

**This is a self-archived version of an original article. This version may differ from the original in pagination and typographic details.**

**Author(s):** Heinosaari, Teiko

**Title:** Et ehkä usko, mutta näin sujui fyysikon maahantulotarkastus

**Year:** 2023

**Version:** Accepted version (Final draft)

**Copyright:** © Keskisuomalainen 2023

**Rights:** In Copyright

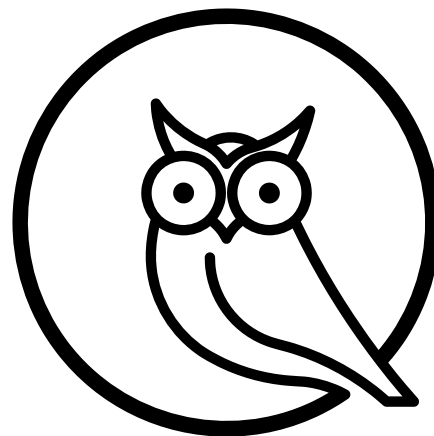
**Rights url:** <http://rightsstatements.org/page/InC/1.0/?language=en>

**Please cite the original version:**

Heinosaari, T. (2023, 26.11.2023). Et ehkä usko, mutta näin sujui fyysikon maahantulotarkastus. Keskisuomalainen, .

# Elämän ja fysiikan rajoituksia

Teiko Heinosaari



## Mistä syystä Einstein sai Nobelin palkinnon?

Elämässä on kaikenlaisia sääntöjä ja rajoituksia. Monet niistä ovat arkipäiväisiä ja sellaisia, joiden noudattaminen sujuu automaattisesti eikä niitä edes ajattele. Matkustaessa sen sijaan on monia pieniä määräyksiä, koskien rokotuksia, matkalaukun painoa, sallittuja tavaroita ja oleskeluaikaa. Syyskuussa kävin tapaamassa kahta professoria Yhdysvalloissa ja piti käydä tarkistamassa asiaan kuuluvat rajoitukset netistä ennen matkaa. Rajatarkastuksessa olen tottunut siihen, että Yhdysvaltoihin saavuttaessa lentokentällä kysytään jos jonkinlaista, varsinkin kun matkan aiheena on tieteellinen vierailu. (Oletko tuomassa vaarallisia aineita? Teetkö Yhdysvalloissa tieteellisiä kokeita? Mitä jätät jälkeesi Yhdysvaltoihin?) Tällä kerralla maahantulotarkastus oli täysin poikkeuksellinen enkä malta olla sitä kertomatta. Et ehkä usko tätä, mutta näin se meni:

**Virkailija:** Mikä on vierailusi syy?

**Minä:** Olen kvanttifysikko. Tulin tapaamaan kahta kollegeani.

**Virkailija:** Jaahas, olet siis fyysikko. Mistä syystä Einstein sai Nobelin palkinnon?

**Minä:** (Olin yllättynyt kysymyksestä, mutta huojentunut, sillä se oli helppo). Einstein sai Nobelin palkinnon, koska hän antoi teoreettisen selityksen valosähköiselle ilmiölle.

**Virkailija:** Mistä protoni koostuu?

**Minä:** (Nyt olin vaikeuksissa, sillä ydinfysiikan tietoni ovat ruosteessa.) Kvarkeista...

**Virkailija:** Niin. Protoni koostuu kahdesta ylöskvarkista ja yhdestä alaskvarkista. Mikä on kosmologinen vakio?

**Minä:** Kosmologinen vakio liittyy yleiseen suhteellisuusteoriaan ja sen arvosta riippuu millä vauhdilla maailmankaikkeus laajenee.

**Virkalija:** Näin on. Entä tiedätkö Schrödingerin kissan?

**Minä:** Kyllä! Se liittyy kvanttifysiikkaan, joka on minun alani.

**Virkalija:** Mikä on Everettin selitys Schrödingerin kissasta?

**Minä:** (Olin ihmeissäni, sillä tämä on jo melko erityislaatuinen kysymys.) Everett kehitti kvanttifysiikan monimaailmatulkinnan. Siinä kissaa koskevat tapahtumat jakaantuvat eri maailmoihin.

**Virkailijan  
huulilla kävi  
juuri ja juuri  
havaittava  
hymy.**

Virkalija nyökkäsi ja löi leiman passiini, ojentaen sen sitten minulle. Koska ymmärsin läpäisseeni maahatulotarkastuksen, rohkenin hieman vitsailla. Katsoin takanani olevaa jonoa ja kysyin virkailijalta: ”Nämä samat kysymykset kysytään kaikilta, eikö niin?”. Virkalija huulilla kävi juuri ja juuri havaittava hymy. Sitten hän jo viittasi seuraavan tulijan puheilleen.

Useat fysiikan teoriat tai osa-alueet pitävät sisällään ytimekkäitä rajoituksia. Suppean suhteellisuusteorian mukaan minkään kappaleen nopeus ei voi ylittää valon nopeutta. Termodynamiikan pääsäännöt voi myös muotoilla rajoituksina. Koulufysiikasta lienee tuttu kolmas pääsääntö, jonka mukaan absoluuttista nollapistettä ei voi saavuttaa. Toisen pääsäännön mukaan taas lämpöenergiaa ei voi muuttaa mekaaniseksi työksi ilman muita muutoksia. Niinpä ikiliikkuja, joka muuttaisi lämpöenergiaa työksi aiheuttamatta lämpötilaerojen tasoittumista, ei ole mahdollinen.

Kvanttiteorian rajoitukset koskevat pääsääntöisesti sitä, miten pystymme saamaan tietoa kvanttifysikaalisen systeemin tilasta. Toisin kuin suhteellisuusteoriassa ja termodynamiikassa, kvanttiteoriassa ei ole muutamaa rajoitusta, joihin teorian ydin tiivistyisi, vaan rajoituksia on tunnistettu monia. Kvanttiteorian matemaattinen rakenne on kohtalaisen abstrakti ja sitä tutkimalla voi edelleenkin löytää teoriaan punottuja uusia fysikaalisia rajoituksia. Tämän voi sanoa olevan teorian parempaa ymmärtämistä kuin täysin uuden keksimistä. Rajoitukset nimittäin ovat jo sisällä kvanttiteoriassa, ne täytyy vaan siitä pystyä lukemaan.

**Kvantti-  
informaatiota  
ei voi  
kopioida.**

Yksi keskeinen kvanttimaailman rajoitus on se, että kvantti-informaatiota ei voi kopioida. Tämä No-cloning -teoreemana tunnettu rajoitus löydettiin jo 1982, mutta sitä tarkentavia ja syventäviä seikkoja tutkitaan edelleen. Tähän liittyvästä uudesta tutkimuksestani tuolla mainitsemallani New Yorkin matkallakin pidin esitelmän. Kvantti-informaation kopioinnin mahdottomuus tarkoittaa, että jos kvanttisysteemin tila on tuntematon, niin ei ole sellaista fysikaalisista laitetta tai prosessia, jolla tilan voisi kopioida toisen systeemin tilaksi. Kopiointi onnistuu kyllä silloin, jos

kvanttisysteemiin on tallennettu tavallista informaatiota, joten teoreema ei ole ristiriidassa arkipäiväisen kopiokoneen kanssa.

Kvantti-informaation kopioinnin mahdottomuus kytkeytyy vahvasti toiseen rajoitukseen, jonka mukaan yksittäisen kvanttisysteemin tilaa ei voi määrittää. Tämä seikka on kvanttiteorian ytimessä eikä sitä voi ohittaa, jos haluaa ymmärtää kvanttifysiikkaa. Jossakin mielessä asian voi ajatella niin, että yksittäinen mittausta ei kykene paljastamaan tilasta muuta kuin jonkin vajavaisen piirteen. Tätä voisi verrata jääveistoksen varjokuvaan. Ajatellaan, että ystäväsi on tehnyt monimutkaisen jääveistoksen ja heijastaa siitä kirkkaan lampun avulla maahan varjokuvan. Sinä näet varjokuvan ja voit sen perusteella päätellä veistoksesta jotakin, mutta paljon jää arvailun varaan. Ystäväsi voi siirtyä veistoksen toiselle puolelle ja valaista sinulle toisen varjokuvan. Voisi ajatella, että kiertämällä veistoksen ympäri ystäväsi pystyy näyttämään sinulle kaikki veistoksen piirteet ja näin veistoksesta piirtyy kokonainen kuva, josta sen pystyy tunnistamaan. On kuitenkin niin, että lamppu lämmittää jääveistosta ja jokainen valaisu sulattaa sitä. Ainoastaan ensimmäisellä kerralla jääveistos näyttäytyy sellaisena kuin se alun perin oli, muilla kerroilla se on jo hieman sulanut ja muuttanut muotoaan. Juuri näin käy myös kvanttisysteemin tilalle mittauksessa – mittausta väistämättä muuttaa tilaa. Sen vuoksi perättäin suoritettavat mittaukset samalle systeemille eivät paljasta sen alkuperäistä tilaa.

Saatat ajatella, että kvanttifysiikot ovat varmaan harmissaan aina kun tunnistavat jonkin uuden fysikaalisen rajoituksen seurauksena kvanttiteorian matemaattisesta rakenteesta. Asia on itse asiassa päinvastoin. Kvantti-informaation kopioinnin mahdottomuuden oivallettiin hyvin pian mahdollistavan tiedon salatun viestinnän täysin uudella tavalla. Tavallisen informaation kopioinnin mahdollisuus nimittäin johtaa siihen, että salakuuntelija voi kopioida tärkeän viestin itselleen muuttamatta alkuperäistä viestiä. Vaikka salakuuntelija ei pystyisi heti avaamaan salakirjoitettua viestiä, hänen toimintaansa ei voi havaita ja näin hän voi rauhassa kokeilla salakirjoituksen murtamista. Mutta kvantti-informaation muodossa kulkevaa tietoa ei voikaan kopioida tekemättä muutosta alkuperäiseen viestiin. Laittamalla sopivia tarkistuspatkia viestiin, salaista tietoa vaihtavat henkilöt pystyvät havaitsemaan viestin kopiointia yrittäneen salakuuntelijan. Jos tarkastuspätkissä on virheitä, he tietävät viestinvaihdon olevan vaarantunut. Myös muut kvanttimaailman rajoitukset ovat kääntyneet suhteellisen nopeasti hyödyllisiksi sovelluksiksi.

Ulkomaan matkoja koskevia rajoituksia en ole vielä onnistunut kääntämään iloksi. Ja todellakin toivon, että tuo fysiikkaa tunteva virkailija osuu vastaisuudessa kohdalleni maahantulotarkastuksessa.

**Kvanttimaailman rajoitukset ovat kääntyneet hyödyllisiksi sovelluksiksi.**