

# Cohen-Tannoudji:

## “Bose-Einstein kondentsatua orpoz orpo desfilatzen duten soldaduak bezalakoa da”

**Nagore Rementeria Argote**

Elhuyar Zientziaren Komunikazioa

**Claude Cohen-Tannoudji-k astebete igaro zuen Donostian iraillean, Einsteinen inguruko biltzarraren aitzakian. Etorri eta hurrengo egunean bertan egin genuen hitzordua harekin. Astelehena zen, eta, gure zorionerako, ez zegoen Nobel saridunek sortu ohi duten kazetari-zalapartarik. Hala, lasai eta patxadaz hitz egin zigun, fisikaz, mekanika kuantikoaren aplikazioez, irakaskuntzaz... Izan ere, optika kuantikoa du bere alorra.**

**Mekanika kuantikoa teoria berria ez den arren, misterio antzeko bat da jendearentzat. Ulertezina den ustea zabaldua dago. Zer iruditzen zaizu zuri?**

Nire ustez, mekanika kuantikoaren zailtasun nagusia da mundu mikroskopikoan agintzen duela. Izan ere, oinarritzko partikulen portaera azaltzen du, atomoena, elektroiena... Eta portaera hori eta mundu makroskopikoan ikusten duguna, intuizio klasikoak agintzen duena, oso desberdina dira.

Dena dela, komeni da jendea ohartzea bizi garen mundu honetan mekanika kuantikoa edonon dagoela, egunero erabiltzen ditugun tresnetan dagoela, alegia. CD-irakurgailuak, transistoreak, ordenagailuak, internet, etab. Tresna teknologiko horiek guztiak efektu kuantikoetan oinarrituta daude: transistore-efektua, emisio estimulatua, laser argia...



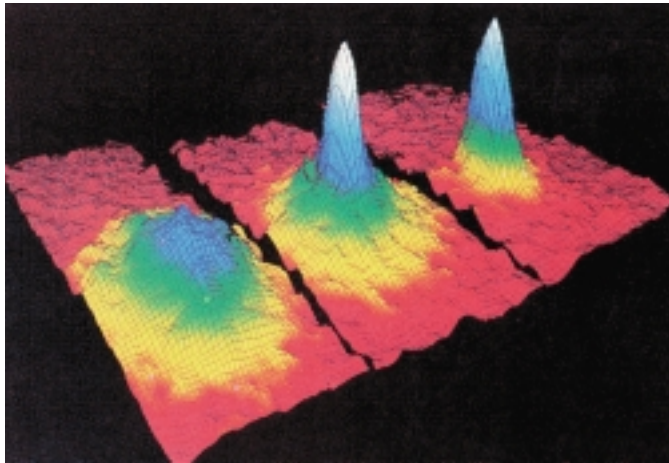
N. REMENTERIA

Claude Cohen-Tannoudji Aljerian jaio zen 1933an (Aljeria Frantzia zen artean), eta Parisera joan zen ikastera, École Normale Supérieure-ra. 1997an Nobel saria jaso zuen S. Chu-rekin eta W.D. Phillips-ekin batera, atomoak hozteko eta harrapatze teknikan egindako lanagatik.

Beraz, mekanika kuantikoaren zailtasuna honetan datza: mundu klasikoan ikusten ez ditugun fisikako kontzeptuak ditu, adibidez, materia, partikulaz ez ezik, uhinez ere osatzen dela. Kontzeptu zaila da.

**Zure alorra optika kuantikoa da. Ez da erraza izango jendeari azaltzea zertan diharduzun.**

Optika kuantikoa azaltzen du nola erabil daitekeen argia informazioa transmititzeko, fotodetektatzaile oso sentikorak egiteko, kamera digitalak... Zertan dihardudan norbaiti azaltzeko, horietako adibide bat hartzen dut, eta nola funtzionatzen duen azaltzen diot. ➔



Rubidio-atomoen banaketa Bose-Einstein kondentsatua eratu aurretik (ezkerrean) eta ondoren (eskuinean).

Horretaz gain, uste dut garrantzizkoa dela jendeari esatea fisikak oinarrizko galderei erantzuten diela. Unibertsoa nolakoa den, zabaltzen ari den, Big Bang-a zer den, denboraren egitura, espazioaren egitura... Eta oinarri-oinarrizko galdera horiei erantzuteko bide bakarra zientzia egitea da.

Beraz, zientzia giza kulturaren parte da, poesia, musika edo pintura diren era berean. Beraz, zientzia egin behar dugu, fisika egin behar dugu eta jendeari azaldu.

**Atomoak hozteko eta harrapatzeko teknikan egindako lanagatik eman zizuten Nobel saria. Nolakoa izan zen aurkikuntza hura, laserra atomoak hozteko erabil zitekeela, alegia?**

Egia esan, atomoen eta argiaren arteko oinarrizko interakzioak ulertu nahian genbiltzan. Eta hobeto ulertu genuenean atomo bat laser-izpi batek argitzen duenean zer gertatzen den, orduan hasi ginen pentsatzen oinarrizko aplikazioak zein izan zitezkeen. Eta atomoak moteltzeko (hozteko) erabil genezakeela konturatu ginen.

Horrela izaten da: oinarrizko fisika hobeto ulertutakoan agertzen dira ideia berriak, aurrez pentsaezinak ziren aukerak. Horrela, aplikazio berriak agertzen dira, fenomeno berriak ikusteko bidea ematen dutenak, eta galdera gehiago sortzen dira. Amairik gabeko espiral bat da!

**Espiral horri jarraituz, zero absolututik oso gertu jarri zarete.**

Bai. Kelvin eskala erabiltzen dugu, eta une honetan zero Kelvineko (0 K) temperaturatik gradu bilioiren batzuetara gaude. Giro-temperatura 300 K dela kontuan izanda, hori baino bilioika aldiz txikiagoa da lortu dugun temperatura baxuena. Bide batez, unibertsoa temperatura baxuena da hori; izan ere, izarrarteko espazioko temperatura 2,7 K da hondoko erradiazio kosmikoa kontuan izaten bada.

Bada, hori baino milioi bat aldiz temperatura baxuagoak lortu ditugu. Laborategi batean bakarrik egin daiteke hori, noski.

**Zero absolutua lor daiteke?**

Ez, asintota bat da. Limite bat da, beraz, ez du zentzurik.

**Eta praktikan non dago limitea?**

Limite praktikoari dagokionez, mekanika kuantikoan muga bat daukagu: Heisenberg-en ziurgabetasunaren printzipioa. Horren arabera, posizioa (x) eta momentua (p) —edo abiadura— erlazionatuta daude: ezin dira biak zehatz neurtu aldi berean. Zero absolutura iristeko, atomoak geldi egon behar du; beraz, abiadura zehaztuta dago, eta posizioa ezin zehaztu. Hau da, gas bat oso temperatura baxuetan jartzeko, geroz eta kutxa handiagoa egin behar da.

*“zientzia giza kulturaren parte da, poesia, musika edo pintura diren era berean; beraz, zientzia egin behar dugu eta jendeari azaldu”*

Esperimentua egiten dugunean, ordea, tresnak neurri jakin bat dauka; neurri horren muga daukagu. Baina, hala ere, aukera asko daude. Nanokelvin bateko temperatura ( $10^{-9}$  K) 30 mikroneko neurriari dagokio, metroaren milioienari.



INDIAKO ARMADA

Claude Cohen-Tannoudjiren esanean, “Bose-Einstein kondentsatua orpoz orpo desfilatzen duen armada bat bezalakoa da”.

Eta laborategiko esperimentuan 30 mikron baino gehiago dauzkagu. Beraz, ziurgabetasunaren printzipioak ez gaitu mugatzen oraingoz, baina tenperatura jaisten dugun heinean mugatuko gaitu.

**Temperatura baxu-baxu horietan materiaren egoera berri bat azaldu da: Bose-Einstein kondentsatua.**

Izan ere, oso tenperatura baxuetan mekanika kuantikoaren beste efektu bat ere badaukagu: partikula bakoitzari uhin bat dagokio. Uhin horren uhin-luzera abiadurarekiko alde-rantziz proportzionala da. Horrela, atomo bat hozten denean, abiadura gutxitzen den heinean, uhin-luzera handitu egiten da. Oso tenperatura baxuetan partikulak uhinak dira, uhin-luzera handikoak; eta atomo guztien uhinek bat egiten dute, gainezarri egiten dira.

Egoera horretan, uretako uhinek bezala jokatzten dute: bat egiten dute edo elkar oztopatu. Bada, elkarrekintza kuantiko horiek osatzen dute Bose-Einstein kondentsazioa.

*“materia-uhinekin  
ere egin daitezke  
izpiak, laser  
argiaren analogoak;  
laser atomiko  
deitzen zaie horiei”*

**Zer ezaugarri ditu kondentsatu horrek?**

Kondentsatua materiaren egoera bat da, egoera kuantiko berean dauden atomoek osatzen dutena. Atomoak fase berean daude, abiadura bera dute... orpoz orpo desfilatzen duten soldaduen armada bezala. Izaera koherentea dute. Eta ezaugarri harrigarriak dituzte, esate baterako, superfluidotasuna (supereroaleen ezaugarri nagusia). Ingurune horretan ez da marruskadurarik, sistema erabat fluidoa da. Beraz, ezaugarri zirraragarriak ditu.

**Esaten da laserra argiarekiko den hori dela Bose-Einstein kondentsatua materiarekiko.**

Bai, hala da. Alde bera dago argiaren eta laserraren artean (azken hori oso direkzionala da, eta koherentea), eta ohiko materiaren eta Bose-Einstein kondentsatuaren artean. Ohiko materia desordenatua da, eta Bose-Einstein kondentsatuaren atomo guztiak egoera berean daude.

Hala, materia-uhinekin ere egin daitezke izpiak, laser argiaren analogoak. Laser atomiko deitzen zaie horiei.



Claude Cohen-Tannoudji Unai Ugalderekin aldamenean, “Albert Einstein Annus Mirabilis 2005” biltzarraren irekiera-ekitaldian.

**Zertarako erabil daitezke laser atomikoak?**

Materia-uhin horiekin optika egin daiteke: litografia, laser atomikoak, girometro atomikoak... aplikazio posible asko daude.

**Nabarmen da ikerketa gustuko duzuna, baina, aldi berean, irakasle lanean ere jardun duzu. Zer duzu nahiago?**

Bi jarduerak erabat lotuta ikusten ditut nik. Izan ere, gai bat irakasteko, sakon aztertu behar da: zerbait irakasteko are gehiago ulertu behar da. Eta hori oso baliagarria da ikerketarako.

Beste aldera, ikerketan jardun gabe irakatsiz gero, urte batzuen buruan zaharkitua geratzeko arriskua dago. Eta ezertarako ez du balio ikertzeak ez baduzu transmititzen. Beraz, jarduera bateratu bat da funtsean. Frantzian *enseignant chercheur* deitzen diogu: irakasle eta ikertzaile aldi berean.

Joan den urtera arte, Còllege de France-n irakasle izan naiz. Oso instituzio berezia da Còllege de France: urtero ikasgai desberdina irakasten du irakasle bakoitzak. Eta ez dago ikaslerik, edonor joan daiteke, ez dute titulurik ematen, ez dago matrikulatu beharrik... Hala, interesa daukan jendea bakarrik joaten da klasera.

Beraz, urtero zerbait berria irakastera behartuta nago, nolabait. Erronka handia da hori, baina lanerako akuilua ere bai. Niri izugarri lagundu dit, etengabe ikasi beharra dudalako; eta hori ikerketarako ere akuilua da. Horregatik guztiatik uste dut irakaskuntza eta ikerketa sendo lotuta daudela. □