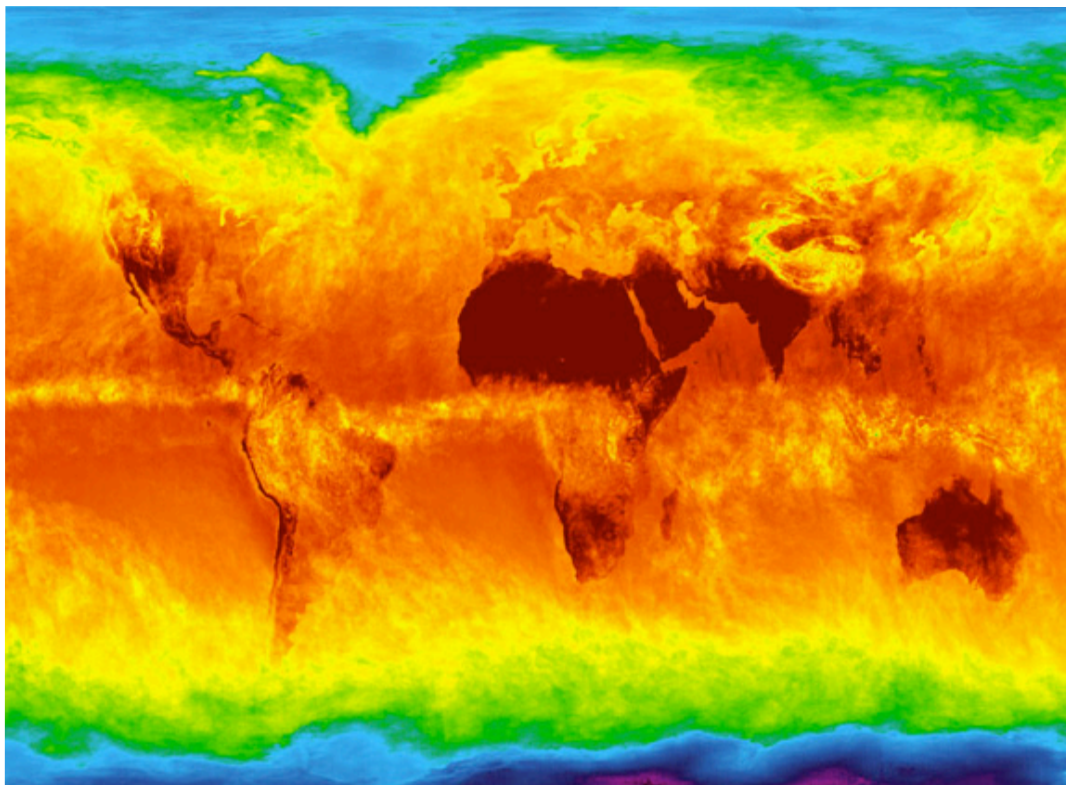


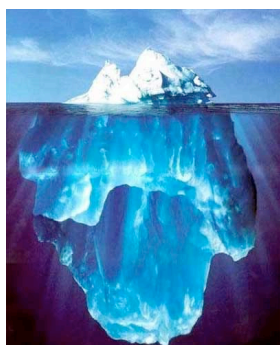
# TENPERATURA

## Termodinamikaren 0 legea

Hasieran, Zero legeari ez zitzaion garrantzia handirik eman; nahiz eta berehala antzeman zen horrelako legea beharrezkoa zela Termodinamikaren egitura logikoarentzat: XX. mendearen hasieran esleitu zitzaizkion ordena-zenbakia eta izena. Ordurako, lehen legea eta bigarrena erabat onartuak ziren, eta, beraz, ezin zen zenbaketa-aldaketarik onartu. Argi uzten saiatuko garenez, legeek oinarri esperimental bana damaigute propietate termodinmaiko bat definitzeko. Zero legeak tenperatura propietatea finkatzen du; seguruenera, propietateetan ezagunena da, baina, berebat, misterioitsuena.



## Termodinamikaren 0 legea tenperatura



Termodinamika, Zientziaren beste zenbait disziplinen antzera, eguneroko bizitzan darabiltzagun terminoak erabiltzen eta fintzen ditu –zenbaitzuren arabera bahitzen ditu–, horrenbestez, terminoek esangura zehatza hartzen dute: artikulua osoan antzemango dugu hori. Hasi bezain pronto ikusiko dugu. Termodinamikan, *sistema* da aztertuko den unibertsoaren zatia. Sistema bat izan daiteke burdin zatia, ura duen prezipitatu-ontzia, motor bat edo giza-gorputza. Are gehiago, aipatutako horien zati bat ere izan daiteke. Gainerako unibertsoari *ingurune* deritza. Ingurunean gu geu gaude, sistema aztertzen eta sistemari buruzko ezaugarriak eta propietateak ondorioztatzen. Askotan, gehienetan ez bada, ingurunea da tenperatura konstantean dagoen ur-bainua: horixe da benetako ingurunearen hurbilketa kontrolagarria. Sistemak eta inguruneak, elkarrekin, *unibertsoa* osatzen dute. Gure aburuz, unibertsoa dena da; aldiz, termodinamiko batek uretan (ingurunea) murgildutako prezipitatu-ontzia (sistema) unibertsoztat jo dezake.

# oreka mekanikotik oreka termikora: temperatura (I)

**Sistema bat haren mugek definitzen dute. Sistema bat *irekia* da materia sartu edo atera bidezakegu. Zabalik dagoen termoa, esaterako, sistema irekia da: zabalik egonik bete eta hustu baitezakegu. Materiarekiko iragaztezina den mugadun sistemari *itxi* deritzo. Edozerekiko iragaztezina den mugadun sistemari *isolatu* deritzo: sistema itxia ez da aldatzen haren ingurunean edozer gertatuta ere. Sarraturik dagoen termoa (hutseko isolamenduduna), esaterako, sistema itxia da.**

Sistema baten propietateak sistema bera dagoen egoerarekiko mendeak dira. Adibidez, gas baten presioak hark betetzen duen bolumenarekiko mendeakotasuna dauka; eta, bolumen-aldaketaren ondorioak antzeman ditzakegu sistemaren hormak malguak badira. “Horma malgu”ak esamoldeak honako hau adierazten du: sistema baten muga osoa finkoa da zati bat izan ezik, pistoia, horrek barrura eta kanpora egin dezake.

Propietateak bi izaerakoak izan daitezke: *estensiboak*, materia kantitatearen mendeak dira; sistemaren masa propietate estensiboak da, eta bolumena baita ere. Beraz, 2 kg burdinek 1 kg burdinek betetzen duenaren bikoitza betetzen du. Aldiz, propietate *intensiboak* ez dauka materia kantitatearekiko mendeakotasunik. Esaterako, temperatura, edozein izanik ere, eta dentsitatea propietate intensiboak dira. Tanga batean dagoen uratik ateratako ur-laginaren tenperaturak ez dauka ur-laginaren tamainarekiko mendeakotasunik. Burdinaren dentsitatea  $8,9 \text{ g/cm}^3$  da, eta berdin dio burdina puxkaren masa 1 kg ala 2 kg den.

Ahaz ditzagun, momentuz, definizioak. Erabil dezagun pistoia –sistema baten mugaren zati higikorra– kontzeptu garrantzitsua definitzeko; kontzeptu horrek, gainera, tenperaturaren eta Zero legearen misterioa aurkezteko balioko digu. Demagun bi sistema itxi dugula, mutur batean pistoi bana dutela; pistoiak finkatu dira tangak ez-higikorrek direla ziurtatzeko.

Pistoia lotuz hagaxka finkoa dugu, modu horretan, batek barrura eginez gero, bestea kanpora higituko da. Pistoia finko mantentzen dituzten giltzak askatzen ditugu. Ezkerreko pistoiak eskuinekoa sisteman barneratzen badu, ezkerreko presioa eskuinekoa baino handiagoa zela ondoriozta dezakegu, presioa bera neurtu gabe. Eskuineko pistoiak, berriz, ezkerrekoa menderatzen badu, orduan, eskuineko presioa ezkerrekoa baino handiagoa zela ondoriozta daiteke. Giltzak askatutakoan ezer gertatzen ez bada, sistemen presioak berdinak zirela esan beharko genuke, presioaren balioa edozein izanik ere. Presioak berdinak direnean, oreka mekanikoa dugula esango dugu, teknikoki.

Alda dezagun mekanikatik termodinamikara, eta pasa gaitezen Zero legearen mundura. Demagun

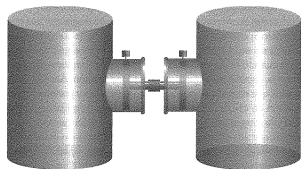
A sistemaren hormak metalezko horma higiezinak direla; berebat, B sistemarenak. A eta B sistemak elkarren arteko ukipenean jarritakoan aldaketa fisikoren bat gerta zitekeen bietan. Esaterako, haien presioa alda daiteke, edo bataren edo bien kolorea alda daiteke. Eguneroko hizkuntzan adierazita, batetik bestera *beroa* pasatu dela esango genuke, eta horren ondorioz, haien propietateak aldatzen dira. Dena dela, ez pentsa dakigunik beroa zer den: misterio hori da Zero legearen beste aurpegi bat.

Oreka mekanikoaren beste ezaugarri bat behar dugu; azalekoa dirudi, baina tenperaturaren kontzeptua aurkitzen ahalbidetzen digu. Demagun A eta B sistemak oreka mekanikoan daudela ukipenean jarri eta gitza askatutakoan; hots, demagun presio berean daudela sistemak. Demagun, orain, bi sistema horien arteko ukipena eteten dugula eta A sistema hirugarren sistema batekin, C sistemarekin, pistoi baten bidez ukipenean jartzen dugula. Onar dezagun ez dela inolako aldaketarik antzeman: orduan, bi sistemak, A eta C, oreka mekanikoan daude, eta bien presioa berdina da, hortaz. Berebat, demagun A eta C-ren arteko ukipena eteten dugu eta C sistema B-rekin ukipenean jartzen ditugula. Saikuntza bera egin gabe badakigu zer gertatuko den: ezer ere ez. A eta B sistemak presio berean daudenez, eta A eta C sistemak ere bai, ziur gaude C eta B sistemak presio berean egongo direla; gainera, modu berean ere, presio oreka mekanikoaren adierazle unibertsala dela esan dezakegu.

Baina, modu berean ere, gerta zitekeen aldaketa fisikorik gertatu ez izatea aurreko bi sistemak elkarren arteko ukipenean jarritakoan, nahiz eta biek metalezko hormak izan. Horrela bada, sistema biak elkarren arteko *oreka termikoan* daudela esaten da. Azter ditzagun orain hiru sistema, oreka mekanikoaz aritu garenean egin dugun moduan. Honako hau antzeman daiteke: A eta B ukipenean jartzen badira, eta oreka termikoan badaude, eta B eta C oreka termikoan jartzen badira, orduan, A eta C ukipenean jartzen direnean oreka termikoan egongo dira. Horixe da termodinamikaren Zero legearen edukia:

*A sistema B sistemarekin oreka termikoan badago, eta B sistema, C-rekin, orduan, A eta B sistemak oreka termikoan daude.*

Tangetan dauden bi gasak presio ezberdinetan badaude, pistoiak finkaturik mantentzen dituzten giltzak askatutakoan, pistoiak alde batera edo bestera egiten dute, presioak berdintzen diren arte. Mementu horretan, bi sistemak elkarren arteko oreka mekanikoan daude. Hasiera batean, presioak berdinak baziren, pistoiak askatutakoan ez dira higitzen, zegoeneko bi sistemak elkarren arteko oreka mekanikoan baitzeuden.



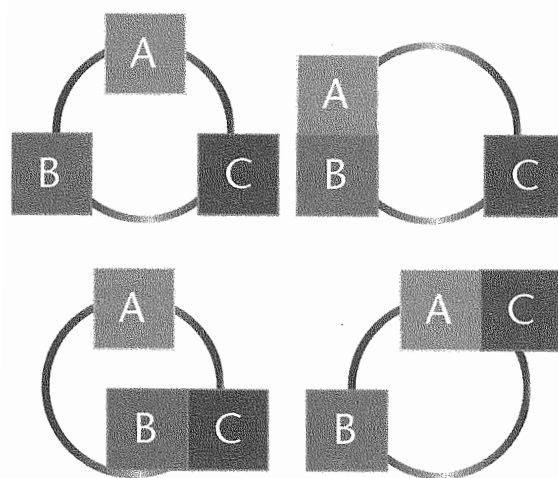
# oreka mekanikotik oreka termikora: tenperatura (II)

**Oraindik tenperatura zer den ez dakigu: oraingoz, Zero legearen inplikazioaz baino ez gara jabetu: oreka termikoa ezaugarritzeko irizpide bat existitzen da. Bi sistemen tenperatura berbera bada, orduan, oreka termikoan daude sistemak horma eroalez ukipenean jartzen baditugu.**

Ikusi dugunez, presioa, propietate fisikoa bera, sistemak elkarren arteko ukipenean jarritakoan oreka mekanikoan egongo direnontz aurresateko ahalmentzen gaitu, haien konposizio eta tamaina edozein izanik ere. Berebat, Zero legearen arabera propietate fisikoa existitzen da, zeinaren arabera sistemak elkarren arteko oreka termikoan egongo

diren esango dugun, haien konposizioa eta tamaina kontuan hartu gabe. *Propietate unibertsal* horri *tenperatura* deritzo. Orduan, hiru sistemen elkarren arteko orekako enuntziatua honako era honetan labur daiteke: hiru sistemak tenperatura berean daude.

Zero legearen adierazpena, elkarren arteko oreka termikoan jar daitezkeen hiru sistema erabilita (goian, ezker aldean). A sistema B sistemarekin elkarren arteko oreka termikoan badago (goian, eskuinean), eta B sistema C-rekin oreka termikoan badao (gehean, ezkerrean), ziur gaude C sistema A sistemarekin oreka termikoan dagoela, elakrren arteko ukipenean jarritakoan (behean, eskuinean).



Ondoren, termodinamikaren hiztegiari beste bi ekarpen gehituko dizkiogu: sistema itxiak elkarren arteko ukipenean jartzen direnean aldaketak gertatzen uzten duten horiei *bero-trukea gertatzen uzten dutenak*– horma diatermoak deritze (grekeraz: “zehar”, eta “beroa”). Normalean, horma diatermoak metalezkoak dira, baina edozein material eroalek balioko luke: etxeetan erabiltzen diren lapikoak tanga diatermoak dira. Aldaketarik gertatzen ez bada, tenperaturak berdina dira, edo tenperaturak ezberdinak direla badakigu, orduan, horiei horma adiabatiko deritze (zeharkaezinak). Hormak adiabatikoak dira termikoki isolaturik badaude: esaterako, termo batenak edo poliestirenozko bitsaz inguraturik sistema batenak.

**Termometroa**, tenperatura neurtzeko gailua, Zero legeaz baliatzen da. Termometroa da lehen aipatu dugun B sistemaren kasu berezia. Sistema horretan, termometroan, propietate bat alda daiteke hura beste sistema batekin, horma diatermoak erabiliz, ukipenean jartzen denean. Adibidez, termometro klinikoek merkurioaren

zabaltze termikoa erabiltzen dute. Horrela, B sistema (termometroa) A sistemarekin ukipenean jarritakoan termometroa ez dela aldatzen antzematen badugu, eta termometroa bera, berriz, C sistemarekin ukipenean jarritakoan ez bada aldatzen, orduan, A eta C oreka termikoan daudela esan dezakegu.

**Tenperatura-eskala** diferenteak daude, eta horiek definitzeko modua Termodinamikaren bigarren legean datza. Denok ezagutzen ditugu Celsius-en (eskala zentigradoa) eta Fahrenheit-en tenperatura-eskalak. Lehenengoa Anders Celsius (1701-1744) astronomo suediarrek asmatu zuen; haren aburuz, urak 100 °C-an izozten zen, eta 0 °C-an, irakin, gaur egunekoan gertatzen den kontrakoa. Daniel Fahrenheit (1686-1736), tresna eraikitzailea bera, lehena izan zen merkurioa erabiltzen termometroan. Zero gradua honako eran definitu zuen: gatzaz, urez eta izotzez osaturiko nahasturak lor zezakeen tenperatura txikiena; eta 100 °F gradutzat bere gorputzaren tenperatura hartu zuen: patro hori ez da oso errepikagarria.

Fahrenheit-en tenperatura-eskalak bazuen abantailarik, sortu zen garaiko teknologiak ez zeukalako tenperatura negatiboen beharrik. Haatik, ikusiko den moduan, tenperaturaren zero absolutua existitzen da, lortezina den zeroa, hori bai, eta, beraz, tenperatura negatiboak ez du zentzu handirik, uneen uneko teknologiaren mendekoa ez den era formalean ez bada behintzat. Izan ere, naturala zera da: lortezina den puntu horretan zeroa definitzen duen eskala onartzea, tenperatura-eskala horren tenperatura-balioei tenperatura termodinamiko deritze. Tenperatura termodinamiko  $T$  ikurrak adierazten da. Ohiko tenperatura-eskala absolutua Kelvin-en tenperatura-eskala da. Horretan, graduaren tamaina, kelvin gradua, celsius graduen berdina da. Berebat, eskala horretan, ura 273 K-ean hizozten da, eta 373 K-ean, irakiten.

# temperatura

## interpretazio estatistikoa (I)

**Termodinamika klasikoa da XIX. mendean sortu zen termodinamikaren zatia, atomoen existentzia erabat onartua izan baino lehen. Termodinamika propietate makroskopikoen arteko erlazioez arduratzen da: termodinamika klasikoa egin daiteke atomoen erreferentzia egin gabe.**

XIX. mendearen bukaera aldera, zientifiko gehienek atomoak benetan existitzen zirela onartu zutenean, eta kontatze-tresna hutsa baino ez zirela onartu zutenean, sortu zen **Termodinamika Estatistikoa** izeneko termodinamikaren zatia: horren helburua da materiaren propietate makroskopikoak lortzea, baina materia osatzen duten atomoetatik abiatuz. “Estatistiko” izenlagunaren zergaitia da propietate makroskopikoak aztertzen ditugunean ez delako beharrezkoa atomoen portaera indibidualiez jabetzea, baizik eta milaka atomoen batesbestekoez. Esaterako, gas batek eragiten duen presioaren jatorria da haren molekulek gasa dagoen tangaren hormetan egiten dituzten talkak; baina, presioa ulertzeko eta kalkulatzeko ez dugu kontuan hartu behar molekulek eurek egiten duten ekarpen indibiduala, baizik eta milaka molekulez osatutako multzoek tangaren hormen kontra talka egitean eragiten duten batezbesteko efektua aztertu behar dugu. Laburbilduz, dinamika gorputz bakar baten portaeraz arduratzen da, termodinamika, bere aldetik, sistema askoz osatutako multzoak aztertzen ditu.

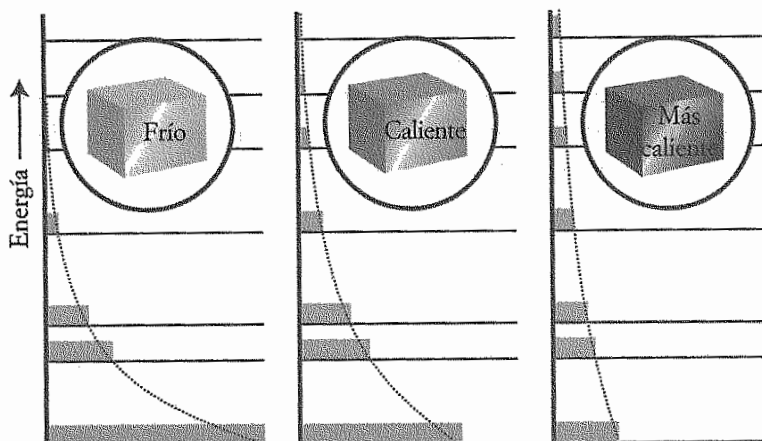
Artikulu honetan jorratuko duguna kontuan hartuz, termodinamika estatistikoaren kontzeptu nagusia da Ludwig Boltzmann-ek (1844-1906), XIX. mendearen bukaera aldean, ondorioztatu zuen adierazpen bat. Handik gutxira, Boltzmann-ek bere buruaz beste egin zuen: atomoen errealitateaz sinisten ez zuten orduko zientziakideek egin zizkieten kritikak ezin izan zituen pairatu. Ikusi dugu bada zero legeak temperatura definitu duela, propietate makroskopikoen ikuspuntutik; berebat, Boltzmann-ek aurkitutako adierazpenak temperatura kontzeptua defintzen du, atomoen

ikuspegia erabiliz, eta, kontzeptua bera argituz, argitu ere.

Boltzmann-en adierazpenaren izaera ulertzeko, honako hau jakin behar dugu: atomo batek zenbait energia baino ezin du eduki. Emaizta hori Mekanika kuantikoari dagokio; disziplina hortatik ez dugu besterik behar, hori jakinda nahikoa dugu. Temperatura jakin batean –ikuspegi makroskopikoa erabiliz– atomoz osatutako multzo batean, batzuk dute izan dezaketen energiari txikiena (“oinarrizko egoera”n daudela esaten da); beste batzuk posiblea den hurrengo energia-mailan daude, beste batzuk energiaren hurrengo mailan daude, eta abar. Energiaren balioak gora egin ahala energia-mailen populazioak geroz eta txikiagoak dira. Populazio horiek oreka-egoeraren balioak dituztenean, eta nahiz eta atomoak energia-maila batetik beste batera aldatu, energia-mailen populazioak ez dira aldatzen, batezbestean. Gainera, balio horiek kalkula daitezke parametro bakarra erabilita, beta, behin egoeren energiak ezagunak direla.

Arazoari aurre egiteko bese modu bat honako hau da: horman, altuera ezberdinetan kokatutako apalak ditugu, eta apalek adierazten dituzte energiaren egoera baimenduak, eta haien altuerak, energia-balio baimenduak. Berdin dio zer den energia horien jatorria: adibidez, izan daiteke molekulen translazio-higidura, biraketakoa eta bibrazio-higidura. Demagun pilota batzuk (molekula adierazleak) apaletan botantzen direla, eta ohar gaitezen geratzen diren tokiez. Honako hau antzemango dugu: energia oso berbera duten jaurtiketa askotan probaleena den populazio-banaketa (apal bakoitzean geratzen diren pilota kopurua) parametro bakarra erabiliz adieraz daiteke.

**Boltzmann-en banaketa** energiaren funtzioa da, era esponentzialan behera datorrena bera. Temperatura handitzen denean, populazioek beheko energia-mailetatik goiko energia-mailara aldatzen dira. Temperaturaren zero absolutuan, energia-mailarik txikiena baino ez da betirik ageriko; aldiz, temperatura infinituan, energia-maila denak betirik egongo lirateke!





# temperatura

## interpretazio estatistikoa (II)

**Energia-maila baimenduen arabera molekulen banaketa, apaletan dauden pilota kopuru, konkretuari Boltzmann-en banaketa deritzo. Banaketa hori oso-oso garrantzitsua da eta haren eitea ezagutzea merezi du. Gauzak errazteko,  $E$  energia-egoeraren populazioaren eta  $E_0$  txikiaren energia-egoeraren populazioaren arteko zatiduraren bidez emango dugu, honako hau:**

$$E \text{ energia-mailako populazioa}$$

$$E_0 \text{ energia-mailako populazioa} = e^{-\beta E}$$

Argi dago, beraz, egoeren populazioek behera egiten dutela era esponentzialan haien energiak gora egiten duen heinean: apal altuenetako pilota kopurua buxuenetako kopurua baino txikiagoa da. Berebat, agerian da, beta parametroa zenbat eta txikiago izan hainbat eta txikiago dela energia jakineko egoeraren populazio erlatiboa: pilotak apal baxuetan pilatzen dira. Banaketa esponentzialak segitzen du, maila handietan pilota gutxiago izanik, gainera, populazioek geroz eta azkarrago beheratzen dira energia handietan.

Molekulez osatutako multzo baten propietateak kalkulatzeko, esaterako gas batek egiten duen presioa, Boltzmann-en banaketa erabiltzen denean, beta parametroa tenperaturaren (absolutua) alderantzizkoarekin identifika daiteke. Izan ere, hauxe da lotura:  $\beta = 1/kT$ . Adierazpen horretan  $k$  da oinarriko konstantea, Boltzmann-en konstantea.  $k$  konstantearen balioa da  $1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ ; modu horretan beta Kelvin tenperatura-eskalari dagokio. beta parametroa tenperaturaren alderantzizkoaren proportzionala denez, hauxe da inportantea: tenperratua handitzen denean beta txikitzen da, eta alderantziz.

Zenbait puntu azpimarratzea komenigarria da. Lehenik, Boltzmann-en banaketaren garrantzia izugarria honako honetan datza: tenperraturaren esagura molekularra finkatzen du; beraz, molekulen osatutako populazioen banaketarik probableena adierazten duen parametroa da tenperatura. Energia jouletan neurtzen da (gizakion bihotz-taupadek  $1 \text{ J}$  bana kontsumitzen dute, gutxi gorabehera). Tenperatura handia denean (beta txikia), egoera anitzek dituzte populazio handiak; tenperatura txikia denean (beta handia), energia txikiaren egoerarengandik gertuko egoerek baino ez dute populazio

nabarmenduak. Populazioen tamaina edozein izanik ere, populazioek beti segitzen diote Boltzmann-en formularen antzekoa den adierazpen esponentzialari. Apaletako piloten irudikoaren arabera, tenperatura txikiak (beta handia) indar txikiko jaurtiketei dagokie, eta horietan pilotak apal baxuetara baino ez dira ailegatzen. Tenperatura handiak (beta txikia) indar handiko jaurtiketei dagokie, horrela, pilotak apal altuetara ere hel daitezke, eta, ondorioz, azken horietan populazio nabarmenak ere agonez daitezke. Hots, tenperaturak, parametro bakarrak, energia-egoeren populazio erlatiboei buruzko informazioa dauka, sistema orekan dagoenean.

Bigarrenik, beta parametroa  $T$  parametroa baino naturalagoa da tenperatura bera adierazteko. Termodinamikaren hirugarren printzipioaren arabera zero absolutua ( $T=0$ ) ezin da pauso kopuru finituen bidez lortu, eta hori neurri batean, behintzat, nahasgarria izan daiteke; errazagoa da ulertzen, ezinezko izatea betaren balio infinitua lortzea, pauso kopuru finituz. Haatik, nahiz eta beta erabilgarriagoa izan, eguneroko bizitzan erabiltzea ez da praktikoa. Ez da erraza esatea ura  $\beta = 2,65 \cdot 10^{10} \text{ J}^{-1}$  jouletan izozten dela, esaterako.

Hirugarrenik, oinarrikoa den betan oinarritutako tenperatura-eskala erabili beharrean tenperatura-eskala konbentzionala erabiltzearen ondorioa da  $k$  konstantearen exisitentzia bera eta haren balioa. Celsius-en, Fahrenheit-en eta Kelvin-en esakalak ez dira egokiak: tenperaturaren alderantzizkoa, izatez tenperaturaren neurri hobe da, haren esangurarekin hobeto dator bat, naturalagoa da. Dena dela, ezin da espero azken hori tenperaturatzat onartzea.

# tenperatura interpretazio estatistikoa (III)

**Boltzmann-en konstantea, normalean, oinarrizko konstanteen zerrendetan ematen da; dena den, hori, hautu historiko desegoki baten ondorio baino ez da.**

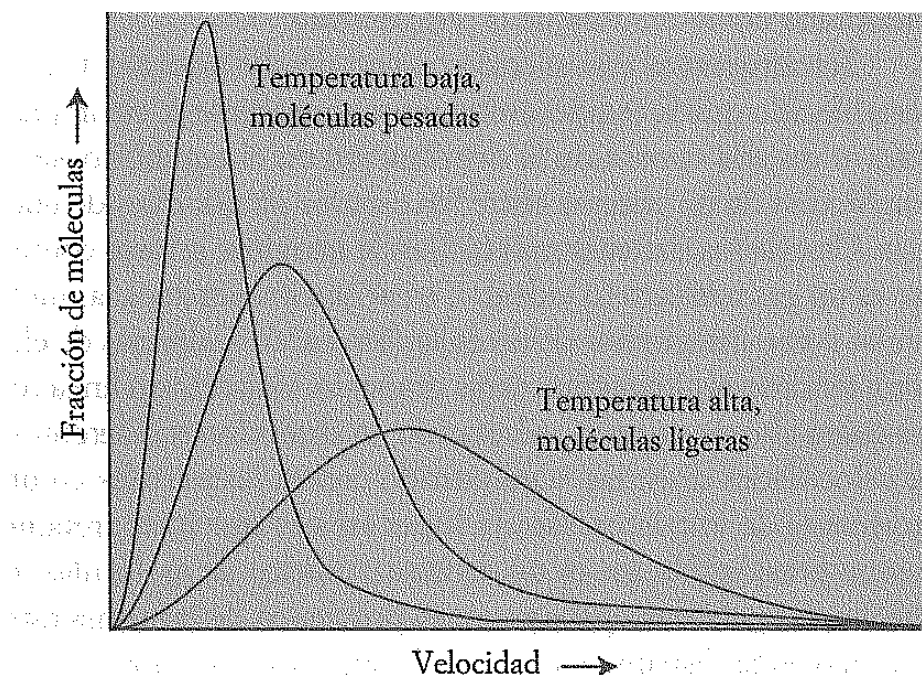
Ludwig Boltzmann-en lanak Celsius-enak eta Fahrenheit-enak baino lehenak izan balira, argi legoke beta litzatekeela tenperaturaren neurri naturala, eta, horrenbestez, tenperatura adierazteko joule-ak erabiltzen ohituta agongo ginateke: betaren balioa txikia izango litzateke sistema beroetan, eta handia, hotzetan. Halere, hitzarmena egina zegoen: sistema beroak tenperatura handietan zeuden, eta  $k$  konstantea,  $\beta = 1/T$  erlazioaren bidez, sartu behar izan zen: modu horretan, tenperatura-escala naturala, betan oinarritua, eta konbentzionala, tenperatura konbentzionalan oinarritua, bat datoz. Hortaz, Boltzmann-en konstantea bi eskalen arteko konbertsio-faktorea baino ez da.

eginez, azken finean, presiotzat jotzen duguna sortuz. Izan ere, gasa da molekulez osatutako multzo kaotikoa (*gas* eta *kaos* hitzek jatorri berbera dute): kaosa bi mailatan ageri da, banaketa espazialari dagokionez eta molekulen abiadura-banaketari dagokionez. Energia zinetiko jakin bat abiadura bati dagokio, eta Boltzmann-en banaketa erabil daiteke abiadura-banaketa adierazteko; horretarako, molekulak posibleak diren translazio-egoeretan banatu behar dira, ondoren, abiadura-banaketa hori tenperaturarekin erlazioatu behar da. Lortutako banaketari Maxwell-en eta Boltzmann-en abiadura-banaketa deritzo. James Clerk Maxwell-ek (1831-1879) ondorioztatu zuen lehen aldiz, nahiz eta beste modu batean.

Atal honekin bukatzeko iruzkin positibo bat. Esandakoaren arabera, energia-egoera posibleen artean sistema baten molekulen orekako banaketa finkatzen duen parametroa da tenperatura, eta, zehatzago, beta. Imagina daitekeen sistema errezenetako bat, testuinguru horretan, gas perfektua (gas ideala) da. Horretan, molekulek talde kaotiko handi (izugarri handi) bat osatzen dute: horietan, batzuk azkar higitzen dira, beste batzuk motel, denak lerro zuzenetan higitzen, abiadura desberdinetan, elkar joka; eta gasa kokatuta dagoen tangaren hormen kontra talka

Kalkulua egiten denean, honako hau aurkitzen da: molekulen batezbesteko abiadura handitzen da tenperatura absolutuaren koadroarekin. Beraz, sistema epel batean (25 °C-an, 298 K-ean) airearen molekulen batezbesteko abiadura %4 handiagoa da eguna hotza (0 °C, 273 K) denean baino. Orduan, gas baten molekulen batezbesteko abiaduraren neurritzat jo dezakegu tenperatura: tenperatura handiak batezbesteko abiadura handiekin lotzen ditugu, eta, tenperatura txikiak, txikiekin.

Maxwell-en eta Boltzmann-en abiadura-banaketa, molekulen masa ezberdinetarako, eta tenperatura ezberdinetan. Molekula arinen batezbesteko abiadurak, astunenak baino handiagoak dira. Banaketa horrek eragina du planeten eguratsen konposizioetan, molekula arinek (hidrogenoa eta helioa, kasu) espaziora ihes egin baitezake.



## Laburpena tenperatura, 0 legea eta mekanika estatistikoa

Puntu honetan, laburpen bat egingo dugu. Kanpotik, ingurunean kokaturik dagoen behatzaile baten arabera, tenperatura propietate bat da, eta propietate horrek esango digu horma diatermiko elkarren arteko ukipenean jarritako sistemak oreka termikoan direnontz: baiezkotan, tenperatura berean daude, eta ez da egoera-aldaketarik gertatzen; aldiz, egoera-aldaketa gertatzen bada, ez daude tenperatura berean; gainera, egoera-aldaketak aurrera egingo du tenperaturak berdindu arte. Barrutik, barnean dagoen behatzaile baten ikuspuntutik, ikuspen mikroskopidun eta posibleak diren energia-egoeretan molekulen banaketak antzeman ditzakeen behatzailearen arabera, tenperatura da energia-maialen populazioekin loturik dagoen parametro bakarra. Tenperaturak gora egiten duen ahala, aipatutako behatzaile horrek populazioen energia handiagorako desplazamendua antzematen du; aldiz, tenperaturak behera egiten duen heinean, populazioak energia txikiko egoeretara bueltatzen dira. Tenperatura jakin batean, egoera baten populazio erlatiboa txikitzen da energia-egoeraren energiarekin batera. Izan ere, tenperatura handitzen denean energia handiko energia-maialen populazioak gora egiteak esan nahi du geroz eta molekula gehigo bizkorrago higitzen (biraketak eta bibrazioak) direla, eta solido baten kasuan, haren atomoak geroz eta bibrazio handiagoak egiten dituztela haien batezbesteko kokapenen inguruan. Agitazioa eta tenperatura eskutik doaz.



**Ludwig Boltzmann**  
(1844-1906)