



Viking navigáció

Beszélgetés Horváth Gáborral

Horváth Gábor az ELTE Fizikai Intézetének habilitált egyetemi docense. Több olyan kutatást folytat, amely a sajtóban is visszhangra talál: ilyen például a zebracsíkok eredetének vagy a lovak lépéshibás ábrázolásainak a vizsgálata. Egyik új projektjében „a polarimetrikus viking navigációnak” kedvező meteorológiai viszonyokat térképezi fel.

– Nagyszerű lehet olyan kutatási eredményekkel előrukkolni, amelyek nem csak a szakmabelieket hozzák lázba.

– Bennünket is ugyanúgy érdekelnek a régi, megoldatlan problémák, mint bárki más. Már Darwin és Wallace vitatkozott azon, hogy miért csíkos a zebra. Azóta több elmélet született, ezek közül az egyik a mienk, és először mi támasztottuk alá kísérletekkel az elgondolásunkat.

Ezeknek a rejtélyeknek a bogarászásához több-kevesebb ön- és helyzetismeret is szükséges: csak olyan kérdéseket vizsgálhatunk, amelyeket Magyarországon – viszonylag kis anyagi ráfordítással – valószínűleg meg tudunk válaszolni. A viking navigáció kérdése például ilyen, pedig már magyar bírálóktól megkaptuk, hogy „magyar ember ne kutassa a svéd vikingeket”. Az égbolt-polarizáción (lásd a keretes írást) alapuló navigációt azonban a világon bárhol tanulmányozhatjuk, ha megvan hozzá a tudásunk és a felszerelésünk. A vikingeket övező misztikum miatt ez a kutatás is sokakat érdekel. Szinte minden eredmény „világszenzáció”. Természetesen tudjuk, hogy a nagy médiavisszhang gyakran nem felel meg a munka tudományos értékének. De mégis úgy hisszük, hogy ezek a régóta megválaszolatlan problémák picit olyanok, mint a nagy Fermat-sejtés, és aki megoldja őket, az megérdemli a népszerűséget.

– Mi derült ki eddig a vikingek navigációjáról?

– Tíz évvel ezelőtt jelent meg egy könyv, amelyben leírják, hogyan tájékozódhattak napsütésben a vikingek, akik nem ismerték a mágneses iránytűt. Egy kis napórát használtak.

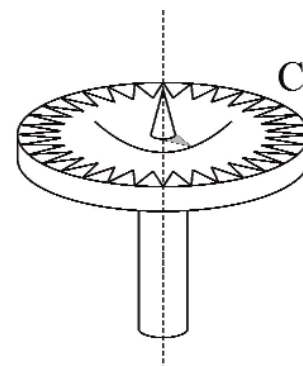
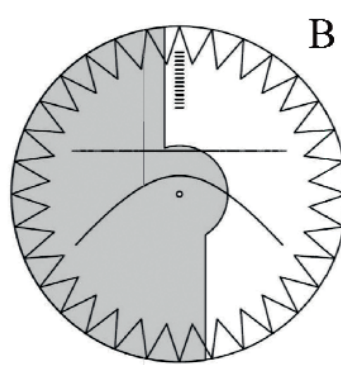
■ Az OTKA Magazinban megjelent interjú részlete.

Ha a 61. szélességi fokon, nyáron Bergen és Grönland déli csücske között hajóztak, akkor a napóra függőleges pálcikájának az óra vízszintes tárcsájára vetett árnyéka és a tárcsába karcolt megfelelő alakú hiperbola alapján meg tudták mondani, merre van észak. Ezt előzőleg „kimérték” erre a földrajzi szélességre, és kiválóan működött. A napórát régészek fedezték fel: egy kőlap meg egy fatárcsa töredékéből rekonstruálták, és kísérletekkel be is bizonyították, hogy a 61. szélességi fokon a nyári hónapok alatt egészen pontosan lehet vele navigálni napsütésben. Tehát a vikingek Bergenből elértek Grönland csücskére (ahol az egyik telepük volt), ha végig nyugati irányban haladtak a 61. szélességi fok mentén.

De hogyan tájékozódtak, amikor felhős vagy ködös volt az ég, vagyis nem sütött a Nap? A tengeren, különösen a 61. szélességi fok körül elég gyakoriak a felhők. A múlt század hatvanas éveiben egy dán régésznek, Thorkild Ramskounak az az ötlete támadt, hogy felhős vagy ködös idő-

ben a vikingek az égbolt-polarizáció alapján navigálhattak – egyes rovarokhoz hasonlóan. Korábban Karl von Frisch már felfedezte, hogy a méhek az égbolt-polarizáció segítségével tájékozódnak, amikor felhő takarja a Napot. A méhek szemében és agyában „lineáris polárszűrőként” működő fotoreceptor- és idegrendszer van, ezért „látják” az égbolt polarizációs mintázatát. A vikingek – Ramskou feltevése szerint – ehhez mankót hívtak segítségül. (Bár az emberi szem is érzékeli némiképp a poláros fényt, erre a képességre valószínűleg nem támaszkodhattak.) A hipotézis szerint a mankó a „napkő” volt, például egy kordieritkristály, amely úgy működik, mint a lineáris polárszűrő. Meg lehet vele határozni az égbolt (kellően) erősen poláros pontjaiból érkező égboltfény rezgés-síkját. Két ilyen rezgéssíkra merőleges főkör a Napban metszi egymást, ha az égbolt-polarizáció a Rayleigh-szórásnak megfelelő, vagyis a megfigyelő, a megfigyelt pont és a Nap által bezárt háromszög síkjára merőleges az égboltfény polarizációja.

A viking napóra fatárcsájának megtalált töredéke (A), a rekonstruált tárcsa felül- (B) és oldalnézetből (C)





Ez igaz, ha egyszerűen szóródik a napfény a légkörben. A fény azonban több légköri szórócentrumot (például molekulát) is eltalálhat, így többszörösen is szóródhat, de ez nem túl gyakori, ezért a Rayleigh-feltétel nagyjából teljesül. Mi éppen azt mértük ki korábban az Északi-sarkon és a világ más részein, hogy az égbolt 40–90 százaléka alkalmas a viking navigációra a felhőfedettségtől függően. Ha az ég felhősödik, csökken ez az érték, de az egész égbolt közel fele még mindig megfelel a polarimetrikus viking navigáció céljára. Nem az égboltfény polarizációirány-mintázata a szűk keresztmetszet, hanem az, hogy gyakran nagyon kicsi lehet az égboltfény polarizációfoka.

– Ez miért baj?

– A hajós úgy kémlelhette az égboltot, hogy a kordieritkristályt forgatta a szeme előtt. Ekkor szinuszszögletesen változott a kristályon áteresztett égboltfény intenzitása: hol kivilágosodott, hol besötétedett a kristály. Amikor a legvilágosabb volt, akkor a kristályba karcolatott egy vonalat, ami a Nap felé mutatott. Ezzel „kalibrálta” az eszközt. Ha ezután az égbolt bármely másik pontját vizsgálta ugyanígy, akkor a karcolat – a Rayleigh-feltétel miatt – mindig a Nap irányába mutatott. Ha a

Napot eltakarta egy felhő, de az égboltnak volt felhőmentes része, akkor a karcolat irányából megállapíthatta, merre van a nem látható Nap. Ekkor még csak a Nap irányát tudhatta. Ezért szüksége volt még egy „kalibrált” kordieritkristályra. Rayleigh-szórás esetén a két karcon átmenő főkörök a Napban metszik egymást. De ha az égboltfény gyengén poláros – lapos a szinuszszögletes görbe –, akkor az ember hiába forgatja a szeme előtt a kristályt, csak nagyon-nagyon pontatlanul tudja megmondani, mikor látja a legvilágosabbnak.

Most éppen azt próbáljuk megállapítani a laborbeli pszichofizikai kísérletekben, hogy alacsony polarizációfok esetén lehet-e így navigálni. A kísérleti alanyoknak, a „művikingeknek” majd azt mondjuk, hogy addig forgassák a kristályt, amíg a legvilágosabbnak nem látják, és akkor leolvassuk a kristály szögállását. Mi persze tudjuk majd, milyen szögben kellene tartani az eszközt, és a két szög eltérése adja meg a hibát. De itt nem állunk meg, mert a polarizációfok függvényében is mérjük – fehér fény esetén –, hogy a viking mekkora hibával határozhatta meg az égboltfény rezgéssíkjának irányát. Ez a viking navigáció első lépése, és a további lépéseket is

követve, a hibaterjedést figyelembe véve, mérjük a „navigáció hibafüggvényét”.

– Ha a vikingek valóban így navigáltak, sokat gyakorolhatták a kristály használatát: talán ügyesebbek voltak, mint a kísérleti alanyok.

– Ezt a kristályos módszert nagyon hamar megtanulja az ember. A kísérlet előtt elmondjuk, hogy mit kell csinálni, és hagyunk időt a próbálgatásra. A mindennapi életben többször is szembesülünk olyan helyzettel, amikor el kell döntenünk, hogy melyik a világosabb két folt közül: például egy potenciométerrel változtatgatjuk folyamatosan egy szoba vagy egy képernyő világítását. Persze aki sokat gyakorolja ezt a módszert, az pontosabban „mér”. Ezért mi főülbecsüljük majd a hibát: a viking valószínűleg jobb volt a leendő kísérleti alanyainknál.

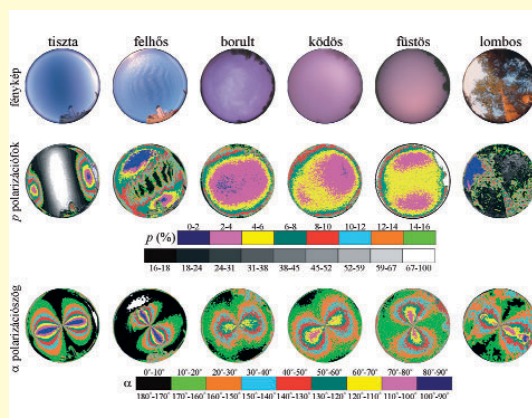
Ne felejtjük el, hogy hipotézissel van dolgunk. Eddig nem találtak csiszolt kordieritkristályt semmilyen bőrtokban, vagy más módon, amiből viking navigációs eszközre következtethetnénk. Nem találtak leírást sem a napkő működéséről. Egyetlen legenda, az úgynevezett Sigurd-saga szól arról, hogy egy viking király – a szárazföldön, nem a tengeren! – belenézett a „napkő”-be, és megmondta, hol a Nap.

Poláros fény – égbolt-polarizáció

A fény elektromágneses hullám, melyben az E elektromos és M mágneses térerősségvektorok egymásra és a terjedési irányra is merőlegesen szinuszosan rezegnek azonos fázisban. A fény színe a λ hullámhosszal kapcsolatos (λ csökkenése az érzékelt színek a vöröstől a kék felé való eltolódásához vezet), míg intenzitása az elektromos térerősség maximumának (amplitudójának) négyzetével arányos. Ha egy adott hullámhosszú fényben az elektromágneses rezgés egyetlen irányban játszódik le, akkor teljesen lineárisan poláros fényről beszélünk, a rezgéssík irányát pedig polarizációiránynak nevezzük. Ekkor a lineáris polarizációfok, $p = 100\%$. Ilyen teljesen lineárisan poláros fény tükröződik például a vízfelületről az úgynevezett Brewster-szögben, mikor a visszavert és a vízben továbbhaladó megtört fénysugár egymásra merőleges.

Ha például azonos amplitúdójú és hullámhosszú, de sok eltérő rezgéssíkú, teljesen lineárisan poláros fényt keverünk össze, akkor polarizálatlan fényhez jutunk ($p = 0\%$). Ilyen a Nap fénye, melyben a rezgéssík minden lehetséges iránya előfordul. Ugyancsak polarizálatlan

fény jön az égbolt Arago-, Babinet- és Brewster-féle neutrális pontjából, valamint a vastag felhőkből. A világos és érdes (matt) felület, például a porhó vagy a fehér homok is gyakorlatilag polarizálatlan ($p \approx 0\%$) fényt ver vissza.



Tiszta, részben felhős, teljesen borult, ködös, erdőtüztől füstös és napfény által megvilágított lomboktól zömében takart égbolt 180° látószögű halszemoptikás fényképe, valamint a spektrum kék (450 nm) tartományában képpalkotó polarimetriával mért p lineáris polarizációfokának és a helyi meridiántól számított α polarizációszögének mintázata. A napkorong egyik égbolton sem látszik

A polarizálatlan és a teljesen lineárisan poláros fény keveréke részlegesen lineárisan poláros fényt eredményez ($0\% < p < 100\%$), melyben minden irányú rezgéssík előfordul, de a teljesen poláros fény rezgéssíkja kitüntetett, mert ebben az irányban maximális az intenzitás. Ezt a kitüntetett irányt nevezzük polarizációiránynak, a p lineáris polarizációfok pedig azt adja meg, hogy az összintenzitás hányad részét képezi a teljesen poláros fény. A földi természetben leggyakrabban részlegesen lineárisan poláros fény fordul elő a fényvisszaverődésnek vagy fényszóródásnak köszönhetően. Ilyen például a szórt égboltfény, és szinte minden (nem-fémes) tárgy ilyen fényt ver vissza.

Horváth Gábor–Barta András–Suhai Bence–Varjú Dezső:

A poláros fény rejtett dimenziói (http://arago.elte.hu/files/AtomCsill-POL-1_TV_0.pdf)



Ezen az egy „ködlábon” áll a polarimetri-
kus viking navigáció teóriája. Mi a rendelkezésre álló kísérleti és égbolt-polarizációs mérési eredmények birtokában – Sherlock Holmes módjára – kiderítjük majd a részleteket, és megmondjuk, mikor működhetett ez a módszer, s mikor nem. Nem azt állítjuk, hogy a vikingek valóban így navigáltak; ezt csak régészeti leletek vagy történeti leírások bizonyíthatnák. De szerencsére Magyarországon is „nyomozhatunk”, mert ez légtörpoptikai és pszichofizikai probléma.

– *Akkor folytassuk a gondolatkísérletet! Felhó takarja a Napot, de azért sejtjük a helyét. Merre van nyugat?*

– A napkövekkel megállapított két égi főkör metszéspontjának – a Nap helyének – meghatározása is hibát hordoz; ezt a mérést is modellezzük a laboratóriumban, s egy másik pszichofizikai kísérletben megbecsüljük a hibáját. Most jön a legnehezebb feladat: a vikingnek a nem látható Napból jövő képzeletbeli napsugarak irányát „le kellett fordítania” a napórára, ami csak napsütéskor működött. Valahogyan helyettesítenie kellett a Napot. Zseblámpája nem volt, de fáklyája és segédje lehetett. Talán azt mondta: „Erik, tartsd ezt a fáklyát, és addig mozgasd, amíg ott nem látom, ahová az előbb a Napot jósltam.” A fáklya már árnyékot vethetett a napórára, melynek tárcsáját addig forgathatta a hajós a függőleges tengelye körül, amíg a kis függőleges pálcikának az árnyéka a tárcsába bekarcolt hiperbolát nem metszette. Ebben az állapotban a korong egyik kitüntetett karcolása északra mutatott.

Ezt a folyamatot laborban is modellezhettük: fáklya helyett egy alkalmas fényfoltot vetítünk majd az eget imitáló műanyag félgömbre, és annak fényénél kell megállapítani az északi irányt a viking napórával. Sokan, érthetően, elborzadnak ettől a módszertől.

– *Ez az iránymeghatározás kinek az ötlete volt?*

– Részben a miénk. Ramskou dán régész sajnos már nem él, így nem tudjuk kikérni a véleményét, de több szakértővel is konzultáltunk, és azt mondták, hogy még ez a leghihetőbb verzió. Nem látszik más megoldás, mert a vikingeknek nem volt egyéb műszerük. Sherlock Holmes a rendelkezésére álló információkból kénytelen dolgozni. Azért vitathatatlanul ez az utolsó, fáklyás lépés az elmélet legtámadhatóbb része.

– *Elég furfangos észjárás tetelezz fel.*

– A vikingek háromszáz évig uralták az Atlanti-óceán északi részét. Grönland után

továbbmentek Labradorba: ők fedezték fel elsők Amerikát is, jóval Kolumbusz előtt. Üveglencsék is voltak, bár még nem tudják a régészek, hogy ezek nagyító-, olvasó- vagy tűzgyújtó lencsék voltak-e, esetleg valamelyik főúrnak a díszgombjai. Eljutott hozzájuk az üvegtechnika, de a mágnesű csak jóval később érkezett meg.

Egy több száz évvel később elsüllyedt hajóban – nem viking hajó volt – kalcitkristályt is találtak. Ezzel még pontosabban lehet navigálni. A kalcit kettős törő: ha az ember ráragasztja a csiszolt felszínére egy fekete pöttyöt, akkor a kettős törés miatt két sötétszürke foltot lát, amikor a fénybe tartja a kristályt. Forgatáskor az égboltfény polarizációja miatt a két folt hol világosabb, hol sötétebb lesz. Amikor a két szürke folt egyformán sötét vagy egyformán világos, akkor kell rákarcolni a Nap felé mutató vonalat. Ennek a fordítottja is működik: letakarja az ember a kalcitkristályt egy fekete lappal, amibe egy apró lyukat szúr. Ha az ember átnéz a kristályon, két világos pontot lát, és ha ezeken keresztül nézi az égboltot, ezek is szinusznegyzetesen sötétednek/világosodnak. Azt a helyzetet kell megtalálni, amikor a két folt egyformán fényes. A kordieritkristály esetében memorizálni kell a „szinusznegyzet maximumát”: időbeli összehasonlításra van csak mód. A kalcitnál viszont elég a térbeli összehasonlítás, mert két foltot látunk egyszerre. Ez differenciális mérés, ami pontosabb. Az egyik hipotézis szerint így navigálhattak a vikingek. Mindenesetre kipróbáljuk: kordierit-, turmalin- és kalcitkristállyal, sőt polárszűrővel is mérünk majd.

– *A kalcit tulajdonképpen két, egymásra merőleges áteresztési irányú polárszűrő feladatát látja el. És a turmalin?*

– A turmalin a kordierithez hasonlóan lineáris polárszűrőként működik. Kissé bonyolítja a helyzetet, hogy a kordierit és a turmalin a színét is változtatja forgatás közben, ezért a kalcitnál pontatlanabban mérhetünk velük, hiszen például egy világosabb kéket meg egy sötétebb zöldet kell összehasonlítani. Már most látjuk, hogy a kalcit a legjobb. Azt nem tudjuk megmondani, hogy kalcitot, kordieritet vagy turmalint használtak-e a vikingek, de azt igen, hogy ha kalcitot használtak, akkor mennyivel pontosabban mértek, és már ez is fontos, új eredmény.

– *Másképpen nem navigálhattak a vikingek?*

– Egyes elképzelések szerint például az uralkodó szelek vagy a tengerhullámok iránya alapján is tájékozódhattak. Vagy ha

láttak egy bálnát, amelyikről, mondjuk, tudták, hogy azon a vidéken mindig nyugatra vándorol, akkor csak azt kellett követni. Az északról délre vagy fordítva repülő vándormadarak is szolgálhattak iránytűként. Ilyen „kisegítő információkat” biztosan használtak, csak az a gond, hogy a szél nem mindig ugyanabból az irányból fúj, a bálnák és a madarak sem vándorolnak mindig: ha a hajósok nem kapják el éppen a vándorlásukat, nem tudják, hogy merre van nyugat. És ha az egyik nap látják is, merre vándorolnak a tengeri állatok, a szél később is elfújhatja a hajót: másnapra elvesztik az irányt. A navigációnak éppen az a lényege, hogy naponként vagy óránként korrigálják a hajó menetirányát. Ilyen gyakran nem jönnek a bálnák vagy a madarak. A szakma is tudja, hogy a kiegszítő információk sorozata talán lefedheti azt a több hónapot, amíg egy viking hajó Bergenből elér Grönland csücskéig, de az információlánc sokszor hetekre is megszakadhat. Több apró jel segíthet, hosszú távon azonban nem működhet ez a rendszer, háromszáz évig különösen nem. Erre nem bízhatták egy nép veszélyes tengeri útjainak a navigációját.

Még a feltételezett viking navigáció el-
lenére is nagyon sokan a tengerbe veszték: előfordult, hogy egy 50–60 hajós flottából csak egy-kettő érkezett meg. Ha például két hétig nagyon felhős vagy ködös volt az idő, akkor hiába igaz a Rayleigh-feltétel, olyan kicsi lehetett az égboltfény polarizációfoka, hogy nem tudhatták pontosan megállapítani a Nap állását. Egyes járulékos információk viszont szerepelnek a viking sagákban. Ezeket a jeleket persze nem csak a vikingek ismerték. De főként a szárazföld közelében támaszkodhattak rájuk, rövidebb hajóutakon.

Mi nem azt vállaltuk, hogy megmondjuk, miként navigáltak a vikingek, hanem azt, hogy megbecsüljük ennek a többlépcsős, égbolt-polarizáción alapuló navigációs módszernek a hibáit, és feltárjuk, milyen meteorológiai körülmények között használható, és mikor nem.

Talán sikerül egy több száz éves rejtélyt megoldanunk. Ettől, persze, még nem mennek gyorsabban az autók, nem lesz kisebb a szegénység a Földön. De talán jó lesz valamire, hiszen például a polarizációs kutatásainkból kiderült, hogy a zebracsíkok védene a bögyök ellen. Amikor, mondjuk, egy evezős zebracsíkos pótlót húz, nem repülnek rá a bögyök, még ha különben agyoncsípnek is a víz közelében.

Silberer Vera