

5. táblázat

Egy tiszta ég (S0) és 15 teljesen borult ég (S1–S15) polarizációs sajátosságai (átlag±szórás) a spektrum vörös (V, 650 nm), zöld (Z, 550 nm) és kék (K, 450 nm) tartományában 180° látószögű képalkotó polarimetriával mérve az Északi-sarkvidéken (Arktiszon) (S1–S8) és Magyarországon (S9–S15). A  $p$  lineáris polarizációfokot az egész égboltra átlagoltuk. Az  $\alpha$  polarizációs-zög-mintázat  $z$  zajosságát a teljes égre számoltuk. Mind az arktiszi, mind a magyar helyszíneken a földfelszín nagy albedójú fehér hó és jég fedte.

N	$p$ (%) lineáris polarizációfok			az $\alpha$ -mintázat $z$ (%) zajossága		
	V	Z	K	V	Z	K
arktiszi tiszta ég						
S0	34±25	25±16	21±15	5	3	6
arktiszi teljesen borult egek						
S1	6±4	5±3	4±3	32	43	30
S2	5±3	5±3	4±2	28	29	24
S3	5±4	5±3	4±3	33	41	30
S4	5±4	5±3	4±3	31	34	27
S5	5±3	5±3	4±2	28	38	29
S6	7±4	7±4	5±3	36	37	23
S7	8±5	8±5	6±3	30	40	22
S8	5±3	4±3	3±2	27	33	31
magyarországi teljesen borult egek						
S9	5±3	5±3	4±3	27	38	29
S10	5±3	5±3	5±3	29	42	31
S11	5±3	5±3	4±3	26	32	28
S12	4±3	4±3	3±2	27	32	32
S13	5±3	5±3	5±3	26	36	29
S14	3±3	4±3	3±2	28	30	23
S15	5±3	6±4	5±3	30	42	39

pontosságát leíró hibafüggvényeket, vállalkozhatunk arra, hogy egy adott ég polarizációfok- és polarizációirány-mintázatainak mérése után számítógépes modellezéssel megbecsüljük annak valószínűségét, hogy az adott meteorológiai helyzetben mekkora annak az esélye, hogy a polarimetrikus viking módszerrel adott pontossággal megkapjuk a földrajzi északi irányt. Végül válaszolni tudunk majd arra a kérdésre, hogy milyen meteorológiai szituációkban működhetett, s melyekben nem a polarimetrikus viking navigáció.

## MAGHASADÁS, FEKETE LYUKAK

### Emlékezés John Archibald Wheelerre

John Archibald Wheeler (1911–2008), a huszadik század egyik legkiemelkedőbb fizikusa távozott közülünk 96 éves korában, 2008. április 13-án. A *Fizika Története (The Story of Physics)* című könyv a huszadik század egyik legsokoldalúbb fizikusaként említi. Rövid megemlékezésemben megpróbálom érzékeltetni, mennyire reális ez az értékelés.

Mivel az egykori viking navigátorokkal már nem végezhető el a fönti kísérletek, ezért zömében magyar egyetemi hallgatókon mérjük a polarimetrikus viking navigáció különböző lépéseinek hibafüggvényeit. E kísérletek jelenleg is folynak az ELTE Biológiai Fizika Tanszékének Biooptika Laboratóriumában.

### Köszönetnyilvánítás

Kutatómunkánkat a német Alexander von Humboldt Alapítvány műszeradamánya támogatta. A tunéziai expedíciót a Svájci Tudományos Kutatási Alap finanszírozta. A finnországi mérőkampányt az Oului Egyetem Biológiai Intézete támogatta. Az északi-sarki expedíciót a Svéd Sarkkutató Titkárság és a Lundi Egyetem szervezte és támogatta. A laboratóriumi pszichofizikai kísérletek külföldi teszt-alanyainak toborzásában és a kísérletek elvégzésében Gál József (Brémai Egyetem) és Horváth Róbert (Roskildei Egyetem) segített, amiért hálásak vagyunk. Köszönjük továbbá Selmeczi Dávidnak (Dánia), hogy Ramskou dánul publikált cikkeit magyarra fordította.

### Irodalom

1. Thirslund, S.: *Viking Navigation: Sun-Compass Guided Norsemen first to America*. Humlebaek, Denmark, Print: Gullanders Bogtrykkeri a-s, Skjern, 2001.
2. Ramskou, T.: Solstenen. *Skalk* 2 (1967) 16–17.
3. Frisch K. von: Die Polarisation des Himmelslichtes als orientierender Faktor bei den Tänzern der Bienen. *Experientia* 5 (1949) 142–148.
4. Horváth, G., Varjú, D.: *Polarized Light in Animal Vision - Polarization Patterns in Nature*. Springer-Verlag, Heidelberg–Berlin–New York, 2004.
5. Barta, A., Horváth, G., Meyer-Rochow, V.B.: Psychophysical study of the visual sun location in pictures of cloudy and twilight skies inspired by Viking navigation. *Journal of the Optical Society of America A* 22 (2005) 1023–1034.
6. Pomozi, I., Horváth, G., Wehner, R.: How the clear-sky angle of polarization pattern continues underneath clouds: full-sky measurements and implications for animal orientation. *Journal of Experimental Biology* 204 (2001) 2933–2942.
7. Suhai, B., Horváth, G.: How well does the Rayleigh model describe the E-vector distribution of skylight in clear and cloudy conditions? A full-sky polarimetric study. *Journal of the Optical Society of America A* 21 (2004) 1669–1676.
8. Hegedüs, R., Åkesson, S., Wehner, R., Horváth, G.: Could Vikings have navigated under foggy and cloudy conditions by skylight polarization? On the atmospheric optical prerequisites of polarimetric Viking navigation under foggy and cloudy skies. *Proceedings of the Royal Society A* 463 (2007) 1081–1095.
9. Hegedüs, R., Åkesson, S., Horváth, G.: Polarization patterns of thick clouds: overcast skies have distribution of the angle of polarization similar to that of clear skies. *Journal of the Optical Society of America A* 24 (2007) 2347–2356.
10. Roslund, C., Beckman, C.: Disputing Viking navigation by polarized skylight. *Applied Optics* 33 (1994) 4754–4755.

Sok évvel ezelőtt, egy princetoni látogatásom előtt írtam neki, hogy szeretnék vele interjút készíteni a *Candid Science* című sorozatunk számára. Nagy örömmre azonnal válaszolt, hogy szívesen fogad. A látogatás annyira kellemes volt, hogy későbbi útjaim során minden alkalommal meglátogattam és mindig kedvesen fogadott és rendszerint a Faculty Clubba vitt

ebédelni. Egyik alkalommal megmutatta *Einstein* korábbi szobáját és soha nem felejtette el megemlíteni, hogy mennyire szereti a magyarokat.

Először nagy sikere *Niels Bohrral* való közös munkája volt, amelyben elméleti magyarázatot adtak a pár hónappal azelőtt felfedezett maghasadásra. 1934-ben, poszt-doktorként Bohr koppenhágai intézetébe került egy évre, ami döntő hatással volt további pályájára. 1939 elején Bohr éppen Princetonba készült előadásokat tartani, amikor a hajóra szállás előtti utolsó pillanatban kapott friss híreket a maghasadás felfedezéséről. Mint ismeretes, két német kémikus, *Otto Hahn* és *Fritz Strassmann* 1938 végén uránt bombázott neutronokkal és arra gondoltak, hogy az uránnál magasabb rendszámú elemeket állítottak elő, de a kémiai elemzés szerint a termékek atomsúlya nagyjából az urán atomsúlyának fele volt. Két, Németországból elmenekült fizikus, *Lise Meitner* és unokaöccse, *Otto Frisch* értelmezték Hahnék kísérletét. Megállapították, hogy a kísérlet során maghasadás történt és bárium keletkezett. Ez az információ Bohrt egész úton nem hagyta nyugodni. Korábbi munkatársa, John Wheeler, Bohrt a New York-i kikötőben várta, és Bohr azon nyomban megkérdezte Wheelert, akar-e vele dolgozni a felfedezés elméleti leírásán. Wheeler boldogan mondott igent.

Wheeler Bohrral való közös munkájának több apró részletét is elmesélte nekem. Mint köztudott, a maghasadás angol kifejezését, „fission”, még Otto Frisch javasolta, a sejtek osztódásának mintájára. Bohrnak azonban sehogy sem tetszett ez a szó. Ha „fission” a főnév, mi lesz belőle az ige – kérdezte; azt fogjuk majd mondani, hogy a mag „fishes”? [ami angolul viccesen hangzik]. Bohr és Wheeler még a könyvtárba is elmentek, ahol mindenféle értelmező szótárakat bújva próbáltak jobb kifejezést találni – eredménytelenül. Az elnevezés végül is sikeres lett és megragadt.

Ugyancsak időt álló lett Bohr és Wheeler elmélete: azt próbálták megérteni, mi is történik az urán maghasadásakor. A bombázáskor a neutron energiát ad át az uránnak, ami a mag rezgését válthatja ki, annak deformálódásához vezetve. Arra gondoltak, ez épp olyan, mint egy kémiai reakció. Ekkor jutott Wheeler eszébe, hogy *Wigner Jenőtől* kérjen tanácsot, aki ugyan ekkor már elméleti fizikus volt, de tudta róla, hogy doktori disszertációját *Polányi Mihály* irányításával a kémiai reakciók elméletéből készítette. Wigner valóban tudott segíteni, és végül Bohr és Wheeler sikeresen kidolgozta a maghasadás elméletét, amely hamarosan megjelent a *Physical Review*-ban [1]. Érdekes véletlen, hogy a cikk éppen szeptember elsején jelent meg, azon a napon, amelyen Németország megtámadta Lengyelországot és kezdetét vette a 2. világháború.

A háborús években Wheeler, a legtöbb kiváló amerikai fizikussal egyetemben, tevékenyen kivette részét az amerikai fegyverfejlesztésekben. Részt vett a Manhattan-tervben, a hanfordi telephelyen, ahol a plutónium előállítására építettek atomreaktort. Amikor a reaktort beindították, az egy idő után elkezdett lassulni, és hamarosan le is kellett állítani. Több okra is lehetett gondolni, és végül Wheeler fejtette meg a rejtélyt: a maghasadás közben képződő egyik melléktermék okozta a reaktormérgezést. A lehetséges melléktermékek felezési idejét megállapítva rájött arra, hogy a xenon a bűnös. Ezután már egyszerűbb volt kidolgozni, hogyan lehet a problémát kiküszöbölni.

A fizikusok véleménye a Hiroshimában és Nagasakiban ledobott atombombákról megoszlik. Vannak, akik úgy gondolják, az atombombák bevetése nélkül is legyőzték volna Japánt. Wheelernek azonban más volt a véleménye. Egyfelől az amerikai szőnyegbombázások folytatása valószínűleg legalább annyi, vagy még több áldozatot követelt volna, mint az atombombák. Másrészt azt is tudta, hogy milyen sok fiatal amerikai katona életét mentette meg a Japánra ledobott két atombomba azáltal, hogy Japán ezután nagyon gyorsan kapitulált. Sokan meg is keresték Wheelert a későbbiekben, hogy személyesen is el-



John Archibald Wheeler a Princeton Egyetem fizikai tanszékén, 2001-ben. Hargittai Magdolna felvétele.

mondják neki, az atombombák mentették meg az életüket. Volt azonban egy személyes fájdalom is ezzel kapcsolatban. Öccse, *Joe*, 1944 októberében esett el az olasz fronton. Joe, bár a részleteket nem ismerte, tudta, hogy bátyja fontos, a háborúval kapcsolatos tudományos munkában vett részt. A halála előtti utolsó levelében így sürgette: *Siessetek azzal a munkával!* Sajnos, akkor még távolról sem voltak kézszen az atombombákkal. Wheeler később sokat töprengett azon, mi lett volna, ha 1945 közepe helyett már 1944 közepére elkészültek volna velük. Elképzelése szerint mintegy 15 millió életet lehetett volna megmenteni – és ez a kínzó gondolat élete végéig kísértette.

Wheeler részt vett a hidrogénbomba kifejlesztésében is. Nemrég ünnepeltük *Teller Ede* születésének századik évfordulóját, a *Fizikai Szemle* 2008. januári számának jó részét ennek szentelte. Tellerrel kapcsolatban az egyik legerősebb kritika éppen a hidrogénbomba miatt merült fel – sokak szerint a hidrogénbomba kifejlesztésére már nem lett volna szükség. Wheeler azonban Tellerrel értett egyet. Igaz, a háború után boldogan vetette bele magát az elméleti fizikába és egy ösztöndíjjal éppen Párizsban volt, amikor telefonon felhívták Washingtonból, hogy csatlakozzon a hidrogénbomba kifejlesztésén dolgozó tudóscsoporthoz. Óriási dilemma volt ez számára, folytassa az elméleti fizikai kutatásait, vagy ismét egy borzalmas fegyver kifejlesztésén dol-

gozzon. Tanítómesteréhez, Bohrhoz fordult tanácsért. Bohr nem mondta meg, hogy mit csináljon, csak a következő kérdést tette fel neki: *Vajon Nyugat-Európa szabad lehetne-e a szovjet fenyegetés árnyékában, ha nem fejlesztették volna ki az atombombát?* Wheeler számára Bohr kérdése egyértelműen megmutatta a követendő utat. Lemondott párizsi ösztöndíjáról és csatlakozott a magfúziót kutató *Matterhorn Project*hez.

Wheeler előszeretettel foglalkozott a gravitációval és Einstein általános relativitáselméletével. A gravitációs összeomlás elméletével kapcsolatos, ma már oly népszerű kifejezés, a „fekete lyuk”, egyértelműen az ő nevéhez fűződik. Hozzá kell tennem, hogy ezt nem ő találta ki. Egy konferencián beszélt a gravitációs összeomlásról, amikor valaki bekiabált a hallgatóság köréből ezzel a kifejezéssel. Wheelernek annyira megtetszett, hogy ezentúl már ő is ezt a kifejezést propagálta. Az addig használt „a gravitáció miatt teljesen összeomlott csillag” kifejezés rettenetesen hosszú volt és, ahogy Wheeler megjegyezte: *Elég néhányszor egymás után kimondani ezt a hosszú dolgot, hogy azután kétségbeesetten keressél valami mást helyette.* Persze, itt csak ezeknek a hatalmas gravitációs vonzással rendelkező csillagoknak az elnevezéséről és nem a felfedezéséről beszélünk. A fekete lyukszerű csillagok létezését már közel kétszáz évvel előttük felvetették, elsőként *John Michell* angol csillagász 1784-ben, majd vagy az ő hatására, vagy tőle függetlenül, írt ugyanerről a híres francia matematikus, *Pierre-Simon Laplace* is 1796-ban.

Fontos azt is megemlíteni, hogy kiváló tanár és legalább annyira kiváló tankönyvíró volt. Tanítványai közül *Richard Feynman* emelem ki. Könyvei didaktikusak, szép és közérthető nyelven szólnak az olvasóhoz. Különösen a *Gravitáció* című könyve [2] lett sikeres; két kollegájával, *Charles Misner*rel és *Kip Thorne*-nal együtt írta az 1970-es évek elején, és nemzedékeket tanított az általános relativitáselméletre.

Szerette a szavakat és szeretett játszani velük, sok mondására emlékeznek. Az egyik leghíresebb közülk: „Az idő az, ami megakadályozza, hogy minden egyszerre történjék.” [3].

Végül egy keveset az indulásáról. A floridai Jacksonville-ben született, de hamarosan Baltimore-ba költöztek, ott nőtt fel. Édesapja könyvtáros volt és sokat tett a könyvek és az olvasás népszerűsítéséért. Wheeler érdeklődését a természettudományok iránt valószínűleg édesanyjától örökölte. Doktorátusát a Johns Hopkins Egyetemen szerezte. Életének legnagyobb részében a Princetoni Egyetemen dolgozott, kivéve néhány évet, amelyet a Texasi Egyetemen töltött Austinban és a korábban már említett háború alatti munkáját a Manhattan-tervben és a későbbi hidrogénbomba-projektben. Utolsó találkozásunkkor épp szokásos szabadságára készült Maine-államba, ahol a családjuknak van nyaralója. Kérdeztem, mit fog ott csinálni. A következőt válaszolta: „Látod a kezemet, a lábamat? Mindegyiket boldogan odaadnám, ha megtudhatnám, mi az a kvantum? Mi az, hogy létezés? A kettő kell, hogy összefüggjön, de hogyan? A nyaralónkban van egy kő, amelyet a fiam és a felesége hozott nekem Görögországból, Athén külvárosából, ahol Platón és Arisztotelész sétált és beszélgetett. Egy olyan gépről álmodozom, amelybe beletehetném ezt a követ és a gép kiadná ezeknek a fantasztikus embereknek a beszélgetését. Mindenemet odaadnám azért, hogy hallhassam őket!”

*Hargittai Magdolna*

Magyar Tudományos Akadémia

#### Irodalom

1. Bohr N., Wheeler J.A.: The Mechanism of Nuclear Fission. *Phys. Rev.* 56 (1939) 426–450.
2. Misner C.W., Thorne K.S., Wheeler J.A.: *Gravitation*. W.H. Freeman, San Francisco, 1973.
3. Mackay A.L.: *A Dictionary of Scientific Quotations*. IOP Publishing, Bristol, 1991, 261.

## A FIZIKA TANÍTÁSA

# AZ ELEKTROMÁGNESES ÉS AZ AKUSZTIKAI DOPPLER-EFFEKTUS ELEMZÉSE GEOMETRIAI DIAGRAMOKKAL

Bokor Nándor  
BME, Fizika Tanszék

A középiskolás diákok és az első éves egyetemi hallgatók, amikor a hullámtannal ismerkednek, gyakran találják zavarba ejtőnek az elektromágneses és az akusztikus Doppler-formulák közötti különbséget. Geometriai diagramoknak, valamint az „esemény” fogalmának felhasználásával egyszerűen rá lehet világítani a kétféle Doppler-effektus közötti matematikai különbségeket fizikai okaira.

## Egydimenziós elektromágneses Doppler-effektus

Tekintsük először az elektromágneses Doppler-effektust, egy térbeli dimenzióban. Az 1. ábra egy 2-dimenziós ( $x$  és  $t$ ) téridő-diagramot mutat arra az esetre, amikor a fényforrás ( $F$ ) és a megfigyelő ( $M$ )