

TUNEL ESPEKTROSKOPIAZ BERBETAN

Txema Pitarke-rekin

J.R. Etxebarria

1960. urtean Bilbo-ko Begoña-n jaiotako fisikari gazte honek Azkue Sariketan ikerkuntz sailari dagokion saria jaso du (Andoni Sarriegi-rekin batera) bere doktorego-tesian eginiko lanagatik. Tunel espektroskopiaz eta solido-etako elektro- eta fotoi-emisioaz izenburua darama tesi horrek eta jadanik goi-mailako aldizkari zientifikoetan zenbait artikulutarako gaia eman du, kalitatearen kontrola eroso gainditurik. Azkue sariketa-aren banaketak aukera eman digu beraren eritzia jasotzeko eta Fisikaren arloko ikerkuntzaz hitzaspertua izateko. Leioako Zientzi Fakultateko Fisika Teoriko Sailean dihardu lanean eta bertan hartu dugu beta elkarrizketa hau burutzeko.

Jose Ramon Etxebarria.- Hasieratik hasteko, zer dela eta abiatu zinen Fisikaren munduan?

Txema Pitarke.- Ikastetxean batxilerra ikasten ari nintzenean, Matematika eta Zientzietako gaiak gogo-

ko izaten nituen eta Matematika edo Fisika ikasteko gogoia neukan. Matematika baino Fisika ikastea hobe nuela esan zidan baten batek, eta Fisika ikasteko erabakia hartu nuen.

J.R.E.- Bilbon ikasi zenuen Zientzi Fakultatean, eta gero zer dela eta hasi zinen irakaskuntzan lan egiten?

T.P.- Karrera amaitu nuenean, zeuden posibilitateetariko bat irakaskuntzan sartzea zen. Ordurako baneukan esperientzia irakaskuntzaren arloan, eta ikerkuntza egiteko gogoia ere banuen. Unibertsitatea zen gauza biak egiteko lekurik aproposena.

J.R.E.- Irakaskuntzari dagokionez, euskal lerroan hasi zinen, klaseak euskaraz ematen.

T.P.- Lehenagotik ere ibilia nintzen BBBn matematikazko klaseak euskaraz ematen, ikastola batean.



J.R.E.- Ikerkuntz arloko lehenengo lanak zer-nolakoak izan ziren?

T.P.- Lehenengo, tesina egin nuen. Eremu elektriko lokalaren azterketa teorikoa egin nuen. Gero, tesia egiteko orduan, gaia guztiz aldatu nuen.

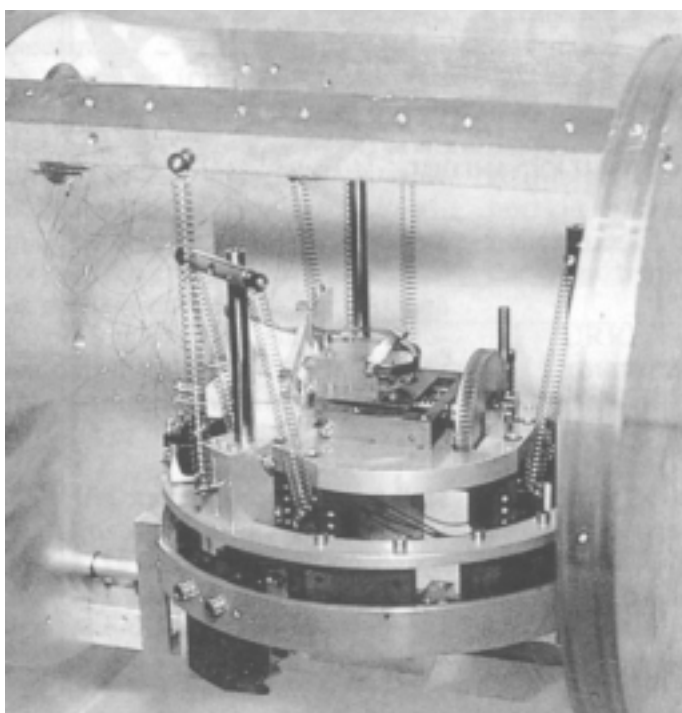
J.R.E.- Zergatik gauza teorikoak?

T.P.- Gauza teorikoak egiteko joera izan dut beti. Laborategietan ibiltzea ere gustatu izan zait, baina gauza teorikoetan ibili gurago izan dut.

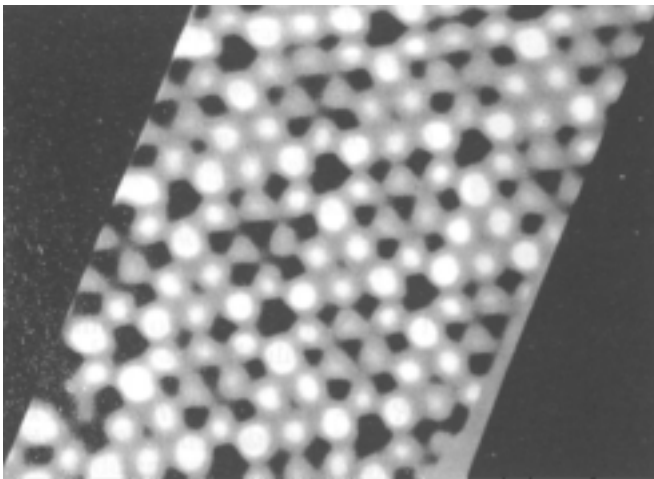
J.R.E.- Orduan, tesina egin ondoren tesiarekin hasi zinen. Duela zenbat urte tesiarekin?

T.P.- Tesina 1984ean hasi (karrera 82an amaitu eta BBBko klaseak utzi nituenean), 85ean amaitu eta 86an hasi nintzen tesiarekin.

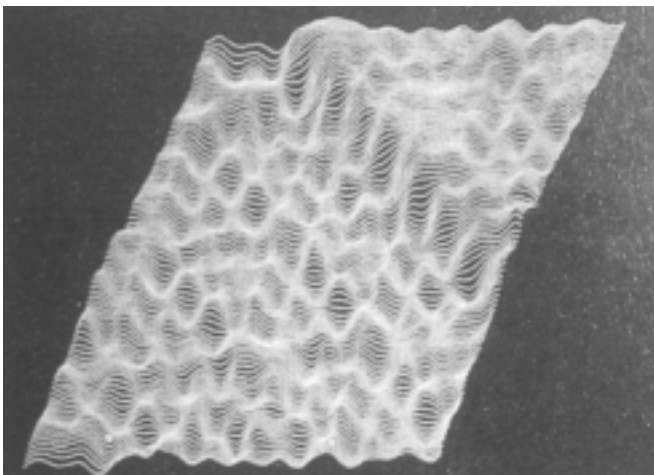
J.R.E.- Norekin hasi zinen?



Tunel mikroskopia



Tunel mikroskopioaz ikusten den silikonazko gainazala. Silikona 900°C-raino berotzen denean, gainazaleko atomoak berrordenatu egiten dira egitura berria osatuz. Dimentsio biko gainazal berri hau sortzeari berreraketa deritzo. Silikonazko gainazal berrerratuaren egitura, elektroifrakzioaren energia txikiagatik ezagutzen zen, baina tunel mikroskopioak posizio berrien irudia zuzenean ematen du. Goiko irudia: hodi katodikoan intentsitate-modulazioaren irudia. Beheko irudia: silikonazko gainazalaren beste berreraketaren urratetako bat.



T.P.- Tunel mikroskopioa, 1986. urtean Nobel Saria jasoko zuten Binnig eta Rohrer ikerlari suitzarrak diseinatu zuten lehenengo aldiz 1981. urtean. Bi metalen arteko hutsean zeharreko tunel-korrontea kontrolatuz, gainazaleko atomoen posizioak bereizmen handiz ikustea lortu zuten. Ideia oso sinplea da: Mekanika Kuantikoak aurreratu duenez, aztertu nahi den gainazaletik zenbait angstrometako distantziara punta itxurako metala jarri eta bi gainazalen artean potentzial-diferentzia ez-nulua sortezaz gero, puntako elektroiek hutseango potentzial-langa zeharkatzeko probabilitate ez-nulua dute, tunel-korrontea sortezaz. Ezaguna da, bestalde, bi gainazalen arteko distantzia areagotzean tunel-korrontea esponentzialki txikiagotzen dela. Ondorioz, aztertu nahi den gainazalean barrena metalezko punta mehea lagina ukitu gabe higi eraziz, puntak jasango dituen desplazamendu bertikalek maila atomikoko bereizmenaz emango digute gainazalaren irudi erreala, tunel-korrontea konstante iraun eraziz, laginaren eta puntaren arteko distantzia ere konstante iraun eraziz gero.

J.R.E.- Esan daiteke, beraz, gutxi gorabehera atomoz atomo doala punta mugitzen.

T.P.- Etxenikerekin.

J.R.E.- Zer dela eta joan zinen Donostiara tesi-zuzendariaren bila?

T.P.- Urte hartan Etxenike Cambridge-tik hona etorriberria zela jakin nuen, eta gai teorikoak egiteko hemen zeuden posibilitateetatik huraxe zen onena, nire ustez, eta huraxe aukeratu nuen.

J.R.E.- Orduan zeuk jo zenuen berarengana.

T.P.- Bai, neuk jo nuen berarengana bera hemen lantalde bat osatzeko asmotan zebilela Fernando Plazalaren bidez jakinda. Etxenikek jendea nahi zuen berarekin lan egiteko, eta berarengana joateko erabakia hartu nuen, ea berarekin zer egin zitekeen jakiteko.

J.R.E.- Ondo hartu zintuen, beraz.

T.P.- Bai. Berak esku artean zituen ikerkuntz lanen berri jaso ondoren, denboralditxo bat eman nuen ea hori nahi nuen pentsatuz, eta berarekin lan egiteko erabakia hartu nuen.

J.R.E.- Distantziak ez al zuen oztoporik jarri horretarako, hau da, Bilbotik Donostiarako bidea egin beharrak?

T.P.- Ez. Berak ideiak eman ditu, eta noizean behin eztabaidatzeko denbora edukitzea nahikoa izan da lana aurrera ateratzeko.

J.R.E.- Goazen aurrera tesiarekin. Ikusten denez, tesi mamitsu honek bi atal desberdin dauzka. Azalduko al zenuke zer atal diren?

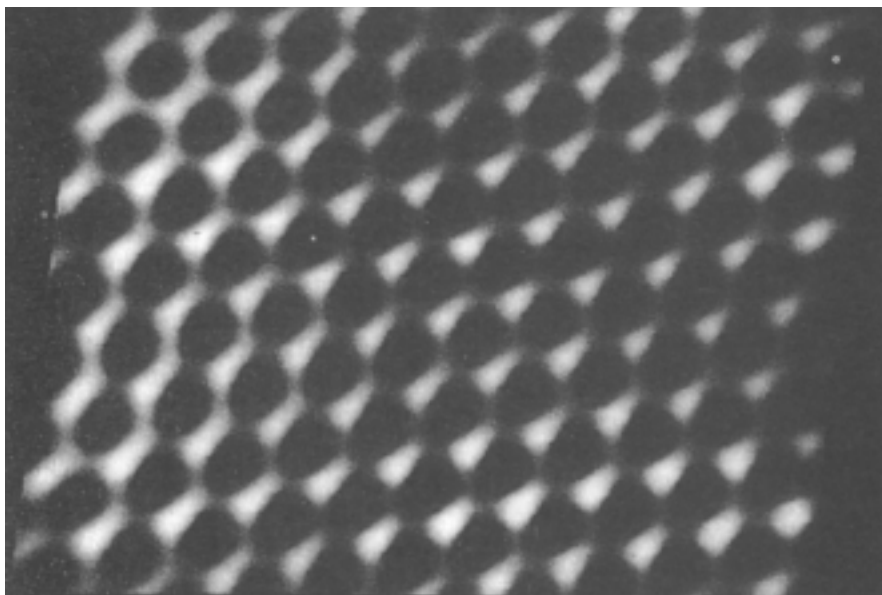
T.P.- Bai, tesiak bi atal nagusi ditu. Alde batetik, tunel mikroskopioaz baliaturik beste ikerlariak lorturiko emaitza esperimentaletaz baliatu gara, gainazal-potentzialaren nahiz hutseango interakzio-potentzialaren azterketa teorikoa egiteko, bai eta gainazalaren geometriaren efektuak aztertzeko ere. Bestetik, ioi azkarrak eta materia osotzen duten elektroien arteko elkarrekintzarekin erlazionaturiko zenbait arlo aztertu dugu.

J.R.E.- Has gaitezen lehenengo atalarekin. Tunel mikroskopioa. Zer da hori? Zertarako?

T.P.- Bai, tunel-distantziak angstrom bateko gehikuntza jasaten duen bakoitzean, tunel-korrontea hamar aldiz, gutxi gorabehera, txikiagotzen bait da (atomoen erradioa angstrom batekoa da, gutxi gorabehera).

J.R.E.- Horretaz ni gehien harritzen nauena, mekanikoki A bateko higidura kontrolatzea da. Nola lortzen da hori?

T.P.- Robert Oppenheimer-ek eta George Gamow-ek 1928. urtean, hau da, Mekanika Kuantikoa plazaratu eta handik bi urtera, tunel-efektu mekaniko-kuantikoaren berri eman zutenetik hona, hutsean zeharreko tunel-korronte kontrolatuaren berri esperimentalak jasotzeko ahaleginak egin izan dira. Berriz, ez da emaitza arrakastatsurik lortu, bibrazioen arazoengatik nagusiki, Binnig-ek eta Rohrer-ek 1981. urtean bibrazioak ezabatuz punta delakoa zenbait angstrom-ehuneneko bereizmenaz higi eraztea erdietsi zuten arte, material piezoelektrikoetako hiruoineko batez baliaturik.



Tunel mikroskopioaz ikusten den grafitozko gainazala. Puntu argitsuenak, kanpoen dagoen geruzako atomoen posizioak dira. Atomo hauek irudi hexagonalak osatzen dituzte. Goiko irudia: intentsitate-moduluzioaren irudia. Beheko irudia: arrasto indibidualak.

J.R.E.- Zer material erabiltzen da horretarako?

T.P.- Normalean wolframiozko puntak erabili ohi dira.

J.R.E.- Beraz, teknika horrekin egin daitekeena, gainazala nolakoa den ikustea da.

T.P.- Tunel mikroskopioaren berehalako aplikazioa, gainazalen irudi topografikoak lortzea dugu. Gainazalako elektroiek topatzen duten hutseango potentzial-langa neurtu eta tunel-elektroien eta gainazalen arteko elkarrekintza mekaniko-kuantikoen berri jasotzeko ere oso baliagarria suertatzen dela frogatu da, eta hauxe da, hain zuzen, guk egiten duguna, beste ikerlariak lorturiko emaitza esperimentaletaz baliaturik.

J.R.E.- Metodo hori, oraingoz, materiaren egitura zein den jakiteko, teorikoki oso interesgarri izan daiteke, baina hor geratzen al da arazoa, hots, maila teorikoan soilik, edota horretatik pentsatzen al da aplikazioen bat egitera, ez Fisika Teorikoan soilik, Fisika Aplikatuan eta Teknologian baizik?

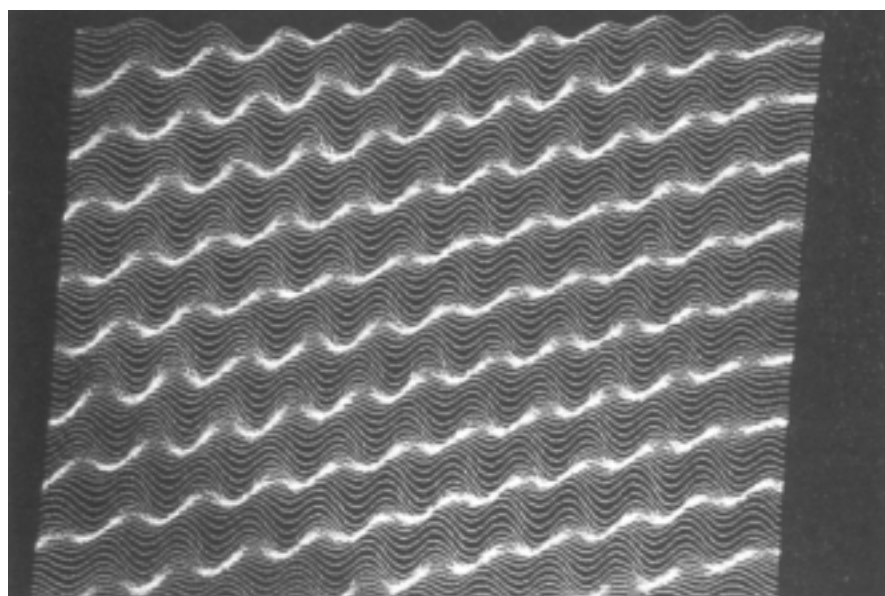
T.P.- Dagoeneko tunel mikroskopioa Biologian ere erabili da, DNA delakoaren egituraren berri emateko, eta birus nahiz proteinekin ere zenbait esperimentu burutu da.

J.R.E.- Gainazalak ez al du, ba, metala izan behar?

T.P.- Jatorrizko tunel mikroskopioa (STM) biomolekulak ikusteko erabili izan da, berauek gainazal eroale baten gainean kokaturik, baina gainazal ez-eroaleak azter ditzakeen mikroskopio berriak ere diseinatu dira azken urteotan, hala nola indar atomikozko mikroskopioa (AFM) eta fotoizko tunel mikroskopioa (PSTM).

J.R.E.- Goazen ba, tesiaren bigarren atalera. Antzeko zerbait egin al duzu bertan?

T.P.- Tesiaren bigarren atalean ioi azkarren eta materiaren arteko elka-



J.R.E.- Mekanikoki hori nola kontrola? Hain higadura fina duen motorerik egin al daiteke?

T.P.- Punta delakoa laginaren gainazalean barrena higi eraztean, berrelkadura-mekanismo batek tunel-korrontea neurtu eta bi gainazalen arteko distantzia konstante gordetzen du. Punta bertikalki higi erazten da. Beraz, laginaren gainazalaren egitura atomikoaren arabera.

J.R.E.- Labur esanda, pieza laun bat prestatzen da, beraren gainazala aztertzeko, eta scan moduko bat egiten da beraren parean, plano horizontaleko bi norabide koordeatuen arabera.

T.P.- Bai. Laginaren gainazalaren gainean zenbait angstrometako dis-

tantziara dagoen punta, lerro paralelotan barrena higi erazten da. Era honetara, bada, gainazalaren irudi tridimentsionala lor daiteke, behin puntaren higadura ordenadore batek prozesatuz gero.

J.R.E.- Eta punta famatu hori zer modutakoa da? Oso txikia izan beharko du, ez da?

T.P.- Zenbat eta meheagoa izan, aldetako bereizmena hainbat eta handiagoa izango da. Izan ere, laginaren eta puntaren artean eremu elektriko bortitzak sortaraziz esperimentuak behin eta berriro burutzuz gero, punta zorroztu egiten da, eta tunel-korrontean puntaren muturrean dagokeen atomo bakar bati dagozkion elektroiek soilik parte hartzea lor daiteke.

rrekintzari dagokion zenbait arlo aztertu dugu. Alde batetik, ioi-bikote azkarren eta elektroigasaren arteko elkarrekintzaren eraginez kolisio-elektroiak igorriak direneko prozesua aztertu dugu, eta bestetik, ioi azkarrak solidoetan zehar kanaliza eraztean sorteraizitako erradiazio-emisioaren bidezko elektroiharrapaketa delako prozesua aztertu dugu.

J.R.E.- Eta horrek zer interes dauka?

T.P.- Funtsezko helburua materia osotzen duten partikulen jokabidea aztertzea da. Honetarako, materia era ezberdineko partikula kargatuekin interakziona erazi izan da urteetan zehar, eta horrelako esperimentuak interpretatu ahal izatearen beharrak, partikula kargatuen eta materiaren arteko elkarrekintzak aztertzea nahitaezko egin du. Izan ere, 1911. urtean Rutherford-ek α partikulak erabili zituen atomoaren egituraren berri jasotzeko asmoz, eta Bohr-ek lehen lanak plazaratu zituen materia zeharkatzen duten partikula kargatuen elkarrekintzak azterturik.

J.R.E.- Esate baterako, adibide bat botatzen dugula. Eman dezagun partikula bat, ioi bat. Normalean zer aterako da?

T.P.- Jaurtikitako ioiekin batera elektroiak edo eta fotoiak atera daitezke, besteak beste.

J.R.E.- Ez dauka zerikusirik, ordea, erradioaktibitatearekin, ez da? Ala erradiazio erradioaktiboa al da?

T.P.- Ez; guk aztertzen ditugun prozesuetan atera daitezkeen fotoien energiak zenbait keV-ekoak bait dira.

J.R.E.- Gauza mekaniko samarra da beraz; talka moduko bat edo. Esan nahi dut, erreakzio nuklearrik ez dago. Horrelakorik ez duzue aztertu?

T.P.- Ez. Guk aztertu ohi ditugun esperimenduetan jaurtikitako kargen eta materia osotzen duten elektroien arteko elkarrekintzak dira nagusi, bai eta elektroien beren arteko elkarrekintzak ere, eta emaitza hauek elektroiek parte hartzen duteneko prozesuen berri eman diezagukete.

J.R.E.- Beraz, energia txikiagoak izango dira erreakzio nuklearretan agertzen direnak baino.

T.P.- Bai, noski. Esperimentu haueetan jaurtikitako proiektilak materia osotzen duten elektroiak baino azkarragoak izanik ere (Fermi-ren abiadura argiarena baino ehun aldiz txikiagoa izan ohi da, gutxi gorabehera), proiektileen abiadura argiarena baino hamar aldiz txikiagoa izaten da gehienez, gutxi gorabehera.

J.R.E.- Esperimentu batzuk aipatu dituzu. Zuen taldeak egiten ditu edo hemengo Euskal Herriko talderen batek egiten ditu edo nork?

T.P.- Ez, esperimentu hauek munduan zeharreko laborategietan egiten dira.

J.R.E.- Hortaz, zuen taldea, Donostian eta Bilbon zaudetenena, teorikoa da berez.

T.P.- Bai.

J.R.E.- Baina harremanak izango dituzue talde esperimentalekin. Nongoak dira talde horiek? Gutxi gorabehera, harreman pertsonalik izan duzue ala aldizkari zientifiko bidezkoa bakarrik?

T.P.- Etxeniketik talde esperimental askorekiko harremanak dauzka, Estatu Batuetan, Japonian, Alemanian, Neuk ere izan dut harremanik.

J.R.E.- Non?, esate baterako,...

T.P.- Tesiaren hirugarren atalean, esate baterako, japoniar batek Ameriketako Argonne-ko laborategian eginiko esperimenduaren berri eman dezaketen prozesuen azterketa teorikoa egiten dihardu, eta berarekin egonda nago.

J.R.E.- Zer izen du zientzilari horrek?

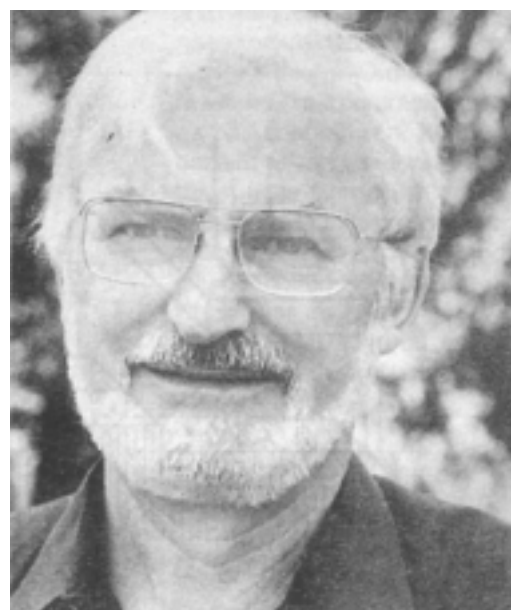
T.P.- Yamazaki.

J.R.E.- Zer diote fisikari esperimentalek? Ados al daude zure azalpen teorikoekin?

T.P.- Yamazaki, esaterako, bere esperimenduaren azalpenaren zain dago, eta gure azalpena hurbildu egiten zaio, baina oraindik lan gehitxoago egin behar da. Tesiaren laugarren atalean, bestalde, ioi azkarrak solidoetan zehar kanaliza eraztean Oak Ridge-n aztertu duten erradiazioaren energiaren deficitaren interpretazioa eman dugu.



Binnig



Rohrer

J.R.E.- Lehenago aipatu didazu Oak Ridge eta baita Cambridge ere. Bertako Cavendish laborategia teorikoa al da?

T.P.- Cavendish laborategian denerarik dago.

J.R.E.- Baina lan honi dagokionez?

T.P.- Cavendish laborategian tunel mikroskopioaren azterketari dagokion arloa besterik ez nuen ukitu. Arlo honetako fisikari esperimentalekin harremanik izan nuen, baina kalkuluak egiteko programak prestatzen oso laguntza handia eman zidan bertako Chris Nex matematikariarekin aritu nintzen, nagusiki. Ioien eta materiaren arteko elkarrekintzei dagokien hango esperimenteren berri ez dut jaso.

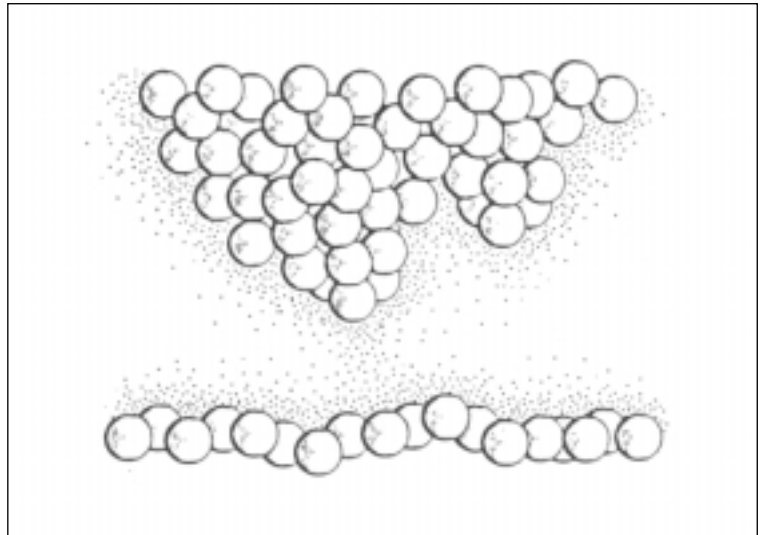
J.R.E.- Beraz, esperimenduak Oak Ridge-n bai. Bertako fisikari esperimental horiekin aritu izan al zara?

T.P.- Ez. Oak Ridgen egon naizetan teorikoekin soilik aritu naiz, hango laborategiko beste sailetan eginiko lan esperimentalaren azterketa teorikoa egin badugu ere.

J.R.E.- Eta Madrileko irakasle batekin ere lan egin duzu. Hori ere teorikoa?

T.P.- Bai. Flores-ekin oso harreman onak izan ditut, tunel mikroskopioari buruzko arloa aztertzeko orduan. Bera horretan aditua da, Nobel Saria jasotakoekin lanean aritua, beraiekin argitaraturiko lanak ere badituelarik. Ioien arloa, berriaz, Oak Ridgeko Ritchie irakaslearekin landu dut, nagusiki. Etxenikerekin arlo biak ikertu ditut, eta berak jarri

Laginaren egitura atomikoa hauxe izan daiteke. Atomoak eta elektroiak nehasturik azaltzen dira.



nau Ritchie eta Floresekin harremanetan, hain zuzen ere.

J.R.E.- Geroari begira jarraipenik izango al du lan honek?

T.P.- Baietz uste dut nik.

J.R.E.- Zein arlotan?

T.P.- Arlo bietan. Momentu honetan materia zeharkatzen duten partikula kargatuen balaztatze-indarraren efektu ez-linealak aztertzen ari naiz Etxenike eta Ritchierekin batera. Perturbazioa oso txikia deneko limitean balaztatze-indarra proiektilaren kargaren karratuarekiko proportzionala da. Orainsu, aldiz, protoien eta antiprotoien balaztatze-indarrak ezberdinak direla frogatu da esperimentalki, eta emaitza hauen interpretazioa proiektilaren kargaren kuboarekiko proportzionala den balaztatze-indarraren ekarpenean datzake.

J.R.E.- Gaia aldatuz, tesi horregatik euskarazko ikerkuntzaren arloko Azkue Saria jaso duzu. Poztekoa da, zer esanik ez. Aipatzekoa da, hala ere, tesia euskaraz eta ingelesez aurkeztu zenuela. Zergatik hori?

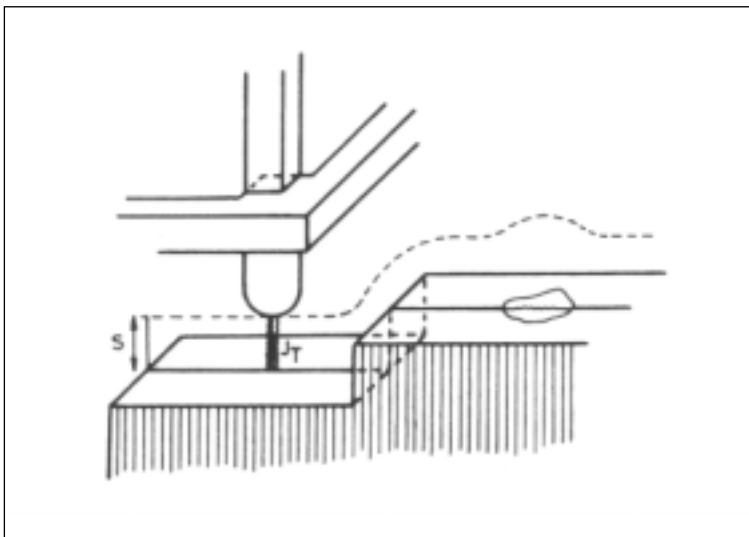
T.P.- Erabilitako dokumentazio guztia eta nik neuk argitaratutako lanak ere, denak ingelesez idatzita neuzkan, baina tesiaren txostena euskara hutsez idatzi nuen. Tesia Unibertsitatean aurkezteko ez nuen zertan itzulpenik egin behar, behin erdarazko laburpena eginez gero. Hala ere, banaka batzuk baino ezingo zuten euskara hutsez idatzitako tesia irakurri, ez eta epai-mahaikideek ere, eta itzultzeko erabakia hartu nuen, beraz. Ingeleszko itzulpena gaztelaniazkoa baino erabilgarriagoa izango zelakoan, ingelesera itzultzea erabaki nuen. Horrela, gainera, epai-mahaikide izango ziren guztiek irakur zezaketen osorik; amerikar bat ekartzeko asmotan bait nengoen.

J.R.E.- Honekin batera, zu ibilia zara euskarazko testugintzan. Artikuluak eta liburuak argitaratu dituzu. Horretan segitzeko asmorik edo?

T.P.- Bai, dudarik gabe.

J.R.E.- Ba al daukazu buruan lanen bat edo oraingoz lasaialditxo bat hartu behar duzu azken urteotako tentsioa baretzeko?

Orain momentuan ez daukat ezer buruan, baina zerbait egingo da, dudarik gabe, orain lasaia go nabill eta.



BINNING eta ROHRER ikerlariak Å bateko higidura kontrolatzea lortu zuten.