

Albert Einstein

Annus Mirabilis 2005

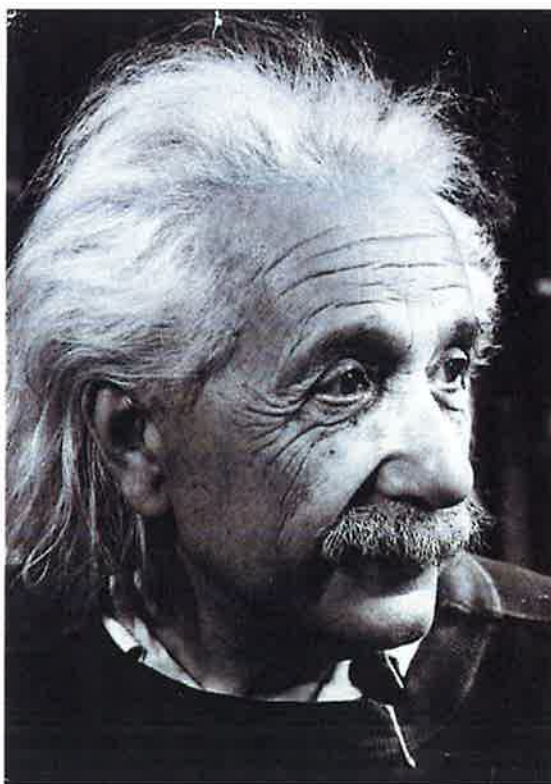
Nagore Rementeria Argote

Elhuyar Zientziaren Komunikazioa

Aurten ehun urte dira Albert Einstein gazteak bost artikulu garrantzitsu argitaratu zituela. Hori dela eta, 2005a Fisikaren Urtea izendatu dute mundu osoan, eta Einstein da protagonista. Aitzakia paregabea fisikari bikain honen bizitza eta lana ezagutzeko.

NORK EZ DU EZAGUTZEN ALBERT EINSTEIN? Jenio erdieroaren ikono gisa bederen mundu osoan da ezaguna. Baina irudi horren atzean gizon bat zegoen: neurrigabea eta zabar samarra eguneroko bizitzan, baina aparta zientzialari gisara, apartarik izan bada.

Ulm-en jaio zen, Alemanian, 1879an. Eta, jakina denez, ez zen ikasle ona izan. Antza denez, fisikan eta matematikan iaioa zen, baina gainerako ikasgaietan ez zuen arretarik jartzen, eta diziplina-arazoak ere izan zituen eskola-garaian. Nola edo hala ikasketak bukatu zituen, baina lana lortzeko osaba baten laguntza behar izan zuen; hala, Bernako patenteen bulegoan hasi zen lanean, Suitzan.



Albert Einstein
(1879-1955).

Bulegoko lana baino nahiago zituen fisikaren gaineko gogoetak; eta, diotenez, bere burua argi-izpi baten gainean zihoala irudikatzen omen zuen gazte-gaztetatik. Izugarrizko jakin-mina pizten zion abiadura horretan gauzak nola ikusiko ziren pentsatzeak. Jakin-min horrek berak eraman zuen aurkikuntzak egitera. Albert Einsteinek berak aitortu zuenez, jakintzak baino gehiago irudimenak bultzatuta egiten zuen lan.

Bada gizon hark ezarri zituen gaur egungo fisikaren oinarri asko. Eta lan horretan 1905a izan zen urte oparoena:

Einsteinek bost artikulu argitaratu zituen. Bost artikulu garrantzitsu, gainera. Horietako batean, hain zuzen, plazaratu zuen *Erlatibitatearen teoria berezia*. 1907 eta 1915 artean garatu egin zuen lan hura eta emaitza 1916an argitaratu zuen *Erlatibitatearen teoria orokorra* izenarekin.

Lan haren guztiaren sorrera 1905eko artikuluan zegoen. Orduan, Einsteinek 26 urte besterik ez zuen, eta zientzialarien giroan zeharo ezezaguna zen. Hala ere, bost lan orijinal eta berritzaile idatzi eta *Annalen der Physik* fisika-

-aldizkarian argitaratu zizkioten. Lan haietan efektu fotoelektrikoa, mugimendu browndarra, argiaren teoria korpuskularra, molekulen tamaina eta sistema inertzialak landu zituen. Sistema inertzialen azterketaren ondorioa zen erlatibitatearen teoria berezia, hain zuzen ere.

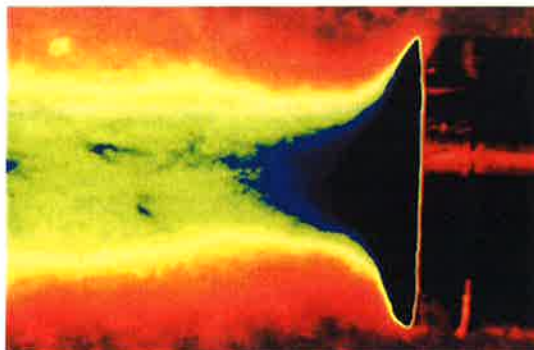
Lan horietako bakoitza nahikoa izango zen Einstein fisikari handien artean sartzeko; eta, lan guztiak kontuan izanda, fisikari gorenen taldean sartu zen, Newtonen eta Arkimedesen antzera.

Dena dela, Nobel Fundazioak ez zituen lan horiek guztiak saritu; izan ere, sari bakarra jaso zuen (1921ean) eta ez zen erlatibitatearen teoriarengatik izan, efektu dielektrikoari zegokion lanarengatik baizik.

Hasiera batean, Einstein ez zen ohartu bere lanek izan zitzaizkiren aplikazio praktikoez. Baina bazituzten. Bonba atomikoa bera ere haren teorian oinarrituta diseinatu zuten. Aitzitik, aplikazio guztiak ez dira kaltegarriak izan; esate baterako, espazioko bidaiak eta materiaren azterketa ere Einsteinen aurkikuntzetan oinarritzen dira.

Einstein Kursoalen

Ageri denez, Einstein bera eta haren lana edonoren jakin-mina pizteko modukoak dira. Eta jakin-nahi hori asetzeko aukera izango da aurtan. Izan ere, munduko beste hainbat tokitan bezalaxe, Euskal Herrian ere ez dira faltako fisikari handi haren gaineko jardunaldiak. Irailean, Donostiako International Physics Center-ek antolatuta,



Einsteinek iraultza ekarri zuen zientziaren arlo askotara.

K. S. SUSLUK & K. J. KOLBECK


hamaika kontu izango da: fisika-arloan egunean jartzeko aukera izango da batetik, eta, bestetik, Einstein kaleko jendearengana gerturatuko da, mundu guztiari zabaldutako hitzaldiak ere izango baitira —aurrez izena eman besterik ez da egin behar, maiatzaren 31 baino lehen—.

“munduko hainbat tokitan bezalaxe, Euskal Herrian ere ez dira faltako fisikari handi haren gaineko jardunaldiak”

Jardunaldi horiek guztiak Donostiako Kursaal kongresu-jauregian izango dira irailaren 5etik 8ra. Eta hizlari-lanean oso fisikari interesgarriak izango dira: Gerald Holton eta John Stachel biografoak; eta sei Nobel saridun: Heinrich Rohrer, Claude Cohen-Tannoudji, Dudley Hershbach, Jean-Marie Lehn, Sheldon Glashow eta

Antony Hewish. Aukera aparta izango da maila horretako ikertzaileak Einsteini buruz gogoeta egiten entzuteko, egunerokotik hain urrun dirudien Einsteinen fisika era samurrean azaldua, gainera.

Beste askoren artean, gai hauek jorratuko dira: Einstein eta denbora; unitertsoaren jatorria eta bilakaera; zulo beltzak; materia eta forma; erlatibitate, fotoiak eta partikulak... Baina oso bestelako hitzaldiak ere izango dira, hala nola, Einstein eta XX. mendeko filosofia lotzen dituen bat, edo Einstein eta Picassoren sormena alderatzen dituen beste bat.

Argi dago fisika ez dela jardunaldietako protagonista bakarra izango. Gainera, Einstein hobeto ezagutu nahi bada, ezin da musika alde batera utzi. Izan ere, izugarri maite zuen musika (Mozarten lanak batez ere), eta ez entzutea soilik, baita jotzea ere; biolina jotzen zuen umoretsu zegoenean. Hori dela eta, musikak ere izango du bere lekua, eta ganbera-kontzertu bat izango da Einsteinek gogokoen zituen piezekin. Guztiok jakin dezagun: aurtan Einsteinen urtea da! 



KURSAAL FUNDAZIOA

Einstein denboraz gaindi

ARTXIBOKOA

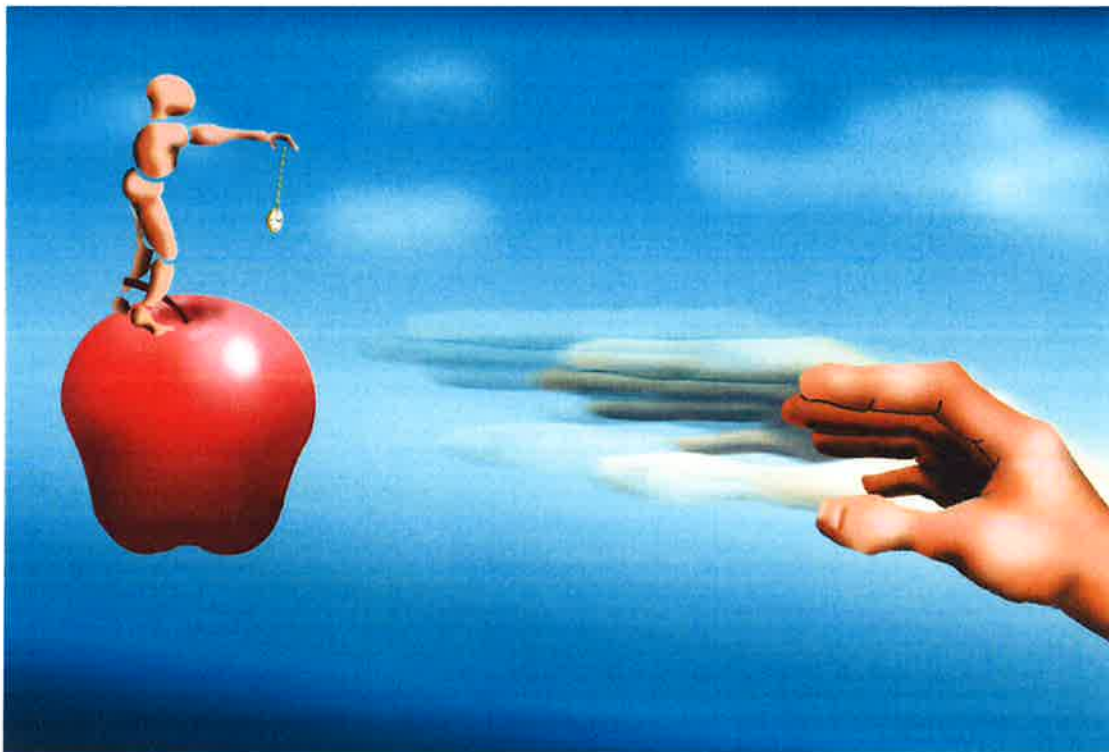
1905a oso urte berezia da fisikaren historian. Urte hartan, Albert Einstein alemaniarrek, 26 urteko gazteak, hiru ekarpen garrantzitsu egin zituen fisikaren esparruan. Alde batetik, azalpena eman zion garai hartan azalpenik ez zuen efektu fotoelektrikoari. Beste alde batetik, browndar higiduraren zergatia argitu zuen; horren bitartez frogatu zuen atomoak izan badirela. Azkenik, erlatibitatearen teoria berezia plazaratu zuen.

Hori guztia urte bakarrean. Beste ekarpen asko egin zituen, baina, zalantzarik gabe, 1905a urterik oparoena izan zen Einsteinen lanean. Aurten, ehungarren urteurrena ospatzen dute fisikariek, eta gure aldizkarian ere aparteko tokia egin nahi izan diogu fisikari ospetsuaren urte berezi hari. Hurrengo orrietako hiru artikuluetan, erlatibitatearen teoria berezia, efektu fotoelektrikoa eta Einsteinen lanak gerora izan duen garrantzia hartu dira aztergai.

Erlatibitatea, fisika azkartu zuen teoria berezia

Guillermo Roa Zubia

Elhuyar Zientziaren Komunikazioa



G. ROA

Einstein izena entzunda, ile harroko zientzialari buruzuriaz gain, erlatibitatearen teoria etortzen zaigu burura gehienoi. Erlatibitatearen teoria berezia izan zen abiapuntua: lan harekin Einsteinek mundua ikuspuntu berri batetik erakutsi zigun 1905ean. Gero, teoria hura orokortu eta beste ekarpen asko ere egin zituen. Baina iraultzaren atea lehen urratsak ireki zuen.

MATERIA ETA ENERGIA GAUZA BERA DIRA, ALBERT EINSTEINEK BERAK ESAN ZUEN. Planetak, mendiak, itsasoak, animaliak, zuhaitzak eta gu geu energia gara, materia garelako. Egia esan, Einsteinek ez zituen zehatz-mehatz hitz horiek erabili, baizik eta askoz esaldi adieraz-

gariago bat: *"It followed from the special theory of relativity that mass and energy are both but different manifestations of the same thing"*. Alegia, materia eta energia gauza beraren izaera ezberdinak direla. Eta, hitzak baino garrantzitsuagoa dena, Einsteinek formula bat utzi zigun ideia hura adierazteko: $E = mc^2$. Erlatibitatearen teoria berezian plazaratu zuen formula ospetsua.

Materia eta energia gauza bera direla adierazteaz gain, Einsteinen formulak bien arteko proportzioa zehazten du.

Azken batean, formulak esaten du materia-apur bat energia-kantitate handi baten baliokidea dela. Eta alde-rantzizkoa. Energia handia beharko litzateke materia pixka bat lortzeko, betiere bata bestea bihurtzeko modua ezagutuko bagenu. Nolabait, materia 'izoztutako' energia da, edo horrelako zerbait. Bitxia kontzeptua. Nondik atera zuen ideia hura patenteen bulego batean lan egiten zuen gazte hark?

Askotan kontatu digute inspirazio-kontua izan zela; hau da, Einstein aspertuta egongo zen lantokian, burua beste zerbaitetan izango zuen eta, jenio bat zenez, erlatibitatearen ideia 'etorri' zitzaion. Ez dago esaterik Einstein ez zela oso gazte azkarra; hala eta guztiz ere, erlatibitatearen teoria ez zitzaion, besterik gabe, 'etorri'. Buruhauste handiak izan zituen teoria hura garatzeko.

Erlatibitatearen teoria berezia, gainera, ez zen sortu ideia bakar batetik. Gu-txienez, bi printzipiotan dago oinarrituta, erlatibitate izenekoan eta argiaren abiadura konstantea izatearen ideian. Biak 1905ean argitaratu zituen, baina ez ziren bat-bateko burutazioak izan. Luze hausnartutako ideiak ziren.

Erlatibitatea bera

Agian, bi printzipioetatik erlatibitatea da ulertzeko errazena. Erlatibitatearen printzipioak esaten du sistema inertzial baten barruko lege fisikoak ez direla aldatzen sistemaren abiaduraren arabera. Hitz potoloak dira, baina erraz ulertzekoak.

Sistema inertzial deritze abiadura konstantea dutenei, azeleratzen ez direnei. Adibidez, kalean dagoen nor-bait sistema inertzial batean dago, kaleak ez baitu azeleraziorik; izan ere, geldirik dago. Lurrikara bat gertatuko balitz, azelerazioa izango luke, baina, bestela, kalea geldirik dago. Dena dela, ez da beharrezkoa sistema geldirik egotea inertziala izateko. Abiadura konstantea daraman tren bat ere sistema inertziala da.



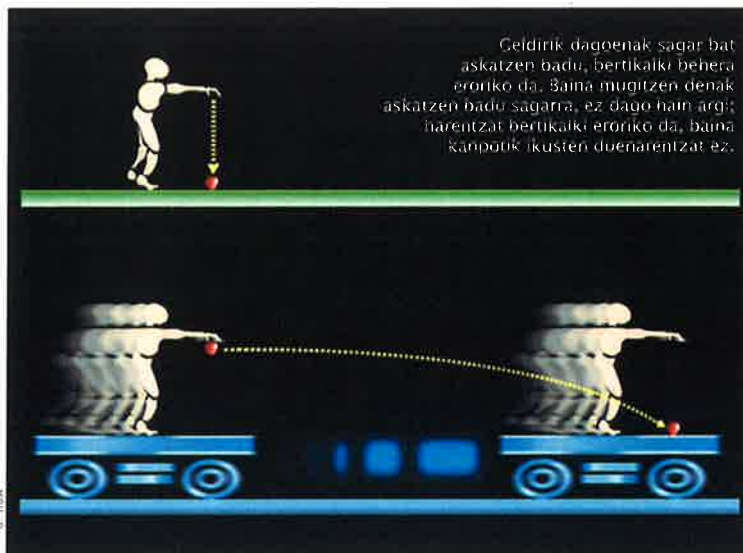
Erlatibitatearen teoriaren arabera, denbora ez da absolutua. Mugitzen den sistema batetik neurtuta, geldirik dagoen beste batetik baino mantsago igarotzen da.

*“erlatibitatearen
printzipioaren
arabera, berdin dio
kalean zauden edo
abiadura handian
mugitzen den tren
batean zoazen,
lege fisikoak
berdinak dira”*

Erlatibitatearen printzipioak dio lege fisikoak ez direla aldatzen sistema inertzial baten barruan. Berdin dio kalean zauden edo ehun kilometro orduko abiaduran mugitzen den tren batean zoazen, lege fisikoak berdinak dira.

Fisikariek maiz erabiltzen duten adibide batez erraz ikusten da. Imaginatu ehun kilometro orduko abiaduran doan trenaren barruan zaudela (harrigarria da zenbatetan erabili den trenaren adibidea erlatibitatea azaltzeko!), eta sagar bati erortzen uzten diozula (sagarra ere klasikoa da fisikako adibideetan, ezta?). Sagarra bertikalki erortzen da lurrera, geltokian zinenean erortzen utzi izan bazen bezala. Lege fisikoak ez da aldatzen. Sagarra modu berean erortzen da trenaren barruan nahiz geltokian.

Begi-bistakoa dirudi, ezta? Hori al zen erlatibitatearen ideia liluragarria? Bada, ez da hain begi-bistakoa: gertaera bera ez da berdin ikusten beste ikuspuntu batetik begiraturaz gero. Orain geltokian zaude zu, eta trena pasatzen ikusi duzu. Eta, une horretan, trenean



doan norbaitek sagarrari erortzen utzi dio. Zuk, geltokitik, ez duzu ikusiko sagarra bertikalki erortzen. Trenaren abiadura dela eta, erortzen den bitartean metro batzuk aurrera mugituko da, eta, zuzetat, sagarrak parabola bat egingo du erortzean. Goiko irudian ikusten da parabola hori.

Bi ikuspuntu horietatik, gertaera bera- ren bi bertsio jaso ditugu. Orduan, zer gertatu da benetan? Erlatibitatearen printzipioak dio ez dagoela esaterik zein den 'benetako' bertsioa eta zein ez. Biak dira benetakoak, eta ez dago egia bakarra. Egia bakarra egoteko erreferentzia absolutu bat izan beharko genuke, baina ez dago horrelakorik.

Abiadurak zehaztu ahal izateko, adibidez, geldirik dagoen erreferentzia bat beharko genuke. Baina zein? Zorua? Trenaren mugimendua aztertzeo erreferentzia ona da, baina ez da egokia, esate baterako, Ilargiarena aztertzeo. Orduan, zein? Lurra? Eguzkia? Esne-bidea? Unibertsoan ez dago ezer geldirik, eta ez dago erreferentzia absoluturik.

Argiaren abiadura

Horregatik da garrantzitsua erlatibitatearen printzipioa, erreferentzia-sistemaren mendekotasuna agerian jartzen duelako. Einstein hortik abiatu zen $E = mc^2$ formula ospetsua ondo- rioztatzeo, baina ez hortik bakarrik.

“Unibertsoan ez dago ezer geldirik, eta, beraz, ezin da erreferentziarik hartu abiadura absolutuak zehaztu ahal izateko”

Bigarren printzipio bat ere erabili zuten: argiaren abiadura absolutua dela, hain zuzen. Absolutu hitzak adierazten du, erreferentzia edozein izanik ere, beti dela berdina. Zaila da hori ulertzen. Ez dator bat senak esaten digunarekin, eta horregatik egiten zaigu hain zaila ulertzen. Izan ere, argiaren abiadura neurtze hutsa oso arrotza egiten zaigu, oso kontu zaharra den arren.

Einstein jaio zenerako, zientzialariek ederki neurtuta zuten argiaren abiadura. 1676an, Ole Römer daniarrak esan zuen argiak 225.000 kilometro egiten dituela segundo batean. Neurketa ona zen; ez dago oso urruti gaur onartzen den baliotik (gaur onartzen dugun zenbakia 299.793 kilometro segundoko da, 300.000 kilometro segundoko, biri- bilduz gero).

Zenbakia gutxienekoa da. Abiadura hori neurtu izanak esan nahi du onartu egin zutela argia ez dela bat-batean leku guztietan batera agertzen, baizik eta mugitu egiten dela. Eta, horregatik, abiadura bat du.

Ustez, argiaren abiadurak eta beste edozein abiadurak modu berean jo- katu beharko lukete, baina ez da hori

Fisioa, erlatibitatearen alaba

Materia eta energia gauza bera dira. Hori dio erlatibitatearen teoriak. Jakingo bagenu masa nola bihurtu energia, iturri agortezina izango genuke. Baina ez dugu ezagutzen prozesu hori. Ez gara gauza materiak gordetzen duen energia guztia 'erauzteko'. Bonba atomikoa eta beste erreazio nuklearrak dira orain arteko hurbilketarik onenak.

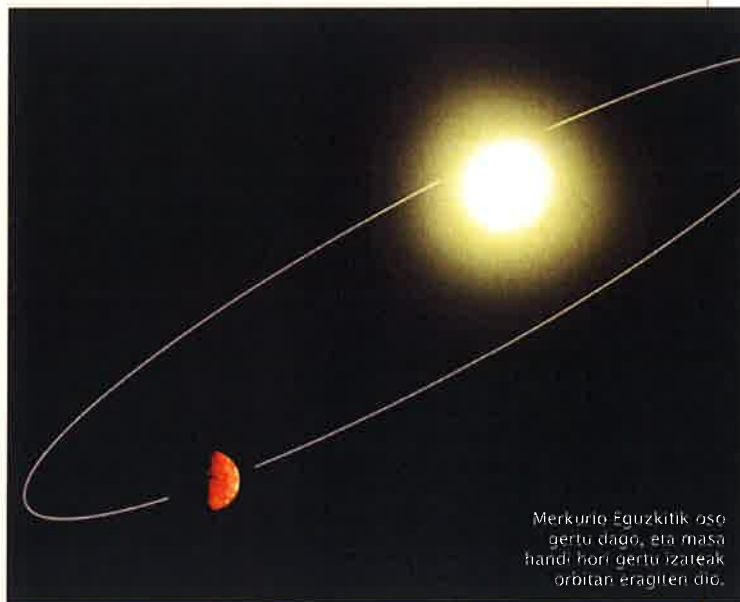


Erreakzio horietan, partikula gutxi batzuk bihurtzen dira energia, apur- tzen den uranio-nukleo bakoitzeko oso masa txikia, eta sekulako energia- piloa askatzen du prozesu horrek. Bonba atomiko bat egiteko adinakoa. Pentsa nolakoa izango litzatekeen bonba uranio-atomoak osorik bihurtuko balira energia. Uranio-235 isoto- poak dituen 92 protoiak, 92 elektroiak eta 143 neutroiak energia bihurtuko balira, gaur egun ez zen Hiroshimari- k izango. Eta, beharbada, zentral nuklear batek planeta osorako adina energia emango luke.

Erlatibitatearen teoria orokorra

Erlatibitateari dagokionez, Einstein ez zen geratu 1905ean argitaratutako ideietan. Azken batean, ideia haiek abiadura konstanteko sistemen fisika bakarrik azaltzen zuten. 1916an, orokortu egin zuen teoria, eta, besteak beste, grabitatearen jatorria azaldu zuen. Masa handiek espazioa eta denbora desitxuratu dutela azaldu zuen, eta grabitatea horren ondorio bat dela. Zenbat eta masa handiagoa izan, orduan eta gehiago desitxuratu ditu espazioa eta denbora, eta orduan eta grabitate-eremu handiagoa sortzen du inguruan.

Merkurio planetaren orbita teoria horrekin ulertzen da. Orbita arraroa da, ez da elipse hutsa. Baina Einsteinek azaldu zuen Eguzkiaren eraginez gertatzen zela hori. Eguzkiak masa handia du, eta Merkurio oso gertu dago. Halaber, antzematen dira han Erlatibitate orokorraren ondorioak.



Merkurio Eguzkitik oso gertu dago, eta masa handi hori gertu izateak orbitan eragiten dio.

gertatzen. Trena eta geltokia erabiltzen dituzte fisikariek hori azaltzeko, nola ez, eta, oraingoan, geltokian dagoen pertsonak eskuargi bat dauka. Pizten badu, argia zitzu bizian hedatzen da, 300.000 kilometro segundoko abiaduran. Horrekin ez dago arazorik. Arazoa sortzen da, ordea, mugitzen ari den trenetik neurtzen bada abiadura hori.

Trena 200.000 kilometro segundoko abiaduran baldin bada, argiaren abiadurak 100.000koa izan beharko luke trenaren noranzko berean, baina ez da hori neurketaren emaitza; estaziotik nahiz trenetik neurtuta, argiaren abiadura 300.000 kilometro segundokoa da.

zuzen ere, 'desagertu' egingo litzateke. Orduan, zergatik ez dugu guk horrelakorik hautematen? Bada, besterik gabe, mantsoegi mugitzen garelako. Espazio-ontzirik azkarrena ere mantsoegia da konpresiorik nabaritzeko. Izan ere, % 1eko konpresioa nabaritzeko, 42.300 kilometro segundoko abiaduran mugitu beharko litzateke, hau da, 152 milioi kilometro orduko abiaduran. Zalantzarik gabe, gaurko teknologiak ezin dio horrelako abiadurarik eragin ontzi bati.

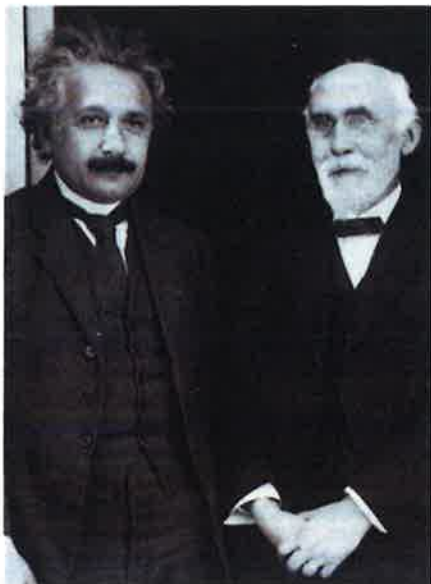
Gure adibidean trena dago konprimatuta, baina barrukoak ez dira horretaz jabetzen. Dena dela, konpresioaren eraginez, 300.000 kilometro segundoko emaitza lortzen dute neurtzean. Edozein erreferentzia-sistematatik neurtuta, argiaren abiadura bera da.

“argiaren abiadura hirurehun mila kilometro segundokoa da, neurtzeko garaian erreferentzia-sistema edozein izanda ere”

Nola liteke hori? Kontua da abiadurak hainbat faktore aldatzen dituela. Horietako bat mugitzen ari den objektuaren luzera da, trenarena, gure adibidean. Abiadura izate hutsagatik, konprimatu egiten da trena mugimenduaren norabidean. Eta, zenbat eta azkarrago mugitu, orduan eta gehiago konprimatzen da. Argiaren abiaduran, hain

Aurrekariak

Abiadurak konpresioa eragiten duela ez da Einsteinen ideia. Bakoitzak bere aldetik, FitzGerald irlandarrak eta Lorentz nederlandarrak proposatu zuten hori, eta konpresioa kalkulatzeko formulak plazaratu zituzten. Kontzeptu berria eta ausarta zen, baina ederki



Einstein eta Hendrik Antoon Lorentz nederlandarra (erlatibitatearen teoriaren aurrekarietako bat).

azaltzen zuen fisikari estatubatuar biren esperimentu ospetsu bat: Michelson-ek eta Morley-k argiaren abiadura neurtu zuten Lurraren mugimendua kontuan hartuta. Haien ustez, Lurra mugitzen ari denez, argiaren abiadurak ezin zuen berdina izan mugimenduaren norabidean eta norabide horrekiko perpendikularrean. Baina, neurtu zuten guztietan, argiak abiadura bera zuen. Esperimentuak erabateko porrota zirudien, baina luzera begira oso porrot baliagarria izan zen; batzuen ustez, zientziaren historiako porrotik oparoena (agian, gehiegi esatea da). Hain zuzen ere, FitzGerald eta Lorentz porrot horretatik abiatu ziren abiadurak konpresioa eragiten duela proposatzeko.

Eta Einsteinek uste eta kalkulu haiek guztiak jaso eta orokortu egin zituen, argiaren abiadura absolutua dela oinarritzat hartuta. Lorentzek uste zuen abiadurarekin masa handitu egiten dela partikula kargadunen kasuan;



Argia azkar ibiltzen da gure mundu mantso honetan. Zer gertatuko litzateke gu askoz azkarrago mugituko bagina? Ezer ez. Berdin-berdin ikusiko gure argia.



CERNeK Genevan duen azeleragailua hiriaren azpian dago. Han egindako esperimentuetan, kontuan hartu behar da erlatibitatearen teoria, partikulak oso abiadura handian mugitzen baitira.

“argia ez da erlatiboa, horixe da teoriaren oinarrietako bat; paradoxa dirudi, baina ez du benetako paradoxarik sortzen”

Einsteinen ustez, edozein materia-motatan handitzen da masa abiadurarekin, ez partikula kargadunetan bakarrik. Gainera, denbora ere ez zen absolutua, baizik eta erreferentziaren arabera; hau da, abiadura handian mugitzen den erloju batean denbora mantsotu egiten da. Horrek ondorio harrigarri bat dauka: aldi bereko gertaerak ez direla nahitaez aldi berean gertatzen abiadura ezberdineko erreferentzia-sistema batetik ikusita. Horrek eragin handia dauka behaketa astronomikoan, esate baterako.

Hortik aurrera, $E = mc^2$ formularainoko bidea eragiketa matematikoen eta oinarritzko fisikaren eremuan gertatzen da (erraza da esaten, baina egin egin behar da). Lorentzen formulatik abiatuta, eta argiaren abiadura absolutua dela kontuan hartuta, masaren eta energia zinetikoaren arteko lotura ondorioztatu zuen Einsteinek. Formula hura izugarri ospetsua egin da, baina formularen esanahia ez hainbeste.

Materia eta energia gauza bera direla, alegia. Eta zer? Erlatibitatearen teoria bereziak burutazio teoriko huts baten itxura du, baina bomba atomikoaren oinarria da, eta, hori bai, hori benetakoa.

Fisika berria

Erlatibitatearen teoria bereziko ideia horiek ez dira erraz ulertzen, besteak beste, oso bizimodu mantsoan murgilduta bizi garelako. Ez gara abiadura handian mugitzen, eta, argia bera izan ezik, ez dugu ikusten abiadura handian mugitzen den ezer.

Bestela, begi-bistakoa izango litzateke argiaren abiadura absolutua dela, ez dela erreferentzia-puntuaren arabera. Ez dela erlatiboa. Eta horixe da erlatibitatearen teoriaren oinarrietako bat. Paradoxa dirudi, baina ez du benetako paradoxarik sortzen.

Nolanahi ere, teoria hark ospe handia hartu zuen: ulertzeko zaila zen, konplexua eta, batez ere, alferrikakoa. Zertarako balio du hain azkar mugitzen denari buruzko teoriak, gure inguruan ezer ez bada hain azkar mugitzen? Egon. Elektroiak, protoiak eta beste partikula asko azkar mugitzen dira. Oso azkar. Eta elektrizitatea elektroien mugimendua da; eta partikulen azeleragailuetan gertatzen den guztia ulertzeko ere erlatibitatea hartu behar da kontuan. Ez da gai hutsala. Izan ere, fisika aldatu zuen erlatibitateak, eta, fisikarekin batera, teknologia. ■

Einsteinek argiarekin talka egin zuenekoa

Irati Kortabitarte Egiguren

Elhuyar Zientziaren Komunikazioa



Fisika kuantikoari maiz erantsi zaizkio zaila, ulertezina eta aspergarria izenondoak. Baina, segur aski, askok eta askok ez dute jakingo zer ezkutatzen den horren guztiaren atzean. Einstein maisu handia da fisika kuantiko horren 'errudun', hein handi batean. Izan ere, bultzada handia eman zion fisika kuantikoari, efektu fotoelektrikoaren bitartez. Efektu fotoelektrikoa, hitz potoloa, benetan.

1905EAN, EINSTEINEK EFEKTU FOTOELEKTRIKOAREN AZALPENA EMAN ZUEN. Horretarako, kuantuen teorian oinarritu behar izan zuen. Kuantuaren aurkuntzaren historia aztertzeke, lehenik eta behin, atzera begiratu behar da. Argiaren izaeraren eztabaida aztertu behar da, hain zuzen ere.

1801ean Tomas Young fisikari ingelesak argia zer den hobeto ulertu nahi izan zuen. Ordura arte, Newton-ek esanda, argia partikula txikiz osatua zegoela uste zuen. Baina Youngek

argia bi zirrikitutatik pasarazi zuen, eta, ur gaineko uhinak bezala, difraktatu egiten zela ikusi zuen. Beraz, argia uhina dela ondorioztatu zuen. Einsteinek bie eman zien arrazoia efektu fotoelektrikoa azaldu zuenean.

Efektu fotoelektrikoa

Efektu bitxia da. Argi-izpiek metal baten azala jotzen dutenean, elektroiak aterarazten dituzte. Hori da efektu fotoelektrikoa. Gainera, emaitza aldatu egiten da izpien kolorearen arabera.

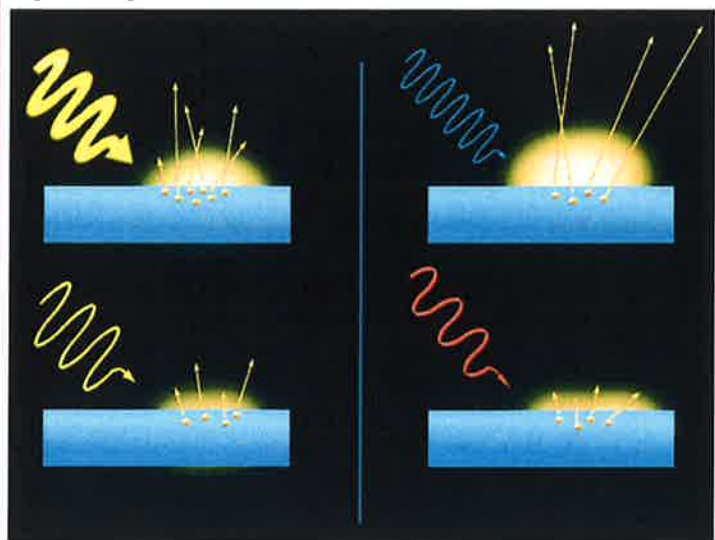
Argi urdinak askatutako elektroiak argi gorriak askatutakoak baino azkarrago mugitzen dira. Izan ere, zenbat eta handiagoa izan argi-izpiaren energia (argi urdinarena handiagoa da gorriarena baino), orduan eta azkarrago mugitzen dira elektroiak. Bestalde, metaletik askatzen den elektroikopurua argiaren intentsitatearen arabera da; zenbat eta intentsitate handiagoa argia, orduan eta elektroikopuru handiagoa. Dena den, argiak ez du elektroirik askatzen energia minimo bat izan ezean.

Einstein Plancken teoriatik abiatu zen. Teoria hark kontuan hartzen du argia uhina dela, uhin horrek maiztasun bat duela, eta maiztasuna energiarekiko proportzionala dela.

Olatuena adibide erraza da. Olatu baten eta hurrengoaren arteko denbora-tartea da maiztasuna; tartea zenbat eta handiagoa, orduan eta txikiagoa maiztasuna. Argira itzuliz, argi gorriak urdinak baino maiztasun txikiagoa du, eta, beraz, Plancken teoriaren arabera, energia askoz txikiagoa. Izan ere, indar handiz lotutako elektroiak ezin dira maiztasun txikiko erradiazioez askatu. Energia handia behar dute.

Hala, 1905ean, efektu fotoelektrikoaren azalpen zehatza eman zuen. Askatzen diren elektroiek energia-maila jakin batzuk dituztela onartuta —Planckek hala esanda—, Albert Einstein gazteak proposatu zuen erradiazioarekin ere gauza bera gertatzen dela. Einstein konturatu zen bi energia horiek lotuta daudela efektu fotoelektrikoan, eta, ondorioz, talka bi partikularen arteko talka gisa interpretatu behar dela; hots,

Efektu fotoelektrikoaren eskema



Ikus daitekeenez, zenbat eta intentsitate handiagokoa izan argia, orduan eta handiagoa da elektroikopurua.

Zenbat eta handiagoa izan argi-izpiaren maiztasuna, orduan eta azkarrago mugitzen dira elektroiak.

“argi-izpiek metal baten azala jotzen dutenean, elektroiak aterarazten dituzte. Hori da efektu fotoelektrikoa”

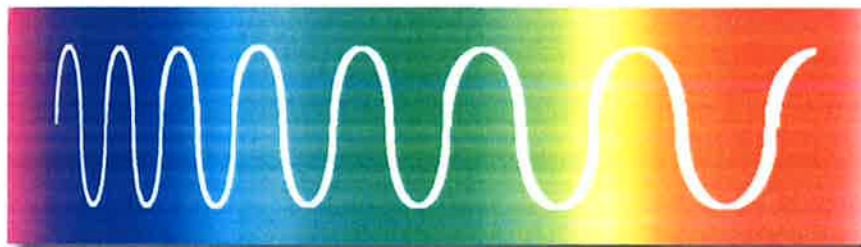
argiak billarreko bolen antzera jokatzen duela. Argi-partikulari fotoi izena jarri zion, eta fotoiaren energia argiaren maiztasunarekiko proportzionala dela aldarrikatu zuen —uhina denean bezala—. Beraz, Einsteinen hipotesiaren arabera, argia aldi berean partikula eta uhina da.

Azalpen horrexegatik eman zioten Einsteini 1921eko Fisikako Nobel saria, eta ez erlatibitatearen teoriarengatik, nahiz eta, zalantzarik gabe, teoria hura eta fisikari egin zizkion gainerako ekarpenak garrantzitsuak izan. Segur aski Nobel saria irabazteko modukoak.

Fisikako Nobel saria irabazi zuen lanaren izenburua hau da: *Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichts betreffenden heuristischen Gesichtspunkt* (Ikuspegi heuristikoko batetik, argiaren ekoizpenari eta transformazioari buruz). Efektu fotoelektrikoaren azalpen bat emateaz gain, fisika kuantikoaren zatitza oinarritzeko lana da, oso iraultzailea, egilearen hitzetan.

Dena den, teoria kuantikoaren hastapenetan Einsteinek garrantzi handia izan bazuen ere, kuantikaren benetako iraultza XX. mendearen bigarren laurdenean hasi zen, eta Einstein ez zen tarteko.

Einsteinek esan zuen argiak, uhin gisa ez ezik, partikula gisa ere joka dezakeela; Louis de Broglie-k, berriz, esan zuen partikulek ere joka dezaketela uhin gisa. Baina, zer esan nahi zuen horrek? Edozein materiak duela uhin-



Argi urdinaren maiztasuna gorriarena baino handiagoa da.

-izaera. Hori da, bai; zure ondoko aulkiak, txakurrak, zuhaitzak nahiz zuk zeuk uhin gisa joka dezakezue. Noski, oso gorputz handiak direnean, uhin-izaerak ez du indarrik; horregatik, efektu hori ez da nabaritzen ikusten dugun materialen, baina bai maila atomikoan eta txikiagoan. Hau da, elektro-sorta bat, adibidez, bi zirkuitu dituen horma batetik pasarazten bada, itsasoko olatuek bezala (eta ez billarreko boleak bezala) interferituko dute elkarren artean, hots, uhin eran jokatuko dute. Eta horren lekuko dira gaur egun hainbeste hedatu diren hainbat teknika, esaterako, mikroskopio elektronikoa.

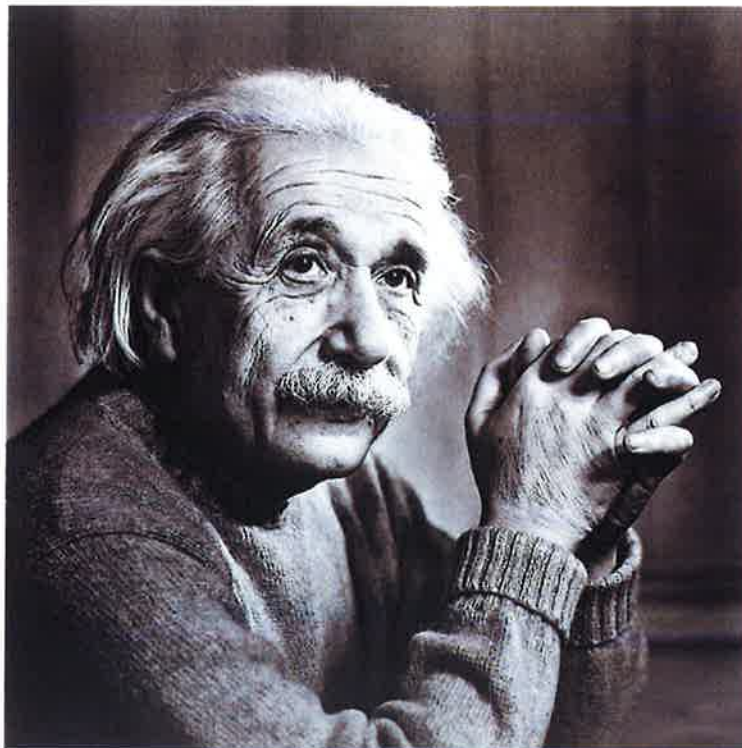
Une hartatik aurrera, ezin ditugu banatu partikularen eta uhinaren kontzeptua. Ez. Kontzeptu berberaren bi ikuspegi direla esan daiteke. Zenbait kasutan partikula edo korpuskulu eran agertzen da materia, eta, beste zenbaitetan, berriz, uhin eran. Urteak pasatu ziren fisikariek ondorio haiek onartu arte.

Lan hura kuantuaren teoriari esker garatutako fisikaren adar berriaren oinarria izan zen: fisika kuantikoarena, alegia. Einsteinen ekarpena fisika kuantikoaren benetako abiapuntutzat hartzen da, Planckek kuantuaren kontzeptua soilik ekarri baitzuen. Gerora, Plancken eta Einsteinen lanetik abiatuta, beste fisikari askok harrizkeko moduko interpretazioa eman zioten fisika kuantikoari.

Argiaren osagaiak (fotoiak) aldi berean partikulak eta uhinak dira.



WWW.EDI.T.COM



Y. KARSH

Einsteinen ekarpena fisika kuantikoaren benetako abiapuntutzat hartzen da. Gerora, beste fisikari askok garatu zuten.

*“zenbait kasutan,
partikula eran
agertzen da
materia, eta,
beste zenbaitetan,
berriz, uhin eran”*

Atomoetara jauzi

Kuantuaren teoriari norabide berria eman ziotenen artean egilerik aipagarriena Niels Bohr da. Fisikari daniarrak atomoei aplikatu zien erradiazioari aplikatzen zitzaion teoria. Alegia, eredu atomikoa landu zuen. Haren ustez, atomoen elektroiek ezin zuten edozein energia izan. Nukleoaren inguruan hainbat orbitatan mugitzen ziren, eta orbita bakoitzak energia-maila zehatza zuen. Elektroia nukleotik zenbat eta gertuago egon, orduan eta energia handiagoa behar da handik aterarazteko.

Bohrreren eredu atomikoa planetarioa da, hau da, elektroiek orbitatan biratzen dute nukleoaren inguruan. Bohrreren arabera, elektro-orbitak egonkorak dira eta energia-maila jakin batzuetan gertatzen dira, hots, horien energiak kuantizaturik daude.

Adibidez, hidrogenoa ontzi itxi eta garden batean berotzen denean, argia igortzen du, eta horri hidrogenoaren igorpen-espektroa deritzo. Bohrreren ereduak oso ongi azaltzen du zergatik

igorritako argia kolore edo maiztasun jakin batzuetakoa den, eta ez zuria (argi-kolore guztiak igorriko balira, zuria litzateke). Hori guztia loturik dago elektroien energia-maila diskretu edo kuantizatuekin.

“fisika teorikoa ez zen teoria hutsean gelditu, aplikazio asko izan zituen”

Hala ere, Bohrren ereduak hidrogenoaren espektroa soilik azal dezake. Hidrogeno-atomorako egokia izan arren, ez zen gai bi elektroiz osaturiko sistemen espektro atomikoa azaltzeko. Izan ere, Bohrren ereduak elektro bakarreko atomoak besterik ez zituen azaltzen. Eta, hala ere, ez da gutxi, ez pentsa! Alderantziz, Bohri esker atea ireki ziren, eta gainerako fisikariek atomo konplikatuagoak aztertze aukera izan zuten.

Beste 15 urte behar izan ziren iraultza kuantikoa iristeko, hain zuzen ere, elektro anitzeko elementuen espektro

atomikoa azaltzeko. Horrek, gainera, eredu atomiko planetarioa desagertzea ekarri zuen.

1926an, Schrödinger-ek bere izena daraman ekuazio ospetsua plazaratu zuen. Eredu atomiko planetarioa gainditu egin zen, ekuazio horrek argi uzten baitu elektroiek uhin eran jokatzen dutela atomoetan. Hori dela eta, ezin da elektro-orbitez hitz egin, uhin bat ez baitago leku fisiko jakin batean, eremu zabalagoan baizik. Eta horri ez zaio orbita deitzen, baizik eta orbital. Alegia, orbitalak ematen digu elektroiak toki batean aurkitzeko probabilitatea. Beraz, elektroien orbiten hitz egin beharrean, elektroiak aurkitzeko probabilitateaz hitz egin behar da.

Inongo zalantzarik gabe, teoria horiek guztiak Planckek eta Einsteinek egindako lanen ondorio dira. Fisika teorikoak aurrerapauso handiak egin zituen, baina ez zen teoria hutsean gelditu. Aplikazio asko izan zituen. Einstein bera ere txundituta utziko lukete aplikazio horiek. □

Nobeletan utzitako arrastoa

Gaur egun, badirudi Fisikako Nobel Sariak banatuago daudela, nolabait esateko. Izan ere, azken urteotan fisikako hainbat arlotako lanak saritu dituzte, besteak beste, supereroaleenak, neutrino kosmikoenak, Bose-Einstein kondentsatuarenak eta abar. Guztiak gai ezberdinak oso.

Garai batean, berriz, urtea joan eta urtea etorri, efektu fotoelektrikoarekin edo atomoaren izaerarekin erlazio naturiko gaiak jaso zituzten sari gehienak. Gutxi gorabehera **1918an** hasi zen guztia, **Planckekin**.

1921ean, **Einsteini** efektu fotoelektrikoaren azalpenarengatik eman zioten Fisikako Nobel saria. Efektu fotoelektrikoa eta fisika kuantikoa ez ziren bere horretan gelditu, ordea. Fisikariek jo eta ke jarraitu zuten lanean, eta baita emaitza onak lortu ere.

Hurrengo urtean, **1922an**, hain zuzen ere, **Bohrrek** jaso zuen Fisikako Nobel saria. Einsteinek argiari aplikatu zion teoria atomoari aplikatu zion; alegia, eredu atomikoa proposatu zuen.

1923an, **Millikan-ek**, besteak beste, aurreko bi teoriak baieztatzeagatik jaso zuen saria.

1925ean, **Franck-ek** eta **Hertz-ek** jaso zuten, elektroien eta atomoen arteko talkak aztertzeagatik.

1929an de Broglieri eman zioten, elektroien uhin-izaera aurkitzeagatik. Horren arabera, argiak ez ezik edozein material ere uhin gisa joko dezake.

1932an ere, mekanika kuantikoaren bidetik, **Heisenberg** saritu zuten.

1933an, **Schrödinger-ek** eta **Dirac-ek** jaso zuten saria, Bohrrek planteatutako eredu atomikoa garatzeagatik. Lehenengoak, esaterako, edozein partikularen uhin-izaera edo informazioa ematen zuen ekuazio matematikoa idatzi zuen.

Ikus daitekeenez, efektu fotoelektrikoak Fisikako Nobel sarietan utzi duen arrastoa ez da txikia. Esanguratsua dela esan daiteke. Izan ere, hainbat urtez, zuzenean edo zeharka gai horrekin erlazio naturiko lanak saritu dituzte.

Efektu fotoelektrikoak baliatzen da kamera digitalaren irudi-sentsorea.



U. LIZARRALDE

Eskerrik asko, Albert!

Nagare Rementeria Argote

Elhuyar Zientziaren Komunikazioa



ALP EINSTEIN SECRET VISUAL ARCHIVES, URLENBECK COLLECTION

Albert Einsteinek ez omen zien aplikazio praktiko handirik ikusten bere teoriei. Baina, fisikan iraultza ekarri zuen bezala, teknologiarik ere ikaragarritzko bultzada eman zion. Gaur egungo tresna asko teoria haietan oinarrituta egin dira.

EINSTEIN FISIKO TEORIKOA IZAN ZEN, TEORIKO HUTSA; eta, hala ere, hark garatutako teoriak aplikazio praktikoa izan dute.

Materiaren eta energiaren arteko erlazioa azaldu zuenean, esate baterako, Einsteinek berak argi zeukan energia-iturri gisa erabil zitekeela atomoen berezko energia. Agian espero ez zuena zen, hasieran behinik behin, helburu militarrekin erabiliko zenik. Eta, hain zuzen ere, bomba atomikoa izan zen Einsteinen teorien aplikaziorik ezagunena; gogor gaitzetsi zuen, nolana ere.

Gogor gaitzetsi zuen, bai, bomba atomikoa leherrarazi izana Bigarren Mundu Gerran. Baina sarraski hartan Einsteinek ere izan zuen erru pixka bat. Izan ere, urte batzuk lehenago, zientzialari-talde batek —Einstein bera tartean— eskutitz

bat idatzi zion Estatu Batuetako presidenteari (Franklin Roosevelt); eskutitz haren bitartez, nazien Alemania uranio-235a arazteko ahaleginetan zebilela ohartarazten zuten. 1939an izan zen hori, eta hurrengo urterako abian zen Manhattan proiektua.

Manhattan proiektuan, zientzialari-talde bat bildu zuen Estatu Batuetako gobernuak. Han ziren, besteak beste, Robert Oppenheimer eta Enrico Fermi fisikari ospetsuak —Einstein ez—. Helburua: alemaniarrek baino lehen araztea uranio-235a eta bomba atomikoa egitea. ➔

Ikustekoa izango zen Einsteinen aurpegia jakin zuenean estatubatuarrek leherrarazi egin zituztela bomba atomikoak Japonian. Handik aurrera gogor egin zuen lan bakearen alde, eta armamentu atomikoaren aurkako ekin-tzaile porrokatua izan zen.

Teoria, aplikazioak eta beste kontu batzuk

Beste hainbat aplikazio ez zituen eza-gutu Einsteinek berak. Izan ere, gaur-gaurko tresna eta teknologia asko zor dizkiogu Einsteini —Einsteini, Plancki eta ondorengo fisikariei, noski—. Elektronika, esate baterako. Elektronikaren garapenerako ezinbesteko pausoa 1947an eman zen: transistorea asmatu zen.

Transistorea asmatu zuten fisika teoriakoak aurrera egin zuelako, azken finean, teoria kuantikoak halako tresna batek funtzionatzeko zituen zailtasunak gainditzen lagundu zuelako. Eta Einsteinek zerikusia izan zuen mekanika kuantikoaren garapenean. Dena dela, ez zuen guztiz sinesten; edo, hobe esan, ez zituen sinetsi nahi teoria kuantikoak zituen ondorio filosofikoak. Famatuak izan ziren Bohrrekin izan zituen eztabaidak mekanika kuantikoaren zehaztasunik eza zela eta —1927-1930ean izan zen hori—.



Einsteinek ez zituen onartu mekanika kuantikoaren ondorio fisiko eta filosofiko batzuk: "Nekez lortuko dugu Jainkoaren kartak ikustea. Baina, dadotan aritzen dela eta metodo 'telepatikoak' erabiltzen dituela... hori ezin dut sinetsi."

ARTIBOKOA

"bizitzako azken urteetan izan zuen helburua lege guztiak bateratuko zituen teoria bat bilatzea izan zen"

Denborarekin, ordea, onartu behar izan zuen teoriak zehatz azaltzen zuela mundu subatomikoa, eta garai hartako teoria "arrakastatsuen" zela esan zuen. Mekanika kuantikoarekin oso kritiko izaten jarraitu zuen, hala ere.

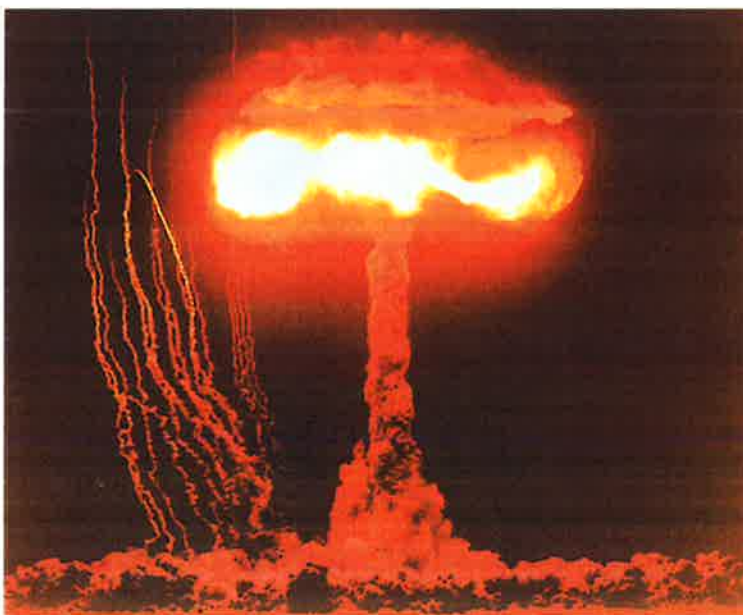
Ez zion nahikoa irizten probabilitateak baino ezartzen ez zituen teoria hari, teoria kuantikoari. Atomoek nola joka zezaketen ez, baizik ziur nola jokatu zuten azalduko zuen teoria bat bilatu zuen. Bizitzako azken urteetan izan zuen helburua lege guztiak batuko zituen teoria bat bilatzea izan zen, teoria bateratu bat: edozein egoeratan balioko zuena, atomoentzako zein galaxientzako, maila subatomikoan, mikroskopikoan zein makroskopikoan... denik eta maila txikienetik eta handienera. Ez zuen lortu, ordea, eta oraindik ere ez da halakorik lortu —fisikari askok zalantzan jartzen dute posible izango den—.

Teoria bateratua lortu ala ez, mekanika kuantikoa nahikoa izan zen transistorea egiteko zeuden oztopoak gainditzeko. Materialen eroankortasuna azaldu zuten: zergatik material batzuk eroaleak diren eta beste batzuk ez —horretarako elektroien orbital kontzeptua garatu zuten—. Eta transistorearen muina egiteko eroankortasun desberdineko materialak erabili zituzten.

Esan bezala, transistorea izan zen elektronikaren oinarritzeko pausoa; eta hartan oinarritu ziren gailu elektronikoak egiteko, lehenengo irratietatik hasi eta gaur egungo ordenagailurik azkarrenera.

Argiak argi

Einsteinen abiapuntua kuantikan efektu fotoelektrikoaren azalpena izan zen.



U.S. DEPARTMENT OF ENERGY

Zaila da esaten zenbateko erantzukizuna izan zuen Einsteinek bomba atomikoen gainean.

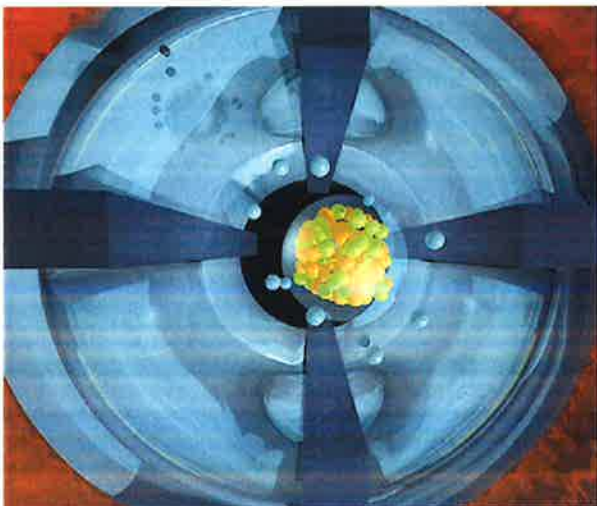
Egia da Planckek ideia bera azaldu zuela bost urte lehenago (1900ean): argia partikula diskretutan antolatzen zela, argi-kuantuz edo fotoiz, alegia. Baina, dirudienez, Einsteinek ideia bere osotasunean ulertu zuen: argia ez da fotoitan antolatzen, argia bera fotoiek osatzen dute.

Hain bogan dauden kamera digitalek, esate baterako, efektu fotoelektrikoan dute oinarria: argiak (fotoiak) erauzi egiten ditu metal bateko elektroiak. Efektu horretaz baliatzen da kamera digitalaren irudi-sentsorea.

Ohiko kameretako argazki-pelikularen funtzio eta toki bera betetzen du irudi-sentsoreak. Irekiduraren atzealdean dago; eta jaso nahi den irudiaren argia seinale elektriko bihurtzen da han. Seinale elektriko hori tratatu, irudi-datu bihurtu eta memoria-txartelean gordetzen da.

Argia seinale elektriko bihurtzeko sentsoreak elektrodo batzuk ditu, argazkiaren pixel bakoitzeko elektrodo bat. Efektu fotoelektrikoaren eraginez argia elektrodo batera iristen denean, elektrodo metalak elektrodi batzuk askatzen ditu, eta, potentzial-diferentziaren bidez, irudiko puntu bakoitzari dagokion argi-kantitatea neurtzen da. Jasotako informazioa zuri-beltzean dago (grisen eskalan), eta, koloretara bihurtzeko, iragazkiak eta bestelako tresna batzuk ditu.

Atomoen egitura argitzea izan da fisikaren erronka handienetako bat. Irudian, amerizio-243 atomo bat: nukleoan protoiak eta neutroiak eta inguruan elektroiak.



T. TEGGE / LAWRENCE LIVERMORE NATIONAL LABORATORY

Laserraren argitan

Bestalde, argiaren izaera argitu izanak laserra egitea ere ahalbidetu zuen (1960an). Einsteinek elektroien eta fotoien arteko elkarrekintza azaldu zuen; eta, ondorioz, posible izan zen erradiazio monokromatiko koherente bat lortzea —uhin-luzera bakarrek argi-izpi bat, hori da laserra azken finean— foto-igorpen estimulatua bidez.

“hain bogan dauden kamera digitalek, esate baterako, efektu fotoelektrikoan dute oinarria”

Ikustekoa da zenbat gauzatarako erabiltzen den laserra; gaur egun, industriako ia alor guztietan erabiltzen da, eta eguneroko bizitzan ere hor dago. Baina aplikazioak ez ziren laserra aurkitu eta berehala etorri, hogei bat urte behar izan ziren lehenengo aplikazioak gauzatzeko.

Esate baterako, laserrari esker daukagu gaur egun CD-irakurgailuak, laser-inprimagailuak eta barra-kodeen irakurgailuak. Medikuntzan ohiko eskalpeloaren lekua hartu du neurokirurgian, eta odol-hodien ebakuntzetan, eta miopia eta astigmatismoa zuzentzeko ere erabiltzen da. Izan ere, laser-izpiekin modu zehatz eta garbian ebakitzen dira ehunak.

Eta material gogorretarako ere balio du. Industrian, adibidez, piezak mozteko erabiltzen da; ebaketa mekaniakoaren aldean duen traba nagusia da energia asko behar duela, gainera koan, hobea da. Eta piezak mozteko ez ezik alderantzizkoa egiteko ere erabiltzen da laserra, soldatzeko, hain zuzen ere. Ageri denez, soldatze-metodo zehatzenetako eta berrienetako bat da laser-izpiko soldadura.

Laserrak espektroskopia oso sentikorrek egiteko bidea ere eman du —molekula jakin batzuk detektatzeko tresnak—, Raman espektroskopiaok, esaterako. Argi dago laserra ezinbesteko tresna bilakatu dela teknologia berrietan. ➔



Lehenengo ordenagailuetatik gaur egungo superordenagailuetara, guztiek dituzte transistoreak.

LAWRENCE LIVERMORE NATIONAL LABORATORY

Etorkizunean ere Einstein

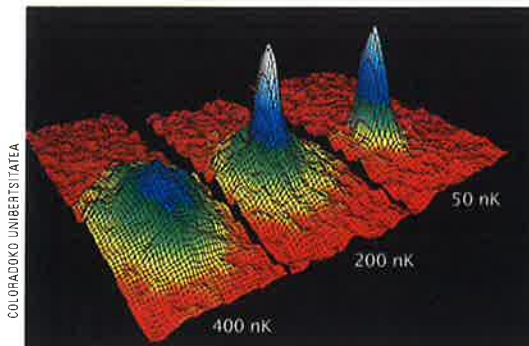
Laserraren erabilerak soka luzea ekarriko du oraindik ere. Adibidez, ITER proiektua dela eta denen ahotan dagoen nukleoaren fusioan edo fusio nuklearrean ere erabiliko da. Anplifikatutako laser-pultsuak zuzentzen zaizkie tritioari eta deuterioari, biak fusionatu eta energia-iturri eraginkor bat lortzeko asmoz.

Dena den, oraindik ez da lortu fusioa eraginkorra izatea; izan ere, tritioa eta deuterioa fusionatzeko erabiltzen den energia ondoren jasotzen dena baino handiagoa da. Baina ahaleginik ez da faltako etorkizunean.

Bidean den beste aurkikuntza bat laser atomikoa da, energia berdineko atomo-sorta bat, alegia. Lehenengo urratsa eman berri da: Bose-Einstein kondentsatua lortu da. Bose-Einstein kondentsatuan, atomo guztiek energia berdina dute (laserrean fotoiek bezalaxe). Atomoak kondentsatutik askatutakoan, propietate hori mantentzea lortu behar da laser atomikoa egiteko.

Eta, laserrarekin hasieran gertatu zen bezala, ez dago garbi zer aplikazio izango dituen; horretarako, prozesua menderatu eta laser atomikoa egitea lortu behar da. Dena dela, ziur aurkikuntza harrigarriak etorriko direla bide horretatik.

Bose-Einstein kondentsatua lortzeko prozesuan tranpa atomikoak erabili dira, eta temperatura oso baxuak, zero



Oso temperatura baxuak behar dira Bose-Einstein kondentsatuak lortzeko. Irudiko grafikoko gailurrek kondentsatua adierazten dute.

absolututik (0 Kelvin edo $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$) gertu. Horri esker, ioi guztien energia maila berera jaisten da —egoera kuantiko berean jartzen dira— eta, hala, materiaren antolaketa oso berezia lortzen da.

“laser atomikoa oraindik ez da lortu, baina lehenengo urratsa eman berri da: Bose-Einstein kondentsatua lortu da”

Fenomeno hori Satyendra Nath Bose-k eta Einsteinek iragarri zuten 1920an: oinarria Bosek jarri zuen fotoien mekanika estatistikoari buruzko lanarekin, eta Einsteinek orokortu egin zuen lan hura. Azken finean, partikula subatomiko jakin batzuen distribuzio estatistikoa deskribatu zuten, bosoiena, alegia.

Bosoiak (fotoiak eta helio-4 nukleoak, adibidez) partikula identikoak edo bereizezinak dira, eta egoera kuantiko bera izan dezakete.

Hala, Einsteinek pentsatu zuen atomo bosomikoak oso temperatura baxuan jartzen direnean egoera kuantiko baxuenean kondentsatzen direla, eta materiaren beste egoera bat dela hori (ordura arte ezagutzen ez zutena): superfluido egoera. Superfluidoak bereziki interesgarriak dira, besteak beste biskositaterik ez dutelako. Materiaren gainerako egoerekin alderatuz gero, superfluidoak oso ezegonkorak dira; horrexegatik uste da oraingoz ez dela aplikaziorik aurkituko.

Bada, teoria aspaldi ezagutu zen arren, 1995 arte ez da lortu benetako Bose-Einstein kondentsaturik laborategian. Egileek (Cornell eta Wieman) Fisikako Nobel saria jaso zuten 2001ean, beste fisikari batekin batera. Kondentsatua lortzeko, rubidio-87 atomoak 170 nanokelvinera jarri zituzten.

Esan bezala, laser atomikoa ez da gauzatuko oraindik, eta ez dago esaterik zer erabilera izango dituen. Baina aurrerapen txiki bat: Bose-Einstein kondentsatuak argiaren abiadura moteldu egiten duela ikusi da, eta, diotenez, zulo beltz baten antzera joka dezake; nolabait, argia gorde eta askatze erabiliko omen da etorkizunean.

XXI. mendean ere, Einsteinen eta haren garaikideen eragina egundokoa da fisikan. Eskerrik asko, Albert!

Laserrari esker, teknologia asko aurreratu da.





Einstenen jakintzaz haratago

2005/09/07 | Kortabitarte Egiguren, Irati |

Astelehen arratsaldeko irekiera ofizialaren ostean, Alberto Galindo, Rafael Rebolo Lopez, Amand A. Lucas, Fernando Flores, Heinrich Rohrer, Jean-Marie Lehn eta Dudley Herschbach hizlarien txanda izan zen asteartean.

Astelehen arratsaldeko irekiera ofizialaren ostean, Alberto Galindo, Rafael Rebolo López, Amand A. Lucas eta Fernando Flores hizlarien txanda izan zen astearte goizean.

Arratsaldea, berriz, programaz kanpoko hitzaldi batekin hasi zen. Heinrich Rohrer fisikaria aritu zen ondoren. Eta, jarraian, Jean-Marie Lehn kimikari frantsesak hartu zuen hitza. Materia konplexua (antolatua) eraikitzeko eman beharreko pausoei buruzko hitzaldi zoragarria eman zuen, eta, besteak beste, lan horretan kimikak duen garrantzia azpimarratu zuen. Behin eta berriz, giltzaren eta sarrailaren adibidea ezarri zuen; alegia, giltza bakoitzak bere sarraila duela eta, hortaz, sarrailaren araberako giltza eraiki behar dela. Zientzian ere halako zerbait gertatzen omen da.



Dudley Herschbach.

Zortzietan puntuan, Jesus Ugalde katedradunak eguneko azken hizlariaren, Dudley Herschbach-en, aurkezpen txiki bat egin zuen. Oso pertsona umoretsu gisa deskribatu zuen 1986an Kimikako Nobel Saria irabazi zuen estatubatuarra. Telebistako Simpson programan agertu omen da inoiz edo behin, eta, irudi horiek ere eman zituen, kongresuan bildu ziren askoren barre-algaren artean. Gehiago luzatu gabe, zientzialari estatubatuarri eman zion hitza.

"Gazte asko ikustea da gehien harritzen eta liluratzen nauena kongresu honetan" esan zuen Herschbachek. Einstenen irudiaz eta lanaz ere gogoeta txiki bat egin zuen. Eta esan zuen gutariko gehienok ez dugula Einstenen irudiaren araberako zientzia egiten.

Kongresuan bildutakoentzat mezu hau eman zuen: "Bilatzeko askoz gehiago dago". Eta, zuzenean, browndar higiduraren eta motor molekularren inguruko azalpenak ematen hasi zen. Nolabait, biak lotzen ere saiatu zen. Izan ere, motor molekularrek, entzimek batez ere, aurre egin behar diote browndar higidurari.

Einstein maisu handiak browndar higidurari buruz idatzitako lau artikulua ere aipatu zituen. Dena den, Brownen, Jean Perrin-en, Adam E. Cohen-en eta abarren lanak eta artikulua ere erakutsi zituen

Baina, bukatzeko, berriro ere hasieran emandako mezura itzuli zen, eta esaldi honexekin bukatu zuen bere hitzaldia: "Zientziak zerikusia dauka ezagutzen ez dugunarekin".



Hasi da 'Albert Einstein Annus Mirabilis 2005'

2005/09/06 | Rementeria Argote, Nagore |

Atzo hasi zen Kurtaal aretoan Albert Einsteinen inguruko biltzarra: Albert Einstein Annus Mirabilis 2005.

Irekiera ofiziala Juan Jose Ibarretxe lehendakariak, Pedro Migel Etxeniketik eta Alberto Galindok eman zioten, mintzaldi banarekin. Horren ondoren, ekitaldiko plater nagusia etorri zen: Claude Cohen-Tannoudji. Fisikari frantziarrak [Nobel saria](#) irabazi zuen 1997an, eta oso ondo ezagutzen duen gai baten gainean mintzatu zen bere hitzaldian: Bose-Einstein kondentsatua.



Claude Cohen-Tannoudji eta Unai Ugalde irekiera-ekitaldian.

Cohen-Tannoudjik temperatura ultrabaxuetan atomoek duten portaerari buruz mintzatu zen, besteak beste. Bere hitz-jarioarekin auditorio osoa adi-adi izan zuen; nabari zen hitzaldiak ematera ohitua dagoena.

Hala, hitzaldi Indartsu batekin hasi zen kongresua. Dena dela, giroa guztiz aldatu zen ondoren; izan ere, ganbera-kontzertu eder bat izan zen entzungai. Einsteinek gustuko zituen piezak jo zituzten: Mozarten *Sonata re majorren* eta *Kintetoa sol minorren*.

Jardunaldi hauetan, guztira hemeretzi hizlari izango dira ostegunera bitartean, horietako sei Nobel saria irabazitakoak; guztiak ere maila gorenekoak. Beraz, hitzaldien maila bermatuta dago.

Gainera, antolakuntzak nabarmendu duenez (Donostia International Physics Center), mintzaldietan fisika kuantikoaren nondik norakoak azalduko dira, noski, baina Einsteinen irudiaz eta lanaz gogoeta egiteko aukera ere izango da. Izan ere, hizlarien artean filosofoak eta historialariak ere badira, fisikariek eta kimikariek gain.

Fisikarekin eta Einsteinekin ikasteko eta gozatzeko astea da hau.



Fisikazaleen gozamenerako

2005/09/08 | Galarraga Aiestaran, Ana |

Albert Einsteinen gaineko biltzarraren azken eguna da gaur. Denera lau egun izan dira, bete-beteak; nahikoa fisikariari buruzko zertzelada batzuk jasotzeko. Askorentzat, ordea, jakin-mina asetzeko ez baizik areagotzeko balio izan dute Kursaaalen emandako hitzaldiek. Izan ere, hain interesgarriak izanda, jakin-min berezia ez zutenei ere piztu egin die gehiago jakiteko gogoia.



Francisco J. Yndurain irakaslea "Erlatibitatea, fotoiak eta partikulak" izeneko hitzaldia eman zuen.

Argazkia: DIPC

zegoela. Masaren eta energiaren artean dagoen erlazioa zein den ere aurkitu zuen. Ikaragarria!

Adibide garbia izan zen atzo eguerdian [Francisco José Yndurain](#) fisikariak emandako hitzaldia. Izenburua "Erlatibitatea, fotoak eta partikulak" zen, eta, mamia, berriz, edozeinek entzuteko eta ulertzeko modukoa. Ur handietan sartuta inor itoarazi gabe, xehe-xehe azaldu zituen Einsteinen biografia eta hark landutako teorien oinarria.

Batez ere, Einsteinek erlatibitatearen teoria asmatzeko izan zituen ausardia eta intuizioa nabarmendu zituen Yndurainek. Ausardia bera erakutsi zuen fotoiaren kontzeptua formulatzean: nola izan zitekeen zerbait partikula eta uhin aldi berean? Gero frogatu zuten, ordea, zuzen

Fisikari handia, gizatasun handikoa

Baina ez hori bakarrik: teoria haietatik abiatuta Einsteinen ondoko fisikariek egindako aurrerapausoak ere aipatu zituen Yndurainek, eta baita ondorio haiek Einsteinengan eragin zuten ezinegona ere. Hain zuzen ere, gehienok dakigu Einstein gizartearen heroi bilakatu zela [Nobel saria](#) eman zioten garaian, baina gutxiagok dakite orduetik aurrera ez zuela asmatu ikerketak norabide zuzenean eramaten.

Hainbat hanka-sartze egin zituen, eta ez zuen lortu bilatzen zuena —indar guztiak bateratuko zituen teoria—. Eta, hala eta guztiz ere, ez zuen hori onartzeko erreparorik izan, eta horrek adierazten du nolako pertsona zen.

Yndurain katedradunari antzematen zaio, bai, irakaslea dela, eta ederki daki hitzaldi baten arrakastaren gakoa, neurri batean behintzat, atentzioa erakartzea dela. Horretarako umorea erabili zuen, eta algarek behin baino gehiagotan eten zuten haren jarduna.



Yndurainen hitzaldia umorez beteta egon zen.

Anton Zeilinger, maisu

Argazkia: Ana Galarraga

[Anton Zeilinger](#) vienarrak ere barre artean abiatu zuen bere hitzaldia goizeko aurreneko orduan. Izan ere, Zeilinger aurkeztean, Austria osoan benetan ezaguna zela aipatu

zuten, eta ez zela harritzekoa taxi-gidariak, adibidez, Zeilingerri buruz hitz egitea bezeroari.



"Einstein eta egungo mundu kuantikoa" zen Zeilingerren hitzaldiaren izenburua.

Argazkia: DIPC

ziren. Gaur, berriz, Pedro Pascual, Clifford M. Will eta Jose M. Sanchez Ron hizlarien txanda da goizez, eta Gerald Holton, Aerthur I. Miller eta John Jay Stachel-ena arratsaldez. Fisikazaleen gozamenerako.

Zeilingerrek horri erantzun zion lehen hitzetan: "Ez dakit zer esango duten nitaz taxi-gidariak...", eta umore-kutsua galdu gabe hitzaldi bikaina eman zuen. "Einstein eta egungo mundu kuantikoa" zen izenburua, eta, gehienbat, telegarraioari eta kriptografia kuantikoari buruz aritu zen.

Izan ere, arlo horiek nahiko aurreratuta daude, eta dagoeneko garatzen ari dira informazioa modu erabat seguruan banatzeko sistemak. Kuantikan oinarrituta daude, eta, Einsteinek egindako ekarpenik gabe, gaur egun ez lirateke dauden tokian egongo. Hori, alde batetik, paradoxikoa ere bada, Einsteinek ez baitzuen fisika kuantikoaren alde egin. Eta horixe da, hain juxtu, biltzarrari esker askok jakin dutena: zergatik bihurtu den mito Einstein, eta zer dagoen horren atzean.

Atzo, Yndurain eta Zeilingerrez gain, Ignacio Cirac, Sheldon Lee Glashow, Antony Hewish eta Clifford M. Will ere aritu



ELHUYAR
KONKURTATZE-EREGIA

zientzia.net

Duela 15.500 urteko altxorra Praile Aitzen

2005/10/03 | Kortabarria Olabarria, Beñardo |

Dekoratutako bost lepokok eta venus batek osatzen dute Xabier Peñalver arkeologoaren lantaldeak Praile Aitz kobazuloan aurkitutako altxorraren zatirik ikusgarriena. Goi Paleolitoko Madaleine aldiko tresnak dira guztiak, duela 15.500 urte ingurukoak. Xabier Peñalverren hitzetan, "Europa osoan ez da horrelakorik inoiz aurkitu". Beraz, Ekain eta Leze-Txikirekin batera, Praile Aitzeko kobazulo txikia Euskal Herriko historiaurreko santutegien artean sartu beharko da.

Santutegi hitza ondo baino hobeto datorkio Praile Aitzeko aztarnategiari, erritoetarako erabiltzen zutela uste baita. "Ekain, Altamira eta horrelakoak jendearen bizileku izan ziren, baina, aztarnen arabera, esan daiteke hau erritoak egiteko erabiltzen zutela. Horregatik da garrantzitsua, desberdina delako". Guztira bost lepoko aurkitu dituzte; bat ahuntz hortzekin egina eta besteak harri landuekin. Harriak leunduta eta grabatuekin apainduta daude, eta lepokoa osatzeko zulo bana dituzte. Lepokoetako batek 14 pieza ditu eta beste batek 12 cm luzeko venus itxurako harri bakarra dauka. Guztiak oso atseginak dira bistara eta kolore berezia hartzen dute bustiz gero.



Praile Aitzeko aurkikuntzak prentsaurrekoan aurkeztu dituzte gaur (Argazkia: E. Imaz).

Lepokoak eta venusa ez ezik, arkeologoek sutondoa, harrizko jarlekua, harrikatza, silexez egindako lanabesak eta zulatutako basahuntz-hezurak aurkitu dituzte, baita leundutako jarleku bat ere sutondoaren aurrean.



Xabier Peñalver eta bere taldea lanean Praile Aitzen. (Argakiak: S. San Jose).

Xabier Peñalverren taldeak 2000. urtean ekin zion [Praile Aitz](#) aztertzeari, premiaz ekin ere, kobazuloa lanean ari den harrobi batean baitago. Hasierako indusketen arabera, bazirudien kobazuloa Cro-Magnon talde baten bizilekua izango zela. Hasiera hartan, kobazuloaren sarreran aztarna ugari aurkitu zituzten, eta Cro-Magnonek ohitura zuten bizimodua kobazuloen inguru horietan egiteko. Hezurak aurkitu zituzten gehienbat, basahuntz-hezurak, eta, horregatik, ikertzaileek ondorioztatu zuten hango bizidunak ehiztariak zirela eta basahuntzak harrapatzen zituztela. Noski, harrapatu eta gero, jan egingo zituzten eta kobazuloaren aurrealdean pilatu hondarrak. Errekara jaitsi eta itsasora joaten zirela ere badakigu arrastoengatik, arrainen hezurduren arrastoak ere aurkitu dituztelako.

Oraingo aurkikuntzek, bistan denez, aldatu egin dituzte hasierako uste haiek, eta, orain, bizilekutzat baino gehiago, guztiak bildu eta erritoak egiteko tokitzat jotzen dute. Baina zer motako erritoak egiten zituzten ezin da esan. Garai bertsuko beste aztarnategietan, hezurrezko piezak eta agertu izan dira eta ehorzketekin lotu izan dira, baina Praile Aitz I koban ez dago halako aztarnarik. Aurkikuntza oso bakana eta berezia da eta oso litekeena da, gainera, pertsona bakar batek egindako piezak izatea guztiak kokapenaren eta hainbat ezaugarriren arabera. "Baliteke, koba jarduera edo gaitasun bereziren bateko pertsona bati lotutako gunea izatea."

Inguru bizia

Praile Aitz Deba eta Mendaro artean kokatua dago, iristeko oso zaila den toki aldapatsu batean. Inguru hartan, Goi Paleolitoko kobazulo ugari aurkitu dira. Maldan bertan bazen Praile Aitz II izeneko beste kobazulo bat, baina harrobiaren lanen ondorioz desagertu zen. Zuhaitzek saihestuko ez balute, Praile Aitzetik bertatik Ermittia, Iruroin eta Langatxoko kobazuloak ikusiko lirateke.

Barandiaranek eta Aranzadik 1924 eta 1926 urteen artean aztertu zuten Ermittiako kobazuloa, eta material oso garrantzitsua berreskuratu zuten. Iruroin eta Langatxo 1990eko hamarkadan induskatu ziren, Praile Aitz II bezala. Horrelako pilaketak adierazten du Debarrena oso preziatua izan zela Goi Paleolitoko gizakientzat. Kontuan hartu behar da Madeleine aldia eta azken glaziazioa aldi berean gertatu zirela, eta, sasoi hartan, 1.000 metrotik gorako tokietan elurra kendu ere ez zuela egiten.

Beraz, Cro-Magnonek babesa eskaintzen zuten bailarak bilatzen zituzten, altuera gutxikoak eta itsasotik gertu zeudenak. "Horrelako aztarnategien multzoa izatea da benetako altxorra, horrek nolabaiteko ikuspegi orokorra izaten laguntzen digulako". Izan ere, tresna eta material harrigarriak aurkitzetik haratago doa ikertzaileen asmoa, duela milaka urte inguru hauetan bizi zirenen ingurunea nolakoa zen eta haiek nola bizi ziren jakin nahi dute, batez ere.



Praile Aitzen aurkitutako lepokoetako baten ale bat (Argazkia: S. San Jose).

<https://aldizkaria.elhuyar.eus/erreportajeak/luthierren-betiko-galdera/>

<https://aldizkaria.elhuyar.eus/erreportajeak/duela-15500-urteko-altxorra-praile-aitze1/>