

# INSPIRÁCIÓ A TUDOMÁNYBAN

## Gondolatok *Ernst Mach* halálának centenáriuma alkalmából

Radnai Gyula  
ELTE Fizikai Intézet

A százéves évforduló mindig jó alkalom a megemlékezésre.

Száz évvel ezelőtt, 1916-ban jelent meg először az *Annalen der Physik* folyóiratban, azután könyv formában is *Az általános relativitáselmélet alapjai*, ez volt *Albert Einstein* első könyve [1]. Fél évszázaddal később jelent meg magyarul *A speciális és általános relativitás elmélete* *Novobátzky Károly* jegyzetével, *Maróti Lajos* szerkesztésében, a Gondolat kiadó gondozásában. Maróti Lajos egy hosszabb tanulmányt is fűzött hozzá, amelyben többek között Einstein világszemléletével kapcsolatban ezt írta [2]:

„Az einsteini pályakezdetés éveiben a tizenkilencedik és a huszadik század mezsgyéjén rendkívül befolyásoló szerepet játszott Ernst Mach (1. ábra), a századforduló évtizedeinek fizikus-filozófusa, és az ő égisze alatt virágzó pozitivisták iskola... Mach szerint, – aki a megismerésben csak a közvetlen empiriának enged szerepet – a világ érzetek komplexuma, s a tér illetőleg idő sem más: érzet-sorok rendszere. Nem vitás – s ezt maga Einstein se mulasztotta el hangsúlyozni – Mach nézetei mély hatást gyakoroltak az einsteini gondolatvilág kezdeti fejlődésére. Elsősorban Mach szkepticismusa és a meggyökeresedett, dogmatizált fogalmakkal szemben táplált kritikai hajlandósága. Így nem meglepő, hogy e hatás nyomain szembeötlőek, olykor filológiai módszerekkel kimutatható módon is, egy-egy einsteini megfogalmazásban, fogalomalkotásban, különösen a korai években...”

A Mach halálának 50. évfordulóján tartott nemzetközi szeminárium előadásait később könyvben is kiadták [3], amelyben *Patkós András* egy érdekes magyar vonatkozást fedezett fel, erről később részlete-

sebben is szó lesz. Most csak *Patkós András* cikkének bevezető sorait idézzük [4]: „Ernst Mach (1838–1916) osztrák–cseh fizikus oktatói módszertanából, kutatói eredményeiből alakította ki pozitivisták világképét, amely nagy hatással volt századunk sok nagy fizikusa számára és amelyet a dialektikus materializmus képviselői súlyának megfelelő részletes kritikával illettek.” Ernst Mach egyáltalán nem tartotta magát filozófusnak, azonban a tudományról általa is megfogalmazott nézetek, a tapasztalás elsődlegességébe, sőt, kizárólagosságába vetett hit a 19. század végén és a 20. században sok gondolkodót ragadott magával Európában. Mach filozófiai nézetrendszerét *Lenin* nevezte el empiriokriticizmusnak, illetve machizmusnak.

Idén van Mach halálának 100. évfordulója.

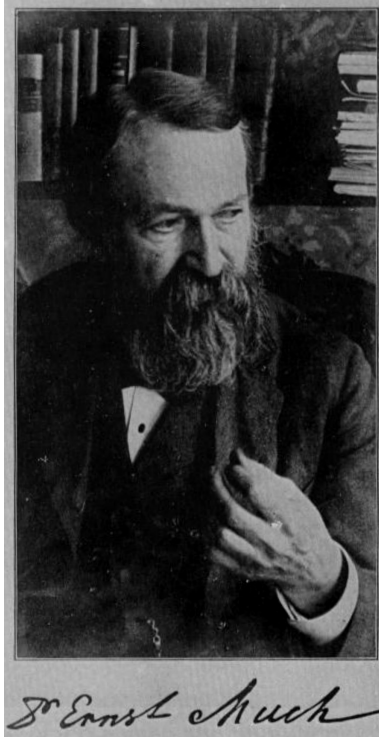
A História Tudósnapárban ezt olvashatjuk róla [5]:

„Mach, Ernst – Chirlitz-Turas, Morvaország (ma Brno része, Csehország), 1838. febr. 18. – Vaterstetten (Haar mellett), Németország, 1916. febr. 19. Morva születésű osztrák fizikus, filozófus.

Tanárgyerek volt, szülei 15 éves koráig nem járták nyilvános iskolába. A Bécsi Egyetemen matematikát, fizikát és filozófiát hallgatott és már 22 évesen doktorált fizikából.

Bécsben, majd Grazban az optikai és a hangtani Doppler-effektust kutatta. Sikerral pályázta meg 1867-ben a prágai német egyetem kísérleti fizika tanszékét, amelyet azután 28 éven át nem is hagyott el. Fő kutatási területe az érzékelés vizsgálata volt, ezt fokozatosan szélesítette ki pszichofiziológiai irányban. A fenomenológiai kutatás híve volt, amit filozófiailag is igyekezett alátámasztani. Filozófiája nagy hatással volt kora tudósaira, többek között Einsteinre is. Érdekes módon egy magyar fizikatanár, *Antolik Károly* kísérletei terelték figyelmét a hangrobbanások és általában a hangsebességnél gyorsabban repülő testek mozgásának vizsgálatára. Itt elért eredményei nyomán nevét a Mach-szám őrzi a repülés gyakorlati szakemberei körében, míg az érzékeléstudomány művelői a Mach-sávok felismerésének tudósát tisztelik benne. Eredményeit többek között *Békésy György* alkalmazta kutatásaiban.”

Az alábbiakban erről a két magyar vonatkozásról fogunk részletesebben is megemlékezni.



1. ábra. Ernst Mach (1838–1916)



*Radnai Gyula* ny. egyetemi docens, a fizikai tudományok kandidátusa, matematika-fizika tanári szakon végzett 1962-ben. Az ELTE Kísérleti Fizika tanszékén kapcsolódott be a tanárképzésbe, a fizika hazai kultúrtörténetének kutatásába pedig *Simonyi Károly* ösztönzésére fogott a '70-es években. *Physics in Budapest* című – *Kunfalvi Rezsővel* közös – könyve, valamint a *Fizikai Szemlében* és a *Természet Világában* megjelent számos, ma már az interneten is elérhető publikációja hitelesíti ezt a tevékenységét.

## Középiskolai tanár felfedezése inspirálhatja a kutató tudóst

Patkós András már említett cikkében [4] írta Machról: „Nevét a fizikai eredeti eredmények tárában a gázdinamika tárgyköre őrzi, ahol a modern aerodinamika jónéhány alapjelenségére elsőként figyelt fel.” – majd így folytatta: „Kutatói tevékenysége és világnézete kapcsolatának közvetlenségén gondolkodva lapoztam bele a halála 50. évfordulóján tartott szeminárium előadásait tartalmazó kötetbe [3], amikor *W. F. Merz-kirchnek*, a freiburgi Mach-intézet igazgatójának tanulmányában (*Mach's contribution to the development of gas dynamics*) egy számomra eddig ismeretlen adalékra bukkantam a múlt század második felének magyarországi fizikaoktatására (pontosabban oktatóira) vonatkozóan.”

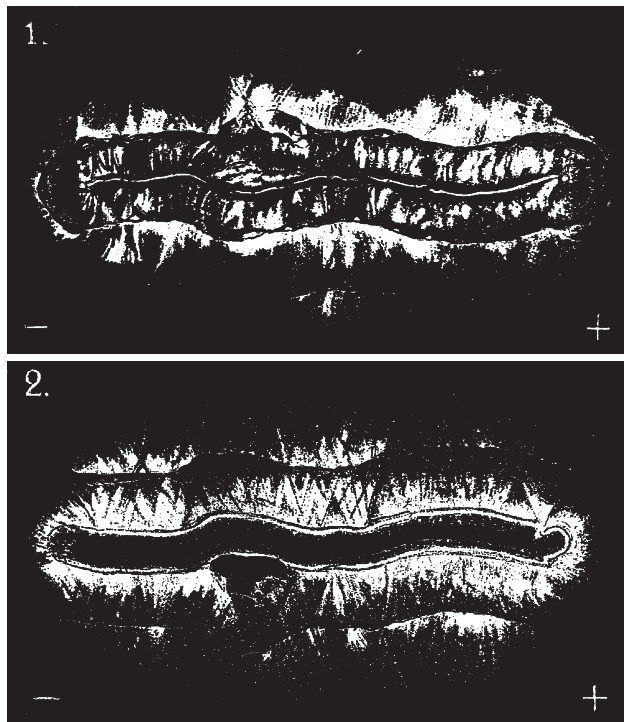
Nos, kezd a dolog izgalmassá válni. „Mach 1867-től a prágai egyetem professzora. Már bécsi diákéveiben erősen hatnak rá az ottani magas színvonalú fiziológiai, biofizikai kutatások. Ő maga is főként ezek iránt érdeklődik és Prágában fiziológiai-akusztikai vizsgálatokat végez. Gyenge kisülésekkel keltenek hanghullámokat és ezek hatását tanulmányozzák. Asszisztense, *Čeněk Dvořák* hívja fel figyelmét Karl Antolik közleményére a *Poggendorfs Annalen der Physik und Chemie* folyóirat 1875. évi 154. kötetében [6], amely a szerzőnek egy, a 151. kötetben megjelent publikációját folytatja az »elektromos szikrakisülések során létrejövő akusztikus jelenségekről«. Merzkirch véleménye szerint ez a közlemény inspirálta Machot az 1875. és 1885. között a prágai egyetem fizikai laboratóriumában folytatott mérésorozatának megkezdésére, amelynek eredményeként lényeges megállapításokat tett a levegőben terjedő lökéshullámok természetéről és felfedezte a Mach-effektust, a lökéshullámok visszaverődésének anomális törvényszerűségét.”

Lehet, hogy egy középiskolai fizikatanár inspirálta a kutató tudóst a felfedezésében? Patkós András se állta meg, hogy utánanézzem a cikknek. „Antolik cikkét fel lapozva a szerző neve alatt a Professor der Realschule, Kaschau, Ungarn megjelölést találjuk. A cikk stílusa csevegő-leíró jellegű, amely elüt akár a közvetlen szomszédságában található közleményekétől is. Valószínűleg szabad óráiban a kor egyik legizgalmasabb fizikai jelenségkörét vizsgáló tanár munkája, aki elegendő részletességű anyagot gyűjtve össze, azokat rendszeresen a »tanult világ« elé tárja.”

„Vajon ki volt ő?” – tette fel a költői kérdést cikke végén Patkós András.

A feltett kérdésre négy év múlva született meg a válasz a *Fizikai Szemle* hasábjain, *Morovics Miroslav Tibor*, pozsonyi fizikátörténész jóvoltából [7]. Több, mint három évtizede így foglalta össze a szerző Antolik Károly életét:

„Antolik Károly, kísérletező fizikus, az elektromos szikrarajzok és a hártarezgések magyarországi kutatója. 1843. január 28-án született a szepesmegyei Kolbachon. (A falu mai neve Studenec – a Spisská Nová

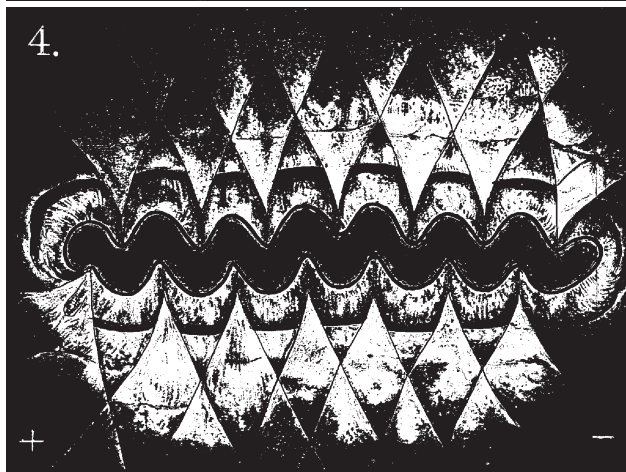
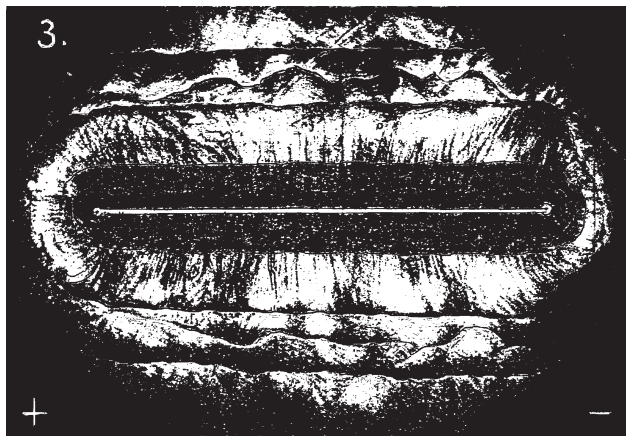


2. ábra. „Befedési módszerrel” készült ábrapár [6].

Ves-i, azaz iglói járásban található Csehszlovákiában.) Lőcsén, Eperjesen és Nagyváradon végezte középiskolai tanulmányait, majd ezeket a pesti egyetem követte, ahol fizikából *Jedlik Ányos* (1800–1895), matematikából pedig *Petzval Ottó* (1809–1883) voltak tanárai. Tanári oklevelét 1867-ben szerezte meg és a matematika-fizika mellett tornatanári képesítést is nyert. 1868-tól a kaposvári főgimnázium, majd 1870 és 1874 között a kassai főreáliskola tanára volt. Az 1874–75-ös tanévet Németországban töltötte fél évig *H. Helmholtz* (1821–1894) laboratóriumában dolgozott, majd a heidelbergi egyetemen *R. W. Bunsen* (1811–1899) és *G. H. Quincke* (1834–1924) előadásait hallgatta. Az egyetemi évek és tanárai – mint később látni fogjuk – nagy hatással voltak tudományos tevékenységére. Németországból hazatérve az aradi főgimnáziumhoz került, ahol 1892-ig dolgozott. Ebben az évben nevezték ki a pozsonyi Állami Főreáliskola igazgatójává, s utóbb mint főreáliskolai igazgató halt meg Pozsonyban 1905. június 20-án, 62 éves korában.”

Említett tudományos kísérleteiről pedig a következőket olvashatjuk:

„Legegyszerűbb kísérleteiben a Holtz-féle influenciagép szikrája két, csúcsban végződő ónelektrod között, egy üveglapra ragasztott sima kartonlap bekormozott felületén sikamlott végig. A koromrétegben a szikra rajzolatot hagyott, kimutatva vele a kisülés útját. Meglepő, hogy az így kijelölt út nem egyszerű szerkezetű, hanem három (sőt a szikra erősségétől függően esetleg több) párhuzamos csíkból, barázdákból áll. A legegyszerűbb esetekben két világos barázdá övez egy vékonyabb (néha csak mikroszkóp alatt látható) sötét vonalat. A világos részek a korom lesöprésével, a sötétek pedig annak lepréselésével és beégetésével keletkeznek.”



3. ábra. Az út előzetes kijelölésével készült szikrarajzok [6].

Később úgynevezett „befedési módszerrel” dolgozott, amely az előbbitől csak annyiban különbözik, hogy az eredeti kormozott lemez fölé néhány milliméter távolságban egy másik hasonlót helyezett, ez utóbbinak azonban nem voltak elektródjai. Kísüléskor így egy olyan ábrapár keletkezett, hogy a két kép vonalai nagyjából megegyeztek, csak a fekete-fehér színezésben voltak egymás ellentettjei (2. ábra). Jobban kifejlesztett ábrák esetében nemcsak a barázdás szerkezet figyelhető meg, hanem a szikra útjának hajlataiból kiinduló csóvaszerű nyúlványok is. Ernst Mach magyarázata alapján tudjuk, ezek a szikrakísüléskor keletkező lökéshullámok nyomai, és ugyancsak kimutatható, hogy a korom helyenkénti kisöprésével, illetve lemezhez való préselésével és hozzáégésével keletkeznek. Még érdekesebbek és bonyolultabbak azok az ábrák, amelyek a szikraút előzetes kijelölésével jönnek létre. Antolik a két elektród közé egyenes vagy zezugos utat jelölt ki vezető bronz festékkel, hogy az elektromos szikra ezt az utat kövesse (3. ábra). Ezekben az esetekben a lökéshullámok már összetettebb interferenciaábrákat hoznak létre (3., 4. ábrák). Amint arról Patkós András idézett cikkében bővebben beszámolt, Ernst Mach ezekből a koromábrákból indult ki az aerodinamikai Mach-effektus felfedezéséhez vezető kísérletsorozatában.

Antolik nagyon sokféle formában, különböző körülmények között, légritkított térben is megismételte

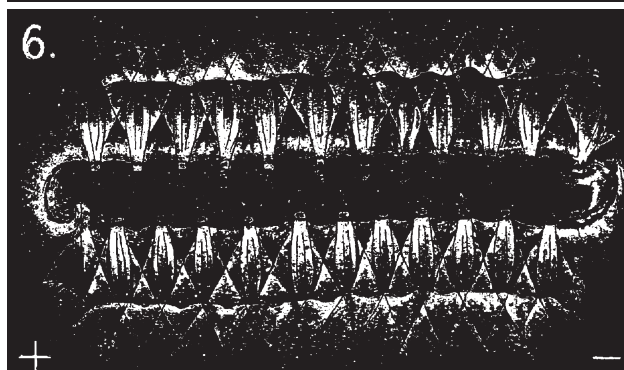
kísérleteit. Mindenáron az elektromos szikra anyagi mibenlétének kérdésére kereste a választ, s így a kísérlesekor keletkező légmozgást csak másodlagos hatásként kezelte. Ezért nem kötötték le eléggé figyelmét a Mach által megmagyarázott jelenségek. – Mach már az első Antolik-féle szikrarajzokból kiinduló munkájában felismerte, hogy ezek az Antoliknál mellékjelenségeként kezelt interferenciaábrák kvantitatív jellegű tanulmányozásokra, esetleg mérésekre is alkalmasak – persze akusztikai, illetve aerodinamikai alapon. Érdekes megemlíteni ezzel kapcsolatban *Szily Kálmán* véleményét Antolik szikraábráiról:

...az így keletkezett idomok... egy új módot szolgáltatnak a villanyosságnak, vagy talán még inkább a levegő mozgásának tanulmányozására. Antolik Károly legfontosabb értekezései a koromábrák témájáról a *Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie* című folyóiratban (151, 1874 – 154, 1875 [6]), a kassai főreáliskola értesítőjében (1873–74), valamint a *Természettudományi Közlönyben* (6, 1874) jelentek meg.”

Az igazán értékes kutatás évtizedekkel később is inspiráló lehet

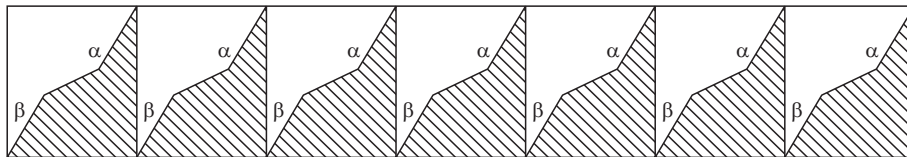
Ernst Mach már egyetemista korában érdeklődött fiziológiai kérdések iránt, egy szemeszter orvosi fiziológiát is hallgatott a bécsi egyetemen. Doktori disszertációját azonban tisztán elektromosságtani témából készítette, és annak sikeres megvédése után bent maradt az egyetemen. *Andreas von Ettingshausen* (1796–1878) lett a főnöke, aki a korán elhunyt *Christian Doppler* (1803–1853) fizikatanszékét örökölte meg Bécsben. Talán

4. ábra. Antolik módszerével létrehozott interferencia-alakzatok [6].





elődje iránt érzett tiszteletből is Ettingshausen a hangtani és a fénytani Doppler-effektus kísérleti tanulmányozását bízta fiatal kollégájára. Mach fáradhatatlan volt a kísérletezésben, miközben fizikából jegyzetet



5. ábra. A Mach-sávok felfedezését segítő minta.

írt orvostanhallgatók számára és anyagilag is jól jövedelmező, tudományos ismeretterjesztő előadásokat tartott az egyetemen. Doppler-effektussal kapcsolatos dolgozatait a bécsi tudományos akadémiához juttatta el. Szűk szakmai körökben ezek a dolgozatok alapozták meg kutatói hírnevét.<sup>1</sup>

1864-ben Mach sikeresen pályázott meg egy matematikaprofesszori állást a grazi egyetemen. A természettudományos komplex kutatással azonban itt se hagyott fel: öt cikke jelent meg ezekben az években különböző pszichológiai-fiziológiai témákból. Hangtanban foglalkozott a Helmholtz-féle zeneelmélettel, fénytánban felfedezte az azóta róla elnevezett sávokat. Fizika és fiziológia összeolvadt a tevékenységében, következésképpen a gondolkodásában is. Akkori kutatásainak is jó összefoglalását adta később *Az érzetek elemzése* című könyvében, amely 1886-ban jelent meg először németül, 1897-ben angolul, s végül Erdős Lajos fordításában 1927-ben magyarul [8]. Nem lehet tudni, hogy mikor került ez a könyv az 1961-ben orvosi Nobel-díjjal kitüntetett Békésy György (1899–1972) kezébe, de ha példát keresünk a tudományban arra, hogy egy igazán értékes kutatás évtizedekkel később is inspirálón hat a másik kutatóra, akkor Mach hatása Békésyre a legjobb példa erre.

Az izgalmas történetet most egy Békésy György születésének centenáriuma miatt megjelent cikk alapján idézzük fel [9].

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

Honolulu-ban 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. Olyan jelenségeket keresett tehát, ahol ez valamelyik érzékszerv működésében explicite jelentkezik. Így jutott el a látás vizsgálatához, azon belül a kontrasztjelenségek

tanulmányozásához, és ezek közül is az egyik meglepő, először Ernst Mach által leírt és értelmezett optikai csalódás, a Mach-sávok felléptének körültekintő, tudományos vizsgálatához.

Mik a Mach-sávok?

*Az érzetek elemzése* című könyvben olvashatjuk *A látási érzeteknek egymásra és más pszichikai elemekre való vonatkozásai* című fejezetben az alábbiakat:

„...az ideghártya valamely helyének megvilágítását a szomszédos helyek megvilágításának középértékétől való eltérés mértéke szerint érezzük meg...” [Példaképpen szerepel az 5. ábra.]

„Ha egy ilyen mintájú papírcsíkot egy hengerre csavarunk és a hengert gyors forgásba hozzuk, szürke mezőt kapunk, amelynek világossága  $\beta$ -tól  $\alpha$  felé növekszik, s melyből azonban egy világos  $\alpha\alpha$  csík és egy sötét  $\beta\beta$ -csík emelkedik ki.”

Nos, ezeket a világos, illetve sötét csíkokat nevezik – azóta, hogy Mach a 19. század 60-as éveiben leírta a jelenséget – Mach-sávoknak.

Ma már az érzékelési csalódásokkal foglalkozó pszichológia-tankönyvekben a Mach-sávok külön fejezetben szerepelnek, és 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.

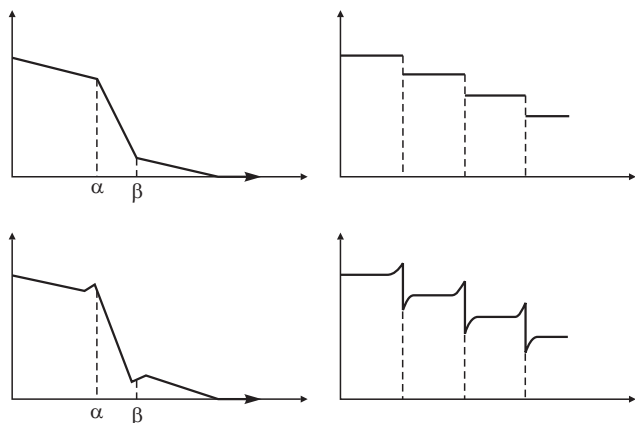
Az 6. ábrán a fehértől a feketéig fokozatosan sötétedő, de önmagukban homogén sávokat látunk. (Ezek még nem a Mach-sávok!) Ha tüzetesen figyelünk két egymás melletti sávra, akkor a határ közelében a világos sáv még világosabbnak, a sötét sáv még sötétebbnek látszik.

Mintha a világos sáv szélén egy még világosabb csík, a sötét sáv szélén egy még sötétebb csík jelenne

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



<sup>1</sup> Az emberben önkéntelenül is felmerül a kérdés: nem kerültek ezek a munkák később a fiatal Eötvös Loránd (1848–1919) kezébe? Miután Heidelbergből 1870 nyarán Eötvös hazajött, Szily Kálmán (1838–1924) azonnal be tudta őt vonni a *Természettudományi Közöny* szerkesztőségébe, s az első cikk, amit Eötvös Loránd rovatvezetőként jegyzet és megjelentetett a *Természettudományi Közöny* 1871. januári számában, ezt a címet viselte: *Doppler elve és alkalmazása a bang- és fénytánban*. Lehet, hogy Machtól jött az inspiráció?



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

meg egymás mellett. Ezek a látszólag megjelenő csíkok a Mach-sávok (Mach-Streifen, Mach bands, bandes de Mach).

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.

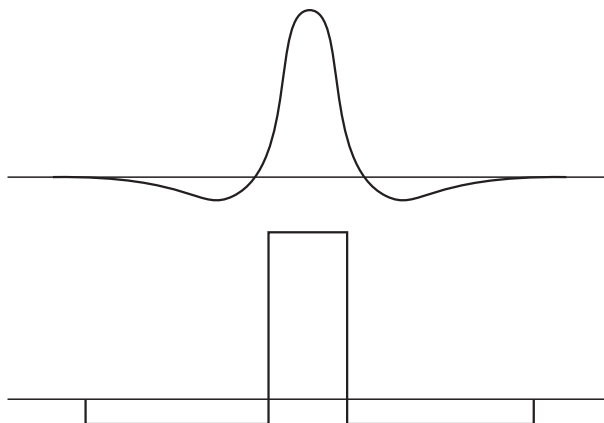
A két eset közti különbséget mind az ingerre, mind az érzetre vonatkozólag a 7. ábrán láthatjuk.

A Mach-sávokban tehát mintegy kiélesedik az objektív világosságok közötti kontraszt: látszólag felerősödik maga a változás. Pontosán ilyen mechanizmust kutatott a halló érzékelésben Békésy, és megtalálta a látás során optikai csalódást okozó mechanizmusban.

E jelenség pontos, részletekbe menő vizsgálata és 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

9. ábra. A Mach, majd Békésy által használt csillag alakú minta a Mach-sávok előállításához.



8. ábra. A „sombbrero” és a helyettesítő lépcsős függvény.

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 „sombbrero” függvény írja le (8. ábra).

A megfigyelés örömét azonban nem az értelmezés nyújtotta Békésy számára, hanem az a sok-sok szíporakázó, pofonegyszerű ötlet, a kigondolt és véghez vitt mérésorozat, amellyel 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.

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

Kísérleteit két nagy csoportra lehet osztani. Az egyikben, lényegében Mach nyomán, egy mintegy 30 cm átmérőjű körbe írt 8 ágú csillagot forgatott (9. 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, amelyen át nézve a fekete-fehér ábra helyről helyre más tónusú szürkének látszott. A Mach-sávok itt a forgásirányra merőleges csíkként jelentek meg.

Legutolsó nagy cikke, amely 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 és június 13-án meg is halt. Miközben a cikket írta, Békésy 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 „Békésy-szerű”: egyszerű és zseniális egyszerűre. Úgy méri a Mach-sávok erősségét, hogy azon a helyen, ahol a Mach-sávok megjelenéne 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 mérhetetlent.

Ez az eszköz a csillagokkal együtt benne volt abban a hagyatékban, amely Magyarországra került, és ma már újra működésképesen látható Diósdon, a Békésy Emlékkiállításán.

## Irodalom

1. Radnai Gyula: Einstein Nobel-díjáról négy tételben. *Fizikai Szemle* 65 (2015) 413.  
<http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz1512/RadnaiGy.pdf>
2. A. Einstein: *A speciális és általános relativitás elmélete*. Gondolat kiadó, Budapest (1967) 181. o.
3. R. S. Cohen, R. J. Seeger (eds.), Ernst Mach: *Physicist and Philosopher*. D. Reidel Publishing Comp., Dordrecht (1970)
4. Patkós András: Egy kutató középiskolai tanár Kassán a múlt század végén. *Fizikai Szemle* 30 (1980) 159.  
<http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz8004/patkos8004.html>
5. <http://tudosnapta.kfki.hu/historia/egyen.php?nanev=mach>
6. Karl Antolik: Das Gleiten elektrischer Funken. *Annalen der Physik und Chemie* 154 (1875) 14–37.  
<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k15238m/f23.item>  
ábrák: <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k15238m/f170.item>
7. Morovics Miroslav Tibor: Egy múlt századi kísérletező fizikus, Antolik Károly életművéről. *Fizikai Szemle* 34 (1984) 222.  
<http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz1984/morovicsantolik.html>
8. E. Mach: *Az érzetek elemzése*. (Fordította Erdős Lajos) Franklin Társulat, Budapest (1927)  
[http://web.archive.org/web/20091013142018/http://www.fil.hu/uniworld/egyetem/restricted/filtort/Mach\\_cont.htm](http://web.archive.org/web/20091013142018/http://www.fil.hu/uniworld/egyetem/restricted/filtort/Mach_cont.htm)
9. Radnai Gyula: A megfigyelés öröme. Békésy utolsó tudományos vállalkozása a Mach-sávok kutatása Hawaii szigetén. *Természet Világa* 130 (1999) 314.  
<http://www.termeszetivilaga.hu/tv99/tv9907/bekesy2.html>