

Komunikazio Kuantikoa

IKERKETA-PROIEKTUA
ELHUYAR ZIENTZIA
AZOKA 2021

Aitor Alonso, Naomi Paz, Miranda González
2020 – 2021 • PAÚLES BARAKALDO DBH 3.B

IKERKETA-PROIEKTUAREN AURKIBIDE OROKORRA

1. Ikerketaren laburpena
2. Arazoa eta galdera
3. Experimentazioa: Schrödingerren katua
4. Metodologia
5. Emaidak
6. Ondorioak
7. Bibliografia eta erreferentziak
8. Eskerrak



NORTZUK GARA?

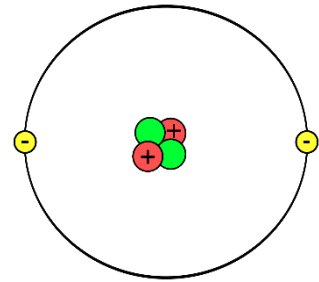
Gure izenak Aitor Alonso Lanza, Naomi Paz López eta Miranda González Mato dira. Barakaldoko San Vicente de Paúl Ikastetxetik gatoz. Zientziarekiko interesa izan dugu beti, eta irakasgai horiek eman dizkiguten irakasleak erreferentzia izan dira beti guretzat, zientziaren bokazioa hezurretaraino sartu baitigute.

DBHra iristean, gai honetan dugun interesa erakutsi nahi izan dugu, honelako lehiaketetan. Hauetan gure dedikazio osoarekin parte hartu dugu. Izan ere, Elhuyar Zientzia Azoka izan da gure proiektu giltzarria edo nagusia, eta gogor lan egin dugu % 100ean gustura geratu garen lan bat aurkezteko. Beraz, espero dugu ondo pasatzea eta zerbait ikastea. Eskerrik asko!

IKERKETAREN LABURPENA

Txosten honetan **komunikazio kuantikoari** buruz bildu ditugun datu guztiak daude, - gure ustez funtsezkoak direnak - komunikazio-sistema ultra segurua eta bortxaezina dena. Gure helburua gai honetan interesa duten **euskaldunek** gai honi buruz ulertzen duten hizkuntza batean irakurri eta ikasteko aukera izatea da, gure ustez etorkizun ez hain urrunean **gaurkotasuna** edukiko duen gaia dela-eta. Gainera, ez dago horrelako edukiei buruzko datu asko euskaratuta, gure proiektuari **indarra** eman diona.

Txostenaren edukia ondo ulertu ahal izateko, uste dugu oso garrantzitsua dela fisika kuantikoari, edo **mekanika kuantikoari** buruzko laburpen txiki bat egitea, honen legeak oinarri hartuta. Mekanika kuantikoa fisikaren adar bat da, natura eskala **azpiatomikoan** aztertzen duena (atomoak, elektroiak, neutroiak, quarkak, gluoiak, eta bestelako **materiaren unitate estruktural nanoak**). Mundu txiki hau, mundu kuantikoa, arautzen duten legeak eta gure mundu handia, mundu atomikoa, arautzen dutenak hain **ezberdinak** dira-eta, batzuetan magia irudi lezakete.



Adibidez, inoiz labirinto batean egon al zarete? Erantzuna baiezkoa bada, ziurrenik bi bideren artean aukeratu behar izan zenuten. Kontua da partikula kuantiko batek, guk ez bezala, ez lukeela bide bat edo bestea aukeratuko; biak aukera ditzakeela, horrela bi etorkizun sortuz. Horri **bilokazio, edo gainjartze kuantiko** deritzo.

Nori ez zitzaion gustatuko botere hori noizbait izatea? Adibide hori bezalakoak milaka daude, eta ikusi duzue, gure logikari edo zentzuari erronka handia jartzen diote, baita Einsteinenari ere. Richard Freyman handiak esaten zuen bezala, *"If you think you understand quantum mechanics, you don't understand quantum mechanics."*, *"Mekanika kuantikoa ulertzen duzula pentsatzen baduzu, mekanika kuantikoa ez duzu ulertzen"* - esan nahi zuena.

Hori azaldu eta ulertu ondoren, orrialdea pasatu eta komunikazio kuantikoarekin hasteko ordua da. Honek lege hauek eta gehiagotan oinarritzen da pirateoak edo zibererasoak ez jasateko.

Gogoratu, gure etorkizuna da.

	fermioiak			bosoiak	
masa ->	1,5-3,3 × 10 ⁻³	1,27	171,3	0	indar-eramaileak
karga ->	2/3	2/3	2/3	0	
spina ->	1/2	1/2	1/2	1	
quarkak	u up ("gorantz")	c charm ("xarma")	t top ("gaina")	γ fotoia	indar-eramaileak
	d down ("beherantz")	s strange ("arraroa")	b bottom ("behea")	g gluoiak	
	leptoiak	ν_e elektroi-neutrinoa	ν_μ muoi-neutrinoa	ν_τ tau-neutrinoa	
	e elektroia	μ muoia	τ tau	W[±] W bosoiak	
	< 2 × 10 ⁻⁹	< 0,19 × 10 ⁻³	< 18,2 × 10 ⁻³	91,2	
	0	0	0	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	I	II	III		

ARAZOA, GALDERA

Urte honen hasieran, 2021ean, albiste asko agertu ziren egunkari eta aldizkari zientifikoetan, Txinako hainbat zientzialarik mekanika edo fisika kuantikoan oinarritutako **komunikazio-sare** bat garatzeko birsortu zuten metodo berri baten funtzionamendua azaltzen. Haietan esaten zen komunikazio-mota berri hori **ezin zela pirateatu**, eta, beraz, zibererasoen aurrean ahulak ziren sektoreen etorkizuna berresten zen, hala nola banku-sektorearena.

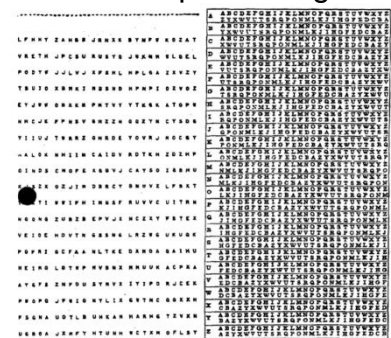
Adibidez, Txinako Hefeiko Zientzia eta Teknologia Unibertsitateko (USTCko) zientzialari-taldeak lortutako zenbait aurrerapen *Nature* aldizkarian argitaratu ziren, taldea Jianwei Pan, Yuao Chen eta Chengzi Peng ikertzaileek osatuta. Lehen honek erakutsi zuen, eskala handiko praktiketarako - sare txinatar hau bezala-, komunikazio kuantikoa nahiko **heldua** zela oraingoz.

Heldutasun hori, kasu honetan, aurkikuntza berri bati zor zaio: **gakoan banaketa kuantikoa**. Zein zen haren benetako funtzionamendua? Zer zuen iraultzailetzat? Adibide entretenigarri batekin azalduko dugu.

Demagun Jonek mezu bat bidali nahi diola Aitorri, bere mutil-lagunari, baina ez duela nahi inork ikusterik, pribatua baita. Horregatik, Jonek mezuaren egitura aldatzen du, mezuaren letra bakoitzaren ordena alfabetoan mugituz. Mezu horietako bat “*Asko maite zaitut*” zen. Letra bakoitza mugituz, kasu honetan, alfabetoan **sei aldiz (gakoa)**, mezua honela geratuko litzateke: “**Gypu rgñzk fgñza**”.

Izan ere, bada norbait zelatatzen: Maitane, bien artean gertatzen denaren berri izan nahi duena. Jonek uste du espioiek ez luketela edukia deszifratuko, tartean harrapatu arren. Baina ez zen egia izan; denbora libre handia izan zuenez, Maitanek, 20 konbinazio okerretik gora egin ondoren, **mezua deszifratzea** lortu zuen (baita ordenagailurik gabe ere) eta edukia Twitterrera igo zuen. Beraz, metodo hori **ez zen eraginkorra**. Baina Jonek eta Aitorrek ez zuten ezer esan, eta mezu bidezko maitasuna bizitzeko beste modu bat aurkitu zuten.

Biek berdinak ziren bi koaderno lortu zituzten. “**ONE TIME PAD**” edo “erabilera bakarreko koaderno” deitu zieten. Orrialde bakoitza guztiz zorizko zenbakiz beteta zegoen. Bai, **gako-liburua** zen. Orain, mezu berria enkriptatzeko, Jonek gako-liburu horretako orri bat aukeratzen du, eta orrialdeak adierazten dion aldi-kopurua mugitzen du letra bakoitzeko alfabetoan. Aitorri hori bidali ondoren, berak bakarrik erabili behar du liburuko orrialde bera desencriptatu ahal izateko. Gero, biek orrialde hori erretzen dute mezua betiko enkriptatuta gera dadin, Maitaneri ezinezkoa izango litzaiokeelako deszifratzea, haren logika ez ulertzeagatik eta ia ezinezkoa dirudielako indar gordina erabiltzea letra horiekin egin daitezkeen konbinazio guztiak probatzen.

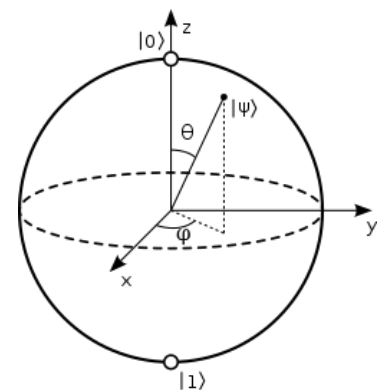


Kriptografia-metodo honek, gaur egun, eta 1917. urtetik aurrera, konputazioaren bidez, zenbait zifratze-algoritmo mota konbinatzen ditu (arau definituak eta ez-anbiguoak, ordenatuak eta finituak, kasu honetan konputoa egiteko aukera ematen dutenak), eta; horren ondorioz, argi dagoen testua (inolako aldaketarik gabe) **zorizko gako batekin konbinatzen** da, testu argia bezain luzea, behin bakarrik erabili ahal dena.

Nolanahi ere, kriptanalitikaren aurrerapenak nabariak izan dira azken hamarkadetan, eta horrek metodo horren ezegonkortasuna eragin du berriro, itxuraz hain segurua zena. Horregatik, fisika kuantikora jo behar izan dugu - bai, fisika azpiatomikoaren adar horretara - prozedura aurreratua eta %100rainoko segurua lortzeko.

Jakingo duzuen bezala, ordenagailuek erabiltzen duten gutxieneko informazio-unitatea bita da, haren "letra". Guk, hitz egitean, 20 fonema (edo letra) baino gehiago konbinatzen ditugu ideiak transmititzeko, baina ordenagailu batek bi baino ez ditu erabiltzen. Nahi duzun bezala deitu ditzakezu: ezker-eskuin, goian-behean, eguna-gaua, edo (arrazoi praktikoengatik egiten den bezala) **zero edo bat, bita**. Eta, bitak ez dira abstraktu den zerbait, sistema errealetan egin daitezke. **Bi balio har ditzakeen edozein gauzek bit gisa funtzionatzen du**: pilota bat apal batean edo ondoko apalean jartzea, puntu edo marra bat jartzea koadernoan edo (ia egin ohi den bezala) korrante elektrikoa pasatzen uztea ala ez uztea pasatzen, edo baita **fotoien erabilera** ere.

Zer gertatzen da? Mundu kuantiko bitxia aurkitu ondoren, fisikariak konturatu dira **informazio-unitate** bat egon daitekeela... Agian hobea gauza batzuetarako. **Mekanika kuantikoaren arauei jarraituz bit bati zer gertatuko litzaiokeen** pentsatzea da ideia. Bit kuantiko bat; **qubit** bat. Baina, zer dute bereziki arau kuantikoek? Lehenik, nahiko handitzen da qubita egon daitekeen egoera-kopurua. Ez dago zerora eta batera mugatuta bakarrik, bien gainjartzean ere egon daiteke; edo bi egoeren arteko nahasketa batean, **edozein proportziotan**. Bloch-en esferaren irudikapenean, geziak zenbat eta gorago apuntatu, orduan eta nabarmenagoa izango da gainjartzearen zero egoera, eta zenbat eta beherago; ordea, bata. Gainera, horiek ere negatiboak edo konplexuak izan daitezke, qubitaren konfigurazio posibleen kopurua **"infinituki" handituz**.



Kontua da qubit baten **egoera aldatu egiten dela nola edo hala neurtzen denean**. Eta arau hori modu burudun batez erabiliz, Charles Bennettek eta Gilles Brassardek 1984an garatutako **BB84 protokoloa** sortu zen, Jone eta Aitorren mezua enkriptatzeko balioko duen **kode bitar ultra segurua** sortzen duena. Horretarako, qubit moduan **zifratutako gako bat** sortzen dute, honen polarizazio-egoerek (0 eta 1eko beste adierazpen bat, edo zuri-beltza -rena) gakoaren banakako bit-balioak adieraziko dituzte. Qubitak **zuntz optikozko kable** baten bidez bidal daitezke Aitorri. Qubit horien frakzio-egoeraren neurketak, hau da, lehen azaldu dugun neurtzen denean gertatzen den kolapsoa **"gakoaren egiaztapena"** izeneko prozesu baten bidez konparatzean, Jonek eta Aitorrek gako bera dutela baieztatu dezakete.

Hala ere, qubitak haien helmugara joan ahala, horietako batzuen egoera kuantikoaren hauskortasuna dela eta kolapsatu egingo da **dekoherentziaren fenomenoaren** ondorioz. Hori konpentsatzeko, Jonek eta Aitorrek "**gako**en distilazioa" izeneko prozesua egiten dute. Prozesu horretan, akats-tasa nahiko handia den ala ez kalkulatu da, hacker bat gakoa bidean antzematen saiatu dela iradokitzen.

Hala bada, **gako susmagarria baztertu** eta beste gako berri bat sortzen dute, gako seguru bat partekatzen dutela ziur egon arte. Gero, Jonek bere gakoa erabil dezake datuak zifratzeko eta Aitorri bit klasiko gisa bidaltzeko, eta jarraian, Aitorrek bere gakoa informazioa deskodetzeko erabiltzen du, mezua ziurtasunez jasoz.

Gero eta QKD sare **gehiago** daude. Luzeena, jadanik izendatua, Txinan dago eta **2.032 kilometroko** lurreko lotura du herrialdeko zenbait puntu neuralgikoren artean. Gainera, mundu osoko hainbat banku, organismo eta beste finantza-konpainia datuak transmititzeko erabiltzen ari dira, hala nola, **Europar Batasuna**.

Baina QKD errelatiboki segurua izan arren (gaur egungo teknologiarekin, guztiz segurua), askoz gehiago izango litzateke **errepikagailu kuantikoak** izango balitu. Kable optikoen materialek fotoiak xurga ditzakete. Beraz, 100 km inguru bakarrik egin ditzakete qubitek. Konpentsatzeko, sareek errepikagailuak erabiltzen dituzte kablean zehar, seinalea **anplifikatzeko**. Estazio horietan, gako kuantikoak bitetan desfzifratzen dira, eta, ondoren, egoera kuantiko berri batean zifratzen dira, hurrengo nodora bidaltzeko. Baina hacker batek estazioen (edo nodoen) segurtasuna bortxatzen badu, **bitak kopiatu** ahal izango ditu detektatuta izan gabe, eta gakoa eskuratu.

Funtzionamendu ideal bat gertatzeko, errepikagailu kuantikoak edo prozesadore kuantikodun iragaite-estazioak beharko lirateke, zifratze-gakoak egoera kuantikoan egon daitezen amplifikatu eta distantzia luzeetara bidali ahala. Ikertzaileek frogatu dute, printzipioz, errepikagailu horiek eraiki daitezkeela. Izan ere, oraindik ezin izan dutela prototipo funtzional bat sortu esan dute.

Sistema hauek sendoak izan arren, arriskua nahikoa handia denez, ikertzaile batzuek **teleportazio kuantiko izeneko ikuspegi alternatibo bat** ikertzeko aukera izan dute. Metodo erreal hori datuak %100ean egoera kuantikoan transmititzean datza. **Gurutzadura** deritzon fenomeno kuantiko batean oinarritzen da ikuspegia, elkarrekin lotutako fotoi-bikoteetan oinarritua. Horietako bat hartzaileari bidaltzen zaio eta bestea informazioaren bidaltzaileari, eta horietako bat "memoria-qubit" batekin elkarreraginean uzten da. Qubit horrek besteari transmititu nahi zaizkion datuak ditu. Elkarrekintza horrek fotoiaren egoera aldatzen du, eta beste lagunarenarekin lotuta dagoenez, elkarrekintza horrek ere berehala aldatzen du bere fotoiaren egoera (argiaren abiadura = **299.792,458 km/s**).

→ [Ingeleseaz azaldutako gurutzadura kuantiko-prozesuaren infografia.](#)

SCHRÖDINGERREN KATUA

Esperimentazioaren gaien pixka bat gehiago sakonduz, fisikako felino ezagunena aurkeztuko dugu: Schrödingerren katua. Hau, Bilboko Plaza Berrian stand bat izatera iristen bagara, han hobeto azalduko dugu.

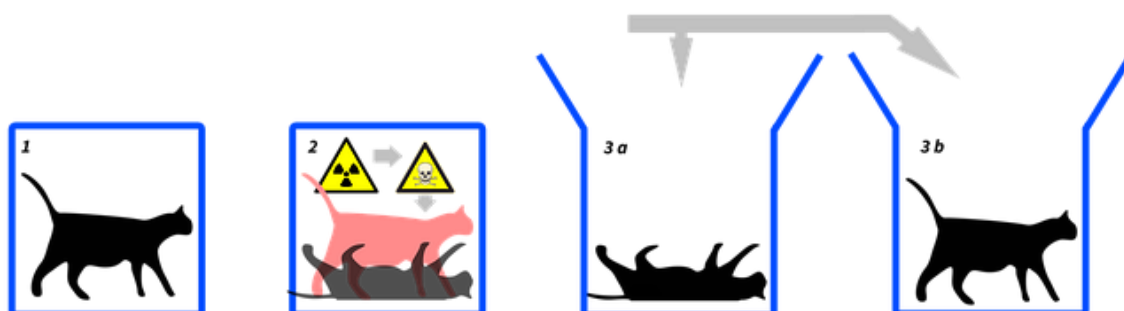
Segur aski, askok esperimentu mental famatu honen bertsioen bat entzungo zenuten: katu bat jartzen da ezegonkortasun-egoeran dagoen bolbora duen ontzi edo bunker batean. Bolbora horrek denbora-espazio jakin batean (normalean, hurrengo minutuan) lehertzeko %50eko probabilitatea du, baina baita ezer ez egiteko %50eko probabilitatea ere. (Bolboraren bertsio hau Albert Einstein zientzialari ospetsuak proposatu zuen. Hala ere, esperimentuaren ideatzaile nagusiak, Schrödinger-ek - hortik datorkio katuaren izena -, nahiago lukeen katua gas pozoitsua zuen bertsioa.)

50/50 probabilitate hori dela eta, ontzi barruan begiratzeko tapa ireki arte, ez dakigu felinoa bizirik edo hilik badagoen. Begiratzen dugunean, alabaina, bizirik edo hilda dago ziurtasun osoz. Orduan, esperimentua behar diren aldiz errepikatuz gero, ikusiko dugu kasuen kopuru osoaren %50an katutxoak bizirik irauten duela, eta beste erdian katutxoa hiltzen dela. 50/50 probabilitate horretara itzuli gara.

Esperimentu honi buruzko mekanika kuantikoaren interpretazioa da estalkia ireki aurretik, katua lehen aipatu dugun gainjartze-egoeran dagoela: bizirik eta hilda dagoela aldi berean. Baita goian azaldu dugun bezala, guk begiratzearen ekintzak ere - qubit bat neurtzea bezala - naturaren eta estatistikaren katua katu bizian eta hildako katu batean gainjartze-egoera "kolapsatzeko" erabakia behartzen du.

Baina zer gertatzen da ontziaren barruan dagoen katuaren ikuspegitik? Beno, katuak ikusi egin dezake nola bolbora lehertzen ari den ala ez – Beraz, bunkerrean bi aukera hauek ditugu: "Bolbora lehertu zen eta katuak lehertzen ikusi zuen" edo "Bolbora ez zen lehertu eta katuak lehertzen ikusi zuen". Ez dago aukerarik: "bolbora lehertu egin zen eta katuak ez zuen lehertzen ikusi".

Beraz, kuxkuxeroak bagara, gure katutxoa hil dezakegula ondorioztatu dugu. Hortik dator "*Curiosity killed the cat*" adierazpen anglosaxoia, "*Jakin-nahikeriak katua hiltzen du*" esan nahi duena, hartzailearengan eragina izateko, gainerakoen gauzetan ez sartzera bultzatzeko asmoz, horiek "kolapsatu" egingo baitute, katuaren egoera bezala. Gure beste ondorioetako bat felinoaren benetako errealitatea gure esperimentuaren azken emaitzarekin lotzen dela da.



METODOLOGIA

Lan hau egin ahal izateko, komunitate zientifikoak zehaztutako urrats batzuk jarraitu behar izan ditugu. Hau metodo zientifikoa da, jarraitzen saiatu duguna urrats hauekin:

Gure lanaren lehenengo etapan, gure gaia zein izango zen erabaki ondoren, albiste zirrargarri eta hausle bat aurkitu genuen: Txinako Komunikazio Kuantikoaren Sarea. Gertatutakoaren berri periodistikoki eman ondoren, komunikazio kuantikoari buruzko informazio orokorra bilatu genuen, hala nola haren definizioak eta bitxitasuna, YouTube edo Wikipedia bezalako leku orokorretan.

Ondoren, gure hipotesiak proposatu genituen, ikerketa amaitzean, gaia gehiago ezagutu ondoren edo esperimenteren bat egin ondoren, berretsi egingo genukeela. Hauek izan ziren gure zazpi hipotesiak:

1. Fisika kuantikoa ia ezezaguna da, eta inork ez du hau % 100ean ezagutzen.
2. Laster izango dugu eskura.
3. Metodo hori etorkizuna izango da, segurtasun handia baitu.
4. Gaur egun, proiektuak oso eskala-handikoak dira.
5. Ez ditugu molestatu behar zientzia honekin zerikusia duten partikulak, badaezpada ere.
6. Fisikaren adar horrek ez du inoiz ezer aukeratuko.
7. Metodo hori, gaur egun, ezin da hackeatu edo eraso.

Geroago, fisika kuantikoaren munduan sartu ginen, fisika orokorrarekin alderatuz, eta DBHko 3. mailara arte ikasitakoarekin ezagutzen genuenarekin. Hortik aurrera, **Cristina Sanzen** laguntza izan genuen, Elhuyarrek emandako ikertzaile profesionalaren laguntza. Hark hainbat datu bitxi lortzen lagundu zigun **azoka digital edo presentzialerako**, haren bitxikeriak ulertzen joateaz aparte.

Gaur dugun ezagutza-mailara iristen ari ginen bitartean, hizkuntza atzeritarretako web-orrien laguntza izan genuen. “La Web de Física” bezalako foroen bidez, non Cristinaren laguntzarekin ulertu genituen hainbat proiektu aurkitzen genituen, gure txostena betetzen joan ginen. Arduraz eta erabakitaz, ziurgabetasunez hasi zen txosten hau ziurtasun guztiz idatzi eta entregatu dugun testu hau da.

EMAITZAK

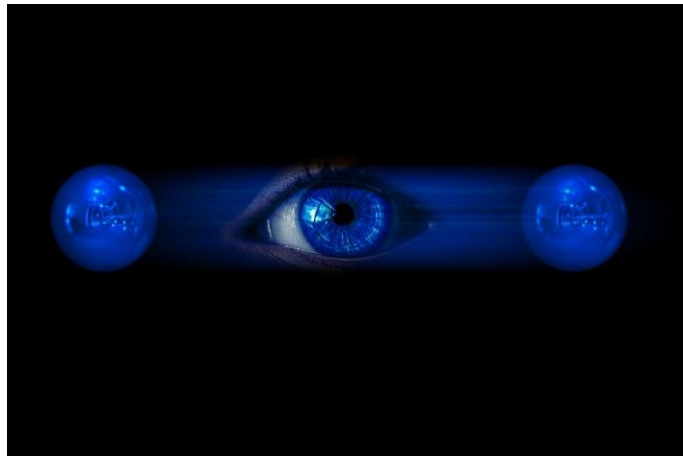
Azkenik, bildu genuen informazio guztia konparatuz, fisika kuantikoa mundu nahiko esploratu gabea dela ondorioztatu dugu. Baina, pixkanaka, atea irekitzen ari da gure ustez. Gure ikuspuntutik, zientziaren zati arraroena da, eta gaur egun arte egon diren zientzialari handienak izutu ditu. Gainera, **bibliografikoki** egiaztatu ahal izan genuen gure 1., 3., 4., 5. eta 7. hipotesiak egiazkoak zirela, eta, **iragarpen guztien kontra**, 2. eta 6. hipotesiak faltsuak zirela, gaur egungo **ezezagutza orokorra** zela eta.

1. ✓	2. ✗	3. ✓	4. ✓	5. ✓	6. ✗	7. ✓
------	------	------	------	------	------	------

ONDORIOAK

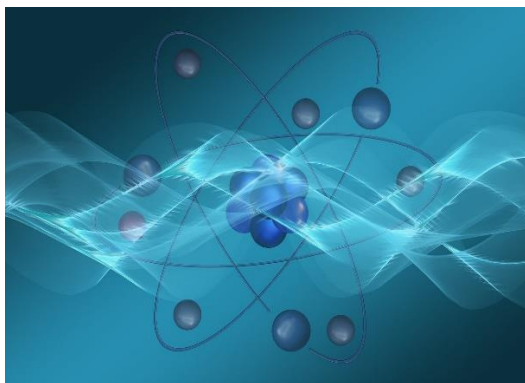
Ikerketa lan **gogor** hau amaitu eta **emaitzak egiazatu** ondoren, **hainbat ondorio** atera ditugu.

Hasteko, komunikazio kuantikoari buruzko lan bat aurkeztu aurretik, fisika kuantikoari buruzko edo **mekanika kuantikoari** buruzko lan bat egin beharko genukeela uste dugu. Izan ere, ikerketan zehar, mekanika kuantikoaren atalei buruz irakurtzean (Schödingerren katua



edo Kopenhageko interpretazioa, adibidez), txostenean jartzeko eta azaltzeko **gogoa** sortu zaigu, baina ezin izan dugu, lana benetan **nahaste-borrastea** baitzen, eta ez genuen espaziorik dena sartzeko pasatu gabe.

Gainera, egitura fisiko kuantikoen **arau ugaritasunak**; eta, guretzat infinitua, ez digu utzi ikerketa zientifikoko lan hau guk nahi bezain osatua izatea. Etorkizunean proiektu hau berreskuratuko bagenu eta hobetuko bagenu, uste dugu ez legokeela sobera talde-lanean denbora pixka bat pasatzea, antolaketa hobetzea eta are gehiago handitzea.



Bestalde, txosten honetan idatzi dugun informazioarekin, **hurrengo lan** edo proiektuetan sakontzeko hainbat gai atera ahal izango genituzke. Adibidez, fisika kuantikoa gehiago sakondu nahi badugu, Schödingerren katuaren gaia sakontzea. Gainera, ordenagailu kuantikoei buruzko beste proiektu landuago bat egitea nahiko genuke, haien azalpenean eta funtzionamenduan sakonduz.

Azkenik, **fisikatik haratago** ere ikasi ahal izan dugu, hala nola konputazioa, burtsa edo marketina. Horrek gure kultura orokorra zabalarazi du, eta, fisika-klasean, gure ikaskideekin hitz egiteko askoz gai gehiago eduki ahal izan dugu, gure izatearen eta gure etorkizunaren dilemak ulertzen saiatzeko.

Azkenik, ondorioztatu ahal izan dugu, komunikazio kuantikoa **etorkizuna** dela jakitean, berri den garai batean gaiaren oinarri bat izango dugula, eta ez dugula oinarritzko kontzeptuen azalpen berri batetik pasatu beharko. Hori dela eta, gure gustuetarako egokia den lan-asmoaren bat lortu ahal izango genukeen.

BIBLIOGRAFIA ETA ERREFERENTZIAK

- Ignacio Cirac, Telegónica (2018), [Así cambiará el mundo la computación cuántica: Ignacio Cirac](#)
- Conexión Cinvestav (2019), [La comunicación cuántica](#)
- M. Sanz Romero (2021), [China inaugura la primera red de comunicación cuántica integrada.](#)
- Li Y.-H., Zhou Z.-Y., Xu Z.-H., Xu L.-X., Shi B.-S., Guo G.-C. (2016), [Multiplexed entangled photon sources for all fiber quantum networks](#)
- Avella A., Brida G., Carpentras D., Cavanna A., Degiovanni I. P., Genovese M., Gramegna M, Traina P. (2012), [Report on proof-of-principle implementations of novel QKD schemes performed at INRIM](#)
- Chris Stokel-Walker (2020), [Secure quantum communications network is the largest of its kind.](#)
- Matt Langione (2020), [The promise of quantum computing.](#)
- Vikram Sharma (2017), [How quantum physics can make encryption stronger.](#)
- Yu-Ao Chen, Qiang Zhang, Jian-Wei Pan (2021), [An integrated space-to-ground quantum communication network over 4,600 kilometres.](#)
- Irudiak [Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported](#) lizentziapean daude.

ESKERRAK

Esker onez aitortu nahi dugu gure irakasleek adeitasunez eta dedikazioz eskaini diguten laguntza eta babes pedagogiko eta metodologikoa, bai moral bai dokumentu bidezkoa. Gure ikastetxeko zuzendari pedagogikoari eta gure tutoreari bereziki ere eskerrak eman nahi genizkioke, baliabideak eskaini baitizkigu, hala nola, biltzeko eta dibulgatzeko gunea.

Bestalde, mirestekoa da gure ikertzaile profesionalaren jakinduria izugarria gai honi buruz, hartaz blaitu baikaitu. Hori dela eta, Cristina Sanz-i dagozkion eskerrak gure partez gorai pamen gehiagorekin doazenak dira. Horrez gain, Elhuyar Fundazioari eskerrak eman nahi dizkiogu, denoi Zientzia Azokan parte hartzeko aukera eman digute-eta; eta gure gurasoei, senide eta lagunei laguntza osoa eman digutenez gero, (onean eta txarrean) hemen leku bat utzi diegu ere bai.

Amaitzeko, asko gustatuko litzaiuke, zuei, irakurle guztiei eskerrak ematea gure proiektua irakurtzeko denbora hartu duzue-eta, bi hilabete baino gehiago eman baititugu horretan lanean. Esker anitz, benetan, bihotz-bihotzez.