

Je negativna Kelvinova temperatura možna?

Termodinamika je starejša od atomskega pogleda na materijo in nima svojih veličin kot recimo temperaturo definiranih na atomskem nivoju. Definicija temperature tako dovoli negativne absolutne temperature. Vendar ali ima taka temperatura kakšen empiričen pomen? Medtem, ko se sprašujemo je vsekakor zanimivo razpravljati o tem, saj nam pomaga razumeti koncept temperature.

Temperatura

Najbolj pogost odgovor na to vprašanje je nekaj kot "ne, ker se pri nič K molekule več ne gibajo, gibanja pa ne moremo imeti manj kot nič."

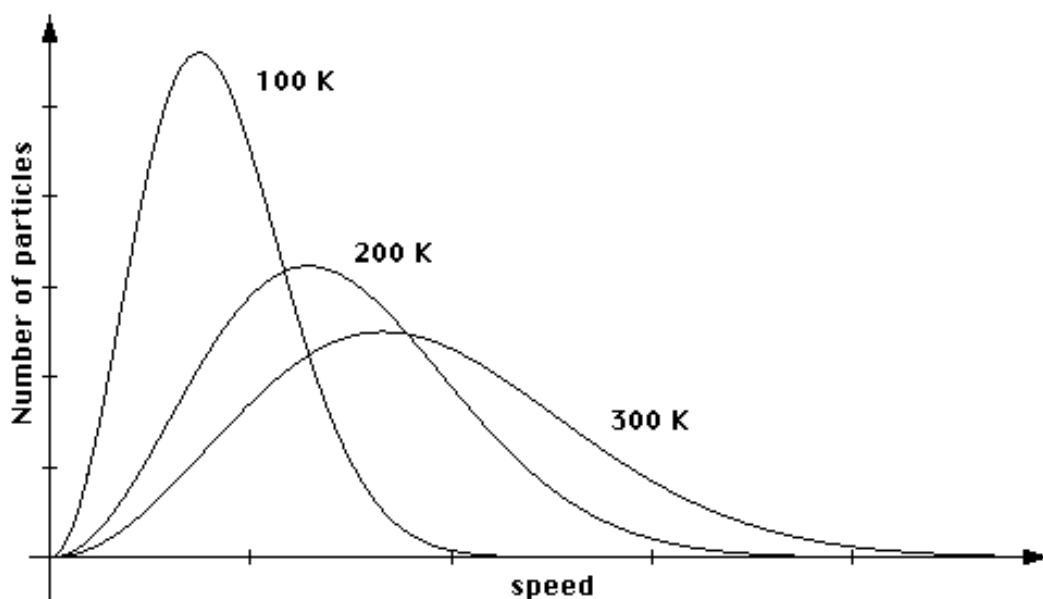
Ta odgovor, medtem ko ni čisto napačen ignorira da temperatura ni definirana kot gibanje molekul. Za določen sistem je temperatura enaka povprečni kinetični energiji molekul, vendar je to enakost in ne definicija.

Temperatura je ponavadi definirana preprosto na podlagi našega čutenja. Tu se vprašajmo, kako bi jo razložili vesoljcu, ki je ne čuti. Bilo bi zelo težko. Z entropijo na primer bi bilo mnogo lažje, vendar še vedno težko, ker je mi ne čutimo.

Kar je pravilno v zgoraj citiranem vprašanju je, da negativna Kelvinova temperatura ne more biti dosežena z hlajenjem, razen tega pa tudi nič K ne moremo doseči z hlajenjem. Tako si je vredno pobliže ogledati enakost med temperaturo in povprečno kinetično energijo molekul.

Statistični model

V plinu narejenem iz "majhnih, trdih kroglic" je temperatura proporcionalna povprečni kinetični energiji delcev (delec, je fizikalno smatran kot del snovi, ki je manjši od atoma; na primer elektron ali proton). Zagotovo tu ne pričakujemo, da bi imele vse molekule enako hitrost. Slika (Maxwellianova razporeditev) prikazuje razporeditev molekulskih hitrosti za tri različne temperature. Celo pri nizkih temperaturah imamo majhen del molekul, ki imajo visoko hitrost. Ta del molekul se povečuje z temperaturo, medtem ko se del molekul z majhnimi hitrostmi manjša, vendar ne izgine.



Maxwellianova razporeditev hitrosti delcev

Očitno, je razporeditev hitrosti delcev tako odvisna od temperature. Nasprotno temu, je temperatura določena z razmerjem med številom molekul z visokimi hitrostmi in številom molekul z nizkimi hitrostmi. Ta model nam pomaga razumeti to odvisnost.

Da poenostavimo stvari predpostavimo, da ima sistem dva nivoja energij, $E(hi)$ in $E(lo)$; delci bodisi imajo energijo oziroma je nimajo.

Ko sistem segrevamo, mu dovajamo energijo; delci se morajo tej energiji nekako prilagoditi. V tem primeru se to lahko zgodi, če pride do prehoda od nižjega na višje energijsko stanje.

Kakšno je torej število delcev ki bodo na i -tem energijskem nivoju? Odgovor poda Boltzmannova razporeditev:

$$N(i) = C * \exp(-E(i) / kT)$$

kjer so:

C konstanta (pri dani temperaturi)

$N(i)$ število delcev z energijo $E(i)$

$E(i)$ energijski delež (nanašajoč na našo predpostavko) je nič oziroma da je nekaj

k Boltzmannova konstanta

T absolutna temperatura

Za samo dva energijska nivoja je razmerje števil za ta dva nivoja:

$$N(hi) / N(lo) = \exp(-\Delta E / kT)$$

kjer

$$\Delta E = E(hi) - E(lo)$$

Rešitev te enačbe z T je tako:

$$T = \frac{-\Delta E / k}{\ln [N(hi) / N(lo)]}$$

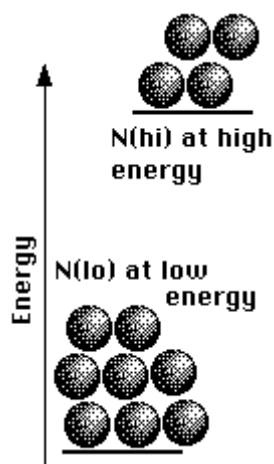
Vedenje modela

Temperatura telesa

Se definirana temperatura obnaša po naših pričakovanjih? Za telesa v termičnem ravnovesju

$$N(lo) > N(hi),$$

ni možno povečati števila delcev na visoko energijskem nivoju z dodajanjem toplote telesu. Na tak način je za običajen sistem logaritem negativen, temperatura pa posledično pozitivna.



Model z dvema nivojema

V tem primeru je na sliki prikazanih osem atomov v nizkem energijskem stanju in štirje atomi v visokem energijskem stanju; ta sistem ustreza tako običajnim temperaturam

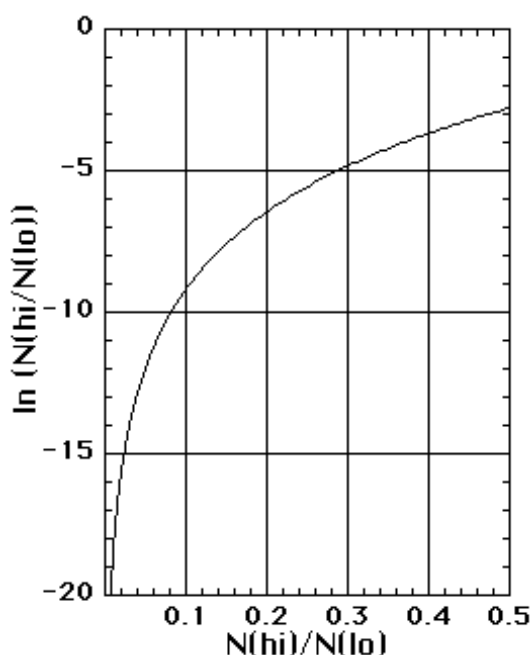
Segrevanje in ohlajevanje

Ob dodajanju toplote vedno več delcev preskoči iz nizko energijskega nivoja v visok energijski nivo; število delcev z visoko energijo, $N(hi)$, raste in $N(lo)$ pada tako, da postane logaritem manj negativen in temperatura raste. Ker je več delcev v visokem energijskem stanju se celotna energija sistema poveča.

Na drugi strani pa če se energija telesu odvzema, se $E(lo)$ polni, $E(hi)$ pa ima zmeraj manj delcev. Tako postane vrednost logaritma zmeraj bolj negativna, temperature pa gredo vedno bolj proti ničli.

$$\lim_{\frac{N(hi)}{N(lo)} \rightarrow 0} \left[\frac{-\Delta E / k}{\ln \left[\frac{N(hi)}{N(lo)} \right]} \right] = 0$$

Tudi iz samega izraza o absolutni ničli lahko sklepamo, da je težko dosegljiva, kar nam kaže tudi diagram logaritma in razmerja $N(hi)/N(lo)$

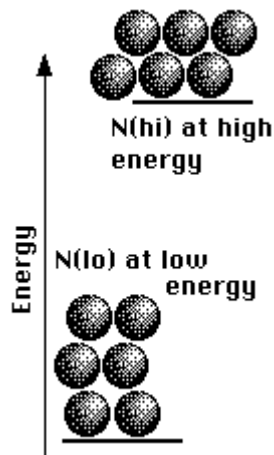


Logaritem se močno spreminja ko je argument majhen

Pri majhnem razmerju $N(hi)/N(lo)$ je logaritem zelo strm, zato se že pri majhnem številu prehodov (delcev) iz nižjega na visoko stanje temperatura znatno poveča.

Kot lahko vidimo iz navedenih primerov, ta formula zadošča našim pričakovanjem

Neskončna temperatura



Pri enakem številu delcev na obeh nivojih je temperatura (ne energija) neskončna.

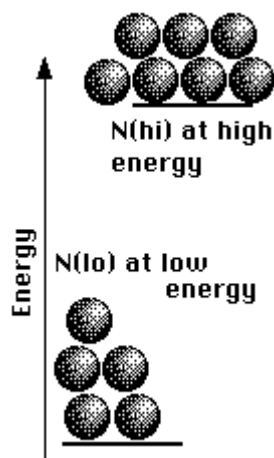
Iz prej zapisane enačbe lahko pridemo še do enega zanimivega zaključka. Če velja $N(\text{hi})=N(\text{lo})$ oziroma imamo enako število delcev na obeh nivojih potem nam logaritem izgine. Sledi:

$$\lim_{N(\text{hi}) \rightarrow N(\text{lo})} \left[\frac{-\Delta E / k}{\ln \left[\frac{N(\text{hi})}{N(\text{lo})} \right]} \right] = \infty$$

Vrednost temperature tako postane neskončna (ΔE se ne spreminja).

Ker je število delcev zmeraj omejeno oziroma končno, potrebujemo končno količino energije da dobimo neskončno temperaturo. Neskončna temperatura se ne da doseči z segrevanjem, ker "teče" toplota od visokih temperatur k nižjim. Da segrejemo neko telo rabimo tako toplejše telo.

Negativna absolutna temperatura



Sistem pri negativni absolutni temperaturi

Če je več delcev v zgornjem nivoju kot spodnjem, je absolutna temperatura negativna

Takoj, ko ima zgornje energijsko stanje večje število delcev kot spodnje energijsko stanje dosežemo negativno absolutno temperaturo. Je lahko tako stanje realizirano.

Ja, lahko je, vendar ne z ohlajevanjem. Tako enačba, kot zgornja slika prikazujeta, da ima stanje materije (snovi) kateri pripišemo absolutno negativno temperaturo več energije kot stanje snovi pri navadnih temperaturah, to pa zaradi tega, ker je večje število delcev na visokem energijskem nivoju, kot na nizko energijskem nivoju. Na ta način mora en delec dodati energijo da dobi negativno absolutno temperaturo. Poudarimo, da takega stanja ni možno doseči z dodajanjem temperature telesu.

Sistem pri negativni absolutni temperaturi

Oba opisana sistema ne glede na teorijo pa lahko vendar tudi pripravimo; tako sistem pri neskončni temperaturi kot sistem pri negativni absolutni temperaturi.

Sistem pri neskončni temperaturi izvedemo s poskusom imenovan adiabatsna demagnetizacija, vendar nas bolj zanima sistem pri negativni temperaturi. V večini laserjev (laserskih žarkov) so atomi vzbujeni elektronsko do visokih energijskih stanj (nivojev). Pred laserskim svetlobnim izžarevanjem celega sistema je potrebno, da se več atomov vzbudi kakor ne, in sistemu lahko pripišemo negativno temperaturo. Še enkrat poudarimo, da po pričakovanjih atomi niso vzbujeni z segrevanjem.

Literatura

-Internet (www.nasa.gov)

Absolutna ničla

Absolutna ničla je glede na dosedanje znanstveno mišljenje najnižja možna temperatura. V bistvu je tako nizka, da je ne moremo popolnoma doseči. Raziskovalci so se absolutni temperaturi približali že na stopinjo natančno a je vseeno niso dosegli. Torej, če nikoli ne moremo priti tja, kako torej vemo, da je resnično tam?

Prva opora ki vodi k obstoju absolutne ničle prihaja od raztezanja in krčenja plinov. Vemo, da se topel zrak dviga in hladen pada. Zrak se vzdiguje, ker se segreje zaradi razširjanja in je tako tudi manj gost kot hladen zrak, ki ga obdaja. Zrak se spušča ko se ohlaja in s tem skrči in je bolj gost kot topel zrak okoli njega.

Predpostavimo, da vzamemo določeno količino zraka in ga ohladimo kakor moremo. Koliko se bo skrčil? Ko so znanstveniki začeli proučevati vedenje vročih in hladnih plinov niso imeli sedanjih modernih hladilnih metod. Merili so po svojih najboljših močeh temperature, katere so lahko dosegli. Glede na dobljene informacije so svoje rezultate predstavili v obliki grafov.

Graf, ki prikazuje odvisnost temperature od volumna za primer plina tvori ravno, linearno premico (privzamemo konstanten tlak). Nižja ko je temperatura, manjši je volumen. Če zadosti razpotegnemo to linearno odvisno premico do nižjih temperatur (katerih sprva niso znali doseči) pridemo do nič volumna oziroma do ustavitve gibanja molekul. Znanstveniki so opazili, da je za vse pline temperatura pri kateri je volumen nič okoli $-273,15^{\circ}\text{C}$ oziroma 0 K. Ta temperatura je postala znana kot absolutna ničla, in je danes ničla za Kelvinovo in Renkinovo temperaturno skalo. Absolutna temperatura je temperatura, merjena v absolutni temperaturni lestvici. Ta lestvica ne pozna negativnih vrednosti – ničla v tej lestvici sovpada z absolutno ničlo. Lestvica je razdeljena na enote, imenovane kelvin (oznaka K po Williamu Thomsonu, ki je bil leta 1896 posvečen v lorda Kelvina). Absolutna ničla ustreza stanju, ko so vsi atomi in molekule v osnovnem stanju, torej najnižjem mogočem energijskem stanju, in imajo najnižjo mogočo kinetično energijo. Skladno s tretjim zakonom termodinamike absolutne ničle ne moremo doseči v končnem številu korakov. Tretji zakon termodinamike je preučeval Walter Nernst in sloni na entropiji sistema pri ničli absolutne temperature, ki je posledično definirana konstanta. Dandanes vemo, da se plini ne skrčijo do nič volumna, ko jih ohladimo do absolutne temperature, ker se prej kondenzirajo v tekočine pri višjih temperaturah. Kakorkoli, absolutna ničla ostaja ena glavnih konceptov v vedah ki proučujejo dogajanja pri nizkih temperaturah.

Čeprav ne more biti nič hladnejše od absolutne ničle, je nekaj fizikalnih sistemov ki lahko imajo tako imenovano negativno absolutno temperaturo.

Negativne absolutne temperature

Ali obstajajo negativne absolutne temperature? Nekateri fiziki so definirali negativno absolutno temperaturo, vendar je njihova teorija nekoliko nezanesljiva zaradi naslednjih razlogov:

1. uporabna je le v določenih fizikalnih sistemih (tistih z majhnim številom energijskih nivojev),
2. negativne temperature so toplejše od (nekaterih) pozitivnih temperatur,
3. sistem z negativno temperaturo se bo sčasoma ohladil (ali segrel, odvisno kako gledamo nanj) do pozitivnih temperatur, tudi če je popolnoma izoliran od okolice.