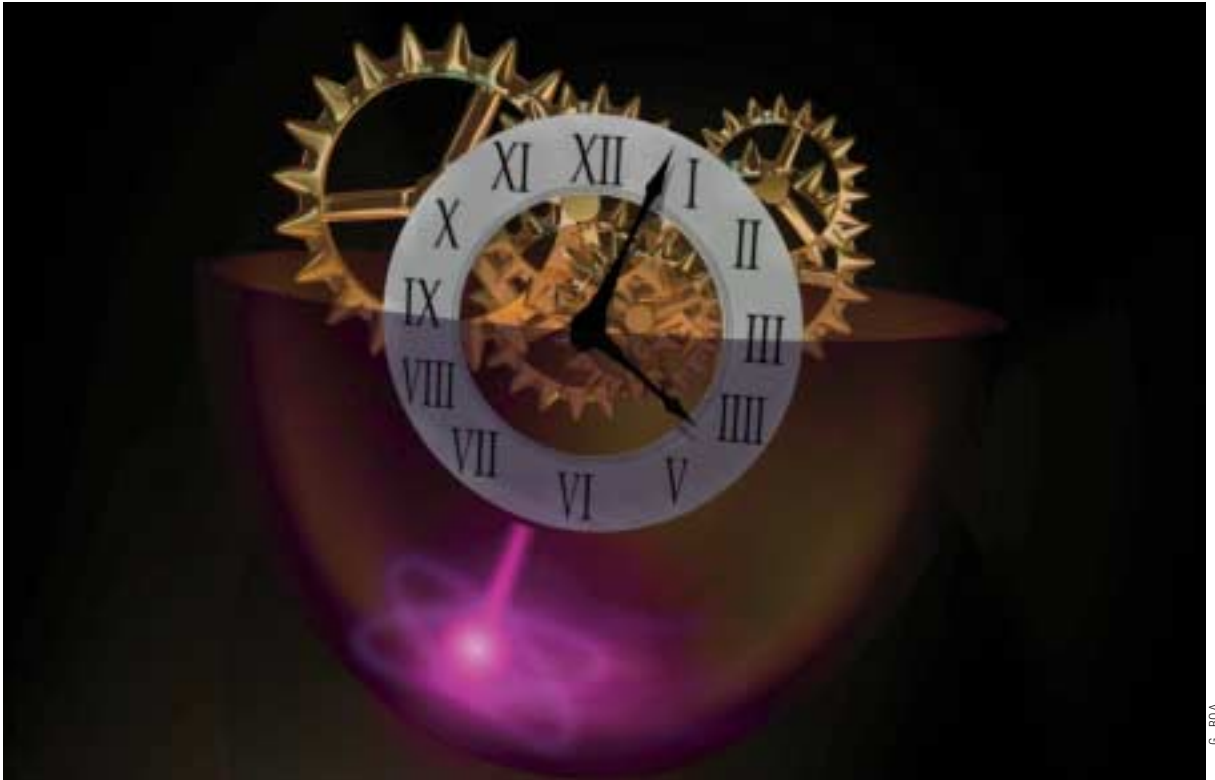


# Tik-tak atomo batean

Roa Zubia, Guillermo

Elhuyar Zientziaren Komunikazioa



**Segundoak zenbat irauten duen definitzeko, atomo baten bibrazioa erabiltzen dugu: segundo bat, zehatz-mehatz, zesio-133 atomoak 9.192.631.770 aldiz bibratzeko behar duen denbora da. Beraz, zesioaren bibrazioak kontaktzen dituen makina batek balio dezake denbora zehaztasun handiz neurtzeko. Hain zuzen, makina horri erloju atomiko deritzo, eta gaur egun denbora neurtzeko dagoen sistema zehatzena da. Segundo bateko errorea sortzen du 30 milioi urtean. Baina zertarako behar dugu zehaztasun-maila hori?**

ZESIO-ATOMOEN OSZILAZIOAK MARKATZEN DITU munduko estatu guztien denbora ofizialak. European, adibidez, erloju atomikoen sare batek egiten du lan hori. Gutxi gorabehera, 300 erloju dira, eta horietatik garrantzitsuenak Alemaniako PTB erakundearenak dira, Alemaniako Metrologia Zentroarenak.

Egia esan, 33 segundoko desfasea dago sare horrek ematen duen denbora ofizialaren eta praktikan erabil-

tzen diren denboren artean, eta erloju atomikoak erabiltzen hasi izanaren ondorioa da desfase hori.

Erloju atomikoen sareak *International Atomic Time* izeneko denbora ematen du, Nazioarteko Denbora Atomikoa. "Hori da gizakiak eskaintzen duen denbora-eskalarik onena" dio Robert Wynands Alemaniako PTBko adituak. Baina, erloju atomiko horiek erabili baino lehen, segundoaren definizioa

behaketa astronomikoetan oinarritzen zen; hain zuzen ere, 200 urteko behaketan batez besteko datuekin kalkulaturakoa zen segundoa.

## Lurra ez da erloju bat

Lurraren eguna zehatz neurtuta, ordua, minutua eta segundoa defini daitezke. Baina 200 urtean Lurraren erroztazioa aldatu egin da, etengabe ari delako aldatzen. Ilargiaren marea-indarraren frikzioa balaztatzen ari da, eta, ondorioz, eguna luzatzen ari da, Lurrak denbora gehiago behar duelako bira bat egiteko (dinosauroen garaian, 23 ordu inguru zuen egunak, eta urtea 380 egunekoa zen). Azkenean, zesio-atomoaren oszilazioz definitutako segundoa eta segundo 'astronomikoa' ez dira berdinak, eta horrek 33 segundoko desfasea eragiten du.

Segundo atomikoa definitu zutenean, ez zegoen bien arteko alderik; segundo astronomikoaren balio bera eman zioten. “Beste edozein erabaki burugabekeria bat izango litzateke”, dio Wynandsek. Baina, gerora, segundo astronomikoaren balioa aldatu egin zen. Desfasea egunero handitzen da 1,5 milisegundo edo antzeko kopuru bat; bi urtean, gutxi gorabehera, segundo batera iristen da. Une horretan, denbora-escala astronomikoa segundo batez gelditzen da, Lurraren errotazioari egokitzeko, baina erloju atomikoen sarea ez. Dagoeneko 33 aldiz gertatu da hori, eta, beraz, oraingo desfasea 33 segundokoa da, baina urteekin handitzen joango da.

Estatuetako denbora-escala ofiziala zehazteko erabiltzen den denbora, *World Time*, segundo astronomikoaren arabera da. Baita Europako denbora ofiziala ere, *Central European Time*, baina ordubeteko desfasearekin.

Azkenean, eskalak noizean behin zuzendu behar dira, eta segundoaren bi definizio izatea ez da kontu larria. Nolanahi ere, bi definizio horiek beharrezkoak dira. Bata, astronomikoa, praktikoa eta aldakorra da; bestea, atomikoa, ez da aldatzen, baina horrexegatik, hain zuzen, ez zaio egokitzen Lurraren mugimenduari.

Alemanian PTB erakundeak Europako denbora ofiziala kudeatzen duen sarearen nukleoa da. Handik dator definituta *Central European Time* izeneko eskala.



PTB

## Denboraren definizioa

Zaila da denbora definitzea. Newtonek berak ez zuen egin. “Ez dut denbora definituko, edozeinek dakielako zer den”. Einsteinek, bai, definitu zuen, baina gaiaren filosofiari ihes eginda. “Erlojuak neurtzen duen hori da denbora”. Logikoa. Eta Einsteinen definizioari buelta emanda, erlojuak defini daiteke. Denbora neurtzen duen makina da erlojuak; are gehiago, denbora neurtzen duen edozein gailu da erloju bat, esfera eta orratzak izan ala ez.



ARTIBERKOA

Dena den, definizio atomikoaren abantaila bakarra ez da ez dela aldatzen. Gainera, erloju atomikoen bidez zehazten denez, denboraren neurketa zehatza da. Gaur egun ezagutzen dugun zehatzena.

“orain,  
33 segundoko  
desfasea dago  
ordu  
astronomikoaren  
eta atomikoaren  
artean”

## Denbora egiten

Adituek esaten dute erloju batek bi zati dituela; bata maiztasun batez mugitzen edo aldatzen da, eta besteak maiztasun horren zikloak kontatzen ditu. Beharbada, ez dute erloju guztiguztiak betetzen hori; harea-erloju batek, adibidez, lehen zatia besterik ez du. Baina erloju moderno guztiek dituzte bi zatiak. Esate baterako, penduluan oinarritutako erlojuetan, lehen zatia pendulua bera da, maiztasuna markatzen duen gailua baita, eta bigarrena, erlojuaren mekanismoa, penduluaren joan-etorriak kontatzen dituzten gurpiltxoak; joan-etorri horiek kontatzen dituzte, eta esfera batera transmititzen dute kontaketa informazioa.

Arau orokorra hau da: zenbat eta maiztasun handiagoko teknika erabili, orduan eta erloju zehatzagoa da. Gizakiak egin dituen erloju zehatzenak zesio-atomoak erabiltzen ditu penduluaren lana egiteko. Ohiko penduluek segundo bateko zikloak egiten zituzten; zesio-atomoak, berriz, kondizio jakin batzuetan dagoenean, milioika ziklo egiten ditu segundo batean.

Izan ere, gaur egun, zesio-atomoa erabiltzen da segundoa definitzeko. Ematen zaion energiaren arabera, zesio-133 isotopoa bi egoeratan egon daiteke tenperatura jakin batean. Energia altueneko egoeran egoteko,

jakina, atomoak energia-kantitate bat xurgatu behar du. Eta kantitate hori bera askatzen duenean, energia baxueneko egoerara pasatzen da. Hortik dator segundoaren definizioa: egoeraldaketa hori 9.192.631.770 aldiz egiteko behar duen denbora zehatza segundo bat da. Eta, noski, atomoaren gorabeherak eragin eta kontatu ditzakeen gailuari erloju atomiko deritzo.

Atomo baten oszilazioa erabiltzearen abantaila lortzen den zehaztasuna da. Munduko erlojurik zehatzena Parisen dago, eta 80 milioi urtean segundo bakar bateko errorea du. Kuartzozko erloju baten errorea urteko 10 segundo ingurukoa da. Eta erloju mekaniko onena, berriz, ez da kuartzozko erlojuaren zehaztasunera ere hurbiltzen.

“Ez du inporta zenbat ordaindu duzun zure Rolex erlojua. Eros ezazu kuartzozko erloju merke bat, eta askoz erloju hobea izango duzu, Rolex garestiena baino ehun aldiz zehatzagoa”, dio Wynandsek.

Bai, baina erloju mekanikoak ere ematen du eguneroko bizimodurako behar adinako zehaztasuna. Zertarako behar dugu segundo baten bilioirena neurtzeko gai den erloju bat, fisikako esperimendu zehatzak



Robert Wynands, PTB erakundeko langilea. Erloju atomikoen garrantziari buruzko hitzaldi bat eman zuen EHUko Zientzia eta Teknologia Fakultatean.

J.M. GUTIERREZ

egiteko ez bada? Bada, eguneroko bizimoduan nahitaezkoa zaigu zehaztasun hori, batez ere, seinaleak ondo sinkronizatzeke.

“oso erloju zehatzak behar ditugu, batez ere, seinaleak sinkronizatzeke”

### Hiru adibide

Seinaleak sinkronizatzeak esan nahi du uhinak sinkronizatu behar direla. Telefono mugikorren deiak, irrati-seinaleak, korrante alternoa eta beste seinale asko uhinak dira. Eta seinale horiek kudeatzen dituzten gailuek askotan jasotzen dituzte bi seinale edo gehiago aldi berean. Uhinak direnez, haien arteko interferentziak suntsitzaileak izateko arriskua dago, eta hauxe da sinkronizatzea: interferentzia suntsitzaileak saihestea.

Telefono mugikorren seinaleak kudeatzen dituzten baseak oso adibide onak

### Atomoari eragin

Erloju atomikoaren bihotza zesio-133 isotopo bat da. Pendulu-erloju batean penduluak egiten duen lan bera egiten du isotopo horrek, maiztasun jakin batekin oszilatzen baitu egoera atomiko batetik bestera aldatuz. Baina, pendulari bezala, oszilazio hori eragin behar zaio atomoari; ez du berez oszilatzen. Pendulua bultzatuta eta energia pixkanaka transmitituko dion mekanismo bat martxan jarrita lortzen da pendulu-erlojua lanean izatea. Zesio-atomoa ezin da eskuz bultzatu, mikrouhinekin irradiatu behar da. Eta hor dago gakoa; mikrouhinen pultsuak bidaltzen zaizkio zesio-atomoari, eta zesioa oszilatzen da. Erresonantzia-fenomeno bat da.

Hala ere, zailtasun handi bat dago. Pendulu-erlojuak pendulu

bakarra erabiltzen dute. Erloju atomikoek, aldiz, milioika zesio-atomo dituzte ‘mekanismoan’. Mikrouhinek ez diete atomo guztiguztiek oszilarazten; horregatik, fisikariek probabilitateekin jokatzea behar dute. Ahalik eta atomo gehienek oszilatzea lortu behar dute, oszilazioaren neurketa zehatzak egin ahal izateko. Gainera,

beste arazo bat dago; mikrouhinak maserren bitartez igortzen dituzte (mikrouhinetako laserrak), baina ez dago maser perfekturik. Maser zehatzenak ere ez du igortzen maiztasun bakar bateko erradiazioa. Eta, azkenean, zenbat eta maiztasun-tarte txikiagoa erabili eta zenbat eta gertuago egon zesio-atomoen erresonantzia-maiztasunetik, orduan eta zehatzago izango da erloju atomikoa.



G. WHEELER/NIST

dira. Aldi bereko seinaleak transmititzeko, ordenatu, lehenetsuna eman eta haien arteko interferentziarik gabe igorri behar dituzte. Horretarako, oso denbora-escala zehatza behar dute, erloju atomiko batek ematen duena bezain zehatza.

Gauza bera egiten dute elektrizitatea banatzen duten estazioek. Seinalea ekoizle batetik baino gehiagotatik jasotzen badute, korrontea alternoa da, uhin-mota bat, azken batean. Horiek jaso, eta interferentzia sunsitzailerik izan gabe igorri behar dute indar elektrikoa. European 50 Hz-eko maiztasuna erabiltzen dugu; Estatu Batuetan, adibidez, 60 Hz-ekoa. Maiztasun horiek zehatz-mehatz lortzeko, ezinbestekoa da erloju atomiko bat erabiltzea. Estazio bakoitzean izaten da bat (zorionez, gaur egun merkeak dira, ehunka euro batzuk baino ez dira behar erosteko; bestela, gaurko sare elektrikoa ekonomikoki jasangaitza izango litzateke).

Eta, beharbada, erloju atomikoen aplikaziorik ikusgarriena, gaurko ohiko teknologien artean, GPSa da. Triangelaketa-kontu bat da. Satellite batek baino gehiagok igortzen dute seinalea, eta bidean ematen duen denboraren arabera kalkulatu dira latitudea eta



PTB erakundeak dauzen erloju atomiko zehatzenetako bat.

PTB

*“erloju atomikoen aplikaziorik ikusgarriena, gaurko ohiko teknologien artean, GPSa da”*

longitudea. Beraz, seinaleen sinkronizazioak oso fina izan behar du; hor sartzen da erloju atomikoen lana.

Segundoa definitzeko balio dute erloju atomikoen, eta, horrekin, denbora-escala ofizialak kudeatzen laguntzeko ere bai. Izan ere, hainbat erloju atomikoren seinalea igortzen dute irrati-uhinen bidez, norberaren etxeko erlojuak orduan egon ahal izateko (European, bi erloju erabiltzen dira horretarako, Alemaniakoa bata eta Ingalaterrakoa bestea: Frankfurtekoa eta Rugbykoa). Baina, horrez gain, asko erabiltzen ditugu eguneroko bizimodua sinkronizatzen. □



ZIENTZIA  
IRAKURLE  
ORORENTZAT

Euskal Herriko Unibertsitateko Euskara Zerbitzuak duela lau urte abian jarritako ekimena da ZIO (Zientzia Irakurle Orentzat). Bizkaiko Foru Aldundiaren babesa duen bilduma honen xedea ezagutza edonoren esku jartzea da, liburu interesgarriak, entretenigarriak eta kalitatezkoak eskainiz. Oraingoz, sei dira bilduma osatzen duten lanak. Zientziara hurbiltzeko tresna fresko eta erabilgarriak ZIOk dakartzanak.



Dizkaiko Foru Aldundia  
Diputación Foral de Bizkaia

