

nyabb, 25  $\mu\text{m}$ -es aranyozott volfrámszálat tartalmazó kamrakeretet, a szálatokat fogpiszkálóval helyreigazították a forrasztási pont közepére, leforrasztották és snitserrel levágták a vékony szálatokat. Rézzel borított nyomtatott áramköri lapokkal zárták a tekercskeretet, amivel mechanikailag elkészült a kamra. Ezután az elektromos csatlakozások, ellenállások és kondenzátorok felforrasztása következett. A kész kamrát légmentességi és elektromossági szempontból kellett még ellenőrizni. Általában hat-nyolc kamrából áll egy detektor, nekünk hatot sikerült ennyi idő alatt elkészíteni, de két kölcsönkamrával kiegészítettük. A 8 kamra emeleit összekábelezve és a jelfeldolgozó digitális kijelzőrendszerrel ellátva detektorunk elkészült. A jelfeldolgozó és kijelző elektronikát, a nagyfeszültségű tápegységet és a gázadagoló egységet darabokban vettük meg a pályázati keretből (2. kép).

A működést 2016. május 13-án mutattuk be a Baár-Madas Református Gimnázium szülői estjén, ahol az iskola vezetése mellett hivatalosan jelen volt az iskola fenntartója képviselőjében Szabó István, Dunamelléki református püspökünk, továbbá egyik tanítványunk édesapjaként, nem hivatalosan Varga Mihály miniszter és nagyapai minőségben Kroó Norbert akadémikus is.

A pályázati program kétségtelenül hatással volt a programban résztvevő tehetségek fejlődésére. A program előtti években tehetségeink már részt vettek a korosztályos fizikaversenyeken igen jó eredményekkel (a Szilárd Leó Tehetségkutató Fizikaverseny, a Mikola Sándor Tehetségkutató Fizikaverseny és az OKTV első tíz helyezettjei között is voltak). Biztos vagyok abban, hogy a programunk évében elért újabb sikereikhez a programban való részvétel is hozzájárult. Kiemelt tehetségeink közül négyen az idén voltak végzősök, e cikk írásának napjaiban döntik el,

hogy melyik egyetem fizikusi karára jelentkeznek (Balogh Menyhértet, aki tavaly az Indiában tartott fizikai diákolimpián ezüstérmét, az idei Zürichben rendezetten aranyérmét szerzett, már februárban felvették a Cambridge-i Trinity College-ba). A nem végzősök közül ketten e cikk írásának napjaiban vannak a keszthelyi Nukleáris Táborban.

A tehetséggondozó programunk létrejöttéért sokaknak kell köszönetet mondanunk. *Sükkösd Csabának* és *Jarosievitz Beátának* akik tíz éven keresztül vitték CERN-be a középiskolás tanárokat, bevezetve minket a részecskefizika rejtelmeibe. A programban résztvevő fizikusoknak, a „CERN-i különítménynek”: Szillási Zoltánnak, Béni Noéminek, a Wigner Intézet főigazgatójának *Lévai Péternek* és a munkatársainak, Fodor Zoltánnak, Varga Dezsőnek, *Horváth Dezsőnek*, Pázmándi Péternek. Köszönet Oláh Évának, aki energikus lendületével segítette leendő fizikusaink manuális fejlődését. Laus Viventi Deo.

#### Irodalom

1. Horváth Dezső: Antianyag-vizsgálatok a CERN-ben. *Fizikai Szemle* 54/3 (2004) 90.
2. Horváth Dezső: Szimmetriák az elemi részecskék világában. *Fizikai Szemle* 53/4 (2003) 122.
3. Radnóti Katalin: Használjuk-e a centripetális erő fogalmát? *A Fizika Tanítása XVIII/4* (2010) 8–13.
4. Dombi Margit: Ködkamrák és reaktorok – Csikai Gyula elmulasztott Nobel-díjról és Teller álmairól. *Élet és Tudomány* 2014/3 4.
5. Dóczi Rita: A neutrínó visszalökő hatásának észlelése a  ${}^6\text{He}$  béta bomlásában – 50 évvel ezelőtt. *Fizikai Szemle* 55/10 (2005) 356.
6. D. Varga, Z. Gál, G. Hamar, J. S. Molnár, É. Oláh, P. Pázmándi: Cosmic Muon Detector Using Proportional Chambers. *Eur. J. Phys.* 36 (2015) 065006.
7. Oláh Éva Mária: Részecskefizika tanítása a kutatólaborban. *Fizikai Szemle* 64/9 (2014) 317.
8. Oláh Éva Mária: Hogyan építsünk műondetektort diákokkal és tanárokkal? *MAFIOK XL. konferencia*, Székesfehérvár, 2016. augusztus 22–24.

## KÖNYVESPOLC

Juhász András, Jenei Péter (szerk.):

### A FIZIKA TANÍTÁSA A KÖZÉPISKOLÁBAN I.

Elektronikus módszertani jegyzet a középiskolai fizikatanításhoz

*Végre megjelent!*

A fizika középiskolai tanításához a korábbiakban még nem készült magyar nyelvű, átfogó, a fizika középiskolában tárgyalt fejezeteit teljes körűen áttekintő módszertani szakkönyv. Az Eötvös Loránd Tudományegyetemen, illetve elődjén több mint száz éve folyik fizikatanár-képzés. Bár a felkészítésben hagyományosan komoly szerepet tölt be a szakmódszertan, a két féléves, heti két órás kollégium nem ad lehetőséget a

teljes középiskolai fizika-tananyag kellő mélységű és részletességű módszertani feldolgozására. A gyakorló iskolában végzett munka kiegészíti ugyan az elméleti képzést, de ott is csak a gyakorló tanítás során előkerülő témakörök tanítási problémái kerülnek elő. A hallgatóknak eddig nem állt rendelkezésére olyan segédanyag, amelyből az időhiány miatt kimaradt anyagrészeket pótolni tudták volna. Az iskolába kikerülő fiatal tanár számára sok módszertani kérdésben maradt tehát

a saját tapasztalat, illetve tapasztalatlanság, aminek első saját „igazi” iskolai tanítványaik látták kárát.

Az ELTE fizika módszertannal foglalkozó oktatói munkaközössége a közelmúltban belekezdett a hiánypótló munkába. Ennek eredményeként 2015 októberében végre megjelent *A fizika tanítása a középiskolában* címet viselő átfogó elektronikus egyetemi jegyzet első kötete. A jegyzet minden érdeklődő számára ingyenesen letölthető.<sup>1</sup>

A jegyzet elsődleges célja, hogy segítse a fizikaszkos tanárjelöltek módszertani tanulmányait, és vizsgára való felkészülését. A szakanyag azonban ennél sokkal általánosabban is felhasználható, gyakorló fizikatanárok, szakirányú tanártovábbképzések résztvevői, sőt doktoranduszok is haszonnal forgathatják. A sokoldalú felhasználást a jegyzet enciklopédikus jellege és modul rendszerű felépítése teszi lehetővé. A szerzők a speciális szakmódszertani kérdések és módszerek tárgyalása mellett a középiskolai tanítás nézőpontjából áttekintik a fizika tematikus fejezeteinek tartalmát is.

Időtálló szakmódszertani jegyzeteket írni nehéz, hiszen napjainkban az oktatási reformok korát éljük. Az egymást követő gyors változások miatt sokszor az iskolai tankönyvek sem készülnek el időben, és kelő színvonalon, nemhogy a tanítási gyakorlat módszereit segítő tanári kézikönyvek jelenhetnének meg.<sup>2</sup> A most megjelent szakmódszertani jegyzet igyekszik kerülni az időszerűség buktatóit. A tananyagot diszciplínárisan, a fizika fejezeteinek tudományos egymásra épülésének sorrendjében és nem adott tantervnek megfelelően dolgozza fel. A módszerek és tanítási lehetőségek kipróbált változatait mutatja be és illusztrálja kísérletekkel, kitekintésekkel és szakmai megjegyzésekkel, ugyanakkor segítséget kíván nyújtani a különböző tantervi lehetőségek közötti választáshoz is.

A jegyzet nem fizikatankönyv, nem a fizika tematikus tanulását szolgálja, és az iskolai tanításra sem használható közvetlenül. Ezzel szemben mindkét fontos témában nagyon hasznos segítséget kínál a szaktanárok számára. A tanítási módszerekre, illetve a tanítás során szükséges egyszerűsítések bemutatására, és az egyszerűsítések buktatóinak feltárására koncentrálnak. Kiemelten foglalkozik a gyakran félreértett vagy tévképzeteket keltő anyagrészekkel is. A tévképzetek általában a hétköznapiakból származnak, de számos esetben az iskolában rosszul értett, félreértelmezett ismeretanyag eredményezi őket. Legtöbbször ilyen tévképzetek állnak a háttérben annak, hogy sok diák úgy érzi képtelen megérteni a fizikát, hiába magolja be a törvényeket, az alkalmazásuk nem megy. A tévképzetek megelőzésében, illetve korrigálásában kulcsszerepük van a fizikatanároknak. A fizikatanítás sikere alapvetően a tanár tantárgyi és módszertani felkészültségén és persze elhivatottságán múlik.

<sup>1</sup> <http://ttomc.elte.hu/kiadvany/fizika-tanitasi-kozepiskolaban-i> és [http://csodafizika.hu/fiztan/letolt/fizika\\_tanitasi\\_1.pdf](http://csodafizika.hu/fiztan/letolt/fizika_tanitasi_1.pdf)

<sup>2</sup> A legutolsó nagy változás a Nemzeti Alaptanterv 2012 évi megújítása volt, amit új kerettantervek követtek. Az illeszkedő tankönyvek első változata épp, hogy elkészült, és máris az Alaptanterv újabb revíziója van napirenden.

*A jegyzet elektronikusán, pdf formátumban jelent meg.* A szerzők kihasználják az elektronikus dokumentum lehetőségeit, a jegyzet moduláris formában épül fel. A feldolgozás vázát a fizikatanítás szempontjából legfontosabb ismereteket összefoglaló tömör tematikus fejezetek adják. Ezt a fő vonalat rengeteg – kattintással behívható melléklet – kidolgozott tanítási egység, részletes kísérletleírások, feladatok, fizikatörténeti kiegészítések, technikai érdekességek, alkalmazások, szakirodalmi hivatkozások, ajánlások egészítik ki. Az internetről letölthető anyag terjedelme 733 oldal, amit további, az interneten található tartalmakhoz vezető, élő linkek egészítenek ki. A jegyzet fő vonalát kiegészítő, és kattintásra behívható kiegészítő anyagrészeket, csakúgy, mint az internetes linkeket, csak a speciális részek iránt érdeklődő olvasónak szánják a szerzők. A szakanyag sajátos szerkesztése egyrészt a gazdag tartalom jobb áttekinthetőségét biztosítja, másrészt lehetővé teszi az elektronikus jegyzet későbbiekben biztosan elkerülhetetlen tartalmi frissítését, aktualizálását.

Az első kötet bevezetőjében a szerzők ígéretet tesznek a munka folytatására. A fizika további fejezeteinek szakmódszertani feldolgozását tartalmazó második kötetet 2017 tavaszára ígérik.

*A módszertani jegyzet most megjelent első kötete öt nagy témakört tartalmaz:*

- A fizikatanítás hazai története és helye a középiskolai oktatásban
- A magyar iskolarendszer tantervi szabályozása
- A mechanika tanításának kérdései
- A termodinamika és statisztikus fizika tanítása
- Mindennapi gyakorlat módszertana

Az első rész a fizikatanítás társadalmi helyével, feladataival és a vele szemben támasztott elvárásokkal foglalkozik. Kitekintést ad a hazai fizikatanítás történetére, az alkalmazott módszerek változásaira, és ezekhez kapcsolódva néhány fontos hazai és külföldi tanítási kísérletet is bemutat.

A második rész bemutatja a magyar iskolarendszert és annak történelmi fejlődését. Az iskolarendszer legfontosabb szabályozója a tanterv. A szerzők önálló fejezetet szenteltek a jelenleg fokozatos bevezetés alatt lévő, sok vitát gerjesztő Nemzeti Alaptantervnek és az érettségi szabályzatnak. Egyik mellékletben bemutatják a nemzetközi felméréseket és azok eredményeit.

Az első kötet részletesen foglalkozik a mechanika és a termodinamika tanításának kérdéseivel. E két témakör tárgyalása talán a legfontosabb a fizika alapfogalmainak kialakításában és a tudományra jellemző gondolkodásmód megismertetésében, amelyekre a fizika további témaköreinek tárgyalása során szükség lesz. A természettudományos vagy műszaki irányban továbbtanuló diákok számára meghatározó, hogy milyen alapokkal indulnak a felsőszintű fizikatanulásban. A jegyzet kitér a csak az emeltszintű fizikatanítás során előkerülő és a különös érdeklődésre számot tartó kérdésekre is.

A mechanika tanítását a jegyzet nem az iskolában szokásos (mozgástípusok szerinti) csoportosításban, hanem kinematika és dinamika részekre osztva mutat-

ja be. Ezzel nem kötelezi el magát egyetlen tanterv mellett sem, a módszertani lehetőségek taglalásával azonban segítséget nyújt a tanárok számára a saját tantervek kialakításához.

A jegyzet első kötetének záró fejezete *A minden napok módszertani gyakorlata* címet viseli. Ebben olyan gondolatokat, ötleteket, tananyag-feldolgozási lehetőségeket talál az olvasó, amelyek sok tanár számára talán evidenciának tűnnek, azonban sokan, akik eddig semmi jelentőséget nem tulajdonítottak az ilyen lehetőségeknek, jól használhatják őket.

Minden tanárjelölt és tanár tudja, hogy órán bemutatott kísérletek nélkül nem lehet eredményesen természettudományokat tanítani, de arról, hogy miként kell a kísérleteket beépíteni a fizikaórába és hogyan kell hasznosítani a látottakat, már jóval kevesebb szó esik. Egy-egy kísérlet különböző szerepet tölthet be a fizikaórán. Ennek megfelelően kell megtervezni a kivitelezését is. A kísérletet bemutathatja a tanár, de sok esetben a tanulók által elvégzett mérés vezet az eredményes megértéshez. Keveset beszélünk a tanulók által otthon elvégezhető kísérletekről, pedig az otthoni önálló tevékenység motivációs hatása jelentős. Igen fontos minden kísérlet (beleértve az otthoniakat is) órai előkészítése és a tapasztalatok értelmezése. A 21. század önálló „kísérlettípusa” a számítógépes szimuláció. A jegyzet részletesen foglalkozik a számítógép felhasználásával és néhány tananyagot egy új fejlesztésű számítógépes program segítségével illusztrál. A szerzők a jól felszerelt és berendezett fizikaszertárat és -előadót is bemutatják. A jó és átgondolt tervezés adhat lehetőséget az iskola anyagi lehetőségeinek leghatékonyabb kihasználására.

A feladatmegoldás szintén elengedhetetlen a fizika tanítása során, de egyáltalán nem mindegy, milyen feladatok és a tanítási folyamat melyik szakaszában kerülnek közös vagy egyéni feldolgozásra. Meghatározó a feladatmegoldás célja, a tanulócsoporthoz tartozó tudásszintje, valamint motivációja.

Mind a kísérleteknek, mind a feladatmegoldásnak fontos szerepe van, ezért alaposan át kell gondolni helyüket, módjukat, szintjüket az adott témakör feldolgozása során. Ehhez a tervezéshez is kiváló segítséget nyújt a jegyzet. A feladatok újszerű „típusát” alkotják a fényképpel vagy videóval illusztrált feladatok, amelyek esetében a pusztán számoláson túl más tevékenységet, például mérést (például időt, távolságot) is kell a diákoknak végezniük.

A feladatmegoldás ritkábban alkalmazott módszere a grafikus megoldás. Grafikon segítségével sok esetben könnyebben megoldhatók a feladatok, és olyanok megoldására is lehetőség nyílik, amelyek algebrai megoldásához a tanulók még nem rendelkeznek elegendő matematikai ismerettel. (Például nem tudnak még másodfokú egyenletet vagy egyenletrendszerrel megoldani.)

Kihívást jelent a tanár számára az osztály kiemelkedően tehetséges tanulóival való foglalkozás. Ehhez is kínál segítség a jegyzet. Így például áttekintést ad a különböző fizikaversenyekről, amelyekre a legjobb tanulók felkészítése is komoly feladat.

A tankönyv, a füzet és a tábla a tanítási-tanulási folyamat klasszikus segédeszközei, amelyek az informatika századában is fontos szerepet tölthetnek be mindaddig, amíg szerepüket szerves fejlődés eredményeként, maradéktalanul át nem veszik új segédeszközök. A diákok számára mindig rendelkezésre álló, hiteles szakmai segédeszköz a tankönyv (szerepét tekintve közömbös, hogy a könyv papír alapú, vagy elektronikus). A tankönyv azonban csak kiegészítője a tanórai munkának, így csak akkor lehet hatékony, ha a tanórai munka és a tankönyv jól összeillenek. A tankönyvválasztás fontos szaktanári (munkaközösségi) feladat. Sajnos igen elterjedt és nagyon helytelen gyakorlat, hogy sok tanár egyáltalán nem használ tankönyvet a fizikatanítás során. Ez lényegesen megnehezíti a diákok önálló tanulását, otthoni munkáját. A jegyzet részletesen tárgyalja a tankönyv szerepét és segítséget nyújt a tanárnak az egyéniségéhez és az osztály adottságaihoz legjobban illeszkedő tankönyv kiválasztásához és a tanítási folyamat és a tankönyv összhangjának gyakorlati megvalósításához.

A tanórát kiegészítő önálló tanulás másik meghatározó segédeszköze a diákok füzete. Ez azonban csak akkor töltheti be funkcióját, ha vezetése szakszerű, olvasható, áttekinthető. Erre szintén a tanárnak kell figyelnie. A füzetbe kerülő óravázlat döntő részben a táblára felírtak, felrajzoltak alapján készül. Ez segíti a diákokat az önálló jegyzetelés elsajátításában, de a tananyag rögzülésében is szerepe van. A gondos füzetvezetés nevelő hatású! A füzetvezetés és a táblai tanári óravázlat fontosságáról a jegyzetben leírtak a módszertani szakirodalomban hiánypótlók.

Az információtechnológia fejlődése egyre több, a hagyományostól jelentősen különböző eszközt adott a tanárok kezébe. Számos számítógépes alkalmazás, videó, fénykép, szimuláció, kivetítés, intelligens tábla stb. áll rendelkezésünkre a tanítás hatékonyabbá tételéhez, a számítógépes világhálóról nem is szólva. Fontos azonban, hogy az új technika alkalmazása a fizikaórán ne váljék öncélúvá. Használatukat tanárnak, diáknak egyaránt meg kell tanulnia. A jegyzet ehhez is igyekszik segítséget nyújtani. A diákok nyitottak a „számítógépes világ” felé, gyorsan alkalmazkodnak az új lehetőségekhez, ezt kell kihasználni a tanórákon is, ahol ez a technológia motivációs eszközzé is válik. Az internet segítségével könnyen elérhetővé váltak olyan filmek, amelyek iskolában nem bemutatható kísérleteket és a fizikához kapcsolódó történelmi eseményeket mutatnak be. Egy kis érdekes „mozizás” mellett, hogy egy kis „legális” órai lazítás, motivációs erővel bír, megkönnyíti a tanulást. Mozgáselemző szoftverekkel a videón rögzített mozgások kiértékelésére is lehetőség van.

Nincs iskola számonkérés és értékelés nélkül, és ebben nem várható lényegi változás a jövőben sem. A jegyzet összefoglalja a számonkérés és az értékelés tartalmi lényegét, és technikai lehetőségek sokszínűségét. Hangsúlyozza, hogy a fizikaórán leginkább elterjedt írásbeli példamegoldás és tesztoldozat mel-

lett fontos szerepe van a sokszor mellőzött szóbeli számonkérésnek, de a gyakorlati készségek (kompetenciák) mérésének is.

Fogalomrendszerünkben a fizika tanítása általában az iskolai osztályteremhez és a tanórához kötődik. Kétségtelenül ez a tipikus, így annál meglepőbb, és a diákok számára szemléletformáló, ha a fizikai problémákkal nem csupán a fizika szakteremben foglalkozunk, hanem kivisszük azt szokatlan helyszínekre, udvarra, játszótérre, a havas hegyoldalra, uszodába, osztálykirándulásra stb. A helyszínhez illeszkedő fizikai problémák felvetése, helyszíni kísérletek, mérések, majd a hozzájuk kapcsolódó kiértékelések, számítások (ez utóbbiak már az osztályban történhetnek, esetleg házi feladatként is kiadhatók) jól érzékeltetik a gyerekekkel, hogy a fizikában tanultak mindennapi élethelyzetekben is jól alkalmazhatók. A jegyzet befe-

jező fejezete ilyen iskolán kívüli, rendhagyó fizika-órákhoz ad ötleteket, beleértve a fizikai szempontból fontos és érdekes tanulmányi kirándulásokhoz ajánlott helyszíneket.

A fentiekben igyekeztem bemutatni a sokunk által már régóta hiányolt jegyzet közelmúltban elkészült első kötetét. Természetesen tudom, hogy semmilyen ismertetés sem tudja helyettesíteni a saját tapasztalatokat. Jó szívvel ajánlom minden fizikatanár kollégának, hogy a jegyzetet maga is töltsse le, nézzen bele, „kattintgasson benne”, majd kezdje el mindennapi munkájában is használni, gondolatébresztőként, referenciaként, ötletforrásként. Remélem, az első részt hamarosan követik a fizika további fejezeteit hasonló szelvényben feldolgozó kötetek is, hatékony segítséget adva munkánkhoz.

Jávor Márta

## Horváth Gábor, Farkas Alexandra, Kriska György: A POLÁROS FÉNY KÖRNYEZETOPTIKAI ÉS BIOLÓGIAI VONATKOZÁSAI ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 2016, 485 oldal

A tankönyv, lévén a benne található tudásanyag gondosan felépített és jól követhető, mindenek előtt témakörönként rendezett munkanapló, hiszen a mondanivaló minden fejezetben saját kutatásokhoz és eredményekhez kapcsolódik. A poláros fényről a ket-tősen törő kristály, a látványosan indokolható Brewster-törvény és a valóban térhatású 3D filmek ugranak be. Ha nagyon igyekszem, előkerülnek bonyolult összefüggések a törés és visszaverődés intenzitásvi-szonyairól, de inkább csak úgy, hogy tudom, melyik könyvet, hol kell kinyitnom hozzájuk. Ezek után nagy élmény találkozni egy négy és félszáz oldalas könyvvel a poláros fény környezetoptikai és biológiai vonatkozásairól. Nincs szükség előzetes felkészülésre, csak elszánt odafigyelésre.

A polarizációsög (-irány) és a polarizációfok segítségével jól jellemezhető egy fénysugár lineáris polarizációs állapota: „Ha egy adott hullámhosszúságú fényben az elektromágneses rezgés egyetlen irányban történik, akkor teljesen lineárisan poláros fényről beszélünk, a rezgéssík irányát pedig polarizációiránynak nevezzük. Ekkor a lineáris polarizációfok  $d = 100\%$ .” (16. oldal)

Az égbolt (egy adott helyen és adott időben) ezekkel az egyszerű jellemzőkkel ábrázolt polarizációs mintázatának átlátása, jelentésének megértése azonban odafigyelést, magasabb szinten jártasságot igényel. A jártasság megszerzésére a könyv olvasása során mind több lehetőségünk adódik, hiszen mint utá-

zónak a térképek, a poláros környezetoptikát tanulmányozóknak a polarizációs minták bemutatása adja a pontos fogalmazás lehetőségét.

Megtudjuk, hogy miképpen alakult ki a kezdeti nehézkes mérésekből a mai, halszemoptikával ellátott, lineáris polárszűrővel felszerelt digitális fényképezőgép adatainak számítógépes feldolgozása. Az optika történetére is kellő hangsúly kerül, hiszen a polarizációs jelenségek értelmezése során alakult ki a fény, mint transzverzális elektromágneses hullám képe.

Az égboltfény polarizációját *François Arago* francia fizikus, csillagász fedezte fel és vizsgálta a 19. században és azt találta, hogy „... az égboltnak a Nappal átellenes oldalán lévő antinap felett, az antiszoláris meridián egy pontjában a polarizációfok zérus, vagyis az innen jövő fény polarizálatlan, azaz semleges (neutrális)”. (33. oldal)

A 19. század közepéig még további két neutrális pontot, a Babinet- és Brewster-pontokat sikerült megtalálni. Csak a 20. század végén, elsősorban magyar kutatók mérései mutatták ki a korábban megjósolt negyedik neutrális pont létezését, amely polarizálatlan pontot azonban csak kilométerekkel a földfelszín fölé emelkedve lehet mérésrel megtalálni. Valóban, 2001-ben több sikeres felszállás után magyar kutatók írhatták le: „Összefoglalásul megállapíthattuk, hogy hőlégballonos polarometriai méréseinkkel a világon elsőnek sikerült kísérletileg bizonyítanunk a 4. neutrális pont létét.” (53. oldal)