



A fizika „forró pontjai”

Szerkesztő: Orvosi témájú beszélgetésünk után, melynek anyaga 1974. 10. számunkban jelent meg, most néhány kolozsvári fizikust szólítottunk „kerekasztalhoz”. Köszönjük, hogy eljöttek. Bevalljuk, hogy nekünk, szerkesztőknek nem volt előzetes elképzelésünk az itt folytatandó beszélgetésről, s ezért felkértük Selinger Sándor fizikust, mint munkatársunkat, terjedően elénk javaslatot: minek volna érdemes itt szóba kerülnie.

Selinger Sándor: Gondolom, a fizika egyes *megoldatlan kérdéseinek*, persze nem azzal az igénnyel, hogy itt megoldjuk őket. Nevezzük ezeket „forró pontoknak”. Ha ebben egyetértünk, akkor már csak azt kell kijelölnünk, melyek ezek a pontok. Igaz, hogy esetenként a fizikai társulatok tanácskozásain összeállítják a „legfontosabb problémák” listáját, de ezt mindig sokféle szempont határozza meg; legyen ezúttal mindössze egy szempontunk, a saját véleményünk.

Kezdjük egy kis tudománytörténettel. Közhely, hogy a „természet könyvének” olvasására tett kísérletek olyan régiek, mint maga a gondolkodás. De alig három évszázada annak, hogy az immár tudósnak nevezhető világos elmék érteni kezdték e könyv nyelvezetét. Ettől az időtől aztán — Galilei és Newton korától — az „olvasás” kezdett könnyebben menni: kifejlődtek az egzakt kutatási módszerek, s megindult a rejtélyek módszeres feltárása.

A klasszikus mechanika eredményei egy időben jogosulttá tették azt a feltevést, hogy a *mechanikai nézőpont* a fizika minden ágára következetesen alkalmazható (tehát minden jelenség megmagyarázható olyan vonzó- és taszítóerőkkel, amelyek csupán a változatlan részecskék egymás közötti távolságától függnék). Az elektromos és optikai jelenségeket tanulmányozó kutatók azonban csakhamar számos nehézségbe ütköztek. Az optikai jelenségek megmagyarázásában például a hullámelmélet javára kellett dönteni a korpuszkuláris szemben. Olyan hullámok elképzelése, amelyek részekből álló közegben terjednek, ahol a részek között erők hatnak, még mindig mechanikai felfogás; de amikor az a kérdés került „szőnyegre”, hogy milyen közegben terjed a fény, és melyek e közeg mechanikai sajátságai — a probléma megoldásának nehézségei oly nagyok lettek, hogy a mechanikai álláspontot el kellett vetni, s új fogalmat kellett bevezetni a fizikában: a *mezőt*.

A relativitáselmélet a mező-problémából pattant ki: a régi elméletek ellentmondásai arra készítették a fizikusokat, hogy új tulajdonságokkal „ruházzák fel” az események színteréül szolgáló világ téri-dő-kontinuumát. Az atomjelenségek gazdag területe ugyancsak új fogalmak bevezetését igényelte. Az anyagról kiderült, hogy „szemcsés” szerkezetű (elemi részecskékből, elemi *anyagkvantumokból* áll); s míg felelni próbáltunk arra, hogy mi az elektronsugár, elemi részek zápora-e vagy hullám, el kellett vetni a benne lejátszódó események leírásának azt a módját, mely ezeket az eseményeket térben és időben lejátszódóknak tekinti. A *kvan-*

tumfizika nem tulajdonságokat ír le, hanem valószínűségeket, és törvényei csak halmazokra vonatkoznak, nem egyedekre.

Időközben az óriási technológiai fejlődés következtében annyi új kísérleti eredmény halmozódott fel, hogy az elméleti fizika messze lemaradt értelmezésük munkájával; azt hiszem, a jelen pillanatban ez jellemzi a fizika „állását“. Ezért bátorodom azt javasolni, hogy lehetőleg ezeken a területeken jelöljük ki kérdéseinket, közelebről a *termonukleáris fúzió, a plazmafizika, a szupravezetés, az „új anyagok“ (fémes hidrogén, anomális víz), a szilárdtestfizika, a transzurán elemek, az elemi részek, a gravitáció és az egységes térelmélet* tárgykörében — nem feledkezve meg azokról a gyakorlati vonatkozásokról sem, amelyek a fizika jelentőségét a gazdasági életben, általában az egész modern társadalomban meghatározzák, s amelyek miatt e tudományt némelykor „nagy hatalomnak“ is szokták nevezni.

Karácsony János: Elfogadva a Selinger javasolta témákat, s mindjárt a gyakorlati vonatkozásokból indulva ki, hadd hozzam szóba, hogy a modern társadalom egyik legnagyobb oylan problémája, amelynek megoldását elsősorban a fizikusoktól várja — az *energiaellátás*. Előttünk áll a klasszikus energiaforrások kimerülésének veszélye. Egyes becslések szerint a Föld szénhidrogén-tartalékai már csak néhány évtizedre elegendők. Energetikai szakemberek véleménye szerint ezek még körülbelül 100-180 Q tartalékot jelentenek ($Q = 400$ milliárd tonna szén energiája), ami a harmadik évezred első ötven évének előreláthatólag mintegy 450 Q energia-szükségletéhez képest elenyészően kevés — tekintve, hogy addig is tovább fogy.

A maghasadás elve alapján működő erőművek jelenlegi eredményei, valamint a magfúzió energianyerésre való felhasználását célzó tervek a megoldás biztató előjelei. A kétezres évek elején a világ teljes villamosenergia-szükségletének valószínűleg mintegy felét maghasadással „dolgozó“ erőművek fogják termelni. Az utóbbi évek tapasztalatai azt bizonyítják, hogy ezek gazdaságilag felveszik a versenyt más energiaforrásokkal — bár még számos kérdés vár megoldásra velük kapcsolatosan. Mindjárt az első az, hogy fűtőanyag-tartalékaink ebben az esetben is korlátozottak. A természetben található nukleáris fűtőanyag-mennyiségnek csak egyik összetevője, az uránium 235-ös tömegszámú izotópja hasad aránylag könnyen, s ezért mai reaktoraink gyakorlatilag csak ezt használják, holott ez még egy százalékát sem teszi ki a természetben található urániumnak.

Koch Ferenc: Megjegyezni kívánom, hogy olyan reaktorokat is építenek, amelyek a 238-as uránium-izotópot átalakítják plutóniummá — s ez szintén hasznos reaktor-üzemanyag. Az atomreaktorok működésének kulcskérdése az üzemanyag-előállítás izotóp-szétválasztással, ami ma még rendkívül költséges, de talán a lézersugaras izotóp-szétválasztás, amiről mostanában kaptunk hírt, megoldja a problémát.

Karácsony János: Az uránium 238-as tömegszámú izotópjának átalakítása plutóniummá már csak azért is fontos, mert ez teszi ki a természetben lehető urániummennyiség legnagyobb részét. Erre szolgálnak a *reprodukáló reaktorok*, amelyek minden egyes elhasznált fűtőanyag-atom után egynél több új, hasadásra képes atomot termelnek. A kiinduló anyagul használható ún. „termékeny“ izotópok — ilyen a 238-as uránium is — több évszázadra, sőt talán évezredre elegendő mennyiségben találhatók a Földön.

Nem elhanyagolható problémája azonban a nukleáris erőműveknek a környezet hőszennyezése és a radioaktív sugárzás veszélye. A vízzel hűtött elektronukleáris erőművek a hagyományos hőerőműveknél jóval több hőt bocsátanak a környezetbe, s ezért elterjedésük hatással lehet a bioszféra állapotára. Ha minden ország átállna a hasadóanyagokkal történő energiatermelésre, a reaktortechnika elé óriási feladatot állítana a radioaktív hulladéktömeg eltávolítása és a sugárvédelem, ami elvileg nem lehetetlen, gyakorlatilag azonban éppen olyan nehezen megoldható, mint szén- és olajtüzelés esetén a levegőszennyeződés kérdése.

Ez a két nehézség (a könnyen hasadó anyagok kis mennyisége és a szennyezés, illetve sugárveszély) fordította a tudományos és műszaki érdeklődést a *magfúzió* energiatermelésre való felhasználása felé. Fizikus-nyelven szólva, az atommagok kötési energiájának a tömegszám függvényében való tanulmányozása kimutatta, hogy az atommagban rejlő energiát nemcsak nehéz atommagok hasításával szabadíthatjuk fel, hanem könnyű atommagok összeépítése (fúziója) révén is. Csakhogy ehhez földi viszonylatban „rendkívüli“ körülmények kellenek — olyanok, mint a csillagokban, melyeknek energiatermelését éppen ilyen fúziós folyamatok valósítják meg.

Koch Ferenc: Ezzel kapcsolatban egyes kérdések azért még tisztázásra szorulnak. Ha a Napban minden olyan „előírászerűen” zajlana, ahogy a fizikusok eddig gondolták (Bethe-ciklus), a Földön ki kellene tudnunk mutatni a Naptól jövő neutrino-áramlást. Ez azonban mindeddig nem sikerült.

Karácsony János: Mindenesetre a szabályozott (tehát nem robbanásszerű), tetzőlegesen megállítható és újraindítható fúzió évmilliárdokra fedezné az emberiség energiaszükségletét, mert alapanyaga, a deutérium szinte kimeríthetetlen mennyiségben áll rendelkezésünkre az óceánokban D_2O (nehézvíz) formájában.

Az atommagok összeépítéséhez az szükséges, hogy ezek 10^{-14} m nagyságrendű távolságra közelítsék meg egymást. Ilyen kis távolságban az atommagok pozitív elektromos töltésének taszító hatása rendkívül erős, amelyet gyorsítók segítségével le lehet győzni — csakhogy ez műszaki energiatermelés céljára alkalmatlan eljárás. Olyan körülményeket kell tehát teremteni, amelyek között az összeépítendő atommagok elég energiával rendelkeznek az említett taszító hatás (az ún. coulomb-gát) leküzdéséhez, s ennek a gazdaságos megvalósítása a jelenlegi és közeljövőbeli fizikus- és technológus-nemzedék feladata. Megjegyzem, hogy a magfúzió létrejöttéhez szükséges mozgási energiára a részecskék csak igen magas — mintegy tízmillió fok körüli — hőmérsékleten tesznek szert. Ezen a hőmérsékleten az anyag teljesen ionizált állapotban van; ez a pozitív töltésű atommagokból, ionokból és negatív töltésű elektronokból összetett gáz a *plazma*.

Selinger Sándor: Második „forró pontunk”, a plazmafizika tehát magától adódik az elsőből...

Koch Ferenc: Mielőtt még erre rátérnénk, szeretném szóba hozni (ha már a magfúzió kérdését ilyen szorosan az energiaellátáshoz kapcsoltuk), hogy az energiagondokon nemcsak az atomerőművek nyhíthatnek. Ismeretes például, hogy a Nap energiájából a légkör határán minden négyzetméternyi felületre 1,81 lóerő teljesítmény jut, ami egy négyzetkilométeren már körülbelül a vaskapui vízerőmű teljesítményével egyenlő. Ezt — bár magam atomfizikus vagyok — csak azért vetettem közbe, hogy sem az atomerőművek jelentőségét ne becsüljük túl, sem a másfajta energiaforrások jobb kihasználásának lehetőségét ne hanyagoljuk el.

Tehát hogy állunk a plazmafizikával?

Karácsony János: A plazma kutatása számos problémára világított rá a termokleáris reakciókkal kapcsolatban, és igyekszik ezeket megoldani. Ilyen probléma például az, hogy a plazma hőenergiájának egy része igen hamar elvesz kemény röntgensugárzás formájában, a plazma tehát könnyen kihűlhet. Egy másik probléma az, hogy a magas hőmérsékleten a nagy relatív sebességre szert tett részecskék a plazmát tartalmazó edény falába ütköznek, s onnan idegen részecskéket szakítanak le, amelyek egyfelől szennyezik, másfelől tovább hűtik a plazmát. Egyelőre nincs olyan szilárd anyag, amely a plazma magas hőmérsékletének ellenállhatna — az ionizált gáz összetartására tehát jelenleg a *mágneses erőtér* látszik egyedül alkalmasnak. Igen ám, de az ehhez szükséges mágneses tér rendkívüli erőssége újabb problémákat okoz, többek között bizonyos instabilitásokat a plazmában. Ennek kiküszöbölésére a fizikusok különféle konfigurációjú mágneses tereket javasoltak.

Farkas Anna: Ne feledkezzünk meg a látszólag apró, de egyáltalán nem könnyen megoldható problémákról sem. Például arról, hogy a plazma hőmérsékletét — több tízmillió fokot — meg is kell mérni, ráadásul igen rövid idő alatt. Elképzelhető, mennyi kísérletezés eredménye az a ma használatos módszer, amely a lézersugaraknak a plazmán való szóródásából számítja ki a hőmérsékletet, rendkívül bonyolult levezetéssel.

Karácsony János: Csakugyan így van. Rengeteg munka, rengeteg szellemi energia fekszik mindezekben a kutatásokban — és nem eredménytelenül. Napjainkra a fizikusok elméletileg már meghatározták azokat a paramétereket, amelyeket a „plazmás” berendezésben biztosítani kell ahhoz, hogy energiát szabadíthasson fel (ez az ún. Lawson-kritérium) — s ez azt ígéri, hogy ha nem is a túl közeli jövőben, de nem is a túl távoliban működésbe léphetnek a magfúzió energiáját hasznosító villamoserőművek.

Selinger Sándor: Ezeknél az erőműveknél, akárcsak a maghasadás elve alapján működőknél, adott az a lehetőség is, hogy a magenergiát közvetlenül alakítsák át elektromos energiává ún. magnetohidrodinamikai generátorok segítségével.

Karácsony János: Igen, de ezeknek a megépítése egész sor újabb nehézség leküzdését igényli. A nehézségek listájának élén anyagszerkezeti problémák állnak, nem elhanyagolható azonban a nagy mágneses térerősség fenntartásának kérdése sem, ami klasszikus elektromágnesekkel csak a hatások jelentős csökkenése árán oldható meg. A magnetohidrodinamikai generátorok jövőjét tehát nagymértékben befolyásolni fogják a fizika más területein elért eredmények, nem utolsósorban az olyan szupravezető anyagok előállítása, amelyek magas hőmérsékleten is szupravezetők maradnak.

Selinger Sándor: Ha jól látom, ezzel el is jutottunk következő „forró pontunkhoz“, a szupravezetéshez.

Puskás Ferenc: Igen, ámbar ez a „forró pont“ az igen alacsony hőmérsékletek tartományában fekszik. De átvitt értelemben csakugyan nagyon forró — a szupravezetés ugyanis egyike a jövő legígéretesebb fizikai jelenségeinek. Maga a jelenség elég régóta ismert: 1911-ben fedezte fel Kamerlingh-Onnes, amit már akkor nagyra értékelt a tudományos világ, s 1913-ban Nobel-díjjal jutalmazták a felfedezőt. Az elmúlt két év során, 1972-ben és 1973-ban ismét két fizikai Nobel-díj hívta fel a figyelmet erre a jelenségre (Bardeen, Cooper és Schrieffer, illetve Josephson).

Lássuk azonban, mi is a szupravezetés jelensége. Igen alacsony hőmérsékleten, az abszolút zéró fok közelében egyes fémek — például a higany, az ólom, az alumínium — elvesztik elektromos ellenállásukat, s elektromos vezetőképességük *végtelen nagy lesz*. Innen a jelenség szupravezetés neve. A szupravezető állapotban lévő anyagon átfolyó áram nem termel hőt, s ebből mindjárt egy fontos gyakorlati alkalmazás lehetősége adódik: az elektromos energia veszteségmentes szállítása távvezetéken.

Szerkesztő: Karácsony János az előbb szinte minden elméleti lehetőséggel kapcsolatban technikai nehézségekről is szólt. Itt nincsenek hasonló nehézségek?

Puskás Ferenc: Vannak, de legyőzhetők. Az 1971-es Nemzetközi Szupravezető Kongresszuson francia és angol szakemberek már arról számoltak be, hogy hazájukban az 1990-es években üzembe állítják az első nagyteljesítményű szupravezető távvezetéseket. Az ilyen távvezetékrendszerek kiépítése az egész modern világgazdaság érdeke, mert ezek egyrészt kiküszöbölik a távvezetéken fellépő jelentős energiavesztéseket, másrészt azért is gazdaságosak, mert nagyon kevés szupravezető fém felhasználásával épülnek — a szupravezetőben ugyanis az áram csak egy nagyon vékony (néhány század mikron vastagságú) felületi rétegben terjed.

Hogy másfajta alkalmazásokról is szóljak: az ipar régóta gyárt például szupravezető mágneseket, amelyeknek nagy előnye az, hogy jóval kisebbek klasszikus ősüknél, az elektromágnesnél, és százszor kisebb súly esetén is két-háromszor akkora térerősséget szolgáltatnak. A szupravezetőknek sok olyan tulajdonságuk van, amelyek a jövőre nézve fontos gyakorlati alkalmazással kecsegtetnek. Legkiemelkedőbb a mágneses tükröhatás (az ún. Meissner-effektus), melynek lényege az, hogy a szupravezető állapotban lévő anyag „kidobja magából“ a mágneses teret: a mágneses erővonalat úgy veri vissza, mint a tükrő a fényt. Ha egy mágnesrudat szupravezető lemezre helyezünk, az magától eltaszítja a mágnes, amely a szupravezető felülete fölött bizonyos távolságban lebeg. E jelenség alapján dolgozták ki a mágneses elfüggesztésű, csapágymentes elektromos motorok elvét, s újabban ugyanilyen elv alapján működő, nagy teljesítményű elektromos generátor tervein is dolgoznak.

Koch Ferenc: Ez mind szép, csak az a baj, hogy az eddig ismert szupravezetők igen alacsony hőmérsékleten „működnek“ — s ezt állandóan fenn kell tartani. Ha sikerülne olyan anyagot találni, amely normál hőmérsékleten is szupravezető, az új ipari forradalmat jelentene.

Néda Árpád: Ez még csak álom.

Koch Ferenc: Rutherford is álomnak hitte az atomenergia hasznosíthatóságát...

Néda Árpád: Hát akkor hadd mondjam úgy, hogy *egyelőre* csak álom — ugyanis az eddig ismert szupravezető fémek kritikus hőmérséklete — az a hőmérséklet, amelyen a normális vezetőképességű fém szupravezető állapotba megy át — kevés kivétellel 4 Kelvin-fok alatt van. Kísérletileg kimutatták, hogy bizonyos fizikai feltételek mellett a fémek kritikus hőmérséklete megnövelhető. Például a

nagy tisztaságú ón kritikus hőmérséklete 3,72 Kelvin-fok, de mechanikai deformáció hatására ez 9 Kelvin-fokra növekszik. Ezzel kapcsolatosan felmerül az a kérdés, hogy melyek azok a fizikai feltételek, amelyek jelentősen megnövelhetik a kritikus hőmérsékletet, és milyen értékig. De meg kell említeni azt is, hogy a szupravezető állapottal rendelkezhető *ötvezetek* kritikus hőmérséklete magasabb, mint a tiszta fémeké — a fizikusok tehát minden eszközzel igyekeznek ezt az értéket egyre fenntebb „tornáztatni”, s így lehet, hogy az álom egyszer csak megvalósul.

Puskás Ferenc: A fizikában megtörténik, hogy egyes álmok sokkal hamarabb megvalósulnak, mint ahogy elképzeljük. Mindenesetre a kritikus hőmérséklet „feltornázására” — ahogy Néda kolléga mondta — világszerte intenzív kutatómunka folyik, s jelenleg már van olyan anyag, amely a 212,3 Kelvin-fokon, tehát a cseppfolyós hidrogén hőmérsékletén szupravezetővé válik.

Egyébként a szupravezetés egyes alkalmazási lehetőségeire újabban felfigyeltek a biológusok s az orvosok is. Mivel a mágneses terek mérés technikájában fontos szerepet játszanak a szupravezetők (a szupravezető hatáson alapuló magnetométerek rendkívül érzékenyek, a Föld mágneses térerősségénél százmilliószor kisebb térerősséget is kimutatnak), ilyen magnetométerrel már könnyen lehet mérni a *bioáramok mágneses terét* is, tehát fel lehet térképezni például az emberi test mágneses terét. 1972-ben egy kutatócsoport megépítette a szíváramok mágneses terének mérésére alkalmas berendezést, a magnetokardiográfot, amely a közlemények szerint érzékenyebb minden eddigi elektrokardiográfnál. Legérdekesebb azonban a biofizikusoknak az az elméleti következtetése, amely szerint a szupravezetés nemcsak fémekben léphet fel, hanem bizonyos *fehérjemolekulákban* is — méghozzá akár szobahőmérsékleten. Ha ez a feltevés igazolódik, akkor a szupravezetés bizonyos életjelenségek pontosabb megértéséhez is hozzájárulhat — nem szólva a Koch Ferenc említette új ipari forradalomról.

Selinger Sándor: Minden bizonnyal a számítástechnikában is alkalmazzák a szupravezetőket...

Farkas György: A számítógépek szupravezető logikai és memóriaelemei elméletileg előnyösebb lehetnének az energiafogyasztás csökkentése szempontjából; gyakorlatilag azonban a félvezetők technológiájának gyors fejlődése teljesen háttérbe szorította az ilyen irányú kísérleteket, s így a szupravezetők ipari felhasználására a számítástechnikában még nem került sor.

De ha már felmerült a számítástechnika, hadd mondjam el, mi a viszonya a fizikához. Mivel a számítások eredménye független azoknak a fizikai jelenségeknek a természetétől, amelyek alapján a számítógépek működnek, mi előnyösebb helyzetben vagyunk a „fizikát alkalmazó” többi műszaki tudománnyal szemben. A számítástechnika dinamikusan követi és gyorsan hasznosítja az új eredményeket, és aránylag rövid időközönként új alapokra helyezi a számítógépek gyártási technológiáját — természetesen a gyártmányok teljesítőképességének állandó növelésével. Történeti sorrendben a fizika következő ágai játszottak főszerepet ezen a területen: a mechanika, az elektrotechnika, az optika és a szilárdtest-fizika. Napjainkban legnagyobb jelentősége az utóbbinak van, amely különben is a tudományos-műszaki fejlődés egyik alappillére — a szilárdtestek kvantumtulajdonságait ugyanis széles körben hasznosítja a korszerű elektronika.

Szerkesztő: Úgy látszik, a műszaki gyakorlat oldaláról máris igazolódott a szilárdtest-fizika „forró pont” volta. Egyetértenekek ezzel a fizikusok is?

Koch Ferenc: Feltehető, hogy ha nem így lett volna, már az elején szólnék. Legfennebb a „pont” minősítést kifogásoljuk, tekintettel a tárgykör kiterjedtségére, de forrónak csakugyan forró már az 1920-as évek óta — ekkor merült fel ugyanis az az igény a kísérletileg már megvalósított szelén-egyenirányítókkal kapcsolatban, hogy meg is kellene *érteni* működésüket. Íme, még egy példa arra, amit Selinger hozott szóba: az elméleti fizika lemaradására. Mivel a szelén-egyenirányító kérdés a húszas években még túl bonyolultnak bizonyult, a göttingeni R. W. Pohl az alapfolyamatok megértése céljából a legegyszerűbb szilárdtesteket, a kristályos alkáli-halogenideket (például a sókristályt) kezdte tanulmányozni. Túl hosszadalmas volna, ha minden megállapítását — a modern szilárdtest-fizika és a tranzisztorteknika alapelveit — sorra vennők, ragadjunk ki tehát csak egyet, amelynek további kutatásában a mi egyetemünknek is hagyományai vannak: azt, hogy Pohl vizsgálataiban egy adott pillanatban előtérbe került a *szennyezettség* kérdése. Sikerült meghatározni, hogy valamely anyag igen kis szennyezettsége is

(egymilliomod rész idegen anyag) lényegesen befolyásolhatja, megváltoztathatja az illető szilárdtest tulajdonságait, mégpedig a műszaki felhasználhatóság szempontjából többnyire pozitív irányban.

Néda Árpád: Bizonyos értelemben azt is mondhatjuk, hogy a szennyezett anyagok „jobbak”, mint az abszolút tiszták — gondolok itt például a félvezetőkre. Ennek a felismerésnek az alapján ma már tudatosan szennyeznek bizonyos anyagokat, hogy a kívánt tulajdonsággal „ruházzák fel” őket, más esetekben pedig a kristályszerkezet mesterséges „elrontásával” (diszlokációkkal, hiányhelyek keltésével stb.) befolyásolják tulajdonságait. Mindez azonban csak kísérleti eredmények alkalmazása; a jelenség átfogó elméleti magyarázata még várat magára, s ezért jogosult a mondott problémával küszködő szilárdtest-fizikát is „forró pontnak” nevezni.

Selinger Sándor: Elnézést kérek, de én azt a feladatot kaptam a szerkesztőtől, hogy tartsam mederben a beszélgetésünket, s most veszem észre, hogy — a téma belső logikája következtében — rátértünk a szilárdtest-fizikára, miközben átugrottuk az „új anyagok”, a fémes hidrogén és az anomális víz kérdését.

Farkas Anna: Én az anomális víz (az ún. *polivíz*) esetében inkább úgy fogalmaznék, hogy a modern kísérleti kutatás érdekes epizódja...

Szerkesztő: Gondolom, hasznos volna röviden felidézni.

Farkas Anna: Nos hát, az elmúlt évek egyik nagy tudományos szenzációja volt az a megfigyelés, hogy a víz bizonyos körülmények között (gázmentes térben üveg- vagy kvarcfelületre lecsapatva) különleges makroszkopikus tulajdonságokra tesz szert — például mínusz 40 fokon fagy meg, plusz 400 fokon forr stb. Felmerült az a gondolat, hogy az újfajta víz molekulái eddig nem ismert módon, a „rendes” vízmolekuláknál jóval erősebben kapcsolódnak egymáshoz, és ez az új szerkezet okozza az új tulajdonságokat. Nemzetközi hírnevű kutatócsoportok dolgoztak a kérdés tisztázásán, míg végül rendkívül pontos fizikai módszerekkel, intenzív kísérleti és elméleti munkával sikerült kideríteniük, hogy *polivíz nincs* — a makroszkopikus tulajdonságok megváltozásáért az üvegből vagy kvarcból kioldott anyagok felelősek (a probléma tehát hasonló a szilárdtestek szennyezettségéhez, amiről az imént beszéltünk).

Az anomális víz keltette szenzáció azzal magyarázható, hogy a víz a természetben igen nagy mennyiségben fordul elő, a bioszféra lényeges alkotóeleme, s habár makroszkopikus tulajdonságai jól ismertek, molekuláris szerkezetével kapcsolatban még vannak megválaszolatlan kérdések. A fizikusok által eddig javasolt mintegy tucatnyi modell a jelenségeknek csak egy-egy csoportját képes kielégítően megmagyarázni.

Selinger Sándor: A fémes hidrogén — mondjam azt, hogy még? — nem okozott ilyen csalódást, legfennebb csak azzal, hogy gyakorlatilag nincs előállítva. Itt ugyanis, az általános helyzettel ellentétben, először elméletileg jutottak arra a következtetésre, hogy a hidrogén (amely 20,4 Kelvin fokon cseppfolyóssá, 14 Kelvin fokon pedig szilárdává válik, a kétatomos molekulái kristályrácsot alkotnak) több millió atmoszféra nyomáson már közönséges hőmérsékleten is szilárd lesz, s nem molekuláris, hanem atomos szerkezetű — és kristálya az elektromosságot fémesen vezeti. Az ilyen tulajdonságokkal rendelkező hidrogén iránt az érdeklődés mintegy öt éve újult meg, párhuzamosan a magas kritikus hőmérsékletű szupravezetők keresésével. Az elméleti számításokból kiderült, hogy a nagy nyomásnak kitett hidrogén a *nyomás megszűnése után is* szilárd marad, megőrzi fémes jellegét, és magas kritikus hőmérsékletű szupravezető lesz, amit nagyon sokféleképpen használhatunk majd. Az annyira óhajtott „új anyag” előállításához eddig a robbanásos módszer vezetett legközelebb, amellyel már sikerült elérni az egymillió atmoszféra nyomást — a mondott átalakuláshoz szükséges több milliót azonban még nem.

Farkas György: Hogy megnehezítsem Selinger Sándor dolgát, néhány szóra még visszatérnék a szilárdtest-fizikához. Beszéltünk ugyanis a szilárd anyagok vegyi szennyezésével vagy kristályszerkezete megváltoztatásával kialakított új — mégpedig jobb — tulajdonságairól, de nem mondtuk meg, hogy ezek a tulajdonságok voltaképp *mire* jobbak. Én a magam szakmája, a számítástechnika oldaláról próbálnám megvilágítani a kérdést, szóba hozva, hogy az ilyen módon nyert „jobb” anyagok, azaz a *félvezetők* valósággal forradalmasították a számítástechnikát, kiszorították a számítógépek építéséből az elektroncsöveket és a mágneses

logikai elemeket — s a tranzisztorok és integrált áramkörök széles körű alkalmazása lehetővé tette a sebesség és biztonság növelését, az energiafogyasztás és az előállítási ár csökkentését, s nem utolsósorban a térfogat redukálását, a miniatürizálást. Tulajdonképpen az történik, hogy a fizikusok minden öt-tíz évben „kitalálnak“ valami újat a mérnökök számára, s a mérnökök „jó fiúk“ — mindent lelkiismeretesen kipróbálnak.

Selinger Sándor: Nem érzem úgy, hogy megnehezült a dolgom, ellenkezőleg — megkönnyebbült. Mindazzal ugyanis, ami elhangzott, azt hiszem, lezártak tekinthetjük a makrofizikai problémák sorát, és rátérhetünk a mikrofizikaiakra — az elfogadott menetrend szerint elsőként a *transzurán elemekre*. Ezzel kapcsolatban mindjárt szeretném megkérdezni, van-e elvi határa az egyre újabb transzurán elemek előállításának?

Koch Ferenc: A fizikusok jelenlegi elképzelése szerint egy elem feltételezett legnagyobb tömegszáma 500 lehet — erre olyan elméleti megfontolások engednek következtetni, amelyek ismertetése túl messzire vezetne. Mindenesetre ma még feleútján sem vagyunk az említett tömegszám elérésének. A transzurán elemek előállításának és tanulmányozásának fő problémája az, hogy ezek kevés ideig „élnék“ (a 101-es tömegszámú mendelévium felezési ideje például másfél óra, s ahogy nő a tömegszám, úgy csökken a felezési idő), ami a kutatást igen megnehezíti. Kétségtelen, hogy az új transzuránok kérdése a mai fizikának is „forró pontja“; jó volna tudni például, hogy az új transzurán elemek előállításakor mi lesz az elektronburokkal — de már most előre látjuk, hogy a jövő fizikájának mennyire „forró pontja“ lesz például a 105-ös tömegszámon túli stabil atommagok (ún. „stabilitás-szigetek“ vagy „mágikus atommagok“) előállítása.

A tudományos kutatás elvi — hogy úgy mondjam: szcientikai — vonatkozásairól szövege talán nem érdektelen megemlítenem, hogy az új transzurán elemek tanulmányozásában igen jól alkalmazhatónak bizonyult a molekulafizika elméleti apparátusa. Hogy pedig a gyakorlat oldaláról is nézzük a transzurán elemek kérdését, hadd hivatkozzam csak egyetlen példára: a 98-as tömegszámú kalifornium jól használható mint neutronforrás az olyan kutatásokban és technológiai folyamatokban, ahol erős neutronsugárzásra van szükség.

Szerkesztő: Gondolom, azért ma még a „klasszikus“ radioaktív és stabil izotópok alkalmazási területe jóval szélesebb, mint a transzurán elemeké.

Farkas Anna: Nem tudom, mennyire jogosult a „klasszikus“ kifejezés, de az tény, hogy a radioaktív izotópok alkalmazási lehetőségei szinte kimeríthetetlenek: a modern orvoslástól a régészetig, a kriminalisztikától a kőolajkitermelésig felhasználhatók minden területen, amely pontos és gyors meghatározásokat igényel. Kevésbé ismertek a stabil izotópok alkalmazási lehetőségei, pedig ezek számos esetben előnyösebbek a radioaktívaknál (nincs sugárveszély, sugárzás okozta másodlagos effektusok stb.). Igaz, hogy detektálásuk — jelenlétük, mozgásuk követése a vizsgálandó anyagban — nehézkesebb, azonban megvannak erre is a kidolgozott módszerek. Szükség van felhasználásukra elsősorban a fizikai alap kutatásokban, de alkalmasnak bizonyulnak többek között a meteoritok kormeghatározására, a víz természetbeli körforgalmának követésére és sok egyébre — nem is szólva a biológiai kutatásokról, ahol már csak azért is rendkívül jelentősek, mert a bioszférában leggyakrabban előforduló elemeknek (hidrogén, szén, nitrogén, oxigén) nincsenek könnyen kezelhető radioaktív izotópjai. Egyetlen konkrét példa: nálunk a nitrogén 15-ös stabil izotópja segítségével tanulmányozzák azt a kérdést, hogy a kukorica milyen körülmények között hasznosítja optimálisan a műtrágyát.

Selinger Sándor: Elmondhatjuk tehát, hogy a mag- és elemirész-fizika fejlettsége lehetővé tette eredményei alkalmazását a gyakorlat legszélesebb területein — a csillagásztól a mezőgazdaságig. Ennek ellenére nem tűnik úgy, hogy a fizikának ez a fejezete mint *alaptudomány* lezárt, problémái megoldottak. Melyek itt a főbb „forró pontok“?

Koch Ferenc: Én — ami a magfizikát illeti — két ilyen pontot jelölnék meg: a magerők természetének megismerésére irányuló kutatásokat (eddig ugyanis erről igen keveset tudunk), valamint a protonok és neutronok szerkezetének kutatását (leírásukra ugyanis még nincs egységes modellünk). De nem „hűvös pont“ például a maghasadás problémája sem, amelyre vonatkozólag a régi elmélet kiégészfűrésre szorul. Napjainkban a magfizika „belső helyzete“ olyan, mint a kémiáé a periódusos rendszer előtti időszakban. Mindez szorosan összefügg az elemirész-fizika hasonló problémáival, amelyekről Gábos professzor beszélhetne bővebben...

Gábos Zoltán: Az elemirész-fizika túl van gyors fejlődési szakaszán, a „hőskorszakot“ a dolgos hétköznapok váltották fel. A szenzációs eredmények már legálább egy évtizedesek, s jelenleg „az állások megerősítése“, elképzeléseink, elméleteink csiszolása, helyességük kitapogatása folyik. A diszperziós összefüggések, az áramalgebra stb. módszereit, a kvarkelmélet eredményeit alkalmazzuk bizonyos egyedi esetekre — több-kevesebb sikerrel. Egyre nyilvánvalóbbá válik, hogy az ún. „elemi“ részecskék igen bonyolult képződmények. Sikerült megfigyelniük, *hogyan* viselkednek, de a *miért* kérdésére általában nem tudunk felelni, nem ismerjük sokszor szeszélyes viselkedésük okát. Szerkezetükről vannak elképzeléseink (ezek egy része a kvark-hipotézisre alapoz); de bizonyos, hogy jelenlegi modelljeink túlzottan egyszerűek és pontatlanok.

Milyen titkokat rejtgetnek az elemi részecskék, milyen meglepetéseket fog hozni az *igen kis távolságok* meghódítása? Még nem tudhatjuk. A kicsi részleteknek — az elemi részek belsejének — vizsgálata roppant nagy energiájú „töredék“-részecskéket igényel, ezért kétségkívül jogosak az egyre nagyobb teljesítményű részecskegyorsítókhoz fűzött remények. De jól jönne még egy új elmélet s egy új Heisenberg is, hogy válaszoljon egyes kérdéseinkre.

Az elemi részecskék kölcsönhatását eléggé ismerjük az olyan esetekben, amikor távolságuk — méreteikhez képest — nagy. Sokkal kevesebbet tudunk azonban arról, mi történik az egybeolvadásukkor keletkező „tűzgolyóban“, valamint arról, hogy kölcsönhatásaik során hogyan keletkeznek az eredeti részecskékből újabbak. A magfizika viszonylagos fejlettségét az tette lehetővé, hogy a nukleonok (protonok, neutronok) egybeolvadása a maganyagban aránylag kis mértékű; s ezért a jelenlegi kvantumelmélet az ott lejátszódó folyamatokra többnyire elfogadható magyarázatot, illetve közelítést ad.

Koch Ferenc: Megjegyzem, hogy a kutatást a kísérleti technika fejlődése is lényegesen befolyásolja. Ma már könnyű mérni az igen kis időtartamokat s az igen kis energiákat, ami feltehetően az elemirész-fizikában is megtermi a maga gyümölcsét.

Gábos Zoltán: Meg kell említenem még egy újabb irányzatot. Ismeretes, hogy az elemi részek világában mai tudásunk szerint négyféle *kölcsönhatással* kell számolnunk: az ún. erős, a gyenge, az elektromágneses és a gravitációs kölcsönhatásokkal, amelyek általában nem egymagukban jelentkeznek, hanem több típus együttesen. Jól ismertek az erős kölcsönhatások egyes módosító befolyásai a gyenge kölcsönhatásokra. Újabban — a nagy energiák tartományában — „rokonságot“ tételeznek fel az elektromágneses és a gyenge kölcsönhatások között, s már kísérletek is történtek a két kölcsönhatás egységes elméletének kidolgozására. Sajnos, a kísérleti technika fejlődése ellenére az igen rövid idő (kb. 10⁻²³ másodperc) alatt végbemenő folyamatokat elidéző erők kölcsönhatásáról még keveset tudunk.

Selinger Sándor: Gábos professzor a gravitációs kölcsönhatás említésével már érintette következő „forró pontunkat“, a *gravitációs jelenségek* kérdését. Mint tudjuk, ennek tanulmányozásában csak Einstein gravitációs térelmélete jelentett modern szemléletváltást; ez törölte el az olyan, meglehetősen misztikus fogalmakat, mint a „távolba ható erő“ és az azt közvetítő „éter“, s bevezetve az *erőtér* fogalmát, a gravitáció és a gyorsulás azonosságát állította.

A gravitáció minden fizikai folyamat sebességére lassítólag hat. Az elméleti megállapítások szerint a mozgásban lévő tömegek ún. *gravitációs hullámokat* bocsátanak ki, amelyek fénysebességgel terjednek, és frekvenciájuknak megfelelően mozgásba hozzák az útjukba eső testeket — ez a gravitációs kölcsönhatás, amely azonban rendkívül gyenge (két elektron között például 43 nagyságrenddel kisebb, mint az elektromos taszítóerő). A kvantumelmélet szerint a gravitációs hullámokhoz is kvantumoknak kell tartozniuk, ún. *gravitonoknak*, kimutatásuk azonban még a hullámokénál is nehezebb. Mindenesetre a gravitációkutatás az elméleti fontolgatások korszakából átlépett a kísérleti fázisba, s ez önmagában is nagy eredmény.

Szerkesztő: Tudományos és népszerűsítő folyóiratokban némelykor az anti-gravitációról is olvashatunk.

Selinger Sándor: Az antigravitáció, amelynek hatására a testek — hogy úgy mondjam — „felfelé esnek“, a fizikai gondolkodástól nem idegen feltételezés. Az elektromos analógia nyomán elképzelhető, hogy két testtömeg „gravitációs alapon“ taszítsa egymást. Az antigravitáció tanulmányozásának jelentősége az, hogy olyan problémákat érint, amelyek összefüggnek a fizikának mint tudománynak az

alapjaival, és tisztázásuk segíthet eldönteni azt a kérdést is, hogy lehetséges-e az *egységes térelmélet* (az elektromágneses és gravitációs jelenségeket együttesen magyarázó elméleti rendszer) felépítése.

Koch Ferenc: Egy esetleges „mindent megmagyarázó” fizikai elmélet felállíthatóságában személy szerint kétkedni merek. Wigner Jenő írta egyik cikkében, hogy „határozott korlát van, ami felett a tömörítés az információ tárolására tovább már nem használható”, s ez nyilván a tudományos elméletekre is érvényes. Lehet, sőt valószínű, hogy a fizikai elméletek bizonyos mértékig egységesednek, de nem belátható, hogy mikor válnak — ha válnak egyáltalán — egyetlen, mindenre érvényes „varázsígévé” (ezt a szót is Wigner használta); annál kevésbé belátható, mert újabban a fizika egészen új, eddig nem ismert jelenségeket is vizsgálni kezd, például a pszichológiával határos területen a telepáciát...

Farkas György: ...aminek a létezésére újabb bizonyíték az, hogy ebben a pillanatban én is erre gondoltam.

Gábos Zoltán: Tudománytörténetileg nézve az elméletek sorsát, s egyúttal visszatérve az egységes térelmélet (másképp mezőelmélet) kérdésére, ma már leoszthatjuk, hogy az Einstein megfogalmazta program, az eljutás az ún. világ-egyenlethez — megvalósíthatatlan. Hasonlóan az egykori „hőhalálemléthez”, az egységes mezőelmélet is egy fizikai elmélet (az általános relativitáselmélet) alkalmazhatósági határainak túllépését jelenti. Napjainkra rá kellett jönnünk, hogy ilyen elmélet nem dolgozható ki sem „klasszikus” keretek között, tehát a kvantumjelenségek figyelembevétele nélkül — de kvantumelméleti keretben sem. A világegyetem valamely véges része szabadsági fokainak száma *végtelen*, s ezért egyetlen egyenletrendszer sem tükrözheti teljesen az anyag végtelenül gazdag és sokrétű megnyilvánulásait.

Habár az Einstein-féle program megvalósíthatatlan, az ilyen irányú próbálkozások mégsem voltak hiábavalók, mert felhívták a figyelmet a *nem lineáris mezőelméletek* fontosságára. A kvantumelmélet keretében a kérdést másképp fogalmazták meg — nem beszélhetünk egységes mezőelméletről, de beszélhetünk a kölcsönhatásokról alkotott egységes képről. Mai felfogásunk szerint a kölcsönhatás közbenső, ún. *virtuális részecskék* útján valósul meg (az erős kölcsönhatás a mezonok, az elektromágneses a fotonok, a gyenge az ún. közbenső bozon, a gravitációs a gravitonok útján). Természetesen mindez nem jelenti azt, hogy ez a végső szó a kérdésben...

Koch Ferenc: ...mint ahogy azt sem jelenti (és ezt a beszélgetésünk anyagát majd kézbe vehető olvasó számára hangsúlyozom), hogy az elhangzott kérdésekkel és kétségekkel viaskodó tudomány ingatag alapon áll.

Szerkesztő: Ezt senki sem fogja gondolni. Hanem az csak cseppfolyósnak, alaktalanoknak látszik, s ez — mivel a kijelölt „forró pontokat” amúgy is letárgyaltuk — felveti számunkra a szóba került kérdések filozófiai megközelítésének a szükségességét.

Selinger Sándor: Nemrég az olvastam egy külföldi filozófiai folyóiratban, hogy az utóbbi időben a filozófusok egyre kevesebbet foglalkoznak a fizikával, hogy úgy mondjam, „leszálltak róla”. Feltéve, hogy ez igaz, mi lehet az oka?

Karácsony János: Talán az, hogy nem tudnak minden új kísérleti eredményt és új elméletet átfogni, hiszen ez ma már a fizikusok számára sem igen lehetséges.

Rác Győző: Mindenekelőtt bocsánatot kell kérnem fizikus munkatársainktól, amiért úgynevezett „kivülállóként”, mint általános filozófiával foglalkozó, beleavatkozom ebbe a színvonalas szakmai vitába, és ellent is mondok néhány barátunknak. Úgy látszik azonban, hogy szerkesztőkollégám a kerekasztal többi résztvevőjével együtt rám osztotta ki az „ellentmondó” szerepét. Összintén szólva a feladat nem ért egészen váratlanul, mert nem először kellett éppen természet-tudományokkal foglalkozók körében bizonygatnom, hogy a filozófiai értelmezések nemcsak akkor és ott válnak szükségszerűekké, amikor és ahol egy tudomány problémái „cseppfolyósakká” vagy „alaktalanokká” válnak, és a „forró pontok” is véget értek. Régi tévhit, hogy a filozófia „okos” spekulációkkal áthidalhatja a tények hiányából adódó űröket. Pedig a filozófia egész története látványosan cáfolja ezt a balhiedelmet. A filozófiai gondolkodás minden igazi fordulata ugyanis

éppen a tudományok „forró pontjaihoz“ kapcsolódik. Különösen érvényes ez a megállapítás a materialista filozófiákra, amelyek csak az állandóan fejlődő tudomány eredményeire építve léphették túl a korábbi materializmusok korlátait, és vehették fel eredményesen a küzdelmet a szintén állandóan „korszerűsödő“ idealizmussal. Bizonyítékul már az ókori filozófia történetének néhány közismert tényére is hivatkozhatnám. Ne menjünk azonban ennyire vissza a múltba. A modern filozófiatörténet vonatkozó tényei ugyanis még ismertebbek és plauzibilisebbek is. Elég, ha csak arra hivatkozom, hogy a marxizmus által létrehozott és joggal sokat emlegetett filozófiai forradalom teljességgel elképzelhetetlen az egész modern természettudományt forradalmasító felfedezések — közöttük fizikai felfedezések — filozófiai értelmezése nélkül. De a már kialakult marxizmus története is bizonyítja, hogy ez a filozófia születése pillanatától nem szűnt meg mélyen és sokoldalúan érdeklődni a modern tudomány eredményei iránt. (Az állításomnak ellentmondó és régen túlhaladott „tudományellenes epizódok“ nem a marxizmus, hanem a dogmatizmus hibáit bizonyítják.) A legmélyebb és hatásaiban maig nyúló következményekkel járó természettudományos érdeklődést a marxizmus is éppen a fizika múlt század végi felfedezései, az anyag szerkezetelméletében bekövetkező radikális fordulat és a radioaktivitással összefüggő problémakör irányában tanúsította. Ha nem csalódom, a modern fizika történetének ehhez hasonló jelentőségű „forró pontja“ tulajdonképpen nem is volt, mert a későbbi fizikai felfedezések lényegében csak az atom oszthatóságával és bonyolult szerkezetével kapcsolatos elméletet gazdagították, tették árnyaltabbá. A filozófia — hogy Selinger kolléga kifejezését használjam — akkor „szállt rá“ talán a leginkább a fizikára, és érthető, hogy a látszatok ellenére maig is állandóan értelmezi e tudományág újabb és újabb eredményeit. Természetesen ennek a permanens érdeklődésnek az intenzitása és mélysége arányos a fizika újabb és újabb felfedezéseinek a jelentőségével és súlyával. Márpedig közismert, hogy a szinte mindennapos új fizikai felfedezések sorában sok volt a fizika alapjait döntően nem érintő felfedezések és a tisztavirág életű hipotézis.

Úgy emlékszem, hogy a Gábos professzor által hőskorszaknak nevezett fizikatörténeti periódus lezárulása után az egyetlen filozófiai szempontból is igen nagy hatású implikációkkal járó felfedezés az „antianyag“ kimutatása volt. Az idealizmus különböző modern irányzatai érthető okokból a szokásosnál sokkal nagyobb érdeklődést tanúsítottak e felfedezés iránt. De, mint szintén közismert, ez a fizikai felfedezés is materialista filozófusok és fizikusok egybehangzó véleménye szerint lényegében nem bizonyít egyebet, mint a modern dialektikus materializmusnak a világ anyagi egységével kapcsolatos álláspontját.

A filozófia nem „szállt“ tehát le a fizikáról, és nyilvánvalóan sohasem is „szállhat“ le róla. Az ellenkező feltételezés csak azt látszik alátámasztani, hogy a filozófia érdeklődése a fizika iránt arányos e tudomány felfedezéseinek és elméleteinek igazi fontosságával.

Nem kölcsönös „megvizsgálódásunkra“, hanem mint tény emlitem csak befejezésül, hogy bármennyire differenciálttá vált is a modern fizika, és bármennyire valóban nagyon sok benne az új elmélet és felfedezés, a filozófusok között is van már egy olyan munkamegosztás, amely lehetővé teszi az elméleti fizika minden területének átfogását és eredményeinek filozófiai értékelését.

Azt hiszem, ha nem nyúl volna ennyire hosszúra mai megbeszélésünk, érdemes lett volna az elemzett „forró pontokról“ még néhány elméleti kérdést felvetni, és újabb véleményeket is meghallgatni. Remélem azonban, hogy ezzel a kerekasztal-beszélgetésünkkel a *Korunk* és fizikus barátaink együttműködése nem zárult le, tulajdonképpen csak most kezdődött el igazán.

Kérem, engedjék meg, hogy a szerkesztőség nevében megköszönjem támogatásukat, és erre a eredményre építve zárjam le beszélgetésünket.



Unipán Helga rajzai