



GORKA AZKUNE GALPARSORO

(Azpeitia, 1982). EHU*n* ikasi zuen Informatika Ingeniaritza. Karrera amaierako proiektua Optika Kuantikoko Max Planck Institutuan egin zuen, Ignacio Ciracen zuzendaritzapean. Tecnalian aritu da lanean robotika eta adimen artifizialaren arloetan, eta gaur egun DeustoTech-en ari da ikertzaile, sistema adimentsuen esparruko ikerketatan sakontzen, doktore-tesia burutzeko helburuarekin.

Fikzioa errealitate



© SIRYLOK/123RF

Zientzia-fikziozko telesail, film eta liburuak gazte zein helduak liluratzeko erraztasuna erakutsi dute urteetan zehar. Mundu harrigarrietara bidaiatu ahal izan dugu horien eskutik, ezinezkoa egia bihur zitekeen munduetara eta baliteke hori izatea hainbeste erakartzen gaituena. Agian, giza irudimena gehien erakarri duen fikziozko teknologietako bat *teleportazioa* izan da. Edonork nahiko luke beretzat gailu batean sartu eta, instant batean, unibertsoko beste toki batean agertzeko gaitasuna. Baina zer dio zientziak horri buruz? Posible al da *teleportazioa*?

KUANTIKA, BETI KUANTIKA

Start Trek moduko telesailetan ikusi dugun teleportazio-motara gehien hurbiltzen den ideia zientifikoa **teleportazio kuantikoa** da, zeinaren helburua baita sistema kuantiko bat *A* puntutik *B* puntura garraiatzea, inolako euskarri edo kanal fisikorik gabe. Baina hori guztia behar bezala ulertzeko, fisika kuantikoaren oinarri batzuk azaldu behar ditugu. Ez izutu! Oso modu ulerterrazean egingo baitugu.

KUTXAK ETA BOLATXOAK

Sistema kuantikoak aipatzen ditugunean, atomo, elektro, protoi edo fotoi moduko kontzeptuei buruz dihardugu. Gauzak erraztearren, kutxa berezi batzuetan gordeta dauden bolatxo berezi batzuk izango dira guretzat sistema kuantikoak. Bolatxo horiek bi kolore izan ditzakete: gorria $|G\rangle$ ala urdina $|U\rangle$. Hona hemen bolatxo horien lehen berezitasuna: kutxaren barnean dauden bitartean, $|G\rangle$ eta $|U\rangle$ koloreen konbinazio-egoera batean egon daitezke:

$$a |G\rangle + b |U\rangle$$

bihurtzen denean

non a eta b bi zenbaki errealek baitira. Horien esanahia simplea da: kutxatik ateratakoan bolatxoak izango duen kolorearen probabilitatea adierazten dute. Hots, bolatxo bat $0,5 |G\rangle + 0,5 |U\rangle$ egoeran badago, kutxa irekitzean $|G\rangle$ izateko probabilitatea % 50 da. Kuantikan, gainezarpenaren propietate deritzo bolatxoaren propietate horri. Horrek beste lege berezi batera garamatza: bolatxoak, kutxa barruan, gainezarpen-egoeran egon daitezke; baina, kutxa irekitzen dugunean, $|G\rangle$ ala $|U\rangle$ bakarrik izan daitezke. Kutxatik at ez dago gainezarpenik. Kutxa irekitzearen sinonimo kuantikoa neurketa da, non bolatxoaren gainezarpen-egoera deuseztatzen baita (ikus 1. irudia).

Kutxak, ordea, ez dira bolatxoak gordetzeko bakarrik erabiltzen. Kutxa modu ezberdinetan astinduz gero, bolatxoaren egoera alda dezakegu, adibidez konbinazioen proportzioak aldatuz. Astintzearen baliokidea eragiketa kuantikoak dira. Mota askotakoak daude, eta guk ez dugu horretan sakonduko. Oraingoz, pentsatu kutxa astinduta gai garela nahi ditugun eragiketak egiteko.

Atal honekin bukatzeko, gure kutxa eta bolatxoaren beste berezitasun bat aipatu beharrean gaude. Bi bolatxo kutxa berean jartzen baditugu eta kutxa astintzen badugu, bolatxoak elkarrekin korapila ditzakegu. Hala, 1. bolatxo eta 2. bolatxo kutxa berean astinduta, $0,5 |G_1 G_2\rangle + 0,5 |U_1 U_2\rangle$ egoera lor dezakegu. Kuantikan, egoera horri korapilatze deritzo, bi bolatxoak elkarrekin korapilatuta geratzen baitira. Egoera horretan, kutxatik 1. bolatxo bakarrik ateratzen badugu eta $|G\rangle$ egoeran dagoela ikusi, jada badakigu, kutxatik atera beharrik gabe, 2. bolatxo $|G\rangle$ egoeran egongo dela (ikus 2. irudia). Kontu izan hori ez dela posible bi bolatxoak bi kutxatan izanez gero, nahiz eta gainezarrita izan. Kasu horretan, lehen bolatxo atera eta $|G\rangle$ bada, bigarren bolatxo $|G\rangle$ edo $|U\rangle$ izan daiteke. Bien artean ez dago inolako loturarik.

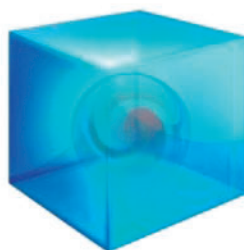
Azterketa asko ari dira egiten korapilatzeren gainean. Bi bolatxo korapilatuta ondoren, neurketa bat egin arte korapilatuta mantentzen dira,

nahiz eta haien arteko distantzia oso handia izan. Distantzia edozein delarik ere, bolatxo batean egindako neurketak beste bolatxoan eragiten du bat-batean, eta horren egoera aldatzen du, nahiz eta ez dugun ukitu ere egin. Oraindik ez dakigu zergatik eta nola gertatzen den korapilatzea, baina jada erabiltzeko gai gara. Pentsa daitekeen moduan teleportazioa lortzeko giltzaria dugu.

TELEPORTAZIO Kuantikoa

Alaitz eta Beñat bi lagun on ditugu, eta, elkarrekin zeuden egun batean, bi bolatxo korapilatzea erabaki zuten. Korapilatzea gertatu ondoren, baikoitzak bere bolatxo hartu zuen kutxa berezi batean, bolatxoari inoiz begiratu gabe. Hala, baikoitza bere etxera joandakoan, bi bolatxoek korapilatuta jarraitzen zuten, nahiz eta elkarrengandik urrun egon.

Bolatxo kutxa: Gainezarpen-egoera



Bolatxo kutxatik atera → neurketa



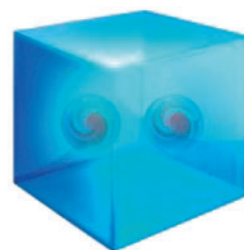
% 50eko probabilitatea



% 50eko probabilitatea

1. irudia. Gainezarpenaren printzipioa eta neurketa bolatxo baten kasuan. GORKA AZKUNE.

Bi bolatxo kutxa korapilatuta

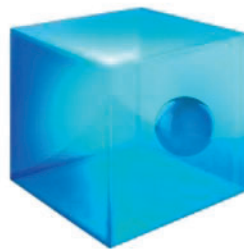
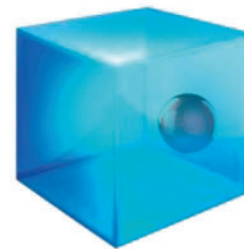


1. bolatxo kutxatik atera

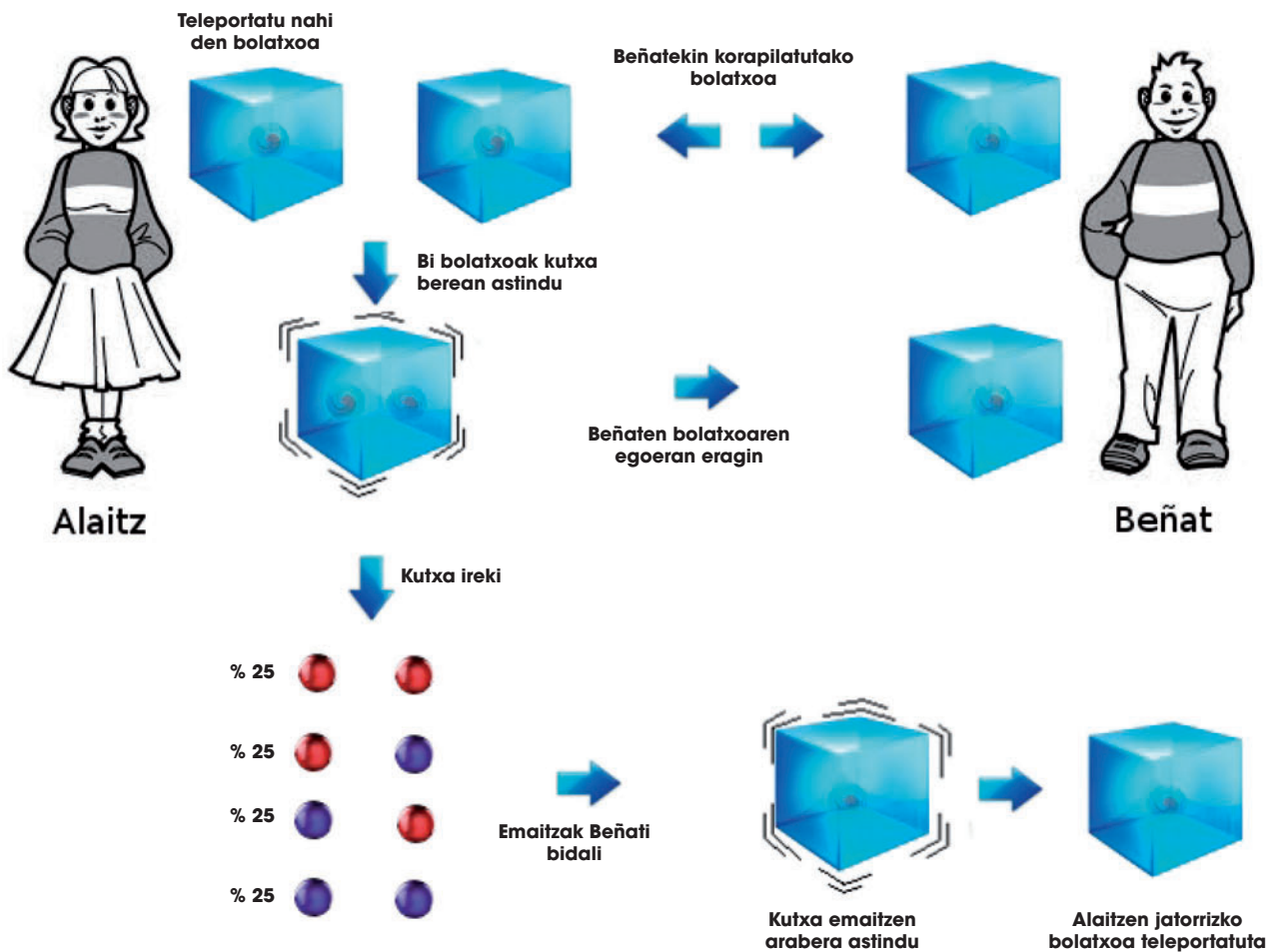
% 50



% 50



2. irudia. Korapilatzearen printzipioa eta haren ondorioak bi bolatxorekin. GORKA AZKUNE.



3. irudia. Alaitz eta Beñaten artean bolatxo bat teleportatzeko prozesua. GORKA AZKUNE.

Alaitzek beste bolatxo bat du etxean, beste kutxa batean sartuta, gainezarpene-egoera ezezagun batean. Alaitzek erronkak atsegin dituen zera pentsatu du: "Nola bidal diezaioket Beñati bolatxo berria, dagoen egoeran, etxetik mugitu gabe?". Ezin du bolatxo kutxatik atera, kasu horretan haren berezko egoera aldatuko bailitzateke, eta $|G\rangle$ ala $|U\rangle$ bihurtu. Berak berezko egoeran bidali nahi dio bolatxoa Beñati, hots $a|G\rangle + b|U\rangle$ gainezarpene-egoeran. Erronka zaila dirudi Alaitzenak, ezta?

Baina Alaitz neska azkarra denez, topatu du konponbide bat. Beñati bidali nahi dion bolatxoa jada Beñatekin korapilatuta zeukan bolatxoarekin batera jarri du kutxa berean. Kontu izan Beñatek bere bolatxoa bere etxean gordeta duela. Alaitzek eragiketa batzuk egiten ditu eskuetan dituen bi bolatxoetan, kutxa modu berezi batean astinduz. Korapilatzearen ondorioz, eragiketa horiek Beña-

ten bolatxoari ere eragiten diote, eta Alaitzek badaki, gainera, zer eragin izan duten. Ondorioz, kutxa irekitzen du bere bi bolatxoak zer egoeratan dauden jakiteko. Bolatxoak $|GG\rangle$, $|GU\rangle$, $|UG\rangle$ edo $|UU\rangle$ egoeran egon daitezke, hurrenez hurren. Emaitzaren arabera, Alaitzek badaki Beñaten bolatxoa zein egoeratan dagoen. Harrigarria badirudi ere, Alaitzen eragiketaren ondoren, egoera posible horiek $a|G\rangle + b|U\rangle$, $a|U\rangle + b|G\rangle$, $a|G\rangle - b|U\rangle$ eta $a|U\rangle - b|G\rangle$ dira.

Beraz, Alaitzek bere bi bolatxoak ikusi bezain pronto Beñati deitzen dio, eta esaten dio nola astindu behar duen haren bolatxoaren kutxa Alaitzek bidali nahi dion bolatxoa lortzeko. Kuantikak erakutsi digu ezen, kutxa nola astindu jakinez gero, aurkeztu ditugun lau egoera horietatik Alaitzen bolatxoaren jatorrizko egoera lor daitekeela. Azaldu dugun prozesua 3. irudian ikus daiteke.

Prozesuaren bukaeran, Alaitzen hasierako bolatxoa Beñaten etxera teleportatu da!

TELEPORTAZIO KUANTIKOA AL DA GURE AMETSETAKO TELEPORTAZIOA?

Galdera horren erantzun laburra ezezkoa da. Gaur egungo fisikaren arabera, ezin da *Star Trek*-eko teleportazioaren modukorik lortu. Zergatik? Zer ezberdintasun daude ikusi berri dugun teleportazio kuantikoaren eta *Star Trek*-ekoaren artean?

1. Alaitz eta Beñaten artean ez da inoiz bolatxorik mugitu: Alaitzen hasierako bolatxoaren egoera Beñaten bolatxora kopia da, baina ez da izan materia-garraiorik.
2. Teleportazio kuantikoa ez da bat-batekoa. Teleportazioa gerta dadin, Alaitzek Beñati bere bi bolatxoaren egoeraren berri eman behar du

telefonoz, posta elektronikoz edo oihuka. Komunikazio hori, gehienez ere, argiaren abiadura gerta daiteke, baina ez azkarrago. Beraz, teleportazio kuantikoak denbora-tarte bat behar du gauzatzeko, eta ezin du gaindu argiaren abiadura.

Arazoak arazo, badirudi teorikoki bederen lor dezakegula pertsona bat teleportatzea. Baina kontu izan zailtasun teknikoak:

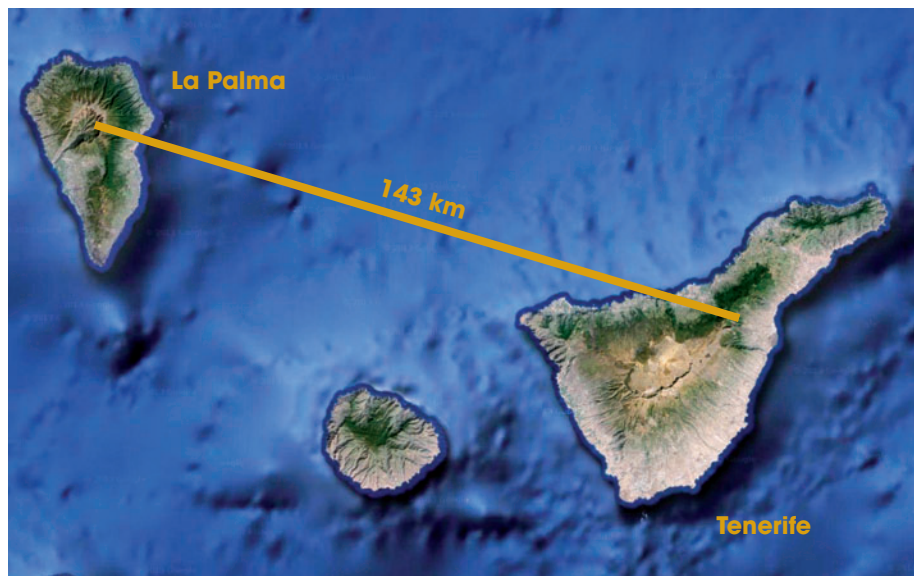
1. Bolatxo bat teleportatzeko, beste bolatxo bat izan behar dugu helmugan (Beñaten bolatxoa). Beraz, teleportatu nahi dugun pertsonaren beste partikula batzuk izan behar ditugu helmugan.
2. Pertsona baten partikula guztien propietate guztiak aintzat hartuta egin beharko genituzke eragiketak eta neurketak. Bolatxoen kasuan, kolorea bakarrik aipatu dugu, baina partikula kuantikoek propietate asko dituzte.
3. Milioika neurketa horien informazio guztia bidali beharko genuke helmugan, ohiko komunikazio kanalak erabiliz.

Hori hasiera besterik ez da. Kuantikan jada ikusi da oso zaila dela bi partikularen arteko korapilatzea mantentzea, partikula horiek mundutik isolatu behar baitira. Ondorioz, guztiz arbiatu gabe ere, ia ezinezkotzat jo dezakegu pertsona bat teleportatzea. Gainera, eta esparru filosofikoago batera pasatuta, pertsona bera al da horrela teleportatu dugun pertsona bat? Azken batean, pertsona baten informazioa beste materia-partikula batzuetara kopiatu dugu. Airean utziko dugu galdera.

Dena dela, gaur egungo teknologiarekin jada lortu da fotoiak eta atomo batzuk teleportatzea. Fotoien kasuan, Tenerife eta La Palma uharteetan artean lortu zuten teleportazioa, eta 143 km-ko errekorra ezarri (ikus 4. irudia). Esperimentu horren azalpenak *Nature* aldizkari ospetsuan argitaratu ziren 2012. urtean. Maryland Unibertsitateko ikertzaile batzuek, bestalde, distantzia labur batean atomo bat teleportatzea ere lortu zuten, 2009. urtean.

TELEPORTAZIOA GAUR ETA BIHAR

Teleportazio kuantikoa maila teorikoan menderatzen dugu: teleportazioaren propietateak ezagutzen dira, badakigu nola egin eta badakigu zer muga dituen. Teknologikoki ere oso pauso



4. irudia. Kanariar uharteetan egin zen teleportazio-esperimentua. GOOGLE EARTH.

garrantzitsuak eman dira jada, azaldu dugun moduan. Ziur gaude etorkizunean distantzia luzeagoak eta informazio-kopuru handiagoak teleportatzeko gai izango garela, baina non dago muga? Nork jakin.

Teleportazio kuantikoa oso teknologia garrantzitsua izango da etorkizunean. Kriptografia kuantikoan ezinbestekoa da, eta, etorkizunean, giltzarrietako bat izango da ordenagailu kuantikoak lortzeko ere. Ziurrenik, orain imajinatu ere ezin ditugun aplikazioetan erabiliko da, hasiera batean fikzioaren esparruan bakarrik zegoen bitxikeria hori.

Euskal Herrian, gai hauetan diharduen punta-puntako ikerlari-talde bat izateko ohorea dugu. Ikerbasquen eskutik Leioara etorri zen Enrique Solano doktorearen *Quantum Technologies for Information Science*¹ taldeak jada sona handia du nazioartean. Horren adibide da 2010. urtean *Nature* aldizkarian argitaratu zuten artikulua.

Hemen zein han, ikerlariak gure mundu liluragarri honi buruzko ezagutza berria ekarriko digute. Teleportazio kuantikoak ate berriak irekiko dizkigu, baina inork ezin du jakin zer egongo den ate horien atzean. Pedro Miguel Etxeniketik diogen moduan, ezagutza berriak ezjakintasuna areagotzen du, erantzun bakoitzak mila galdera berri azaleratzen baititu.

BIBLIOGRAFIA

- NIELSEN, M. A.; CHUANG, I. L. (2010). *Quantum computation and quantum information*. Cambridge University Press.
- BENNETT, C.H.; BRASSARD, G.; CRÉPEAU, C.; JOZSA, R.; PERES, A.; WOOTTERS, W. K. (1993). Teleporting an Unknown Quantum State via Dual Classical and Einstein-Podolsky-Rosen Channels, *Phys. Rev. Lett.* 70, 1895-1899.
- MA, X.-S.; HERBST, T.; SCHEIDL, T.; WANG, D.; KROPATSCHEK, S.; NAYLOR, W.; WITTMANN, B.; MECH, A.; KOFLER, J.; ANISIMOVA, E.; MAKAROV, V.; JENNEWAIN, T.; URSIN, R.; ZEILINGER, A. (2012). "Quantum teleportation over 143 kilometres using active feed-forward," *Nature*, 489 bol., 7415 zk., 269-73 or.
- GERRITSMAN, R.; KIRCHMAIR, G.; ZÄHRINGER, F.; SOLANO, E.; BLATT, R.; ROOS, C. F. (2010). "Quantum simulation of the Dirac equation", *Nature* 463, 68.
- GOTTESMAN, D.; CHUANG, I.L. (1999). Demonstrating the viability of universal quantum computation using teleportation and single-qubit operations. *Nature*, 402(6760), 390-393.
- URSIN, R.; JENNEWAIN, T.; ASPELMEYER, M.; KALTENBAEK, R.; LINDENTHAL, M.; WALTHER, P.; ZEILINGER, A. (2004). Communications: Quantum teleportation across the Danube. *Nature*, 430(7002), 849-849.

¹ <https://sites.google.com/site/enriquesolanogroup/>