

KAS AEG ON OLEMAS?

Piret Kuusk

TÜ Füüsika Instituut

16. aprill 2007

Kava (I)

- Sissejuhatus
- Eluslooduse ajad
- Füüsikaline aeg: Newton
- Füüsikaline aegruum: erirelatiivsusteooria
- Ajafilosoofia: McTaggart ja aja ebareaalsus

Kava (II)

- Füüsikalise aja suund
- Aja kahesugune iseloom?
- Erirelatiivsusteooria ja olevik
- Üldrelativistlik ajafüüsika
- Kosmoloogiline aeg ja Universumi ajalugu
- Kas aeg on olemas?

Sissejuhatus

- “Mis on siis aeg? Kui keegi seda minult ei küsi, siis ma tean, kui küsijale seletada tahaksin, siis ei tea.”
- Augustinus (354-430)
“Pihtimused” (~400) XI raamat

Eluslooduse ajad

- Aeg on see, mis viib sünnist surmani
- Aeg on elusolendi seisundite üheparameetriline rida, milles on antud lineaarne järjestus - iga kahe seisundi kohta on teada, milline neist on reas eelnev ja milline järgnev
- Inimesel on lisaks bioloogiliste seisundite reale olemas ka teadvusseisundite rida

Seisundite järjestatud rida on kell

- Seisundi järjekorranumber reas on kella-aeg
- Elusorganismi seisundite järjestatud rida määrab olendi bioloogilise kella aja
- Teadvusseisundite järjestatud rida määrab inimese sisemise kella aja
- Väline ehk füüsikaline aeg on kellaks nimetatud füüsikalise aparaadi näitude rida

Hoiatus

- Tuleks hoiduda eeldusest, et füüsikaline aeg, mis võib täita kogu ajatelje miinus lõpmatusest kuni pluss lõpmatuseni, on universaalne taust, mille järgi tuleb kalibreerida elusolendi bioloogilist kella ja teadvusseisundite sisemise aja kella
- See on pigem teoreem, mida tuleb alles tõestada

Füüsikaline aeg: Newton

- Isaac Newton (25.12.1642/5.01.1643 -1727)
- Raamat “Philosophiae naturalis principia mathematica” (1687)
- Eesmärk: lahutada füüsika filosoofiast
- Katse ja vaatlus peavad kätte näitama füüsika alusaksioomid (Newtoni seadused), kõik muu järeldatakse neist matemaatiliselt

Newton: absoluutne aeg

- Enne oma liikumisseadusi pidi Newton ütlema, mis on liikumine, aeg ja ruum
- “Absoluutne, tõeline, matemaatiline aeg iseenesest ja oma olemuselt, võetuna omaette olevana, kulgeb ühtlaselt ja seda nimetatakse ka kestuseks.”
- See määratlus on metafüüsiline, sest absoluutne aeg pole katsetes mõõdetav

Newton: absoluutne ruum

- “Absoluutne ruum on oma olemuselt sõltumatu millestki välisest ja jääb alati ühesuguseks ja liikumatuks.”
- “Absoluutne liikumine on keha ümberpaiknemine ühest absoluutsest kohast teise.”
- Newtoni liikumisseadus $F = m \cdot a$ kirjeldab absoluutset liikumist absoluutses ajas

Absoluutse aja kell?

- Täiesti ühtlaselt ja sirgjooneliselt liikuva keha olekud, mis tähistavad võrdsete vahe-
maade järjestikust läbimist, võiksid
moodustada seisundite rea, mille järjekorra-
number võiks märkida absoluutse aja
ühikute arvu, mis on möödunud lugemise
algusest
- Niisugust füüsikalist keha pole olemas

Absoluutne aeg ja ruum: mahutid kõige olemasoleva jaoks

- Newton: “Nii nagu on muutumatu aja osade kord, nii on muutumatu ka ruumi osade kord. Kui nad lahkuksid oma kohtadelt, siis nad (nagu) liiguksid iseenestesse, sest aeg ja ruum moodustavad justkui iseeneste ja kõige oleva mahuti. Ajas paigutub kõik järgnevuse korras, ruumis - asendi korras.”
- Igal sündmusel on oma koht ajas ja ruumis

Füüsikaline aegruum: erirelatiivsusteooria

- Erirelatiivsusteoorias ühendatakse aeg ja ruum ühtseks neljamõõtmeliseks geomeetriliseks objektis - aegruumiks
- Erirelativistliku aegruumi struktuur (kauguste võrk) erineb Newtoni absoluutse aja ja absoluutse ruumi ühendamisel saadust
- Erirelativistlik aegruum on kõikvõimalike sündmuste mahuti

Erirelatiivsusteooria kell: valgus

- Erirelatiivsusteooria kohaselt liigub valgus alati ja kõigi vaatlejate jaoks ühesuguse kiirusega - $299792,4562 \text{ km/sek}$
(km ja sek on defineeritud aatomifüüsikast)
- Valgus esindab Newtoni teoorias puuduvat täiesti ühtlast ja sirgjoonelist liikumist
- Valgus seob erirelatiivsusteooria aja ja ruumi üheks tervikuks ja lubab seda mõõta

Küsimus

- Erirelatiivsusteooria on katseliselt väga hästi kontrollitud piirkondades, kus pole vaja arvestada raskusjõu mõju valgusele
- Gravitatsiooninähtusi kirjeldab üldrelatiivsusteooria
- Kuid enne veel, kui sellest kõnelda, võib küsida: kas aegruumi füüsika saab sisaldada kogu tõe aja kohta?

Imelised aastad XX saj alguses

- Eirelatiivsusteooria (1904-1908):
Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928)
Henri Poincaré (1854-1912)
Albert Einstein (1879-1955)
Hermann Minkowski (1864-1909)
- Ajafilosoofia (1908):
John M. Ellis McTaggart (1866-1925)
ja teised

McTaggart: ajahetkede A- ja B-seeria

- Ajahetkedel (tähistatud sündmustega) on kaks erinevat loomulikku järjestusviisi:
- varasem-hilisem suhtes järjestus annab ajahetkede nn B-seeria ja seda mõõdavad füüsikalised kellad
- järjestus omaduse järgi olla minevikus, olevikus või tulevikus annab ajahetkede nn A-seeria ja see on meile vahetult antud

McTaggart: A-seeria on ajale olemuslik

- Ajahetkede B-seeria on Newtoni või erirelativistliku füüsika ajatelg, kus aga pole näidatud, milline hetk on olevik
- Ajahetkede A-seeria, mis sisaldab muutuvat olevikku, on tegelikult kogetud aja olemus
- Lähtudes A-seeriast saab B-seeria määrata - reastame sündmused nende olevikus toimumise järjekorras ja kustutame “nüüd”

A-seerias on loogiline viga

- A-seeria sisaldab loogilist vastuolu, sest igale sündmusele omistatakse kolm üksteist välistavat omadust: olla tulevikus, olla olevikus ja olla minevikus
- Vastuväide: need omadused omistatakse erinevatel ajahetkedel
- See aga viib loogilisse ringi: aeg ise on ju määratud A-seeria hetkede järgnevuse abil

McTaggart: aeg ei ole reaalne

- Kui asi piirduks loogilise ringiga, võiksime loobuda aja määratlemisest
- See ei lahenda vastuolu seaduse rikkumist; nt iga lause kujul “sündmus p toimub praegu” on korraga tõene ja väär.
- Kuna reaalse maailma kirjeldus ei tohi rikkuda loogika põhiseadust, ei saa aeg olla reaalne ja see, mida me nimetame ajaks, võib olla kas ideaalne või subjektiivne

Pärast McTaggartit

- McTaggarti arutluskäik ajahetkede A-seeria ebareaalsusest sisaldab varjatud (keelelisi ja loogilisi) probleeme, mida siin ei vaatle
- Küll aga oleme saanud vastuse küsimusele, kas füüsikaline aeg ehk ajahetkede B-seeria võib sisaldada kogu tõde aja kohta: EI, sest selles puudub olevikuhetke tähis
- Füüsika ei muutu aja nihutamisel $t' = t + c$

Füüsikalise aja suund

- Newtoni liikumisseadused (ka erirelatiivsusteooria seadused) ei määra aja suunda – vaba keha kolm asendit ühel sirgel võivad olla läbitud kiirusega v või kiirusega $(-v)$
- Kuid maailmas on palju protsesse, kus aja suund on meile teada: vaas kukub kildudeks, kuid killud ei kogune ealeski tagasi vaasiks

Ludwig Boltzmann (1844-1906)

- Kuigi üksikute osakeste liikumist kirjeldavad Newtoni seadused ei tee vahet aja suuna vahel, saab suurest arvust osakestest koosnevale füüsikalisele süsteemile omistada uut tüüpi omaduse - entroopia - ja isoleeritud süsteemi jaoks on entroopia arvulise väärtuse muutus aja kulgemise suunas null või nullist suurem.

Aja asümmeetriad füüsikas:

- entroopia kasv isoleeritud termodünaamilistes (statistilistes) süsteemides
- retardeeritud kiirguse $\varphi(t-x)$ olemasolu ja avansseeritud kiirguse $\varphi(-t-x)$ puudumine
- Universumi kosmoloogiline paisumine
- kvantmehaanilise lainefunktsiooni kollaps mõõtmisprotsessis

Veel üks ajanool - mälu

- Psühholoogiline aeg on suunatud - mälu mäletab vaid minevikku
- Miks näitavad kõik need ajanooled ühte suunda ja ükski neist ei tee tagasipöördeid?
- Seletuse annaks kõigi nende (füüsika-teoreetiline) tuletamine ühestainsast
- Seda pole vähegi rahuldaval tasemel tehtud

Arthur Eddington (1882-1944)

- Aja kestust ja aja suunda mõõdavad erinevad kellad
- Füüsikas: aja kestust mõõdab ühtlane liikumine, aja suunda näitab entroopia
- Teadvuses: Newtoni tüüpi kella pole (kestusi hindame vaid ligikaudselt), küll aga võib olla entroopiakell, sest aja suunda teame vahetult ja eksimatult

Entroopiakell

- Näide: kellaosutiks on galvanomeeter termopaari ahelas (elektrivoolu tugevus on võrdeline kahe erineva metalli ühenduskohtade temperatuuride erinevusega). Kui ühenduskohtade temperatuur muuta erinevaks ja siis süsteem isoleerida, tekib termovool, mille tugevus väheneb ajas
- Kõik entroopiakellad käivad ühes suunas

Erirelatiivsusteooria

- Aegruumi struktuur: (aegruumilise kauguse ruut) = (ruumilise kauguse ruut) – (ajavahemiku ruut)
- Piki valguskiiri on aegruumiline kaugus null
- Erirelatiivsusteooria alus: kõik materiaalsed kehad liiguvad aeglasemalt kui valgus
- Vaatleja asukohta läbivad valguskiired moodustavad valguskoonuse ja kehade trajektoorid moodustavad selle sisu

Kronogeomeetriline fatalism

- Olevik on ühel hetkel toimuvad sündmused
- Teineteise suhtes liikuvad vaatlejad peavad olevikuks erinevaid sündmustekogusid
- Kui sellised vaatlejad on teineteisest eemal, siis ühe vaatleja tulevikus olev sündmus võib osutuda olevaks teise vaatleja minevikus
- Ühe vaatleja tulevik tundub olevat üheselt ära määratud teise vaatleja minevikuga

Lorentzi teisendused

- Kaasaegse füüsika aluseks on katsed ja vaatlused, mis seotakse tervikuks matemaatika ja mitte kujutluspiltide abil
- Kui kujutlused on veidrad, tuleb arvutada
- Kui vaatlemishetke ja sündmust ühendav sirge on väljaspool valguskoonust, saab aegruumi lubatud (Lorentzi) teisendustega nende hetkede järjekorda suvaliselt muuta ja ühene järjestamine pole seega võimalik

Üldrelativistlik ajafüüsika

- Erirelativistlik aegruum lubab end jagada hetkeliste kolmruumide koguks; see jaotus on erinevalt liikuvate vaatlejate jaoks erinev
- Üldrelativistliku aegruumi struktuuri määravate Einsteini võrrandite lahenditel võib tavaline omadus hoopis puududa – aeg ja ruum on küll eristatavad lokaalselt, iga sündmuse lähedal, kuid tervet Universumit ei saa jagada kolmruumide jadaks, mille liikmete järjekorranumbrit võiks nimetada kella-ajaks

Kurt Gödel (1906-1978)

- Gödel küsis: kas on arukas nimetada ajaks midagi, mille olemasolu Universumis ei ole paratamatu, olgugi et mitte ka võimatu?
- Füüsikalises aegruumis on aeg ruumist eristatav vaid mõju poolt üle kantava põhjusliku toime levi võimaluse kaudu
- Seega objektiivne füüsikaline aeg pole üldse aeg, vaid ruum + põhjuslikkus, subjektiivne aeg koos “nüüd”-hetkega on aeg olemuslikult, kuid tal ei ole vastet füüsikareaalsuses

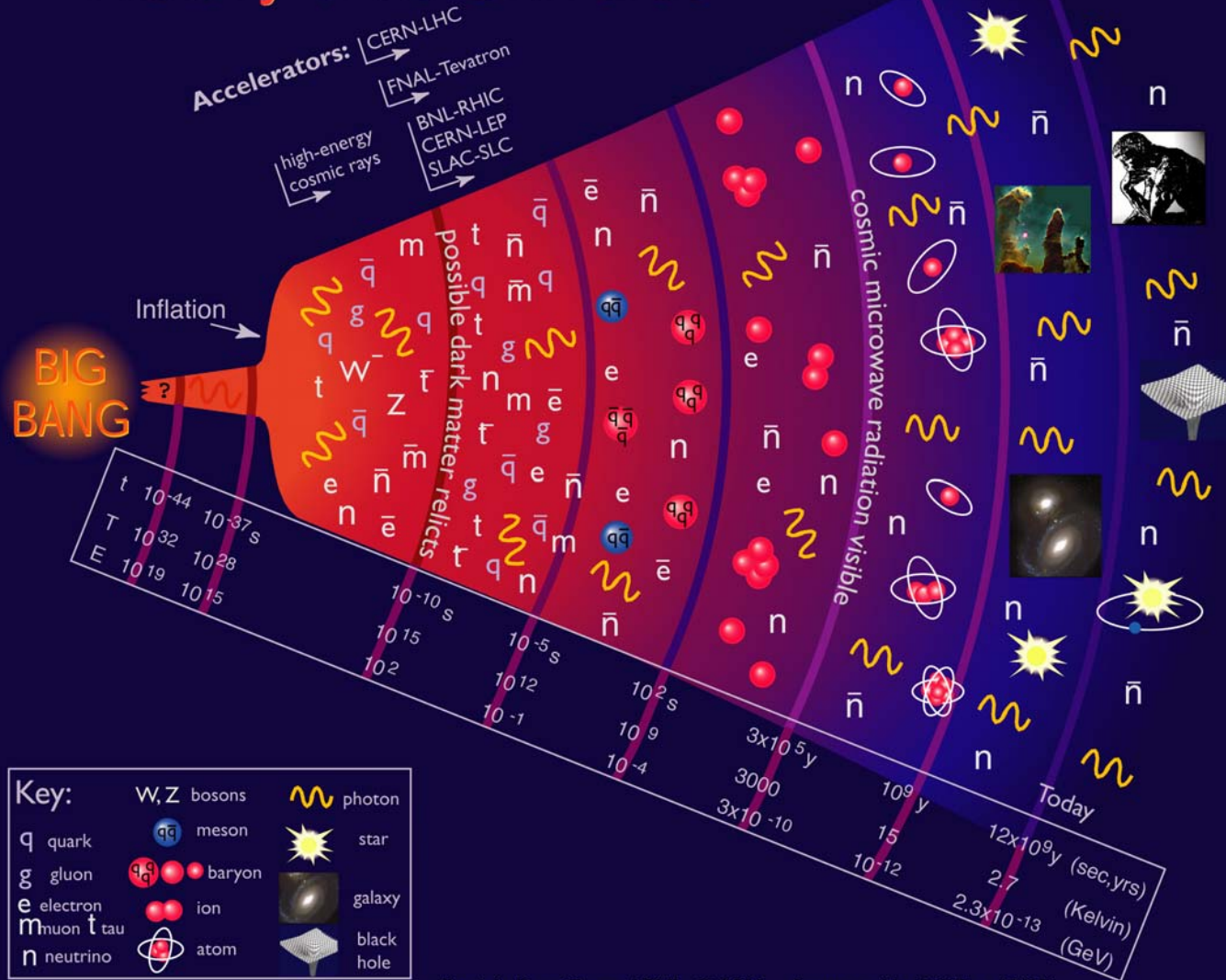
Kosmoloogiline aeg

- Kosmoloogia: võrrandite lahendamine ja tulemuste võrdlus vaatlusandmetega
- Kaasaegse kosmoloogia võrrandid: Einsteini võrrandid või nende mõõdukad üldistused
- Aja alguse probleem: kosmoloogiliste võrrandite lahend muutub ühel mineviku- hetkel määramatuks – füüsikalised suurused omandavad väärtuse null või lõpmatus

Aja ja ruumi kvantteooria?

- Tuleks uurida kosmoloogilisi protsesse aja alguse (Suure Paugu) lähedal
- Kuid mikrolähedal peaks mängu tulema mikromaailma füüsika – kvantteooria
- Kosmoloogia võrrandid kuuluvad oma tähenduselt klassikalise füüsika hulka
- Klassikalise füüsika ja kvantfüüsika alusprintsipiibid on loogiliselt vastuolulised

History of the Universe



Kas aeg on olemas?

- Ei, kuna aeg on vaid seisundite järjestus
- Jah, kuna aeg on kõigi sündmuste mahuti
- Ei, kuna teda ei ole võimalik mõõta ja ta taandub Newtoni füüsikast metafüüsikasse
- Jah, kuna erirelatiivsusteooria näitab kätte universaalse kella – valguse
- Ei, kuna Newtoni ja erirelatiivsuse füüsika mõõdab ainult ajahetkede B-seeriat ja talle jääb tabamatuks ajale olemuslik “praegu”

Missugune aeg on olemas, kui on?

- Aja kolm võimalikku metafüüsikat:
 - 1)presentism – olemas on vaid olevik
 - 2)possibilism – olemas on olevik ja minevik
 - 3)eternalism – olemas on olevik, minevik ja tulevik, seega kogu 4-mõõtmeline aegruum
- Füüsika eeldab eternalistlikku metafüüsikat
- Füüsika konstrueerib üha täpsemaid kellasisid
- Füüsika lubab üha täpsemaid aja-arvutusi

Eestikeelset lugemisvara

1. K. Gödel, “Märkus seose kohta relatiivsusteooria ja idealistliku filosoofia vahel”, “Akadeemia” nr 4, 2006, lk 762-770
2. “Akadeemia” nr 7, 2005 – erinumber erirelatiivsusteooriast
3. “Akadeemia” nr 5, 2003 – erinumber ajast
4. R.H. March, “Füüsika võlu” (“Ilmamaa”, 2000)
5. J. Zeldovitš, “Minu Universum” (“Valgus”, Tallinn, 1990)
6. P. Kard, “Relatiivsusteooria peajooned” (“Valgus”, Tallinn, 1980)
7. M. Gardner, “Relatiivsusteooria miljonitele” (“Valgus”, Tallinn, 1968)
8. A. Einstein, L. Infeld, “Füüsika evolutsioon” (ERK, Tallinn, 1962)
9. H. Õiglane, “Vestlusi relatiivsusteooriast” (1958, 1965, 1973)