



Munduko erlojurik zehatzena

Jon Otaolaurretxi*

Denbora doitasun handiz neurtzeak gero eta garrantzitsuagoa da hainbat arlotan: espazioaren ikerketan, telekomunikazioetan, informatikan eta abarretan. Horretarako segundoaren milioirenaren milioirenak neurtzeko gai diren erloju atomikoak erabiltzen dituzte.

Iaz Parisko behatokian Denbora eta Maiztasunaren Oinarritzko Laborategian (LPTF izenekoan) erlojuen doitasun-marka guztiak hautsi dituzte. Prestatu duten erloju atomikoaren bidez 10^{-15} segundoko doitasuneraino heldu dira; femtosegundoraino alegia. Denbora-tarte gutzitxiki hori beste era batera honela adieraz daiteke: 0,000 000 000 000 001 segundo. Hain denbora-tarte txikiar jabetzea ez da erraza, noski, argiaren abiaduran hedatzen den nerbio-kinadak ere neuronaren barnean desplazatzeko hainbeste behar du eta. Parisko LPTF laborategian Michel Granveaud eta bere taldea batez ere zesiozko erloju atomikoak prestatzen aritzen dira eta beren

lanaren emaitza izan da munduko erloju zehatzena lortzea, munduan beste batzuk ere horretan ari izan arren. Estatu Batuetan NIST (National Institute of Standards and Technology) erakundearen ari direnek, japoniarrek, alemanek eta abarrek 10^{-14} s-raino hurbiltzea lortu dute. Frantziar erloju atomikoarekin diharduen beste laborategi bat ere bada; Orsay-koa, hain zuzen. Erloju hau ere funtsean besteak bezalako da, baina zesio-atomoen ordeztu kaltzio-ioiak erabiltzen ditu. Izan ere, kargatutako partikulak eremu elektromagnetikoen bidez errazago maneia daitezke. Gainera kaltzio-ioian aukeratu den trantsizio-maiztasuna eremu ikuskorreko gorrian dago.

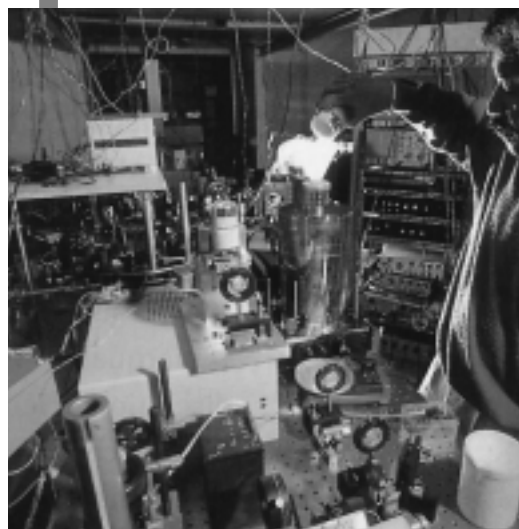
Segundoa zer den eta zertarako den

Duela urte batzuk arte segundoa zer zen galdetzen zenean, erantzuna honakoa izaten zen: minutuaren hirurogeirena edo orduaren 3.600rena. 1967. urtean ordea, segundoaren definizioa aldatu egin zen. Neurri eta Pisuen Batzar Orokorrak onartu zuenaren arabera, segundoaren definizioa honako hau da: zesio 133 atomoaren oinarritzko energi egoeraren bi maila hiperfinen arteko trantsizio-erradiazioaren 9 192 631 770 periodoko denbora-tartea da segundoa. Beste era batera esanda, denbora neurtzeko patroia berria zesio-atomoaren barnean elektroien batek energi geruza batetik barnerago dagoenera pasatzean igorritako uhinaren periodoa da.

Nazioarteko denbora atomikoa, Parisko Sèvres-en Neurri eta Pisuen Bulegoan kalkulatu da munduan barreiatuta dauden 250 erloju atomikoren batezbestekoa aterata. Gogoan izan behar da erloju atomikoak mila urte igarota gehienez 0,0001 segundoko atzerapena edo aurrerapena izan dezakeela.

Segundoaren hain definizio eta erloju zehatzek zertarako balio

Parisko behatokiko erloju atomikoa

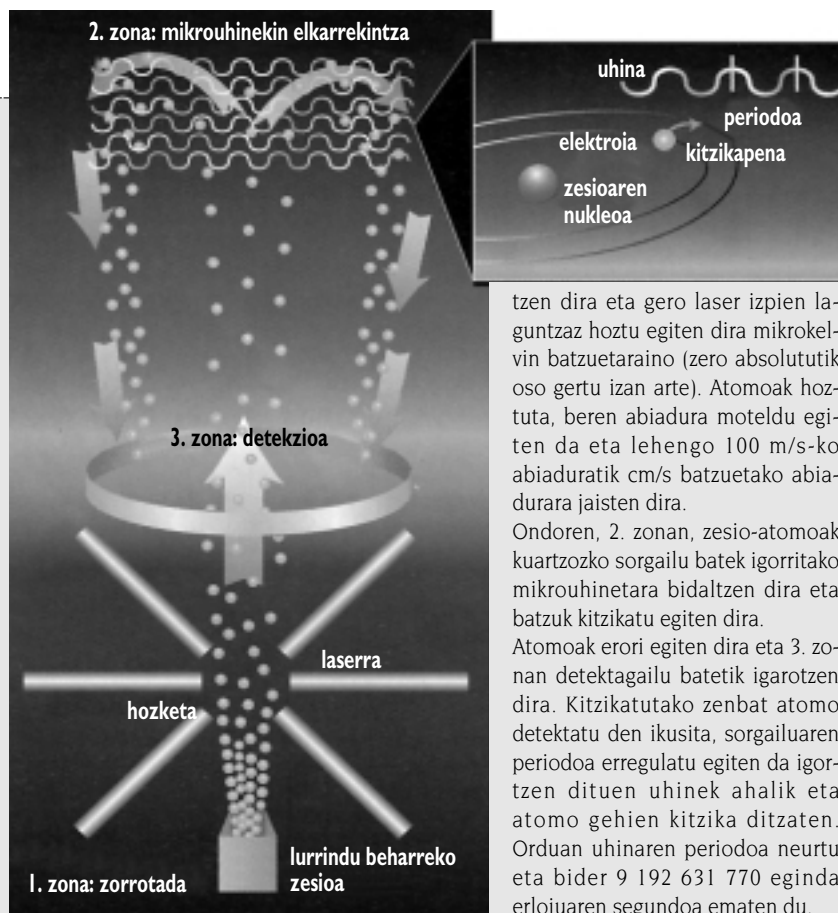


Erloju atomikoak nola funtzionatzen du?

Erloju atomikoetan penduluaren ordez uhin-sorgailua dutela esan daiteke. Uhinak gailurrak eta sakonuneak ditu eta periodoa uhinaren gailur bat puntu batetik igaro eta hurrengoa heldu bitarteko denbora da. Periodoak, beraz, denbora-unitatea adieraz dezake, baina periodo erregular eta egonkorra duen uhina behar da.

Horretarako normalean zesio-atomoa hartzen da. Uhin-luzera jakin batez kitzikatzen denean (9,192 631 770 GHz-eko maiztasunari dagokionaz, hain zuzen), energi maila aldatu egiten zaio. Kitzikatutako atomo-proportzioa zenbat eta handiagoa izan, uhin-luzera horretara (eta ondorioz periodo idealera edo denboraren miniunitatera) hainbat eta gehiago hurbilduko gara. Horregatik uhin-sorgailua ahalik eta kitzikatutako zesio-atomo gehienak lortzeko moduan erregulatzen da. Horrela erlojuak 10^{-15} s inguruko doitasuna izaten du.

Erlojuaren 1. zonan zesioa egoten da; normalean solidoa den metala. Lehenbizi gas bihurtzen da. Hasieran atomoak oinarrizko energi maila berean ipin-



tzen dira eta gero laser izpien laguntzaz hoztu egiten dira mikrokelvin batzuetaraino (zero absolututik oso gertu izan arte). Atomoak hoztuta, beren abiadura moteldu egiten da eta lehengo 100 m/s-ko abiaduratik cm/s batzuetako abiadurara jaisten dira.

Ondoren, 2. zonan, zesio-atomoak kuartzoko sorgailu batek igorritako mikrouhinetara bidaltzen dira eta batzuk kitzikatu egiten dira.

Atomoak erori egiten dira eta 3. zonan detektagailu batetik igarotzen dira. Kitzikatutako zenbat atomo detektatu den ikusita, sorgailuaren periodoa erregulatu egiten da igorritzen dituen uhinek ahalik eta atomo gehien kitzika ditzaten. Orduan uhinaren periodoa neurtu eta bider 9 192 631 770 eginda erlojuaren segundoa ematen du.

duen galdetuko du, ordea, batek baino gehiagok, eta erantzuna teknologia berrien eta oinarrizko ikerketaren premietan dago. Denbora eta espazioa elkarri lotutako kontzeptuak dira. Satellite eta erloju atomikoaren bitartez adibidez, lurreko puntu bat oso zehatz koka daiteke. Distantzia izan ere, argiak hori korritzeko behar duen denboraren arabera kalkulatzen da. Beraz, erlojuaren doitasuna zenbat eta handiagoa izan, lurreko puntua hainbat eta zehatzago kokatuko da. 20.000 kilometroko altitudetan dauden 24 satelitek GPS (Global Positioning System) sistemaren bidez eta erloju atomikoen bitartez lurreko puntuak kokatzeko metro bateko doitasuna dute aplikazio militarretan eta 10 metrokoa aplikazio zibiletan. Erloju atomikoak Parisko behatokikoak bezalakoak balira, doitasuna milimetroaren hamarrenekoa izango

litzateke. GPS sistema hau lurrikarak neurtzeko, Paris-Dakar rallyko automobilak detektatzeko edo kontinenteen jtoa neurtzeko erabiltzen da.

Grabitazio-uhinen bila

Aurkikuntza zientifiko garrantzitsu asko denboraren neurketan izandako aurrerapenari esker gertatu dira: 1676. urtean adibidez, argiaren abiadurak balio finitua zuela jakin zen eta 1937. urtean Lurraren errotazioan irregulartasunak zirela. 1983. urtean berriz, metroa beste era batera definitu zen, argiak hutsean $1/299\,792\,458$ segundotan ibiltzen zuen distantzia zela esanez. Gaur egun ordea, ikerlariak erloju zehatzagoak nahi dituzte Einsteinek 1916. urtean iragarritako "grabitazio-uhin" famatuak detektatzeko. Uhin horiek azelera-

tutako masak igorriko lituzke, higitzen den partikula kargatuak uhin elektromagnetikoak igortzen dituen bezalaxe. Grabitazio-uhinak aurkituko balira, Erlatibitate-teoria baieztatzeaz gain grabitazioko eta elektromagnetismoko legeak batu egingo lirarteke.

Pulsarrek dituzten pulsu edo taupadek badirudi grabitazio-uhinen existentzia baieztatu egiten dutela. Pulsarrak neutroi-izarrak dira eta segundoko ehun bira baino gehiago ematen dituzte beren ardatzaren inguruan. Grabitazio-uhinek pulsarrek igorritako seinaleetan gora-beherak eragiten dituzte, baina gora-behera infinitesimal horiek ezin dira, doitasun ikaragarriko erlojuetara ez bada, detektatu.

* ZETIAZ - Elhuyar