

Zero absolutuaren mugan

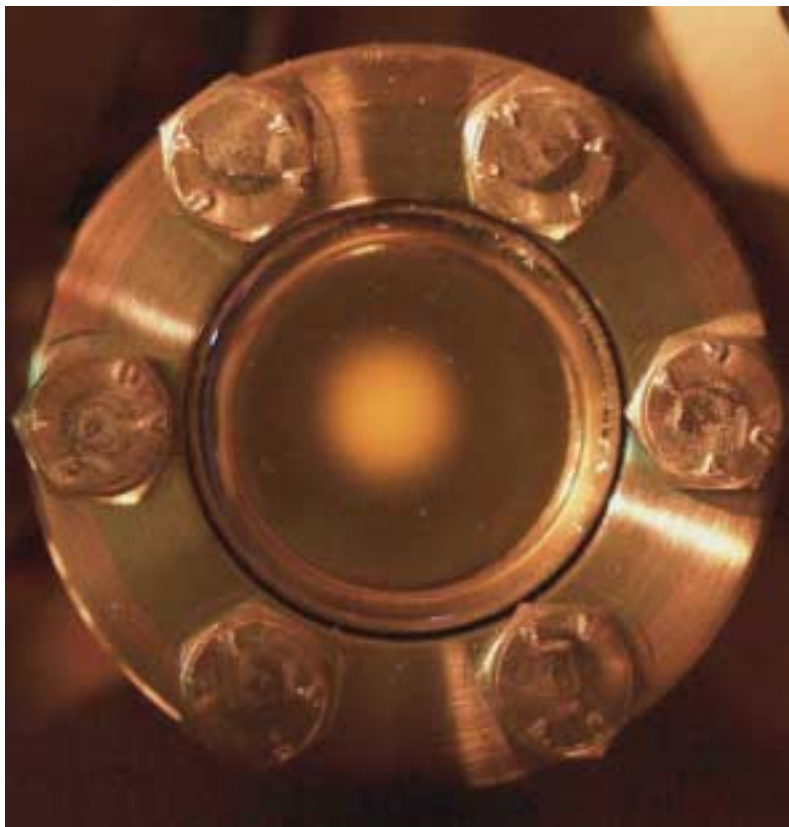
Etxebeste Aduriz, Egoitz

Elhuyar Zientziaren Komunikazioa

Lurrean inoiz neurtu den temperatura baxuena 1983an Antartikako Vostok estazio errusiarrean erregistratu zuten: $-89\text{ }^{\circ}\text{C}$. Eta, Lurretik kanpora joanez gero, hotzik handiena Boomerang nebulosan neurtu dute, $-272\text{ }^{\circ}\text{C}$. Baina, zenbateraino hel daiteke hotza?

XVIII. MENDEAREN HASIERAN, GUILLAUME AMONTONS FISIKARIAK ONDORIOZTATU ZUEN, gasen temperatura eta presioaren arteko erlazioa aztertzen ari zela, temperatura nahikoa jaitsiz gero presioa desagertu egingo litzatekeela, eta, beraz, temperaturak minimo bat eduki behar zuela. Hala agertu zen lehenengo zero absolutuaren kontzeptua. Eta, Amontons-en kalkuluen arabera, $-240\text{ }^{\circ}\text{C}$ -an zegoen muga hori.

Hurrengo mendean, Lord Kelvin-ek kalkululu zehatzagoak egin zituen, eta baita temperaturaren eskala absolutu bat ezarri ere. Eskala horretako graduek Celsius eskalakoen balio bera dute, baina Kelvin eskala zero absolututik hasten da. Zero absolutua 0 K dira, beraz, eta Celsius eskalan $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Rubidio-atomoen hodeia zero absolututik oso gertu dago.

Zero absolutua ulertzeko, temperatura zer den jakin behar da lehenengo. Temperatura materiako atomoen energia zinetikoa da. Materia bero dagoenean, atomoak edo molekulak azkar mugitzen dira, hau da, energia zinetiko handia dute.

Materia solidoa denean, atomoak elkarri loturik daude, eta mugimendua mugatua da. Gas batean, aldiz, atomoak norabide guztietan hegan dabilzan pilotatxo gisa irudika ditzakegu. Zenbat eta gehiago berotu, orduan eta azkarrago mugitzen dira pilotak. Hala, temperaturak pilotatxo horien batez besteko abiadura adierazten du.

Temperatura jaitea, beraz, atomoak moteltzea da, eta, nahikoa motelduz gero, iritsiko litzateke puntu bat non atomoak guztiz geldituko liratekeen. Bada, zero abiadura baino txikiagorik egon ezin denez, hori baino temperatura txikiagorik ere ezin da existitu. Horra hor zero absolutua.

Baina atomo bat erabat gelditzea ere ezinezkoa da, Heisenberg-en ziurgabetasunaren printzipioaren arabera behintzat. Beraz, zero absolutua limite helezin bat da. Termodinamikaren hirugarren legeak ere honela dio: ezinezkoa da pauso-kopuru finitu batean zero absolutura iristea. Dena den, zien-

Boomerang nebulosa da inoiz aurkitu den gauzarik hotzena.



ESA, NASA

tzialariak saiatu dira ahal den gehien hurbiltzen, eta baita dezente hurbildu ere.

Zerora hurbilduz

XIX. mendean deskubritu zuten iker-tzaileek hainbat gas likidotuz —hidrogenoa, oxigenoa eta helioa, esaterako— oso tenperatura txikiak lor zitezkeela. Eta 1908rako lortua zuten 4,2 K-eko tenperaturara iristea.

Temperatura hotz horietan, zenbait materialek ‘superbotereak’ lortzen dituzte. Metal batzuk, adibidez, supereroale bihurtzen dira; hau da, korrante elektrikoarekiko duten erresistentzia zerora jaisten da. Superfluidoak ere agertzen dira, biskositaterik ez duten likidoak. Helioa likidotzean gertatzen da hori, adibidez.

Baina, agian, fenomenorik bitxiena Bose-Einstein kondentsatuena da. Materiaren egoera berri bat da, non atomo guztiak energia gutxieneko maila kuantikoan dauden.

Teorikoki lehenagotik ezaguna bazen ere, lehenengo Bose-Einstein kondentsatua Eric Cornell-ek eta Carl Weiman-ek lortu zuten, 1995ean. Horretarako, beharrezkoa izan zen ordura arte baino askoz ere tenperatura txikiagora iristea. Lehenengo laser bidez hoztu

“atomo bat erabat gelditzea ezinezkoa da; beraz, zero absolutua limite helezin bat da”

zituzten rubidio-atomoak, eta, gero, ‘lurrunketaz’ hozten jarraitu zuten, 170 nanokelvin-era (10^{-9} K) iritsi arte.

Hilabete batzuk geroago, Wolfgang Ketterle-k ere lortu zuen beste Bose-Einstein kondentsatu bat, sodio-atomoekin kasu hartan. Hiru fisikari horiei 2001eko fisikako Nobel saria eman zieten, Bose-Einstein kondentsatuen inguruan egindako lanagatik.

Temperatura baxuenaren errekorra ere teknika bera erabiliz lortu zuen Massachusetts-ko Institutu Teknologikoko ikertzaile-talde batek 2003an, Ketterle buru zela. Zesio-atomoak 450 pikokelvinera hoztea lortu zuten, hau da, zero absolututik 0,0000000045 gradura.

Laserrez hoztea

Zero absolutura hainbeste hurbiltzeko, esan bezala, atomoak laser bidez hozten dira lehenengo. Laserra fotoi-sorta bat da, eta laser bateko fotoi guztiak berdinak dira, hau da, energia bera dute.

Kolore edo uhin-luzera jakin bateko fotoi batek atomo bat jotzen duenean, atomoak xurgatu egiten du fotoia, eta gero igorri. Fotoiak momentu bat du, eta xurgatzean momentu horrek atomoari eragiten dio. Hau da, laserre-rantz zuzen doan atomo batek fotoi bat xurgatzean, atomoaren momentua fotoiaren momentua adina txikitzen da.

Bose eta Einstein

1920ko hamarkadaren hasieran, Satyendra Nath Bose fisikari indiarra garai hartan guttiz berria zen teoria bat ikertzen ari zen, mekanika kuantikoa. Teoria haren arabera, argia partikula diskretu txikiz dago osatua. Egun, fotoi izenez ezagutzen ditugu partikula horiek. Bada, Bosek arau batzuk ezarri zituen, fotoiak berdinak diren edo ez jakiteko.

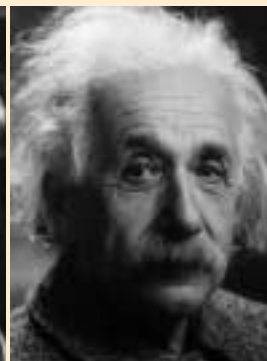
Bosek arazoak zituen bere ikerketa argitaratzeko, eta Einsteini bidali zion. Hari gus-tatu egin zitzaion, eta argitaratzea lortu zuen. Gero, Einsteinek arau berak atomoei apli-katu zizkien, eta ato-

moak nahikoa hoz-tuz gero zerbait bit-xia gerta zitekeela kalkulatu zuen: atomoak maila kuantiko baxuenera ‘eroriko’ zirela, eta materia-mota berri bat eratuko zela: Bose-Einstein kondentsatua, hain zuzen ere.



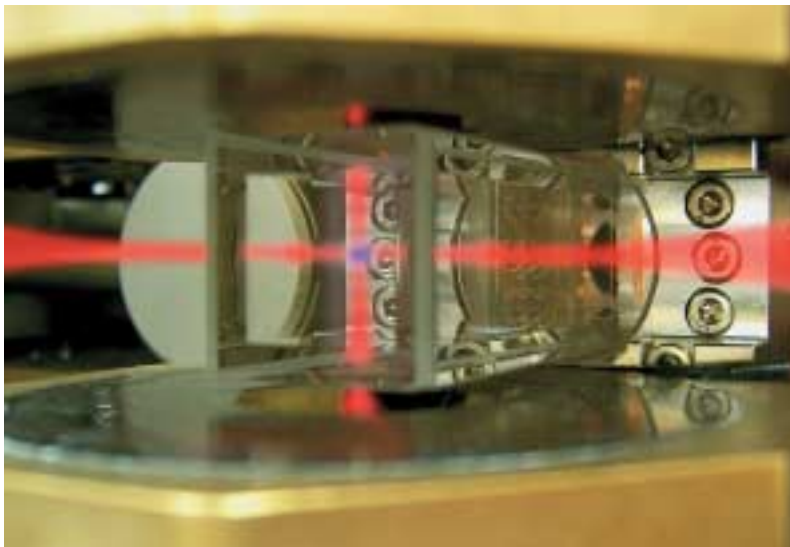
F. SARKAR

Satyendra Nath Bose



O.J. TURNER

Albert Einstein



Lehenengo, laser bidez hozten dira atomoak.

Edo, beste modu batera esanda, fotoiak bultzadatxo bat eragiten dio atomoari kontrako noranzkoan, eta, beraz, moteldu egiten du. Bultzada hori oso txikia da. Fotoi batek 3 cm/s motel dezake sodio-atomo bat, eta sodio-atomoek batez beste 570 m/s abiadura dute giro-tenperaturan. Ping-pong pilotak jaurtiz bola-jokoko bola bat geldiaraztearen parekoa da fotoiekin atomoak geldiaraztea. Baina laser batekin atomoak segundoko 10 milioi fotoi xurgatzea lor daiteke.

Bestalde, fotoia igortzean, atomoak berriz beste bultzadatxo bat nozitzen du, baina, kasu horretan, fotoia edozein norabidetan atera daiteke, zoriz. Horrela, hainbat xurgatze-igortze prozesuren ondoren igorpenak eragindako momentua edo bultzada 0 izango da. Beraz, atomoek beren mugimenduaren aurkako noranzkoan fotoiak xurgatzea lortuz gero, atomo horiek moteltzea lor daiteke. Aitzitik, mugitzen ari den atomo bat atzetik harrapatuko balu fotoi batek, atomoaren momentua handitu egingo litzateke, hau da, azkartu egingo litzateke, eta berotu.

Eta, gas batean atomoak norabide guztietan mugitzen direla kontuan hartuta, nola lor daiteke fotoiak atomoen mugimenduaren kontrako noranzkoan bakarrik xurgatzea? Doppler efektua sartzen da hor jokoan. Efektu horren arabera, laserrantz mugitzen ari den

atomo batek kolorea urdinerantz desplazatua ikusiko luke, eta urruntzen ari den batek, aldiz, berez den baino gorriagoa. Kolorearen edo uhin-luzeraren aldaketa hori abiaduraren araberkoa da, gainera.

“atomoek beren mugimenduaren aurkako noranzkoan fotoiak xurgatzea lortuz gero, atomo horiek moteldu daitezke”

Hala, kolore jakin bateko laserrak aurrez aurre datozkion atomo azkarrenei bakarrik eragingo die, eta ez motelagoei edo norabide egokian ez doazenei. Atomoak moteldu ahala, laserraren uhin-luzera txikitu beharko da, atomoak gehiago moteltzeko. Eta laserrak alde guztietatik jarri gero, norabide guztietan lortzen da efektu hori.

Atomoentzako tranpak

Beste arazo bat da atomo horiek, motelduta ere, mugitzen jarraitzen dutela, eta paretak ukitez gero berriz berotuko direla. Hori saihesteko, laser-tranpak erabiltzen dira. Laser-tranpe-

tan, laserrak beti erdigunerantz bultzatzen dituzte atomoak, eta erdigunetik ateratzera doan atomoak beti aurkitzen du berriz ere erdigunerantz bultzatuko duen beste laser bat. Horretarako, eremu magnetiko bat eratzten da, erdigunetik kanporantz aldatzen dena. Eremu magnetikoak laserraren kolorea zertxobait aldatzen du, eta lehen Doppler efektuarekin gertatzen zena gertatzen da berriz ere. Baina, lehen laserrak eragindako bultzada atomoaren abiaduraren eta norabidearen araberkoa bazen, orain posizioaren araberkoa izango da.

Horrela, atomoak puntu bat arte hoztu daitezke, gutxi gorabehera 0,0001 K arte. Baina hori baino gehiago hoztu nahi bada, fotoiak alde batera utzi behar dira. Izan ere, fotoiek bultzadatxoak ematen jarraitzen dute moteldutako atomoei, eta mugimendu horiek ez dute uzten nahi bezain tenperatura baxua lortzen.

Temperatura jaisten jarraitzeko, atomoak erdigunean mantentzea lortu behar da lehenik, pareta beroak ukitu gabe, baina fotoien laguntzarik gabe. Hori beste tranpa batekin egiten da, tranpa magnetiko batekin. Zuzenean atomoetan eragingo duen eremu mag-



Kutxa barruan, eremu magnetikoaren bidez erdigunean mantendutako atomo-hodeia ikus daiteke.

netiko indartsu bat erabiltzen da, eta, eremu magnetikoa egokia bada, atomoak erdigunean mantentzen daitezke.

Behin hori lortuta, 'lurrunketarekin' jarrai daiteke atomo hotz horiek gehiago hozten. Kasu honetan, printzipioa salda hoztean gertatzen den bera da. Saldako partikula energetikoek ihes egiten dute lurrun moduan. Hori egitean, bero apur bat ere berekin eramaten dute, eta saldaren geratzen diren atomoak hoztu egiten dira. Bada, atomo hotzekin ere gauza bera egiten da; energia gehien dutenei tranpa magnetikotik ihes egiten uzten zaie. Horretarako, eremu magnetikoa pixkanaka jaitsi egiten da, energia gehien dutenak atera egiten dira, eta gelditzen direnak gehiago hozten dira.

“Bose-Einstein kondentsatuan, ezinezkoa da atomo bat bestetik bereiztea, masa komun bat osatzen dute”

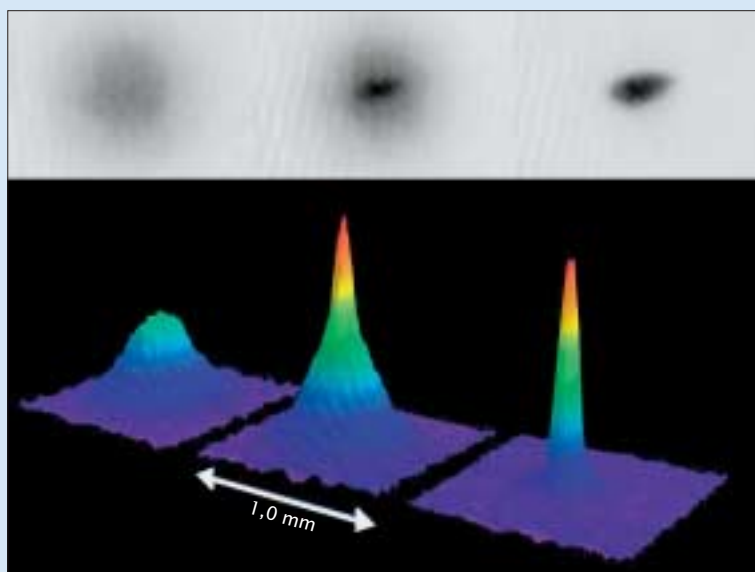
Horrela lortzen da Bose-Einstein kondentsatua. Ez da erraza materia-mota berri horretan zer gertatzen den ulertzea, ez baitu zerikusirik materia arruntarekin. Atomo guztiak egoera kuantiko berean daude, mailarik baxuenean. Horrek esan nahi du atomo guztiak erabat berdinak direla, eta denak batera, sinkronizazio perfektuan, mugitzen direla. Beraz, ezinezkoa da atomo bat bestetik bereiztea.

Temperaturaren neurketa

Atomoen temperatura neurtzeko modu bat eremu magnetiko batean dagoen atomo-hodeiaren tamaina neurtzea da. Atomoek zenbat eta energia gehiago izan, orduan eta urrunago mugitu daitezke indar magnetikoen aurka, eta, beraz, orduan eta handiagoa izango da hodeia.

Atomo-hodeiaren tamaina neurtzeko, laserrez argizatzen da. Atomoek xurgatu egiten dute argi hori, eta hodeiak itzala egiten du. Lente egokiak erabiliz, itzal horren irudia har daiteke, eta neurtu. Eremu magnetikoak ezagunak direnez, hodeiaren neurriak temperatura jakiteko balio du.

Beste metodo bat da atomoen energia zinetikoa neurtzea. Horretarako, eremu magnetikoa kendu egiten da bat-batean. Indar magnetikorik ezean, atomo-hodeia hedatzen hasten da. Eta denboran gehiago edo gutxiago hedatzea atomoen abiaduraren (eta, beraz, temperaturaren) baitan dago.



Irudiaren goiko aldean, atomo-hodeiaren itzala ikus daiteke. Temperatura jaitsi ahala, trinkotu egiten da itzala. Beheko aldean, aldiz, abiadura edo energia zinetiko bakoitzean dagoen atomo-kopurua ikus daiteke. Gorria abiadura motelenari dagokio. Ezkerrekoan, kondentsatua ez da sortu oraindik; erdikoan, kondentsatua agertu berria da; eta, eskuinekoan, oraindik gehiago hoztu da.

Gainera, atomo guztiak leku bera hartzen dute, denek masa komun bat osatzen dute. Horregatik, zenbaitek superatomo izena jarri die.

Inoiz lortu den materiari hotzera zehar Bose-Einstein kondentsatua

da, edo zesio-superatomoa. Hala ere, superatomo horrek oraindik badu mugimendua, badu energia, eta, beraz, badu temperatura ere. Ez dago guztiz hotz, baina hor dago, zero absolutuaren mugan. ☐



01423 Sobron (Araba)
tel.: 945 359016
faxa: 945 359137
<http://www.aventurasobron.com>
h. el.: info@aventurasobron.com

Etor zaitetz ezkutuko ingurune natural hau ezagutzera eta abenturaz gozatzera

Sobrongo abentura-zentroa

kanoa, kayak, paintball, mendi-ibilaldiak, orientazioa, mendi-bizikleta, arku-tiroa, igerilekuak...



Eskola-umeentzako prezio bereziak