

ZERO ABSOLUTUA GERO ETA HURBILAGO

Jon Otaolaurretxi

Temperatura baxuak lortzearen lasterketan, marka berriak plazaratu dira azken aldian. Zero absolutura (-273,15 °C-ra edo 0 Kelvinera) iristeko, Kelvin gradu bat baino askoz ere gutxiago falta da; graduaren milioiren bat edo beste bakarrik.

GUK geure bizimoduan normalean Celsius edo gradu zentigraduen eskala erabili ohi dugu gauzen temperatura neurtzeko. 0°C da ura izozten deneko temperatura, eta hortik behera, gehienez -273,15°C edo zero absolutua izan daiteke temperaturarik baxuena. Fisikoki hori da behe-muga teorikoa. Oso temperatura baxuetan lan egiten denean ordea, Kelvin temperatur eskala erabiltzen da. Eskala honetan -273,15°C-ri 0 K edo zero absolutua dagokio.

Pariseko Goi-Mailako Eskola Normalean, iaz zesio-atomo batzuetan temperaturarik baxuena lortu zuten: Kelvin baten 2,5 milioirenekoa hain zuzen. Baina aste batzuk geroago Washingtonetik heldu zen albistea, Carl Wieman-ek bere laborategian marka 1,1 mikrokeltvineraino ($1,1 \times 10^{-6}$ K-eraino) jaitsi zuela eta.

Hiru teknika desberdin

Zero absoluturainoko lasterketan, fisikariak etengabe ari dira oztopoak batabestearen ondoren gainditzen. Gogoangarria da 1908.ean Kamerlingh Onnes hollandarrak lortu zuen marka. Hark bere laborategian beste inork baino

lehen helio gasa hoztuta likido bihurtu zuen 4,3 K-eko temperaturan. Geroztik, fisikariak K graduaren azpimultiploetan murgildu dira. 70.eko hamarkadan gradu-milarena neurtzeko teknikak garatu zituzten eta gaur egun milioireneraino iritsi dira.

Helio likidoaren propietateak dira funtsean oso temperatura baxuko fisika *klasikoak* aprobetxatzen dituenak. Etxebizitzatako hozkailuen ahaide ultrasofistikatu diren diluzio-kriostatoez baliatzen da eta gaur egun 5 milikelvin lortzeko aparatuak saltzen dira.

Diluzio-kriostatotan, material bat temperatura baxuenean hoztuta denbora luzez mantentzeko. Helio likidoa temperatura baxu horretaraino hozten da eta helio horrek ukitzen duen materiala hoztu eta hotz mantentzen du.

Pariseko Goi-Mailako Eskolan ordea, beste sistema bat erabili dute. Claude Cohen-Tannoudji fisikariak eta bere laguntzaileek zentimetro kubiko bat zesio gaseoso 2,5 mikrokeltvinetan segundo gutxi batzuetan eduki dute; *puntako* momentu batean bakarrik alegia.

Masa alde batera utzita temperatura bakarrik kontutan hartuz gero, *desimantazio adiabatiko* deituriko teknikaz temperatura hotzagoak lortzen dira. Teknika horren

bidez, helio likidoaz edo zesio gaseosoaz bezala material-blokea ez da hozten; bloke horretako partikula batzuk bakarrik baizik.

1956. urtean Nicholas Kurti hungariarrak 12 mikrokeltvineraino hoztu zituen kobrezko barra batean kobrezko nukleoek sortzen dituzten iman txikiak (spinak). Geroztik, bide berari jarraituz Lounasmaa finlandiarrak bere laguntzaileekin 20 nanokeltvineko (20×10^{-9} K-eko) temperatura lortu du. Garbi utzi beharra dago, ordea, hurrenez hurren helio likidoaz, zesio gaseosoaz eta desimantazio adiabatikoaz baliatzen diren hiru teknikek ez dutela elkarrekiko zerikusirik. Temperatura neurtzea da hiru tekniketako gauza amankomun bakarra. Ikus dezagun, bada, temperatura baxu horietan zer gertatzen den.

Materiaren antolaketa hiru tekniketan

Oro har, temperaturak materiaren agitazio-maila neurtzen du. Gorputz beroetan, partikulak harat-honat dabilta abiadura handiz. 100°C-ko temperaturan adibidez, zesio-atomoak 300 m/s-ko abiaduran elkarrekin talka eginez desplazatzen dira noraezean. Ten-



Zesio-atomoak
 $2,5 \times 10^{-6}$ K-eraino
 izoztu dira.
Hasieran 300
 m/s-ko abiadura
 dute, baina sei
 laser-izpitako
 fotoiekin talka
 eginda **segundo**
 batzuetan **1 cm/s-**
 ko abiaduran
 eduki dira.

peratura jaisten denean ordea, berotako higidura anarkikoa baretu egiten da, partikulak mantsotu egiten dira eta materialak ordenamendurako joera du. Gasa lehenbizi likido bihurtzen da eta gero solido; partikulak materialen antolatze egiten dira, alegia.

Diluzio-kriostatok, helioaren baitako fase-aldaketak (gasetik likidorakoak) aprobetxatzen dituzte milikelvineraino jaisteko eta materia hozten denean antolatu egiten da.

Desimantazio adiabatikoan berri, kobrezko barra bati intentsitate handiko eremu magnetikoa aplikatzen zaio. Ordurarte harat-honat noraezean zebiltzan nukleoko spinak, lerrotatu egiten dira eremu-lerroen norabidean. Metal-zatia kanpoko bero-ekarpenetatik ongi isolatuta baldin badago eta eremu magnetikoaren intentsitatea apurka-apurka jaisten baldin bada, spinak hoztu egiten dira (metal osoa ez) aurrez ordenaturik daudelako.

Pariseko Goi-Mailako Eskolan erabiltzen duten teknika laser bidezko hozketa deitutakoa da. Zesio gaseosoak labeko zulo txiki batetik irteten du norabide jakin batean eta zorrotadaxo horren kontra laser-izpia botatzen da. Zesio-partikula bakoitza jotzen duten fotoiek, higidura frenatu egiten diote, kontrako aireak automobila bezalaxe. Fotoiekin egiten duen talka bakoitzean, zesio-atomoaren abiadura 3

mm/s moteltzen da. Badirudi moteltze hori ez dela ikaragarria, baina fotoi asko eta askorekin talka egin ondoren atomoaren abiadura 2,5 mikrokeltvino tenperaturaraino moteldu dute. Izan ere bi metroko ibilbidean ehun mila talka jasanda abiadura 300 m/s-tik metro bat edo beste segundokoraino jaisten da. Horrela izoztutako atomo hauek, gorde egiten dira gero sei laser-izpi biltzen diren biltegi optiko batean eta *segundo batzuetan* 1 cm/s-ko abiaduran edo 2,5 mikrokeltvino tenperaturaraino mantentzen dira.

Zero absolutua lortu ezin

Egunetik egunera markak ontzen ari direnez, batek baino gehiagok galde dezake zero absolutua noiz lortuko den. Fisikariak zero horretatik gero eta gertuago daude, noski, baina ez dute uste bertara behin ere iritsiko direnik. Batetik, eragozten duten arrazoi praktikoak daude. Erabateko hutsa lortu ezin den bezalaxe, kanpotik saiakuntza egiten den esparrura batera berorik sartu behar ez duelako zero absolutua lortzea ezinezkoa da. Bestetik, arrazoi teorikoak ere badaude. Aldaketa termikoen fisika orain arte gobernatu duen termodinamikaren hirugarren printzipioak, ukatu egiten du zero absoluturaino jaisteko aukera.

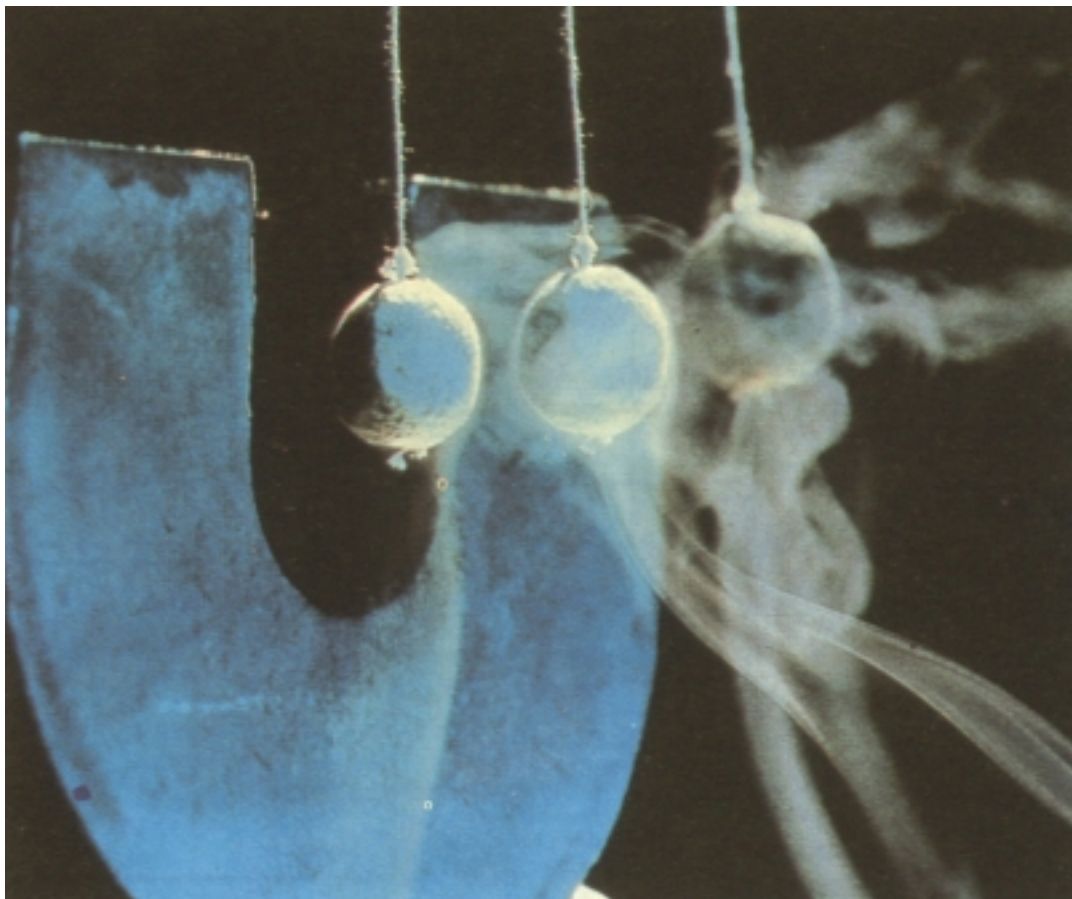
Materiaren ezaugarri harrigarriak

Fisikariek tenperatura baxuetan lan egiteko arrazoi nagusia, materia hobeto aztertzea da. Izan ere giro-tenperaturan beroagatik partikulen higidurak ezkatu egiten ditu materiaren ezaugarri fisiko berezi batzuk. 2,17 K-eko tenperaturaz azpitik, helio 4 isotopoak (bi protoi eta bi neutroi dituenak) adibidez portaera harrigarria du. Batere marruskadurarik gabe isurtzen da, ontzien horma bertikaletan gora joaten da, mikra baino zulo txikiagotatik batera zailtasunik gabe ateratzen da eta edozein likidok baino milioi bat aldiz errazago garraiatzen du beroa: superfluido bihurtzen da.

Helioa da ezaugarri hauek oraingoz ezagutzen zaizkion likido bakarra eta aipatu beharra dago ezaugarri horiek supereroankortasunaren antzekoak direla. Supereroankortasuna, metal batzuek duten propietate berezia da. Tenperatura jakin batez azpitik (1,12 K-az azpitik aluminioak adibidez), metalak korrante elektrikoak iragateari ez dio inolako oztoporik ipintzen. Erresistentzia ohmikoa zero da, beraz. Erastun batera sartutako korrante elektrikoak adibidez, milioika urte beharko lituzke bertatik desagertzeko.

Materiaren ezaugarri bitxi hauek, mekanika kuantikoaren bidez

Zero absolutuaren inguruan, gorputz batzuk supereroale bihurtzen dira. Supereroaletasun hori zenbait materialetan askoz tenperatura altuagotan ere lortu da. Irudiko bola zeramikoa adibidez, nitrogeno likidotan $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ -raino (73,15 K-eraino) hoztu ondoren supereroale da. Imanaren kontrako eremu magnetikoak inguratzen du eta horregatik aldentu egiten da. Berotzen denean, bola erori egiten da.



esplikatzeko dira. Giro-tenperaturan, beroak eragiten duen higadura nagusi da, baina tenperatura hoztzean materiaren ezaugarri kuantikoak plazaratu egiten dira. Helio superfluidoan adibidez, atomo-taldeak biltzen dira. Atomo bakoitzak bere bidea noraezean ibili ordez, taldeka batera desplazatzen dira. Bose-Einsteinen kondentsazio deitzen zaio fenomeno honi, aurrez iragarri zuten bi fisikarien ohoretan. Metal supereroaleetan ere antzeko efektu kuantikoak gertatzen da. Elektroiak binaka elkartzen dira eta helburu jakina duen talde bezala jokatu dute.

Likidotan superfluidotasuna eta metaletan supereroankortasuna agertzen da tenperatura baxuetan. Gasetan antzeko fenomenorik ez da oraindik, baina zesio gaseosoa mikrokkelvin bat baino tenperatura txikiagotara hoztuta ikustea espero dute Pariseko Goi-Mailako Eskolan.

Fisika kuantikoan aurrikusitako beste fenomeno batzuk ere aztertzen dira oso tenperatura baxuetan; elektronika mikroskopikoa adibidez. Mikra bateko neurriko zirkuituetan (oraingo txip elektronikoen antzekoak), elektrizitatearen

lege klasikoak ezin dira aplikatu. Kelvinaren hamarrena inguruko tenperaturetan, zirkuituko erresistentzia elektrikoa korronte elektrotroien arteko interferentzien arabera da. Erresistentzia aldatzeko nahikoa da metalean atomo baten posizioa aldatzea zirkuituko erresistentzia aldatzeko.

Baldintza horietan, teoria kuantikoak oso diametro txikiko eraztun metalikoan korronte elektriko infinitesimalak berez agertu behar duela dio. Guztiz korronte txiki hori detektatzeko, Grenoble-ko CRTBTn (Oso Tenperatura Baxutako Ikerketa-Zentruan) neurketa-aparatu sofistikatu muntatu dute. Induzitutako eremu magnetikoa aztertuko dute, amperea baino mila milioi aldiz txikiagoko korronte elektrikoa mikra karratu batzuetan detektatzeko.

Grenoblen magnetismoaren oinarriak ere ari dira aztertzen. Helio 3 (nukleoan neutroi bat eta bi protoi dituena) likidoaren atomoak tenperatura baxuetan iman gisa portatzen dira, oso sistema magnetiko soila osatuz. Horrela magnetismoari buruzko teoria desberdinak egiaztatuta nahi dituzte.

Aplikazio praktikoak

Tenperatura baxu horietan detektatu diren fenomenoak, jadanik aplikatzen hasi dira. Supereroalez egindako imanen bidez bobina klasikoek adinako eremu magnetikoak merkeago lortu dira.

Zesiozko erloju atomikoak ere laster plazaratuko dira. Oraingo erlojuak baino 100 aldiz doitasun handiagoa izango dute, nahiz eta oraingoena ikaragarria izan (hamar milioi urtetan segundo bateko akatsa besterik ez dute).

Astronomoek ere izango dute diluzio-minikriostatotatik baliatzeko aukera. Zapata-kaxaren tamainakoa denez gero, satelitetan erabili ahal izango dira bolometroak hozteko. Bolometroak doitasun handiko aparatuak dira eta kosmos argi-erradiazioek garraiatzen duten energia detektatu eta neurtuta ikertzen dute. Tenperatura baxutan lan eginda ordea, asko hobetuko dira.

Beste hobekuntza asko ere espero da zero absoluturainoko lasterketa bizkor honetan ezagutu diren fenomeno bitxi hauen ondorioz.