

# Kuantua jaio zenetik ehun urte: zorionak, Planck

Guillermo Roa Zubia

Elhuyar

**Mendearen bukaera dela eta, atzera begiratzeko une aproposa dirudi. Hala ere, fisikariek badute beste aitzaki bat ospakizunak egiteko. Ehun urte dira kuantuaren ate berria ireki zitzaientik. 1900eko abenduan esperimentu simple bati azalpena bilatu nahian, Max Planck alemanak ideia xeble bat argitaratu zuen. Ez zuen oso espektakularra ematen, baina denon bizimodua aldatu zuen betiko.**



ARTXIBOKOA

GAURKO GIZARTEAN, FISIKA KUANTIKOARI 'ZAILA' ETA 'ASPERGARRIA' hitzak maiz erantsi zaizkio. Baina, fisika gogoko dugunontzat jaio zen garai horretako gertaera-segida zirraragarria suertatzen da. XIX. mendeko azken hamarkadan eta XX.eko lehen hogeita hamabost urteetan (nola-bait mugatzeagatik) fisikaren izugarritzko eta bat-bateko garapena gertatu zen.

Kuantuaren aurkikuntzaren historia aztertzeke, lehenik eta behin, atzera begiratu behar da. 1801ean Tomas Young

fisikari ingelesak argia zer den hobeto ulertu nahi izan zuen. Ordura arte, Newton-ek esanda, gehiengoak argia partikula txikiez osatuta zegoela uste zuen. Baina Young-ek bi zirrikitutatik argia pasarazi zuen eta ur gaineko uhinak bezala difraktatu egiten zela ikusi zuen. Beraz, ondorioztatu zuen Young-ek, argia uhina da. Young-en teoria XIX. mendean nagusi izan zen. Orain badakigu, bai Newton-ek eta bai Young-ek, biek zutela arrazoia.

## Max Planck

XIX. mendearen bukaeran fisika oso aurreratuta zegoen. Izan ere, Newton-en teoriak azaltzen ez zituzten esperimenduak egiten ziren. X izpiak (William Konrad Roetgen, 1895) eta erradiazioa (Antoine Henry Becquerel, 1896) aurkitu berri zituzten. Marie Curie-k, bere senarrarekin batera, torioa eta polonioa aurkitu zituen. Europako zientzialariak ezinegon batean zeuden.

Urte haietan, Gustav Robert Kirchhoff fisikari prusiarrak definitutako 'gorputz beltzaren erradiazioa' fisikari buru-hausgarri bihurtu zen. Gorputz beltza erradiaziorik islatzen ez duen (ezta argia ere) solido ideala da. Iristen zaion guztia xurgatzen du. Halako solidoa berotuz gero, tenperaturaren arabera erradiazioa igortzen du. Altzairu-puskek ere horrela jokatzen dute, adibidez. Tenperatura jakin batean jarrita, gorputzak argi gorria ematen du. Zerbait gehiago berotuta, argi horia. Gehiago berotuta, argi urdinxka eta abar. Tenperatura handitzean, igorritako erradiazioaren uhin-luzera txikiagoa da. Hala ere, ez da koloreen nahasketarik gertatzen. Zergatik?

Max Planck zientzialari trebea zen. Hogeita bat urte zituela doktoratu zen (Albert Einstein jaio zen urte berean). Kirchhoff-en ikaslea izan arren, Rudolf



Max Planck. Gorputz beltzaren azalpena emateko kuantuak definitu zituen.

ARTXIBOKOA

Claussius-en idatziak hartu zituen erreferentziatza. Termodinamikako teorietan jantzia zegoen eta gorputz beltzaren erradiazioa azaltzen saiatu zen. 1900eko urrian oso nahaspilatuta zebilen. Ordu-ra arte ezagutzen zen fisika ez zuen azalpenik eskaintzen.

la etsita, burutazio xeble bat proposatu eta abenduaren 14an argitaratu zuen. Idatzi horretan, erradiazio baten energia eta uhin-luzera lotzen zituen formula plazaratu zuen. Erradiazio elektromagnetikoa (argia, adibidez) energia zehatza duten partikulez osatuta zegoen. Planck-ek *kuantu* deitu zion erradiazio-unitateari eta energia kuantu-kopuru osoetan xurgatu edo igor daitekeela proposatu zuen. Bere teoriak gehiegizko berrikuntza zekarren eta ez zen berehala onartu.

### Planck: zorigaitzaren begirada

1918. urtean Nobel Saria jaso zuen Max Planck fisikariak oso bizimodu tristea izan zuen. Hogeita bi urtez ezkontuta egon ondoren, Marie Merck bere emaztea 1909. urtean hil zen eta hurrengo urtean Marga von Hoesslin-ekin ezkondu zen. Seme bat, Karl, Lehen Mundu Gerran Verdun-en hil zen. Beste bi alaba, Margarete eta Emma, erditzean hil ziren. Bigarren Mundu Gerra oso garai txarra izan zen berarentzat. Seme bat harrapatu eta hil egin zuten, Hitler-en aurkako atentatu batean parte hartzeagatik. 1944an Planck-en etxea bonbardaketa batek erabat suntsitu zuen. Gerra bukatuta, estatubatuarrek Gottingen-era eraman zuten. Bertan hil zen 1947an.

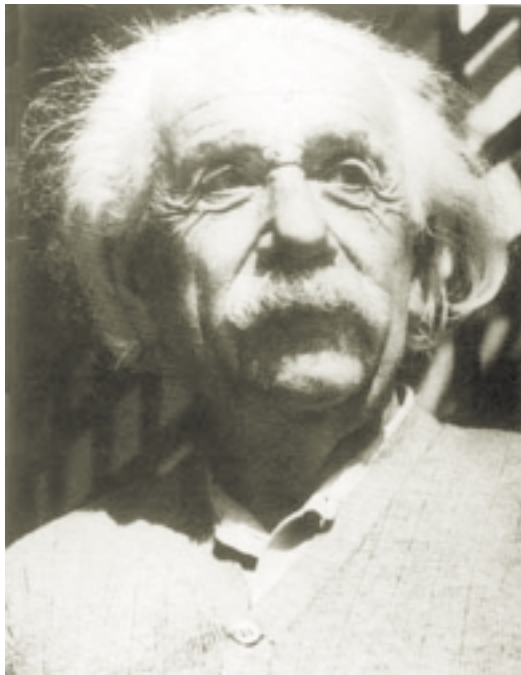


ARTXIBOKOA

## Albert Einstein

Kuantuaren kontzeptua jaio zenean Albert Einstein gaztea Zuricheko ETH (Eidgenossische Technische Hochschule) Unibertsitatean lanpostua lortu ezinean zebilen. 1902an lagun baten aitak patenteetako bulegoan lan egiteko aukera eman zion. Zazpi urtez ekin zion lan horri, baina aisialdian doktoretza-ikasketak egiteko beta izan zuen. ➔

Albert Einstein-ek erlatibitatearen eta Fisika kuantikoaren sorreretan parte hartu zuen.



ARTXIBOKOA

1905. urteko Fisikako Nobel Saria Philipp Lenard fisikari alemanari eman zitzaion. Lenard-en behaketak oso interesgarriak ziren. Argi-izpiek metal baten azala erasotzen dutenean elektroiak aterazten dituzte. Fenomeno horri *efektu fotoelektriko* deritzo. Oso bitxia zen. Argi urdinak eragindako elektroiak, esate baterako, argi gorriak eragindakoak baino azkarrago mugitzen ziren. Gainera, elkarrekintza ahulez lotutako elektroiak dituzten atomoetan (zesioan, adibidez) ia edozein argi-motak saltoa eragiten du. Sendoago lotutako elektroiak (kobaltoarenak, adibidez), ordea, argi gorriak ezin ditu atera.

Urte berean, hain zuzen ere, Einstein-ek efektu fotoelektrikoaren azalpena eman zuen. Horretarako, kuantuen teoriarin oinarritu behar izan zuen. Argi urdinak gorriak baino uhin-luzera txikiagoa du

*“Einstein-ek efektu fotoelektrikoaren azalpena emateko, kuantuen teoriarin oinarritu behar izan zuen”*

eta, beraz, Planck-en teoriaren arabera, energia askoz handiagoa. Izan ere, indar handiz lotutako elektroiak ezin dira uhin-luzera handiko erradiazioez askatu. Energia asko behar dute. Garrantzitsuagoa, oraindik: Einstein-en hipotesiaren arabera, fotoiak (argiaren osagaiak) aldi berean partikulak eta uhinak dira. Efektu fotoelektrikoan, adibidez, talka egiten duten partikula bezala jokatu dute, baina Young-en esperimenduan, aldiz, uhin-izaera nabarmena dute. Hamar bat urte pasa ziren fisikariek ondorio horiek onartu arte.

Zientzialari harrigarri horren lana ez zen urte horretan hori bukatu. Efektu fotoelektrikoa azaltzeaz gain, 1905ean Einstein-ek erlatibitatearen teoria berezia plazaratu zuen. Lan horiek doktoretza-lana izan ziren. Gainera, aipatu beharrekoa da 1921eko Fisikako Nobel Saria eman zitzaioala; baina ez erlatibitatearen teoriarengatik, efektu fotoelektrikoaren azalpenarengatik baizik. Paradoxa ederra, baina esanahi fisikoaren ondoan, anekdota hutsa.

Lan hori kuantuaren teoriari esker garatutako adar berriaren oinarria izan zen; fisika kuantikoa, alegia. Einstein-en ekarpena fisika kuantikoaren benetako abiapuntutzat hartzen da, Planck-ek kuantuaren kontzeptu soila ekarri baitzuen. Gerora, Planck-en eta Einstein-en lanetatik abiatuta, beste fisikari askok erotzeko moduko interpretazioa eman

## **Etxerako kuantuak**

Atomoaren eredu berriaz kimikako esperimenduak azal zitezkeen. Teoria kuantikoa filosofikoki oso 'maltzurra' da, baina azken hiru-urteetan ez da teoriari iragartzen zuenaren aurkako esperimendurik ezagutu. Gainera, jende arruntaren bizimodua aldatu zuten aplikazioak segituan garatu ziren.

Garrantzitsuena, agian, 1947an Bell laborategietan asmatutako transistorea zen (Planck hil zen urte berean). Erdierdaleen geruzaz osatutako gailu horrek korrante elektriko kontrolatu eta anplifikatu egin dezake. John Bardeen, Walter H. Brattain eta William Shockley fisikari estatubatuarrek asmatu zuten. Asmakizun horrengatik Fisikako Nobel Saria jaso zuten 1956an.

(Bardeen-ek, gainera, bigarren Nobel Sari bat jaso zuen 1972an supereroankortasunari buruzko ikerketengatik). Transistoreak elektronikaren oinarria dira eta, beraz, informatikarena.

Baina teoria kuantikoak beste aplikazio aipagarri batzuk ere eman ditu. Tunel-efektuko mikroskopioak, adibidez, fenomeno kuantiko ospetsu baten bidez (tunel-efektua, hain zuzen) atomoak ikusi eta manipulatzeko aukera eskaintzen digu (ikus *Elhuyar Zientzia eta Teknika*, 2000ko azaroko alea, 32 or.). Gailu hori laster ohikoa izango den nanoteknologia sortzeko oinarritzko lan-tresna da. Bestetik, ezin da ahaztu laserren printzipio fisiko mekanika kuantiko hutsa dela.

zioten fisika kuantikoari, Planck eta Einstein izutzeko modukoa. Izan ere, azkenak bizi osoa eman zuen interpretazio horren akatsak bilatzen.

## Niels Bohr

Kuantuaren teoriari norabide berria eman zienen arteko izenik aipagarriena Niels Bohr da. Fisikari daniarra horren ekarpenak kimikari ere astindua eman zion. Erradiazioari aplikatzen zitzaion teoria atomoei aplikatu zien. Bere ustez, atomoen elektroiek ezin zuten edozein energia izan. Nukleoaren inguruan hainbat orbita zehaztuta mugitzen ziren eta



Partikula guztiek uhin-izaera dute.

orbita bakoitzak energia-maila zehatza zeukan. Atomoari Bohr-ek eredu planetarioa aplikatu zion. Ondorioz, elektroia nukleotik zenbat eta gertuago egon, gero eta energia gehiago behar da handik aterarazteko.

Teoria atomoaren partikula guztietan aplika daitekeela aurkitu zen. Horrek ondorio latza ekarri zuen: Maxwell-en elektromagnetismoaren formulak eta Newton-en mekanika klasikoa ez ziren tamaina horretako sistemetan aplikagarriak. Louis de Broglie-ren teoriak fotoien aldi bereko partikula- eta uhina-izaera elektroiarentara hedatu zuten. 1927. urtean

Clinton Davisson-en esperimentuek ideia hori baieztatu zuten. Bohr-en eta de Broglie-ren eskutik, kuantifikazioa materiari aplikatzen zitzaion eta ez argiari bakarrik. Gure maila makroskopikotik uler daitekeenaren muga gainditu zen.

Hala ere, Bohr-en ereduak elektroien baxerako atomoak besterik ez zituen azaltzen. Kuantuak beste bultzada teoriko baten beharrez zeuden. Bohr-ek berak fisika kuantikoaren interpretazio orokorra aurkitu zuela uste zuen. *Kopenhageko interpretazioa* bezala ezagutzen da eta oso arrakastatsua izan zen handik aurrerako fisikan. Hurrengo urteetan izugarritzko lana egin zen eta beste fisikari askoren ekarpenek eredu hobetu egin zuten. Adibidez, 20ko hamarkadaren erdialdera Erwin Schrodinger eta Werner Heisenberg fisikariek de Broglie-ren teoriari eutsi zioten eta mekanika kuantikoa garatu zuten.

“Niels Bohr-ek erradiazioari aplikatzen zitzaion teoria atomoei aplikatu zien”

Mekanika berria probabilitate-analisan oinarritu zen. Einstein eta Planck erabat izututa zeuden. Fisikari gazte horiek guztiak uhinen mekanika ero moduan erabiltzen hasi ziren eta lan horren ondorioak oso zailak ziren onartzen.

Bohr-en eredu atomikotik abiatuta elektroien orbitalen kontzeptua garatu zen.



Niels Bohr.

Hain zuzen ere, kuantuaren asmatzaile biek ez zuten inoiz onartu. Heisenberg-ek ondorioztatu zuen ziurgabetasunaren printzipioaren arabera, elektroiek (eta beste partikula guztiek) ezin dute kokapena eta abiadura batera izan. Izan ere, Bohr-ek hasieran proposatutako orbitak baztertu ziren eta orbitaletaz hitz egiten hasi zen, hau da, elektroia aurkitzeko probabilitate handiko guneez. Beste era batean esanda, ezin da elektroien baten jokoera iragarri esperimentua gertatu arte. Bi elektroiek ez dute jokoa berdina izango, nahiz eta baldintza berdinetan esperimentua gertatu. Aldiz, elektroien multzoen jokoera kalkulatu daitekeen probabilitatera doitzen dira. Einstein-ek ez zuen halakorik inoiz sinetsi. «Jainkoak» esan zuen «ez du dadotan jokatzeko».

