

Física 1 – Ciências Moleculares

Caetano R. Miranda **AULA 22 – 23/11/2023**

crmiranda@usp.br

TRABALHO E ENERGIA MECÂNICA
CONSERVAÇÃO DE ENERGIA



Sugestão a ser implementada

DATA	aula n°	Segundas (14:00h - 15:45h) - Sala Turma 33	DATA	aula n°	Quartas (14:00h - 15:45h) - Sala Turma 33	DATA	aula n°	Quintas (14:00h - 15:45h) - Sala Turma 33	
21/08	1	Apresentação do Curso	23/08	2	Experimentação 1 - Escalas	24/08	3	Escalas	
28/08	4	Experimentação 2 - Mov. em 1 D	30/08	5	Mov. em 1D	31/08	6	Mov. em 1D	
04/09			06/08			07/09		SEMANA TRABALHO	
11/09	7	Mov. em 1D	13/09	8	Mov. em 1D	14/09	9	Experimentação 3 - VR & Projéteis	ENTREGA 1
18/09	10	Mov. em 2D e 3D	20/09	11	Mov. em 2D e 3D	21/09		Paralisação	
25/09		Paralisação	27/09		Paralisação	28/09		Paralisação	
02/10		Paralisação	04/10		Paralisação	05/10		Paralisação	
09/10		Paralisação	11/10		Paralisação	12/10		FERIADO - N. S. Aparecida	
16/10		Paralisação	18/10		Paralisação	19/10		Paralisação	
23/10	12	Discussao - revisao	25/10	13	Mov. em 2D e 3D	26/10	14	Experimentação 4a - Dinâmica & Principia	
30/10	15	Princípios da Dinâmica - Leis de Newton	01/11	16	Experimentação 5 - Energia e Trabalho	02/11		FERIADO - FINADOS	
06/11	17	PROVA I	08/11	18	Simetria e Conservação	09/11	19	Simetria e Conservação	ENTREGA 2
13/11	20	Experimentação 6 - Física dos Desenhos Animados	15/11		FERIADO - Republica	16/11	21	Experimentação 8 - VR / Sonificação	
20/11		FERIADO - Consciência Negra	22/11	22	Colisões	23/11	23	Experimentação 7 - Colisões	
27/11	24	Forças de Interação - Sala Invertida	29/11	25	Forças de Interação	30/11	26	PROVA II	ENTREGA 3
04/12	27	Experimentação 9 - Aprendizado de Máquina	06/12	28	Experimentação 9 - Aprendizado de Máquina	07/12	29	Física dos Esportes e Parques de Diversão	
11/12	30	Rotação e Momento Angular	13/12	31	Rotação e Momento Angular	14/12	32	Experimentação 10 - Dança e Robótica	
18/12	33	Forças Inerciais	20/12	34	Forças Inerciais	21/12		PROVA - SUB - VISTA	ENTREGA 4

Conservação da Energia Mecânica

Energia mecânica:

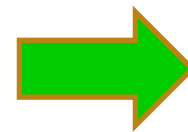
$$E_{mec} = T + U$$

A energia mecânica de um sistema de partículas é conservada ($E_{mec} = cte$) se o trabalho total realizado por todas as forças externas e por todas as forças internas não-conservativas for nulo.

$$W_{ext} = \Delta E_{mec} - W_{nc}$$

para

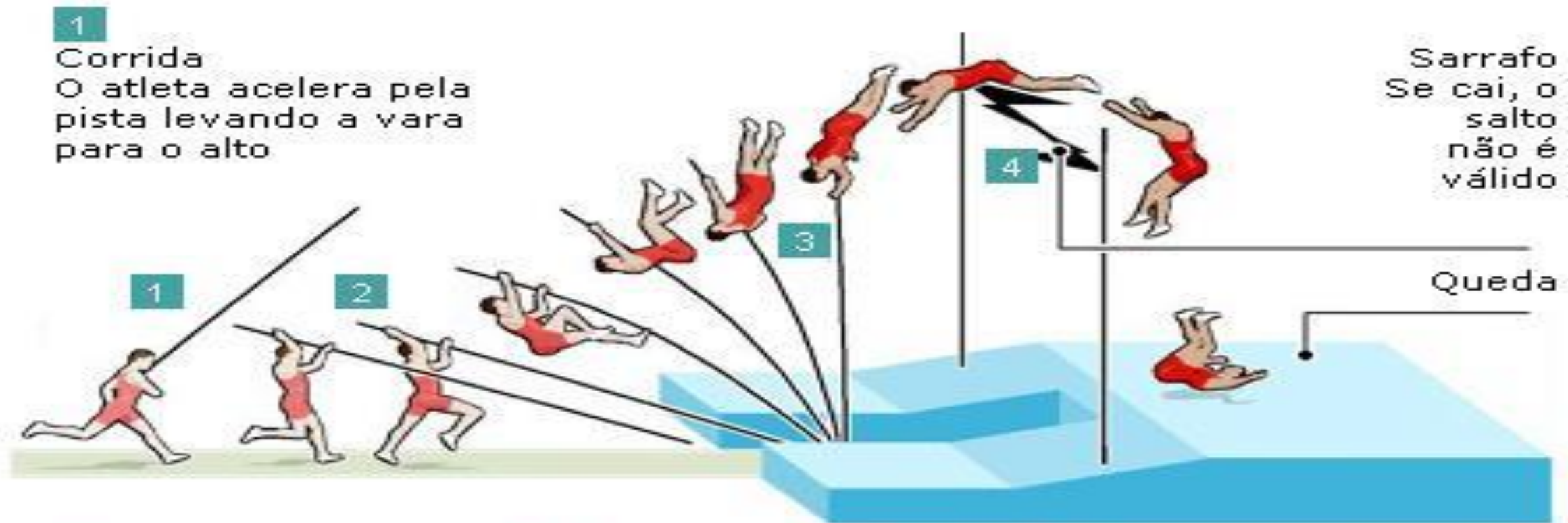
$$\left\{ \begin{array}{l} W_{ext} = 0 \\ W_{nc} = 0 \end{array} \right.$$



$$\begin{array}{l} \Delta E_{mec} = 0 \\ \Delta T + \Delta U = 0 \end{array}$$

Olimpíadas: Salto com varas

Homens (desde 1896 - Atenas) / Mulheres (desde 2000 - Sydney)



1

Corrida
O atleta acelera pela pista levando a vara para o alto

1

2

3

4

Sarrafo
Se cai, o salto não é válido

Queda

2

Impulsão
A velocidade diminui ao baixar a vara para fincá-la na caixa de apoio.

3

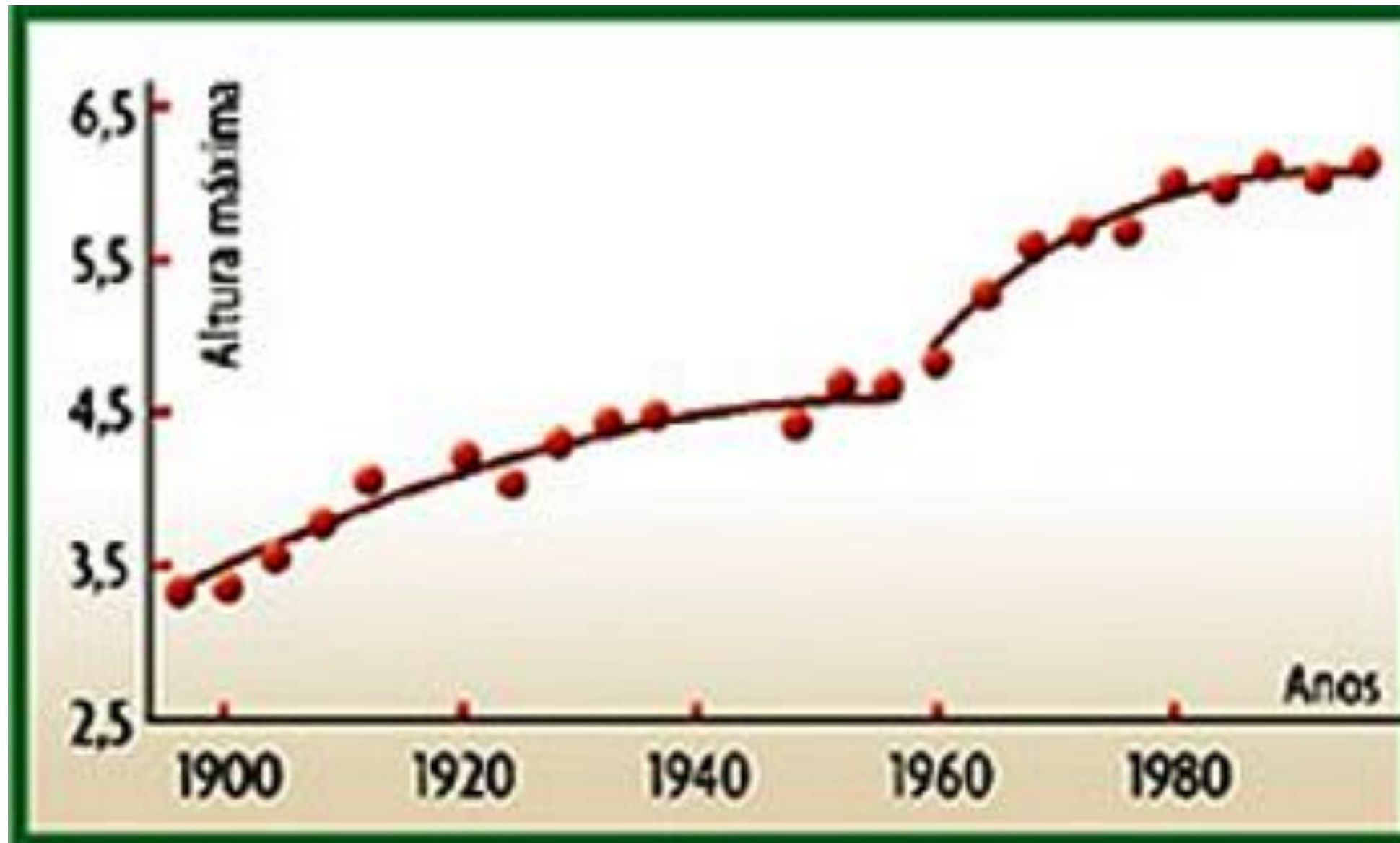
Vôo
O impulso para a frente e a flexibilidade da vara lançam o atleta para cima.

4

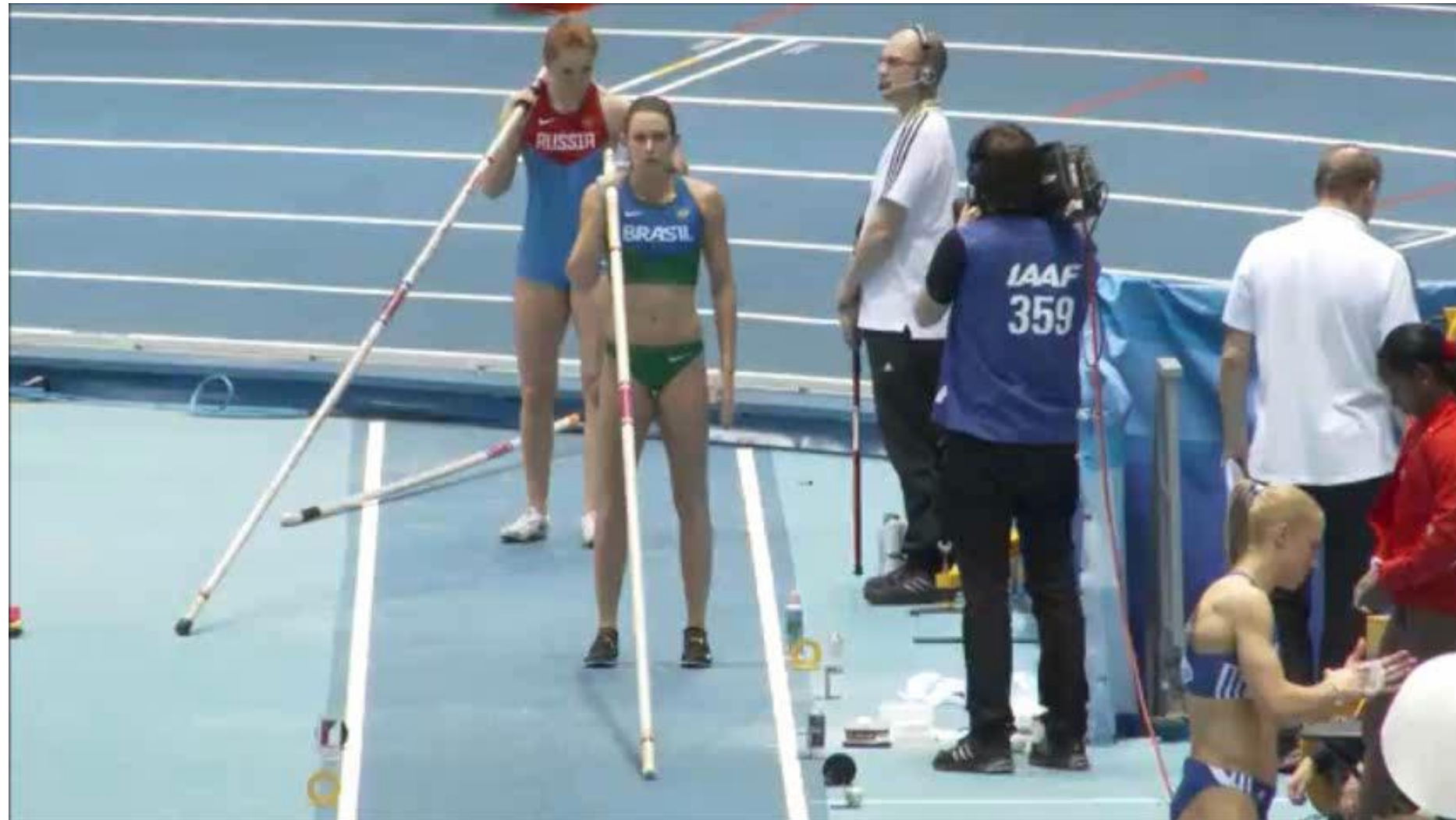
Queda
Superando o sarrafo, o atleta estica as pernas, gira o corpo, e amortece a queda.

Momento Olímpico – Salto com vara

“Correr mais rápido para saltar mais alto”



Salto com varas



Salto com varas

A maior parte da energia potencial gravitacional de um ou uma atleta ao atingir o ponto mais alto tem origem na energia cinética acumulada na corrida.

Após correr cerca de 15 m, o atleta atinge uma velocidade de $\sim 10\text{m/s}$.

Igualando a energia cinética no final da corrida com a energia potencial, temos:

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh$$

O centro de massa do(a) atleta sobe de:

$$h = \frac{v^2}{2g}$$

Lembrando que o centro de massa está $\sim 1\text{m}$ acima do chão

Salto com varas (homens versus mulheres)

Como a energia cinética é proporcional ao quadrado da velocidade e a energia potencial gravitacional é proporcional à altura, um aumento de velocidade de 1% implica em um aumento da altura do salto da ordem de 2%.

Isso explica porque homens saltam mais alto que mulheres:

Atletas de elite homens atingem, antes do salto, velocidades da ordem de 9,0 m/s ou um pouco mais do que isso, e mulheres, pouco mais de 8 m/s.

A razão entre suas energias cinéticas (supondo que seus pesos sejam iguais) é da ordem de $9/8$ ao quadrado, o que dá um fator 1,27.

Ou seja, homens sobem 1,27 vezes mais do que mulheres.

Salto com varas (homens versus mulheres)

O recorde masculino, que pertence a Renaud Lavillenie, é de 6,16 m. O recorde feminino, obtido por Yelena Isinbayeva, é de 5,06 m.

Mas como o centro de massa do ou da atleta está a cerca de um metro do chão antes do salto, Renaud Lavillenie subiu cerca de 5,14 m e Yelena Isinbayeva, 4,05 m.

Portanto, o aumento das energia potenciais desses dois atletas está na razão $5,14/4,05$, que é igual a $1,27$, a mesma que a razão de suas energias cinéticas antes do salto.

(O fato das duas razões darem exatamente iguais, $1,27$, foi um acaso.)

Conclusão (tendo o mesmo peso):

Homens saltam mais alto que mulheres porque correm mais rápido.

Quanto mais rápido a Fabiana Murer precisa correr para atingir o recorde mundial?



O melhor salto da grande atleta Fabiana Murer é de 4,85 m e, portanto, seu centro de massa subiu aproximadamente 3,85 m.

Para atingir o recorde mundial, de 6,14 m, seu centro de massa precisaria subir cerca de 5,14 m.

Ou seja, a energia potencial ganha deveria crescer na razão $5,14/4,85=1,06$.

Quanto mais rápido a Fabiana Murer precisa correr para atingir o recorde mundial?



Aumentar a energia cinética acumulada na corrida por um fator 1,06
Aumentar a velocidade por uma fator 1,03.

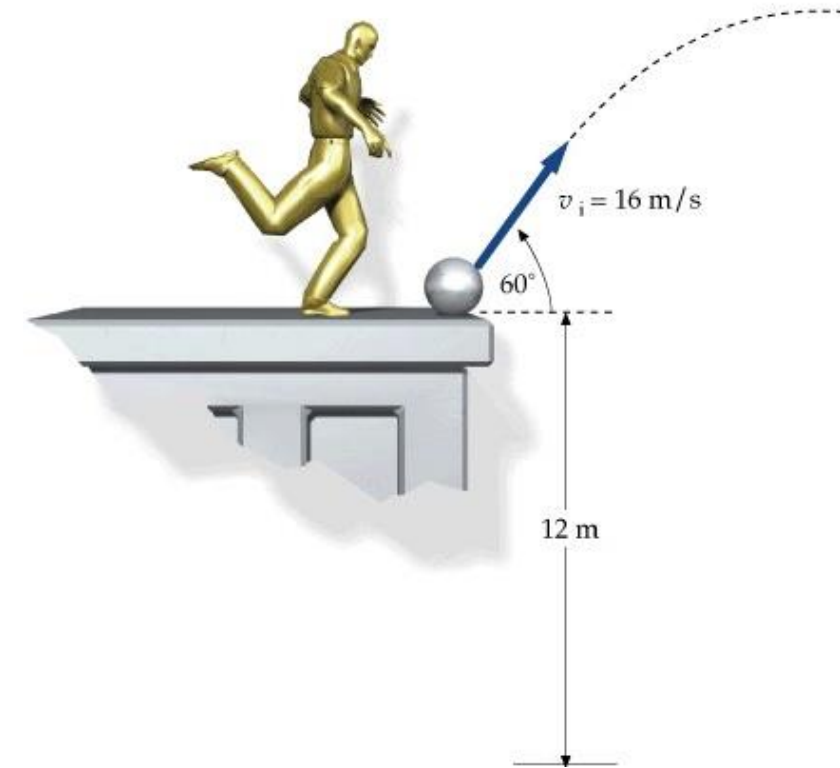
Por exemplo, se corre a 8,0 m/s (28,8 km/h), bastaria correr um pouquinho mais rápido, a 8,2 m/s (29,5 km/h).

Mesmo essa diferença, não é nada fácil aumentar apenas um “pouquinho” a velocidade quando se está próximo do limite que as melhores atletas conseguem.

Exercício

Próximo à borda da laje de um prédio de 12 m de altura, uma bola é chutada com uma rapidez inicial de 16 m/s a um ângulo de 60°. Desprezando a resistência do ar, encontre:

(a) a altura máxima atingida pela bola



Sistema: bola + Terra $\Rightarrow W_{ext} = \Delta E_{mec} - W_{nc}$

$$\left. \begin{array}{l} W_{ext} = 0 \\ W_{nc} = 0 \end{array} \right\}$$

$$0 = \Delta E_{mec} - 0$$

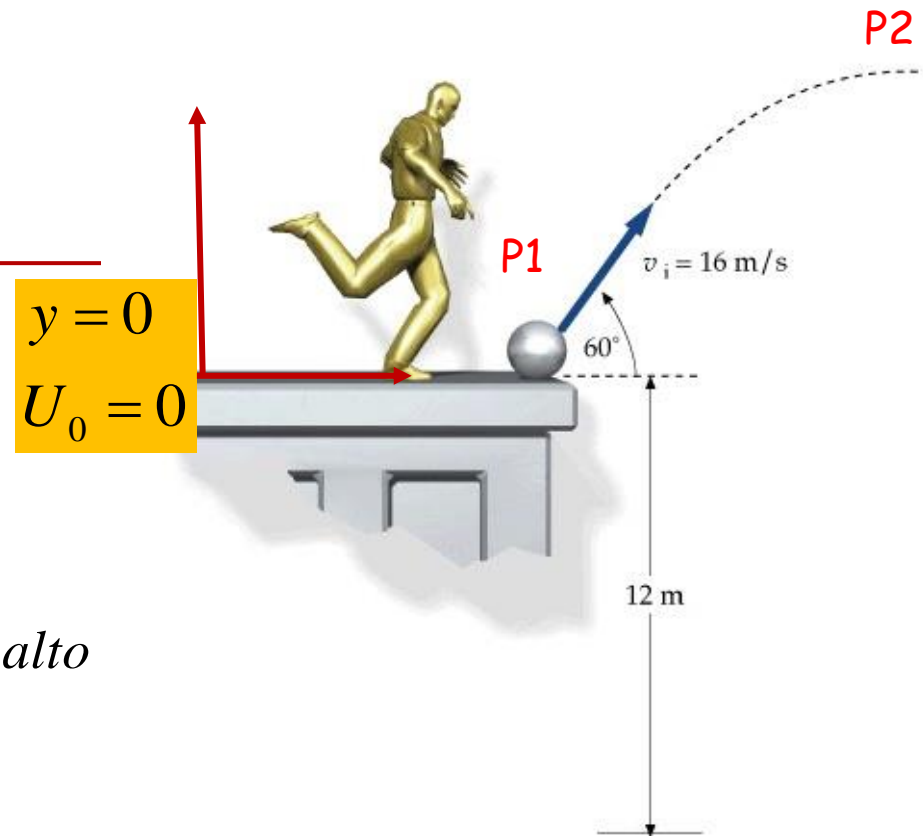
$$\Delta E_{mec} = \Delta T_{sist} + \Delta U_{sist} = 0$$

Energia Mecânica do sistema se conserva

$$E_{mec_{laje}} = E_{mec_{alto}}$$

$$E_{P_1} = E_{P_2} \quad T_{laje} + U_{laje} = T_{alto} + U_{alto}$$

$$y = 0$$
$$U_0 = 0$$



Mas,

$$v_{laje} = 16 \text{ m/s}$$

$$y_{laje} = 0$$

$$v_{alto} = v_{laje} \cos \theta$$

$$\frac{1}{2} m v_{laje}^2 + m g y_{laje} = \frac{1}{2} m v_{alto}^2 + m g y_{alto}$$

$$y_{alto} = \frac{v_{laje}^2 - v_{alto}^2}{2g} = \frac{v_{laje}^2 (1 - \cos^2 \theta)}{2g} = 9,8 \text{ m}$$

(b) sua rapidez ao tocar o solo.

$$E_{mecP1} = E_{mecP2}$$

$$E_{mec_{laje}} = E_{mec_{solo}}$$

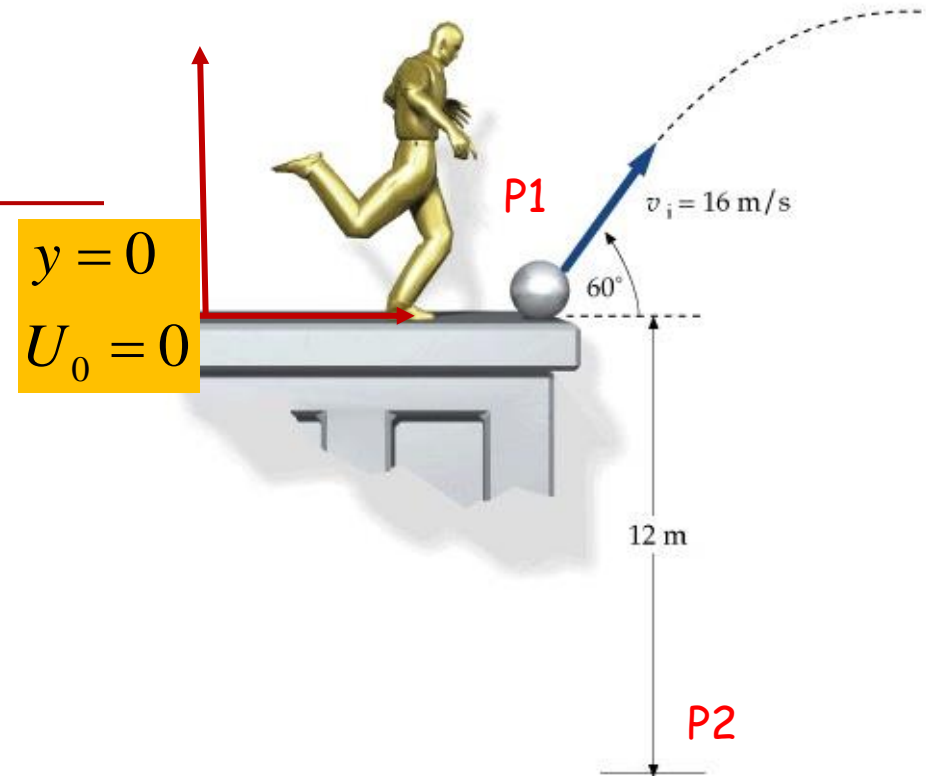
$$T_{laje} + U_{laje} = T_{solo} + U_{solo}$$

$$\frac{1}{2}mv_{laje}^2 + mgy_{laje} = \frac{1}{2}mv_{solo}^2 + mgy_{solo}$$

$$v_{solo}^2 = v_{laje}^2 - 2gy_{solo}$$

$$v_{solo} = \sqrt{v_{laje}^2 - 2gy_{solo}} = 22,16 \text{ m/s}$$

$$y = 0$$
$$U_0 = 0$$



Mas:

$$y_{laje} = 0$$

$$v_{laje} = 16 \text{ m/s}$$

$$y_{solo} = -12 \text{ m}$$

Exercício

Um bloco de massa 2kg é empurrado por 20cm contra uma mola ($k=500\text{N/m}$) em uma superfície. Quando o bloco é liberado a mola se descomprime e este desliza subindo um plano com ângulo de 45° . Qual é a altura final atingida pelo bloco sobre a rampa, ao parar. Despreze o atrito.

Sistema: elementos da figura + Terra

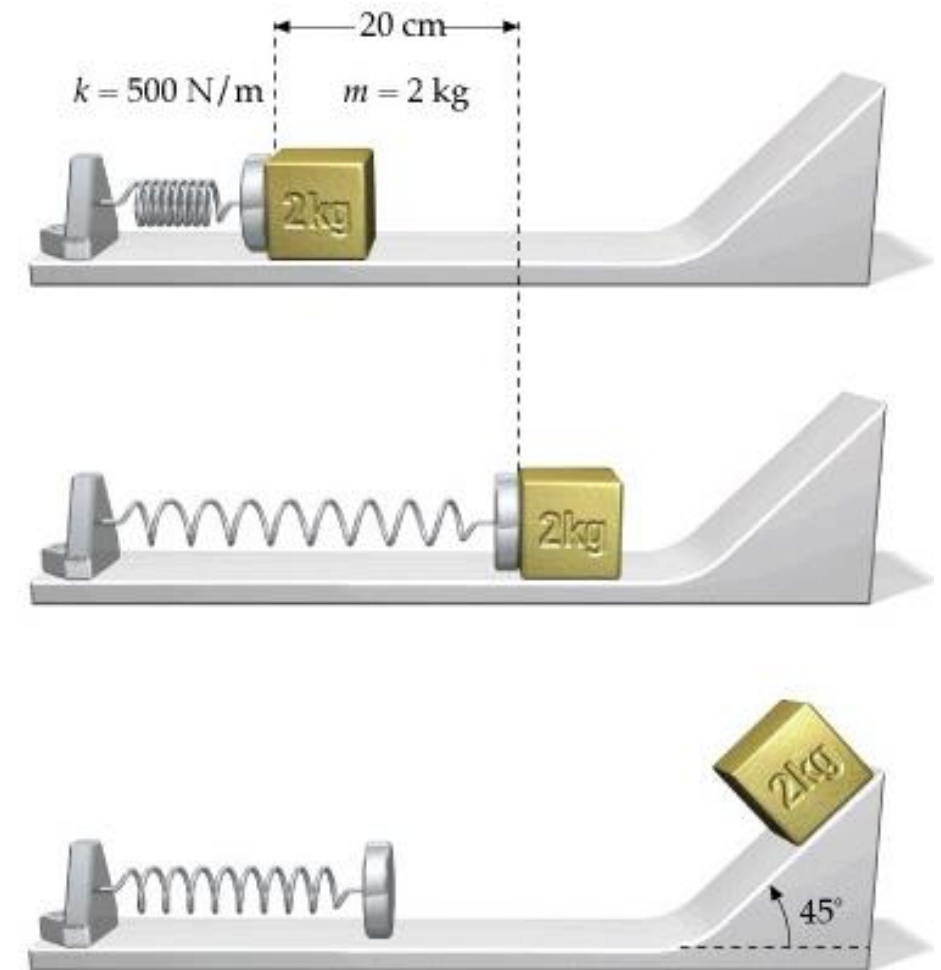
$$W_{ext} = \Delta E_{mec} - W_{nc}$$

$$E_{mec} = T + U$$

$$W_{ext} = 0$$

$$W_{nc} = 0$$

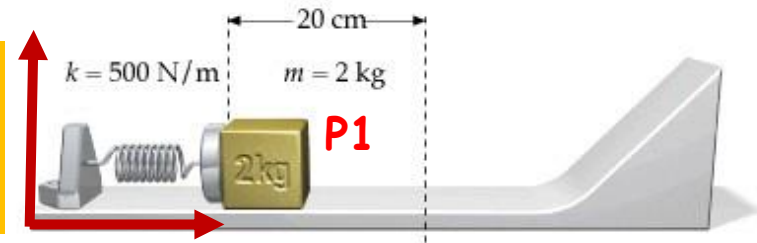
$$E_i = E_f$$



Energia Mecânica do sistema se conserva

$$E_i = E_f$$

$$y = 0$$
$$U_0 = 0$$



$$\frac{1}{2} m v_i^2 + m g y_i + \frac{1}{2} k x_i^2 = \frac{1}{2} m v_f^2 + m g y_f + \frac{1}{2} k x_f^2$$



Mas, $v_i=0$, $y_i=0$, $v_f=0$, e $x_f=0$



$$\frac{1}{2} k x_i^2 = m g y_f$$

$$y_f = \frac{k x_i^2}{2 m g} = 0,51 m$$

Exercício

O carrinho em uma montanha russa parte de uma altura H . Quando ele está entrando no loop, cai um saco de areia sobre ele, que reduz a velocidade em 25%. Considere que o loop tem metade da altura inicial e despreze os atritos. O carrinho conseguirá completar o loop?

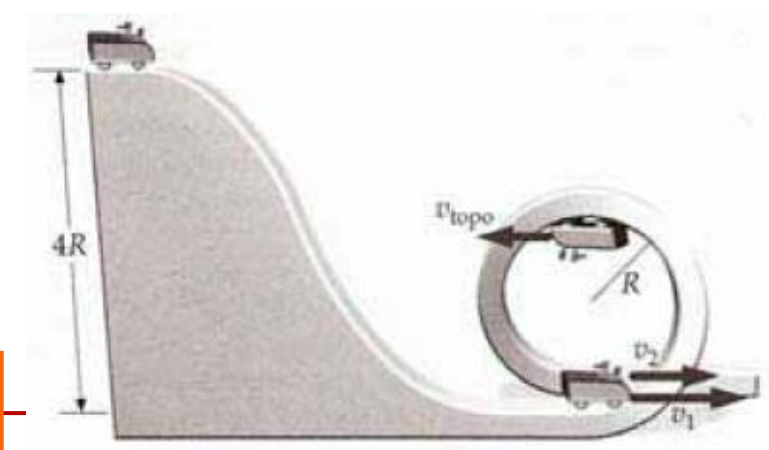
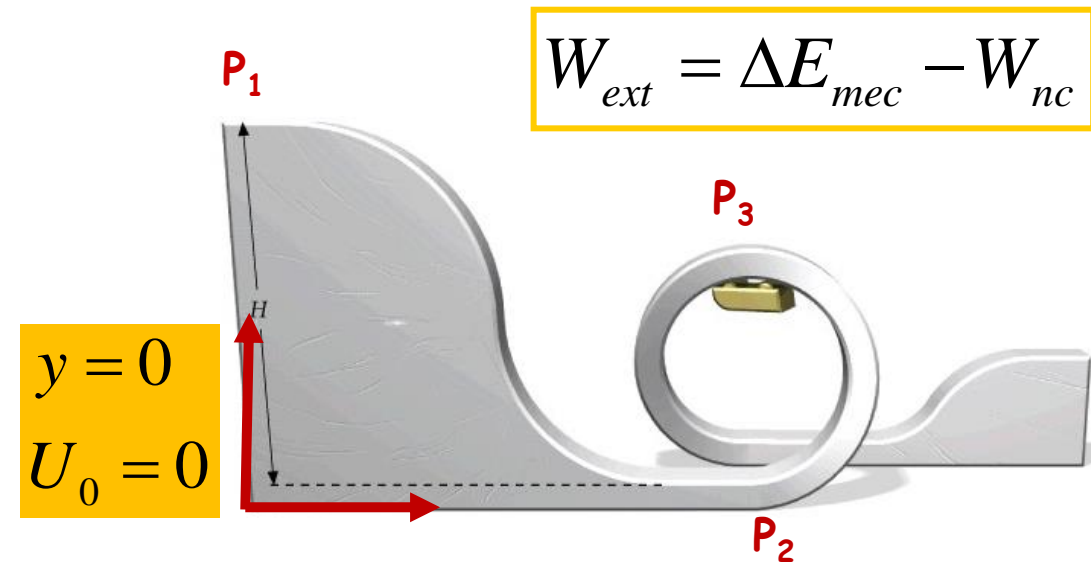
$$\left. \begin{array}{l} W_{ext} = 0 \\ W_{nc} = 0 \end{array} \right\} \text{Energia Mecânica do sistema se conserva}$$

$$E_1 = E_2$$

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + mgy_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgy_2$$

$$mg4R = \frac{1}{2}mv_2^2$$

~~$$v_2 = \sqrt{8Rg} \Rightarrow v'_2 = 0,75v_2 = 0,75\sqrt{8Rg}$$~~



$$E_2 = E_3$$

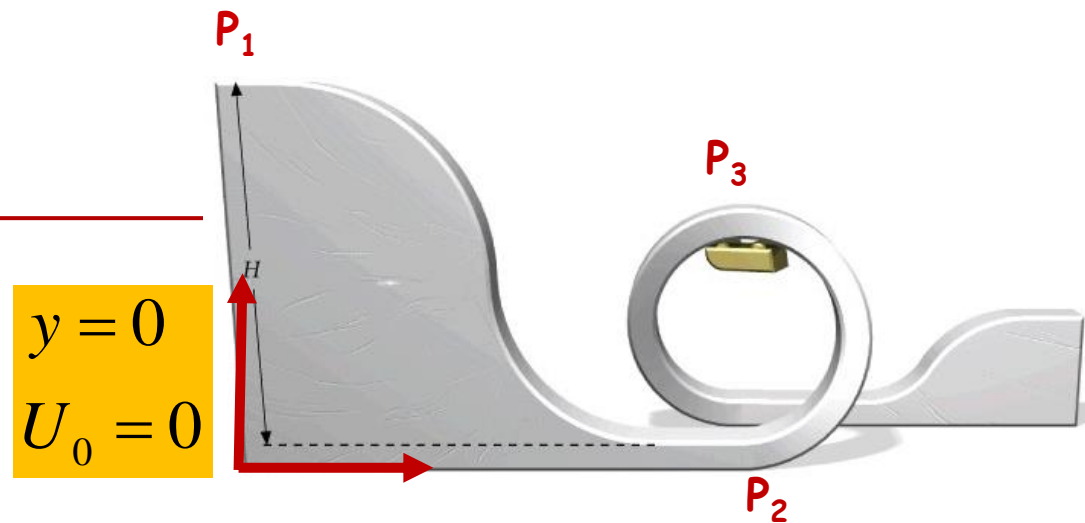
$$\frac{1}{2}mv_2'^2 + mgy_2 = \frac{1}{2}mv_3^2 + mgy_3$$

$$\frac{1}{2}mv_2'^2 = \frac{1}{2}mv_3^2 + mg2R$$

$$v_3^2 = 0,75^2 \times 8Rg - 4Rg = 0,5Rg$$

$$v_3^2 < v_{topo}^2$$

O carrinho não completa o loop !!!



$$F_{cep} = m \frac{v_{topo}^2}{R}$$

$$F_n + mg = m \frac{v_{topo}^2}{R}$$

Limite para completar o loop $F_n=0$

$$v_{topo}^2 = gR$$

