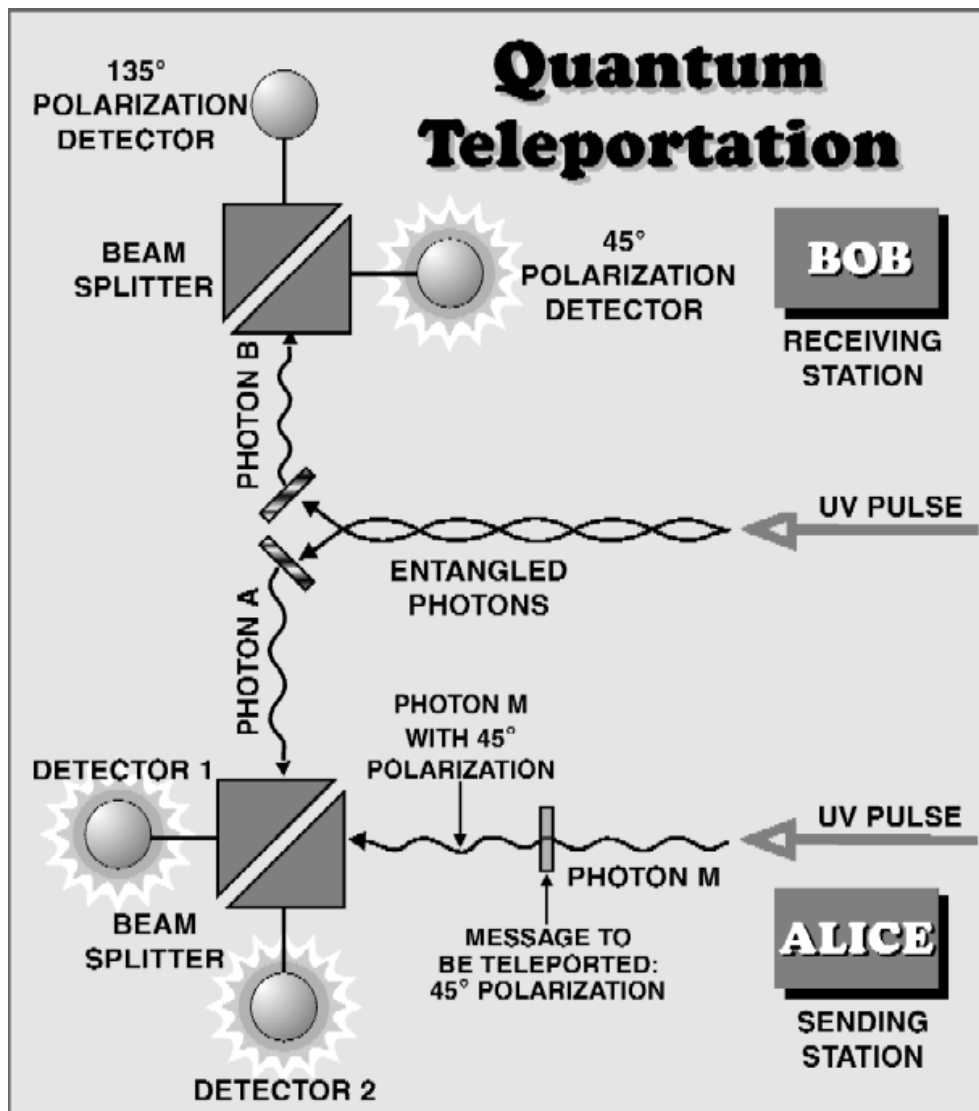


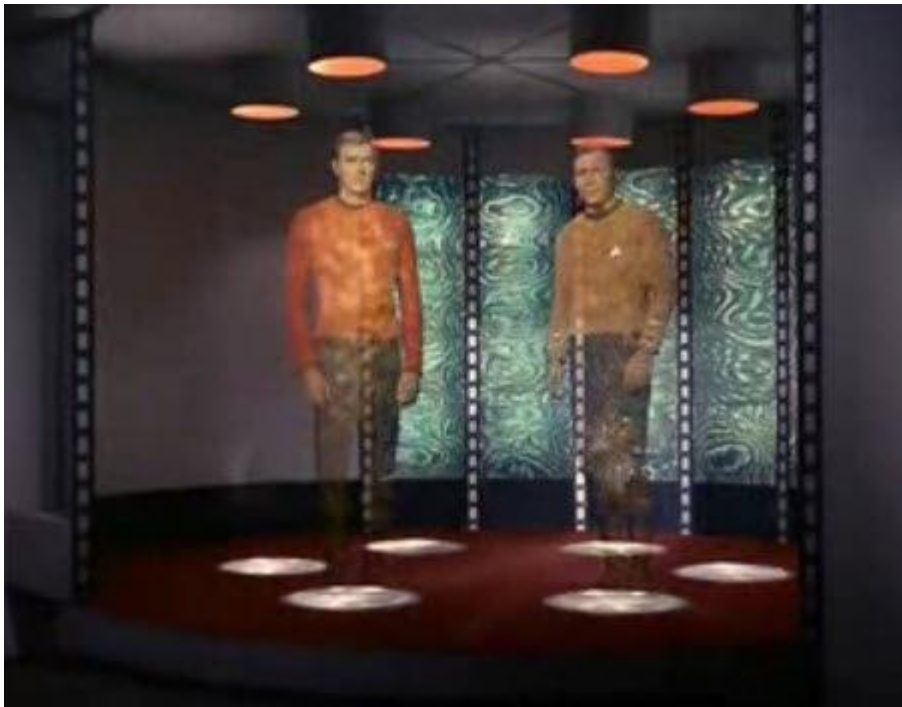
KVANTTITELEPORTAATIO



Janne Tapiovaara

Rauman Lyseon lukio

BEAM ME UP SCOTTY!

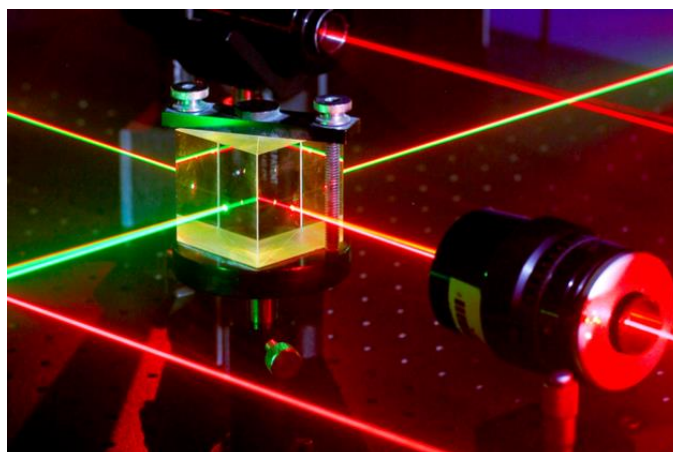


Teleportaatio eli kaukosiirto on scifi-kirjailijoiden luoma.

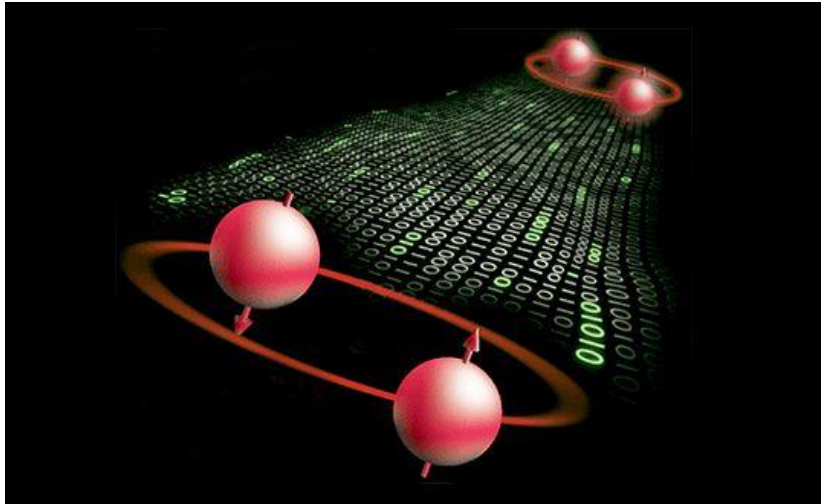
Star Trekin luoja Gene Roddenberry: on huomattavasti halvempaa siirtää ihminen maaperälle, kuin tehdä näyttävä laskeutuminen.

Kvantti-etuliite → asia muuttuu jonkin verran erilaiseksi:

Jonkun objektin ominaisuudet siirretään jollekin objektille siirtämättä itse objektia. Ei liikuteta mitään ainetta tai energiaa. Niin sanottu tilojen lomittuminen luo pohjan tällä kaikelle.

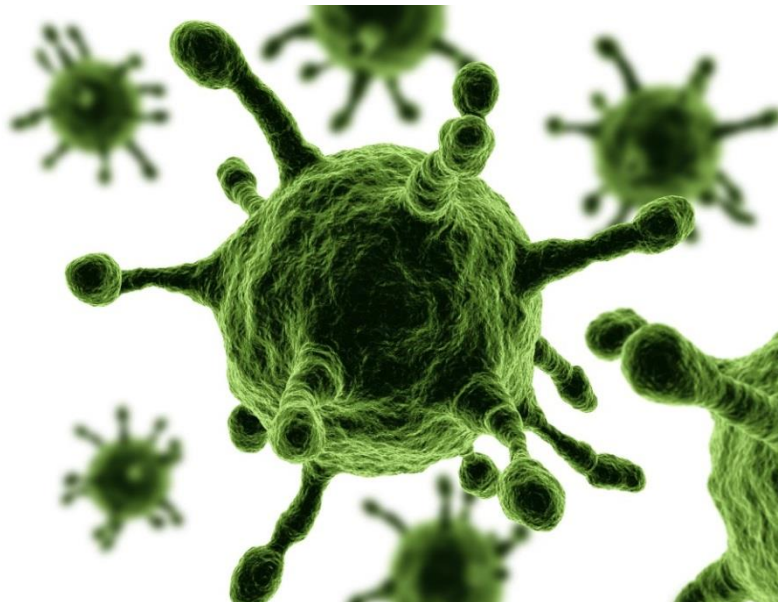


Kvanttimekaniikassa hiukkasilla on oma erityinen tapansa tuntea toistensa ominaisuudet täsmälleen: kaksi hiukkasta tai suurempi hiukkasjoukko voi muodostaa niin sanotun lomittuneen järjestelmän, jossa hiukkaset jakavat ominaisuutensa keskenään. Kun lomittuneen järjestelmän yhden osapuolen ominaisuuksia muutetaan, muutos vaikuttaa samanaikaisesti kaikkiin muihin hiukkasiin, vaikka ne olisivat kaukanakin.



Nykypäivänä onnistuttu siirtämään magneettikenttiä, fotoneja ja jopa atomeja.

→Jonkin konkreettisen siirto vielä kaukana



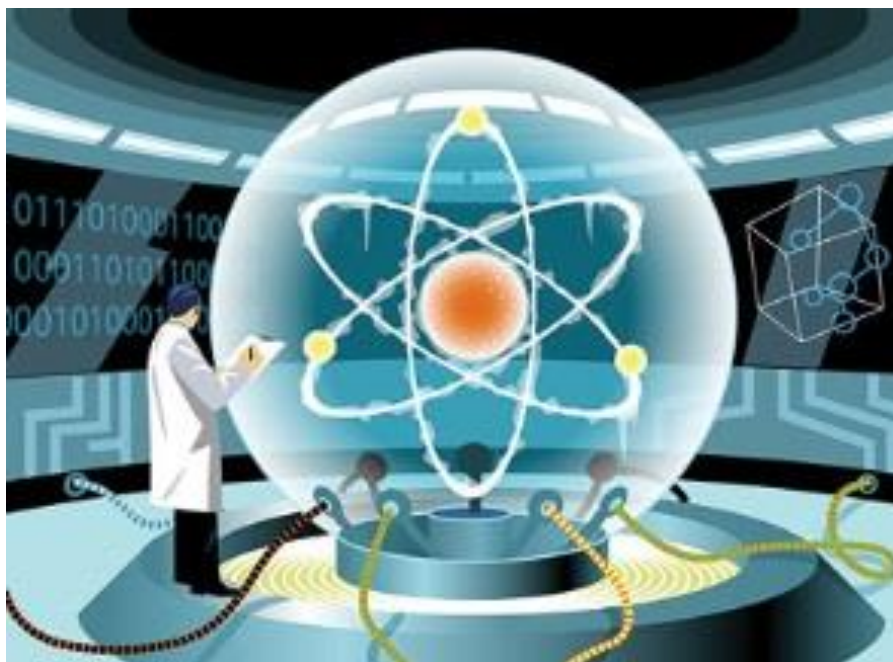
Esim. viruksen siirto veisi noin sata vuotta nykytekniikalta.

Ihmisessä noin 10^{43} atomia



Kirjailija Arthur C. Clarke intoutui myös laskemaan, paljonko energiaa vaatisi yhden ihmisen sisältämän tiedon siirtäminen. Vastaus: pienen galaksin kaikkien tähtien verran.

Tulevaisuuden mahdollisuudet kuitenkin melkein rajattomat. Erityisesti sovellus: kvanttietokone.



Historiaa:

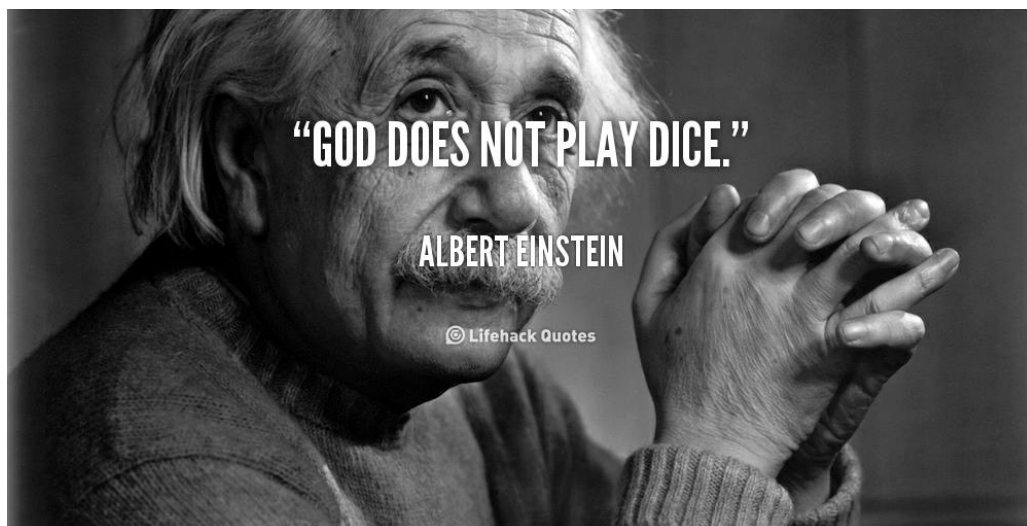
Max Planck 1900-luvun vaihde: valo koostuu valokvanteista, fotoneista, joilla on määrätty taajuus eli energia $E = hf$.



→ Kvanttimekaniikka

$\langle \phi_n | \phi_n \rangle = \langle \phi_n | \int dx |x\rangle \langle x| \phi_n \rangle \Rightarrow (\frac{\sqrt{2}}{L} n + \frac{1}{2}) \frac{L}{2} = \frac{\sqrt{2}}{2} (2n-1), n=1, 2, \dots \Rightarrow k_0 = -\frac{\sqrt{2}}{2} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$
 $\langle \phi_n | \phi_n \rangle = \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} dx \phi_n^*(x) \cdot \phi_n(x) \left| \psi_n(x) = \frac{\sqrt{2}}{L} \cos \left[\frac{\sqrt{2}}{2} (2n-1)x \right]; \varphi_a - \varphi_b = \pi; \psi_n(x) = \frac{\sqrt{2}}{L} \sin \left[\frac{\sqrt{2}}{2} nx \right] \right.$
 $\langle \phi_n | \phi_n \rangle = \frac{1}{L} \int dx e^{-ikx} e^{ikx} = 0; \hbar \omega$
 $\hat{H} \psi_n(x) = -\frac{\hbar^2}{2m} \partial^2 \psi_n(x) = \frac{\hbar^2}{2m} \left(\frac{\sqrt{2}}{2} (2n-1) \right)^2 \psi_n(x)$
 $E_n = \frac{\hbar^2}{2m} \frac{\pi^2}{L^2} (2n-1)^2, n=1, 2, \dots; \hat{H} \psi_n(x) = \frac{\hbar^2}{2m} \left(\frac{\sqrt{2}}{2} n \right)^2 \psi_n(x)$
 $|\psi(x)| = |\psi_0| e^{-\frac{(x-x_0)^2}{2a^2}}$
 $\int_{-\infty}^{\infty} dx e^{-\frac{x^2}{2a^2}} = \sqrt{\frac{2\pi}{a^2}}$
 $A = \frac{1}{\sqrt{2\pi}a} \Rightarrow |\psi_0| = \frac{1}{(\sqrt{2\pi}a)^{1/2}}$
 $a \approx 10^{-10} \text{ m}$
 $\hat{H} \psi_a = -\frac{\hbar^2}{2m} \partial^2 \psi_a(x) = \frac{\hbar^2}{2m} \frac{1}{2a^2} \psi_a(x) - \frac{\hbar^2}{2m} \frac{1}{4a^4} (x-x_0)^2 \psi_a(x)$
 $= -\frac{\hbar^2}{2m} \left(-\frac{1}{2a^2} + \frac{(x-x_0)^2}{4a^4} \right) \psi_a(x) \Rightarrow \psi_a(x) = \frac{\hbar^2}{2m a^4} (x-x_0)^2 \psi_a(x)$
 $\hat{H} \rightarrow \hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m} \partial^2 + V(x); \hat{H} \psi_a = \frac{\hbar^2}{2m} \frac{1}{2a^2} \psi_a = E_0 \psi_a$
 $V(x) = \frac{1}{2} m \omega^2 (x-x_0)^2 \rightarrow m \omega^2 = \frac{\hbar^2}{m^4 a^4} \Rightarrow \omega = \frac{\hbar}{2ma} \quad \uparrow \quad E_0 = \frac{\hbar^2}{2m} \frac{1}{2a^2}$
 $[\hat{p}, \hat{x}] = \frac{\hbar}{i}; \hat{p} = \frac{\hbar}{i} \partial_x / \hat{H} = \frac{\hbar^2}{2m} + \frac{1}{2} m \omega^2 \hat{x}^2$
 $1. a^2 + b^2 = (a+ib)(a-ib); a, b \in \mathbb{R}; 2. (a\hat{p} + ib\hat{x})(a\hat{p} - ib\hat{x}), a, b \in \mathbb{R}$
 $= a^2 \hat{p}^2 + iba\hat{x}\hat{p} - iab\hat{p}\hat{x} + b^2 \hat{x}^2 = a^2 \hat{p}^2 + b^2 \hat{x}^2 - b\hbar a$
 $\hat{H} = (a\hat{p} + ib\hat{x})(a\hat{p} - ib\hat{x}) = b\hbar a; a^2 = \frac{1}{2m}; b^2 = \frac{1}{2} m \omega^2$
 $\text{Def: } C^+ = \frac{1}{\sqrt{2m\hbar\omega}} (a\hat{p} + ib\hat{x}); C^- = \frac{1}{\sqrt{2m\hbar\omega}} (a\hat{p} - ib\hat{x}) \Rightarrow \hat{H} = \hbar\omega C^+ C^-$
 $\left\{ \left(\frac{\omega}{2\pi} + \epsilon \right) | n \right\} \cup \left\{ \left(\frac{\omega}{2\pi} - \epsilon \right) | n \right\} \text{ is } U(1) \cong S^1 \quad A \rightarrow \omega \tilde{A} \omega^{-1} + \frac{1}{2} \hbar \omega$

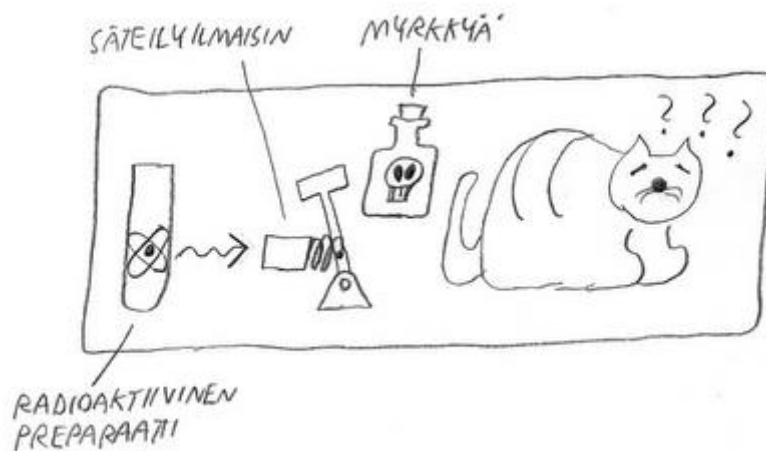
Einstein ei hyväksynyt kaikkia kvanttimekaniikan asioita ja oli sitä mieltä, että pian kehitetään parempi teoria, joka antaa enemmän informaatiota.



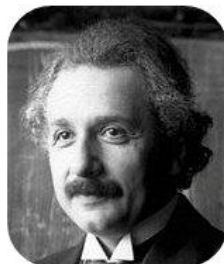
→ Erilaiset ajatuskokeet Bohrin kanssa, joissa Einstein yritti osoittaa ettei kvanttimekaniikka toimi aina ja kaikkialla. Bohrin onnistui kuitenkin aina kumota Einsteinin väittämät.



Erwin Schrödinger ja tilojen lomittuminen: Ilmiö, jossa hiukkaset ovat toisistaan riippuvaisia, mutta eivät vuorovaikuta keskenään.



1935 EPR-kirjoitus "Voidaanko kvanttimekaniikan antamaa kuvaa luonnosta pitää täydellisenä?"



A. Einstein

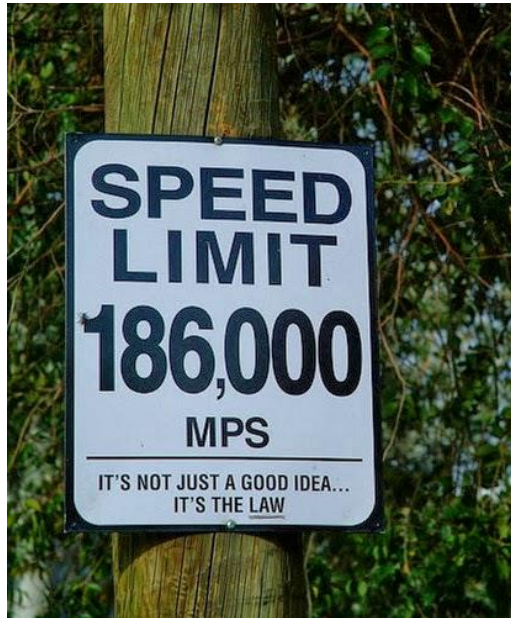


B. Podolsky



N. Rosen

Einsteinin työtovereineen muotoilemat oletukset johtavat eräissä äärimmäisissä tilanteissa kvanttimekaniikasta poikkeaviin tuloksiin. Nämä tilanteet koskivat erittäin kaukana toisistaan olevia, keskenään vuorovaikutuksettomia systeemejä, jotka kvanttimekaniikan mukaan voivat tietyissä olosuhteissa kietoutua toisiinsa.



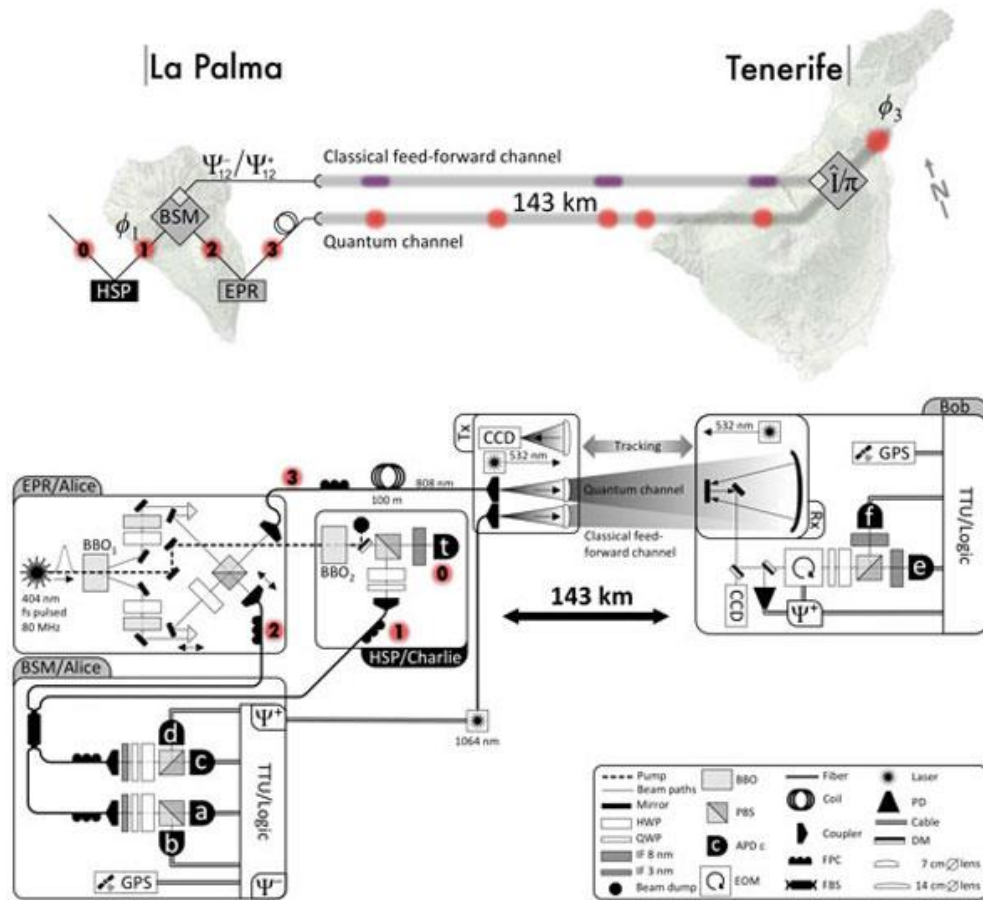
Vasta vuonna 1964 John Bell onnistui osoittamaan, että kvanttimekaniikka ei ole reaalis-lokaalinen teoria.



1980-luvun alussa Alain Aspect onnistui todentamaan kokeellisesti: 14 metrin päässä toisistaan fotonipareilla vielä selvää kvanttimekaanista kietoutumista toisiinsa.



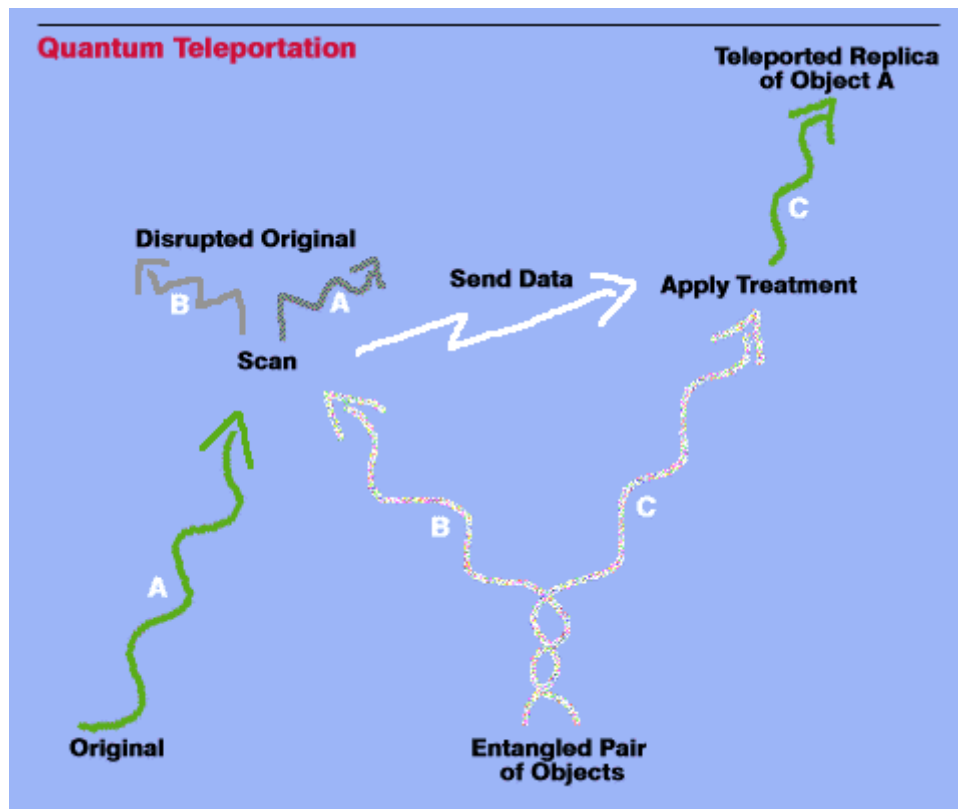
2012 Eurooppalaisfyysikot tekivät kvanttiteleportaation etäisyyssennätyksen siirtämällä fotonin kvanttitilan toiseen fotoniin, joka oli 143 kilometrin päässä.



Seuraavaksi on tarkoitus kokeilla kvanttiteleportaatiota maan ja avaruusaseman välillä, jolloin etäisyys olisi tuhansien kilometrien luokkaa.

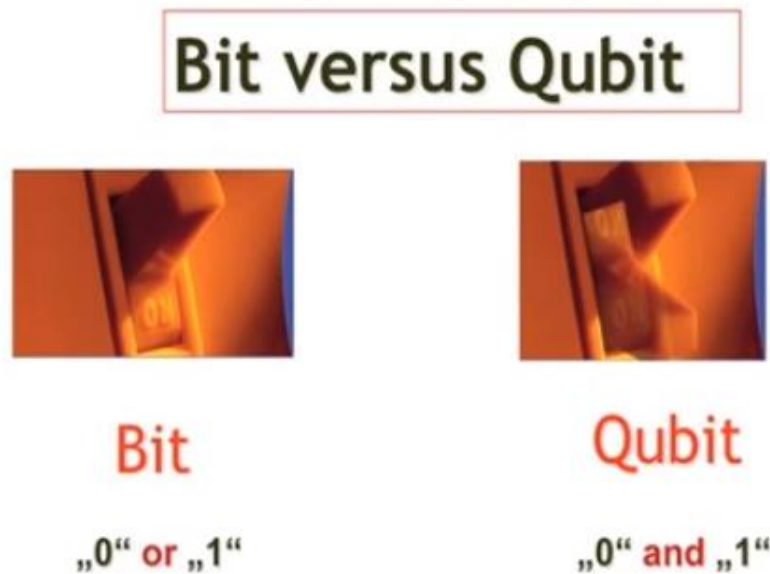
Miten se sitten tapahtuu?

Luodaan ensin hiukkanen A, jonka jokin kvanttitila, esim. spin tai polarisaatio halutaan siirtää johonkin toiseen paikkaan. Toiseksi luodaan lomittunut hiukkaspari B ja C. Suunnataan hiukkanen B kohtaamaan hiukkanen A ja suoritetaan näille tuo halutun kvantttilan mitta. Mittaus romahduttaa molempien hiukkasten A ja B aaltofunktion tiettyyn arvoon. B:n arvo sisältää informaation myös A:sta, koska ne ovat vuorovaikuttaneet keskenään. B:n ja C:n alkuperäisen lomittumisen seurauksena välittyy hiukkaselle C välittömästi tieto sekä lomittuneesta paristaan B että B:n kohtaamasta hiukkasesta A. Tällöin myös hiukkasen C aaltofunktio romahtaa tiettyyn arvoon. Mittaamalla nyt hiukkasen C arvo voidaan selvittää hiukkasen A alkuperäinen kvanttitila jossakin toisessa paikassa.



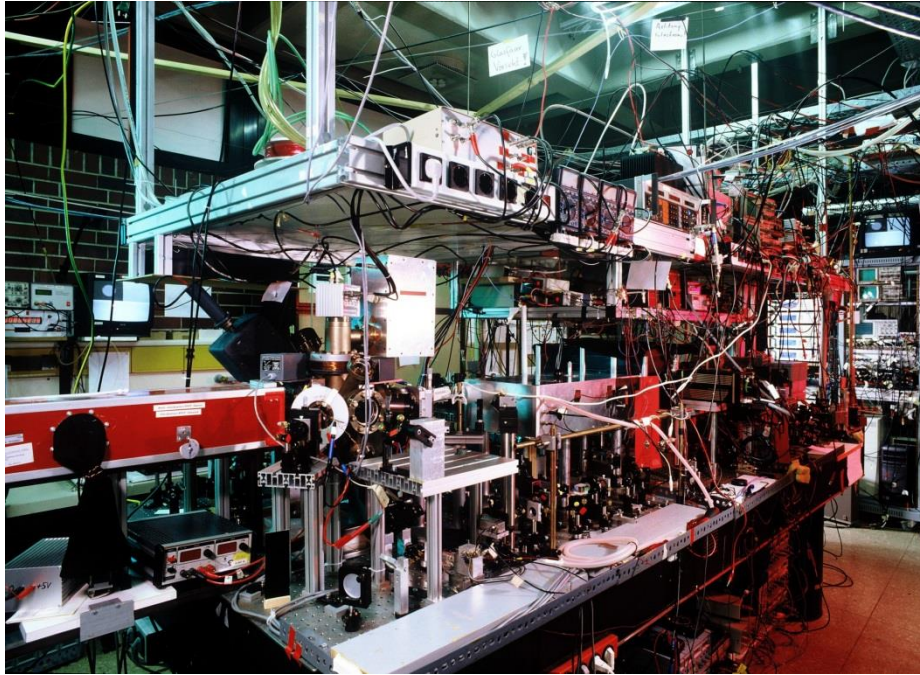
Kvanttitietokone ja kvanttikryptografia

Tavallinen laskenta perustuu bitteihin. Bitillä on kaksi mahdollista tilaa: 0 tai 1 (virta ei kulje tai kulkee). Kvanttitietokone taas perustuu ns. qubitteihin (quantum bit). Qubitti voi olla jompikumpi tai yhtä aikaa molemmissa tiloissa, eli 0 ja 1. Kvanttiteleportaatio olisi tulevan kvanttitietokoneen tiedonsiirtomekanismi.



Tästä seuraa, että kvanttitietokoneen laskentateho on aivan eri luokkaa, koska kone laskee nopeasti kaikki ratkaisut rinnan, yhtä aikaa; ei peräkkäin. Pystyttäisiin simuloimaan ydinräjähdysä, ennustamaan säätä erittäin tarkasti, murtamaan kaikki tällä hetkellä olevat salaukset tai vastavuoroisesti tekemään ”mahdottomia” salauksia jne.





Kanadalainen D-Wave-yhtiö on jo myynyt asevalmistaja Lockheed Martinille sekä Nasalle ja Googlelle molemmille yhden supertietokoneen yli 10 miljoonan dollarin hinnalla. D-Waven koneessa on 512 kubittia eli kvanttibittiä. Kone voi tehdä 2 potenssiin 512 laskua samaan aikaan. Luvun väitetään olevan suurempi kuin atomien määrä universumissa. Toisessa kokeessa kvanttietokone oli 3 600 kertaa tavallista tietokonetta nopeampi.



Yes, you can have one.

No, you're not dreaming. D-Wave offer the first commercial quantum computing system on the market. We believe in building great things that are as inspiring as they are powerful.

If you're passionate and curious about the future of computation, and you'd like to take a different approach to solving problems, then take a look at our products.



D-Wave One™
information