

A HOLDILLÚZIÓ PSZICHOFIZIKAI VIZSGÁLATA FESTMÉNYEKEN ÉS TERMÉSZETFOTÓKON

2. rész: a holdillúzió festményeken és fényképeken mért értéke

Kovács Zoltán, Udvarnoki Zoltán, Papp Eszter, Horváth Gábor
ELTE, Biológiai Fizika Tanszék, Környezetoptika Laboratórium

Cikkünk 1. részében a holdillúziót magyarázó fontosabb elméleteket és e vizuális érzéksalódást vizsgáló jelentősebb pszichofizikai kísérleteket, azok eredményeit foglaltuk össze. A 2. részben saját holdillúziós pszichofizikai kísérleteinket, eredményeinket mutatjuk be [1, 2].

Holdillúziós pszichofizikai kísérleteink

A Holdat (zömében teliholdat) vagy a Napot is ábrázoló festmények képeit több különböző forrásból gyűjtöttük, miközben igyekeztünk minél szélesebb időszakból válogatni őket (1534–2017). Az 1–70. sorszámú kép Holdat tartalmazott, a 71–100. sorszámúak pedig Napot (7. *ábra*). A holdas képeket kiretusált Holddal az 1. kísérletben alkalmaztuk, míg kiretusálatlan Holddal a 2. kísérletben. A 3. kísérletben használt magyarországi 100 természetfotó nagy részén eredetileg nem volt Hold vagy Nap, ellenkező esetben a hold/napkorongot szemmel észlelhető nyom nélkül kiretusáltuk (7. *ábra*).

Az 1. kísérletben használt számítógépes program véletlen sorrendben mutatott egy adott tesztalanyok 100 különböző festményképet a képernyőn. Minden egyes képnél előre meghatároztunk egy pozíciót, ahol a Holdat vagy Napot reprezentáló korong jelent meg. E képpozíciókat a program egy adatállományból olvasta

be. Egy adott képnél a program csak az egérgörgő forgatására jelenítette meg a holdas képeknél fehér, a napos képeknél pedig sárga korongot, aminek átmérőjét az egérgörgővel lehetett változtatni. Az *enter* gomb lenyomásával a program egy szöveges dokumentumba mentette a hold/napkorong tesztalany által beállított, képpontban mért sugarát, majd továbblépett a következő képre. A festményeken eredetileg ábrázolt Holdat vagy Napot a GNU Image Manipulator programmal retusáltuk ki úgy, hogy szabad szemmel ne lehessen fölismerni, hogy a képen eredetileg hol és mekkora volt a Hold vagy Nap korongja. Az 1. kísérletet 10-szer csinálta végig a 10 tesztalany, alkalmanként legfőlőbb kétszer, mert el akartuk kerülni, hogy a résztvevők emlékezzenek a hold/napkorongok korábbi beállításaira.

A 2. kísérletben használt számítógépes program az elsőtől hasonlóan olvasta be a festményképeket. Ekkor a tesztalanyoknak az 1. kísérletbeli festményképek retusálatlan változatait mutattuk, amelyeken rajta volt a Hold vagy a Nap. E képeken előre kiválasztottunk egy valós méretében jól megbecsülhető tárgyat, legtöbbször embereket, néha például hajókat, épületeket vagy fákat. A program e kalibrációs tárgyat egy adott képen egy fehér kerületű piros ponttal jelölte meg. A tesztalanyoknak egy szövegdobozba kellett beírnia a megjelölt tárgy általa becsült távolságát méterben, amit az *enter* gomb megnyomása után a program



Kovács Zoltán az ELTE TTK-n szerezte fizikus BSc diplomáját 2020-ban, és jelenleg ugyanitt folytatja tanulmányait fizikus mesterképzésen. Fő érdeklődési területe a biofizika és annak határterületei. Tanulmányai mellett fontosnak tartja a tudománynépszerűsítést és a hallgatói érdeklődés-leletet az egyetemen.



Udvarnoki Zoltán fizikus, az ELTE Fizika Doktori Iskola doktorandusza a Statisztikus fizika, biológiai fizika és kvantumrendszerek fizikája programban, *Csabai István* témavezetésével. Kutatási területe a gépi tanulási módszerek a tudományban, azon belül főként bioinformatikai alkalmazási lehetőségek kidolgozása és adatintenzív elemzések végrehajtása.



Papp Eszter az ELTE TTK első éves fizikus doktorandusza. Elsősorban fehérjék kvantum vezetési tulajdonságainak vizsgálatával foglalkozik, ami mellett más biofizikai jelenségeket is érdekesnek talál. Lelkes természetjáró fotósként készítette el a cikkben használt természetfotókat. Fontosnak tartja a fizika megszerettetését a fiatalabb korosztállyal, ezért élményalapú fizikaórákat tart általános és középiskolás csoportok számára.



Horváth Gábor fizikus, az MTA doktora, egyetemi tanár, az ELTE Biológiai Fizika Tanszék Környezetoptika Laboratóriumának vezetője. A vizuális környezet optikai sajátosságait és az állatok látását tanulmányozza, továbbá biomechanikai kutatásokat folytat. Számos szakmai díj és kitüntetés tulajdonosa. Évtizedek óta aktív tudományos ismeretterjesztői munkát is folytat előadások és cikkek formájában.



7. *ábra*. Válogatás a holdillúziót vizsgáló pszichofizikai kísérleteinkben mutatott teliholdas (4., 59.) és napnyugtás (71., 80.) festményekből, valamint természetfotókból (25., 39., 42, 51).

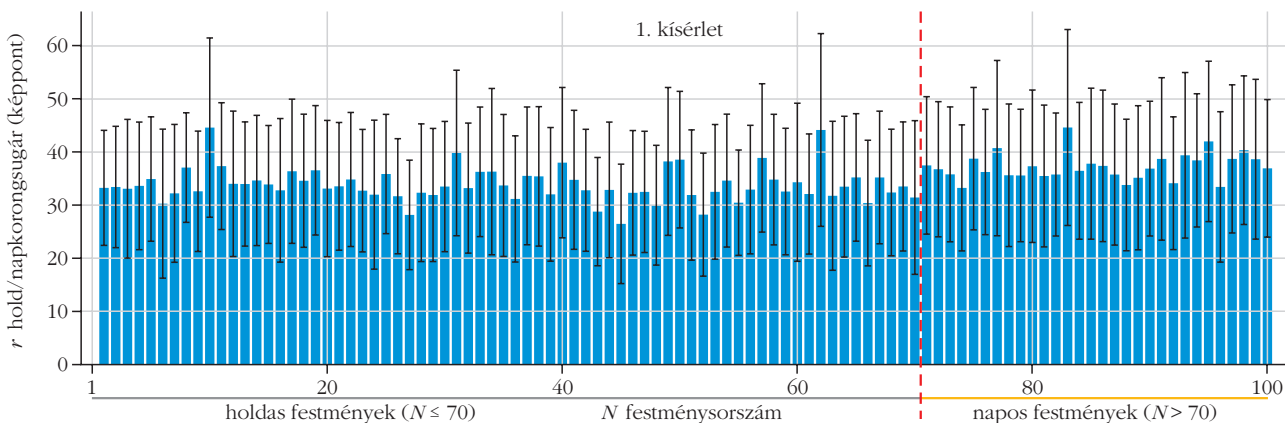
egy szöveges dokumentumban rögzített, majd továbbugrott a következő képre. A 2. kísérletet összesen 5-ször végezte el a 10 tesztalany, alkalmanként csak egyszer, hogy minimalizáljuk az általuk becsült távolságadatok memorizálásának esélyét.

A 3. kísérletben ugyanazt a számítógépes programot használtuk, mint az elsőben. Ekkor a program véletlen sorrendben mutatott a tesztalanyknak 100 különböző természetfotót a képernyőn. A 3. kísérlet ugyanúgy zajlott le, mint az 1. A természetfotók nagy részén eredetileg nem volt sem Hold, sem Nap, ahol viszont volt, onnan a festményképekhez hasonlóan kiretusáltuk. A 3. kísérletet 10-szer csinálta végig a 10 tesztalany, alkalmanként maximum kétszer, a hold/napkorongok korábbi beállításai memorizálásának elkerülése végett.

A Hold és a Nap festményeken és természetfotókon becsült mérete

A 8. *ábra* a tesztalanyok által az 1. kísérletben festményeken beállított, képpontban mért hold/napkorongsugár átlagát \pm szórását mutatja az N festményszám függvényében, 10 tesztalanyra átlagolva.

8. *ábra*. A tesztalanyok által az 1. kísérletben 70 holdas (a függőleges szaggatott vonaltól balra) és 30 napos (a függőleges szaggatott vonaltól jobbra) festményen beállított, képpontban mért r hold/napkorongsugár 10 alanyra és 10 tesztre számolt átlaga \pm szórása (függőleges fekete D) az N festményszám függvényében.

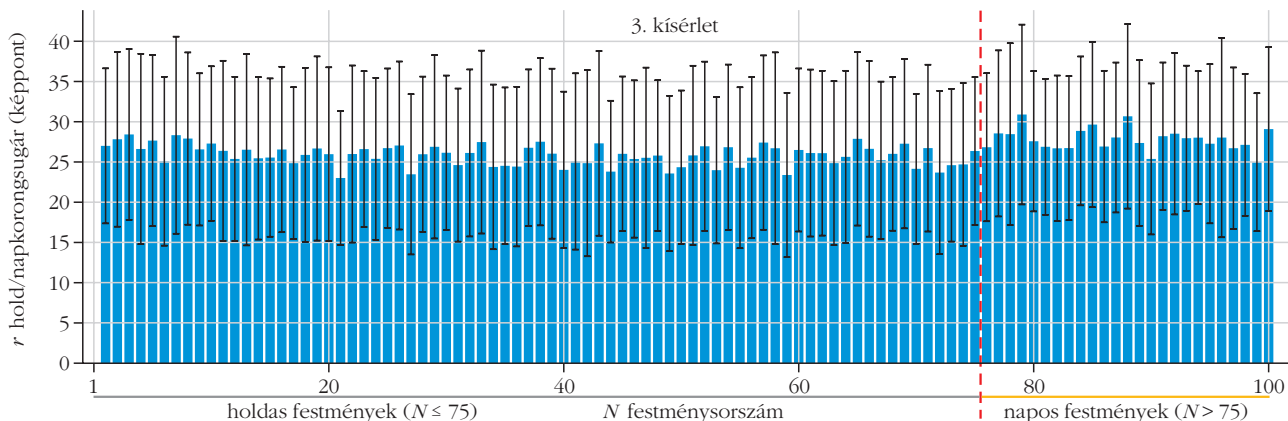


Mint várható volt, a hold/napsugarak 10 tesztalanyra átlagolt szórásai kicsivel nagyobbak, mint az egyes kísérleti alanyoknál. A holdas festményeken a holdkorongot átlagban kisebbnek ($33,84 \pm 13,04$ képpont) állították be, mint a napos festményeken a napkorongot ($37,25 \pm 13,98$ képpont).

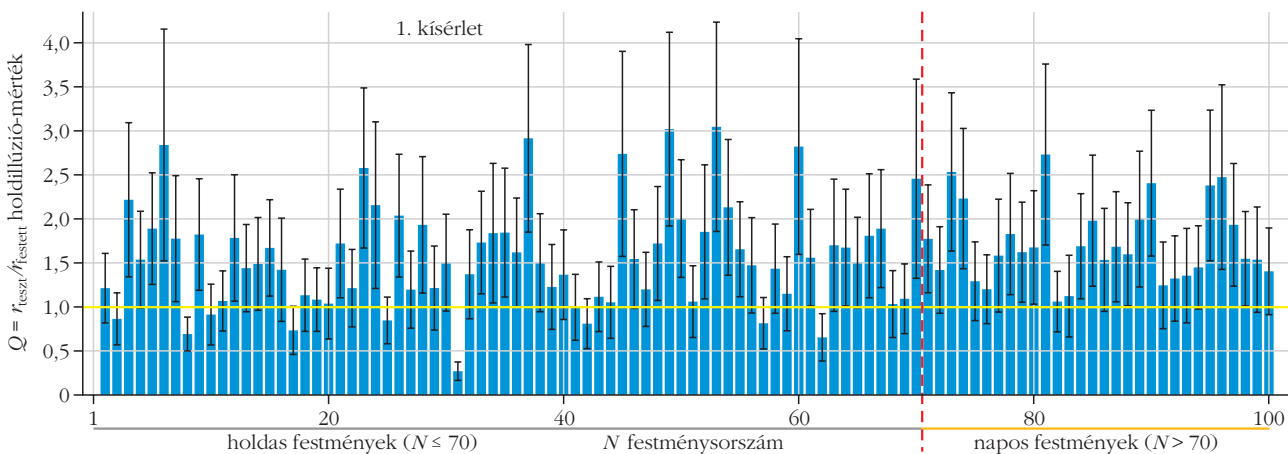
A 9. *ábra* a tesztalanyok által a 3. kísérletben természetfotókon beállított, képpontban mért átlagos r hold/napsugarat mutatja az N fotósorszám függvényében, a 10 tesztalanyra átlagolva. Mint itt is várható volt, a hold/napsugarak 10 tesztalanyra átlagolt szórásai nagyobbak, mint az egyes kísérleti alanyoknál. A holdas természetfotókon a holdkorongot átlagban kisebbnek ($r = 25,87 \pm 9,2$ képpont) állították be, mint a napos fotókon a napkorongot ($r = 27,82 \pm 7,98$ képpont).

Tesztalanyok festményeken mért holdillúziója

Az első és harmadik kísérletben használt számítógépes programmal az eredeti, retusálatlan festményképeken megmértük a hold/napkorong képpontban mért r_{festett} sugarát és összevetettük a hold/napkorong tesztalanyok által az 1. kísérletben beállított,



9. ábra. A tesztalanyok által a 3. kísérletben 75 holdas (a függőleges szaggatott vonaltól balra) és 25 napos (a függőleges szaggatott vonaltól jobbra) természetfotón beállított, képpontban mért r hold/napkorongsugár 10 alanyra és 10 tesztre számolt átlaga \pm szórása az N fotósorszám függvényében.



10. ábra. A tesztalanyok által az 1. kísérletben 70 holdas (a függőleges szaggatott vonaltól balra) és 30 napos (a függőleges szaggatott vonaltól jobbra) festményen beállított r_{teszt} hold/napkorongsugár és a festett Hold/Nap r_{festett} sugara $Q = r_{\text{teszt}}/r_{\text{festett}}$ arányának 10 alanyra számolt átlaga \pm szórása az N festménysorszám függvényében.

képpontban mért r_{teszt} sugarával. A 10. ábra az 1. kísérletben tapasztalt holdillúzió

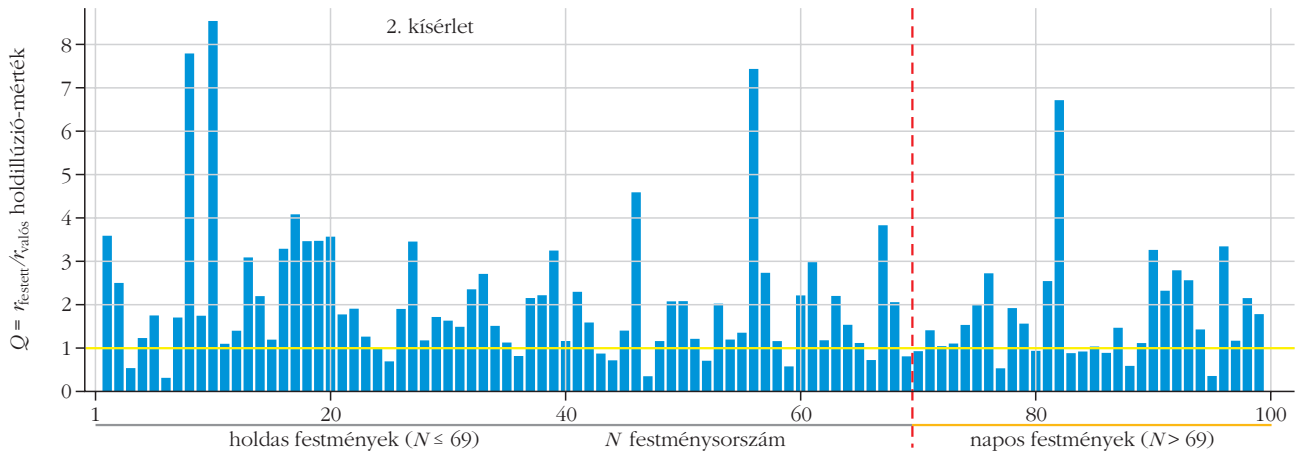
$$Q = \frac{r_{\text{teszt}}}{r_{\text{festett}}}$$

mértékének 10 tesztalanyra számolt átlagát \pm szórását mutatja az N festménysorszám függvényében. A 2. táblázat szerint a tesztalanyok a festett Holdnál átlagosan $Q = 1,57 \pm 0,6$ -szer nagyobbak állították be a holdkorongot, a festett Napnál pedig $Q = 1,72 \pm 0,44$ -szor nagyobbak állították be a napkorongot.

2. táblázat				
A pszichofizikai kísérletekben mért holdillúzió Q mértékének 10 tesztalanyra, N_{Hold} holdas és N_{Nap} napos festményre, illetve természetfotóra számolt átlaga \pm szórása a tesztalanyok és festők esetén.				
kísérlet	holdillúzió Q mértéke			
1. $N_{\text{Hold}} = 70$ $N_{\text{Nap}} = 30$	tesztalanyok: $Q = r_{\text{teszt}}/r_{\text{festett}}$			
	holdas festmény	napos festmény		
2. $N_{\text{Hold}} = 69$ $N_{\text{Nap}} = 30$	tesztalanyok: $Q = r_{\text{teszt}}/r_{\text{valós}}$		festők: $Q = r_{\text{festett}}/r_{\text{valós}}$	
	holdas festmény	napos festmény	holdas festmény	napos festmény
	2,85 \pm 1,36	2,75 \pm 1,64	2,12 \pm 1,57	1,77 \pm 1,21
3. $N_{\text{Hold}} = 75$ $N_{\text{Nap}} = 25$	tesztalanyok: $Q = r_{\text{teszt}}/r_{\text{valós}}$			
	holdas természetfotó	napos természetfotó		
	1,56 \pm 0,44	1,68 \pm 0,51		

Festők és tesztalanyok távolságkalibrált festményeken mért holdillúziója

Mivel a holdillúzió a festőkre is hathatott, vagyis a hold/napkorongot a valós $0,5^\circ$ szögátmérőtől eltérően – alkalmasint annál nagyobbak – festhették, ezért a festett hold/napkorongméreteket összehasonlítottuk a távolságbecslésből kapott hold/napméretekkal. A



11. ábra. A 69 holdas (a függőleges szaggatott vonaltól balra) és 30 napos (a függőleges szaggatott vonaltól jobbra) festmény festett hold/napkorongjának képpontban mért r_{festett} sugara és a 2. kísérletben a referenciátárgy 10 tesztalany általi távolságbecslése alapján meghatározott, képpontban mért $r_{\text{valós}}$ sugara $Q = r_{\text{festett}}/r_{\text{valós}}$ arányának átlaga az N festménysorszám függvényében.

festmények nagy részénél a távolságbecslésre kiszemelt referenciátárgyak álló emberalakok voltak, amelyeknél a férfiak átlagmagasságát 1,62 méternek, a nőket 1,5 méternek, a gyerekeket pedig 1,3 méternek vettük. A különböző referenciaállatok méreteit is jól meg lehetett becsülni. A legkevésbé pontos méretbecslést a hajók és a fák jelentették, így az ezekre kapott eredmények számítanak a legpontatlanabbnak.

Ha egy festményen a referenciátárgy méterben mért lineáris mérete (magassága, hossza, szélessége) $d_{\text{méter}}$ és a festőtől méterben mért távolsága $D_{\text{méter}}$, akkor a tárgy δ látószöge:

$$\delta = 2 \arctan \left(\frac{d_{\text{méter}}}{2 D_{\text{méter}}} \right). \quad (1)$$

Az 1. kísérletben használt számítógépes programmal az eredeti, retusálatlan festményképeken megmértük a hold/napkorong képpontban mért $r_{\text{képpont}}^{\text{festett}}$ sugarát és a távolságbecslésre kiválasztott referenciátárgyak képpontban mért $d_{\text{képpont}}$ lineáris méretét. Utána a referenciátárgyak méterben mért $d_{\text{méter}}$ becsült mérete

és a 2. kísérletben méterben megbecsült $D_{\text{méter}}$ távolsága ismeretében (1) alkalmazásával kiszámítottuk a referenciátárgyak δ látószögét. Ezt követően azon optikai tény tudatában, hogy a hold- és napkorong szögátmérője egyaránt $0,5^\circ$, meghatároztuk, hogy a festőknek képpontban mérve mekkora

$$\begin{aligned} r_{\text{képpont}}^{\text{valós}} &= d_{\text{képpont}} \frac{0,5^\circ}{\delta} = \\ &= d_{\text{képpont}} \frac{0,5^\circ}{2 \arctan \left(\frac{d_{\text{méter}}}{2 D_{\text{méter}}} \right)} \end{aligned} \quad (2)$$

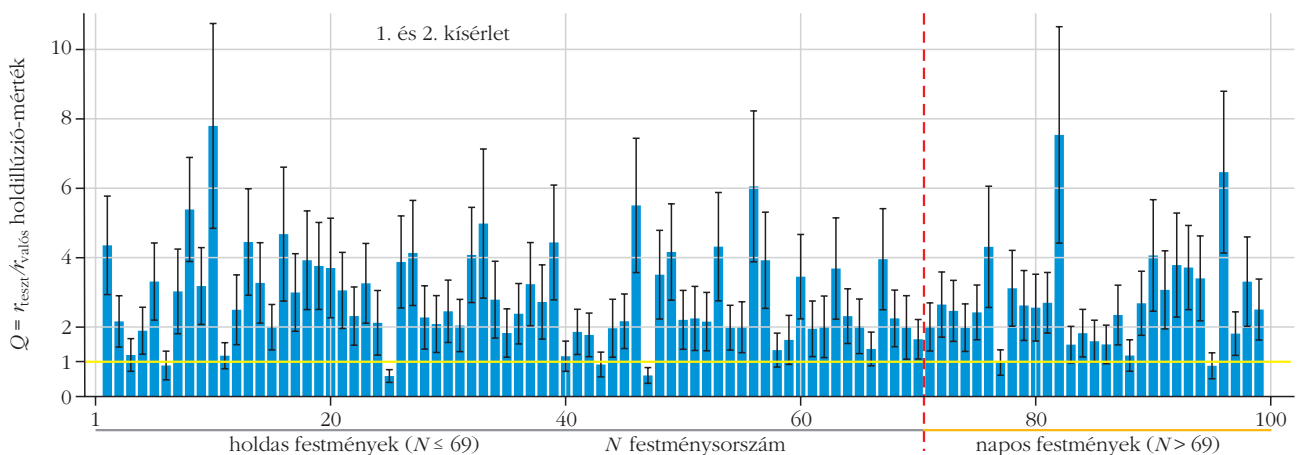
valós sugarúnak kellett volna festeniük a hold/napkorongot valósághű ábrázolás esetén.

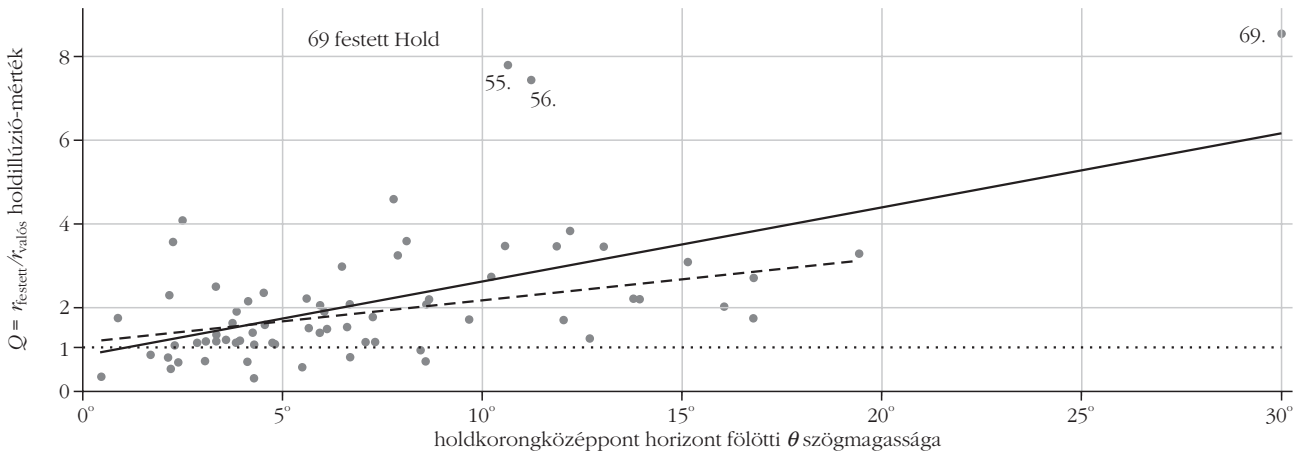
Végül kiszámoltuk a

$$Q = \frac{r_{\text{képpont}}^{\text{festett}}}{r_{\text{képpont}}^{\text{valós}}}$$

arányt, ami a festőkre hatott holdillúzió mértéke.

12. ábra. A 69 holdas (a függőleges szaggatott vonaltól balra) és 30 napos (a függőleges szaggatott vonaltól jobbra) festményen a tesztalanyok által az 1. kísérletben beállított hold/napkorong képpontban mért r_{teszt} sugara és a 2. kísérletben a referenciátárgy 10 tesztalany általi távolságbecslése alapján meghatározott, képpontban mért $r_{\text{valós}}$ sugara $Q = r_{\text{teszt}}/r_{\text{valós}}$ arányának átlaga \pm szórása az N festménysorszám függvényében.





13. ábra. A 69 holdas festmény festett Holdjára kapott $Q = r_{\text{festett}}/r_{\text{valós}}$ holdillúzió-mérték a holdkorongközéppont horizont fölötti θ szögmagassága függvényében. A ferde folytonos vonal az összes (69) adatpontra illesztett regressziós egyenes, a ferde szaggatott vonal pedig a három legnagyobb Q -értékű festmény (69.: $Q = 8,54$, $\theta = 30^\circ$; 55.: $Q = 7,79$, $\theta = 10,64^\circ$; 56.: $Q = 7,44$, $\theta = 11,22^\circ$) kihagyásával megmaradó pontokra illesztett regressziós egyenes.

A 11. ábra a festmények festett hold/napkorongjának képpontban mért r_{festett} sugara és a 2. kísérletben a referenciátárgy 10 tesztalány általi távolságbecslése alapján meghatározott, képpontban mért $r_{\text{valós}}$ sugara $Q = r_{\text{festett}}/r_{\text{valós}}$ arányának átlagát \pm szórását mutatja az N festménysorszám függvényében. A 2. táblázat szerint a festők a holdkorongot a valódinál átlagosan $Q = 2,12 \pm 1,57$ -szor nagyobbak festették, míg a napkorongot $Q = 1,77 \pm 1,21$ -szor nagyobbak.

Mindezt megismételtük a tesztalányok által festményeken beállított hold/napkorongokkal is, amikor is kiszámoltuk a

$$Q = \frac{r_{\text{képpont}}^{\text{teszt}}}{r_{\text{képpont}}^{\text{valós}}}$$

arányt, ami a tesztalányokra hatott holdillúzió mértéke. A 12. ábra a festményeken a tesztalányok által beállított hold/napkorong képpontban mért r_{teszt} sugara és a 2. kísérletben a referenciátárgy 10 tesztalány általi távolságbecslése alapján meghatározott, képpontban mért $r_{\text{valós}}$ sugara $Q = r_{\text{teszt}}/r_{\text{valós}}$ arányának átlagát \pm szórását mutatja az N festménysorszám függvényében. A 2. táblázat szerint a tesztalányok a holdkorongot a valódinál átlagosan $Q = 2,85 \pm 1,36$ -szor nagyobbak állították be, míg a napkorongot $Q = 2,75 \pm 1,64$ -szor nagyobbak.

A holdillúzió jellemzője, hogy a horizont fölötti θ szögmagasság növekedésével csökken a hold/napkorong megfigyelők által érzékelt mérete. E sajátosság esetleges előfordulásának ellenőrzése végett megvizsgáltuk a holdillúzió 2. kísérletben festőkre (11. ábra) és tesztalányokra (12. ábra) kapott Q mértékének a korongközéppont szögmagasságától való függését. A θ szögmagasságot a következő kifejezésből számítottuk:

$$\theta = \delta \frac{h_{\text{képpont}}}{d_{\text{képpont}}} = \frac{2 h_{\text{képpont}}}{d_{\text{képpont}}} \arctan\left(\frac{d_{\text{méter}}}{2 D_{\text{méter}}}\right), \quad (3)$$

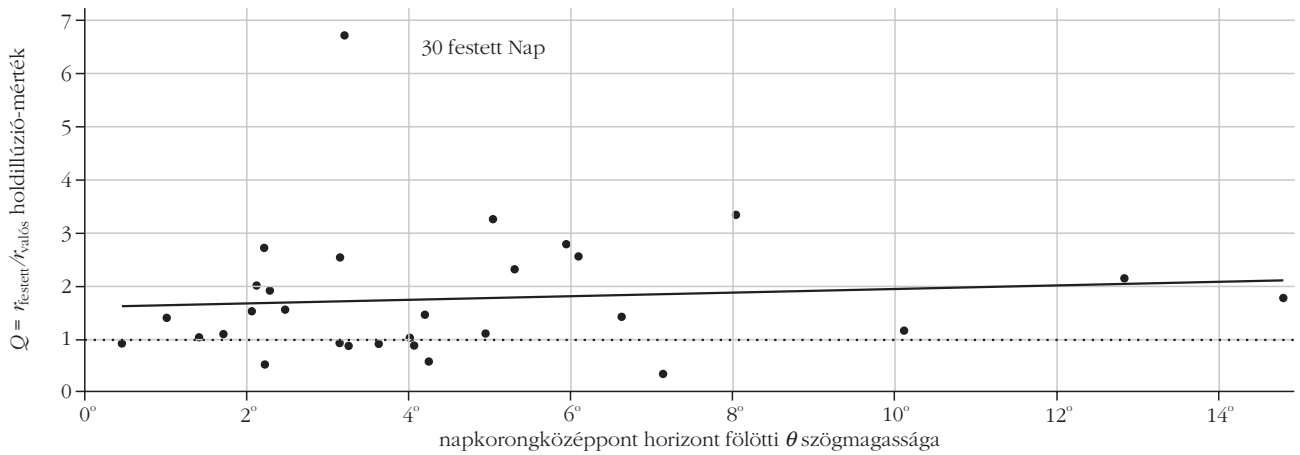
ahol $h_{\text{képpont}}$ a festményen a hold/napkorongközéppont horizonttól képpontban mért magassága, $d_{\text{képpont}}$

a távolságbecslésre kiválasztott referenciátárgy képpontban mért lineáris mérete, $d_{\text{méter}}$ a referenciátárgy becsült mérete méterben, $D_{\text{méter}}$ a referenciátárgy 2. kísérletben méterben megbecsült távolsága és δ a referenciátárgy (1) szerinti látószöge.

A 13. és 14. ábra a holdas, illetve napos festmények festett Holdjára, illetve Napjára kapott $Q = r_{\text{festett}}/r_{\text{valós}}$ holdillúzió-mértéket mutatja a hold-, illetve napkorongközéppont horizont fölötti θ szögmagassága függvényében. A (Q, θ) adatpárookra illesztett regressziós egyenesek szerint a holdaknál a várt csökkenő $Q(\theta)$ egyenes helyett enyhén növekvőt kaptunk (13. ábra), a napoknál viszont gyakorlatilag egy vízszintes egyenest (14. ábra).

A 13. ábrán látható, hogy a 69 holdas festmény közül csak a $Q = 8,54$ legnagyobb értékkel bíró 69. festménynél volt a θ szögmagasság 20° -nál nagyobb. Ha a három legnagyobb Q -értékű holdas festményt (69.: $Q = 8,54$, $\theta = 30^\circ$; 55.: $Q = 7,79$, $\theta = 10,64^\circ$; 56.: $Q = 7,44$, $\theta = 11,22^\circ$) nem számítottuk be, akkor is megmaradt a $Q(\theta)$ regressziós egyenes emelkedő tendenciája, de már sokkal kisebb meredekséggel (13. ábra). A 30 napos festmény esetén a $Q(\theta)$ regressziós egyenes gyakorlatilag vízszintes (14. ábra), így ezeknél sem kaptuk a várt csökkenő tendenciát. Ennek valószínű oka, hogy e festményeken a napkorongok θ szögmagassága 15° -nál nem volt nagyobb.

A holdas/napos festményekre kapott $Q = r_{\text{teszt}}/r_{\text{valós}}$ holdillúzió-mértéket a tesztalányok által beállított hold/napkorongközéppont horizont fölötti θ szögmagassága függvényében vizsgálva, a (Q, θ) adatpárookra illesztett regressziós egyenesek hasonló meredekségűek voltak, mint amiket a festőknél kaptunk. A holdillúzió alapján az volt várható, hogy a horizont fölötti szögmagasság növekedésével a festők és tesztalányok egyre kevésbé becsülik túl a Hold és Nap méretét. Az ettől eltérő eredmények leginkább azzal magyarázhatók, hogy a vizsgált festményeken csak egy szűk tartományban változott a hold/napkorongok horizont fölötti θ szögmagassága.



14. ábra. A 30 napos festmény festett Napjára kapott $Q = r_{\text{testet}}/r_{\text{valos}}$ holdillúzió-mérték a napkorongközéppont horizont fölötti θ szögmagassága függvényében. A ferde folytonos vonal a 30 adatpontra illesztett regressziós egyenes.

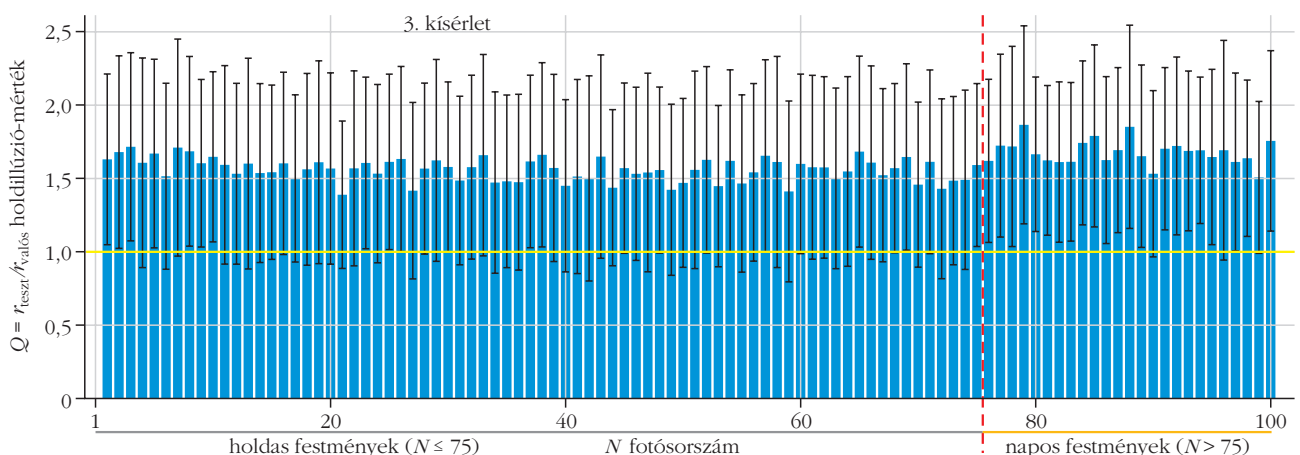
Tesztalanyok természetfotókon mért holdillúziója

Az 1. kísérletben is használt számítógépes programmal a természetfotókon megmértük a hold/napkorong képpontban mért r_{valos} sugarát, a korongközéppont képpontban mért h magasságát a horizont fölött és a hold/napkorong tesztalanyok által a 3. kísérletben beállított, képpontban mért r_{teszt} sugarát. Mivel a valós hold/napkorong szögben mért sugara jó közelítéssel állandóan $0,25^\circ$, ezért a korongközéppont fokban mért, horizont fölötti szögmagassága

$$\theta = 0,25^\circ \frac{h}{r_{\text{valos}}}.$$

A 15. ábra a 3. kísérletben mért holdillúzió $Q = r_{\text{teszt}}/r_{\text{valos}}$ mértékének 10 tesztalanyra számolt átlagát \pm szórását mutatja az N fotósorszám függvényében. A 2. táblázat szerint a tesztalanyok a valódi Holdnál átlagosan $1,56 \pm 0,44$ -szor nagyobbak állították be a holdkorongot, a valódi Napnál pedig $1,68 \pm 0,51$ -szor nagyobbak állították be a napkorongot.

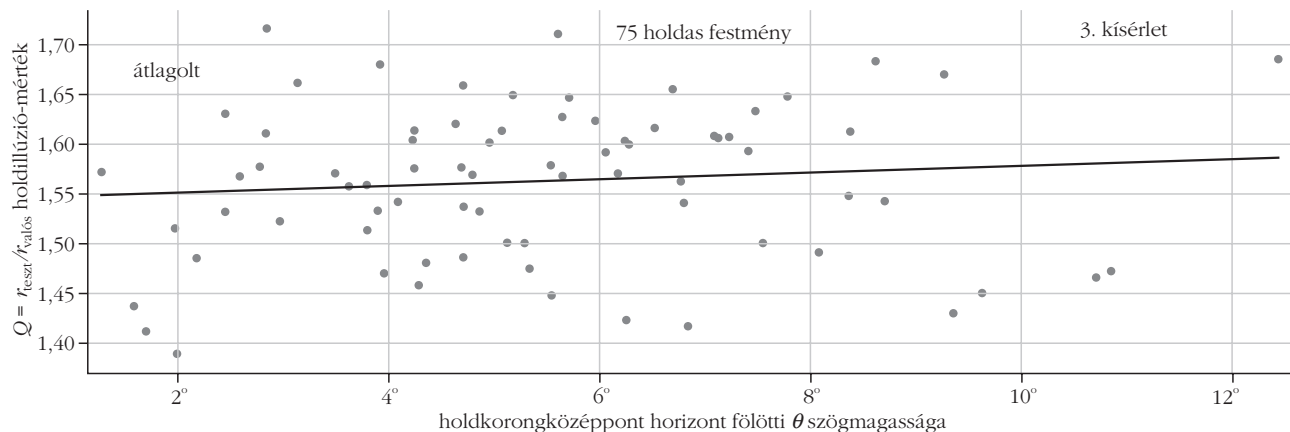
15. ábra. A tesztalanyok által a 3. kísérletben 75 holdas (a függőleges szaggatott vonaltól balra) és 25 napos (a függőleges szaggatott vonaltól jobbra) természetfotón beállított r_{teszt} hold/napkorongsugár és a valódi Hold/Nap r_{valos} sugara $Q = r_{\text{teszt}}/r_{\text{valos}}$ arányának 10 alanyra számolt átlaga \pm szórása az N fotósorszám függvényében.



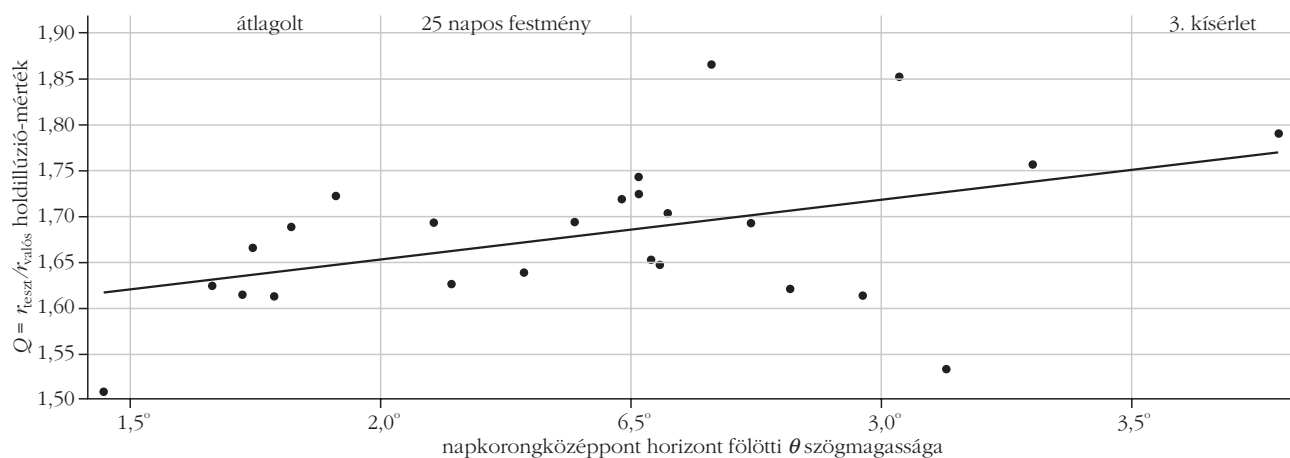
A 16. és 17. ábra a 3. kísérletben a holdas, illetve napos retusált természetfotókon a 10 tesztalany által beállított r_{teszt} hold/napkorongsugár és a valódi Hold, illetve Nap r_{valos} sugara $Q = r_{\text{teszt}}/r_{\text{valos}}$ arányának 10 alanyra számolt átlagát \pm szórását mutatja a korongközéppont horizont fölötti $\theta = 0,25^\circ \cdot h/r_{\text{valos}}$ szögmagassága függvényében, ahol h a korongközéppont képpontban mért magassága a horizont fölött. A (Q, θ) adatpárokra illesztett regressziós egyenesek szerint a holdas és napos festményeknél olyan kis emelkedésű $Q(\theta)$ függést kaptunk, ami gyakorlatilag vízszintesnek tekinthető. Így tehát a természetfotóknál sem adódott a holdillúzióra jellemzően emelkedő $Q(\theta)$ magasságfüggés.

Következtetések

Kísérleteinkből megállapítható, hogy a holdillúzió megjelent úgy a festményeknél, mint a természetfotóknál. Míg a holdillúziót magyarázó elméletek nagy része a hold/napkorong megfigyelők által érzékelt méretének nyújtásával számol a horizonthoz közeled-



16. ábra. A 3. kísérletben a 75 holdas retusált természetfotón a tesztalanyok által beállított r_{teszt} holdkorongsugár és a valódi holdkorong $r_{\text{valós}}$ sugara $Q = r_{\text{teszt}}/r_{\text{valós}}$ arányának 10 alanya átlagolt értékei a holdkorongközepptől $\theta = 0,25^\circ \cdot h/r_{\text{valós}}$ szögmagassága függvényében, ahol h a holdkorongközepptől képpontban mért magassága a horizont fölött. A ferde vonal a 75 adatpontra illesztett regressziós egyenes.



17. ábra. A 3. kísérletben a 25 napos retusált természetfotón a tesztalanyok által beállított r_{teszt} napkorongsugár és a valódi napkorong $r_{\text{valós}}$ sugara $Q = r_{\text{teszt}}/r_{\text{valós}}$ arányának 10 alanya átlagolt értékei a napkorongközepptől $\theta = 0,25^\circ \cdot h/r_{\text{valós}}$ szögmagassága függvényében, ahol h a napkorongközepptől képpontban mért magassága a horizont fölött. A ferde vonal a 25 átlagolt adatpontra illesztett regressziós egyenes.

ve, mi nem tapasztaltunk ilyen hatást. A látszólagostávolság-elmélet egyik alapja, hogy a Hold szögátmérője változatlan, és csak az érzékelt lineáris mérete változik, amely utóbbi a kísérleteinkben a térhatás hiánya miatt nem tudtuk vizsgálni. A szemtengely koponyabéli emelkedési szögének hatásától pedig eltekinthetünk, hiszen a kísérleteinkben használt képernyőn a teszt személyek mindig közel vízszintes szemtengellyel figyelhették a holdas/napos képeket.

A 10 darab, 21–63 éves teszt személyrel végzett három pszichofizikai kísérlet összesen 10 (tesztalany) \times 100 (festmény/természetfotó) \times 25 (10-szer elvégzett 1. kísérlet + 10-szer elvégzett 2. kísérlet + 5-ször elvégzett 3. kísérlet) = $25\,000$ egyedi mérésével kapott eredmények a következők:

1) Az 1. pszichofizikai kísérletben szereplő 10 teszt személy a 100 retusált festményen (amelyen a Hold vagy a Nap korongja ki volt retusálva) 10-szeri próba során átlagosan $Q = 1,57 \pm 0,6$ -szor becsülte túl az odaképzelt holdkorong méretét és $Q = 1,72 \pm 0,44$ -szor nagyobbak állították be a képzelt napkorongot annál, mint amit a festők eredetileg ábrázoltak. A tesztalanyok a Napot így átlagban 1,1-szer nagyobbak állították be a Holdnál.

2) A 2. pszichofizikai kísérletben a 10 tesztalany által a 100 retusált festményen 10-szer megbecsült referenciatávolságokból számolt valós hold/napkoronghoz képest az alanyok a Hold méretét átlagosan $Q = 2,85 \pm 1,36$ -szor becsülték túl és $Q = 2,75 \pm 1,64$ -szor nagyobbak állították be a Nap méretét.

3) A 2. pszichofizikai kísérletben a 100 tesztalany által a 100 retusált festményen 10-szer megbecsült referenciatávolságokból számolt valós hold/napkoronghoz képest a festők a Hold méretét átlagosan $Q = 2,12 \pm 1,57$ -szor nagyobbak festették, míg $Q = 1,77 \pm 1,21$ -szor nagyobbak ábrázolták a Napot. A Holdat a festők tehát átlagban 1,2-szer nagyobbak ábrázolták a Napnál. Annak valószínűleg esztétikai okai vannak, hogy a Holdat többnyire a Napnál nagyobbak festik: a festményeken a nagyobb Hold kevésbé zavaró lehet és jobban beleillik a sötét környezetbe, míg a túl nagy napkorong a fénye miatt zavaróvá válhat.

4) A 3. pszichofizikai kísérlet 10 teszt személye a 100 retusált természetfotón (amelyen a Hold vagy a Nap korongja ki volt retusálva) 10-szeri próba során átlagosan $Q = 1,56 \pm 0,44$ -szor becsülte túl az odaképzelt Hold méretét és $Q = 1,68 \pm 0,51$ -szor nagyobbak állították be a képzelt Napot a valódinál. A tesztalanyok a

retusált természetfotókon a Napot átlagosan 1,08-szor nagyobbak képelték a Holdnál. A holdas és napos természetfotóknál kapott eredményeket összehasonlítva, a tesztalanyok két csoportra oszthatók: az egyik részük a Napot nagyobbak állította be a Holdnál, a másik részük viszont közel egyformának. Ennek több oka lehet: (i) A Holdat felhőtlen este/éjjeleken könnyű megfigyelni, mert viszonylag gyenge fénye nem vakítja el szemünket a sötétség ellenére sem. Így a holdkorong mérete jól megbecsülhető. Mivel ezzel szemben a Napot a nappali égen nem könnyű megfigyelni a vakítóan erős fénye miatt, ezért nehéz megbecsülni a napkorong határát, ami túlbecslést eredményezhet. (ii) Napnyugtakor vagy napkeltekor szabad szemmel huzamosabb ideig is megfigyelhető a gyenge fényű, narancssárga vagy vörös napkorong. Mivel ilyenkor a Nap a horizonton vagy ahhoz közel van, így a holdillúzió miatt ekkor érzékeljük a legnagyobbak. Ez befolyásolhatja a Nap méretéről az emberekben kialakult belső képet, ami a kísérleteinkben a holdkorongnál nagyobb napkorongként jelent meg.

5) A holdillúzió mértékére kísérleteinkben kapott $Q = 1,56; 1,57; 1,68; 1,72; 1,77; 2,12; 2,75$ és $2,85$ értékek zöme (2. táblázat) nagyobb a korábbi pszichofizikai

kísérletekben mért $Q = 1,0; 1,08; 1,16; 1,19; 1,20; 1,21; 1,26; 1,30; 1,42; 1,50; 1,64; 1,76$ és $1,80$ értékeknél (lásd cikkünk 1. részében szereplő 1. táblázatot). *Holloway* és *Boring* (1940) $Q = 1,76/1,80$ [5], *Taylor* és *Boring* (1942) $Q = 1,64$ [6], valamint *Ross* és *Cowie* (2010) $Q = 1,50$ [15] mérési eredményei állnak legközelebb az általunk kapottakhoz. A *Ross* és *Cowie* által végzett kísérlet [15] metodikája volt a mi kísérleteinkéhez legjobban hasonló (tájképekre rajzolták be a Holdat a horizontra vagy az égre), míg a többi korábbi kísérlet módszertana jelentősen eltért a miénkétől.

6) A vizsgált 100 festményen és 100 természetfotón előforduló hold/napmagasságok szűk tartománya miatt nem volt tapasztalható a holdillúzióra jellemző magasságfüggés, vagyis a hold/napkorong festményeken ábrázolt méretének és festményeken, valamint természetfotókon tesztalanyok által beállított méretének csökkenése a horizont fölötti szögmagasság növekedésével.

Irodalom

- Kovács Z., Udvarnoki Z., Papp E., Horváth G.: Psychophysical study of the moon illusion in paintings and landscape photos. *Proceedings of the Royal Society A* 477(2021) 20200737 (doi: 10.1098/rspa.2020.0737)

ABSZTRAKT VEKTORFOGALOM ÉS KVANTUMMECHANIKA

Fejős Gergely

Eötvös Loránd Tudományegyetem,
Fizikai Intézet, Atomfizikai Tanszék

Hétköznapi elképzelés szerint egy vektor egy iránnyal, állással¹ és hosszúsággal jellemezhető mennyiség. A fogalommal a matematikát tanuló diákok már általános iskolában találkoznak és számtalan alkalmazásával ismerkedhetnek meg a geometriától kezdve a fizikán át később minden olyan területen, ahol a lineáris algebra előkerül (lásd akár a biológiát vagy a közgazdaságtant). A vektort, mint absztrakt fogalmat a fizika alapszakos hallgatók egyetemi tanulmányaik első felében tanulják, azzal a nem titkolt céllal, hogy ké-

sőbb főként az (általános) relativitáselmélet és a kvantummechanika fogalmait könnyebben sajátítsák el [1]. Jelen, matematikai precizitást mellőző ismeretterjesztő írás célja, hogy rávilágítson: a kvantumelmélet vonatkozásában a hagyományosan tanított absztrakt vektorfogalom amennyit segít, adott esetben hasonló mértékben fogalmi zavarhoz is vezethet.

Vektorok a háromdimenziós térben

A háromdimenziós tér egy adott P pontjához a koordináta-rendszerünk origójából húzott nyílról úgy vélekedünk, hogy egy vektor a térben, de azt gondoljuk, hogy vektor például egy részecske sebessége, impulzusa, vagy éppen a rá ható erő is. A P pont helyzete a térben nyilvánvaló módon 3 valós számmal adható meg, ezért egy vektorra számhármasként is szokás gondolni. Mivel a pont helyzete egy valós, fizikailag létező hely a térben, azt akár egy másik számhármassal is megadhattuk volna, amennyiben a koordináta-rendszerünket másképp választjuk meg. Tengelyeit például elforgathatjuk, vagy origójának akár egy másik pontot is kijelölhetünk, a P pont helyzete leírásának szempontjából ezek teljesen egyenértékű válasz-

¹Egyesek (egyes könyvek) az irány fogalmába beleértik az állást is. Például észak–dél irányba haladtam, azaz északról dél felé. De van, aki másképp gondolja: észak–dél irányú egyenes mentén mozogtam, a mozgás értelme dél volt.



Fejős Gergely (PhD 2011, ELTE részecskefizika) elméleti fizikus, egyetemi adjunktus (2019). 8 évet töltött Japán meghatározó egyetemein és kutatóintézeteiben (University of Tokyo, RIKEN, Osaka University, Keio University). Kutatásaiban erősen kölcsönöz kvantummező-elméletekkel foglalkozik nemperturbatív funkcionális technikák alkalmazásával. Érdeklődési területei közé tartozik a kvark- és maganyag fázisszerkezete, szupravezetés, topológikus fázisátalakulások. Bolyai- és ÜNKP ösztöndíjas.