RELATIVISTIČKA TEORIJA

LOBAČEVSKI, RIEMANN, MACH, EINSTEIN, MINKOWSKI;

OPĆA I SPECIJALNA TEORIJA RELATIVNOSTI

David Rajlić, MF4, 2006/07

Nikolaj Ivanovič Lobačevski

- Rođen 1.12.1792 u Novgorodu, umro 12.02.1856 u Kazanu.
- 1800. s majkom se seli u Kazan, gdje diplomira na Sveučilištu.
- 1811. magistrira, a 1822. postaje sveučilišni profesor.

- glavno postignuće - razvitak neeuklidske geometrije. Prije njega matematičari su pokušavali dokazati Euklidov 5. aksiom iz ostala 4.
- razvio prvu neeuklidsku geometriju –

  tzv. hiperboličku geometriju

  u kojoj 5. aksiom ne vrijedi

- zamijenio Euklidov postulat postulatom “postoji više paralelnih pravaca kroz bilo koju odabranu točku prostora”
- bitna posljedica te promjene: u hiperboličkoj geometriji zbroj kuteva u trokutu mora biti manji od 180 stupnjeva.
- ideje i radovi Lobačevskog bili su kritizirani i loše prihvaćeni za njegova života, a on bio optuživan za plagijatorstvo

- Njegovi rezultati postali su vrlo važni par desetljeća nakon njegove smrti.
- Doveli su do razvoja općenite teorije neeuklidske geometrije i u konačnici utrli put i načelima koja su pomogla formuliranju Einsteinove opće teorije relativnosti.

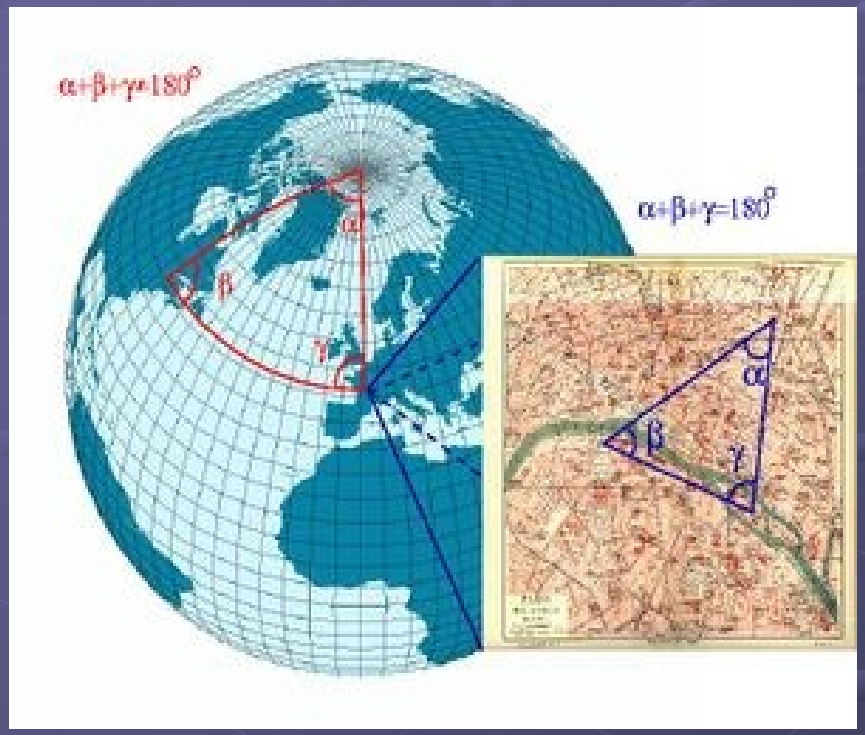
GEORG FRIEDRICH BERNHARD RIEMANN

- Rođen 17.11.1826 u Dannenbergu, umro 20.7.1866 u Ghiffi.
- Kao srednjoškolac, intenzivno proučavao Bibliju, ali je njegov interes često skretao prema matematici pa je tako pokušao matematički dokazati točnost Knjige postanka.

- Počeo studirati teologiju, ali se ipak 1847. prebacio na studij matematike na Sveučilištu u Göttingenu, gdje mu je među ostalima predavao i Gauss
- Seli se u Berlin, gdje mu predaju Jacobi, Dirichlet i Steiner.
- Već u svojim prvim radovima postavlja temelje, po njemu nazvane, Riemannove geometrije.
- Također, bio je prvi koji je predložio i radio na teoriji viših dimenzija koja je također kasnije jako pojednostavila iskazivanje nekih fizikalnih svojstava.

RIEMANNOVA GEOMETRIJA

- Ona je proučavanje glatkih mnogostrukosti sa Riemannovom metrikom, tj. sa zadanom pozitivno definitnom formom na tangencijalnim prostorima koja od točke do točke glatko varira.
- Ona se bavi širokim rasponom geometrija čija metrička svojstva variraju od točke do točke, kao što su sferna, hiperbolička, ali i Euklidska geometrija.
- Korištenjem tenzora pridodanih svakoj točki prostora može se izraziti njegova zakrivljenost i razna druga svojstva



- Razvoj Riemannove geometrije i njenog poopćenja pseudo-Riemannovih geometrija (u četiri dimenzije), označile su još jedan korak prema stvaranju matematičkog aparata pomoću kojeg je formulirana opća teorija relativnosti.

- Riemannova metrika koja se koristi za opis prostor-vremenskog kontinuuma je oblika:

$$ds^2 = g_{11}dx^2 + g_{12}dxdy + g_{22}dy^2$$

- Gdje veličine g_{11}, g_{12} i g_{22} opisuju metrička svojstva površine tj. metričko polje (zakrivljenost, glatkoća...)
- Ako je moguće odabrati koordinate tako da ovaj izraz poprimi oblik:

$$ds^2 = dx^2 + dy^2$$

- (Pitagorin poučak), tada je kontinuum euklidski (ravnina). Jasno je prema tome, da je euklidski kontinuum poseban slučaj Riemannovog. Obratno, Riemannov kontinuum je metrički kontinuum koji je u beskonačno malim područjima euklidski, ali ne i u onima konačne veličine.

ERNST MACH

- Rođen 18.02.1838. u Brnu, umro 19.02.1916. u Munchenu.
- Studirao matematiku, fiziku i filozofiju na Sveučilištu u Beču.
- Doktorirao iz fizike 1860.

- u ranijim radovima bavi se Doplerovim efektom u optici i akustici.
- bavio se interferencijom, difrakcijom, polarizacijom i refrakcijom svjetlosti, te istraživanjima supersoničnih brzina.
- najbitniji su njegovi doprinosi filozofiji znanosti i kozmologiji, posebno Machov princip - jedna od osnovnih premisa teorije relativnosti.

- Ako je svo gibanje relativno kako možemo mjeriti inerciju nekog tijela? Moramo mjeriti inerciju u odnosu na nešto (drugo).
- Zamislimo česticu koja je sama u svemiru. U tom slučaju opisivanje stanja gibanja čestice nema nikakvog smisla.
- Einstein je Machov princip interpretirao otprilike na način: “Izvor inercije je međudjelovanje različitih tijela.”
- Upravo takva interpretacija dovela je Einsteina do opće teorije relativnosti i rezultata o iskrivljenju prostorvremena koje stvaraju tijela s masom.

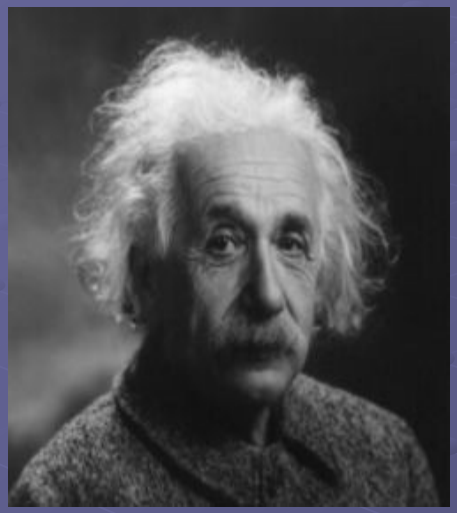
HERMANN MINKOWSKI

- Rođen 22.6.1864. u Kaunasu, umro 12.01.1909. u Göttingenu
- Litvanac njemačkih i židovskih korijena

- Studirao na sveučilištima u Berlinu i Königsbergu gdje je doktorirao 1885.
- Predavao je na sveučilištima u Berlinu, Göttingenu, Königsbergu i na ETH u Zurichu gdje je bio Einsteinov profesor
- Proučavao je aritmetiku kvadratnih formi, posebno općenito za *n* varijabli.

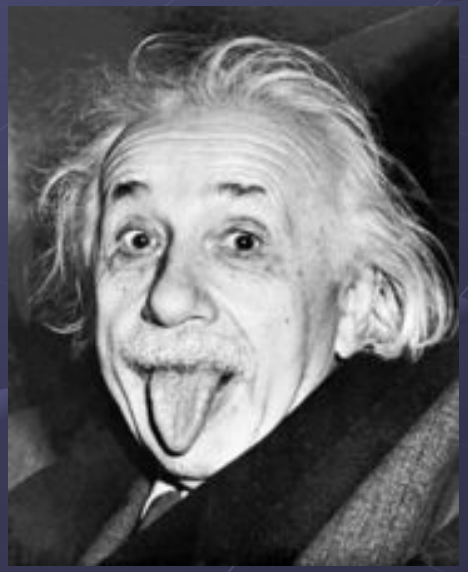
- 1907. proučavajući Einsteinovu specijalnu teoriju relativnosti zaključuje da bi ona bila najrazumljivija kad bi bila korištena u četverodimenzionalnom prostoru, kasnije nazvanom *prostoru Minkowskog* u kojem vrijeme i prostor nisu odvojene dimenzije, nego su spojene u zajedničko četverodimenzionalno prostorvrijeme u kojem se Lorentzova geometrija specijalne relativnosti može jednostavno prikazati.

ALBERT EINSTEIN



- Rođen 14.3.1879. u Ulmu, umro 18.4.1955. u Princetonu.
- Odrastao u židovskoj trgovačkoj obitelji.

- 1889. obiteljski prijatelj daje mu Kantovu *Kritiku čistog uma* i Euklidove *Elemente,* što označava početak njegovog bavljenja prirodnim znanostima i filozofijom.



- Upisuje gimnaziju, gdje se sukobljava sa školskim autoritetima zbog rigidnog pruskog načina naobrazbe.
- 1894. s obitelji se seli u Milano, pa u Paviu.
- Ne završivši srednju školu, sa 16 godina izlazi na prijemni ispit na ETH Zurich (Švicarski tehnološki institut), ali se ne uspijeva upisati.
- Ipak, završava srednju školu i konačno se upisuje na ETH 1896.
- Diplomira 1901., ali ne može naći posao te ga preko veze zapošljavaju u uredu za patente u Bernu.

ANNUS MIRABILIS

- 1905., još uvijek radeći u patentnom uredu objavljuje u znanstvenom časopisu *Annalen der Physik* četiri rada od ogromne važnosti za fiziku i razumijevanje svijeta.
- U prvom radu razjašnjava fotoelektrični efekt, te koristeći kvante energije pobija tadašnje teorije o valnoj prirodi svjetlosti.

- U drugom radu objašnjava Brownovo gibanje – slučajna gibanja malih objekata kao direktan dokaz aktivnosti molekula, podržavajući time atomsku teoriju.
- U trećem radu, baveći se elektrodinamikom predlaže tada radikalnu specijalnu teoriju relativnosti, koja zahtjeva fundamentalne promjene u shvaćanju istodobnosti.
- U četvrtom radu iz specijalne teorije relativnosti dobiva najpoznatiju jednadžbu u znanosti, $E = mc^2$, i pretpostavlja ekvivalenciju tvari i materije.

- Oko 1908. započinje rad na općoj teoriji relativnosti.
- 1912. radi kao profesor na ETH, gdje susreće Marcela Grossmana, koji ga upoznaje sa Riemannovom geometrijom.
- Koristeći Riemannov tenzorski račun, do 1915. dovršava i objavljuje opću teoriju relativnosti, jednu od do danas najbitnijih alata za razumijevanje funkcioniranja svemira, koja je potvrđena već 1917. kada je pokazano da gravitacija skreće svjetlost.

- 1921. dobiva Nobelovu nagradu iz fizike za otkriće fotoelektričnog efekta
- Kasnija istraživanja se većinom odnose na nekoliko neuspješnih pokušaja stvaranja ujedinjene teorije polja
- 1924 stvara sa Satyendrom Boseom Bose –Einsteinovu statistiku i predviđa postojanje još jednog agregatnog stanja: Bose –Einsteinovog kondenzata, koji je eksperimentalno potvrđen tek 1995.

- vodi dugogodišnju raspravu sa Nielsom Bohrom o prirodi kvantne mehanike.
- 1932. bježeći od nacizma odlazi u SAD gdje do smrti radi u Princetonu na novoosnovanom *Institute for advanced study.*

Specijalna rteorija relativnosti

- Proizlazi iz postulata da je brzina svjetlosti jednaka u svim sustavima.
- Ta tvrdnja pobija klasične Newtonovske pojmove o apsolutnosti prostora i vremena.
- Udaljenosti vrijeme ovise o promatraču.Ne postoji privilegirani inercijalni referentni sustav
- Specijalna je jer se odnosi samo na inercijalne sustave

- Iz nje proizlaze:

  - fenomeni dilatacije vremena, relativnost istovremenosti, kontrakcija dužine promatranog tijela.
  - Brzine se više ne mogu na jednostavan način zbrajati.
  - Kako se objekt približava brzini svjetlosti njegova inercijska masa raste u beskonačnost.
  - Ekvivalencija mase i energije.

Opća teorija relativnosti

- Leži na osnovnim principima:
- Princip relativnosti: zakoni fizike isti u svim sustavima (inercijalnim i neinercijalnim)
- Princip kovarijantnosti: zakoni fizike moraju imati isti oblik u svim koordinatnim sistemima
- Lorentzova invarijantnost: zakoni specijalne relativnosti vrijede lokalno za sve inercijalne sustave
- Prostorvrijeme je zakrivljeno

- To je geometrijska teorija gravitacije koja ujedinjuje specijalnu relativnost, Newtonov zakon gravitacije i činjenicu da je gravitacijska akceleracija posljedica zakrivljenosti prostorvremena.
- Koristi Riemannovu geometriju i tenzorski račun

- Predviđa:

- Gravitacijski crveni pomak
- Gravitacijsku dilataciju vremena
- Gravitacijsko skretanje svjetlosti
- Precesija apsisa orbita nebeskih tijela
- Vučnja referentnog sustava – rotirajući masivni efekt vuče prostorvrijeme za sobom dok rotira
- Postojanje crnih rupa
- Itd... :D

Literatura

- http://en.wikipedia.org/wiki/Lobachevsky
- http://en.wikipedia.org/wiki/Riemannian_geometry
- http://en.wikipedia.org/wiki/Riemann
- http://en.wikipedia.org/wiki/Mach%27s_principle
- http://en.wikipedia.org/wiki/Ernst_Mach
- http://en.wikipedia.org/wiki/Einstein
- http://en.wikipedia.org/wiki/Hermann_Minkowski
- http://en.wikipedia.org/wiki/General_relativity
- http://en.wikipedia.org/wiki/Special_relativity
- Gerald E. Tauber, Einsteinova opća teorija relativnosti Globus, Zg, 1984.
- Ivan Supek, Teorijska fizika i struktura materije, Zg, 1974.
- Albert Einstein, Moja teorija, Polaris,1985.