

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 győgnövénykutató 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 jövő 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:

„Folyadékok 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.

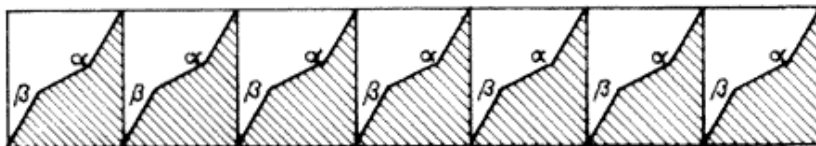
Honoluliban már úgy gondolta, hogy valamennyi érzékszervünk működésének közös vonása az a primer, differenciális jelfeldolgozás, amelynek lényegét az inger-érzet kapcsolatban a laterális (oldalirányú) gátlás mechanizmusára lehet visszavezetni. Keresett tehát olyan jelenségeket, ahol ez valamelyik érzékszerv 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.

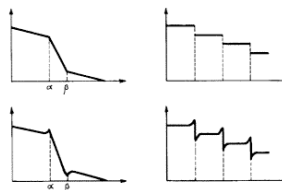
A Mach-sávok fellépéséhez nincs feltétlenül szükség a Mach által leírt kísérletre; álló, sztatikus ábrán is felfedezhetjük ezeket.

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.

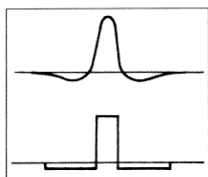
Ennek a jelenségnek a pontos, részletekbe menő vizsgálata, s minél helyesebb értelmezése kötötte le Békésy figyelmét Honoluluban.

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.

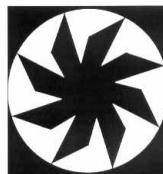
Ezért kutatta Békésy az egymás melletti érző idegsejtek közti kapcsolatokat és ezért szentelt nagy figyelmet az oldalirányú gátlásnak.

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 sejtet 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-

lemben a legjobbat alkotta; egy rész azé, aki a legtöbbet vagy a legjobban működött közre a népek testvériségéért....” Először a díjakat 1901-ben osztották ki.

1961-ben a fiziológiai és orvostudományi díjat egy fizikusnak ítelték oda.

A XX. század második felében új tudományágak jelentek meg, amelyek Nobel idejében nem léteztek, úgy mint a biofizika, biokémia, agrokémia, környezeti tudományok stb. Bizonyos jelenségek, folyamatok megértéséhez nem volt elegendő az egyoldalú, a klasszikus felosztás szerinti tudományágakban való jártasság.

A biofizikának mint határtudománynak egyik létrehozójaként emlegeti a tudománytörténelem Békésy Györgyöt, a fizikust. A Nobel-díjasok kislexikonában ez áll a neve mellett: „Békésy György (Budapest 1899. 6. 3.-Honolulu 1972. 6. 13) magyar származású amerikai fizikus, biofizikus. A fiziológiai és orvostudományi Nobel-díjat 1961-ben kapta a fül csigájában létrejövő ingerületek fizikai mechanizmusának felfedezéséért”. 1961. december 11-én Stockholmban Nobel-előadásának címe „A megfigyelés öröme és a belső fül mechanizmusa” (Concerning the pleasures of observing, and the mechanics of the inner ear) volt. Békésy György fizikai kísérleteinek eredményei és az általa létrehozott mérőeszközök óriási lépést jelentettek a „hallás” értelmezésében és ezáltal új lehetőségeket nyitott a halláskárosultak gyógyításában.

Békésy György egyetemi tanulmányait 1916-ban a berni vegyész karon kezdte. A kémiai előadások mellett matematikát, fizikát és csillagászatot hallgatott: Egyetemi tanulmányai befejezése után 1921-től, a budapesti Tudományegyetem kísérletfizikai tanszéken Tangl Károly vezetésével (Eötvös Loránd tanítványa és utóda) folytatta tanulmányait a doktori cím megszerzéséért. Itt ismerkedett meg az „Eötvös-i” munkatílussal amire így emlékezett: „egy probléma több, különböző oldalról való makacs megközelítésének egyszerűsége volt az amely Eötvöst a világ kimagasló tudósainak egyikévé tette”. Békésy magáévá tette az „Eötvös-i” gondolkodásmódot, a kutatási módszert és az hozta meg neki a legmagasabb tudományos elismerést.

1927-től a budapesti Postakísérleti Állomás postatmérnöki állását töltötte be, a posta távbeszélő üzemének kutatólaboratóriumában dolgozott. Békésy szerint a távbeszélő hangminőségének javításához a fül szerkezetének és működési elvének megismerése is szükséges. Már 1923-tól foglalkozott fiziológiai akusztikai kutatásokkal, amit éveken keresztül folytatott.

A fül tanulmányozása alakviszonyai miatt egyik legnehezebben tanulmányozható szerv. A belső fület a sziklacsont zárja el, megnehezítve a hozzáférhetőséget. A fül legbelsőbb részét a bonyolult szerkezete miatt, labirintusnak is nevezik.

Békésy kísérleti úton vizsgálta a közép- és a belsőfülben végbemenő fizikai folyamatokat. Kísérleteit az általa készített modelleken és tetemeken végezte. A cadaver (tetem) kísérleteknél napi nehézséget jelentett, hogy a halál beállta után rövid időn belül a dobhártya megmerevedik és kiszárad. Ennek kiküszöbölésére új anatómiai technikát dolgozott ki, amellyel a sziklacsontból 10 perc alatt preparátumot készített. Békésy nagy érdemei közé tartozik, hogy mérőeszközöket ő maga készített, melyek közül ma is több, változatlan formában használatban van. Az első audiométert és az első audiogrammat is Békésy György készítette. A hallási folyamatot és a hallószerv vizsgálatát négy oldalról közelítette meg: úgy mint tiszta fizikai jelenséget, a hallás technikáját, valamint mint biológiai és pszichológiai problémát. Több mint 30 éves kutatási eredményeit a „Hallási kísérletek” (Experiments in Hearing) 750 oldalas könyvében foglalta össze, ami 1958-ban jelent meg. Ebben a könyvben foglalkozik a hallásfizikának és a hallásfiziológiának minden fejezetével, amelyek közül több fejezet teljes egészében Békésy felfedezéseit tükrözi. A könyv egyik értékelője S.S.Stevens írta: nincs senki aki többet tudna a fülről, és éppen ezért nincs senki, akinek nagyobb áttekintése volna a még megoldandó feladatok fölött, mint Békésy Györgynek.

Békésy György kutatói állomásai Berlin, Budapest, Stockholm és Harvard után a legutolsó Honolulu volt, ahol kutatásait kiterjesztette más érzékszervek működésének tudományos vizsgálatára is, főleg az inger-érzet tanulmányozására.

Békésy György kutatói munkájának első szakaszát, a Nobel-díjat meghozó kísérleti eredményeit mutatjuk be, amelyek a középfül mechanikai szerkezetére és a belső fül működési mechanizmusára irányultak. A kísérletek értelmezéséhez ismernünk kell a fül szerkezetét.

A szerkezetet érő meghatározott frekvencia-tartományon belüli mechanikai rezgések (hangok) érzékelésére a fül szolgál. A 20-20000 Hz frekvenciájú rezgések, a fül speciális szerkezeti elemei segítségével, hanggá alakulnak. A hanginger energiájának felfogását és a receptorsejtekhez való továbbítását a fül szerkezeti elemei biztosítják. A fül receptorsejtjeihez, amelyek a transzducer (jel felfogás és továbbítás) és a konverter (jel átalakítás) szerepét töltik be, kapcsolódnak az ingerületet továbbító idegrostok

Energiatovábbítás a fülben

A dobhártya a középsőfül első tagja, bőrszerű képződmény, melynek középső része összenőtt a kalapács egy részével. A kalapács nyeléhez mereven csatlakozó dobhártyarész kb. 55 mm². Békésy kísérleti úton bizonyította, hogy a dobhártya hangok hatására nem egyszerű hártaként viselkedik. A mély hangok a kalapáccsal összenőtt-felületet hozzák rezgésbe, míg a magas hangok nem rezgetik meg. A magas hangok hatására a dobhártya szabad része végez rezgést. A dobhártya a sziklacsont dobüregéhez vezet, ahol a hallócsontocskák: a dobhártyával érintkező kalapács, az üllő és a kengyel (amelynek talpa az ovális ablakhoz tapadva) helyezkednek el. A kalapács az üllőhöz, az üllő a kengyelhez ízületszerűen kapcsolódik, ami biztosítja a három csont emelőszerű mozgathatóságát.

A középfül a levegő felől érkező hangrezgéseket minimális energiavesztéssel továbbítja a csigában levő folyadékhoz. A hanghullámok rezgési amplitúdója a folyadékban kisebb, mint levegőben. Az energiatovábbítás akkor a leghatékonyabb, ha a belső fülre nagyobb nyomás tevődik át, mint amekkora a levegőben illetve a dobhártyán jelentkezik. A középfülben nyomássorozás jön létre, mivel a nyomóerő először nagyobb felületen (55 mm²) oszlik el, majd ugyanaz a nyomóerő kisebb felületen oszlik el (a kengyel talpa csak 3,2 mm²). Ez 17-szeres nyomásfokozást jelent. A nyomásfokozáshoz a hallócsontocskák is hozzájárulnak, mivel 1,3:1 arányú karú emelőként dolgoznak. A középfül működése következtében a kengyel talpi részén jelentkező nyomás 20-22-szerese a dobhártyára eső nyomásnak.

A dobhártya rezgései áttevődnek a dobüregben levő levegőre és a kerek ablakra, amely közlekedik a csigafolyadékkal. A középfülben a rezgés terjedése légvezetésen keresztül történik.

A mechanikai inger analízise a csigában

A középfület vékony hártakkal lezárt ovális és kerek ablak választja el a belsőfültől. Mögöttük helyezkedik el a hallókészülék legfontosabb része, a transzducer és a konverter szerepét betöltő csiga. A belsőfül üregrendszere a tornácból, a három félköríves járatból és a csigából áll. Az egész üregrendszert folyadék tölti ki, melyben „úszik” a hártás labirintusrendszer, amelyet egy más összetételű folyadék tölt ki. A két folyadék-rendszert hártya választja el.

A csigában 2,7-szer csavarodott, 30-35 mm hosszú, a végén elkeskenyedő, csatornaszerű tömlő foglal helyet, amelyet részben csontos, részben rostos fal három részre oszt fel: tornácsi-csatorna, dobi-csatorna, csiga-csatorna.

A rugalmas rostos válaszfal az alaphártya, amely az ovális ablaktól a csiga csúcsa felé haladva 0,04 mm-től 0,5 mm-ig nő és rajta helyezkedik el a Corti-féle szerv, amelyen a hallóideg rostjai végződnek. Az idegrostok, az érzékelősejtek végződéseinek hosszúság, felül szőrökkel fedett sejtek, úgynevezett szőrsejtekkel állnak kapcsolatban. Az alaphártya teljes hosszában elhelyezkedő kb. 1600 szőrsejtet háromszög alakú támasztósejtek tartanak. Felülük lebeg a fedőhártya (membrana tectoria). Az alaphártya másik oldalát a vékonyhártya, a Reissner-féle hártya alkotja.

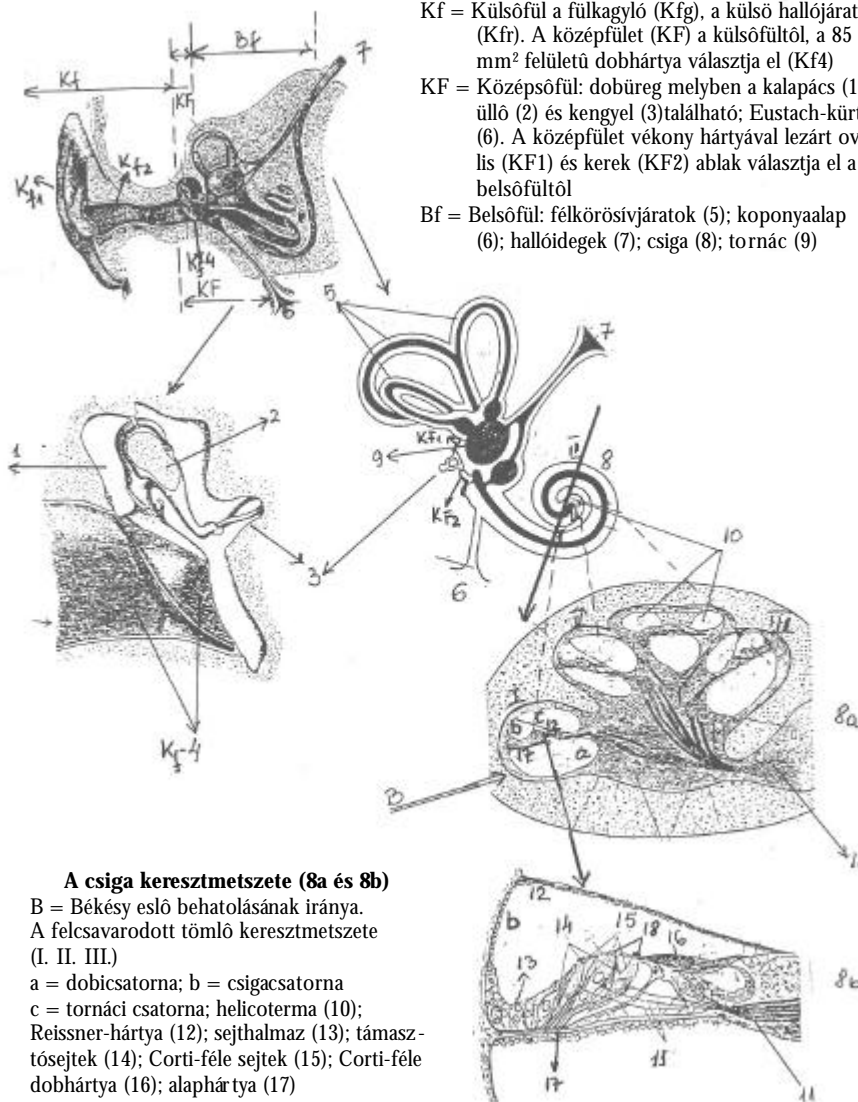
A dobüreg felől a csigához érkező rezgések a cochlearis folyadékról az alaphártyára (membrana basilaris), a Corti-féle szervre, a fedőhártyára és a Reisner-féle hártýára is átterjednek. A csiga mechanikus tulajdonságai Békésy kísérleti eredményei előtt ismeretlenek voltak. Első ízben vizsgálta és 35 évi munka eredményeképpen tudott magyarázattal szolgálni. A hallás folyamatában a legfőbb kérdés az volt, hogyan megy végbe a fizikai hatás analízise, a hanginger paramétereinek felismerése és feldolgozása a fülben. Békésy sztroboszkópos megvilágítással vizsgálta az alaphártya rezgéseképét. Az alaphártya kis elmozdulásának megfigyelésére kidolgozott egy nagy pontosságú műszert, a négy szabadsági fokú mikromanipulátort. Ennek a műszernek a segítségével sikerült az alaphártyákat elválasztani. 1930-ban mutatta ki az alaphártya fesztelenségét és számszerűen meghatározta az alaphártya akusztikus impedanciáját. Az impedancia meghatározására egy speciális vizsgálótűt készített,

A fül vázlatos szerkezete

Kf = Külsőfül a fülkagyló (Kfg), a külső hallójárat (Kfr). A középfület (KF) a külsőfültől, a 85 mm² területű dobhártya választja el (Kf4)

KF = Középfület: dobüreg melyben a kalapács (1), üllő (2) és kengyel (3) található; Eustach-kürt (6). A középfület vékony hártýával lezárt ovális (KF1) és kerek (KF2) ablak választja el a belsőfültől

Bf = Belsőfül: félkörösívjáratok (5); koponyaalap (6); hallóidegek (7); csiga (8); tornác (9)



A csiga keresztmetszete (8a és 8b)

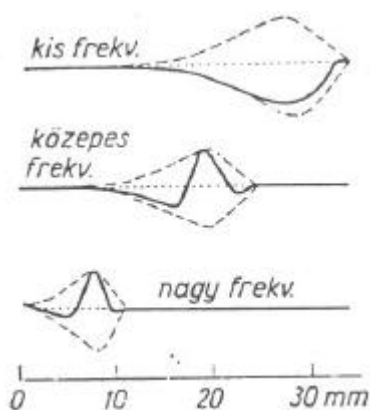
B = Békésy első behatolásának iránya.
A felszavarodott tömlő keresztmetszete (I. II. III.)

a = dobicsatorna; b = csigacsatorna
c = tornáci csatorna; helicoterma (10);
Reissner-hártya (12); sejthalmaz (13); támasztősejtek (14); Corti-féle sejtek (15); Corti-féle dobhártya (16); alaphártya (17)

amellyel 1 dyn nagyságrendű erőket lehetett érzékelni. A kísérleti eredményei megdöntötték az addig ismert és elfogadott Helmholtz-féle rezonancia-elméletet. Hermann Helmholtz (1805-1865) szerint az alaphártya harántirányú rostjai különbözőképpen hangolt hurokként viselkednek. A csigába kerülő adott frekvenciájú hangok hatására, erősen lokalizált területen a hangoknak megfelelő rost rezgésbe jön, rezonál, azaz a gerjesztő rezgés frekvenciája megegyezik a húr saját frekvenciájával. Így a rezonanciák alapján (idegek közvetítésével) fogja fel az agy a hang magasságát, erősségét stb.

Békésy a csigát pontosan utánozó modelljét dolgozta ki. A csigát hidrodinamikai rendszernek fogta fel, amelyben a hangrezgés hatására haladó hullámok keletkeznek, s ezeknek az amplitúdó-maximuma meghatározott helyhez kötött. Megállapította, hogy a kengyel mozgásának hatására a cholearis folyadék közvetítésével az alaphártyán terjedő hullám frekvenciája megegyezik a hang frekvenciájával. A haladó hullám alakját befolyásolja a hártya rugalmassága, a rostok közötti kapcsolat, az alaphártya és a környező közeg közötti súrlódás. A haladóhullám amplitúdója adott intenzitás esetén is, a hártya mentén különböző értékeket vesz fel.

3. ábra



Az alaphártyán kialakuló haladó hullámok képe különböző frekvenciáknál. A vízszintes tengelyen levő számokkal az ovális ablakból mért távolságokat, a szaggatott vonalakkal az amplitúdóeloszlást jelöltük.

Békésy megfigyelte, hogy az alaphártya rezgései a kétfajta hangátvitel esetében pontosan azonosak. Ha viszont megnézzük a fenti görbéket, azt látjuk, hogy nagyon lapos maximummal rendelkeznek, így nehezen érthető a hangmagasság érzékelésének rendkívüli szelektivitása. Ismert volt, hogy a Corti-féle szervben történik a mechanikai rezgések elektromos impulzusokká való átalakulása.

Az 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. Kisebb frekvenciák esetében a maximális amplitúdó a csiga csúcsához közelebb alakul ki, elég nagy frekvenciánál viszont az ovális ablak közelében található. A maximális amplitúdójú helynek a frekvenciától való függésen alapul, de a maximum nem éles. A hangintenzitás analízise is a csigában zajlik le, amennyiben a hang erőssége szabja meg az alaphártya mechanikai rezgéseinek amplitúdóit, valamint a rezgésbe jövő alaphártya terület nagyságát is. Döntő jelentőségű, hogy az alaphártya rezgése következtében a rajta elhelyezett képletek különböző mértékben deformálódnak.

Békésy szerint az első jelfeldolgozás, a hangelemzés, már a csigában létrejön, s az agy már egy megformált, a hang magasságát tisztán hordozó jelzést kap. A membrán rezgése úgy

válík idegingerületté, hogy az érzéksejtek szőrei a nyomás és a húzás által elhajolnak. A jelentőséget a „szenzoros gátlás” (sensory inhibition) című, 1967-ben megjelent könyvében részletezte.

Békésy a csiga elektrofiziológiájának vizsgálata során a csigaműködést is új alapokra helyezte. Megállapította, hogy az idegáramok nem mechanikai rezgés által keletkeznek. Ennek bizonyítására a csigába egy 0,01 mm átmérőjű vas-szemcsét juttatott, majd külső mágneses tér segítségével az alaphártyát a vas-szemcsével mechanikusan ingerelte. A mechanikus ingerlés csak indító hatásként szerepel (trigger-hatás). Rezgőelektrodát fejlesztett ki, amely egyszerre mechanikai ingerlő és feszültségérzékelő. Ezzel a technikával sikerült meghatározni az alaphártya mentén eloszlott nagyszámú generátor által keltett feszültséget, amely a csiga kerek ablakáról levett feszültséggel egyenlő. Igazolódni látszik, hogy az elektromos energia-készletet a belső folyadékban mért 80 mV nagyságú egyenfeszültségű feszültségforrás szolgáltatja.

Transzducer és konverter működése

A receptor szerepét a szőrsejtek töltik be, ezek látják el tehát a transzducer funkciót. A rájuk ható erők váltják ki a hallás folyamatának jellegzetes receptorpotenciálját, a csigapotenciált (mikrofonpotenciált). A mikrofonpotenciál a hanginger frekvenciájával egyező és minden olyan szőrsejtben keletkezik, amely a membrán basiláris rezgésben levő részletén helyezkedik el. A jelamplitúdó eloszlása az alaphártyán létrejött haladó hullámok amplitúdó eloszlását követi, azaz a csigapotenciál maximuma a hártya maximális rezgései amplitúdójánál van. A hanginger erőssége részben a létrejött mikrofonpotenciálok amplitúdója, részben pedig annak területi nagysága révén mutatkozik meg. A mikrofonpotenciálok indítják el a szőrsejteknél lévő hallóidegek végződéseiben az akciós potenciálokat. A mikrofonpotenciál adott frekvenciájú hanginger esetén jellegzetes amplitúdóeloszlással rendelkezik, így az érintett szőrsejtek környékéről elinduló idegrostokon olyan akciós potenciálsorozatot váltanak ki, amelyeknek frekvenciája rostról rostra változik.

Ma, amikor a határtudományok korát éljük, Békésy György kitarása, kutatói leleményessége és egész munkássága példaként áll minden kutató előtt.

Mócsy Ildikó

„Igazi mestere az életnek, a tudománynak és a művészetnek”

„Számomra ő volt az utolsó nagy renaissance férfi, akinek az életről magáról mindent magába foglaló széles tudása volt.”

Így emlékezik Békésy Györgyre S.Batkin honolului munkatársa, barátja.

Folytatva a visszaemlékezést: „Békésy György rendkívül szerény, szinte alázatos ember volt, mindig szívesen segített olyanoknak, akik őszintén szerették a tudományt(...) Az „egyszerű” dolgok nagyon érdekelték, amelyekről mindig kiderült, hogy tulajdonképpen nagyon is bonyolultak(...) Az ő szemléletében a tudomány, az élet és a művészet egységet alkotott.”

Előadásait, közleményeit szívesen illusztrálta műtárgyakról készített képekkel. Nobel-díjas előadásában is hosszan értekezett a művészettel való kapcsolatáról. Ebből idézünk néhány gondolatot:

„Bevallom, sosem szerettem keményen dolgozni. A vizsgáimra is úgy készültem, hogy megtettem amit kellett, de nem szívesen. Ma sem szeretem a határidőket. Egy dolgot azonban mindig szívesen csináltam: szerettem nézegetni a szép dolgokat. Órákat el tudok nézni egy művészi alkotást, és meg vagyok győződve arról, hogy tudásom nagy részét sok ország

sok múzeumban szereztem.(...) A múzeumban fedeztem fel azt is, hogy létezik valamiféle időtlen szépség, amely túléli a háborúkat és a viszályokat.”

„Tanulóéveimben gyakran foglalkoztatott a kérdés: miért olyan nehéz valami újnak az elképzelése? Naponta feltettem magamnak azt a kérdést, hogy hol van a fantázia határa? Ezt a kérdést nagyon nehéz a kémiai vagy fizikai könyvekben felismerni, de könnyen megállapítható a művészettörténetből. A XII.-XV. században Európában divat volt fantasztikus állatokat alkotni díszítésre, dekorációs célból. Ha ezeket a képeket összehasonlítjuk, meglepődve állapíthatjuk meg, hogy milyen korlátozott volt az alkotók fantáziája, hiszen a legtöbb figura néhány alak részeinek a kombinációja alapján készült.(...) Akárhogy is van, a kérdésemre nem kaptam választ: hogyan lehet új felfedezésekre szert tenni a tudományban, ha egyszer a képzelőtehetségünk ennyire korlátozott? Leonardo da Vinci rajzainak a tanulmányozása adta meg a feleletet. Ha összehasonlítjuk da Vinci két rajzát, a *virágot* és a *vihart*, az a benyomásunk támad, hogy da Vinci jobban ki tudta fejezni a nagyon gyors mozgást, mint – tudomásom szerint – bármely más művész. Miért? Azt hiszem azért, mert nem akarta túlszárnyalni a természetet a fantáziájával, hanem éppen ellenkezőleg, tanulni igyekezett a természettől. Ez az egyszerű felismerés diákéveimben azzal a reménnyel töltött el, hogy egyszer talán én is alkothatok valami olyasmit, amely maradandó értékű.”

Honnét ered ez a különleges látásmód?

A Békésy család, követve a diplomata édesapát, éveket töltött Európa különböző országaiban, fontos városaiban. Az ifjú Békésy György különböző nyelvű iskolákba járt, más és más kultúrkörnyezetben.

Önéletrajzi jegyzeteiben így vall életének erről a szakaszáról:

„Fiatal éveimben művészek és más rendkívül érdekes emberek vettek körül. Apám sok barátot vonzott. Gondolatok, eszmék állandó cseréje mély benyomást hagyott bennem, ha nem is értettem mindent.”

„...A svájci iskolák kitűnőek.(...) Itt tanultam meg, milyen hatékony lehet a tanítás, ha azt helyesen csinálják olyan tanárok, akik valóban szeretik hivatásukat. Ma is hálás vagyok svájci tanáraimnak. Svájcban három nyelvet beszéltek, franciát, németet és olaszt. Aki hosszabb ideig tartózkodott az országban, mind a hármat kisebb-nagyobb mértékben elsajátította. Én mindhármat a magyarral kevertem, így nem csoda, ha egyetlen nyelvet sem tudok tökéletesen.”

A sikeres svájci érettségi után fél év műszerész-tanfolyam következett, mivel egyetemre csak 18 évet betöltve lehetett jelentkezni.

„Ma az az érzésem, hogy ez a fél év, amely alatt nem kellett iskolába járnom, talán a legfontosabb volt életemben. Az volt a szándékom, hogy megtanulom a műhelymunkát. A műhelyben megtanítottak reszelni, fémfűrészelt kezelni és esztergályozni. A műszerészek Svájcban öreg és precíz emberek. Nem szerettek engem túlságosan, de idővel kialakult valamiféle barátság köztünk.(...) Svájcban megtanultam, hogy a kiváló minőségű munka bármely versenyben megállja a helyét. Legjobb példa erre a svájci óra. Rendkívül hálás vagyok a svájci órásoknak. A csigajárat boncolásakor sok mindent használtam, amit tőlük tanultam.(...) Németországban megtanultam komolyan dolgozni és azt, hogy a munka öröm. Munka mindig akad, de magunknak kell dolgoznunk, hogy örömünk legyen benne.”

Igen fontosnak tartotta a jó emberi kapcsolatokat.

„... A bajok ebben a világban ott kezdődnek, hogy szüleink tapasztalatait nem tudjuk átvenni és alkalmazni. Valahogy a saját élményeinkre és tapasztalatainkra van szükségünk, azok ugyanis drámaibbak és fájdalmasabbak, ezért hosszabb ideig emlékezünk rájuk.(...) Szükség van barátokra? Életem folyamán nem volt szükségem sok barátra, de igenis idősebb barátokra. Sokat utaztam, sok országot bejártam és sohasem fogom elfelejteni azt az örömet, melyet egy francia emberrel való barátságom jelentett, aki tanárom volt 10 éves koromban.(...) 60 éves koromban is tudott olyan dolgokat mondani, melyek gondolatokat ébresztettek bennem.”

A svájci érettségi és egyetemi vegyészdiploma megszerzése után Békésy György Magyarországon doktorált kísérleti fizikából. Hogyan kezdett dolgozni egy ifjú fizikus egy szegény, háború sújtotta, kifosztott kis országban? Újra az önéletrajzi jegyzetéből idézünk:

„A doktori diploma elnyerése után nem tudtam mihez kezdeni. Nincs kellemetlenebb helyzet, mint amikor az egyetemi tanulmányok befejezése után senki sem kívánja felhasználni tudásunkat. A keresgélés kellemetlen volt. Rájöttem, hogy az egyetemen tanultaknak kevés értéke van, mert nem lehet azokat aprópénzre váltani. Kétségbeesésemben úgy döntöttem, hogy keresek egy jó laboratóriumot, és ott ingyen fogok dolgozni, mint kezdő. Ez a megoldás bevált. 1920-ban, a háború után Magyarországon az egyetlen jól felszerelt laboratórium az Állami Postakísérleti állomás volt. Az ok egyszerű. A kábelek az ország területén igen sokba kerültek és a kormány szívesen áldozta a költség 1%-át kutatásra és mérőeszközökre, hogy a kábeleket alaposan kipróbálják. A felépített berendezést sok éven át használtam. A rendszer bevált, minden kábelfektetésnél megkapom az összeg egy százalékát.

A Postakísérleti Állomás igen jól szervezett intézmény volt. Egy mérnök-igazgató vezetésével kb. százan dolgoztak. Az igazgatót csak a érdekelte, hogy mindenki eredményesen dolgozzék. De. 9-től du. 1-ig a hivatalos munkát végeztük, délután vagy akár egész éjjel szabadon és zavartanul a kutatásnak éltem.

Igen egyszerű oka volt annak, hogy a hallás iránt kezdtem érdeklődni. A kormány azt kérdezte tőlünk: hogyan fog a telefon a jövőben fejlődni? A távolsági kábelek lesznek jobbak, a telefon, a mikrofon vagy a központ? Mibe érdemes pénzt fektetni? Úgy véltem, hogy a legkevésbé fejlett tényezővel érdemes foglalkozni, mert így lehet a legkisebb befektetéssel az egész távközlési rendszerben a legnagyobb eredményt elérni. Ezzel mindenki egyetértett, és én elkezdtem azzal foglalkozni: hogyan lehet az egyes tényezőket ellenőrizni. Igen egyszerű mérések már világossá tették, hogy a telefon a leggyengébb része az egész vonalnak. Így legcélszerűbb a telefon fejlesztésére irányuló kutatást támogatni.

Módszerem igen egyszerű volt. Bekapcsoltam a telefon membránját, meghatároztam a rezonanciafrekvenciát és a csillapodást. Összehasonlítva a membránra nyert értékeket a dobhártya tulajdonságaival, kiderült, hogy a membrán igen rossz. A füll dobhártyája minden szempontból tökéletesebb szerkezetnek bizonyult, mint a telefon membránja. Ezzel igazoltam, hogy elsősorban a telefon fejlesztésével érdemes foglalkozni. Ezután a következő lépés természetesen adódott: a középfül és a belső fül kezdett érdekelni, és a kutatás az anatómia felé vett irányt. Minthogy pedig fizikából volt képesítemem, nehézségekbe ütközött, hogy engedélyt kapjak hullafejek boncolására. Kezdetben igen barátságtalanul fogadtak, még nagybátyámnak is – aki az anatómia professzora volt az egyetemen – az volt a véleménye, hogy anatómiával csak orvosok foglalkozzanak, nem pedig fizikusok.

Szerencsére akadt egyszerű megoldás. Minden anatómia intézetnek köztudomásúlag két ajtaja van, az elülső ajtón, ahol a professzorok és hallgatók járnak be, és a hátsó ajtó, ahol a hullákat hordják ki és be. Rájöttem, hogy a hátsó ajtón át annyi fejet kaphatok, amennyit csak akarok. Most már csak az volt a probléma, hogyan jutnak el a fejek a laboratórium műhelyébe, de találtam barátságos segítőköt. Végül már az anatómia professzora is beleegyezett abba, hogy megkapjam a szükséges anyagot. Így hozzájuthattam nem túl régi hullák boncolásához, melyek későbbi munkámhoz kellettek. Enélkül a fül valódi működéséről egész hibás képet nyertem volna. Igazán hálás vagyok minden segítőköt, különösen pedig egy rendőrnek, aki elmagyarázta egy szép napon, hogy bármikor letartóztathatót volna gyilkosság gyanúja miatt, hiszen aktatáskámban emberi fejeket hordoztam.

A műszerészek határozottan nem kedvelték az anatómiai kutató munkámat. Folyton tisztogatniuk kellett a fúrókat és más eszközöket a vértől és a csontportól. Ennek elkerülésére kitűnő módszert alakítottam ki. A vizsgált szövetet vízzel vagy fiziológiai oldattal töltött tartályba helyeztem. Az oldat lassan, állandó sebességgel folyt a tartály jobb oldalától befelé. A sebességet úgy szabályoztam, hogy nem zavarta a szövetrész mikroszkópi vizsgálatát. Nagy előnyt jelentett, hogy ha egy dobhártyát el akartam távolítani, elég volt csipesszel fel-

emelnem, és az apró részecskét a folyadék lassan elvitte. Így a mikroszkóp látómezeje mindig tiszta maradt. Ugyanez vonatkozott a csontporra is.

Valószínűleg én használtam elsőnek nagy fordulatszámú fúrót a csigajárat vizsgálatára oly módon, hogy azt fúróval kiemeltem. A legkellemetlenebb ilyenkor a csontpor. Ha azonban az egész halántékcsontot – mely a legkeményebb csont az emberi testben – vízbe helyezzük, akkor a fúrás után a por mindjárt kis felhőként távozik, és a látómező másodpercen belül kitisztul. Így nehézség nélkül vizsgáltam a fül egész anatómiáját. Különleges fúrónk segítségével a halántékcsontból hengeres részecskéket nyertünk, melyeket fémgyűrűbe lehetett pontosan illeszteni. A fémgyűrűket másodpercek alatt be lehetett csavarni különféle berendezésekbe, és így a legváltozatosabb méréseket végeztük. Ilyen módon láttuk, hogy a baziláris membrán legkülönbözőbb részei hogyan rezegnek, és haladó hullámot találtunk.

Különféle elméletek szóltak már korábban is haladó hullámokról, de addig senki sem látott valóban ilyent az emberi csigajáratban. Az első problémát az a gyanú képezte, hogy a hulla rugalmas sajátságai egészen másak, mint az élő emberé. Ezt nem volt nehéz megcáfolni. Macskát vagy tengerimalacot érzéstelenítve felboncoltunk, és figyeltük a baziláris membrán rezgését az élő állaton. Eztán az állatot nagy adag érzéstelenítővel megöltük és ekkor könnyűszerrel kimutattuk, hogy a rezgésmód a csigajáratban nem változik meg a halál következtében, sőt hosszabb ideig sem, ha a helyiség hőmérsékletét kb. 5°C-ra hűtjük. Kísérletünk világosan bizonyította, hogy a középfül és a belső fül szöveteit nyugodtan vizsgálhatjuk preparátumon, nem szükséges élő állattal dolgoznunk. A helyzet így egyszerűbbé vált, de ha valóban precíz részletekre volt szükségünk, bármikor ellenőrizhettük eredményeinket élőlényen is.

A haladó hullám felfogás új volt és erősen eltért előző elképzeléseinktől. Kiderült, hogy bizonyos frekvenciák esetén – pl. nagyon magas frekvencián – a haladó rezgés maximuma a belső fül bejáratához közel van, alacsony frekvencián távolabb. Ebből evidens, hogy a belső fül mechanikus módon megkülönböztet frekvenciákat.

A következő megoldandó kérdést a fül nagymértékű érzékenysége képezte. Az én véleményem szerint a rendkívül nagyfokú érzékenység oka csak az lehet, hogy nem maga a hangenergia alakul át az idegrendszer elektromos energiájává. A hangenergia csak kivált bizonyos folyamatot, és ez a folyamat szolgáltatja az energját. Ennek a kioldó folyamatnak a működését demonstrálni is tudtam. Kimutattam, hogy a csigajáratot érő energia sokkal, százszor, ezerszer kisebb, mint a kimenő energia a halló idegszövetekben. Ennek eldöntése után a feladatunk a hallás kioldó (triggering) folyamatának vizsgálata lett. A folyamat még ma is vita tárgya, mert az élő szövetben lezajló alapvető jelenségek egyike az, hogy egy kis inger hatására miként hoz létre erős reakciót egy energiatartalékból. A fülnek ugyanis nincs szüksége nagy energiára, nem energiaátadó, hanem egy erősítőhöz hasonló, kioldó rendszer.

Most már az volt a kérdés, hogyan lehet az idegrendszert vizsgálni. Az összes érzékszervek idegrendszere hasonló vagy különböző? Utolsó kísérteim azt mutatták, hogy nagyon szoros hasonlóság van a különböző érzékszervek idegrendszere között. Szinte az a helyzet, hogy az egyik érzékszervet ismerve, meg lehet jósolni a másik érzékszervben lezajló jelenségeket. Ez a fő eredménye mostani kutatásaimnak. Hogy ilyen kutatást végezhessek, a háború után el kellett hagynom Európát.

Tangl professzor halála után a kísérleti fizika tanára lettem a budapesti egyetemen. Nem nagyon akartam elfogadni a kinevezést, mert féltem, hogy nem tudom folytatni kutatásaimat, és jól ment a munka a Postakísérleti Állomáson. Így azután egyszerre két laboratóriumom is lett. A laboratóriumot az egyetemen úgy szerveztem meg, hogy állandó beavatkozás nélkül működött. Reggelenként megbeszélést tartottam a tanársegédekkel. Itt megvitattuk az előző napon történeteket. Mindenkinek megvolt a saját munkaterülete, és önállóan kellett megoldaniuk a felmerült problémákat. Másnap azután beszámoltak a történetekről, az általuk hozott döntésekről. Eleinte nem értettünk egyet sok kérdésben, de idővel kölcsönösen átvettük egymás nézeteit, és a végén igen jó együttműködés alakult ki az egész együttesben. Így igen sok időt sikerült megtakarítanunk, pl. egyöntetű eljárást követtünk a hallgatók osztályozásá-

ban. Azt hiszem, ez az egyetlen mód arra, hogy a vezető átadhassa módszerét, és munkatársai igazi segítséget jelentsenek.

Hasonló módszert követtem a tanulólaboratórium megszervezésénél, ahol kb. 70 hallgató dolgozott. Megmagyaráztam nekik, hogy mindenki elvégezhet tetszése szerint minden kísérletet. Rendelkezésre áll a műhely, de neki magának kell összeállítania a berendezést, esetleg elkészítenie az alkatrészeket. Egyedül a témát kellett velem megbeszélniük, nehogy túlságosan nehéz legyen, vagy olyan új eszközöket igényeljen, aminek beszerzésére nem volt lehetőségünk.

A hallgatók eleinte igen egyszerű berendezéseket állítottak össze, de gondosan megmagyaráztam ezeknek elméleti fontosságát. Idővel azután sorra következtek nehezebb kísérletek. Az elvégezhető kísérleteket a hirdetőtáblán tettük közzé. A hallgatók választhattak közülük. Több kísérlet állt rendelkezésre, mint amennyi hallgató volt. Magam sem értettem, hogy ez a rendszer miért működött olyan jól, és a munka minősége hogyan javult automatikusan. Nyilván a régi hallgatók valahogyan átadták tapasztalataikat az újaknak, és a fiatalok laboratóriumba érkezve már tudták, mit akarnak csinálni, felkészültek arra, hogy milyen érdekes kísérleteket vesznek sorra. Kár, hogy később a háború megállította ezt a fejlődést.

Nagy problémát jelentettek a könyvek és a könyvtár. Az egyetemi intézet könyvtára addig általában zárva volt. A professzor a saját kulcsával járt be, mégis hiányoztak könyvek. Megmondtam a hallgatóknak, hogy a könyvtár az övék. Válasszanak maguk közül egy könyvtárost, vigyázzanak arra, hogy könyvek ne vesszenek el, mert abban az időben pótlásukra nem volt lehetőség. Egyik-másik könyv mégis eltűnt. Érdekes módon a jómódú szülők gyermekei nem hozták vissza a könyveket. Még meglepőbb volt, hogy ezeknek a könyveknek nagy része visszakerült, mert a hallgatók tudták egymásról, hogy kinél voltak.

Sok végzett hallgató is jelentkezett, és el akarta végezni a kísérleteket. Úgy látszik, belátják hasznát. Reméltem, hogy olyasmit tanulnak ebből, amit könyvekben nem találnak meg.

Korábban az intézet portása egész nap csak az ajtót nyitotta és csukta. Elrendeltem, hogy az ajtó legyen állandóan tárva és maguk a hallgatók vigyázzanak arra, hogy semmi se vesszék el. Jobban is ügyeltek, mint a portás. Egy napon a dékán lejött a laboratóriumba, és igen megdöbben azon, hogy mindent nyitva talált. Szerinte ezt az áldatlan állapotot meg kell szüntetni, mert az egyetem minden szabályának ellentmond. Azt feleltem, hogy próbálja ki saját maga, sikerül-e kivinnie a nyitott ajtón át az intézetből valamilyen eszközt. A dékán nem vállalkozott a kísérletre, de nem is szólt többé a nyitott ajtó miatt.

Az ilyenféle siker sok örömet okozott nekem, mert éreztem, hogy az egyetemi oktatás egész rendszerét nagyobb költség nélkül meg lehetne javítani. A hallgatók hozzáállása is előnyösen változott. Érezték, hogy felelősséggel bíró tagjai az intézetnek, és a rendes kötelességeiken felül is mind készek voltak munkára. (Ez a helyzet tette lehetővé azt, hogy a háború után előáshattuk azt a felszerelést, amit a hallgatók és az oktatók segítségével titokban elrejtettünk. Senki sem árulta el a rejtékhelyeket, így a békés viszonyok visszaállta után az én intézetemben indult meg legkedvezőbb körülmények között a munka. Több szerszámunk volt az új eszközök készítéséhez, mint akárhány gyárnak.) Nagyon szerettem hallgatóimat, szerettem bizonyos mértékig az oktatási munkát, szerettem a műhelyt, és szerettem látni a tanulók fejlődését. Én sokat tanultam a műhelymunkából, és a hallgatók számára is biztosítani akartam ugyanazt a lehetőséget. Kitűnő tanársegédek voltak, és nagy örömmre szolgált, hogy két év után a laboratóriumom az egyetemen simán működött. Két laboratóriumom is volt, egyik az állami kutatóintézet, a másik az egyetemen. Ezenkívül még volt egy orvosi vezetés alatt álló laboratórium, ahol az olyan problémák megoldásával lehetett foglalkoznom, melyek sem az egyetem, sem az intézet működési körébe nem tartoztak. Életemnek ez volt a legproduktívabb szakasza. Reggeltől délig az egyik, déltől estig a másik helyeken dolgoztam. Sok jó segítőtársat kaptam, és minden gondolatunk a tudomány volt.

Néhány év múlva kitört a háború. A kormány igénybe vette munkaidőnket, így a hallás kutatása abbamaradt. Mindenki a pillanatnyi adott problémákkal foglalkozott. Magyarország nem rendelkezett platínával de más fontos fémekkel sem. Felmerült a kérdés, mivel lehetne a

platinát a telefonkészülékben helyettesíteni. Úgy hiszem, elsőként alkalmaztuk a volfrám és arany illetve volfrám és ezüst vagy más hasonló ötvözeteket. Új megoldást találva ki kellett dolgozni milyen legyen az érintkezés, ha azt akarjuk, hogy erős áramot vezessen és ne égjen ki. Ez is érdekes feladat volt. Egy idő után mindenki világosan látta, hogy Magyarországot az oroszok fogják elfoglalni. Budapest ostromáról nem szeretnék beszélni. Hosszú ideig tartott, és senki sem tudta, túl fogja-e élni. Számos barátom elpusztult, laboránsom fogságba került, bizonytalannak látszott, hogy lehet-e kutató munkát folytatni. Így elfogadtam egy meghívást Stockholmba.

Visszatekintve életem Magyarországon átélt szakaszára, az az érzésem, hogy tudományos munkám akkor mélyrehatóbb és jelentősebb volt, mint az amit az Egyesült Államokban végeztem. Az Egyesült Államokban elért eredményeim viszont gyorsabban juttattak elismeréshez, a gátlásokra vonatkozó kutatásaim alig pár év alatt, míg Magyarországon végzett kutatásaim esetében sokkal hosszabb időre volt szükség, míg általánosan elismerést nyertek, bár igen sok országban tudtak már róluk. Magyarországi sikereimet több ok is megmagyarázza. Először is akkor még fiatal voltam és esetleges tévedések nem aggasztottak. Másodsorú sokkal többet tudtam dolgozni, mint ma. Ennek talán az is az egyik oka, hogy az irodalom akkor sokkal egyszerűbb volt. Ma a fejemet száz és száz cikk olvasásával kell megtömnöm, mielőtt valamit publikálok. Harmadik okként azt említhetem, hogy a távközlési kutató laboratórium szervezete igen jó volt. A különféle osztályok (rádió, kábelvezetés, kémia) egy épületben elhelyezve lehetőséget nyújtottak arra, hogy akár kémiai, akár nagyfrekvenciás problémám akadt, megbeszélhettem a szakértő kollégákkal. Negyedszer: az Intézet kis mérete (azt hiszem 95 munkatárs) lehetővé tette, hogy közvetlen kapcsolatot tartsak a különféle szakon dolgozó kollégákkal. Ez ma Európa vagy Amerika nagy laboratóriumaiban sokkal nehezebb. Ötödször: a kollégák ugyan mind szorgalmasan dolgoztak a saját problémáikon de mégis akadt idejük különféle kérdések megvitatására. Ma a legtöbb ember annyira le van kötve, hogy olyan tudományok-közi kapcsolat lehetetlen, mint az akkor egész könnyen megvalósítható volt. Végül még meg kell említenem, hogy az Intézet igazgatója (Paskay később pedig dr. Marschalkó) nem olyan szervező embertípus volt, mint amilyenekkel ma találkozunk. Az intézetet kitűnően képviselték a felsőbb hatóságok előtt, megvédték költségvetési nehézségektől, lehetett nyugodtan, szabadon gondolkodni és dolgozni. A költségvetésünk igen kicsi volt, összehasonlítva azzal, amivel más országokban a kutatóintézetek rendelkeznek, de meghatározott, biztos összeget jelentett. Nem kellett az időt pénzért való küzdelemre pazarolni. Az adott összegre számítani lehetett és azzal kellett foglalkoznunk, hogyan költsük el a legeredményesebben. Nekem nagy nehézséget okoz, ha 5 évre előre kell kidolgoznom költségvetést kutatómunkámhoz. Azt tudom, hogy mit szeretnék elérni, de nem tudom, hogyan jutok el odáig, és arról egyáltalán nincs fogalmam, mibe fog kerülni a kutatómunka. Így olyasmiket vagyok kénytelen mondani, amiket egyébként nem mondanék. Később, amikor megkapom a pénzt, rejtett módon kényszerítve érzem magam arra, hogy 3-4 évvel azelőtt tervezett olyan úton haladjak, amit ma már nem tartok helyesnek.

Ha valaki Magyarország határain kívül utazik, és magyar kiejtéséről (amit bizonyos kor felett már lehetetlen levetni) felismerik, rendszerint mindenki megkérdezi: hogyan lehetséges az, hogy egy olyan kis ország, mint Magyarország, annyi nemzetközileg elismert tudóst adott a világnak. Sok magyar adott választ erre. Magam részéről nem tudok felelni rá. Egy dolgot azonban megemlíthetek. Mikor Svájcban éltem, ott minden csendes, biztos és nyugodt volt, az életbenmaradás nem jelentett problémát. Magyarországon más a világ, az élet állandó küzdelmet jelentett szinte mindenért, de a küzdelem nem jelentett pusztulást. Egyszer elvesztettük, máskor megnyertük, de mindig életben maradtunk. Nem jelentett véget, legalább az én esetemben nem. Az embernek szüksége van ilyen erőpróbara és ez Magyarország egész történelme folyamán megvolt.

Mindig az volt az érzésem, hogy sokat köszönhetek a mérnököknek és annak, hogy mérnökök között dolgozhattam. A mérnökök nem sokat töprengtek azon, hogy mit tegyenek, hanem egyszerűen hozzáfogtak valamilyen ésszerű oldalról. Így épült fel Magyarország

annyi pusztulás után. A mérnöki munkában a legfőbb szempont a megoldás, ez az első lépés, a mellékszempontok feledésbe mennek.

A második világháború alatt Magyarországon nehéz problémák adódtak a telefonberendezések fenntartása körül, mivel a két háború között az ország el volt zárva a szükséges fémfajtáktól. Nem volt platina és igen kevés réz akadt. Rövid idő alatt sikerült helyettesíteni a rézet alumíniummal. Magyarországon azonban nem ismertek alumíniumércet. A szükség hatása alatt felkutattak és találtak annyi bauxitot, hogy még exportálni is lehetett. Ebben is a mérnöki szellem segített.

A másik probléma volt a platina hiánya. Platina nélkül nem lehetett érintkezőket gyártani a telefonrelékbe. Ismeretes, hogy egy automatizált telefonközpontban millió relére van szükség. Azt hiszem, hogy mi voltunk az elsők, akik a platinát rézvolfrám ötvözetrel helyettesítettük. Kiderült, hogy ötvözetünk jobb, mint a platina. Rendkívüli körülmények kiemelkedő eredményt produkálnak, ha nem adjuk meg magunkat.”

„Sokan kérdezik tőlem: mit tennék, ha az életet újra kellene kezdenem. Azt hiszem, akkor is tudományal szeretnék foglalkozni.(...)”

Életemben háromszor elvesztettem mindenemet, mégis mindig engem irigyeltek, és én sohasem irigyeltem másokat. Minden attól függ, hogyan használjuk fel lehetőségeinket. Nem az a fontos, hogy mink van, hanem az, hogy hogyan használjuk fel.(...)

Ami a tudományokat illeti, latint nem tanulnék, helyette minél korábban matematikát. A matematika egy nyelv. Ha fiatal korunkban nem sajátítjuk el, később már sohasem fogjuk tökéletesen megtanulni. (...)

Ha újra élnék, szeretnék már korán egy saját könyvtárat. Más, ha saját könyvünk van, mint ha kölcsönkapjuk. Ha a könyv saját tulajdonom, újra és újra tudom olvasni és bele tudom élni magam. Az ember két különböző részből áll – a fiziológiai és a szellemi részből. A szellemi résznek könyvre, sok könyvre van szüksége.”

Legfőbb kívánsága szerint: „Szeretnék tudományal foglalkozni életem utolsó napjáig”. Így is történt, igazi tudós maradt mindvégig.

Élete utolsó éveiben is, este 9 órakor hagyta el honolului laboratóriumát, naponta legalább ötszáz oldalt olvasott, szakirodalmat, újságokat, folyóiratokat.

A laboratóriumát látogató középiskolás diákoknak élete legfőbb tapasztalatát adta át, amikor a következőket mondta:

„Éljetek egyszerűen és becsületesen. Egyszerre egy dologgal foglalkozzatok, csak akkor lépjete a következő fokra, amikor az előzőt már teljesen legyőztétek. Lassan, biztosan és határozottan haladjatok előre, érdeklődve környezetetekben mindig minden iránt.”

Farkas Anna



ismerd meg!

A galvánelemekről

II. rész

A galvánelemek (elektrokémiai áramforrások) működése során a redox kémiai reakció munkája közvetlenül elektromos energiává alakul. Hatásfokuk 90-95 %. Hasonló értékű hatásfokkal hasznosítható az elektromos energia másnemű munkavégzésre. Tehát a galvánelemek segítségével 80-90%-os hatásfokkal végezhető munka (ez a hőerőgépek segítségével csak 40-60%). Nagy jelentőségre tettek szert olyan körülmények között, ahol hálózattól független áramforrásra van szükség, vagy amikor minél kisebb tömegű energiaforrással kell minél több munkát végezni (pl. űrhajókon, barlangokban stb.).

Az áramforrásként gyakorlatban használható galvánelemek három csoportra oszthatók:

1. *Primer elemek*: az elektródfolyamatok egyirányú reakciók, az elem az elektromotoros feszültség kis értékre csökkenéséig használható.

2. *Akkumulátorok, vagy szekunder elemek*: bennük az elektródfolyamatok megfordítható (reverzibilis) reakciók. Kimerülésükkor egy fordított irányú árammal külső áramforrásból újra feltölthetők. A töltéskor befektetett elektromos munkát vegyi energia formájában felhalmozzák (accumulare-felhalmoz latinul, innen az elemek neve: akkumulátor, akku) és így ismét elektromos munkavégzésre (kisülés) alkalmassá válnak. Működésük során ez a kétirányú művelet többször megismételhető.

3. *Tüzelőanyagelemek*: nem reverzibilisen működő galvánelemek, újra nem tölt—hetők, de a kémiai reagensek folyamatos adagolásával folytonosan üzemeltethetők.

Általánosan a galvánelemeket a következő tulajdonságaikkal jellemzik:

Üresjárási feszültség: a terhelés nélkül mérhető feszültség. Megegyezik az e.m.f.-el, (elektromotoros feszültség). Értékét Voltban adják meg.

Energiasűrűség: 1 kg tömegű elemből kivehető elektromos energia. Értékét J/kg vagy wattóra/kg-ban mérik. A hatásfoktól is függ, ezen keresztül attól is, hogy milyen áram mellett és mennyi ideig használjuk az áramforrást.

Kapacitás: az elemben felhalmozott (kivehető) töltés mennyisége. Értékét Amperóra (Ah) egységben szokás megadni. Kis elemek esetén mA-h-ban.

Terhelhetőség: az a legnagyobb áram, amelyet az elem még károsodás nélkül elvisel. Nagyobb elemekre A, kisebbekre mA-ban adják meg.

Önkisülés: az a folyamat, amely során terhelés (használat) nélkül kimerül az elem. A teljes kimerüléshez szükséges időt szokás megadni. Ez a primer elemek szavatossági idejével azonos.

Élettartam: primer elemeknél legfeljebb az önkisülés ideje. Akkumulátoroknál és tüzelőanyag-elemeknél az üresjárási feszültség lényeges csökkenése nélküli használati idő.

Amperóra hatások: akkumulátoroknál a terheléskor leadott töltés és a feltöltéskor befektetett töltés aránya százalékban kifejezve.

Wattóra hatások: akkumulátoroknál a kisütéskor nyerhető munka és a töltéskor befektetett munka aránya százalékában kifejezve. Mivel kisítés közben a feszültség általában az e.m.f. értékénél kisebb, ezért ugyanaz a töltés kisebb munkát végez, mint feltöltéskor. Ezért a wattóra hatások mindig kisebbek az amperóra hatásoknál.

Belső ellenállás: az elem (ohmikus) ellenállása. Nehezen lehet megmérni. Általában kis érték: 0,001-1 Ohm.

Az ismert primer elemeket és működésüket meghatározó kémiai folyamatokat az alábbi táblázat foglalja össze.

	Elem neve, feltalálás éve	Celladiagram	Anódfolyamat katód-folyamat	e.m.f. V
1	Daniell-elem 1836	(-) Zn | ZnSO ₄ -oldat CuSO ₄ -oldat | Cu (+)	Zn → Zn ²⁺ + 2e ⁻ Cu ²⁺ + 2e ⁻ → Cu	1,1
2	Poggendorf-féle krómsavas elem, 1852	Zn | K ₂ Cr ₂ O ₇ + H ₂ SO ₄ | C	Zn → Zn ²⁺ + 2e ⁻ Cr ₂ O ₇ ²⁻ + 14H ⁺ + 6e ⁻ → 2Cr ³⁺ + 7H ₂ O	2,0
3	Leclanché-elem, 1868	Zn | NH ₄ Cl -oldat | MnO ₂ | C	Zn → Zn ²⁺ + 2e ⁻ 2H ⁺ + 2MnO ₂ + 2e ⁻ → H ₂ O + Mn ₂ O ₃	1,5
4	Lalande- elem, 1874	Zn | NaOH-oldat | CuO | Cu	Zn → Zn ²⁺ + 2e ⁻ CuO + H ₂ O + 2e ⁻ → Cu + 2OH ⁻	1,1
5	szárazelemek 1888 Leclanché magné- ziumos	Zn | NH ₄ Cl + ZnCl ₂ -oldat | MnO ₂ | C ugyanaz Zn helyett Mg-vel	Lásd 3-ast	1,5 1,,9
6	alkálilhidroxidos szárazelemek	Zn | KOH-oldat | MnO ₂ | Fe	Lásd 3-ast	1,5
7	Ruben-Mallory hi- ganyoxidos elem 1945	Zn | KOH-oldat | HgO | Hg	Zn → Zn ²⁺ + 2e ⁻ HgO + H ₂ O + 2e ⁻ → Hg + 2OH ⁻	1,34
8	Oxigén beléggző elem	Zn | NaOH-oldat | C/O ₂	Zn → Zn ²⁺ + 2e ⁻ H ₂ O + 1/2O ₂ + 2e ⁻ → 2OH ⁻	1,4-1,5
9	Vízzel aktiválható elemek	Mg | AgCl | Ag Mg | CuCl | Cu	Mg → Mg ²⁺ + 2e ⁻ Ag ⁺ + e ⁻ → Ag Cu ²⁺ + 2e ⁻ → Cu	1,5 1,6

A gyakorlatban használt primér galvánelemek három típusba sorolhatók:

a.) Leclanché-típusú szárazelemekben az elektrolitot (magnézium-klorid) lisztel elkeverve és kocsonyásítva használják. 1,5 V-os hengeralakú elem (ceruzaelem), v. 3V, 4,5 V és 9 V-os telepek formájában forgalmazzák őket. Általában nagy fogyasztású, hordozható készülékek áramforrásoként használják (rádiók, elemlámpák, kazettasmagnók, magnetofonok, zseb-számológépek)

b.) Alkálilhidroxidos szárazelemek - az elektrolit állagát hasonlóan valósítják meg, mint az előző típusnál. Kapacitásuk 4-5-szöröse a Leclanché-típusú elemekének. Az „alkaline” v. „duracell” márkanevéről lehet felismerni. Különösen nagyfogyasztású készülékekben használják: fényképezőgépek motorja, villanófénykeltő.

c.) Mallory-típusú higany-oxidos elemek: nagy élettartalmúak (több év), feszültségük ki-merülésükig gyakorlatilag nem változik. Terhelhetőségük viszonylag kicsi, drágák. A hőmérsékletkülönbséget jobban tűrik, mint a többi típus, 0-65 °C között használható.

Van olyan változatuk, amelyben cink helyett indium-bizmut ötvözetet használnak anód-ként. Ezekben az energiasűrűség nagyobb, s élettartamuk is hosszabb. Karórak áramforrása-ként használják.

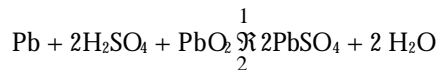
A vízzel aktiválható elemeket, speciális céllal készítik: pl. búvárok jeladókat működtetik. Ezeket szárazon készítik, s tárolják (5 évig is lehet). Működni akkor kezdenek, ha tengervíz-be (sós víz) áztatják. Pl. egy 50 g tömegű Mg/AgCl/Ag összeállítású elem mentőóvhöz sze-relve 8 órán át működtet egy 1,5 wattos lámpát.

A Li/Ni-halogenid/Ni-elemekre jellemző a nagy teljesítmény és nagy kapacitás. Hátrá-nya, hogy csak nemvizes elektrolitban használható, mivel a Li bontja a vizet. Az elem energiasűrűsége olyan nagy, hogy sikerült vele egy elektromos autónak 250 km utat megten-nie elemcsere nélkül. Számos olyan elem ismert, amelyek nemvizes elektrolitot használnak. Ezek általában magas hőmérsékleten működnek, anódjuk többnyire alkáli fém. Nagy a terhelhetőségük és energiasűrűségük.

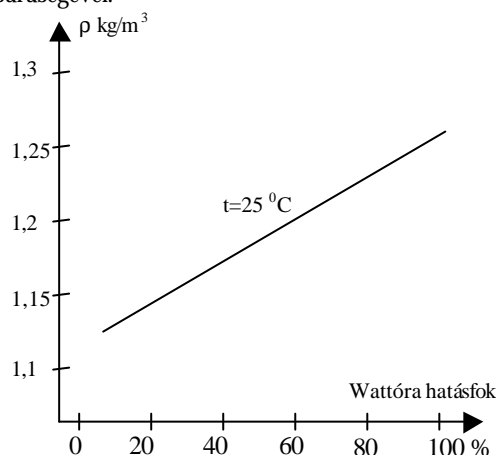
Szekunder elemek, akkumulátorok

a.) Legelterjedtebb, viszonylag nagy igénybevételnél használt szekundér áramforrás az ólomakkumulátor.

A működését biztosító kémiai folyamat:

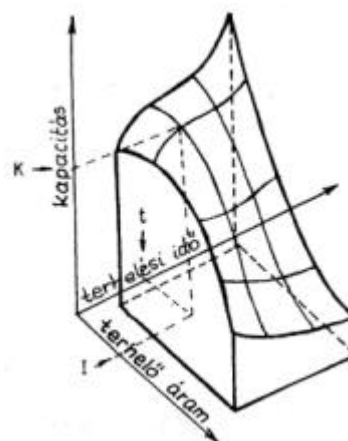


Az 1. folyamat a használatkor, a kisülés közben, a 2. a töltés során valósul meg. Az ólomakkumulátor működése akkor optimális, ha a kénsav koncentrációja nem kisebb 17-20%-nál ($\rho=1,1 \text{ kg/dm}^3$), de nem nagyobb 34-35%-nál. ($\rho=1,25 \text{ kg/dm}^3$) Az akkumulátorban felhalmozott töltésmennyiség arányos a kénsav mennyiségével, így az elektrolit sűrűségével.



1. ábra

Az ólomakkumulátor elektrolitjának sűrűsége a feltöltöttség függvényében.

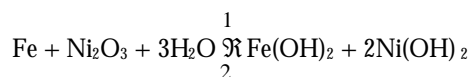


2. ábra

Az 1. ábra az akkumulátor feltöltöttségének függvényében a kénsav elektrolit sűrűségét mutatja. Egy ólom akkumulátor megfelelő használat mellett 5-6 évig 80%-os hatásfokkal használható. Ennek feltételeit a 2. ábra segítségével állapíthatjuk meg. A két változós függvény elemzéséből megállapítható, hogy kis árammal, folyamatos (hosszú időn át) használat esetén legnagyobb a hatásfoka az akkumulátornak. Ha többször, rövidebb ideig használjuk, csökken a hatásfoka. Ha nagy a terhelés rövid idő alatt, akkor a hatásfok nagyon lecsökken (1 A-es igénybevétel). Így parkolásnál, éjszakai világítás használatakor 80%-os hatásfokkal működik az akkumulátor, viszont többszöri önindítózásnál (100 A-es igénybevétel) a hatásfok 10% alá csökkenhet, kimerül az akkumulátor.

b.) Lúgos akkumulátorok

- Legrégbben használt a Ni-Fe, vagy Edison akkumulátor. A működését biztosító kémiai reakció egyenlete:



Hatásfoka 60%. Jelentősen könnyebb mint az ólomakkumulátor és jobban bírja a túlterhelést és rázkódást.

Az akkumulátor negatív elektródja vas (ez a tartóedény szerepét is betölti), a pozitív elektród nikkell(III) -oxiddal körülvett nikkellemez, az elektrolit 20% KOH oldat. Az e.m.f.-e 1,3V, hatásfoka ~60%. Hatásfoka javítható, ha vas helyett kadmiumot használnak.

Kisméretű nagyobb energiasűrűségű akkumulátorok az ezüst-cink lúgos akkuk. Ennek anódja cink, katódja Ag_2O réteggel körülvett Ag lemez, s KOH oldat az elektrolit. Nagytisztasági fokú anyagokat igényel, ezért drága.

Az akkumulátorokat általában összekapcsolva, telepek formájában használják. Sorosan kapcsolva n elemet az elektromotoros feszültség n -szeresére nő. Ha párhuzamosan kapcsolják őket, akkor az üzemeltetésnél megengedhető maximális áramerősség n -szeresére.

Tüzelőanyag-elemek

Égési reakciók kémiai energiáját alakítják elektromos energiává jó hatásfokkal (szén, szénmonoxid, hidrazin, szénhidrogének, alkoholok, alkálifémek, oxigénnel való reakcióján alapulnak).

Elektrolitjuk általában alkálihidroxid oldat. Az anód egy elektrolitbe merülő porózus cső, mely falán katalizátor található. Ebben áramoltatják az üzemanyagot, amely a katalizátor felületén oxidálódik, miközben elektronokat ad át a katalizátorfémnek. A katód szintén az elektrolitba merülő katalizátoros cső, amelybe oxigént vagy levegőt nyomnak. A katalizátor felületén az oxigén redukálódik, ehhez szükséges elektronokat a katalizátor fémtől kapja. Az elem működése folyamatosan biztosítható, ha az üzemanyagot és oxigént folytonosan pótolják. Ezeket is telepek formájában használják ugyanabba az elektrolitba több elektroncsőpárt merítve, s ezeket sorba kapcsolják. Az elem működése közben az elektrolit összetétele nem változik, mivel a redukció során vízből OH⁻ ionok, s az oxidáció során OH⁻ ionokból vízképződik. A gáznemű termékek távoznak a cellából. Gyakorlatilag az elem addig képes működni, amíg a katalizátor aktív. A tüzelőszer elemek hátrányai: magas működési hőmérséklet (több mint 100°C) és a katalizátorok szennyeződésekkel szembeni érzékenysége.

A különböző típusú galvánelemek gyakorlatban való alkalmazása történetének több ismert magyar vonatkozása is van.

Jedlik Ányos már 1840-ben kezdte a galvánelemeket tanulmányozni és 1854-ben akkumulátort készített. Platinarúddal bevont szénlemezeket használt elektródokként savval kezelt fakeretbe fogott papírcellákban. Gyártásukra és forgalmazásukra társaságot alapított (Homor Leo és Csapó Gusztávval). A párizsi kiállításon III. Napóleon díját akarták elnyerni, de szállítás közben megsérül, s nem volt bemutatható. Azért francia szabadalmat szereztek rá s franciaországi gyártásukat is elkezdték. Jó feszültséget adtak ezek a nagyon kényes akkumulátorok, de nem állták a versenyt az újabb technikai megoldásokkal.

1859-ben a francia G. Plonté felfedezte az ólomakkumulátort. Használhatatlanságának két oka volt. Elektrolitként 10%-os kénsavoldatot használt, s még nem ismerték a dinamót, ezért nem lehetett tölteni. Jedlik 1867-ben készített egy ólomakkumulátort, amelynek anódja mangánoxidral bevont ólomlemez, a katódja ólomkivezetéssel ellátott szénlemez volt.

Az első közvilágításra is alkalmas akkumulátorokat szintén magyarok készítették, a selmecbányai Bányászati Akadémia két tanára: Schener István és Farboky István. Ők elektródokként öntött és rácsozott ólomrámát használtak, a negatív elektródot ólomoxiddal, a pozitívát ólomoxid és minium keverékével töltötték ki. Megállapították, hogy az optimális kénsavkoncentráció 30%. A Bányászati Akadémiát ilyen akkumulátorokkal világították (104 db.). Megnyerték a bécsi operaház elektromos világítására kiírt pályázatot (4000 db. 50 kg-os telep szolgáltatja az áramot). A Burgtheaterben 540 db. 300 kg-os telepük világított, a telepeket dinamó-elektromos árammal töltötték. Ennek megvalósítása megpecsételte az akkumulátor telepek sorsát. A dinamó, – mivel az áram a vezetéken szállítható volt – kiszorította az akkumulátorokat a közvilágításból.

Ennek ellenére az akkumulátorok történelme ezzel nem zárult le. Napjainkban is kiemelt szerepük van az egyenáram termelésben, minden olyan esetben, ahol a vezetékes áramszállítás nem oldható meg, pl. földi gépjárművek, űrjárművek esetén.

Máthé Enikő

A PC, vagyis a személyi számítógép

II. rész

Mielőtt rátérnénk a számítógép és a mikroprocesszor belső felépítésének részletesebb ismertetésére, egy néhány fontos elméleti alapfogalmat kell tisztáznunk. Ez nemcsak a hardver, hanem a szoftver jobb és könnyebb megértését is elősegíti.

Az adatokat a számítógépbe rendszerint számok és betűk formájában írjuk be, az eredményeket ugyancsak számok és betűk formájában kapjuk meg. Ezért elsősorban a számok és a betűk számítógépen belüli ábrázolásával fogunk megismerkedni.

Számábrázolás

Ahhoz, hogy fogalmat alkossunk arról, hogy a számítógép mikroprocesszora miként dolgozza fel a száminformációt, alapvető követelmény, hogy megismerjük a szabványos számábrázolásokat. A mindennapi életben a tízes számrendszert használjuk. Ezzel szemben a számítógépek a *kettes* vagyis a *bináris számrendszerben* dolgoznak. Ebben a számrendszerben a számok ábrázolásához csak két számjegy szükséges, és ez tökéletesen összeegyeztethető a számítógépek digitális kétállapotú áramköreivel.

Egy számrendszer az alapszám által meghatározott számú számjegyet használ a számok ábrázolására. Így a kettes számrendszer két számjegyet használ: 0-t és 1-et. Egy bináris számot a 2-es alapszám fogó hatványai szerint rendezett, több tagú kifejezés ad meg:

$$N = b_{n-1} 2^{n-1} + b_{n-2} 2^{n-2} + \dots + b_1 2^1 + b_0 2^0 + b_{-1} 2^{-1} + \dots + b_{-(m-2)} 2^{-(m-2)} + b_{-(m-1)} 2^{-(m-1)}$$

Az N szám egy pozitív, előjel nélkül ábrázolt szám, amelyben $b_{n-1}, b_{n-2}, \dots, b_{(m-2)}, b_{(m-1)}$ a szám bináris számjegyei, vagy ún. *bit*-jei. A bit elnevezés a bináris számjegy angol megfelelőjéből, a *binary digit* rövidítéséből származik. Az N számot szimbolikusan, a tízes számrendszerbeli számokhoz hasonlóan, a következőképpen szokás írni:

$$N = b_{n-1} b_{n-2} \dots b_1 b_0, b_{-1} \dots b_{-(m-2)} b_{-(m-1)}$$

ahol a vessző a szám egész és törtrészét választja el. A szám egész része a vesszőtől balra, míg a szám törtrésze a vesszőtől jobbra található. Mivel a vesszőnek egy adott helye van, ezért ezt fixvesszős számábrázolásnak nevezik. Az angolszász országokban vessző helyett pontot használnak, ezért gyakrabban találkozunk a fixpontos számábrázolás elnevezéssel. A fixpontos számábrázolást csak nagyon ritkán alkalmazzák, a valós számokat rendszerint lebegőpontos számként ábrázolják. A számítógépek általában egész számokkal és lebegőpontos számokkal dolgoznak. Ezekkel a továbbiakban fogunk részletesebben megismerkedni.

Bináris egész számok

A bináris egész számokat többféleképpen lehet ábrázolni. A leghasználtabb bináris számábrázolásokat az 1. táblázatban foglaltuk össze. Legegyszerűbb az előjel nélküli egész számok ábrázolása. Ha a fenti fixpontos N számból a törtrészt elhagyjuk, akkor egy pozitív, előjel nélküli egész számot kapunk:

$$N = b_{n-1} b_{n-2} \dots b_1 b_0$$

A számítógép által végzett aritmetikai műveletek eredménye akkor helyes, ha a várt eredmény a számábrázolási határértékek által megszabott intervallumon belül van. Ennek érdekében meg kell határoznunk az alkalmazott számhosszúságból adódó számábrázolási

határértékeket. Az N előjel nélküli egész szám alsó határértéke: $N_{\min} = 0$ és felső határértéke: $N_{\max} = 11\dots11$ (n -szer), amely tízes számrendszerben:

$$N_{\max} = \sum_{i=0}^{n-1} 1 \cdot 2^i \Rightarrow N_{\max} = 2^n - 1$$

Minél több bites a szám, vagyis minél nagyobb n , annál nagyobb a szám felső határértéke is. Egy mikroprocesszor azáltal, hogy egy egész számot a belső felépítése által megszabott hosszúságú részletekre képes feldarabolni, elméletileg bármilyen hosszú egész számmal dolgozhat. Például egy 8 bites mikroprocesszor a hosszabb számokat 8 bites részletekre szeleteli fel. A 8 bites adathosszt *byte*-nak nevezik.

Decimális Szám	Bináris pozitív szám	Decimális szám	Előjel és abszolút érték	Decimális szám	Kettes komplement
0	0000			-8	1000
1	0001	-7	1111	-7	1001
2	0010	-6	1110	-6	1010
3	0011	-5	1101	-5	1011
4	0100	-4	1100	-4	1100
5	0101	-3	1011	-3	1101
6	0110	-2	1010	-2	1110
7	0111	-1	1001	-1	1111
8	1000	0	0000	0	0000
9	1001	1	0001	1	0001
10	1010	2	0010	2	0010
11	1011	3	0011	3	0011
12	1100	4	0100	4	0100
13	1101	5	0101	5	0101
14	1110	6	0110	6	0110
15	1111	7	0111	7	0111

1. táblázat – 4 bites pozitív és negatív számok ábrázolása

A mikroprocesszornak nemcsak pozitív, hanem negatív számokkal is kell műveleteket végrehajtania. A negatív számokat többféleképpen szokták ábrázolni. Az egyik legegyszerűbb ábrázolási mód az előjel és az abszolút érték ábrázolása. Ez nagyon hasonlít a szokásos tízes számrendszerben használt ábrázoláshoz. Az előjelbitnek nevezett legnagyobb helyértékű bit nem változtat a szám értékén, csak az előjelet képviseli:

$b_{n-1} = 0$ ha a szám pozitív és

$b_{n-1} = 1$ ha a szám negatív.

A szám abszolút értékét a következő $n-1$ bit fejezi ki:

$$|N| = b_{n-2} 2^{n-2} + b_{n-3} 2^{n-3} + \dots + b_1 2^1 + b_0 2^0$$

Pozitív és negatív bináris számok legelterjedtebb ábrázolási módja a *kettes komplement* (*2's complement*). Ebben a számbábrázolásban is a legnagyobb helyértékű bit az előjelet fejezi ki, vagyis pozitív számnál $b_{n-1} = 0$ és negatív számnál $b_{n-1} = 1$. Az előbbi számbábrázolással szemben, az előjelbit -2^{n-1} negatív súlyozású. Ezzel egy n bites kettes komplementű szám értéke:

$$N_{(2)} = b_{n-1} (-2^{n-1}) + b_{n-2} 2^{n-2} + b_{n-3} 2^{n-3} + \dots + b_1 2^1 + b_0 2^0$$

Megfigyelhetjük, hogy a szám

alsó határértéke: $N_{(2)\min} = 1 \cdot (-2^{n-1}) = -2^{n-1}$

és

$$\text{felső határértéke: } N_{(2)_{\max}} = 0 \cdot (-2^{n-1}) + 2^{n-1} - 1 = 2^{n-1} - 1$$

Összefoglalásképpen az n bites egész számok határértékei az alábbi ábrázolási intervallumokat eredményezik:

- előjel nélküli számoknál: $[0, 2^n - 1]$,
- előjel és abszolút értékkel: $[0, 2^{n-1} - 1]$,
- kettes komplementben: $[-2^{n-1}, 2^{n-1} - 1]$.

A 4-, 8-, 16- és a 24-bites számok ábrázolási intervallumait a 2. táblázatban találhatjuk meg.

Számhossz bitben - n	4	8	16	24
Előjel nélküli pozitív szám	0 ... 15	0 ... 255	0 ... 65535	0 ... 16777215
Előjel és abszolút érték	-7 ... +7	-127 ... +127	-32767 ... +32767	-8388607 ... +8388607
Kettes komplement	-8 ... +7	-128 ... +127	-32768 ... +32767	-8388608 ... +8388607

3. táblázat - 4-, 8-, 16- és 24-bites számok ábrázolási intervalluma

Lebegőpontos bináris számok

A valós számokat a számítógép lebegőpontos számként kezeli. A bináris lebegőpontos számok ábrázolása nagyon hasonlít a tízes számrendszerben használt lebegőpontos számábrázoláshoz. Például 123,456-ot lebegőpontos formátumban így írhatjuk fel: $1,23456 \times 10^2$. A szám értékét az M mantissza és az E exponens (kitevő) határozza meg:

- tízes számrendszerben: $N = M \cdot 10^E$
- kettes számrendszerben: $N = M \cdot 2^E$

A mantissza egész részét elválasztó vessző, megegyezés szerint az első 0-tól különböző számjegy után kell, hogy kerüljön. Ha ez nincs így, akkor az exponenst addig kell növelni vagy csökkenteni, amíg ez a feltétel teljesül. Ekkor a mantissza ún. normalizált alakú. Megfigyelhetjük, hogy a tízes számrendszerben a mantissza akkor normalizált, ha abszolút értéke $|M| \in [1, 10)$. A kettes számrendszerben a mantissza első, 0-tól különböző számjegye csakis 1 lehet, tehát ebben az esetben a normalizált mantissza abszolút értéke $|M| \in [1, 2)$. A számítógép csak normalizált mantisszájú lebegőpontos számokkal dolgozik. Mivel normalizált mantisszánál magától érthető a vessző előtti egész részt képviselő 1-es, a számítógép csak a vessző utáni törtrészt tárolja. Az egyszeres pontosságú lebegőpontos szám 32 bites (1. ábra). A normalizált mantissza abszolút értékének törtrésztét az utolsó 23 bitben találjuk:

$$m = b_{22}b_{21} \dots b_1b_0 = m_{22}m_{21} \dots m_1m_0$$

amelyben nyilvánvaló, hogy m_{22} -nek, a legnagyobb helyértékű bitnek a súlyozása 2^{-1} . Az S előjelet b_{31} , a lebegőpontos szám legnagyobb helyértékű bite fejezi ki. Az M mantissza értékét az alábbi kifejezésből kapjuk meg:

$$M = (-1)^S \cdot (1 + m)$$

A 8 bites exponens:

$$e = b_{30}b_{29} \dots b_{24}b_{23} = e_7e_6 \dots e_1e_0$$

egész szám és 127-többletes formátumú. A számításban használható értékét úgy kapjuk meg, hogy 127-et kivonunk belőle:

$$E = e - 127$$

Lebegőpontos számábrázolási szabvány szerint, az exponens két szélső értékével különleges számértékeket ábrázolnak. Ez a két szélső érték: $e=0$ (az exponens összes bitje 0) és $e=255$ (az exponens összes bitje 1). Így, ha $e=0$ és $m=0$, akkor $n=0$ -át ábrázolnak. Ha $e=0$ és $m \neq 0$, akkor a mantissza nem normalizált, vagyis $M=0,m$ alakú és a továbbiakban normalizálni kell. Ha $e=255$ és $m=0$, akkor az előjel függvényében $N=+\infty$, vagy $N=-\infty$. Végül is, ha $e=255$ és $m \neq 0$ akkor nem lebegőpontos számmal van dolgunk, hanem hibajelzéssel.

b ₃₁	b ₃₀	b ₂₉	...	...	b ₂₄	b ₂₃	b ₂₂	b ₂₁	...	...	b ₁	b ₀
s ₀	e ₇	e ₆	...	...	e ₁	e ₀	m ₂₂	m ₂₁	...	...	m ₁	m ₀

e – exponens (8 bites)	m – mantissza (23 bites)
--------------------------	----------------------------

1. ábra – Az egyszeres pontosságú (32 bites) lebegőpontos szám formátuma

A lebegőpontos számok esetében is fontos, hogy tudjuk az ábrázolási intervallumot. Az egyszeres pontosságú lebegőpontos szám alsó- és felső határértékének modulusza tízes számrendszerben: $|N| = 1 \cdot 2^{-126} = 1,18 \cdot 10^{-38}$ ill. $|N| = (2 - 2^{-23}) \cdot 2^{127} = 3,40 \cdot 10^{38}$. Megtörténhet, hogy ezeknél kisebb ill. nagyobb számokkal is kell dolgoznunk, mint például az asztromóniában. Ezért kétszeres pontosságú (64 bites) és kétszeres-nyújtott pontosságú (80 bites) lebegőpontos számokat is használhatunk. A 80 bites ábrázolást belső pontosságúnak is nevezik, mivel a korszerű mikroprocesszorok lebegőpontos aritmetikai egysége a külső pontosságtól függetlenül, szabványos 80 bites pontossággal dolgozik. A szabványos lebegőpontos ábrázolások fontosabb jellemzőit a 4. táblázatban foglaltuk össze.

Pontosság	Formátum [bit]	Exponens [bit]	Mantissza [bit]	Tizedes értéktartomány	Tizedes számjegy
Egyszeres	32	8	23	$|N| = 1 \cdot 2^{-126} = 1,18 \cdot 10^{-38}$	7
Kétszeres	64	11	52	$2,23 \cdot 10^{-308} < |N| < 1,79 \cdot 10^{308}$	15
Belső	80	15	64	$3,37 \cdot 10^{-4932} < |N| < 1,18 \cdot 10^{4932}$	19

4. táblázat – Szabványos lebegőpontos valós számok és jellemzőik

Bináris számok hexadecimális ábrázolása

Különösen a mikroprocesszorok programozásánál igen hasznos a hexadecimális szám-ábrázolás. Amint az elnevezéséből is következtethetünk a hexadecimális számok alapja 16. A hexadecimális számábrázoláshoz szükséges 16 számjegy közül az első tíz a tízes számrendszer 0-tól 9-ig terjedő számjegye. A hexadecimális számrendszer következő 10-től 15-ig terjedő hat számjegyét sorra az A, B, C, D, E és F betűszimbólumok jelölik (4. táblázat).

Ha egy és ugyanazt a számot decimális és bináris alakban is kifejezzük, akkor láthatjuk, hogy az utóbbi mindig jóval hosszabb. A nehézkesen hosszú bináris számokat sokkal egyszerűbb hexadecimális alakban kifejezni. A 4. táblázatból láthatjuk, hogy egy hexadecimális számjegy egy 4 bites számot ábrázolhat. Ezért a hexadecimális ábrázolásra kerülő bináris számot a legkisebb helyértékű számjegytől kezdve 4 bites csoportokra osztjuk. Ezután minden egyes csoportot a hexadecimális megfelelőjével helyettesítjük. Legyen például az:

$$N = 11001000$$

8 bites szám, amelyet jobbról balra 4 bites csoportokra osztunk. Két csoportot kapunk, minden egyes csoport számára megkeressük a megfelelő hexadecimális számjegyet és behelyettesítjük:

$$N = 1100\ 1000 = \\ = C\ 8$$

A hexadecimális ábrázolású szám nagyon könnyen átalakítható binárisba, az eljárás a fentiek fordítottja. Például, vegyük az EA60-at, amelyet azonnal így alakíthatunk át:

$$N = E\ A\ 6\ 0 = \\ = 1110\ 1010\ 0110\ 0000$$

Hexa.	Bináris	Decimális
0	0000	0
1	0001	1
2	0010	2
3	0011	3
4	0100	4
5	0101	5
6	0110	6
7	0111	7
8	1000	8
9	1001	9
A	1010	10
B	1011	11
C	1100	12
D	1101	13
E	1110	14
F	1111	15

4. táblázat – Hexadecimális számjegyek, bináris megfelelőik és decimális értékeik

A hexadecimális számábrázolás azért is előnyös mert az előjelnélküli bináris számok decimális megfelelőjét könnyen ki tudjuk számítani. Ha a fenti N szám egy előjelnélküli szám, akkor:

$$N = E \cdot 16^3 + A \cdot 16^2 + 6 \cdot 16^1 + 0 \cdot 16^0 = 14 \cdot 16^3 + 10 \cdot 16^2 + 6 \cdot 16^1 + 0 \cdot 16^0 = 6000$$

Vizsgáljuk meg a bináris-hexadecimális átalakítást egy általános 12 bites előjelnélküli szám esetében:

$$N = b_{11} 2^{11} + b_{10} 2^{10} + b_9 2^9 + b_8 2^8 + b_7 2^7 + b_6 2^6 + b_5 2^5 + b_4 2^4 + b_3 2^3 + b_2 2^2 + b_1 2^1 + b_0 2^0$$

A 4 bites csoportosítási eljárást így írhatjuk fel:

$$N = (b_{11} 2^3 + b_{10} 2^2 + b_9 2^1 + b_8 2^0) 2^8 + (b_7 2^3 + b_6 2^2 + b_5 2^1 + b_4 2^0) 2^4 + (b_3 2^3 + b_2 2^2 + b_1 2^1 + b_0 2^0)$$

Láthatjuk, hogy $b_{11} b_{10} b_9 b_8$, $b_7 b_6 b_5 b_4$ és $b_3 b_2 b_1 b_0$ 4 bites csoportok hexadecimális megfelelőikkel helyettesíthetők. A csoportok súlyozása rendre: $2^8 = 16^2$, $2^4 = 16$ és $2^0 = 16^0$ és megfelel a hexadecimális ábrázolás súlyozásának.

Binárisan kódolt decimális (BCD) számok

Nagyon körülményes volna, ha az adatainkat bináris számként kellene a számítógépbe betáplálnunk valamint az is, ha eredményeinket bináris szám alakjában kapnánk meg. Még a hexadecimális ábrázolású bináris számokkal is nehezen boldogulnánk. Ezért adatbevitelnél a számítógép decimális-bináris átalakítást és adatkiolvasásnál bináris-decimális átalakítást kell végezzen. A decimális számjegyeket csak a bináris megfelelőjével tudja kezelni. Így átalakítás

előtt a decimális szám minden egyes számjegyét külön-külön 4 bites bináris megfelelőjével kell helyettesíteni. A 4 bites csoportok súlyozása megfelel a decimális számrendszerbeli decimális súlyozásnak. Ez az ún. *binárisan kódolt decimális* (BCD – Binary Coded Decimal) szám-ábrázolás. Például az $N = 3902$ decimális szám BCD-kódban így írható:

$$N = 3 \quad 9 \quad 0 \quad 2 \text{ DEC} = \\ = 0011 \ 1001 \ 0000 \ 0010_{\text{BCD}}$$

és az $N = 011101101110101$ BCD-kódban levő szám így alakítható át decimálisba:

$$N = 0111 \ 0110 \ 0000 \ 0101_{\text{BCD}} \\ = 7 \quad 6 \quad 0 \quad 5 \text{ DEC}$$

Minden egyes decimális számjegyet ábrázoló 4 bites szám biteinek a súlyozása a bináris számábrázolás szokásos értékei: $2^3 = 8$, $2^2 = 4$, $2^1 = 2$, $2^0 = 1$. Ezért ezt *természetes BCD-kódnak*, vagy *8421 súlyozású BCD-kódnak* is nevezik. Megjegyezzük, hogy a 8421 súlyozású BCD-kódon kívül még létezik a 2421 súlyozású BCD-kód, a háromtöbbletes BCD-kód és a Gray-kód is. Mivel ezeket a számítógépekben nagyon ritkán használják, nem térünk ki az ismertetésükre.

Karakterek ábrázolása ASCII kódban

A számítógépek nemcsak számokkal, hanem betűkkel is dolgoznak. A számokat és betűket együttesen *alfanumerikus karaktereknek* nevezzük. Az alfanumerikus karakterek és a fontosabb számítógépvezérlő karakterek számára szabványos kódrendszert dolgoztak ki: az ún. *ASCII* (American Standard Code for Information Interchange) kódot (5. táblázat). Az ASCII-kód 7 bites és ezáltal összesen $2^7 = 128$ karakterkódot tartalmaz. Az első 32 kód (00 ... 2F_{HEXA}) kizárólag vezérlőkarakter (a táblázatban az angol elnevezések rövidítése szerepel) a többi 96, a legutolsó kivételével, alfanumerikus. A decimális számjegyeket a 30 ... 39_{HEXA} számok kódolják. Így egy ASCII kódolású decimális számjegy bináris megfelelőjét egyszerűen 30_{HEXA} kivonásával határozzuk meg. A betűk ábécé sorrendben, egymásután következnek, külön a nagybetűk (41 ... 5A_{HEXA}) és külön a kisbetűk (61 ... 6A_{HEXA}). Kisbetűből nagybetűt 20_{HEXA} kivonásával kaphatunk és fordítva, nagybetűből kisbetűt 20_{HEXA} hozzáadásával. A fontosabb vezérlőkarakterek közül sorolunk fel egy néhányat: ESC (Escape) kilépés, BS (Backspace) visszaléptetés, LF (Line Feed) soremelés, CR (Carriage Return) kocsi vissza, SP (Space) szóköz, DEL (Delete) törlés.

Általában a legrövidebb adatszót amelyet a számítógépek kezelnek az 1 byte (8 bit), így az ASCII karaktert is 1 byte-on tárolják. 8 bittel összesen $2^8 = 256$ 1 byte-os karakter kódolható. A 7 bites ASCII kódokat az a 128 byte tartalmazza, amelynél a legnagyobb helyértékű bit 0. A soron következő 128 byte, amelynél a legnagyobb helyértékű bit 1-es, nyugat európai nyelvekben található latintól eltérő betűt, egy néhány használtabb görög betűt és különböző hasznos grafikus karaktert tartalmaz.

A számítógép a földkerekség minden táján annyira elterjedt, hogy felmerült az ismertebb nyelvek karaktereinek szabványos kódolása. Ezeket egy új szabvány, az *Unicode* tartalmazza. Az Unicode-ban a karakterek nem 8 bitre, hanem 16 bitre vagyis 2 byte-ra vannak kódolva. Ennek köszönhetően $2^{16} = 65536$ kód áll a rendelkezésére, és ezáltal képes a világ összes írott nyelvének az írásjelét kódolni. A fontosabb nyelveket említjük csak meg: latin, görög, cirill, örmény, héber, arab, hindu, tibeti. A kínai, japán és a koreai nyelvet egyesített írásjelkészlettel kódolták. Ezenkívül különböző matematikai szimbólumokat és használtabb sægédjeleket is tartalmaz. Az Unicode-ban eddig körülbelül 39000 karaktert kódoltak, a szoftverfejlesztők számára 6400 kód van lefoglalva és 18000 kód maradt használatlanul.

Karakter	ASCII hexa. kód	Karakter	ASCII hexa. kód	Karakter	ASCII hexa. kód	Karakter	ASCII hexa. kód
NUL	00	SP	20	@	40	`	60
SOH	01	!	21	A	41	a	61
STX	02	"	22	B	42	b	62
ETX	03	#	23	C	43	c	63
EOT	04	\$	24	D	44	d	64
ENQ	05	%	25	E	45	e	65
ACK	06	&	26	F	46	f	66
BEL	07	'	27	G	47	g	67
BS	08	(	28	H	48	h	68
HT	09	)	29	I	49	i	69
LF	0A	*	2A	J	4A	j	6A
VT	0B	+	2B	K	4B	k	6B
FF	0C	,	2C	L	4C	l	6C
CR	0D	-	2D	M	4D	m	6D
SO	0E	.	2E	N	4E	n	6E
SI	0F	/	2F	O	4F	o	6F
DLE	10	0	30	P	50	p	70
DC1	11	1	31	Q	51	q	71
DC2	12	2	32	R	52	r	72
DC3	13	3	33	S	53	s	73
DC4	14	4	34	T	54	t	74
NAK	15	5	35	U	55	u	75
SYN	16	6	36	V	56	v	76
ETB	17	7	37	W	57	w	77
CAN	18	8	38	X	58	x	78
EM	19	9	39	Y	59	y	79
SUB	1A	:	3A	Z	5A	z	7A
ESC	1B	;	3B	[	5B	{	7B
FS	1C	<	3C	\	5C	|	7C
GS	1D	=	3D	]	5D	}	7D
RS	1E	>	3E	↑	5E	~	7E
US	1F	?	3F	←	5F	DEL	7F

5. táblázat – ASCII karakterkészlet

Kaucsár Márton

Helyreigazítás: Vandra Attila: *Aszimmetriás szénatomot tartalmazó vegyületek optikai izomériája* című (Firka 1999-2000/1) cikkéhez.

- a 6. oldalon a 7. ábra első szerkezete alatt helyesen $I \equiv II$ (mezo 1)
- a 7. oldalon a második sor végén kimaradt: ... és egy mezo izomér. Amint az a 7. ábrán is látható négy izomérje van: egy „+”, egy „-” ...

Kémia-történeli évfordulók

1999. november – december

300 éve, 1699. december 17-én született Győrben *Torkos JUSZTUSZ János* pozsonyi orvos. Gyógyvizek és ásványvizek nagyon gondos analizisét végezte el. Elsőként írta le tudományosan a magyarországi sziksót. Kimutatta, hogy a sziksó nem azonos a hamuzsírral, mint ahogy azelőtt hitték és így Monceauval és Margraffal egidőben és tőlük függetlenül jött rá a nártium- és káliumvegyületek különbözőségére.

250 éve, 1749. november 3-án született a skóciai Edinburghban *Daniel RUTHERFORD* orvos és botanikus. A növények légzését vizsgálva kísérleteket végzett a levegő összetételének megállapítására. Izzó faszéneken vezette át a keletkezett széndioxidot, amit ő „fix levegőnek” nevezett, lúgban elnyelte és megmaradt az élet fenntartására nem alkalmas „gonosz levegő”, amit ma nitrogénnek hívunk. 1819-ben halt meg.

190 éve, 1809. december 7-én született az oroszországi Torzsokban *Alekszandr BRAMOVICS VOSZKRESZENSZKII*, a szentpétervári egyetem kémia professzora. Felfedezte a kinont és megállapította az összegképletét. A kakaó magvában felfedezte a teobromint. 1880-ban halt meg.

170 éve, 1829. december 23-án született Strassburgban *Paul SCHUTZENBERGER*. Az alkaloidák, proteinek és cukrok vizsgálatával foglalkozott és tanulmányozta az erjedéses folyamatokat. Platina-karbonilt, hipokénessavat és acetyl-cellulózt állított elő. 1897-ben halt meg.

160 éve, 1839. december 21-én született Párizsban *Émile CLÉMENT JUNGFLEISCH*. Kimutatta, hogy a foszfor lumineszcenciája oxidációs folyamatok eredménye. Vizsgálta a fruktóz és a cukor inverzióját, különböző szerves vegyületek optikai izomérjeinek egymásba történő átalakulását. 1916-ban halt meg.

1839. december 26-án született *Herman SEGER* német kémikus és kerámikus. Az égetőkemencékben a hőmérséklet mérésére bevezette a „Seger-kúpok” alkalmazását. 1893-ban halt meg.

150 éve, 1848. december 9-én született az oroszországi Kazanban *Jegor Jegorovics WAGNER*. A telítetlen vegyületek és a terpének vizsgálatával foglalkozott. Tanulmányozta a szén-szén kettőskötések enyhe oxidációját kálium-permangát oldattal (Wagner reakció). 1903-ban halt meg.

140 éve, 1859. december 2-án született Münchenben *Ludwig KNORR*. A nitrogéntartalmú heterociklikus vegyületeket tanulmányozta. Előállította az antiprint és pirazolt. Kidolgozta a pirrolhomológok előállítására szolgáló róla elnevezett szintézist. Vizsgálta a ketonol tautomériát, piperazin-származékokat és morfin alkaloidát. 1921-ben halt meg.

130 éve, 1869. december 27-én született a németországi Grossdehsaban *Alwin MITTASCH*. A heterogén katalízis vizsgálatával foglalkozott és megtalálta az ammóniaszintézis leghatékonyabb katalizátorát. 1953-ban halt meg.

120 éve, 1879. december 5-én született Ploiesti-en *Cristea NICULESCU-OTIN*. A cserzőanyagok vizsgálatával foglalkozott, tanulmányozta a króm-sókkal és tanninnal történő vegyes cserzést. Vizsgálta a növényi olajokat, a kőolajat, az aszfaltot és egyes fémek elektrokémiai viselkedését. 1954-ben halt meg.

110 éve, 1889. december 31-én született Nagyváradon *BODNÁR János*. A kolozsvári egyetem tanársegéd majd a debreceni egyetem orvosi vegytani intézetének igazgatója volt. A növényi és állati szénhidrátbomlás és szintézis biokémizmusának vizsgálatával foglalkozott. Tanulmányozta a nyomelemek hatását különböző növényekre. 1953-ban halt meg.

90 éve, 1909. december 14-én született az Egyesült Államokban Boulderben, *Edward Lawrie TATUM*. A biokémiai folyamatok gének által történő szabályozását vizsgálta, valamint a genetikai mutációkat. Orvosi és fiziológiai Nobel-díjjal tüntették ki. 1975-ben halt meg.

80 éve, 1919. december 9-én született az egyesült-állomokbeli Clevelandban *William Numm LIPSCOMB*. Molekulák és kristályok röntgenvizsgálatával foglalkozott. Tanulmányozta egyes enzimek, a N_2O_3 és a fémkarbonilok szerkezetét. Legjelentősebbek a boránok vizsgálata terén elért eredményei, melyek szerkezetét is megmagyarázta háromcentrumos, kételektronos kötések segítségével. Ezért kémiai Nobel-díjat kapott.

Zsakó János



kísérlet, labor

Sziporkázó harmatcseppek

III. rész

5. „Mikroszkópot” készítünk!

Vízzel töltött lombikon átnézve egyre közeledjünk a függönyhöz. Elég közel érve megjelenik a függöny szövési mintázatának kinagyított képe (12. ábra). A kép nagyított, egyenesállású, látszólagos.

Próbálkozzunk kisebb sugarú lombikkal is. Ahhoz, hogy éles képet láthassunk ezt még közelebb kell tartanunk a függönyhöz. Észlelhetjük a nagyítás megnövekedését.

Ezen kísérleti tapasztalatok birtokában már megépíthetjük legegyszerűbb mikroszkópunkat.

Hogyan? Csináljuk a rajzsorozat után ... (13. ábra) !

Hová tegyük a tárgyat? **Hányszoros** a nagyítás?

Huzamosabb ideig, szemünk kifárasztása nélkül nézhetjük a tőle $d=25\text{cm}$ -re - az ún. *tisztánlátás távolságára* - levő tárgyat. Ezért mikroszkópos vizsgálódásainknál *önkéntelenül*, éppen annyira közelítjük a kis tárgyat az üveggolyóhoz, hogy ennek képe szemünktől éppen a tisztánlátás távolságára keletkezzék (14. ábra). Ebből megkapható az $x_{2\text{III}}$ képtávolság: $x_{2\text{III}}=2R-d$ amelyet, ha beírunk az üveggolyó képalkotási összefüggésébe a keresett x_1

$$\text{Vagyis : } 2R - d = R \frac{(3n - 2)x_1 + 2(1 - n)R}{2(n - 1)x_1 + (2 - n)R} ;$$

$$\text{ahonnan } x_1 = R \frac{(2 - n)d - 2R}{2(1 - n)d + (n - 2)R} .$$

tárgytávolság kiszámítható:

Ezt behelyettesítjük az üveggolyó, előzőekben kapott, lineáris nagyítási képletébe és eljutunk mikroszkópunk nagyításának kifejezéséhez:

Vízzel töltött lombikot használtunk *egyszerű nagyítóként* első kísérletünknel (12. ábra). Hányszoros a nagyítás, ha:

$$b_{\text{III}} = \frac{2(n - 1)d - (n - 2)R}{nR} .$$

$R=4$ cm, $n=1,33$ és $d=25$ cm, adatainkat beírva:

$$x_1 = 0,04 \cdot \frac{(2 - 1,33) \cdot 0,25 - 2 \cdot 0,04}{2 \cdot (1 - 1,33) \cdot 0,25 + (1,33 - 2) \cdot 0,04} = -1,8 \text{ cm}$$

$$\text{és } b_{\text{III}} = \frac{2 \cdot (1,33 - 1) \cdot 0,25 - (1,33 - 2) \cdot 0,04}{1,33 \cdot 0,04} \approx 3,6 .$$

Tehát a nagyítás 3,6-szeres, ami jól egyezik a képen látottakkal. Számítsuk ki **mikroszkópunk nagyítását**!

Megmérjük a készített kis üveggolyó átmérőjét, és mivel ez csak néhány milliméter, az $R \ll \delta$ ezért $R/\delta=0$ és $\delta/R \gg 1$ használható:

$$\text{Így: } x_1 = R \frac{2 - n - 2 \frac{R}{d}}{2(1 - n) + (n - 2) \frac{R}{d}} \approx R \frac{2 - n}{2(1 - n)}$$

$$\text{és } b_{\text{III}} = 2 \left(\frac{n - 1}{n} \right) \left(\frac{d}{R} \right) - \frac{n - 2}{n} \approx 2 \frac{n - 1}{n} \left(\frac{d}{R} \right)$$

Például ha: $R=2$ mm, $n \approx 1,5$, $d=25$ cm akkor:

$$x_1 \approx 0,002 \cdot \frac{2 - 1,5}{2 \cdot (1 - 1,5)} = -0,001 \text{ m} = -1 \text{ mm} .$$

$$\text{és } b_{\text{III}} \approx 2 \cdot \frac{1,5 - 1}{1,5} \cdot \frac{0,25}{0,002} \approx 83 .$$

Mikroszkópunk 83-szorosan nagyít, ezzel már sok apró élőlényt megfigyelhetünk.

Megjegyzés: Elsőként a XVII. század vége felé a holland *Antony van Leeuwenhoek* készített ilyen „egylencsés” (kis üveggolyós) mikroszkópot, meghaladva vele a 250x-es nagyítást is, felfedezve a vörös vértesteket, néhány nagyobb baktériumot, stb.

Sajnos egyszerű kis mikroszkópunk használata kényelmetlen, kicsi a látómezője, és a széleknél eltorzítja a képet (ez jól látható még a 12. ábrán is). Ezeket a hibákat küszöbölték ki a ma közismert kétlencsés mikroszkópok megszerkesztésével.

6. Levegőbuborékok csillogása

Egy megvilágított akváriumnál fokozza a látványt a felszálló buborékok csillogása. Innen az ötlet: vizsgáljuk meg a légbuborékok optikai viselkedését visszavert, valamint átmenő fényben.

Buborék helyett villanyégőt, vagy egy gumidugóval lezárt gömbalakú üres lombikot, mérítsünk az akvárium vizébe (használjunk vasnehezéket).

„Levegő gömbünk” képalkotását megfigyelhetjük, ha világos tárgyként egy *távoli* ablakot választunk, és az akvárium oldallapját ezzel párhuzamosra állítjuk.

– Álljunk először az ablak és az akvárium közé. A lombikot nézve megállapítjuk, hogy az *első* visszatükröződéses kép egyenes állású, a *második* ennél kisebb és fordított állású. Mindkettő a lombik belsejében látható (15. ábra).

– Másodsorra, az akváriumba helyezett lombikon át nézzük az ablakot. Az ablak egyenesállású, kicsinyített képét fogjuk látni (16. ábra).

Végezzünk számításokat: **hol** jelennek meg a képek, és **mekkorák**?

A fény útját követve – az 1.) és a 4.) fejezetekhez hasonlóan – végezhetnénk számítá-

$$\text{Így: } x_{2I} = \frac{Rx_1}{2x_1 - R}, \quad b_I = \frac{R}{R - 2x_1},$$

$$x_{2II} = R \frac{\left(\frac{1}{n} - 4\right)x_1 + 4R}{2\left(\frac{1}{n} - 2\right)x_1 + \left(4 - \frac{1}{n}\right)R} = R \frac{(1 - 4n)x_1 + 4nR}{2(1 - 2n)x_1 + (4n - 1)R}$$

sainkat, de ez fölösleges. Ésszrevehetjük, hogy, ha az illető végeredményekben az n helyére $(1/n)$ -t írunk, feladatunkat már meg is oldottuk!

$$\text{és } k_{II'} = \frac{2x_1 - R}{2(1 - 2n)x_1 + (4n - 1)R}$$

a visszaverődéses képekre; az áthaladó fény esetére viszont az

$$x_{2III} = R \frac{(3 - 2n)x_1 + 2(n - 1)R}{2(1 - n)x_1 + (2n - 1)R} \quad \text{és}$$

$$b_{III} = \frac{R}{2(1 - n)x_1 + (2n - 1)R} \quad \text{képleteket kapjuk.}$$

Alkalmazásként egy számpélda:

Hol láthatjuk a képét a 4 cm sugarú gömbtől 20 cm-re levő tárgynak (pl. egy hálnak)?

Az $R=0,04$ m, $n_{(v\ddot{u}z)}=1,33$, $x_1=-0,2$ m adatok behelyettesítése után kapjuk, hogy:

$x_{2I}=1,8$ cm, $b_I=0,09$; $x_{2II}=5,1$ cm; $k_{II'}=-0,52$; $x_{2III}=-20$ cm és $b_{III}=0,2$,

vagyis a képek mind kicsinyítettek és látszólagosak.

Végezetül, **miért csillognak a buborékok?** A buborékoknál a fényforrás látszólagos képei fénylő pontokként világitanak velünk szembe, innen a csillogásuk. Hol vannak ezek? A

buborékok kis méretűek, így $|x_1| \gg R$ -re:

$$x_{2I} = \frac{R}{2}, \quad x_{2II} = \frac{1 - 4n}{2(1 - 2n)} R = \frac{1 - 4 \cdot 1,33}{2(1 - 2 \cdot 1,33)} R = 1,3R$$

$$\text{és } x_{2III} = R \frac{3 - 2n}{2(1 - n)} = -0,5R.$$

Erősen csillognak a vízben levő buborékok, ha *fényel szembe* nézzük őket. Ez magától értetődik, mivel a buborékra eső fénynek csak kis része verődik vissza, a többi átmegy rajta. *Hasonló jelenség* figyelhető meg rögtön eső után, ha egy esőcseppekkel teli fa lombzatán át nézünk egy égő utcai lámpa felé.

Visszavert fényben a buborékok csillogása jóval gyengébb, mert ekkor a fényforrás második látszólagos képe is benne van a buborékban, és ezért itt nem jelenik meg a harmatcseppeknél tapasztalt erős, keskenyszögű visszavergzés, a *sziporkázás*.

Bíró Tibor

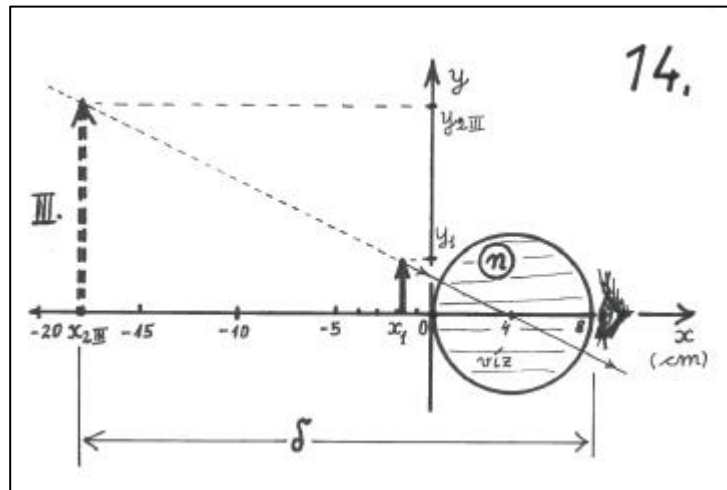
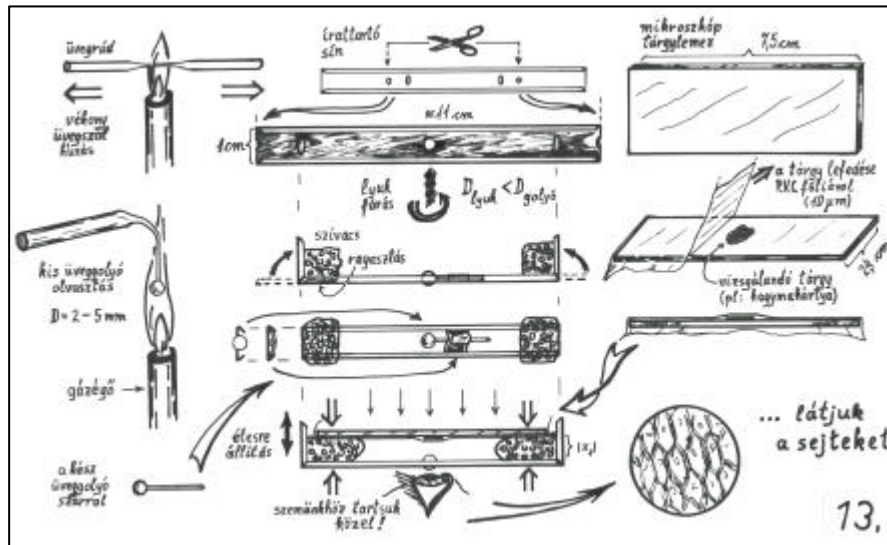
Hibaigazítás a Sziporkázó harmatcseppek II. részhez (Firka 1999-2000/1)

- 25. oldal b.) bekezdés 3. sor, helyesen: $x'O'y$
- 26. oldal c.) bekezdés 3. sor, helyesen: $x''O''y$

1999-2000/1 4. fejezet 21. sor, helyesen: $x'O'y$

123





Alkalmazott kémia

I. rész

A kémiai ismereteket gyakran hasznosítják a többi tudományban. A biológia egyike azoknak a tudományoknak, mely nagyon sokoldalúan használja a kémiai gyakorlatot. A következőkben két olyan egyszerű kísérletet ajánlunk, melyekkel a növények életével kapcsolatos tapasztalatokat szerezhetnek. A növények fejlődéséhez szükséges kémiai elemek szerepéről könnyen meggyőződhetnek, ha a következő kísérletet elvégzik.

1. Bab vagy kukoricamagból csíráztassatok (amennyiben biológia óra keretében nem végeztek ilyen gyakorlatot, kérjétek tanácsot biológianároktól) és neveljétek palántát nedves homokban, míg az első levélkéket kibontják. Ekkor a növényt óvatosan vegyék ki a homokból és egy edényben lévő vízben óvatosan távolítsák el a gyökérről a homokot. MÉRJÉTEK meg a növény, a gyökérszét hosszát, s írjátok fel az adatokat abba a jegyzőkönyvbe, amelyet a kísérletről vezettek.

A kísérlethez szükség van 5 db. műanyag margarinobozra és előre elkészített tápoldatokra (kb. 2-2,5 literre). A tápoldatok elkészítéséhez desztillált vízre és a következő, vízben oldódó sókra van szükségetek: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, CaCl_2 , MgSO_4 , KCl , K_2HPO_4 , FeCl_3 , Na_2HPO_4

1. Teljes értékű tápoldat: 1 liter desztillált vízben oldva: 0,25g $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 0,05g MgSO_4 , 0,1g K_2HPO_4 , 0,025g FeCl_3
2. Káliummentes tápoldat: 1 liter desztillált vízben oldva: 0,25g $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 0,1g Na_2HPO_4 , 0,025g FeCl_3
3. Nitrogénmentes tápoldat: 1 liter desztillált vízben oldva: 0,25g CaCl_2 , 0,05g MgSO_4 , 0,1g K_2HPO_4 , 0,025g FeCl_3
4. Foszformentes tápoldat: 1 liter desztillált vízben oldva: 0,25g $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 0,05g MgSO_4 , 0,1g KCl , 0,025g FeCl_3

A dobozokba helyezzetek egy-egy egyformán fejlett növénypalántát, s helyezzetek a dobozra a fedelét, melyet előzőleg megvágatok a szélétől a közepéig úgy, hogy a növény könnyen mozoghasson benne. Öntsetek a megszámozott dobozokba a megfelelő számú tápoldatokból, az utolsóba csak desztillált vizet. A tápoldatokat hetente friss, ugyanolyan összetételű oldattal cseréljétek. Kövessétek a növények fejlődését 6 héten keresztül. Vonjátok le a növények táplálkozására vonatkozó következtetéseket. Milyen jelentősége van a K^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} , Fe^{3+} ionoknak a növények fejlődésében?

2. A biológusok szerint a növények gyökere növekedés közben savat termel (gyökérsav), amellyel feloldják a közetszemcséket, s ezzel elősegítik a gyökér talajbahatolását.

Próbáljátok ezt igazolni kísérlettel.

a) üveg tárgylemezre nedves szűrőpapírból hosszú csíkot vágjatok, egyik vége lógjon le a tárgylemezről. Előrecsíráztatott mustárnövénykét helyezzetek a papírcsíkra úgy, hogy csak a gyökere és alsó szára kerüljön a papírra. A gyökereket takarjátok le kék lakmuszpapírral, erre újabb nedves szűrőpapírt tegyetek, s fedjétek le egy másik tárgylemezzel. Gumigyűrűvel rögzítsétek a két tárgylemezt. Pohárba kevés vizet tegyetek és helyezzetek belé a kilógó szűrőpapírcsíkos végével a tárgylemezt. Másnap válasszátok szét a tárgylemezeket és vizsgáljátok meg a lakmuszpapírt.

b) Tárgylemezt híg kalcium-hidroxid pépbe mártsatok, majd enyhe melegítéssel szárítsátok meg (egyenletes kalcium-karbonát réteg képződjön rajta). A bevonatra egy előzetesen csíráztatott búzánövénykét tegyetek gyökérével. Fedjétek be nedves szűrőpapírcsíkkal, ezt fedjétek le tárgylemezzel és mint az előző próbánál, helyezzetek kevés vizet tartalmazó főzőpohárba. Egy hét múlva szedjétek szét a tárgylemezeket óvatosan s vizsgáljátok meg a kalciumkarbonát bevonatot.

Alfa fizikusok versenye

I. forduló

VIII. osztály

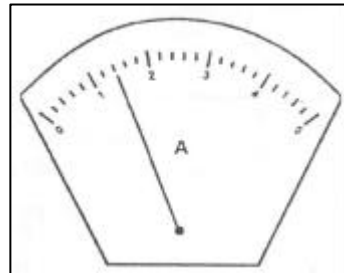
1. Gondolkozz és válaszolj!

(8 pont)

- Miért hajlik feléd a levetett műszálas pulóver alja, ha magad előtt lógatod?
- Miért vízzel oltják a tüzet?
- Miért szórja le a viharos szél a tetőcserepeket?
- Miért bélelik ki a vaskályhakat égetett agyaglapokkal?

2. Határozd meg az ábra alapján, mekkora a mérőműszer mérési határa a különböző esetekben:

- ha 1400 mA áramerősséget mér:.....
- ha 280 mA áramerősséget mér:.....
- ha 0,7 A áramerősséget mér:.....
- ha 2,8 A áramerősséget mér:.....



3. Írd be a táblázat hiányzó adatait!

(5 pont)

	F	S	r
	800 N	0.02 m ²	
	650 N	2 dm ²	
	600 N		30000 Pa
	600 N	1 dm ²	
		1 dm ²	80000 Pa

4. Tedd ki a megfelelő relációjeleket!

(3 pont)

a) $F_1 < F_2$.
 $\frac{k_1 = k_2}{M_1 M_2}$

b) $M_1 < M_2$
 $\frac{k_1 > k_2}{F_1 F_2}$

c) $0,5 M_1 = M_2$
 $\frac{F_1 = F_2}{k_1 k_2}$

5. Egy 2500 kW teljesítményű mozdony 2500 t tömegű vasúti szerelvényt 1 óra alatt vontat el a kiindulási helytől 6 km-re. A súrlódási erő a kocsik súlyának 2 %-a. Mekkora a hatásfok egyenletes vontatás esetén?

(4 pont)

6. Egészítsd ki!

A teljesítmény és az idő közöttarányosság van....., ha a állandó.
Az energiatranszformáció és az idő közöttarányosság van, ha a állandó.

(4 pont)

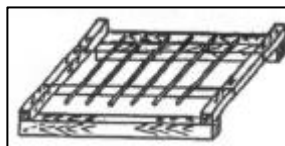
Két gép közül annak nagyobb a teljesítménye,

-
-

7. Kísérleti feladat!

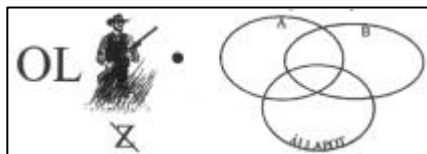
(10 pont)

A fakereten párhuzamosan damilszál van kifeszítve, rajta megdörzsölt műanyag szívószálak vannak elhelyezve. (lásd az ábrát) Ezen kísérleti eszközökkel végezz el különböző kísérleteket és részletesen magyarázd is meg. (mindenik részletesen leírt és megmagyarázott kísérlet 5-5 pontot ér)



8. 1997. március és április hónap folyamán ritka "égi jelenségben" gyönyörködhattünk. A kora esti és hajnali égbolton sziporkázó üstökös vonult át. (Írj róla egy füzetlap oldalnyit!) (4 pont)

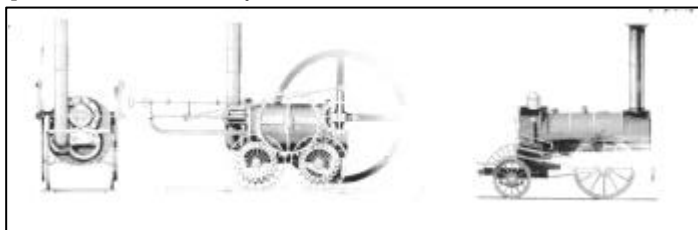
9. Fejtsd meg a rébuszokat! Mind a kettő valamilyen fizikában is használt fogalmat rejt.



10. Mi a mozdony, és milyen típusai vannak (írj róla kb. 5 mondatot)?

Mi a képen látható két mozdony neve ?

(4 pont)



Minden fordulóra érvényes útmutatások

AJÁNLOTT FORRÁSANYAGOK:

- Szemfüles évkönyvek 1998, 1999
- Szemfüles folyóiratok 1997-1999
- Tankönyvek
- Firka folyóiratok 1996-1999
- Ki kicsoda a tudományban?
- Képes diákklexikon
- 500 kérdés és válasz a fizika tárgyköréből
- 300 kérdés és válasz a fizika tárgyköréből

Balogh D. Anikó
Szöcs Domokos

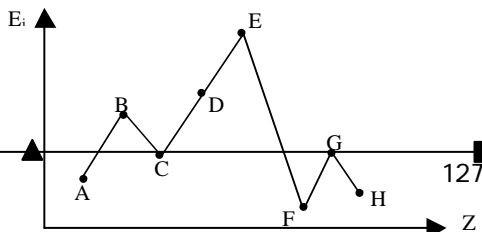
feladatmegoldók rovata

Kémia

K.G. 199. Egy bezárt üvegedényben 6 g tömegű hélium-oxigén gázkeverékben az oxigén tömege négyszer akkora, mint a héliumé. Állapítsd meg hány proton és neutron van a gázkeverékben, amennyiben az csak ^2He és ^{16}O nuklidokat tartalmaz.

K.L. 289. Nyolc, a periódusos rendszerben egymást követő elem ioni-

1999-2000/3



zációs energiáját mutatja a grafikon a rendszám függvényében. Tudott, hogy a H elem klórral HCl_3 vegyületet képez, amelynek klór-tartalma 79,78%. A H atommagjában a neutronok száma eggyel több a protonok számánál. Állapítsuk meg:

- az A, B, C, D, E, F, G, H betűkkel jelölt elemek valós vegyjelét;
- vegyértékelektronjainak számát;
- helyüket a periódusos rendszerben.

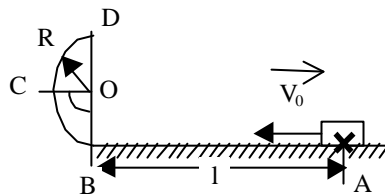
K.L. 290. Mekkora lehet a levegő sűrűsége délben azon a hegyi üdülőtelepen, ahol 18°C a levegő hőmérséklete és 720 Hgmm légnyomást mértek? Ha reggel a hőmérséklet 2°C volt, azonos légnyomás mellett, mikor volt oxigéndúsabb a levegő? A számítással alátámasztott választ indokoljátok.

K.L. 291 Mekkora térfogatot foglal el 51 kg ammónia gyártásához szükséges sztöchiometrikus nitrogén és hidrogén keverék, ha a gázkeverék hőmérséklete 400°C és nyomása 200 atmoszféra. Teljes átalakulást feltételezve mekkora térfogatot foglal el a keletkezett ammónia.

K.L. 292 100 g 30%-os kénsavoldatból 60%-os oldatot kell készítenünk 20% SO_3 tartalmú oleum segítségével. Mekkora tömegű oleumot kell kimérnünk a feladat elvégzéséhez (67,41g).

Fizika

F.L. 202. Az ábrán látható vízszintes asztallap egy $R=0,25 \text{ m}$ sugarú félkörben végződik. Az A pontból egy kis méretű testet indítunk el v_0 kezdősebességgel úgy, hogy a félkör befutása után éppen az A pontba essen vissza. A félkör belsejében a súrlódás elhanyagolható, az asztallapon a csúszási súrlódási együttható értéke $\mu=0,25$. $AB=l=1 \text{ m}$.



- Mekkora a test v_0 kezdősebessége?
- Mekkora erővel nyomja az $m=0,2 \text{ kg}$ tömegű test a pályát a C illetve D pontokban?
- Mekkora sebességgel érkezik vissza a test az A pontba? ($g=10 \text{ m/s}^2$)

F.L. 203. 500 grammos 8 m/s sebességű és 300 grammos, 6 m/s sebességű, egyenlő hőmérsékletű ólomgolyók a levegőben pontosan egymással szemben repülve rugalmatlanul ütköznek. Hány fokkal emelkedik hőmérsékletük, ha feltételezzük, hogy nincs hőleadás? Az ólom fajhője $0,003 \text{ cal/g}^\circ \text{C}$.

F.L. 204. Vízszintesen fekvő, hőszigetelt, zárt hengerben súrlódás- és szivárgásmentesen mozoghat egy elhanyagolható hőkapacitású hővezető dugattyú. Kezdetben a dugattyú egyik oldalán 3 dm^3 térfogatú, 400 kPa nyomású, 1092 K hőmérsékletű héliumgáz, a másik oldalán 2 dm^3 térfogatú, 250 kPa nyomású, 1365 K hőmérsékletű héliumgáz található, a dugattyú pedig rögzítve van. Ezután a dugattyút elengedjük.

- Mekkora lesz a kialakult végső hőmérséklet?
- Mekkorák lesznek az egyes térfogatok a végső állapotban?
- Határozzuk meg az egyensúlyi helyzetet jellemző nyomásértéket a dugattyú mindkét oldalán.

F.L. 205. Egy kúpinga fonalhossza $l=1 \text{ m}$. A fonalra erősített $m=10 \text{ g}$ tömegű, $q=1,7 \cdot 10^{-7} \text{ C}$ töltésű kis golyó vízszintes síkban körmozgást végez, melynek sugara $r=0,5 \text{ m}$.

A felfüggesztési pont alatt 36,6 cm-el egy $Q=4,08 \cdot 10^{-5}$ C töltéssel rendelkező pontszerű részecske található. Határozzuk meg a körmozgás periódusidejét.

F.L. 206. Egy függőleges egyenes vezetôben 10 A-es áram folyik lefelé. A vezetôtôl milyen távolságra található az a pont, amelyben a vezetô által létesített mágneses tér és a földi mágneses tér mágneses indukció vektorainak eredôje függôlegesen felfelé mutat? A földi mágneses tér mágneses indukció vektorának vízszintes komponense $2 \cdot 10^{-5}$ T.

F.L. 207. Adott egy üvegprizma, melynek fômetSZete egyenlô oldalú háromszög. A prizma a fômetSZet síkjában fénysugár esik, amely a prizma belsejében párhuzamosan halad az alappal és $2n$ s alatt jut át a prizma belsejében.

a) A törôéltôl mekkora s távolságban és mekkora i beesési szöggel érkezik a fénysugár a prizma belsejében?

b) Mekkora szöggel téríti el a prizma a fénysugarat?

Az üveg törésmutatója 1,5, a fény légürestérbeli sebessége $3 \cdot 10^8$ m/s.

A feladatok a Sopronban 1999. június 20-23. között megrendezett Vermes Miklós Nemzetközi Fizikaverseny feladatai.

Informatika

I.143. Írjunk eljárást a következô feladat megoldására: Adottak az x_1, x_2, \dots, x_n számok. Határozzuk meg az (o_1, o_2, \dots, o_n) sorrendet, amelyre a sorozat elemei csökkenô sorrendben vannak. Tehát $x_{o_1} \geq x_{o_2} \geq \dots \geq x_{o_n}$, ahol (o_1, o_2, \dots, o_n) az $(1, 2, \dots, n)$ indexek egy permutációja.

I.144. Írjunk programot a következô feladat megoldására: Egy versenyen több csapat szerepel. A csapatokat egy részvételi szám azonosítja, és több versenyszámban szerezhettek pontot. A program *csapat szám*, *pontszám* alakú számpárokat olvas be (ahol *pontszám* > 0), amelyek a csapatok különbözô versenyszámon szerzett eredményét jelentik. Az olvasás akkor fejezôdik be, ha a $0,0$ számpárt olvassuk. Egy csapat többször is szerepel, ha több versenyszámban szerzett pontot. Írjuk ki a következô eredmény táblázatokat, amelyekben:

- a csapatok a szerzett pontok csökkenô sorrendjében vannak,
- a csapatok által elért eredmények a csapat számok növekvô sorrendjében vannak,
- a csapatok által elért eredmények azon versenyek számának csökkenô sorrendjében szerepelnek, amelyeken a csapatok pontot szereztek.

Felvételi feladat a Matematika és Informatika Karon, BBTE, Kolozsvár, 1999

Megoldott feladatok

Kémia

K.L.287. Egy telített monool és a neki megfelelô alkén széntartalmának tömegszázalékban kifejezett aránya: 0,823. Nevezd meg a két vegyületet!

Telített monool: $C_nH_{2n+1} - OH$

Azonos C-atomszámú alkén: C_nH_{2n}

A két vegyület százalékos széntartalma:

$(14n+18)g \dots\dots\dots 12n gC$

$14n g \dots\dots\dots 12n gC$

$100 \dots\dots\dots x = 12 \cdot 100 \cdot n / (14n+18)$

$100 \dots\dots\dots y = 12 \cdot 100 / 14$

$0,823 = x/y = 14n / (14n+18)$

$n=5,98$, n a C atomok száma csak egészszámú értékének van értelme.
Következik $n=6$.



Kísérletezők versenye

3. Készítsünk légnyomásmérőt!

Építsünk légnyomásmérőt (barométert), például:

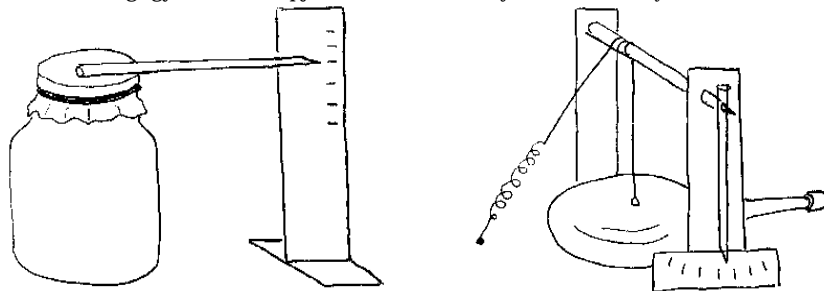
1. befőttesüvegből - léggömbdarab, gumiszalag, szívószál és ragasztószalag, vagy
2. műanyagdobozból (pl. olajozóból) – gumiszalag (rugó), cérna, szívószál felhasználásával.

Útmutatás:

1. Húzzuk rá a befőttesüveg szájára a léggömbdarabot, majd szorítsuk is rá azt egy gumiszalaggal. Gondoskodjunk arról, hogy a befőttesüveg szája tökéletesen tömítsen! (A tömitést úgy próbálhatjuk ki, hogy a lezárt üveget víz alá süllyesztjük, majd megnyomjuk a gumi felületét. Ha nem keletkeznek buborékok, akkor a tömités megfelel. A tömités biztosabb, ha a befőttesüveg száját előzőleg bezsirozzuk.) Ragasszunk a léggömbdarabhoz ragasztószalaggal egy szívószálat. Rögzítsük a befőttesüveget merevítő segítségével egy deszkadarabhoz.

2. A légmentesen lezárt lapos, vékony falú műanyagdoboz egyik oldalát deszkalaphoz ragasztjuk, a másik oldalához pedig cérnávéget. A cérnát néhányszor rácsavarjuk a fémtengelyre (kötőtű), a másik végét gumiszalaggal (rugóval) kifeszítjük. A tengelyre függőleges helyzetben szívószálat szúrunk, amelynek meghegyezett végéhez állítsunk egy beosztásos skálát. Az eszköz jelezni fogja a légnyomás (és egyben az időjárás) változását.

A skálán megfigyeléseitek alapján tüntessétek fel a *jó idő*, *változékony idő*, *rossz idő* mutató-



állást. Akármilyen más típusú légnyomásmérőt is elfogadunk!

Bibliográfia:

- 1] Judith Hann: **Barangolás a tudomány világában**. Panem Kft. Budapest, 1993
- 2] Kovács Zoltán: **Kísérletezzünk!** Firka. 1991.3. (127 old.)
- 3] *** **700 Science Experiments for Everyone**. Compiled by UNESCO, Doubleday, N.Y. 1990

Küldjétek be a szerkesztőség címére az egyik eszköz működési elvének rövid leírását, a működéséről szóló igazolást, az eszközzel készített rajzot, ha lehetséges a fényképet is! A leírás mellett adjátok meg a nevéteket, iskolátok, osztályotok, fizikatanárotok nevét, valamint az iskola postai címét! A legjobb válaszokat jutalomban részesítjük. Csoportok jelentkezését is elfogadjuk a tagok részvételi százalékarányának feltüntetésével.

Kovács Zoltán

Tartalomjegyzék

100 éve született Békésy György

A megfigyelés öröme.....	91
Az orvosi Nobel-díjas fizikus, Békésy György.....	97
„Igazi mestere az életnek, a tudománynak és a művészetnek”	102

Fizika

Sziporkázó harmatcseppek – III.....	120
Alfa fizikusok versenye.....	125
Kitűzött fizika feladatok.....	127

Kémia

A galvánelemeokről – II.....	108
Kémiatörténeti évfordulók.....	119
Alkalmazott kémia.....	124
Kitűzött kémia feladatok.....	126
Megoldott kémia feladatok	128

Informatika

A PC, vagyis a személyi számítógép – II	112
Kitűzött informatika feladatok.....	128

ISSN 1224-371X



Békésy György
1899 – 1972