

Fizyka przyjazna mózgowi

Marzena Żylińska

Nauczycielskie Kolegium Języków Obcych w Toruniu

Śłuchaj, patrz i notuj, czy może myśleć i rozwiązywać problemy?

W liście do Wysokich Obcasów 19-letnia Natalia tak opisała swoje pokolenie. „Urodzeni pod koniec XX wieku, kiedy przecież już wszystko odkryto, zbudowano, zburzono i zbudowano po raz wtóry. Mistrz już osiągnął mistrzostwo, geniusz został uznany za geniusza, a Ty, rówieśniku, patrz, zapisuj i podziwiał.”¹ Czytając tekst absolwentki liceum warto zadać sobie pytanie, dlaczego szkolna edukacja jest w ten sposób odbierana przez uczniów.

Lekcje fizyki, chemii czy biologii stwarzają doskonałą okazję do pokazywania uczniom rzeczywistych problemów. Każdy podręcznikowy temat można zakończyć listą spraw czekających na rozwiązanie, w każdym autorzy mogą zwracać się do uczniów z pytaniem, czy nie chcieliby zająć się nimi w przyszłości. Łatwo można sobie wyobrazić, jak mogłyby kończyć się rozdziały poświęcone energii, rolnictwu, przechowywaniu żywności, komunikacji czy walce z chorobami. Wszędzie problemy czekające na rozwiązanie! Dlaczego w szkołach się o tym nie mówi, dlaczego nie przygotowuje się młodych ludzi do zadań, z którymi będą musieli zmierzyć się w przyszłości?

Nauczyciel mógłby rozpocząć lekcję w następujący sposób.

Jak długo mogą bez ładowania pracować wasze telefony komórkowe? Czy chcielibyście, żeby miały wydajniejsze baterie? Kto chciałby wymyślić baterię, która wystarczyłaby na miesiąc użytkowania telefonu? Dlaczego tak trudno stworzyć taką baterię?

Czy powinniśmy bać się żywności genetycznie modyfikowanej?

Czy elektrownie atomowe są tak bezpieczne, jak zapewniają fizycy?

Czy cyfrowe gadżety uzależniają silniej niż inne rzeczy?

Jak można wykorzystać metale z pamięcią?

Jak możemy zapobiec ciągłemu zmniejszaniu się populacji pszczół?

Dlaczego pszczoły są tak ważne dla ludzi?

Dlaczego Albert Einstein twierdził, że ludzie mogą żyć bez pszczół tylko 4 lata?

Czy łatwo odżywiać się rezygnując z artykułów spożywczych zawierających konserwanty, sztuczne barwniki, wzmacniacze i polepszacze smaku oraz inne dodatki chemiczne?

Ułóżcie jadłospis na trzy dni zawierający tylko zdrowe i nieprzetworzone produkty!

¹ Natalia, Wysokie Obcasy, 25.08.2012, nr 34 (689), s. 4.

Każde z tych pytań to gotowa propozycja na ciekawy projekt edukacyjny i możliwość zdobywania wiedzy w sposób przyjazny mózgowi. Tymczasem w szkołach uczy się dziś tak, jakby wszystko zostało już odkryte i wszystkie problemy rozwiązane. Jest to nie tylko nieuczciwe i nieprawdziwe podejście do nauki, ale ze społecznego punktu widzenia również bardzo szkodliwe. Zadaniem uczniów wchodzących w życie zawodowe nie będzie reprodukcja wyuczonych na pamięć informacji. Pracodawcy oczekują, że ich pracownicy będą umieli wykorzystywać posiadaną wiedzę do rozwiązywania problemów. Sukces polskich firm zależy od innowacyjności, czyli od tego, czy absolwenci szkół będą umieli odchodzić od tego, czego nauczyli się w szkole i szukać nowych rozwiązań.

Co nasze mózgi robią najlepiej?

Nasze mózgi nie zostały przystosowane do reprodukcji pochodzących z zewnątrz danych i mechanicznego stosowania algorytmów, twierdzi niemiecki neurobiolog Gerald Hüther. Dlatego trudno im się uczyć w taki sposób². Umiejętność reprodukcji danych nigdy nie była potrzebna naszemu gatunkowi, dlatego jest dla mózgu ogromnym problemem³. Szczególnie dziś, gdy wszelkie informacje są ogólnie dostępne, poza szkołą do niczego się nie przydaje. Nasze mózgi zostały ewolucyjnie przystosowane do przetwarzania informacji, wyciągania na ich podstawie ogólnych reguł i rozwiązywania problemów. Gdy to robią, automatycznie zapamiętują nowe treści. Zdaniem Manfreda Spitzera szkoła powinna dostarczać dzieciom wielu przykładów, aby na ich podstawie mogły samodzielnie stworzyć ogólne reguły i odkrywać rządzące światem zasady⁴. Innymi słowy, w szkole przyjaznej mózgowi nie liczy się to, co uczniowie wiedzą, ale czy i jak umieją swoją wiedzę zastosować w praktyce. Tak rozumiana nauka jest nie tylko efektywna, ale i przyjemna, bo samodzielne dochodzenie do celu i znajdowanie rozwiązania prowadzi do wydzielania dopaminy, czego skutkiem jest uczucie zadowolenia.

Osoby, którym trudno wyobrazić sobie alternatywę dla szkoły transmisyjnej, opartej na przekazywaniu uczniom wiedzy, często są przekonane, że nauka musi być trudnym, żmudnym i męczącym, a więc niezbyt lubianym zajęciem. Tak przecież zawsze było. Jeśli pozostaniemy przy XIX-wiecznym modelu edukacji opartej na transmisji wiedzy i traktowaniu uczniów jak jej odbiorców, nauka rzeczywiście będzie dla wielu osób nudną udręką. Dzieje się tak dlatego, że model ten wymaga od uczniów podążania po śladzie wyznaczonym przez na-

² G. Hüther, *Die Bedeutung sozialer Erfahrungen für die Strukturierung des menschlichen Gehirns* [w:] *Neurodidaktik. Grundlagen und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen*, red. U. Herrmann, Beltz Verlag, Weinheim und Basel 2009, s. 47.

³ G. Roth, *Warum sind Lehren und Lernen so schwierig?*, „Zeitschrift für Pädagogik“ 2004, nr 50, s. 503.

⁴ M. Spitzer, *Jak uczy się mózg*, PWN, Warszawa, 2007, s. 68 i 290.

uczyciela i powtarzania podanych przez niego strategii. W ten sposób ćwiczona jest głównie pamięć, a głównym celem jest reprodukcja. Szkoła przyjazna mózgowi powinna stawiać sobie za cel rozwijanie samodzielnego myślenia, a rolą nauczyciela powinno być stworzenie ku temu odpowiednich warunków i wspieranie uczniów w drodze do odkrywania własnych strategii. Uważam, że **w dychotomii „reprodukować czy samodzielnie myśleć” zawiera się istota postulowanych zmian.** Jak już zostało powiedziane, pracodawcy upominają się coraz głośniejsze o samodzielnie myślących i potrafiących rozwiązywać problemy pracowników, a badacze mózgu przekonują, że nie został on przystosowany do reprodukcji wiedzy, ale do aktywnego poznawania świata. Ten naturalny sposób uczenia się jest nie tylko najbardziej efektywnym, ale i najprzyjemniejszym.

Wbrew przeświadczeniu, jakie ze szkoły mogą – moim zdaniem – wynosić dzisiejsi uczniowie, oczywiście jest, że nie wszystko zostało odkryte i wyjaśnione. Świat czeka na nowych odkrywców i wynalazców. Celem szkoły nie może zatem być nauczanie młodych Polaków słuchania, patrzenia, podziwiania, zapisywania i reprodukcji. Taka nauka jest nie tylko nudna i uciążliwa, ale jej efektem są nikomu niepotrzebne umiejętności. Uczniowie od pierwszych dni pobytu w szkole powinni być przygotowywani do myślenia i rozwiązywania problemów, z jakimi nie poradzą sobie poprzednie generacje. Powinien to być jeden z ważniejszych celów edukacji. Nasza gospodarka może się dobrze rozwijać tylko wtedy, gdy absolwenci szkół będą umieli wymyślać rozwiązania, o których autorom szkolnych podręczników nawet się śniło. Rozwój każdego kraju zależy jednak od innowacyjnego potencjału młodych pracowników. Dobra szkoła musi pokazywać, ile jest jeszcze do zrobienia, ile do wymyślenia i odkrycia! I to właśnie jest dla neuronów ciekawym wyzwaniem i najsilniejszym bodźcem do pracy. Nasze mózgi zostały stworzone do takich zadań, niczego nie robią lepiej i nic nie daje im większej satysfakcji. Gdy nauczycielowi uda się oprzeć zajęcia na ciekawości poznawczej, to neurony automatycznie uwolnią ogromne ilości niezbędnych w procesie uczenia się neuroprzekaźników. Uczenie się jest dla ludzkiego mózgu naturalnym procesem, niczego nie robi lepiej, ale „bez przyjemności i z bardzo małą efektywnością uczymy się tych treści, które są narzucone (...)”⁵. Jednak nie wolno zapominać, że mózg może nauczyć się tylko tego, co potrafi przetworzyć⁶. Dlatego tak ważne jest możliwie częste odchodzenie w procesie nauczania-uczenia się od – najtrudniejszego dla uczniów – czysto werbalnego kanału.

⁵ M. Spitzer, tamże, s. 21.

⁶ M. Spitzer, tamże, s. 172.

*Jeśli chcesz, żeby twoje dziecko nauczyło się, jak budować statek,
to musisz rozbudzić w nim tęsknotę za morzem.*

Antoine de Saint-Exupery

Budowanie statku to trudne, żmudne i mozolne zajęcie. Dużo łatwiej o niezbędną wytrwałość i zaangażowanie, gdy nie jest celem samym w sobie, ale środkiem do osiągnięcia innego, atrakcyjnego i pożądanego celu. Komuś, kto marzy o dalekich wyprawach i poznawaniu świata, łatwiej będzie zmobilizować się do pracy, niż osobie, która została do niej zmuszona. Podobnie, jak uczniowi marzącemu o studiach na najlepszej amerykańskiej uczelni, dużo łatwiej będzie przychodziła nauka języka angielskiego, niż osobie, która nie widzi, do czego język mógłby jej się przydać. Chcąc oprzeć szkolny kurs jakiegokolwiek przedmiotu na wnioskach płynących z badań nad mózgiem, należy najpierw określić jego cel. Po co uczniowie mają uczyć się fizyki? Jak uczyć tego przedmiotu, by po pierwsze zainteresować nim jak największą liczbę uczniów i by każdy, niezależnie od tego, czy w przyszłości będzie fizykiem, astronomem, ogrodnikiem, kucharzem czy fryzjerem, wyniósł z lekcji wiedzę, którą będzie mógł wykorzystać w życiu. Innymi słowy, jak przekonać uczniów, że fizyka to nie tylko niezmiernie ważna i przydatna dziedzina wiedzy, ale również fascynująca. Dlatego najpierw trzeba poddać rewizji dotychczasowe programy nauczania. Być może, w imię utrzymania motywacji, a jaką uczniowie rozpoczynają naukę tego przedmiotu, warto odejść od dotychczasowego kanonu klasycznej fizyki. Wielu nauczycieli twierdzi, że niezmiernie trudno im rozbudzić zainteresowanie, bo program zbudowany został w taki sposób, jakby ktoś celowo pomijał fascynujące zagadnienia. Doświadczenie pokazuje, że prawo Ohma czy równanie dźwigni nie wzbudzają u uczniów fascynacji.

Nie mając głównego drogowskazu łatwo stracić z oczu ogólny obraz i cel i zagubić się w szczegółach ważnych jedynie dla wąskiej grupy specjalistów. Wiele wskazuje na to, że w pierwszych latach nauki takie akademickie podejście jest poważnym błędem, bo trwale zraża większość uczniów do przedmiotu. Dlatego pytanie o sens i cel szkolnego nauczania fizyki ma zupełnie fundamentalne znaczenie.

Jak zaciekawić uczniów fizyką, czy jak skutecznie zniechęcić do fizyki?

Rozbudzenie fascynacji fizyką nie powinno budzić najmniejszych trudności. Dziedzina ta to odkrywanie tajemnic świata i poznawanie reguł rządzących naszym otoczeniem, a to oznacza zaspokajanie tak typowego dla dzieci głodu ciekawości. W mózgu każdego ucznia niewątpliwie zostają uwolnione niezbędne w procesie uczenia się neuroprzebieżniki, gdy tylko usłyszy, że tematem lekcji będzie anihilacja, ciemna materia, boska cząstka, ciekłe kryształy czy zagładanie do wnętrza człowieka z pomocą metody rezonansu magnetycznego. Wiedząc jak fascynującymi zjawiskami zajmuje się fizyka, naprawdę trudno sobie wyobrazić, że można tak zorganizować nauczanie, by uczniów skutecznie i trwale do niej

zniechęcić. A jednak od wielu lat szkole ta trudna sztuka się udaje i z najbardziej fascynującego i praktycznego przedmiotu robi czysto teoretyczny, odbierany jako trudny, niezrozumiały, nudny – i co może wprawiać w prawdziwe zdumienie – mało przydatny życiowo. Po ukończonym kursie fizyki przeciętny uczeń nie rozumie różnicy między telewizorem z wyświetlaczem LCD a plazmowym, nie rozumie, jak działają telefony komórkowe czy mikrofalówki i czy są bezpieczne dla naszego zdrowia. Po 12 latach spędzonych w szkole, z otaczającej nas rzeczywistości przeciętny Polak rozumie coraz mniej i wie coraz mniej. Podręcznikowe regułki i definicje zdają się nie mieć nic wspólnego z realnym światem. Sondaż przeprowadzony latem 2012 roku na zlecenie Fundacji BBVA⁷ przynosi takie wyniki:

- ponad połowa Polaków wierzy, że atomy są mniejsze od elektronów,
- zwykle pomidory nie mają genów, te zawarte są jedynie w pomidorach genetycznie modyfikowanych,
- 60% naszych rodaków uważa, że Słońce emituje tylko światło jednej barwy – białe,
- jedynie 28% wie, że antybiotyki nie zabijają wirusów.

Im szybciej zrozumiemy, że taki poziom wiedzy o świecie ma związek ze sposobem, w jaki zorganizowane zostało nauczanie, tym szybciej będzie można szukać nowego, efektywniejszego modelu szkoły. Błędem jest nie tylko pomijanie fascynujących i poruszających wyobraźnię uczniów tematów, a pozostawienie banalnych i mało nośnych poznać, ale również sposób, w jaki przedstawia się omawiane zjawiska i fenomeny.

Te przedstawiane są w szkole w formie pozbawionych emocji słów, suchych opisów, zasad, definicji i wzorów, których uczniowskie mózgi jakże często nie potrafią odnieść do świata własnych doświadczeń i co się z tym wiąże, których nie potrafią przetworzyć. Wystarczy tak napisać podręczniki, by ich czytelnicy odnieśli wrażenie, że wszystko już zostało odkryte, a ich zadaniem jest wyuczyć się tego na pamięć i wiernie reprodukować. I co najważniejsze, receptą na trwałe zniechęcenie uczniów do fizyki jest „ukrzesłowanie” uczniów i zredukowanie ich aktywności do słuchania i zapisywania tego, co mówi nauczyciel. Tym łatwiej odnieść sukces w zniechęcaniu do uczenia się fizyki, im mniej godzin ma do dyspozycji nauczyciel i im więcej niczym nieopartych słów dociera do uczniowskich uszu.

Nawet najbardziej fascynujące zjawiska, oderwane od świata uczniowskich doświadczeń, zamknięte w suchych definicjach, zasadach i wzorach, tracą wszelką atrakcyjność i stają się pustymi, nic nieznaczącymi frazesami. To oznacza, że nie mogą być przetwarzane na głębszych poziomach, które gwarantują ich zrozumienie i sensowne zapisanie w strukturach pamięci. Nic nieznaczące słowa, słowa, słowa! Doświadczenie pokazuje, że przepis ten doskonale spraw-

⁷ Wyniki sondażu opublikowane zostały w Gazecie Wyborczej z 21.08.2012.

dza się w praktyce. Od wielu lat szkole udaje się zniechęcić do nauki fizyki większość uczniów. Zmuszając uczniów do nauki niezgodnej z naturalnym sposobem funkcjonowania mózgu, czynimy proces ten niezwykle trudnym i mało efektywnym. Ale błędem byłoby wyciąganie wniosku, że uczniowie nie chcą się uczyć. Badacze mózgu są w tym względzie zgodni. Ich zdaniem ludzki mózg został stworzony do tego, by się uczyć, ale optymalne wykorzystanie jego potencjału wymaga z gruntu innego, niż dzisiejsze szkoły, środowiska edukacyjnego i innej organizacji nauki.

Pruski model dziewiętnastowiecznej szkoły w XXI wieku

Pruski model edukacyjny konsekwentnie oddzielił radość i przyjemność od procesu uczenia się. Trudno się dziwić, że dziewiętnastowieczna szkoła, choć niezwykle postępową, jak na ówczesne czasy, była instytucją opartą na hierarchii, posłuszeństwie i dyscyplinie. Trzeba też pamiętać, że wiedza była wtedy rzadkim i trudno dostępnym, a więc pożądanym dobrem. Oddzielenie szkolnej nauki od radości odkrywania świata było naturalnym efektem oparcia jej na modelu transmisji wiedzy od nauczyciela do ucznia. Stworzenie odpowiedniej dla wszystkich uczniów ilości szkół i zatrudnienie nauczycieli, wiązało się z ogromnymi nakładami finansowymi, trudno więc było oczekiwać, że w szkołach powstaną dużo droższe w utrzymaniu pracownie czy warsztaty. Taki model sprawdzał się w XIX wieku, bo dla wszystkich było oczywiste, że wykształcenie gwarantuje w przyszłości sukces finansowy. W tych warunkach transmisyjna szkoła dobrze się sprawdzała. Jednak dziś szkoły funkcjonują w innej rzeczywistości. Wiedza jest ogólnie dostępna, a zdobycie matury czy ukończenie studiów wyższych niczego już nie gwarantuje. Dobra dostępne dla wszystkich tracą swoją wartość. Tak więc motywacyjne mechanizmy, jakie działały w XIX wieku, dziś przestały być skuteczne. Model oparty na przymusie, dyscyplinie i transmisji wiedzy nie sprawdza się w nowym kontekście XXI wieku. Dlatego musimy dziś szkołę wymyślić od nowa i oprzeć ją na innych fundamentach. O ile przez ostatnich 200 lat zmienił się kontekst społeczny, o tyle natura ludzka pozostała taka sama i dzieci wciąż chętnie zajmują się tym, co tajemnicze, intrygujące i wymagające wyjaśnienia.

Naturalne mechanizmy aktywnego poznawania świata

Dzieci przychodzą do szkoły zmotywowane do nauki, ciekawe świata, chętne do jego aktywnego poznawania. Ich potrzeba zrozumienia otaczającej je rzeczywistości przejawia się w ogromnej liczbie zdawanych pytań. ***Co zrobić, by nie zniszczyć tych naturalnych mechanizmów zapewniających efektywną naukę?*** Odpowiedzi na to pytanie od stuleci udzielali liczni reformatorzy edukacji. Wystarczy tak zorganizować szkoły, by dzieci mogły robić to, co w naturalny sposób lubią robić. Reprodukacja podanych informacji jest dla uczniów nienaturalnym, a więc trudnym i nudnym zajęciem. Inaczej rzecz się ma, gdy mogą: przewidywać, tworzyć hipotezy, przeprowadzać sprawdzające je eksperymenty, rozwiązywać problemy, tzn. wcho-

dzic w rolę badaczy, odkrywców czy eksperymentatorów. Wymienione aktywności silnie pobudzają różne struktury mózgowie, wywołując intensywne wydzielanie neuroprzekaźników i skutkując głębokim przetwarzaniem informacji, co prowadzi do ich zapamiętywania. ***Oznacza to, że natura sama zadbała o to, byśmy lubili robić to wszystko, co inicjuje intensywny proces uczenia się.*** Potwierdzają to obserwacje niemowlaków, które jeszcze nie umieją ani chodzić, ani mówić, a już przeprowadzają naukowe eksperymenty. Siedząc w wysokim krześle i upuszczając kolejne przedmioty sprawdzają, jak działa na nie przyciąganie ziemskie. Z godnym podziwu uporem starają się, co tylko można, rozkładać na czynniki pierwsze, a gdy tylko nauczą się mówić, zamęczają otoczenie pytaniami zaczynającymi się od „A dlaczego ...?” Te mechanizmy aktywnego poznawania świata, tak doskonale sprawdzające się w pierwszych latach życia dzieci, są skutecznie niszczone po przekroczeniu szkolnych progów. Owo wygaszanie ciekawości poznawczej dotyczy również lekcji fizyki. Trzeba też pamiętać, że motywacja jest pochodną ciekawości poznawczej. Ignorowanie pierwszej, niszczy drugą.

Wyjaśniając dlaczego dobrze zorganizowana nauka jest przyjemna, badacze mózgu wskazują na rolę, jaką w procesie uczenia się odgrywają określone substancje chemiczne⁸. Intensywne przetwarzanie informacji wymaga dużej ilości różnorodnych neuroprzekaźników, w tym również dopaminy. Jej wydzielanie wywołuje dodatkowo uczucie przyjemności, a nawet szczęścia. Szkoła ignorując wiedzę o tym, że ludzie dążą do powtarzania doświadczeń, które zapewniają im przyjemne doznania, a unikają wszystkiego, co wiąże się z negatywnymi, czyli np. ze strachem, stresem czy nudą, niszczy początkową motywację, z jaką przychodzą dzieci. ***Zakładając z góry, że nauka musi być trudnym i z założenia mało ciekawym doświadczeniem, osoby odpowiedzialne za jej organizację nie dbają o to, jak jest odbierana przez uczniów.*** Skoro musi być nudno i trudno, to tak właśnie jest. Przyjęcie błędnego założenie, staje się samospełniającą się przepowiednią i skutkuje rezygnacją z prób szukania nowych, lepszych rozwiązań. To zaś zamyka drogę do poprawy sytuacji. Dla osób wątpiących w to, że dobrze zorganizowana nauka może, a nawet powinna być przyjemna, szkoła zapewne była trudnym doświadczeniem. Ale czy to oznacza, że nie może być inaczej?

Zdaniem badaczy mózgu szkoła przyjazna mózgowi powinna uwzględniać funkcjonowanie wewnętrznego układu nagrody⁹. Stwierdzenie, iż nauka musi się pozytywnie kojarzyć i prowadzić do uwalniania dopaminy, bynajmniej nie oznacza, że uczniom wszystko powinno przychodzić lekko, że mogą opanować każdy materiał bez trudu, wyrzeczeń i systematycznej pracy. Nauka to proces, w

⁸ J. Bauer, *Erziehung als Spiegelung. Die pädagogische Beziehung aus dem Blickwinkel der Hirnforschung*, w: *Neurodidaktik. Grundlagen und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen*, Beltz Verlag, Weinheim und Basel, 2009, s. 109-115.

⁹ G. Roth, *Bildung braucht Persönlichkeit*, Klett-Cotta, Stuttgart, 2011, s. 44, 186, 275, 324.

którym występują różne etapy. Jeśli uczeń ma przed oczami atrakcyjny i pożądaný cel, to łatwiej mu przejść przez trudniejsze fazy, jeśli wcześniej mógł doświadczyć, że poznawanie świata i rządzących nim praw może być źródłem przyjemnych doznań. Zdobywanie górskich szczytów często wymaga ogromnego wysiłku i samozaparcia. Jednak, kto doświadczył uczucia, jakiego doznaje się stojąc na szczycie, wie, że było warto i zazwyczaj planuje podobne przedsięwzięcia. Taki jest mechanizm działania wewnętrznego układu nagrody. Nasz mózg przy pomocy endogennych opiatów potrafi nagradzać się sam. Sprowadzając naukę do biurokratycznego przerabiania i reprodukcji kolejnych partii materiału, pozbawiamy uczniów takich doznań i uniesień. Ich mózgi uczą się, że w szkole nie doświadczają przyjemnych skutków działania dopaminy, więc tracą motywację do nauki. W obecnym modelu edukacyjnym wciąż każe się uczniom wspinać na kolejną górę, ale ani nie wyjaśnia się im celu owej wspinaczki, ani nie dba o to, by mogli odczuwać satysfakcję z własnych doznań. Dotyczy to szczególnie tych osób, które wspinają się wolniej.

Zbyt trudne czy zbyt nudne i banalne?

„Wszystko, co robimy za dzieci, pozbawia je możliwości odkrycia tego samego”, twierdził Jean Piaget. A tak, jak się wydaje, właśnie robimy dziś w szkole, sprowadzając dzieci do roli odbiorców wiedzy i od samego początku ucząc je, że mogą wiedzieć tylko to, co już zostało przerobione na lekcjach. „Tego rodzaju przekonanie zwalnia również uczniów od uruchamiania strategii osobistych, tych ‘na chłopski rozum’, czyli podejmowania prób radzenia sobie z problemem z użyciem posiadanej wiedzy”, konstatuje zajmująca się dydaktyką matematyki w nauczaniu wczesnoszkolnym Alina Kalinowska¹⁰. W ten sposób pozbawiamy je tak ważnego w życiu poczucia sprawstwa i nie rozwijamy poczucia wiary we własne siły. Zamiast wynosić z lekcji przekonanie „jak pomyślę i spróbuję, to powinno się udać”, uczniowie raczej wynoszą ukryty przekaz, że najpewniejszą drogą do szkolnego sukcesu jest podążanie ścieżką wskazaną przez nauczyciela. „Nie myśl i nie kombinuj, ale słuchaj i powtarzaj?” Rodzice często słyszą od nauczycieli na wywiadówkach, że gdyby ich dziecko na lekcjach grzecznie siedziało i słuchało, to by umiało. Problem w tym, że mózgi dzieci nie zostały przystosowane do uczenia się przez słuchanie.

Badania dotyczące nauczania matematyki w klasach I-III¹¹ pokazują, że nauczyciele od samego początku koncentrują się na przerabianiu dużej ilości typowych zadań i nie zachęcają swoich podopiecznych do samodzielnego szukania rozwiązań.¹² „Warstwa wewnętrzna sformalizowanego nauczania matematyki przeja-

¹⁰ A. Kalinowska, *Pozwólmy dzieciom działać – mity i fakty o rozwijaniu myślenia matematycznego*, Warszawa, 2010, http://www.trzecioklasista.edu.pl/artykuly/files/325/pozwolmy_dzieciom_dzialac.pdf, 25.01.2013.

¹¹ M. Dąbrowski, *Pozwólmy dzieciom myśleć*, Warszawa, 2008.

¹² A. Kalinowska, tamże, s. 34.

wia się w niepokojących skutkach mentalnych młodszych uczniów. Ich wiedza ogranicza się często do zestawu wyćwiczonych algorytmów, które w bardzo małym zakresie wspomagają rozwijanie myślenia matematycznego”¹³. W ten sposób skutecznie zniechęca się do matematyki całe rzesze uczniów. Warunkiem przejścia do tzw. „zadań na myślenie” jest opanowanie algorytmów. Ponieważ większość uczniów ich nie opanowuje, bo dla ich mózgów jest to jałowe i nudne zajęcie, nigdy nie mogą przejść do zadań, które robiliby z chęcią, i które rozwinęłyby ich myślenie i potencjał. Nauczyciele analizujący słabe wyniki stawiają z gruntu błędną hipotezę, że zadania oparte na algorytmach są dla uczniów zbyt trudne, więc nie można przejść do ich zdaniem trudniejszych zadań na myślenie.

Przytoczone przez Alinę Kalinowską badania pokazują, że taka diagnoza jest błędna. Uczniowie nie opanowują schematycznych algorytmów nie dlatego, że są dla nich za trudne, ale dlatego, że są zbyt nudne i zbyt trywialne. Chętnie angażują się za to w zadania, które pozwalają im na samodzielne szukanie rozwiązań. Jest to kolejny przykład na to, że mózgi potrzebują zadań, które pozwalają im na wchodzenie na wyższy poziom, można powiedzieć, że szukają kolejnych wyzwań, by móc się rozwijać. Rozwiązywanie schematycznych zadań nie jest przyjemne, bo nie jest rozwijające, za to samodzielne szukanie rozwiązań, stawianie hipotez i ich weryfikowanie jest tym, co rozwija mózg, więc jest odbierane przez dzieci jako ciekawe wyzwanie.

Czy wnioski płynące z badań dotyczących nauczania matematyki w klasach I-III można odnieść do sposobu nauczania fizyki? Czy i tu uniemożliwienie uczniom wchodzenie w rolę eksperymentatorów, odkrywców i badaczy również prowadzi do zniechęcenia i każe postrzegać przedmiot jako trudny, bo nudny? Czy rację ma profesor Łukasz Turski twierdząc, że czysto teoretyczne nauczanie fizyki nie ma żadnego sensu, więc tam gdzie nie ma odpowiednich pracowni powinno się w ogóle zrezygnować z nauczania tego przedmiotu? Uczniowie nie będą wprawdzie nic umieć, ale i nie będą zniechęceni do uczenia się fizyki w przyszłości. Zdaniem profesora Turskiego takie rozwiązanie jest bardziej racjonalne. Postulat oparcia fizyki na przeprowadzanych w szkole eksperymentach i metodach poglądowych nie jest niczym nowym. Czy jednak jest wystarczający? Czy efekty nauczania będą dużo lepsze, gdy uczniowie zamiast siedzieć i słuchać, będą siedzieć, słuchać i patrzeć? W ostatnich latach powstało w Polsce wiele centrów nauki, organizowane są naukowe festiwale i pikniki. Ich popularność pokazuje, że młodzi ludzie chcą się uczyć. Warto jednak zastanowić się, jaka wiedza wynoszona jest w owych piknikach. Patrząc na proces uczenia się z perspektywy zmian w sieci neuronalnej, warto zapytać, na ile może się ona zmieniać pod wpływem tego, co oferują owe atrakcyjne formy popularyzujące naukę.

Wszystko, co robimy i czemu poświęcamy czas, niejako rzeźbi nasz mózg. Aktywność pozostawia ślad w strukturze sieci neuronalnej. Inne struktury są

¹³ A. Kalinowska, tamże, s. 5.

aktywne, gdy człowiek coś obserwuje, inne, gdy musi szukać wyjaśnień, inne, gdy planuje eksperymenty, a jeszcze inne, gdy je przeprowadza i na tej podstawie weryfikuje wcześniejsze sądy. Proces uczenia się przebiega zupełnie inaczej, gdy uczniowie mogą na podstawie własnych obserwacji samodzielnie definiować nowe pojęcia, a inaczej gdy podaje je nauczyciel. Każda forma uczenia się przebiega nieco inaczej i wymusza przetwarzanie informacji w różnych strukturach i na różnych poziomach. Gotowania zupy można uczyć się:

- poprzez opis słowny,
- poprzez prezentację,
- poprzez zaproszenie do wspólnego gotowania.

Która z form nauki dominuje w szkole? Która jest najbardziej efektywna? Szukając odpowiedzi na postawione pytania warto zastanowić się nad tym, co zrobić, by pikniki i festiwale nie były jedynie ciekawymi, ale jednorazowymi doświadczeniami.

Eksperymenty dobre i lepsze

Niewątpliwie prezentacja atrakcyjnych eksperymentów budzi w obserwatorach fascynację i zainteresowanie określoną dziedziną wiedzy, a to już bardzo dużo. Jednak jeden piknik naukowy czy wizyta w Centrum Nauki Kopernik nie spowoduje, że uczniowie, którzy dotąd nie rozumieli fizyki, nagle zaczną wszystko rozumieć. Samo oglądanie i podziwianie, to zbyt mało. Po pokazach powinna nastąpić faza aktywnego przetwarzania nowych treści, a ta przebiega najefektywniej wtedy, gdy aktywna jest nie tylko głowa, ale również ręce uczących się osób. Wizualizacje i wszelkie prezentacje niewątpliwie ułatwiają zrozumienie. Rysunek czy zdjęcie są często lepsze od najdokładniejszego opisu. Ale proces uczenia się przebiega najefektywniej wtedy, gdy uczniowie sami mogą przeprowadzać doświadczenia, dokonywać pomiarów i na podstawie tego, co widzą i co robią, samodzielnie formułować wnioski i dochodzić do zrozumienia. Nauczyciele powinni zatem wiedzieć, jakie doświadczenia mają największą wartość edukacyjną i jakie formy nauki rozwijają u uczniów myślenie.

Doświadczenie 1.

„Zadziwiająca kolorowa kula”

Potrzebne: biały karton, sznurek, ołówek, czarna farba, czerwona żarówka, kątomierz, linijka.

Zrób, co następuje: Wytnij z kartonu koło i zrób w nim, w pobliżu środka, dwie dziurki. Jedną połowę koła pomaluj na czarno i wytnij na jej brzegu szczerbinę (patrz rysunek). Przewlecż przez dziurki sznurek tak, aby można było wprawiać koło w szybki ruch wirowy przez naprężanie i popuszczanie sznurka. Patrząc przez szczerbinę na czerwone światło, zobaczysz różne kolory.”

Źródło: Robert J. Brown „200 doświadczeń dla dzieci, Prószyński i S-ka, Warszawa, 1999, str. 112.

Doświadczenie 2. Topnienie gór lodowych

Przed przystąpieniem do eksperymentu nauczyciel pyta uczniów, czy topnienie pływających gór lodowych podnosi poziom wody w oceanach. Uczniowie formułują własne hipotezy i uzasadniają swoje przypuszczenia.

Przebieg doświadczenia:

Akwarium napełniamy wodą o temp. około 5°C. Dla ochłodzenia wody można użyć trochę lodu. Jeśli w trakcie doświadczenia będziemy chcieli przyspieszyć jego przebieg, będziemy mogli dolać do akwarium gorącej wody. Do akwarium wkładamy bryłę lodu z ciężarkiem (nie gubiąc wystającej z niego żyłki). Bryła pływa na powierzchni. Po stopnieniu części lodu pływalność spadnie do obojętnej i bryła zacznie opadać na dno. Wyciągamy wtedy bryłę za żyłkę i szybko ważymy. Wkładamy bryłę z powrotem do akwarium (opada na dno) i obserwujemy dalsze topnienie i poziom wody w rurce wskaźnika. Opadanie poziomu wody będzie dużym zdziwieniem - dyskusja!

Po całkowitym stopieniu lodu ważymy sam ciężarek. Mierzymy ciężarek suwmiarką. Mamy układ równań, wiążących gęstość lodu (do wyliczenia), objętość lodu (nieznaną, do wyeliminowania), gęstość mosiądzu (nieznaną, do wyeliminowania albo wyliczenia), objętość ciężarka (znaną poprzez jego wymiary), sumę objętości lodu i ciężarka (do wyliczenia z prawa Archimedesesa, warunku neutralnej pływalności i wagi bryły). W zależności od zaawansowania matematycznego uczniów albo traktujemy to jako układ wielu równań, albo liczymy krok po kroku, zaczynając od zależności z jedną niewiadomą. Wyliczamy gęstość lodu.

Wykład – przypomnienie o lodowcach kontynentalnych i szelfowych.

Czy topniejące lodowce szelfowe mają wpływ na podnoszenie się poziomu oceanu? Do akwarium z nieco cieplejszą wodą (15-20°C) wkładamy dużą bryłę lodu (ważymy ją uprzednio). W miarę jej topnienia uczniowie obserwują poziom wody, pokazywany koralikiem w rurce.

Nauczyciel zachęca uczniów do komentowania i prób wyjaśniania obserwowanych procesów?

Czy topniejące lodowce kontynentalne mają wpływ na poziom oceanu?

Do akwarium wstawiamy wystający ponad powierzchnię klocek – podstawkę. Nie zaszkodzi na jego górnej ścianie namalować kontur Antarktydy albo Grenlandii, a w kącie dostawić drugi klocek, ledwo wystający nad powierzchnię, z flagą Fidżi albo Tuvalu. Na klocek „Antarktyda” kładziemy dużą bryłę lodu (ważymy ją wcześniej). Globalne ocieplenie możemy spowodować suszarką do włosów. Uczniowie obserwują poziom wody w rurce wskaźnikowej. Wyliczają, znając ciężar bryły lodu, o ile podniósł się poziom wody. Oczywiście zapomną uwzględnić fakt, że „ocean” zajmuje tylko część powierzchni naszego globu – akwarium – dokonując obliczeń trzeba więc odjąć powierzchnię naszego konty-

mentu. Niech liczą jeszcze raz – teraz już wynik powinien wyjść zgodny z doświadczeniem.

Pytanie nauczyciela: Czy w naszej okolicy są jakieś widoczne formy polodowcowe? W plejstocenie lodowiec sięgał aż tutaj i na pamiątkę zostawił nam ten morenowy pagórek.

Pokazujemy mapy zasięgu zlodowaceń, polecając oszacowanie całkowitej powierzchni zajmowanej wtedy przez lodowce. Podajemy typową grubość plejstocenijskiej pokrywy lodowej. Niech przypomną sobie albo znajdą, jaką część powierzchni Ziemi zajmują oceany i jakie są wymiary Ziemi. Niech oszacują, o ile podniósł się poziom oceanów od czasu maksymalnego zlodowacenia w plejstocenie.

Warto uzupełnić lekcję krótkim wykładem o strukturze krystalicznej lodu i pokazać mikroskopowe uzasadnienie dla mniejszej gęstości lodu w stosunku do wody.

Doświadczenie 3.

Tworzenie własnego lodowca

Spektakularnym zadaniem jest zbudowanie własnego lodowca z kilkunastu ton śniegu polanego kilkudziesięcioma wiadrami wody (wystarczy poprosić załogę pługu śnieżnego, żeby nie wywozili śniegu do rzeki, tylko zrzucili całą ciężarówkę na naszym terenie, a może wystarczy śnieg zebrany przy odgarnianiu terenu przed szkołą). Lodowiec budujemy na początku zimy, żeby dobrze przemarzł, albo budujemy etapami przez całą zimę, dosypując kolejny zebrany śnieg i dolewając wodę. Wiosną codziennie mierzymy wymiary, zaznaczamy jego zasięg, obserwujemy wypływające spod niego rzeki i dziwimy się wszystkim osadom, które po sobie pozostawił. Robimy wykresy zależności wielkości naszego lodowca i tempa jego zanikania od temperatury powietrza, zaznaczając i inne zjawiska atmosferyczne (np. silny wiatr, padający deszcz, jeśli lodowiec stoi w nasłonecznionym miejscu, to stopień zachmurzenia, etc.), potem dyskutujemy (niekoniecznie konkluzywnie) co ma wpływ na proces topnienia naszego lodowca i dlaczego tak się dzieje. Im większy lodowiec, tym lepiej. Pewnej zimy w zacienionym i osłoniętym miejscu udało nam się przez dwa tygodnie obserwować topnienie lodowca wysokiego na 2 metry i szerokiego na 4.¹⁴

Podsumowanie

Każde doświadczenie i każda wizualizacja jest niewątpliwym wzbogaceniem typowego dla szkoły, niezmiernie trudnego dla wielu uczniów i prowadzącego do przeciążenia hipokampa, kanału werbalnego. Efektem procesu uczenia się jest zmiana siły połączeń synaptycznych i tworzenie nowych połączeń neu-

¹⁴ Autorem doświadczenia 2 i 3 jest Ksawery Stojda. Oba pochodzą z cyklu Akademii uczniowskiej. Można je znaleźć na stronie domowej Centrum Edukacji Obywatelskiej, <http://beta.serwisceo.nq.pl/pl/au/news/gora-lodowa-i-lodowce-0>.

ronalnych. Aby zmiany te były trwałe, konieczne są powtórzenia. To zaś możliwe jest w przypadku procesu. Jednorazowe zdarzenia mają niewielką szansę na zmianę struktury mózgu. Im większą aktywność po stronie uczniów wywołuje dane doświadczenie, tym trwalsze efekty. Dlatego warto ich zachęcać do formułowania hipotez i uzasadniania ich. W ten sposób nauczyciel ma wgląd w sposób myślenia uczniów. Nieważne czy hipotezy są poprawne czy błędne, ważne, by uczniowie nie zgadywali, ale by aktywizowali wiedzę mającą odniesienie do realnego świata. Uczeń, który przypuszczał, że topnienie pływającej góry lodowej podniesie poziom wody w akwarium, widząc, że był w błędzie, najprawdopodobniej będzie mocno zainteresowany, dlaczego tak się dzieje. Jest też bardzo prawdopodobne, że on sam lub ktoś z jego kolegów znajdzie wyjaśnieniem obserwowanego zjawiska przypominając sobie, że skutkiem zamrażania wody są na wiosnę dziury w asfalcie. Z punktu widzenia pracy mózgu taki sposób postępowania jest niezmiernie efektywny, bo na każdym etapie wymusza intensywne przetwarzanie informacji. Mózg włącza się do pracy już w trakcie tworzenia hipotez, w czasie przebiegu eksperymentu je weryfikuje, a potem szuka wyjaśnienia. Ważne, by był to logiczny łańcuch przyczynowo-skutkowy.

Niezwykle cenne są takie propozycje eksperymentów, które pozwalają uczniom na dokonywanie pomiarów i obliczeń. Dzięki temu przeliczenia nie są abstrakcyjne, uczniowie wiedzą, co liczą i po co to liczą. Efektywność uczenia się wzmacniają popełniane błędy. Jeśli uczeń przypuszczał, że poziom wody w akwarium po stopieniu się lodu podniesie się, wyjątkowo dobrze zapamięta, nie tylko skutek topnienia, ale i przyczynę tego zjawiska. Jeśli nauczyciel wprowadzi zwyczaj prowadzenia z uczniami rozmów i odejście od drobiazgowych objaśnień tego, co dzieje się na lekcji, to błędy w ich myśleniu przestaną być problemem, bo będzie mógł je szybko prostować. To wymaga jednak odejścia od kultury błędu i wprowadzenia przyjaznej mózgowi kultury dialogu.

Planując eksperymenty i doświadczenia warto odpowiedzieć na podane poniżej pytania.

- 1) Czy uczniowie mają przed doświadczeniem możliwość tworzenia hipotez?
- 2) Czy mogą tworzyć hipotezy w oparciu o swoją wiedzę i dotychczasowe doświadczenia czy jedynie poprzez zgadywanie?
- 3) Czy przebieg eksperymentu pozwala na samodzielne weryfikowanie błędnych hipotez?
- 4) Czy uczniowie są aktywnymi uczestnikami czy jedynie biernymi obserwatorami doświadczenia?
- 5) Czy w trakcie trwania doświadczenia można prowadzić rozmowy?
- 6) Czy w czasie doświadczenia możliwe jest zgłaszanie przez uczniów propozycji zmodyfikowania doświadczenia lub przeprowadzenia dodatkowych prób, które pozwolą na sprawdzenie ich pomysłów?
- 7) Czy ostateczne wyjaśnienie obserwowanego zjawiska pochodzi od nauczyciela, czy od uczniów?

- 8) Czy doświadczenie wymaga przeprowadzania pomiarów i/lub obliczeń? Czy pomiarów lub obliczeń mogą samodzielnie dokonywać uczniowie?
- 9) Czy przeprowadzane doświadczenie pozwala na łączenie wiedzy z różnych dziedzin?

Oczywiście nie wszystkie doświadczenia mogą w maksymalnym stopniu aktywizować uczniów, ale im częściej jest to możliwe, tym głębszy charakter mają zachodzące w mózgu zmiany.

Szkoła przyjazna mózgowi musi szukać alternatywy dla tzw. edukacji transmisyjnej i pokazać, że świat, w którym żyjemy, jest fascynujący i wciąż pełen czekających na odkrycie tajemnic. Dobre lekcje fizyki muszą prowokować do zadawania pytań, tworzenia hipotez i aktywnego poznawania rządzących naszym otoczeniem praw i reguł. Fizyka zdaje się być wymarzonym polem doświadczalnym dla metod przyjaznych mózgowi. Nauczyciele tego przedmiotu nie powinni mieć najmniejszych problemów z uruchomieniem mózgowego detektora nowości, ale najpierw trzeba uczniów „odkrzesłować”. „Dzieci uczą się wszystkiego z zachwytem, jak długo nikt im w tym nie przeszkodzi lub nie będzie próbował tego wymusić.”¹⁵ Szukając drogi do wprowadzenia fizyki przyjaznej mózgowi należy pamiętać o dychotomii „uczyć się na pamięć, iść po śladzie czy myśleć i odkrywać”? Wybór sposobu organizacji nauki ma dla uczniowskich mózgów kluczowe znaczenie.

Bibliografia

- Aamodt Sandra, Wang Samuel, *Welcome to your brain*, München [DTV] 2010.
- Bauer Joachim, *Warum ich fühle, was du fühlst. Intuitive Kommunikation und das Geheimnis der Spiegelneurone*, Hamburg [Hoffmann und Campe] 2005.
- Blakemore Sarah-Jayne, Frith Uta, *Jak uczy się mózg*, Kraków [Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego] 2008.
- Brown Robert J., *200 doświadczeń dla dzieci*, Warszawa [Prószyński i S-ka] 1999.
- Dewey John, *Jak myślimy*, Warszawa [Państwowe Wydawnictwo Naukowe] 1988.
- Hüther Gerald, *Bedienungsanleitung für ein menschliches Gehirn*, Göttingen [Vandenhoeck & Ruprecht] 2001.
- Hüther Gerald, *Die Macht der innerer Bilder, Wie Visionen das Gehirn, den Menschen und die Welt verändern*, Göttingen [Vandenhoeck & Ruprecht] 2010.
- Hüther Gerald, *Was wir sind und was wir sein könnten*, Frankfurt am Main [S.Fischer Verlag] 2011.
- Kalat James W., *Biologiczne podstawy psychologii*, Warszawa [Wydawnictwo Naukowe PWN] 2011.
- Kalinowsja Alina, *Pozwólmy dzieciom działać – mity i fakty o rozwijaniu myślenia matematycznego*, Warszawa, 2010.

¹⁵ G. Hüther, *Was wir sind und was wir sein könnten*, S. Fischer Verlag, Frankfurt am Main, 2011, s. 95.

- Klus-Stańska Dorota, Kalinowska Alina, Rozwijanie myślenia matematycznego młodszych uczniów, Warszawa [Wydawnictwo Akademickie Żak] 2004.
- Korte Martin, Wie Kinder heute lernen, München [DVA] 2010.
- Largo Remo H., Kinderjahre, München [Piper Verlag] 2002.
- Neurodidaktik. Grundlagen und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen, pod. red. Ulrich Herrmann, Weinheim und Basel [Beltz Verlag] 2009.
- Reich Kersten, Konstruktivistische Didaktik, Weinheim und Basel [Beltz Verlag] 2006.
- Robinson Ken, Aronica Lou, The Element: How Finding Your Passion Changes Everything, London [Penguin Books], 2010.
- Roth Gerhard, Aus der Sicht des Gehirns, Frankfurt [Suhrkamp] 2003.
- Roth Gerhard, Bildung braucht Persönlichkeit, Stuttgart [Klett-Cotta] 2011.
- Roth Gerhard, Das Gehirn und seine Wirklichkeit: kognitive Neurobiologie und seine philosophischen Konsequenzen, Frankfurt am Main [Suhrkamp Taschenbuch Wissenschaft] 1996.
- Roth Gerhard, Fühlen, Denken, Handeln: Wie das Gehirn unser Verhalten steuert, Frankfurt am Main [Suhrkamp Taschenbuch Wissenschaft] 2003.
- Siebert Horst, Pädagogischer Konstruktivismus, Weinheim und Basel [Beltz Verlag] 2005.
- Singer Wolf, Der Beobachter im Gehirn: Essays zur Hirnforschung, Frankfurt am Main, [suhrkamp taschenbuch wissenschaft] 2002.
- Small Gary, Vorgan Gigi, iBrain. Wie die neue Medienwelt das Gehirn und die Seele unserer Kinder verändert, Stuttgart [Verlag Kreuz] 2009.
- Spitzer Manfred, Jak uczy się mózg, Warszawa [Wydawnictwo Naukowe PWN] 2007.
- Spitzer Manfred, Nervenkitzel. Neue Geschichten vom Gehirn, Frankfurt am Main [Suhrkamp] 2006.
- Solso Rober L., Kognitive Psychologie, Heidelberg [Springer Medizin Verlag] 2005.
- Vetulani Jerzy, Mózg: fascynacje, problemy, tajemnice, Kraków [Homini] 2011.
- Wellenreuther Martin, Forschungsbasierte Schulpädagogik, Baltmannsweiler [Schneider Verlag] 2009.
- Wygotski Lew S., Denken und Sprachen, Berlin [S.Fischer], 1964.

Artykuły

- Arnold Margret, Brain- Based Learning and Teaching – Prinzipien und Elemente, w: Neurodidaktik. Grundlagen und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen, pod red. Herrmann Ulrich, Weinheim und Basel [Beltz Verlag] 2009, s. 182-195.
- Bauer Joachim, Erziehung als Spiegelung, w: Neurodidaktik, Grundlagen und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen, pod red. Herrmann Ulrich, Weinheim und Basel [Beltz Verlag] 2009, s. 49-57.

- Bauer Joachim, Kleine Zellen, große Gefühle – wie Spiegelneurone funktionieren. Die neurobiologischen Grundlagen der „Theory of Mind“, w: Neurodidaktik Grundlagen und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen, pod red. Ulrich Herrmann, Weinheim und Basel [Beltz Verlag] 2009, s. 49-57.
- Brand Matthias, Markowitsch Hans J., Lernen und Gedächtnis aus neurowissenschaftlicher Perspektive, w: Neurodidaktik. Grundlagen und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen, pod red. Herrmann Ulrich, Weinheim und Basel [Beltz Verlag] 2009, s. 69-85.
- Braun Anna Katharine, Wie Gehirne laufen lernen: „Oder früh übt sich, wer ein Meister werden will!“, w: Zeitschrift für Pädagogik, nr 50, 2004, s. 507-520.
- Braun Katharina, Bock Jörg, Die Narben der Kindheit, w: Geist und Gehirn, nr 1, 2003, s. 50-53.
- Brüser-Sommer Ehlert, Hirnfreundlich lernen. Erkenntnisse der Neurowissenschaften für Lehr-Lernprozesse nutzen, w: Deutsche Lehrer im Ausland, nr 1, luty 2007, s. 68-74.
- Deci Edward, Ryan Richard M., Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik, w: Zeitschrift für Pädagogik, nr 39, s. 223-238.
- Fischer Kurt W., The Future of Educational Neuroscience, w: Mind, Brain, & Education, pod red. David A. Sousa, Bloomington, 2010, s. 249-269.
- Herrmann Ulrich, Gehirnforschung und die neurodidaktische Revision schulisch organisierten Lehrens und Lernens, w: Neurodidaktik. Grundlagen und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen, pod red. Herrmann Ulrich, Weinheim und Basel [Beltz Verlag], s. 148-170.
- Herrmann Ulrich, Neurodidaktik – neue Wege des Lehrens und Lernens, w: Neurodidaktik. Grundlagen und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen, pod red. Herrmann Ulrich, Weinheim und Basel [Beltz Verlag] 2009, s. 9-13.
- Hüther Gerald, Die Ausbildung von Metakompetenzen und Ich-Funktionen während der Kindheit, w: Neurodidaktik. Grundlagen und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen, pod red. Herrmann Ulrich, Weinheim und Basel [Beltz Verlag] 2009, s. 99-108.
- Hüther Gerald, Die Bedeutung sozialer Erfahrungen für die Strukturierung des menschlichen Gehirns, w: Neurodidaktik. Grundlagen und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen, pod red. Herrmann Ulrich, Weinheim und Basel [Beltz Verlag] 2009, s. 41-48.
- Hüther Gerald, Für eine neue Kultur der Anerkennung. Plädoyer für einen Paradigmawechsel in der Schule, w: Neurodidaktik. Grundlagen und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen, pod red. Herrmann Ulrich, Weinheim und Basel [Beltz Verlag] 2009, s. 199-206.
- Herrmann Ulrich, Gehirnforschung und die neurodidaktische Revision schulisch organisierten Lehrens und Lernens, w: Neurodidaktik. Grundlagen und Vor-

- schläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen, pod red. Herrmann Ulrich, Weinheim und Basel [Beltz Verlag], s. 148-170.
- Herrmann Ulrich, Neurodidaktik – neue Wege des Lehrens und Lernens, w: Neurodidaktik. Grundlagen und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen, pod red. Herrmann Ulrich, Weinheim und Basel [Beltz Verlag] 2009, s. 9-13.
- Hüther Gerald, Die Ausbildung von Metakompetenzen und Ich-Funktionen während der Kindheit, w: Neurodidaktik. Grundlagen und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen, pod red. Herrmann Ulrich, Weinheim und Basel [Beltz Verlag] 2009, s. 99-108.
- Hüther Gerald, Die Bedeutung sozialer Erfahrungen für die Strukturierung des menschlichen Gehirns, w: Neurodidaktik. Grundlagen und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen, pod red. Herrmann Ulrich, Weinheim und Basel [Beltz Verlag] 2009, s. 41-48.
- Hüther Gerald, Für eine neue Kultur der Anerkennung. Plädoyer für einen Paradigmawechsel in der Schule, w: Neurodidaktik. Grundlagen und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen, pod red. Herrmann Ulrich, Weinheim und Basel [Beltz Verlag] 2009, s. 199-206.
- Kontrym-Sznajd Grażyna, Dlaczego fizyka nie jest lubiana i jak to zmienić?, w: Problemy dydaktyki fizyki, pod red. Andrzeja Krajny, Leszka Ryka i Krystyny Sujak-Lesz, Czeszów-Wrocław [Oficyna Wydawnicza „Atut” – Wrocławskie Wydawnictwo Oświatowe] 2013, s. 47-56.
- Lepper Mark R., Greene David, Nisbett Robert E., Undermining children’s intrinsic interest with extrinsic reward: A test of the “overjustification” hypothesis.”, w: Journal of Personality and Social Psychology, 28, 1973, s. 129-137.
- Liu Guosong, Tsien Richard W., Properties of synaptic transmission at single hippocampal synaptic boutons, w: Nature nr 375, s. 404-408.
- Mukamel Roy, Ekstrom Arne. D., Kaplan Jonas, Lacoboni Marco, Fried Itzhak, Single-Neuron Responses in Humans during Execution and Observation of Actions, w: Current Biology, 20 kwietnia 2010, nr 20, s. 750-756.
- Roth Gerhard, Warum sind Lehren und Lernen so schwierig?, w: Neurodidaktik. Grundlagen und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen, pod red. Ulrich Herrmann, Weinheim und Basel [Betz Verlag] 2009, s. 58-68.
- Sachser Norbert, Neugier, Spiel und Lernen: Verhaltensbiologische Anmerkungen zur Kindheit, w: Zeitschrift für Pädagogik, nr 50, 2004, s. 475-476.
- Salzmann Christian Gotthilf, Noch etwas über die Erziehung nebst Ankündigung einer Erziehungsanstalt, Leipzig 1784.
- Schwarting Rainer K. W., Zur Neurochemie des Verhaltens: Dopamin und Motivation, w: Psychologische Rundschau, 1997, s. 211-223.
- Stark Holger, Rothe Thomas, Wagner Thomas, Scheich Henning, Learning a new behavioral strategy in the shuttle-box increases prefrontal dopamine. Neuroscience, 2004, 126 (1), s. 21-29.

Tulving Endel, Episodic memory and autoeosis: uniquely human? w: Terrace H., Metcalfe J., The missing link in cognition: evolution of self-knowing consciousness, New York [Oxford University Press], s. 3-56.

II.

Odkryj smak fizyki

Pamięci
Profesora Jerzego Przystawy

