

Doktori (PhD) értekezés tézisei

A Tudat Természete,  
A Fermionikus Elme Hipotézis Kategóriaelméleti  
Bizonyítása

Déli Éva Katalin

Témavezető: Dr. Kisvárdy Zoltán



DEBRECENI EGYETEM  
Idegtudományi Doktori Iskola  
Debrecen, 2024

A Tudat Természete,  
A Fermionikus Elme Hipotézis Kategóriaelméleti  
Bizonyítása

Értekezés a doktori (PhD) fokozat megszerzése érdekében  
az elméleti orvostudományok tudományágban

Írta: Déli Éva Katalin okleveles agrárkémikus

Készült a Debreceni Egyetem Idegtudományi  
Doktori Iskolája  
keretében

Témavezető: Dr. Kisvárdy Zoltán, PhD, MTA doktora

Az értekezés bírálói: Dr. Molnár Edina, PhD

Dr. Andjelka Hedrih, PhD

A bírálóbizottság:

elnök: Dr. Prof. Dr. Fülesdi Béla, MTA doktora

tagok: Dr. Molnár Edina, PhD

Dr. Andjelka Hedrih, PhD

Dr. Frecska Ede Ottó, PhD

Dr. Nagy Attila, PhD

Az értekezés védésének időpontja: Debreceni Egyetem ÁOK, **Belgyógyászati  
Intézet „A” épület, 2024. szeptember 30, 13 óra**

## **1 Bevezetés**

Az elme természete mindig is izgalmas rejtély volt a történelem során. A modern idegtudomány támogatja az anyagelvű nézetet, miszerint a tudat az agyi áramkörök terméke (Churchland, 1981). Mindazonáltal a látványos előrelépések ellenére a tudat kérdése megválaszolatlan maradt (Kandel és mtsai., 2021). Azonban a tudományos területek közötti együttműködés gyakran jelentős áttöréshez vezet. A fizika, amely az anyag-energia kölcsönhatásokkal foglalkozik, különösen alkalmas arra, hogy más területeket gazdagítson. Például az észlelés és a figyelmi fókusz, amelyek a szinaptikus változások forrásai (Manohar és mtsai., 2018; Inzlicht és mtsai., 2018), a tanulást és a memória kialakulását energetikailag költségessé teszik (Crossley és mtsai., 2023). Következésképpen, az észlelés termodinamikai ciklusként ábrázolható.

Az idegrendszer, különösen a perifériás rendszerek összetett kölcsönhatása révén szabályozza az agy hatalmas glükózellátását (Joly-Amado és mtsai., 2012), ahol az alapvető funkciók, mint az ionos gradiens, a szinaptikus átvitel és a jelátvitel az összes energiaköltség jelentős részét elfogyasztják (Raichle & Gusnard, 2002). Stressz kognitív fáradtsághoz vezethet (Ampel és mtsai., 2018), ami ronthatja az immun- és mentális funkciókat (Cunnane és mtsai., 2020; Picard és mtsai., 2018).

### **1.1 Tudat hipotézisek**

Huszonöt évvel ezelőtt az idegtudós Christof Koch és a filozófus David Chalmers közötti szellemi párbaj megkérdőjelezte az emberi megértés határait a tudat természetével kapcsolatban. E vita csúcspontja egy fogadás volt egy doboz borra, hogy 25 éven belül, 2023-ra, a kutatók azonosítani fogják az agy tudatot alátámasztó struktúráját. Ez a fogadás hatalmas érdeklődést váltott ki e bonyolult téma iránt.

A tudat természete, amely évezredek óta zavarba ejtette a filozófusokat, tudományos kihívássá vált. A neuroimaging technológiák, mint például a funkcionális mágneses rezonancia vizsgálat (fMRI), a transzkraniális mágneses stimuláció (TMS) és az implantált agyelektrodák, hatalmas mennyiségű adatot generáltak. Ezeknek az adatoknak mesterséges intelligenciával való, kifinomult feldolgozása ellenére sincs definitív neurális korrelátuma a tudatnak. Az áttörés hiánya arra utal, hogy jelenlegi megközelítés tévúton jár. A hagyományos módszerek korlátai, amelyek nagymértékben támaszkodnak empirikus adatokra és számítógépes elemzésekre, egyre nyilvánvalóbbá válnak. A terület készen állhat egy olyan paradigmaváltásra, amely a hagyományos módszereken túl interdiszciplináris perspektívákat használ.

A Koch-Chalmers fogadás ösztönözte a kutatást és a meglévő tudatelméletek, a Globális Működési Elmélet (GWT) és az Integrált Információ Elmélet (IIT) tesztelését. A GWT azt állítja, hogy a helyi agyaktivitások tudattalanok (Baars, 1988; Dehaene és Changeux, 2011). Amikor a helyi aktivitás elér egy küszöböt, akkor az úgy nevezett 'gyújtás' globális aktivitást indukál. A GWT centrikussága gyakran kapcsolódik a frontoparietális kéregben való feldolgozáshoz (van Vugt et al., 2018). Az IIT a tudatot az információ integrálásának képességeként értelmezi (Block, 2005; Nagel, 1974). Az 'phi' ( $\Phi$ ), az integrált információ mérhető mértéke, a tudat szintjét méri. Azonban az 'phi' egy absztrakt fogalom, ami nehezen mérhető. Egy nemrégiben végzett összehasonlító tanulmány szerint ezek az elméletek nem magyarázzák a tudatot (Ferrante et al., 2023; Melloni et al., 2023).

A Fermionikus elme hipotézis (FMH) átfogó fizikai elméletet épít fel, a jelenlegi idegtudomány, pszichológia és fizika eredményeinek és törvényeinek ötvözésével. Az agyat egy termodinamikai rendszernek tekinti, amely képes intellektuális fejlődésre az érzékszervi rendszer által bevitt információ átalakításával. Ezenkívül a kognitív vagy észlelési ciklus visszafordíthatósága egy valószínűségi vagy kvantum viselkedést vezet be, lehetővé téve a kvantummechanika

matematikai keretrendszerének alkalmazását a viselkedés és döntéshozatal magyarázatára. Az érzékszervi ingerek indítják a ciklust, míg a nyugalmi állapot visszaállítása önreferenciális stabilitást biztosít. Ez a szabályozó kettősség biztosítja a gondolataink és érzelmeink spontaneitását, de megnehezíti azok kontrollját vagy visszakeresését.

## 2 Célkitűzések

Ez a disszertáció a tudat természetének megértését kívánja előmozdítani a FMH alapján, a fizika és a matematika eszközeinek felhasználásával. A matematikában a kategóriaelmélet tudja igazolni a tudat kapcsolatát a fizikai elvekkel és törvényekkel, keretet biztosítva az FMH bizonyításához.

Kutatásomban a tudat természetének alábbi pontjaira összpontosítottam:

- **Észlelés:** Milyen energia-információs következményei vannak az észlelésnek?
- **Nyugalmi állapot:** Mi a nyugalmi állapot szerepe az energiaszabályozásban és a viselkedésben?
- **Érzelmek:** Hogyan képesek az érzelmek motivációt generálni, és mi a szerepük a kognícióban?
- **Kategóriaelmélet:** Mit taníthat nekünk a Yoneda-lemma globális perspektívája a tudatról?

## 3 Módszerek

Ez a disszertáció a tudatot a fizikai jellemzők szempontjából közelíti meg. A kogníció az érzékszervi rendszer révén történő külső környezettel való energia-információ cserét jelent. Ez a kapcsolat lehetővé teszi a kognitív ciklus termodinamikai tanulmányozását, ahol az érzékszervi információ az értelem generálásának forrása. Az intelligencia fejlődésének mértékét a Kullback-Leibler divergenciával (DKL) számítottam ki. A DKL egyfajta statisztikai távolság: egy mérőszám, amely azt mutatja, hogy az egyik valószínűségi eloszlás  $p$  mennyire tér el egy másik, referencia valószínűségi eloszlástól  $q$ . A tanulás egy inger által okozott kognitív frissítés, egy statisztikai távolság, amely meglepetésként jelenik meg a jelenlegi és a várható kimenet között.

A kategóriaelmélet segítségével modelleztem a tudatot, mint fizikai rendszert. A kategóriaelmélet, amely struktúrákat azok kapcsolatain keresztül tanulmányozza, globális perspektívát kínál, amely képes felfedni a különböző diszciplínák közötti kapcsolatokat, hasonlóságokat vagy ekvivalenciákat. Ebben a kontextusban a tudat morfizmusai hasonlóak a fermionok morfizmusaihoz.

### 3.1 Yoneda Lemma Globális Perspektívája a Tudatról

Ez a disszertáció a Yoneda lemmát, a kategóriaelmélet egy alapvető eredményét alkalmazza. A Yoneda Lemma kapcsolatot teremt egy kategória objektumai és az ezen objektumoktól más objektumokhoz vezető morfizmusok halmazai között. Ez lehetővé teszi a tudat mélyebb megértését a fizikai folyamatok analógiái alapján felállított morfizmusok révén. A Yoneda lemma két objektum,  $A$  és  $B$  ekvivalenciáját bizonyíthatja egy kategóriában azáltal, hogy bizonyítja az analógiát azok más objektumokhoz fűződő kapcsolataiban. A lemma kimondja, hogy bármely  $C$  kategóriában és bármely  $A$  és  $B$  objektum esetében  $C$ -ben a hom-funktorból a  $\text{Hom}(\_, A) \rightarrow \text{Hom}(\_, B)$

hom-funktorba történő természetes transzformációk halmaza izomorf a  $\text{Hom}(B, A)$  morfizmusok halmazával.

### 3.2 A Modell Formulációja

Neurális Hálózatok Kategóriája: Meghatározunk egy  $C$  kategóriát, ahol:

- Az objektumok tudatos elmék.
- A morfizmusok fizikai elvek alapján definiált kapcsolatok.

Hom-Funktor: Egy funktorhalmaz esetében a hom-funktor  $\text{Hom}(\_, A)$  fermionikus tulajdonságokat alkalmazza morfizmusok révén.

A Yoneda Lemma Alkalmazása: A Yoneda Lemma alapján a tudat funktor leképezése izomorf a  $\text{Hom}(\_, A)$  fermionokkal. Így a fizikai törvények tudati jellemzői teljes mértékben megérthetőek a fermionok fizikai morfizmusainak tanulmányozásával. A disszertáció bemutatja, hogy a tudat és a fermionok azonos szerveződést mutatnak és kapcsolati térképük azonos az alapvető fizikai elméletekkel, például a kvantummechanikával. Végül, a Yoneda Lemma mélyebb betekintést nyújthat a tudat dinamikus tulajdonságaiba. Ez a kategóriális megközelítés új utakat nyit meg a tudat funkciójának felfedezésében, robusztus matematikai keretet biztosítva a tudat elméleti tanulmányozásához.

### 3.3 A hipotézis lehetséges tesztelése

Landauer elve alapján tanulmányozhatjuk az idegrendszer energia-kapcsolatait dish agyi organoidokban. Landauer elve (1961), az információfeldolgozás termodinamikájának egyik alapelve, kimondja, hogy bármilyen logikailag visszafordíthatatlan információmanipuláció, mint például egy bit törlése vagy két számítási útvonal összevonása, az információfeldolgozó apparátus vagy annak

környezetének a nem-információ-hordozó szabadsági fokok entrópiájának megfelelő növekedésével jár. Hasonlóképpen, számítógépes szimulációk elemezhetik az érzelmeket és azok energetikai korrelációit, és tesztelhető előrejelzéseket készíthetnek az észlelési és kognitív feladatokra vonatkozóan.

A szorítóerő, a rejtvénymegoldó képesség és a kedvesség mentális kihívások vagy játékok előtti és utáni tesztelése jelezheti a mentális energia változásait. Az elvárás az, hogy a nyerteseknél a szorítóerő növekedést mutatna a mentális energia endotermikus eltolódása miatt. Ezzel szemben a veszteseknél a szorítóerő, a kreativitás, a nagylelkűség és a problémamegoldó képesség csökkenése várható.

## 4 Eredmények

Az észlelési ciklus, a nyugalmi állapot és az érzelmi szabályozás adatainak alapján egy új hipotézist, az FMH-t fogalmaztam meg. A kategóriaelméletből származó Yoneda-lemma felhasználásával bizonyítottam, hogy a tudat homomorf a fermionokhoz.

### 4.1 Észlelés: Az agy energia-kapcsolatai

A szinaptikus változások energiaigénye az agyat a környezet szélesebb energia- és információs ciklusába integrálja. Ezt a feltételezést használtam az észlelés, a figyelmi fókusz, a tanulás és a motiváció termodinamikai jellemzésére (Appendix), ami részletes betekintést nyújt az agy környezettel való dinamikus integrációjába.

### 4.2 A nyugalmi állapot az energiaszabályozásban és a viselkedésben

Az agy entrópikus kapcsolatainak az elemzése azt a következtetésre mutatta, hogy az agy autonóm nyugalmi egyensúlya megengedi a Shannon információs entrópiájának a használatát, ahol az észlelési ciklus iránya összefügg az időbeli irányultsággal. Az endotermikus ciklusok jövőbeli orientációt eredményeznek, míg a múltbeli orientációt az exotermikus ciklust határozza meg (I. Táblázat). A ciklus irányát sajátperdületnek értelmeztem, ahol az endotermikus ciklus felfelé spint, az exotermikus ciklus pedig lefelé spint képvisel.

**I. Táblázat. Különböző agyi állapotok fiziológiai következményei** Az alapérzelmek termodinamikai és pszichológiai vonatkozásai.

	Fordított Carnot ciklus Magas entrópiájú nyugalmi állapot	Carnot ciklus Alacsony entrópiájú nyugalmi állapot
Mentális állapot	Pozitív érzelmek	Negatív érzelmek
Aktivációk	Információszegény	Információgazdag
Szubjektív időérzék	Az idő bősége bizalmat kelt	Az idő hiánya türelmetlenséget okoz
Szabadsági fokok	Növekedik	Csökken
Termodinamikai következmények	Endotermikus ciklus: energiát és entrópiát nyer	Exotermikus ciklus: energiát és entrópiát veszít
Következmények az organizmusra	Intellektus	Mentális és immunproblémák

### **Az érzelmek a motiváció kialakításával szabályozzák a kognitív ciklust**

Az érzelmek az agy termodinamikai szabályozását és homeosztatiszikus egyensúlyát szolgálják azáltal, hogy egy kontextusfüggő és önkéntes cselekvést kiváltó erőt ösztönöznek. Ebben az összefüggésben az érzelmi valencia azonnali, ahol a pozitív állapotok preferenciát, míg a negatív állapotok ellenérzést képviselnek. Hasonlóképpen, a reverzált Carnot-ciklus (preferencia) matematikai számításai az energia felhalmozódását és a jövőre összpontosítást jelzik (Appendix). Ezzel ellentétben az exotermikus, alacsony entrópiájú állapotok (ellenérzés) csökkentik a

szinaptikus komplexitást és korlátozzák a kognitív szabadságot. Ez a folyamat energia disszipációhoz vezet kritika, destruktív viselkedés vagy fizikai erőszak formájában.

### **4.3 Időbeli orientáció: Az érzékszervi valóság és a kogníció ortogonalitása**

A tudat természete mindig is izgalmas kérdés volt a filozófusok, pszichológusok és idegtudósok számára. Azonban a tudatos észlelést és tudat megjelenését jelentős tudattalan feldolgozás előzi meg. Emellett, a folyamatos élményáramlás ellenére, epizódokra diszkrét eseménysorozatként emlékezünk, és a jövőt a képzeletünk időbeli mérőrudjának lépéseiként látjuk, ami összhangban van a diszkrét feldolgozással. Így a tudat folyamatos és diszkrét minőségei olyan keretrendszert alkotnak, amely mindkettőt tükrözi, lehetőséget adva arra, hogy megértsük és érzékeljük a minket körülvevő világot. Továbbá a figyelem utólagos, rövid időbeli késleltetéssel történő manipulálása (Shen et al., 2020) befolyásolja a választást. Ezért a kogníció nem pillanatnyi, tudatos konstrukciók sorozata, hanem a percepciót követően, az úgynevezett utólagos hatás révén integrálja az információkat. A fenti példában a folyamatos tudattalan feldolgozás jelentős időszakai előzik meg a diszkrét tudatos észleleteket (Herzog et al., 2020).

A tudat élmény szorosan kapcsolódik a "most"-hoz, az éberség folyamatos áramlásához, amint zökkenőmentesen átvált egyik pillanatról a másikra. Mindazonáltal minden jelen pillanat egyedi módon képviseli az egymást követő "most"-ok élményeit, amelyek diszkrét emlékké válnak. A tudat ezen kettős természete állandó fókuszváltást jelent, ahol a megfigyelés megváltoztatja az alatta lévő paramétereket, lehetetlenné téve a teljes megismerést. A kvantummechanikában a megfigyelő hatása a megfigyelt rendszer változása a megfigyelés által. Ez azt is sugallja, hogy a mérés a hullámfüggvény diszkrét összeomlását, az úgynevezett hullám-részecske kettősséget

okozza. A kogníció, mint számítógépes feldolgozó rendszer, különböző utakon keresztül kognitív reprezentációkat hoz létre. Ezek a különböző utak a fókuszváltást képviselik.

A "monoid" lencsén keresztül hatékonyan elemezhető a tudatos kettősség fogalma. Egy monoid több morfizmust is magában foglalhat, mindegyik a tudat folyamatban lévő áramlását képviseli. Egy monoidális kategóriában, ahol csak az identitás morfizmusa létezik, a nyíl visszatér önmagához, szimbolizálva a tudatos élmény folyamatos kibontakozását vagy kiterjedését (1. ábra).

$$id_a \circ f = f = f \circ id_a$$

A tudat mint monoid fogalma szorosan illeszkedik az agy azon képességéhez, hogy különféle és rendezetlen információkat egy egységes észleléssé kövacsoljon (Tring et al., 2023). Az egység egy időbeli íven helyezkedik el (Smallwood et al., 2021), amely figyelemre méltó előrejelző képességgel ruházza fel az intellektust (Northoff et al., 2019). "Ezért az idő minden pillanatban érinti az örök jelent,...pillanatról pillanatra eltűnik és újra megszületik... mint a folytonosság megszakítotttsága (Nishida, 1948, p. 342, Taguchi & Saigo, 2023 után)." Hasonlóképpen, a tudat állandó, mégis folyamatosan frissül, formálva társadalmi meglátásainkat, gondolatainkat és cselekedeteinket (Smitha et al., 2017; Wolff et al., 2019).

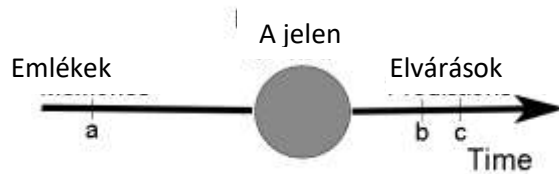
A tudat morfizmusai a monoid perspektívájában, mindig ugyanattól az objektumtól ugyanahhoz az objektumhoz tartanak. "Egy morfizmus és egy másik, egy morfizmus és önmaga mind összetetté tehető, mert a monoid morfizmusa csak egy objektummal rendelkezik, ami azt jelenti, hogy minden morfizmus ugyanahhoz az objektumhoz ('most') kapcsolódik, mert kiindulópontjaik (domainek) és végpontjaik (kódomainok) ugyanazok az objektumok (Taguchi & Saigo, 2023)." A tudat áramlása folyamatosan ugyanazon a helyen marad, mert ugyanattól az objektumtól indul, mint domain, és visszatér hozzá, mint kódomain. Lényegében a jelen dinamikus, streaming aspektusa megfelel a monoid különböző morfizmusainak. Ezzel szemben a statikus, álló

aspektus egyedülálló objektummal azonos a monoidban. Ez a monoid keretrendszer hatékonyan ragadja meg a tudat bonyolult struktúráját, amely magában foglalja annak állandóan változó és állandó vonásait (2. ábra).

Most visszatérek az ortogonalitás kérdéséhez. Az agy térbeli adatkompressziója egy ortogonális érzékszervi időbeli hologramot hoz létre (Saaty és Vargas, 2017), amely egy ortogonális vetületet jelent a kétdimenziós kortikális felületre (Déli, 2020a,b). Az idegtudományban a hippocampus térsejtjei a térbeli kapcsolatokat időbeli vetületté alakítják (Shimazaki, 2020), ahol a köztes hippocampus CA1 a térbeli aspektusokat, míg a dorsalis hippocampus CA1 az epizodikus emlékek időbeli aspektusait szolgálja, és koordinálja a kollektív viselkedést.



**1. ábra. Tudat (a) mint monoid. A nyíl az identitás morfizmust jelképezi.**



**2. ábra. A tudat mint folyamatos és diszkrét időbeli áramlás** Az emlékek és elvárások diszkrét időbeli helyeken materializálódnak, a, b, c időpontokban.

## 5 Következtetések

Ez a munka egy új tudat hipotézis; az FMH radikális kapcsolatot tár fel a fizika és a tudat között. Azt sugallja, hogy az anyag legkisebb építőelemeit, a fermionokat irányító elvek tükröződnek az elme működésében is. Ezzel az FMH hidat épít az idegtudomány, a pszichológia, a szociológia és a közgazdaságtan között azáltal, hogy fizikai alapot ad nekik. Azt állítja, hogy az intelligens viselkedés a környezet absztrakciójából ered, amely szinaptikus emlékeinkben van kódolva. Ezek az emlékek lehetővé teszik számunkra, hogy előrejelzéseket készítsünk, és bármilyen eltérés ezektől az előrejelzésektől érzelmeket vált ki, amelyek cselekvésre motiválnak bennünket. Ez az elv tükrözi azokat az alapvető interakciókat, amelyek a fizikai világot irányítják.

A hipotézis tovább megy, és azt sugallja, hogy az agy nyugalmi állapota kulcsfontosságú szerepet játszik. Ez az állapot felelős egy részecskeszerű környezettől való elszakadásért, miközben fenntartja az életen át tartó állandó pszichológiai identitást. Az agy részecskestruktúrája a fizikai környezet szervező elveinek köszönhető, mint például az egység és az oszthatatlanság és a fermionikus tulajdonságoknak, mint például a fél spin. A "fermion" és a "tudat" az anyag és az intellektus legkisebb ismert komponenseit képviselik, rávilágítva az intellektus fizikai alapjaira. A tudat fizikai alapjainak feltárása, ahogy azt az FMH javasolja, forradalmasíthatja a mesterséges intelligencia kutatást.

A Yoneda-lemma segítségével igazoltuk a tudat és a fermionok között strukturális hasonlóságot. Az intellektus megjelenése egy endotermikus folyamat révén az emlékformáló rendszerekben egyetemes elvet képviselhet a természetes világban, lehetőséget kínálva a mesterséges tudat létrehozására. Az FMH túlmutat a tudományon; a tudat és a fizikai univerzum közötti szerves kapcsolat mély filozófiai következményeket rejt magában. A tudat nem egy különálló entitás, hanem a fizikai valóság szerves része.

## 6 Köszönetnyilvánítás

Szeretném kifejezni őszinte hálámat Dr. Zoltán Kisvárday tanácsadómnak a folyamatos támogatásért, türelemért és motivációért, amit a Ph.D. tanulmányaim és a kapcsolódó kutatás során nyújtott. Tudásával és bölcsességével segítette a munkámat és a disszertáció elkészítését.

Külön köszönetet szeretnék mondani a bírálóknak, Dr. Edina Molnárnak és Dr. Andjelka Hedrihnek az őszinte, professzionális és építő jellegű értékelésükért és visszajelzéseikért, amelyek jelentősen javították e disszertáció minőségét.

## 7 Saját publikációk listája



**DEBRECENI  
EGYETEM**

**DEBRECENI EGYETEM  
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR**

H-4002 Debrecen, Egyetem tér 1, Pf.: 400

Tel.: 52/410-443, e-mail: publikaciok@lib.unideb.hu

Nyilvántartási szám: DEENK/345/2024.PL  
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Déli Éva Katalin  
Doktori Iskola: Idegtudományi Doktori Iskola  
MTMT azonosító: 10086060

### A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

1. **Déli, É. K.**, Peters, J., Kisvárday, Z.: How the Brain Becomes the Mind: Can Thermodynamics Explain the Emergence and Nature of Emotions?  
*Entropy*. 24 (10), 1498, 2022.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/e24101498>  
IF: 2.7
2. **Déli, É. K.**, Peters, J., Kisvárday, Z.: The thermodynamics of cognition: a mathematical treatment.  
*Computational and Structural Biotechnology Journal*. 19, 784-793, 2021.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.csbj.2021.01.008>  
IF: 6.155

### További közlemények

3. **Déli, É. K.**: Can the Fermionic Mind Hypothesis (FMH) Explain Consciousness? The Physics of Selfhood.  
*Act. Nerv. Super.* 62 (2), 35-47, 2020.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s41470-020-00070-4>
4. **Déli, É. K.**: Thermodynamic Implications of the Fermionic Mind Hypothesis.  
62 (3), 96-103, 2020.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s41470-020-00074-0>
5. **Déli, É. K.**, Kisvárday, Z.: The thermodynamic brain and the evolution of intellect: the role of mental energy.  
*Cogn Neurodyn*. 14 (6), 743-756, 2020.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11571-020-09637-y>  
IF: 5.082
6. **Déli, É. K.**, Peters, J. F., Tozzi, A.: The Thermodynamic Analysis of Neural Computation.  
*J. Neurosci. Clin. Res.* 3 (1), 1-7, 2018.





7. Tozzi, A., Peters, J., **Déli, É. K.**: Towards plasma-like collisionless trajectories in the brain.  
*Neurosci. Lett.* 662, 105-109, 2018.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neulet.2017.10.016>  
IF: 2.173
8. **Déli, É. K.**, Tozzi, A., Peters, J.: Relationships between short and fast brain timescales.  
*Cogn Neurodyn.* 11 (6), 539-552, 2017.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11571-017-9450-4>  
IF: 2
9. Peters, J., Tozzi, A., **Déli, É. K.**: Towards Equations for Brain Dynamics and the Concept of Extended Connectome.  
*SF J. Neuro. Sci.* 1 (2), 1-9, 2017.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.23959/sfjn-1000007>
10. Tozzi, A., Peters, J., James III., C., **Déli, É. K.**: Multidimensional Chaotic Dynamics and Entropies.  
*Arch. Inf. Sci. Technol.* 1 (1), 10-19, 2016.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.36959/863/755>
11. **Déli, É. K.**, Kiss, Z.: Protein Kinase C-Stimulated Formation of Ethanolamine from Phosphatidylethanolamine Involves a Protein Phosphorylation Mechanism: Negative Regulation by p21 Ras Protein.  
*Arch. Biochem. Biophys.* 377 (1), 171-177, 2000.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1006/abbi.2000.1768>  
IF: 2.576

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 20,686**

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre):  
8,855**

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudománymetriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2024.06.10.

