

Vrijeme i fizika

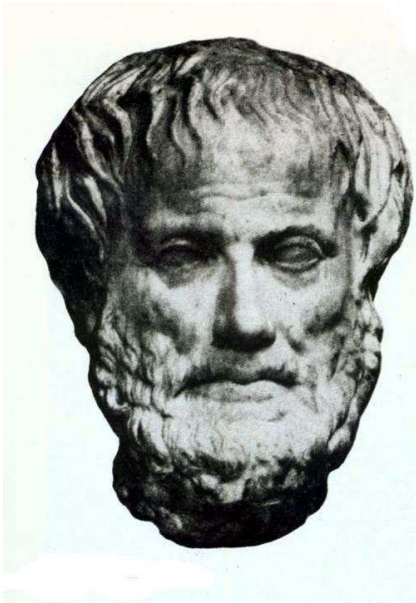
Krešimir Kumerički

kkumer@phy.hr

Zavod za teorijsku fiziku, Fizički odsjek, PMF

Često postavljana pitanja

- Što je bilo **prije** Velikog praska?



“Jer ne može biti prije ili poslije ako ne postoji vrijeme”

Aristotel

Metafizika XII 1071 b 5

Newtonovo apsolutno vrijeme



Svjetlost i elektrodinamika



$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho \quad \nabla \times \vec{H} = \frac{1}{c} \left(\vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad \nabla \times \vec{E} + \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = 0$$

- Brzina $c=300\,000$ km/s, **ali u odnosu na koga?**
- eter?

Nagovještaji relativnosti

- Michelson-Morley \Rightarrow **nema etera**
- Lorentz-FitzGeraldova kontrakcija
- Lorentzove transformacije

$$x = \frac{x' - vt'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad t = \frac{t' - vx'/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

- t - vrijeme
- t' - “lokalno vrijeme”, pomoćni matematički koncept

to minkowski

Specijalna teorija relativnosti



*“...vrijeme nije apsolutno definirano već postoji **nerazdvojiva veza između vremena i brzine signala.** ... Pet tjedana nakon ove spoznaje kompletirao sam specijalnu teoriju relativnosti.”*

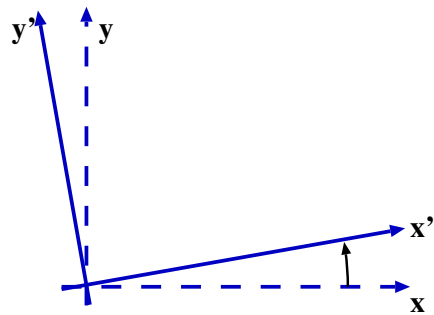
Albert Einstein, 1922.

- Događaji koji su za jednog promatrača istovremeni, za drugog mogu biti raznovremeni
- ipak, kauzalnost je očuvana
- Inercijalni sustavi - gdje ne možemo detektirati gibanje

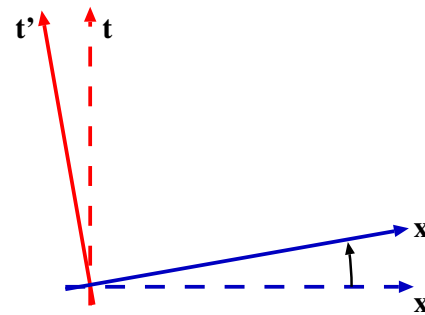
Nova geometrija

- Minkowski: prostor + vrijeme = 4D prostor-vrijeme

rotacija u prostoru



rotacija u prostor-vremenu



- Veliko pojednostavljenje. Npr. Maxwellove 4 jednačbe postaju:

$$\partial_{\mu} F^{\mu\nu} = J^{\nu}$$

- Zašto vrijeme doživljavamo različito od prostora?
- “problem strijele vremena”

Opća teorija relativnosti



“Osoba koja slobodno pada ne osjeća silu težu.”

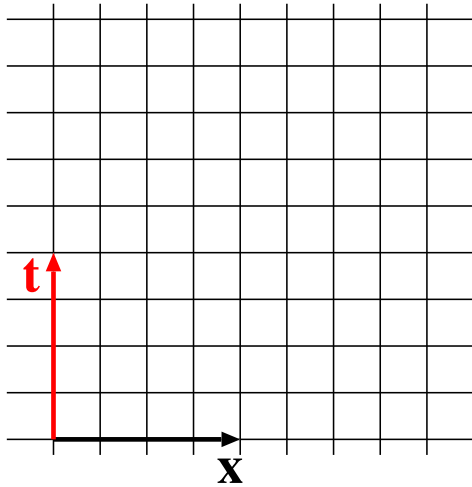
Albert Einstein

“...najsretnija misao mojeg života. Dovala me do teorije gravitacije.”

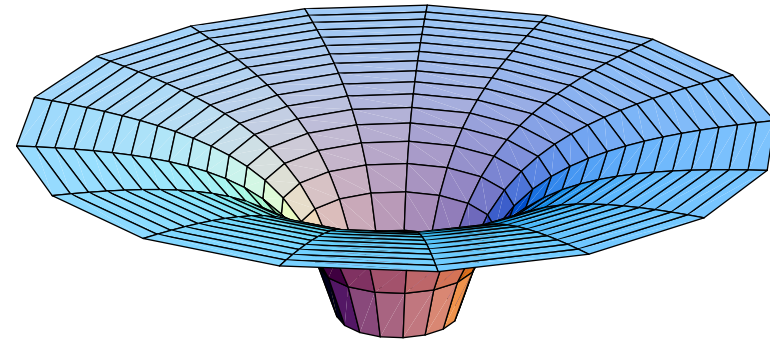
- Proširenje relativnosti na neinercijalne sustave
- uključuje gravitaciju koja više nije “prava” sila već samo zakrivljenje prostor-vremena

Zakrivljeno vrijeme

specijalna teorija

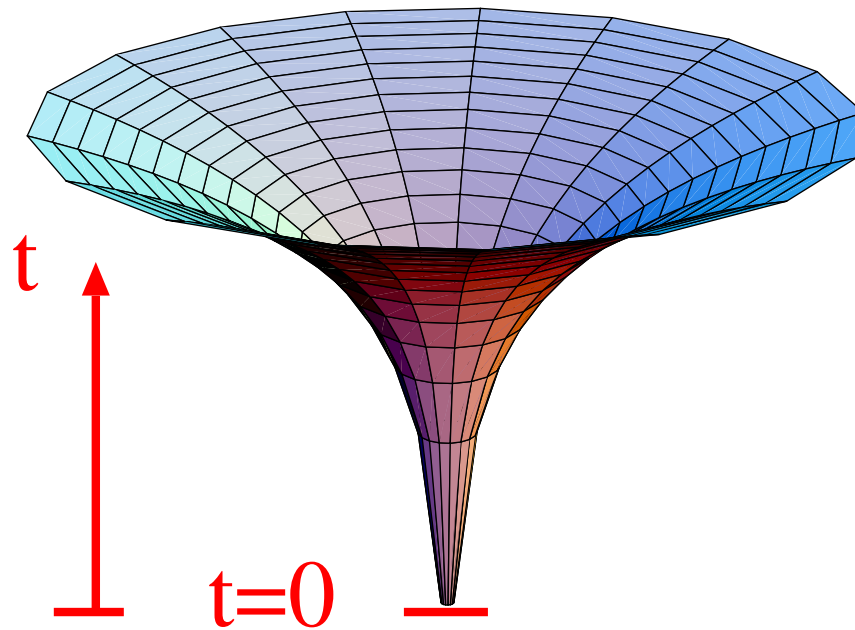


opća teorija

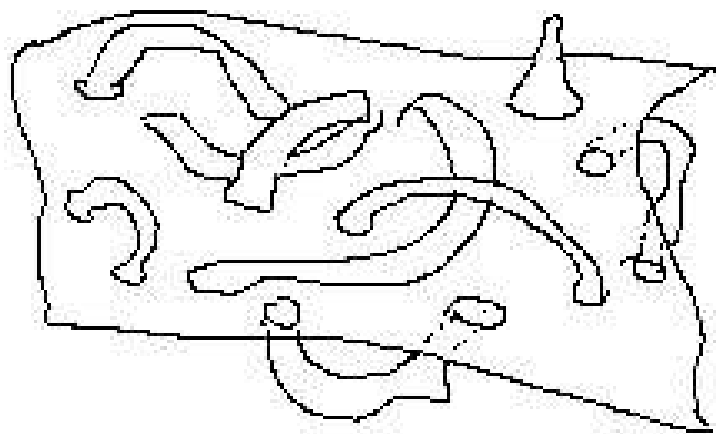


- protok vremena sporiji u gravitacijskom polju
- Global Positioning System (GPS) to mora uzeti u obzir:
38 μs zaostataka dnevno \Rightarrow greška od 10 km

Početak vremena



Vrijeme kvantne gravitacije



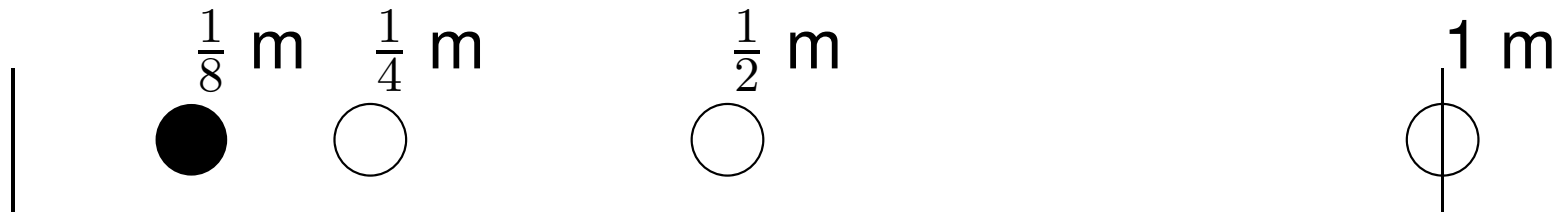
Bezvremenska fizika

- Tvrdnja "*Vlak ulazi u stanicu u podne.*" =
 - Ulazak vlaka u stanicu (fizikalni proces) i pozicioniranje kazaljke sata na broj 12 (fizikalni proces) su procesi koji se poklapaju.
- Rastavljanje ovog na:
 - U trenutku t vlak ulazi u stanicu. +
 - U trenutku t kazaljka sata je na 12.je nejednoznačno i proizvoljno.

Hvala na pažnji!

Zenon i Aristotel

● Zenonov paradoks gibanja



2005 - Svjetska godina fizike



- “Pirelli” daje 25 000 EUR za najbolju 5-minutnu interaktivnu multimedijalnu prezentaciju specijalne teorije relativnosti!
- Popularizacijske aktivnosti Hrvatskog fizikalnog društva

Hiperindex

- Nova geometrija
- Opća teorija relativnosti
- Zakrivljeno vrijeme
- Početak vremena
- Vrijeme kvantne gravitacije
- Bezvremenska fizika
- Zenon i Aristotel
- 2005 - Svjetska godina fizike