

Az abszolút nullapont közelébe lehűtött kristályt megfelelő külső erő hatásának téve ki (pl. erős mágneses mezőbe helyezve a mágneses momentumú atomokból álló kristályt), bizonyos körülmények között megvalósítható olyan állapot, amelyben nagyobb energiájú kvantumállapotokban több atom van, mint a kisebb energiájúakban. Ilyen körülmények között az energia-eloszlás fordított, mint belső termodinamikai egyensúly esetén az abszolút nullapont fölött. Kinetikus-statisztikus vonatkozásban ez az állapot az abszolút nullapontnál alacsonyabb hőmérsékletnek felel meg. Az ilyen rendszer a külső hatás csökkenése vagy megszűnése esetén hőt ad át a környezetének, függetlenül attól, hogy utóbbinak mekkora a hőmérséklete (vagyis akkor is, ha a környezet melegebb nála). Az abszolút nullapontnál alacsonyabb hőmérsékletű anyagi rendszerekre tehát nem érvényes a termodinamika II. főtételének azon — közönséges körülmények között alapvető — megállapítása, hogy hő önként és kompenzáció nélkül csak magasabb hőmérsékletű testről megy át alacsonyabb hőmérsékletűre. Az itt vázolt viszonyok nem „természetellenesek”, mert fizikai mezők mindenütt jelen vannak (hatásuk azonban esetleg igen gyenge).

Anélkül, hogy a viszonyok további részletezésébe kellene bocsátkozni, kitűnik a fent vázoltakból, hogy a termodinamika II. főtételéből vont következtetések (ilyenek az abszolút nullaponttal kapcsolatosak is) csak határozott körülmények között érvényes viszonylagos igazságok. „Abszolút” látszatuk onnan származik, hogy közönséges földi viszonyok között az atomoknak a fizikai mezőkkel való kölcsönhatásából származó energiák kicsik a rendezetlen hőmozgás energiájához képest, s ezért nem befolyásolják számottevően a „tiszta” hőmozgást. A termodinamika II. főtételével kapcsolatos megállapítások tehát (eltekintve az egyéb korlátozó tényezőktől) csak fizikai mezőktől mentes állapotra extrapolált határtörvények, és nem minden körülmények között érvényes abszolút igazságok.² Közönséges földi viszonyok között persze az extrapolációval elért közelítés igen jó, a gyakorlat pontosság-igényét a technika fejlődésének mai fokán még teljesen kielégíti. Nem valószínű azonban, hogy ez a jövőben is mindig így lesz, mivel előreláthatóan növekedni fog az igen alacsony hőmérsékletek gyakorlati jelentősége. A fizikai mezők hatása pedig annál inkább érvényesül, minél alacsonyabb a hőmérséklet.

Erdey-Grúz Tibor

A zérus hőmérsékletéről

(Megjegyzések a hőmérsékleti vitához)

A dialektikus materialista természetszemlélet arra törekszik, hogy a természet objektív tulajdonságainak minél hívebb képét hozza létre. Ez azzal jár együtt, hogy az anyag bonyolult sajátosságainak vizsgálatánál több oldalról kell megközelítenünk a megoldandó problémát. Az alsó hőmérsékleti határ vizsgálatára irányuló erőfeszítések az általános mozgás-probléma vizsgálatának egy speciális részét jelentik, és csak abból az alapvető felismerésből indulhatnak ki, hogy „maradéktalanul minden energia nem vonható el az anyag építő részecskéitől, hisz ez a mozgás nélküli anyag abszurdumát jelentené”.¹

Ezek figyelembevételével kívánok néhány megjegyzést fűzni az eddigi vitához:

1. A fizikai rendszereket termodinamikai szempontból ún. extenzív és intenzív mennyiségekkel lehet jellemezni. Az extenzív mennyiségek fő jellemzője az, hogy függnek a vizsgált test térbeli kiterjedésétől és különböző testek kapcsolata esetén összeadódnak. Ilyenek pl. a belső energia, a térfogat, a tömeg stb. Az intenzív paraméterek fő jellemzője viszont az, hogy különböző testek kontaktusba lépése esetén kiegyenlítődnek. Ilyenek pl. a hőmérséklet, a nyomás, a kémiai potenciál stb. Így módon a termodinamikai folyamatok kiegyenlítődési folyamatok, amelyek mindig mindig *irreverzibilisek*, és amelyeket három alaptörvény foglal keretbe: ezek a termodinamika főtételei.

² A fentiekkel szemben arra lehet hivatkozni, hogy hőmérsékletéről csak akkor beszéljünk, ha nincs jelen olyan külső hatás, amely megváltoztatja az energia-eloszlást. Ha elfogadjuk ezt, akkor a hőmérséklet fogalma válik olyanná, amelynek csak az erőtermes állapot határesetében van értelme.

¹ Kirschner I.: Magyar Filozófiai Szemle, 1963. 6. sz. 1102. o.

A rendszer állapotát jellemző mennyiségeknek rendelkezniük kell a mérhetőség kritériumával.

2. Az első ilyen alaptörvény az energia-megmaradás tétele, amely egy kerettörvény, és a folyamatok szelektivitását végzi el, amikor bizonyos folyamatok létrejöttét — éppen azokat, amelyek nem elégítik ki az energia-megmaradást — kizárja.

A változások és átalakulások szabályozásához azonban ez önmagában nem elegendő. Elképzelhetők ugyanis olyan folyamatok, amelyek nem mondanak ellent az energia-megmaradásnak, és mégsem jönnek létre. A második alaptörvény kimunkálásához célszerű egy új fogalom, az entrópia bevezetése. Az entrópia a rendszereket alkotó részecskék „elhelyezkedési” lehetőségeinek számával, azaz a rendszer rendezettségének állapotával van összefüggésben. Minél nagyobb az „elhelyezkedési” lehetőségek száma, azaz minél rendezetlenebb állapotban van a rendszer, annál nagyobb az entrópiája és megfordítva. Az entrópia ezen statisztikus értelmezés mellett mint makroszkopikus mennyiség expliciten is kifejezhető a belső energia, térfogat, tömeg stb. függvényeként.

Ennek segítségével a második alaptörvény értelme röviden a következő: csak olyan folyamatok jöhetnek létre, amelyek eredményeként a vizsgált rendszer rendezetlensége és ezzel együtt entrópiája nem csökken.

A harmadik alaptörvény felismerése Walther Nernst és Max Planck nevéhez fűződik, és az alsó hőmérsékleti határ egzisztenciáját tartalmazza. Kimondja, hogy a hőmérséklet abszolút zérus fok felé való tartásakor minden rendszer entrópiája zérushoz tart.²

3. Mindezek alapján a testek hűtése egy energiacsökkenési, ill. entrópia-átcsoportosítási folyamat, amely a hőmérséklet csökkenésével jár együtt.

4. Ez a folyamat megfelel a dialektika által felismert mennyiségi-minőségi változás törvényének a következő módon: az abszolút zérus fok a „meleg”-csökkenés (azaz energia-csökkenés, ill. entrópia-átcsoportosítás) kvalitatív folyamatának olyan kvantitatív változásba való átcsapása, amikor az új minőség megjelenését a mozgások bizonyos fajtájának, a *molekuláris mozgásnak eltűnése*³ jelzi.

5. A hőmérséklet csökkentése több olyan új jelenség (pl. szuperfolyékonyság, szupravezetés) létrejöttét tette lehetővé, ahol a kvantumos kölcsönhatások makroszkopikus méretekben való megjelenése felismerhető.

6. A statisztikai törvényekkel nincs ellentétben a fizikai rendszert felépítő részecskék saját-impulzusnyomatékainak (spinjeinek) olyan konfigurációja, amikor az eloszlást jellemző paraméter, az ún. spin-hőmérséklet negatív értékű lehet. Egy ilyen negatív spin-hőmérsékletű rendszer magasabb energiaállapotban lehet, mint pozitív párja. Ez esetben, termikus kontaktus esetén energia áramolhat a negatív pólusból a pozitív felé. A hőmérsékleti skála pedig a hidegebb rendszertől a melegebb felé átfutja a következő értékeket:⁴

$$+0^{\circ}\text{K}, \dots +100^{\circ}\text{K}, \dots \pm\infty^{\circ}\text{K}, \dots -100^{\circ}\text{K}, \dots -0^{\circ}\text{K}.$$

7. A különböző hőmérsékleti skálák egymáshoz való viszonyáról a következőket lehet mondani: az abszolút termodinamikai vagy Kelvin-féle skála kitüntetett a többi skálához viszonyítva; nullapontja ugyanis alapvető fizikai változáson alapul (lásd előbb), továbbá: a termodinamikai elméletek és egyenletek a segítségével egyszerűbben fogalmazhatók meg.

C. Carathéodory 1925-ben matematikailag bebizonyította, hogy létezik az entrópia és hőmérséklet abszolút skálája és bármely empirikus skálát veszünk is alapul, az a nevezett abszolút skálára vezet.

8. Minthogy az entrópia és az energia között folytonos, monoton növekvő és differenciálható függvénykapcsolat van, a hőmérséklet, amely az energiának az entrópia szerinti parciális differenciálhányadosa, pozitív értékűnek adódik.⁵ Ez az objektív hőmérséklet-fogalom a molekuláris kapcsolatokra egészen az abszolút nulla fokig kiterjeszhető. Ily módon a makroszkopikus testek kölcsönhatásainak eredményeképpen létrejövő, mérhető, egyensúlyi hőmérsékletekre pozitív értékeket kapunk.

9. A mágneses módszerekkel létrehozott alacsony hőmérsékleteknél az abszolút nullafok közelében jól alkalmazható a T^* -gal jelzett, ún. mágneses hőmérsékleti skála.

Kirschner István

² P. T. Landsberg: Thermodynamics (Interscience Publ., 1961).

³ Lakó L.: Magyar Filozófiai Szemle, 1964. 1. sz. 155. o.

⁴ Cs. Kittel: Elementarnaja Sztatiszticeszkaja Fizika (I. I. L., 1960).

⁵ H. B. Callen: Thermodynamics (J. Wiley, 1960.).