

# VRIJEME I UDALJENOST

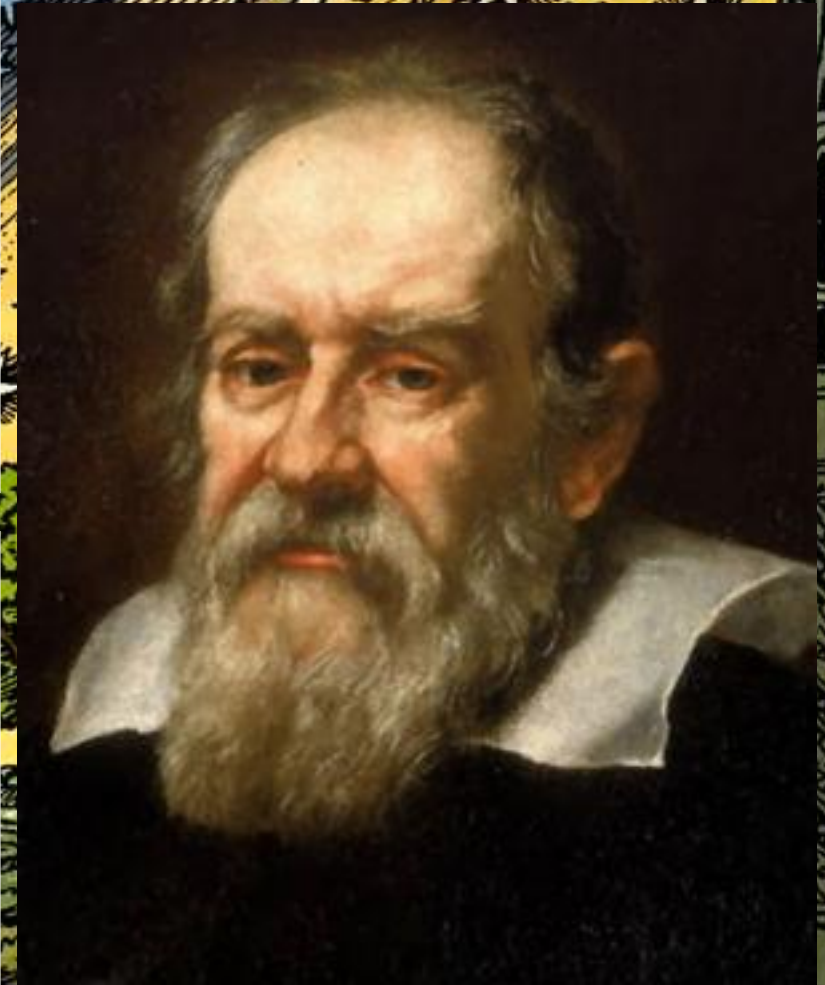


# Kratak sadržaj



- ① Uvod
- ② Mjerenje vremena
- ③ Mjerenje udaljenosti
- ④ Zaključak
- ⑤ Literatura

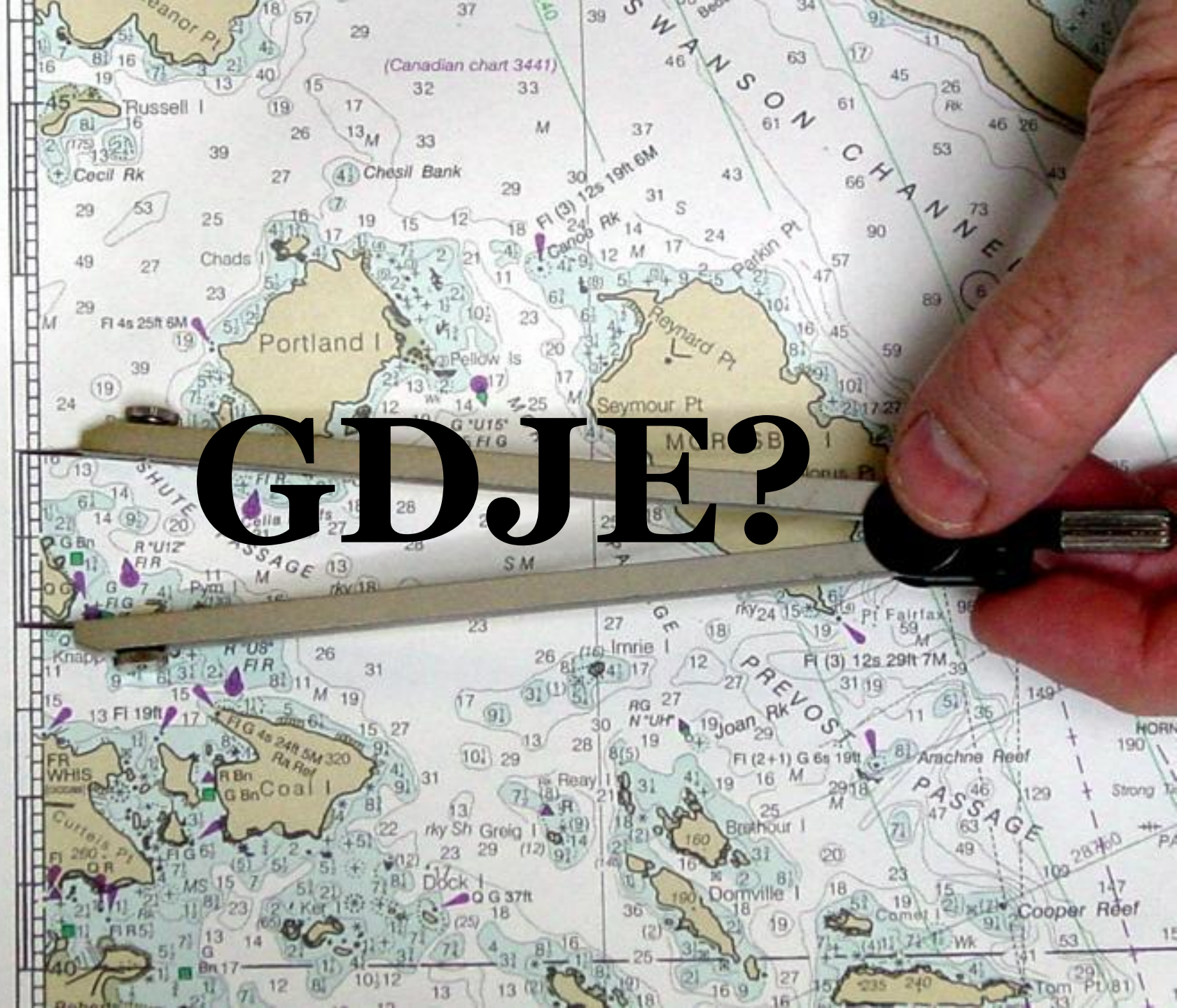
- Proučavanje gibanja
- Filozofsko razmatranje pojava
- Aristotel: “Fizika” i “Metafizika”
- Galileo Galilei
- Kvantitativno proučavanje pojava
- Mjerenje udaljenosti i vremena





**KADA?**

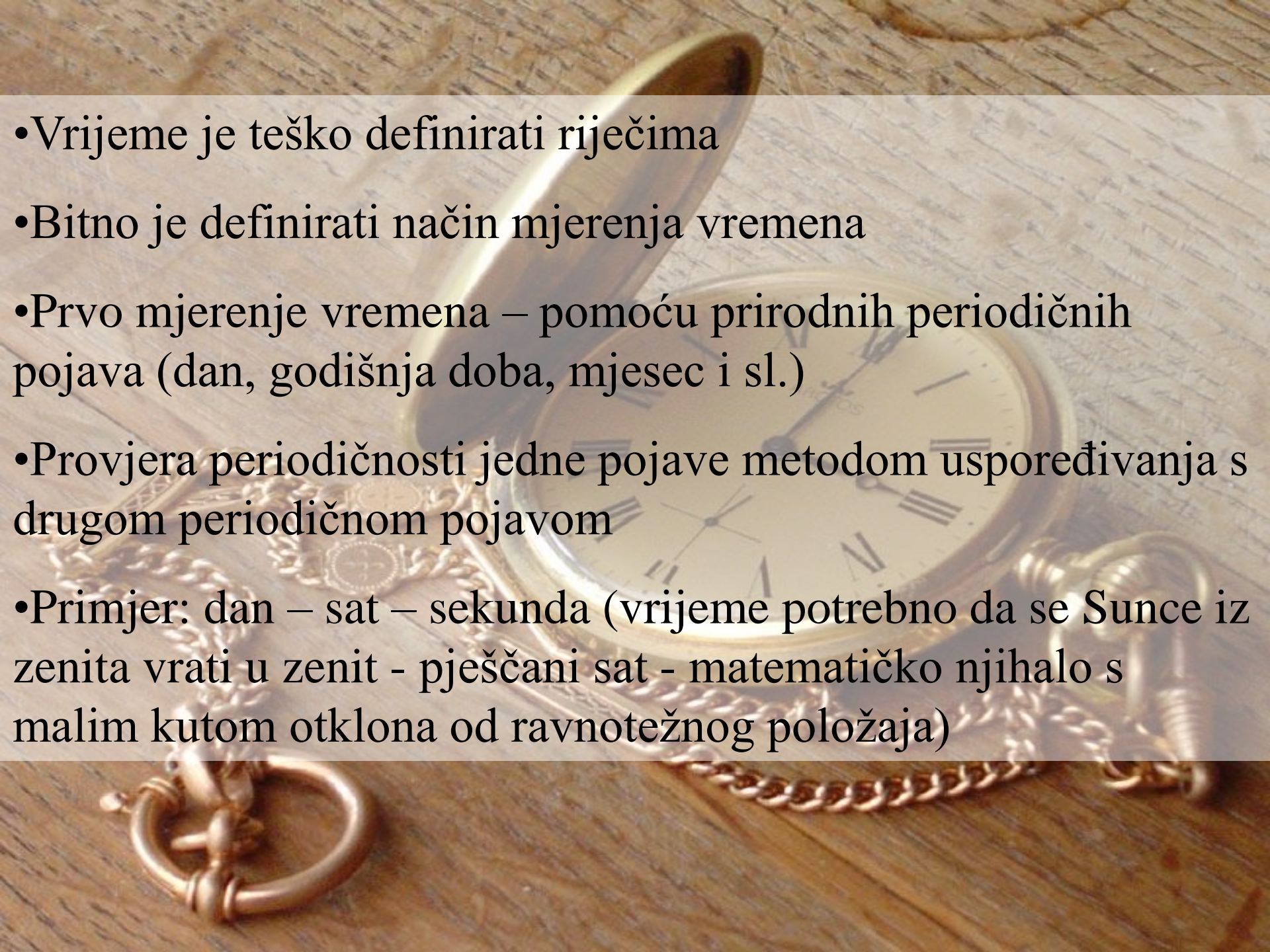
GDJE?



# Vrijeme



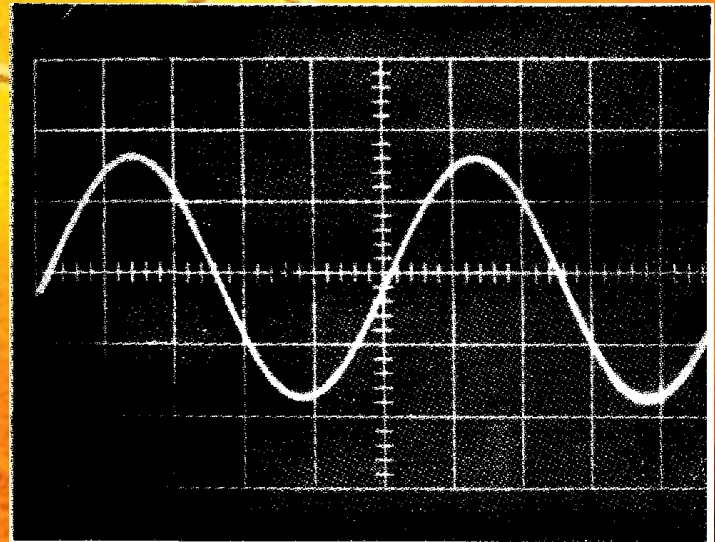
- *“Vrijeme je ono što se događa kada se ništa drugo ne događa.”*
- *“Vrijeme je način na koji priroda sprječava da se sve događa odjednom.”*
- *“Vrijeme je novac.”* (B. Franklin)
- *“Vrijeme je bacanje novaca.”* (O. Wilde)
- *“Vrijeme je ono što sprječava svijetlost da nas dotakne.”* (M. Eckhart)
- *“Vrijeme je iluzija.”* (A. Einstein)
- *“Vrijeme je iluzija, ali zato vrijeme ručka nije.”* (D. Adams)
- *“Svaki dan prođe jedan dan.”* (C. Goldoni)

- 
- A pocket watch with a chain is shown on a wooden surface. The watch face is visible, showing Roman numerals and hands. The chain is made of metal links and has a ring at the end. The background is a light-colored wood grain.
- Vrijeme je teško definirati riječima
  - Bitno je definirati način mjerenja vremena
  - Prvo mjerenje vremena – pomoću prirodnih periodičnih pojava (dan, godišnja doba, mjesec i sl.)
  - Provjera periodičnosti jedne pojave metodom uspoređivanja s drugom periodičnom pojavom
  - Primjer: dan – sat – sekunda (vrijeme potrebno da se Sunce iz zenita vrati u zenit - pješčani sat - matematičko njihalo s malim kutom otklona od ravnotežnog položaja)

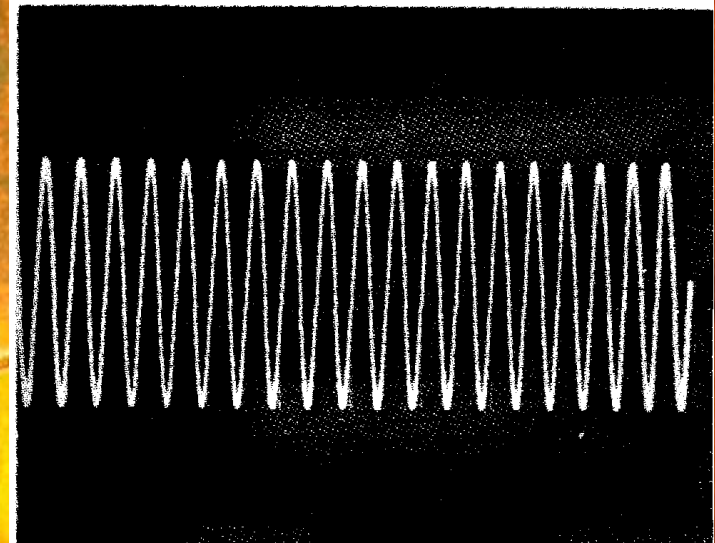
# Mjerenje “kratkih” vremenskih perioda

- Upotreba oscilatora omogućuje mjerenje vrlo kratkih vremenskih intervala ( $10^{-12}$  s)

- Metoda usporedbe bržeg i sporijeg titranja oscilatora pomoću osciloskopa:

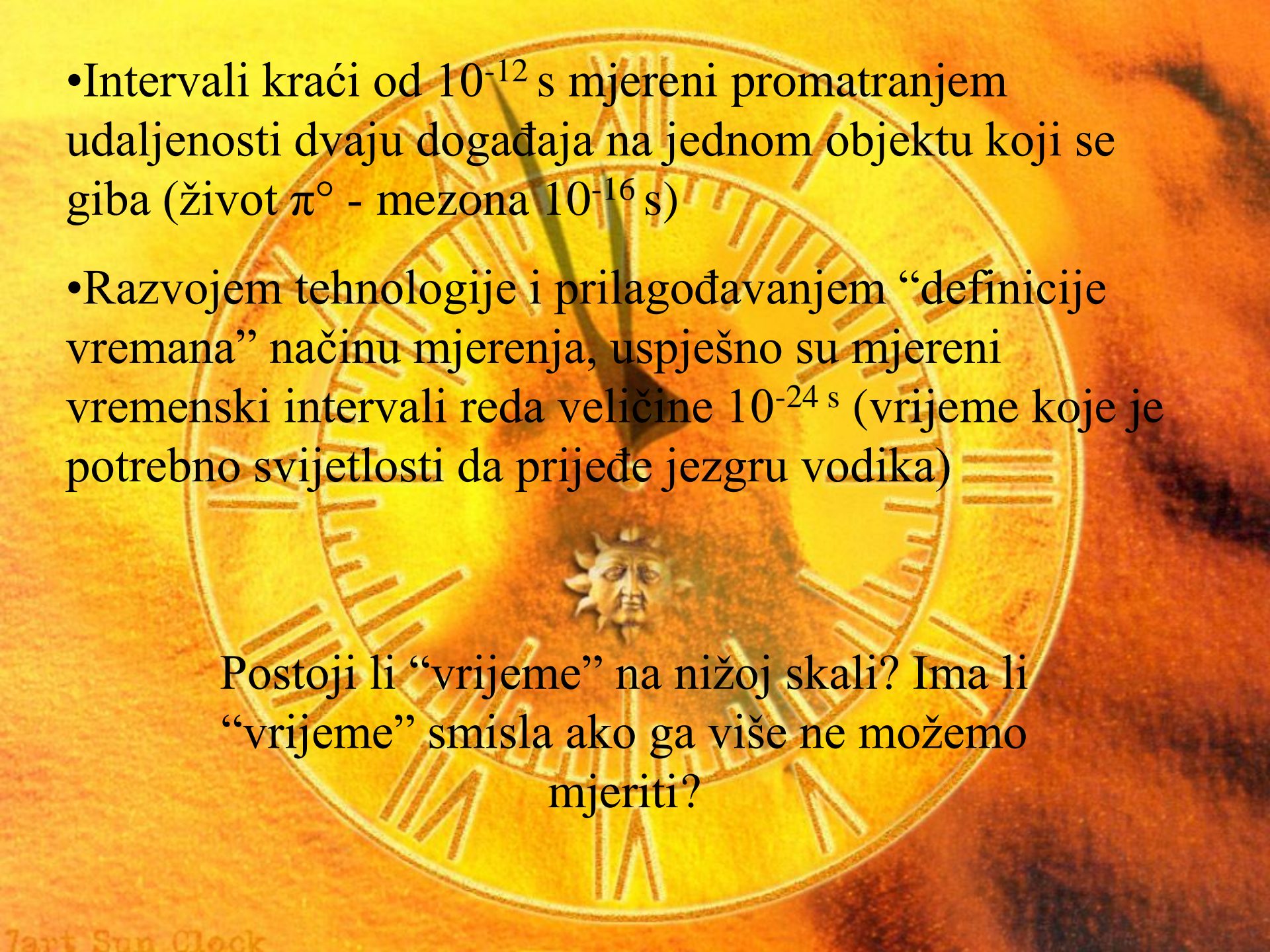


(a)



(b)

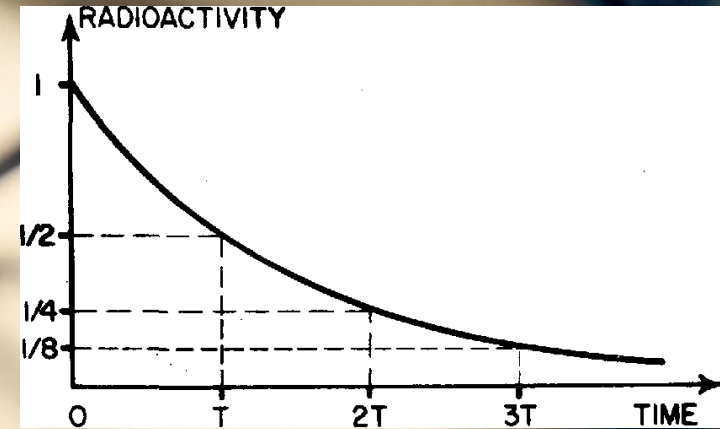


- 
- Intervali kraći od  $10^{-12}$  s mjereni promatranjem udaljenosti dvaju događaja na jednom objektu koji se giba (život  $\pi^0$  - mezona  $10^{-16}$  s)
  - Razvojem tehnologije i prilagođavanjem “definicije vremena” načinu mjerenja, uspješno su mjereni vremenski intervali reda veličine  $10^{-24}$  s (vrijeme koje je potrebno svjetlosti da prijeđe jezgru vodika)

Postoji li “vrijeme” na nižoj skali? Ima li “vrijeme” smisla ako ga više ne možemo mjeriti?

# Mjerenje “dugih” vremenskih perioda

- U nekim slučajevima priroda “bilježi” protok vremena (godovi na stablima, sedimenti rijeka, i sl.)
- Radioaktivni materijali također mogu služiti za mjerenje protoka vremena. (Vrijeme  $T$  za koje radioaktivnost materijala padne za pola vrijednosti zovemo vrijeme poluraspada)



$$\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}} = \frac{B}{A}$$

- T(C-14) približno 5000 g. ; T(U-238) približno  $10^9$  g.
- Koristeći proširenu metodu određivanja starosti, pronađeno je da je starost Zemlje približna 5.5 bilijuna godina.
- Vjeruje se da je Svemir star oko 10 bilijuna godina

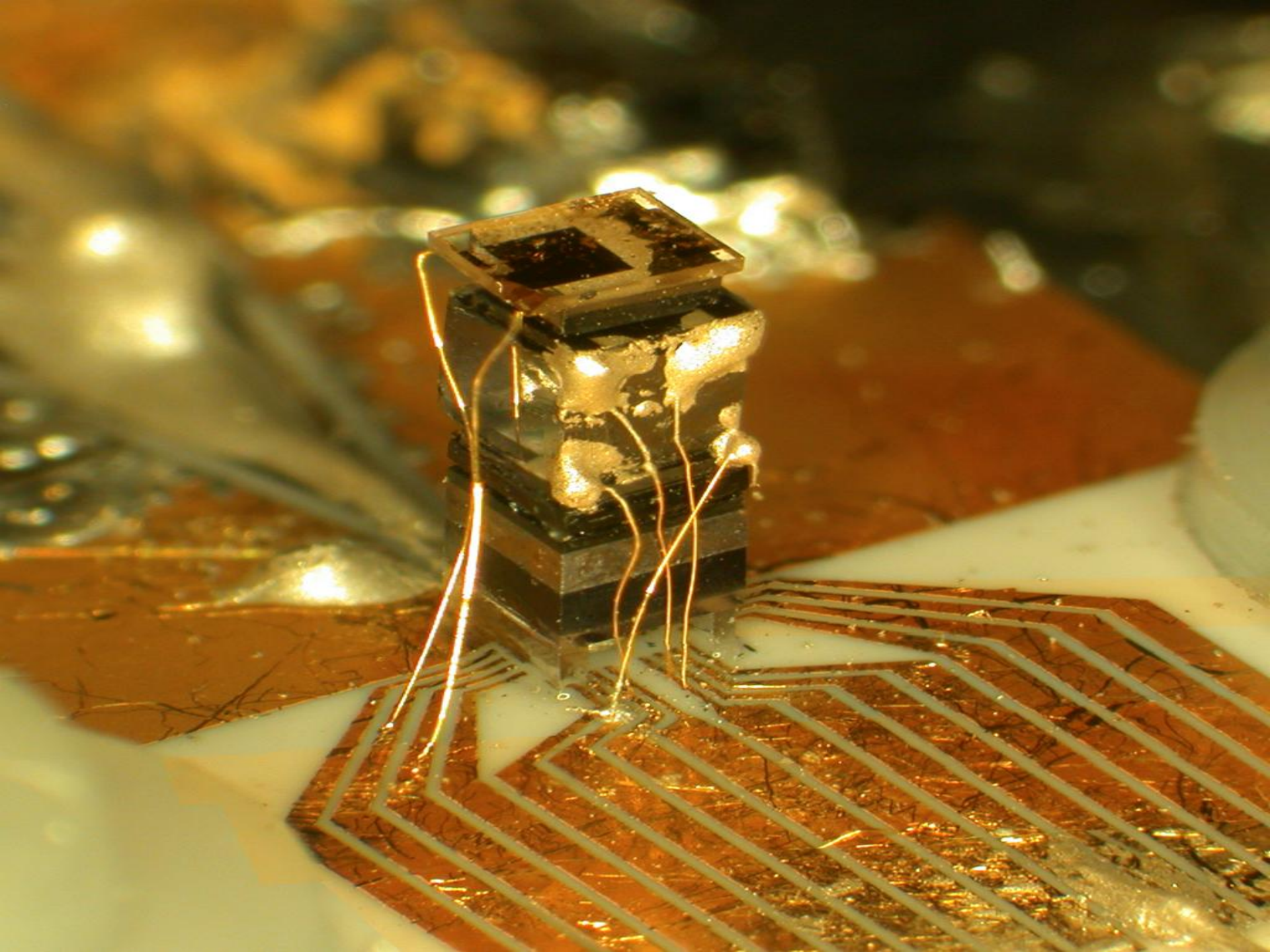
Postoji li “vrijeme” na još višoj skali? Ima li smisla “vrijeme” prije nastanka Svemira?

TIMES

YEARS	SECONDS		MEAN LIFE OF
		?	
	$10^{18}$	Age of universe	
$10^9$		Age of earth	$U^{238}$
	$10^{15}$		
$10^6$		Earliest men	
	$10^{12}$	Age of pyramids	
$10^3$		Age of U.S.	$Ra^{226}$
	$10^9$	Life of a man	$H^3$
1			
	$10^6$	One day	
	$10^3$	Light goes from sun to earth	Neutron
	1	One heart beat	
	$10^{-3}$	Period of sound wave	
	$10^{-6}$	Period of radiowave	Muon $\pi^{\pm}$ -meson
	$10^{-9}$	Light travels one foot	
	$10^{-12}$	Period of molecular rotation	
	$10^{-15}$	Period of atomic vibration	$\pi^0$ -meson
	$10^{-18}$	Light crosses an atom	
	$10^{-21}$		
		Period of nuclear vibration	
	$10^{-24}$	Light crosses a nucleus	Strange particle
		?	

## Jedinice vremena


- Dugo vremena se uzimala Zemljina rotacija kao standard za jedinicu vremena ( $1 \text{ s} = 1/86400$  prosječnog dana)
- Međutim Zemljin period je kroz vrijeme sve duži
- Preciznije standarde za jedinice vremena daju nam atomske vibracije, koje su veoma otporne na vanjske utjecaje.
- Satovi kojima se period bazira na atomskim vibracijama, vrlo su precizni, i nazivaju se atomskim satovima.



# Udaljenost

## Mjerenje “velikih” udaljenosti

- Mjerenja pomoću štapa, palca, stopala itd...
- Triangulacijom (udaljenost Mjeseca, udaljenost Sputnika, geodetska mjerenja, udaljenost stacionarnih zvijezda...)
- Radarskim mjerenjem (mjerenje vremena od slanja signala do primitka refleksije signala)
- Promatranjem i usporedbom sjaja i boje zvijezda (sjaj opada s kvadratom udaljenosti)
- $3 \cdot 10^{20}$  m – središte naše galaksije;  $10^{26}$  m - polovica udaljenosti do granice Svemira



Ima li smisla mjeriti veće udaljenosti od granica svemira? Da li ih je moguće mjeriti?



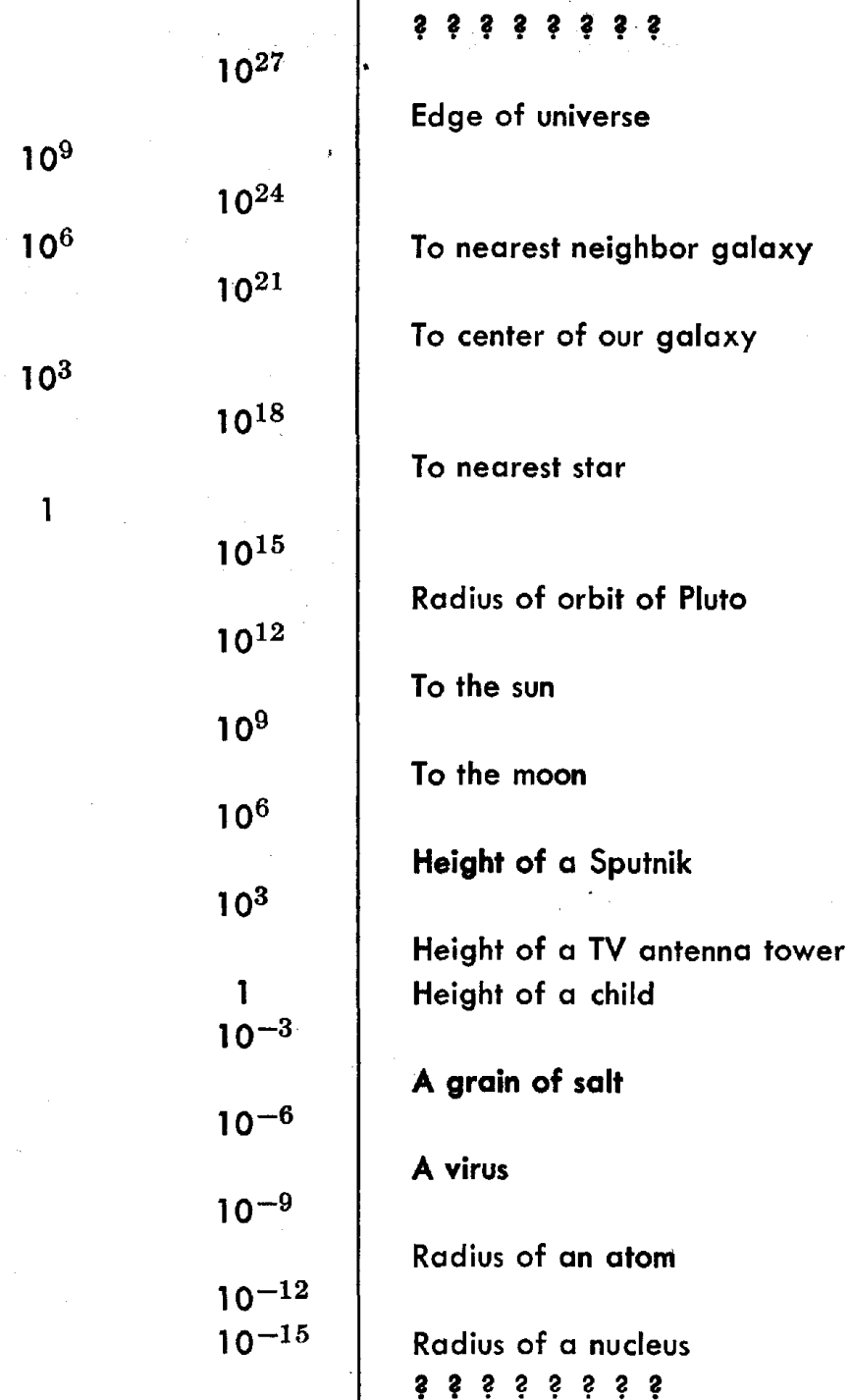
## Mjerenje “malih” udaljenosti


- Umetanje zarezna na štap, korištenje palca ili stopala
- Definicije jednog metra:  $1 \text{ m} = \text{duljina štapa u laboratoriju u Francuskoj}$ ,  $1 \text{ m} = (\pi/2) \times 10^{-7} \times \text{radijus Zemlje}$ ,  $1 \text{ m} = \text{dogovoreni broj valnih duljina određenog spektra svjetlosti}$ ,  $1 \text{ m} = \text{duljina puta koju svjetlost u vakuumu pređe u } 1/299\,792\,458 \text{ s}$
- Uz pomoć svjetlosnog mikroskopa moguće je mjeriti veličine do  $10^{-7} \text{ m}$  (valna duljina vidljive svjetlosti)
- Elektronskim mikroskopom promatrani su virusi reda veličine  $10^{-8} \text{ m}$
- Spektroskopskom analizom materijala nađeno je da je promjer atoma reda veličine  $10^{-10} \text{ m}$

• Gađanjem tankih listića materijala vrlo brzim česticama nađen je polumjer jezgre atoma ( $10^{-15}$  m=1 *fermi*)

• Promjer elektrona= $10^{-18}$  m

$$\sigma = r^2 \pi = \frac{A}{N} \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$





Ima li smisla mjeriti manje udaljenosti? Da li je moguće mjeriti manje udaljenosti?

- Zakoni prirode onemogućuju savršena mjerenja
- Oni su posljedice valne prirode materije
- Želimo li znati preciznije *kada* se neki događaj desio, manje moramo znati o tome *što* se zapravo desilo

*Pogreška u određivanju pozicije  
objekta koji promatramo*

$$\Delta x = \frac{\hbar}{\Delta p} \quad (\text{Planckova konstanta})$$

*(pogreška impulsa promatranog objekta)*

*Pogreška mjerenog vremena nekog  
događaja*

$$\Delta t = \frac{\hbar}{\Delta E} \quad (\text{pogreška energije procesa koji promatramo})$$

Kamo vode sve  
preciznija mjerenja?

KONAČNO ILI BESKONAČNO?

# PROSTOR-VRIJEME

# SADRŽAJ:

1. Geometrija prostor-vremena
2. Intervali prostor-vremena
3. Prošlost, sadašnjost, budućnost
4. Energija i impuls

## Lorentzove transformacije

$$x' = \frac{x - ut}{\sqrt{1 - u^2 / c^2}}$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = \frac{t - ux / c^2}{\sqrt{1 - u^2 / c^2}}$$

**Transformacije koordinata sustava od kojih je jedan zaokrenut u odnosu na drugi**

$$x' = x \cos \mathcal{G} + y \sin \mathcal{G}$$

$$y' = y \cos \mathcal{G} - x \sin \mathcal{G}$$

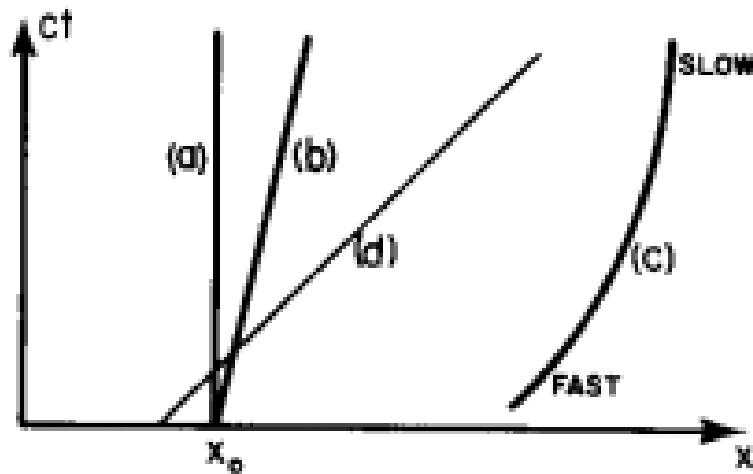
$$z' = z$$



➤ kao što je u crtanom sustavu nova duljina kombinacija “stare” (necrtane) duljine i “stare” širine tako i na prostornu koordinatu možemo gledati kao na kombinaciju “stare” prostorne koordinate i vremena

➤ na stvarnost možemo dakle gledati kao na mjehur koji zauzima neki prostor i traje u nekom vremenu; takav novi svijet nazivamo prostor-vrijeme

➤ Dijagram prostor-vremena  
(čestice su prikazane linijama)



Interval je invarijantan na transformacije koordinata

$$c^2 t'^2 - x'^2 - y'^2 - z'^2 = c^2 t^2 - x^2 - y^2 - z^2$$

Ako postavimo jednađbe u sustav u kojem je  $c=1$ , jednađbe se pojednostavljaju, a vrijeme i prostor postaju jedno

$$x' = \frac{x - ut}{\sqrt{1 - u^2}}$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

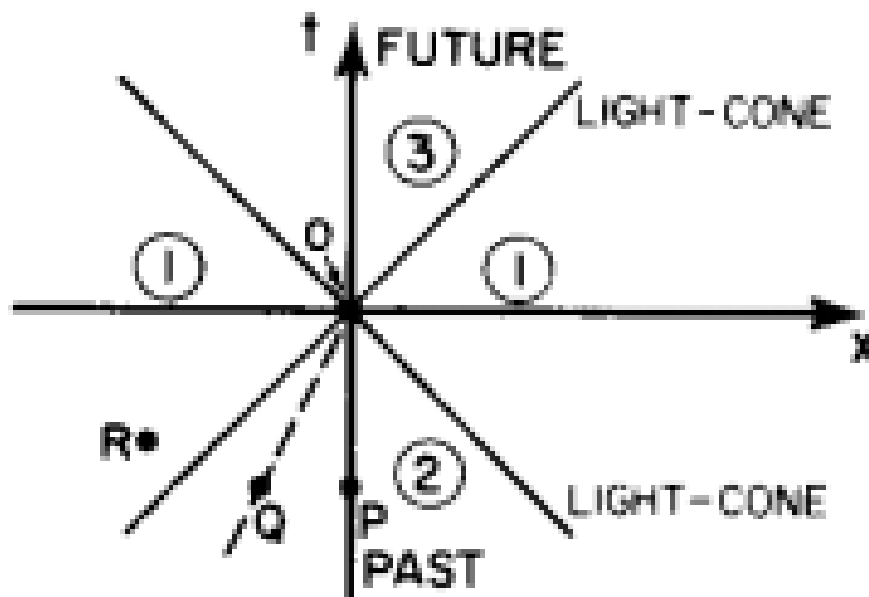
$$t' = \frac{t - ux}{\sqrt{1 - u^2}}$$

$$t'^2 - x'^2 - y'^2 - z'^2 = t^2 - x^2 - y^2 - z^2$$

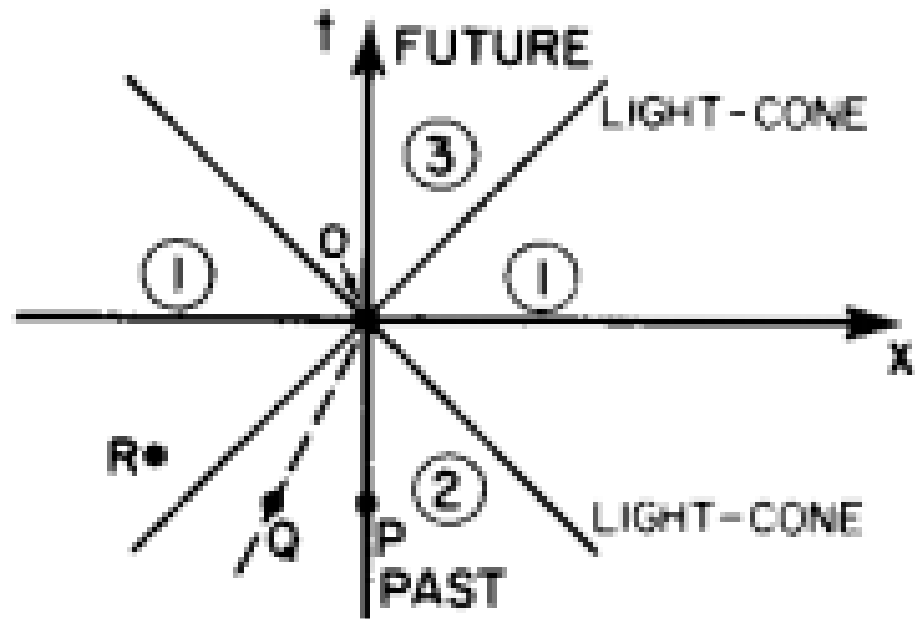
➤ **vrijeme i prostor imaju istu  
mjernu jedinicu**

Regiju 2  
zovemo  
prošlost točke  
O

Regiju 3  
zovemo  
budućnost  
točke O



**Nitko nam  
ne može  
reći što se  
dogaća u  
regiji 1!**



Foton se stalno kreće brzinom  $c$

Energija fotona:

$$E = h\nu$$

Impuls fotona:

$$p = \frac{h}{\lambda}$$

Frekvencija fotona

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$



Masa fotona je nula ali ona ima energiju !

➤Neprekidno se kreće brzinom  $c$



# Literatura

- R.P. Feynman, Feynman Lectures On Physics, Poglavlje 5., Addison-Wesley, Boston, 1998.
- I. Supek, Povijest Fizike, Školska knjiga, Zagreb, 2004.