


 Keresés:

 Belépések: [KUTATÓI](#) | [INTÉZMÉNYI](#) |

FŐMENÜ

- ▶ OTKA
- ▶ Belépés
- ▶ Pályázatok
- ▶ Támogatott kutatások
- ▶ Nemzetközi ügyek
- ▶ Elektronikus ügykezelés
- ▶ Letöltés
- ▶ Kiadványok
- ▶ Kapcsolat
- ▶ Partnereink
- ▶ Fórum
- ▶ oldalterkep

REGISZTRÁCIÓ

 Felhasználó:
 Jelszó:

[Elfelejtett jelszó](#)

2012. október

Nyomtatás

EXTRANET

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 (http://arago.elte.hu/files/ZebraBogoly_TV.pdf, http://arago.elte.hu/files/TabanidZebraPol_JEB.pdf) vagy a lovak lépéshibás ábrázolásainak (http://arago.elte.hu/files/MuvesziLoJaras_FSZ.pdf, http://arago.elte.hu/files/QuadrupedGaitErrors_CB.pdf) a vizsgálata. Mostani OTKA-projektjének egyik célja "a polarimetrikus viking navigációnak kedvező meteorológiai viszonyok" feltérképezése.



A német Polarstern kutatóhajó előtt
[Videórészletek a beszélgetésből](#)

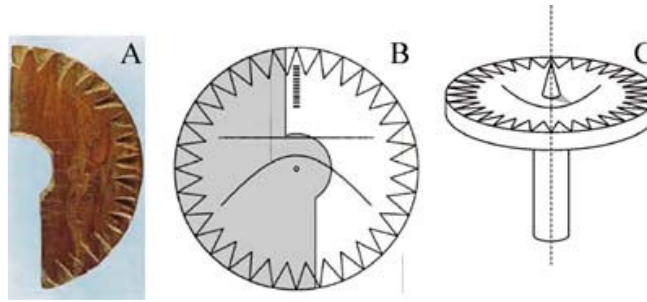
Nagyszerű érzés lehet olyan kutatási eredményekkel előrukkolni, amelyek nem csak a szakmabelieket hozzák lázba.

Bennünket is ugyanúgy érdekelnek a régi, megoldatlan problémák, mint bárki más. Már Darwin és Wallace vitakozott azon, hogy miért csíkos a zebra. Azóta több elmélet született, ezek közül az egyik a miénk, 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-polarizáció (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.

Mit tudnak a szakemberek 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.



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

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 Bergentől 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 Ramskounek az az ötlete támadt, hogy felhős vagy ködös időben 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 rezgéssíkját. Két ilyen rezgéssíkra merőleges főként a Napban metszi egymást, ha az égbolt-polarizáció a Rayleigh-szórásnak megfelelő, vagyis a megfigyelt, a megfigyelt pont és a Nap által bezárt háromszög síkjára merőleges az égboltfény polarizációja. 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 felhőfedettségétől 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 kémlélhette az égboltot, hogy a kordieritkristályt forgatta a szeme előtt. Ekkor szinusznégyszetesen változott a kristályon áteresztett égboltfény intenzitása: hol kivilágosodott, hol besötétedett a kristály. Amikor a legvilágosabb volt, akkor a kristályba karcolhatott egy vonalat, ami a Nap felé mutatott. Ezzel "kalibrálta" az eszközt. Ha ezután az égbolt bármely másik pontját vizsgálta ugyanígy, akkor a karcolás - a Rayleigh-feltétel miatt - mindig a Nap irányába mutatott. Ha a Napot eltakarta egy felhő, de az égboltnak volt felhőmentes része, akkor a karcolás 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 szinusznégyszetes görbe -, akkor az ember hiába forgatja a szeme előtt a kristályt, csak nagyon-nagyon pontatlanul tudja megmondani, mikor látja a legvilágosabbnak.

Az OTKA-programunk egyik részében 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 e módszert, az pontosabban "mér". Ezért mi fölülbecsüljük 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 börtökben, 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. Ezen az egy "kódlábon" áll a polarimetrikus 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 légköroptikai és pszichofizikai probléma.

Akkor folytassuk a gondolatkísérletet! Felhő 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 jósoltam." A fáklya már árnyékot vetetett 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 kitétetett karcolása északra mutatott.

Ezt a folyamatot laborban is modellezhetjük: 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 legtamadhatóbb része.

Elég furfangos észjárását tételez fel.

A vikingek háromszáz évig uralták az Atlanti-óceán északi részét. Grönland után továbbmentek Labradorba: ők fedezték fel elsőnek 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 mágnestű 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 rárak 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 szinusznégyszeresen sötétednek/világosodnak. Azt a helyzetet kell megtalálni, amikor a két folt egyformán fényes. A kordieritkristály esetében memorizálni kell a "szinusznégyszert 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 kalcitkristályal, 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 tájékozódtak. Vagy ha láttak például 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 kiegészítő 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 ellenére is nagyon sokan a tengerbe veszttek: 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 védenek a bögölyök ellen. Amikor, mondjuk, egy evezős zebracsíkos pólot húz, nem repülnek rá a bögölyök, még ha különben agyoncsípnék is a víz közelében.

Alacsonyabb rendűnek érzi azt a kutatást, amelyiknek "csak" kultúrtörténeti hozadéka van?

Inkább csak kevésbé hasznosnak, mert az elmúlt években nagyon innovatív és gyakorlatorientált szemléletű lettem. Ennek ellenére folytatom a viking navigációs vizsgálatot, de már gondolkodom azon, hogy milyen haszon származhat belőle.

A mostani OTKA-projektjükből is látszik, hogy az égbolt-polarizációs kutatások egyáltalán nem használtak.

Igaz: az égbolt-polarizációt mérő műszerrel - amivel a viking navigációnak is utánajárunk - a meteorológusok pontosabban megállapíthatják, hol vannak a felhők. Most két műszert készítettünk és ezeket "sztereóba kötjük": így még pontosabban mérhető, hogy az égboltnak hány százalékát borítják felhők. Ez az információ a meteorológiai modellek egyik legfontosabb bemeneti adata, és ha pontosabb, akkor az időjárás-előrejelzés, később pedig a klíma-modellek is javulhatnak.

Hogyan módosítja az égbolt-polarizációt egy vulkánkitörés vagy egy homokvihar?

Erre a kérdésre is választ keresünk. Két éve az Eyjafjalla vulkán kitörése miatt egy sor repülőgépjáratot töröltek. Amikor fölhígul kicsit a vulkáni aeroszol-szennyezés, szabad szemmel talán már nem is látható, de az égboltfény polarizációs jelét még jelentősen csökkentheti. Eddig csak a lineáris polarizációról beszéltünk, de cirkuláris polarizáció is létezik (ilyenkor az elektromos és mágneses térerősség vektora a terjedési irányra merőlegesen forog). A cirkuláris polarizációs jelből még azt is meg lehet mondani, hogy egy felhő ásványi szemcsékből, jégből vagy vízből áll-e. Eső csak az utóbbiból várható.

Az egyik doktoranduszom, Farkas Alexandra rendszeresen figyeli a műholdképeket, és riaszt engem, ha - mondjuk - porfelhő érkezik Afrikából. Akkor kimegyünk a Duna-partra, és mérjük az égbolt polarizációs mintázatát egy hordozható képkalkító polariméterrel. Aztán várunk néhány napot vagy hetet, amíg ki nem tisztul a levegő, és újra mérünk. Ugyanígy "vadászunk" az erdőtüzek, vulkánkitörések aeroszol-felhőire és a szélporozta növényekből származó pollenfelhőkre.

Az ilyen légköri szennyeződések hatására lecsökken az égboltfény polarizációfoka, és változik a polarizációirány mintázata is, például arrébb tolnak a neutrális pontok, ahonnan polarizálatlan égboltfény jön. Bennünket elsősorban a biológiai vonatkozások érdekelnek, mert számos állatfaj navigációja az égbolt-polarizáción alapszik. Ha egy állatnak olyan kicsi a polarizáció-érzékenységi küszöbe, mint például a mezei tücsköké, amelyek 5-6%-os polarizációfokot már érzékelnek, akkor vastag felhők alatt, vagy nagyon szennyezett levegőben, akár eső közben is "látja" a Napot: legalábbis az égboltfény polarizációjából tudja, hogy merre van a Nap. Az égboltfény polarizációirány-mintázata annyira markáns és időjárás-független jel, hogy számos állatfaj erre építi az életét. Bajba akkor kerülhetnek, ha például napfogyatkozáskor megváltozik e mintázat. A méhek ilyenkor eltévedhetnek, elfogy a magukkal vitt "üzemanyag" (méz, nektár), és elpusztulnak. Akkor is eltévedhetnek, ha az erdőtüzek füstje miatt az érzékenységi küszöbük alá csökken az égboltfény polarizációfoka. Az erdőfüst égbolt-polarizációt csökkentő hatását már mértük Alaszkában. A biológusok megfigyelték, hogy egyes repülő rovarrajok, amelyek akkor is nyílegyenesen repülnek a céljuk felé, mikor felhők takarják a Napot, az erdőtüz kitérésekor keletkező füstfelhő alatt eltévednek. Ilyenkor megállnak, és csak akkor indulnak tovább, amikor a szél elfújja a füstöt.

Ha elég híg a homok- vagy a vulkáni hamufelhő, nem tévednek el. Mi ezt a "hígítási küszöböt" határozzuk meg az égbolt-polarizációs mintázat mérésével - előttünk még senki sem szolgáltatott ilyen adatokat. Ennek is viszonylag egyszerű a metodikája, de résen kell lenni: mindig akkor kell mérni, amikor ezek a légköroptikai jelenségek megjelennek. Ezért kell rájuk "vadászunk". "Cserébe" szinte minden ilyen eredményünk újdonságnak számít és rögtön publikálható nivós nemzetközi folyóiratokban.

Ez olyan klasszikus kísérlet, mint amilyeneket sok évtizeddel vagy akár évszázaddal ezelőtt gondoltak ki.

Amikor hőlégballonról, 4 km magasságban kimutattuk az égbolt-polarizáció utolsó, negyedik neutrális pontjának a létezését, egy NASA-kutató gratulált nekünk. Azt mondta, azt szereti a csapatunkban, hogy ilyen klasszikus módszerek használatával megidézünk a tudományos kutatás pályaválasztó fiatalokat lelkesítő hőskorát.

Pascal is hasonlóan mérte a légnyomást például a Saint Jacques-torony alján és tetején.

Vagy Jacques Babinet, a híres francia meteorológus és fizikus a légkör hőmérséklet- és nyomáscsökkenését a magasság függvényében egy könnyű gázzal töltött ballonról. Mi persze nem a légnyomást mértük, de az attitűd ugyanaz, legfeljebb a mérőberendezés bonyolultabb. A tudományban az is hajtja az embert, hogy élvezze, amit csinál. És a negyedik neutrális pontot nem a csúcstechnológiát használó NASA-kutatókról, hanem rólunk fogják elnevezni...

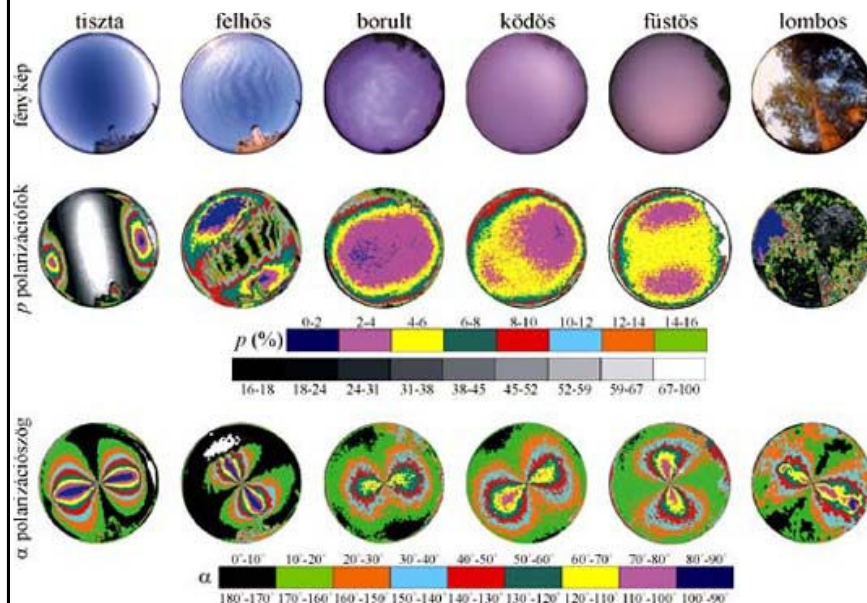
Silberer Vera

Poláros fény - égbolt-polarizáció

A fény elektromágneses hullám, melyben az \underline{E} elektromos és \underline{M} mágneses térerősségvektorok egymásra és a terjedési irányra is merőlegesen szinuszosan rezegnek azonos fázisban. A fény színe a λ hullámhosszal kapcsolatos (é csökkenése az érzékelt színnek a vöröstől a kék felé való eltolódását eredményezi), míg intenzitása az elektromos térerősség maximumának (amplitudójának) négyzetével arányos. Ha egy adott hullámhosszúságú fényben az elektromágneses rezgés egyetlen irányban játszódik le, akkor teljesen lineárisan poláros fényről beszélünk, a rezgés 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 hullámhosszúságú, de sok eltérő rezgésű, teljesen lineárisan poláros fényt keverünk össze, akkor polarizálatlan fényhez jutunk ($p = 0\%$). Ilyen a Nap fénye, melyben a rezgés minden lehetséges iránya előfordul. Ugyancsak polarizálatlan fény jön az égbolt Arago-, Babinet- és Brewster-féle neutrális pontjaiból, valamint a vastag felhőkből. A világos és érdes (matt) felület, például a porhó vagy a fehér homok is gyakorlatilag polarizálatlan (p kb. 0%) fényt ver vissza.

A polarizálatlan és a teljesen lineárisan poláros fény keveréke részlegesen lineárisan poláros fényt eredményez ($0\% < p < 100\%$), melyben minden irányú rezgés előfordul, de a teljesen poláros fény rezgés iránya kitért, mert ebben az irányban maximális az intenzitás. Ezt a kitért irányt nevezzük polarizációiránynak, a p lineáris polarizációfok pedig azt adja meg, hogy az összintenzitás hányad részét képezi a teljesen poláros fényé. A földi természetben leggyakrabban részlegesen lineárisan poláros fény fordul elő a fényvisszaverődésnek vagy fényszórásnak köszönhetően. Ilyen például a szórt égboltfény, és szinte minden (nemfém) tárgy ilyen 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 képkalkító polarimetriával mért p lineáris polarizációfokának és a helyi meridiántól számított α polarizációs szögének a mintázata. A napkorong egyik égbolton sem látszik

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

[A poláros fény rejtett dimenziói](#)

Vissza \blacktriangleleft
Laptetőre \blacktriangleright