 \times 3{,}48 \times 300-77/13{,}3$

$= 7{,}18$ watts

$\dot{Q}_{total} = 5{,}50 + 0{,}99 + 7{,}18 = 13{,}67$ watts

Calor latente de vaporização do N_2 = 161,35 J/cm^3

Quantidade de LN_2 evaporada 0,085 cm^3/s = 0,305 l/h

- Comentários:

a) As taxas de evaporação reais são significativamente maiores que as calculadas.

b) O coeficiente ε de emissividade é maior que o valor usado de uma superfície limpa.

c) Há que considerar o calor de convenção no topo do criostato.

d) Por isto qualquer cálculo deve sofrer ajustes experimentais.