

Füüsika bioloogias:

I Füüsika alused
(füüsika miinimum loodusteadlastele)



Arvi Freiberg

Füüsika Instituut

Molekulaar- ja Rakubioloogia Instituut



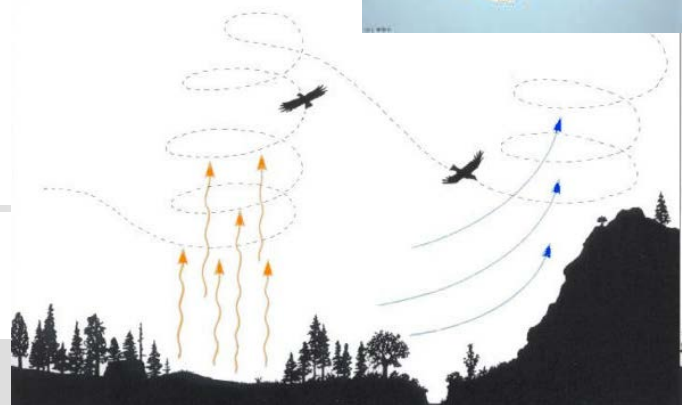
- Bioloogiline füüsika
LOMR.07.011
- 3 EAP, II k kevad

- Füüsika alused
LOMR.07.012
- 3EAP, I k kevad

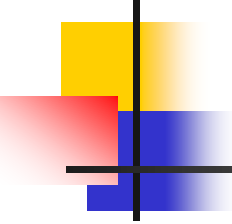
Füüsika bioloogias

- **I Füüsika alused, I k kevad (3 EAP)**
- Sissejuhatus
- Matemaatiline põhivara (omandatakse iseõppimise korras)
- Liikumine
- Energia ja entroopia
- Elekter ja magnetism
- Põhiteadmisi kvantfüüsikast
- **II Bioloogiline füüsika, II k kevad (3 EAP)**
- Molekulid aatomitest (kvantmehaanika rakendus)
- Lausaine (gaasid, vedelikud, tahkised)
- Termodünaamika alused
- Bioenergeetika alused

Soaring Flight



- **Eesmärgiks** on saada ettekujutus molekulaarse (sh bioloogilise) aine ehitusest ja funktsioneerimise üldistest seaduspärasustest
- **Bioloogiline füüsika** kitsamalt uurib füüsika põhipostulaatide kehtivust ja asjakohasust bioloogiliste küsimuste lahendamisel



Kursuse eesmärk

Kursuse põhieesmärgiks on

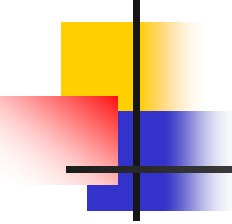
- anda ettekujutus nüüdisaegsest füüsikalisest maailmapildist
- korrastada senised füüsikateadmised, et olla valmis edaspidi loetava aine LOMR.07.011 „Bioloogiline füüsika“ omandamiseks



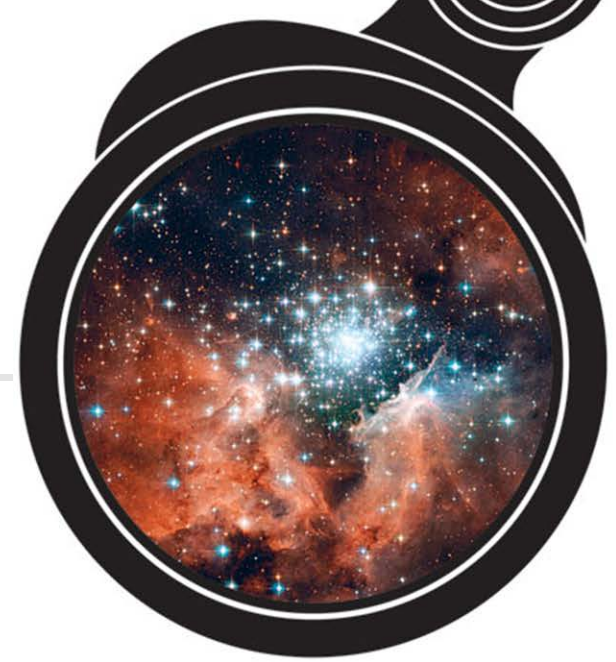
Õpiväljundid

Kursuse läbinud üliõpilane

- Omandab ettekujutuse füüsikast kui loodusteadusest, mis kasutab täppisteaduslikke meetodeid
- Mõistab füüsika ja teiste loodusteaduste erinevusi ja seoseid
- Eristab nähtuste teaduslikku ja pseudoteaduslikku seletust
- Omandab või kinnistab füüsikalist maailmapilti, mille aluseks on neli vastastikmõju ning jäävusseadused
- Analüüsib erinevaid nähtusi kasutades mateeriavormide liikumisviise
- Eristab katsest nähtavat ja sellest järelduvat
- Kasutab füüsikalisi teadmisi ja seadusi kvalitatiivsete ning kvantitatiivsete ülesannete lahendamiseks
- Oskab kasutada omandatud õppekava järgnevates füüsikal põhinevates (füüsikat kasutavates) kursustes



Füüsika aluste kursus koosneb

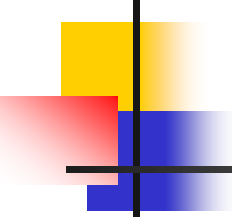


- Loengutest
13 kahetunnilist loengut
 - E, K, N algusega 10.15
- Praktikumidest (4)
- Seminaridest/harjutustundidest (3)

Loengud

(6. veebruar- 6. märts)

- Ettekujutus füüsikalisest maailmapildist kui maailma mudelist kujundatakse erinevaid füüsikalisi nähtusi uurides.
- Selleks kasutatakse füüsika mudeleid ja seadusi.
- Siin antav ülevaade füüsikalistest nähtustest ja nende seletus erineb mõnevõrra tavapärasest käsitlesest, sest kursus on mõeldud ettevalmistuseks edaspidi loetavale ainele LOMR.07.011 „Bioloogiline füüsika“.
- Mh
 - käsitletakse bioloogilise füüsika kohta teiste teaduste seas, teadusliku meetodi olemust, teadusliku teadmise piire
 - selgitatakse klassikalise füüsika põhimõisteid (liikumine, jõud, energia, elekter, magnetism jne) ja põhipostulaate (energia jäävuse ja entroopia kasvu seadused) võimalikult seoses bioloogiaga.

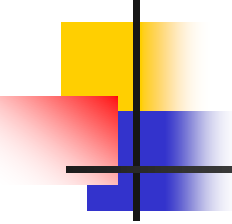


Praktikumid

- **Praktikumid** (Vanemuise 46, ruum 209) on seatud
 - loengutes saadud teoreetiliste teadmiste näitlikustamiseks ja “käed sees” tasemel tegelikkusega seostamiseks
 - täiendava teabe saamiseks

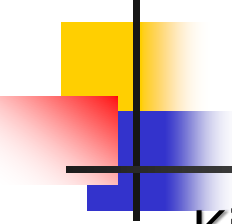
Selle aasta praktikumitööd:

1. Õhu tiheduse ja mooli ruumala määramine. Tundmatu gaasi identifitseerimine kaalumise teel
Hüdrostaatiline rõhk. Üleslükkejõud. Tundmatu materjali identifitseerimine Archimedese seadust kasutades
2. Vedelike küllastava auru rõhu temperatuurisõltuvuse mõõtmine
Õhurõhu, temperatuuri ja õhuniiskuse määramine
3. Alalis- ja vahelduvvool. Elekter igapäevaelus. Mõõtmine universaalmõõturiga (testriga)
4. Päikesepatarei võimsuse ja kasuteguri määramine



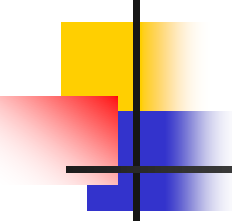
Seminarid/harjutustunnid (6., 9. ja 14. märtsil)

- Toimuvad peale loengute lõppu
- Eesmärgiks on
 - kursuse käigus omandatud teadmiste kinnistamine, eriti ülesannete lahendamise kaudu
 - konsultatsioonid enim raskusi valmistatavates küsimustes (Teie tagasiside oodatud)



Teadmiste kontroll ja hindamine

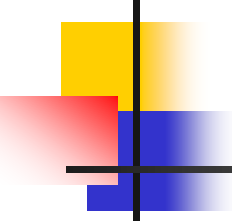
- Kirjalik arvestus
 - 10 küsimust + 5 ülesannet. Aega vastamiseks 2h
 - Positiivse soorituse tase („arvestatud“)
 - 1 kordusvõimalus (ilma erandita, palvekirju palun mitte kirjutada!)
- Kursuse arvestamiseks peavad praktikumid olema eelnevalt positiivselt arvestatud
- Kontrolltööd me eraldi ei tee! Valk ülesanded (eriti teisendusülesanded ja graafikute lugemine) on praktikumitöösse sisse integreeritud
- Positiivsele hindele läbitud praktikumid/arvestused jms kehtivad 3 aastat
 - st, kui arvestus sooritatakse nt 4. a, peab praktikumid ja nendega seotud kontrolltööd uuesti tegema



Kursus lõpeb kirjaliku arvestusega

Täpsustatud ajad

- 16. märts kell 12-14
- 17. märts kell 14-16
- Järelarvestus 31. märts kell 14-16



Kontakt õppejõuga,
tagasiside jm

arvi.freiberg@ut.ee

KKK

- Mida, kui palju, kuidas õppida?
 - Mida: Seda, millest loengutes juttu.
 - Kui palju (Kas valemid peavad olema peas?): Nii palju kui võimalik, nii vähe kui saab
 - Kuidas: Osaleda võimalikult paljudes loengutes, mõtelda kaasa ja õppida **pidevalt**



Prantsuse kunstniku Jean-Marc Côté'i 1899 a visioon õppimisest aastal 2000



© Côté



KKK

- Kas loengut võib küsimustega katkestada?
 - Mitte üksnes võib, vaid see on soovitatav, kui midagi segaseks jääb
 - Lolle küsimusi pole olemas (va siis, kui nad pole asjakohaseid)
- Kus saab näha hinnatud praktikumi, arvestuse, eksami jne töid?
- Kuidas ma saan muuta oma praktikumi/arvestuse aegasid?
 - Vastus mõlemale küsimusele: Pöörduge palun Irina Bichele poole.
- Vene õppekeele koolide lõpetajad: Kas ma saan abi, kui ma kontroll- või eksamitööde küsimusest aru ei saa?
 - Jah, meil valdavad kõik õppejõud vene keelt. Pöörduge julgesti nende poole.



Loengumärkmed, -konspekt ja lisamaterjalid

- <http://plantphys.ut.ee/kursused/fyysika.html>
 - Parool: **biofyysika**
 - Salasõna: **bgmr07023**
- Soovitava kirjanduse ammendava loetelu leiate **lisast**
See täieneb jooksvalt
- Kellele sellest väheks jääb, vaadake palun FI biofüüsika labori kodulehekülge: <http://www.fi.tartu.ee/labs/bfl/?lang=est>

Samast leiate baka-, magistri- jne tööde teemasid, mida meie labor välja pakub

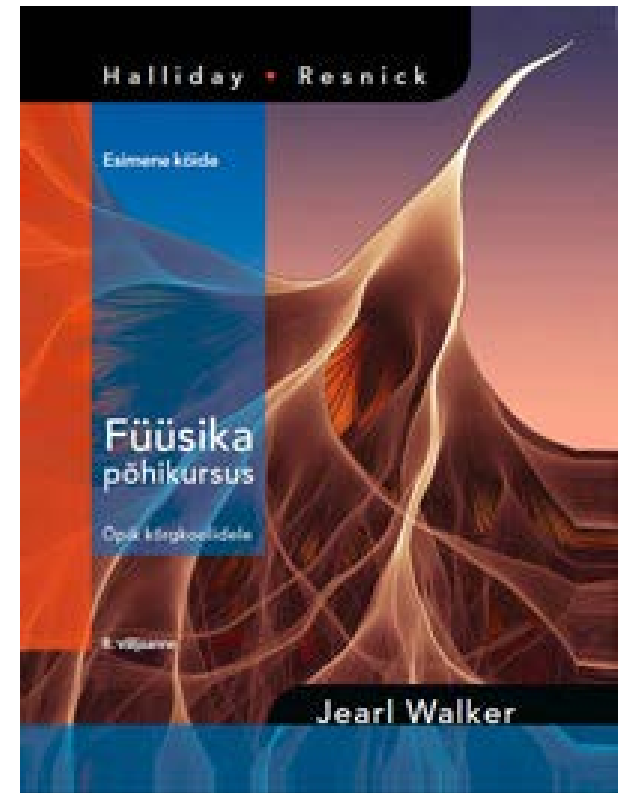
**Kes loengukonspektist vigu leiab, saab
boonuspunkte!!!**

Aktiivsus loengutes on samuti positiivne näitaja!

Halliday-Resnick-Walker

Füüsika põhikursus, I & II

- "Füüsika põhikursus" annab kõige põhilisemad teadmised kõrgkooli füüsika kursusest.
Füüsik saab siit tervitatava vaimuvärskenduse, füüsika üliõpilane põhilised alusteadmised.
Käsitus peaks olema jõukohane ka teiste erialade üliõpilastele ja õppejõududele, samuti füüsika õpetajatele ja huvilistele.
- **Esimene köide** sisaldab mehaanikat ja termodünaamikat.
- **Teine köide** räägib elektrodünaamikast, optikast, kvantmehaanikast, relatiivsusteooriast ja elementaarosakeste füüsikast.



Hind: 2 x 39 EUR

Müük ja tellimine: halliday@fyysika.ee

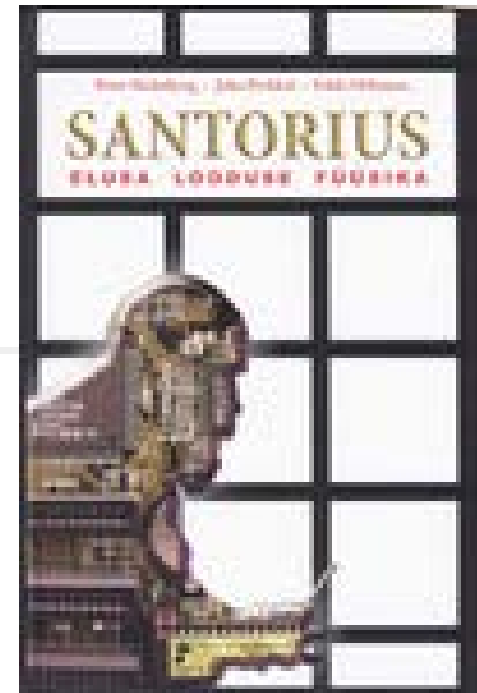
Emakeelne raamat biofüüsikast

- Peter Holmberg, Juha Perkkiö, Erkki Hiltunen

Santorius

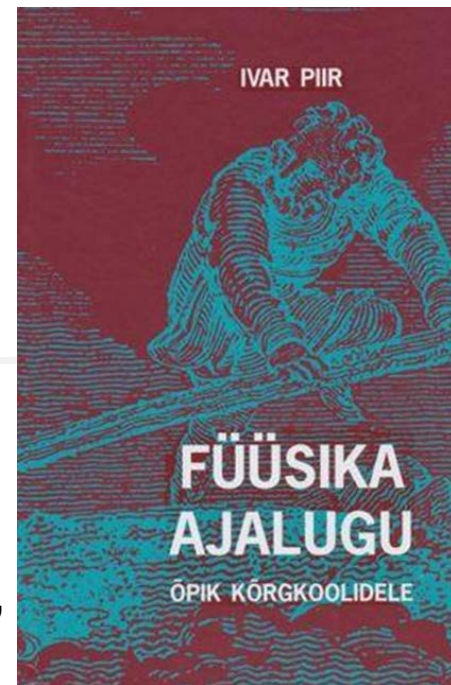
Elusa looduse füüsika

Ilo 2007, 784 lk



- Kõrgkoolidele mõeldud õpik käsitleb nii teoreetiliselt kui ka rohete näidete varal bioloogia ja meditsiini füüsikalisi aluseid ning füüsika rakendusi neis ainevaldkondades.
Tulenevalt raamatu teatmeteoselisest laadist on kaetud kõik füüsika põhivaldkonnad ja -mõisted.
Teos sobib biofüüsika õppevahendiks arstide ja mitme teisegi eriala (füüsika, keemia, bioteaduste jmt.) spetsialistide ettevalmistamisel, samuti on see kasutatav käsiraamatuna nii üliõpilastele, õppejõududele kui ka gümnaasiumiõpetajatele.

Eestikeelne füüsika ajalugu (2013)



- “Füüsika ajalugu” annab detailse ülevaate füüsikalist maailma kirjeldavate teadmiste kujunemisest läbi aegade, kiirpilk on heidetud ka füüsikast inspireeritud tehnika arengule.
- Raamat algab vaatega füüsika eelajalukku vanades idamaades, antiikkultuuris ning keskaegses Araabias ja Euroopas.
- Füüsika kui teadus sündis renessansi-järgsel ajal eelkõige Itaalias ja Madalmaades. Uue teaduse viis täiuslikkuseni Newton Inglismaal.
- Järgnesid klassikalise füüsika sajandid, mil arendati välja suured suhteliselt iseseisvad osad (nt. mehaanika, termodünaamika, optika ja elektromagnetism). 19. ja 20. saj. vahetusel selgus ootamatult, et uued katsed nõuavad “uut füüsikat”, sündisid kvantmehaanika ning eri- ja üldrelatiivsusteooria. 20. saj. saavutusteks olid aatomi-, tuuma- ja elementaarosakeste füüsika, nende krooniks 1970ndail esitatud alusosakeste standardmudel.
- Raamat lõpeb tõdemusega, et 2013. a. õnnestus leida esimesed vihjed standardmudeli viimase puuduva osakese – Higgsi bosoni – olemasolu kohta.
- 584 lk raamat on ilmunud eestikeelsete kõrgkooliõpikute väljaandmise programmi raames.

Tasub veel silmata



Book 1 in the Light and Matter series of free introductory physics textbooks
www.lightandmatter.com

- *Free physics textbooks for nonphysics majors by Benjamin Crowell*
<http://www.lightandmatter.com>
- *Jaak Jaaniste füüsikaloengud maaülikoolis*
<http://www.obs.ee/~jaak/>
- <http://en.wikipedia.org>
- <http://bionumbers.hms.harvard.edu/>
- *Loengukospektide lisad*
- Elukestva õppe programmi Comeniuse projekt: Quantum Spin-Off —
kõrgtasemel teaduse ja ettevõtluse viimine koolidesse
<https://sisu.ut.ee/quantum/6ppemoodulid>



Erilistele fännidele:

Füüsika eestikeelses veebis ja meedias

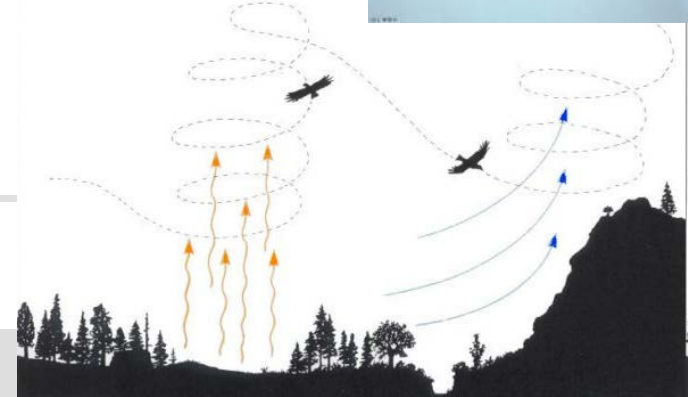
- <http://www.fyysika.ee/fyysika/avaleht>
- http://rss.fyysika.ee/fyysika_ee-eksperimendid
- http://www.fyysika.ee/rss/rss_fyysika.php
- <http://www.materjalimaailm.ee>
- ETV Rakett (oli Püramiidi tipp)
- ETV2 teadussaated
- Kuku raadio: <http://podcast.kuku.ee/saated/kukkuv-oun/page/3/>
- Aimeajakiri “Horisont”
- Ajakiri “Akadeemia”
- “Eesti Päevaleht” teadusajakirjanik Tiit Kändleri lood
- TÜ „Novaator“
- “Postimees” jt väljaanded aeg-ajalt

Ülevaade füüsika aluste loengutest

Sissejuhatus

- Milleks bioloogidele füüsika?
- Reduktsionism ja holism
- (Bio)füüsika koht teiste teaduste seas
- Teaduslik meetod
- Loodusseadused
- Teadusliku teadmise piirid
- Kaasaegne füüsikaline maailmatunnetus
- Tänapäevased probleemid
- Matemaatiline põhivara
- Liikumine
- Energia ja entroopia
- Elekter ja magnetism
- Põhiteadmisi kvantfüüsikast

Soaring Flight



Kursuse põhieesmärgiks on

- anda ettekujutus nüüdisaegsest füüsikalisest maailmapildist
- korrastada senised füüsikateadmised, et olla valmis edaspidi loetava aine LOMR.07.011 „Bioloogiline füüsika“ omandamiseks

Milleks bioloogidele füüsika?



- Sõna füüsika tuleneb kr k ja tähendab üldistatult teadmist loodusest (*knowledge of nature*)
 - Bioloogia on loodusteadus, mis käsitleb elu ja elusorganisme, seega võib teda käsitleda kui füüsika alamosa
 - Ja ometi väitis kuulus evolutsioonibioloog Ernst Mayr (1904-2005): Füüsika pole kunagi midagi andnud bioloogia mõistmiseks
 - Sydney Brenner, Nobel laureaat: *The trouble with physics is that its deepest pronouncements are totally incomprehensible to almost everybody except the deepest physicists, and while they may be absolutely true, they are pretty useless... to understand E. coli.*
 - Samas olevat Rutherford kõrgilt väitnud, et kõik teised teadused peale füüsika on markide kogumine.
- Need vastandlikud seisukohad väljendavad sügavat lõhet kahe tähtsa loodusteadusliku suuna esindajate vahel, aga mitte ainult
 - Oma osa on siin mõttelaiskusel ja soovimatusel/suutmatusel mõista erialade sisulisi erisusi
 - Samuti tuleb need väited paigutada oma aja ja mõtte konteksti

Sulgumine oma erialasse, „teaduse tarastumine“, on spetsialiseerumise tulemus

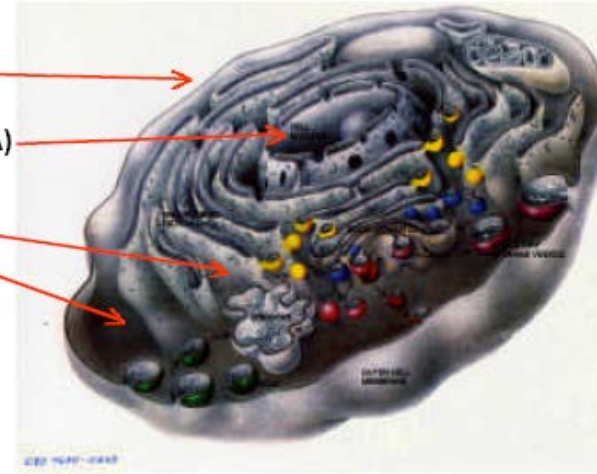
Positiivne

- Pääaegu ainus võimalus keerulisest asjast „üle olla“
- Soodustab süvenemist
- Rõhutab ja aitab mõista erisusi

Negatiivne

- Põhjustab kapseldumist
- Ületähtsustab üksikut üldise arvel, olles vastuolus bioloogilise tegelikkusega
- Soodustab keskpärasusust (nagu nt monopolism)

- Lipids (cell walls)
- Nucleic acids (DNA, RNA)
- Proteins
- Each of these major classes of cellular components have distinct IR markers



Tarastamine ehk kompartmentaliseerumine on bioloogias väga levinud. (Poti ühes nurgas head suppi ei keeda!)

Erinevalt vaimsetest taradest on rakumembraanid suhteliselt “läbipaistvad”.
Ju on selleks põhjust!



Füüsika kaitseks



Bioloogia 6 revolutsiooni

(I. Stewart “*The Mathematics of Life*” 2011)

1. Mikroskoobi avastamine: Anton van Leeuwenhoek 1673
2. Taime- ja loomariigi klassifikatsioon: Carl Linne 1835
3. Evolutsiooniteooria: Charles Darwin 1859
4. Geneetika: Gregor Mendel 1865 (tulemus uusavastati 35 a hiljem)
5. DNA struktuur: Francis Crick & James Watson 1953
6. Bioloogia matematiseerumine, mille käigus kvalitatiivne, kirjeldav bioloogia asendub kvantitatiivse bioloogia

- Näeme, et neist pooled on seotud (tänapäeva mõistes) füüsikaga ja/või matemaatikaga

Bioloogia täppisteadustub (matematiseerub) kiiresti

- Üks teaduste matematiseerumise põhjusi on asjaolu, et info hulk kasvab plahvatuslikult.
- On välja arvatatud, et
 - Tsivilisatsiooni algusest 5000 BC kuni 2003 genereeriti $\sim 10^{18}$ baiti infot
 - 2003-2010 tekkis juurde samapalju infot iga 2 päeva tagant
 - 2013. a genereeriti see infokogus juba 10 minutiga
- Et selle infohulgas orienteeruda, on vaja teda kuidagi töödelda
- Tänapäeval pole enam probleemiks info kogumine, vaid info selekteerimine: terade (tõeliselt uue ja relevantse info) sõkaldest (juba teadaolevast ehk müra) eraldamine
- On tekkinud uus mõiste - kontrollitud unustamine (*controlled neglect*)





ARC BIO2010: Transforming Undergraduate Education for Future Research Biologists

- Rekombinantse DNA avastamine
- Instrumentariumi areng
- Digitaalne revolutsioon
 - Võtmesõna: Interdistsiplinaarsus

Biofüüsika: Tagasi tulevikku
phúsis tähendab kreeka k
"loodus" ja *phusiké* - "teadmine
loodusest"
bios (bioloogia) tähendab "elu"

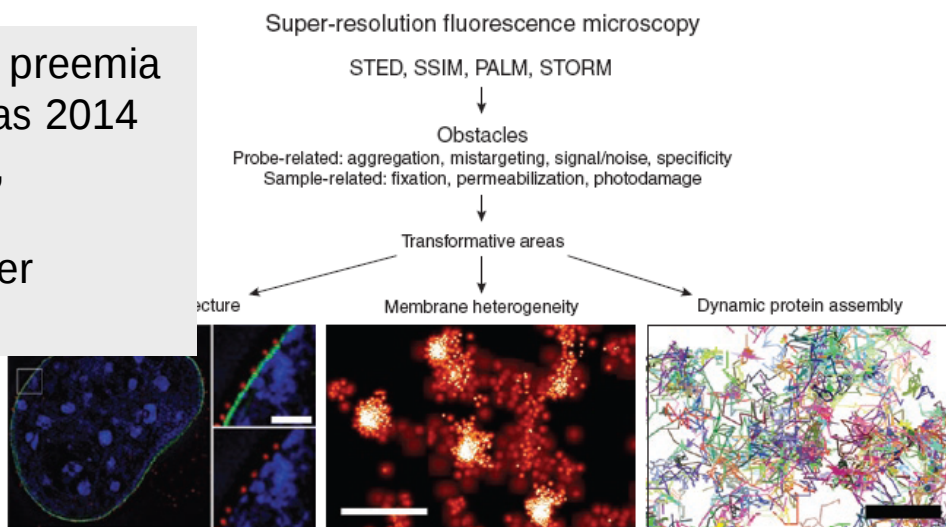
■ Bio2010 soovitusel:

- Matemaatika, füüsika ja infoteaduste põhimõistete, näidete ja tehnikate integreerimine eluteaduste põhikursustega
- Bioloogia põhimõistete ja näidete integreerimine teiste teaduste põhikursustega
- Laboratoorsed tööd võimalikult interdistsiplinaarsed ja elulised
- Bioloogia aktuaalseid saavutusi kajastavad seminari-tüüpi kursused kogu stuudiumi jooksul
- Individuaalse uurimistöö alustamine võimalikult varakult

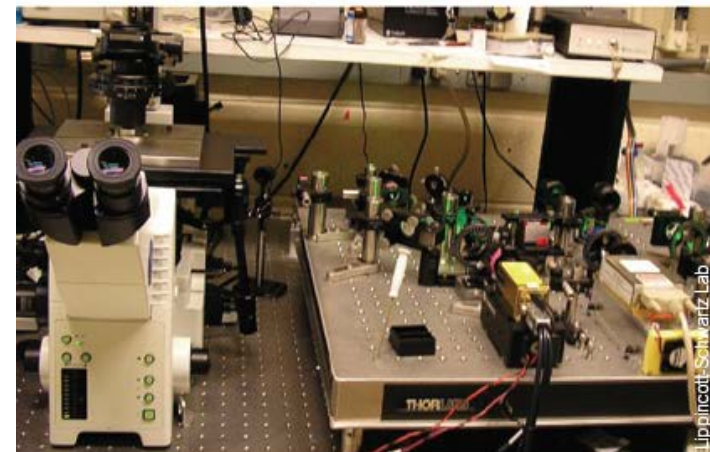
Füüsika ja bioloogilised uurimismeetodid

- ❖ **Optiline mikroskoopia (17. saj):**
Galileo ja Anthony van Leeuwenhook (kaupmees)
mikroskoop suurendas kuni 500x,
kuid areng kestab siiani

Nobeli preemia
keemias 2014
Betzig,
Hell,
Moerner



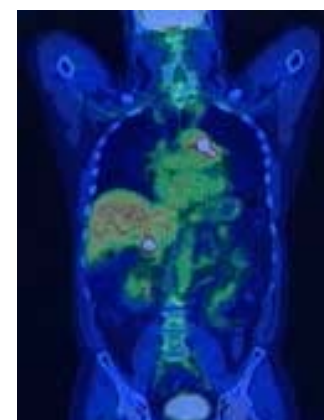
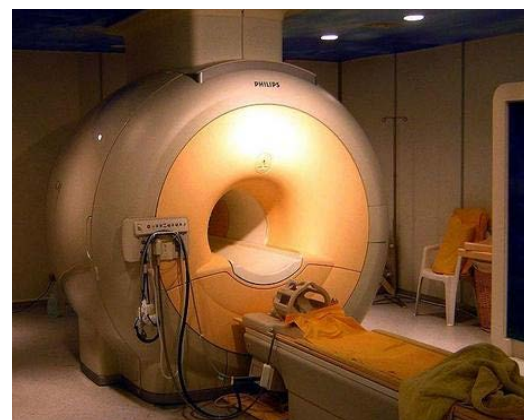
SR techniques, obstacles and transformative areas. Scale bars, 1 μ m. Portions of the figure were reprinted with permission from AAAS.



Leeuwenhoek and his first microscope, compared with a next-generation instrument for SR PALM imaging.

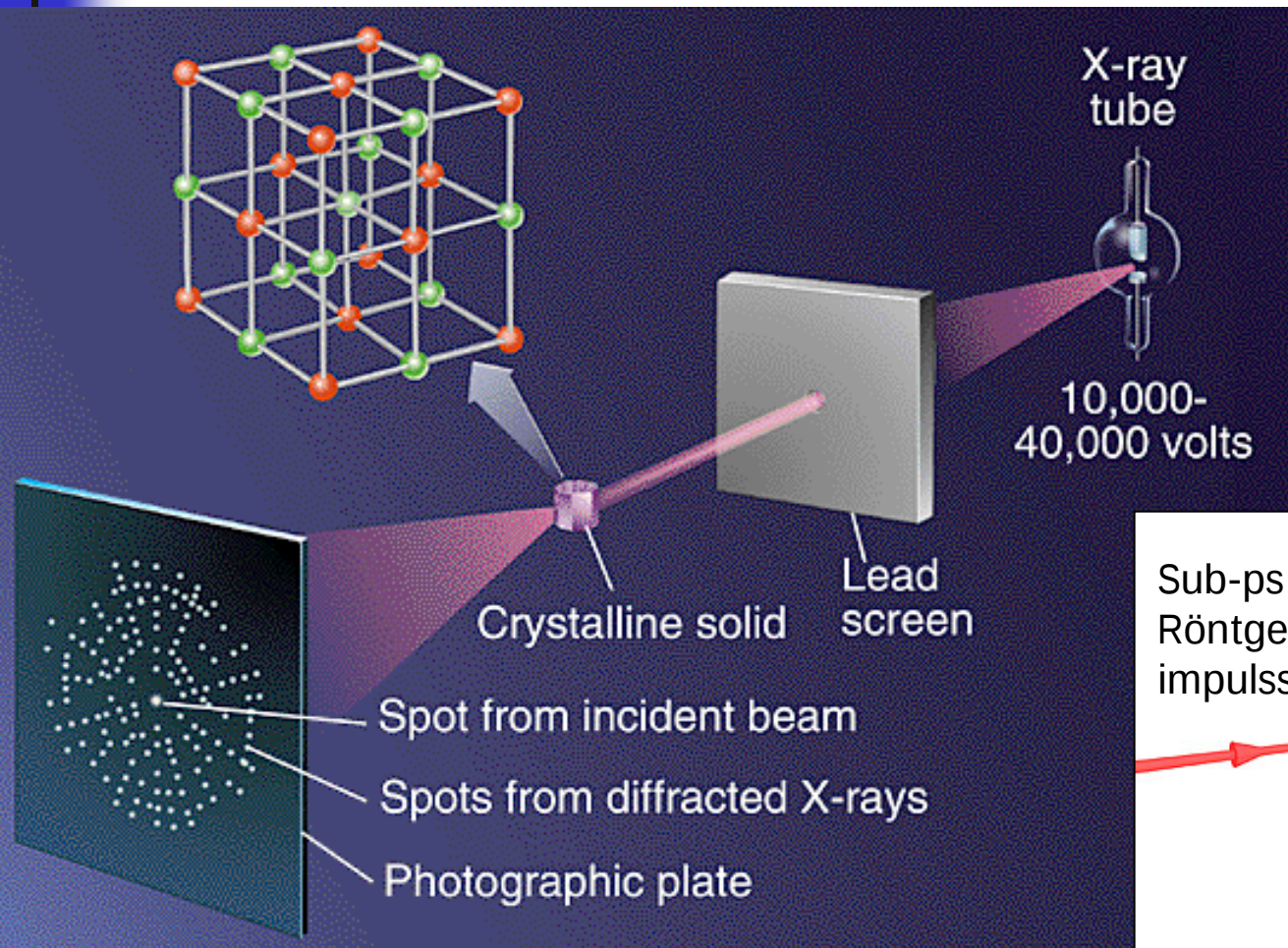
Füüsika ja bioloogilised uurimismeetodid

- ❖ **Wilhelm Conrad Röntgen** avastas 1895. a röntgenkiired (mõningatel andmetel olevat Tesla seda juba varem teinud)
- ❖ **Ernst Ruska** lõi 1931-1933 **elektronmikroskoopia**
- ❖ Füüsikute kollektiivloome **NMR & PET (Positron Emission Tomography)** on tundmatuseni muutnud meditsiini diagnostika palet
 - ❖ PET patsiendile süstitakse haiguskoldesse radioaktiivset ainet, mille üks lagunemise tooteid on positron (antielektron). Registreeritakse aine-antiaine annihilatsioonil tekkivat kiirgust

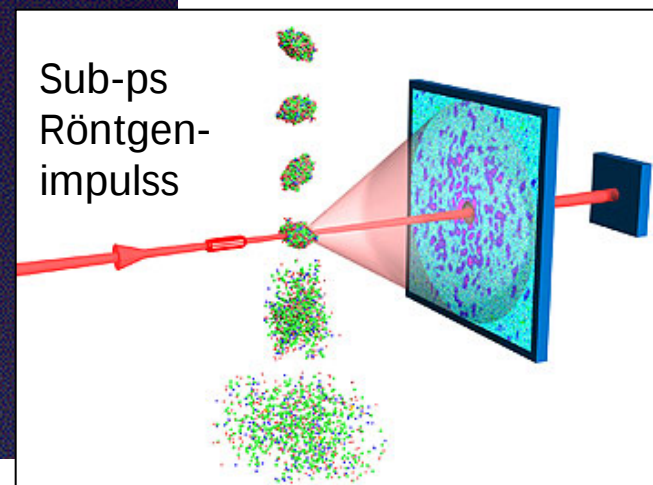




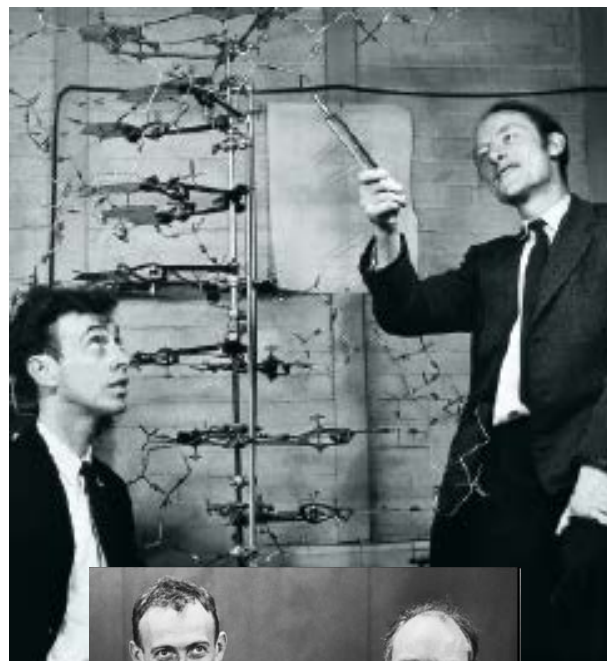
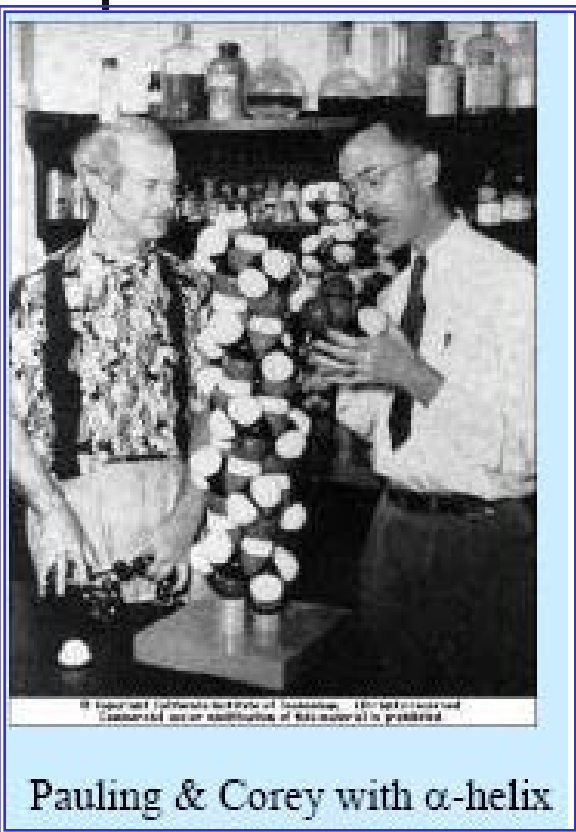
Von Laue (1914) ning isa ja poeg Bragg-de avastatud (1915) difraktsioonanalüüsi meetod



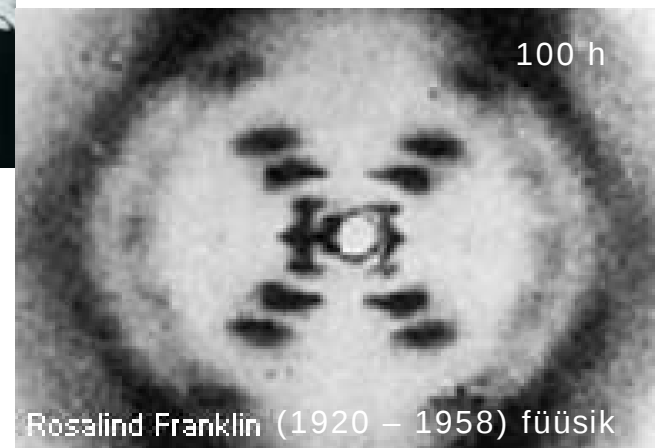
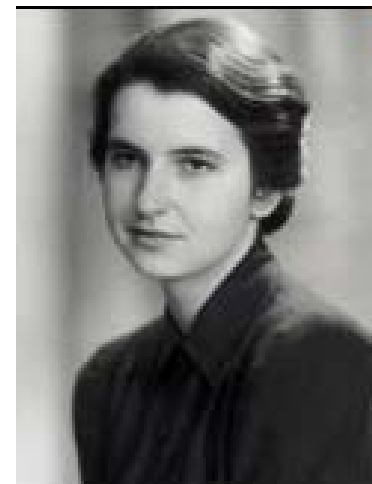
V
A
L
G
U
D



Biomolekulide, valkude ja DNA struktuuri avastajad olid kõik füüsikaga sina peal

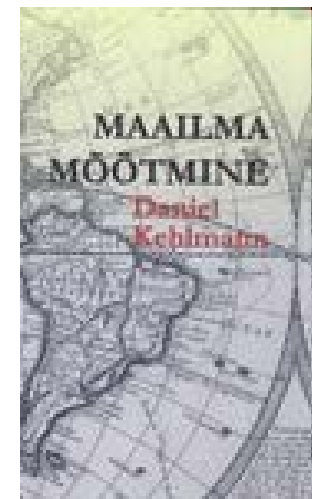


James Watson
(endine ornitoloogiastudent) ja
Francis Crick (endine füüsik)



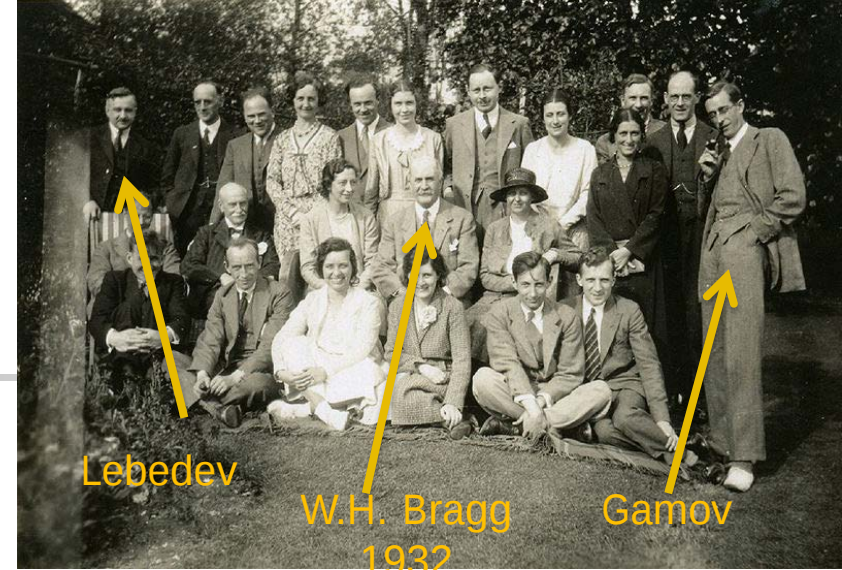
Füüsikute panus alusbioloogiasse

- ❖ **Bioelektri** avastas **Luigi Galvani**, XVIII saj arstist füüsik.
 - ❖ Uuris teiste hulgas ka TÜ esimene rektor Parrot, samuti füüsik.
- ❖ **Füsioloogia** alusraajajad olid arst-füüsikud **Thomas Young** (optikas kahe pilu katse) & **Hermann von Helmholtz** (energia jäävuse seadus, meisterdas ka esimese silmapeegli)
- ❖ **Aine atomaarse/molekulaarse olemuse lõplik tõestus** A. Einsteini poolt botaanik **R. Browni** liikumise kvantitatiivse äraseletamisega 1905. a, millega ta ühtlasi pani aluse **statistilisele füüsikale**
- ❖ **Teoreetilise (bio)keemia** looja oli **Linus Pauling**, õppinud keemik, füüsik ja matemaatik (1920-1930)
- ❖ Füüsik **Max Delbrück** rajas **molekulaarbioloogia** (~1935)



Mõnusat lugemist
kaasaegsete
H. Von Helmholtzi
ja K. F. Gaussi kohta

Füüsikute panus alusbioloogiasse



- ❖ Füüsikud **Max Delbrück** (koos K. Zimmer'i ja N. Timofeev-Ressovsky'ga) ning **Erwin Schrödinger** pakkusid esimesena, et bioloogilised makromolekulid on geneetilise info kandjad
- ❖ Füüsik George **Gamov**, kes ennustas kosmilise mikrolainelise taustakiirguse olemasolu ja kinnistas sellega Suure Paugu mudeli, näitas, et geneetilist koodi kannavad nukleotiitide tripletid. Muide, Gamov valiti juba 28 aastaselt NSVL TA akadeemikuks, väidetavalt noorimana, emigreerus 1933. a
- ❖ Füüsikute osa bioenergeetika ning valkude kokkuvoltimise molekulaarsete mudelite selgitamisel on samuti olnud määrav

Vaimne rikastumine on olnud vastastikune: Bioloogia panus füüsikasse

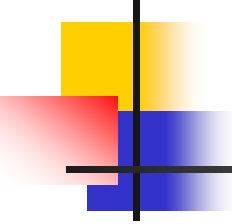


- ❖ **Energia jäävuse seaduse** kaasavastajad olid arstidid **Julius von Mayeri** ja **Hermann von Helmholtz** (lisaks füüsik (ja õllepruul) **James P. Joule**)
- ❖ Botaaniku **Robert Browni** katsed taimetolmuga ja nende interpretatsioon **Albert Einstein**i poolt
 - ❖ Tegelikult avastas Browni liikumise Hollandi bioloog ja keemik Jan Ingen-Housz ja seda 42 a enne Browni
 - ❖ Sama mees avastas ka fotosünteesi
- ❖ Tänapäeval räägitakse eluta materiat (nt Universumi) evolutsioonist. **Evolutsiooniprintsiip** tuli füüsikasse tänu **C. Darwin**i töödele bioloogias, kirjeldades arenguprotsessi, kus süsteemi mitmekesisus suureneb. Seejuures väheneb süsteemi sümmeetria ja ilmnevad (*emerge*) tema uued omadused
 - ❖ Üldistatud kirjeldus samast protsessist kannab **faasisiirete** teooria nime

Rutherford:

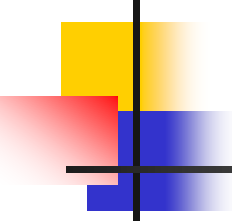
All of physics is either impossible or trivial.

It is impossible until you understand it, and then it becomes trivial



Füüsika aine

- Range definitsioon puudub
Füüsika on loodusteadus, mille eesmärgiks on füüsikalise (st materiaalse) maailma **üldiste seaduspärasuste** väljaselgitamine
- Eristatakse kahel tasemel seadusi
 - Loodusseadused
 - Energia jäävuse seadus
 - Newtoni gravitatsiooni- ja liikumisseadused (valguse kiirusega võrreldes väikestel kiirustel)
 - Maxwelli elektromagnetismi seadused
 - Konkreetsete süsteemide seaduspärasused
 - Ohmi seadus metallides
 - Hooke'i deformatsiooniseadus
 - Kepleri seadused jne



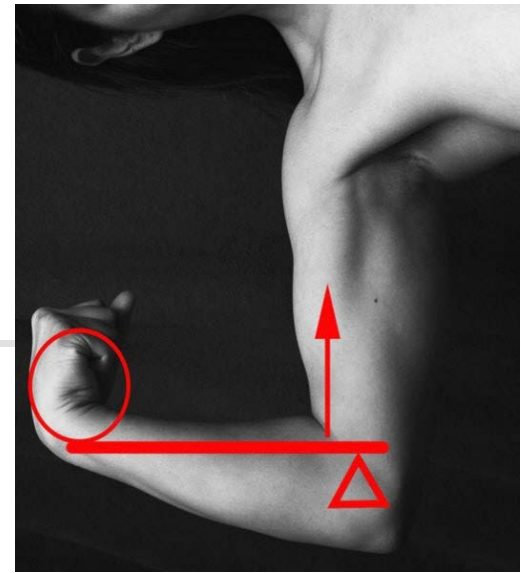
Seadused ja reeglid (*laws & rules*)

- **Reeglid.** Reegleid kehtestavad inimesed ise (nt kümme käsku), nad võivad omada erandeid (nt keelereeglid) ja nad tavaliselt muutuvad ajas
 - Ega asjata öelda, et erandid kinnitavad reeglit
- **Seadused** on objektiivsed ja kehtivad (oma paradigma piires) alati

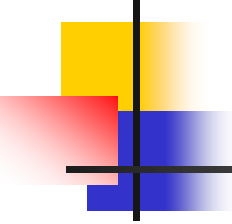
We can break society's **rules** if we dare, but the **laws** of physics are inviolable.
Philip Ball *Critical Mass*, 2005

Veidi ajalugu

- Väidetavalt esimese matemaatiliselt formuleeritud füüsikaseaduse avastas Pythagoras (~580-490 BC), kes leidis, et keelpilli heli võnkesagedus on pöördvõrdeline keele pikkusega



- Järgnevad seadused leiti >200 aastat hiljem Archimedese (~287-212 BC) poolt:
 - Kangi seadus
 - Üleslükkejõu seadus
 - Valguse peegeldusseadus



Wikipedia:



- Physics is the branch of science concerned with discovering and characterizing universal laws that govern
 - matter
 - energy
 - space
 - time
- Discoveries in physics resonate throughout the natural sciences, and physics has been described as the "fundamental science" because other fields such as chemistry and biology investigate systems whose properties depend on the laws of physics



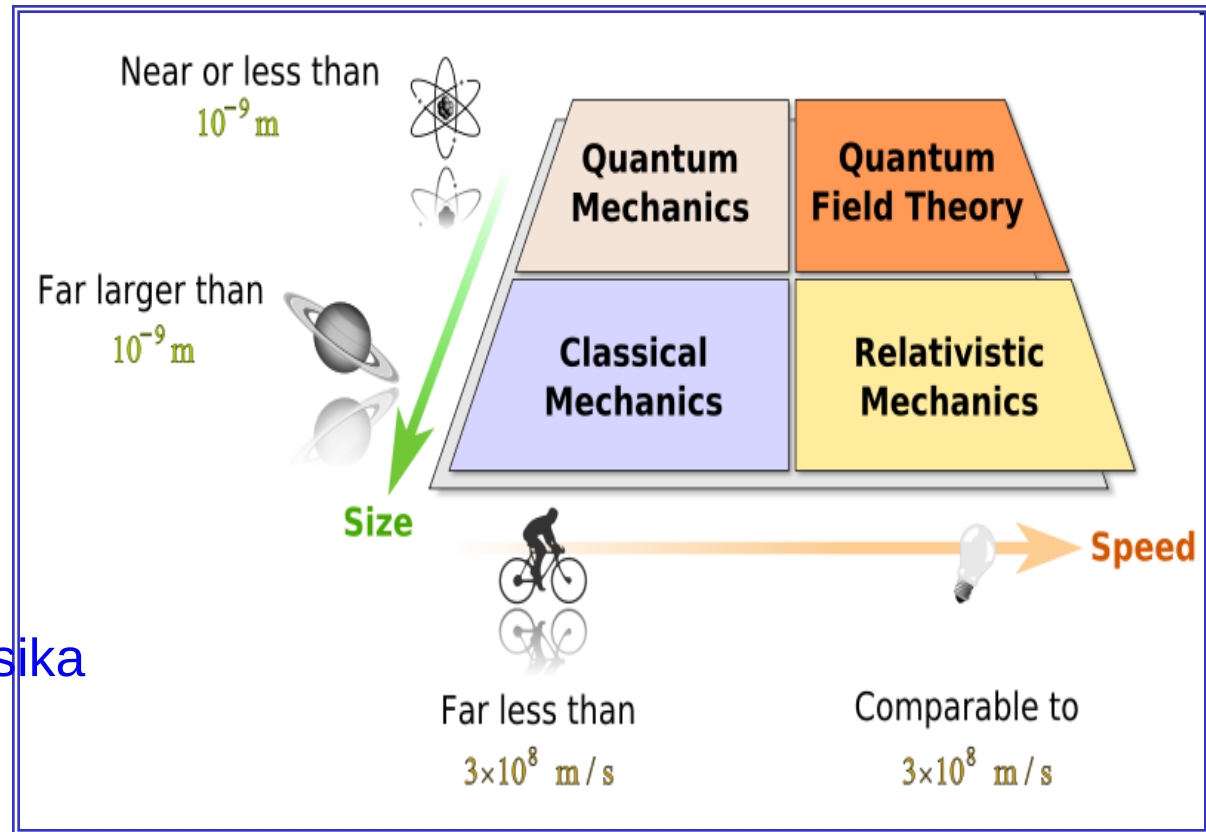
Füüsikaline ehk materiaalne maailm: Mis on mateeria?

Füüsika on loodusteadus, mille eesmärgiks on füüsikalise (e materiaalse) maailma üldiste seaduspärasuste väljaselgitamine

- Aine ehk mateeria võib esineda osakeste (kehade) ja/või välja (valguse) kujul
- Osakesed (kehad) ja väljad (valgus) on tihedalt seotud ja erinevad vaid oma kvant-statistiliste omaduste poolest
 - Osakesed on fermionid; neid iseloomustab poolarvuline spin (sisemine impulssmoment, mille olemasolu on üks kvantmehaanilisi postulaate)
 - Välja kvandid on bosonid (spin 0 või täisarv, sh Higgsi bosonil 0, footonil 1, gravitonil 2)
- Oluline märkus: Need erinevused võivad uute teooriate valguses kaduda

Füüsika traditsioonilised uurimisvaldkonnad

- Mehaanika
- Termodünaamika
- Elekter ja magnetism
- Optika
- Aatomifüüsika
- Tuumafüüsika
- Osakeste füüsika
- Kondenseerunud aine (tahkiste/vedelike) füüsika
- Astrofüüsika
- Lisandunud viimastel aastakümnetel:
 - Pehme aine (*soft matter*) füüsika
 - Komplekssüsteemide füüsika



Bioloogilist füüsikat sellest loetelust tavaliselt ei leia

Füüsika ja bioloogia

- Bioloogia on

- suur
- soe
- märg

- Füüsika on

- väike
- külm
- kõva

Meie ülesanne on nende vahele silda ehitada



Füüsika ja bioloogia

Bioloogia on teadus mitmekesisusest,
füüsika aga teadus üldisest
Vaclav Slouf

Füüsikaseadused on

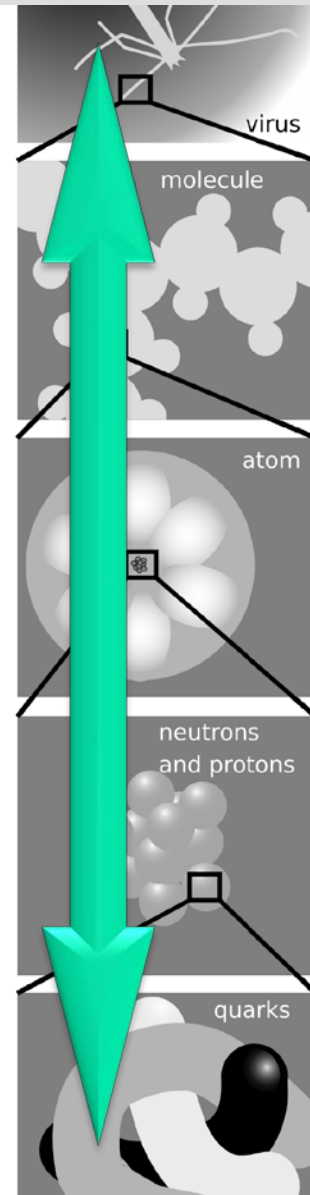
- Üldised
- Lihtsad (algoritmilises mõttes)
- Suhteliselt madala infosisaldusega
- Ajas vähe muutuvad



- Bioloogilise aine olekud on tavaliselt
 - spetsiifilised
 - lokaalsed
 - suure infosisaldusega (komplekssed/keerulised)
 - ajast sõltuvad

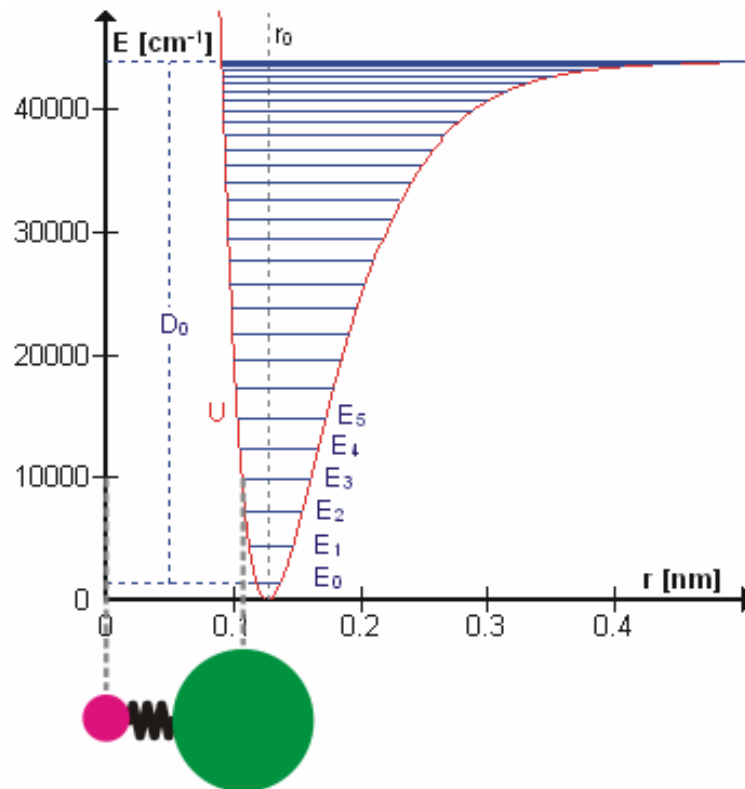
Füüsika peegeldab loodust valdavalt reduktsionistlikult, bioloogia holistlikult

- Kuigi füüsikaseadused kehtivad kõigil mateeria organisatsiooni tasanditel, pole bioloogia seaduspärasusi vahetult füüsikaseadustest tuletatavad (vt P.W. Anderson. *More is different*. Science 177 (1972) 393)
- Kõrgemal tasandil ilmnevad ootamatud, kvalitatiivselt uued omadused (*emergent properties*), mida pole võimalik madalama taseme seaduspärasustest otse tuletada
 - Keeruliste organismide kujunemine ühestainsast rakust
 - Tüvirakkude differentseerimine
 - Inimesel on ~300 eri tüüpi rakke ($\sim 10^{13}$ rakku, $\sim 10^9$ aminohapet rakus)
 - Elu ja teadvuse tekkimine algselt elutus universumis
 - Füüsikaline näide: faasiüleminekud



„Lihtne“ uue omaduse ilmnenemise näide füüsikalise süsteemi keerukamaks muutumisel: 2-aatomiline molekul

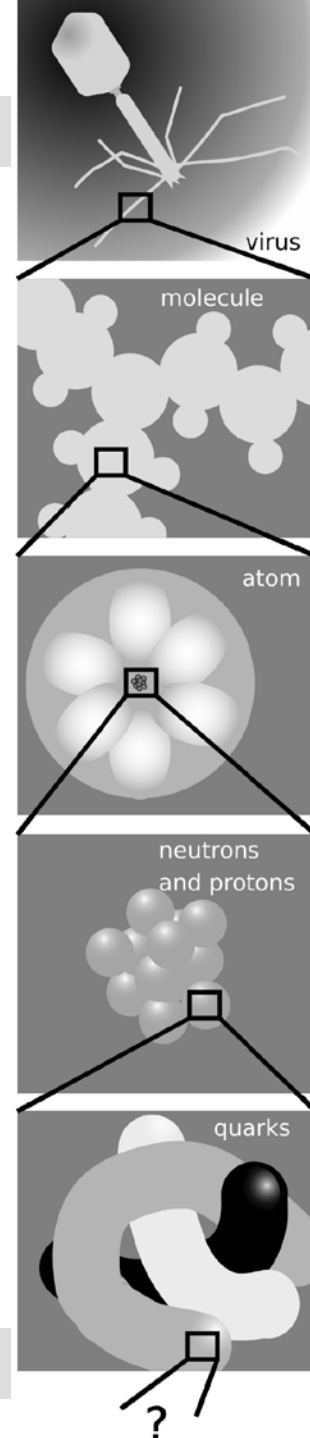
Tekib uus liikumise vabadusastevõrkumine



Reduktsionism ja (isoleeritud) süsteemi mõiste

- Füüsikas domineerib reduktsionism: Võimatuse tõttu kõike üheaegselt seletada püütakse universumit üha väiksemateks (lihtsamini seletatavateks) osadeks jaotada
 - Ideaalis ei tohiks alamosad üksteisest sõltuda
 - Selliseid isoleeritud alamosi nimetatakse süsteemideks
 - Osa füüsikud näib pahatihti uskuvat, et alamosadest saabki terviku tagasi kokku panna nagu Lego mängus

$<10^{-6}$ m



$<10^{-20}$ m

Holism: Tervik on enam, kui osade summa



- Tegelikuses pole reduktsionism kaugeltki alati õigustatud ega ka võimalik
 - Elusorganisme iseloomustab alamosade väga suur vastastikune sõltuvus (nt vigastused spordis, allsteeria makromolekulide tasemel)
 - Siis räägitakse **komplekssüsteemidest**
- Holistlikku lähenemist bioloogias kannab tänapäeval **süsteemibioloogia** (varem füsioloogia)

Principles of systems biology

(D. Noble Exp. Physiol. 93 (2008) 16):

- Biological functionality is multilevel
- The theory of biological relativity; there is no privileged level of causality
- Transmission of information is not one way
- There is no genetic program; there are no programs at any other level either
- DNA is not the sole transmitter of inheritance
- Gene ontology will fail without higher level insight
- The self is not an object

Mis on lihtsuse/ keerukuse mõõt?



- G.J. Chaitini (USA matemaatik) järgi
 - Millegi (nt arvu) keerukust saab mõõta lihtsaima arvutiprogrammi pikkusega bittides, mis arvutab ta välja või kirjeldab täielikult
- Haakub entroopia mõistega
 - 3-s mõõtmel lõpmatu kristall on lihtne, üks DNA molekul aga keeruline
- Mida lühem programm, seda väiksem entroopia/teadmatus
 - DNA molekuli konformatsioonilise käitumise kirjeldamine igal ajahetkel nõuab pikka programmi, kristalli (ehkki seal võib osakesi rohkemgi olla, kuid nad käituvad korreleeritult) puhul piisab aga õige lühikesest programmist

Keeruka süsteemi näide: Internet



Internet sai 2. septembril 2014 45-aastaseks

2. septembril 1969 kogunes Los Angeleses California ülikooli laboratooriumisse umbes 20 inimest vaatama, kuidas kaks omavahel 4,5-meetrise kaabli abil ühendatud arvutit teineteisele testisõnumeid saatsid. See oli USA kaitseministeeriumi katselise arvutivõrgu **Arpaneti** esimene õnnestunud katsetus, mida juhtis California ülikooli teadlane **Leonard Kleinrock**. Hiljem liitusid selle projektiga ka Stanfordini ja Utahi ülikool.

1970. aastatel loodi e-post ja 1980. aastatel aadresside süsteem .com ja .org. Internet hakkas laiemalt levima tegelikult alles **1990. aastatel**, mil MIT füüsik **Tim Berners-Lee** leiutas **World Wide Web**´i.

Esimene veebileht loodi Euroopa Tuumauuringute Keskuses CERNis. Tänapäevaks kasutab interneti üle 1,5 miljardi inimese.

Kuna internet on üha rohkem kättesaadav ja kiirem kui kunagi varem, on juba tekkinud ka mõned probleemid, mis võivad selle kasvu pidurdada. Nt häkkerite tegevus, mille tõttu peab üha rohkem tule müüre kasutama. Privaatsuse rikkumine: mitmed riigid kontrollivad, millist informatsiooni sealsed kodanikud internetist otsivad. Samas levivad Internetis ka sellised materjalid, mis ei peaks kõigile kättesaadavad olema.

Küsimuses, milleks bioloogidele füüsika, väljendub ühtlasi kahe kultuuri kokkupõrge



Bioloogia ja meditsiin

- ❖ Teadmiste/õppe põhiosa moodustab suur kogus omavahel näiliselt mitteseostuvaid fakte
- ❖ Domineerib reaalsuse terviklik (**holistlik**) tajumine
- ❖ Vähene kvantitatiivse mõtlemise õpetamine, kogemus/treening (põhjuseks vähene kasu?)

Füüsikalised teadused, sh matemaatika ja inseneriteadused

- ❖ Printsipiide/põhimõtete ja selgituste prioriteet
- ❖ Kvantitatiivsete oskuste kõrgtase
- ❖ Reaalsuse **reduktsionistlik** tajumine
- ❖ Tulemus: Vähene huvi keeruliste (sh elus-) süsteemide vastu

Bioloogiline füüsika: Kahe kultuuri sünergia



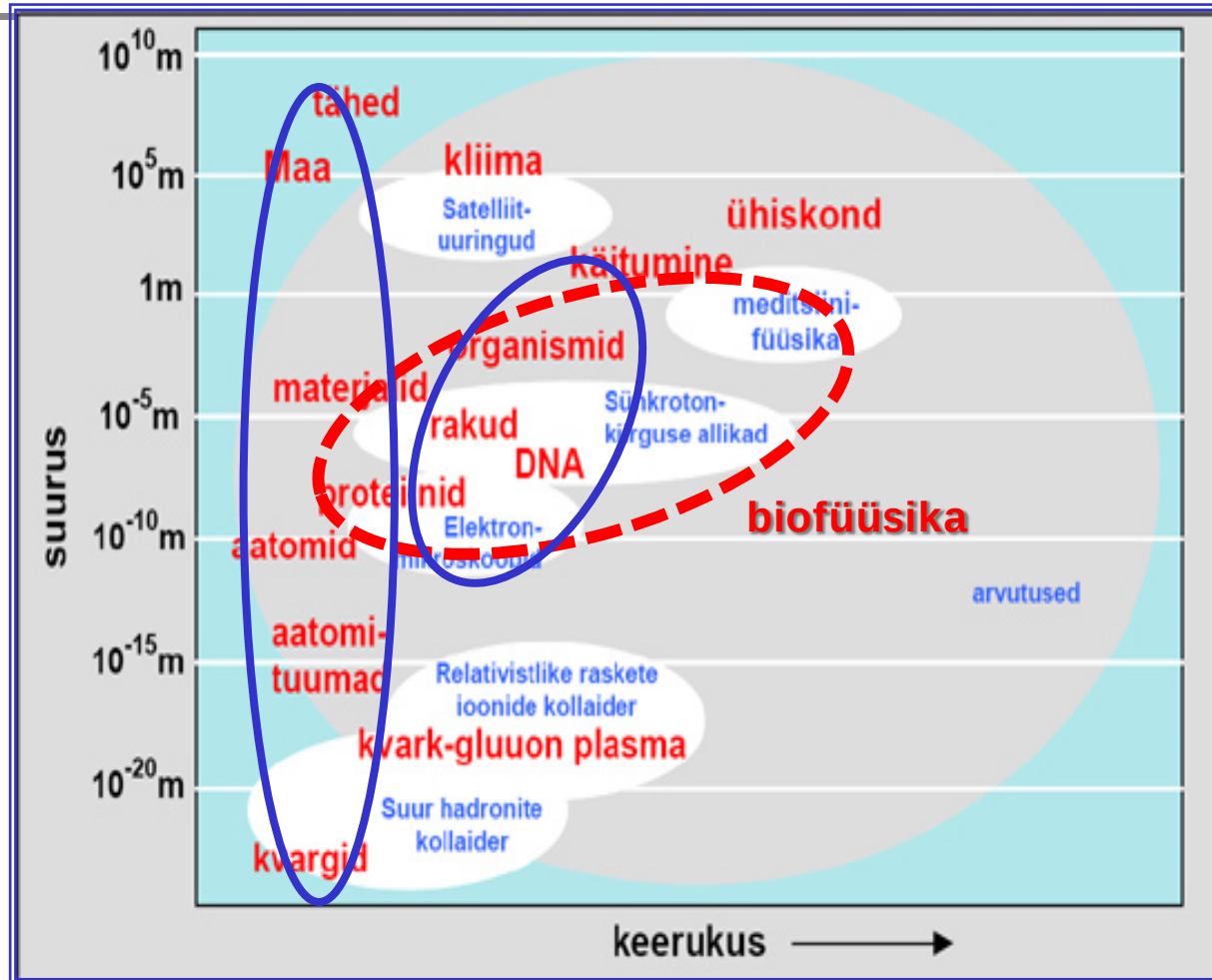
*Physics
Crossing
Borders
Tallinn '07*

- **Fundamentaalne eeldus:**
Bioloogiline “pealisehitus” muutub “läbipaistvamaks”,
kui suudame kirjeldada ja mõista tema “ehituskivide” ja
alusprotsesside füüsikalist olemust
- Bioloogia uurib elusorganisme, mis koosnevad
paljudest elementidest
 - Põhitähelepanu kogu süsteemil, mitte tema elementidel
 - Molekulaarbioloogia on silmatorkav erand sellest reeglist
- Elementide vastastikmõjudest, mida uurib füüsika, sõltub,
kuidas
 - moodustuvad valgud, organellid, rakud, organid jne
 - erinevad struktuurielemendid energiat, ainet ja informatsiooni
vahetavad

Suur pilt:

(Bio)füüsika ja teised teadused

- Valdkondade (laamade) piirid on ähmased; ülekattealadel moodustuvad sidusteadused, nt
 - biokeemia
 - bioloogiline füüsika
 - matemaatiline füüsika
 - küberneetika
- Laamade kattealadel ilmnevad “kuumad kohad” (*hot spots*)



Raffaeli (1483- 1520) fresko Ateena kool

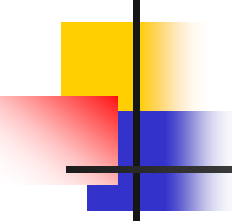
Teaduslik meetod



Sotsiaalteadlase prof Rein Taagepera tähelepanuväärne tsitaat

- Oleks minu teha, siis paneksin ma kõik sotsiaalteaduste tudengid kaheks aastaks täie tambiga füüsikat õppima, et nad saaksid tunnetuse, mis on **teaduslik meetod**. Siis võiks üle minna sotsiaalprobleemide juurde.
- Rein Taagepera on:
 - hariduselt tuumafüüsik-tuumajaamade insener
 - Eestis senitoimiva valimissüsteemi “isa”
 - omaaegne presidendikandidaat



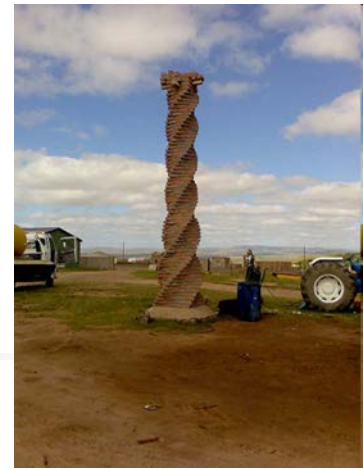


Crowell:



- Physics is the use of the scientific method to find out the basic principles governing light and matter, and to discover the implications of those laws

Teaduslik meetod (16.-17. saj)



- Teadus on katse (eksperimenti) ja teooria (mudeli) teatud kooslus
 1. Vaatlus ja/või katse
 2. Analüüs ja hüpotees (inspireeritud oletus)
 3. Mudel (idealiseeritud pilt sellest, mis toimub; fenomenoloogia) ja (formaliseeritud) teooria
 4. Ennustus ja kontroll

Teadusliku meetodi aluspanijad

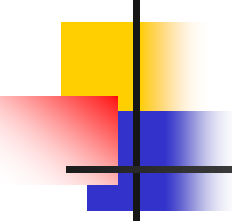
- **Ticho Brache (1546-1601)**
 - Oli Taani kuninga Frederik II (valitses muuhulgas ka Saaremaad) favoriit, kes ehitas talle observatooriumi, mille ülalpidamiseks kulus 5% Taani SKP. See on ilmselt kõigi aegade suurim uurimistoetus
 - Oli kuulus duellis kaotatud nina poolest, mis asendati metallist ninaga (S. Singth: Big Bang, 2005)
- **Galileo Galilei (1564-1642)**
- **Joann Kepler (1571-1630)**
- **Isaac Newton (1643-1727)**
 - Kõik tänapäeva mõistes astrofüüsikud



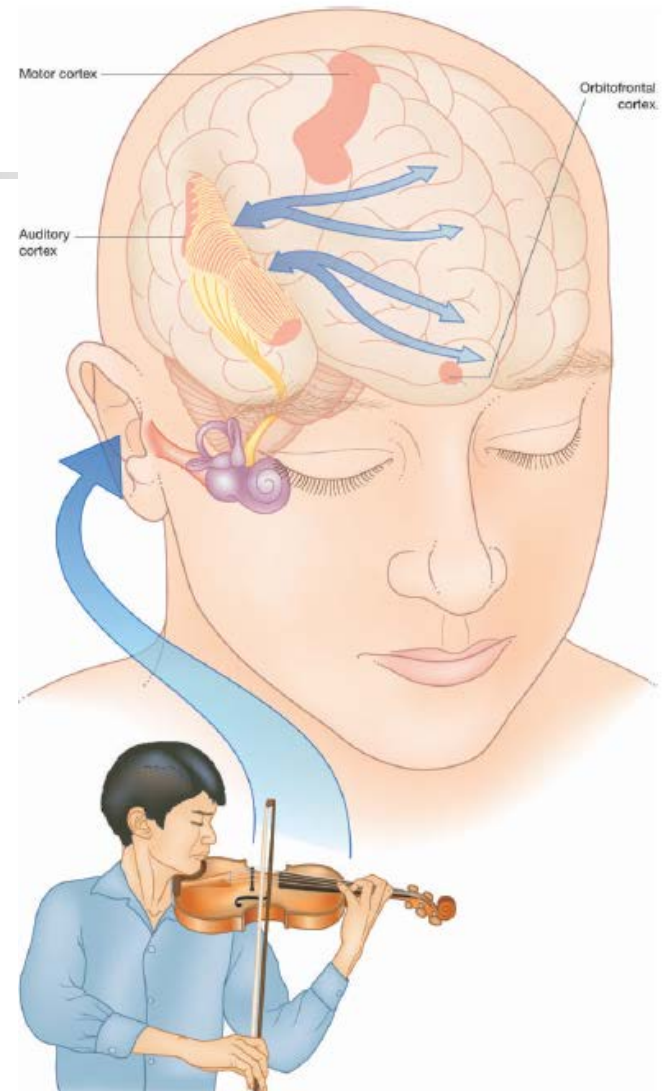


Vaatlus (nt astronoomias või ka „rohelistes“ bioloogias on passiivne) ja katse (aktiivne)

- Vaatlus ja katse annavad **faktid (informatsiooni)**, mis iseloomustavad situatsiooni, milles katse või vaatlus tehti
 - See pole veel mõistmine. Alles faktide analüüs ja üldistamine, teise sõnaga interpretatsioon, võimaldab **mõistmist**
- Vaatluse/katse eesmärged:
 - Nähtumus/funktsioon. Mis toimub?
 - Süsteemi komponentide identifitseerimine. Kes/mis osaleb?
 - Struktuur. Kuidas see asi välja näeb?
 - jne
- Katse peab olema **reprodutseeritav** ja **põhimõtteliselt** ümberlükatav e **falsifitseeritav** ka teiste poolt
 - Teadus on seega eranditult avalik tegevus, mis on parim rohi võltsimise ja muu hookus-pookuse vastu



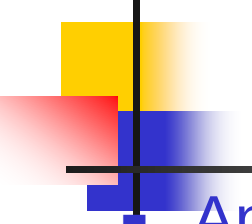
Mõistmine =
Informatsioon
(teadmine)
+ Interpretatsioon



Mõõtmine



- Vaatluse ja/või katsetulemuste võrreldavuse tagab **mõõtmine**, tulemuste esitamine arvulisel kujul ja/või matemaatilise avaldisena
 - **Mõõtmine (nt loendamine) on ühikuga võrdlemine**
 - Võrreldavuse huvides tuleb mõõtühikutes kokku leppida (nt SI süsteem)
 - Esimeste kokkulepeteni jõuti enam kui 2 sajandit tagasi.
 - Mõned riigid (sh USA) pole SI süsteemiga siiani ühinenud, mis aga ei sega neid „teadust tegemast“

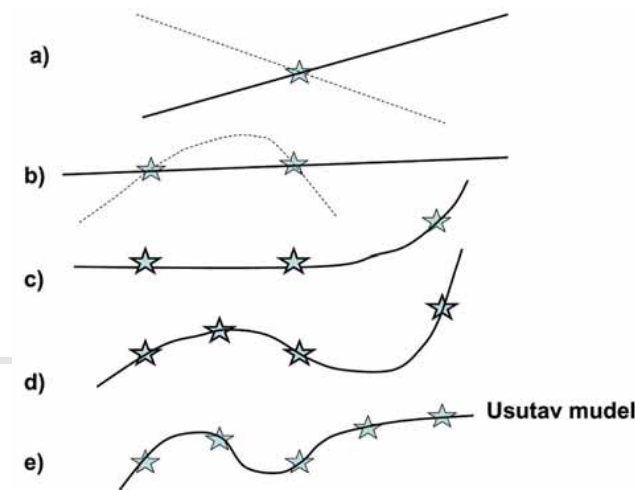


Analüüs ja hüpotees

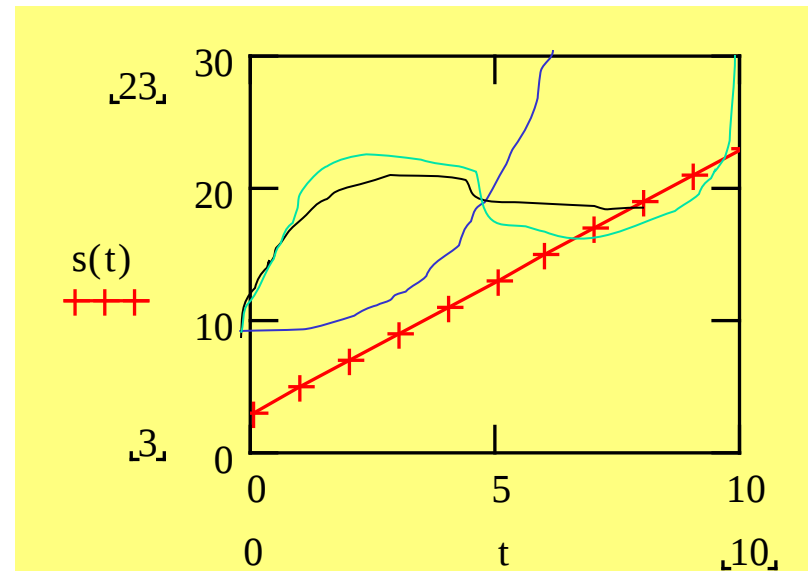
- **Analüüsi** kasutatakse katsetulemustes peidetud seaduspärasuste avastamiseks, vältimaks liiga suure arvu katsete tegemist
- Analüüsiks tuleb katseandmed kõigepealt sobilikult süstematiseerida
 - nt andmeid tabelisse või graafikule kandesja siis neid mingi tuntud (matemaatilise) mudeliga võrrelda
- Sobiva mudeli puudumisel tuleb see välja mõelda (püstitada **hüpotees**) ja seda siis katses aprobeerida
 - Enrico Fermi (1901–1954): On kaks võimalikku väljundit
 - Kui tulemus kinnitab hüpoteesi, siis olete teinud **mõõtmise**
 - Kui tulemus vastustab hüpoteesi, siis olete teinud **avastuse**Praktikas tuleb arvestada ka kolmanda võimalusega, et Teie hüpotees ei pea vett ja/või, et olete lihtsalt mõõtmistega eksinud

Näide: Liikumisseaduse (läbitud tee pikkus sõltuvana ajast) analüüs

- Punkt sirgel/joonel kirjeldab reaalarvu
 - NB! Kahe ükskõik kui lähedase reaalarvu vahele mahub alati veel mõni reaalarv
- Vältimaks liiga suure arvu katsete tegemist analüüsitakse katsetulemusi, et neis peidetud seaduspärasusi avastada
- Selleks võrreldakse sobilikult süstematiseeritud katseandmeid (matemaatiliste) mudelitega
- Veendumaks mudeli kehtivuses, võrreldakse mudeli poolt etteennustatud väärtusi katseandmetega

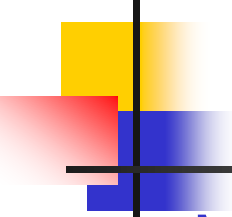


Joonis: Agu Laisk



$$s(t) = a + vt$$

P. Picasso: *Theories
are lies that help us to
see the truth*



Mudel (teooria)

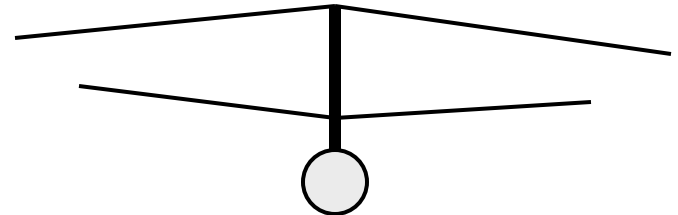
- **Mudel** on niisugune loogiline (tihti matemaatiline) nähtuste üldistus, mis on kooskõlas **kõigi** teadaolevate katseandmetega
- On looduslike protsesside peegeldus, nende **mudel meie teadvuses**
- Terminites eeldus-järeldus on **mudel** selline loogiline struktuur, mis **tuletab järeldusi etteantud eeldustest (postulaatidest, hüpoteesidest)**
 - Kui eeldused tulenevad fundamentaalsetest füüsikalistest seadustest, siis on mudel **ennustav**, ehk kõik tema järeldused on tõsikindlad
 - Enamasti aga baseeruvad mudelid fenomenoloogilistele (nähtumusest tulenevatele) eeldustele. Sellisel juhul kasutatakse mudeli järeldusi tema eelduste pädevuse kontrolliks (falsifitseerimiseks)

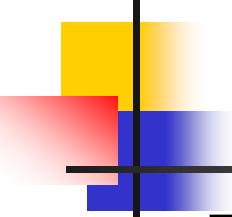
Teooria võimaldab puude tagant metsa näha

- Teooria on kokkupakitud informatsioon, andmetihendus, mis võimaldab seletada paljut võimalikult väikese arvu andmetega
- Teooria on seda täiuslikum/kasulikum, mida väiksemasse arvu teoreetilistesse eeldustesse ja reeglitesse ta kogu olulise info pakib
- Kunstis seostub saržiga



Baruto
üldistus





Mudel (teooria)



- Teooria küll baseerub katsetulemustel, kuid pole olemas ühtset reeglistikku, mille järgi katsetulemuste põhjal teooriat luua. Parim strateegia:
 - katse-eksituse meetod
 - Sümmeetria reeglid
 - Okkami habenugaNn jumaliku **intuitsiooni** taga on reeglina laialdased teadmised, pikaajalised kogemused ning visa töö
- Teatud valdkondades on teooria autoriteet nii kõrge, et katse järgib teooria juhtnööre, mitte vastupidi
 - Kõrgete energiate füüsika
 - Viimane näide: Higgsi boson
 - Kvantelektrodünaamika

Loodus on aeg-ruumi suhtes sümmeetriline

Saksa matemaatiku Emmy Noetheri (1882–1935) suur avastus (1918)

- Jäävusseadused tulenevad Universumi sümmetriaomadustest
 - Energia jäävuse seadus tuleneb aja muutumatusest (füüsikaseadused ei muutu, kui aja suunda muuta)
 - Lineaarse impulsi jäävuse seadus tuleneb muutumatusest nihke suhtes ruumis (e ruumi homogeensusest)
 - Pöördimpulsi e impulss-momendi jäävuse seadus tuleneb ruumi muutumatusest pöörlemise suhtes (ruumi isotroopsusest)
- Füüsikaliste suuruste jäävusega on seotud mõiste **invariantsus** (muutumatus)
- Ainult invariantsete suurustega opereerides jäävad füüsikaseadused ühesugusteks kõigi vaatlejate jaoks
- Kvantmaailmas kehtivad nn sisemised sümmeetriad, seotud erinevate osakeste ümberpaigutamisega võrrandites



Einstein:
"Kõige väljapaistvam
naine matemaatikas"



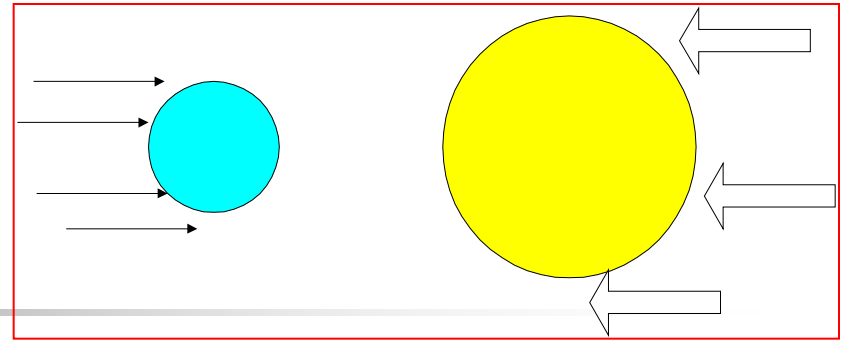
(Peaaegu) isotroopne 2-mõõtmeline ruum

„Okkami habemenoa“ printsiip (*Ockham's razor*)

- Inglise loogiku William Ockham (~1285–1349) sõnastatud printsiip eristamaks “head teooriat” “halvast mudelist”:
“All other things being equal, the simplest solution is the best”



Kontroll ja ennustus



- Teooria on niisugune loogiline/matemaatiline nähtuste mudel/üldistus, mis on kooskõlas **kõigi** olemasolevate katseandmetega
- Kvantitatiivseid mudeleid saab vajadusel kõige lihtsamini kontrollida (falsifitseerida)
- Teooriate testimine (teoreetiliste ennustuste kontroll, falsifitseerimine) ei lõppe kunagi

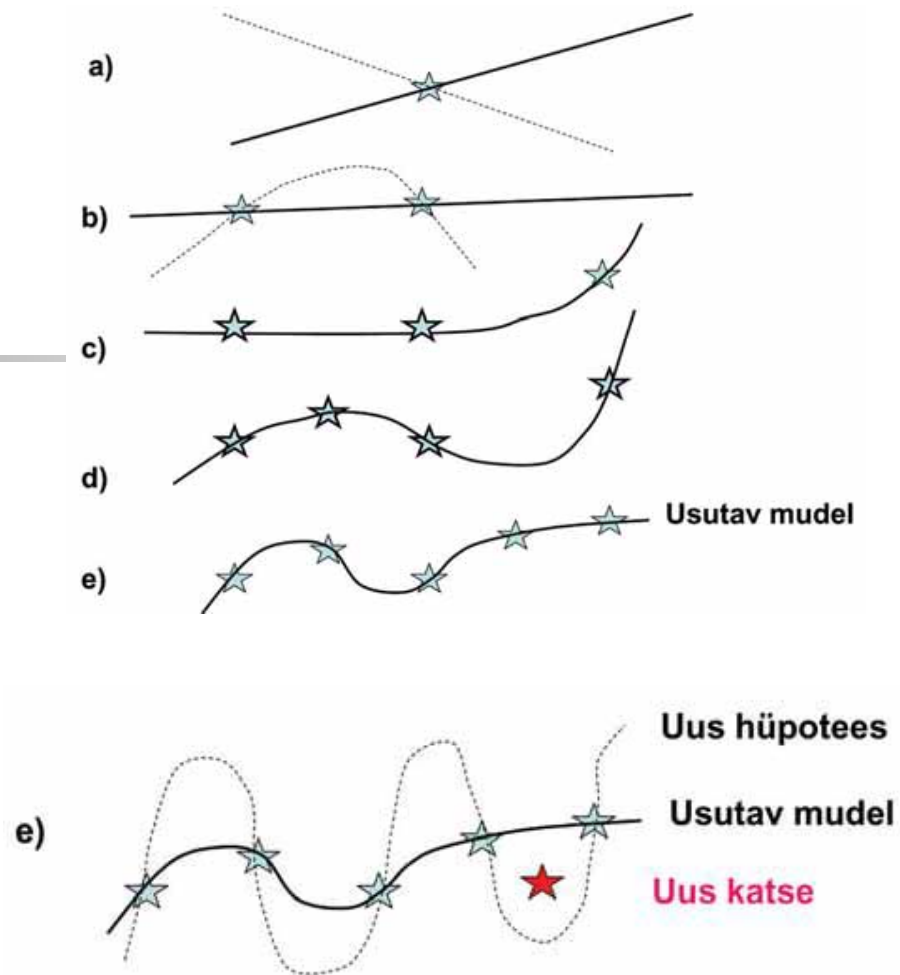
- Näide gravitatsiooniseaduse seletamise kohta hüpoteetiliste nähtamatute osakeste rõhuga. Mis on väär, sest osakesed takistaksid ka taevakeha liikumist orbiidil, mida pole täheldatud.
- Veelgi varem arvati, et taevakehade tõmbumist põhjustavad inglid, mis nende taga tiibasid liigutavad. Ingleid pole samuti siiani leitud.
- Newton pidas komeete Päikese toiduks.
Ka geeniused on vaid inimesed!

Robert Mayer (1814-1878): A single number has more genuine and permanent value than an expansive library full of hypothesis

Teadus on protsess

- Daniele Fanelli Nature 494 (2013) 149:

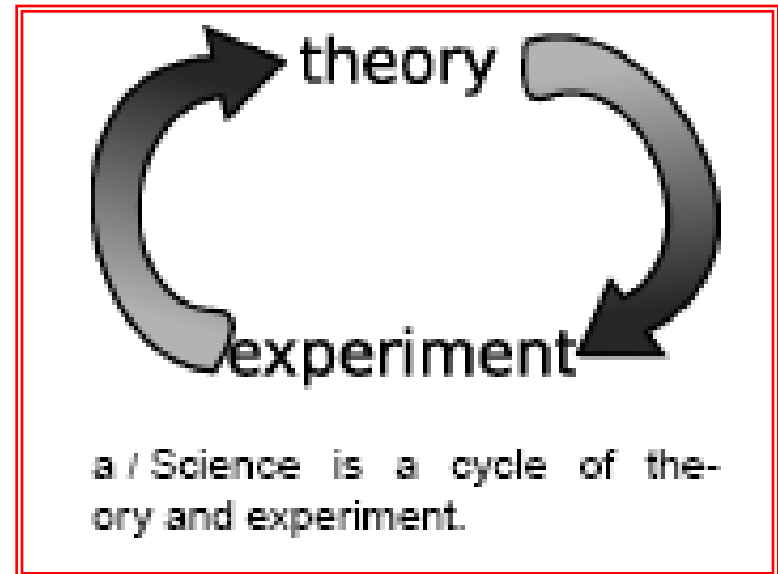
„Teaduslik teadmine on usaldusväärne mitte sellepärast, et teadlased on targemad, objektiivsemad ja ausamad kui mitteteadlased, vaid sellepärast, et nende väited on avatud kriitikale ja kordamistele“



Joonised on laen: A g u L a i s k
"Teadusest, usust –ja
fotosünteesist" HARIDUS 9–
10/2008

Katse-teooria dialektiline kooslus

- Vahe tasapisi hägustub
- Nt, kuidas lahterdada tänapäeva raalikatseid?
 - Kvantkeemia, molekulaardünaamika on tänapäeval suuresti arvutuslikud teemad
- Mis on siin teooria, mis katseline osa?



Katsel ja teoorial on piirid

- Praktilised
- Põhimõttelised

Ernst Öpik: Teaduse tee –
eriti teoreetilist liiki – on
kaetud purunenud mudelite
kildudega





Praktilised piirid

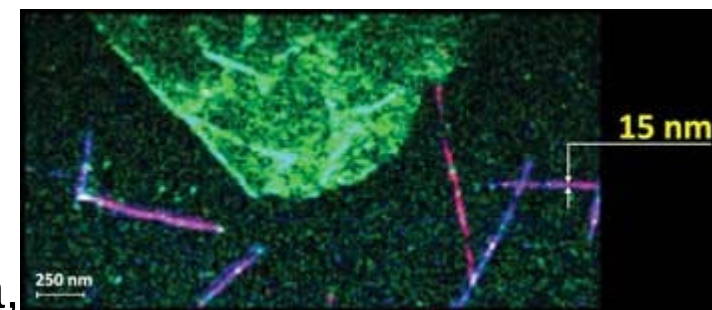
- Katse on küll teooria mõõt, kuid ka õigesti korraldatud **katsetel** on **mõõtmistäpsusega** seatud piirid
 - Nt pikkust saab mõõta umbes 1/1000 aatomi tuuma läbimõõdu täpsusega ja mitte palju paremini
- Seega ei saa igast teooriaga vastukäivast katsest veel teha järeldust teooria ebapädevuse kohta.
Tuleb lahknevusi kriitiliselt analüüsida
 - Nii nt otsitakse gravitatsioonilaineid juba kolmveerand sajandit

LIGO gravitatsioonilainete interferentsdetektor (USA) koosneb kahest 4 km pikkuse ristioleva vaakuumtoru otsas asuvast peeglist, mille asukohta kontrollitakse täpsusega 10^{-18} m (10^{-3} aatomituuma läbimõõtu), suhteline täpsus 10^{-21} .
Nt kellaaega suudetakse vaid suhtelise täpsusega 10^{-18} mõõta (Nature 2014)

2014. a teatati gravitatsioonilainete avastamisest kaudselt, mõju kaudu kosmilise taustakiirguse polarisatsioonile.
2016. mõõtis g-lained otse ära LIGO

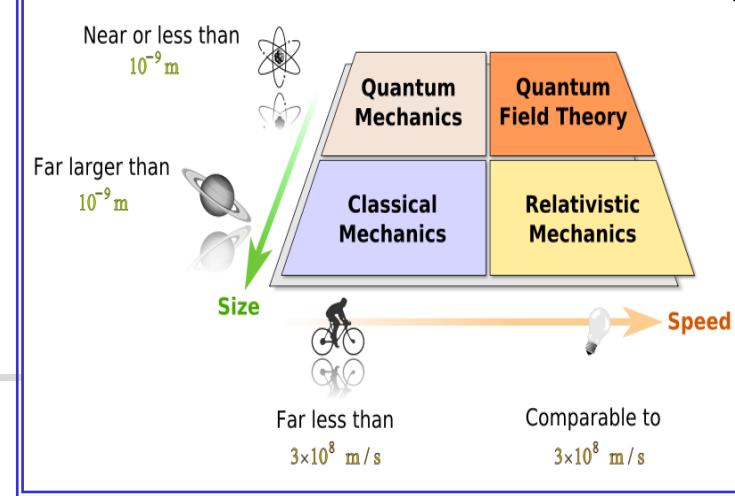
Miks ei saa pikkust (palju) täpsemalt mõõta kui on aatomite läbimõõt?

- Tegemist on praktilise mõõtmispiiriga. Juba aatomi läbimõõt ise tekitab küsimusi. Aga sellest veidi hiljem. Joonisel on kujutatud teravaimat inimese poolt loodud eset - volframnõela. Pisikesed ümarad objektid pildil on üksikud aatomid. Ebaselged kohad on tingitud aatomitest, mis pildistamise ajal (säriaeg ~1 s) soojusenergia tõttu liikusid.
- Spetsiaalseid nippe (nt ülimaldalaide T) ja kaudseid meetodeid (kõrged energiad) kasutades saab ka väiksemaid lõike mõõta, kuid siis me peame täpselt defineerima, mida me seejuures mõõdame.



This hyperspectral image shows 15-nm spatial resolution on carbon nanotubes. ©2013 Horiba Scientific and AIST-NT.

Praktilised piirid 2



- Teooria/mudel on alati lihtsustus. Sellest tulenevalt on **teooriatel** kindlad **rakenduspiirid**
 - Nt “töötavad” Newtoni seadused hästi valguse kiirusega c võrreldes väikestel kiirustel, kuid halvasti relativistlikel (st c -ga võrreldavatel) kiirustel
 - Samas seisus on klassikaline mehaanika kvantmehaanika suhtes ning kvantmehaanika omakorda kvantelektrodünaamika suhtes
- Mastaabi seadus (*scale law*): Füüsikaseadused muutuvad, mida sügavamale mateeria tasemetele me piilume ja vastupidi



Foto: Andres Puting

Põhimõttelised piirid

- Katse mõõtmistäpsuse põhimõttelised piirid tulenevad looduse kvantolemusest
 - nt Heisenbergi relatsioon (määramatus)
- Teooria (matemaatika) piirid avastas **Kurt Gödel** (1906-1978)
Tema ebatäielikkuse teoreem (1931) väidab:
 - Mistahes formaalses süsteemis jääb alati probleeme, mida ei saa süsteemi aksioomide põhjal ei tõestada ega ka ümber lükata



Figure 4. Kurt Gödel's work led to the modern understanding that randomness is inherent in mathematics just as it is in physics—a notion that Albert Einstein resisted. Still, these two men were close friends when they both lived in Princeton. (Courtesy of the archives of the Institute for Advanced Study)

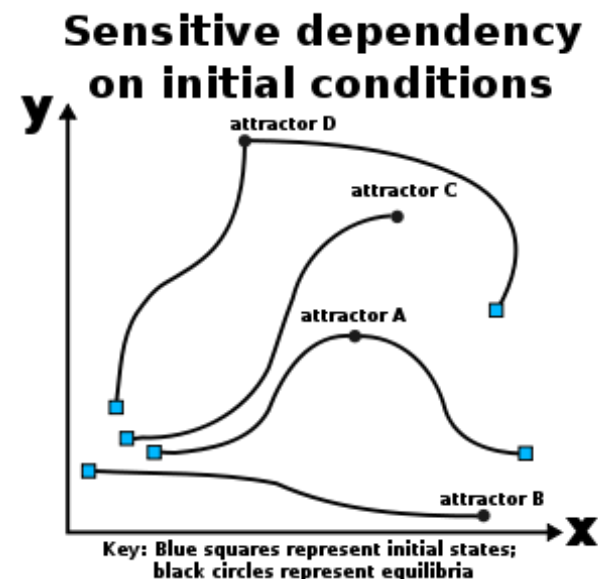
M. Planck: Science cannot solve the ultimate mystery of nature.

And that is because, in the last analysis, we ourselves are part of the mystery that we are trying to solve

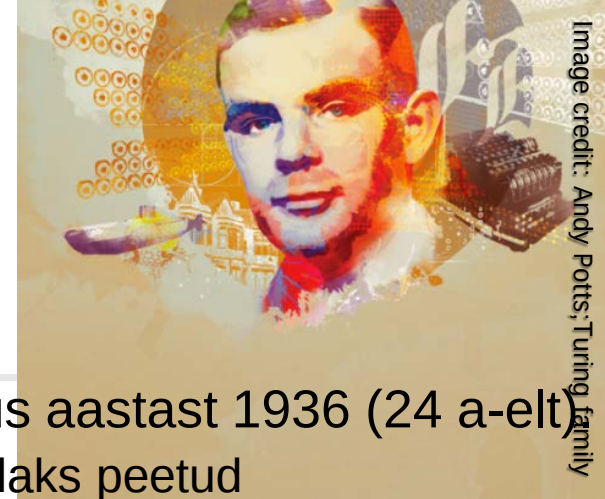
Sama ütleb Bohri bioloogilise komplementaarsuse printsiip

Determinism on kaasaegsete (nii kvant- kui klassikalise füüsika) arusaamade järgi ebateadus

- Laplace'i deemon (1814)
 - Kui universumi hetkeseisundit täpselt teada, saab selle põhjal ka täpselt arvutada, mis juhtus minevikus ja mis juhtub tulevikus
- Tänapäeva teadmiste järgi ekslik seisukoht, mis ei arvesta ei klassikalise müra ega ka kvantmehaanilise määramatusega
- Teoreetiline (klassikaline) termodünaamika väidab
 - kui süsteemis esineb vähegi müra (ükskõik kui väike see ka ei ole), unustab iga süsteem aja jooksul enda algoleku
 - Ehk ka universum unustab - tulevikus eksisteerib aeg, kui universumi praegune seisund on täielikult unustatud



Determinism ja piiratud ettenägemisvõime

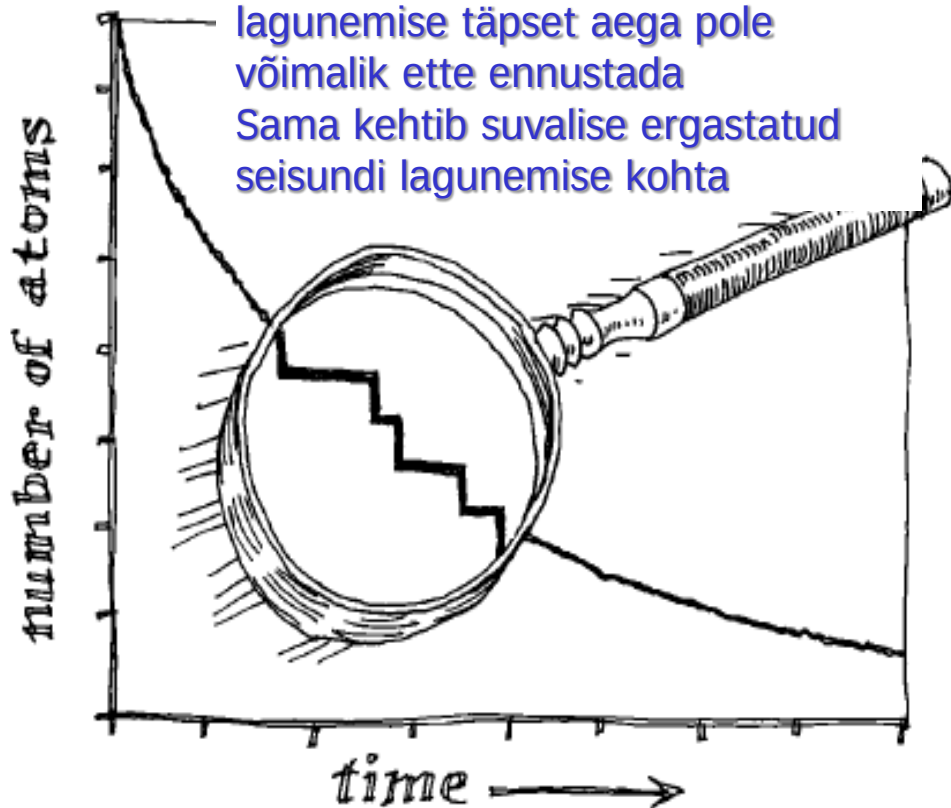


- Briti matemaatiku Alan Turing'i (1912-1954) avastus aastast 1936 (24 a-elt)
 - murdis II MS ajal lahti Saksa mereväe muukimiskindlaks peetud krüpteerimiskoodi "Enigma"
 - andis pädeva selgituse **morfogeneesile** (organismi struktuuride ja vormi väljakujunemisele arengu jooksul)
 - lõi kaoseteooria, millega on seotud ka enesesarnased e fraktaalsed nähtused
- Seth Lloyd "*Programming the Universe*" vahendab:
- One counterintuitive result of a computer's fundamentally logical operation is that **its future behavior is intrinsically unpredictable**.
The only way to find out what a computer will do once it has embarked upon a computation is to wait and to see what happens.
- It is customary to assign our own unpredictable behavior and that of other humans to irrationality: were we to behave rationally, we reason, the world would be more predictable.
- In fact, it is just when we behave rationally, moving logically, like a computer, from step to step, that our behavior becomes **provably unpredictable**.
- **Irratsionaalsus on seega maailma olemusse sisse kodeeritud!**

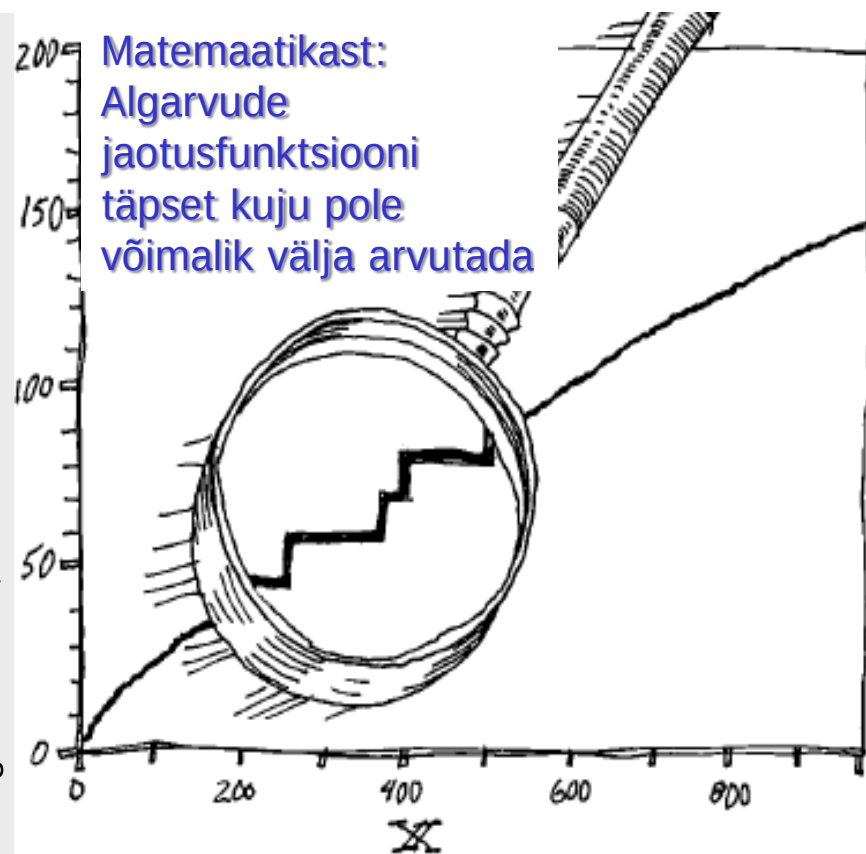
Paar näidet veel

Algarvuks nimetatakse ühest suuremat naturaalarvu (0,1,2,3...), mis jagub vaid arvuga 1 ja iseendaga.

Füüsikast: Tuumade radiaktiivse lagunemise täpset aega pole võimalik ette ennustada
Sama kehtib suvalise ergastatud seisundi lagunemise kohta

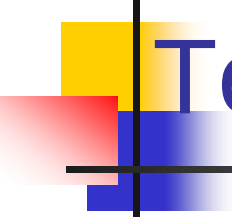


Algarvude arv, mille väärtus on väiksem kui x



Matemaatikast:
Algarvude jaotusfunktsiooni täpset kuju pole võimalik välja arvutada

Figure 3. Quantum mechanics reflects the role of randomness in physics. The seemingly smooth, regular decay of a radioactive substance, for example, is in reality made up of a series of discrete steps, where the exact moment that the next atom decays cannot be predicted (left). The author's work highlights a similar randomness in mathematics, which can be seen, for instance, in the distribution of prime numbers. Although the number of primes less than x follows a well-known trend, the curve is made up of a series of erratic steps, and the exact value of the next larger prime cannot be predicted precisely from any general theory (right).

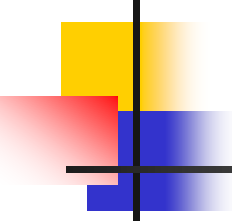


Teaduslike teadmiste põhipiirangud

- Kvantfüüsika
- Gödeli teoreem
- Tegelik võimatus jälgida isegi deterministliku süsteemi arengut, kui ta muutub kaootiliseks (sest maailm on oma põhiolemuselt mittelineaarne)
- Teaduslikult ei saa seletada ka **moraaliprintsiipe**
- On - peaks olema küsimuste vahel näib haigutavat ületamatu lõhe

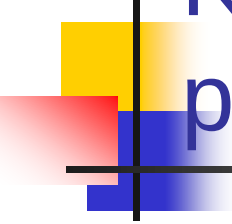
Ideas on complexity and randomness originally suggested by Gottfried W. Leibniz in 1686, combined with modern information theory, imply that there can never be a "theory of everything" for all of mathematics

By Gregory Chaitin



Kuidas on bioloogiaga?

- Meil ei ole teoreetilist bioloogiat samas mõttes kui on teoreetiline füüsika
- Bioloogiat ühendav printsiip- Darwini evolutsioon on küll olemas, kuid selle ennustav võime matemaatiliselt täpses mõttes on nõrk
- Ei ole isegi selge, kas selline teooria üldse eksisteerib



Kvantmehaaniline komplementaarsuse printsiip üldistatuna bioloogiale

- Niels Bohr, 1933: *To find out about life in living organisms one has to make measurements which interfere so strongly with the processes in the organism that life itself is destroyed*
 - Schrödingeri kass

- Pärast I ilmasõda räägiti legendi Niels Bohrist. Sõjast purustatud Euroopa ei tahtnud maksta füüsika alusuuringute eest. Bohr kutsus oma laboratooriumi töötajad kokku ja ütles: „Härrased, meil puudub raha. Aeg on mõtlema hakata.”

Loodus ja tema seadused: Objektiivsed või subjektiivsed?

Vaieldakse selle üle, kas loodusseadused eksisteerivad vaatelejast sõltumatult või nad on vaid subjektiivse mõttetöö vili?

- Selle probleemi tõi kõige tõsisemalt esile kvantmehaanika (Einstein: ma ei usu, et Jumal mängis täringut)
- Kui seadused on subjektiivsed, kas see tähendab siis teaduse lõppu?
- Enamik teadlasi on siiski seisukohal, et loodus ise on objektiivne reaalsus



Einstein: Teadus uurib, mis on, mitte seda, mis peab olema
Äraseletatult, teadus ei anna hinnanguid
Einseini jaoks oli Universum ilmselgelt objektiivne reaalsus

Werner Heisenberg: "What we observe is not nature itself, but nature exposed to our method of questioning"

B. Cox & J. Forshaw, Why does $E=mc^2$? (2009): In science, there is no universal truths, just views of the world that have yet to be shown to be false

Kas reaalsus eksisteerib vaid meie vaimusilmas? Mudeli-põhine realism



- There is no picture- or theory-independent concept of reality
- A model is a good model if it:
 - Is elegant
 - Contains few arbitrary or adjustable elements (NB! Okkami habemenuga)
 - Agrees with and explains all existing observations
 - Makes detailed predictions about future observations that can disprove or falsify the model if they are not born out

Vt ka head arvustust
kolleeg Hannes
Tammetilt:

<http://ael.physic.ut.ee/tammet/f/>

- Füüsika ja metafüüsika vahelise eraldusjoone määrab see, kas teooria on katseliselt kontrollitav (falsifitseeritav), mitte see, kas ta on kummaline või isegi kas ta hõlmab vaadeldamatuid objekte (nt tume-aine ja tume-energia)

Või on tegelikkus meie enda kujundatud?

Kvantfüüsika sunnib võimalusi ümber hindama



- Kvantfüüsika ütleb, et kuitahes hoolikalt me oma mõõtmisi täna ja praegu ka ei teeks, **minevik ja tulevik jäävad ikka määramatuks ja eksisteerivad kui spekter (valik erinevaid) võimalusi.**
 - St Universumil pole ühte ja ainust minevikku ega ka mitte ühtainust tulevikku
- Fakt, et minevik pole ühene tähendab, et olevikus tehtud mõõtmised põhimõtteliselt võivad mõjutada meie minevikku
 - Vastuolu meile harjumuspärase põhjuslikkuse printsiibiga, mis ütleb, et põhjus alati eelneb tagajärjele
- Kvantfüüsika sunnib meid samuti ümber hindama tavapäraseid (füüsika)teooriate kriteeriume
 - Mudelite parameetrid võivad teatud tingimustel (nt väga lühikese aja jooksul) omada suvalisi väärtusi ja isegi seaduste kuju võib olla suvaline
 - Ainuke kriteerium on, et mudel ei räägiks enesele (matemaatiliselt) vastu (see on sama, mida Hawking oma mudeli-põhise-realismiga väidab)

Ei ole olemuslikku vahet, kas relvade toel surutakse peale võõrast usku või levitatakse demokraatiat

Tasub kaasa mõelda: Rein Raud “Kas Newtoni seadused on ideoloogilised?” (EPL 10.09.09)

Küsimus oli mõistagi provokatsiooniline ja samuti oli provokatsiooniline minu jaatav vastus.

Olen tõepoolest arvamusel, et ideoloogiast sõltumatut maailmapilti ei ole olemas. Loomulikult ei mõista ma ideoloogiat siin pelgalt näiteks poliitilise süsteemi ideestikuna, vaid kui igasugust maailmapilti, mis on korruga süsteemne ja kallutatud.

Süsteemne selles mõttes, et iga teadmiskild temas seostub teiste teadmistega ja koos moodustavad nad terviku, milles sisemised vastuolud on üritatud viia miinimumi.

Kallutatud aga seetõttu, et iga niisugune maailmapilt on koostatud konkreetsest vaatepunktist ja konkreetsetel alustel – ka siis, kui üritab ise väita oma üldkehtivust ja universaalsust. Eriti siis.

Igasugune ideoloogia muutubki probleemseks alles alates hetkest, kui ta üritab väita, et tema vaatepunkt ei ole mitte üks võimalik teiste seas, diskussioonidele avatud ja nende tulemusel võib-olla korrigeeritav, vaid et tema ja ainult tema näitab meile asju sellisena, nagu need tegelikult on.

Eks olnud ju ka marksistlik-leninlik maailmapilt oma väidete kohaselt üdini teaduslik.

AF: Aga ainult rumal võiks tänapäeval maakera lapikuks pidada!

Raimond Ubar: tõe haprusest teaduse ja ühiskonna dialoogis

Postimees 4. veebruar 2017

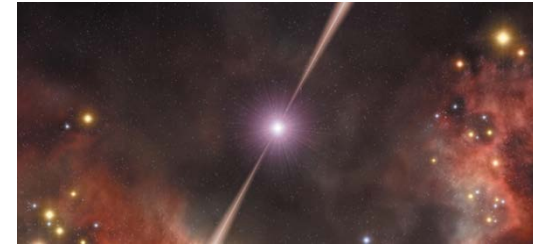
- Publik ootab, et teadus looks imesid, oleks lõbus ja annaks vastuseid olulistele eksistentsiaalsetele küsimustele. Teadus aga kujutab endast püramiidi, kus imeline ja atraktiivne on üksnes tipp. Just siin peitubki kuristik teadlase ja tavainimese arusaamade vahel teadusest, milles tänapäeva «tõejärgset» ühiskonda silmas pidades varitsevad suured ohud: tõe hägustumine, muutumine vanamoodsaks, asendumine pooltõe või valega ning emotsioonidele alla jäämine.
- Mida tähendab tõde ja kas tõel on veel meie «tõejärgses» ühiskonnas endiselt kaalu? Neid küsimusi vaeb Anita Makri ajakirja Nature 19. jaanuari numbris, tundes muret selle pärast, missugust rolli mängivad teadlased ühiskondlik-poliitiliste probleemide aruteludes.
- Veelgi üldisemalt ühiskonna ootusi hinnates tuleks aga küsida hoopis, milline tõde üldse ühiskonnale oluline on. Ja kas see on seesama tõde, mida otsib teadus?
- Viimastel kümnenditel on teaduse tähendus kardinaalselt muutunud ja hägustunud. On hakatud rääkima koguni «teaduse lõpust», kuna teadusest saadav praktiline tulu on selle tegemisega kaasnevate kulutustega võrreldes üha enam maha jäämas ja sellega ei ole ühiskond üldse rahul.
- Teadusvaldkondi on palju ja kõigil on oma iseloom. Olla teadlane on prestiižne. Aga mis on üldse teadus? Kas näiteks konkreetset eesmärki jahtiv, konkreetsele rakendusele orienteeritud uurimistöö on teadus?
- Tehnikavallas tegelevad rakendustega insenerid. Veelahkmeks inseneride ja teadlaste vahel on üksikut ja üldist eristada püüdev hägune piirjoon. Rakendusele pühendunud insenerid ei pretendeeri uhkele nimetusele «teadus», ehkki näiteks ühe keerulise elektroonikasüsteemi projekt sisaldab alati nii uurimis- kui ka arendustööd.
- Rakendusliku uurimistöö tõde on konkreetne ega kuulu vaidlustamisele – see on rakendus.
- Milline on aga alusteaduste tõde? See on uued teadmised. Alusteaduslikul uurimistööl ei ole konkreetset eesmärki, see ei ole projekt, vaid kujutab endast uudishimul põhinevat teekonda tundmatusse. Ühiskonna ootus alusteadustele ei ole konkreetne ja on aegade jooksul põhinenud usaldusel. Tänapäeva turumajanduse laienemises on aga kõike hakatud mõõtma rahaskaalal.
- Nii on ka iga teadlane pandud nüüd valiku ette: kas riskida ja järgida uudishimu või minna kindlamat teed pidi, kus tulemused on garanteeritud ning koos sellega ka publikatsioonid, kõrge h-indeks ja kõrge palk. Üha tihenev konkurents ei luba enam kellelgi riskida ja nii omandab ka alusteadus aegamisi uue näo – teemapõhisus muutub projektipõhiseks.
- Publik ootab, et teadus teeks imesid, oleks lõbus ja annaks vastuseid olulistele eksistentsiaalsetele küsimustele. Teadus aga kujutab endast püramiidi, kus imeline ja atraktiivne on üksnes tipp. Kogu ülejäänud püramiid on igav, argine, skandaalivaene ja tavainimesele raskesti mõistetav.
- Just siin peitubki kuristik teadlase ja tavainimese arusaamade vahel teadusest, milles tänapäeva «tõejärgset» ühiskonda silmas pidades varitsevad suured ohud: tõe hägustumine, muutumine vanamoodsaks, asendumine pooltõe või valega ning emotsioonidele allajäämine. Faktipõhiste järelduste tegemine pöördub pea peale – muutub argumentide polsterdamiseks faktidega. Mida enam toodab internet infomüra, seda vaiksemaks jääb teadajate hääl.
- Teaduse kaalukausil on kaks tõde: praktiline kasu teadusest (heaolu kasv, tervis, keskkonnahoid) ja vastused ühiskonna esitatud küsimustele.
- Tõde ei ole alati ühene, ta võib muutuda ja areneda. On küsimusi, millele ei ole kindlaid vastuseid. Neil juhtudel ei saagi teadus anda konkreetseid retsepte ja on võimalik jagada üksnes üldisi juhtnööre. Sellisel juhul peaks seeme langema vähemalt viljakale mullale. Viljakus tähendaks siin seda, et teadlaste konsulteeritav on piisavalt haritud ning suudab omaenda mõistusele tuginedes ja saadud juhtnööre kasutades ise konkreetsete otsustusteni jõuda. Lühemas perspektiivis tähendaks teadlaste ja ühiskonna koostöö vanema põlvkonna elukestvat täiendusõpet, pikemas perspektiivis aga noorema põlvkonna kõrgharidust üldse.
- Elukestev õpe peaks haarama ka ühiskonna juhtivaid kihte (poliitikuid), et diskursus teadlastega saaks toimuda võrdse aktiivsusega mõlemalt poolt. Ülikoolist saadav haridus aga peaks olema teistpidi relevantne – et diplomeeritud lõpetajad oleksid võimelised probleemideta minema tööturule, kooskõlas ühiskonna vajadustega.

Hawaii-le rajatav maailma suurim optiline teleskoop
Diameeter 30 m; Maksumus 1 miljard \$

Kaasaegne füüsikaline maailmatunnetus

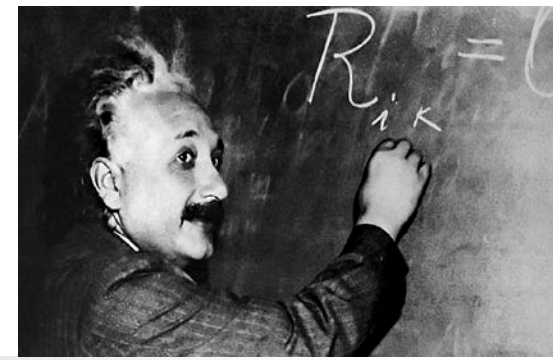


Kaasaegne füüsikaline maailmatunnetus

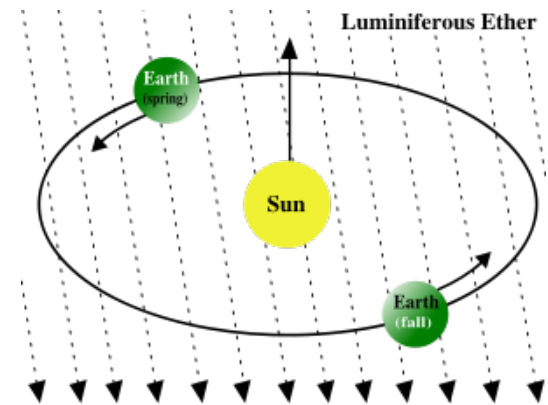


- Kaasaegse maailmatunnetuse aluseks on **kvantväljateooria koos relatiivsusteooriaga**, mis paraku omavahel siiani hästi ei haaku
- Väli ja osakesed on mateeria eksisteerimise kaks **võrdväärsed** vormi
- Selles väljendub **massi ja energia ekvivalentsus**
- Ühtlasi tähendab see seda, et kehad mitte ainult tekitavad välju, vaid ka ise tekivad väljadest
 - Suurt Pauk nähakse kui hiiglaslikku kvantvälja fluktuatsiooni, mille käigus tekkis aeg-ruum koos kõigega, mis temas sisaldub
- Suur mass/energia põhjustab aeg-ruumi kõverdumist

Relatiivsusteooriad: Eirelatiivsusteooria (1905)

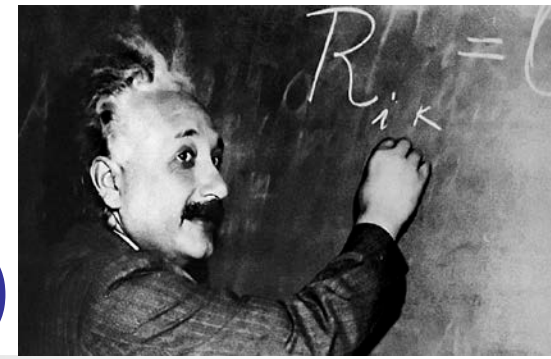


- Eirelatiivsusteooria postuleerib valguse kiiruse (ning üldisemalt loodusseaduste) absoluutsuse ühtlase kiirusega liikuvates taustüsteemides
 - Aluseks Michelson-Morley katsed (1887)
- See sundis lahti ütlema absoluutse aja, ruumi ja massi kontseptsioonist (mõistest)
 - Kontseptsioon füüsikas on sama kui aksioom matemaatikas
- Aeg, ruum ja mass on relatiivse tähendusega, sõltudes liikumise kiirusest
 - Tõestus: GPS; ruumilennud.
Vene kosmonaut Sergei Avdejev viibis orbiidil rekordilised 748 päeva, pikendades oma elu 0.02 s võrra
- Teooria tuvastas samuti energia ja massi ekvivalentsuse: $E=mc^2$



Relatiivsusteooriad:

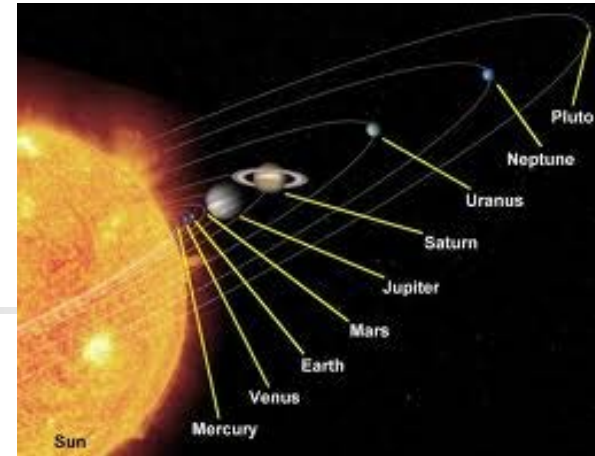
Üldrelatiivsusteooria (1915)



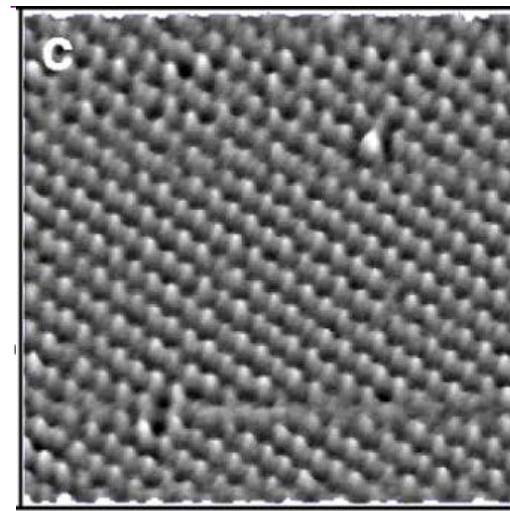
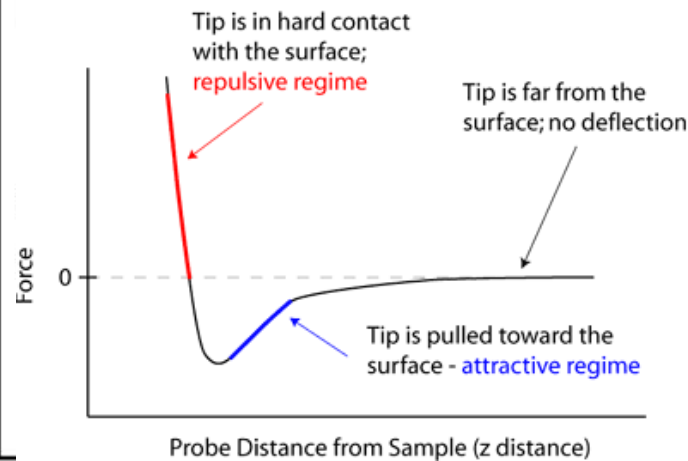
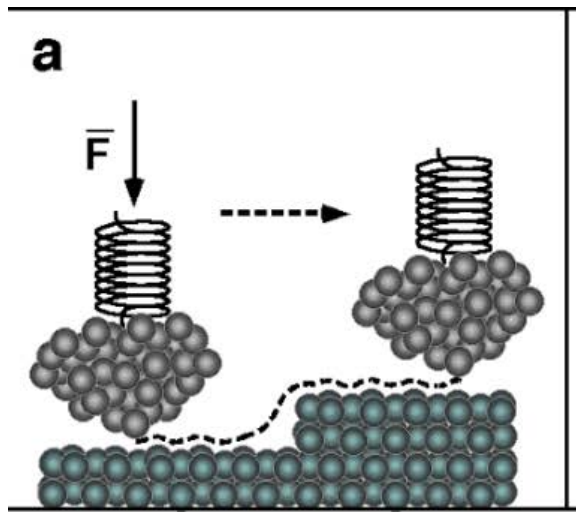
- Üldrelatiivsusteooria on erirelatiivsusteooria üldistus gravitatsiooni kaasamisega
- Ühendas klassikalises füüsikas eraldi seisvad aja ja ruumi mõisted ühtseks aeg-ruumiks
- Tuvastas aeg-ruumi kõveruse sõltuvana gravitatsioonist (e massist/energiast)
 - Esimene katseline tõestus footonite trajektoori kõverdumine Päikesest möödaminekul (Eddington 1919)
- Üldrelatiivsusteooria edasiarendustest selgus, et aeg ja ruum ei ole mitte üksnes relatiivsed, vaid neil on ka algus ja (võib-olla) lõpp
- Aeg-ruum nimelt tekkis Suure Paugu käigus

Vastastikmõjud toimivad ilma otsese kokkupuuteta

- Kehad mõjutavad üksteist vaid kaugelt, jõuväljade kaudu (Faraday)
- Gravitatsiooniline **kaugmõju** on silmaga nähtav Universumi ehituses
- Elektromagnetiline **kaugmõju** aga domineerib aatomite ja molekulide vahel, ka siis kui kehad justkui “silmnähtavalt” kokku puutuvad



- Kehade “kokkupuudet” selle sõna otseses tähenduses ei toimu

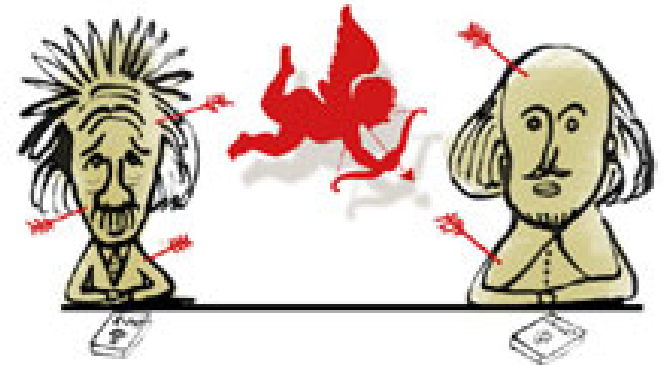


Vastastikmõju vahendavad välja kvandid



- Kehad mõjutavad üksteist väljade vahendusel
 - Kehade kokkupuudet tegelikult ei toimu
 - Teatud juhtudel on kokkupuude isegi raskesti defineeritav, sest alusosakesed (nt elektron) on teooria järgi singulaarsused ehk matemaatilised punktid
- Vastastikmõju (interaktsiooni) vahendavad osakesed
 - Kvantväljateooria kohaselt mõjutavad reaalsed osakesed üksteist virtuaalsete osakeste (kvantide) kiirgamise ja neelamise teel

Mis on virtuaalsed osakesed?



- Virtuaalsed vaheosakesed eksisteerivad väga piiratud aja jooksul väga väikeses ruumiosas määramatuse printsiibi tõttu
 - Nt aatomituuma ja tema elektronkatte vahelist elektromagnetilist vastasmõju vahendavad virtuaalsed footonid
- Virtuaalseteks nimetatakse neid sellepärast, et vastavat osakest on nende lühikese eluea tõttu võimatu fikseerida ja siis uurida
- Samas nt elektroni ergastamine aatomi valentselektronkihis toimub täiesti reaalse footoni neeldumise tulemusena.
 - Aatomite ergastatud seisundi eluiga on 1 ns kuni 1 ms suurusjärgus, mida on tänapäevaste vahenditega suhteliselt kerge mõõta



Neli fundamentaalset vastastikmõju

osakeste (fermionide) vahel välja kvantide (bosonite) vahendusel



■ Gravitatsiooniline

- Mõjub eranditult kõikide kehade vahel. On ainuke jõud, mis alati põhjustab tõmbumist, sh hoiab Maad, tähti, galaktikaid jne koos ja meid kindlalt Maa pinnal
 - vahendavad gravitonid (siiani katseliselt tuvastamata?)

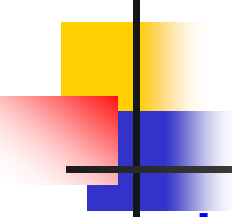
■ Nõrk

- Mõjub leptonite (fermionid, mis ei osale tugevas vastastikmõjus) vahel. Nõrk jõud avaldub mh neutroni lõplikus elueas ja tuumade beeta (elektron või positron) lagunemises. Radiktiivse lagunemise tõttu on Maa sisemus kuum. Nõrgad jõud on seega vulkaanide, maavärinate, kontinentide triivi jne kaudseks põhjuseks.
 - vahendavad seisumassiga vahebosonid Z , W

Elektromagnetiline

■ Tugev

- Mõjub kõikide elektriliselt laetud osakeste vahel
 - vahendavad footonid (seisumassita osake)
- Mõjub kvarkide vahel hadronites (prooton, neutron ja mesonid)
 - vahendavad glüoonid (seisumassita osake)



Väike sõnaseletus

- **Leptonid** on fermionid, mis ei osale tugevas vastastikmõjus, sh elektron ja neutriino
- **Hadronid** on kvarkidest koosnevad sub-nukleaarsed osakesed, mis jagunevad
 - **mesoniteks** (kvarkist ja anti-kvarkist koosnevad ebastabiilsed osakesed)
 - **barüonideks** (kolmest kvarkist koosnevad stabiilsed prooton ja neutron)



Mis on seisumass?

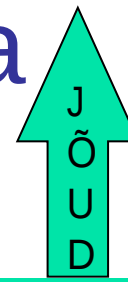
- Seisumassi alusel jagunevad elementaarosakesed seisumassiga ja seisumassita osakesteks.
- Vähimat võimalikku energiat (seisva, $v=0$) omava keha mass on tema seisumass ehk **invariantne mass**.
- Osakesed, millel seisumass puudub, ei saa "paigal seista" ning liiguvad **alati valguse kiirusega**.
 - Kõige tuntum seisumassita osake on **footon**. Seisumassi ei oma ka glüoon
- Seisumassiga osakesi ei saa jälle valguse kiirusega liikuma sundida, **sest see nõuaks ∞ palju energiat ja aega (aja relativistliku venimise tõttu)**. Neid on võimalik kiirendada ainult valguse kiirusele *lähedastele* kiirustele.
- Kuna $E = mc^2$, tähendab osakese seisumass ühtlasi tema vähimat võimalikku energiat (see on energia, mis vabaneb osakese **annihileerumisel**). Seepärast kasutatakse osakese seisumassi kirjeldamiseks tihti energia mõõtühikut, nt **elektronvolt** (eV)
 - $1 \text{ eV} = 96,5 \text{ kJ/mol}$
 - kovalentse sideme energia = 4-5 eV

Footon on eriline



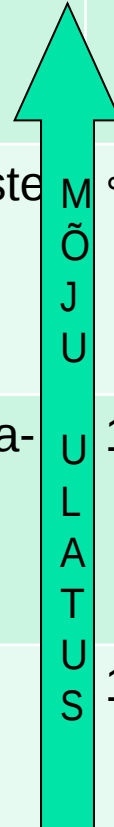
- Välja kvantidel, sh footonil, on **kineetiline mass** (NB! mitte seisumass), mida väljendab tema energia ja $E=h\nu$ ja impulss $p=E/c$
 - Maa gravitatsiooniväljas ülespoole liikuva footoni sagedus ν väheneb (periood T aga kasvab), sest footon kaotab energiat
 - Sellest tingitud kellade käigu erinevust peavad täppisnavigatsiooni-süsteemid arvestama
- Footoni jaoks seisab aeg paigal
- St, täpselt valguse kiirusega liikudes on aja pikenemine absoluutne
- Omaajas mõõdetuna võivad footonid läbida kogu Universumi silmapilgu jooksul, kuigi meie ajaskaalas võib see võtta praktiliselt lõpmatu aja

Vastastikmõjude ulatus ja suhteline tugevus



- Tugev
- Elektromagnetiline
- Nõrk
- Gravitatsiooniline

V.-mõju	Kirjeldus	Kaug.	Tug.
Gravitatsioon	Põhjustab massiga kehade vahel tõmbumist, teoreetiliselt võimalik ka „negatiivse massi“ korral tõukumine, kuid seni tõestus puudub. Vahendavad gravitonid (katseliselt tõestamata)	∞	1
Elektromagnetism	Põhjustab tõukumist ja tõmbumist elektriliste osakeste korral Vahendavad footonid (seisumassita)	∞	10^{36}
Nõrk	Osaleb osades tuumasisestes protsessides, nt beeta-lagunemine Vahendavad W^+ , W^- ja Z vahebosonid (seisumassiga)	10^{-15} m	10^{25}
Tugev	Jõud kvarkide vahel Vahendavad gluonid (seisumassita, kuid omavahel interakteeruvad)	10^{-18} m	10^{38}

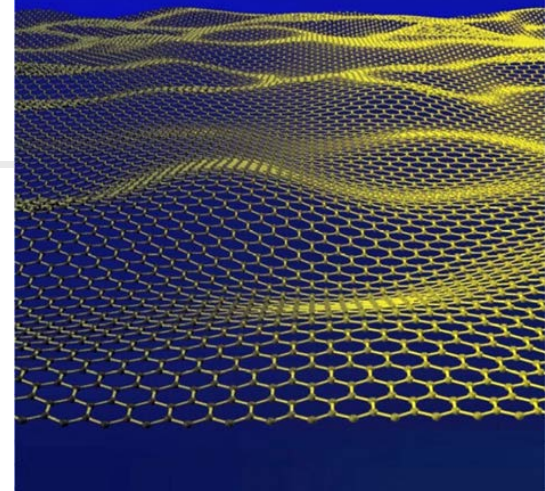


Mõjusid vahendavad seisumassita või seisumassiga osakesed. Selle asümmeetria põhjuseks on vahebosonite interaktsioon Higgsi väliaga (vt edasi)

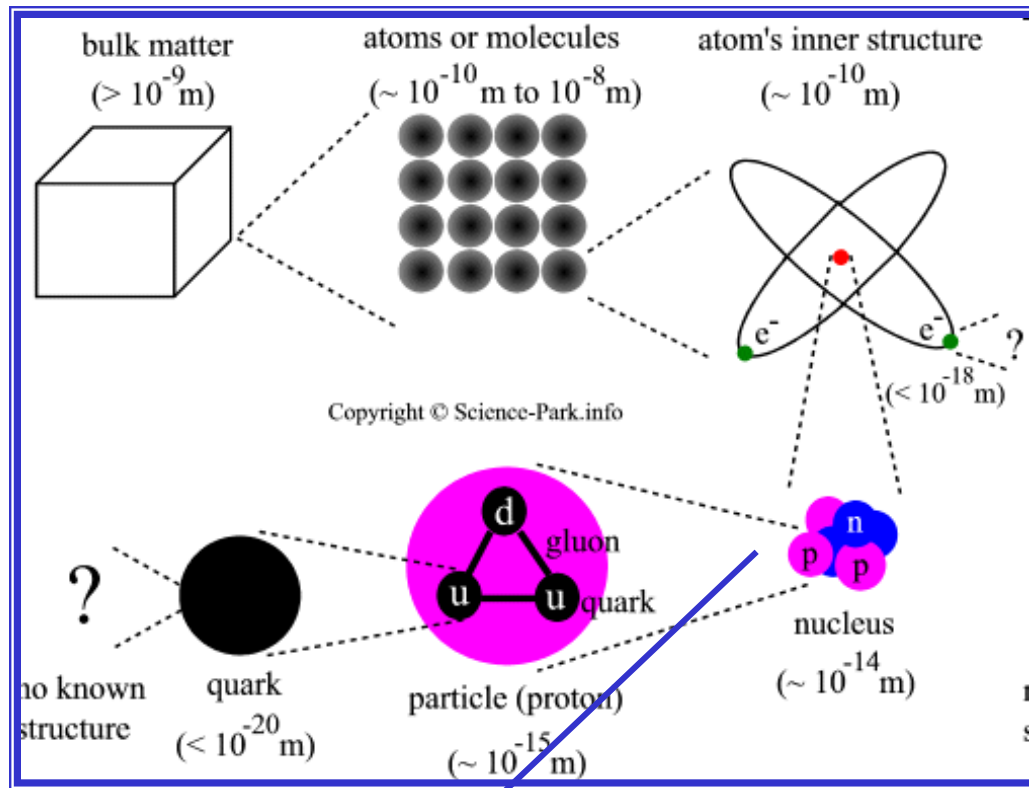
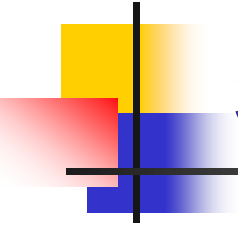
Kõigest 1 C aatomi
paksune grafeenileht/

Aine struktuur

- Vana-Kreekas juurdles selle üle Demokritos
- Atomismi hüpotees
 - Ainetüki jagamisel tükkideks saabub piir, millest väiksemaks enam ei saa jagada
 - Kõige väiksem on aatom
- Tänapäeva aatom ei ole aatom selle vanas tähenduses - jagamatud on vaid alusosakesed (fundamentaalosakesed), nt elektron või kvargid



Aine osakeste struktuur



Koht, kus me oma teadmistega olime 50 a tagasi

Aine osakestel on kihiline struktuur

- Molekulid koosnevad aatomitest
 - NB! Biomolekulide eripära: nad ei allu koostise muutumatus seadusele nagu tavalised molekulid
- Need omakorda vastasmärgilise laenguga elektronidest ja tuumadest
- Tuumad koosnevad nukleonidest: elektriliselt neutraalsetest neutronitest ja positiivselt laetud prootonitest
- Nukleonid koosnevad mürdarvulise elektrilaenguga (nii +, kui - märgiga) kvarkidest, mis vabalt ei eksisteeri

Alusosakesed



NOBEL PRIZE
IN PHYSICS

"I TOOK a course called physics in high school, and it was the only course in which I did badly."

~ Inducted: 1962 ~

Murray Gell-Mann, mees, kes (koos G. Zweig'ga) avastas kvargid (1964)

Teadaolevalt sisestruktuuri mitteomavaid **alusosakesi on 12**, neist

- 6 kvarki (murdarvulise elektrilaenguga osakesed) osalevad tugevas vastastikmõjus
- 6 leptonit (fermionid, mis ei osale tugevas vastastikmõjus)
 - Elektron
 - Müüon
 - Tauon
 - 3 neutriinot

Lisaks on **12 anti-alusosakest**, mis kasvatavad **alusosakeste koguarvu 24-ni**

See arv võib uute mudelite valguses muutuda

Alusosakeste „Mendelejevi tabel“

	2.4 MeV $\frac{2}{3}$ u up	1.27 GeV $\frac{2}{3}$ c charm	171.2 GeV $\frac{2}{3}$ t top	0 0 γ photon
	4.8 MeV $-\frac{1}{3}$ d down	104 MeV $-\frac{1}{3}$ s strange	4.2 GeV $-\frac{1}{3}$ b bottom	0 0 g gluon
Quarks				
	<2.2 eV 0 $\frac{1}{2}$ ν_e electron neutrino	<0.17 MeV 0 $\frac{1}{2}$ ν_μ muon neutrino	<15.5 MeV 0 $\frac{1}{2}$ ν_τ tau neutrino	91.2 GeV 0 0 Z weak force
	0.511 MeV -1 $\frac{1}{2}$ e electron	105.7 MeV -1 $\frac{1}{2}$ μ muon	1.777 GeV -1 $\frac{1}{2}$ τ tau	80.4 GeV ± 1 1 W weak force
Leptons				Bosons (Forces)

2012 lisandus Higgs'i välja osake elueaga > 10-24 s

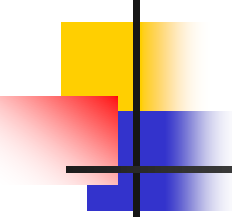
Kuidas sellist lühikest aega mõõdetakse?



Antiaine: “Sulepeast väljaimetud” uus materia vorm

- Avastas teoreetiliselt (1928) inglise füüsik P. Dirac (Nobeli preemia 1933)
 - Laiendades Schrödingeri teooriat relativistlikele kiirustele lõi Dirac kvantelektrodünaamika ning avastas elektroni spinni
- Dirac leidis, et Einsteini võrrand $E=mc^2$ pole päris õige. Korrektne võrrand on $E=\pm mc^2$, mis võimaldab negatiivse energiaga osakesi nn Diraci meres
- Nende negatiivsete osakeste positiivsele energiatasemele ergastamisel tekivadki antiosakesed
- Katseline kinnitus antielektroni ehk positroni kohta Carl Andersonilt mõned aastad hiljem
 - Tänapäevane rakendus- PET tomograafia
 - Dirac põdes Aspergeri sündroomi sarnaselt Newtoniga. Aspergeri sündroom on üks autismi vorme, mida tihti iseloomustab intensiivne huvi teatud küsimuste vastu

E. Öpik: Koguda antiainet on just sama praktiline (ja lõpmata palju kordi ohtlikum), kui hoida püssirohtu küdevas ahjus



Antiaine omadusi

- Antiaine omab ainega võrreldes
 - vastupidist laengut
 - ümberpööratud paarsust (vasak ja parem pool on ära vahetatud)
 - vastupidist aja suunda
Feynman: antiaine on lihtsalt tavaline aine, mis liigub ajas tagasi
- Osakesed, mis ei oma laengut on iseenda antiosakesed
 - Nt footon ja graviton
(antimaailmas kukub antiõun ikka anti-Maa poole, mitte sellest eemale)
- Tänapäevane nähtava Universumi asümmeetria aine kasuks on arvatavasti Suure Paugu iseärasus, millel siiani puudub hea seletus
- Pole välistatud antiainest koosnevate Universumi piirkondade olemasolu
- Aine ja antiaine annihilatsioonil vabaneb $\frac{1}{2}$ massist kasutatava energiana, ülejäänu viivad raskesti tabatavad neutriinod (aga vt Öpiku repliiki)

Kuidas mateeria struktuuri uuritakse

- **Optiline mikroskoopia**

Lahutusvõime: $\sim \lambda/2 \sim 100$ nm

Superresolutsioon-mikroskoopidel ~ 10 nm

- **Teravikmikroskoopia (FI): 0.1 nm**

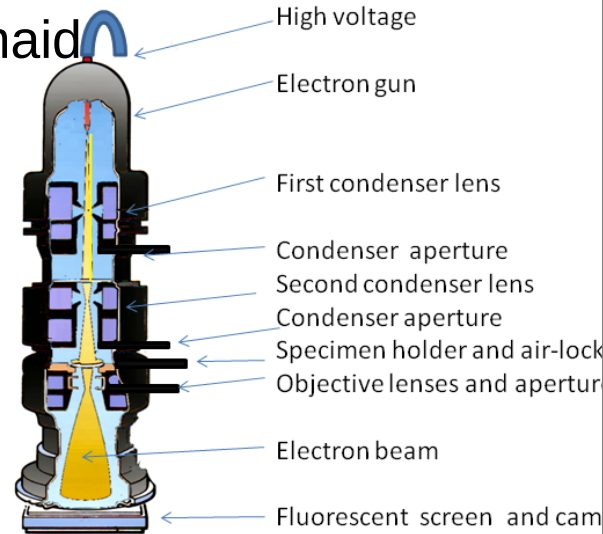
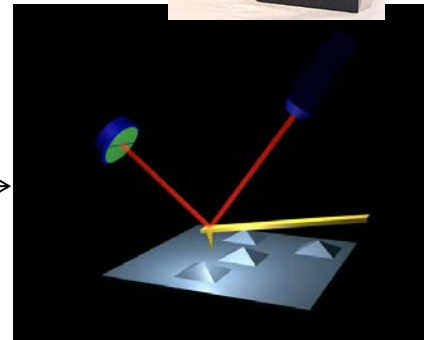
- **Elektronmikroskoopia** lahutusvõime on määratud elektronide kineetilise energiaga.

Mida suurem energia, seda väiksemaid kaugusi saab kompida: < 0.1 nm

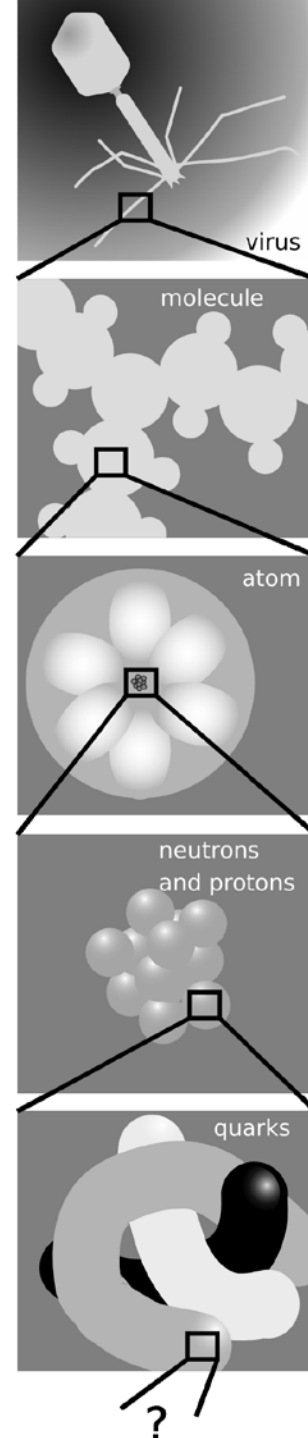
$$E = eU$$

$$E = h\nu; \lambda\nu = c$$

$$\lambda = \frac{h}{E} c = \frac{1}{U} \frac{hc}{e}$$



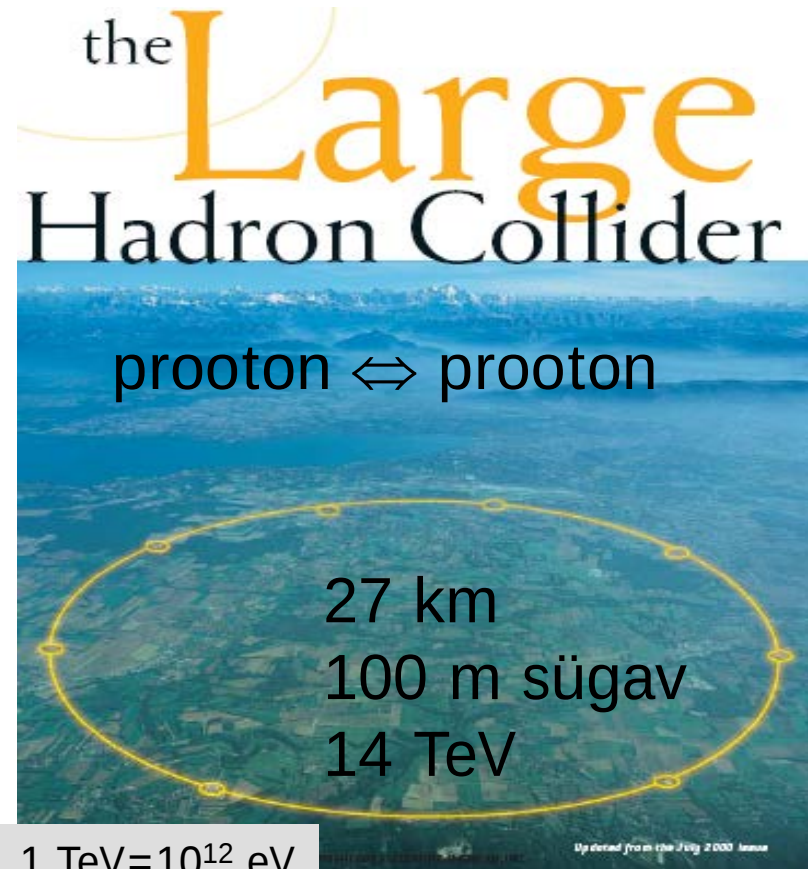
Transmission Electron Microscope



Kiirendi – “mikroskoop” materiale mikrotasandite uurimiseks

- Reegel: Mida suurem energia, seda väiksemaid kaugusi saab kompida
- Osakeste lauppõrgatamise (*colliding*) idee Rutherfordilt
 - Põrkuvad 2 peaaegu valguse kiirusega liikuvat prootonit
- Materiale struktuuri uurimisvahendid on ja peavad olema gigantsed, sest (sünkrotron)kiirguskaod on

$$\propto \frac{1}{R} \left(\frac{E_{kogu}}{m_{seisu}} \right)^4$$



Osakeste detektorid

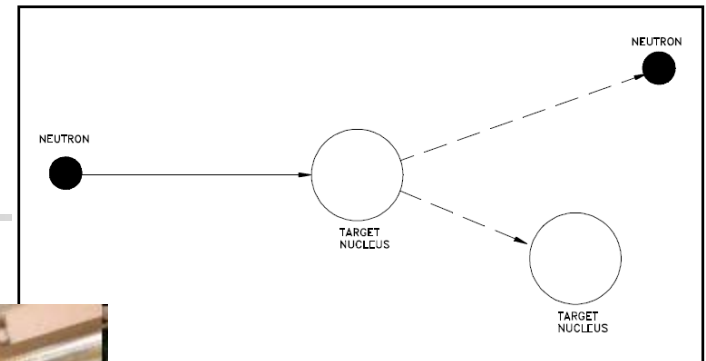
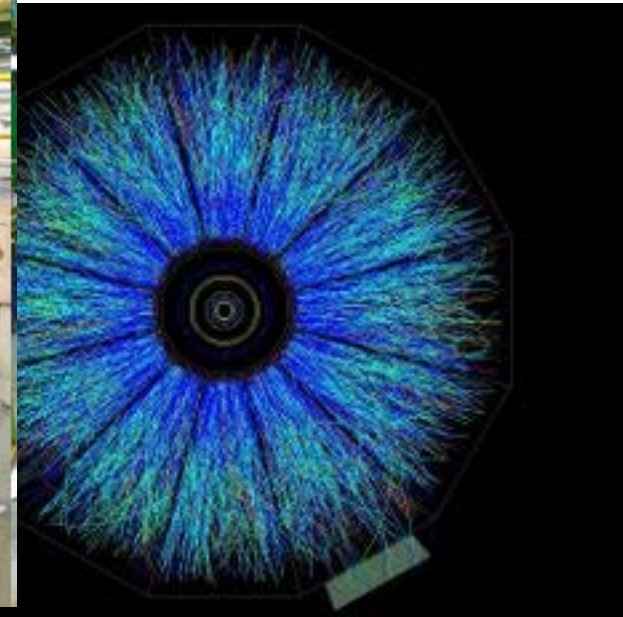
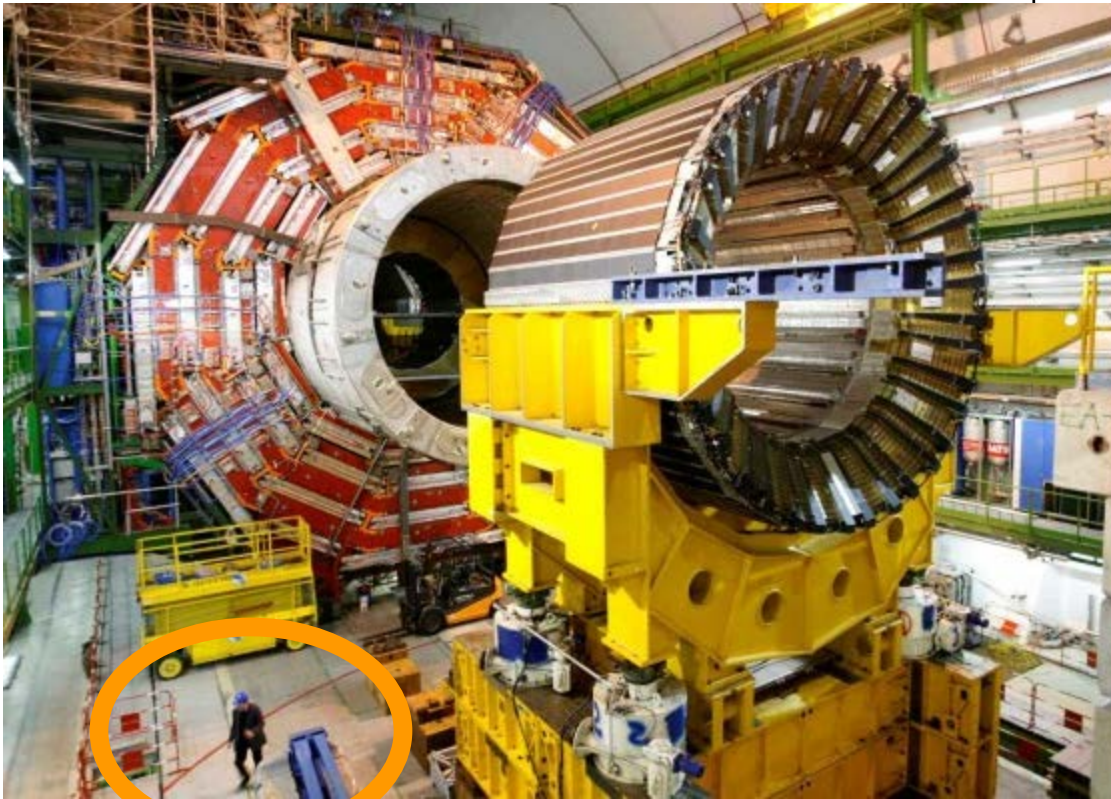


Figure 16 Elastic Scattering



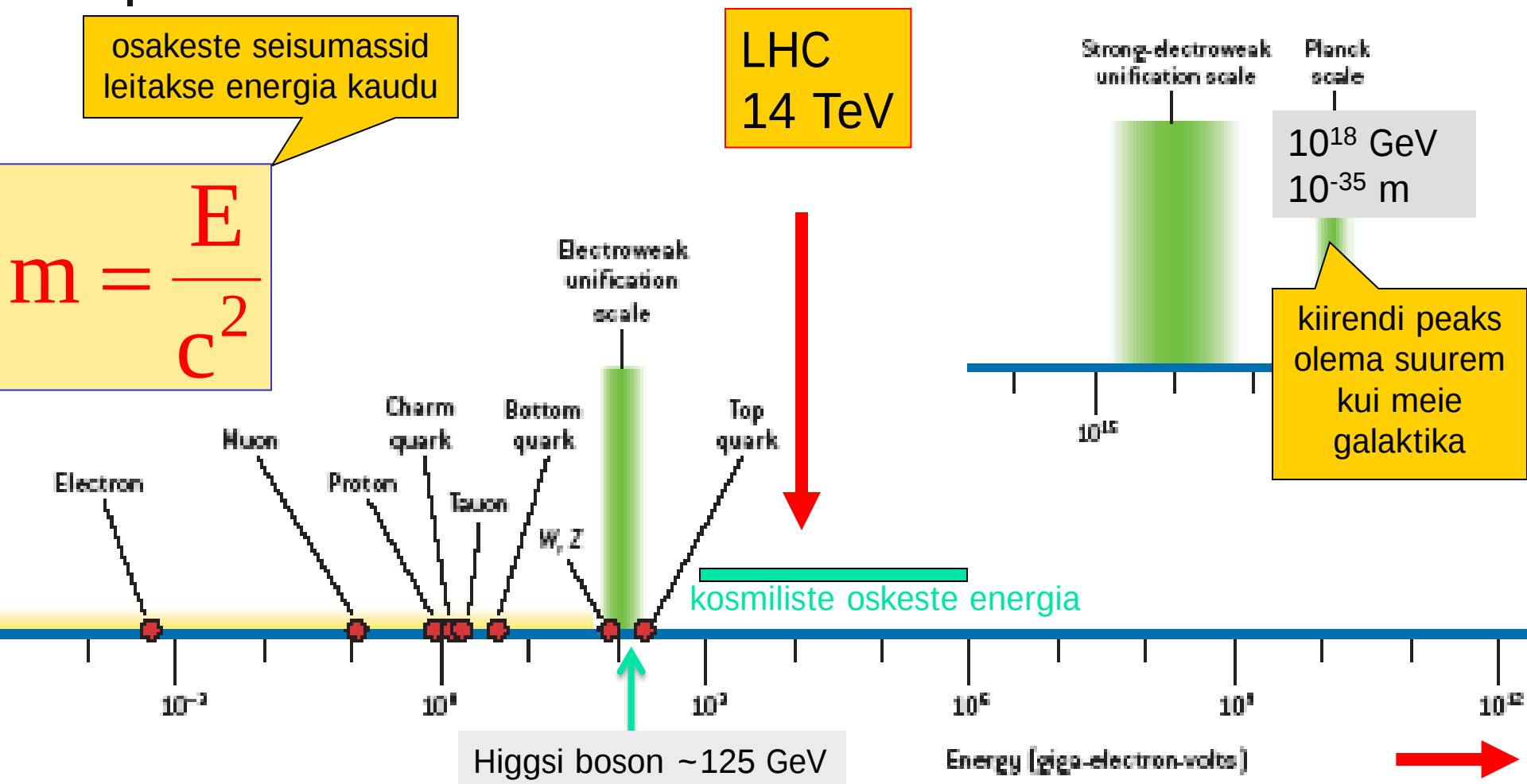
Mastaap!

Mida suurem energia, seda väiksemat ruumiosa on võimalik „näha“

osakeste seisumassid leitakse energia kaudu

$$m = \frac{E}{c^2}$$

LHC
14 TeV





PROBLEEMID TÄNAPÄEVA FÜÜSIKAS

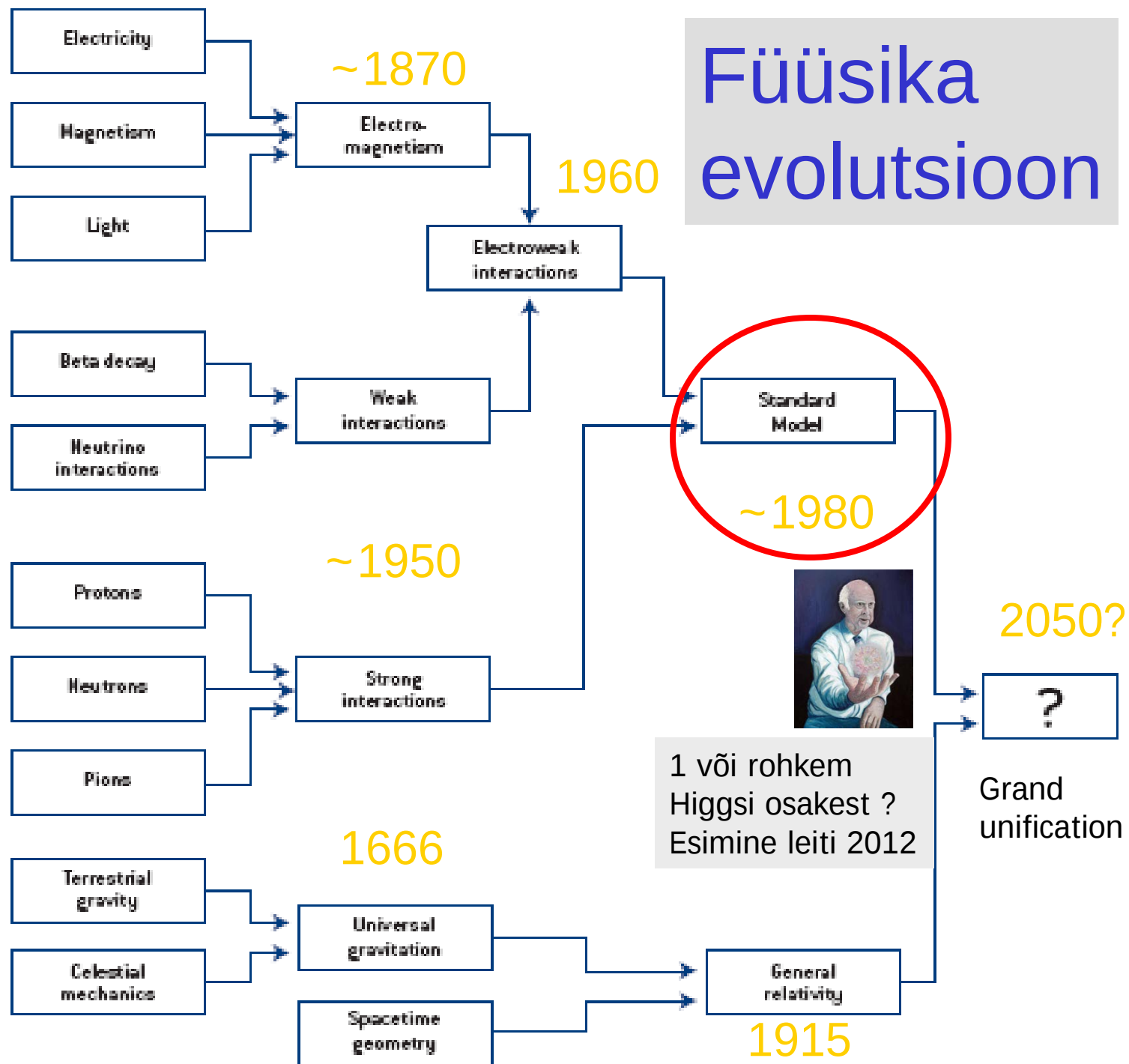
On avaldatud arvamust, et füüsika tulevik
on ainult konstantide täpsustamine.

Füüsika kindlasti ei ole valmis!

Iga uus avastus tekitab uusi küsimusi

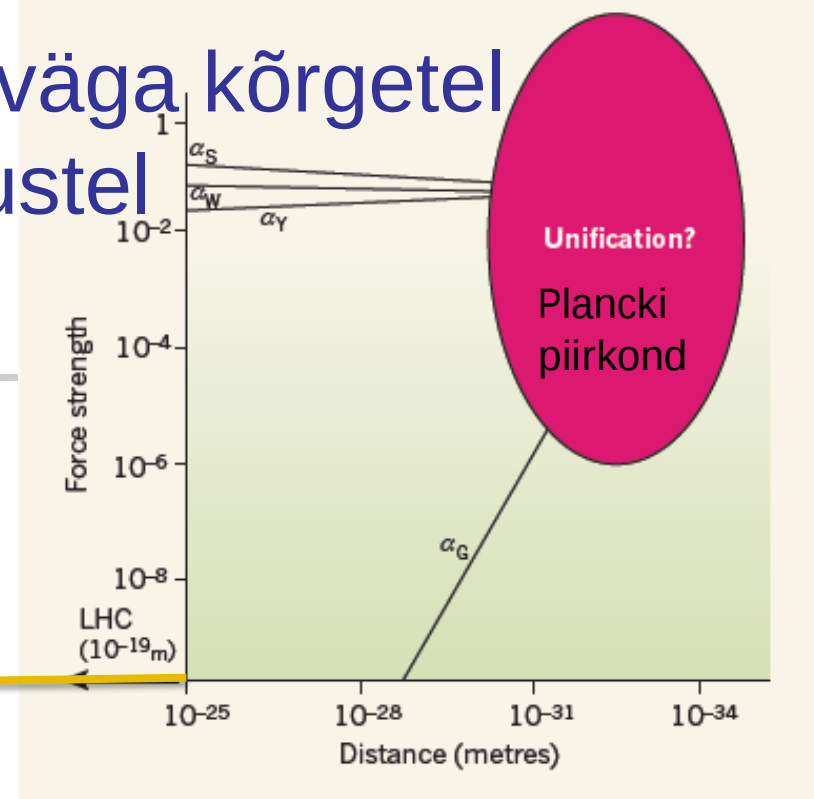
Füüsika evolutsioon

UNIFICATION of disparate phenomena within one theory has long been a central theme of physics. The Standard Model of particle physics successfully describes three (electromagnetism, weak interactions and strong interactions) of the four known forces of nature but remains to be united definitively with general relativity, which governs the force of gravity and the nature of space and time.



Suurt ühildumist oodatakse väga kõrgetel energiatel ja väikestel kaugustel

- Osakestevaheliste interaktsioonide suhteline tugevus sõltub osakeste energiast
- Mõned mudelid ennustavad, et ülisuurtel, nn Plancki energiatel (10^{15} TeV), peaksid kõik neli täna teadaolevat jõudu võrdsustuma. Niisamuti, nagu see oli vahetult Suure Paugu järel



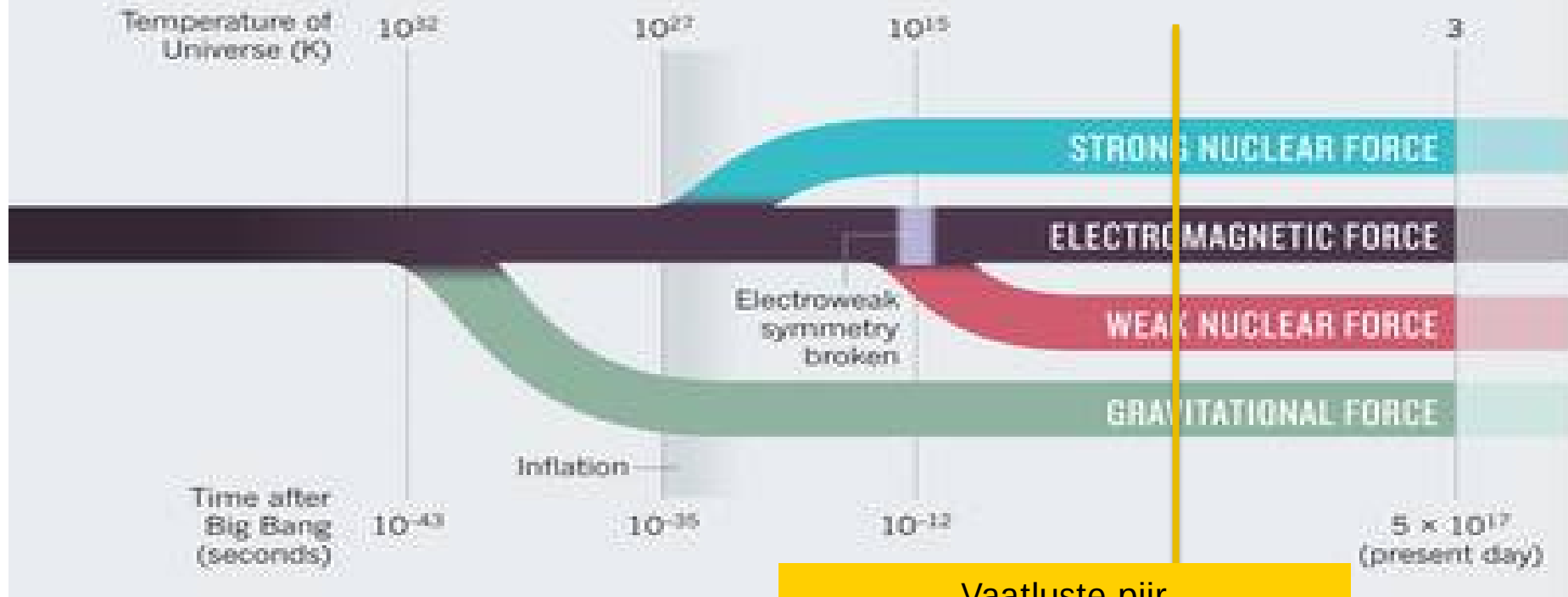
Meile täna
kättesaadavad
energiad

Figure 1 | Meeting at ultrashort distance scales? Extrapolation of experimental values, measured at relatively large distances (not shown), for the strength of the strong force (α_S), weak force (α_W) and hypercharge force (α_Y) indicates that these forces might merge with gravity for processes characterized by distance scales that are at least 13 orders of magnitude smaller than those currently being explored with the Large Hadron Collider (LHC). The strength of gravity is characterized by α_G , and the strength of the electromagnetic force is not shown because at the distance scales displayed this force is replaced by the combination of the weak and hypercharge forces. Toms's analysis¹ investigates a piece of the puzzle that theorists must resolve to correctly describe this unification: the behaviour of gravity in the range between 10^{-32} and 10^{-35} metres.

Selline olukord võis kunagi ammu juba esineda

FUNDAMENTAL FORCES

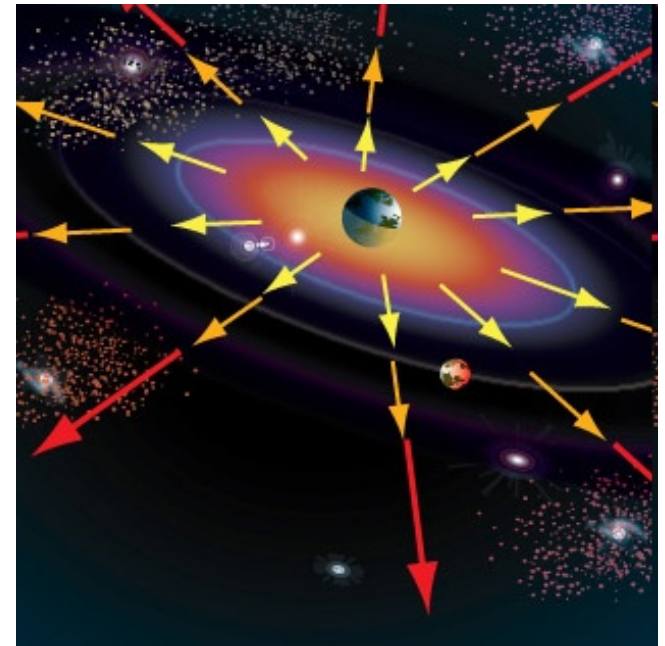
After the Big Bang, the four forces divided as the cooling Universe underwent phase transitions. The Higgs boson broke the symmetry between the electromagnetic and weak nuclear forces.



Vaatluse piir
~400000 a (10^{+12} s) peale SP

Kosmoloogia suur küsimus: Mis stabiliseerib graviteeriva Universumi?

- Gravitatsiooni mõjul kehad tõmbuvad
- Kollapsi vältimiseks peaks miski sellele vastu töötama
- Selleks vastujõuks peetakse **tumedat energiat**, mis Einsteini staatilise universumi mudelis kannab nime **gravitatsiooniline konstant**



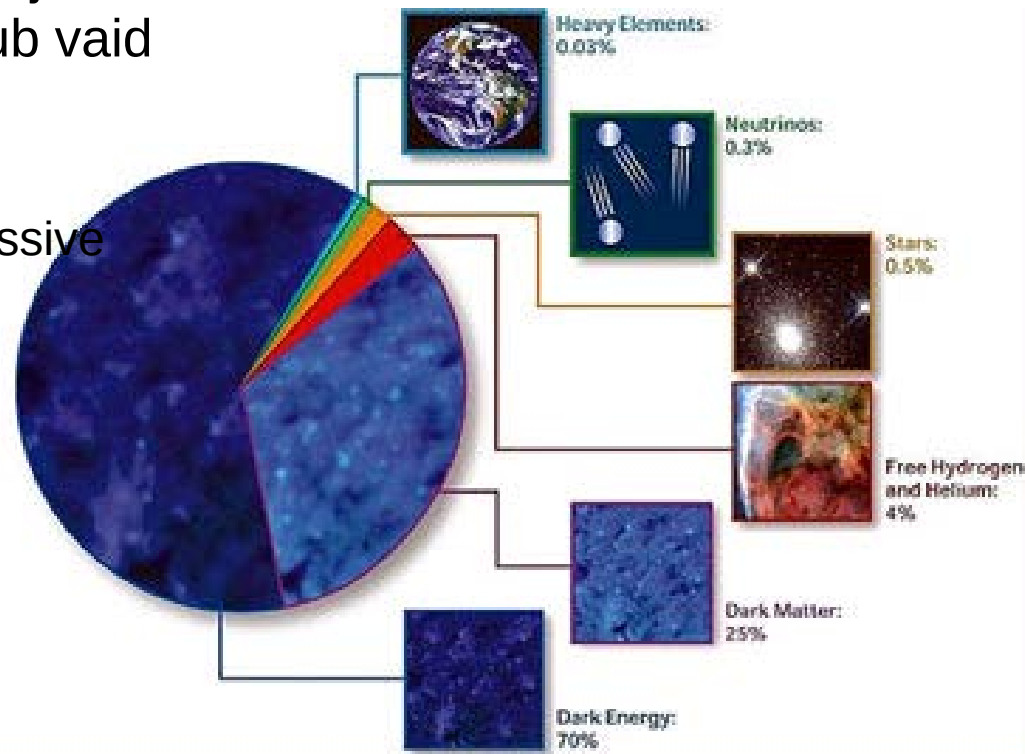
Moodsa füüsika suurimad väljakutsed: Tumeaine ja tumeenergia olemus

- Valgust mittekiirgava, -neelava ja -hajutava **tumeaine**, mis avaldub vaid gravitatsioonilise mõju kaudu, kandidaate on mitmeid

- WIMP (weakly interacting massive particles)
- Neutriinod
- Aksikonid
- Neutralinod
- Tavaaine paralleelsetes universumides

- **Tumeenergia**

- Vaakumi nullvõnkumiste energia



Maailma avastamine seisab
alles ees. Seda teete Teie!

Tumeaine avastamine

■ Probleemi olemus

- Jälgitud orbitaalne tähtede kiirus v kasvab R -ga, selle asemel, et väheneda vastavalt valemile

$m \times$ radiaalkiirendus

$$mG \frac{M}{R^2} = m \frac{v^2}{R}$$
$$v(R) = \sqrt{\frac{GM(R)}{R}}$$

■ Järeldus

- Mass peab R -ga kasvama, mida me aga ei näe

■ Tumeaine avastajate hulgas on ka Eesti teadlasi

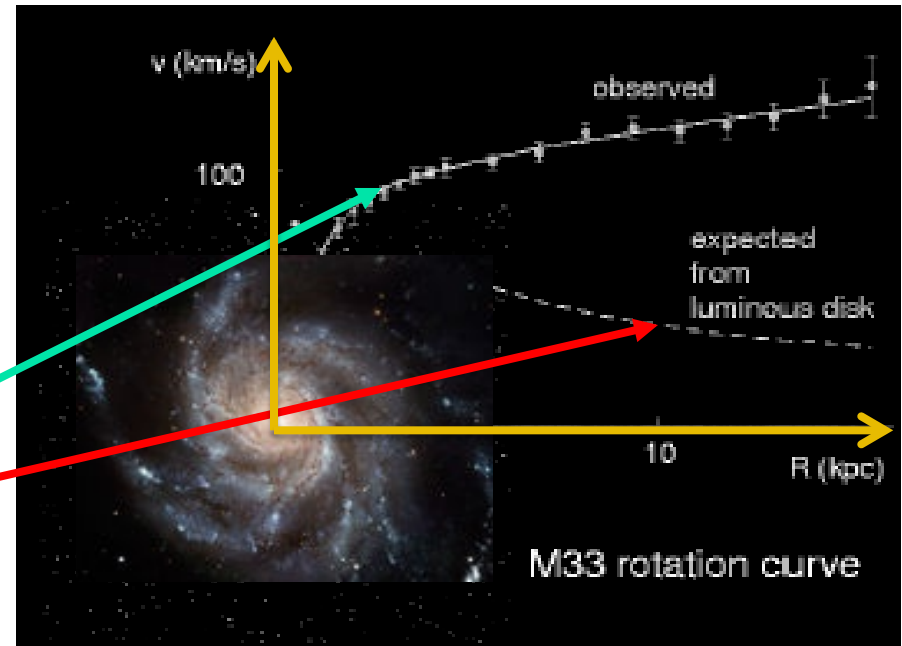


Figure 1. Observed rotation curve of the nearby dwarf spiral galaxy M33, superimposed on its optical image (from [1]).

†The parsec (pc) is a unit of distance, $1 \text{ pc} = 3.26 \text{ light-years} \approx 30.8 \times 10^{12} \text{ km}$. For galactic distances, the kiloparsec (kpc), $1 \text{ kpc} = 10^3 \text{ pc}$ is used. On the other hand, for cosmological distances, the megaparsec (Mpc), $1 \text{ Mpc} = 10^6 \text{ pc}$, is preferred. For example the Coma cluster mentioned above measures about 1.5 Mpc across.

Astrofüüsika: “Eesti oma teadus”

- Friedrich Georg Wilhelm Struve (1793-1864)
- Bernhard Schmidt (1879-1935) (Schmiti kaamera)
 - Vt tema kohta : J. Kross
“Vastutuulelaev” Eesti Raamat, Tallinn, 1987
- Ernst Öpik (1893-1985) (Öpik-Oorti pilv)
 - “Meie kosmiline saatus” Ilmamaa, Tartu 2004
- Jaan Einasto (tumeaine ja Universumi kärgstruktuur)
 - “Tumeda aine lugu” Ilmamaa, Tartu 2006

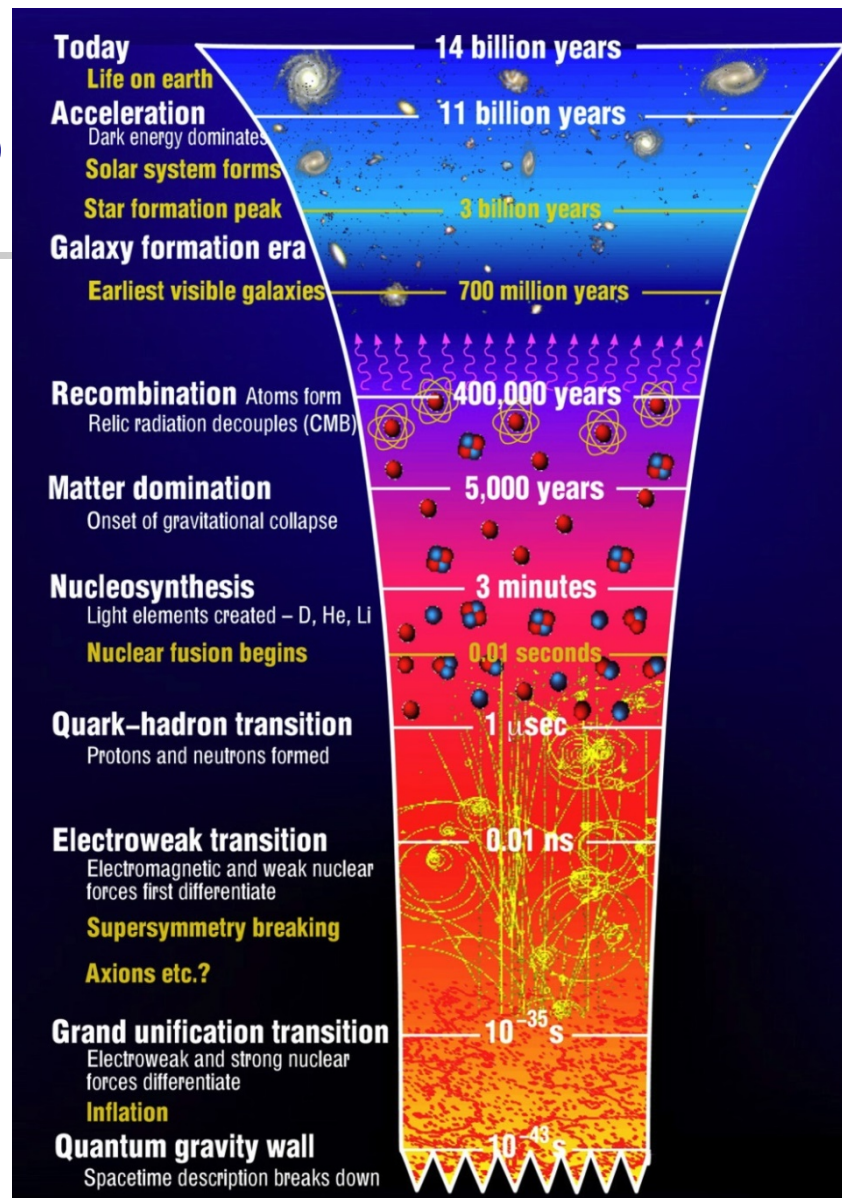


The 2m Schmidt
Camera
Karl Schwarzschild
Observatory



Kust me tuleme?

- Mida kaugemaid Universumi piirkondi me vaatleme, seda kaugemale ajas tagasi me näeme
- Universumi alguseks peetakse Suurt Pauku.
- Põhjused pole teada
 - Kõige rohkem pooldatakse kvantfluktuatsiooni
 - Võimalik ka braanide kokkupõrge (nt 2 2D braani kokkupõrge võib tekitada 4D ruumi)
- Kaugemale kui ~400000 a peale SP me näha ei saa, sest enne seda footoneid veel polnud



Uudis märtsis 2013:
Universum on 13.82 mld a vana ja tavaainet on seal seni arvatust mõnevõrra rohkem, veelkord tõestades, et teadus on protsess

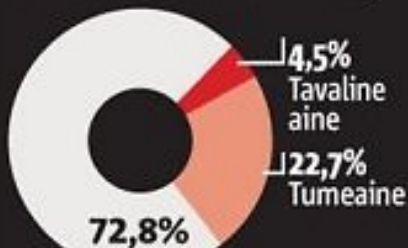
Kosmiline mikrolaine taustkiirgus

Universumi vanima valguse portree

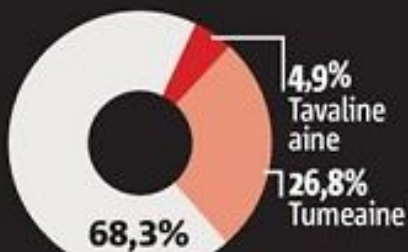
See valgus tekkis, kui universum oli 380 000 aastat vana. Näeme tillukesi temperatuuri kõikumisi, mis vastavad veidi erineva tihedusega aladele, millest said nüüdsete tähtede ja galaktikate seemned.

e Suure Paugu kaja

Universumi uus retsept



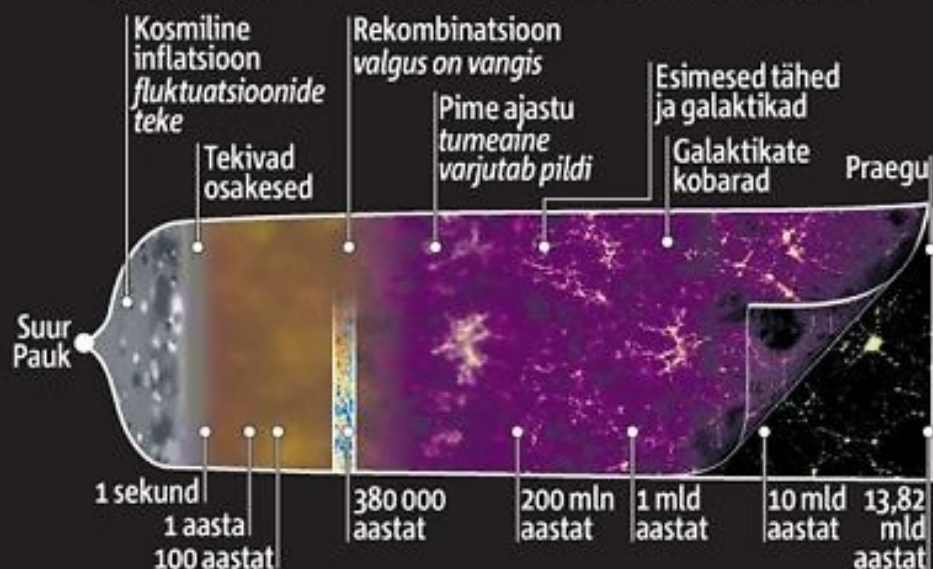
Enne Plancki



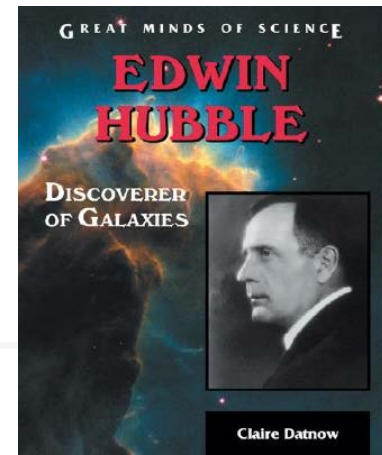
Pärast Plancki

Universumi ajalugu

Kiire paisumise ajal võimendusid fluktuatsioonid, mis hiljem said tähtede ja galaktikate seemneteks. Valgus vabanes 380 000. aasta paiku.



Universumi alguse ning paisuvmise vaatluslik alus



- Edvin Hubble (1889-1953) : Mida kaugemal asub täht, seda kiiremini ta meist eemaldub (1929)
 - Tegelikult formuleeris selle seaduse esmakordselt G. Lemaitre
- See järeldub tähespektrite punanihkkest
- Meetodi nõrk koht on tähe kauguse d täpne määramine (nt parallaksi meetodil).
- Tänapäeval kasutatakse selleks supernovasid, mille heledus on üsna jääv ja kaksiktähtesid.

$$v = H_0 d$$

$$H_0 \approx 70.1 \frac{\text{km} / \text{s}}{\text{Mpc}}$$

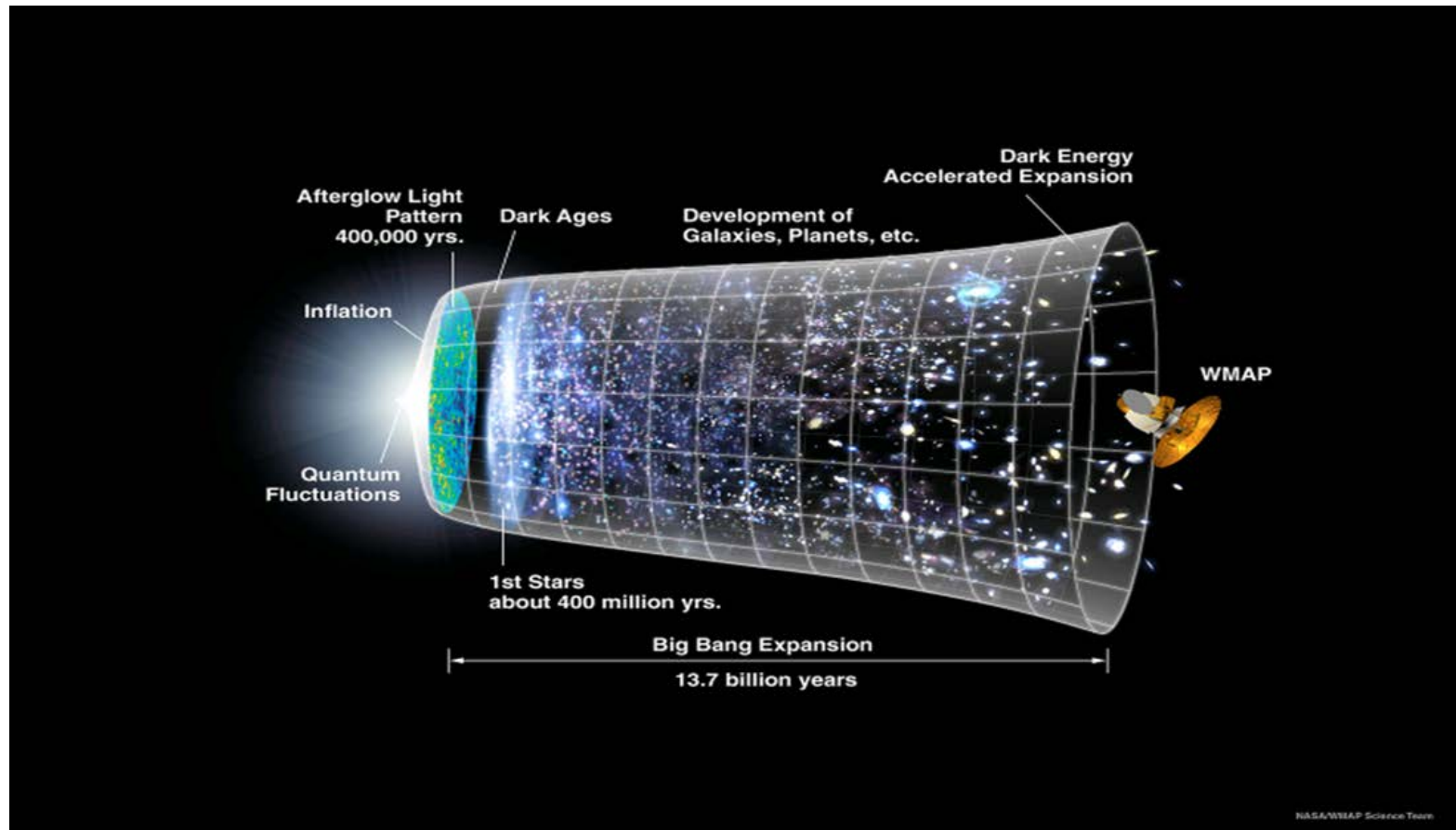
Hubble enda poolt määratud konstant oli 7x suurem

$$1 \text{ pc} = 3.26 \text{ valgusaastat}$$



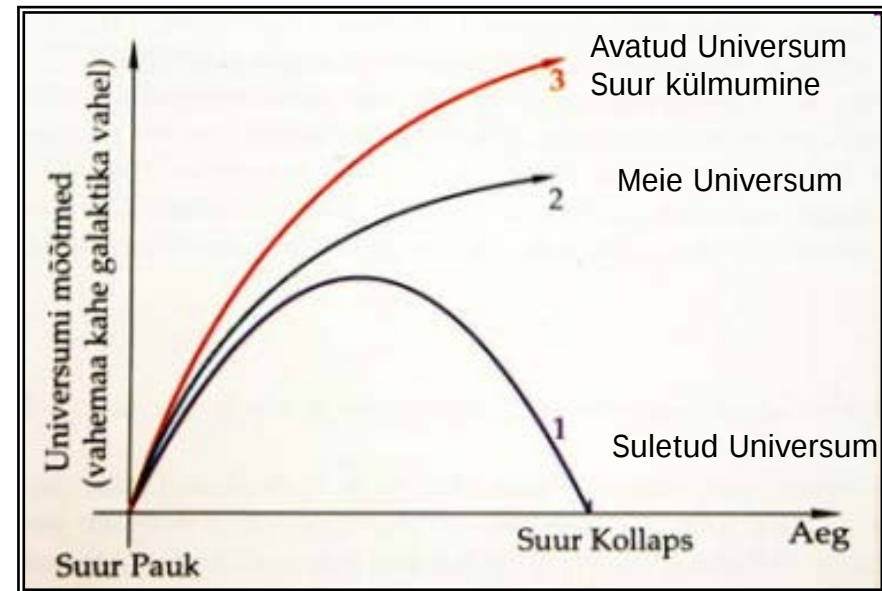
Universe mitte üksnes ei paisu, vaid paisub kiirenevalt!

Avastus 1998, Nobeli preemia 2011 (Perlmutter, Schmidt, Riess)

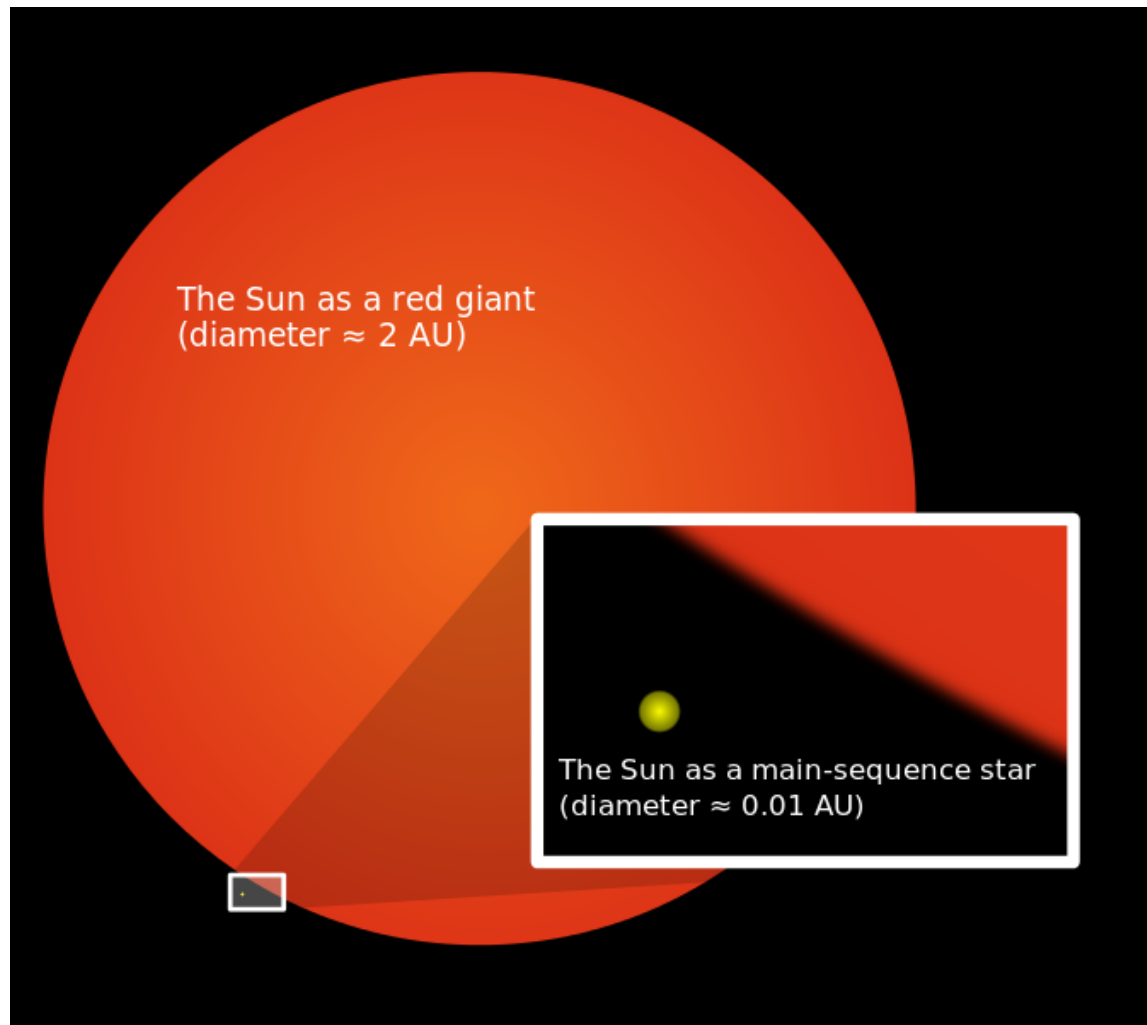


Kuhu me läheme?

- Gravitatsioon aeglustab, tume energia kiirendab paisumist
- Meie saatus sõltub sellest, milline on Universumi massi tihedus võrreldes kriitilise tihedusega $\sim 10^{-29} \text{ g/cm}^3 = 10^{-23} \text{ g/m}^3$ ($\sim 1 \text{ H aatom/m}^3$)



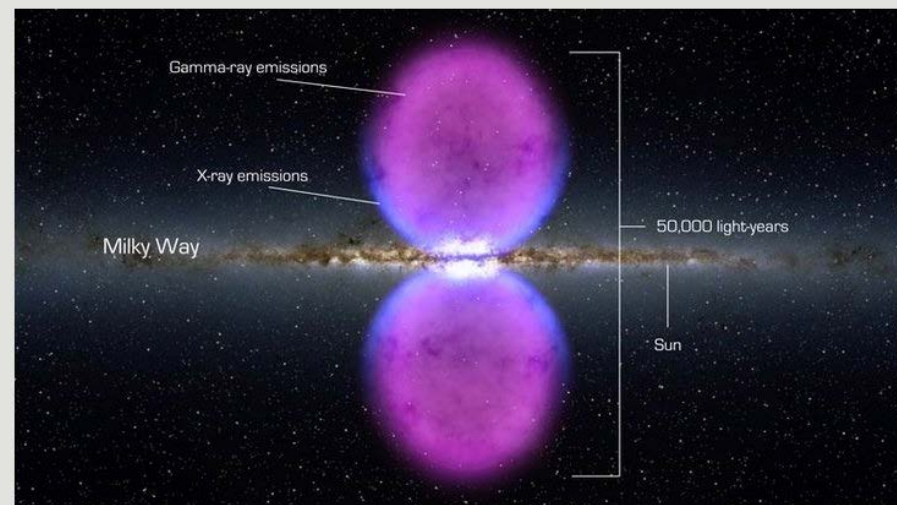
Päikese evolutsioonist tingitud armuaega on järgi veel 2-6 miljardit a



1 AU=
keskmine
vahemaa
Päikese ja
Maa vahel

Linnutee musta augu ümber

Linnutee galaktikas on u 200 000 tähte ja selle läbimõõt on u 100 000 valgusaastat. Meie asume keskmest 25 000 valgusaasta kaugusel. Linnutee keskmes asub must auk, mis võib olla tekkinud kohe pärast Suurt Pauku – veel enne, kui tekkisid galaktikad, ühtlasi aidates nende tekkele kaasa. Kui must auk tekkis pärast galaktika teket, siis tähtede vastastikuse mõju tulemusena. Kui galaktika keskmesse koguneb omavaheliste põrgete tulemusel piisavalt palju tähti, siis varisevad need kokku mustaks auguks, mis neelab üha uusi tähti. Astronoomid on leidnud üsna musta augu läheduses selle ümber tiirlevaid tähti. Nende kaugused ja orbiidid osutavad, et musta augu mass on 4,1 miljonit päikese massi.



Meie kodu Universumis



Galaktika keskpunkt

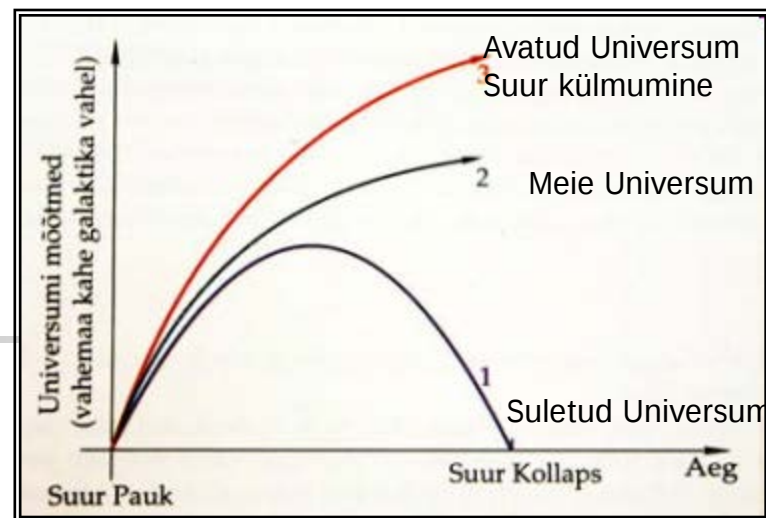
LINNUTEE

Meie päikese-
süsteem

Galaktika
keskpunkt

Kui kaua kestab inimkond?

- J.D. Barrow *The Constants of Nature*, 2002:
Puhtalt statistikast tuleneb, et kui kõik jätkub nii nagu seni, siis 95% tõenäosusega kestab inimkond (vanus 0.2 milj a) veel minimaalselt 5100 a ja maksimaalselt 7.8 milj aastat



If the present time is random with respect to the total time over which something is observable then with 95% confidence its future is expected to lie within a time interval bigger than $1/39^{\text{th}}$ and 39 times its past age.

With 50% confidence its future will extend between $1/3$ and 3 times its past age.

Kokkuvõte: Sissejuhatus



- Biofüüsika koht teiste teaduste seas
 - Bioloogiline “pealisehitus” muutub “läbipaistvamaks”, kui suudame kirjeldada ja mõista tema “ehituskivide” ja alusprotsesside füüsikalist olemust
- Teaduslik meetod on katse (eksperimenti) ja teooria (mudeli) teatud kooslus
- Teadusliku teadmisel on piirid
- Loodusseadused
 - Kõikidele testidele vastu pidanud väga üldised seaduspärasusi nimetatakse loodusseadusteks
- Kaasaegne maailmatunnetuse aluseks on teadmine, et materia eksisteerib kahes võrdväärses, välja ja osakese (keha), vormis ja et mass ja energia on ekvivalentsed. Kehad mõjutavad üksteist väljade kaudu
- Füüsika tänased probleemid



- Hiroshimale heidetud pommi puhul muundati energiaks kõigest 0.6 g massi
 - Kui palju energiat seejuures vabanes?
- Ilma gravitatsioonita lendaksime Maa pöörlemise tõttu kui lingust visatud maailmaruumi laiali
 - Millise kiirusega?
 - Mis suunas?
- Võrdle tavakiirusega liikuva objekti kineetilist energiat sama objekti seisumassiga seotud energiaga mc^2

- Ülesanne
Veeklaasi asetatud nael lasti täielikult ära roostetada. Seejuures eraldus 500000 J soojust.
- Kui suur (ja mis märgiga?) oli sellega kaasnev veeklaasi massi muutus?
- Kas seda on võimalik mõõta?

$$E = \Delta mc^2$$

A student is sitting at a desk, looking stressed, with a clock on the wall and various mathematical formulas and symbols floating around them, including $\tan$, $3500 \cdot \sqrt{20}$, $a^2 + b^2 = c^2$, $\cos$, $\sin$, $\pi = 3.14$, and $\lambda = ?$.

- 1 prootoni seisumass energia ühikutes on umbes 1GeV.
- Kui suur on 1 elektroni energia?
- Kui palju energiat sisaldub 1 mool atomaarset vesinikku?
- Võttes aluseks prootoni läbimõõdu $2.2 \cdot 10^{-15}$ m ja prootoni massi (1836 x raskem elektronist), saab arvutada ligikaudse elektroni läbimõõdu.
- Kuidas?
- Kui suur on elektroni niimoodi arvutatud läbimõõt?

$KE = \frac{1}{2}mv^2 = eV$
 $E = qV = (1.6 \times 10^{-19} \text{ C})(1 \frac{\text{J}}{\text{C}})$
 $e = \text{electron charge} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$
 $V = \text{voltage}$
 $1 \text{ electron volt} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$

$1 \text{ V} = 1 \text{ J/C}$

1TeV: Suur või väike energia?



- $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$
- $1 \text{ TeV} = 10^{12} \text{ eV}$
- $100 \text{ W} = 100 \text{ J/s}$ elektriküü kulutab 1h ehk 3600 s jooksul $2.2 \times 10^{12} \text{ TeV}$ energiat
- Valkusid hoiavad koos kovalentsed ja vesiniksidemed
- Nende energia on suurusjärguliselt
 - Kovalentsed: 4-5 eV
 - H-sidemed: $\sim 0.1 \text{ eV}$

Kui sipelgas massiga 0.1 g sibab kiirusega 5.5 cm/s, siis on tema kineetiline energia $\sim 1 \text{ TeV}$ ($mv^2/2 = 0.94 \times 10^{12} \text{ eV}$)

- Eeldusel, et sipelgas koosneb üksnes süsinikust massiarvuga 12 (süsiniku tuum sisaldab 6 neutronit ja 6 prootonit) sisaldub temas $(0.1/12) \times 6 \times 10^{23}$ aatomit e 6×10^{22} nukleoni; 1 nukleoni kohta tuleb siis $1/6 \times 10^{-22} \text{ TeV}$ energiat
- Seega on kiirendis saavutatav energia (14 TeV), arvestatuna **ühe nukleoni kohta**, tohutult palju ($\sim 10^{23}$ korda) suurem suurus

Järeldus: 1TeV on makroilmas väike, seevastu mikroilmas tohtu suur energia

Miks ei saa osakesi valguse kiiruse kiirendada?

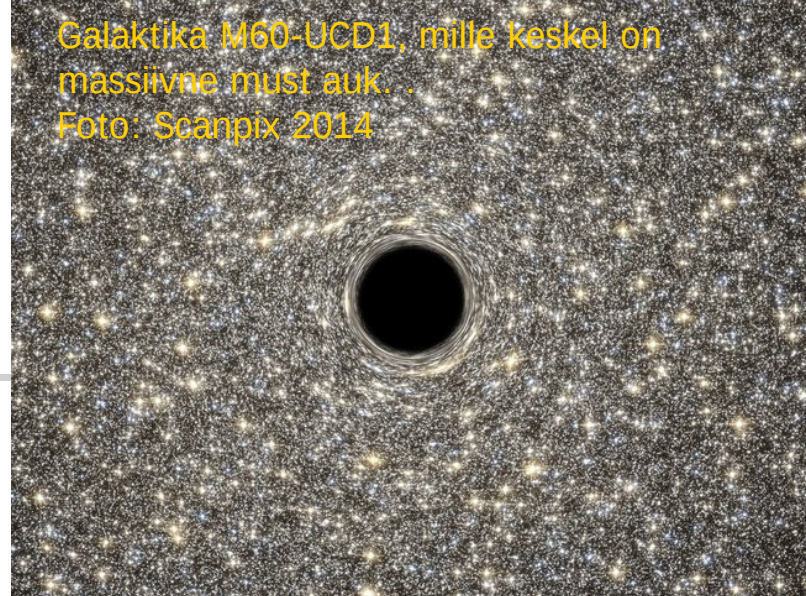
- See nõuaks lõpmata palju energiat
- See nõuaks lõpmata kaua aega
- Aga peamine põhjus on osakese omaaja dilatatsioon



Kas tumeaine neelab energiat?

- Sellele küsimusele vastates peame täpsustama, mis energiast on jutt.
- Ta ei kiirga, neela ega peegelda **valgust**, st elektromagnetilist kiirgust.
- Ainus interaktsioon, mis tumeainele viitab on **gravitatsioon**, st gravitone ta peab neelama/kiirgama.

Galaktika M60-UCD1, mille keskel on massiivne must auk. .
Foto: Scanpix 2014

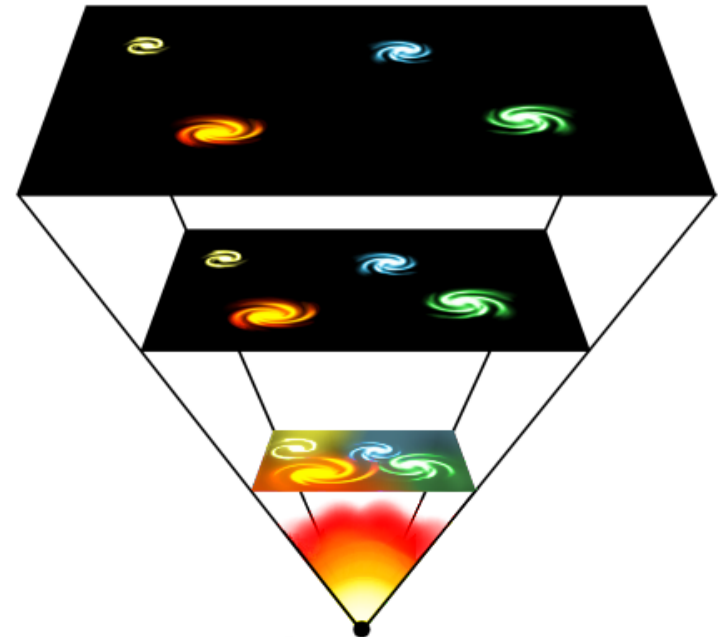


- Tumeaine on tavaainest mitmes mõttes täiesti erinev.
Uus mateeria vorm?
- Mustad augudki näivad tumeainet vältivat, sest tumeaine tihedus mustade aukude ümber ei muutu.

Ameerika koolipoisi nutikas küsimus



- Kui Universum paisub, mis juhtub siis galaktikatega, meiega, aatomitega?
 - Omavahel seotud osakesed ruumi paisumist ei tunneta. See on märgatav vaid kosmoloogilistel kaugustel
 - Detaile vt R.H. Price artiklist





Miks pole tähistaevas ühtlaselt hele,
kui universum on (praktiliselt) lõputu?