

# **Fizika 1 (za studente kemije)**

**Miroslav Požek**

**Fizički odsjek,  
Prirodoslovno-matematički fakultet,  
Sveučilište u Zagrebu**

**soba 215**  
mpezek@phy.hr  
[www.phy.hr/~mpezek/fk1/](http://www.phy.hr/~mpezek/fk1/)

- srijeda 8-10h i petak 13-15h (predavanja),  
srijeda 10-11h i petak 15-16h (vježbe) (F08 – Fizika i A1 – Kemija)
- termin konzultacija: petak 12h ?
- alternativa: komunikacija e-mailom (mpozek@phy.hr)
  
- predavanja: ploča + ppt, demonstracijski pokusi
- vježbe: dipl.ing. Lovro Prepolec i Tajron Jurić, mag. fizike
- demonstrature: Igor Marković, Marija Došlić, Ivan Sudić (studenti fizike)
  
- potpis: **najmanje 10 bodova na kolokvijima** (i za ponavljače!)
  
- ocjena:
  - kolokviji (pismeni) + usmeni

- **literatura:**
  - **J.Herak: “Osnove kemijske fizike”**
  - **F.W.Sears and M.Zemansky: “College Physics”**
  - **Halliday, Resnick, Walker: „Fundamentals of Physics”**
  - **A. Dulčić: „Predavanja iz Opće fizike”** ([http://www.phy.hr/~gniksic/nastava/of1/materijali\\_of.php](http://www.phy.hr/~gniksic/nastava/of1/materijali_of.php))
  - **R.Feynman: “Lectures on Physics I-III”**
- **zbirke zadataka:**
  - **F.W.Sears and M.Zemansky: “College Physics”**
  - **E.Babić *et al.*: “Zbirka riješenih zadataka iz fizike”**
  - **I.E.Irodov: “Problems in General Physics”**
  - **D.I.Saharov: “Zbirka zadataka iz fizike”**
  - **M.Stubičar *et al.*: “Riješeni zadaci iz opće fizike”**
  - **M.Planinić, N.Poljak: “Zbirka zadataka iz mehanike”**

# Kolokviji / ispiti

---

- **zadace:** zadaci s vježbi koji nisi riješeni, neobavezne,
- **kolokviji:** dva puta u semestru (studeni, siječanj)
  - 4 numerička zadatka (svaki 10 bodova) + 5 konceptualnih pitanja (svako 2 boda)
  - nužni za dobivanje potpisa (min. 10 bodova u sumi)
  - ocjena iz pismenog: zbroj bodova iz dva kolokvija
- **pismeni ispiti:** 5 numeričkih zadataka (svaki 10 bodova)
- **ocjene:** 40-49% ... 2, 50-74% ... 3, 75-89% ... 4, 90-100% ... 5
- **usmeni ispit:**
  - tri “teorijska” pitanja (popis na webu) ravnomjerno podijeljena po cjelinama
  - za prolaz nužan (bar minimalan) odgovor na sva tri + tzv. minimalna znanja: Newtonovi zakoni, harmonički oscilator, definicije nekih veličina itd.

# Ispiti

---

- termini pismenog:  $\geq 2$  mjeseca unaprijed određuje ih zamjenica pročelnice za nastavu na KO-u (standardno: srijeda 9–11h)
- termini usmenog: ovisni o broju studenata (unutar 2-5 dana od pismenog) – odgoda moguća zbog preklapanja s drugim ispitima ili bolesti
- rokovi: 2 zimska, 1 proljetni, 2 ljetna, 3 “jesenska” (2 u rujnu, 1 u studenom)
- po slušanju nekog kolegija na ispit se može izaći 4 puta, nakon toga se kolegij mora ponovno odslušati (pa na ispit izaći još 4 puta)
- 4.izlazak **može** biti pred povjerenstvom (od 3 profesora), 8. **mora**
- prednost ispita pred povjerenstvom: na usmeni se može izaći i s negativnom ocjenom s pismenog (no u tom slučaju se na licu mjesta rješavaju i numerički zadaci)

# Danas: FCI test

---

- Radi uvida u predznanje i stečene koncepte
- Nije za ocjenu
- Nije anonimna: unijeti JMBAG (zadnja 4 broja)
- Rezultati testa će pomoći u formiranju grupa
- Sličan test na kraju semestra će pokazati koliko napredujete

# Fizika

---

- gr. φυσικῆ = priroda (prvi poznati spomen: Homerova Odiseja!)
- znanost o strukturi materije, međudjelovanju među česticama i gibanju tijela – “temeljna” znanost
- usko vezana za matematiku, tehniku, biologiju, astronomiju, kemiju...
- utemeljena na eksperimentu
- sustavno eksperimentalno istraživanje → teorija (model)
- teorija (fizikalni zakoni): vrlo često pojednostavljenja realne situacije
- aproksimacije!
  
- mogućnost predviđanja ponašanja prirode u nekoj situaciji na temelju eksperimentalnih podataka dobivenih u drugoj situaciji

# Povijest fizike

---

- **stari Grci: Arhimed, Demokrit, Ptolomej...**
- **Arapi: važnost eksperimenta, optika, astronomija**
- **Galileo Galilei (1564 – 1642)**
- **Isaac Newton (1643 – 1727)**
- **Michael Faraday (1791– 1867), James Clerk Maxwell (1831 – 1879)**
- **Nikola Tesla (1856 – 1943)**
- **1905- kvantna fizika: M.Planck, N.Bohr, W.Schrödinger, W.Heisenberg, P.A.M.Dirac, ...**
- **nuklearna fizika: Marie Curie, Ernest Rutherford, ...**
- **Albert Einstein (1879-1955)**
- **Richard Feynman (1918 –1988)**
- **...**



# ❖ Za fizičara je važno:

---

- dobar fizičar (a i kemičar) mora znati:
  - matematiku!
  - aproksimirati
  - približnu vrijednost promatrane veličine (do na red veličine)!
  - ...
- pojedine fizikalne veličine u prirodi se pojavljuju u vrijednostima različitim i do **100** redova veličina!

# Modeli

---

- pojednostavljaju problem
- usredotočuju se na najvažnije svojstvo sistema (za promatrani problem)
- zanemaruju manje bitne detalje
- primjer: čestični model (auto na cesti)
  
- Svaka teorija ima granice primjenjivosti
  
- U svakodnevnom životu druga značenja: model broda, model odjeće, fotomodel,...

# ■ ■ SI-jedinice (Système international d'unités)

---

## Osnovne SI jedinice:

- dužina: *metar* - m
- masa: *kilogram* – kg
- vrijeme: *sekunda* – s
- električna struja: *amper* – A
- termodinamička temperatura: *kelvin* – K
- količina tvari: *mol* – mol
- intenzitet svjetlosti: *kandela* – cd
  
- sve ostale jedinice izvode se iz osnovnih
- vrlo važno znati preračunavati između raznih sustava  
(npr. pad NASA-ine letjelice “Mars Surveyor” 1999. godine)

# Standardi

---

- **1 kg = masa “međunarodnog prototipa kilograma”, uzorka od platine i iridija koji se čuva u Parizu od 1879. godine (2005: masa prototipa se mijenja; definiciju treba promijeniti! Nova se očekuje ove godine)**
- **1 m = udaljenost koju svjetlost prijeđe u  $1/299792458$  s u praznom prostoru**
- **1 s = 9192631770 perioda zračenja atoma  $^{133}\text{Cs}$  (povezanog s prijelazom između dva stanja različita samo u orijentaciji spina jezgre i elektrona**
- **1 K = 1/100 razlike između temperature taljenja leda i isparavanja vode**
- **1 A = ... (Fizika 2)**

# Prefiksi

---

- u fizici se koristi zapis preko potencija od 10

- $10^{-15}$  = femto (f)

- $10^{-12}$  = piko (p)

- $10^{-9}$  = nano (n)

- $10^{-6}$  = mikro ( $\mu$ )

- $10^{-3}$  = mili (m)

- $10^{-2}$  = centi (c)

- $10^{-1}$  = deci (d)

- $10^1$  = deka (da)

- $10^2$  = hekto (h)

- $10^3$  = kilo (k)

- $10^6$  = mega (M)

- $10^9$  = giga (G)

- $10^{12}$  = tera (T)

- $10^{15}$  = peta (P)

## ❖ Neodređenost i značajne znamenke

---

- preciznost kojom se neka veličina zapisuje ovisi o njezinoj izmjerenoj pogrešci (fizika je eksperimentalna znanost!)
- npr. gravitacijsko ubrzanje:  $9.81 \text{ m/s}^2$   
masa elektrona:  $9.10938215(45) \times 10^{-31} \text{ kg}$

## ❖ Znanstveni zapis

---

- naboj elektrona:  $1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$  (u stvari  $1.602176462 \times 10^{-19} \text{ C}$ )
- Planckova konstanta:  $6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}$
- Avogadrov broj:  $6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

# Redovi veličina: duljina & udaljenost

---

- $3 \cdot 10^{-35}$  m – Planckova dužina
- $10^{-18}$  m – gornja granica veličine kvarka i elektrona (i struna)
- **$10^{-15}$  m – veličina protona (= 1 fm = 1 fermi)**
- $10^{-14}$  m – veličina atomskih jezgara
  - domet slabe nuklearne sile
- $10^{-12}$  m – valna duljina gama-zraka
- $10^{-11}$  m – valna duljina X-zraka
- **$5.3 \cdot 10^{-11}$  m – polumjer vodikovog atoma**
- $1.5 \cdot 10^{-10}$  m – tipična duljina kovalentne veze
- $10^{-9}$  m – promjer ugljikove nanocijevi
- $2 \cdot 10^{-9}$  m – promjer spirale DNK
- $3 \cdot 10^{-9}$  m – udaljenost glave tvrdog diska i njegove površine
- $6 \cdot 10^{-9}$  m – debljina stanične membrane

- $4 \cdot 10^{-8}$  m – valna duljina ekstremne ultraljubičaste svjetlosti
- $4.5 \cdot 10^{-8}$  m – najmanji mikroprocesori
- $9 \cdot 10^{-8}$  m – veličina HIV-virusa (virusi: 20-450 nm)
- $4.8 \cdot 10^{-7}$  m – valna duljina plave svjetlosti
- $6.9 \cdot 10^{-7}$  m – valna duljina crvene svjetlosti
- $5 \cdot 10^{-6}$  m – veličina tipične bakterije
- $8 \cdot 10^{-5}$  m – tipična debljina vlasi kose
- $5 \cdot 10^{-3}$  m – duljina prosječnog mrava
- $2.54 \cdot 10^{-2}$  m = 1 inč
- $10^{-1}$  m – valna duljina UHF radio-valova
- $2.45 \cdot 10^0$  m – svjetski rekord u skoku uvis (Javire Sotomayor)
- $3.05 \cdot 10^0$  m – visina koša
- $6 \cdot 10^0$  m – visina najviših žirafa
- $8.95 \cdot 10^0$  m – svjetski rekord u skoku udalj (Mike Powell)



- $3 \cdot 10^1$  m – duljina plavog kita, najdulje životinje na Zemlji
- $7.8 \cdot 10^1$  m – visina Velikog slapa (Plitvička jezera)
- $3 \cdot 10^2$  m – visina Eiffelovog tornja
- $9.79 \cdot 10^2$  m – visina slapova Salto Angel (najvećih na svijetu)
- $1.609 \cdot 10^3$  m – milja
- $1.852 \cdot 10^3$  m – nautička milja
- $8.848 \cdot 10^3$  m – visina Mt.Everesta
- $1.09 \cdot 10^4$  m – najdublja točka u oceanu
- $4.22 \cdot 10^4$  m – maraton
- $1 \cdot 10^5$  m – “granica” atmosfere i Svemira
- $3.48 \cdot 10^6$  m – promjer Mjeseca
- $6.4 \cdot 10^6$  m – duljina Velikog kineskog zida
- $6.6 \cdot 10^6$  m – duljina Nila i Amazone
- $1.28 \cdot 10^7$  m – promjer Zemlje (na ekvatoru)

- $4.08 \cdot 10^7$  m – opseg Zemlje (na ekvatoru)
- $1.43 \cdot 10^8$  m – promjer Jupitera
- $3.84 \cdot 10^8$  m – udaljenost Zemlja-Mjesec
- $1.39 \cdot 10^9$  m – promjer Sunca
- $1.5 \cdot 10^{11}$  m – udaljenost Zemlja-Sunce (“astronomska jedinica”)
- $9 \cdot 10^{11}$  m – promjer zvijezde Betelgeuse (“crveni superdiv”)
- $6 \cdot 10^{12}$  m – prosječna udaljenost Sunce-Pluton
- $9.46 \cdot 10^{15}$  m – svjetlosna godina
- $3.09 \cdot 10^{16}$  m – 1 parsec
- $4 \cdot 10^{16}$  m – udaljenost do najbliže zvijezde (Proxima Centauri)
- $10^{21}$  m – promjer galaktičkog diska
- $2.2 \cdot 10^{22}$  m – udaljenost do Andromede
- $10^{26}$  m – prosječna udaljenost do kvazara
- $9 \cdot 10^{26}$  m – promjer vidljivog Svemira
- $10^{53}$  m – dimenzija Svemira (po teoriji Velikog Praska s inflacijom)

# Redovi veličina: vrijeme

---

- $10^{-44}$  s – Planckovo vrijeme
- $0.3 \cdot 10^{-24}$  s – srednje vrijeme života W- i Z-bozona
- $9 \cdot 10^{-23}$  s – vrijeme poluživota jezgre  ${}^4\text{Li}$
- $10^{-18}$  s – najkraće vrijeme ikad izmjereno
- $4 \cdot 10^{-12}$  s – vrijeme potrebno za izvršavanje naredbe na danas najbržim računalima
- $6 \cdot 10^{-3}$  s – prosječno vrijeme traženja 1 podatka na tvrdom disku
- $6 \cdot 10^{-2}$  s – treptaj oka
- $3.2 \cdot 10^{-2}$  s – trajanje 1 slike u televizijskom prijenosu
- $2 \cdot 10^{-1}$  s – najbrže ljudske refleksne reakcije
- $8.64 \cdot 10^4$  s – 1 dan
- $1.3 \cdot 10^{17}$  s – starost Zemlje
- $4.3 \cdot 10^{17}$  s = 13.7 milijardi godina – starost Svemira

# Redovi veličina: masa

---

- $3.6 \cdot 10^{-36}$  kg – gornja granica na masu elektronskog neutrina
- $9.11 \cdot 10^{-31}$  kg – masa elektrona (najlakše poznate čestice)
- $1.67 \cdot 10^{-27}$  kg – masa protona
- $3 \cdot 10^{-26}$  kg – masa molekule vode
- $1.6 \cdot 10^{-25}$  kg – masa Z-bozona
- $3.45 \cdot 10^{-25}$  kg – masa atoma  $^{208}\text{Pb}$  (najteži stabilan izotop)
- $1.1 \cdot 10^{-22}$  kg – masa molekule hemoglobina
- $10^{-20}$  kg – masa manjeg virusa
- $1.1 \cdot 10^{-17}$  kg – maseni ekvivalent 1 Joula
- $7 \cdot 10^{-16}$  kg – masa bakterije E-coli
- $10^{-12}$  kg – masa prosječne ljudske stanice
- $3.5 \cdot 10^{-10}$  kg – masa zrnca pijeska
- $10^{-6}$  kg – masa tipičnog komarca

- **$1.5 \cdot 10^{-4}$  kg** – ukupna masa kofeina u jednoj šalici kave
- **$7.5 \cdot 10^{-3}$  kg** – masa kovanice 1 Eura
- **$1.5 \cdot 10^{-1}$  kg** – masa prosječnog ljudskog bubrega
- **$3\text{-}4 \cdot 10^0$  kg** – masa novorođene bebe
- **$7.5 \cdot 10^0$  kg** – masa prosječnog muškarca
- **$10^3$  kg** – masa prosječnog automobila
- **$5 \cdot 10^3$  kg** – masa odraslog slona
- **$1.1 \cdot 10^4$  kg** – masa Hubbleovog teleskopa
- **$9 \cdot 10^4$  kg** – masa najvećih dinosaura
- **$1.8 \cdot 10^5$  kg** – masa plavog kita
- **$6 \cdot 10^5$  kg** – masa najvećih aviona (Antonov)
- **$2 \cdot 10^6$  kg** – masa Space Shuttlea pri lansiranju
- **$3 \cdot 10^7$  kg** – masa Titanika
- **$6.5 \cdot 10^8$  kg** – masa najvećih današnjih brodova

- **$4.3 \cdot 10^9$  kg – masa koju Sunce svake sekunde pretvori u energiju**
- **$6 \cdot 10^9$  kg – masa najvećih piramida**
- **$3 \cdot 10^{11}$  kg – ukupna masa čovječanstva**
- **$4 \cdot 10^{12}$  kg – ukupna godišnja proizvodnja benzina**
- **$10^{15}$  kg – procijenjena masa svjetskih zaliha ugljena**
- **$1.4 \cdot 10^{21}$  kg – masa Zemaljskih oceana**
- **$7.4 \cdot 10^{22}$  kg – masa Mjeseca**
- **$6.0 \cdot 10^{24}$  kg – masa Zemlje**
- **$2 \cdot 10^{27}$  kg – masa Jupitera**
- **$2 \cdot 10^{30}$  kg – masa Sunca**
- **$4 \cdot 10^{31}$  kg – masa zvijezde Betelgeuse (crveni superdiv)**
- **$7.4 \cdot 10^{36}$  kg – masa supermasivne crne rupe u centru naše galaksije**
- **$2 \cdot 10^{42}$  kg – ukupna masa Mliječne staze**
- **$3 \cdot 10^{52}$  kg – masa vidljivog Svemira**

# Redovi veličina: brzina

---

- $1.3 \cdot 10^{-9}$  m/s – prosječna brzina udaljavanja Mjeseca od Zemlje
- $10^{-9}$  m/s – prosječna relativna brzina kontinenata
- $5 \cdot 10^{-9}$  m/s – brzina rasta kose
- $10^{-2}$  m/s – brzina tipičnog puža
- $1.3 \cdot 10^0$  m/s – brzina prosječnog hoda
- $1.1 \cdot 10^1$  m/s – svjetski rekord na 100 m
- $3 \cdot 10^1$  m/s – brzina auta na otvorenoj cesti
- $10^2$  m/s – brzina neurona
- $1.3 \cdot 10^2$  m/s – brzina tornada
- $2.7 \cdot 10^2$  m/s – prosječna brzina putničkih aviona
- **$3.31 \cdot 10^2$  m/s – brzina zvuka u zraku**
- $4.6 \cdot 10^2$  m/s – brzina Zemljine rotacije na ekvatoru

- $1.5 \cdot 10^3$  m/s – brzina zvuka u vodi
- $1.12 \cdot 10^4$  m/s – druga kozmička brzina
- $3 \cdot 10^4$  m/s – brzina Zemlje na putu oko Sunca
- $2 \cdot 10^5$  m/s – brzina kruženja Sunčevog sistema oko centra galaksije
- $3 \cdot 10^7$  m/s – brzina elektrona u katodnoj cijevi
- $2 \cdot 10^8$  m/s – brzina signala u optičkim kabelima
- $3 \cdot 10^8$  m/s – brzina svjetlosti



# Redovi veličina: temperatura

---

- **0 K – apsolutna nula**
- **$10^{-10}$  K – najniža temperatura ikad postignuta**
- **$10^{-2}$  K – temperatura koja se postiže dilucijskim hladnjakom**
- **$2.5 \cdot 10^{-1}$  K – najniža temperatura postignuta dosad na Fizičkom odsjeku**
- **1 K – temperatura u maglici Boomerang**
- **2.75 K – temperatura kozmičkog pozadinskog zračenja**
- **4.22 K – temperatura ključanja helija**
- **$7.7 \cdot 10^1$  K – temperatura ključanja dušika**
- **$1.38 \cdot 10^2$  K – najviša temperatura na kojoj je izmjerena supravodljivost**
- **$1.83 \cdot 10^2$  K – najniža temperatura izmjerena na Zemlji izvan labosa**
- **$2.73 \cdot 10^2$  K – temperatura taljenja leda ( $0^\circ$  C)**
- **$3.73 \cdot 10^2$  K – temperatura isparavanja vode ( $100^\circ$  C)**
- **$5.8 \cdot 10^3$  K – temperatura na površini Sunca**
- **$5 \cdot 10^5$  K – temperatura 10 m od eksplozije atomske bombe**
- **$1.36 \cdot 10^7$  K – temperatura u središtu Sunca...**

# Redovi veličina: energija

---

- $3 \cdot 10^{-31}$  J – najniža kinetička energija molekula izmjerena u laboratoriju
- $1 \cdot 10^{-23}$  J – najniža kinetička energija van laba (maglica “Bumerang”)
- $4 \cdot 10^{-21}$  J – prosječna kinetička energija molekula na sobnoj temp.
- **$1.6 \cdot 10^{-19}$  J = 1 eV**
- $4 \cdot 10^{-19}$  J – energija fotona vidljive svjetlosti
- $5 \cdot 10^{-18}$  J – gornja granica na masu elektronskog neutrina ( $E=mc^2$ )
- **$8 \cdot 10^{-14}$  J – energija ekvivalentna masi elektrona**
- $3 \cdot 10^{-11}$  J – energija oslobođena pri fisiji urana-235
- $1.5 \cdot 10^{-10}$  J - energija ekvivalentna masi protona
- $8 \cdot 10^{-9}$  J – energija čestica u snopu na LEP-u (CERN 1983.)
- $4 \cdot 10^{-8}$  J – energija čestica u snopu na SPS-u (CERN 1981.)
- $1.6 \cdot 10^{-7}$  J – TeV = prosječna kinetička energija komarca
- $1.8 \cdot 10^{-4}$  J – energija snopa olova na LHC-u

- **1 J – kinetička energija prosječne jabuke nakon pada od 1 m**
- **- toplinska energija koju razvije čovjek svake stotinke!**
- **10 J – blic foto-aparata**
- **50 J – najenergetskije detektirane kozmičke zrake**
- **750 J – konjska snaga u sekundi**
- **900 J – energija smrtonosne doze X-zraka**
- **1400 J – solarna konstanta (Sunčevo zračenje na površini Zemlje / m<sup>2</sup>s)**
- **1500 J – prosječna kinetička energija metka**
- **4200 J – energija oslobođena eksplozijom 1g TNT-a**
- **4200 J – jedna kalorija**
- **50000 J – izgaranje 1 g benzina**
- **10<sup>6</sup> J - prosječna kinetička energija auta**
- **3.6·10<sup>6</sup> J – kWh**
- **8·10<sup>6</sup> J – energija koju prosječan čovjek unese u sebe svaki dan**

- **$2 \cdot 10^{10}$  J** – prosječna kinetička energija aviona
- **$5 \cdot 10^{10}$  J** – najjače klasične bombe
- **$10^{13}$  J** – kinetička energija Međunarodne svemirske stanice (ISS)
- **$6 \cdot 10^{13}$  J** – prva nuklearna (“atomska”) bomba
- **$2 \cdot 10^{17}$  J** – današnje nuklearne bombe
- **$10^{18}$  J** – energija oslobođena erupcijom vulkana
- **$10^{19}$  J** – energija oslobođena jačim potresom
- **$10^{19}$  J** – energija potrošena u SAD svake godine
- **$10^{22}$  J** – procjena zaliha benzina (energetski ekvivalent)
- **$5 \cdot 10^{24}$  J** – godišnja energija Sunca na Zemlji
- **$10^{44}$  J** – supernova
- **$10^{47}$  J** – “provale gama-zraka” (engl. gamma-ray bursts)
- **$10^{70}$  J** – energijski ekvivalent mase vidljivog Svemira
- ...

# ■ ■ ■ Dimenzionalna analiza (dosljednost)

---

- tehnika kojom provjeravamo ispravnost neke fizikalne formule (ili ju čak izvodimo!)
- princip: lijevu i desnu stranu formule svesti na osnovne mjerne jedinice; na obje strane moramo dobiti jednaku dimenziju!
- **PRIMJER 1:**  $s = a/2t^2$  ?
  - $s$  (put) se mjeri u metrima
  - $a$  (akceleracija) se mjeri u  $m/s^2$  (metrima po kvadratnoj sekundi)
  - $t$  (vrijeme) se mjeri u sekundama
  
  - desna strana:  $m/s^2 \cdot s^2 = m$  (što imamo na lijevoj strani)
  - formula je ispravna!

# Dimenzionalna analiza

- **PRIMJER 2**: Procijenimo brzinu širenja vala u napetoj žici
  - O kojim veličinama očekujemo ovisnost?
  - linearna gustoća žice  $\mu$  (masa po jedinici duljine) [kg/m]
  - sila napetosti  $F$  [N = kg m/s<sup>2</sup>]
  - pokušajmo vidjeti je li to dovoljno; prvo pomnožimo:

$$F \cdot \mu \rightarrow \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}} = \frac{\text{kg}^2}{\text{s}^2}$$

što očitoma nema dimenziju brzine

- probajmo podijeliti:

$$\frac{F}{\mu} \rightarrow \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \div \frac{\text{kg}}{\text{m}} = \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

- dobili smo brzinu na kvadrat

# ■ ■ ■ Dimenzionalna analiza

---

- **PRIMJER 2:** (nastavak)

- vađenjem korijena:

$$v_z \propto \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

- ispravan rezultat za brzinu zvuka!