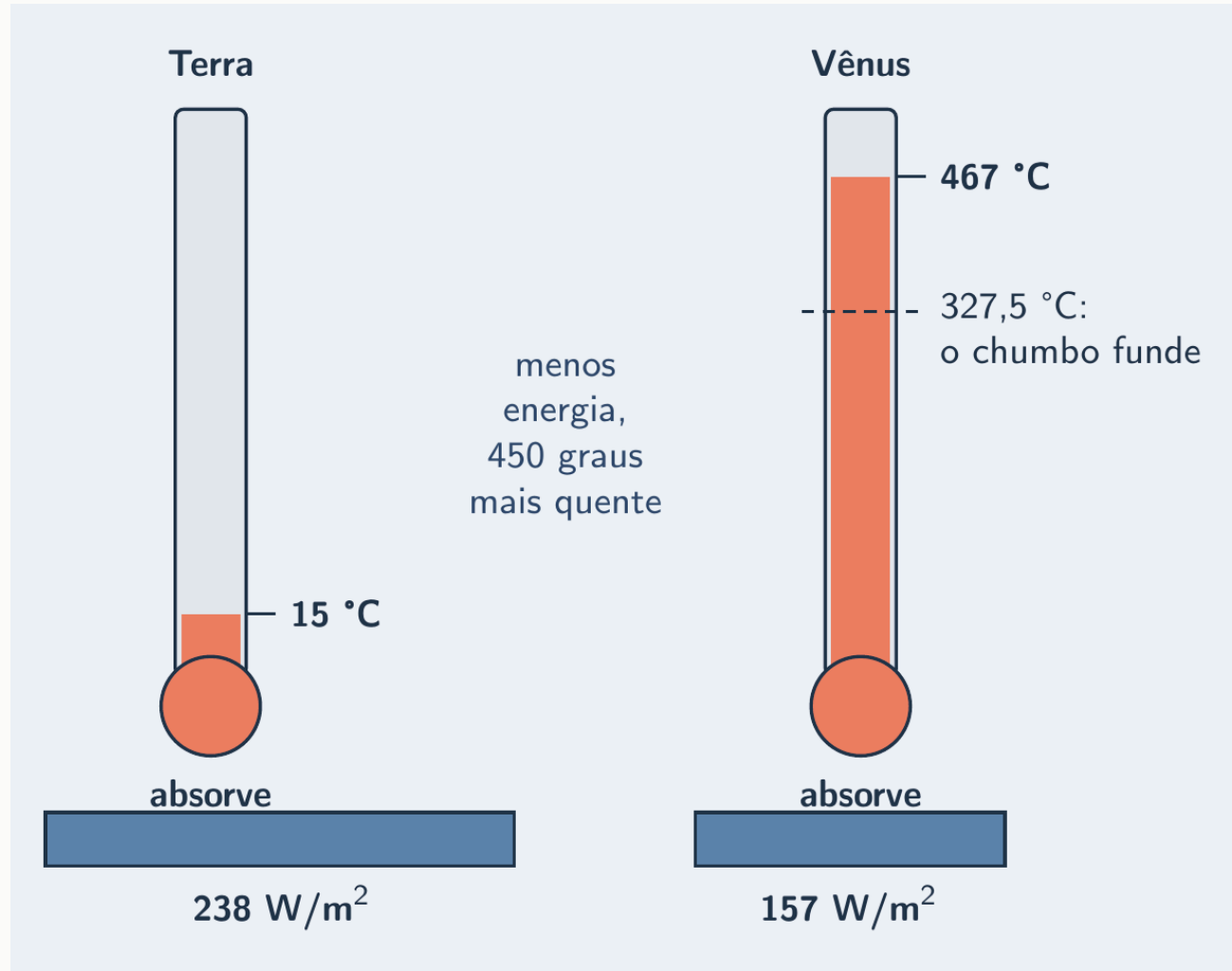


Termodinâmica I · Episódio 12

O planeta onde o chumbo derrete

Irradiação, efeito estufa e balanço térmico

O caso

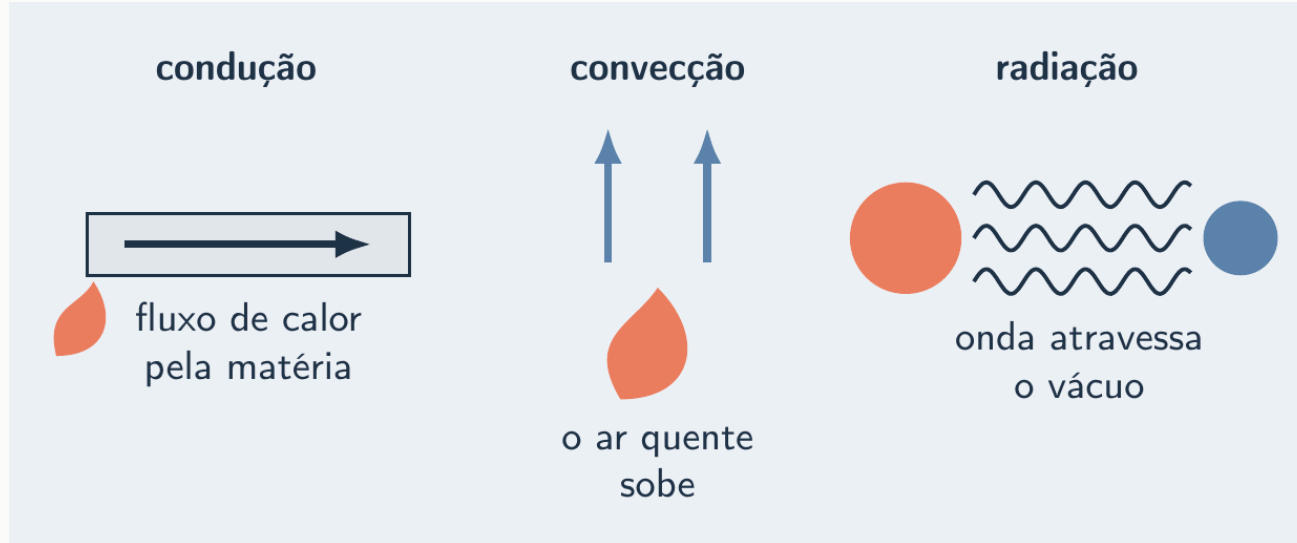


- Vênus: 12 104 km de diâmetro · 0,72 UA do Sol
- superfície a **$467\text{ }^{\circ}\text{C}$** · chumbo funde a $327,5\text{ }^{\circ}\text{C}$
- ar: 93 vezes a pressão da Terra, quase só CO_2
- absorve **157 W/m^2** · Terra absorve **238 W/m^2**

Pergunta do episódio

Como Vênus absorve menos que a Terra e ferve 450 graus a mais?

Conceito 1 – Radiação atravessa o vácuo



- **radiação**: onda eletromagnética · dispensa meio
- todo corpo acima de 0 K irradia
- sai em **todas as direções** · X "o calor sobe"

Exemplo resolvido – do Sol até aqui

Luz percorre 150 milhões de km de vácuo a 300 000 km/s

Fórmula:

$$\Delta t = \frac{d}{v}$$

Substituição:

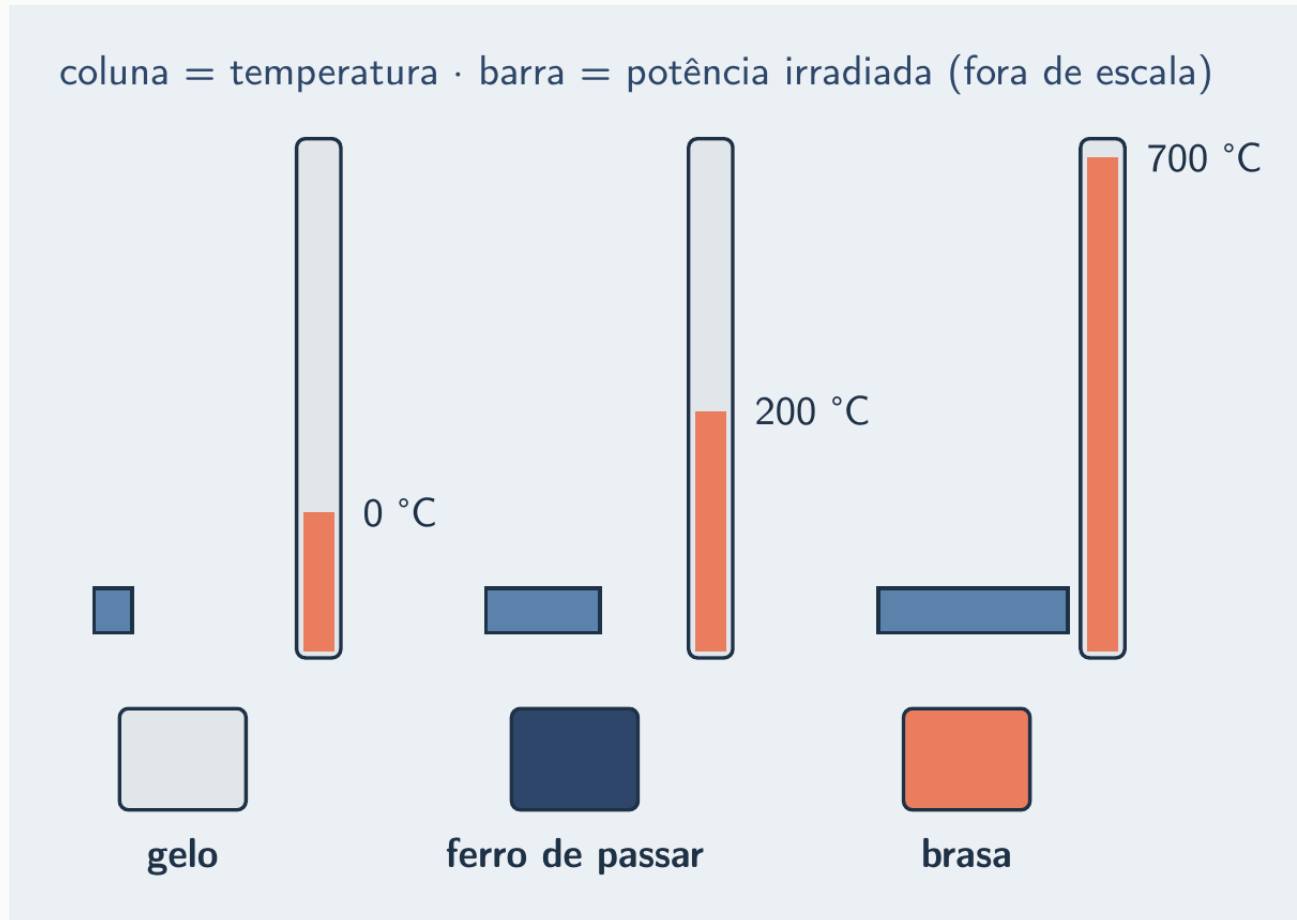
$$\Delta t = \frac{1,5 \times 10^8}{3 \times 10^5}$$

Resultado:

$$\Delta t = \mathbf{500\ s}$$

- distância em km, velocidade em km/s · cerca de 8,3 min

Conceito 2 – Mais quente, mais irradia



- quente → irradia **mais** e em onda **mais curta**
- brasa: vermelho → laranja → branco
- Stefan-Boltzmann: σT^4 , T em kelvin (fora do ENEM)

Exemplo resolvido – dobrar o kelvin

Mesmo corpo passa de 300 K para 600 K

Fórmula:

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^4$$

Substituição:

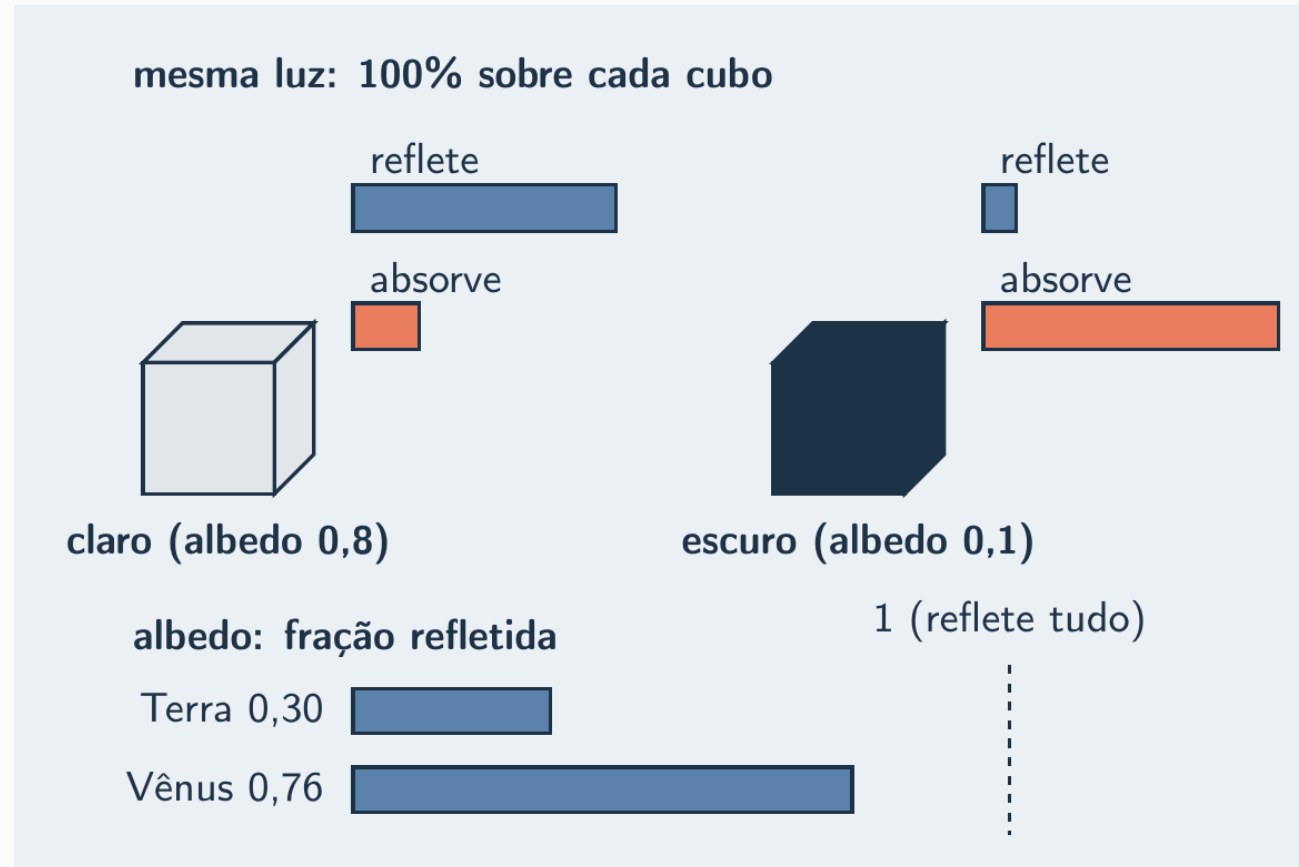
$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{600}{300} \right)^4 = 2^4$$

Resultado:

$$\frac{P_2}{P_1} = \mathbf{16}$$

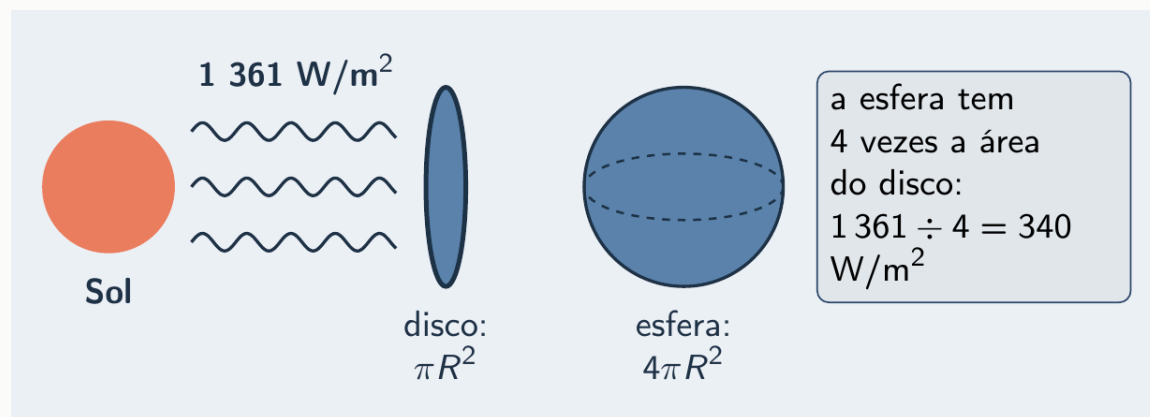
- 16 vezes mais potência por metro quadrado

Conceito 3 – Albedo



- **albedo**: fração refletida (0 a 1)
- fração absorvida: $1 - \text{albedo}$ · escuro absorve mais
- Terra **0,30** · Vênus **0,76** (nuvens ácidas)

Exemplo resolvido – o que a Terra absorve



S : 1 361 W/m² no topo · a : albedo 0,30 ·
 I : absorvido

Fórmula:

$$I = \frac{S}{4} (1 - a)$$

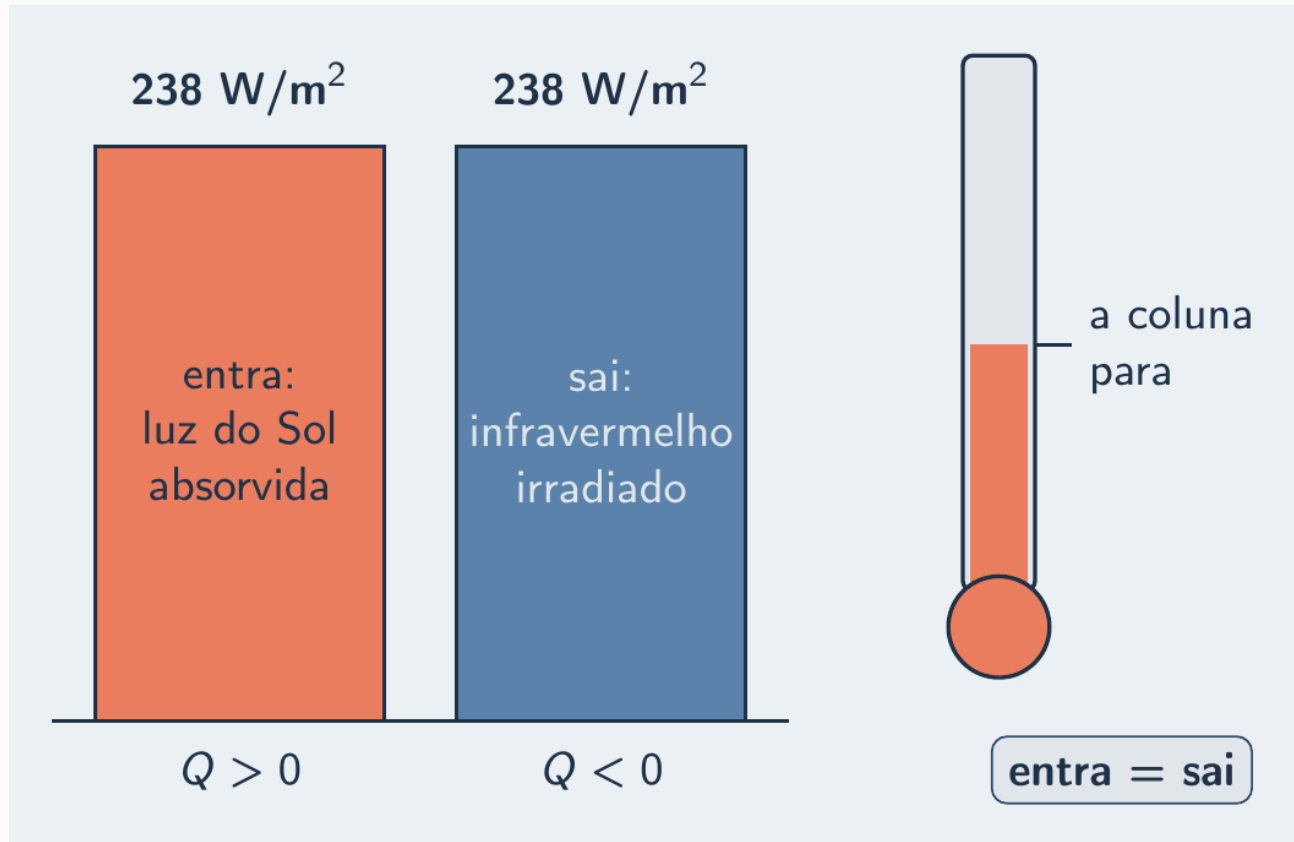
Substituição:

$$I = \frac{1\,361}{4} \cdot 0,70$$

Resultado:

$$I \approx \mathbf{238 \text{ W/m}^2}$$

Conceito 4 – O balanço



- entra luz absorvida: Q positivo
- sai infravermelho: Q negativo
- equilíbrio: **entra o que sai** · $\Sigma Q = 0$
- planeta **não** isolado: troca o tempo todo

Exemplo resolvido – Terra sem cobertor

Superfície devolve direto ao espaço os 238 W/m^2 .

$$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/(m}^2 \text{ K}^4)$$

Fórmula:

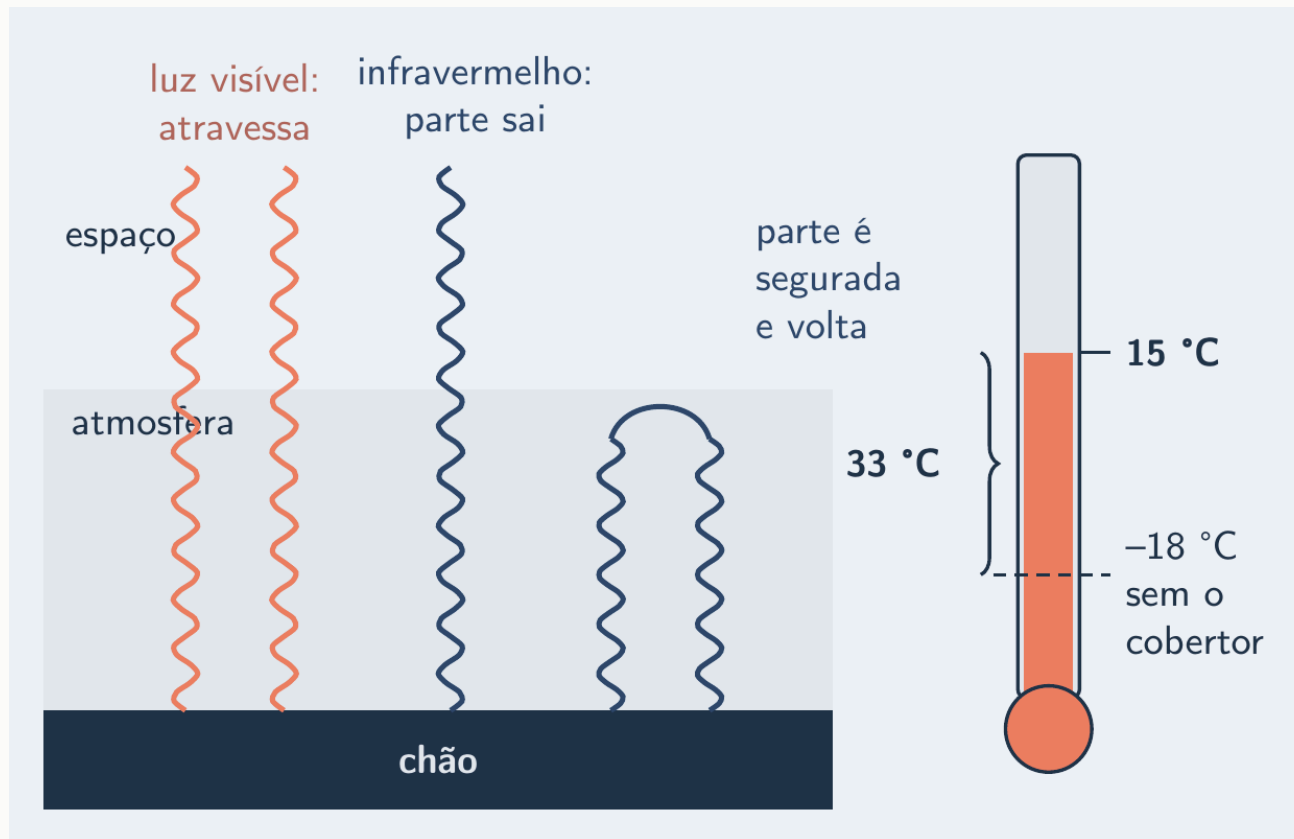
Substituição:

Resultado:

$$\sigma T^4 = I \quad T^4 = \frac{238}{5,67 \times 10^{-8}} \approx 4,20 \times 10^9 \quad T \approx \mathbf{255 \text{ K}}$$

- cerca de $-18 \text{ }^\circ\text{C}$

Conceito 5 – Efeito estufa



- ar: **transparente** ao visível · **opaco** a parte do infravermelho
- H_2O , CO_2 , CH_4 devolvem infravermelho ao chão
- cobertor: não aquece, **freia a saída** · **X** não é poluição; o excesso é

Exemplo resolvido – espessura do cobertor

Terra: 15 °C real · -18 °C sem efeito estufa · ΔT : o cobertor

Fórmula:

$$\Delta T = T_{\text{real}} - T_{\text{sem}}$$

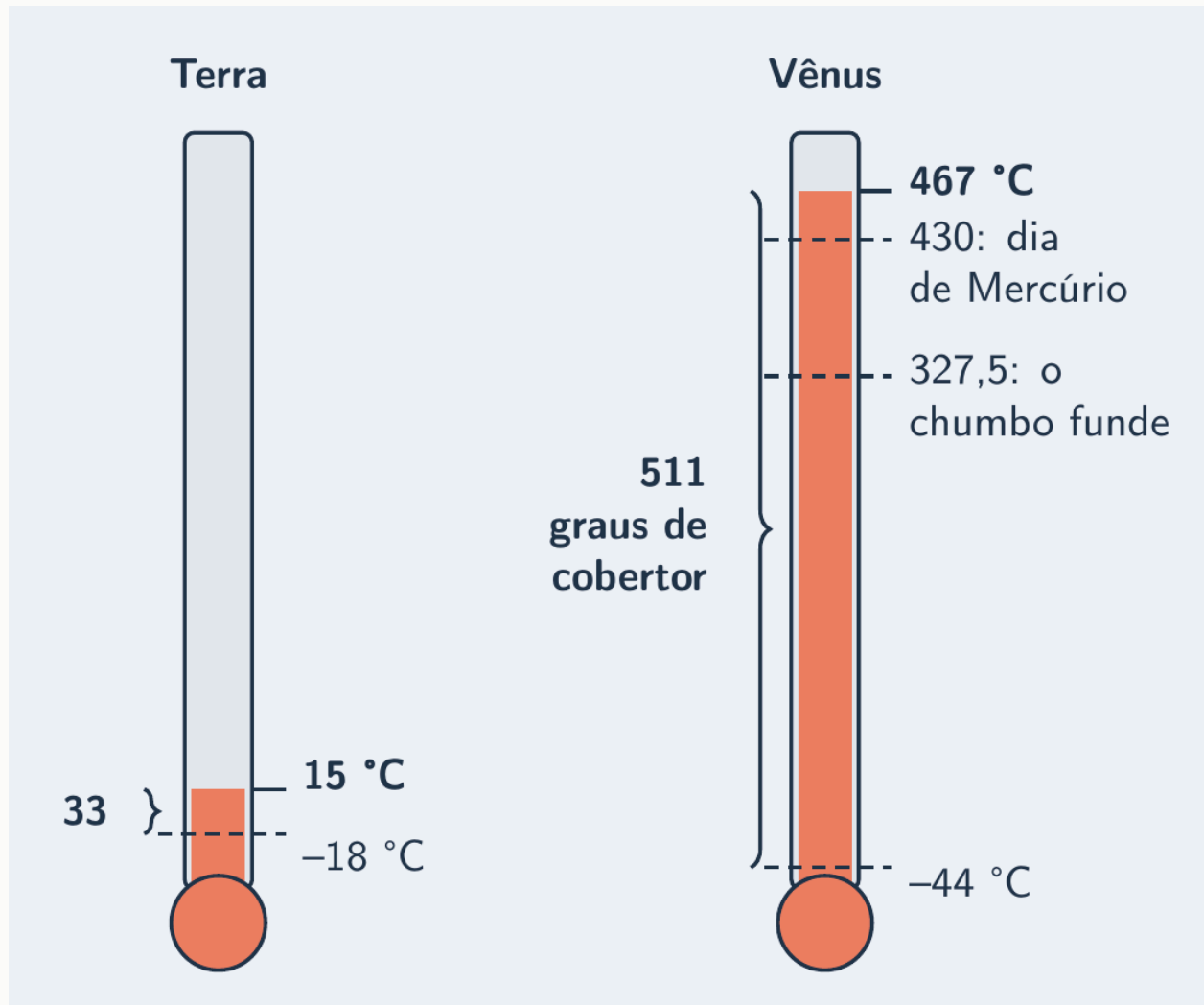
Substituição:

$$\Delta T = 15 - (-18)$$

Resultado:

$$\Delta T = \mathbf{33\text{ }^{\circ}\text{C}}$$

Conceito 6 – Vênus, cobertor extremo



- sem estufa: **-44 °C** · real: **467 °C**, ou 740 K
- 93 atm de CO₂: infravermelho quase não escapa
- Mercúrio, mais perto: 430 °C de dia · -180 °C à noite

Exemplo resolvido – o cobertor de Vênus

Vênus: 467 °C real · -44 °C sem efeito estufa · ΔT : o cobertor

Fórmula:

$$\Delta T = T_{\text{real}} - T_{\text{sem}}$$

Substituição:

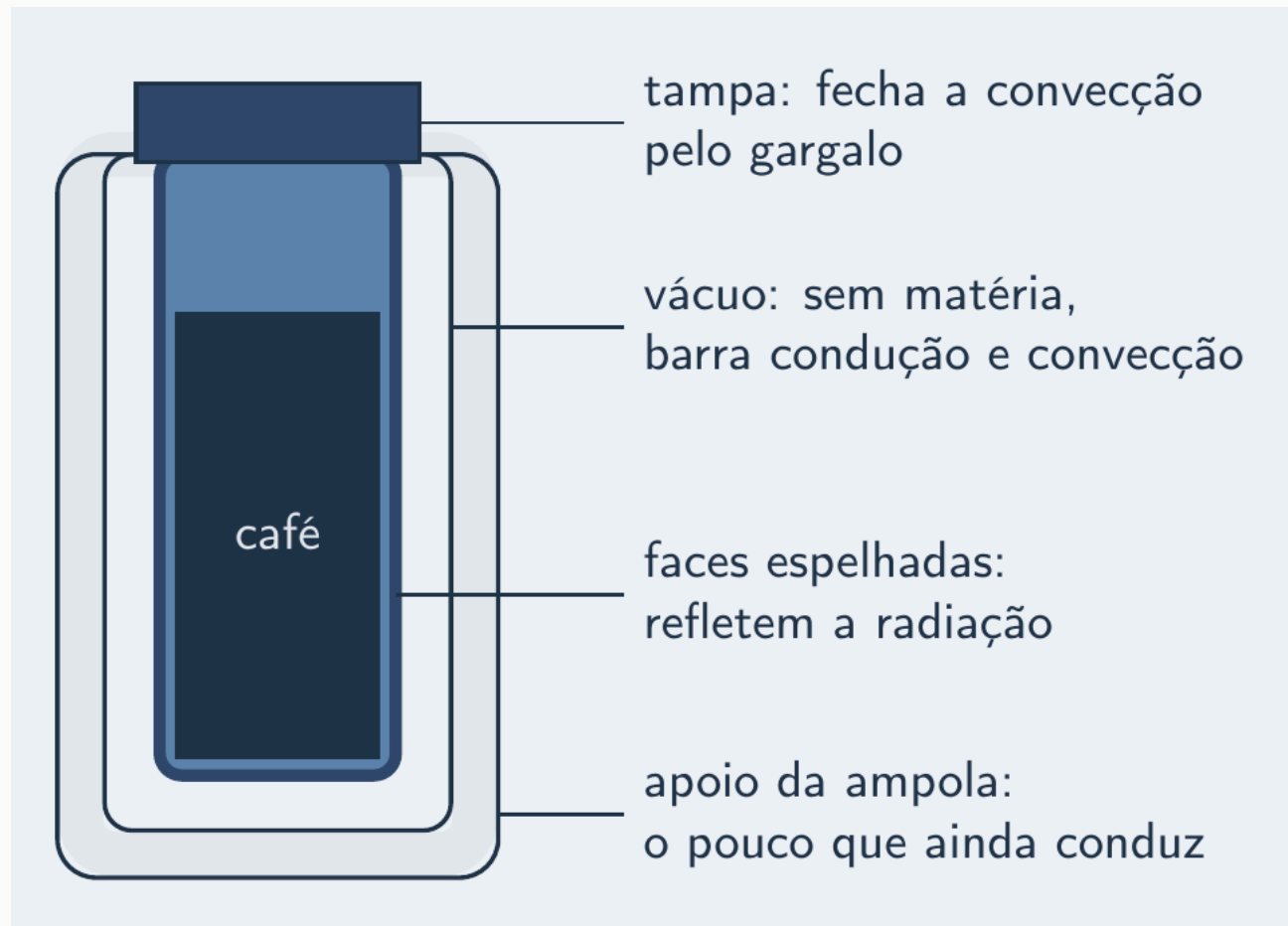
$$\Delta T = 467 - (-44)$$

Resultado:

$$\Delta T = \mathbf{511\text{ }^{\circ}\text{C}}$$

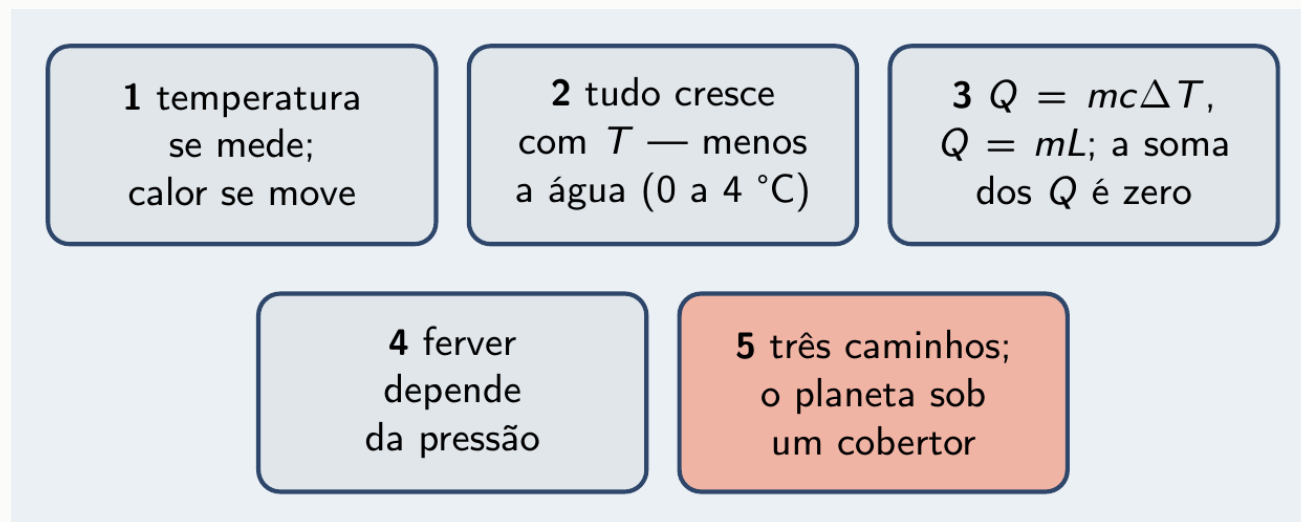
- cerca de 15 vezes o da Terra

Radar ENEM



- ✗ "mais perto do Sol, mais quente" → ✓ albedo + atmosfera
- ✗ "sem atmosfera, Vênus esfria" → ✓ $-44\text{ }^{\circ}\text{C}$ só sem estufa
- ✗ "estufa é poluição" → ✓ sem ela, $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$
- ✗ $^{\circ}\text{C}$ em σT^4 → ✓ kelvin
- ✗ esquecer o 4 ou o albedo → ✓ $\frac{S}{4} (1 - a)$

Resumo em cinco peças



1. equilíbrio dá a temperatura
2. dilata tudo, exceto água 0–4 °C
3. extrato de calor: $\Sigma Q = 0$
4. pressão manda na fervura
5. três caminhos · planeta sob cobertor

Treine no jogo



QR do jogo → <https://professorcanario.com.br/t1/c12/lista>

Canarinho · lista do Episódio 12

Depois da aula: o combo deste episódio

[Abrir arena](#)

Vídeo em capítulos



Vá direto ao trecho que precisa.

<https://professorcanario.com.br/t1/c12/video>

Lista no app



As questões deste episódio,
para treinar.

<https://professorcanario.com.br/t1/c12/lista>

Livro da minissérie



Com QR em cada capítulo, que
leva ao vídeo e à lista daquele
tema.

<https://professorcanario.com.br/termodinamica1/livro/>