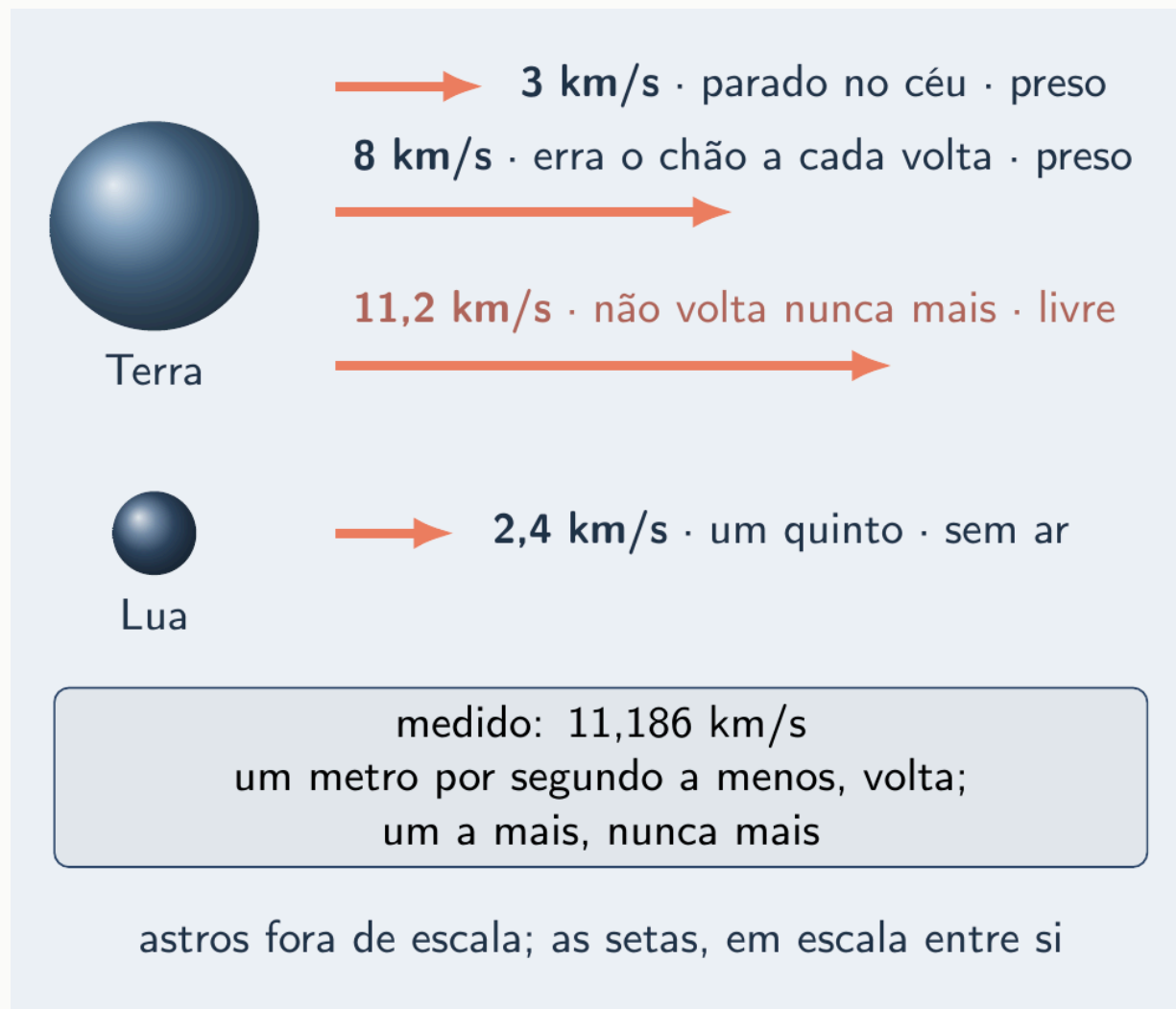


Mecânica III · Episódio 8

A velocidade que separa quem volta de quem vai embora

Velocidade de escape e energia no campo

0 caso

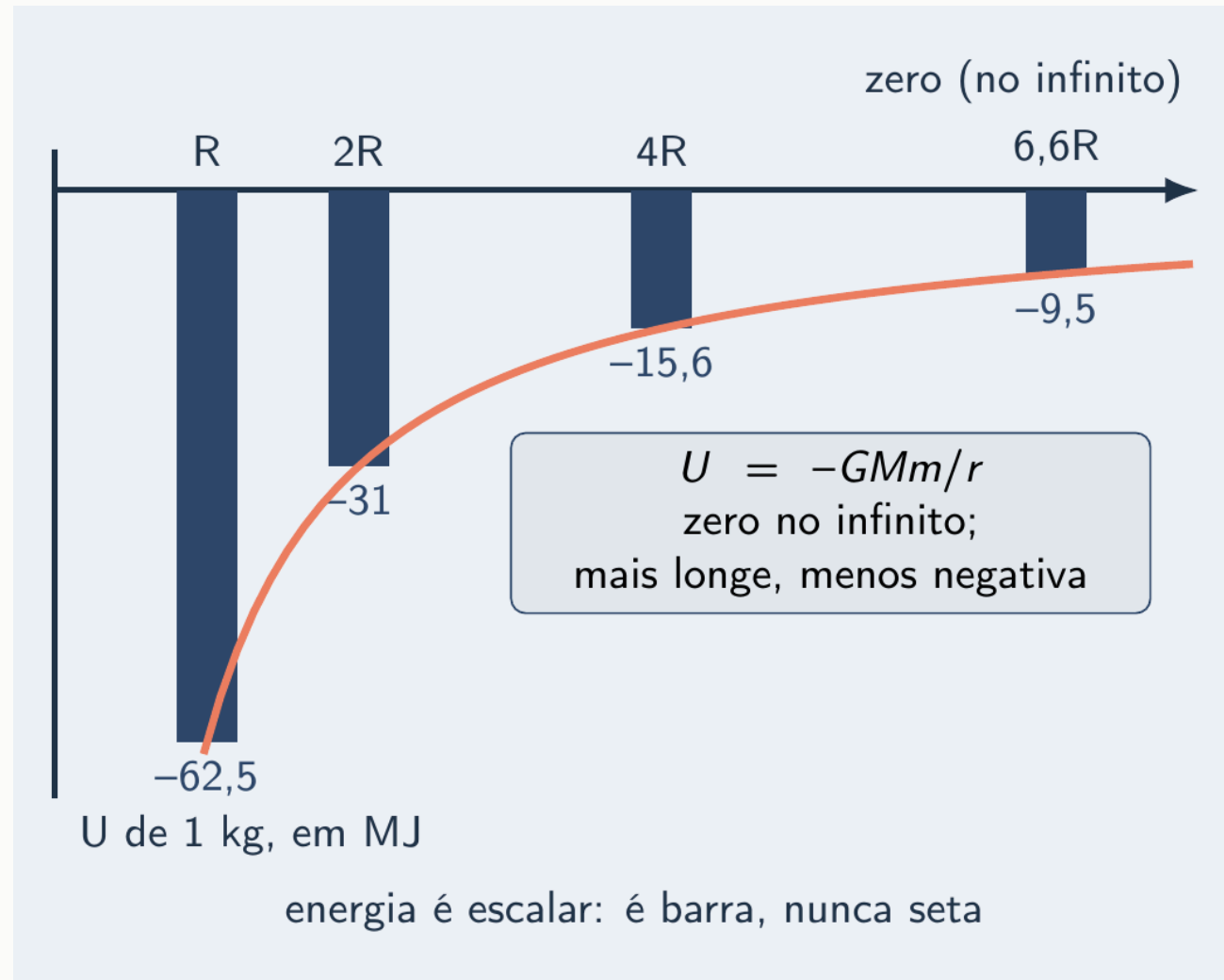


- Terra: **11,186 km/s** na superfície
- abaixo disso: volta, ou fica em órbita
- acima: vai embora para sempre
- Lua: **2,38 km/s** · menos de 10 t de ar

Pergunta do episódio

De onde vem o 11,2, e por que ele não muda com a massa do foguete?

Conceito 1 – Energia potencial geral



$$U = -\frac{G M m}{r}$$

- escalar · **negativa** · zero no **infinito**
- mais longe → menos negativa
- $m g h$: só perto do chão, com g constante

Exemplo resolvido – a dívida de um quilo

1 kg na superfície · $GM = 4,0 \times 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$ · raio de $6,4 \times 10^6 \text{ m}$

Fórmula:

$$U = -\frac{GMm}{R}$$

Substituição:

$$U = -\frac{4,0 \times 10^{14} \cdot 1}{6,4 \times 10^6}$$

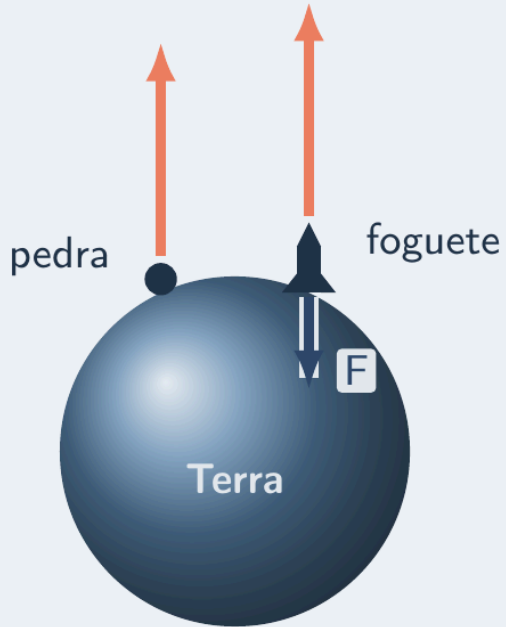
Resultado:

$$U = -\mathbf{62,5 \text{ MJ}}$$

- 2 kg: o dobro

Conceito 2 – Quitar a dívida

11,2 km/s nos dois



pedra

foguete

Terra

na saída:
 $\frac{1}{2}mv^2 - GMm/R$

no infinito:
 $0 + 0$

iguais; e o m está nos dois termos: cancela

$v = \sqrt{2GM/R}$

sistema: foguete e Terra · sem ar, sem motor depois da queima

- sistema: corpo e Terra · sem ar, sem motor
 - energia mecânica **conservada**
 - infinito, parando: soma nula
- $$\frac{mv^2}{2} = \frac{GMm}{R}$$
- massa do corpo **cancela** · gravidade nunca acaba

Exemplo resolvido – o escape da Terra

Saída da superfície · $G M = 4,0 \times 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$ · raio de $6,4 \times 10^6 \text{ m}$

Fórmula:

$$v = \sqrt{\frac{2 G M}{R}}$$

Substituição:

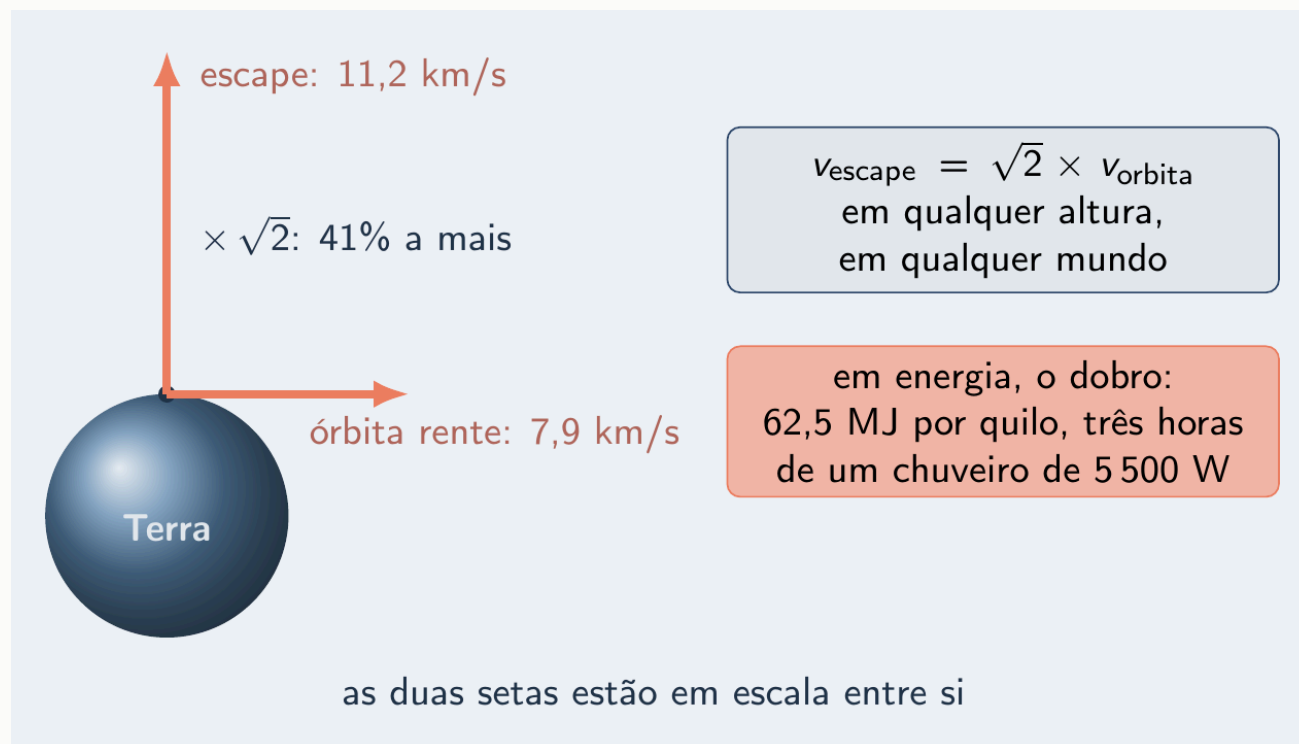
$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 4,0 \times 10^{14}}{6,4 \times 10^6}}$$

Resultado:

$$v \approx \mathbf{11,2 \text{ km/s}}$$

- medido: 11,186 km/s

Conceito 3 – Raiz de dois



$$v_{\text{esc}} = \sqrt{2} v_{\text{orb}}$$

- 41% a mais de velocidade
- **dobro** da energia cinética
- qualquer altura · qualquer mundo

Exemplo resolvido — pela velocidade de órbita

Órbita rente à Terra: 7,9 km/s

Fórmula:

$$v_{\text{esc}} = \sqrt{2} v_{\text{orb}}$$

Substituição:

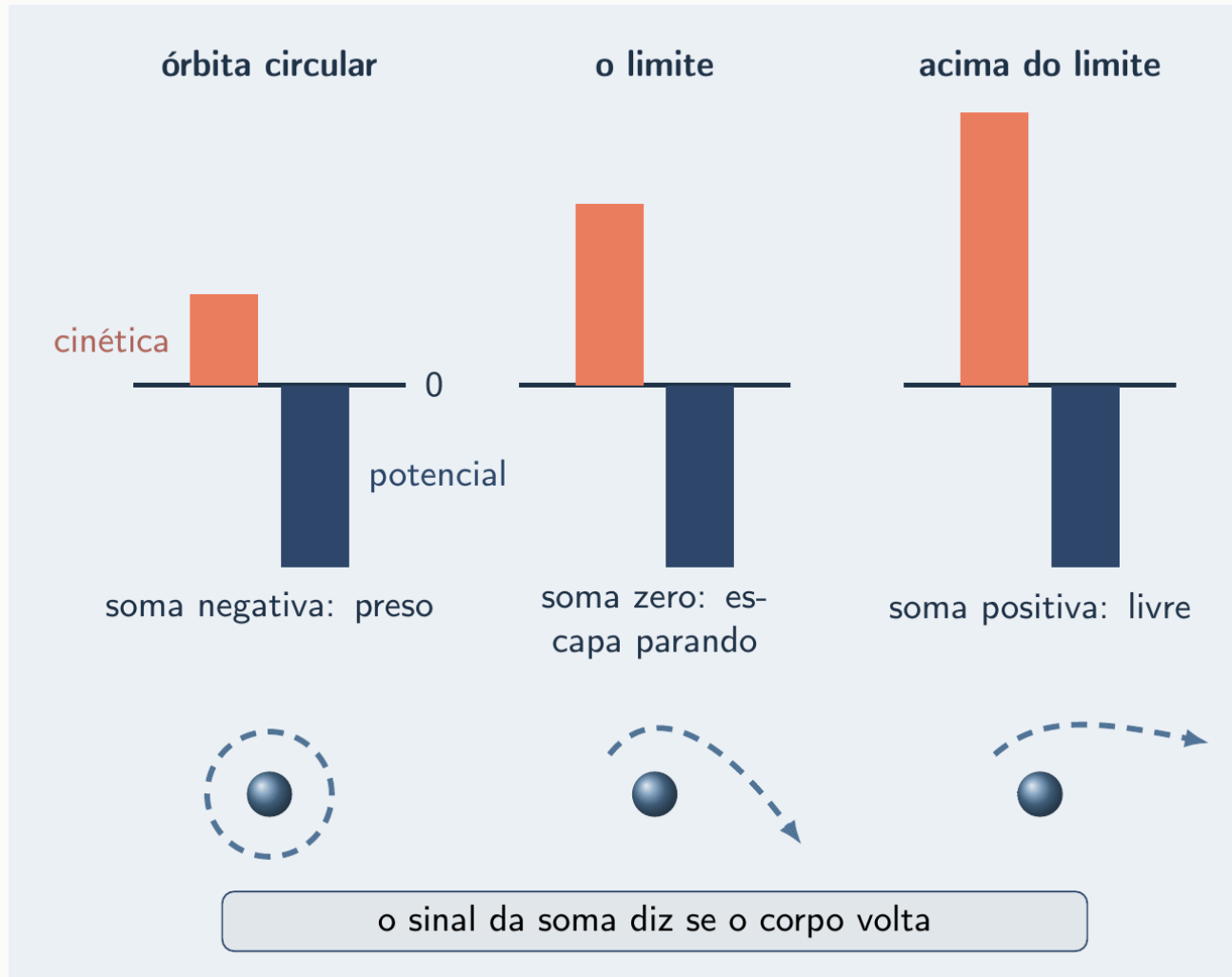
$$v_{\text{esc}} = 1,414 \cdot 7,9$$

Resultado:

$$v_{\text{esc}} \approx \mathbf{11,2 \text{ km/s}}$$

- mesmo número, outro caminho

Conceito 4 – Preso ou livre



$$E = \frac{m v^2}{2} - \frac{G M m}{r}$$

- E negativa: **preso**
- E nula ou positiva: **livre**
- órbita circular:

$$E = -\frac{G M m}{2r}$$

Exemplo resolvido – o que sobra

Saída da superfície a 12 km/s · escape (v_e): 11,2 km/s

Fórmula:

$$v_f = \sqrt{v^2 - v_e^2}$$

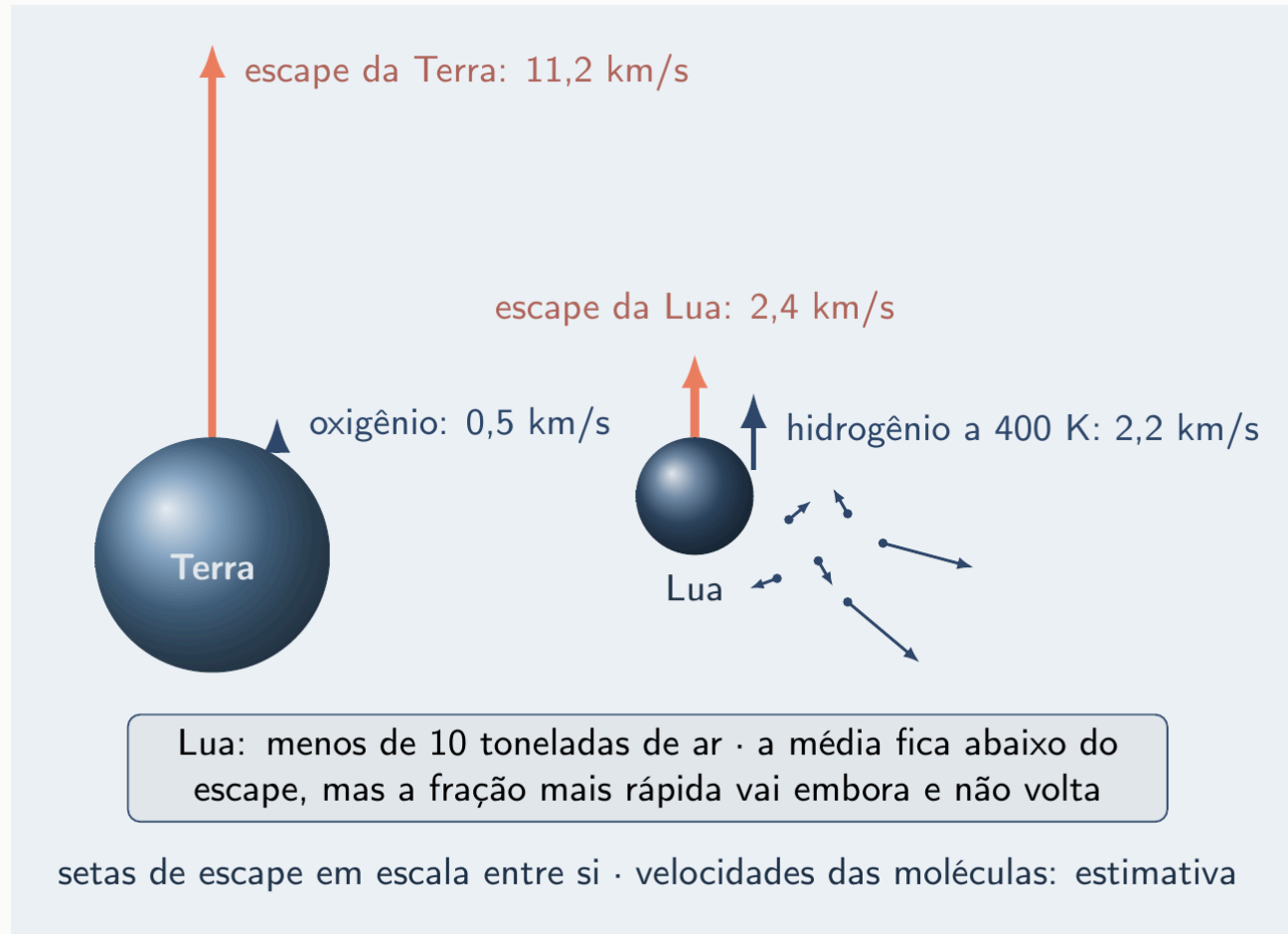
Substituição:

$$v_f = \sqrt{(1,44 - 1,25) \times 10^8}$$

Resultado:

$$v_f \approx \mathbf{4,4 \text{ km/s}}$$

Conceito 5 – A Lua sem ar



- gás: moléculas em todas as velocidades
- mais leve e mais quente → mais rápido
- Lua: hidrogênio quase no escape → **vaza**
- Terra: oxigênio muito abaixo → **fica**

Exemplo resolvido – o escape da Lua

Lua: $G M = 4,87 \times 10^{12} \text{ m}^3/\text{s}^2$ · raio de $1,74 \times 10^6 \text{ m}$

Fórmula:

$$v = \sqrt{\frac{2 G M}{R}}$$

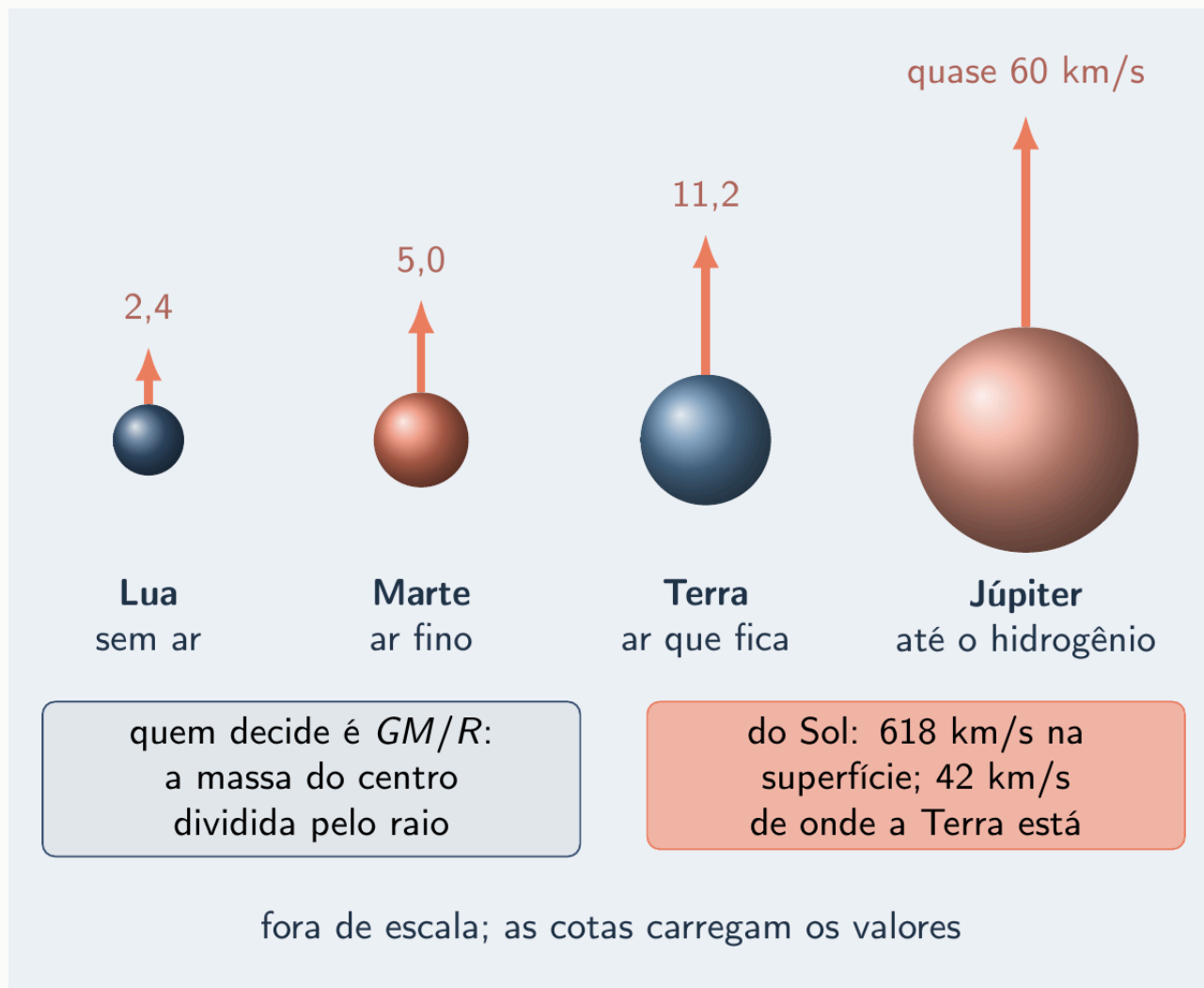
Substituição:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 4,87 \times 10^{12}}{1,74 \times 10^6}}$$

Resultado:

$$v \approx \mathbf{2,4 \text{ km/s}}$$

Conceito 6 – Quatro mundos



- Lua 2,4 km/s: sem ar
- Marte 5,0 km/s: ar fino
- Terra 11,2 km/s: ar que fica
- Júpiter, quase 60 km/s: segura hidrogênio
- decide: $\frac{G M}{R}$

Exemplo resolvido – escape na altura do satélite

Saída a $4,22 \times 10^7$ m do centro · $G M = 4,0 \times 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$

Fórmula:

$$v = \sqrt{\frac{2 G M}{r}}$$

Substituição:

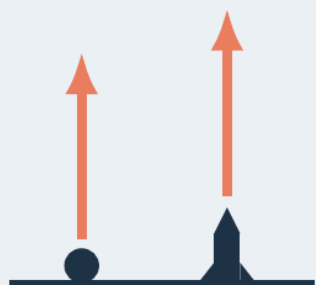
$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 4,0 \times 10^{14}}{4,22 \times 10^7}}$$

Resultado:

$$v \approx \mathbf{4,4 \text{ km/s}}$$

- mais alto: dívida menor

Radar ENEM



mesma
velocidade

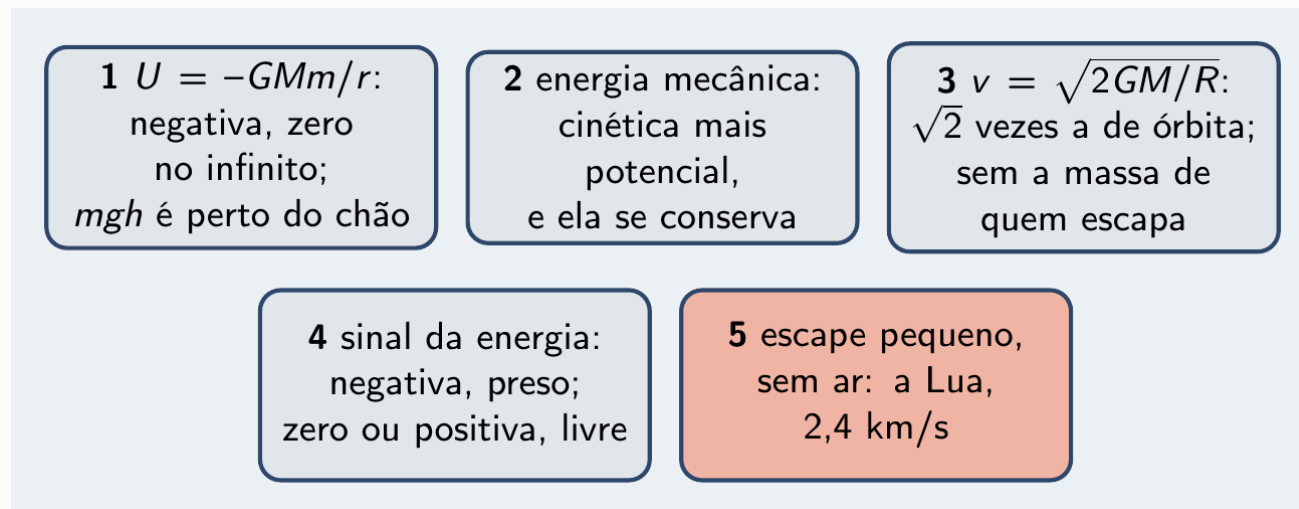
$v = \sqrt{2GM/R}$,
sem a massa do corpo;
 $\sqrt{2}$ vezes a de órbita;
 $U = -GMm/r$, zero no infinito;
órbita: energia negativa;
escape: zero ou positiva

~~foguete pesado, mais velocidade;
escapar é sair da gravidade;
energia potencial é sempre mgh ;
em órbita a energia mecânica é zero~~

a gravidade não acaba:
quem fecha a conta é a energia

- ✗ foguete pesado, mais velocidade
- ✗ escapar é sair da gravidade
- ✗ energia potencial sempre mgh
- ✗ escape é o dobro da orbital
- ✓ escape: energia mecânica nula ou positiva

Resumo em cinco peças



1. dívida negativa, zero no infinito
2. energia mecânica conservada
3. escape: raiz de dois, sem massa
4. sinal decide: preso ou livre
5. escape baixo, ar vaza

Treine no jogo



QR do jogo → <https://professorcanario.com.br/m3/c8/lista>

Canarinho · lista do Episódio 8

Depois da aula: o combo deste episódio

[Abrir arena](#)

Vídeo em capítulos



Vá direto ao trecho que precisa.

<https://professorcanario.com.br/m3/c8/video>

Lista no app



As questões deste episódio,
para treinar.

<https://professorcanario.com.br/m3/c8/lista>

Livro da minissérie



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

<https://professorcanario.com.br/mecanica3/livro/>