

SZÉKFOGLALÓK A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADEMIÁN

NAGY ELEMÉR

A KLASSZIKUS FIZIKÁTÓL
AZ ANYAGTUDOMÁNYIG



1825

Szerkesztő
GLATZ FERENC

Olvasószerkesztő
Pótó János

ISBN 963 508 204 5
ISSN 1419-8959

Kiadja
a Magyar Tudományos Akadémia, 2000
Felelős kiadó: Szabó B. István
Kiadói szerkesztő: Burucs Kornélia
Nyomdai előkészítés: MTA Történettudományi Intézete kiadványcsoportja
Tördelő: Csányi Attila
Nyomdai munkálatok: AKAPRINT Nyomdaipari Kft.
Felelős vezető: Freier László ügyvezető igazgató

Nagy Elemér

az MTA rendes tagja

A klasszikus fizikától az anyagtudományig

Elhangzott 1999. március 11-én

Amikor egy új tudomány megjelenéséről értesülünk, bizonyos óvatosság mindig ajánlatos. Az lehet a gyanú, hogy ismert dolgok állnak előttünk, esetleg csak új csomagolásban, új kapcsolatban, nincs is szó korszakalkotó áttörésről. Az persze világos, hogy látszólag távol eső dolgok egy keretbe foglalása új kapcsolatokat is jelenthet, ami a továbbfejlődésben rendkívül hasznos is tud lenni. Így most ne adjuk meg a végleges definíciót, hanem a tartalom megismerésével fokozatosan világosodjék meg bennünk, hogy valójában miről is van szó. Kiindulópontként válasszuk azt a definíciót, hogy az anyagtudomány az alaptudományosan alátámasztott technológiáról szól, valamint az így készített munkadarabokról. Nézetem szerint éppen ez a hármas egység a tartalom lényege.

Ha anyagtudományos megközelítésben készülnénk fel egy feladat megoldására, a kezdetben meglévő alaptudományos ismereteket és a kurrens technológiákat felhasználva kellene egy első, szemléltető próbadarabot előállítani. Ezután következne egy mélyenszántó döntés: eltekintve attól a teljesen valószínűtlen esettől, hogy minden rögtön tökéletes, azt kell általában eldönteni, hogy az első erőfeszítés reményteljes volt-e, avagy sem. Ha reményteljesnek találtuk, meg kell találni a megerősítendő pontokat: kritikusan megvizsgálandók az alapul vett adatok, az tudniillik, hogy kell-e pontosítani, netán továbbfejleszteni az alaptudományi ismereteket, igényel-e finomítást a technológia, vagy esetleg teljesen új technológiára van szükség, hogy a munkadarab ne csak a céljának megfelelő, hanem gazdaságosan gyártható is lehessen.

A következőkben csaknem kizárólag az alaptudományok – nevezetesen a fizika – szerepét fogom vizsgálni az anyagtudományban, ahogyan az az utolsó száz év során kialakult.

Mi volt a helyzet száz éve? Adott volt a klasszikus mechanika, a termodinamika és az elektrodinamika. Ugyanakkor azonban magáról az anyagról nem sok szó esett. Nagyon sok közvetett tapasztalat volt ugyan az anyag atomos szerkezetéről, azt azonban látni lehetett, hogy a klasszikus mechanika és az elektrodinamika törvényei együtt biztosan nem érvényesek.

Az anyagról alkotott ismereteink egy-egy állandóban jelentek meg. Ezeket méréssel állapították meg, és amennyiben eléggé reprodukálhatónak bizonyultak, táblázatokba gyűjtötték őket össze. Az a kérdés azonban, hogy egy ilyen érték vajon kicsi-e, vagy nagy, értékét mi módon és meddig lehet kedvező irányba befolyásolni, esetleg más anyaggal helyettesíteni, alapvető megfontolásból nem volt megválaszolható. Az, amit az adattár bővítés érdekében tenni lehetett, csak intuitívnek tekinthető, szerencsés analógia felhasználásán alapult, aminek indokolt voltát csak a tényleges megvalósítás tudta eldönteni. Ha a mérés eredménye a várakozásokkal kielégítően egyezett, azt sugallta, hogy a felhasznált intuitív analógiának valami köze lehet a tényleges valósághoz is.

A következő, többé-kevésbé önkényesen kiválasztott korszakhatár 1935. Ekkorra más lett a fizika, nagyságrenddel többet tudott nyújtani minden felhasználó tudománynak. A kvantummechanika véglegesen megérkezett, elkészült a Schrödinger-egyenlet, és ezzel egyszerre megjelent számos anyagi tulajdonság első princípiumokból való meghatározásának lehetősége is. Ez a többlettudás persze nem jött ingyen. A klasszikus fizikából megszokott és addig természetesnek tartott anyag-hullám különbözőség megszűnt, és egy magasabb rendű, többé már nem szemléletes képződmény speciális eseteiként jelent meg. Nagyon kell vigyázni arra, hogy a régi szemléletet ne „szemléletes” módon akarjuk visszacsempészni. Jellegzetes példa a hidrogénatom Bohr-modellje, ami minden tankönyvben szerepel. Az egyezés fantasztikusan jó, a Rydberg-állandó 4-5 tizedesre egyezik. Mibe került ez? „Csupán” néhány posztulátumba, mely kimondja, hogy mikor nem érvényes a klasszikus fizika, és helyette milyen egyszerű dolgot kell csinálni. Így a klasszikus fogalmakat nyaklód nélkül visszacsempészni akaró, valószínűleg filozófiai indíttatású erőfeszítésekről cinikusan azt lehet mondani, hogy azoknak feleslegesek, akik a dolgokkal tisztában vannak, azoknak mindegy, akik a dolgoktól távol vannak, életveszélyes viszont azok számára, akik rokon területeken dolgoznak, például a technológián.

Természetesen azt sem felejtethetjük el, hogy a többlettudást meg kell fizetnünk. A korrekt leírás (az atommagot pontszerűnek tekintve, az elektronspint,

a relativisztikus eseteket elhanyagolva) hatalmas matematikai nehézségekkel jár, egyedül a hidrogénatom feladata oldható meg egzakt módon.

Így minden egyéb esetben közelítésekre kell hagyatkoznunk. A szilárd anyag tárgyalását az teszi egyáltalában megkísérelhetővé, hogy a rácsperiodicitás a feladatot kevés számú részecskére vonatkozó feladattá egyszerűsíti. Ilyen területen a zseniális intuíció abban áll, hogy a minimálisan szükséges egyszerűsítéseket alkalmazzuk csak, és ezek hatását próbáljuk megbecsülni. Ha erre képesek vagyunk, visszanyúlhatunk akár egy klasszikus képhez is.

Természetes, hogy ezen erőfeszítések sikerét a tapasztalattal való összehasonlítás minősíti. Nagyon tudománytalan az a hozzáállás, amikor az első princípiumokból nem vagy csak nagyon pontatlanul megbecsülhető állandók számát szaporítjuk, hogy az így nyert több szabad paraméter segítségével a tapasztalattal való egyezést matematikailag megszépítsük. Lényegesen jobban idomul a természet megismerésének céljához, ha nem törekszünk a Rydberg-állandóéval vetekedő pontosságra, ha kevesebb, de alapvetőbb természeti állandót használunk, és tudomásul vesszük, hogy a jobb egyezés semmitmondó, mert a mérési pontosság, a vizsgált minták különbsége egyes jogosan elhanyagolt hatások eredője lehet.

Hogy mennyire veszélyessé válhat egy ismert tapasztalati tényhez korszerű (de sajnos nem véglegesen bevált) magyarázatot fűzni, arra egy általam is megélt példát hoznék fel. Hume-Rothery megkísérelte a tiszta réz fázisának stabilitását az ötvözés mértékében értelmezni, az akkor legegyszerűbb, és akkor, az első nekifutásnál majdnem kizárólagosan használt kváziszabadelektron-elmélet alapján.

A réznek cinkkel (Zn), galliummal (Ga), germániummal (Ge) és arzénal (As) alkotott ötvözeteiről van szó. Az alapfeltevés az, hogy a tiszta réz elektron-szerkezete az ötvözés alatt megmarad, ezt tölti be minden rézatom 1, cinkatom 2, galliumatom 3, germániumatom 4, arzénatom pedig 5 elektronnal. Az állandó energiájú felületeket gömböknek tételezve fel, Hume-Rothery magyarázata szerint az ötvözet addig stabil, amíg az elektronokkal betöltött legnagyobb energiájú felület (a Fermi-felület) nem éri el a reciprok rács zónahatárát. Ez biztosan értelmes feltevés, a lényeges azonban az volt, hogy az így meghatározott értékek jól egyeztek a tapasztalattal.

Sok irodalmi analógiát lehetne felhozni arról, hogy mit érzett, mondjuk, öt évvel később a kutató, amikor megtudta, hogy mindez sajnos csak tanmese. Érdekes módon már a magyarázat felvetésekor ismert volt az a tény, hogy a tiszta réz tranzverzális mágneses ellenállása alacsony hőmérsékleten erősen szögfüggő, amit nagyon nehéz egy gömb alakú Fermi-felülettel összebékíteni. Az új kísérletek aztán nagyon sok esetben újragondolást írtak elő. Az alapvető

összefüggésekből csak az következik, hogy a Fermi-felület szimmetriáját meghatározza a direkt rács szimmetriája. A régi meggondolásokban elég jogosan feltételezhatték, hogy nagy hibát nem követünk el, ha a valódi, sokoldalú poliédert gömbbel helyettesítjük, mivel a gömbbel sokkal könnyebb számolni. Csak azt felejtették el, hogy a szimmetria követelményéből nem következik sem a zártság, sem az egyetlenség. A finomabb vizsgálatok ugyanis egyértelműen igazolták, hogy alacsony energiánál valóban egyetlen állandó energiájú, gömbhöz hasonló felület van a réz reciprok rácsában, nagyobb energiánál viszont a Fermi-felület környékén minden egyes gömböt kályhacsőszerű tolódatok kötnek össze a reciprok rács szomszédos celláiban levő gömbökkel. (Szemléletesen gondoljunk a brüsszeli Atomiumra!)

Még egy jól ismert tényre szeretném felhívni a figyelmet. Annak ellenére, hogy ismeretes volt a Bloch-megoldás a periodikus rácsra, a szupravezetés egyszerű esetének értelmezése még így is 25 évet igényelt. Miért? Egyszerűen azért, mert semmilyen általános tétel nem írta elő, hogy a Bloch-féle egyelektron-függvények a rendszer alapállapotát mindig le tudják írni. Próbálkoztak ezzel egy darabig, amíg különböző új kísérleti adatok nyomán rá kellett jönni, hogy a szupravezetés leírásához legalább kételektron-függvények szükségesek.

Az elméleti háttér ismertetésének vége felé azonban arra kell utalnom, hogy mindaz, amit eddig elmondtam, csak az ideális kristályra vonatkozott. Az, hogy a kristály véges méretű, a felületi jelenségek lényegesen gondosabb kezelését igényli, az viszont belátható, hogy a felület hatása általában 5 atomtávolság után már elhanyagolható. A valódi kristály azonban egyéb periodicitásrontó elemeket is tartalmaz: üres rácshelyeket (vakancia), rácsközi helyen levő atomot (intersticiális atom), idegen atomot, vonalszerű hibát (diszlokáció), felületi hibát (szemcsehatár). Mindezeknél az is döntően számít, hogy sok vagy kevés van-e belőlük. Az viszont, hogy mi a sok, és mi a kevés, egyáltalán nem spekulatív kérdés, hanem a hibák kölcsönhatása nagyságának kifejezése. Itt nyilván csak közelítő módszerekhez folyamodhatunk, melyek helyességét csak a tapasztalattal való egyeztetés ítélni meg. Amelyik közelítés itt beválik, az más vizsgálatok kiinduló pontja lehet, amennyiben a tapasztalat nem cáfolja meg. Ha ez történik, a feltevést javítani, finomítani kell.

Az első princípiumokból legkevesebbet talán a dinamikus folyamatok leírásánál profitálhatunk. Ez onnan ered, hogy az időt is figyelembe kell venni, valamint fázisátalakulásnál az egyes fázisok folytonosan változó anyagmennyisége is döntő. Ezt a megállapítást támasztja alá az is, hogy míg a szilárd fázisban végbemenő reakciókról (diffúzió, zónaképződés, martenzites átalakulás stb.) egészen jól használható adatokkal szolgál az elmélet, addig a szilárd-folyadék

átalakulásnál az atomi kép messze nem világos. Értelmezni kellene ugyanis azt, hogy az olvadék bizonyos esetekben túlhűthető, de a szilárd fázis sohasem melegíthető túl. A klasszikus fizika erre természetesen semmi választ sem tud adni. Ezzel a ténnyel nagyon sokat foglalkoztak, és csak tippként utalok arra a megfigyelésre, hogy a tiszta fémek vakanciakoncentrációja az olvadáskor igen közeli értékeket, kb. egy ezreléket vesz fel. Még nagyvonalúbb becsléssel azt is megkockáztathatjuk, hogy a fémek igen nagy alakváltozás utáni plasztikus, nem kontrakciós szakadásánál a lekötetlen vakanciakoncentráció is ugyanebbe a nagyságrendbe esik.

Tévednénk azonban, ha a részletesen tárgyalt nehézségek olvastán arra a következtetésre jutnánk, hogy a szilárdtest-fizika nagyon korlátozott szerepet játszik az anyagtudományban. Ez igaz is, meg nem is. Az határozottan állítható, hogy az anyaggal kapcsolatos elképzeléseinkre bizonyos esetben magyarázatot, más esetekben határozott tiltást kapunk, többé-kevésbé meg tudjuk mondani egy paraméter felvehető értékkészletét, sőt arra is kaphatunk utalást, hogy milyen anyagnak – esetleg teljesen új anyagnak – lesznek bizonyos tulajdonságai.

Térjünk rá most a technológiára, konkrétan arra, mit is kell érteni egy technológia megalapozottsága alatt! Gondolatkísérletben azt mondhatjuk, hogy minden egyes lépés után meg kell mérnünk a jellemző paramétereket. Ha ezek sokszor rendre egyező értéket adnak, valamint a végtermék is megfelelő, azt mondhatjuk, hogy a technológiánk kidolgozottnak tekinthető. Ebben a definícióban persze benne van az a mindent elmosó tartalmatlanság, hogy a „jellemző paramétereket” mérjük, mivel ezzel azt is feltételeztük, hogy a folyamatot teljes mértékben ismerjük, és egyéb paraméter nincsen érezhető hatással a folyamatra.

A valódi, létező technológia azonban egyáltalában nem így működik. Nincs ugyanis lehetőség egyes jellemzők független beállítására, ehelyett a technológiai berendezés által előre beállított vagy megfelelő művelet közbeni mérések következtében a gép által megfelelően beállított kényszerkapcsolatról van szó. (Meg szeretnénk jegyezni, hogy nincs semmi elvi különbség az egyes lépéseket utasítás alapján pontosan ellátó kezelőszemélyzet vagy az azokat automatikusan beállító gép között.) A kérdés lényege az, hogy miképpen juthatunk a kezdetektől egy ilyen végállapotról. Mikor mondhatjuk, hogy a technológiánk „kézben van”? Akkor, ha egy váratlan rossz eredmény esetében megtaláljuk a hibás lépés(ek)e(t), felderítjük a hiba okát, intézkedni tudunk a hiba megszüntetésére, illetőleg későbbi felléptének megakadályozására. Természetesen nem arról van itt szó, hogy a berendezésen nem az előírt értékeket állították be, vagy esetleg a berendezés meghibásodott. Ezek nem annyira tudományos, inkább

fegyelmi kérdések. A lényeg az, hogy az összes, tényleg mértékadó paramétert beállítottuk-e optimális értékükre. Ez a helyzet akkor érhető el, ha valóban ismerjük a folyamatban szereplő anyagot, valamint annak a technológiai berendezéssel való kölcsönhatását.

A nehézségek akkor lépnek fel igazán, ha az eddigi anyag helyett – pl. egészségügyi, gazdaságossági okok miatt – egy másik anyagot kell választanunk. Ha az új anyag nem teljesen ismeretlen, tehát ismerünk hasonló anyagokat, akkor az első próbálkozás lehetséges a tulajdonságok és a megfelelő technológia interpolációjával. Nyilvánvaló, hogy ez a logikus első próbálkozás, de egyáltalán nem biztos, hogy beválik. Még nehezebb, amikor a bejáratott technológiát kell kicserélni, és különösen nehéz, amikor a készterméktől az eddigiektől lényegesen eltérő értékeket követelünk meg.

Nagyon mély tudás és – tegyük hozzá – szerencse is szükséges ahhoz, hogy ezekben a kérdésekben állást foglaljunk. Nyilván senki sem vállalná pl. a gravitációs teret szigetelő anyag elkészítését, én pedig nem vállalnám pl. a rézénél 10%-kal nagyobb vezetőképességű, nem szupravezető anyag kidolgozását. Lehet, hogy foglalkozhatunk 0,3 mikrométeres osztású integrált áramkörök kifejlesztésével, de ehhez jól kell ismerni az átütési jelenségeket, gyakorlatilag diszlokációmentes kristály kell, valamint nem használhatunk látható fényvel működő vetítőberendezést. Ezek után sem kizárt, hogy a megvalósítás során új nehézségekkel is találkozunk, de ezekkel előre nem is foglalkozhattunk volna. Nézetem szerint ez az a pont, amely könnyörtelenül megmutatja, hogy alaptudományos ismeretek nélkül reménytelen a feladat megoldása.

Nagyon sokat megérthetünk az alaptudomány, a technológia és az így előállított munkadarab kapcsolatáról, ha egy kicsit egyszerűsített, de a lényegét megmutató példát ismertetünk. Az üvegről lesz szó, amely bonyolult szerkezetű, ezért egzaktul alig leírható anyag, viszont sok szempontból egységesen viselkedik. Ha optikai üvegről van szó, akkor két tulajdonság, a törésmutató és a diszperzió számít, továbbá ami legtöbbször természetes: hogy az üveg átlátszó legyen. Ha egy objektív lencserendszeréhez különböző üvegekre volt szükség, akkor leggyakrabban interpolációval, ritkábban extrapolációval állapították meg a kívánt üveg összetételét. Az interpolációval megadott üvegét majdnem biztosan el is lehetett készíteni a technológia kisebb, értelemszerű módosításával. Ez az egész tevékenység a klasszikus fizika és a ráépülő technológiák keretében ment végbe.

Az is nyilvánvaló volt a klasszikus fizika alapján, hogy egy optikai elemet a fényerő növelése és szellemképek elkerülése érdekében célszerű reflexiómentesítő bevonattal ellátni. Ez két irányban is részletezendő: az egyik, hogy általában is felmerül a megfelelő bevonatok készítésének igénye, a másik, hogy

miképpen lehet az említett reflexiósökkentő bevonatot létrehozni. A védőbevonat problematikája, mondhatjuk, a technológiával egyidős: védeni kell a környezettől, vagy tőle a környezetet. Gyakran elégséges, ha a speciális tulajdonsággal csak egy vékony réteg rendelkezik azért, hogy ne kelljen az egész munkadarabot a nagyon drága anyagból készíteni (pl. gyémánt vágóélű szerszámok). Komoly kérdés, hogy a jó tapadásnak mik a fizikai-kémiai feltételei, de ezzel itt most nem foglalkozunk. A bevonatkészítésre számtalan technológia ismeretes, a pemzlevel bekenéstől, a damaszkuszi fegyverkovácsok által felületen keményített acéltól, az olvadékba mártástól kezdődően egészen a 20–30 rétegből álló lézertükrökig. Vannak azután olyan esetek is, amikor a védőbevonat spontán jelenik meg: a fémalumínium felületén annak oxidja, a rozsdamentes acél felületén egy nagy keménységű, spinellszerkezetű réteg. Nyilvánvalóan minden esetet külön-külön kell megvizsgálni.

A reflexiósökkentő bevonat példáját folytatva, a klasszikus fizika helyesen írja elő, hogy annak negyed hullámhossz-vastagságúnak kell lennie. Ez a követelmény azonban a felsorolt vagy említett technológiákkal nem teljesíthető. A kívánt bevonatnak szabályozhatóan, lassabban kell a céltárgyra érkeznie. Jóformán nincs más lehetőség, mint hogy a bevonat anyagát atomonként juttassuk a céltárgyra. Csak a technológia különbözőségétől függ, hogy ez már atomonként, molekulánként, iononként történik-e, a bevonat a céltárgyon több komponens egyidejű beérkezésével alakul ki. Ebben az esetben valódi atomi kölcsönhatásokról van szó, mind a bombázó sugárnyaláb létrehozása, mind pedig a felületre ráépülés esetében. Ebben a technológiában a bevonatvastagság folyamatos mérése is megoldandó feladat, akár magán a céltárgyon, akár a céltárgyra áramlás nagyságát mérve. Azt is tegyük hozzá, hogy a bevonatnak a felületre tapadása, stabilitása, a felület előzetes kezelése mind-mind olyan feladat, aminek megoldásához mély ismeretekre van szükség.

Ezekhez a technológiákhoz tartozik, de jóval újszerűbb az implantáció, amivel nem a felületre, hanem mélyebbre juttatnak atomokat, olyan távolságra, ahol a bejövő nagy energiájú részecske sebessége annyira lelassul, hogy gyakorlatilag megáll a kristályrácsban.

Eddig csak olyan beavatkozásokról volt szó, ahol a szubsztrátum változatlan maradt (eltekintve attól a néhány atomréteg vastagságú összekötő rétegtől, amely a jó tapadást esetenként tényleges összenövessé erősíti fel). Kérdés: lehet-e olyan beavatkozásokra is gondolni a fenti technológiák alapján, amikor a szubsztrátum lényeges tulajdonságai is megváltoztathatók? A válasz határozott igen. Ha a példát a félvezetők területéről vesszük, ismeretes, a nagy integráltságú, Si-alapú áramkörök megvalósíthatóságát az biztosítja, hogy rajta

kívánt méretű, alakú, vastagságú szigetelőréteget (SiO_2) lehet kialakítani. Ugyanakkor az elektromos szempontból számos előnyt ígérő III–V. típusú félvezetőknél ez nem sikerült.

Fejezzük be a példák felsorolását, amelyek csak szemelvényeknek tekinthetők, válogatásom alapján! A többi esetben is felismerhető ez az általános kapcsolatrendszer, csak más anyagokról, más természettudományos törvényekről, más technológiákról, más alkalmazásokról van szó. Nézzük most meg, hogy mik is következnek az alapvető kapcsolat létezéséből! A definíció így szól: „alaptudományra alapuló technológia segítségével készített használati tárgyak”. Az egyensúlyi helyzetet az jellemzi, hogy olyan használati tárgyakat tudunk előállítani, amelyekhez rendelkezésre áll a korszerű tudományos ismereteken alapuló technológia. Ennek a kijelentésnek negatív tartalma is van: ha az alaptudományos ismeretek hiányosak, illetőleg a technológia ezeknek nem felel meg, a használatinak vélt tárgy – bizonytalan használati tulajdonságai vagy túlzott ára miatt – nem lehet sikeres.

Ez a három pillér általában nem egyszerre épül fel. A használati tárgy iránt társadalmi igény nyilvánul meg. Itt azonban nagyon fontos azt megítélni, hogy az igény ma csupán álmodozás-e (gravitáció-szigetelő és -árnyékoló), vagy hogy az igény reális ugyan, de teljesítéséhez rendelkezésre állnak-e a megoldás lényeges elemei (űrutazás).

Az alaptudományos pillér általában a maga belső logikája, a természet megismerésének igénye nyomán épül, de amikor egy reális igény hangsúlyozottan megjelenik, a megfelelő területen folytatott tevékenységnek meg kell nőnie. A középső pillérnek, a technológiának ilyen szerepe nincsen.

Az eddigiek persze egy többé-kevésbé statikus, rendezett helyzetre vonatkoznak. Továbblépni csak az ötlet hatására lehet. Az ötlet jöhet bárhonnán, de csak akkor valósulhat meg, ha az mindhárom terület számára reménnyel kecsegtet. Egy új tudományos eredményre új technológiát is lehet alapozni, aminek segítségével új tárgyak gyárthatók. Új technológiai ötlet, ha az alaptudománnyal nem ütközik, megint csak új tárgyak előállítására nyújt lehetőséget. Az ötlettel kapcsolatos igényről már fentebb szóltam.

Amennyire beláthatunk, hogy egy igény kielégítésére mindhárom pillér egyaránt fontos, a „felépítési költségeik” nagyságrendekben különböznek. Pontos adatokat persze nem lehet adni, csak nagyságrendeket. Általában az igény kielégítésével kapcsolatos alapkutatás 5, a megfelelő technológia kísérleti kidolgozása 20, az igény tényleges kielégítése (gyártás stb.) 75 egységnyi ráfordítást igényel.

Ez olyan tény, amit a laikustól a Nobel-díjas tudósig mindenkinek tudomásul kell vennie.

SZÉKFOGLALÓK

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIAÁN 1995–1998

I–II. KÖTET

- Bartók Mihály: Térkémi tényezők szerepe a fémkatalízisben
- Bárdossy György: A radioaktív hulladék hazai elhelyezésének földtudományi alapjai
- Farkas Tibor: Membránfoszfolipidek molekuláris összetétele és a testhőmérséklet
- Ferge Zsuzsa: A civilizációs folyamat fenyegetettsége
- Freund Tamás: Agykérgi neuronhálózatok szerkezete és működése
- Görög Sándor: A gyógyszeranalitika szépségei
- Hanák Péter: Modernizáció és antikapitalizmus Magyarországon
- Horváth József: Növényvírusok *in vivo*
- Ihász Mihály: A pepticus fekélyek korszerű sebészi kezelése
- Kákossy László: Théba a Ptolemaiosz- és a római korban
- Kálmán Alajos: Barangolások kristályrácsokban
- Kulcsár Szabó Ernő: Költészet és dialógus
- Kúnos György: Opio-melanokortin peptidek szerepe a vérkeringés agyi szabályozásában
- Lipták András: Fehérje-szénhidrát kölcsönhatások
- Makkai Mihály: A kategóriaelmélet szerepe a matematika megalapozásában
- Marosi Sándor: A földrajzi táj kutatások összetettsége és alkalmazhatósága
- Meskó Attila: Környezettudomány, környezeti geofizika
- Méhes Károly: Régi és új módszerek az orvosi genetikában
- Palánkai Tibor: Az integráció mérésének néhány elméleti-stratégiai kérdése
- Pálinkás Gábor: Molekuláris oldatkémia
- Palkovits Miklós: Agypályák – idegi hálózatok
- Reményi Károly: Paradoxonok a tüzeléstechnikában
- Rézler Gyula: Az arbitráció szociológiája
- Rona-Tas András: Honfoglalás és népalakulás a középkori Euráziában
- Sajó András: A jogosultságok lehetősége
- Sárközy András: Hibrid problémák a számelméletben
- Solymos Rezső: Az erdészeti, fatermési és erdőnevelési kutatások eredményei és alkalmazásuk az erdőgazdasági gyakorlatban (1958–1998)
- Somfai László: Kottakép és műalkotás
- Szabadvány Ferenc: Magyar tudománytörténeti tabló, előtérben a kémia
- Szakály Ferenc: Török kori történelmünk kritikus kérdései
- Teplán István: Antitumor aktivitású peptidek
- Terplán Zénó: A gépszervezetéről
- Tőke László: Szupramolekuláris kémia; koronaéterek
- Uenetianer Pál: A génebész műszerei: a restrikciós-modifikációs enzimek
- Uékás Lajos: A szerződési szabadság alkotmányos korlátai
- Vicsek Tamás: A természet geometriája
- Zimányi József: A maganyagtól a kvarkanyagig a nehézion-fizikában

SZÉKFOGLALÓK 1995–1998, III–V. kötet

- Árkai Péter: II regionális metamorfózis és jelentősége a Kárpát-medence kéregfejlődésében
- Bauer Győző: Az oxidatív stressz és az antioxidánsok hatása a simaizomszövetekre
- Bérces Tibor: A gyökreakciók sokszínű világa: a reakciók kinetikája és termokémiája
- Brassai Zoltán: Végtagkeringési zavarok új kezelési lehetőségei
- Csányi Vilmos: Viselkedés, környezet, gének – etológiai tanulmányok
- Dohy János: Biotechnológia és állatnemesítés – új eredmények, kihívások, kilátások
- Fonyó Zsolt: Integrált vegyipari rendszerek folyamatszintézise
- Friedrich Péter: Fehérjek, enzimek, emlékezet
- Gáspár Zsolt: A számítógépek hatása a tartószerkezetek mechanikájára
- Géczy Barnabás: Kontinuitás, krízis, katasztrófa az ammoniteszek törzsejlődésében
- Grätzer György: Hálóelméleti függetlenségi tételek
- Harmathy Attila: A magyar polgári jogról 1999-ben
- Kaszpra Ottó: Néhány hidraulikai probléma a vízépítésben
- Hatvani László: Differenciálegyenletek megoldásainak stabilitási tulajdonságai
- Keszky László: Morfogenezis haploid és szomatikus sejtekből in vitro
- Hollósi Miklós: Kiroptikai spektroszkópia: változatok egy témára
- Honti László: Az uráli/finnugor „ösnyelv”-ről
- Horváth János: Disztribúciók és topológikus vektorterek
- Kiss Lajos: Az új európai víznévkutatás
- Rosa László: A magyar néprajz 1945 után
- Kristó Gyula: Előd
- Lámfalussy Sándor: Szerkezeti változások az európai pénzülcacn
- Lőrincz Lajos: Összehasonlítás a közigazgatás kutatásában
- Major György: Napsugárzás a légkörben és a felszínen
- Nagy Béla: A háziállatok enterális colibacillosisai
- Nagy Elemér: A klasszikus fizikától az anyagtudományig
- Nagy István: Változó struktúrájú nemlineáris rendszerek
- Nagy Tóth Ferenc: Fényhatásvizsgálat egysejtű zöldmoszatokon
- Náray Szabó Gábor: Elektrosztatikus katalízis
- Németh Judit: A nehézion fizika és asztrofizikai alkalmazásai
- Orbán Miklós: Kémiai periodicitás időben és térben
- Pápay József: Föld alatti gáztárolás porózus kőzetekben
- Papp László: A legyek ritkaságáról
- Péter Mihály: Néhány gomba- és baktériumfaj viselkedése a létfeltételek alsó határán
- Petrányi Győző: A szuppresszív immunreguláció alkalmazása a transzplantáció és a reprodukció immunológia klinikai gyakorlatában
- Pleh Csaba: A relativizmus kérdései és a mai pszicholingvisztika
- Salamon Miklós: Kőzetmechanika fejlődése – egyéni szemszögből
- Sitkei György: A talaj–kerék kapcsolat néhány elméleti kérdése
- Spát András: A kalcium jel és a mitokondrium működése
- Szabad György: A parlamentáris kormányzati rendszer megteremtése, védelmezése és kockáztatása Magyarországon (1848–1867)
- Szabó András: Alkotmány és büntetőjog
- Szabó Miklós: Tumultus Gallicus
- Szegedy Maszák Mihály: A Nyugat és a világirodalom
- Szentes Tamás: Fejlődés, rendszerváltás és versenyképesség a globalizálódás korában
- Tóth Klára: Szelektív érzékelők jelentősége a kémiai analízisben
- Uray Zoltán: Sugársérülések mérséklése kémiai és biológiai anyagokkal
- Úrallay György: Talajfolyamatok szabályozásának tudományos megalapozása
- Urga János: Földeskü
- Uaskovics László: Társadalmi modernizáció és a szülői szerepváltozás összefüggései
- Úrtes Attila: Fullerénvegyületek Mössbauer spektroszkópiája
- Vizkelety András: A Leuveni Kodex magyar scriptorai
- Zalai Ernő: Neumann János: klasszikus vagy neoklasszikus?