

Matematyka,
sztuczna inteligencja i mózgi.

Włodzisław Duch



Laboratorium Neurokognitywne, ICNT UMK
Katedra Informatyki Stosowanej, INT WFAiS UMK

Google: Włodzisław Duch



REGIONAL PROGRAMME
NATIONAL COHESION STRATEGY



KUJAWSKO-POMORSKIE
VOIVODESHIP

EUROPEAN UNION
EUROPEAN REGIONAL
DEVELOPMENT FUND



My region in Europe



ICNT



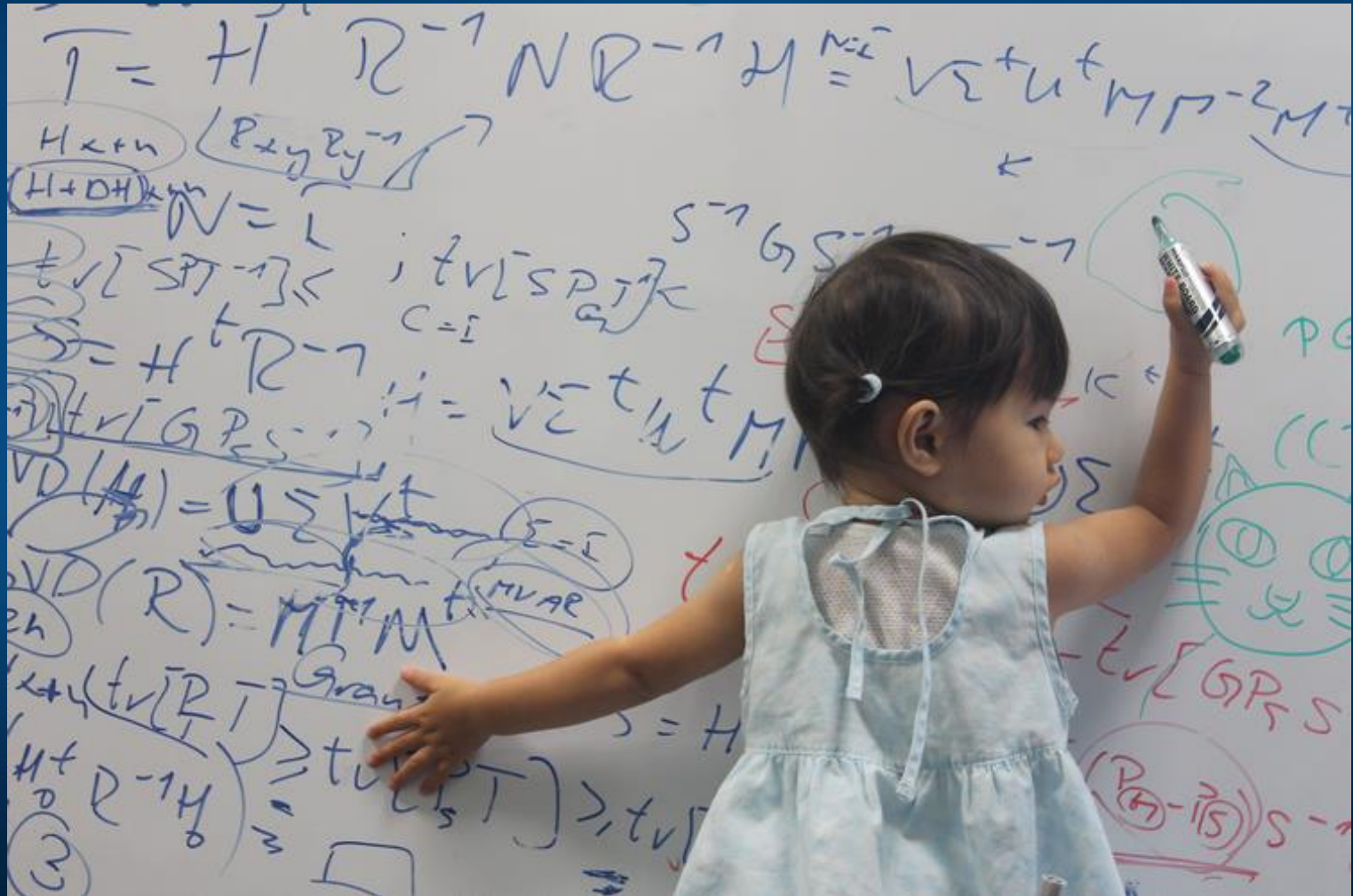
Laboratorium Neurokognitywne
Interdyscyplinarne Centrum Nowoczesnych Technologii
Uniwersytet Mikołaja Kopernika



MATH COGNITION LAB

Nicolaus Copernicus University

Laboratorium NeuroKognitywne ICNT UMK





- Migawka – filozofia matematyki.
- Sztuczna inteligencja i matematyka.
- Neuroedukacja i kognitywistyka.
- Mózgi i nauczanie matematyki.
- Nauki o uczeniu się.
- Co jest najważniejsze.



Filozofia matematyki

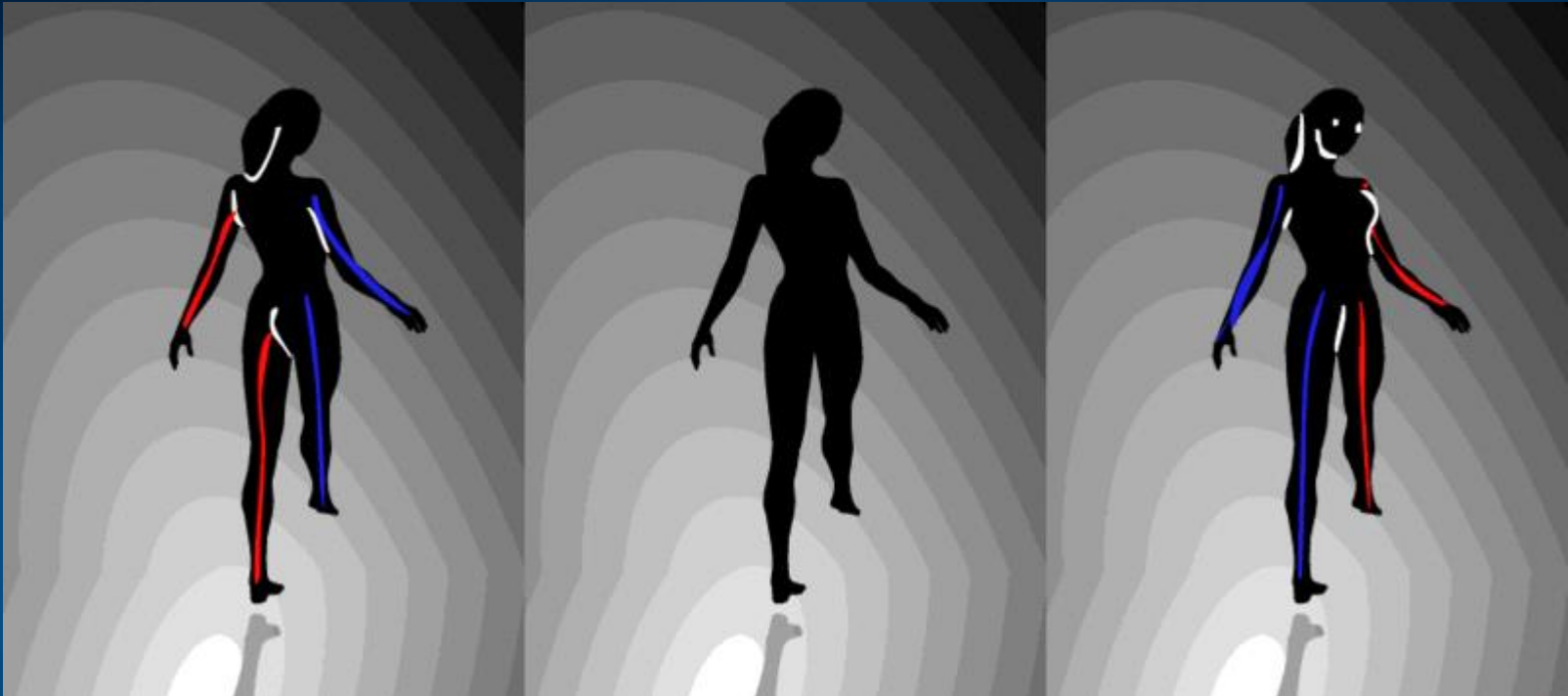
- Filozofia matematyki: czy matematyka jest konstruowana czy odkrywana?
- Bardziej ogólnie: czy prawdy naukowe są odkrywane, czy wymyślane?
- **Platonicy**: istnieje niezależny od nas świat abstrakcyjnych, doskonałych idei, matematyka tylko go odkrywa.

Alegoria jaskini Platona.

Matematyka bada świat idealny, fizyka świat cieni.



Świat to twór naszej wyobraźni ...

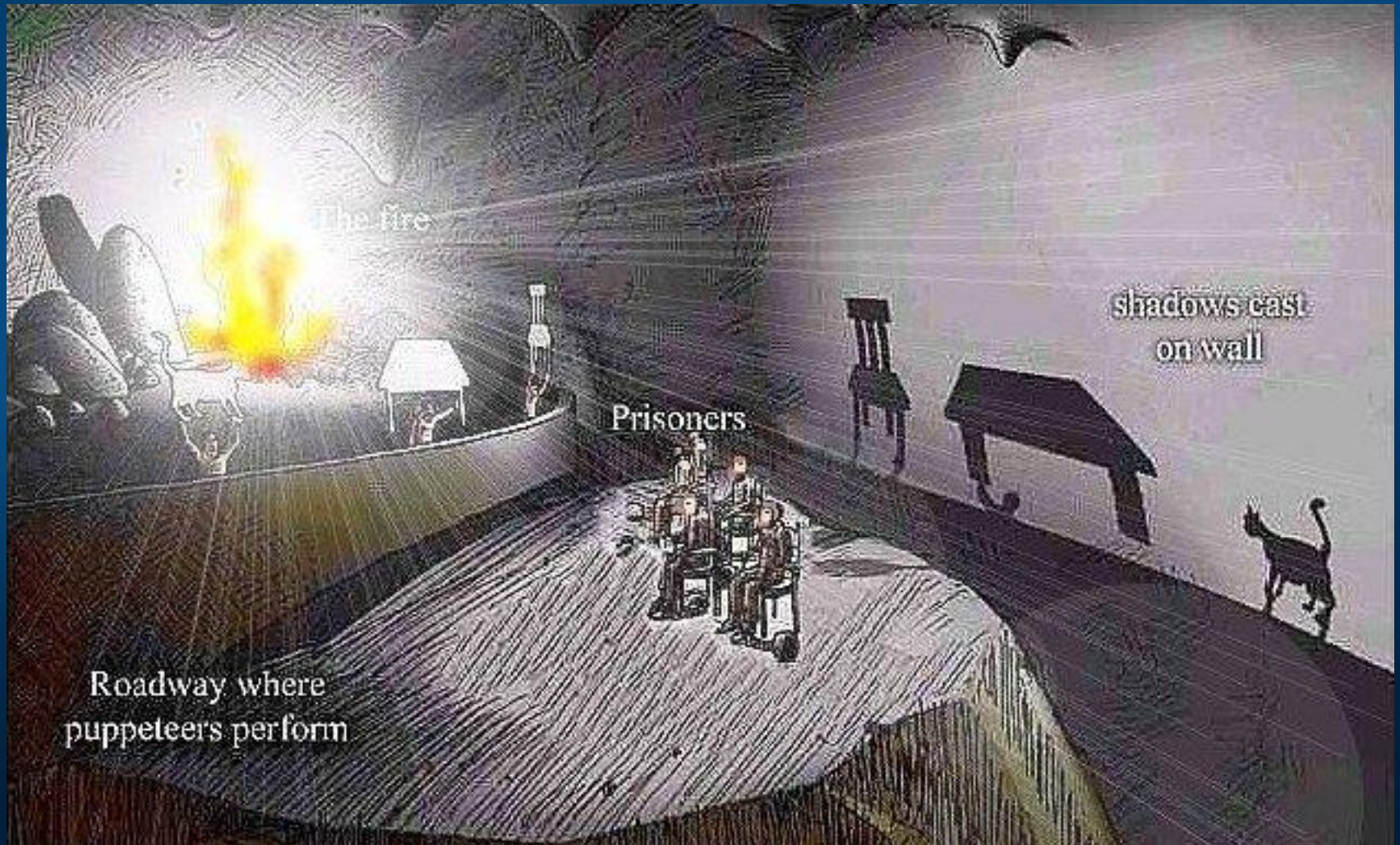


To tylko Wasz umysł się porusza ... każdemu nieco inaczej.
Nasze przeżycia osobiste nie są świadectwem obiektywnej prawdy.

Chociaż część tego, co postrzegamy dochodzi przez zmysły od obiektów znajdujących się przed nami, inna część (a może to być większa część) zawsze pochodzi z naszej własnej głowy.

William James, *The Principles of Psychology*, 1890

Wszystko, czego możemy doświadczyć,
to cienie rzeczywistości tworzone przez nasze mózgi.
Postrzegamy tylko zmiany stanów swoich mózgów.



A jednak się kręci ...



Metaverse

- Wszystko co postrzegamy i o czym myślimy to wynik skomplikowanych procesów, które najlepiej daje się opisać jako procesy obliczeniowe.
- Nasze mózgi zmieniają swoją strukturę na skutek takich procesów.

Zamiast jaskini Platona mamy obecnie bardziej kolorowy świat cieni. Nadchodzi Metaverse, więc wkrótce będzie jeszcze bogatszy ... Już nie 4 kolory w standardzie CGA, ale 4K, ale to nadal tylko cienie.



Metaverse
The New Reality

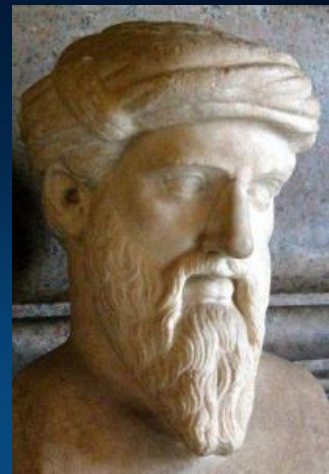


Percepcja wyobrażeń



- **Platonicy:** istnieje niezależny od nas świat abstrakcyjnych idei, matematyka jest więc odkrywana.
- **Konstruktywiści (empirycy):** wszystko to konstrukcje umysłowe specyficzne dla naszego typu myślenia. Są kultury nie znające pojęcia liczb.
- Pierwsi mówią o **świecie potencjalnym**, drudzy o **aktualnym**. W świecie potencjalnym istnienie nieskończenie wiele algebraicznych struktur.
- Świadomość to percepcja stanów własnego umysłu (John Locke, 1689), w tym wyobrażeń matematycznych struktur.
Tylko nieliczne możliwe struktury zostają rozpoznane jako interesujące.
- Odkrywanie własności obiektów matematycznych, tworzenie teorii, dostrzeganie sensu na bardziej ogólnym poziomie opisu (abstrahowanie), tworzenie nowych kategorii, to percepcja stanów własnego umysłu.
- Sztuczna inteligencja próbowała od początku stworzyć system tak działający, zdolny do matematycznych odkryć, ale wiedza opisana w sposób symboliczny nie opisuje w pełni naszych wyobrażeń.

Sens symboli

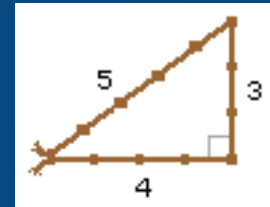


The symbol grounding problem (Harnad 1994):

- Jaki jest sens symboli, w tym pojęć matematycznych?
- Jak mózgi je reprezentują i dlaczego je rozumiemy?

Pitagorejczycy (-6 wiek): twierdzenie Pitagorasa pokazuje, że niektóre liczby, reprezentujące długość boków trójkąta, są niewymierne.

Dowód dla $\sqrt{2}$ podał Arystoteles (-4 wiek), dla innych pierwiastków prawdopodobnie Hippasus.



Legenda: Hippasusa utopiono za dowód istnienia liczb niewymiernych.

Problem Leibniza (300 lat temu):

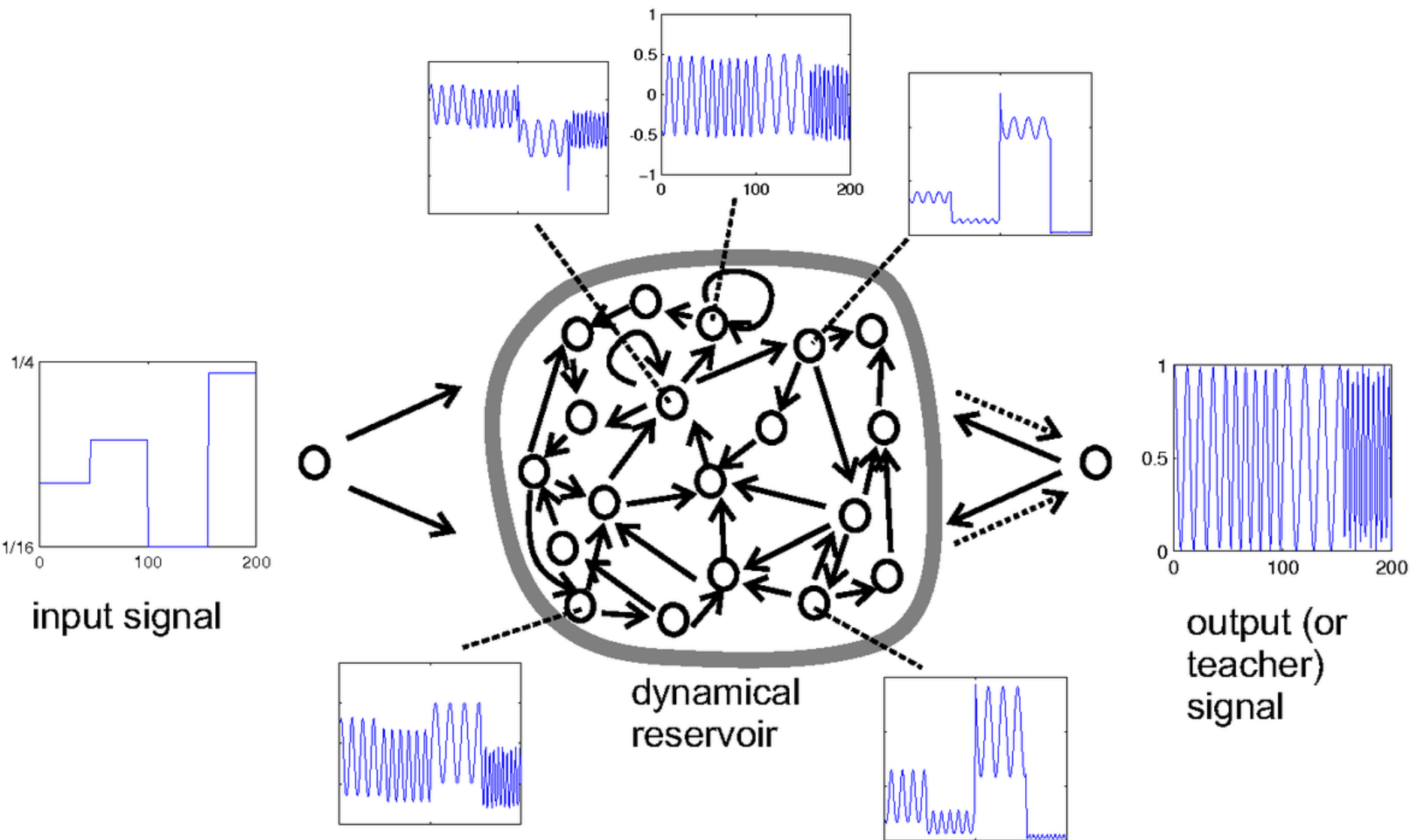
jak większa liczba dzielona przez mniejszą,
może dać to samo co mniejsza przez większą?

Np. $-1/+1 = +1/-1$. Liczby ujemne to jakieś bzdury!

Dlaczego Leibniz tego nie mógł zrozumieć?



Wyobrażenia w sieciach neuronowych



Oscylacje w 100 mld neuronów sieci mózgu = percepcja i wyobrażenia.

Sztuczna Inteligencja i Matematyka

General Problem Solver (GPS) czyli Ogólny Rozwiązywacz Problemów

Newell, J.C. Shaw, H.A. Simon, rozwijany od 1957 roku.

Dwa cele:

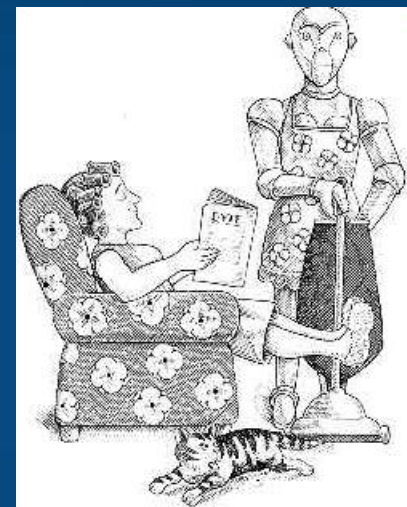
Rozwiązywanie problemów wymagających inteligencji.
Stworzenie teorii rozwiązywania problemów przez ludzi.

GPS składał się z:

- abstrakcyjnego rozwiązywacza problemów;
- wiedzy o zadaniu, zawartej w strukturach danych, tworzących „środowisko problemu”.

Znaczenie GPS polegało na zrozumieniu trudności AI. W połowie lat 1960 program się zakończył, nie odkryto „algorytmu inteligencji”.

Gdzie jesteśmy teraz?



Nadludzkie możliwości AI



Rozumowanie: 1997–szachy, Deep Blue wygrywa w szachy; 2016 –AlphaGo wygrywa w Go;

Percepcja: rozpoznawanie twarzy, obrazów, cech osobowości, preferencji seksualnych, politycznych ...

Strategia i sterowanie: 2017–OpenAI wygrywa w Pokera i Dota 2; 2019-Starcraft II ... co zostało?

Eksperymenty naukowe: 2015-AI odkrywa ścieżki genetyczne/sygnalowe regeneracji płazińców. 2020-AlphaFold 2 zwija białka.

Robotyka: 2020 fikołki i parcour Boston Dynamics, autonomiczne pojazdy na drogach.

Kreatywność i wyobraźnia: AIVA i inne programy komponujące muzykę, DeepArt i programy malarskie.

Język: 2011–IBM Watson wygrywa w Jeopardy (Va Banque); 2018–Watson Debater wygrywa z filozofami, 2020: BERT odpowiada na pytania z bazy SQuAD.



ChatGPT o myśleniu



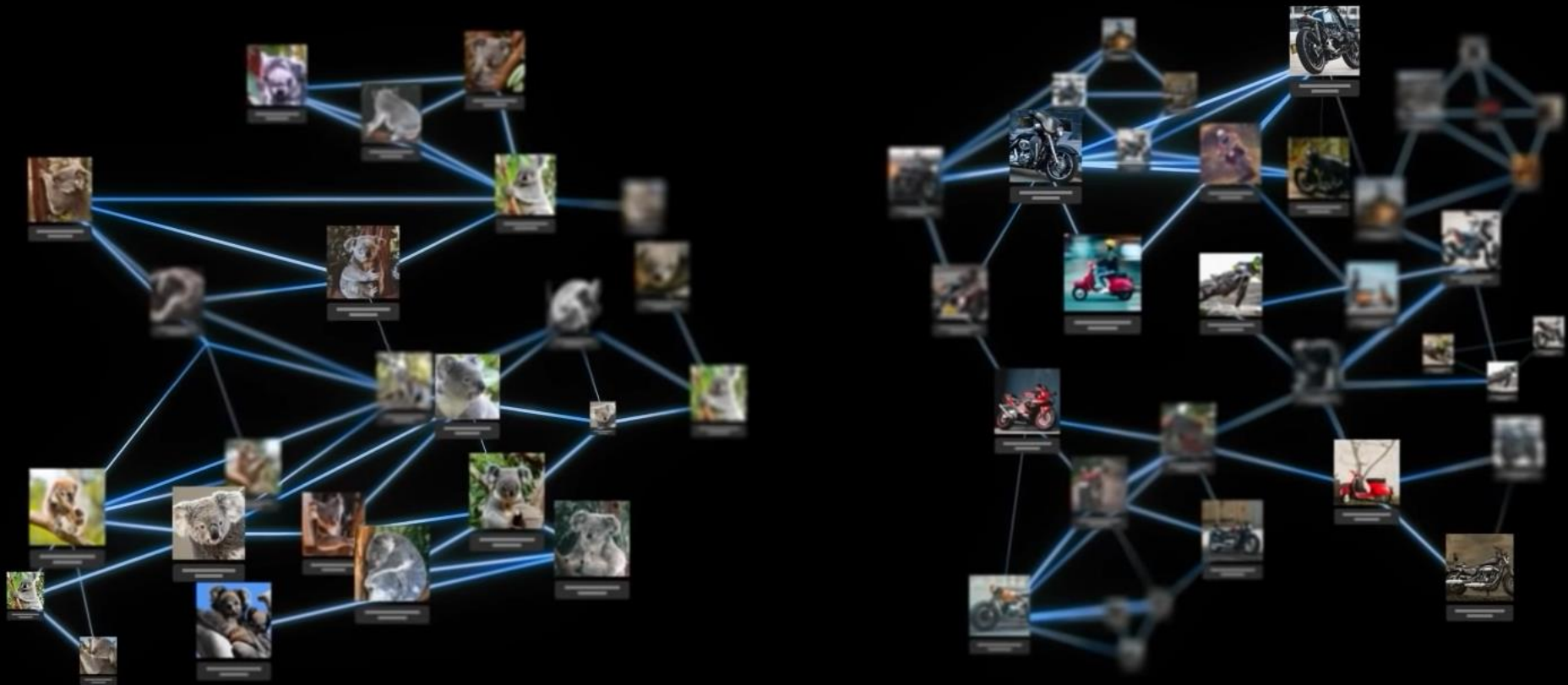
- Opisz różnicę pomiędzy rozumowaniem a myśleniem skojarzeniowym.

chatGPT: Rozumowanie to proces, w którym używamy naszych logicznych i analitycznych umiejętności do dochodzenia do wniosków na podstawie dostępnych informacji. Proces ten może obejmować definiowanie problemu, zbieranie danych, tworzenie hipotez, testowanie hipotez i wyciąganie wniosków. Celem rozumowania jest zrozumienie i wyjaśnienie zjawisk oraz podejmowanie racjonalnych decyzji na ich podstawie.

Myślenie skojarzeniowe to proces, w którym nasze myśli i idee są łączone ze sobą poprzez powiązania i skojarzenia. Myślenie skojarzeniowe jest często spontaniczne i niekontrolowane i może prowadzić do tworzenia nowych idei i połączeń między różnymi tematami. Może być również używane jako technika twórczego myślenia, która pozwala na szybkie wygenerowanie wielu pomysłów i może być przydatna w rozwiązywaniu problemów.

Rozumowanie jest bardziej analityczne i logiczne, podczas gdy myślenie skojarzeniowe jest bardziej intuicyjne i twórcze. Oba procesy są ważne w ludzkim myśleniu i mogą być używane w różnych sytuacjach.

Obrazy i słowa



koala bears

motorcycles

Through deep learning, it not only understands individual objects, like koala bears and motorcycles,

Dalle-2, Imagen, Midjourney i 100 innych! Obrazy/słowa to aktywacje sieci.

Wyobraźnia AI

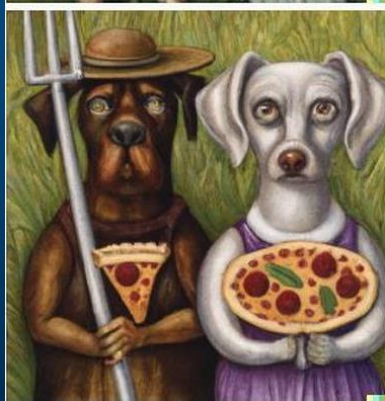
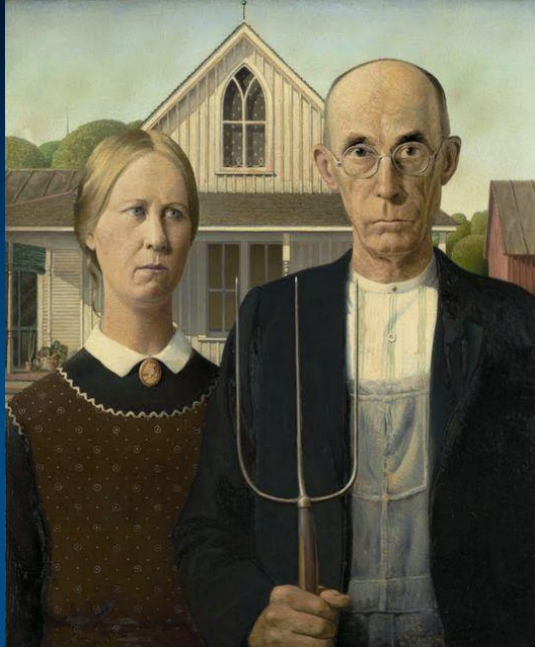
Sieć neuronowa mająca miliardy parametrów, potrafi połączyć opis tekstowy z obrazami.

Obrazki powstały z opisu:

The painting American Gothic, with two dogs holding pepperoni pizza instead of the farmers holding a pitchfork.

Każde uruchomienie tworzy inną wersję, obraz 3D + wideo. Wyobraźnia!

Słowa, obrazy, algorytmy, matematyka?



Neuroedukacja?

(Neuro)edukacja

Pedagogika: interwencje i obserwacje behawioralne hipotezy i teorie, rozumienie koncepcyjne.

Edukacja ↔ zmiany fizycznej struktury mózgu, więc edukacja to rzeźbienie plastycznych mózgów!

Tworzymy połączenia w mózgu, ścieżki aktywacji „żłobione” są przez doświadczenie i nauczycieli.

Neuroedukacja: interdyscyplinarna dziedzina łącząca wyniki neuronauki, psychologii i pedagogiki w celu opracowania bardziej efektywnych metod nauczania.

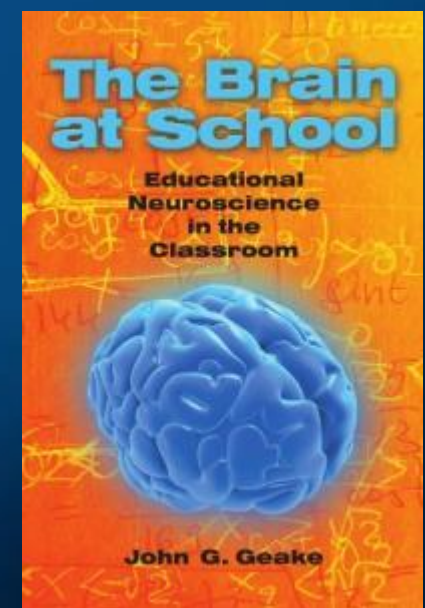
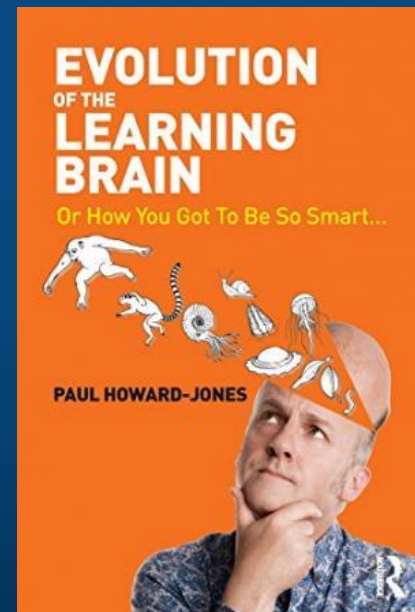
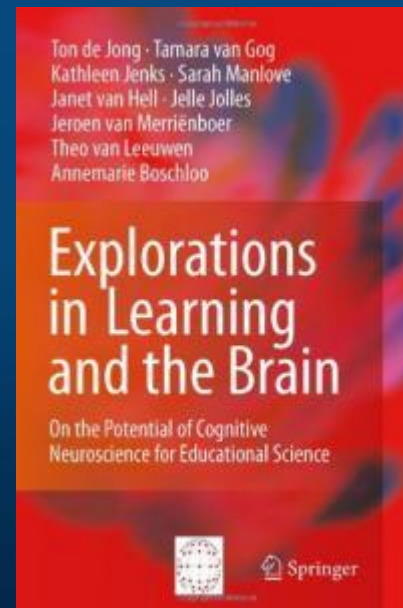
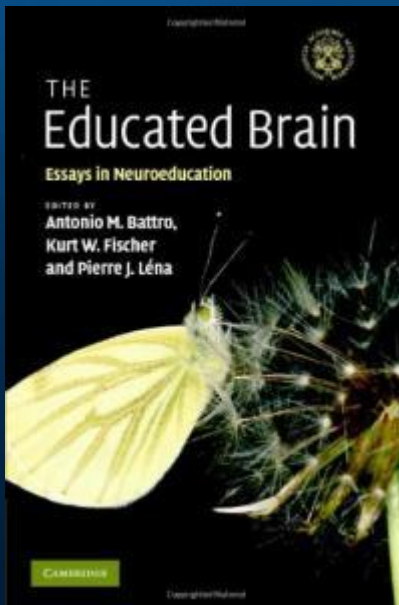
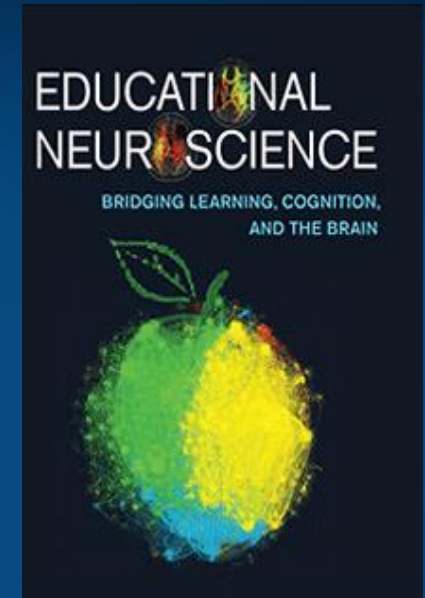
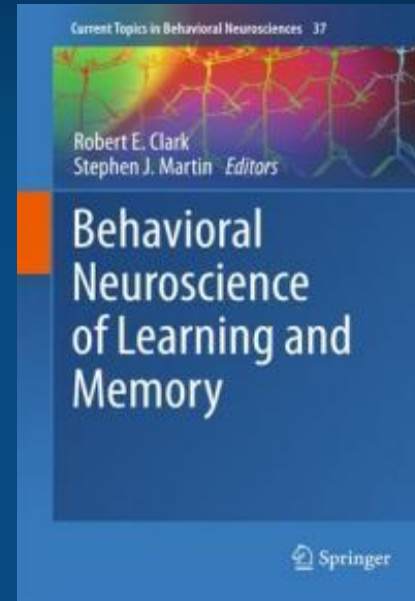
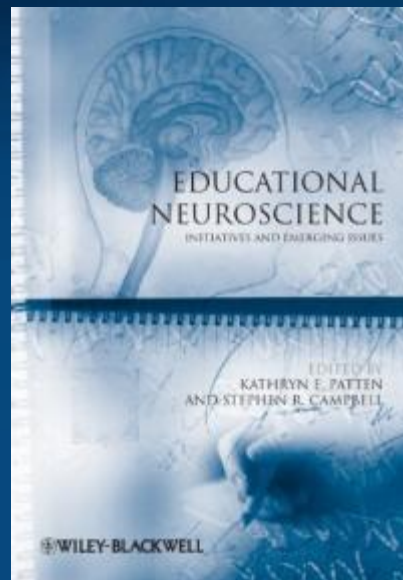
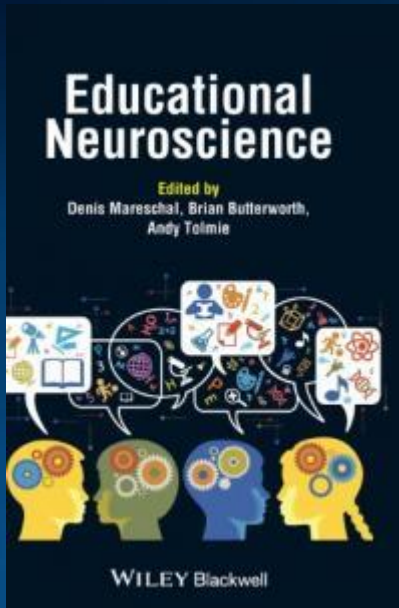
Stare marzenie ...

Neurolog Henry Herbert Donaldson (1857–1938), napisał „The Growth of the Brain: A Study of the Nervous System in Relation to Education” w 1895 roku!

Pedagog Reuben Post Halleck (1859–1936), napisał „The Education of the Central Nervous System: A Study of Foundations, Especially of Sensory and Motor Training” w 1896!



Książki na temat neuroedukacji



Geny i mózgi

Genetyka jest w modzie, wiele przypisujemy genom, ale pomyślmy ...

Nicień



19.000 genów

302 neurony

7800 synaps

Człowiek



~ 19.000 genów, ~ 50 bln komórek

~ 100 mld neuronów (10^{11})

~ 10^{14} – 10^{15} synaps, 100 bln km DNA

- Wniosek: Genetyka nie wystarczy by zrozumieć ludzki mózg. Korelacje mutacji i IQ są bardzo słabe, korelacja geny-wykształcenie ~2%.
- Nie będzie cudownej pigułki regulującej procesy na poziomie molekuł ...
- Nawet dla spektrum autyzmu warianty ponad 1000 genów w <20% przypadków.

Fenomika neurokognitywna

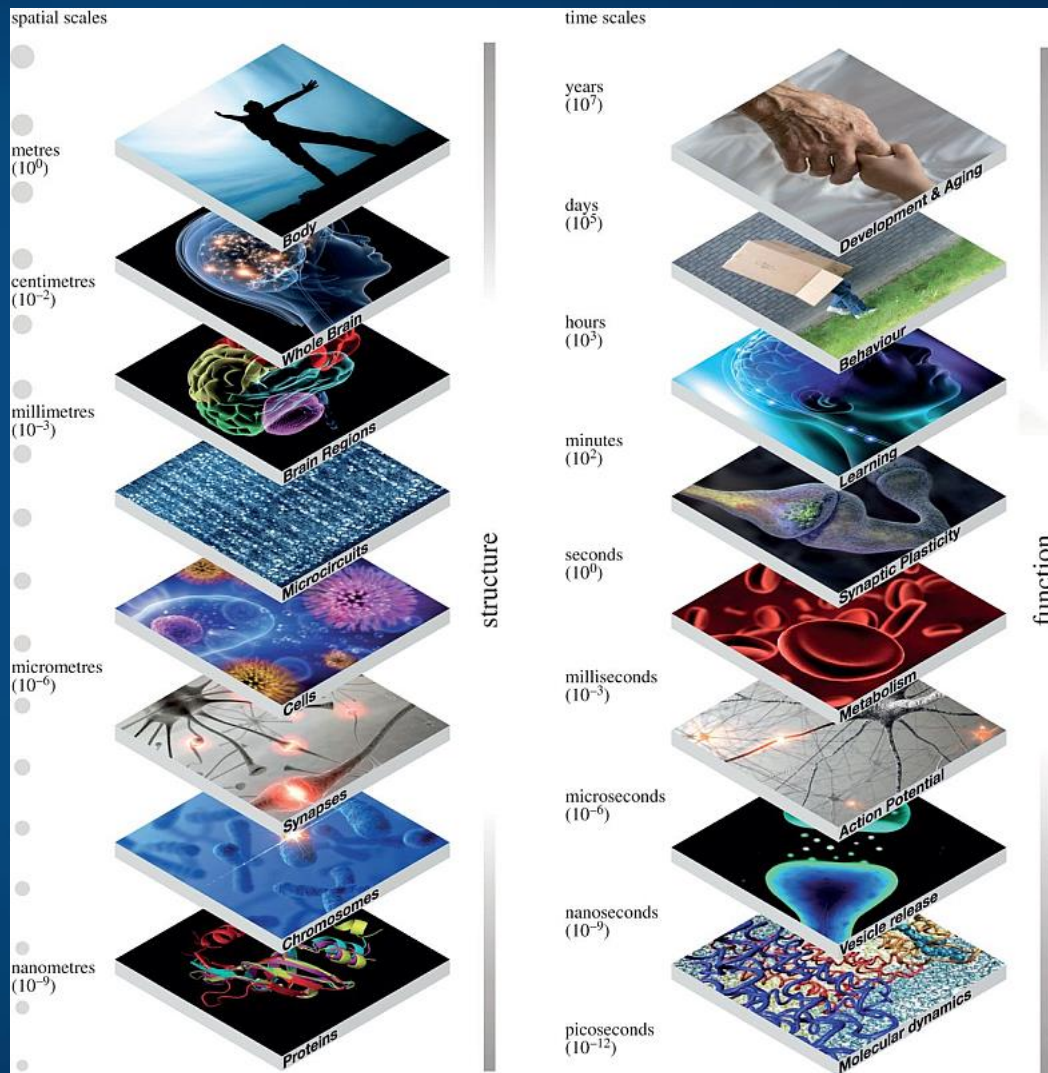
2008: Powstało [Consortium for Neuropsychiatric Phenomics](#)

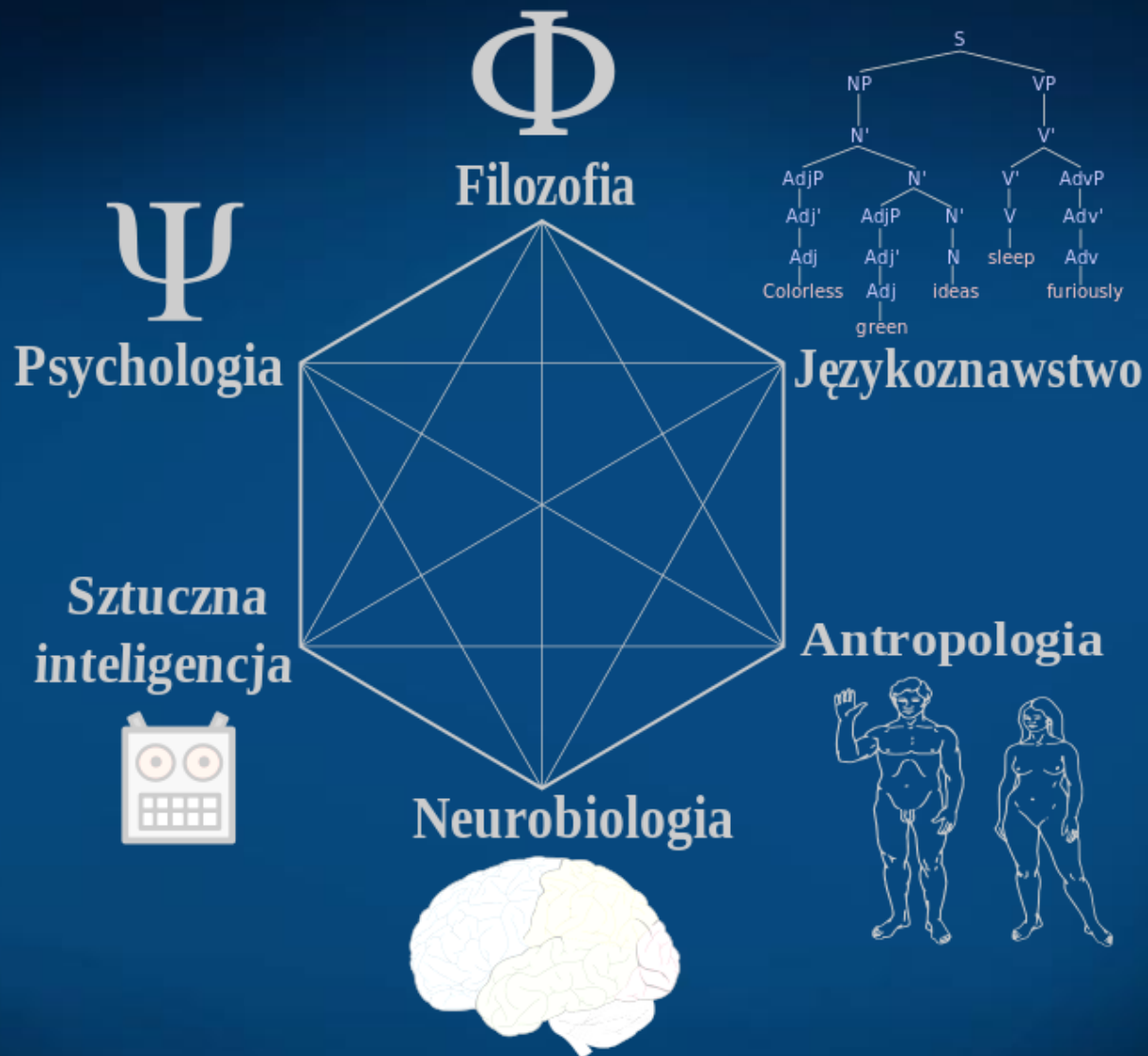
Od genów do sieci neuronów do mechanizmów poznawczych i do ich zaburzeń.

Neurofenomika kognitywna: wpływ na uczenie mają procesy na wielu poziomach.

Skale czasowe od pikosekund do lat, przestrzenne od nanometrów do metra – [RDOC NIMH](#).

Geny dostarczają budulca, komórki, ale to, jak się zorganizują, zależy od środowiska.





Kognitywistyka: początkowo interakcja tylko tam gdzie są grubsze linie ...
 Teraz jest pełna interakcja + inne dziedziny. Rys. G.A. Miller(1978).

Kognitywistyka



Kognitywistyka (nauki kognitywne, cognitive sciences).

Liczne metody ale wspólny cel:
zrozumienie umysłu w jak najszerszym zakresie.

Narodziny: konferencja Dartmouth, dzień 2, 11.09.1956. Chomsky, Shannon, Newell, Simon ... a nawet symulacje reguły Hebb'a łączenia się neuronów. Zrozumienie, że rozwiązanie problemów dyscypliny X zależy od rozwiązania problemów przypisywanych tradycyjnie do innych dyscyplin.

N. Chomsky, Syntactic Structures 1957

A Newell, H.A. Simon: Computer science as empirical inquiry: symbols and search. Communications of the ACM, 1967 - AI + psychologia.

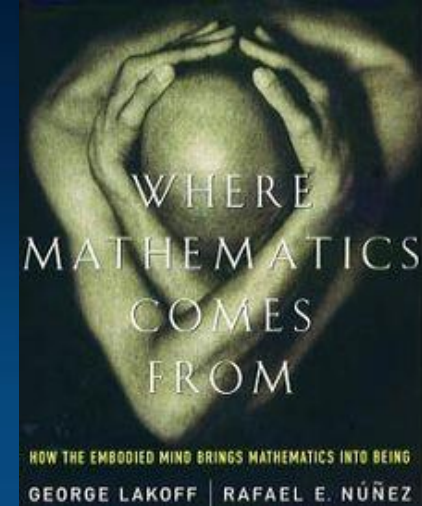


Czasopismo „Cognitive Science” założono w 1976 roku.

Raport Sloan Foundation (1978) zawierał słynny diagram z 6 podstawowymi dyscyplinami naukowymi, które wspólnie tworzą kognitywistykę.

WD, Czym jest kognitywistyka? Kognitywistyka i Media w Edukacji (1998)

Matematyka kognitywna.



Matematyka kognitywna, zadaje odmienne pytania: w jaki sposób koncepcje matematyczne wyłoniły się z „metafizyki dnia powszedniego”, naszego „bycia w świecie”?

Tożsamość Leonharda Eulera: $e^{i\pi} + 1 = 0$

Najpiękniejszy wzór, 5 stałych : 0, 1, π , e , i , 4 działania +, *, =, potęga.

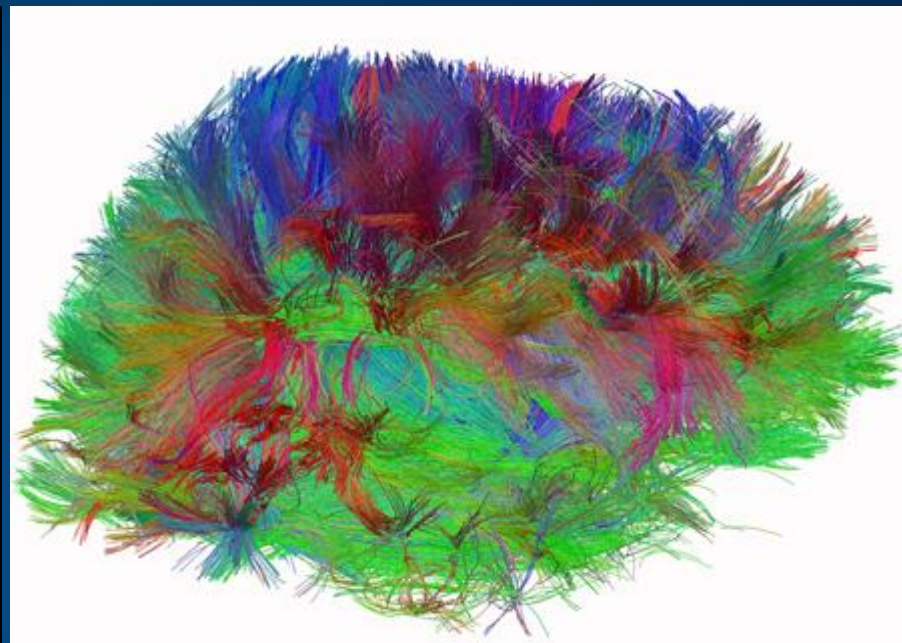
To szczególny przypadek: $e^{i\alpha} = \cos(\alpha) + i \sin(\alpha)$

Benjamin Peirce (19 wiek, Harvard):

„To jest absolutnie paradoksalne: nie możemy tego zrozumieć, nie wiemy co to znaczy, ale ponieważ to udowodniliśmy wiemy, że musi być prawdą.”

Pełne wyjaśnienie wymaga przeczytania 50 stron rozdziału z książki o ucieleśnionym poznaniu Lakoffa i Nuneza „Skąd przychodzi matematyka?”

Neuronalny determinizm



Genetyczny determinizm narzuca ogólne ograniczenia na sprawność mózgów, lepiej mieć liczne „zmarszczki” i „włochate” mózgi, niż gładkie i uczesane.

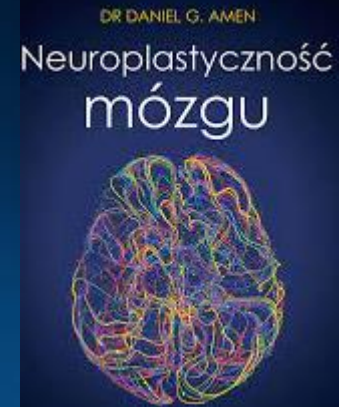
Aktywność neuronalna (neurodynamika) określa co nam przyjdzie do głowy.

Neuronalny determinizm: mózg ukształtowany pod wpływem doświadczeń życiowych, wychowania, edukacji, tworzy skojarzenia, myśli, emocje.

Geny \Leftrightarrow mózg i ciało \Leftrightarrow środowisko \Leftrightarrow geny

Metafora: umysł to cień aktywności mózgu.

Neuroplastyczność



Brault Foisy I inn. (2020). Teachers as Orchestrators of Neuronal Plasticity: Effects of Teaching Practices on the Brain.

Działania pedagogów prowadzą do zmian w mózgu i zachowaniu.

Nauczyciele wykorzystują plastyczność neuronalną podejmując różne działania.

- (1) ukierunkowanie uwagi na określone cechy;
- (2) nauczanie określonej strategii;
- (3) zmianę poziomu zaangażowania poznawczego;
- (4) ustalenie kontekstu edukacyjnego;
- (5) interakcję z uczniem.

Podstawą jest automatyzacja prostych funkcji, szybkie działania w pamięci. Trwała uwaga jest szczególnie ważna w bardziej automatycznych i monotonicznych sytuacjach. Trudności w opanowaniu podstaw matematyki są często wynikiem problemów z utrzymaniem uwagi.

Osoby z czystą dysleksją rozwojową mogą nie osiągnąć automatyzmu w arytmetyce i dlatego nie polegają na systemie uwagi podtrzymywanej nawet w prostych sytuacjach automatycznych w arytmetyce.

Organizacje

OECD (2002) Office of Economic Cooperation and Development, Paryż, raport: Understanding the Brain: Toward a New Learning Science.

OECD Center for Educational Research and Innovation
Digital Education Outlook

IBE, Instytut Badań Edukacyjnych.
ORE, Ośrodek Rozwoju Edukacji.



Posner, M, Rothbart, M. (2005). Influencing brain networks: Implications for education. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(3), 99–103.

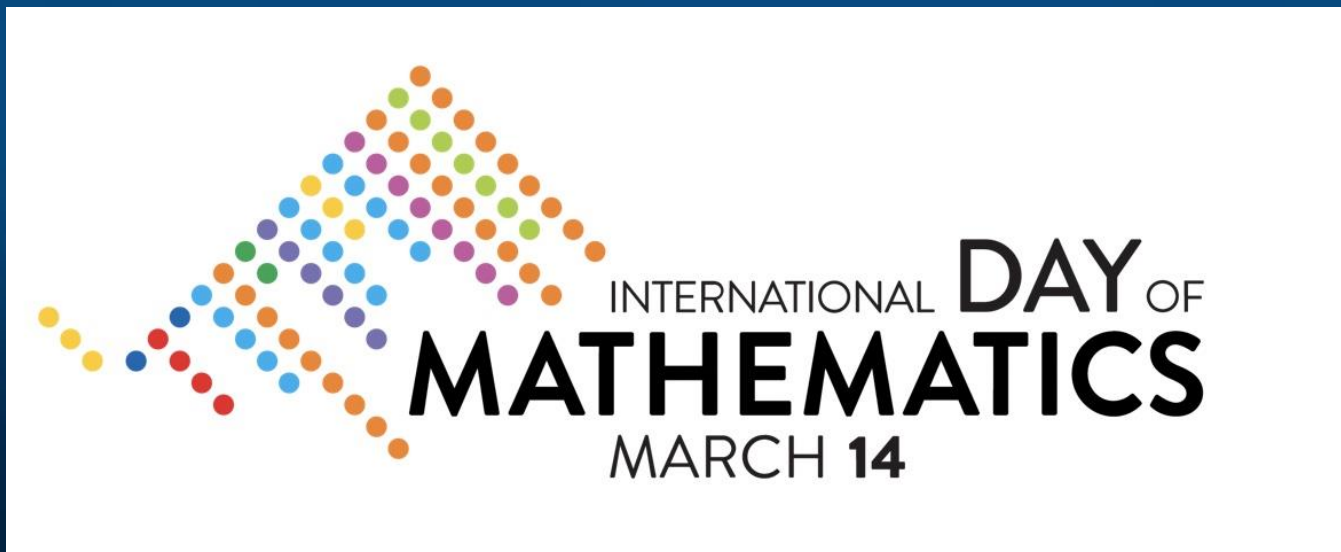
Centralnym zagadnieniem związanym z rozwojem mózgu w edukacji jest to, czy interwencje w klasie mogą zmienić sieci neuronowe związane z poznaniem w sposób, który generalizuje poza konkretną dziedzinę nauczania. Kwestia ta zależy od zrozumienia, jak sieci neuronowe rozwijają się pod wpływem genów i doświadczenia.

Brakuje nam instytucji zajmujących się „centralnym zagadnieniem”.

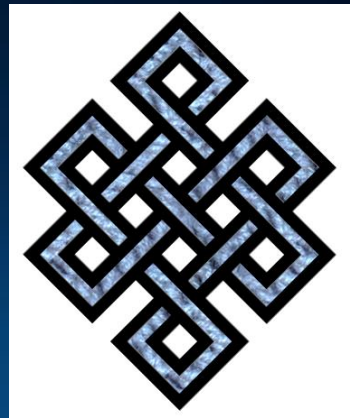
Nauczanie matematyki

Nauczanie matematyki

- 1908, Rzym, International Commission on Mathematical Instruction [ICMI].
1969, Lyons, International Congress on Mathematical Education [ICME].
- 2016, Hamburg, ICME-13 zgromadziło 3500 uczestników z 105 krajów.
54 grupy tematyczne, zajmujące się nauczaniem matematyki,
745 prezentacji. ICME-14 było w 2021 w Shanghaju,
ICME-15 w Sydney, Australia, 7-14.07, 2024.
- Topic Study Group 28 “Affect, beliefs and identity in mathematics education” – jak wzbudzić emocje, motywację i chęć nauki matematyki?



3 kroki



Jeśli dobrze rozumiemy elementy, podstawowe transformacje, sens symboli, to do rozwiązywanie problemu wystarczą 3 kroki:

- świadome postawienie zadania (aktywizacja wyuczonych elementów);
- nieświadome wykonanie obliczeń (skojarzenia z potencjalnie przydatną zapamiętaną wiedzą);
- świadome przedstawienie rozwiązania (selekcja powstałych skojarzeń).

Nie musimy się szczególnie wysilać przy rozwiązywaniu problemów!

Wystarczy **się skupić i mózg znajdzie** rozwiązanie. Tak jest przy:

- rozwiązywaniu problemów, spontanicznym, twórczym działaniu;
- kontrolowaniu prostych akcji (ruch: intencja, nieświadome wykonanie i wynik); planowaniu;
- działaniu pamięci (za chwilę przyjdzie nam do głowy);
- percepcji niejednoznacznych rysunków itd. ...

Trening uwagi czterolatek wpływa na wyniki testów na inteligencję.

Triada: uczenie się

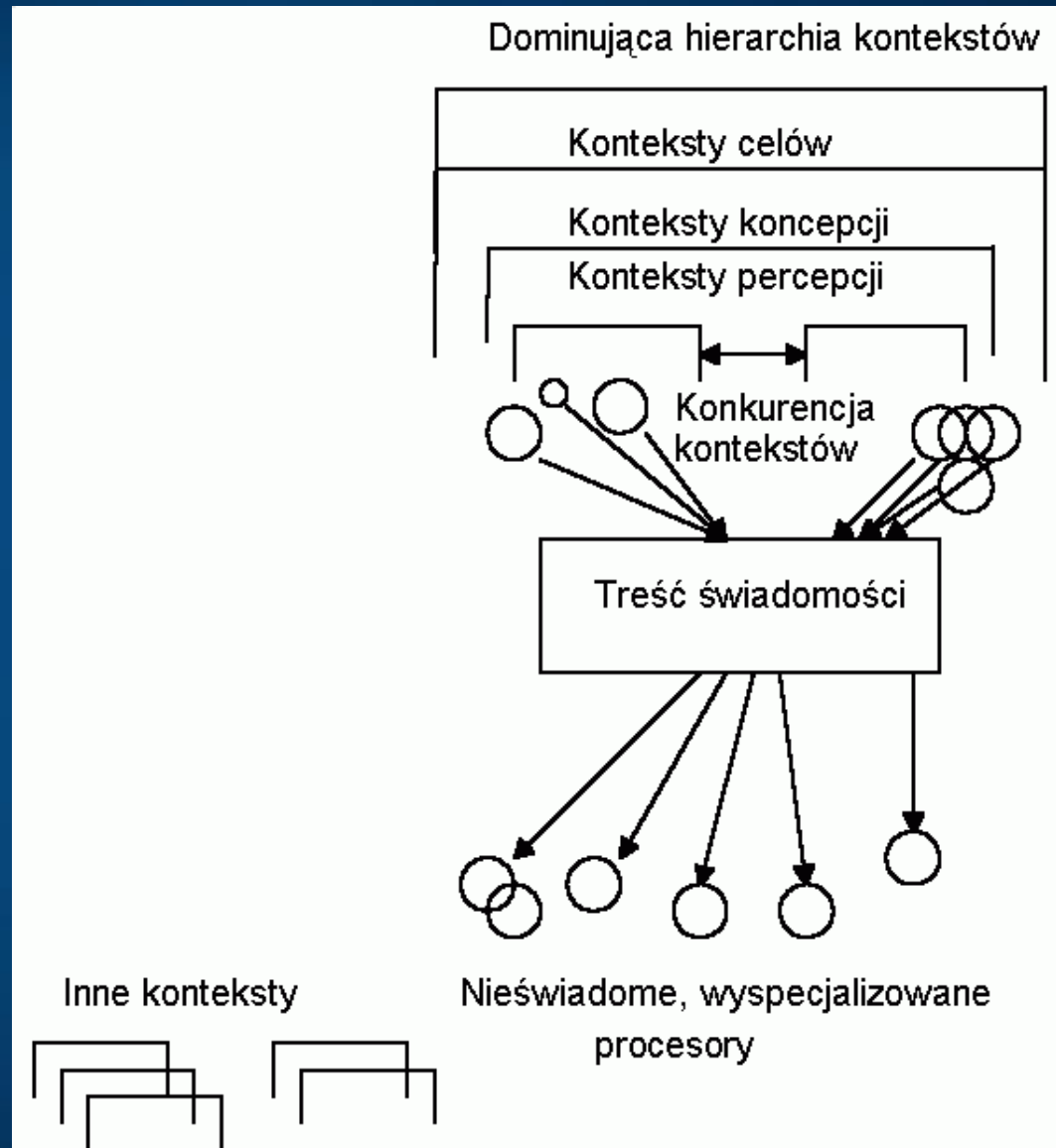
Specjalizowane „procesory” kodują elementarne pojęcia.

Informacje są sekwencyjnie rozsyłane w mózgu.

Kontekst problemu pomaga w utworzeniu skojarzeń bieżącej informacji z potencjalnie przydatną.

Selekcja skojarzeń zależy od oceny ich informacyjnej wartości na podstawie redukcji niepewności.

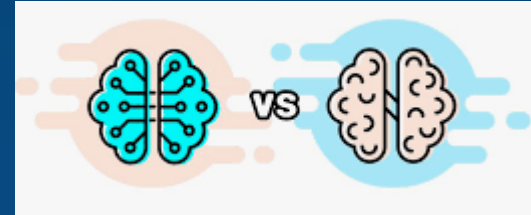
Wartość informacji \Leftrightarrow zmiany aktualnego modelu.



Technologie wspomagające

Nie wystarczy rozdać komputery, trzeba stworzyć ekosystem nauczania.
AIED, czyli sztuczna inteligencja w edukacji (AI in Education).

Raport [Digital Education Outlook](#) podkreśla:



Inteligentne technologie to hybrydowe systemy człowiek-AI.
Inteligentne technologie wspierają człowieka na wiele różnych sposobów,
ale nie są doskonałe. Ich ograniczenia powinny być jednak porównywane
z ograniczeniami ludzi wykonujących podobne zadania.

Zadaniem AI powinno być wsparcie ludzi, ułatwienie pracy nauczycieli.
Rozwój technologii AIED był jednak dość powolny, niewiele z nich zastosowano
na szerszą skalę.

Snappet (Holandia)

Snappet: przykład adaptacyjnej technologii uczenia się, stosowanej w Holandii w 45% szkół, w klasach 1-6.

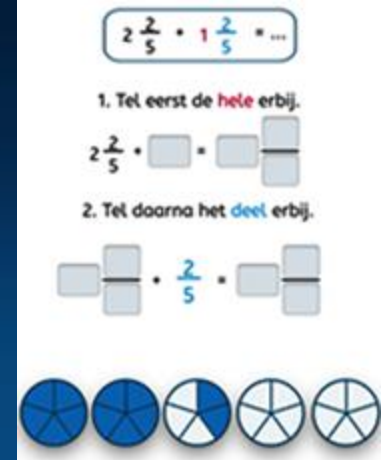
Po 6 miesiącach bardzo znaczna poprawa wyników matematyki.

Pomoc dla nauczycieli: pulpity nawigacyjne z przeglądem rozwoju ucznia i analizą predykcyjną.

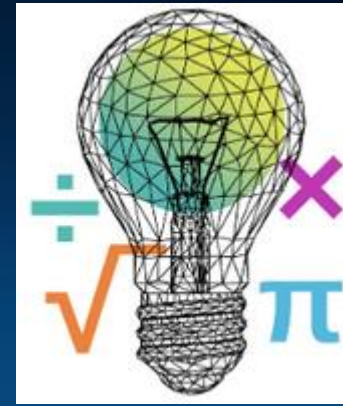
Udostępnia uczniom pulpity z informacjami o ich postępach.

- Bada odpowiedzi uczniów na problemy w ramach tematu i o określonym poziomie trudności.
- Dostarcza bezpośrednią informację zwrotną na temat odpowiedzi ucznia.
- Ocenia wzrost wiedzy ucznia podczas nauki.
- Analizuje i przewiduje rozwój umiejętności ucznia.
- Określa, kiedy kontynuować kolejny temat w oparciu o analitykę predykcyjną. Wybiera problemy dostosowane do wiedzy ucznia (poziom zadania)

Umożliwia to częściową automatyzację procesu nauczania.



Carnegie Learning



Największy eksperyment oparty był na modelu architektury poznawczej ACT-R, stworzonym przez Johna Andersona. Powstała firma CarnegieLearning, która rozwija oprogramowanie AI wspomagające nauczanie.

Ministerstwo Edukacji USA zrobiło badanie obejmujące ponad 18 000 uczniów w 147 szkołach gimnazjalnych i średnich. Hybrydowe podejście Carnegie Learning niemal podwoiło wzrost wyników w standardowych testach.

Podręcznik MATHbook + inteligentne oprogramowanie MATHia dla klas 6-8, 9-12. MATHbook wspiera myślenie matematyczne i głęboką wiedzę merytoryczną poprzez wspólne, skoncentrowane na uczniu uczenie się w klasie. MATHia wykorzystuje wyrafinowaną technologię AI, aby dostosować się na bardzo szczegółowym poziomie, w zależności od umiejętności.

Uczniowie pozostają zaangażowani dzięki spersonalizowanym informacjom zwrotnym i kontekstowym podpowiedziom MATHia.

Uczniowie doświadczają więc dwóch ważnych środowisk uczenia się: razem w klasie i indywidualnie.

Wolfram i piękno matematyki



GPT-3 i inne LLM jeszcze nie są gotowe, ale wkrótce będą. Powinno powstać wiele nowych systemów AI w edukacji.

Mamy za to systemy Wolfram Alpha i Wolfram Language.

Wolfram|Alpha służy do obliczania odpowiedzi i dostarczania wiedzy na pytania związane z wielkościami liczbowymi.

Wolfram Language jest językiem symbolicznym, pozwalającym na tworzenie algorytmów opisujących rzeczywistość, umożliwiając szybkie wyrażenie złożonych idei w formie algorytmicznej.

Manipulacja obrazami, funkcje śledzenia obiektów w wideo, dostęp do bazy danych o geografii, astronomii, chemii, tekstów, superfunkcji pozwalających prostymi programami osiągać bardzo ciekawe efekty, rozwiązywać problemy optymalizacyjne, używać uczenia maszynowego.

Trzeba tylko wiedzieć, co jest możliwe ... osiągnąć to będzie łatwo.

<https://www.wolfram.com/language/core-areas/>

Nauki o uczeniu się

Nauki o uczeniu się



Dwa mało nakrywające się kierunki badań:

Edukacyjne neuronauki (educational neuroscience), lub neuroedukacja

– badanie uczenia się na poziomie zmian procesów zachodzących w mózgu.

Nauki o uczeniu się (learning sciences) bliższe są tradycyjnej pedagogice, używając metod psychologii kognitywnej, społecznej i kulturowej badają wpływ różnych innowacyjnych procedur, nowych metodologii, projektowania nowych środowisk uczenia się, ale są też łączone z neuronaukami.

Ograniczenia badań neuroobrazowych: Badania \Leftrightarrow Edukacja.

- Badania robione na zwierzętach nie zawsze dają się uogólnić;
- proste eksperymenty, zwłaszcza w skanerach fMRI to nie to samo co sytuacja w szkole, gdy powstaje złożona sieć powiązań między pojęciami;
- zwykle eksperymenty trwają stosunkowo krótko a edukacja trwa wiele lat;
- trudno uwzględnić rolę emocji, środowiska, czynników społecznych.

Podstawowe mechanizmy uczenia związane są z neuroplastycznością.

Mity i błędne intuicje



Umysł niezależny od mózgu? Astrologia, czary, opętanie?

Referat: Nadmiar magii, brak rozumu.

Neuro/psycho-mity w edukacji (artykuł Szczygieł/Cipora, Edukacja 2014):

- Używamy 10% swojego mózgu (ok. 25% nauczycieli w Polsce w 2014 roku, w 5 krajach – UK, Holandia, Turcja, Grecja, Chiny to ok 50%).
- Dominacja lewej („inżynierskiej”) lub prawej półkuli mózgu (artystycznej) wyjaśnia różnice uzdolnień uczniów (60-80%).
- „Gimnastyka mózgu” Paula Dennisona, kinezyjologia edukacyjna.
- Programowanie neurolingwistyczne (NLP), struktogramy i wiele innych ...
- Dostosowanie się do preferowanego stylu uczenia się – wzrokowego, słuchowego, kinestetycznego – wpływa na skuteczność uczenia (>80%).

Lista błędów poznawczych jest długa, stąd wiara w mity i teorie spiskowe.

Kursy edukacyjnych neuronauk

Żeby szukać trzeba najpierw znaleźć ... po to właśnie jest edukacja.

Future Learn: Orientation to Educational Neuroscience (Australia)

<https://www.futurelearn.com/courses/educational-neuroscience/>



Zespół IlluminatED Open Educational Resources (Finlandia) opracował darmowy kurs jak też narzędzia wspomagające (slajdy, wideo, artykuły, ankiety, quizy) dla nauczycieli.

<http://www.illuminatedproject.eu/>

<https://www.facebook.com/illuminatedproject/>



Kurs internetowy (MOOC) na temat neuronauki w edukacji

1. Wstęp do nauki o uczeniu się.
2. Badania **empiryczne** i fakty na temat uczenia się.
3. Dobre nawyki wspomagające uczenie się.

9 najważniejszych wniosków

Louis Cozolino, [The social neuroscience of education](#) (2013).

Najważniejsze wnioski z neuronauk dla nauczania:

1. Mózg jest organem społecznym. Bliskie, wspierające relacje stymulują pozytywne emocje, neuroplastyczność i uczenie się
2. Wczesne uczenie się jest bardzo ważne.
3. Dwa mózgi/funkcje (lewy-prawy, seryjny-równoległy; D. Khaneman, Pułapki myślenia. O myśleniu szybkim i wolnym).
4. Świadome i nieświadome przetwarzanie informacji zachodzi z różnymi prędkościami, często jednocześnie.
5. Umysł, mózg i ciało są ze sobą nierozzerwalnie połączone.
6. Mózg potrafi się koncentrować tylko na krótko, potrzebuje powtórzeń i stymulacji wielu zmysłów, aby się zmienić (trwale nauczyć).
7. Strach i stres utrudniają naukę.
8. Prymat zewnętrznych projekcji - analizujemy innych, ale nie siebie.
9. Uczeniu się pomaga podkreślanie szerszego obrazu, a następnie umożliwienie uczniom samodzielnego odkrywania szczegółów.

Raport „Neuroscience and Education”

Paul Howard-Jones, *Neuro nauka i Edukacja: Przegląd interwencji i podejść edukacyjnych korzystających z osiągnięć neuronauki.*

Tłumaczenie: K. Cipora, A. Bereś, E. Międzobrodzka, J. Płachetka.

[Education Endowment Foundation.](#)



Raport omawia 18 zagadnień.

[W polskiej wersji](#) został uzupełniony i rozszerzony.

Fizjologia



Potrzeby fizjologiczne są kluczowe: **sen, odżywianie i nawodnienie**.

Sen: odpoczynek, konsolidację pamięci długotrwałej.

Proces konsolidacji rozpoczyna się od wtórnego aktywowania neuronalnej reprezentacji (wspomnień) zachodzącego w fazie snu wolnofalowego (SWS, ang. slow-wave sleep). Późniejsze rozpoczynanie lekcji w szkołach, w których normalnie nauka rozpoczyna się wcześniej rano, poprawia frekwencję i poziom zaangażowania na lekcjach.

Kofeina to jedyna legalna substancja psychoaktywna spożywana przez dzieci. Butelka coli 500 ml z automatu ma tyle kofeiny co filiżanka kawy.

Kofeina, czynniki psychospołeczne i biologiczne mogą zakłócać cykl **snu**, zwłaszcza u młodzieży.

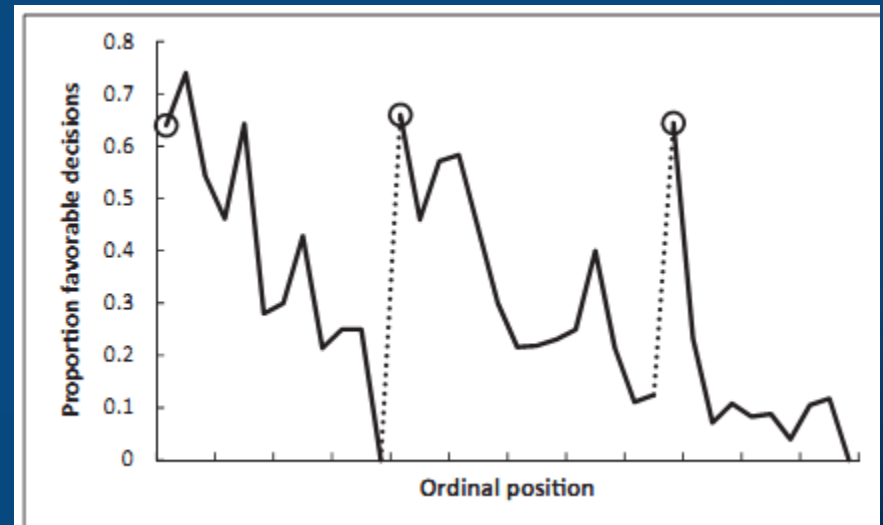
Nawet nieznaczne **odwodnienie** może powodować obniżenie sprawności poznawczej. Badania potwierdzają szkodliwe skutki na sprawność myślenia.

Cukier: duża ilość upośledza procesy poznawcze.

Kiedy uczyć?

Na obrazku częstość przyznawania przepustki w zależności od pory dnia dla 1000 decyzji 8 sędziów izraelskich z 20-letnim stażem pracy (S. Danziger 2011).

- Kiedy szansa na przepustkę spada do zera trzeba nakarmić sędziego!



Samoregulacja i podejmowanie decyzji wymaga **energii, tlenu i glukozy**.

Trudno jest myśleć po ciężkim wysiłku umysłowym, pojawiają się stereotypy.

Ważny jest też czas prezentacji – chronobiologia pokazuje, że nie wszyscy potrafią się uczyć o tej samej porze (skowronki i sowy).

Egzaminy pisemne są bardziej obiektywne.

Ćwiczenia fizyczne



Przeprowadzono szereg badań nad wpływem ćwiczeń fizycznych na osiągnięcia szkolne. Ich wyniki są jednak zróżnicowane.

Nadal nie zidentyfikowano specyficznych czynników związanych z ćwiczeniami fizycznymi wpływających na poziom osiągnięć akademickich.

- **Ćwiczenia aerobowe** zwiększają **efektywność działania** sieci neuronalnych, czołowych i ciemieniowych obszarów kory istotnych dla procesów uczenia się, sprawności czołowo-ciemieniowych sieci kontrolujących uwagę.
- Ćwiczenia fizyczne zwiększają **przepływ krwi do mózgu** i wzmacniają połączenia neuronalne w hipokampie, kluczowym obszarze odpowiedzialnym za tworzenie śladów pamięciowych i ich konsolidację. **Objętość hipokampa** jest związana ze stopniem **aktywności fizycznej**, poprawą pamięci przestrzennej i zwiększeniem poziomu BDNF we krwi.
- U osób dorosłych pokazano, że ćwiczenia fizyczne prowadzą do **wzrostu objętości** różnych obszarów istoty białej i istoty szarej mózgu (mielinizacja, synapto i neurogeneza).

Biologia => psychologia

Szkoła w Naperville

Zmiany w jednej ze szkół publicznych w Illinois, USA.

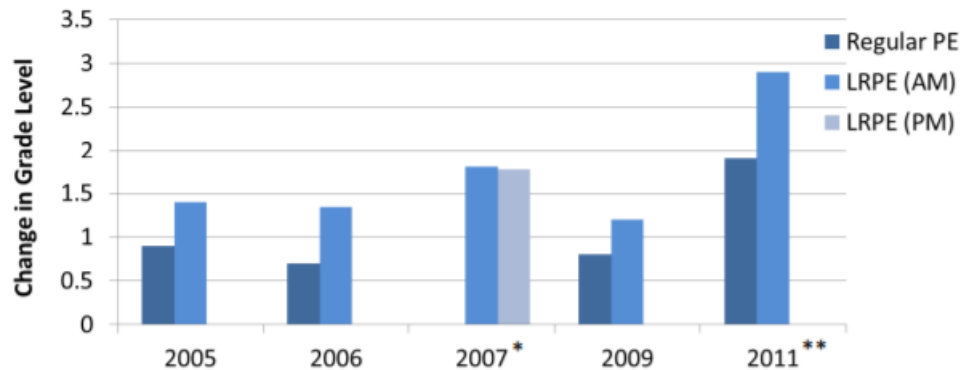
Dodano 45 minut/dziennie ćwiczeń fizycznych, program od 2005 roku realizował Paul Zientarski.

Program PE4LIFE wykorzystał maszyny do ćwiczeń fitness, taniec, rowery do ćwiczeń, zegarki z pomiarem pulsu i zwykłe ćwiczenia gimnastyczne.

Wyniki w matematyce i czytaniu znacznie się poprawiły.

Sprawny mózg = dobre ukrwienie transport tlenu i glukozy.

Figure 1. P.E. and Literacy Improvement

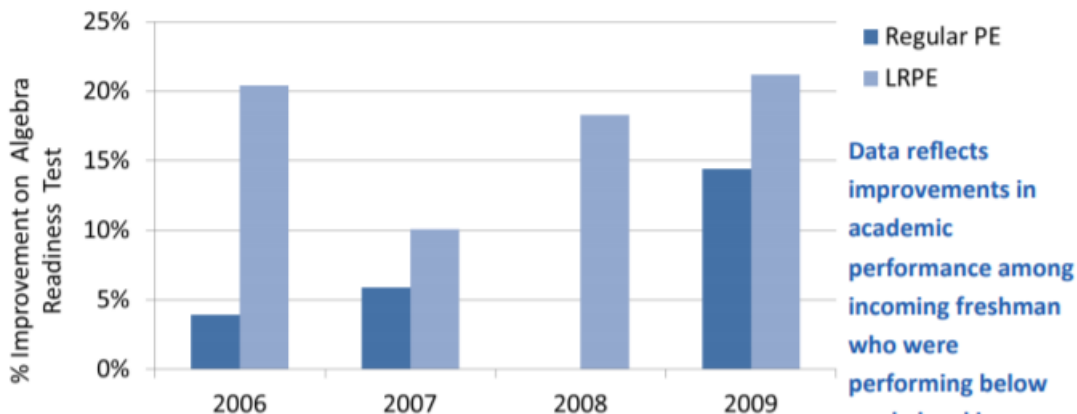


Reading level evaluated using the *Nelson-Denny Reading Test*

*No students permitted to opt-out of LRPE in 2007

** 2011 data includes students from Naperville North High School

Figure 2. P.E. and Algebra Improvement



Math skills evaluated using the *Algebra Readiness Test*

No regular P.E. was held in 2008

Data reflects improvements in academic performance among incoming freshman who were performing below grade level in reading and math.

Nieświadome wybory

Czy racjonalnie podejmowane decyzje są najlepsze?

- Większość myślenia odbywa się nieświadomie;
- kreatywność wymaga nieświadomego myślenia;
- podejmowane decyzje są często bardziej zadawalające, szczególnie w skomplikowanych przypadkach.



Monti, Osherson, Logic, Language and the Brain. *Brain Research* 2011: rola języka w rozumowaniu dedukcyjnym jest ograniczona do początkowego etapu w którym werbalnie prezentowana informacja ulega zakodowaniu w postaci niewerbalnych reprezentacji.

Te reprezentacje są wykorzystywane przez operacje mentalne, ale nie wykorzystują neuronalnych mechanizmów związanych z językiem.

Dijksterhuis, Nordgren, Perspectives on Psych. Science
Unconscious Thought Theory (UTT, 2006).

Etapy uczenia

Rozwiązywanie problemu to triada:

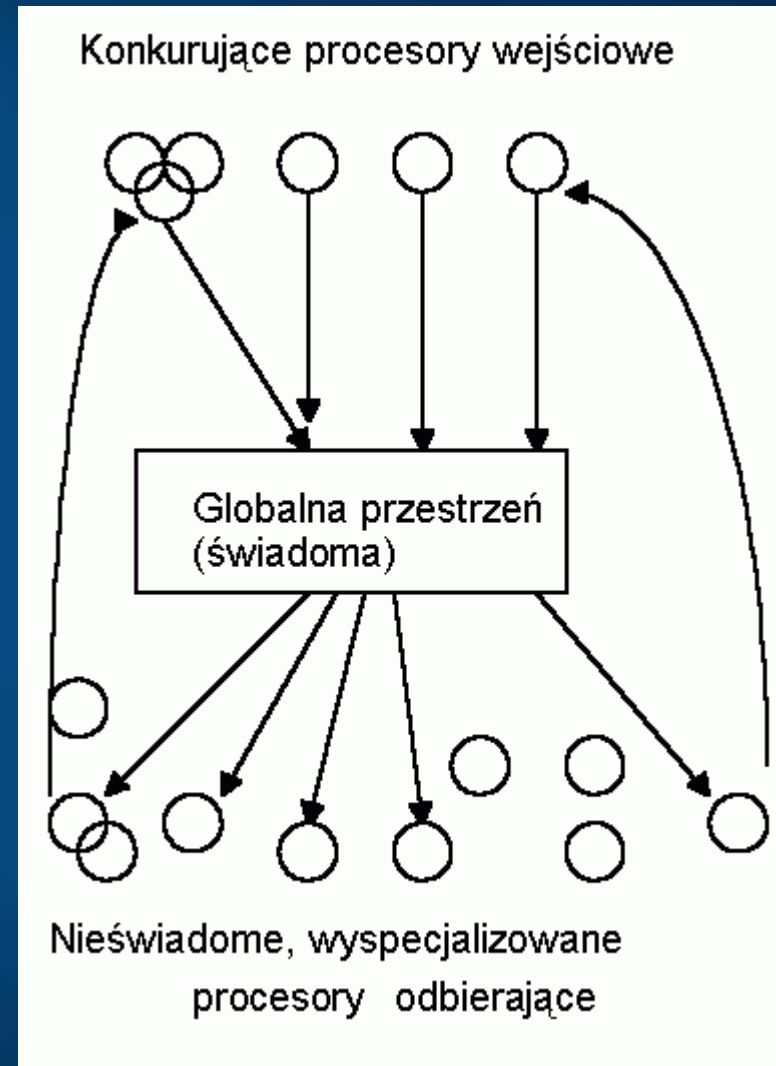
- świadome postawienie zadania;
- nieświadome wykonanie obliczeń;
- świadome przedstawienie rozwiązania.

Nie musimy się szczególnie wysilać przy rozwiązywaniu problemów!

Wystarczy się skupić i czekać na rozwiązanie – jeśli mamy dobre podstawy i się skupimy.

Działanie mózgu przebiega w 3 etapach przy:

- planowaniu;
- szukaniu w pamięci;
- rozwiązywaniu problemów;
- spontanicznym, twórczym działaniu;
- percepcji, np. niejednoznacznych rysunków, rozpoznawaniu obiektów;
- podejmowaniu działania: intencja, automatyczne wykonanie, wynik.



Automatyzacja

Automatyzacja, dobrze wyuczone działania związane z manipulacją symbolami, wymagają mniej energii i pobudzają znacznie mniejsze obszary kory mózgu już po paru dniach nauki.

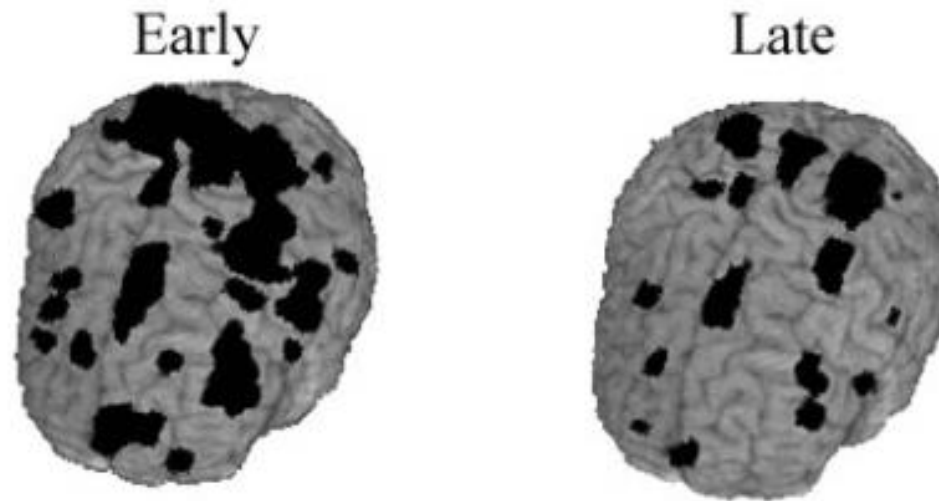
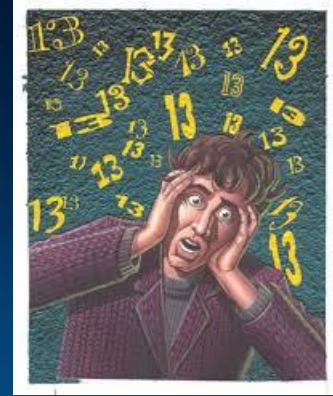


Figure 4.14. Regions activated in the symbol manipulation task of Qin et al. (2003): (a) early: day 1 of practice; (b) late: day 5 of practice. Note that these are “transparent brains” and that the activation is not just on the surface but also below the surface.

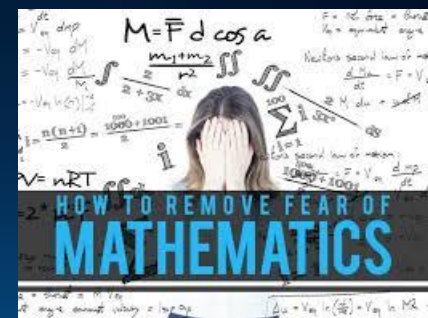
Matematyka-lęki



Arytmofobia: liczby wyłączają niektóre mózgi ...

- Istnieją dowody na to, że używanie liczb wywołuje lęk nawet u bardzo młodych uczniów i utrzymuje się to na dalszych etapach edukacji.
- Lęk niekorzystnie wpływa na pamięć roboczą, wysoki poziom lęku zwiększa aktywność ciała migdałowatego oraz zmniejsza aktywność w obszarach mózgu związanych z pamięcią roboczą i przetwarzaniem liczb.
- Lęk może zostać przeniesiony z nauczyciela na ucznia.
Trudności doświadczane przez dorosłych studentów można przewidzieć na podstawie stopnia zaangażowania obszarów mózgu odpowiedzialnych za kontrolę poznawczą, kontrolowanie negatywnych reakcji emocjonalnych na obiekty związane z matematyką.
- Sporo wyników badań świadczy o wpływie stresu na procesy uczenia się.
- Potencjalnie skuteczne interwencje?

Matematyka-treningi



Czy zrozumienie lęku przed matematyką może doprowadzić do poprawy osiągnięć w matematyce?

Interwencja skupiona na kontrolowaniu negatywnych reakcji emocjonalnych poprawia wyniki w testach z matematyki.

Negatywny wpływ lęku przed matematyką na poziom wykonania testu u nastolatków można ograniczyć prosząc ich o opisanie odczuwanych emocji.

Pisanie na temat lęku może pomóc kontrolować negatywne emocje.

Zbadano w warunkach szkolnych 106 uczniów w wieku 14-15 lat. Na początku uczniowie oceniali poziom swojego lęku przed matematyką, a następnie losowo przydzielono ich do dwóch grup. Przez 10 minut, bezpośrednio przed testem z matematyki, jedna grupa pisała o swoim lęku związanym z matematyką, a druga grupa na temat niezwiązany z matematyką i testem. Wśród uczniów o wyższym lęku przed matematyką opisujących swoje lęki poziom wykonania testu był zbliżony do wyników grupy o niskim lęku.

Matematyka-reprezentacja



Niesymboliczna i symboliczna reprezentacja liczb.

- Neuronauka pomogła odkryć znaczenie niesymbolicznej i symbolicznej reprezentacji wielkości liczbowych zarówno w najwcześniejszych jak i późnych etapach edukacji matematycznej.
- Dzieci muszą nauczyć się wiązać ze sobą te dwa rodzaje reprezentacji.
- W interwencjach mających na celu rozwijanie reprezentacji niesymbolicznych u dzieci uzyskano zróżnicowane wyniki.
- Powstały gry diagnostyczno-terapeutyczne, przydatne również dla osób cierpiących na dyskalkulię (np. [MathCognition Lab](#) na UMK).
- Niektóre gry mają wpływ treningu na reprezentacje symboliczne i transfer na inne umiejętności związane z posługiwaniem się liczbami.

Dowody na skuteczność w edukacji – średnie; zastosowania – średnie.

Matematyka-gnozja palców

Gnozja palców to zdolność rozróżniania tylko na podstawie informacji dotykowej czy dotknięty został jeden czy dwa różne palce (to również test na synchronizację półkul).

U 8-latków używanie palców zwiększało aktywację w obszarach ciemieniowych związanych ze zmysłem numerycznym (HIPS, poziomy odcinek bruzdy śródciemieniowej).

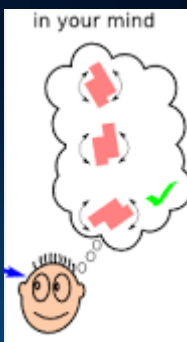
Badanie dzieci w wieku 6-12 lat sugeruje, że liczenie na palcach ma istotne znaczenie dla przejścia od reprezentacji niesymbolicznych („wyczucia wielkości”) do symbolicznego, dokładnego przetwarzania liczb.

Liczenie na palcach wydaje się być ważnym przykładem ucieleśnionego poznania, w którym procesy sensomotoryczne są podstawą rozwoju. Liczydła w tym pomagają.

Palce reprezentują ucieleśnione obiekty zaangażowane w szacowanie wielkości liczbowych, dużo pomyłek o 5 wynika z wykorzystania palców do reprezentowania pośrednich wyników obliczeń (i pominięcia jakiejś piątki).



Matematyka-treningi wyobraźni



Trening wyobraźni, rotacji mentalnych (np. Tetris) może poprawić wyniki nauczania przedmiotów matematyczno-technicznych (STEM).

Trening spowodował poprawę u studentów, którzy mieli trudności w zakresie umiejętności przestrzennych; osiągnęli wyższe oceny z kursów technicznych, matematycznych i przedmiotów ścisłych, a postęp w nauce był u nich lepszy.

Pozytywny wpływ gier wideo na sprawność rotacji mentalnych i rola, którą te zdolności odgrywają dla osiągnięć w zakresie STEM, wydają się uzasadniać hipotezę, że granie w gry wideo (powszechnie dostępne i/lub specjalnie w tym celu stworzone) prowadzi do poprawy osiągnięć w zakresie STEM.

To nadal kontrowersyjny temat: nadal brak bezpośrednich dowodów na to, że gry wideo mogą prowadzić do poprawy osiągnięć w zakresie STEM poprzez poprawę sprawności rotacji mentalnych, chociaż jest to często spotykany pogląd.

Logika i język

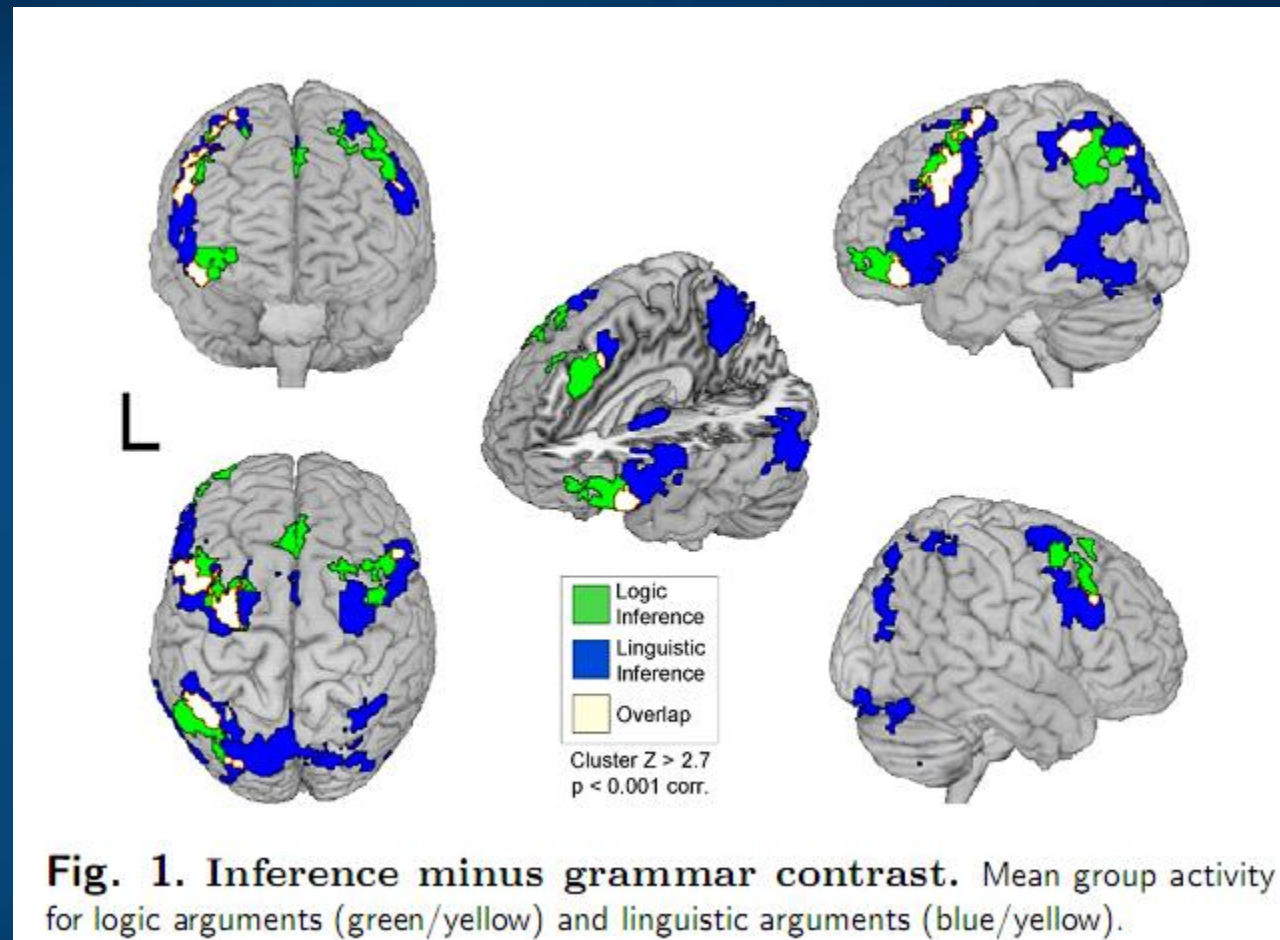
Rozumienie argumentów językowych i logicznych to różne funkcje mózgu, nie ma tu przeniesienia.

Argumenty logiczne:

jeśli zarówno X i Z to nie Y, lub jeśli Y to ani nie X, ani nie Z.

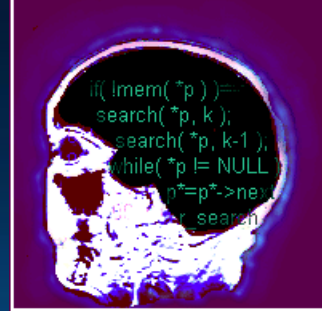
Arg. lingwistyczne:

rzecz X, którą Y widział jak Z brał, lub Z był widziany przez Y biorąc X.



M.M. Monti, L.M. Parsons, D.N. Osherson, The boundaries of language and thought: neural basis of inference making. PNAS 2009

Dyskalkulia



Dyskalkulia: brak wyczucia wielkości liczbowych (*number sense*), intuicyjnego rozumienia liczb, liczby obiektów, operacji na liczbach.

Dwa rodzaje poczucia liczby:

- **szacowanie** (ang. *aproximate number sense*, **ANS**), percepcja i kontekst
- **wartości konkretne** (ang. *exact number sense*, **ENS**), zliczanie i obliczenia

Pracownia Gier Terapeutycznych i Badania Procesów Poznawczych (**GameLab**)
w Laboratorium Neurokognitywnym ICNT UMK, Toruń.

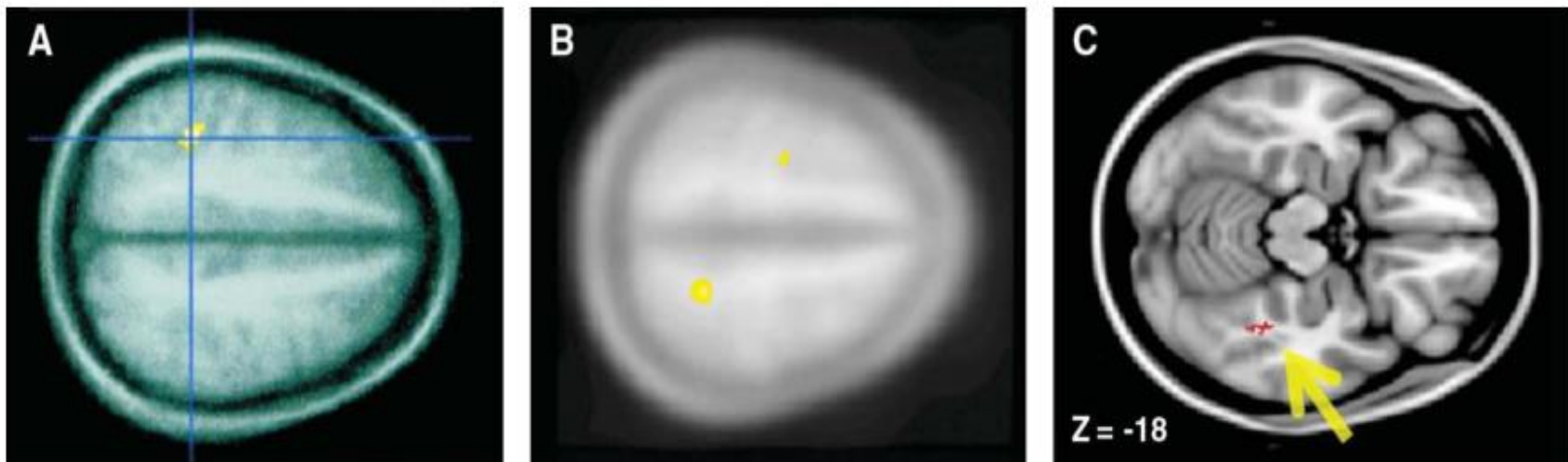
Zadania:

- stworzyć komputerowy test przesiewowy ryzyka dyskalkulii (TPRD);
- stworzyć krótki i intensywny trening poznawczy mentalnej osi liczbowej dla dzieci w wieku od 6 do 9 lat (Kalkulilo).

Dr hab. Jacek Matulewski (fizyk/informatyk); psychologowie : Bibianna Bałaj, Małgorzata Gut, Joanna Dreszer, Magdalena Jawor; kognitywiści (doktoranci): Łukasz Goraczewski, Karolina Finc, Natalia Pawlaczyk.

Dyskalkulia

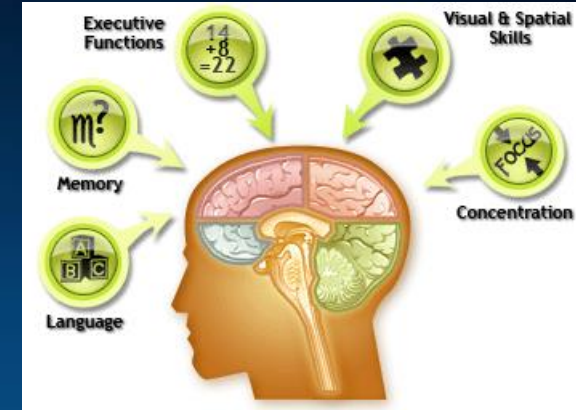
U niektórych dzieci nie dochodzi do wytworzenia mentalnej osi liczbowej. To prowadzi do **dyskalkulii** tj. zaburzenia nabywania podstawowych umiejętności matematycznych nie wynikające z obniżonej inteligencji.



Zmiany w strukturze mózgu u młodych osób dotkniętych dyskalkulią sugerują krytyczną rolę HIPS.
(Butterworth et. al, 2011).

Cięższe uszkodzenia płatów ciemieniowych prowadzą do **akalkulii**.

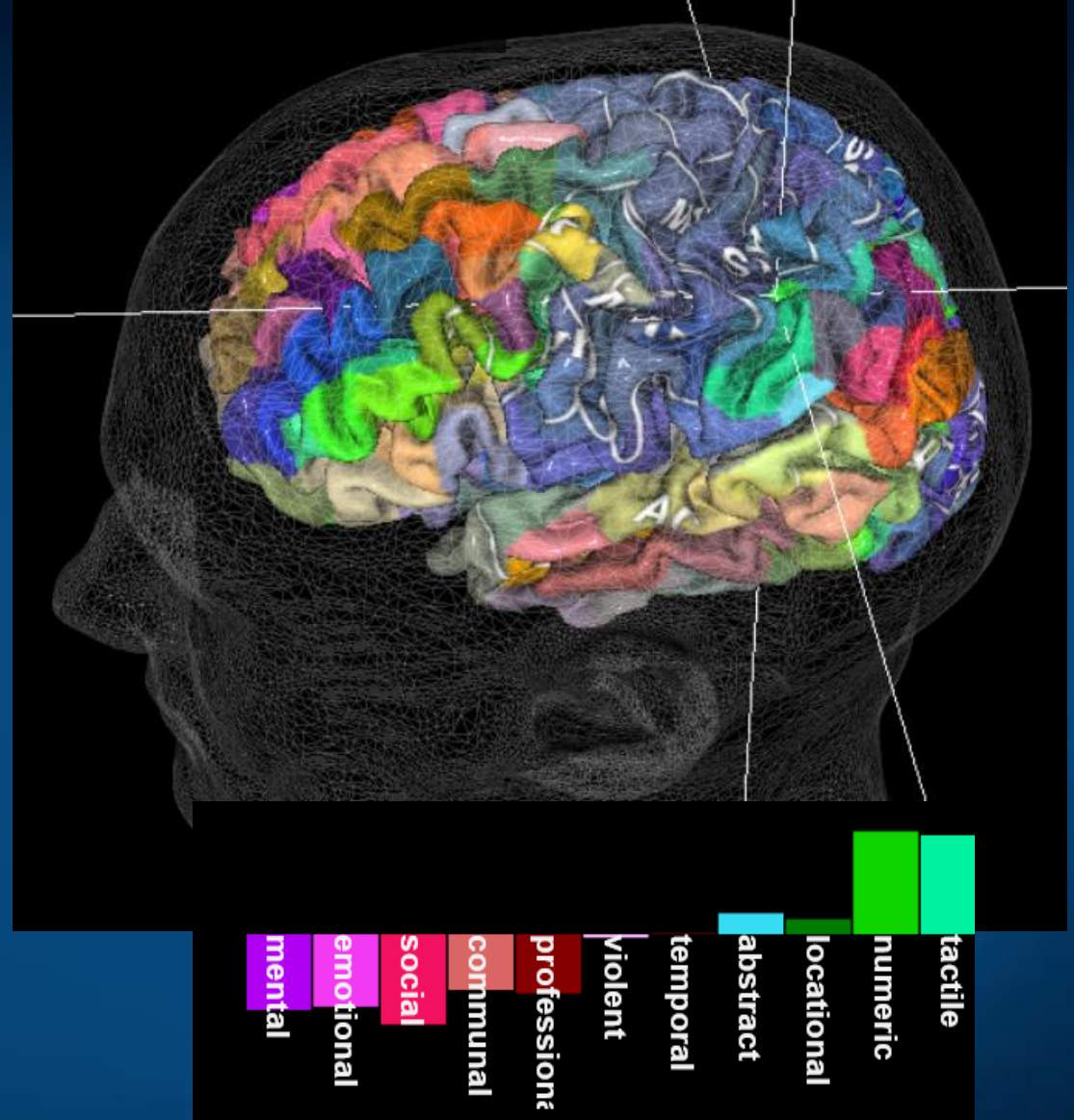
Dyskalkulia ogólnie



- Definicja:
Dyskalkulia rozwojowa to zaburzenie dziedziczne powodujące trudności w nabywaniu umiejętności arytmetycznych.
- Przyczyna (hipoteza):
Osoby z dyskalkulią nie rozwinęły typowej reprezentacji mentalnej osi liczbowej (Butterworth 2005, Dehaene 1997)
- Występowanie:
3-10% (pokazane w wielu eksperymentach)
u 30% z nich – dyskalkulia czysta, reszta – współwystępująca.
- Diagnoza:
inteligencja (w normie lub powyżej),
problemy z porządkowaniem (nie tylko liczb),
„poczucie sensu liczb” (ściśle i szacunkowe, number sense),
proste operacje arytmetyczne (abstrakcyjne i na konkretach).

Reprezentacja pojęć matematycznych w mózgu jest częściowo zlokalizowana.

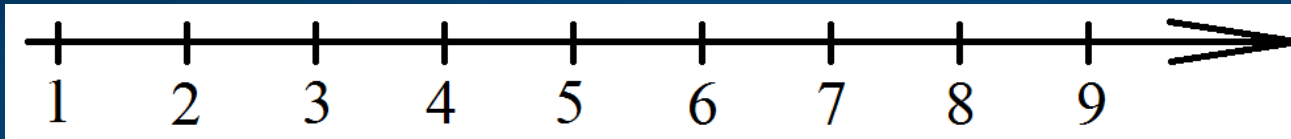
<http://gallantlab.org/>



HIPS (horyzontalna bruzda śródcieniowa) zawiera neurony silnie reagujące na pojęcia numeryczne i abstrakcyjne + dotyk. Ewolucyjnie to późna specjalizacja, podobnie jak czytanie. Uszkodzenia HIPS => dyskalkuli.

Związek liczb i przestrzeni

Liczby przedstawiamy często na **osi liczbowej**.



Osie liczbowe pokazują **porządek** zawarty w liczbach.

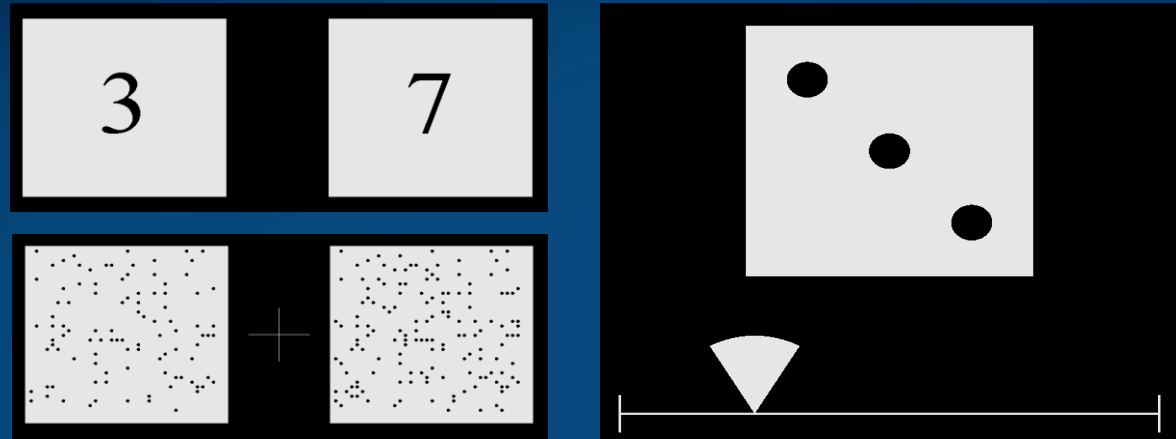
„Porządek” to fundamentalna idea matematyki.

Zdolność do porządkowania jest też niezbędna, aby dziecko rozwinęło umiejętności porównywania wartości, czy prostych operacji arytmetycznych.

Idea osi liczbowej (związku przestrzenno-liczbowego) ma reprezentację w postaci **mentalnej osi liczbowej** (*mental number line*, MNL).

Pokazuje to efekt **SNARC** (*Spatial-Numerical Association of Response Codes*): reakcja na mniejsze liczby lewą dłonią/nogą jest szybsza, a na większe – prawą dłonią/nogą (także po ich skrzyżowaniu).

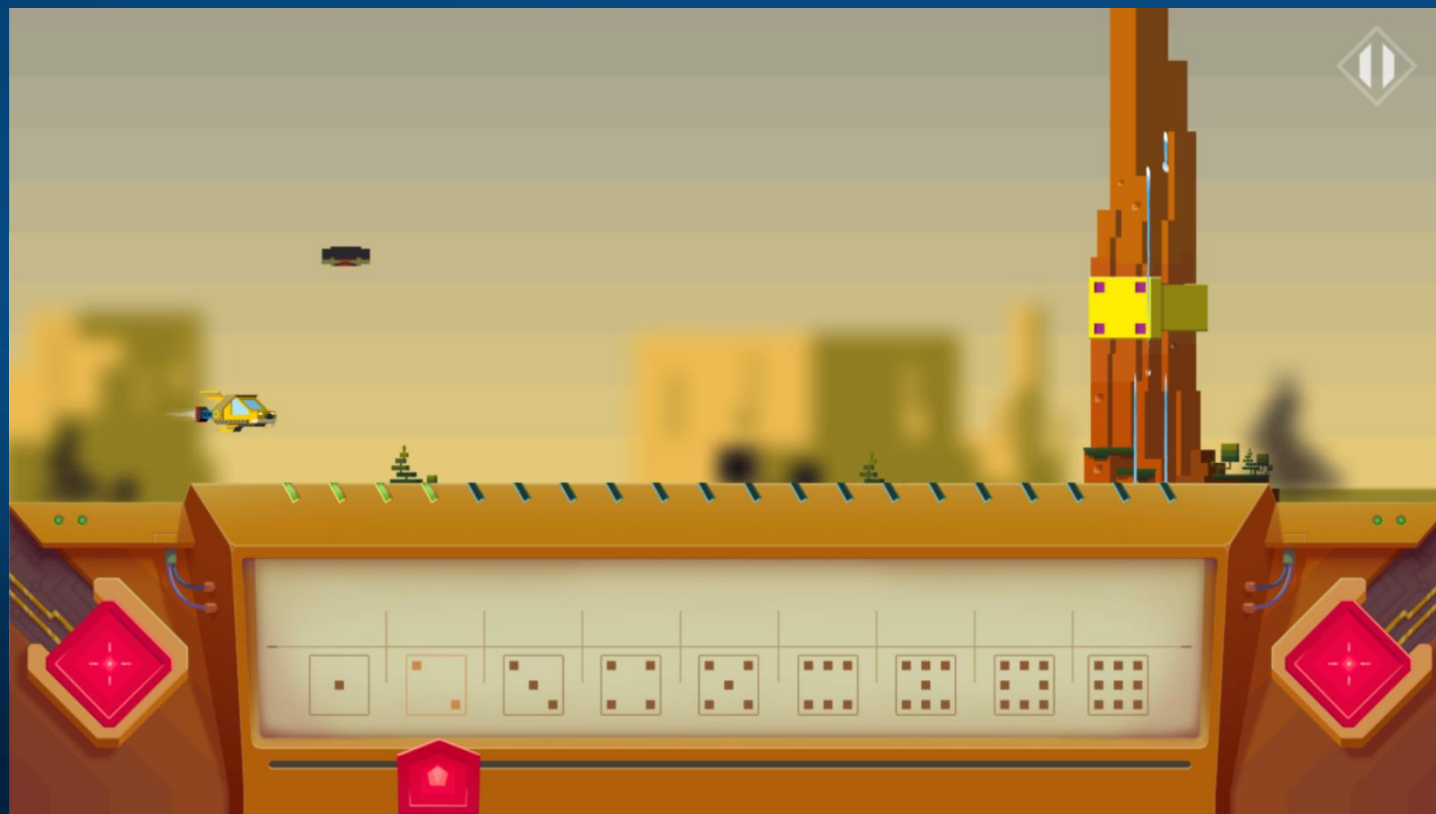
Test Przesiewowy Ryzyka Dyskalkulii



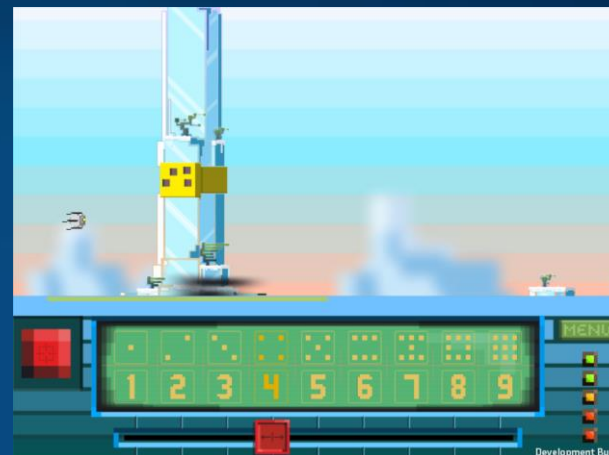
- Test TPRD składa się z 7 zadań (kilkaset prób).
Korzysta z klawiatury i myszy, zajmuje około 45 min.
Różne formaty: cyfry, uporządkowane i losowo ułożone kropki.
- Program może działać z okulografem (firmy SMI).
Śledzenie ścieżek spojrzenia, np. podczas liczenia kropek, może być ważną informacją diagnostyczną (pozwala ustalić np. strategie liczenia).
- Test jest na razie zbyt długi i nudny – potrzebna jest grywalizacja.

Trening poznawczy – gra „Kalkulilo”

- Głównym celem gry jest stymulacja mózgu sprzyjająca rozwinięciu u dzieci mentalnej osi liczbowej – podstawy porządkowania, liczenia i operacji arytmetycznych.
- Nowsze: [Numbala](#) ([Neurodio](#))



Trening poznawczy – gra „Kalkulilo”



Kluczowe cechy / czynniki terapeutyczne:

- oś pozioma (sterowanie) i oś pionowa (efekt)
- opóźnienie między akcją a efektem
- „oś” dźwiękowa (efekt SMARC) – tony – orientacja pozioma
- **akcja, atrakcyjność i grywalizacja**
- sterowanie wzrokiem (problemy!)
i sterowanie ciałem (Kinect)
- PC, tablety (iOS), telefony komórkowe

Badania prowadzono w szkołach podstawowych,
Koordynator: Dr M. Gut (psycholog)



Co jest najważniejsze?



- Energia: glukoza, dotlenienie mózgu, nawodnienie.
- Sen, relaks i nauka oczyszczania umysłu, trening uwagi.
- Większe zaangażowanie to większa aktywacja obszarów mózgu i lepiej zapamiętana informacja: liczy się forma przekazu, ciekawość, skupienie.
- Motywacja, rola wyzwań, emocji, grywalizacji i mechanizmów uwagi w neuroplastyczności: prezentacje przed grupą wzmagają motywację.
- Wzrok angażuje prawie połowę mózgu: kolor, ruch, tekst, infografiki.
- Język, ruch angażuje drugą połowę mózgu. Pomaga muzyka i taniec!
- Konsolidacja pamięci: przerwy, ćwiczenia fizyczne połączone z mentalnymi.
- Zmęczenie neuronów: potrzebna jest zmiana aktywnych obszarów mózgu, więc warto przeplatać różne typy aktywności, mieszać znane z nowym.
- Głębokie kodowanie pogłębia zrozumienie, tworzenie różnorodnych skojarzeń.
- Hierarchiczna struktura informacji, od ogólnego szkicu do szczegółów.

Podsumowanie



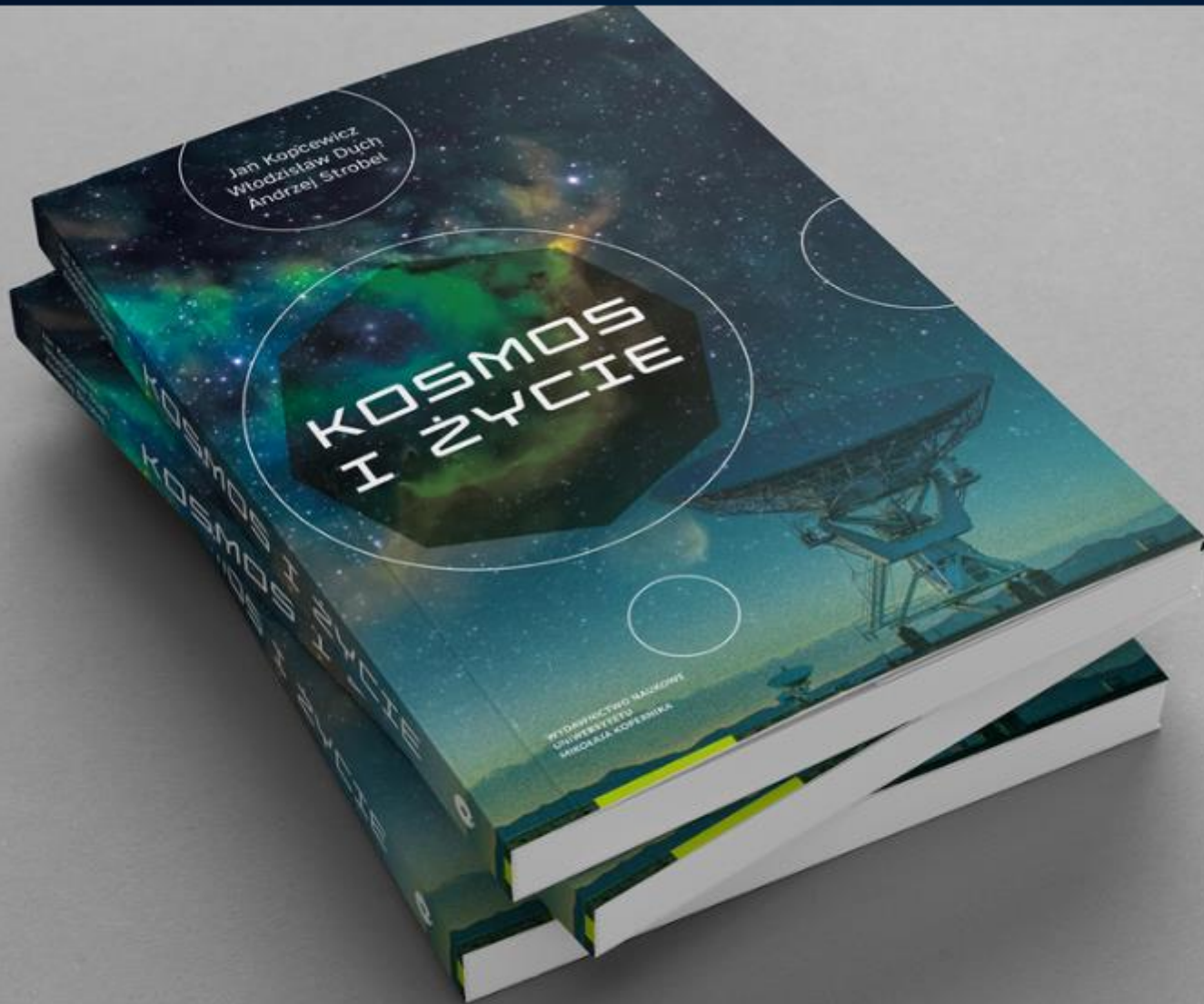
- Uczenie się i formowanie długotrwałej pamięci wymaga dobrego zakodowania informacji tak, by była łatwo dostępna dzięki licznym skojarzeniom, schematom poznawczym i szczegółom epizodycznym.
- Trzeba umieścić materiał w jak najszerszym i już znanym kontekście, pobudzać zmysły i wyobraźnię, na etapie zapamiętywania i przypominania. Pałac pamięci – wykorzystanie pamięci przestrzennej aktywizuje hipokamp.
- W procesie konsolidacji pamięci semantycznej w mózgu tworzą się (zwykle nieświadomie) rozbudowane schematy poznawcze, siatka skojarzonych pojęć bez zbytecznych szczegółów.
- Przerwy i powracanie w kolejne dni do danego materiału pomagają w konsolidacji pamięci i budowaniu schematów.
- Nawiązywanie do już zapamiętanej wiedzy wzmacnia schematy poznawcze.
- Należy uważać na fałszywe wnioski i nieporozumienia, które mogą wynikać z integracji z wcześniej zapamiętaną, błędną wiedzą, utratą istotnych informacji, warto regularnie sprawdzać każdy wniosek.

Perspektywy

- Edukacja będzie coraz mocniej wspierana przez technologię, ale **żeby szukać trzeba najpierw znaleźć** – wiedzieć co szukać!
- Natychmiastowa dostępność informacji wymusi zmianę sposobu nauczania.
- W ciągu kilku lat cyfrowi asystenci będą pomagać w uczeniu się nie gorzej niż obecnie korepetytorzy.
- Neuronauki dają na razie edukacja ogólne wskazówki, dość oczywiste.
- Neuroplastyczność można regulować, przygotowując mózgi do uczenia się i kreatywnego myślenia.
- Zaczynać jak najwcześniej: ekosystemy AI by wzbudzić ciekawość, zachęcić do eksploracji, rozwiązywania rzeczywistych problemów ...
- Neurofeedback, trening koncentracji, medytacja, – niestety tego nie uczymy.
- Pedagogika będzie coraz bardziej związana z neurobiologią i sztuczną inteligencją, monitorującą postępy i zmiany w mózgu, pomagając w dostosowaniu nauczania do indywidualnych predyspozycji.

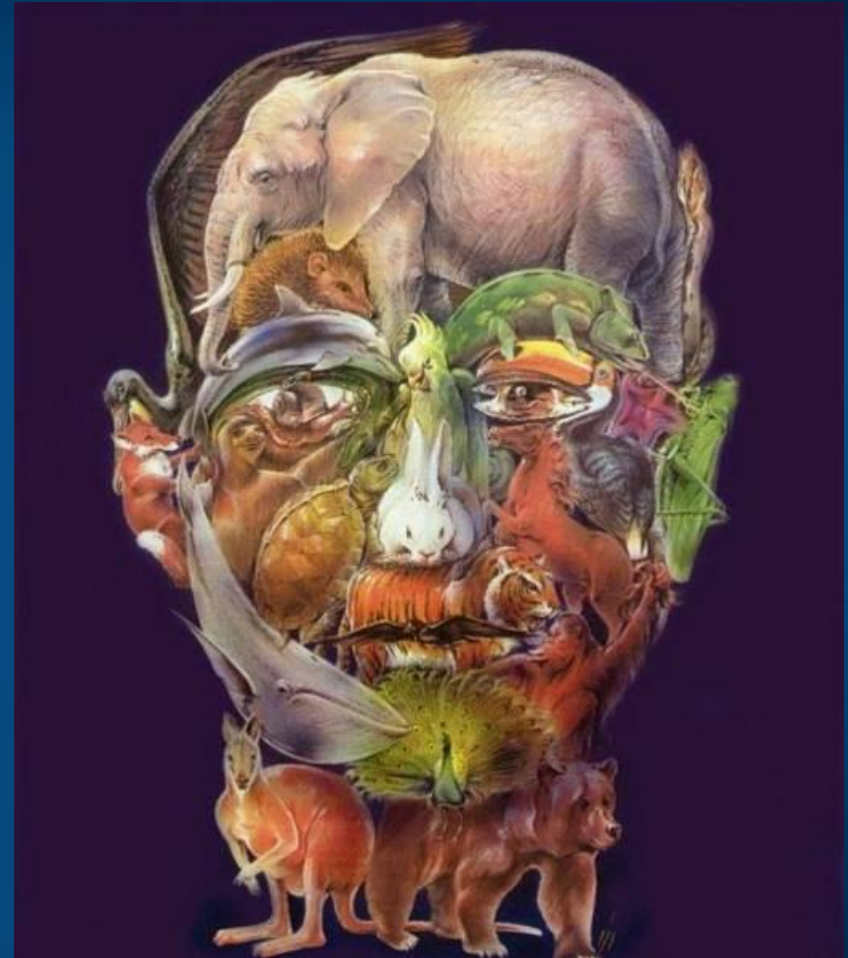
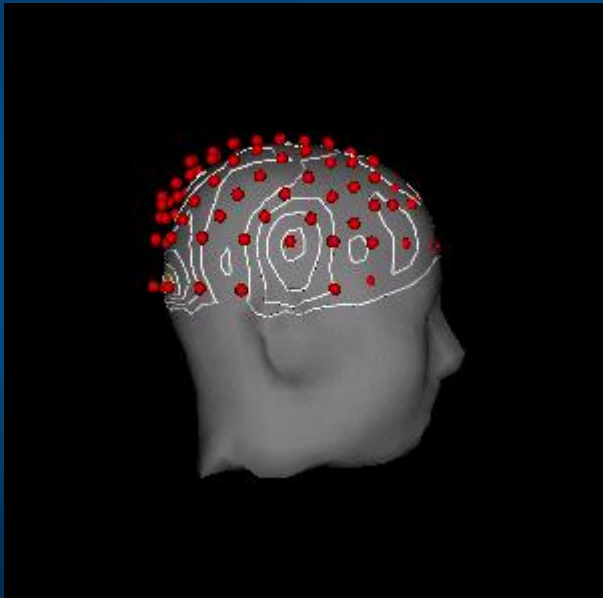
20 lat temu ...





<https://wydawnictwo.umk.pl/pl/products/5652/kosmos-i-zycie>

Dziękuję za
synchronizację
neuronów!



Google: Włodzisław Duch
=> referaty, prace, wykłady ...

Referaty

Nie rozumiemy szczegółów, ale ogólne zasady rozumiemy lepiej niż się nam wydaje. Czy jest jakiś eksperyment, który nie da się zinterpretować?

Brains and evolution of culture. AE Poznań 2022.

Istota świadomości. Festiwal Nauki w Warszawie, UW 2021.

Umysł i Mózg. Istota Świadomości. Uniwersytet Szczeciński 2018.

Podmiot, świadomość, wolna wola. X Zjazdu Filozofii Polskiej. UAM 2015.

Perspektywy zrozumienia autyzmu. UMK 2017

Wizualizacja umysłu w procesach mózgu. Tydzień Mózgu, Toruń 2017.

Matematyka w mózгах. IM UP, Kraków 2016.

Komunikacja jako rezonans między mózgami. Toruń, Coll. Humanisticum, 2013

Świadomość tworców sztucznych: odwrócony argument Lublin 2004.

++ wiele innych referatów.