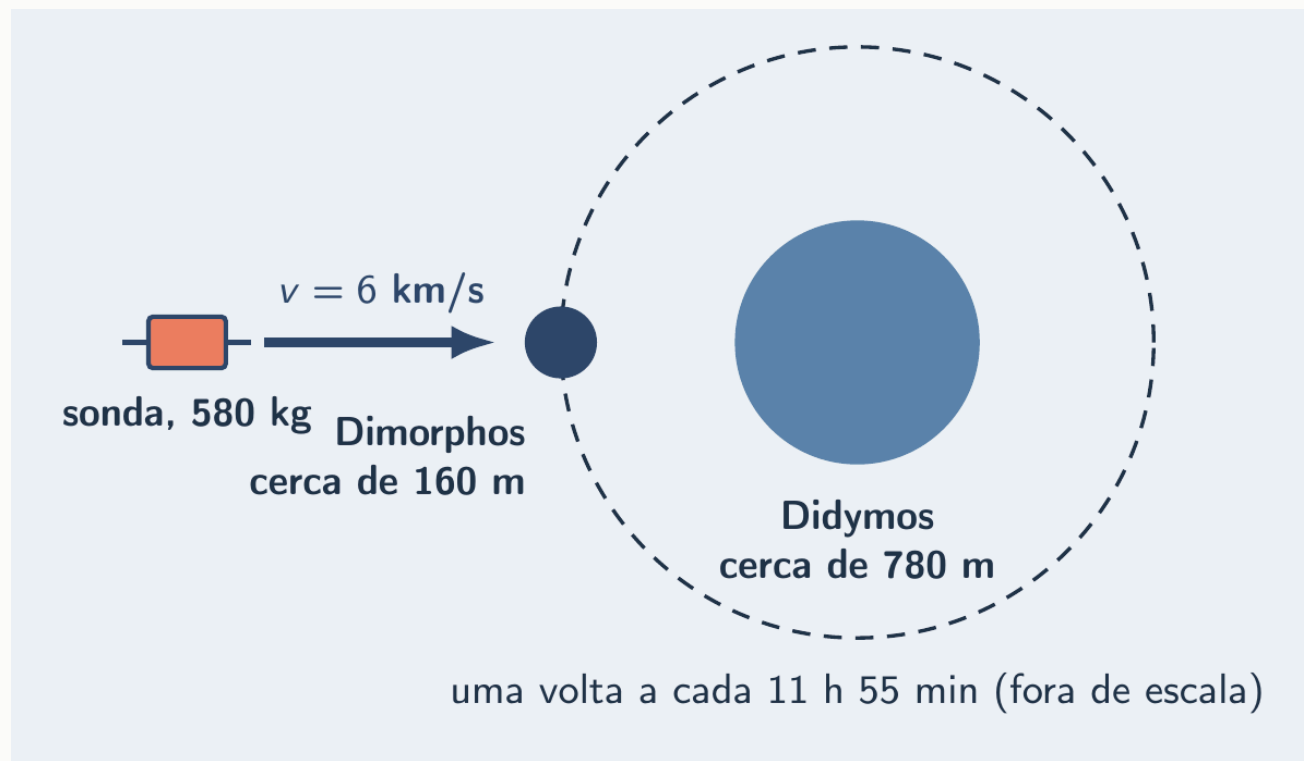


Mecânica II · Episódio 12

A sonda que empurrou um asteroide

Energia e quantidade de movimento juntas

O caso



- 26/09/2022 · sonda DART: cerca de 580 kg a **6 km/s** (21 600 km/h)
- alvo: Dimorphos (cerca de 160 m), lua de Didymos (cerca de 780 m)
- período: 11 h 55 min → **11 h 23 min** (-32 min)
- meta mínima: 73 s · resultado: mais de 25 vezes a meta

Pergunta do episódio

Como 580 kg mudam o caminho de uma montanha?

Conceito 1 – Energia cinética da sonda

$$E_c \text{ da sonda: } \frac{1}{2} \times 580 \times (6\,000)^2 = 1,04 \times 10^{10} \text{ J}$$



$$1 \text{ t de TNT: } 4,18 \times 10^9 \text{ J}$$



cabe 2,5 vezes na barra de cima

$$\text{chuveiro de } 5\,500 \text{ W por } 1 \text{ h: } 1,98 \times 10^7 \text{ J}$$

um traço: cabe 530 vezes na barra de cima

escalar: barra ou número, nunca seta

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2$$

- **escalar** → barra, nunca seta
- v ao quadrado: v dobra → E_c quadruplica
- diz o **tamanho do estrago**, não a direção

Exemplo resolvido – a energia do impacto

Cerca de 580 kg a 6 km/s (6 000 m/s)

Fórmula:

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2$$

Substituição:

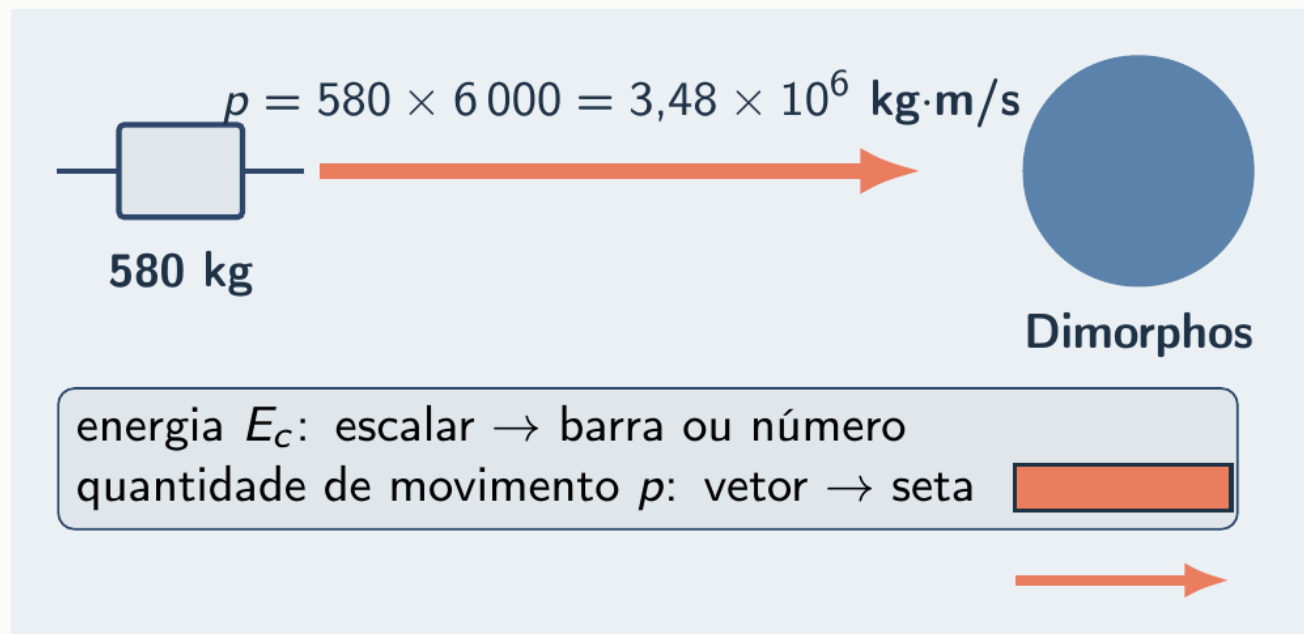
$$E_c = \frac{1}{2} \cdot 580 \cdot 3,6 \times 10^7$$

Resultado:

$$E_c \approx 1,04 \times 10^{10} \text{ J}$$

- cerca de 2,5 t de TNT

Conceito 2 – Quantidade de movimento



$$p = m v$$

- **vetor** $\rightarrow$ seta
- sistema isolado: p total conserva **sempre**
- E_c total: só na elástica

Exemplo resolvido – a seta da sonda

Mesmos 580 kg a 6 000 m/s

Fórmula:

$$p = m v$$

Substituição:

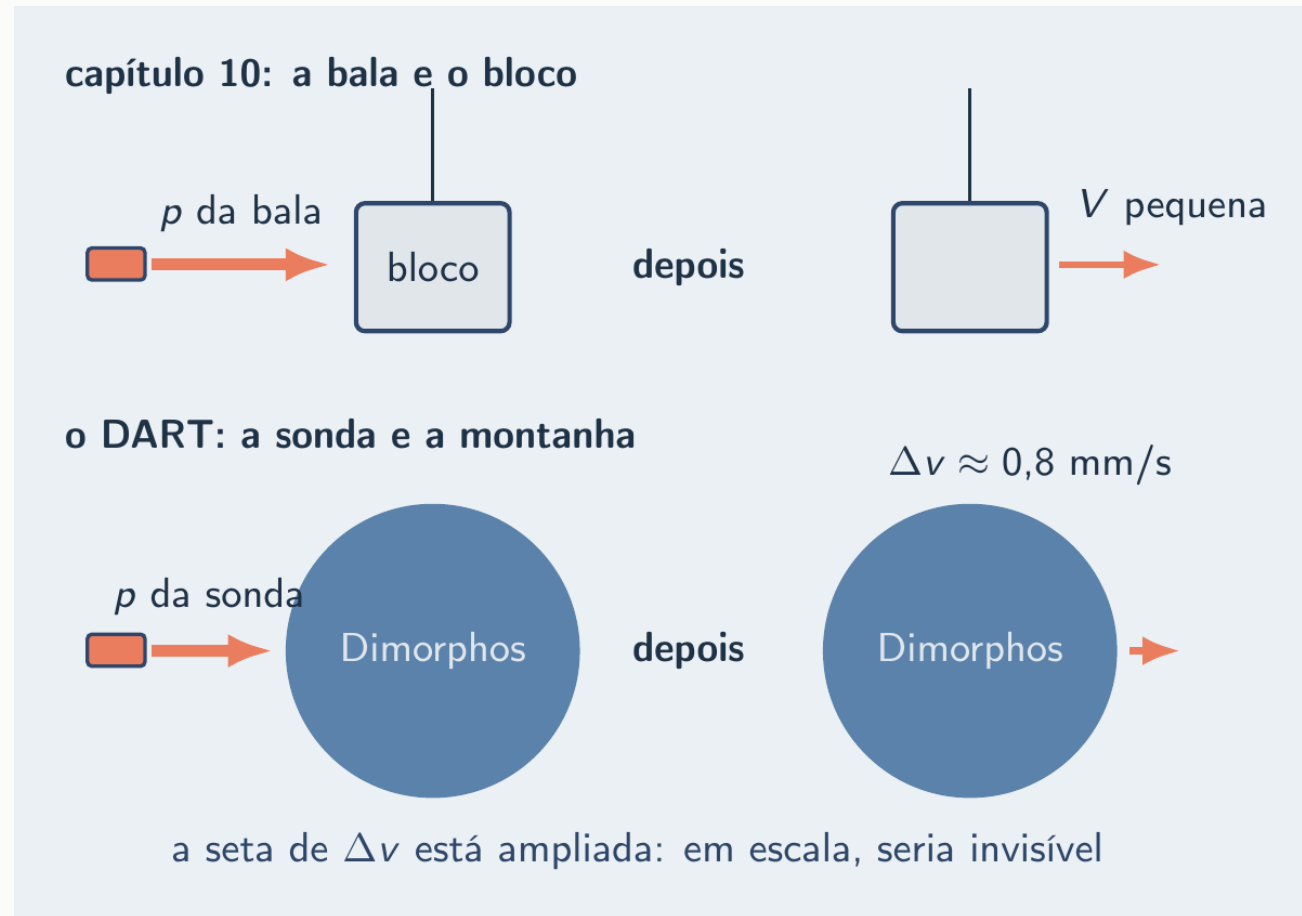
$$p = 580 \cdot 6\,000$$

Resultado:

$$p \approx \mathbf{3,5 \times 10^6 \text{ kg m/s}}$$

- rumo a Dimorphos

Conceito 3 – Pêndulo balístico invertido



- sistema: sonda + Dimorphos ·
isolado durante o choque

$$\Delta v = \frac{m v}{m + M} \approx \frac{m v}{M}$$

- ✗ igualar energias cinéticas

Exemplo resolvido – sem pedras (1/2)

M cerca de $4,3 \times 10^9$ kg, em repouso · sonda fica incorporada

Fórmula:

$$\Delta v \approx \frac{m v}{M}$$

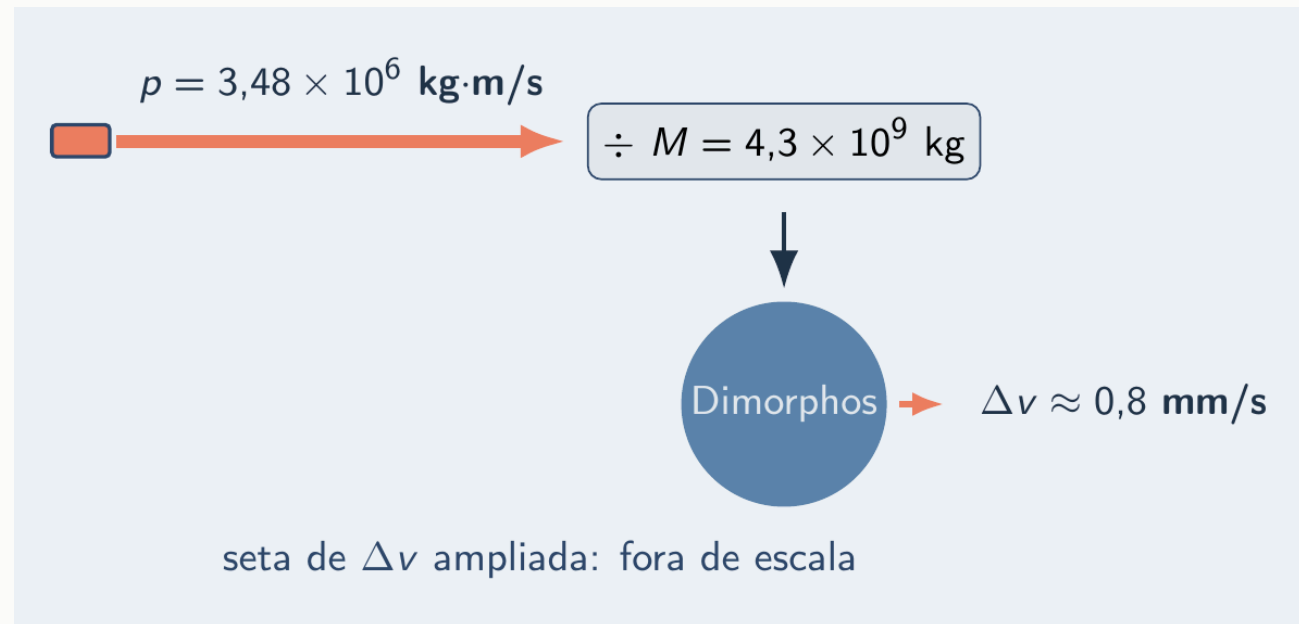
Substituição:

$$\Delta v = \frac{3,48 \times 10^6}{4,3 \times 10^9}$$

Resultado:

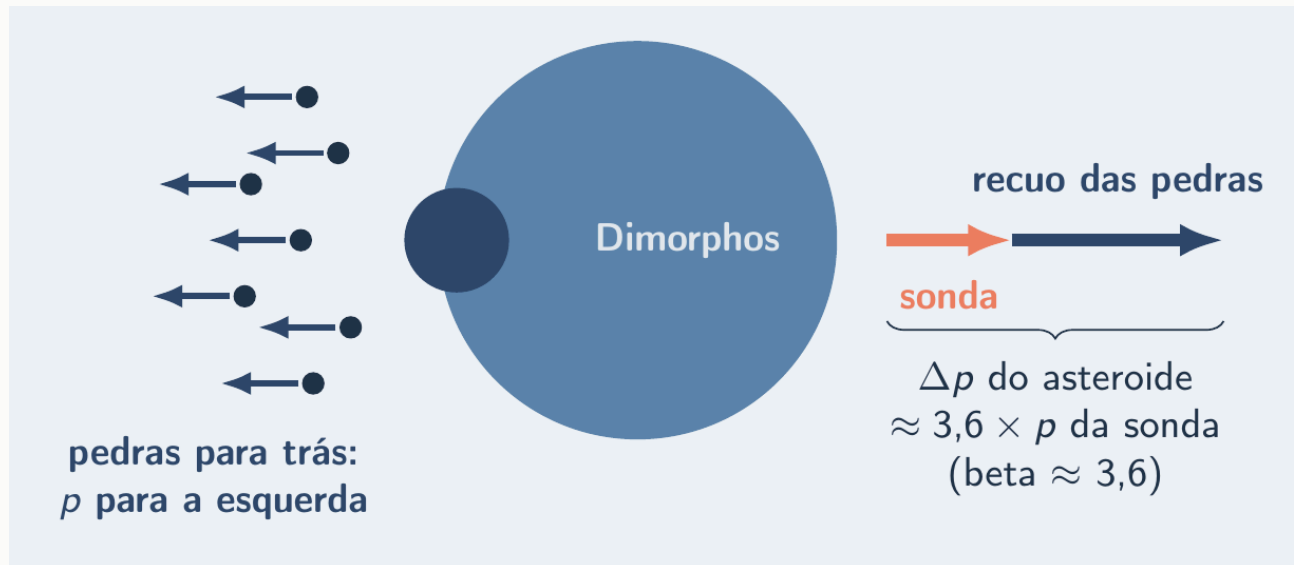
$$\Delta v \approx \mathbf{0,8 \text{ mm/s}}$$

Exemplo resolvido – sem pedras (2/2)



- menos de 1 mm/s

Conceito 4 – As pedras que voaram: β



- previsto 0,8 mm/s · medido cerca de **2,7 mm/s**
 - pedras para trás → recuo do alvo para a frente
- $$\beta = \frac{\Delta p_{\text{alvo}}}{p_{\text{sonda}}}$$
- β cerca de 3,6 (faixa de 2,2 a 4,9)

Exemplo resolvido – com o fator β

β cerca de 3,6 · empurrão só da sonda: 0,8 mm/s

Fórmula:

$$\Delta v = \beta \frac{m v}{M}$$

Substituição:

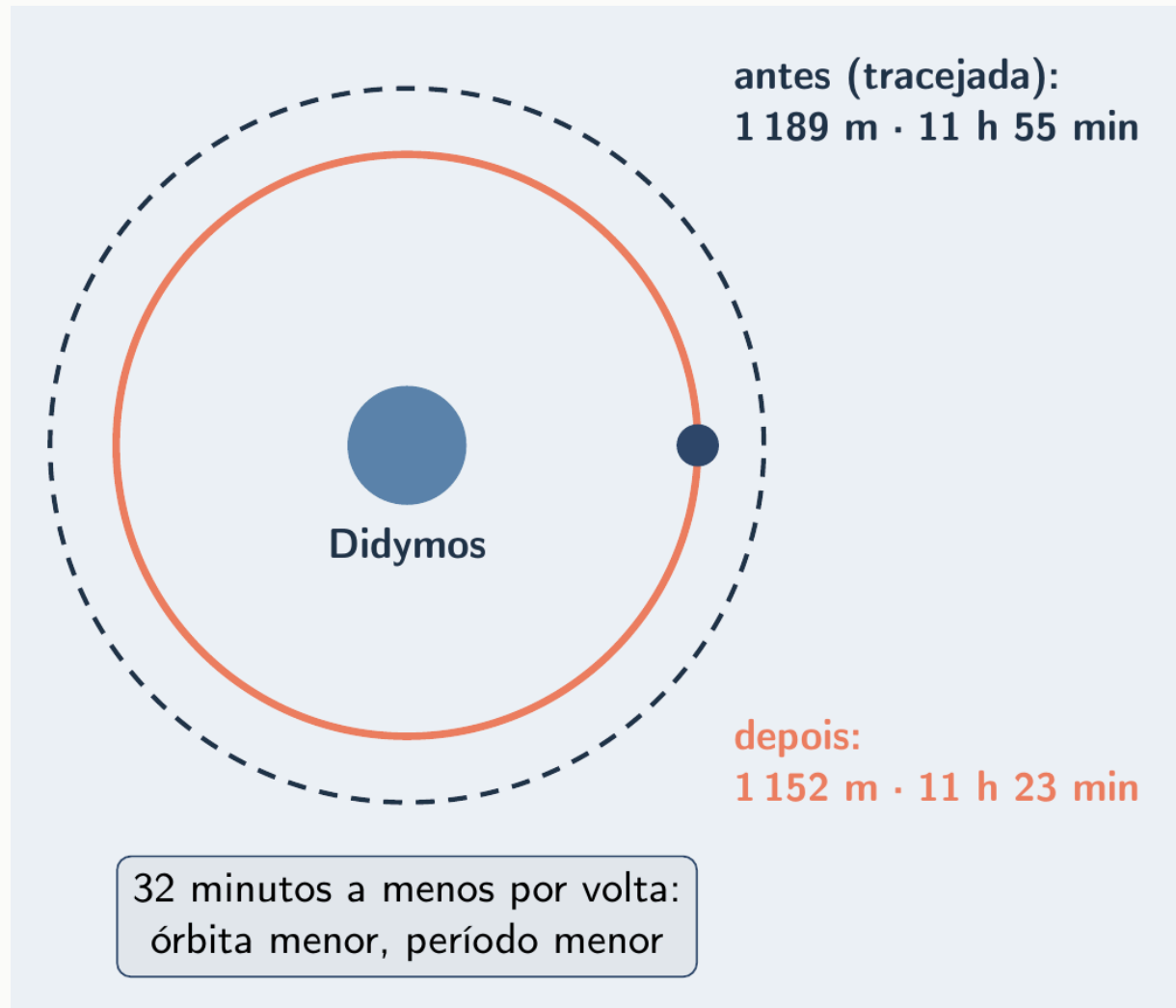
$$\Delta v = 3,6 \cdot 0,8$$

Resultado:

$$\Delta v \approx \mathbf{2,9 \text{ mm/s}}$$

- medido: 2,7 mm/s

Conceito 5 – De mm/s a minutos de órbita



- raio: 1 189 m $\rightarrow$ 1 152 m ·
período: -32 min
- freou a lua $\rightarrow$ órbita menor $\rightarrow$
período menor
- **medido:** período · **calculado:**
 Δv

Exemplo resolvido – contra a meta

Queda de período: 32 min · meta mínima: 73 s

Fórmula:

$$r = \frac{\Delta T}{T_{\text{meta}}}$$

Substituição:

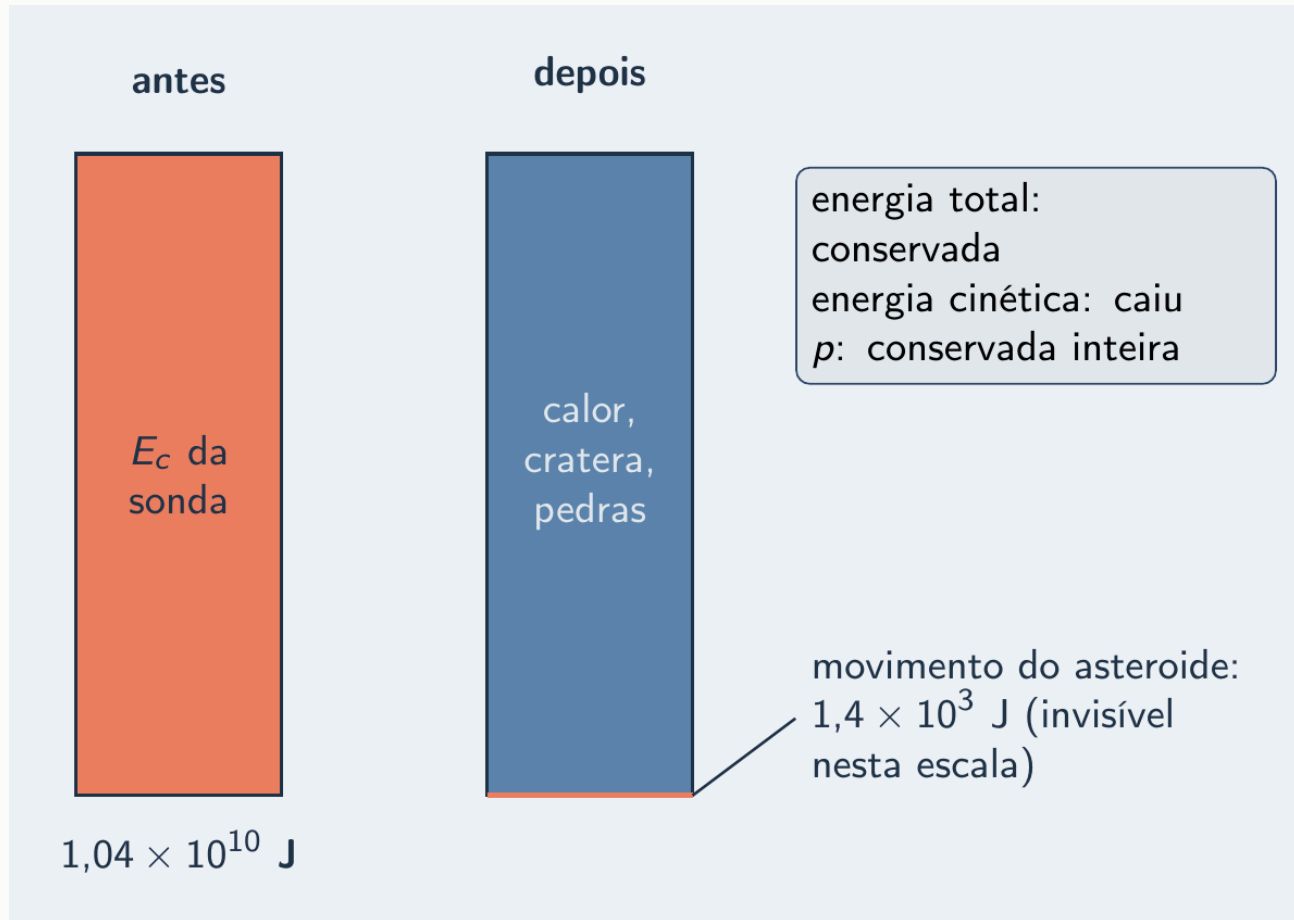
$$r = \frac{32 \cdot 60}{73} = \frac{1\,920}{73}$$

Resultado:

$$r \approx \mathbf{26}$$

- 26 vezes a meta

Conceito 6 – O extrato da energia



- E_c que sobra: fração $\frac{m}{m + M}$
- o resto: calor, cratera, pedras – não some
- p inteiro $\cdot E_c$ quase toda transformada

Exemplo resolvido – o que sobrou de movimento

Antes (E_i): $1,04 \times 10^{10} \text{ J} \cdot 580 \text{ kg}$ contra $4,3 \times 10^9 \text{ kg}$

Fórmula:

$$f = \frac{m}{m + M}$$

Substituição:

$$f = \frac{580}{4,3 \times 10^9}$$

Resultado:

$$f \approx \mathbf{1,35 \times 10^{-7}}$$

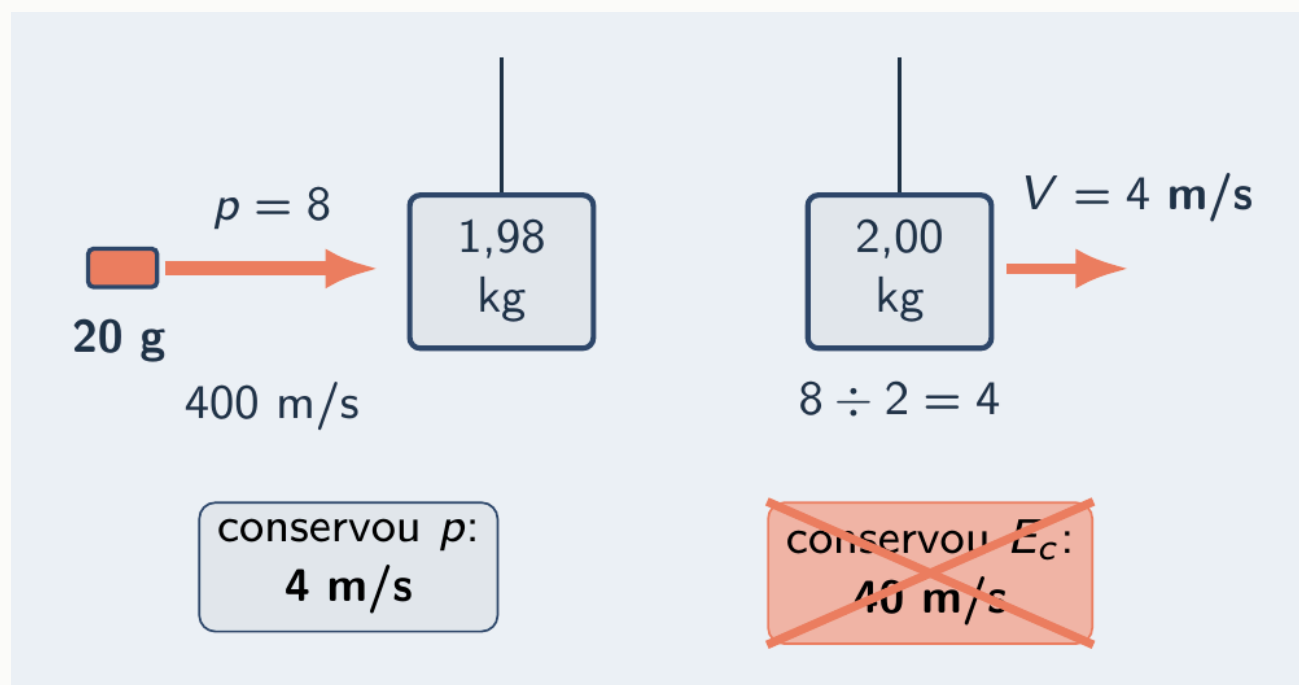
$$E_f = E_i f$$

$$E_f = 1,04 \times 10^{10} \cdot f$$

$$E_f \approx \mathbf{1,4 \times 10^3 \text{ J}}$$

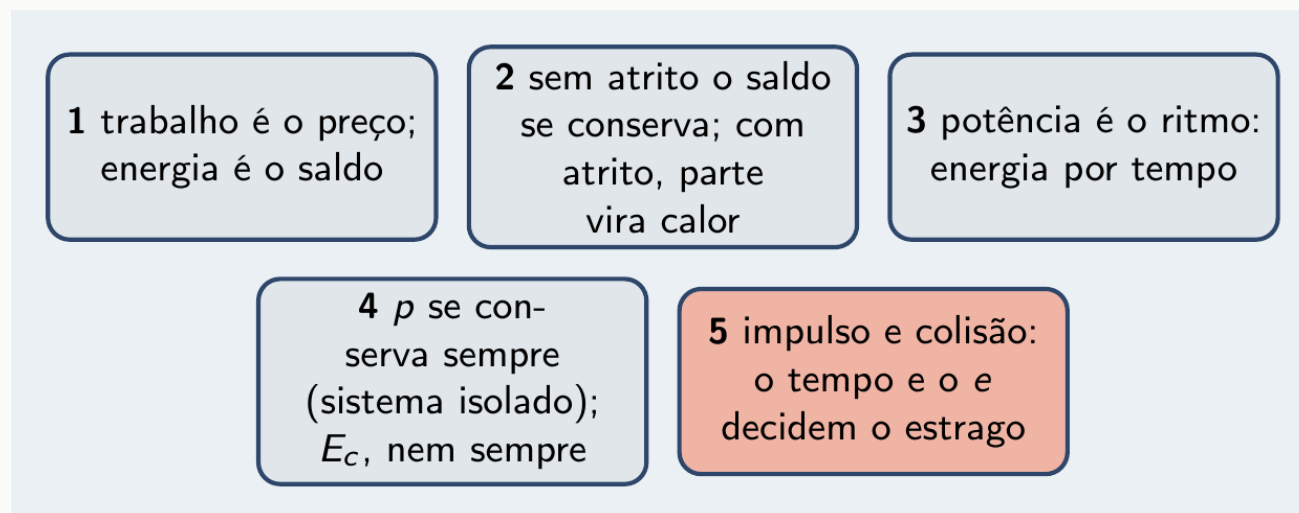
- erguer 70 kg a 2 m

Radar ENEM



- $\times$ E_c conservada quando os corpos ficam juntos (40 m/s)
- $\times$ esquecer o v^2 na energia
- $\times$ dividir pela massa do corpo leve
- $\times$ "no vácuo não há onde empurrar"
- $\checkmark$ bala 20 g a 400 m/s + bloco $1,98\text{ kg}$ $\rightarrow$ **4 m/s**

Resumo em cinco peças



1. trabalho paga, energia guarda
2. atrito: parte vira calor
3. potência: joules por segundo
4. p sempre; E_c às vezes
5. tempo e e decidem o estrago

Treine no jogo



QR do jogo → <https://professorcanario.com.br/m2/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/m2/c12/video>

Lista no app



As questões deste episódio,
para treinar.

<https://professorcanario.com.br/m2/c12/lista>

Livro da minissérie



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

<https://professorcanario.com.br/mecanica2/livro/>