

Tisza László és a szuperfolyékonyság elmélete

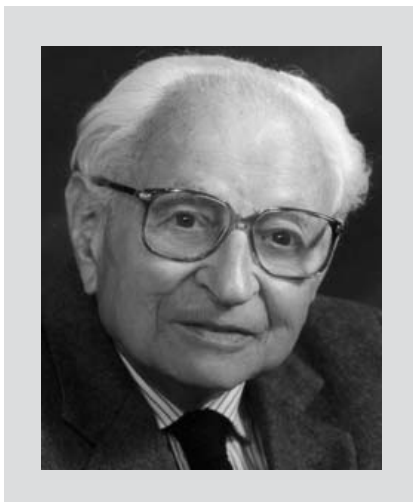
Tisza László, az Amerikában élő híres magyar fizikus 2007. július 7-én töltötte be századik életévét. Munkásságának az a része, amely számára meghozta a világhírt, egy olyan fontos tudományterülethez kapcsolódik, amely a 19–20. század fordulóján született: a nagyon hideg anyagok fizikájához. Az abszolút nullához (-273 °C) közeli, vagyis – az abszolút nullától mérve – néhány Kelvin-fokos hőmérsékletekre lehűtve a legtöbb gáz először cseppfolyósodik, majd

kristályossá fagy. Nevezetes kivétel a hélium, amely cseppfolyósodik, de nem fagy meg. Ehelyett valami sokkal izgalmasabb történik vele: átmegy *szuperfolyékony*, azaz viszkozitás (belső súrlódás) nélküli állapotba. Ennek első elméleti magyarázatát adta meg Tisza László a híres kétfolyadékos modell létrehozásával, amely máig is a folyékony hélium fizikájának marandó és megkerülhetetlen keretét jelenti.

Az előzmények

A héliumot először Heike Kamerlingh Onnes cseppfolyósította 1908-ban, Leiden egyetemén. Ettől kezdve a cseppfolyós hélium több mint húsz évig csak a nagyon mély hőmérsékletek előállításának eszközeként szerepelt. Segítségével maga Kamerlingh Onnes fedezte fel 1911-ben a fémek szupravezetését is; 1913-ban Nobel-díjat kapott.

Hogy a folyékony hélium maga is varázslatos és meglepő jelenségekben gazdag tárgya a fizikának, az csak jóval később kezdett kiderülni. 1926-ban közölte Kamerlingh Onnes tanítványa, az ugyancsak Leidenben („a világ leghidegebb helyén”) dolgozó Willem Hendrik Keesom az első fázisdiagramot, amely azt mutatta, hogy a hélium a legalacso-



Tisza László arcképe

nyabb hőmérsékleteken sem fagy meg, csak igen nagy nyomás alatt. Ugyancsak ő tette 1930-ban azt a korszakos felfedezést, hogy a folyékony halmazállapoton belül, 2,17 Kelvin hőmérsékleten valamilyen fázisátalakulás történik, amit a fahő hőmérsékletfüggésének a görög λ betűre emlékeztető éles csúcsa jelez. Keesom nevezte el az átalakulás helyét lambda-pontnak, a melegebb oldalon levő folyadékot hélium I-nek, a hidegebb oldalon levőt hélium II-

nek. Ez utóbbinak különleges tulajdonságairól szól történetünk.

1935 körül irányult a figyelem a hélium II furcsa viszkozitására, amely egyrészt a hőmérséklettel meredeken csökkent, másrészt függni látszott a mérőberendezés alakjától! Addigra Leiden mellett még két laboratóriumban indultak meg a vizsgálatok: a kanadai Torontóban, valamint az angol fizika fellegvárának számító Cambridge-ben is, ahol a zseniális fiatal orosz fizikus, Pjotr Kapica 1929 óta vendégkutatóként működött. Atyai támogatója, Rutherford közvetítésével felépítette a Mond-laboratóriumot (Mond a szponzor neve), ahol Kapica nagy mérnöki fantáziával új alapokra helyezte és ipari méretekig fokozta a hélium cseppfolyósítását. 1934-ben Kapicát egy konferenciára hazahívták a Szovjetunióba, és többé nem engedték vissza cambridge-i laboratóriumába. Volt azért egy megoldás – másnak egy sem lett volna, de a roppant életrevaló Kapicának sikerült: személyes kapcsolatot talált Sztálinnal, és ezen keresztül elérte, hogy Moszkvában újra felépíthesse az elvesztett laboratóriumot, benne új munkatársakkal – köztük volt a 20. századi fizika egyik különösen fontos alkotója, Lev Davidovics Landau is.

Ettől kezdve Kapica, valamint a cambridge-i Mond-laboratóriumba az ő helyére Torontóból meghívott kutatók, Allen és Misener egymással versenyezve, lényegében egymástól függetlenül, 1937-ben ismerték fel, és 1938 elején publikálták a hélium II legfontosabb tulajdonságát: azt, hogy a folyadék vékony kapillárison vagy összepréselt felületek közötti szűk résen súrlódás nélkül, nulla viszkozitással áramlik át (ezt Kapica nevezte el *szuperfolyékonyságnak*, a szupravezetés mintájára). Ugyanez a folyadék viszont a belémerített lengőforgó tárgyak (hengerek, korongok, lapátok) mozgását véges, jól mérhető viszkozitással csillapítja!

Ha a felfedezést a két csoport függetlenül tette is, a publikációba egy kis szépséghiba csúszott: Allen és Misener tudomást szerzett Kapica beküldött cikkéről, és ezután küldte be a magáét. Ez lehet az oka, hogy csak negyven évvel később adtak a felfedezésért Nobel-díjat, akkor is csak Kapicának.

A szuperfolyékonyság és a kétfolyadék-modell

A λ -pont alá hűtött hélium különös tulajdonságainak magyarázata felé az első jelentékeny lépést a Párizsban élő Fritz London tette meg. Ő azt ismerte fel, hogy a folyékony hélium könnyű atomjait a kvantummechanika által kikényszerített mozgás akadályozza meg a kristályosodásban. Ekkor viszont a megfigyelt rejtélyes fázisátmenet kapcsolódhat a *Bose–Einstein-kondenzációhoz*: ahhoz az elképzeléshez, hogy a héliumatomok sokaságából egy adott hőmérséklet alatt kiválik az azonos állapotú, mozdulatlan atomok „kondenzátuma”, miközben a többi atom továbbra is gerjesztett, véges sebességgel mozgó állapotban marad. Ez a kondenzáció hasonlít a vízgőz kicsapódására, de ez most a *sebességtérben* történik; a közönséges térben nézve a kondenzátum és a gerjesztett atomok ugyanazt a helyet töltik ki.

London felfrissítette Einstein vázlatos számításait, kiszámította az átalakulás hőmérsékletét a héliumatomok tömegére és a folyékony hélium sűrűségére, és azt kapta, hogy ez a hőmérséklet 3 Kelvin körül van: olyan közel a hélium 2,17 kelvines átalakulásához, hogy az ember hinni kezdi: ez nem lehet véletlen.

1937-ben került Tisza László, a tehetséges magyar fizikus Párizsba. Budapesten járt egyetemre, majd németországi tanulmányokat követően 1935-től Harkovban Landau munkatársa. Mivel Magyarországon egyszer baráti szívességből részt vett kommunista röpiratok terjesztésében, eközben lebukott és néhány hetet börtönben töltött, itthon nem számíthatott egyetemi állásra. A francia fővárosba, a már sikeres és elismert Fritz Londonhoz Szilárd Leó ajánlásával érkezett. Nagy beszélgetésekben tervezték jövőbeli közös munkájukat. 1938 elején megjelent Kapica cikke a szuperfolyékonyság felfedezéséről, és a beszélgetőpartnerek aznap este megéreztek, hogy rajtuk a sor. Fritz London számára az új jelenségek új kihívást jelentettek, hogy egy lelkes fiatal segítővel megerősítve, alapos kutatómunkával derítse fel a kapcsolatot az általa felismert Bose–Einstein-féle kondenzációs vonallal.

Tisza számára az estét követő álmatlan éjszaka a felismerés ideje volt: a kulcs a kétféle viszkozitás. London elképzeléseiben adottak ennek hordozói is: a Bose–Einstein-kondenzátum az, ami résen-kapillárison akadálytalanul átsiklik, és a gerjesztett atomokból álló gáz az, ami a forgó-lengő korongok mozgását viszkozitásával csillapítja. A kettő mint *két folyadék* ugyanazon a helyen van, de nem mint egy keverék, hanem függetlenül mozognak, kétféle sebességgel, kétféle viszkozitással. Másnap reggel Tisza boldogan kereste Londont, hogy elmondja, mire jutott az éjszaka, és várta az örömteli elismerést.

Fritz London tajtékozott a haragtól. Ilyet nem lehet csinálni, ez megcsúfolása az ő komoly programjának, az egy helyen kétfelé mozgó két folyadék képe abszurd. Az együttműködés terve szertefoszlott, Tisza László magára maradt gondolataival jó két évre; ezalatt kidolgozta és publikálta azt, amit máig is a *Tisza-féle kétfolyadékos modellnek* nevezünk, és azt is, ami ennek melléktermékeként gyorsan kihullt az idő rostáján. Ami kihullott, az az ő nagy fájdalma volt; ami fennmaradt, az a fizika nagy szerencséje.

A kétfolyadékos modell sajátosan csatolt hidrodinamikai egyenletrendszerként jelent a tudathasadásos hélium viselkedésében megmutatózó „két folyadék” (mai nyelven: *normál* és *szuperfolyékony* komponens) tulajdonságaira, köztük az entrópiásűrűsége, amit hőmérővel

lehet mérni. Erre vonatkozik Tisza László leglátványosabb felfedezése is: az egyenletrendszer megoldásából rájött, hogy a közönséges hanghullámok mellett a folyékony héliumban terjedhet egy „termikus hang” is (mai nyelven: *második hang*), amelyben a hőmérséklet inhomogenitása terjed hullámszerűen, nem pedig diffúziószerűen, mint a közönséges anyagoknál megismert hővezetés.

Az első évek

A háború évei következtek, Cambridge-ben lényegében leállt a tudományos kutatás, de Moszkvában folytatódott, amíg lehetett. Kapica egy fiatal tanítványa, Peskov kitalálta a módját, hogy megfigyelje a második hangot, és megmérte a sebességét is, egyelőre korlátozott hőmérsékleti tartományban. Tisza boldog volt, és Fritz London is megbékélt a látványos megerősítés láttán.

Kapicához csatlakozott a sztálini terror rémálomszerű közjátékai után Landau is, aki a közvetlen közelében zajló kísérletek magyarázatát sok tekintetben másképpen látta. Átvette (vagy újra kitalálta – ezt már sohase fogjuk megtudni) a kétfolyadékos modellt, de a hozzá tartozó London–Tisza-féle mikroszkopikus magyarázatot nem fogadta el, mondván, hogy egy olyan erősen kölcsönható folyadékban, mint a hélium, nem létezhetnek a Bose–Einstein-kondenzátum mellett szabadon mozgó gerjesztett atomok. Az alacsony hőmérsékleten végzett fajhőmérések egyértelműen rámutattak, hogy a legalacsonyabb energiájú „elemi gerjesztések” (ez a kifejezés is Landautól származik) nem egyes gerjesztett atomok, hanem az atomok legegyszerűbb kollektív mozgásának, a hanghullámoknak kvantumai. Ezeket Landau a „foton” szó mintájára fononnak nevezte el. A fonon-gáz alkotja a kétfolyadékos modell „normál” komponensét, amely viszkozus erőt tud létrehozni. Fononok azonban a hangsebességnél lassabb áramlásban nem tudnak létrejönni, ezért nincs viszkozitása a hideg héliumfolyadéknak.

Amint Landau számításaiból szinte mellékesen kiderült, mindennek közvetlen következménye, hogy a második vagy termikus hang sebességének hőmérsékletfüggése eltér a Tisza által megjósolttól. A döntő kísérlethez mélyebbre kellett menni a hőmérséklettel; ez Peskovnak már csak a háború után sikerült, és az eredmények Landau elméleti jóslatát erősítették meg.

Epilógus

A folyékony héliumból és a hozzá szorosan kapcsolódó szupravezetésből „soktest-elmélet” néven jelentős tudomány nőtt ki, amely új alapokra helyezte a kristályos szilárd testek fizikáját, a magfizikát és a molekulák kvantumelméletét is. Művelésére világszerte és Magyarországon is kiváló tudományos iskolák jöttek létre; működésük nyomán ma jobban értjük a körülöttünk levő anyagok természetét, mint azelőtt.

Tisza László, aki 1941-ben Amerikába került, és további aktív éveit a Boston melletti Cambridge-ben, a híres Massachusetts Institute of Technology professzoraként töltötte, önkéntes elhatározással kimaradt ebből a fejlődésből; kutatói energiáit a termodinamikában kamatoztatta. Ennek nyilvánvaló oka az a megrázkódtatás volt, amely a kétfolyadékos modellhez fűzött mikroszkopikus magyarázatának kudarcával érte.

Visszatekintve, maga a kétfolyadékos modell az elméleti fizika ragyogó sikere és marandó eredménye. A folyékony hélium tulajdonságait ma is ezen, a jelenségekhez tökéletesen igazodó nyelven írjuk le, és hogy ezt felismerni mekkora tett volt, arra máig érvényes bizonyíték Fritz London megdöbbenése azon a reggelen.

A szuperfolyékonyság korai évei után Tisza László csak egyszer szólalt meg a témában: ő volt az első, aki Landaut Nobel-díjra javasolta.

DR. GESZTI TAMÁS

Amikor egy filmen dolgozom, elsőként a zenét választom hozzá.

(Martin Scorsese filmrendező)