

2000-02-16

UHF 374

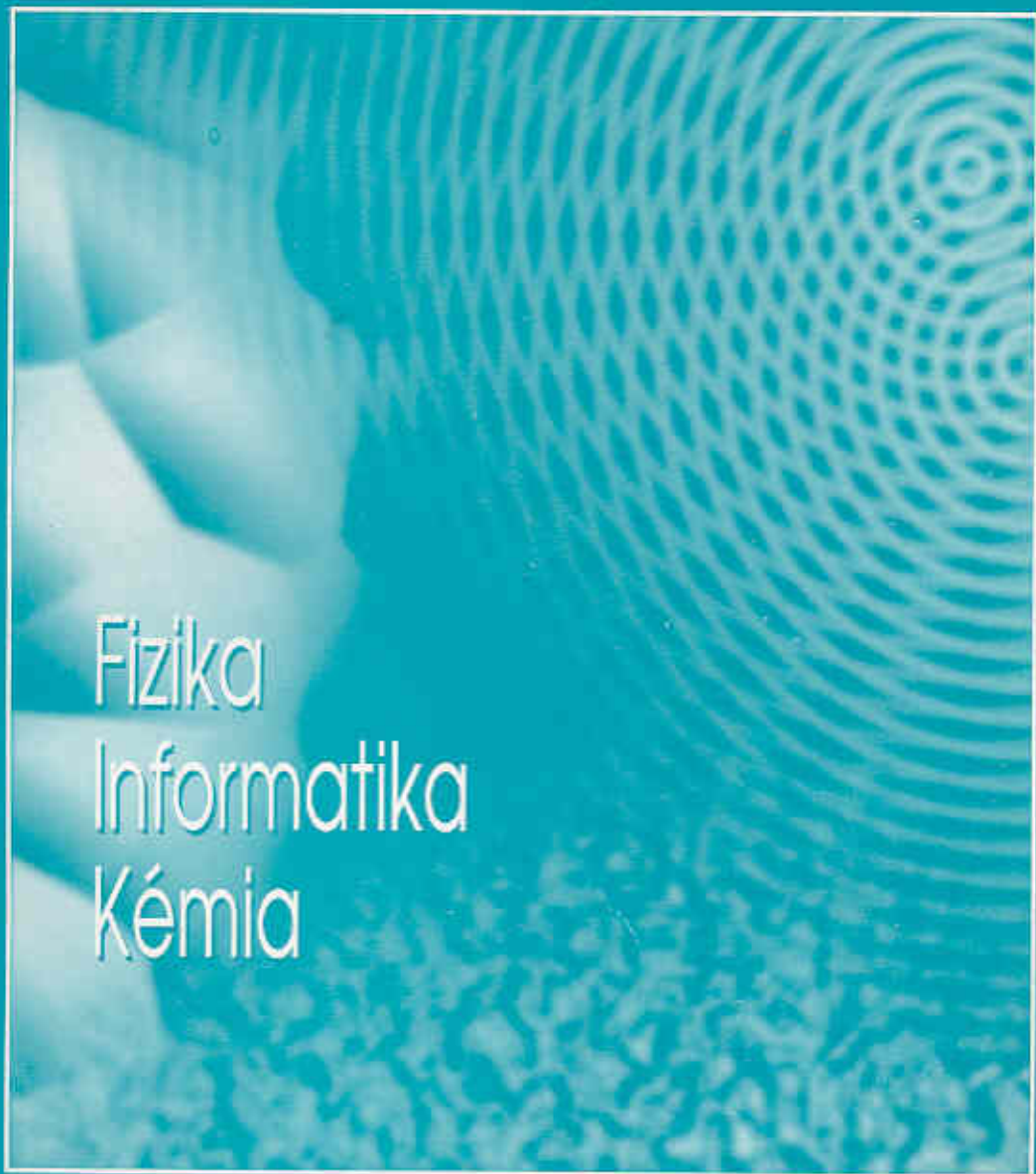
# FIZIKA



1999

3

2000



Fizika  
Informatika  
Kémia

EMMI

# FIJKA

Fizika  
InfoRmatika  
Kémia  
Alapok

Az Erdélyi Magyar  
Műszaki Tudományos  
Társaság kiadványa

Megjelenik kéthavonta  
(tanévenként  
6 szám)

**9. évfolyam**  
**3. szám**

**Főszerkesztők**  
DR. ZSAKÓ JÁNOS  
DR. PUSKÁS FERENC

**Felelős szerkesztő**  
TIBÁD ZOLTÁN

**Felelős kiadó**  
ÉGLY JÁNOS

**Számítógépes tördelés**  
PROKOP ZOLTÁN

## Szerkesztőbizottság

Biró Tibor, Farkas Anna,  
dr. Gábos Zoltán, dr. Kará-  
csony János, dr. Kása Zoltán,  
dr. Kovács Zoltán, dr. Máthé  
Enikő, dr. Nédá Árpád,  
dr. Vargha Jenő

## Levélcím

3400 Cluj, P.O.B. 1/140

\*\*\*

A számítógépes szedés és  
tördelés az EMT  
DTP rendszerén készült.

Megjelenik az  
Illyés Közalapítvány  
támogatásával.

Borítóterv: Vremir Márton

Grafika: Könczey Elemér

# EMT

- Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság
- Kolozsvár, B-dul 21 Decembrie 1989, nr. 116
- Levélcím: RO - 3400 Cluj, P.O.B. 1 - 140
- Telefon: 40-64-190825; Tel./fax: 40-64-194042
- E-mail: [emt@emt.ro](mailto:emt@emt.ro)
- Web-oldal: <http://www.emt.ro>
- Bankszámlaszám: Societatea Maghiară Tehnico-  
Științifică din Transilvania BCR-Cluj  
2511.1-815.1. (ROL)

## 100 éve született Békésy György

### A megfigyelés öröme

Békésy György születésének  
100. évfordulójára

Amikor 1961. decemberében Georg von Békésy Stockholmban átvette az orvosi-élettani Nobel-díjat, csak a beavatottak tudták itthon, Magyarországon, hogy ki is a kitüntetett. Vezetéknévének magyaros hangzása, különösen az angol átírásban is meghagyott ékezetek mindenesetre gyanút kelthettek az itthoni olvasókban. Akik persze nem voltak sokan. A napilapok szűkszavú híradásain kívül csupán néhány kis példányszámú szakmai folyóiratban jelent meg rövid méltatás Békésy Györgyről.

A *Kép- és Hangtechnika* „A legújabb akusztikus Nobel-díjas: Békésy György” címmel, (M) aláírással, az *Orvosi Hetilap* „Békésy György Nobel-díjas” címmel, aláírás nélkül közölte ezeket a cikkeket. A *Gyógyszerészet* és a *Nyelvtudományi Közlemények* már csak a következő évben foglalkozott pár oldalas írásokban Békésyvel, de ők legalább a szerzők nevét is feltüntették.

Egyedül az *Élet és Tudomány* reagált gyorsan és több oldalon az eseményre: Békésy egyik volt magyarországi munkatársa, dr. Halm Tibor írta a cikket „Amiért Békésy György Nobel-díjat kapott...” címmel, majd fél évvel később a *Fizikai Szemlében* jelent meg Békésy egyetlen volt hazai doktorandusza, Tarnóczy Tamás – akkor már az MTA Akusztikai Kutatócsoportjának vezetője – tollából részletes tanulmány „Békésy György halláskutatásai” címmel.

Pedig az országnak visszhangoznia kellett volna Békésy György nevét, hiszen a háború óta ő volt az első magyar származású tudós, akit Nobel-díjjal tüntettek ki.

Csakhogy Békésy akkor már több mint egy évtizede az Egyesült Államokban a Harvard Egyetemen dolgozott, s akik őt ott meglátogatták, azok sem igen mesélték el ezt akkor itthon. Persona non grata lett Magyarországon az a tudós, akit 1946-ban a Magyar Tudományos Akadémia rendes taggá nyilvánított, s akit Szent-Györgyi Albert után a második legnagyobb jutalommal tüntetett ki. Igaz, a vele járó pénzjutalom pillanatok alatt elolvadt az inflációban, de a „Marczibányi-jutalom” erkölcsi értéke megmaradt.

Az 1946/47-es tanévet hivatalos engedéllyel Svédországban töltötte, a stockholmi Karolinska Intézet meghívására és ösztöndíjával. Itt fejlesztette ki végleges formáját annak az audiometernek, melyet az ő nevével fémjelezve mind a mai napig gyártanak és használnak a világban.

1947. őszén fogadta el a Harvard Egyetem meghívását, s kért engedélyt itthon az amerikai tanulmányútra. Az 1947/48-as tanévre az engedélyt még megkapta. Az amerikai *Journal of the Acoustical Society* 1948-ban még úgy közölte Békésy egyik tanulmányát, mint ami 1947. szeptember 4-én érkezett Budapestről. 1948. július 13-án még a *Szabad Népben* is tisztelettel írtak róla:

„Békésy professzor, aki a fül szerkezetének kutatása terén világraszóló eredményeket ért el, 1945 óta szintén külföldön kénytelen dolgozni, mert Magyarországon nincs elektronmikroszkóp, amely az ő munkájához elengedhetetlenül szükséges. Azóta egyik levelében a másik után kérdi, mikor jöhetne már haza. Most megírhatják neki: hamarosan beszerezzük az első magyarországi elektronmikroszkópot.”

Lehet, hogy ez az „egyik levelében a másik után” enyhe túlzás, az írás hangneme azonban mindenképpen biztató. Apró szépséghibája, hogy éppen akkoriban utasították el Budapesten a minisztériumban az egyetem felterjesztését, amelyben Békésy amerikai tanulmányútjának még egy évvel történő meghosszabbítását kérte.

1949. „a fordulat éve” – Békésynek mindenképpen az volt. Ekkor zárták ki a Magyar Tudományos Akadémia tagjai sorából (csak halála után nyolc évvel rehabilitálta őt az MTA) s befogadták Amerikába: végleges állást kapott a Harvard Egyetemen.

Ettől kezdve Békésy nevét már csak suttogva lehetett kiejteni Magyarországon, akárcsak sok más tudósét, művésztét, akik a Rákosi-rendszerben hagyták el az országot. Békésy nem volt politikai alkat, soha nem tett politikai nyilatkozatot, nem lehetett belekötni semmilyen politikai megnyilvánulásába. Így hát csak „leírták”, elhallgattak róla, mintha a világon se volna.

Négy évvel fiatalabb, tehetséges öccse, Miklós, akinek győgyövénykutató munkáját annak idején Richter Gedeon támogatta, itthon 1954-ben Kossuth-díjat kapott kutatásaiért, az akkori indoklás szerint „az anyarozs mesterséges termesztésének megoldásáért, amely lehetővé tette, hogy a népgazdaság 1953-ban 100 százalékosan túlteljesítse az anyarozs fejlesztési tervét”. Neve i betűvel, Békési Miklósként szerepel, nehogy feltűnjön valakinek a rokoni kapcsolat lehetőségé. Miklós 1980-ban meghalt, neve ma már – y-nal írva – szerepel az Életrajzi Lexikon 1994-ben kiadott 4. kötetében, de még mindig elfelejtik megemlíteni itt is, s a 3. kötetben szereplő Györgynél is, hogy testvérek voltak. Az már csak ráadás, hogy az 1981-ben és 1985-ben megjelent 3. kötetből hiányzik Békésy György fényképe, pedig ebben a csaknem 900 oldalas kötetben több száz személy portréját közlik.

Nem csodálható hát, hogy a mai magyar ember – legyen bár idősebb, vagy fiatalabb – alig tud valamit Békésy Györgyről. Még az egyetem is – amelynek 1940-től 1948-ig tanára volt – évtizedeken át elfeledkezett róla. Így fordulhat elő, hogy még ma sincs emléktáblája abban az épületben, ahol tanított, a Múzeum körúton. Igaz, talán lesz mellszobra az új épületben, ahol mostanában dől el, hogy az egyetem mely tudós oktatóinak állít emléket, okulásul a jövőendő nemzedékek számára.

1999. – a centenáriumi éve – jó alkalom, hogy tegyünk valamit azért, hogy Békésy György neve végre itthon is bekerüljön a művelt emberek köztudatába. Az Akadémián tudományos emlékülésen majd tudományos konferencián elevenítik fel Békésynek elsősorban a halláskutatásban elért eredményeit, amiért a Nobel-díjat kapta.

E cikk célja, hogy e nagy, Békésy egész kutatói munkásságán átívelő téma után most felvillantson két másikat: az elsőt és az utolsót, mellyel tudományos pályáján foglalkozott. Ezekre a vizsgálatokra is jellemző az az élmény, mely Békésyt valamennyi kutatásában elkísérte, belülről hajtotta, vezértelte: a megfigyelés öröme.

Nem véletlen, hogy Nobel-előadásának címűl is ezt választotta. (1964-ben Békésy György Nobel-előadását, melyet 1961. december 11-én tartott Stockholmban, a hollandiai-Elsevier kiadó még éppen be tudta illeszteni az 1942. és 1962. között tartott orvosi-élettani Nobel-előadások kötetébe. A mintegy 25 oldalas tanulmány címe: „Concerning the pleasures of observing, and the mechanics of the inner ear.” Valószínűleg ennek nyomán készült az az 5 oldalas írás, amely ugyancsak 1964-ben jelent meg az *Orvosi Hetilapban* „A megfigyelés öröme és a belső fül mechanizmusa” címmel, mint Békésy György Nobel-előadása.)

### **Első tudományos munkája: budapesti doktori disszertációja**

*Békésy György* 1899. június 3-án született Budapesten. Elemi iskoláit Münchenben végezte (otthon magyarul beszéltek), a nyolcosztályos gimnázium alsó négy osztályát Konstantinápolyban (Isztambul) egy jezsuita iskolában, méghozzá francia nyelven. Az ötödik osztályt Budapesten kezdte meg az Attila úton, de még ugyanabban az évben apját Zürichbe delegálták, s minthogy a család mindig vele tartott, Békésy György Zürichben érettségizett, a Minerva Intézetben, 17 éves korában. Mielőtt 18 éves korát be nem töltötte, nem járhatott egyetemre Svájcban, kijárt hát egy műszerész-tanonc iskolát Zürichben. Amikor apját Bernbe helyezték, Békésy György a Berni Egyetemre iratkozott be, s itt szerzett diplomát vegyész szakon 1921-ben. A háború alatt egyszer járt Magyarországon: 1917. októberében megkapta

katonai behívóját, de 1918. elején visszaengedték, hogy folytathassa egyetemi tanulmányait. Trianon után apja a budapesti külügyminisztériumban kapott feladatot, Békésy György a Bernben szerzett diplomával Budapesten keresett magának helyet, hogy letehesse a doktori szigorlatát.

„Apámnak az volt a véleménye, hogy mindenkinek a hazájában kell doktorálnia” – érvelt még 70 éves korában is, amikor megírta visszaemlékezéseit.

Pedig akkor Budapest éppen nem a nyugodt, tudományos bűvárkodásra alkalmas légköréről volt nevezetes. Még alig hagyták el a fővárost a megszálló román csapatok, még alig kezdte meg az egyetem a normális működését. Eötvös halála után a kísérleti fizika tanszék különösen nehéz helyzetbe került. Mégis, Békésy pont kísérleti fizikából szeretett volna doktorálni.

„Az első világháború után, amikor 1918-ban visszatértem Svájcba, az érdeklődés középpontjában a négydimenziós geometria és a relativitáselmélet állt, ezek a témakörök engem nem érdekeltek. Erre elhatároztam, hogy valami egyszerűbbet választok, így kísérleti fizikával kezdtem foglalkozni” – emlékezett vissza később.

Bernben az egyetemen matematikát, fizikát, csillagászatot is hallgatott a kémia mellett, ezért a kísérleti fizika doktori szigorlathoz szükséges elővizsgái nagyjából megvoltak. Már csak egy megfelelő témát és témavezetőt kellett találnia Budapesten. Legnagyobb öröme talált is.

A téma kémiai–fizikai komplex probléma volt, a témavezető pedig *Tangl Károly*, Eötvös egykori kedves tanítványa, aki éppen akkor vette át az Eötvös-tanszék vezetését.

Tangl Károly még egyetemi hallgató korában kapcsolódott be Eötvös gravitációs méréseibe. A kilencvenes években Eötvös közvetlen munkatársaként főleg potenciálmérettel foglalkozott, majd 1903-ban Eötvös ajánlásával került Kolozsvárra, az ottani kísérleti fizika tanszék élére. Kolozsvárról 1917-ben megpályázta és elnyerte Budapesten a műegyetemi kísérleti fizika tanszékét, innen került 1921-ben a tudományegyetemi kísérleti fizika tanszékére.

Tangl akkoriban az oldószer és az oldat közös határfelületén fellépő felületi feszültséget kutatta, Békésy pedig a határfelületen át történő diffúzió vizsgálatát kapta doktori témául. Ehhez mindenképp először egy olyan diffúziós kádat kellett építenie az összes kiegészítő berendezéssel együtt, amelyet a műegyetemen, Tangl előző tanszékén működő Jamin-féle interferométerhez lehetett csatlakoztatni. Ez az interferométer a kor színvonalán álló, jól működő kísérleti eszköz volt, melytől a berni egyetemi laboratóriumok színvonalához szokott ifjú kutató joggal remélhette az áhított „megfigyelés örömét”. Sok kísérleti nehézség megoldása várt még rá, mégis nagy élvezettel és önállósággal dolgozott feladatán.

„A budapesti egyetemen rengeteg hibát követtem el – írta később. – A laboratórium igazgatója Tangl professzor előtt Eötvös volt. Vele már nem találkozhattam, a technikusával azonban többször is. Valahányszor elvégeztem, vagy hozzákezdtem egy kísérlethez, azt mondta, hogy a kegyelmes úr nem így csinálná. Így tudtam meg, hogy hogyan gondolkozott és dolgozott Eötvös, és ismét csak azt mondhatom, hogy egy probléma több, különböző oldalról való makacs megközelítésének egyszerűsége volt az, amely Eötvöst a világ kimagasló tudósainak egyikévé tette.”

Érdekes, hogy a hetvenéves Békésy György már nem emlékezett arra, hogy doktori dolgozatát publikálta volna. „Doktori disszertációmát kísérleti optikából írtam Magyarországon. Olyasmit csináltam, amit ma interferencia-mikroszkópiának neveznek, de sajnos nem publikáltam”. Tarnóczy Tamás 1992-ben hívta fel a figyelmet arra, hogy a disszertáció rövidebb változata 1927-ben megjelent egy német folyóiratban. „Különlenyomata nálam is megvan” – tette hozzá Tarnóczy, a nagyobb nyomaték kedvéért.

*Gazda Istvánnál* a Magyar Tudománytörténeti Intézetben viszont megvan a Szent István Akadémia felolvasásainak egy olyan különlenyomata, amely Békésy György „vendégtől” az alábbi címen bemutatott dolgozatot közli:

„Folyadék diffúziós állandójának mérése az interferenciális refraktorról.”

„Bemutattatott 1923. évi december hó 14-én.” Semmi kétség: ez volt Békésy doktori munkája. „Bemutatta Tangl Károly r. tag” – áll a lábjegyzetben.

A dolgozat pont olyan, amilyennek egy doktori disszertációnak lennie kell: először szakirodalmi összefoglalás, azután a megépített kísérleti berendezés leírása, utána „a félárnyék-beállítású interferenciális refraktor összeállítása” s a mérés módszerének leírása következik. Ezt követi az elmélet, a diffúziós állandó kiszámítására szolgáló összefüggések levezetése, egyes esetekben csak a végeredmény, lehetőleg tömör és bonyolult formulákban. A dolgozatot a mérési eredmények összefoglalása zárja. Az utolsó mondatok: „Végül őszinte köszönetet mondok dr. Tangl Károly tanár úrnak, aki értékes tanácsaival és segítségével mindenkor szívesen támogattott. Éppúgy köszönettel tartozom dr. Strauss Ármin tanár úrnak az interferenciális refraktor átengedéséért. Budapest, I. sz. fizikai intézet, 1923 nyarán.”

Úgy tűnik, a tehetséges tudósjelölt megtette az első lépéseket egy sikerekkel kecsegtető pályán.

A sors azonban közbeszólt – nem először és nem is utoljára Békésy életében. Meghalt szeretve tisztelt édesapja, a biztos támasz a család életében. Békésy a megszerzett doktori fokozattal se talált magának munkahelyet; a biztonságát veszítette el, amit csak hosszú évek alatt nyert újra vissza, most már egyetlen megmaradt bizalmasa: édesanyja oldalán.

### **Békésy utolsó tudományos vállalkozása: a Mach-sávok kutatása Hawaii szigetén**

„Életemben háromszor vesztettem el mindenemet” – írta önéletrajzi jegyzeteiben a 70 éves tudós. Nem nehéz kitalálni, mire gondolhatott.

Az első ilyen tragikus nap 1944. április 3. volt, amikor a Posta Kísérleti Állomáson kiépített laboratóriuma egy bombatámadás során megsemmisült. Minden berendezése, műszere odaveszett! Ennek nyomán határozta el, hogy egyetemi tanszékének legértékesebb műszereit megőrzésre szétosztja a kollégák és a hallgatók között. „A háború után előáshattuk azt a felszerelést, amit a hallgatók és az oktatók segítségével titokban elrejtettünk. Senki sem árulta el a rejtékhelyet, így a békés viszonyok visszaállása után az én intézetemben indult meg legkedvezőbb körülmények között a munka. Több szerszámunk volt az új eszközök készítéséhez, mint akárhány gyárnak.”

Másodszor úgy „vesztett el” Békésy minden eszköze, műszere, feljegyzése, hogy azok itt maradtak Magyarországon, amikor ő Amerikában kezdte újra kutatásait. 17 évet töltött a Harvard Egyetemen, ahol végül is egy sokkal jobban felszerelt laboratóriumot alakított ki, mint a magyarországi volt – akár az egyetemen, akár a Posta Kísérleti Állomáson –, mégis nosztalgiával emlékezett vissza később:

„Visszatekintve életem Magyarországon eltelt szakaszára, az az érzésem, hogy tudományos munkám akkor mélyrehatóbb és jelentősebb volt, mint az, amit az Egyesült Államokban végeztem...”

Itthon egy ládába csomagolták össze a Postakísérleti Intézetben Békésy papírjait, melyből sok értékes különlenyomatot Tarnóczy Tamás küldött el végül Békésynek. Ő azután féltett kincsként őrizte ezeket a Harvard Egyetemen mindaddig, amíg be nem következett a harmadik tragédia, amikor újra „mindenét elvesztette” az akkor már 60-as éveit taposó tudós:

1965-ben tűz pusztított abban az épületben, melynek alagsorában volt Békésy laboratóriuma. Újra odaveszett mindene.

Békésy, a nagy „újrakezdő” 67 éves korában élete utolsó nagy vállalkozásába fogott: elfogadva a Hawaii Egyetem meghívását, áttelepült Honoluluba, hogy ott, a számára létrehozandó Laboratory of Sensory Science – érzékelés-tudományi intézet – vezetőjeként most már ne csak halláskutatással foglalkozzon, hanem általában az emberi érzékszervek működésének közös tulajdonságait kutassa.

A Hawaii Egyetem méltán lehetett büszke, hogy egy Nobel-díjas tudós elfogadja a felkínált kutató-professzori állást, Békésy magával vihette egy-két kipróbált munkatársát is Honoluluba. Az ő tervei szerint épült fel egy kétszintes épület, jól felszerelt fa- és fémmegmun-

káló, valamint elektronikai műhelyekkel. Ma ez az intézet „Békésy Laboratory of Neurobiology” nevet viseli, s a Csendes-óceáni Orvosbiológiai Kutatóközpont (PBRC) keretében működik. Tíz kutató dolgozik benne, munkájukat a Békésy által létrehozott műhelyek segítik. Ebből az intézetből került a Békésy-hagyaték (műszerek, eszközök) 1995-ben Magyarországra, az akkor létrehozott diósi Rádió- és Televíziómúzeum két emlékszámbájába. (Külön köszönet illeti mindazokat, akik ezt kezdeményezték, megszervezték, lebonyolították.)

Miért terjesztette ki Békésy kutatásait a hallószervről a többi érzékszervre? És hogy jutott el a Mach-sávok kutatásáig?

1961 decemberében tartott Nobel-előadásán bemutatta azt az ábrát, mely a belső fülre vonatkozó kutatásainak legfontosabb eredményét illusztrálta. A megfigyelés öröme, saját kísérleti vizsgálatai segítettek feltárni, hogy a csigában húzódó alaphártya mentén végigfutó hullám a hang rezgésszámának függvényében más-más helyen éri el a maximumát. Így a hallott hang magasságát a különböző helyeken más-más módon ingerelt idegsejtek összehangolt működése közvetíti az agy felé. Békésy úgy gondolta, hogy az első „jelfeldolgozás” még ott, a fülben megtörténik, s az agy már egy megformált, a hang magasságát tisztán hordozó jelzést kap. Ha viszont megnézzük a fenti görbéket, azt látjuk, hogy nagyon lapos maximummal rendelkeznek, így nehezen érthető a hangmagasság érzékelésének rendkívüli szelektivitása.

Békésy azt az idegi mechanizmust kutatta, ahogyan a szélesen hömpölygő inger a fülben keskeny ingerületté élesedik ki. Feltételezte, hogy ez egy olyan mechanizmus, ami nemcsak a fül működésében jelenik meg, hanem más érzékszervekben is. Ezért bővítette ki kutatásait még a Harvard Egyetemen a tapintás, a bőrérzékelés irányába. Először 1960-ban publikált egy tanulmányt a szemről is.

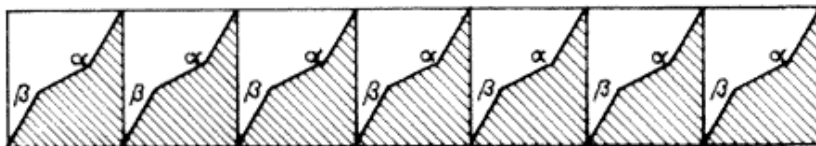
Honoluliban már úgy gondolta, hogy valamennyi érzékszervünk működésének közös vonása az a primer, differenciális jelfeldolgozás, amelynek lényegét az inger-érzet kapcsolatban a laterális (oldalirányú) gátlás mechanizmusára lehet visszavezetni. Keresett tehát olyan jelenségeket, ahol ez valamelyik érzékszerv működésében expliciten jelentkezik. Így jutott el a látás vizsgálatához, azon belül a kontrasztjelenségek tanulmányozásához, s ezek közül is az egyik meglepő, először Ernst Mach által leírt és értelmezett optikai csalódás, a Mach-sávok felléptének körütekintő, tudományos vizsgálatához.

Mik is azok a Mach-sávok?

Ernst Mach „Az érzetek elemzése” c. könyvében, Erdős Lajos (Erdős Pál édesapja) fordításában olvashatjuk „A látási érzeteknek egymásra és más pszichikai elemekre való vonatkozásai” c. fejezetben az alábbiakat:

„...az ideghártya valamely helyének megvilágítását a szomszédos helyek megvilágításának középértékétől való eltérés mértéke szerint érezzük meg...”

Példaképpen szerepel a következő ábra (1. ábra).



1. ábra. A Mach-sávok felfedezését segítő minta

„Ha egy ilyen mintájú papírcsíkot egy hengerre csavarunk és a hengert gyors forgásba hozzuk, szürke mezőt kapunk, amelynek világossága B-től A felé növekszik, s melyből azonban egy világos aa csík és egy sötét bb-csík emelkedik ki.”

Nos, ezeket a világos, ill. sötét csíkokat nevezik azóta, hogy Mach a múlt század 60-as éveiben leírta a jelenséget, Mach-sávoknak.

Ma már az érzékelési csalódásokkal foglalkozó pszichológia tankönyvekben a Mach-sávok külön fejezetben szerepelnek, s a nemzetközi pszichológiai irodalomban idézett magyar kutatók között előkelő helyen áll Békésy neve.

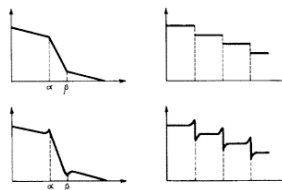
A Mach-sávok fellépéséhez nincs feltétlenül szükség a Mach által leírt kísérletre; álló, sztatikus ábrán is felfedezhetjük ezeket.

A 2. ábrán a fehértől a feketéig fokozatosan sötétedő, de önmagukban homogén sávokat látunk. (Ezek még nem a Mach-sávok!) Ha tüzetesen figyelünk két egymás melletti sávra, akkor a határ közelében a világos sáv még világosabbnak, a sötét sáv még sötétebbnek látszik.

Mintha a világos sáv szélén egy még világosabb csík, a sötét sáv szélén egy még sötétebb csík jelenne meg egymás mellett. Ezek a látszólag megjelenő csíkok a Mach-sávok (Mach-Streifen, Mach bands, bandes de Mach).



2. ábra  
Az ábrán a határvonalak mentén észlelhetők a Mach-sávok



3. ábra  
A világosságinger és a világosságérzet változása a hely függvényében

A hatás azért jelentkezik itt még kifejezettebben, mint Mach eredeti kísérletében, mert itt a csíkok világossága a határon ugrásszerűen változik. Mach kísérletében az objektív világosság folyamatosan változik, csupán a változás gyorsasága ugrik ott, ahol a Mach-sávot látjuk.

A két eset közti különbséget mind az ingerre, mind az érzetre vonatkozólag a 3. ábrán láthatjuk.

A Mach-sávok tehát mintegy kiélesítik az objektív világosságok közötti kontrasztot: felerősítik magát a változást. Pontosan ilyen mechanizmust keresett a hallás számára a fülben Békésy, s megtalálta a szemben, a látás során optikai csalódást is okozó mechanizmus képében.

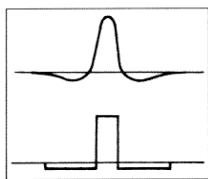
Ennek a jelenségnek a pontos, részletekbe menő vizsgálata, s minél helyesebb értelmezése kötötte le Békésy figyelmét Honoluluban.

Mach magyarázatát, amely szerint a látszólagos sávok megjelenésében a világosság helyfüggvényének második deriváltja a döntő tényező, nem fogadta el. Kísérletileg meg tudta mutatni, hogy kevésbé éles határok esetén is megjelenhetnek a Mach-sávok, amikor tehát a második derivált lényegesen más értéket vesz fel. Nemcsak a határ, hanem a határ kiterjedtebb környezete is számít.

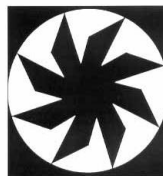
Ezért kutatta Békésy az egymás melletti érző idegsejtek közti kapcsolatokat és ezért szentelt nagy figyelmet az oldalirányú gátlásnak.

A jelenség értelmezésére azt a modellt használta, amely szerint, ha egy érző idegsejtet külső inger ér, akkor az egymás melletti idegsejtek közti kölcsönös kapcsolat, összehangolt működés során az ingerelt sejt közvetlen környezetére is kiterjed az inger, sőt, valamivel távolabb gátlást is okoz. (Ez az oldalirányú gátlás.) Egyetlen „idegi egységnek” tekintette az ingerelt sejtrel együtt annak kis környezetét, amire az inger, illetve a gátlás kiterjed. Feltételezése szerint ezt egy ilyen („sombbrero”) függvény írja le (4. ábra).

A megfigyelés öröme azonban nem az értelmezés nyújtotta Békésy számára, hanem az a sok-sok sziporkázó, pofonegyszerű ötlet, a kigondolt és véghez vitt mérésorozat, mellyel mérhetővé tette a mérhetetlent, a csupán optikai csalódásként megjelenő Mach-sávokat. Amit Eötvös dicséretére felhozott – „egy probléma, több különböző oldalról való makacs megközelítésének egyszerűsége” – jellemző volt rá is.



4. ábra  
A "sombbrero" és a helyettesítő  
lépcsős függvény



5. ábra  
A Mach, majd Békessy által  
használt csillag alakú minta a Mach-  
sávok előállításához

Visszatért Mach eredeti kísérletéhez, legalábbis annyiban, hogy ő is szaggatott, villogó fénnel ingerelte a szemet. Ezt a villogási frekvenciát persze lehetett olyan nagyra választani, hogy már nem volt észrevehető a villogás.

Kísérleteit két nagy csoportra lehet osztani. Az egyikben, lényegében Mach nyomán, egy mintegy 30 cm átmérőjű körbe írt 8 ágú csillagot forgatott (5. ábra). A csillag fehér alapon fekete, vagy fekete alapon fehér volt, és olyan alakú, hogy forgás esetén a világosság Mach említett kísérletéhez hasonló módon változzék a kör sugara mentén. A Mach-sávok persze ilyenkor körök voltak. Kísérleteinek másik csoportjában egy álló fekete-fehér minta felett forgatott egy négyzet keresztmetszetű üveghasábot, melyen átnézve a fekete-fehér ábra helyről helyre más tónusú szürkének látszott. A Mach-sávok itt a forgásirányra merőleges csíkként jelentek meg.

Legutolsó nagy cikke, mely 1972. január 21-én érkezett be az angliai Vision Research tudományos folyóirathoz, az alábbi címet viseli: „Mach-sávok mérése kompenzációs módszerrel”. Ekkor már súlyos beteg volt, nemsokára kórházba került, s június 13-án meg is halt. Miközben a cikket írta, Békessy már valószínűleg tudta, hogy nem sok ideje van hátra. Semmi közvetlen utalás nincs erre a cikkben, egyedül a szokásosnál kissé bővebb irodalmi visszatekintés, valamint a hivatkozások széles spektruma jelzi, hogy ezt az írást a szerző összegzésnek is szánta.

Ugyanakkor maga a kompenzációs módszer ötlete teljesen „Békessy-szerű”: egyszerű és zseniális egyszerre. Úgy méri a Mach-sávok erősségét, hogy azon a helyen, ahol a Mach-sávok megjelenének a forgatott csillagon, kissé megváltoztatja a csillag alakját. Világos Mach-sáv esetén egy kicsit több feketét tesz oda, sötét sáv esetén kicsit több fehéret. Addig változtatja ezt a kompenzációs alakot, amíg eltűnik a Mach-sáv. Ennyi. Megmérte a mérhetlent.

Ez az eszköz a csillagokkal együtt benne volt abban a hagyatékban, mely Magyarországra került, s ma már újra működésképesen látható Diósdon, a Békessy Emlékiállításon.

Békessy emléke pedig tovább él és hat azokra, akik meglátogatják a kiállítást vagy olvassák cikkeit.

(A Természet Világa 1999, 6. és 7. számában megjelent cikkek alapján)

**Radnai Gyula**

## Az orvosi Nobel-díjas fizikus, Békessy György

Alfred Nobel (1833-1896) találmányai hasznosításából szerzett vagyonáról 1895. november 27-i végrendeletében a következőképpen rendelkezett: „Hagyatékom gondnokai által biztos értékpapirokban elhelyezett tőkém alapot képvisel majd, amelynek évi kamatai azok számára osztassanak fel, akik az elmúlt esztendőben az emberiségnek a legnagyobb hasznot hajtották. E kamatok öt egyenlő részre osztassanak, amelyből egy rész azé, aki a fizika terén a legfontosabb felfedezést vagy találmányt érte el; egy rész azé, aki a legfontosabb kémiai felfedezést vagy tökéletésítést érte el; egy rész azé aki a fiziológiai vagy az orvostudomány terén a legfontosabb felfedezést tette; egy rész azé, aki az irodalomban eszmei érte-