

# MÖSSBAUER

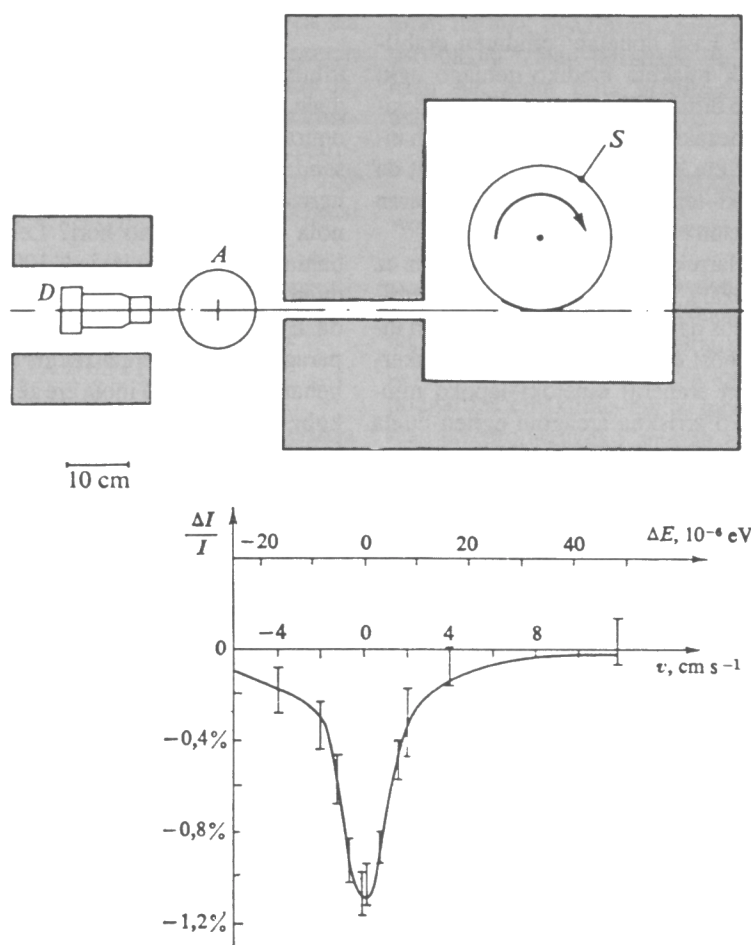
## ESPEKTROSKOPIA

J.M. Barandiaran eta F. Plazaola\*

**R**UDOLF Ludwig Mössbauer (ikus 1. irudia) München-en jaio zen 1929.eko urtarrilaren 31n. Beraz, aurten bere jaiotzaren 60. urteurrena ospatzen da. Bere izena daraman efektuaren historia oso interesgarria da. R.L. Mössbauer gazteak doktorego-tesirako esperimentuak egiten ari zelarik, fenomeno arraro bat, espero ez zuena, ikusi zuen. Esperimentu horietan  $^{191}\text{Os}$  isotopoa iturri moduan erabiltzen zuen. Isotopo hau, beta desintegrazioa dela medio,  $^{191}\text{Ir}$  isotopoen 129 keV-eko egoerara pasatzen da, egoera horretatik funtsezko egoerara, hots, energia minimoko egoerara pasatzean 129 keV-eko gamma izpia igortzen du, lerroaren zabalera  $5 \times 10^{-6}$  eV-ekoa izanik. Mössbauerrek gamma



R.L. Mössbauer 1976. urtean, Institut Laue Langevin-eko zuzendari zen garaian.



Goian: Mössbauerrek erabilitako tresneria

A) zurgatzailea kriostatoren barnean. S) kriostato gaineko iturri birakorra

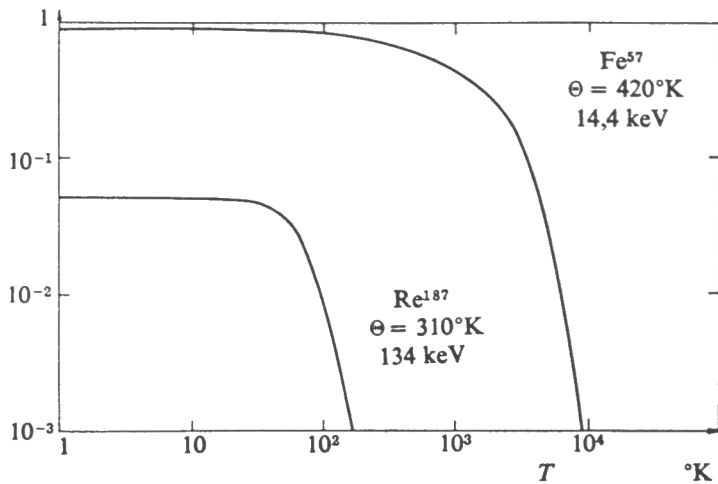
Behean: Iridioaren zurgapen-espektroa, 88 gradu Kelvin tenperaturatan. x ardatzean, bai iturriaren abiadura ( $v$ ) bai Doppler-en energia ( $DE$ ) ikus daiteke (R.L. Mössbauer, *Naturwiss*, 45 (1958))

Leioako Zientzi Fakultatean lorturiko burdinaren zurgapen-espektroa. Ferromagnetikoa izanik,

izpi horien transmisioa iridio-kristal naturalean (% 38,5  $^{191}\text{Ir}$ ) zehar neurtu zuen eta horretarako 2. irudian adierazten den gailua eraiki zuen. Esperimentu honi fluoreszentsia edo zurgapen erresonantzia deritzo. Era honetako esperimentuetan iturriko nukleoek funtsezko egoerara pasatzean

igortzen dituzten gamma izpiak mota bereko diana-nukleoek zurgatu egiten dituzte, iturriko nukleo igortzaileen hasierako egoera berera gamma izpi hori zuzenean transmititu gabe altxatuz. Fluoreszentsia espektroskopia atomikoan oso ezaguna zen. Erradiazioa jatorri nuklearrekoa ba-

\* Elektrizitate eta Elektronikako Saila. E.H.U. Zientzi Fakultatea. Leioa.



Mössbauerrek kalkulaturako atzerapenik gabeko zurgapen-zatia ( $f$ ), ( $T$ ) tenperaturaren arabera, bi elementu ezberdinetarako (R.L. Mössbauer, *Ann. Rev. Nucl. Sci.*, 12 (1962))

da (erradiazioaren energi zabalera oso txikia denez) nukleoak gamma izpia igortzean jasaten duen atzerapen-energia lerroaren zabalera naturala baino handiagoa izaten denez, ez da zurgapen erresonanterik (edo fluoreszentiari) gertatzen. Doppler efektuaren bidez gamma izpiari energia ematen bazaio, zurgapen erresonantea gertatuko da. Hau, mekanikoki egin daiteke, iturriari abiadura emanez (ikus 2. irudia) eta baita termikoki ere, tenperatura igoz. Beraz, tenperatura altuetan jatorri termikoko Doppler efektuak igorpen-eta zurgapen-lerroetan behar adinako zabalera sortzen du elkarri gainezartzeko, modu honetan zurgapen erresonantea gertatuz. Horixe zen Mössbauer gazteak espero zuena, hots, tenperatura altxatzean erresonantzia handiagotu egingo zela, kristala erabili beharrean lurrina erabiltzean ikusi zen bezala. Mössbauerrek, berriz, (espero ez zuen emaitza lortu zuen) tenperatura jaistean zurgapena handiagotu egingo zela aurkitu zuen. Behaketa bidez hau lortu ondoren gogor ekin zion lanari, esperimentalki zein teorikoki, efektu ezezagun hau argitzeko. Nukleoak kristal batean loturik dagoenean, bere higidura oszilatzaile-multzo baten higidurarekin konpara daiteke, eta horixe da, hain zuzen ere, Mössbauerrek egin zuena. Kasu honetan funtsezko egoeratik lehen egoerara eramateko (fo-

noiak sortzeko) atzerapen-energia nahikoa ez bada (momentu lineala kontserbatu egiten delarik), kristal guztia (eta ez nukleo igortzailea bakarrik) atzeratuko da. Beraz, atzerapen-energia sareko nukleoaren kopuruaren arabera txikiagotuko da ( $10^{10}$  ordenakoa mikra kubiko bateko sarean) eta balio hau gamma izpiaren energi-lerroaren zabalera baino askoz txikiagoa izanik, arbuigarria izango da. Kasu hauetan atzerapenik gabeko igorpenaz hitz egiten dugu. Mössbauerrek kristal-sarea  $\omega_E$  maiztasuneko oszilatzaileez ordezkaturik (Einsteinen ereduari jarraituz) atzerapenik gabeko igorpena  $h\omega_E = k\theta_E > E\gamma^2/mc^2$  ( $E\gamma = \gamma$  izpiaren energia,  $\theta_E =$  Einsteinen tenperatura) soilik bada, gertatuko dela kalkulatu zuen. Hala ere, bibrazioen espektro erreala Einsteinen ereduaz azaldutakoa baino konplexuagoa izanik, ondoren Debye-ren hurbilketa erabili zuen. Eredu honen bidez atzerapenik gabeko igorpenaren probabilitatea tenperatura altxatzean txikiagotu egingo dela eta tenperatura Debyeren tenperaturarekiko handia bada probabilitatea arbuigarria dela aurkitu zuen (ikus 3. irudia). Irudi bereberetan, Debyeren tenperatura gero eta handiagoa bada, hots, kristalaren lotura-indarrak gero eta handiagoak badira, atzerapenik gabeko igorpenaren probabilitatea tenperatura altuagoetan suntsitzen dela ere adierazten da. Mössbauerrek

1958. urtean azaldu zituen efektuaren ezaugarriak, baina urtebete baino gehiago pasatu zen zientzi komunitateak onartu arte. Bere lanagatik 1961. urtean Nobel Saria lortu zuen.

Mössbauer nukleoak, hots, atzerapenik gabe gamma izpiak igortzen dituzten nukleoak, asko dira, ezagunena  $^{57}\text{Fe}$  izanik; giro-tenperaturaren bereziki atzerapenik gabeko gertatzen probabilitatea nahikoa handia delako eta baita burdina substantzia interesgarri askoren osagai delako ere. Mössbauer espektroskopioaren paregabeko doitasuna, lerroaren zabalera naturala trantsizio energia baino  $10^{13}$  aldiz txikiagoa izatean datza, hots, aipaturiko doitasunarekin konparaketa eginez Lurretik Ilargirainoko distantzian mikra baten ordenako aldaketak neurtu ahal izanzen genituzke.

Gaur eguneko Mössbauer espektrometroei dagokien energi aldaketa iturri eta zurgatzaileen arteko higidura erlatiboaz burutzen da, hots, Doppler efektuaren bidez. Abiadurak txikiak izaten dira, zenbait milimetro segundokoak hain zuzen ere.

Nukleo atomikoek parte hartzen duteneko elkarrekintza elektriko eta magnetikoei elkarrekintza hiperfin deritze. Elkarrekintza hauek Mössbauer espektroskopioan oso erraz ikus daitezke; goian aipatu bezala, Mössbauer teknika bereizmen handikoa bait da. Ondoren adierazten diren elkarrekintza hiperfinak aztertu ondoren nukleo zurgatzailearen egoera eta beraren ingurune hurbila nolakoa den jakin ahal da.

a) **Aldakuntza Isomerikoa** edo karga nuklearraren banaketa ez-puntualaren eta nukleoan egoteko probabilitatea daukaten elektroien arteko elkarrekintza. Elkarrekintza honek maila energetikoen aldakuntza sortzen du. Aldaketa hori funtsezko egoeran eta egoera kitzikatuan (hots, energia altuagoko egoeran) berdina ez denez, zurgapen-lerroa lerratu egingo da. Lerrakuntzaren intentsitateak nukleoan egoteko probabilitatea

duten elektroien dentsitateaz edo be-  
raiengan dagoen pantailatzearen  
idea ematen digu, hots, Mössbauer  
nukleoaren ingurune kimikoarena,  
hain zuzen ere.

b) **Anizkoizketa kuadropolarra**  
edo nukleoaren momentu kuadropo-  
lar elektrikoaren eta nukleoa aurki-  
tzen deneko posizioako eremu elektri-  
koaren gradientearen arteko elkarre-  
kintza. Elkarrekintza honek eremu  
kristalinoarekiko proportzionala den  
anizkoizketa sortzen du. Beraz,  
Mössbauer nukleoaren ingurune-  
ko simetria deskribatzen du.

c) **Anizkoizketa magnetikoa** edo  
nukleoaren momentu dipolar mag-  
netikoaren eta nukleoaren posizio-  
ko eremu magnetikoaren arteko elka-  
rrekintza. Anizkoizketa honek mag-  
netikoki ordenaturiko inguruneen  
eremu lokalaren neurketa ematen  
digu (ikus 4. irudia).

## APLIKAZIOAK

Kimikako ikerketaren kasuan  
Mössbauer-parametro garrantzitsu-

nak aldakuntza isomerikoan eta aniz-  
koizketa kuadropolarrean gertatzen  
dira. Parametro hauen bidez spin- eta  
oxidazio-egoerak, simetria mo-  
lekularra, konposatu kimikoen anali-  
si eta bereizkuntza, korrosioa, katali-  
sia eta beste hainbat ikerketa buru-  
tzen da.

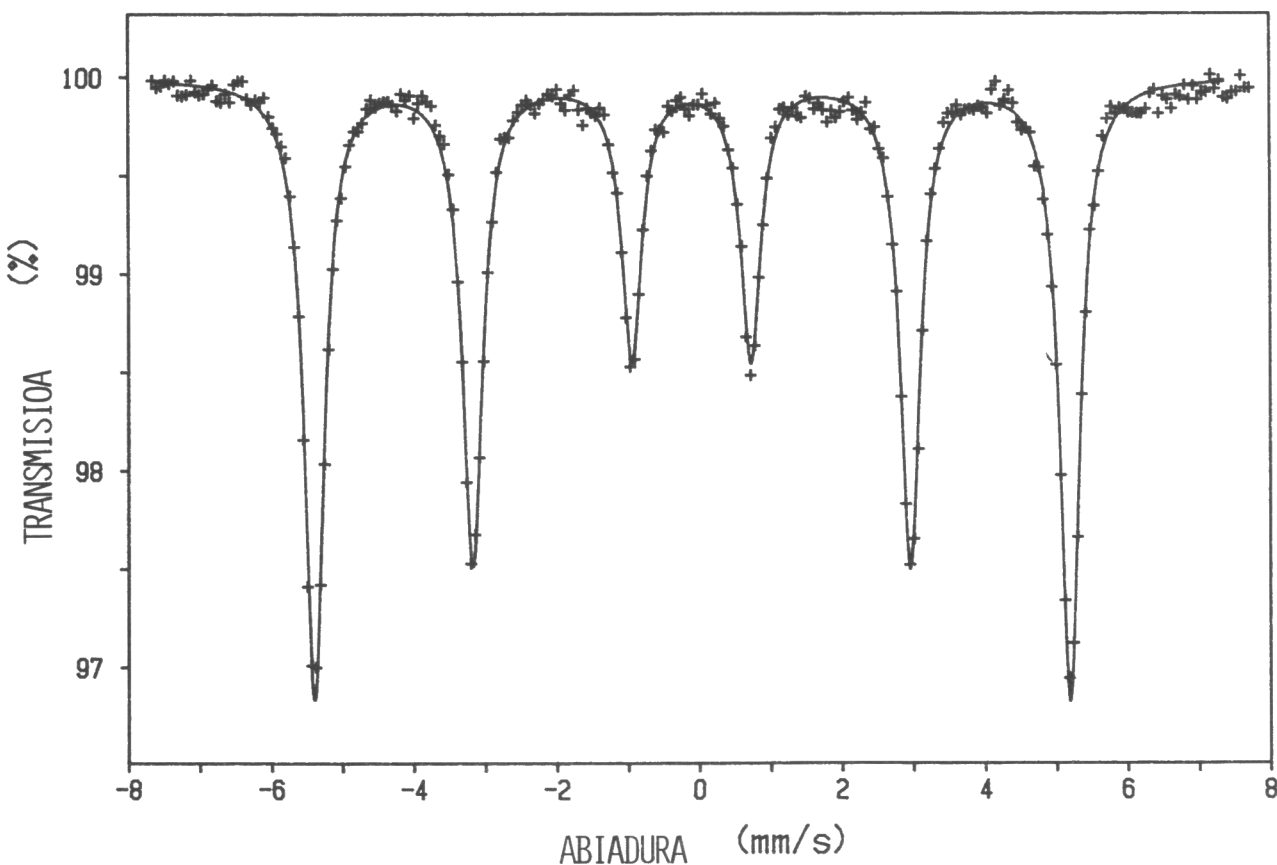
Materialetako propietate magneti-  
koen ikerketa, Mössbauer espektros-  
kopiaren aplikazio arruntena izaten  
da. Gehien erabilitako Mössbauer  
isotopoa  $^{57}\text{Fe}$  da; burdina material  
magnetikoen osagai arruntetari-  
koa bait da. Konposatu magnetikoen  
informazio asko parametro hiperfi-  
netatik lor daiteke eta burutu daitez-  
ken ikerketa batzuk ondokoak ditu-  
gu: Ordena magnetikoaren tempera-  
tura eta mota (ferromagnetikoa, an-  
tiferromagnetikoa...), posizio mag-  
netiko edo kristalografiko ez balio-  
kideen arteko atomoen banaketa,  
egitura magnetikoaren ikerketa etab.

Mössbauer espektroskopiak me-  
talurgian duen erabilera oso berria  
izan arren, funtsezko ezaugarri ba-  
tzuk dagoeneko mugatu dira eta oso

esperimentu bereziak ere burutu dira.  
Mössbauer espektroskopiaren bidez  
burutu daitezken ikerketa batzuk on-  
dokoak dira: disoluzio solidoen anali-  
si koantitatiboa, aldaketa martent-  
sitikoak, hauspeaketa, aleazio  
amorfoak, akatsak etab.

Hainbat molekula biologikok bur-  
dina eta beste metalak daramatza eta  
Mössbauer efektua zenbait entzima  
eta proteina ikertzeko oso erabil-  
garria da, kasu aipagarrienetarikoa  
hemoglobinarena izanik. Konposatu  
biologikoetan laginen prestaketa be-  
rezia da, ur-disoluziotan egon behar  
dute eta izozturik daudenean neur-  
tzen dira. Hemoproteinak, burdina  
eta azufrea daramaten proteinak eta  
burdina pilatu eta garraiatzen dute-  
nak dira gehien ikertu diren mole-  
kulak.

Mössbauer espektroskopia beste  
eremutan ere erabilia da, horietariko  
batzuk Mineralogia, Geologia  
(Lurrekoa eta Ilargikoa), Arkeologia,  
materia ez kristalinoa, etab. izanik.



barne-eremu magnetiko handia sortzen da, eta espektroan sei lerro agertzen dira.