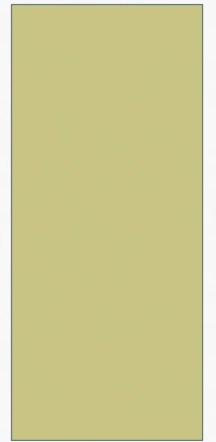


# TERMODINÂMICA

TEMPERATURA



# TERMODINÂMICA

- Nossas discussões de mecânica (física I) e fluidos (física II) não levaram em consideração um fenômeno bastante conhecido de nosso cotidiano:
  - Troca de calor.
- As leis que estudamos até o momento apresentam **simetria por reversão temporal**, i.e., passar o filme ao contrário produz uma cena plausível.
  - Isto está em flagrante contradição com nossas experiências cotidianas.
  - Por exemplo, não observamos calor fluir espontaneamente do corpo mais frio para um mais quente, enquanto o contrário acontece.

# TERMODINÂMICA

- A bem da verdade, algumas situações que estudamos que vimos continham já elementos termodinâmicos.
  - Ex. Força de atrito.
- No entanto, em física I não nos preocupamos em estudar o aspecto termodinâmico deste fenômeno.
- Nosso objetivo nesta etapa do curso será entender melhor fenômenos térmicos.

# TERMODINÂMICA

- A bem da verdade, algumas situações que estudamos que vimos continham já elementos termodinâmicos.
  - Ex. Força de atrito.
- No entanto, em física I não nos preocupamos em estudar o aspecto termodinâmico deste fenômeno.
- Nosso objetivo nesta etapa do curso será entender melhor fenômenos térmicos.

# TERMODINÂMICA

- Considere uma substância formada por um número muito grande de partículas ( $N \sim 10^{23}$ ).
- Mesmo que pudéssemos resolver completamente as equações de Newton para cada uma delas separadamente, teríamos tanta informação que não conseguiríamos obter nada relevante a partir delas.
- O objetivo da termodinâmica é trocar o conhecimento da dinâmica de cada partícula ( $6N$  variáveis – posições e velocidades de cada uma) por apenas alguns poucos parâmetros, que refletem médias macroscópicas.

# TERMODINÂMICA

- Mais adiante no curso, mostraremos como tais variáveis macroscópicas (exs. temperatura e pressão) se relacionam com as variáveis microscópicas.

# TERMODINÂMICA

- Mais adiante no curso, mostraremos como tais variáveis macroscópicas (exs. temperatura e pressão) se relacionam com as variáveis microscópicas.
- Por ora, nossa discussão será apenas macroscópica, baseada em leis empíricas.

# LEI ZERO DA TERMODINÂMICA

- Observamos experimentalmente que sistemas ao colocarmos dois corpos em contato, após um certo tempo suas propriedades cessam de mudar.
- Dizemos que os corpos entraram em equilíbrio.
- Neste curso estudaremos **apenas** a termodinâmica de sistemas em equilíbrio!

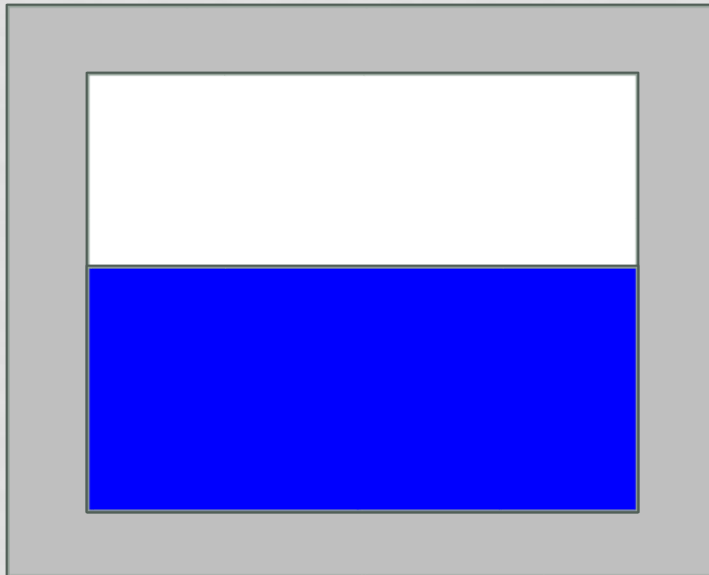


# LEI ZERO DA TERMODINÂMICA

- Observamos experimentalmente que sistemas ao colocarmos dois corpos em contato, após um certo tempo suas propriedades cessam de mudar.
- Dizemos que os corpos entraram em equilíbrio.
- Neste curso estudaremos **apenas** a termodinâmica de sistemas em equilíbrio!
  - Tempo não será uma variável de nossas descrições!
- Um sistema está **isolado** se seu estado não é afetado pelo ambiente externo.
  - Ex. Café numa garrafa térmica ideal.

# LEI ZERO DA TERMODINÂMICA

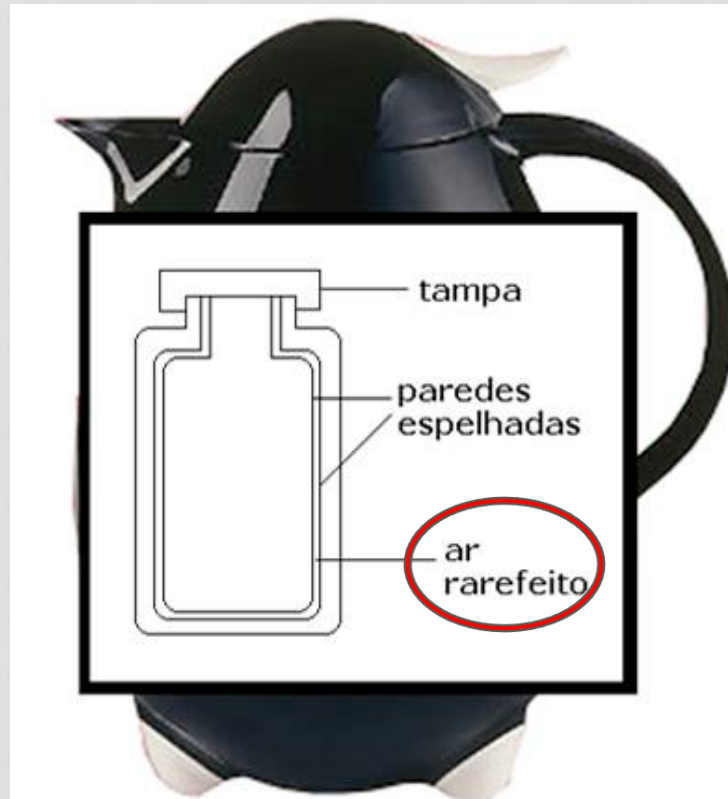
- De maneira geral, um sistema está isolado se estiver contido em um recipiente de paredes fixas e adiabáticas.
  - Líquido em um recipiente de paredes fixas e adiabáticas.
  - Fisicamente, tais paredes são feitas de material isolante.



As paredes devem ser fixas para evitar transferência de energia via trabalho realizado!

# LEI ZERO DA TERMODINÂMICA

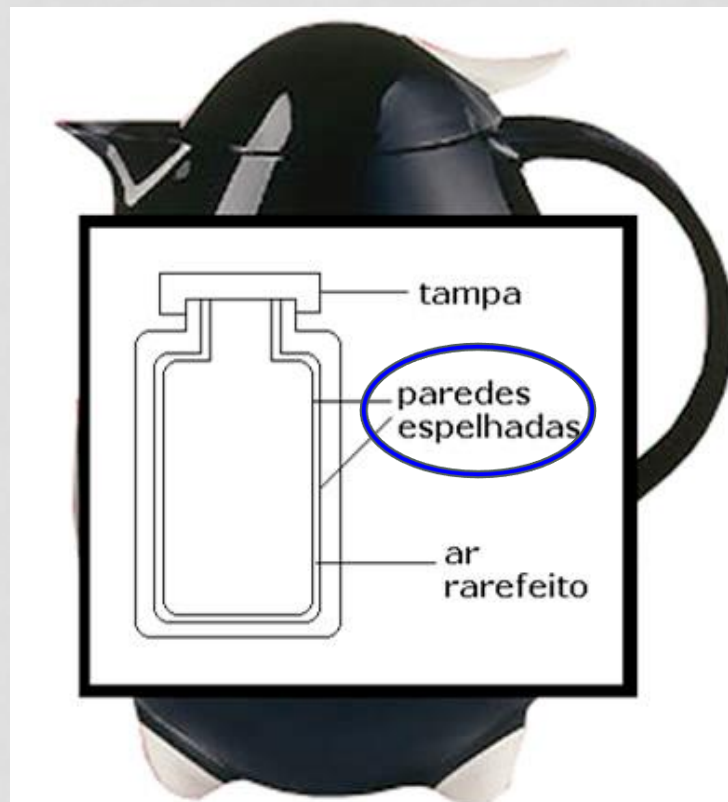
- Garrafa térmica:



Evita transferência de calor por condução e convecção.

# LEI ZERO DA TERMODINÂMICA

- Garrafa térmica:



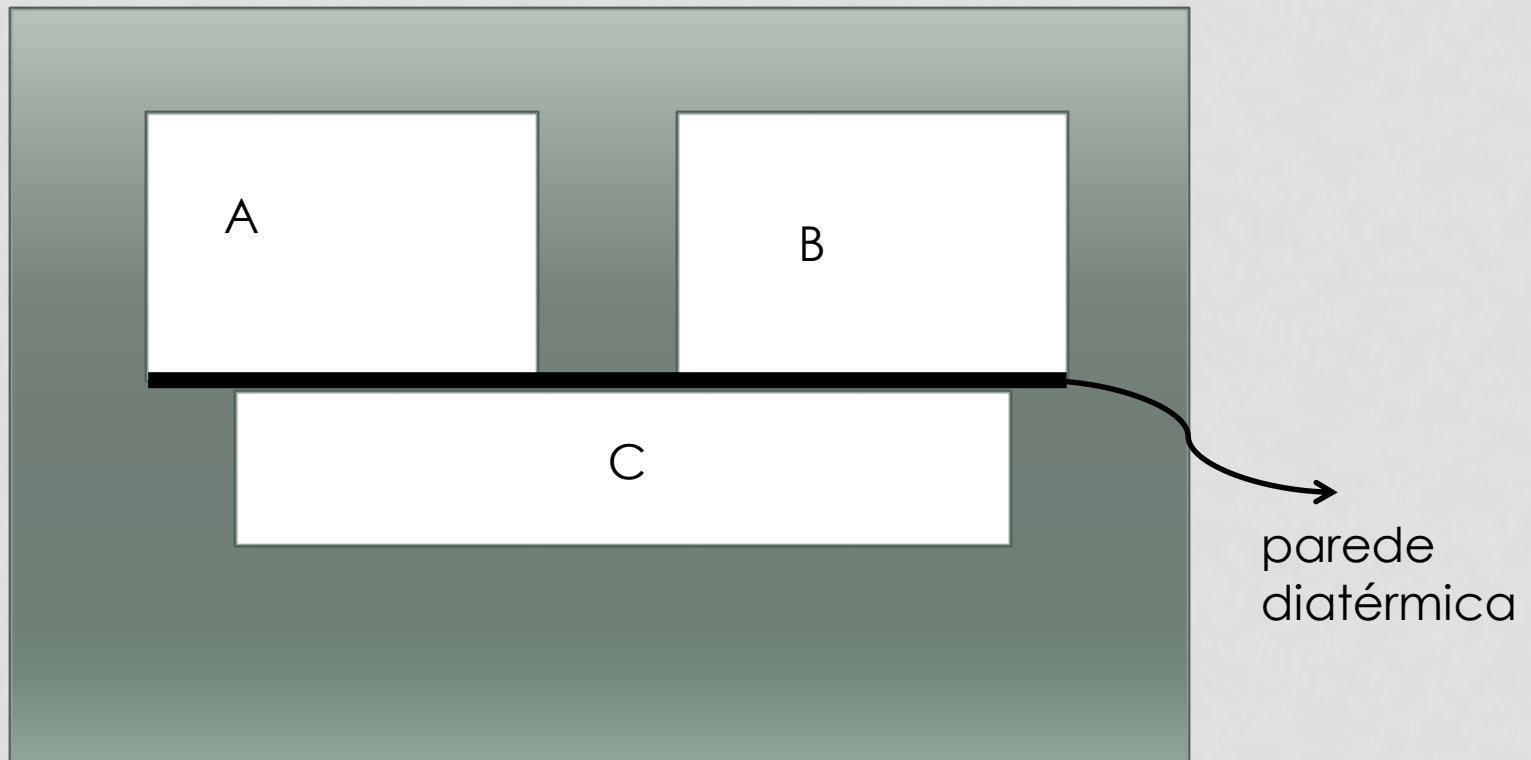
Evita transferência de calor por radiação.

# LEI ZERO DA TERMODINÂMICA

- Em vez de paredes adiabáticas, podemos separar dois recipientes por paredes diatérmicas. Neste caso, pode haver troca de calor mas não de partículas.
- Se dois sistemas A e B são colocados em contato térmico (i.e. separados por uma parede diatérmica), observamos que após algum tempo eles entram em equilíbrio.
- Consideremos a seguinte experiência:

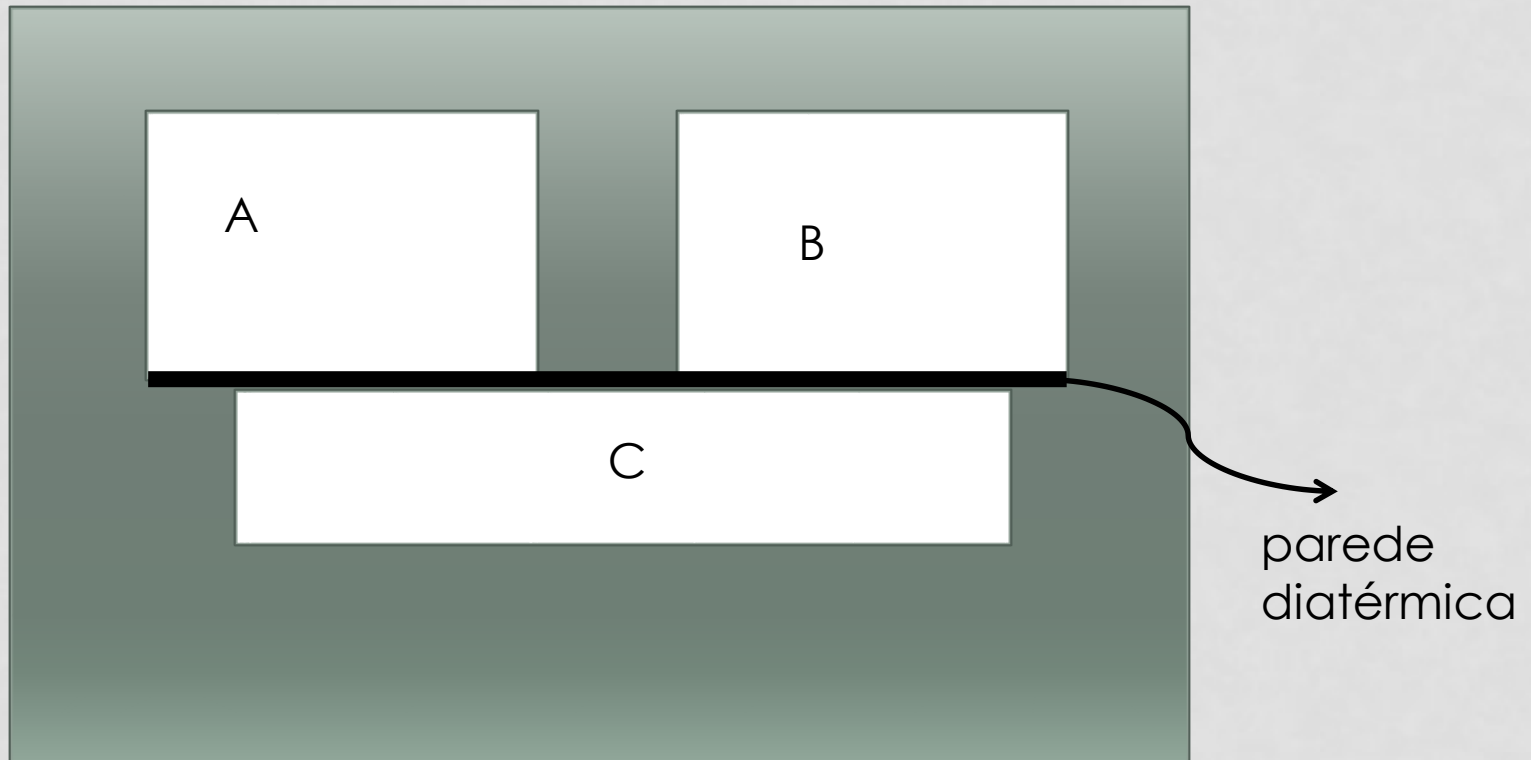
# LEI ZERO DA TERMODINÂMICA

- Os corpos A e B estão separados por uma parede adiabática, porém em contato térmico com C.



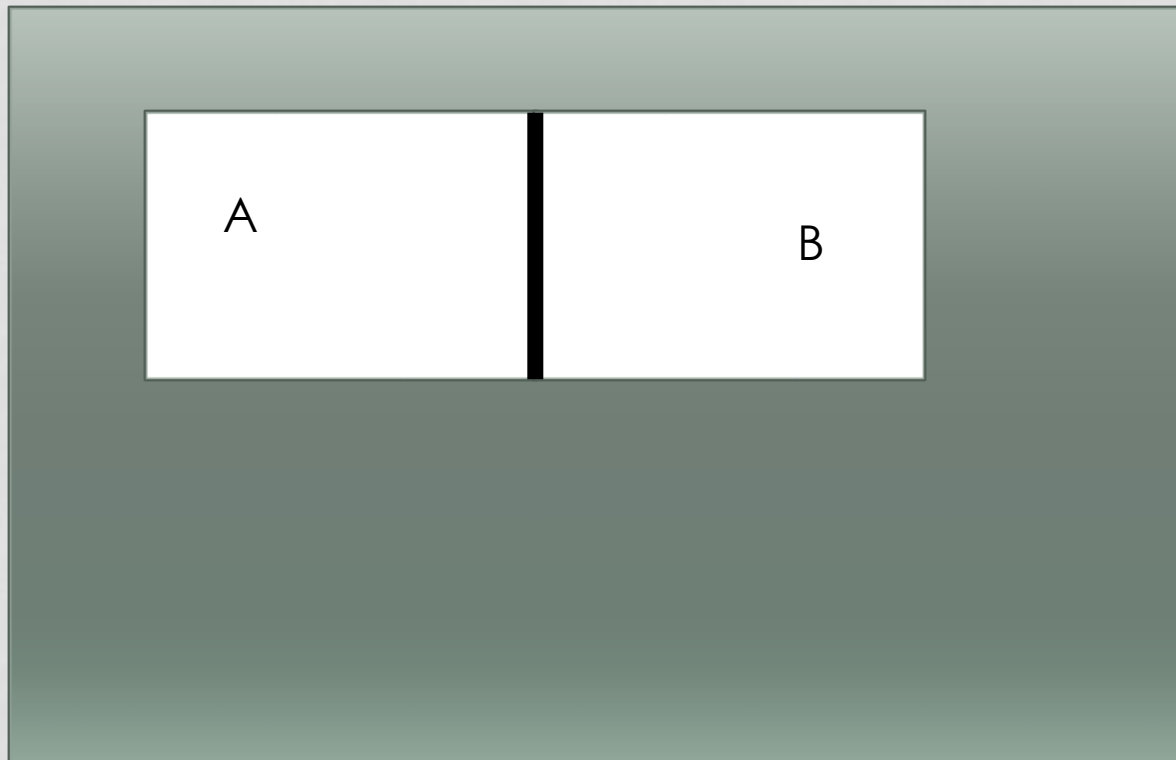
# LEI ZERO DA TERMODINÂMICA

- Após um tempo observamos que A está em equilíbrio com C e B está em equilíbrio com C.



# LEI ZERO DA TERMODINÂMICA

- Se pusermos A em contato com B, verificamos experimentalmente que A está em equilíbrio com B!



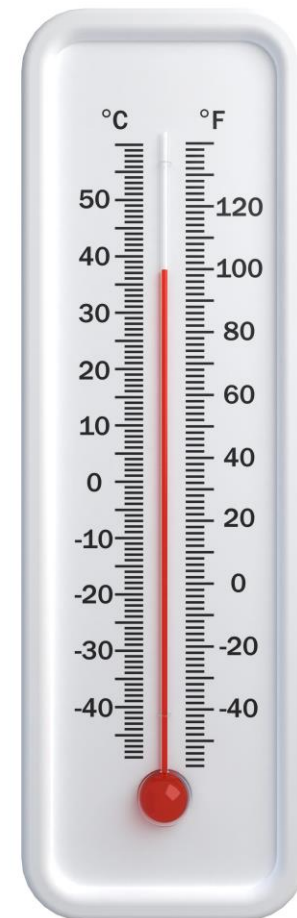


# LEI ZERO DA TERMODINÂMICA

- Se pusermos A em contato com B, verificamos experimentalmente que A está em equilíbrio com B!
- Isto possibilita que meçamos temperaturas com o auxílio de um terceiro corpo chamado termômetro, que associa um número (temperatura) a cada estado de equilíbrio das substâncias.
- Dizemos que corpos em contato térmico e em equilíbrio têm a mesma temperatura.

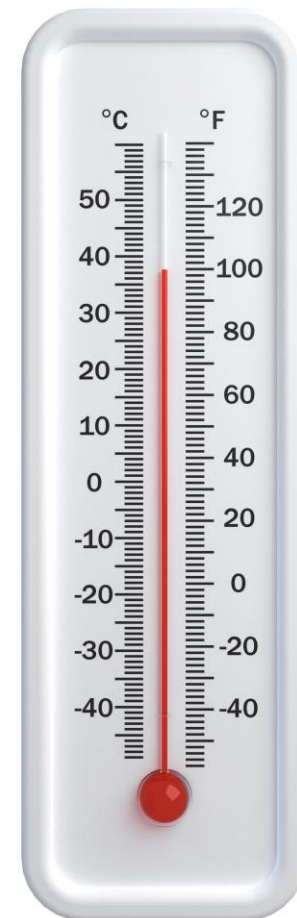
# TERMÔMETRO

- Observamos que em um tubo evacuado contendo mercúrio, estado de equilíbrio térmico fica determinado pela altura atingida pelo mercúrio na coluna.



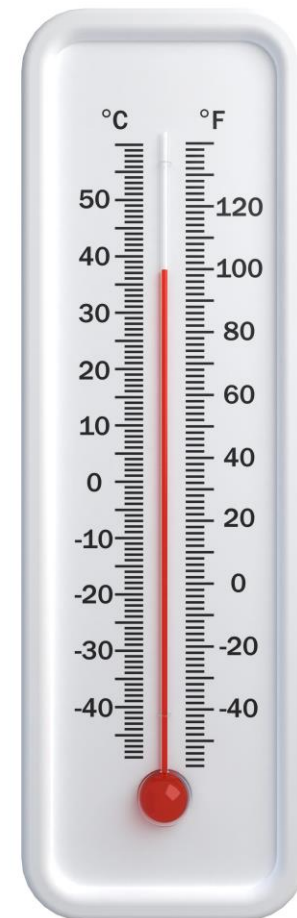
# TERMÔMETRO

- Podemos, portanto, aferir a temperatura de um objeto ao o colocarmos em contato com o tubo e medirmos a altura atingida pelo líquido.



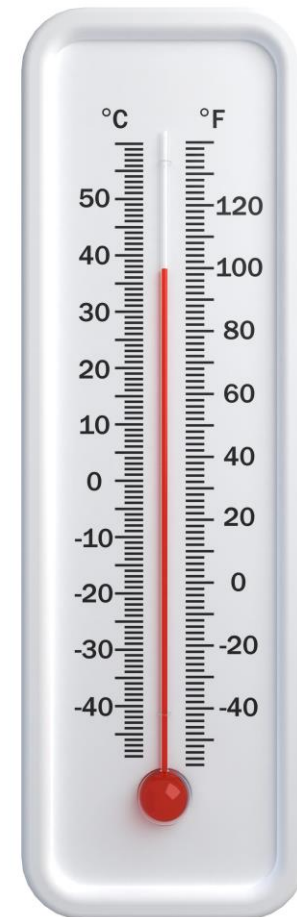
# TERMÔMETRO

- Para tanto, precisamos escolher duas temperaturas de referência.
  - Seja  $L_0$  a altura da coluna em contato com água em fusão à 1 atm.
  - Seja  $L_{100}$  a altura da coluna em contato com água em ebulição à 1 atm.



# TERMÔMETRO

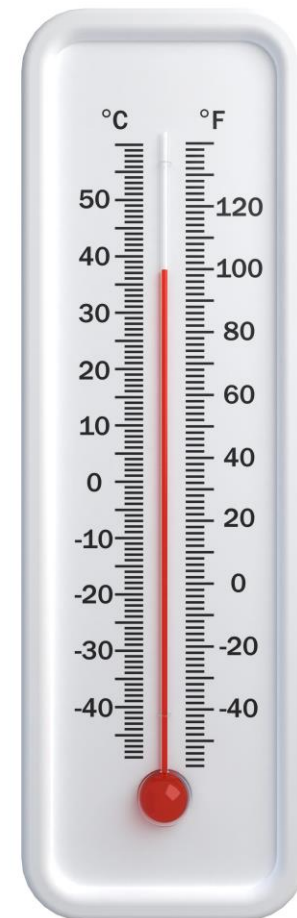
- Para tanto, precisamos escolher duas temperaturas de referência.
  - Seja  $L_0$  a altura da coluna em contato com água em fusão à 1 atm.
  - Seja  $L_{100}$  a altura da coluna em contato com água em ebulição à 1 atm.
- Atribuimos, respectivamente, temperaturas  $0^\circ\text{C}$  e  $100^\circ\text{C}$  a estes fenômenos.



# TERMÔMETRO

- Se  $L$  é a altura atingida pela coluna em contato com um corpo qualquer, sua temperatura é dada por

$$T = \frac{l - l_0}{l_{100} - l_0}$$

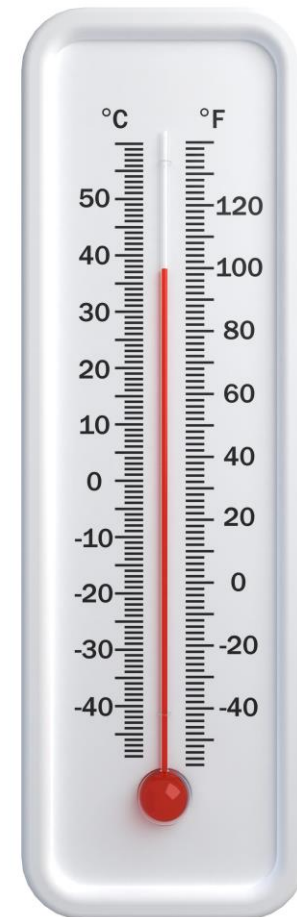


# TERMÔMETRO

- Se  $L$  é a altura atingida pela coluna em contato com um corpo qualquer, sua temperatura é dada por

$$T = \frac{l - l_0}{l_{100} - l_0}$$

Note que convencionamos uma relação linear entre temperatura e altura da coluna.



# TERMÔMETRO

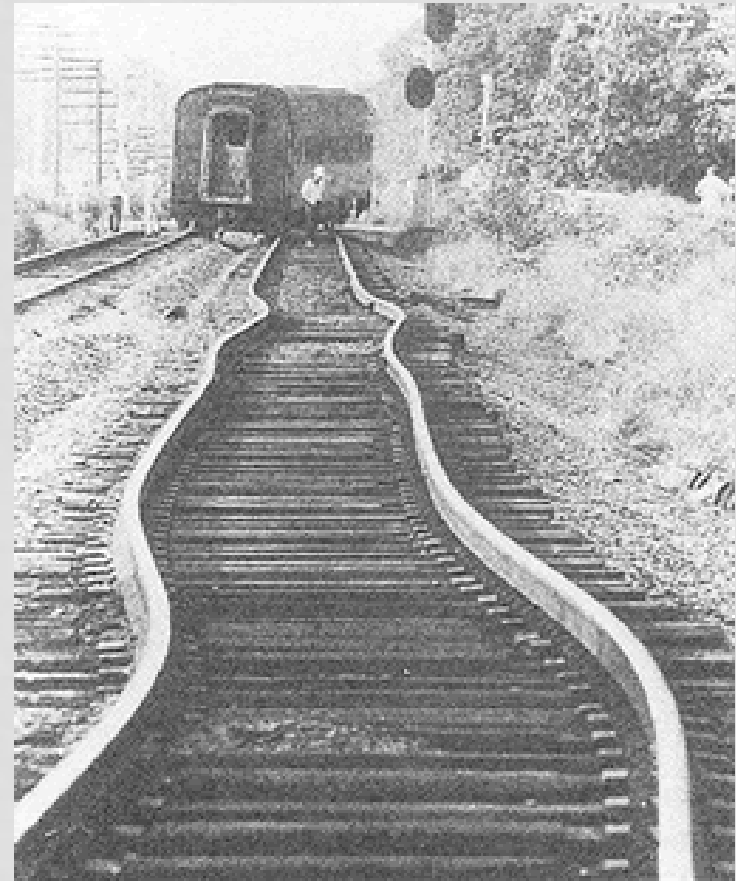
- Se empregarmos outra substância no lugar do mercúrio, e fizermos o mesmo procedimento, teremos uma definição igualmente válida de temperatura.
- Contudo, as temperaturas aferidas por estes diferentes termômetros serão em geral diferentes!
- Mostraremos mais para frente que é possível definir uma escala universal de temperatura independente das propriedades de qualquer substância.

Note que convencionamos uma relação linear entre temperatura e altura da coluna.



# DILATAÇÃO TÉRMICA

- O que acontece para o mercúrio, acontece com qualquer substância.



# DILATAÇÃO TÉRMICA

- O que acontece para o mercúrio, acontece com qualquer substância.
- Considere uma barra inicialmente com comprimento  $L_0$ . Se sua temperatura varia por um valor  $\Delta T$  seu comprimento varia por um valor  $\Delta L$  dado por (válido para pequenas variações de temperatura)

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$$



coeficiente linear  
de dilatação.

# DILATAÇÃO TÉRMICA

- O que acontece para o mercúrio, acontece com qualquer substância.
- Considere uma barra inicialmente com comprimento  $L_0$ . Se sua temperatura varia por um valor  $\Delta T$  seu comprimento varia por um valor  $\Delta L$  dado por (válido para pequenas variações de temperatura)

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$$

$$\alpha \sim 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

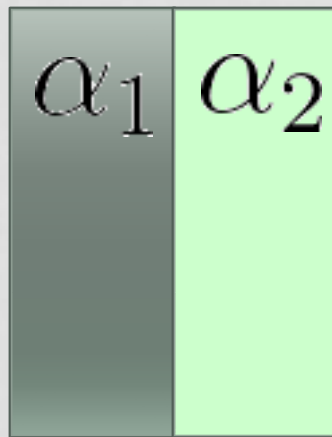
coeficiente linear  
de dilatação.

# EXPANSÃO TÉRMICA



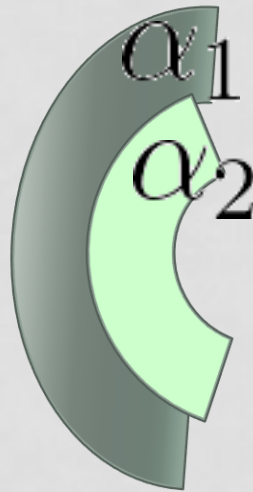
# DILATAÇÃO TÉRMICA

- **Exemplo:** Se  $\alpha_1 > \alpha_2$ , o que acontece com as barras grudadas abaixo ao as esquentarmos?



# DILATAÇÃO TÉRMICA

- **Exemplo:** Se  $\alpha_1 > \alpha_2$ , o que acontece com as barras grudadas abaixo ao as esquentarmos?



# DILATAÇÃO TÉRMICA

- Considere uma placa retângular com lados  $a_0$  e  $b_0$ .
  - Sua área é  $A_0 = a_0 b_0$ .
- Ao esquentarmos a placa, sua área dilatará. Pensemos na dilatação de suas dimensões lineares.

$$\Delta A = \Delta ab + a\Delta b$$

- Dividindo por  $A_0$  e usando nossa expressão para dilatação linear obtemos

$$\frac{\Delta A}{A_0} = 2\alpha\Delta T$$

# DILATAÇÃO TÉRMICA

- Considere uma placa retângular com lados  $a_0$  e  $b_0$ .
  - Sua área é  $A_0 = a_0 b_0$ .
- Ao esquentarmos a placa, sua área dilatará. Pensemos na dilatação de suas dimensões lineares.

$$\Delta A = \Delta ab + a\Delta b$$

- Dividindo por  $A_0$  e usando nossa expressão para dilatação linear obtemos

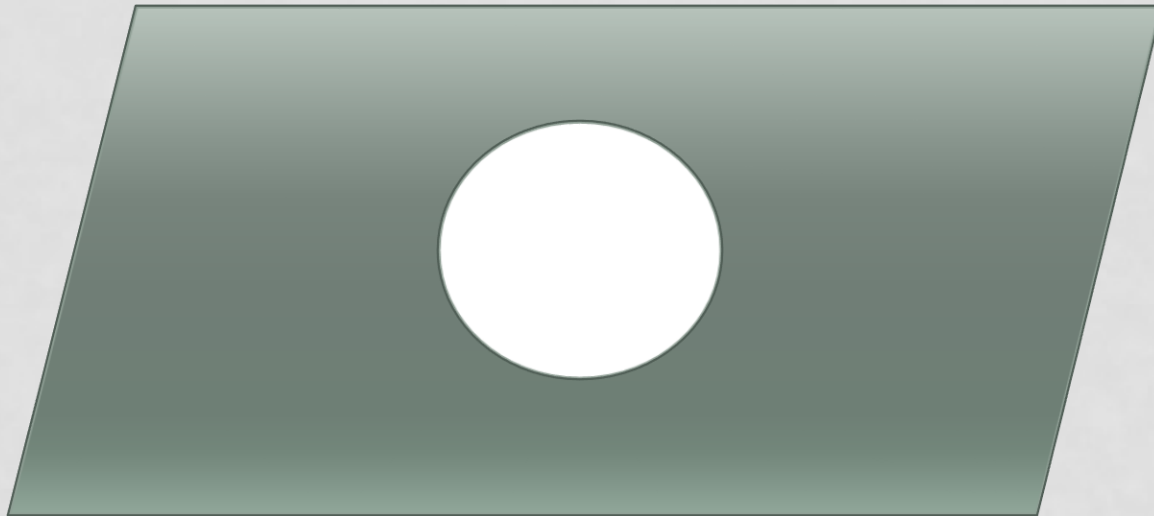
$$\frac{\Delta A}{A_0} = 2\alpha\Delta T$$

O coeficiente superficial de dilatação é  $2\alpha$ !



# DILATAÇÃO TÉRMICA

- **Exemplo:** Ao esquentarmos o plano com buraco abaixo, o que acontece com a área do buraco?



# DILATAÇÃO TÉRMICA

- **Exercício:** Mostre que ao variarmos a temperatura de um paralelepípedo de volume inicial  $V_0$ , seu volume varia como

$$\Delta V = 3\alpha V_0 \Delta T$$

- Líquidos costumam dilatar mais do que sólidos. Para líquidos escrevemos

$$\Delta V = \beta \Delta T$$

# DILATAÇÃO TÉRMICA

- Considere um líquido dentro de um copo. Como ambos dilatam, o que observamos na realidade é o quanto o líquido dilatou mais do que o copo.
  - Definimos  $\beta - 3\alpha$  como sendo o coeficiente de dilatação aparente do líquido.

# DILATAÇÃO TÉRMICA

- Considere um líquido dentro de um copo. Como ambos dilatam, o que observamos na realidade é o quanto o líquido dilatou mais do que o copo.
  - Definimos  $\beta - 3\alpha$  como sendo o coeficiente de dilatação aparente do líquido.