

Slobodni pad i otpor zraka

Duje Jerić- Miloš

26. rujna 2024.

Slobodni pad

► Težina tijela =

Slobodni pad

- ▶ Težina tijela = Koliko jako ga Zemlja privlači.

Slobodni pad

- ▶ Težina tijela = Koliko jako ga Zemlja privlači.
- ▶ Bacimo čekić i pero, što prije pada? Zašto?

Slobodni pad

- ▶ Težina tijela = Koliko jako ga Zemlja privlači.
- ▶ Bacimo čekić i pero, što prije pada? Zašto?
- ▶ Ispustimo sljedeće predmete:

Slobodni pad

- ▶ Težina tijela = Koliko jako ga Zemlja privlači.
- ▶ Bacimo čekić i pero, što prije pada? Zašto?
- ▶ Ispustimo sljedeće predmete:
 - 0. Dvije kovanice od 50C

Slobodni pad

- ▶ Težina tijela = Koliko jako ga Zemlja privlači.
- ▶ Bacimo čekić i pero, što prije pada? Zašto?
- ▶ Ispustimo sljedeće predmete:
 0. Dvije kovanice od 50C (iste težine isto padaju)

Slobodni pad

- ▶ Težina tijela = Koliko jako ga Zemlja privlači.
- ▶ Bacimo čekić i pero, što prije pada? Zašto?
- ▶ Ispustimo sljedeće predmete:
 0. Dvije kovanice od 50C (iste težine isto padaju)
 1. Kovanica od 20C i 50C

Slobodni pad

- ▶ Težina tijela = Koliko jako ga Zemlja privlači.
- ▶ Bacimo čekić i pero, što prije pada? Zašto?
- ▶ Ispustimo sljedeće predmete:
 0. Dvije kovanice od 50C (iste težine isto padaju)
 1. Kovanica od 20C i 50C (različite težine isto padaju)

Slobodni pad

- ▶ Težina tijela = Koliko jako ga Zemlja privlači.
- ▶ Bacimo čekić i pero, što prije pada? Zašto?
- ▶ Ispustimo sljedeće predmete:
 0. Dvije kovanice od 50C (iste težine isto padaju)
 1. Kovanica od 20C i 50C (različite težine isto padaju)
 2. Ravni i zgužvani papir

Slobodni pad

- ▶ Težina tijela = Koliko jako ga Zemlja privlači.
- ▶ Bacimo čekić i pero, što prije pada? Zašto?
- ▶ Ispustimo sljedeće predmete:
 0. Dvije kovanice od 50C (iste težine isto padaju)
 1. Kovanica od 20C i 50C (različite težine isto padaju)
 2. Ravni i zgužvani papir (iste težine različito padaju)

Slobodni pad

- ▶ Težina tijela = Koliko jako ga Zemlja privlači.
- ▶ Bacimo čekić i pero, što prije pada? Zašto?
- ▶ Ispustimo sljedeće predmete:
 0. Dvije kovanice od 50C (iste težine isto padaju)
 1. Kovanica od 20C i 50C (različite težine isto padaju)
 2. Ravni i zgužvani papir (iste težine različito padaju)
 3. Knjiga (A4) i papir (A4)

Slobodni pad

- ▶ Težina tijela = Koliko jako ga Zemlja privlači.
- ▶ Bacimo čekić i pero, što prije pada? Zašto?
- ▶ Ispustimo sljedeće predmete:
 0. Dvije kovanice od 50C (iste težine isto padaju)
 1. Kovanica od 20C i 50C (različite težine isto padaju)
 2. Ravni i zgužvani papir (iste težine različito padaju)
 3. Knjiga (A4) i papir (A4) (različite težine različito padaju)

Slobodni pad

- ▶ Težina tijela = Koliko jako ga Zemlja privlači.
- ▶ Bacimo čekić i pero, što prije pada? Zašto?
- ▶ Ispustimo sljedeće predmete:
 0. Dvije kovanice od 50C (iste težine isto padaju)
 1. Kovanica od 20C i 50C (različite težine isto padaju)
 2. Ravni i zgužvani papir (iste težine različito padaju)
 3. Knjiga (A4) i papir (A4) (različite težine različito padaju)
- ▶ Confused?

Slobodni pad

- ▶ Težina tijela = Koliko jako ga Zemlja privlači.
- ▶ Bacimo čekić i pero, što prije pada? Zašto?
- ▶ Ispustimo sljedeće predmete:
 0. Dvije kovanice od 50C (iste težine isto padaju)
 1. Kovanica od 20C i 50C (različite težine isto padaju)
 2. Ravni i zgužvani papir (iste težine različito padaju)
 3. Knjiga (A4) i papir (A4) (različite težine različito padaju)
- ▶ Confused?
- ▶ Iz 2 vidimo: Nešto osim težine djeluje papir (Što?)

Slobodni pad

- ▶ Težina tijela = Koliko jako ga Zemlja privlači.
- ▶ Bacimo čekić i pero, što prije pada? Zašto?
- ▶ Ispustimo sljedeće predmete:
 0. Dvije kovanice od 50C (iste težine isto padaju)
 1. Kovanica od 20C i 50C (različite težine isto padaju)
 2. Ravni i zgužvani papir (iste težine različito padaju)
 3. Knjiga (A4) i papir (A4) (različite težine različito padaju)
- ▶ Confused?
- ▶ Iz 2 vidimo: Nešto osim težine djeluje papir (Što?) Efekti 2 i 3 se javljaju zbog zraka i kompliciraju analizu.

Slobodni pad (u vakuumu)

- ▶ Pretpostavimo da smo izbacili zrak (zanemarimo otpor zraka).

Slobodni pad (u vakuumu)

- ▶ Pretpostavimo da smo izbacili zrak (zanemarimo otpor zraka).
- ▶ Tijela različitih masa

Slobodni pad (u vakuumu)

- ▶ Pretpostavimo da smo izbacili zrak (zanemarimo otpor zraka).
- ▶ Tijela različitih masa \implies Zemlja ih privlači različitim silama

Slobodni pad (u vakuumu)

- ▶ Pretpostavimo da smo izbacili zrak (zanemarimo otpor zraka).
- ▶ Tijela različitih masa \implies Zemlja ih privlači različitim silama
 \implies Ali padaju istovremeno. Zašto?

Slobodni pad (u vakuumu)

- ▶ Pretpostavimo da smo izbacili zrak (zanemarimo otpor zraka).
- ▶ Tijela različitih masa \implies Zemlja ih privlači različitim silama \implies **ALI** padaju istovremeno. Zašto?
- ▶ Zato što su **inercijalna** masa i **gravitacijska** masa jednake.

Slobodni pad (u vakuumu)

- ▶ Pretpostavimo da smo izbacili zrak (zanemarimo otpor zraka).
- ▶ Tijela različitih masa \implies Zemlja ih privlači različitim silama \implies **ALI** padaju istovremeno. Zašto?
- ▶ Zato što su **inercijalna** masa i **gravitacijska** masa jednake.
- ▶ Video čekić i pero (Zemlja, vakuum):
<https://www.youtube.com/watch?v=s9Zb3xAgIoY>;
(Mjesec):
<https://www.youtube.com/watch?v=0o8TaPVsn9Y>

Otpor zraka

- ▶ Tijela različitih oblika padaju različitim brzinama (zgužvani i ravni papir)

Otpor zraka

- ▶ Tijela različitih oblika padaju različitim brzinama (zgužvani i ravni papir)
- ▶ Bitna je površina koja udara u zrak (poprečni presjek):

Otpor zraka

- ▶ Tijela različitih oblika padaju različitim brzinama (zgužvani i ravni papir)
- ▶ Bitna je površina koja udara u zrak (poprečni presjek): veću površinu udari više atoma i molekula i tako tijelo više uspori (ovo objašnjava 2)

Otpor zraka

- ▶ Tijela različitih oblika padaju različitim brzinama (zgužvani i ravni papir)
- ▶ Bitna je površina koja udara u zrak (poprečni presjek): veću površinu udari više atoma i molekula i tako tijelo više uspori (ovo objašnjava 2)
- ▶ Bitna je i masa tijela:

Otpor zraka

- ▶ Tijela različitih oblika padaju različitim brzinama (zgužvani i ravni papir)
- ▶ Bitna je površina koja udara u zrak (poprečni presjek): veću površinu udari više atoma i molekula i tako tijelo više uspori (ovo objašnjava 2)
- ▶ Bitna je i masa tijela: tijelo veće mase čestice manje uspore pa ono lakše gura/siječe zrak (ovo objašnjava 3).

Otpor zraka

- ▶ Tijela različitih oblika padaju različitim brzinama (zgužvani i ravni papir)
- ▶ Bitna je površina koja udara u zrak (poprečni presjek): veću površinu udari više atoma i molekula i tako tijelo više uspori (ovo objašnjava 2)
- ▶ Bitna je i masa tijela: tijelo veće mase čestice manje uspore pa ono lakše gura/siječe zrak (ovo objašnjava 3).
- ▶ Bitna je brzina:

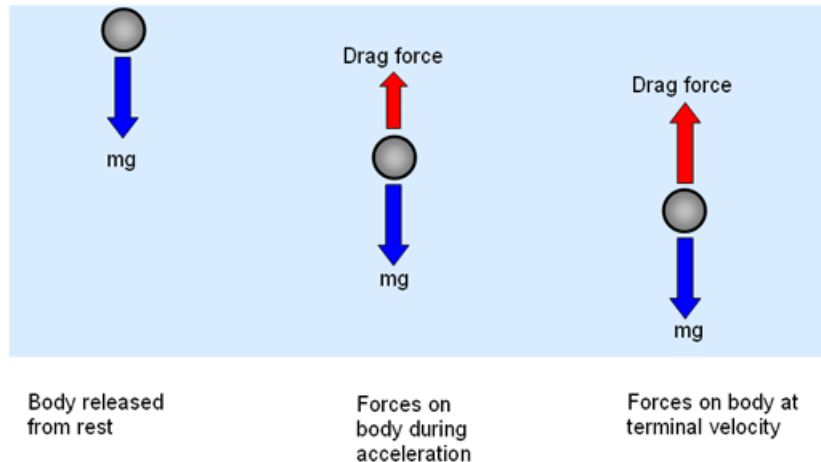
Otpor zraka

- ▶ Tijela različitih oblika padaju različitim brzinama (zgužvani i ravni papir)
- ▶ Bitna je površina koja udara u zrak (poprečni presjek): veću površinu udari više atoma i molekula i tako tijelo više uspori (ovo objašnjava 2)
- ▶ Bitna je i masa tijela: tijelo veće mase čestice manje uspore pa ono lakše gura/siječe zrak (ovo objašnjava 3).
- ▶ Bitna je brzina: što je tijelo brže, to su sudari jači i više ga usporavaju.

Otpor zraka

- ▶ Tijela različitih oblika padaju različitim brzinama (zgužvani i ravni papir)
- ▶ Bitna je površina koja udara u zrak (poprečni presjek): veću površinu udari više atoma i molekula i tako tijelo više uspori (ovo objašnjava 2)
- ▶ Bitna je i masa tijela: tijelo veće mase čestice manje uspore pa ono lakše gura/siječe zrak (ovo objašnjava 3).
- ▶ Bitna je brzina: što je tijelo brže, to su sudari jači i više ga usporavaju.
- ▶ Ako tijelo dovoljno ubrza, otpor zraka postane jednak težini
⇒ tijelo više ne ubrzava (**terminalna brzina**)

Otpor zraka



Padobran

- ▶ Terminalna brzina padobranca prije nego otvori padobran je oko 56m/s .



Padobran

- ▶ Terminalna brzina padobranca prije nego otvori padobran je oko 56m/s.



- ▶ Kolika je terminalna brzina nakon otvaranja padobrana?

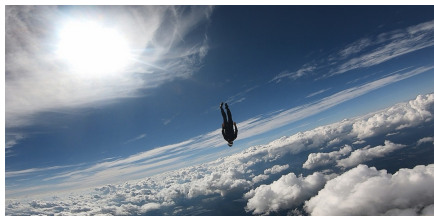
Padobran

- ▶ Je li veća terminalna brzina ako padamo prsno ili kao iglica (skupljene ruke, glava prema tlu)? Zašto



Padobran

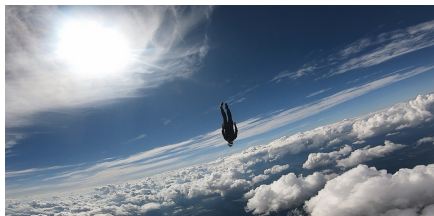
- ▶ Je li veća terminalna brzina ako padamo prsno ili kao iglica (skupljene ruke, glava prema tlu)? Zašto



- ▶ Astronaut pada prema površini Mjeseca. Hoće li on doseći terminalnu brzinu?

Padobran

- ▶ Je li veća terminalna brzina ako padamo prsno ili kao iglica (skupljene ruke, glava prema tlu)? Zašto



- ▶ Astronaut pada prema površini Mjeseca. Hoće li on doseći terminalnu brzinu? Ne! On konstantno ubrzava.

Zaključimo (prepišite)

- ▶ U vakuumu (bez otpora zraka) sva tijela padaju istom akceleracijom $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Zaključimo (prepišite)

- ▶ U vakuumu (bez otpora zraka) sva tijela padaju istom akceleracijom $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.
- ▶ Otpor zraka umanjuje akceleraciju slobodnog pada (protivi se gibanju).

Zaključimo (prepišite)

- ▶ U vakuumu (bez otpora zraka) sva tijela padaju istom akceleracijom $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.
- ▶ Otpor zraka umanjuje akceleraciju slobodnog pada (protivi se gibanju).
- ▶ Površina tijela veća \implies otpor zraka

Zaključimo (prepišite)

- ▶ U vakuumu (bez otpora zraka) sva tijela padaju istom akceleracijom $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.
- ▶ Otpor zraka umanjuje akceleraciju slobodnog pada (protivi se gibanju).
- ▶ Površina tijela veća \implies otpor zraka veći.

Zaključimo (prepišite)

- ▶ U vakuumu (bez otpora zraka) sva tijela padaju istom akceleracijom $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.
- ▶ Otpor zraka umanjuje akceleraciju slobodnog pada (protivi se gibanju).
- ▶ Površina tijela veća \implies otpor zraka veći.
- ▶ Brzina tijela veća \implies otpor zraka

Zaključimo (prepišite)

- ▶ U vakuumu (bez otpora zraka) sva tijela padaju istom akceleracijom $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.
- ▶ Otpor zraka umanjuje akceleraciju slobodnog pada (protivi se gibanju).
- ▶ Površina tijela veća \implies otpor zraka veći.
- ▶ Brzina tijela veća \implies otpor zraka veći.

Zaključimo (prepišite)

- ▶ U vakuumu (bez otpora zraka) sva tijela padaju istom akceleracijom $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.
- ▶ Otpor zraka umanjuje akceleraciju slobodnog pada (protivi se gibanju).
- ▶ Površina tijela veća \implies otpor zraka veći.
- ▶ Brzina tijela veća \implies otpor zraka veći.
- ▶ Na tijela veće mase sila otpora zraka djeluje (uspori).

Zaključimo (prepišite)

- ▶ U vakuumu (bez otpora zraka) sva tijela padaju istom akceleracijom $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.
- ▶ Otpor zraka umanjuje akceleraciju slobodnog pada (protivi se gibanju).
- ▶ Površina tijela veća \implies otpor zraka veći.
- ▶ Brzina tijela veća \implies otpor zraka veći.
- ▶ Na tijela veće mase sila otpora zraka manje djeluje (manje uspori).

Zaključimo (prepišite)

- ▶ U vakuumu (bez otpora zraka) sva tijela padaju istom akceleracijom $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.
- ▶ Otpor zraka umanjuje akceleraciju slobodnog pada (protivi se gibanju).
- ▶ Površina tijela veća \implies otpor zraka veći.
- ▶ Brzina tijela veća \implies otpor zraka veći.
- ▶ Na tijela veće mase sila otpora zraka manje djeluje (manje uspori).
- ▶ Kada se izjednači sila teža i otpor zraka \implies

Zaključimo (prepišite)

- ▶ U vakuumu (bez otpora zraka) sva tijela padaju istom akceleracijom $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.
- ▶ Otpor zraka umanjuje akceleraciju slobodnog pada (protivi se gibanju).
- ▶ Površina tijela veća \implies otpor zraka veći.
- ▶ Brzina tijela veća \implies otpor zraka veći.
- ▶ Na tijela veće mase sila otpora zraka manje djeluje (manje uspori).
- ▶ Kada se izjednači sila teža i otpor zraka \implies tijelo pada stalnom (terminalnom) brzinom.

Zaključimo (prepišite)

- ▶ U vakuumu (bez otpora zraka) sva tijela padaju istom akceleracijom $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.
- ▶ Otpor zraka umanjuje akceleraciju slobodnog pada (protivi se gibanju).
- ▶ Površina tijela veća \implies otpor zraka veći.
- ▶ Brzina tijela veća \implies otpor zraka veći.
- ▶ Na tijela veće mase sila otpora zraka manje djeluje (manje uspori).
- ▶ Kada se izjednači sila teža i otpor zraka \implies tijelo pada stalnom (terminalnom) brzinom.
- ▶ Padobran terminalnu brzinu.

Zaključimo (prepišite)

- ▶ U vakuumu (bez otpora zraka) sva tijela padaju istom akceleracijom $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.
- ▶ Otpor zraka umanjuje akceleraciju slobodnog pada (protivi se gibanju).
- ▶ Površina tijela veća \implies otpor zraka veći.
- ▶ Brzina tijela veća \implies otpor zraka veći.
- ▶ Na tijela veće mase sila otpora zraka manje djeluje (manje uspori).
- ▶ Kada se izjednači sila teža i otpor zraka \implies tijelo pada stalnom (terminalnom) brzinom.
- ▶ Padobran smanjuje terminalnu brzinu.