43

INSTYTUT FIZYKI UNIWERSYTET JAGIELLOŃSKI

SEKCJA NAUCZYCIELSKA POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO

ZESZYT 1

1996

# FOTON

ZESZYT DYDAKTYCZNY

## Wkład psychologii w nauczanie fizyki

## Słowo wstępne

Niniejszy zeszyt otwiera nową serię *Fotonów*. Będzie to seria *par excellence* dydaktyczna. W Instytucie Fizyki UJ odbywają się wykłady dla sekcji nauczycielskiej, na studiach licencjackich i wreszcie na studiach podyplomowych z rozmaitych przedmiotów związanych z nauczaniem fizyki. Są to wykłady z elementów psychologii użyteczne dla przyszłych nauczycieli fizyki, elemen1tów filozofii, wiadomości z dziedziny nazwanej przez nas *fizyka i społeczeństwo* i oczywiście wykłady z zagadnień ściśle dydaktycznych, takich jak: rozwiązywanie zadań, wprowadzanie nowych pojęć oraz rola doświadczeń w nauczaniu fizyki. Przyszli nauczyciele słuchają też wykładów z historii fizyki.

Przygotowanie tych wykładów wymaga korzystania z wielu często trudno dostępnych materiałów. Postanowiliśmy zatem niektóre z nich zbierać i wydawać w zeszytach dydaktycznych *Fotonu*, w nadziei, iż nie tylko przyszli nauczyciele uznają je za interesujące i pożyteczne. Mamy bowiem nadzieję, że Państwo, już uczący fizyki, będziecie mieli okazję do zweryfikowania, potwierdzenia, a może i zmiany swoich poglądów. Może zeszyty te zainspirują Państwa do badań dydaktycznych, które przecież wszyscy chętnie prowadzimy czerpiąc z tego dużą satysfakcję.

Zeszyt pierwszy zawiera głównie wiadomości z elementów psychologii, które stanowią podwaliny współczesnych metod nauczania fizyki. Celowo zamieściliśmy również artykuł Hansa Freudenthala, matematyka, by pokazać Państwu jak wiele mamy wspólnego z nauczycielami matematyki, ile się możemy od nich nauczyć, poznać to, co nas dzieli.

Wiele miejsca poświęciliśmy w tym zeszycie Piagetowi, który zrewolucjonizował psychologię oraz wywarł duży wpływ na rozwój filozofii i metod nauczania.

Zeszyt następny będzie w całości poświęcony przeszkodom epistemologicznym w uczeniu się i nauczaniu fizyki.

Redaktorka Zeszytu gorąco dziękuje za krytyczne uwagi i wskazówki swoim redakcyjnym współpracownikom: Jadwidze Salachowej, Barbarze Warczak i Magdalenie Staszel. Za wszystkie niedociągnięcia odpowiedzialna jest Redaktorka Zeszytu.

Zofia Gołąb-Meyer

# Wkład psychologii w rozwiązywanie problemów dydaktycznych

Zofia Gołąb-Meyer

**Spis treści**

## 1. Wstęp

Nauczanie to jeden z dwóch najstarszych zawodów świata; nauczanie fizyki jest tak stare jak i sama fizyka, która wyrosła z filozofii. Już starożytność wniosła w nauczanie coś więcej niż tylko terminowanie ucznia u mistrza oraz studiowanie dzieł innych mistrzów. Średniowieczne uniwersytety nawiązywały do tradycji starożytnych akademii: platońskiej i aleksandryjskiej. Sztuka prowadzenia dialogu, naprowadzanie ucznia i pobudzanie jego zainteresowania były znane starożytnym i opanowane przez nich w doskonałym stopniu. Nauczanie przedmiotów przyrodniczych szło w ślad za rozwojem tych nauk. Metodologia pracy naukowej, jej eksperymentalny charakter znajdowały zaraz odzwierciedlenie w metodach nauczania.

Dydaktyka fizyki ma swój początek w czasach, gdy uczeni zaczęli dbać nie tylko o wychowanie następców, lecz również zauważyli potrzebę objaśniania swoich odkryć laikowi. Pojawiło się nauczanie fizyki w celu ogólnego wykształcenia, a nawet rozrywki (epoka baroku). Kopernik chciał, by jego dzieło było dostępne nie tylko dla uczonych. W tym celu został napisany przez Retyka *Komentarzyk*. Galileusz sam dbał o dotarcie ze swymi ideami do szerszego grona czytelników. *Dialogi* pisane są po włosku, przystępnym językiem, z dramaturgicznym zacięciem. *Listy do Księżniczki Krystyny* Galileusza to przykład książki popularnej. Potężne dzieło Newtona we Francji spopularyzowała – w formie podręcznika napisanego dla swojego syna – Markiza du Châtelet. Autorzy podręczników fizyki, które zaczęły powstawać, kładli nacisk na eksperymentalny charakter fizyki.

Epoka baroku ze swoimi snobizmami epatowania nauką, przyczyniła się do rozwoju dydaktycznych demonstracji fizycznych. Nauczanie zaczęło być kształtowane pod wpływem takich myślicieli jak: Komeński, Rousseau, Pestalozzi i Herbart.

W połowie XIX wieku (Diesterweg 1835) zostały sformułowane kanony nauczania poglądowego: *Wyjdziesz od poglądu i stąd dopiero dojdziesz do pojęcia, od szczegółowego do ogólnego, od konkretnego do abstrakcyjnego*. Był to ogromny krok naprzód w dydaktyce w porównaniu ze średniowiecznym werbalizmem. W praktyce jednak nauczanie polegało na odbijaniu w umyśle dzieci *matrycy* wiedzy. Bano się błędów, by nie utrwalały się w umyśle dzieci.

Sensualistyczno-empiryczna psychologia D. Hume'a i J.St. Milla niewątpliwie przyczyniła się do zwrócenia uwagi na aktywność ucznia, co szczególnie miało znaczenie w nauczaniu przedmiotów przyrodniczych. Fizyka weszła późno do powszechnego kanonu nauczania. Za to jej wejście nastąpiło od razu z właściwymi metodami nauczania.

W wiek XX wkroczyliśmy z jasno postawionymi zaleceniami dydaktycznymi, skodyfikowanymi na zjeździe Towarzystwa Niemieckich Lekarzy i Przyrodników w Meranie w 1905 roku [1]:

1. Fizyka powinna być wykładana jako nauka przyrodnicza, nie zaś jako nauka matematyczna.
2. Nauczanie fizyki powinno dawać przykład, jak się w ogóle zdobywa wiedzę w zakresie nauk przyrodniczych.
3. Niezbędne są systematyczne ćwiczenia uczniów w samodzielnym obserwowaniu i eksperymentowaniu.

W wieku XX rozpoczęto nauczanie fizyki z dobrymi podręcznikami; w Polsce były to np. Stanisława Kramsztyka *Wiadomości początkowe z fizyki* czy Władysława Natansona *Początkowa nauka fizyki*. Z innych europejskich podręczników należy wymienić doskonały podręcznik wiedeńskiego nauczyciela fizyki Höflera.

Uczeni, którzy dokonali kolejnej rewolucji w fizyce byli już kształceni w świetnych gimnazjach. Höfler [1] [2], nauczyciel Mariana Smoluchowskiego i Erwina Schrödingera [3] ze słynnego *Collegium Theresianum* byłby i dzisiaj doskonałym nauczycielem. Był światłym człowiekiem, znał przedmiot i miał umotywowanych do nauki uczniów.

„Kwantowym" rewolucjonistom poprzednie pokolenie przygotowało grunt nie tylko w postaci wiedzy merytorycznej, lecz również w jakości wykształcenia.

Marian Smoluchowski był typowym reprezentantem elity uczonych swojej epoki. Tak jak np. Ernst Mach (autor podręcznika szkolnego) w Niemczech, Paul Langevin we Francji oraz wielu innych, rozumiał i doceniał rolę nauczania.

Poniżej przedstawiamy poglądy Mariana Smoluchowskiego na nauczanie fizyki. Będą one stanowić doskonały punkt odniesienia do nowszych zaleceń psychologii i dydaktyki fizyki.

## 2. Poglądy M. Smoluchowskiego na szkolne nauczanie fizyki

Wysokie walory dydaktyczne Smoluchowskiego ukształtował niewątpliwie wspomniany już wyżej wiedeński nauczyciel Höfler. Smoluchowski uczęszczał do słynnego Collegium Theresianum (Akademia Teresjańska). Była to jedna ze świetniejszych szkół średnich w Europie Środkowej. Szkoła wyróżniała się wysokim poziomem i skupiała wybitnych nauczycieli. W 1915 r. Smoluchowski „wypomniał" Höflerowi, że z jego winy został fizykiem. Nie dlatego, by Höfler skłaniał go namową, lecz że dzięki niemu nauczył się w gimnazjum czcić fizykę, matematykę i filozofię jako przedmioty najmilsze [2].

Smoluchowski interesował się bardzo nauczaniem wstępnym. Wiele uwag wypowiadanych przez Smoluchowskiego znalazło potwierdzenie i pełne psychologiczne uzasadnienie przez psychologów np. przez Piageta.

A oto parę uwag Smoluchowskiego zawartych *w Poradniku dla Samouków* [4]:

„Zdolność rozumienia fizyki i przyswojenia sobie jej metod naukowych zależy przede wszystkim od stopnia wykształcenia w ścisłym myśleniu matematycznym. Dla człowieka, nie posiadającego żadnego pod tym względem wykształcenia, przystępna jest jedynie grubo-jakościowa strona zjawisk fizycznych; znajomość arytmetyki w zakresie czterech działań i geometrii elementarnej umożliwia oprócz tego poznanie pewnych najprostszych prawideł ilościowych".

**„Lepiej, żeby nauczyciel wcale nie uczył fizyki, niż żeby uczył jej dogmatycznie, czysto książkowo**, niż żeby zadawał «pewne ustępy». Trzeba **rozwijać wrodzone zdolności** uczenia się samodzielnego, obserwowania zjawisk i rozumowania o nich. **Należy pobudzać ciekawość**, ułatwiać zrozumienie".

Nauka na I stopniu musi zatem być dostosowana do „naiwnego poglądu na świat". „Dogmatyczne podawanie definicji i twierdzeń bez zrozumiałego dla ucznia umotywowania jest ciężkim błędem pedagogicznym".

Smoluchowski podkreśla:

1. użyteczność metody heurystycznej (naprowadzanie uczniów)
2. samodzielne ćwiczenie.

„Oczywiście mowy o tym być nie może, żeby dziecko w kilku latach nauki szkolnej odkryło samodzielnie to na co złożyła się praca życia całych pokoleń uczonych".

„Dlatego chodziło głównie o umiejętne stawianie pytań przez uczącego i stopniowe naprowadzanie ucznia na właściwą drogę. Jest to droga mozolna, gdyż bardzo niewiele można wymagać od twórczej inwencji dziecka i uważałbym to za błędną przesadę, gdyby całą naukę chciano przeprowadzić wyłącznie tą drogą".

„Nie należy się naturalnie łudzić, żeby uczeń na tym stopniu w ogóle mógł dojść do zupełnego zrozumienia zasad fizyki, **gdyż umysł jego pod względem ścisłego myślenia matematycznego jest nieprzygotowany**". Doświadczenia na tym etapie nauczania będą w znacznej części tylko jakościowe.

Zatem **chodzi o wyrobienie** „przekonania o prawidłowości zjawisk przyrody". Ścisłość tych prawideł da się na tym szczeblu wykazać jedynie w ograniczonym zakresie. Chodzi tu głównie o pomiary, dające się wykonać przy pomocy miar długości i wagi. Jest to stosunkowo niedużo, ale wystarczy, żeby dać uczniowi właściwy pogląd na to co nazywamy ścisłością praw przyrody. Korzyści wykonywania takich pomiarów ilościowych nie dadzą się zastąpić przez nic innego i są częścią programu na pierwszym stopniu nauczania.

„Należy ostrzec przed błędnym pojęciem, jakoby owa praca doświadczalna miała być tylko zabawą. Zabawę w związku z tymi zajęciami i ze szkołą zręczności pozostawimy inicjatywie uczniów, nauka jednak powinna polegać na doświadczeniach, urządzanych metodycznie i celowo".

A oto co pisze Smoluchowski o nauczaniu na poziomie średnim:

„Nauka fizyki na stopniu II polega na zaznajomieniu się ze zjawiskami przyrody z punktu widzenia ścisłych praw niemi rządzących – o ile to możliwe jest przy stosowaniu matematyki jedynie elementarnej. Nie można się obejść bez wprowadzenia niektórych pojęć (przyspieszenie, siła, praca...) **wchodzących właściwie w zakres** rachunku różniczkowego i całkowego. Zrozumienie tych punktów zawsze nastręcza wielkie trudności w szkole średniej i nie będzie nigdy zupełnie zadowalające, dopóki pojęcia elementarne owego rachunku nie będą w należyty sposób przerabiane już w szkole średniej. W przeciwstawieniu do pierwszego stopnia chodzi tu zatem o ilościową stronę zjawisk i z tym połączone sprecyzowanie pojęć zasadniczych, a wiąże się to równocześnie z odpowiednim rozszerzaniem zakresu zjawisk omawianych oraz pogłębianiem ich zrozumienia teoretycznego. Rozpoczęcie nauki tego stopnia wymaga pewnego wyćwiczenia w zakresie matematyki, natomiast nie jest konieczne przejście przez stopień I".

„...Jak przy propedeutyce fizycznej, tak samo też i na tym stopniu nauka koniecznie opierać się musi na pracy doświadczalnej, tylko że obecnie znacznie większy nacisk trzeba kłaść na pomiary ilościowe oraz na głębszą ich analizę matematyczną".

„...Zwracamy więc uwagę, że ćwiczenia nie powinny nużyć zbyteczną pedanterią i monotonią, że powinny nie tylko przyzwyczajać do staranności, lecz przede wszystkim pobudzać pomysłowość. Nie należy też w dalszym ciągu gardzić doświadczeniami jakościowymi".

Smoluchowski w zależności od problemu poleca tzw. „metodę mieszaną", tzn.:

„Znaczną część materiału nauczyciel może wyłożyć na podstawie doświadczeń wykonanych przed klasą. Uczniowie przerabiają niektóre ćwiczenia, sprawdzają najważniejsze prawa w swych ćwiczeniach laboratoryjnych, w pewnych zaś wypadkach, nadających się specjalnie pod tym względem i wymagających ze względów zasadniczych gruntowniejszego przerobienia powinno się stosować właściwą metodę heurystyczną, tak aby własnoręczne pomiary uczniów poprzedzały wyprowadzenie ogólnego prawa, stosującego się do nich. W ogóle ideałem nie jest równomierne wykształcenie encyklopedyczne – **raczej nauczyciel powinien gruntownie opanować tylko pewne działy, pokazać uczniowi metodę naukową**".

„Równie ważnym czynnikiem wykształcenia, jak praca doświadczalna, jest **przerabianie myślowe**".

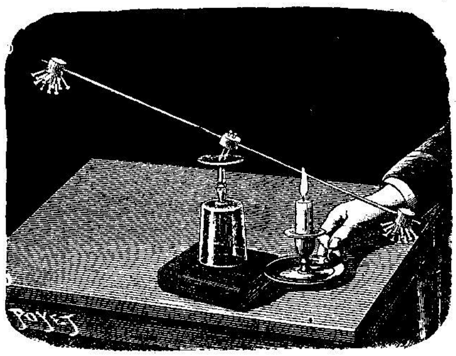
„Przez poznanie i roztrząsanie głównych teorii fizycznych uczeń rozszerza swój horyzont i wprawia się w myślenie abstrakcyjne dążąc do wyzwolenia się z pod przypadkowych właściwości i ułomności zmysłów".

„W miarę rozwoju uczniów należy przy tym zwracać baczną uwagę na logiczną stronę przedmiotu, na jasne formułowanie pojęć, na staranne odróżnienie faktów doświadczalnych od hipotez, na świadome rozróżnienie przesłanek, wniosków, na ścisłość definicji; nastręcza się tu także sposobność wyjaśniania różnych pokrewnych kwestii psychologicznych i z dziedziny teorii poznania..."

Przerabianie materiału przybiera na tym stopniu formę prostych dedukcji matematycznych, gdyż uczeń powinien posiadać już odpowiednią pod tym względem wprawę.

„Wystrzegać się trzeba męczenia uczniów zawiłemi, sztucznemi, nieścisłemi «dowodami», takich wzorów, które nie nadają się do traktowania metodami matematyki elementarnej i które bez najmniejszego trudu mogą być uzasadnione później przy pomocy matematyki wyższej".

Wszystkie zacytowane uwagi Smoluchowskiego powinny być biblią nauczyciela fizyki. W następnych częściach zeszytu zawarte jest jedynie uzasadnienie, rozwinięcie i egzemplifikacja idei Smoluchowskiego.



Ilustracja z polecanej przez M. Smoluchowskiego książeczki Kramsztyka *Doświadczenia fizyczne bez przyrządów*

## 3. Dzieło i życie Jeana Piageta

Jean Piaget psycholog i filozof – to niewątpliwie jedna z wybitnych osobowości naukowych naszego stulecia. Wywarł on wielki wpływ na współczesną psychologię i filozofię. Rzesze następców Piageta przyrównywały jego rolę w psychologii do roli Newtona w fizyce. W wieku XX, jego rolę w psychologii można przyrównać do roli Einsteina oraz twórców mechaniki kwantowej w fizyce. Jego prace miały kolosalne znaczenie dla zrozumienia procesów rozwoju myślenia formalnego, wywarły więc wpływ na dydaktykę, w szczególności na dydaktykę matematyki i przedmiotów przyrodniczych. Szczególnie warta polecenia jest *Dydaktyka psychologiczna* Hansa Aeblego [5] oparta na tezach Piageta.

Piaget był bardzo płodnym uczonym, zostawił kilkadziesiąt tomów dzieł, pisanych trudnym językiem po francusku.

Jak to często bywa, powszechniejsza znajomość dzieł Piageta dokonała się później za sprawą jego interpretatorów i propagatorów. W Polsce, dzięki Anieli Szemińskiej, bliskiej współpracowniczce Piageta już przed wojną przetłumaczono ważniejsze jego prace.

Piaget był niesłychanie oryginalną osobowością. Był tytanem pracy, umiał zgromadzić wokół siebie grupę oddanych współpracowników. Był dla nich mistrzem, „guru". Piagetowcy mieli swój język, styl pracy. Było to zapewne powodem opóźnienia szerszej znajomości prac Piageta w Stanach Zjednoczonych i w krajach europejskich niefrancuskojęzycznych.

Można zaryzykować stwierdzenie, że nie zawsze interpretacja dzieł Piageta była prosta i jasna. On sam wielokrotnie pisał na ten sam temat, jakby doprecyzowując swoje myśli. Bywało, że przypisywano Piagetowi rzeczy, których nie napisał. Jedno jednak nie ulega najmniejszej wątpliwości: sprowokował rozwój psychologii rozwojowej, jego idee zapłodniły twórczo późniejszych badaczy.

O pracach Piageta i o nim samym najlepiej powie jego autobiografia, napisana do dodatku do Encyklopedii Nauki i Techniki *Modern Men of Science*.

### 3.1. Życiorys Piageta na podstawie autobiografii

Jean Piaget urodził się w 1896 roku. Studiował biologię i filozofię. W latach od 1911 (!) do 1925 opublikował 25 prac na temat lądowych i wodnych mięczaków. Trening ten był bardzo użyteczny dla jego przyszłych badań psychologicznych i wyrobił w nim, jak się wyraził „nawyk równoczesnego myślenia w kategoriach adaptacji do środowiska oraz wewnętrznie regulowanego rozwoju podmiotu" (czyli np. mięczaków, dzieci).

Pomimo iż początkowo chciał się poświęcić biologii, to jednak był zawsze zainteresowany problemami obiektywnej wiedzy i epistemologii. Decyzja podjęcia studiów nad rozwojem funkcji poznawczych dziecka była związana z pragnieniem połączenia tych dwóch jego zainteresowań w jedno działanie. Poprzez rozważanie rozwoju jako rodzaju *mental embriogenesis*, można skonstruować biologiczną teorię wiedzy. Główne wyniki badań nad myśleniem dzieci były opublikowane między 1921 a 1967 rokiem.

Pracował w Instytucie im. Rousseau w Genewie (1921–1925), kierował katedrami historii myśli naukowej oraz psychologii eksperymentalnej w Genewie (1929–1973). Wykładał filozofię i socjologię w Neuchâtel i Lozannie, psychologię dziecka w Paryżu (1955–1963). Był dyrektorem Instytutu Nauk Pedagogicznych i Międzynarodowego Biura Wychowania w latach 1929–1971 oraz zastępcą dyrektora generalnego UNESCO. Był doktorem *honoris causa* wielu uniwersytetów, w tym również Uniwersytetu Warszawskiego (1957) [6].

Początkowo w pracach nad formacją inteligencji i myślenia dzieci Piaget stosował metody werbalne. Badania te koncentrowały się na relacjach między myśleniem a językiem, nad rozumowaniem dziecka, przedstawieniem przez nie świata fizycznego, jego sądach moralnych, ideach na temat fizycznej przyczynowości. Te pięć tematów było badanych werbalnie – to znaczy zadawano dzieciom pytania, słuchano odpowiedzi, dzieci nie manipulowały w tym czasie konkretnymi przedmiotami. W konsekwencji wyniki tych badań były ograniczone i posłużyły raczej do postawienia problemów – nowatorskich w owych czasach.

Jednakowoż dopiero około roku 1936, po krytycznej obserwacji dzień po dniu trojga swoich własnych dzieci, Piaget opublikował: *La Naissance de l'inteligence chez l'enfant* (*Narodziny inteligencji dziecka*) [7], *La Construction du réel chez l'enfant* (*Rekonstrukcja rzeczywistości przez dziecko*), *Play, Dreams and Imitation in Childhood* (*Zabawa, marzenia i naśladowanie w dzieciństwie*). W pracach tych studiował po raz pierwszy kształtowanie się inteligencji i myślenia na bazie działania senso-motorycznego. W szczególności w pierwszych dwóch tomach przedstawił już psychologiczne problemy formowania się myślenia z epistemologicznej perspektywy. Poprzez analizę sposobów w jakich stałe przedmioty (dla dziecka 8- czy 9-miesięcznego ukryty przedmiot nie jest traktowany jako ciągle zachowujący swe istnienie) – przestrzeń, czas i związki przyczynowe są ustalane, Piaget mógł pokazać, że one nie są po prostu rezultatem percepcji i doświadczeń w sensie używanym przez empirystów. Wręcz przeciwnie, odkrył on, iż ciągły zorganizowany wysiłek ze strony badanego dziecka jest niezbędny do uformowania tych fundamentalnych struktur. W rezultacie badań (z Anielą Szemińską opublikowano *Pojęcie liczby u dzieci*, a wspólnie z Barbel Inhelder *Rozwój pojęć fizycznych*) osiągnął inną perspektywę swoich poglądów na rozwój inteligencji dziecka. Uważał on mianowicie, iż centralny mechanizm inteligencji tkwi w konstrukcji operacji, które wywodzą się od ogólnych skoordynowanych akcji. Podstawowe operacje takie jak: jednoczenie (związane z zawieraniem i klasyfikacją), seriacje (związane z porządkiem, powiązaniami i asymetrycznymi relacjami), porównywanie, wyszukiwanie odpowiedzi, odwracalność (poprzez inwersję i wzajemność), i tak dalej, są akcjami, które się interioryzują (uwewnętrzniają). W części pomaga tu język, lecz nie wywodzą się one z języka i są skoordynowane w całościowe struktury. W tym czasie (1942) Piaget zaczął studiować te struktury teoretycznie (klasy, relacje i liczby) i eksperymentalnie. W wyniku tych prób powstały na temat liczb i ilości dwie już wyżej wymienione książki, oraz *Rozwój pojęcia czasu u dzieci*, *Geometria spontaniczna dziecka* [8], *Wyobrażenie przestrzeni przez dziecko* i *Pojęcie ruchu i prędkości u dzieci* [11].

Następnie zrealizowana została seria prac z B. Inhelder o przestrzeni, czasie i elementarnych strukturach logicznych, której wyniki opublikowano w pracy Rozwój myślenia logicznego – Od logiki dziecka do logiki młodzieży [12]. Liczne prace, z których nie wszystkie zostały przetłumaczone na angielski, pokazują jasno, że struktury operacyjne są scharakteryzowane przez formowanie się pojęć zachowania (zachowanie całości, ciągłości ilości w konkretnych materiałach, długości, powierzchni i tak dalej). Początek powstawania tych pojęć może być nawet zaobserwowany pomiędzy czwartym a szóstym rokiem życia w preoperacyjnym etapie myślenia.

Piaget długo studiował rozwój percepcji u dzieci (*Mechanizmy percepcji*, 1962), w następstwie czego wspólnie z B. Inhelder opublikował *L'image mentale chez l'enfent – Obraz w umyśle dziecka*, oraz praca na temat pamięci, która rozwija się między trzecim i czwartym, i 11 a 12 rokiem życia. Wszystkie te badania były przeprowadzane przez stałe wiązanie poszczególnych zjawisk z formacją logicznych operacji.

Trzecie główne zainteresowanie Piageta to epistemologia. Epistemologia pyta o naturę wiedzy w ogólności. Jednakowoż, ponieważ wiedza się stale rozwija i nie istnieją zamknięte gałęzie wiedzy, Piaget postawił raczej pytanie: „Skąd wiedza pochodzi?". Tak postawione pytanie implikuje poszukiwania wyjaśnień wiedzy poprzez jej tworzenie i rozwój. *Wstęp do epistemologii genetycznej*, który ukazał się w trzech tomach w 1950 roku, zawiera rozważania na ten temat. W Międzynarodowym Centrum Epistemologii Genetycznej utworzonym w Genewie, powstało dziesiątki tomów prac. Ukazało się *Logique et connaissence scientifique* (*Logika i poznanie naukowe*) jako tom w *Encyklopedie de la pleiade*, w którym są przedstawiane przez byłych i obecnych członków Centrum nowe problemy epistemologii genetycznej [10].

Piaget uważał epistemologię genetyczną, w odróżnieniu od filozofii, za naukę. Podniósł ten problem w małej książeczce przetłumaczonej na angielski *Użycie i nadużywanie filozofii* (*Uses and Abuses of Philosophy*), która wywołała żywą dyskusję w Europie. Sugerował on, iż filozofia zawiera raczej mądrość niż wiedzę, gdyż jej metody są różne od naukowych. Natomiast metody badawcze epistemologii genetycznej są już metodami naukowymi.

## 3.2. O epistemologii rozwojowej Piageta

Epistemologia – czyli teoria poznania – zajmuje się aktami poznawczymi i ich rezultatami. Naczelne pytania epistemologii:

Co to jest prawda?
Jakie są źródła poznania?
Jakie są granice poznania?

Naczelne pytania epistemologii Piaget zastąpił pytaniami:

1. Jak rosną różne dziedziny wiedzy?

2. Dzięki jakim procesom nauka przechodzi z jednego poziomu wiedzy, uznanego po jakimś czasie za nieskuteczny, na inny określony poziom, uznany za wyższy wspólnym przekonaniem adeptów nauki?

Na gruncie filozofii proces poznania był ujmowany statystycznie, z pominięciem perspektywy historycznej. Piaget zaproponował ujęcie dynamiczne, z filozofii wyodrębnił epistemologię genetyczną [13], [15]. Wyodrębnił problematykę teoriopoznawczą z całokształtu zagadnień filozoficznych. Piaget uznał, że jedynie badanie rozwoju może dać odpowiedź na tradycyjne problemy filozofii, a więc będziemy mieć do czynienia z ewolucyjną teorią wiedzy. Według Piageta epistemologia genetyczna jest nauką, a nie filozofią, to znaczy jest dyscypliną opartą na metodach badawczych właściwym naukom empirycznym (według Piageta, indukcyjno-dedukcyjnych).

Epistemologię genetyczną można więc zdefiniować najogólniej jako badanie mechanizmów rozwoju ogółu wiedzy. Istotnym zadaniem tej dyscypliny winna być analiza – wszędzie tam, gdzie wchodzi geneza i przetwarzanie całokształtu wiedzy naukowej – przejście od stanu wiedzy mniej zaawansowanej do stanu wiedzy bardziej zaawansowanej. (J.P. *Programme et methodes de l'epistemologie genetique*).

Twórca epistemologii genetycznej zakłada tożsamość mechanizmu rozwoju nauki z mechanizmem rozwoju inteligencji, ujmując ten pierwszy jako swoiste przedłużenie rozwoju ontogenetycznego.

Piaget uważa, iż epistemologią fizyki powinni się zajmować fizycy, matematyki – matematycy, i tak dalej.

Piaget stawia pytania opisowe: JAK? – chodzi tu o podstawy, zasady i procedury badawcze związane z wyjaśnieniem: DLACZEGO?

W języku filozoficznym odpowiedzi na pierwsze pytania pretendują do roli **eksplanandów**, zaś drugie do **eksplanansów**. Eksplanansy konstruowane w epistemologii genetycznej konstruowane są do wyjaśnienia różnych cech czy aspektów rozwoju wiedzy naukowej, wzięte są z psychologii genetycznej.

PSYCHOLOGIA GENETYCZNA obejmuje piagetowską teorię rozwoju inteligencji i zespół danych empirycznych potwierdzających ją. Psychologia zajmuje w epistemologii genetycznej pozycję centralną, dostarczając teorii wyjaśniającej mechanizm rozwoju nauki, środków opisu danych z historii nauki i podstawowej metody weryfikacji twierdzeń epistemologicznych.

# 4. Psychologia genetyczna Piageta

## 4.1. Wstęp

Celem prowadzonych przez Piageta i jego współpracowników badań było studiowanie i odkrywanie mechanizmów regulujących powstawanie etapów poznawczych zarówno w samej nauce, jak i w rozwoju jednostki, przy założeniu, że w obu przypadkach funkcjonują te same mechanizmy. Psychologia Piageta, nazywana psychologią genetyczną, czyli rozwojową, zajmuje się przede wszystkim studiowaniem jakościowego rozwoju struktur intelektualnych jednostki. Istotną rolę odgrywa tu genetyczna interpretacja pojęcia inteligencji. Inteligencja, rozumiana jako suma aktywności (konkretnych bądź umysłowych), za pomocą których dana jednostka wchodzi we wzajemne oddziaływanie z otoczeniem, nie jest więc traktowana jako stała cecha jednostki, lecz jest zależna od etapu rozwoju, na jakim dana jednostka się znajduje.

Według piagetowskiej teorii poznania podmiot poznawczy jest wyposażony na danym etapie swego rozwoju w pewne struktury poznawcze, tzw. schematy poznawcze. Rzeczywistość badana jest za pomocą posiadanych schematów, w wyniku czego wytwarza się pewien jej określony obraz. Na podstawie wytworzonego obrazu uruchamiane są znów procesy badawcze, w których następuje porównywanie obrazu z otoczeniem. Pojawiające się wtedy różnice między rzeczywistością a jej obrazem, powodują powstawanie pojęć. Ze względu na istniejącą silną tendencję do wytwarzania się równowagi między rzeczywistością a jej wewnętrznym obrazem, powstającym w trakcie badania, wyrównywanie różnic odbywa się w trakcie uzupełniających się procesów *asymilacji* i *akomodacji*. Proces asymilacji zmierza do podporządkowania posiadanym schematom poznawczym, bez ich zmiany, jak największego obszaru badanej rzeczywistości, natomiast w procesie akomodacji następują pewne modyfikacje posiadanych schematów w celu przystosowania ich do badania danego obszaru poznawczego otoczenia.

W procesie poznawczym z reguły dochodzi do współdziałania asymilacji i akomodacji. Badając dany problem jednostka próbuje go rozwiązać zarówno poprzez dostosowywanie i modyfikację posiadanych schematów (akomodacja), jak też przez takie zmiany treści zadania, by w zmodyfikowanej formie podpadało ono pod posiadany już schemat (asymilacja). W trakcie działalności badawczej poznająca jednostka poprzez odpowiednią organizację i koordynację schematów poznawczych rozwija i rozbudowuje wytworzony obraz rzeczywistości tak, że ustala się coraz lepsza odpowiedniość między obrazem a rzeczywistością prowadząc do ustalania się coraz trwalszej równowagi między jednostką a otoczeniem.

Psychologia Piageta nie przyznaje obrazowi takiej centralnej pozycji jaką wyznaczyły jej poprzednie psychologie. U Piageta obraz jest symbolem operacji.

**Słowniczek**

interioryzacja – uwewnętrznienie – oznacza przejście od wykonywania czynności efektywnych, konkretnych, materialnych, do ich wykonywania wyłącznie w myśli, poprzez działanie wyobrażone.

asymilacja – zrozumienie zjawisk poprzez posiadany zespół pojęć, struktur.

akomodacja – przebudowa zespołu pojęć wobec napotkanego nowego, niezrozumiałego zjawiska. Do dokonania procesu akomodacji potrzebna jest chęć i rodzaj odwagi intelektualnej. Musi zaistnieć sytuacja wymuszająca akomodację.

## 4.2. Główne wyniki badań empirycznych Piageta

1. Dziecko nie tyle wie mniej niż dorosły, ile rozumuje inaczej.
2. Rozwój myślenia formalnego dziecka przebiega etapami. Wszystkie dzieci przechodzą przez wszystkie etapy po kolei, aczkolwiek tempo przechodzenia może być różne. Etapy te (omówione dalej) to:
   - etap senso-motoroczny (od urodzenia do średnio dwóch lat),
   - etap myślenia przedoperacyjnego (średnio do sześciu lat),
   - etap myślenia konkretnego ( średnio do 12, 13 lat),
   - etap formowania się myślenia formalnego.
3. Kolejne etapy cechują się charakterystycznymi dla siebie strukturami operacyjnymi (chodzi o sposoby rozumowania). Przejście z etapu na etap nie oznacza ani utraty starych schematów, ani dołączania nowych. Następuje reorganizacja (Thomas Kuhn [16] powiedziałby rewolucja). Przechodzenie z etapu na etap wiąże się z wysiłkiem.
4. Rozwój myślenia formalnego nie może i nie powinien być istotnie przyspieszany. Rozwój ten ma swój biologiczny zegar, który bije pomimo wpływów mowy i oddziaływania otoczenia społecznego.
5. Pojęcia fizyczne mogą się rozwijać, gdy jednostka staje wobec jakichś nowych dla siebie zjawisk i nie potrafi ich wytłumaczyć przy pomocy posiadanych struktur operacyjnych.

## 4.3. Piagetowskie etapy rozwoju

1. Stadium sensomotoryczne, które zazwyczaj trwa od urodzenia dziecka do końca drugiego roku życia. W tym stadium kształtują się czynności motoryczne jeszcze niezinterioryzowane, zaczyna się rozwój wyobrażeń o przedmiotach, co stanowi punkt wyjścia do przyszłego rozwoju pojęć. Dziecko opanowuje zasadę stałości przedmiotów dzięki powstawaniu

sensomotorycznych schematów operacji na konkretnych przedmiotach z najbliższego otoczenia.

2. Stadium przedoperacyjne, zaczynające się w końcu drugiego roku życia i trwające do wieku około sześciu-siedmiu lat. W początkach tego okresu myślenie i działanie stanowią jeden nierozłączny proces. W tym okresie dziecko opanowuje język, uczy się myślowych przedstawień dla schematów sensomotorycznych i może wyobrażać sobie przebieg działania bez wykonywania go. Jednakże wykonywane operacje dotyczą działań konkretnych, są egocentryczne i nieodwracalne. Następuje rozwój pojęć opartych na klasyfikacji, koniunkcji i dyzjunkcji. Rozwijają się pewne pojęcia topologiczne jak: blisko–daleko, razem–oddzielnie, czasowe: przedtem–potem. Występuje odróżnianie figur geometrycznych: koło, trójkąt, kwadrat. Występuje brak odwracalności procesów myślowych. Wiąże się on z egotyzmem dziecięcym. Dziecko nie potrafi odwrócić sytuacji i spojrzeć na nią z innego, niż własny punkt widzenia. W rozumowaniu dziecka występuje brak prawa niesprzeczności. Dziecko wypowiada po sobie sądy zupełnie sprzeczne i jakby tego nie zauważa. Niewykształcone jest jeszcze prawo przechodniości, w związku z tym dziecko nie umie porządkować.
3. Stadium operacji konkretnych trwa do około jedenastego roku życia. W tym okresie następuje taka koordynacja myślowych przedstawień schematów sensomotorycznych, która prowadzi do rzeczywistego myślenia, chociaż dotyczącego jeszcze tylko pojęć konkretnych. Zmniejsza się egocentryczność myślenia i opanowana zostaje odwracalność operacji. Dochodzi do organizacji operacji w pewne systemy, których struktura umożliwia dużą zmienność i ruchliwość aktywności intelektualnych. Dziecko rozumie już prawo niesprzeczności, potrafi zastosować prawo przechodniości, umie uporządkować obiekty według jakiejś relacji. Rozwijają się podstawowe dla logicznego myślenia pojęcia. Dziecko wnioskuje prawidłowo na podstawie przesłanek, które uznaje za prawdziwe. Natomiast nie umie wyciągać wniosków z przesłanek sobie nieznanych lub fałszywych. Stosowany w matematyce *dowód nie wprost* jest obcy psychice dziecka.

   Na tym etapie kształtują się takie pojęcia fizyczne jak np. pojęcie zachowania masy, ciężaru i objętości. Dziecko rozumie pojęcie zawierania. Odróżnia całość od części. Kształtuje się pojęcie liczb całkowitych.
4. Stadium operacji formalnych jest ostatnim stadium rozwoju myślenia dziecka i zaczyna się około 11 roku życia. Charakteryzuje się ono wykształceniem myślenia logicznego, operującego pojęciami abstrakcyjnymi. Dziecko może wykonywać operacje, które wykraczają poza bezpośrednie doświadczenie, co pozwala na pojawianie się rozumowań polegających na myślowym sprawdzaniu stawianych hipotez. Dziecko potrafi

wyciągać wnioski z założeń bez znajomości konkretnych sytuacji. Kształtuje się myślenie kombinatoryczne, rozumie się proporcje. Powstają mechanizmy pozwalające na stosowanie logiki zdań.

Ze względu na kontynuację rozwoju, stadium początkowe – sensomotoryczne wywiera decydujący wpływ na cały późniejszy rozwój. Podstawowymi środkami wzajemnego oddziaływania, a co za tym idzie także i poznania, są w tym stadium czynności. Wytwarzane w następnych etapach wyższe formy poznania rzeczywistości, jak np. myślenie, muszą być więc rozszerzeniem czynności. Przejście od konkretnego działania do operacji intelektualnych dochodzi do skutku dzięki temu, że czynności coraz bardziej wyzwalają się ze swego powiązania z danymi przedmiotami, przybierając coraz bardziej abstrakcyjny charakter. Na pewnym etapie czynności rzeczywiste zostają zastąpione czynnościami tylko wyobrażonymi, zinterioryzowanymi. Te intelektualne wytwory czynności – operacje – organizują się z kolei w zmienne systemy – grupy operacji, umożliwiające jednostce przystosowanie typowo inteligentne.

**Kryteria rozróżniania stadiów rozwoju** (Podajemy za podręcznikiem K. Żebrowskiej [17])

- **Porządek** następowania nowych zdobyczy rozwojowych musi być stały.
- **Integracja** – struktury nabyte w jakimś stadium stają się integralną częścią stadium następnego.
- *Struktura całości*owa – stadium stanowi nie sumę cech, lecz pewną całość, pozwalającą określić wszystkie operacje, które są dla niej charakterystyczne (strukturalizm Piageta).
- **Formowanie się struktury** – każde stadium obejmuje z jednej strony kształtowanie się struktury (poziom przygotowawczy) a z drugiej – jej osiągnięcie, końcową stabilizację (równowagę). *Odnajdujemy tu schemat rewolucji naukowych wg Thomasa Kuhna* [16].
- **Równowaga** – stadia stanowią serię osiąganych poziomów równowagi o coraz częstszym zakresie i większej stabilności.

Myślenie przedoperacyjne różni się od myślenia konkretnego operacyjnego w trzech następujących punktach:

1. Jeżeli odnosi się ono do sytuacji statycznych, to wyjaśnia je bardziej na podstawie charakteru ich konfiguracji aktualnej niż w oparciu o przekształcenia prowadzące od jednej sytuacji do drugiej.
2. Jeżeli opiera się na tych przekształceniach, to są one asymilowane do własnych czynności dziecka, a nie do czynności odwracalnych.\
3. Pojawia się tendencja do tworzenia systemów.

Wraz z rozwojem myślenia konkretnego system niestabilny regulacji, dochodzi do pierwszej równowagi. Operacje konkretne koordynują się w struktury (odwracalność, klasyfikacje, seriacje). Gdy system przekształceń jest w równowadze, oznacza to, że przekształcenia uzyskały formę odwracalną. Konkretne myślenie w porównaniu z przedoperacyjnym oznacza poszerzenie rzeczywistości w kierunku potencjalności.

Z punktu widzenia treści, myślenie konkretne jest ograniczone, ponieważ operacje nie mogą być natychmiast uogólniane na wszystkie treści. Uogólnianie stopniowo obejmuje dziedzinę po dziedzinie, przy czym przesunięcie ustrukturowania z jednej treści (np. długość) na drugą (ciężar) wymaga często kilku lat!

Piaget uważa, że dziecku trudniej jest dokonać seriacji, sprowadzać do równości itd. na przedmiotach, które kwalifikujemy wg właściwości nie tak łatwo dającej się oddzielić od własnej czynności takiej jak np. ciężar (ważenie) – niż zastosować te same operacje w takiej dziedzinie, która szybciej się obiektywizuje (np. długość).

### 4.4. Badania Piageta oparte na obserwacji dzieci wykonujących doświadczenia z fizyki

Badania rozwoju myślenia formalnego dzieci Piaget badał wspólnie z Barbel Inhelder. Czynili to obserwując czynności i rozumowanie dzieci wykonujących doświadczenia z fizyki. Praca Piageta z Barbel Inhelder *Od logiki dziecka do logiki młodzieży* [12]podzielona jest na dwie części. Pierwsza to *Formowanie się logiki zdań*. W części tej są następujące rozdziały:

1. Równość kątów padania i odbicia oraz operacje implikacji wzajemnej.
2. Pływanie ciał i eliminacja sprzeczności.
3. Giętkość i operacje występujące przy wyróżnianiu czynników.
4. Drgania wahadła i operacje wykluczania.
5. Spadek ciał po równi pochyłej i operacje alternatywy.
6. Rola niewidocznego magnesu oraz szesnaście operacji binarnych zdaniowych.

W tej części pracy przedstawiono wyniki badań jak dzieci i młodzież podchodzą do rozwiązań pozornie czysto konkretnych problemów, ale rozwiązanie których nie było możliwe wcześniej niż na poziomie III, czyli myślenia formalnego, gdyż jest tutaj potrzebne stosowanie operacji międzyzdaniowych.

Część druga nosi tytuł: *Powstawanie schematów operacyjnych logiki formalnej*. W tej części zostały zebrane wyniki badania dzieci i młodzieży rozwiązujących następujące problemy:

1. Kombinacje ciał chemicznych dających i niedających zabarwienia (formowanie się kombinatoryki).
2. Zasada stałości ruchu (I i II Zasada Newtona).

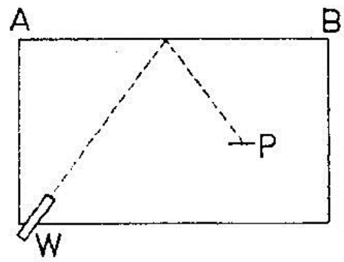
3. Naczynia połączone (równowaga hydrostatyczna – myślenie dedukcyjne).
4. Równowaga sił na równi pochyłej.
5. Rzutowanie cieni (proporcje).
6. Siła odśrodkowa oraz kompensacje.
7. Rola błędu, myślenie probabalistyczne, korelacje.

Danuta Stachórska [6] w swoim artykule w „Fizyce w Szkole" podała przykłady eksperymentów Piageta. Przykłady przez nią wybrane są najbardziej charakterystyczne i ważne dla nauczycieli fizyki. Oto one (str. 149):

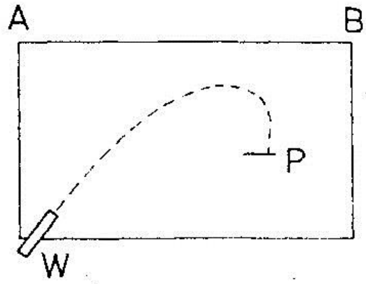
1. **Tunel: porządek i jego odwracanie** [11].
   Przed dzieckiem ustawiony jest tunel. U wejścia do tunelu znajdują się trzy różne przedmioty, ustawione w określonej kolejności, na przykład: kulka zielona, czerwona i żółta. Są albo na nitce, albo na jakimś pasie, umożliwiającym wsuwanie i wysuwanie ich z tunelu bez zmiany kolejności.
   Wciągamy kulki do wnętrza i pytamy, która z nich pokaże się pierwsza po drugiej stronie tunelu.
   Dzieci, u których wykształcone są już struktury odpowiadające porządkowaniu wiedzą od razu, że ta, która była pierwsza przed tunelem, pojawi się też pierwsza po drugiej stronie.
   Dzieci, które jeszcze nie mają pojęcia porządku, odpowiadają byle jak. Po tym pierwszym etapie doświadczenia przechodzimy do następnego. Wciągnąwszy kulki do wnętrza tunelu, zaczynamy ciągnąć z powrotem i pytamy, która kulka ukaże się pierwsza. Oczywiście będzie to ta, która przy wciąganiu do tunelu była ostatnia. Dziecko musi więc w myśli odwrócić porządek. Okazuje się, że wymaga to wyższego poziomu rozwoju psychicznego.
   Początkowo dzieci odpowiadają poprawnie na pierwsze pytanie, a dopiero później rozwiązują oba zadania poprawnie. Doświadczenie komplikuje się w dalszym ciągu. Po wciągnięciu kulek obracamy cały tunel o 180° i zadajemy poprzednie pytania. Potem obracamy go dwa razy i znowu te same pytania. Wreszcie dokonujemy kilku i kilkunastu obrotów, raz liczbą parzystą, a raz nieparzystą. Dochodzimy do trudności, które rozwiązują dopiero nastolatki.
2. **Przelewanie cieczy – zachowanie objętości**.
   Jest to chyba najbardziej znane z doświadczeń Piageta.
   Są dwie jednakowe szklanki, do których nalano takie same ilości wody. Dziecko stwierdza, że w jednej szklance jest tyle samo wody co w drugiej. Następnie na oczach dziecka przelewamy (albo nawet każemy dziecku samodzielnie przelać) ciecz z jednej szklanki do wyższego naczynia i pytamy, czy teraz w tym naczyniu i w drugiej szklance jest tyle

samo wody. Forma pytania jest dostosowana do wieku dziecka – np. z którego naczynia lepiej lub więcej się napijesz itp.
Wynik eksperymentu pokazuje, że dziecko mniej więcej do 6-ciu lat jest przekonane, że cieczy jest tam więcej, gdzie jej poziom wyżej sięga. Podobnie jest przy przesypywaniu np. piasku. Piaget wnioskuje, że w myśleniu dziecka nie ukształtowało się pojęcie objętości; ukształtowanie się tego pojęcia związane jest z prawem zachowania objętości przy przelewaniu i przesypywaniu.

3. **Bilard – związek przyczynowy** [12].
Proponuje się dzieciom zabawy w trafianie różnych przedmiotów kulką wystrzeloną ze sprężynowej wyrzutni *W*.




Swoboda obrotów wyrzutni i ustawienie przedmiotów są takie, że trafić można tylko z odbicia. Chodzi o to, czy badany dojdzie podczas tej zabawy do prawa równości kątów padania i odbicia. Małe dzieci (poniżej 6 lat) bardzo prędko uczą się trafiać, ale zapytane, jak kulka biegła pokazują palcem, lub nawet rysują tory podobne do przedstawionych na poniższym rysunku. Nie zdają więc sobie zupełnie sprawy z kształtu drogi.




Piaget ujmuje to tak. Dziecko obserwując ruch nie bierze pod uwagę pośrednich położeń ciała. Cała jego świadomość jest skoncentrowana na punkcie wyjścia i punkcie dojścia. Pojęcie przebytej drogi jeszcze się nie ukształtowało. Dzieci starsze – 8–10-letnie zauważają już drogę, punkt odbicia, zdają sobie sprawę z prostoliniowości odcinków, dostrzegają i rysują kąty. Dzieci te posiadają już wszystkie wiadomości potrzebne do sformułowania prawa równości kątów. Jednak odkryć i sformułować to prawo potrafią dopiero badani w wieku lat kilkunastu. W tym bowiem wieku powstaje dopiero w umyśle mechanizm umożliwiający rozpoznanie związków przyczynowych, związku wynikania (z tego, że kąt padania = α wynika, że kąt odbicia = α).

4. **Wahadło; wykluczanie czynników nieistotnych** [12].
   Badany otrzymuje do swojej dyspozycji kilka ciężarków o różnych masach i rozmiarach, kilka sznurków o różnych długościach, odpowiednie haczyki i statyw. Ma sobie z tego sporządzić wahadła i odpowiedzieć na pytanie, od czego zależy ich okres.
   Nie jest przy tym potrzebna znajomość pojęcia okresu. Młodszemu dziecku można po prostu zadać pytanie: jak zrobić, żeby się to szybciej wahało. Nie chodzi również o żadną zależność ilościową. Trzeba stwierdzić, że chociaż można zmienić długość, masę i amplitudę drgań, to tylko jeden z tych czynników ma wpływ na okres.
   Okazuje się, że odkrywają to dopiero badani w wieku ok. 14 lat. Do analizy eksperymentu powrócimy w dalszych częściach artykułu.
5. **Badania języka dzieci** [14].
   Liczne badania dostarczyły Piagetowi wielu informacji na temat rozwoju struktur myślowych.
   Wybierano na przykład grupę małych dzieci i zapisywano ich wszystkie swobodne wypowiedzi w jakimś określonym czasie; otrzymywano parę tysięcy takich wypowiedzi. Następnie liczono, ile razy pojawia się w tych wypowiedziach poprawnie użyte słowo „ponieważ". Okazuje się, że częstość używania tego słowa wzrasta z wiekiem, w miarę jak dziecko zaczyna sobie zdawać sprawę ze związków przyczynowych.
   Starszym dzieciom proponowano uzupełnienie zdań zawierających spójnik „ponieważ". Na przykład: wykąpałem się, ponieważ ........ Jeżeli dziecko uzupełni: „.... ponieważ byłem brudny", albo „.... ponieważ mama mi kazała" to jest prawidłowe. Jeżeli jednak powie „wykąpałem się, ponieważ potem byłem czysty" to znaczy, że nie rozumie spójnika „ponieważ" i traktuje go jako „i".
   Podobnie badano umiejętność prawidłowego użycia innych słów, na przykład „chociaż", „jakkolwiek", których prawidłowe użycie wymaga zdawania sobie sprawy z jakiejś ogólnej zasady i rozpoznania wyjątku od niej.

Z punktu widzenia fizyki powyższe problemy przedstawiane dzieciom do rozwiązywania są zupełnie nierównoważne. Jedne dotyczą czystej fenomenologii jak – kombinacje chemiczne czy giętkość, inne zaś dotyczą praw fundamentalnych – zasada stałości ruchu. Trudność dochodzenia do niektórych praw nie polega jedynie na niedojrzałości w myśleniu formalnym. Starożytni Grecy opanowali sztukę myślenia logicznego w doskonałym stopniu, a jednak nie poradzili sobie ze wszystkimi problemami wymienionymi przez Piageta. Rozważali poprawnie np. problem równowagi sił na równi, równowagę hydrostatyczną, rzutowanie cieni, ale nie zauważyli izochronizmu wahadła ani nie odkryli zasady bezwładności. Myślenie logiczne, formalne, to dopiero warunek konieczny do odkrywania praw fizyki.

Tak więc na podstawie wymienionych powyżej problemów z fizyki Piaget badał formowanie się następujących umiejętności:

dokonywanie operacji kombinatorycznych,
korzystania z proporcji,
rozumienie równowagi mechanicznej,
rozumienie względności ruchów (różne układy odniesienia),
rozumienie pojęcie prawdopodobieństwa,
pojęcie korelacji,
stosowanie kompensacji multiplikatywnych, oraz
formy zachowania wykraczające poza doświadczenie.

W związku z tym pojawia się określony problem dydaktyczny: poszukiwanie form wykonywania operacji, które byłyby dla ucznia łatwiejsze i bardziej interesujące aniżeli wewnętrzne naśladowanie pokazów wykonywanych przez nauczyciela. To hasło rzucone przez Piageta zrealizowano najprościej – nastała moda zanegowania demonstracji uważając, że znaczenie dydaktyczne mają wyłącznie doświadczenia wykonane własnoręcznie przez dzieci. Dzięki Piagetowi zwrócono jednak znacznie większy nacisk na samodzielne dochodzenie uczniów do rozumienia, zwiększono ilość eksperymentów (przynajmniej w początkowym etapie nauczania) wykonywanych przez dzieci. Zaprojektowano programy tzw. nauczania eksploracyjnego (Lillian Mc Dermott i Jim Minstrell w USA), które tak chwalił w wywiadzie dla *Fotonu* 39 Keneth Wilson. To dzięki pracom Piageta zaczęto urządzać „aktywne" muzea nauki. Pionierem był Frank Oppenheiner ze swoim *Eksploratorium*, czyli muzeum, w którym zwiedzający nie tylko oglądają eksponaty, lecz mogą sami przy ich pomocy wykonywać doświadczenia.

Współczesną kontynuatorką idei interakcyjnych muzeów jest Katarzyna Teplanowa z Bratysławy, twórczyni SCHOLA LUDUS.

## 5. Wzorce rozumowania Karplusa

Jak już powiedziano, prace Piageta przebijały się początkowo z pewnym trudem do Stanów Zjednoczonych. Praktyczni Amerykanie [18] zaproponowali zamiast testów klinicznych, czyli czasochłonnych obserwacji dzieci i wywiadów z nimi, testy typu papier i ołówek. Znane były testy Lawsona, które w wielu przypadkach (równowaga dźwigni, zsuwanie się ciał po równi, proporcje) potwierdziły wyniki Piageta. Do opracowywania testów zaprzęgnięto statystykę. Tego typu badania gubią jednak część informacji o rozumowaniu uczniów. Testy informują bowiem o końcowym wyniku rozważań.

Robert Karplus [19], [20] poszedł dalej w uproszczeniu opisu rozwoju myślenia formalnego. Zaproponował on opis rozwoju rozumowania logicznego poprzez śledzenie rozwoju tak zwanych wzorców rozumowania (*Reasoning patterns*). W tych wzorcach rozróżnia się dwa etapy rozwojowe: rozumowanie na poziomie konkretnym i rozumowanie na poziomie formalnym.

Poprzez badanie rozwiązań testów typu *papier i ołówek* nauczyciel może ocenić poziom rozumowania ucznia dla poszczególnych wzorców.

A oto wyodrębnione przez Karplusa wzorce:

- **Klasyfikowanie**
  Na poziomie rozumowania konkretnego: podział jakiegoś zbioru na podzbiory, lub wydzielenie ze zbioru podzbiorów, według jakiejś obserwowalnej cechy (np. w zbiorze dzieci wyodrębnienie dziewczynek).
  Na poziomie myślenia formalnego: znalezienie w jakimś zbiorze struktury, na ogół hierarchicznej, kierując się jakimś kluczem (np. zrozumienie struktury administracyjnej państwa).
- **Zachowanie wielkości fizycznych**}
  Na poziomie konkretnym: Zauważenie, że pewne przedmioty zachowują pewną cechę (np. ilość, objętość, ciężar), pomimo, że są inaczej ułożone lub zdeformowane (woda przelana do innego naczynia zachowuje masę i objętość).
  Na poziomie formalnym: Uświadomienie sobie, że pewne wielkości fizyczne w pewnych warunkach są zachowywane (np. masa, energia, ładunek, kręt).
- **Myślenie proporcjonalne**
  Na poziomie konkretnym: Wyliczenie pewnych wielkości w prostych konkretnych zadaniach, związanych z małymi liczbami (np. koszt zakupu).
  Na poziomie formalnym: Rozwiązywanie problemów, niezależnie od kontekstu, z „trudnymi" liczbami.
- **Oddziaływanie, zauważenie relacji przyczynowej**
  Poziom konkretny: Dostrzeżenie, że ciała mogą oddziaływać (np. magnes przyciąga gwóźdź, ciągnięta sprężyna wydłuża się).
- **Rozumowanie korelacyjne**
  Poziom formalny: Rozpoznanie relacji pomiędzy zmiennymi (obserwablami) pomimo maskujących je fluktuacji i innych efektów (np. prowadzenie auta po pijanemu jest związane z większą ilością wypadków, pomimo, że trzeźwi kierowcy też powodują wypadki, w fizyce np. umiejętność zaniedbywania tarcia).

- **Logiczne rozumowanie. Rozumienie implikacji. Rozróżnianie pomiędzy warunkiem koniecznym i dostatecznym**
  Na poziomie konkretnym: w konkretnych, znanych z poprzedniego doświadczenia sytuacjach. „Jeśli pogoda będzie dobra, to pójdziemy na plażę", oznacza oczekiwanie pójścia na plażę w wypadku dobrej pogody.
  Na poziomie formalnym: wyciąganie prawidłowych wniosków, na podstawie reguł wnioskowania, bez znajomości konkretnej sytuacji.
  Rozróżnianie warunku koniecznego od wystarczającego.

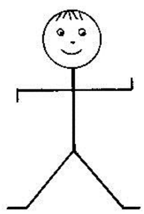
**Podsumowując:** w rozumowaniu formalnym u uczniów będących na różnych etapach rozwoju występują następujące różnice:

| uczeń rozumujący na poziomie konkretnym | uczeń rozumujący na poziomie formalnym |
|---|---|
| 1. potrzebuje odniesienia do działania, przedmiotów i sytuacji znanych | 1. uczeń nie potrzebuje odniesienia do konkretu, rozumuje używając pojęć abstrakcyjnych, twierdzeń, stosuje logikę i używa symboli opisu idei |
| 2. wymaga prowadzenia krok po kroku bez pośpiechu | 2. sam może zaplanować dłuższą procedurę wymagającą wielu kroków |
| 3. nie jest świadom własnego rozumowania, bywa niekonsystentny, przeczy sobie | 3. jest świadom swego rozumowania, jest krytyczny |

## 5.1. Dodatek: przykładowe testy

### 5.1.1. Test Fullera na myślenie proporcjonalne

Oto test [20]:



*Pan Krótki jest przedstawiony na powyższym rysunku.*
*Pan Wysoki nie jest narysowany.*
*Wysokość Pana Krótkiego można zmierzyć guzikami umieszczając je jeden nad drugim, od stóp do głowy.*
*Potrzeba do tego czterech guzików.*
*Tak więc możemy powiedzieć, że Pan Krótki ma cztery guziki wysokości.*
*Pan Wysoki mierzony tymi samymi guzikami ma 6 guzików wysokości.*
*Pana Krótkiego zmierzono również spinaczami.*

*Okazało się, że ma sześć spinaczy wysokości.*

Pytanie A:
Czy potrafisz powiedzieć, jaką wysokość ma Pan Wysoki mierzoną spinaczami? Jak doszedłeś do wyniku?

Pytanie B:
Pan Wysoki ma samochód. Szerokość samochodu mierzona spinaczami wynosi sześć spinaczy.
Jaka jest szerokość tego samochodu mierzona guzikami?

### 5.1.2. Testy rozumowania

Przeczytaj uważnie podane Ci informacje. **Na podstawie tych informacji** zakreśl prawidłowe odpowiedzi.

1. Ssaki są kręgowcami.
   Kręgowce są zwierzętami.
   Wniosek:
   A. Ssaki są zwierzętami.
   B. Ssaki nie są zwierzętami.
   C. Nie wiadomo czy ssaki są zwierzętami.

2. Artur biega szybciej niż Bob.
   Bob biega szybciej niż Darek.
   Wniosek:
   A. Bob biega najszybciej z trojga dzieci.
   B. Artur biega najszybciej z trojga dzieci.
   C. Nie wiadomo, który chłopiec biega szybciej.

3. Tokio leży dalej od Osaki niż Yokohama.
   Yokohama leży dalej od Osaki niż Kobe.
   Wniosek:
   A. Kobe leży najbliżej z trzech miast od Osaki.
   B. Tokio leży najbliżej z trzech miast od Osaki.
   C. Nie wiadomo, które z trzech miast leży najbliżej Osaki.

4. Ania pływa lepiej niż Jacek.
   Kazio pływa gorzej niż Ala.
   Wniosek 1:
   A. Kazio pływa najgorzej z wymienionych dzieci.
   B. Jacek pływa najgorzej z wymienionych dzieci.
   C. Nie wiadomo, które z dzieci pływa najgorzej.

Wniosek 2:
A. Ala pływa najlepiej z dzieci.
B. Ala nie pływa najlepiej z dzieci.
C. Nie wiadomo, które z dzieci pływa najlepiej.

5. Urodziny Basi będą wcześniej niż Darka.
   Urodziny Darka będą wcześniej niż urodziny Kasi?
   Wniosek:
   A. Najwcześniej będą urodziny Basi.
   B. Najwcześniej będą urodziny Kasi.
   C. Nie wiadomo czyje urodziny będą najwcześniej.

6. Złoto jest metalem szlachetnym.
   Metale szlachetne dobrze przewodzą prąd.
   Wniosek:
   A. Złoto dobrze przewodzi prąd.
   B. Złoto źle przewodzi prąd.
   C. Nie wiadomo czy złoto dobrze przewodzi prąd.

7. Jeżeli pada deszcz, to ulica jest mokra.
   Ulica jest mokra.
   Wniosek:
   A. Padał deszcz.
   B. Nie padał deszcz.
   C. Nie wiadomo czy padał deszcz.

8. Jeżeli pada deszcz, to ulica jest mokra.
   Nie padał deszcz.
   Wniosek:
   A. Ulica nie jest mokra.
   B. Ulica jest mokra.
   C. Nie wiadomo czy ulica jest mokra.

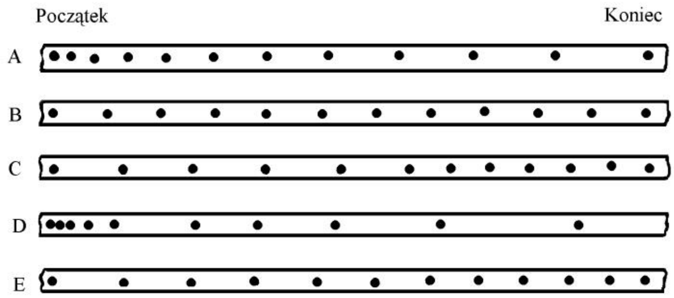
9. Jeśli policja podąża fałszywym tropem, to gazety podają fałszywe wiadomości.
   Jeśli gazety podają fałszywe wiadomości, to zabójca nie żyje w mieście.
   Stwierdzono z pewnością, że gazety podają fałszywe wiadomości.
   Wnioski:
   A. Zabójca nie żyje w mieście.
   B. Zabójca żyje w mieście.
   C. Policja podąża złym tropem.
   D. Nie wiadomo jakim tropem podąża policja.

## 5.2. Test Karplusa

Poniższe paski z kropkami zostały otrzymane w następujący sposób: Na wózeczku umieszczone jest naczyńko, z którego kapią krople w jednakowych odstępach czasu: kap, kap, kap.

Jeśli wózek stoi, to pod wózkiem powstaje kałuża, jeśli jedzie, to na drodze (na podłożonym pasku papieru) zostają plamki.

Poniżej jest pięć pasków papieru z plamkami zrobionymi przez atrament kapiący z poruszającego się wózeczka.




Czy miałeś okazję kiedyś obserwować taki wózeczek?

Przyporządkuj każdemu z poniżej wymienionych ruchów odpowiednią taśmę (zakreśl kółkiem).

1. Autko jedzie spokojnie ruchem jednostajnym (ze stałą prędkością).
2. Autko zwalnia wjeżdżając na pochyloną ku górze deskę.
3. Autko zjeżdża swobodnie w dół po tej desce.
4. Jak mogły powstać pozostałe ślady na taśmach. Objaśnij.

Przedstawimy przykłady odpowiedzi:

*Fred, 17 lat*:
B – plamki są jednakowo odległe,
C – plamki przybliżają się, autko mniej przejeżdża od kropki do kropki,
A – plamki coraz dalej od siebie, autko dalej jedzie w takim samym czasie,
D – autko spada w powietrzu – ono gwałtownie przyspiesza.

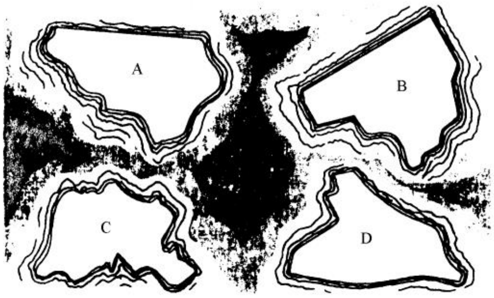
*Jaś*:
B – autko ma stałą szybkość – ta sama odległość przebywana w tym samym czasie,
E – opóźnienie oznacza coraz mniejszą prędkość, a więc krótszy dystans w tym samym czasie,

D – przyspieszenie jest eksponencjalne, wykluczona odpowiedź A,
C – swobodny spadek zakładając brak oporu, widzę zmianę między plamką 5 i 6.

Fred koncentruje się na przestrzennym układzie kropek. Chociaż używa słowa „przyspieszać”, to pojęcie prędkości i przyspieszenia nie są jeszcze wypracowane.

Natomiast Jaś rozumie sens pojęć prędkość i przyspieszenie – nawet jeśli źle opisuje jedną z taśm (przyspieszenie eksponencjalne).

*Test czterech wysp*




Oto cztery wyspy na oceanie: A, B, C, D

Ludzie do tej pory podróżowali między wyspami używając łódek. Ostatnio uruchomiono linie lotnicze.

Przeczytaj uważnie informację o możliwościach podróżowania: Podróż z wyspy na wyspę może być bezpośrednia lub z przesiadką. Jeśli już jest możliwa podróż, to znaczy, że jest możliwa w obie strony.

A oto potrzebne dodatkowe informacje:

**1/** Można podróżować samolotem pomiędzy C i D.

**2/** Nie można podróżować samolotem pomiędzy A i B.

Nie czytaj jeszcze trzeciej informacji i odpowiedz na pytanie na podstawie powyższych informacji:

*Pytanie 1: Czy można latać samolotem między B i D?*

TAK ................................ NIE .....................................

Nie można powiedzieć, ponieważ: ..................................

<u>A oto trzecia dodatkowa informacja:</u>

**3/** Można też latać samolotem między B i D.

Korzystając z tej i poprzednich informacji odpowiedz na następujące pytania:

*Pytanie 2: Czy ludzie mogą podróżować samolotem pomiędzy wyspami B i C?*

TAK ................................... NIE .....................................
Nie można powiedzieć, ponieważ: ...................................

*Pytanie 3: Czy ludzie mogą podróżować samolotem pomiędzy wyspami A i C?*

TAK ................................. NIE .....................................
Nie można powiedzieć, ponieważ: ...................................

A oto typowe odpowiedzi:

*Dolores, 17 lat:*

1. Tak, ponieważ można latać na północ – to wynika z informacji, że w obie strony można latać.
2. Nie, ponieważ we wskazówkach nie było mowy o lataniu na ukos.
3. Tak, ponieważ C jest poniżej A.

*Małgosia, 17 lat:*
\begin{enumerate}

1. Nie można powiedzieć, ponieważ w informacjach nie powiedziano o połączeniach pomiędzy dolnymi i górnymi wyspami.
2. Tak, można z między-lądowaniem w D.
3. Nie, bo ludzie z wyspy B mogliby najpierw pojechać na wyspę C, a potem na A. Ale to przeczy drugiej informacji, tak więc nie można latać między B i A.

Pierwsze odpowiedzi (Dolores) wskazują na koncentrację uczenia się na konkretnym przypadku (geograficzne usytuowanie) – nie ma wskazówek, że uczennica stosuje ogólne reguły, natomiast Małgosia stosuje już poprawne rozumowanie wykorzystując stawianie hipotez.

### 5.2.1. Test wyłapywania nielogiczności

Oto opis wycieczki:

*Piękny marcowy dzień*

Pewnego pięknego marcowego dnia zorganizowano wycieczkę. Chociaż padało całą noc drogi były rano mokre i błotniste. To jednak nie zepsuło naszej przyjemności. Maszerowaliśmy świerkowym lasem. Niestety drzewa nie miały jeszcze świeżych liści, ponieważ była to wczesna wiosna. „Jak piękny musi być ten las w lecie, kiedy drzewa dają miły cień!" – myśleliśmy.

W pewniej chwili spostrzegliśmy zająca. Pobiegliśmy za nim, ale ponieważ zając biegł szybciej niż mogliśmy biec, doganialiśmy go z trudem by go w końcu złapać.

Na miłych zabawach zeszło nam popołudnie. Nagle zauważyliśmy, że cienie drzew robią się coraz krótsze i krótsze oraz, że Słońce chyli się ku zachodowi. Przysiedliśmy na chwilę na brzegu jeziora i wtedy nagle otoczyła nas gęsta mgła, która przyszła od jeziora. Mgła nie rozpościerała się bynajmniej na dużym obszarze, otuliła głównie nas; bliskich przedmiotów nie widzieliśmy dobrze, za to dalekie były wyraźnie widoczne. Po zmroku zmęczeni i zadowoleni wróciliśmy do domu.

Uczeń ma za zadanie wyszukać nielogiczności oraz nonsensy faktograficzne. Oprócz znajomości logiki musi znać fakty np. o drzewach szpilkowych, o cieniu.

Uczniowie bardzo lubią tego typu zadania. Przed laty znana była opowieść wymyślona przez dzieci:

> W słonecznym cieniu, na miękkim kamieniu, siedziała stojąc młoda staruszka.

## 6. Nauczanie odkrywające według Jerome'a Brunera

Za kontynuatora badań Piageta można uznać J. Brunera [21] twórcę teorii nauczania zasadzającej się na samodzielnym uczeniu się dzieci, jedynie prowadzonych przez nauczyciela (*guided discovery learning* – sterowanie odkrywaniem).

Bruner w swojej pracy *W poszukiwaniu teorii nauczania* [21, [22], [23], [24] sformułował, jak to nazwał, fundamentalne prawa rozwoju umysłowego.

Oto one:

1. Rozwój charakteryzuje rosnące uniezależnienie reakcji od bezpośredniej natury bodźca.
   Dziecko wyzwala się od wpływu bodźców dzięki tzw. procesom pośredniczącym, które przekształcają bodziec poprzedzający reakcję. Niektóre procesy pośredniczące wymagają znacznego odroczenia reakcji w stosunku do bodźca.
2. Rozwój zależy od zdolności do interioryzacji zdarzeń i magazynowania ich w formie odzwierciedlającej to, co zachodzi w otoczeniu.
   Następuje wychodzenie poza jednorazowe informacje. Czyni się to dokonując **przewidywań** i ekstrapolacji na podstawie zmagazynowanego modelu świata.

3. Z rozwojem intelektualnym wiąże się rosnąca **zdolność komunikowania** sobie samemu oraz innym za pomocą słów lub symboli o tym, co się zrobiło lub co się ma zamiar zrobić.
   Ta **samowystarczalność**, czy też samoświadomość, umożliwia przejście od zachowania konkretnego do logicznego.
   Proces ten prowadzi ostatecznie do uznania logicznej konieczności – tego, co filozofowie nazywają rozumowaniem analitycznym – i pozwala człowiekowi przekroczyć próg empirycznej adaptacji.
4. Rozwój umysłowy jest uzależniony od systematycznego oraz okolicznościowego kontaktu między wychowawcą a uczniem.
5. Język jest instrumentem, który poważnie ułatwia nauczanie, staje się bowiem nie tylko czynnikiem wzajemnej komunikacji, lecz także narzędziem, za pomocą którego uczeń może samodzielnie rozeznawać się w otoczeniu.
6. Rozwój umysłowy charakteryzuje się wzrostem zdolności jednoczesnego uwzględniania wielu możliwości, śledzenia w tym samym czasie szeregu odbywających się zdarzeń i procesów oraz umiejętnością poświęcania wszystkim tym wielorakim czynnościom odpowiedniej ilości czasu i uwagi.

Bruner nie badał już tak jak Piaget, kolejnych etapów rozwoju, tylko spojrzał na rozwój poprzez trzy różne sposoby przedstawiania świata (rozumienia), które choć mogą występować wszystkie razem, to jednak są charakterystyczne dla danych etapów rozwoju jednostki. Te przedstawiania, czyli reprezentacje to system reguł, za pomocą których dziecko tworzy sobie pojęcie stałości zdarzeń, z jakimi się zetknęło. Te przedstawienia to:

1. przez działanie, tzw. **reprezentacja enaktywna**
2. przedstawianie obrazowe, tzw. **reprezentacja ikoniczna**
3. przedstawianie słowne i językowe, czyli **reprezentacja symboliczna**.

Bruner uważa, że stadium dominowania reprezentacji enaktywnej odpowiada etapowi rozwoju sensomotorycznemu, natomiast reprezentacja ikoniczna jest dominującą na etapie myślenia konkretnego, reprezentacja symboliczna dominuje zaś na etapie myślenia formalnego.

Nieodparcie narzuca się przekonanie o dużych różnicach indywidualnych, zarówno u rozwijających się dzieci jak i dorosłych. U różnych ludzi dominują różne reprezentacje. Badania struktury inteligencji przeprowadzone przez Guilforda [25] o tym przekonują. Stąd płynie wniosek, że nie będzie zatem jednej, idealnej metody nauczania.

Według Brunera rozwój umysłowy nie jest stopniowym gromadzeniem skojarzeń, powiązań bodźców z reakcjami, stanów gotowości w stosowaniu środków zmierzających do danego celu. Rozwój umysłowy „wydaje się bardziej przypominać wchodzenie na schody o dość stromych stopniach i polega raczej na nagłych zrywach i momentach spoczynku. Zrywy rozwojowe następują, jak się zdaje, w momentach rozwijania się pewnych sprawności. Niektóre sprawności nie mogą być powołane do życia przed powstaniem i wykształceniem wcześniejszych. Kolejność ich pojawiania się jest ściśle określona (tak jak u Piageta). Natomiast te stopnie, szczeble czy zrywy nie są ściśle związane z wiekiem – niektóre czynniki środowiskowe mogą opóźnić, a nawet zupełnie zahamować ich rozwój, a inne zaś przyspieszyć".

Zapożyczając słownictwo z teorii informacji, można powiedzieć, że Bruner zajmował się problemem przetwarzania informacji na etapach spostrzegania, rozumowania i nabywania sprawności. Spostrzeganie wg Brunera, nie jest biernym procesem, oznacza już ono selekcję, spostrzeganie zawiera odniesienie do wcześniej postawionej hipotezy.

Ciąg decyzji w zakresie zdobywania, przechowywania, i wykorzystywania informacji, które mają służyć pewnym celom Bruner nazywa *strategią*. Strategiami są więc wszelkie prawidłowości dostrzeżone w procesie tworzenia pojęcia, przy czym proces ten składa się z ciągu decyzji (niekoniecznie świadomych). Przedstawione przez Brunera wyniki badań eksperymentalnych, prowadzonych głównie przez ośrodki amerykańskie, dotyczą wykrycia czynników wpływających na proces tworzenia pojęć. Celem wielu badań było zarejestrowanie przez obserwatora wszystkich decyzji, które dały się ujawnić u osób rozwiązujących problem: „jak utworzyć pojęcie".

Jak już powiedziano, Bruner jest zwolennikiem tzw. nauczania odkrywającego i wywodzącego się z niego nauczania problemowego. Sformułował on zasady, których powinno przestrzegać nauczanie skuteczne [26] (podajemy za Wandą Nowak).

Nauczanie problemowe winno się opierać na: 1° zasadzie właściwego stawiania problemu, 2° zasadzie minimalnej wskazówki. Rzadko przestrzega się pierwszej zasady, gdy uczeń podejmuje jakiś problem powstały spontanicznie, w wyniku zaistniałej sytuacji problemowej. Znacznie częściej nauczyciel stosuje zasadę właściwego stawiania problemu, przedstawiając uczniom problem istotny dla rozwinięcia danego fragmentu programu nauczania (w formie dostosowanej do możliwości ucznia i dającej mu szansę dojścia do wyniku). Zasada minimalnej pomocy nauczyciela przypomina o konieczności takiego doboru środków sterujących, by ich stosowanie nie hamowało inicjatywy ucznia w samodzielnym poszukiwaniu drogi rozwiązywania problemu.

Na zakończenie przytoczymy słynną hipotezę Brunera, która była w praktyce często fałszywie interpretowana, poprzez zbyt wczesne wprowadzanie do programów nauczania trudnych treści:

> Każde dziecko, na każdym etapie rozwoju, można nauczyć efektywnie każdego przedmiotu, podawanego w określonej formie, rzetelnej pod względem intelektualnym.

## 7. Rozwój pojęć naukowych według Wygotskiego

### 7.1. Wstęp

Rosyjski psycholog Lew Siemionowicz Wygotski, urodzony w roku 1896 i przedwcześnie zmarły w roku 1934, był rówieśnikiem Piageta. Zakres jego zainteresowań w dużej mierze pokrywał się z zainteresowaniami Piageta.

Wygotski znał prace Piageta, cenił je, powoływał się na nie. Obu uczonych łączy jedno – ich dzieła zostały rozpowszechnione i docenione z opóźnieniem. Piaget pisał bardzo dużo i niezbyt jasno. W krajach angielskojęzycznych jego nauka stała się bardzo popularna dopiero po drugiej wojnie światowej. Wtedy też znalazło się wielu interpretatorów i kontynuatorów rozpoczętych przez niego badań.

Wygotski był znacznie dłużej niedoceniony, przynajmniej przez ludzi zajmujących się problemami nauczania matematyki i przedmiotów ścisłych. Oryginał podstawowego dzieła jeśli chodzi o te zagadnienia [27] *Myślenie i Mowa* ukazał się w Moskwie dopiero w 1966 roku (polskie wyd. PWN 1989). To tezy Wygotskiego stanowiły punkt wyjścia dla prac Ausubela i Novaka [28].

W największym skrócie można powiedzieć, że stanowisko Wygotskiego na temat rozwoju pojęć naukowych i myślenia formalnego jest niejako komplementarne do stanowiska Piageta.

Piageta interesował rozwój myślenia formalnego w miarę rozwoju jednostki – i badał ten proces dając do rozwiązania różnym wiekowo dzieciom konkretny problem. Wygotski zaczynał niejako z drugiej strony – badał jak zrozumienie jakiegoś pojęcia naukowego, czy formalny sposób rozumowania kształtuje się i doskonali oraz jak wpływa na rozwój jednostki.

Piaget skupił się na spontanicznym, regulowanym rytmem biologicznym rozwoju jednostki, zostawiając na uboczu wpływy otoczenia (szkoła, otoczenie – tego punktu dotyczyła znaczna część krytyki Piageta). Wygotski natomiast badał wpływ otoczenia dorosłych i formalnego nauczania szkoły na rozwój myślenia formalnego.

### 7.2. Rozwój pojęć naukowych w wieku szkolnym

Wygotski stawia tezę, iż droga rozwoju pojęć naukowych jest różna od rozwoju pojęć spontanicznych. W rozwoju pojęć naukowych decydująca jest definicja werbalna, która w warunkach zorganizowanego systemu nauczania zbliża się do konkretu, podczas gdy zjawiska potoczne mają tendencję do rozwijania się bez określonego systemu i idą ku uogólnieniu, a więc odwrotnie niż w pojęciach naukowych.

Wygotski uważa, że rozwój pojęć naukowych ma istotny wpływ na rozwój pojęć spontanicznych. Argumentem za tą tezą jest to, iż okres nauki szkolnej ma decydujący wpływ na rozwój intelektualny jednostki.

Wygotski przyjął za punkt wyjścia analizę bogatego materiału doświadczalnego to jest tradycji i praktyki nauczania – podawanie niejako *ex catedra* abstrakcyjnej wiedzy. Następnie szukał uzasadnienia takiego podejścia, krytykując jednakowoż jego pewne aspekty.

Wydaje się, że część wniosków Wygotskiego to pobożne życzenia dotyczące nauczania szkolnego. Mielibyśmy lepsze rezultaty, gdyby nauczanie pojęć naukowych bardziej przypominało rozwój pojęć spontanicznych (tak jak tego chce Piaget i tak jak to proponują nowe tzw. aktywne szkoły nauczania). Z drugiej jednak strony, w praktyce szkolnej z wielu względów, choćby najbardziej prozaicznego jak ograniczenie czasowe, jest to niemożliwe. Wszyscy nauczyciele jednak wierzą, że w końcu wiedza naukowa zdobyta w szkole będzie przeniesiona na życie potoczne i zmodyfikuje i skoryguje myślenie i argumentację potoczną. Kluczowym wyzwaniem dla dydaktyki jest problem, jak to osiągnąć. A takie pytanie stawia Wygotski.

Oczywiście Wygotski uważa, że pojęcia naukowe nie rozwijają się jak potoczne i że rozwój ich nie powtarza drogi rozwojowej tych ostatnich.

Moim zdaniem ta inność dróg rozwoju to jest właśnie słabość rozumienia pojęcia naukowego i źródło późniejszych trudności przejścia od rozumowania naukowego do potocznego.

Najważniejsze jest to, że wnioski płynące z prac tych obu uczonych, mające wpływ na zalecenia dotyczące nauczania fizyki nie są sprzeczne, a nawet przeciwnie – uzupełniają się.

## 7.3. Rozwój pojęć u dzieci

Pojęcie powstaje wówczas, gdy szereg wyabstrahowanych cech na nowo ulega syntezie i gdy taka abstrakcyjna synteza staje się podstawową formą myślenia, pozwalającą poznawać otaczającą rzeczywistość.

Źródeł rozwoju procesów wiodących do ukształtowania się jakiegoś pojęcia trzeba szukać we wczesnym dzieciństwie, ale funkcje intelektualne, których swoisty splot tworzy psychologiczne podłoże procesu kształtowania pojęć dojrzewają, kształtują się i rozwijają dopiero w okresie dorastania.

Jak już powiedzieliśmy, Wygotski patrząc na rozwój pojęcia – wyróżnia etapy w tym rozwoju, które od strony uczącego się można przypisać etapom rozwoju człowieka.

I tak na pierwszym szczeblu rozwojowym znaczenie słowa jest nieokreślone dostatecznie, oznacza przypadkowy, synkretyczny zlepek pojedynczych przedmiotów, które w taki czy inny sposób zespoliły się w wyobraźni dziecka w jeden obraz. **Obraz synkretyczny**, czyli zbiór przedmiotów, kształtuje się na gruncie przestrzennych i czasowych zbliżeń poszczególnych elementów. Kolejna faza tego szczebla opiera się na przyporządkowaniu do jednego znaczenia przedstawicieli różnych grup, z których już każda tworzyła jakąś jedność w spostrzeżeniu dziecka.

Następny szczebel rozwoju to **myślenie kompleksowe**, tworzone są uogólnienia – kompleksy pojedynczych przedmiotów. Wygotski wyróżnia typ **kompleksu skojarzeniowego**, u podstawy którego leży dowolny związek skojarzeniowy z dowolną cechą dostrzeżoną przez dziecko – jądro przyszłego kompleksu. Nazywając przedmiot odpowiednim imieniem, dziecko przyporządkowuje go do konkretnego kompleksu.

Następne fazy to tworzenie **kompleksów**, które stanowią uogólnienie rzeczy na podstawie ich udziału w jakiejś operacji praktycznej, w jakimś działaniu.

Kolejna faza to **kompleksy łańcuchowe** – następuje tu przenoszenie znaczenia poprzez kolejne ogniwa łańcucha by **dojść do pseudopojęcia**, czyli nazwanego kompleksu.

Pseudopojęcie zewnętrznie wygląda na pojęcie – zwłaszcza gdy dziecko poprawnie (może być przez przypadek) nim operuje. Dla dziecka jest to jeszcze kompleks, który został już nazwany.

U dzieci w wieku przedszkolnym w myśleniu i porozumiewaniu się z dorosłymi, dominują pseudopojęcia – rozwój kompleksów nie jest bowiem spontaniczny, tylko wytyczony przez mowę dorosłych, w którym znaczenie słów i pojęć jest sztywno ustalone. To bardzo ważne spostrzeżenie Wygotskiego.

Prekoncepcje w fizyce (często błędne) to pseudopojęcia Wygotskiego. Nauczyciel może tego nie zauważyć, bowiem znalezienie granicy między pseudopojęciem a prawdziwym pojęciem jest niezwykle trudne i niemal niedostępne dla czysto formalnej analizy fenotypowej. Dziecko wcześniej zaczyna używać pojęć i operować nimi, niż je sobie uświadomi.

Właśnie dzięki temu między innymi możemy uprawiać propedeutyczne nauczanie fizyki w szkole podstawowej – zanim dzieci osiągną pełny stopień myślenia formalnego.

Operowanie przez dziecko pojęciami nie w pełni uświadomionymi powoduje, że gdy jest ono zmuszone w pewnych sytuacjach przechodzić od abstrakcji (pojęcie) do konkretu, występuje trudność większa niż na drodze od konkretu do abstrakcji.

Wygotski stwierdza jednak, że używanie przez dziecko wyrazów ogólnych nie oznacza opanowania myślenia abstrakcyjnego, dziecko używa tych samych słów co dorosły, przyporządkowuje je do tego samego kręgu co dorosły, lecz myśli o pojęciu inaczej, konkretnie. Dziecko tworzy pojęcia w wyniku wykonywania jakiegoś zadania (intelektualnego). Wygotski zauważa, że często nowe słowo istnieje wewnątrz całego zdania, tak i pojęcie tworzy się w całej operacji intelektualnej. Wygotski zauważa, że to nie asocjacje współtworzą pojęcia lecz **funkcjonalne** użycie słowa jako narzędzia ukierunkowania uwagi, abstrahowania, wyodrębniania cech i w końcu ich syntezy łącznie z symbolizacją za pomocą jakiegoś znaku.

Wygotski zgadza się z Piagetem, że dziecko nie potrafi sobie uświadomić stosunków, którymi zupełnie prawidłowo operuje spontanicznie. Przyznaje rację Claparedowi, że świadomość podobieństwa pojawia się u dziecka później niż świadomość różnicy. Analiza eksperymentalna rozwoju pojęć podobieństwa i różnicy dowodzi, że uświadomienie podobieństwa wymaga wcześniejszego ukształtowania się uogólnienia, lub pojęcia, obejmującego przedmioty, zjawiska, powiązane tym stosunkiem. Świadomość **różnicy tego nie wymaga**.

Różnice między dochodzeniem do pojęć spontanicznych i naukowych porównuje Wygotski z nauką języka macierzystego i obcego, z mową mówioną i pisaną, z arytmetyką i algebrą.

Mianowicie rozwój mowy pisanej w najistotniejszych jej cechach rozwoju ani trochę nie przypomina mowy ustnej. Mowa pisana nie jest zwykłym przekładem mowy ustnej na znaki alfabetu, a jej opanowanie nie jest opanowaniem tylko techniki pisania. Minimalny rozwój mowy pisanej wymaga już znacznego stopnia abstrakcji, tak jak przyswajanie algebry nie powtarza opanowania arytmetyki.

Idąc tym tropem stwierdzimy podobną różnicę pomiędzy fenomenologicznym opisem zjawisk fizycznych – dostępnym małym dzieciom – a opisem modelowym zjawisk (fizyka). Niewątpliwie Wygotski ma rację stwierdzając, iż nauka pisania rozpoczyna się wcześnie i uczenie opiera się na <u>niedojrzałych</u> znajdujących się zaledwie u progu procesach psychicznych.

Mamy nadzieję, że nauka usprawnia ten proces. Podobne nadzieje mają matematycy i nauczyciele fizyki ucząc propedeutyki fizyki. Swoiste współdziałanie dziecka i dorosłego stanowi centralny moment w procesie nauczania. Wiadomości przekazuje się dziecku w ramach określonego systemu. Poziom rozwoju pojęć naukowych tworzy strefę najbliższych możliwości dla pojęć potocznych, toruje im drogę, jest czymś w rodzaju propedeutyki ich rozwoju.

Wygotski uważa, że na tym samym etapie rozwoju u jednego i tego samego dziecka spotykamy się z mocnymi i słabymi stronami pojęcia potocznego i naukowego. O słabości pojęć potocznych świadczy niezdolność do abstrahowania, do dowolnego operowania tymi pojęciami, a przy tym duża nieprawidłowość ich używania. Jest to w całkowitej zgodzie z niekwestionowanymi wynikami Piageta.

Słabością pojęć naukowych (u uczniów), jak sam Wygotski stwierdza, jest <u>werbalizm</u>, niedostateczne nasycenie konkretami. Wygotski ma nadzieję, że mocną stroną pojęć naukowych jest podatność w stosowaniu ``gotowości do działania". Tak się dzieje, gdy werbalizm ustępuje miejsca konkretyzacji.

**UŚWIADOMIENIE**

Co znaczy, że coś ulega uświadomieniu?

Zmiana funkcjonalnej struktury świadomości stanowi główną i centralną treść całego rozwoju psychicznego. Przejście od stanu nieświadomego do świadomego nie jest natychmiastowe. Przejście do introspekcji werbalnej oznacza początek uogólniania.

U podstaw uświadamiania leży uogólnienie własnych procesów psychicznych, prowadzące do ich opanowania. Wygotski uważa, że tu może ingerować nauczanie. Mianowicie uważa on, że pojęcia naukowe, z ich hierarchicznym systemem wzajemnych stosunków, są tą dziedziną, w której uświadomienie sobie pojęć, a więc ich uogólnienie i opanowanie występuje prawdopodobnie najwcześniej. Tak rzeczywiście może być w wielu przypadkach, ponieważ życie codzienne nie niesie konieczności budowania struktur hierarchicznych. Ta hipoteza Wygotskiego o najwcześniejszym opanowaniu naukowych struktur hierarchicznych jest dyskusyjna. Moim zdaniem to właśnie struktury hierarchiczne stwarzają uczniom trudności. Wygotski jednak ma nadzieję, że nowa struktura jeśli już zrodziła się w jednej sferze myśli zostaje, jak każda struktura, przeniesiona jako pewna zasada działania, bez treningu na wszystkie myśli i pojęcia.

Tak jednak może być dopiero wtedy gdy uczący się osiągną pełnię myślenia formalnego.

Zależność wzajemna pojęć, ich połączenie, hierarchizacja, uogólnienie i zmiany, to punkt wyjścia prac Ausubela i Novaka [28], [29], którzy proponują tworzenie tzw. map pojęć – a następnie obserwują zmiany tych map u poszczególnych uczniów.

## 8. O strukturach w nauce i nauczaniu – Hans Freudenthal

### 8.1. Struktury – ubogie i bogate

*Poniżej przytaczamy obszerne fragmanty z referatu H. Freudenthala wygłoszonego przez niego w czasie wizyty w krakowskiej WSP w 1984 r.* [30].
Tłumaczył Stefan Turnau.

Bierna lub czynna reakcja podmiotu na środowisko, zwana przez Piageta akomodacją, odzwierciedla się w sferze poznawczej podmiotu przez odkrywanie struktur w rzeczywistości i narzucanie ich na rzeczywistość; rzeczywistość, która ukazuje się podmiotowi dzięki jego działaniu w stopniu coraz bardziej ustrukturowanym.

Zajmując się strukturami naukowymi, posługuję się przy tym strukturami matematycznymi jako przykładem paradygmatycznym, choć słowo struktura ma w matematyce sens bardziej wysublimowany niż w innych naukach. Mamy bowiem zwyczaj uważać o zespole faktów matematycznych nie tylko to, że **posiada** on pewną strukturę, ale także, że **jest** on strukturą. Nie ma w tym zresztą niczego dziwnego, gdyż często to, co się liczy w matematyce, to właśnie raczej struktura niż treść.

Rozpatrzmy kilka przykładów, by jaśniej widzieć, co znaczy słowo struktura w matematyce:

Czworościan można traktować jako strukturę złożoną z czterech wierzchołków, sześciu krawędzi i czterech ścian ujętych we wzajemnych relacjach, tj. relacjach należenia wierzchołka do krawędzi i ściany, zawierania przez krawędź wierzchołka i jej zawierania się w ścianie, zawierania przez ścianę wierzchołka i krawędzi. Jest to struktura zwana **kombinatoryczną**; uwzględniamy bowiem tylko te relacje i zaniedbujemy wszystkie inne informacje na temat punktów, krawędzi i ścian, a więc to, że krawędzie są proste, ściany płaskie, i że są one zbiorami punktów. A na cóż tak uboga struktura? Ano z pewnej liczby takich czworościanów kombinatorycznych można zbudować wielościany kombinatoryczne przez utożsamienie ścian różnych czworościanów – przyklejając jeden na drugim – a po drodze tworzyć szersze struktury, dla których te proste czworościany są cegiełkami.

Równocześnie nie należy zadowalać się tą strukturą kombinatoryczną. Wiemy dobrze, że czworościan jest bryłą sztywną w realnej przestrzeni, o prawdziwych wierzchołkach, krawędziach i ścianach. To także jest pewna struktura – struktura **geometryczna**.

Jako struktura geometryczna czworościan stanowi strukturę bogatszą niż kombinatoryczna, bardziej – że tak powiem – z krwi i kości. Można o nim orzekać bardziej różnorodne twierdzenia; można, dla przykładu, mierzyć jego krawędzie, kąty, ściany, objętość.

Niekiedy czworościan bywa też nazywany ostrosłupem trójkątnym. A może należałoby powiedzieć odwrotnie, że ostrosłup trójkątny jest czworościanem? Nie; gdyby tak było, trzeba by się zgodzić, że ostrosłup trójkątny **prawidłowy** jest czworościanem **prawidłowym**. W istocie bowiem ostrosłupy trójkątne i czworościany – to **różne** struktury. Z definicji ostrosłup posiada wierzchołek i podstawę (nawet po odwróceniu „do góry nogami"). Czworościan można przekształcić na ostrosłup trójkątny – i to na cztery sposoby – przez nazwanie jednego z jego wierzchołków – wierzchołkiem ostrosłupa, i jednej ze ścian – podstawą. Ostrosłup jest strukturą bogatszą od czworościanu.

Weźmy czworościan uformowany z gliny czy galaretki i zgniećmy tak, żeby odkształcić tę bryłę bez jej rozrywania lub sklejania tego co było osobno. Możemy dostać w ten sposób okrągłą piłkę, albo ziemniaka, albo kiełbaskę, albo hantle. Wierzchołki, krawędzie, ściany zniknęły. Otrzymany obiekt jest wciąż spójny, oczywiście na sposób bardzo specjalny, na sposób kuli, a z pewnością nie na sposób pierścienia. Jest to struktura **topologiczna**, uboższa niż poprzednia struktura czworościanu geometrycznego; odległości, kąty, prostoliniowość itp. nie odgrywają teraz żadnej roli.

## 8.2. Struktury określone przez relację

Dla lepszego wyjaśnienia tego, co powiedziałem wyżej, oraz by rzucić przy tym nieco światła na narodziny struktury, omówię przykład pewnej struktury spoza matematyki, a nawet nie bardzo naukowej. Będzie to mianowicie struktura pewnej rodziny, czy rodziny w ogóle, ustrukturowanej całym mnóstwem własności i relacji: wiek, wzrost, płeć, generacja, tj. relacje „dziecko–rodzic", małżeństwa, miejsce zamieszkania (jeżeli jest ich kilka), zawód itd. Między tymi relacjami występują zależności: wiek dziecka jest zawsze mniejszy od wieku jego rodziców, małżonkowie są różnej płci itd. Te pierwotne relacje można składać, tworząc relacje złożone, jak dziadek–wnuk, beniaminek, najmłodsza ciotka u nas, mój szwagier, profesor na... itp. Struktura ta może być wzbogacona innymi kryteriami. Z chwilą jej zubożenia – rezygnujemy z kilku twierdzeń uprzednio możliwych. Gdy tylko odrzucimy wiek – już nie będzie najmłodszych, najstarszych, beniaminków itp. Gdy tylko zapomnimy o płci – już nie będzie można mówić o synach i córkach. Gdy pominiemy miejsce zamieszkania – już nie będzie ``u nas". Jeśli relacja małżeństwa została wyeliminowana – nie ma już szwagrów ani bratowych. A jeśli wreszcie wyrzucimy wszystkie te relacje – zostanie jedynie zbiór osób.

Bądźmy jednak ostrożni. Ostatnie zdanie jest prawdziwe tylko dlatego, że wyszedłem od pojęcia rodziny, które samo już jest abstrakcją o prawie matematycznej ścisłości. Prawdziwa rodzina jest sytuacją i historią sytuacji daleko bogatszych i bardziej złożonych. Rozwój poznawczy dziecka charakteryzuje strukturyzacja, odkrywanie struktur ubogich w strukturach bogatych, takich jak powyższa.

## 8.3. Struktury algebraiczne

System liczb naturalnych 0, 1, 2, ... może być na różne sposoby interpretowany jako struktura. Obiecując wrócić później do aspektu kardynalnego, zacznę od porządkowego, od szeregu służącego do liczenia, struktury **porządkowej** przestrzeni „gdzieś się to zaczyna i po każdym jest następny", gdzie nazwy poszczególnych przedmiotów się nie liczą. W takiej strukturze można określić dodawanie, które parze przedmiotów przypisuje trzeci – ich sumę. Wyobraźmy sobie, że zapomnieliśmy pochodzenie dodawania. Pozostał tylko nieskończony system przedmiotów wyróżnionych przez swoje symbole i tabela o dwu wejściach, która dla każdych dwóch liczb podaje tę, która jest ich sumą. Relacje w tym systemie mają postać $a + b = c$. Jest to struktura **dodawania**. Można badać jej własności, na przykład tę, że $a + b$ jest zawsze równe $b + a$. Być może, prócz tej tabeli wprowadzimy drugą, zależną lub niezależną od pierwszej, która każdej parze przedmiotów przyporządkuje ten przedmiot, który będziemy chcieli nazwać iloczynem. Wzbogaci to strukturę o relację postaci $u \cdot v = w$. Struktury tej przestrzeni nazywają się strukturami algebraicznymi. Jest ich cała masa: o jednym działaniu, o dwu i większej ich liczbie, które mogą spełniać bardzo różne warunki.

## 8.4. Struktury – wciąż większe i większe

Wśród struktur algebraicznych najlepiej znane są numeryczne:
– liczby naturalne 0, 1, 2, ...
– liczby całkowite ..., –2, –1, 0, 1, 2, ...
– liczby wymierne reprezentowane przez ułamki, jak 1/4, 3/8, ...
– liczby rzeczywiste, wśród których są takie obiekty, jak $3 - \sqrt{2}$, $\frac{1}{2}\pi$, ...
– liczby zespolone $a + i\,b$, gdzie $i = \sqrt{-1}$.

Jest to ciąg struktur o rosnącym **zakresie**, lecz na pierwsze wejrzenie, nie coraz **bogatszych**. Działania dodawania i mnożenia pozostają te same w różnych przykładach i to samo dotyczy relacji strukturalnych postaci $a + b = c$, $u \cdot v = w$, podczas gdy ich własności mogą się zmieniać: równanie $a + x = c$ da się rozwiązać ogólnie względem $x$ dopiero po wprowadzeniu liczb ujemnych; równanie $u \cdot x = v$; ($u \neq 0$) wymaga liczb wymiernych; dla rozwiązania równania $x \cdot x = k$ \; ($k > 0$) trzeba przejść do dziedziny liczb rzeczywistych. Rozwiązanie tego ostatniego równania – liczba $\sqrt{2}$ nie może być przedstawione w postaci ułamka, ale może być przybliżane przez takie ułamki; 3/2, 17/12, 577/408, ... są coraz dokładniejszymi przybliżeniami liczby $\sqrt{2}$. Przybliżenie jest pojęciem topologicznym. Dziedzina liczb rzeczywistych – jak i dziedzina liczb zespolonych – niesie, poza swą strukturą algebraiczną, pewną strukturę topologiczną. W tym sensie jest ona nie tylko obszerniejsza, ale także bogatsza od struktury liczb całkowitych.

## 8.5. Powstanie systemu liczbowego

Dla poglądowego przedstawienia systemu liczb rzeczywistych służy oś liczbowa, gdzie każdy punkt reprezentuje pewną liczbę, określoną przez swą odległość od punktu 0 – dodatnią z jednej strony zera i ujemną z drugiej.

```
– –|– – –|– – –|– – –|– – –|– – – – – – – –
  –2   –1    0    1    2
```

Działaniom algebraicznym odpowiadają w tym modelu proste operacje geometryczne.

Od starożytności to podejście geometryczne do systemu liczbowego było w matematyce regułą, aż do momentu, gdy w ubiegłym wieku zostało zniesione przez falę zwaną **arytmetyzacją**: liczby rzeczywiste można określić jako granice ciągów liczb wymiernych, te ostatnie jako ułamki utworzone z liczb całkowitych, a liczby całkowite jako liczby naturalne wyposażone w znak. Lecz w tym samym momencie uczyniono jeszcze jeden ogromny krok wstecz: za prawdziwe korzenie systemu liczbowego uznano nie liczby naturalne, lecz czyste zbiory bez jakiejkolwiek struktury. Zbiory są **porównywane** przez odwzorowanie jednego na drugi. Jeżeli *A* i *B* mogą być wzajemnie odwzorowane jeden na drugi – przypisujemy im tę samą **liczbę kardynalną**; gdy zamiast tego *A* odpowiada części *B* – liczba kardynalna zbioru *A* jest z definicji mniejsza od liczby kardynalnej zbioru *B*.

Wspomnianą odpowiedniość zbiorów uzyskuje się przy użyciu tego, co w matematyce nazywa się odwzorowaniem wzajemnie jednoznacznym – pojęcia, które także może być wyrażone w języku zbiorów. A tymczasem rzeczy nie są tak proste, jak każą nam wierzyć podręczniki matematyki zwanej nową. W rzeczywistości jest to urwista droga od liczby kardynalnej do liczby naturalnej: najpierw prowadząca do wyjaśnienia, czym jest zbiór skończony, a potem do pokazania, że kolejne skończone liczby kardynalne stanowią dokładnie to, co przywykliśmy nazywać szeregiem liczb naturalnych.

## 8.6. Struktury geometryczne

Struktura geometryczna, która od najwcześniejszego dzieciństwa jest nam najbliższa, to przestrzeń, w której żyjemy – **geometria** zwana **euklidesową**. Ciała stałe pozwalają nam porównywać, czy raczej definiować, te odległości, które dają najkrótsze linie celowania. Od wczesnego dzieciństwa przywykliśmy do wiernych obrazów rzeczywistości otrzymanych przez pomniejszenie lub powiększenie – podobieństw w sensie matematycznym. Bez wątpienia w rozwoju poznawczym podobieństwo poprzedza nawet liczbę.

W XIX wieku zaczęto interesować się strukturami geometrycznymi uboższymi od struktury euklidesowej. Rzeczywiście, zubożanie struktury przez wygalanie ornamentów i fryzów może czasem prowadzić do głębszych pojęć. To właśnie jest sztuka abstrakcji, nad którą twórczy matematycy nauczyli się panować od ubiegłego stulecia.

W przestrzeni euklidesowej znamy odległości (lub raczej stosunki odległości), kąty, proste, płaszczyzny, sfery. Pierwsze zubożenie polega na odrzuceniu ogólnej porównywalności odległości i kątów, przy zachowaniu prostoliniowości i równoległości. Prowadzi to do **geometrii afinicznej**, gdzie wszystkie równoległoboki są takie same, gdzie prostokąt i kwadrat nie dadzą się odróżnić od innych równoległoboków, gdzie koła nie wyróżniają się spośród elips.

Następnym krokiem jest odrzucenie równoległości, ciągle jednak z zachowaniem prostoliniowości. Otrzymujemy **geometrię rzutową**, gdzie wszystkie czworokąty traktuje się tak, jakby były jednym i tym samym.

Jeszcze jeden krok i nawet prostoliniowość zostaje porzucona jako własność strukturalna. Zubożona przestrzeń staje się strukturą **topologiczną**, w której wciąż można odróżnić krzywe otwarte od zamkniętych, wnętrze i zewnętrze obszaru zamkniętego, pętle i węzły na krzywych.

Ten rodzaj klasyfikacji geometrii został zaproponowany przez Feliksa Kleina w jego sławnym programie z Erlangen. Było to pierwsze nowoczesne przedsięwzięcie w kierunku strukturyzacji co najmniej pewnej części matematyki – geometrii, jak ją widział Klein.

### 8.7. Struktury i rzeczywistość

[...]
Odkrywając struktury w matematyce, nauczyliśmy się lepiej rozumieć organizację naszej wiedzy. Wielu teoretyków psychologii i nauczania wciąż traktuje rozwój poznawczy jako **przyswajanie pojęć**. Zewnętrznym świadectwem tego jest nieprzebrana liczba tytułów artykułów, w których występuje słowo „pojęcie", świadectwem zaś głębszym – wszystkie badania dotyczące posiadania lub przyswojenia pojęcia.

Rozpatrywanie zbioru wiadomości o pojęciach z punktu widzenia pewnej hierarchii jest najbardziej uderzającą cechą metodologii i epistemologii arystotelesowskiej. Niewystarczalność metodologiczna tej zasady ujawniła się głównie pod wpływem matematyki współczesnej. Hierarchia arystotelesowska jest skierowana od ogółu do szczegółu, gdzie ogół obejmuje szczegół. Jej doskonałą realizację znajdujemy w taksonomiach biologicznych, gdzie schodzimy po liniach grup, podgrup, klas, podklas, rodzin, gatunków, odmian. Lecz poza botaniką i zoologią systematyczną tworzenie pojęć przez klasyfikacje nie ma większego znaczenia. Ze względu na swą treść i formę wiedza naukowa różni się znacznie od „flor" i „faun" systematycznych, a także aktywność strukturyzowania różni się od aktywności klasyfikowania. Klasy zawierają się jedna w drugiej i są zawierane jedna przez drugą; ogół i szczegół tłumaczą się tu przez zakres. Gdyby w przypadku struktur używać dialektyki „ogół–szczegół", czego się nie czyni, strukturą najuboższą byłaby najbardziej ogólna a jej szczególny przypadek powstawałby przez wzbogacenie.

Zaboru na rzeczywistość dokonujemy raczej przez strukturyzację niż przez tworzenie pojęć. Zależnie od potrzeb – czynimy to albo przez struktury bogate albo przez ubogie. Zubożenie może prowadzić do uogólnienia w sensie rozszerzenia dziedziny zastosowań. Wśród struktur najuboższych, struktury matematyczne wyróżniają się bardzo szeroką stosowalnością, czego przykładem są liczby i figury geometryczne. Ponadto struktury matematyczne są łatwiej rozpoznawalne od innych.

Identyfikacja uczenia się matematyki z przyswajaniem pojęć jest koncepcją powierzchowną, lecz wciąż bardzo rozpowszechnioną w psychologii i badaniach nad procesem nauczania. Położenie nacisku na struktury jest zasługą Piageta, choć – trzeba to przyznać – bardziej w jego rozważaniach teoretycznych niż w działaniach praktycznych.

### 8.8. Struktura nauki i rozwój

Powtarzam: trzeba dokonać rozróżnienia między **strukturami w nauce** – w szczególności w matematyce – i **strukturą** (lub pewną strukturą) **nauki**. Tradycyjna maksyma powiada, że rozwój poznawczy przebiega od szczegółu do ogółu, i ten sam kierunek uważa się często za obowiązujący dla procesu nauczania. Lecz jak każdej maksymie, i tej brak precyzji, w szczególności ze względu na wielką różnorodność tego, co nazywamy ogółem i szczegółem. Można łatwo zgodzić się na to, że dla dziecka znajomość psa (czy kilku psów) poprzedza znajomość gatunku *canis familiaris*, lecz tworzenie klas jest tylko jednym z aspektów rozwoju poznawczego, mającym raczej skromne znaczenie.

Uogólnienie ma swój początek raczej w **sytuacjach** niż w **przedmiotach**, a funkcja sytuacji jest raczej paradygmatyczna niż klasyfikująca.

Pogląd Piageta jest bardziej wymyślny niż ta tradycyjna maksyma, jeżeli nie jest wręcz jej zaprzeczeniem: Rozwój przebiega wzdłuż linii epistemologicznych, gdzie poznanie nie jest wiedzą indywidualną, ale – ze względu na treść – jest niezależne od podmiotu w toku jego rozwoju. Według Piageta, system geometrii – czy, jeśli kto woli, matematyki – odsłania rozwój geometryczny (czy matematyczny) podmiotu. W imię Piageta postuluje się, by nauczanie przebiegało tą samą drogą, choć prawdę mówiąc nie natknąłem się w pismach Piageta na miejsce, gdzie postulowałby on ten paralelizm między indywidualnym rozwojem poznawczym a nauczaniem. W każdym razie, powołując się na psychologię, uważano za uzasadnione konstruowanie programów nauczania według struktury nauki.

W biologii znane jest prawo Haeckela, które głosi, że ontogeneza (rozwój osobniczy) stanowi skróconą rekapitulację filogenezy (rozwoju gatunkowego). Wśród pedagogów są tacy, którzy usiłują w rozwoju poznawczym rasy ludzkiej widzieć schemat rozwoju poznawczego pojedynczego człowieka; na początku swej kariery Piaget zaliczał się do tej grupy. Lecz w klasycznych dziełach Piageta strukturą, która miałaby być odzwierciedlana w osobniczym rozwoju po znawczym, jest raczej ta struktura, jaką ujawnia **współczesny stan nauki**. Eksperymenty laboratoryjne miały potwierdzić ten paralelizm, lecz w rzeczywistości próby te były projektowane i modelowane przy założeniu, że struktura ujawniona w nauce jest odzwierciedlana w rozwoju indywidualnym.

Piaget żywił to przekonanie już zanim Bourbaki rozwinął swój system, a w każdym razie zanim mógł ten system poznać. W swych badaniach psychologicznych nad geometrią zastosował te idee ze wszystkimi ich konsekwencjami. Kanwą, którą wybrał do haftowania rozwoju geometrycznego, była struktura geometrii, jaką znał, a mianowicie struktura wynikająca z programu z Erlangen Feliksa Kleina, choć w tym czasie geometria przekroczyła już jej granice, jeżeli w ogóle kiedykolwiek była nimi związana. Według Piageta, rozwój ten przebiega od struktur ubogich do bogatych, takich, jakie znalazł u Kleina, tj. od topologii przez geometrię afiniczną i rzutową ku geometrii euklidesowej. I ten paralelizm obowiązuje dla aspektu percepcyjnego, reprezentacyjnego i poznawczego w rozwoju dziecka. Ten pogląd Piageta jest świadectwem ufności do hierarchii matematycznych, żeby nie rzec ślepego posłuszeństwa, której nie potwierdziły szczegółowe badania samego Piageta – jego następców. Nie mogąc dobrze narysować koła czy kwadratu, małe dziecko dobrze umie odróżnić dobry rysunek każdej z tych figur od złego, jak też każdy rodzaj trójkątów i czworokątów.

Uważa się na ogół, że Piaget zaakceptował i propagował bourbakistowski system hierarchiczny matematyki jako podstawę dla swej epistemologii genetycznej. Muszę wyznać, że nigdy osobiście nie podzielałem tej opinii, która wydaje mi się najzupełniej błędna. Relacje między piagetyzmem i bourbakizmem zasługują na głębsze badania historyczne, których sam nie ośmieliłbym się podejmować. Jeżeli jestem dobrze poinformowany, pierwsza prawdziwa konfrontacja Piageta z bourbakizmem i w ogóle z matematyką współczesną, nastąpiła w czasie wielkanocnego sympozjum w roku 1952, w La Rochette sur Melun (Spotkania CIEAEM), a więc w momencie, gdy epistemologiczne poglądy Piageta na matematykę były już trwale skonsolidowane. Konfrontacja ta musiała być bolesna i kłopotliwa. Według sprawozdania z tej konferencji, odczyt Piageta został zastąpiony innym tekstem; nie wiem, czy autentyczny tekst gdzieś się zachował. W tekście opublikowanym znajdują się te nieco dziwne idee na temat matematyki, które później wypowiadał on ustnie i na piśmie nie jeden raz, a które nie mają nic wspólnego z bourbakizmem czy jakimkolwiek innym obrazem matematyki współczesnej; ponadto znajduje się tam kilka nieobowiązujących zdań wyrażających uznanie dla bourbakizmu. Przyjęcie przez niego do wiadomości hierarchii bourbakistowskiej została na ogół zinterpretowana jako aprobata i wysiłek w kierunku adaptacji bourbakizmu do jego własnej koncepcji matematyki, a nawet jako poparcie ze strony psychologii dla dzieła strukturyzacji nauczania matematyki według pewnej struktury tej nauki; dzieła, które zyskało sławę pod nazwą Nowej Matematyki i zakończyło się kompletnym niepowodzeniem.

Nie można mieć o to pretensji do Piageta. Wierząc w wartość genetyczno-epistemologiczną struktury wiedzy, nigdy nie wypowiadał się on – o ile wiem – za nauczaniem odpowiadającym jakiejś strukturze nauki [9]. Z niewielkiej liczby jego wypowiedzi na temat nauczania można by wyciągnąć raczej przeciwne wnioski.

### 8.9. Struktura nauki a nauczanie

Programy określone przez struktury nauki zdają się zyskiwać pewną popularność w nauczaniu innych przedmiotów, mimo ich niepowodzenia w nauczaniu matematyki. Jako przedstawiciel **matematyki czystej** czuję się zdolny do jaśniejszej oceny **względności** tego, co przedstawia się jako struktury matematyki. Gdy rozpatruję matematykę w **szerszym kontekście**, uderzają mnie luki w tych strukturach; na przykład brak struktury numeracji, lekceważenie dla geometrii i dla zastosowań, nawet tych najprostszych. Jako **matematyk** czuję się też zobowiązany sprzeciwić traktowaniu **struktury nauki jako środka strukturyzacji jej nauczania**, gdyż z osobistego doświadczenia wiem, jak łatwo matematycy ulegają tej pokusie.

Dzieło Piageta nie dostarcza żadnego argumentu ze strony **psychologii rozwojowej** na rzecz programów nauczania ustrukturyzowanych według struktury jakiejś nauki, lecz takiego usprawiedliwienia nie dają także **teorie nauczania**. Struktura nauki stanowi systematyczną kodyfikację (w przypadku matematyki także dedukcyjną) aktualnego stanu tej nauki w danym momencie jej rozwoju, a przy tym – nie zapominajmy – nauki niebędącej materiałem przewidzianym do nauczania.

Przeciwnie, są poważne argumenty przeciw programom nauczania ustrukturowanym według struktury nauki. Wszystkie systemy matematyczne ukazują hierarchię wychodzącą od struktur ubogich i prowadzącą ku strukturom wzbogaconym. Z dydaktycznego punktu widzenia orientacja ubogie – bogate może być poważnie zakwestionowana. Struktury ubogie są wysoce abstrakcyjne, co pokazuje najuboższa ze struktur – zbiór, nie posiadający żadnej struktury. Dydaktyka może sobie z tym poradzić tylko przez konkretyzację, wypełnienie abstrakcyjnej formy. I oto co dzieje się w praktyce: konkretyzacja sztuczna czy wręcz fałszywa. W prawdziwej matematyce zbiory i wszystkie inne struktury służą do pewnych celów. Są umotywowane przez swą wartość operatywną. Jednocześnie zaś na poziomie, od którego wychodzi program ustrukturowany według struktury nauki, zbiory nie mają żadnych zastosowań matematycznych. Twórca takiego programu musi więc wymyślić jakieś zastosowanie, które naprawdę nie ma nic wspólnego z potrzebą użycia zbiorów w matematyce – oto fałszywa konkretyzacja i operacjonalizacja – ani nic wspólnego z potrzebami nauczania – oto fałszywa dydaktyzacja. W najlepszym przypadku efekt jest zerowy: zbiory i inne struktury ubogie wprowadza się do nauczania początkowego z jedynym celem głoszenia werbalnej filozofii.

Jednak prócz tych nieszczęsnych wykolejeń, są też głębsze argumenty przeciwko poprzedzaniu struktur bogatych ubogimi, pochodzące nawet z psychologii rozwojowej. To, co na ogół nazywa się abstrakcją, jest raczej zubożeniem struktury. Struktury matematyczne zostały wynalezione po to, by je stosować w tych kontekstach, w których się narodziły. Orientację od ubogich ku bogatym sugeruje przez matematykę **gotową**. Uczenie się aktywne matematyki jest aktywnością twórczą – ponownym odkrywaniem matematyki pod kierunkiem nauczyciela. Jeśli przyjmiemy tę filozofię, zalecony kierunek dydaktyczny będzie ten sam, co w narodzinach matematyki: od bogatych ku ubogim.

## 8.10. Matematyczna strukturyzacja bogatych kontekstów

Ze względów dydaktycznych przeciwstawiłem struktury matematyczne bogate ubogim. To jednak nie wystarczy. Nie należy tkwić w samej matematyce. Struktury bogate prezentowane uczniom powinno się znajdować także poza matematyką. Rzecz jasna, powinny one być dobierane ze względu na cele dydaktyki matematyki, przez nauczającego lub twórcę programu. Po niepowodzeniu programów ustrukturowanych według struktury nauki, jest to nowa droga: pokazać struktury matematyczne bogate po to, by zapoznać uczniów ze strukturyzacją, zubażaniem, matematyzacją, by im dać odkryć siłę struktur ubogich wewnątrz bogatych. Wszystko w nadziei, że dzięki temu będą oni funkcjonować w innych kontekstach, matematycznych i niematematycznych. Rozpoczynanie od struktur matematycznych ubogich może oznaczać, że nie dojdziemy do struktur matematycznych bogatych, które stanowią prawdziwy cel nauczania.

Zilustrujemy to przykładem. Któż nie zna klocków logicznych, występujących w różnych odmianach, na przykład o następujących cechach: czerwone–niebieskie, koła–kwadraty–trójkąty, małe–duże, cienkie–grube, a więc w liczbie dwudziestu czterech. Jest to model świata całkowicie z góry ustrukturowanego: jeden jedyny klocek dla każdej kombinacji tych czterech cech. Abstrakcyjną teorię zbiorów – przekrój, suma, produkt – można wspaniale skonkretyzować tym materiałem. Temu systemowi można przeciwstawić to, co nazwałem małym światem: że tak powiem, sklep z zabawkami, gdzie są autka, zwierzątka, domki, lalki itp. i gdzie kryteria klasyfikacji nie są narzucone *a priori* ale powinny być odkryte i rozwinięte przez samego ucznia. Będą to cechy koloru i wielkości, które mogą być reprezentowane przez wiele obiektów lub żaden, na przykład nie ma czarnego domku z drzewa, za to jest wiele czerwonych autek z metalu. Krótko – nie świat z góry ustrukturowany, ale świat do strukturyzacji.

Strukturyzacja, o której mówiłem, polega na klasyfikacji. Wybrałem ten przykład nie dlatego, bym wierzył w doniosłość poznawczą klasyfikacji, ale dlatego, że przez prostotę przykład ten ujawnia wydatnie przeciwstawienie świata ubogiego i ustrukturowanego, światu bogatemu do strukturyzacji. Klocki logiczne są też przykładem sukcesu upowszechnienia, jaki cechuje materiały skrajnie ustrukturowane – sukcesu odniesionego dzięki wygodnictwu użytkowników. Materiały bogate, otwarte dla strukturyzacji, prezentujące większą różnorodność sytuacji dydaktycznych – są bardziej wymagające i w konsekwencji trudniejsze do wprowadzenia.

Skończmy na tym. Rozporządzamy dziś wielką różnorodnością bogatych kontekstów matematycznych, na wszystkich poziomach; większą niż ktokolwiek może sobie wyobrazić. Cały problem leży we wprowadzeniu jej do praktyki. Rozwiązanie tego problemu wymaga zasadniczej zmiany tego nauczania matematyki, do którego przywykliśmy.

/Tłumaczył S. Turnau/

Redakcja *Fotonu* dziękuje Panu Stefanowi Turnauowi za pozwolenie przedrukowania artykułu.

## 9. Receptywne uczenie się ze zrozumieniem

### 9.1. Wstęp

Przed przystąpieniem do wyłożenia podstaw teorii Novaka [28] przypomnijmy znane i niekwestionowane fakty o funkcjonowaniu mózgu:

1/ W momencie urodzenia człowiek już posiada około jednej trzeciej masy dorosłego mózgu. Po skończeniu siedmiu lat przybywa już bardzo mało masy mózgowej.

2/ Biologiczne mechanizmy percepcji i kodowania informacji są takie same dla wszystkich ludzi i prawdopodobnie takie same dla wszystkich kręgowców.

3/ Różne obszary mózgu wykonują różne czynności, ale wydaje się, że w trakcie uczenia się oddziałują z sobą.

4/ Normalny ludzki mózg zawiera więcej niż 100 miliardów neuronów i praktycznie jest potencjalnie nieograniczony w przechowywaniu informacji.

5/ Otoczenie ma wpływ na rozwój i zdolność uczenia się, szczególnie u dzieci do lat pięciu.

6/ Jednostka ma olbrzymie możliwości uczenia się przez całe życie, z wyjątkiem przypadków uszkodzenia mózgu i występowania pewnych chorób.

Novak uważa, że w teorii uczenia się powinna znaleźć się odpowiedź na sześć tematów (cytuje je on za Hilgardem i Browerem) [28]:

1/ Jakie są granice uczenia się? Jakie mogą być różnice indywidualne w przyswajaniu wiedzy? Jak to się zmienia z wiekiem jednostek? Kto i czego może się uczyć? Czy już w momencie urodzenia istnieją granice możliwości? Jak ćwiczenie wpływa na granice uczenia?

2/ Jaka jest rola ćwiczenia? Stara mądrość mówi, że przez ćwiczenie można dojść do perfekcji. Oczywiście, przy grze na fortepianie i jeździe na nartach praktyka odgrywa wielką rolę. Ale jak to jest w innych dziedzinach? Czy postępy są proporcjonalne do ilości ćwiczenia? Czy nadmiar ćwiczenia może szkodzić?

3/ Jaką rolę odgrywa motywacja, kary, nagrody?

4/ Jaka jest rola rozumienia tego, czego się uczy?

5/ Czy nauczenie jednych rzeczy pomaga w uczeniu się innych?

W skrócie mówimy o problemie transferu. Jakie są zatem warunki efektywnego transferu?

6/ Dlaczego coś pamiętamy, a co innego zapominamy?

Jeśli się myśli o nauczaniu i uczeniu się w szkole, to do tych problemów należy dodać:

7/ Jakie czynniki są najważniejsze w planowaniu programów szkolnych?

8/ Jak rozmaite metody nauczania wpływają na uczenie się i w jakich warunkach? Czy ważne jest skoncentrowanie się na indywidualnym nauczaniu? Jaka jest rola podręczników? itp.

9/ Jak organizacja szkoły wpływa na proces uczenia się?

10/ Jak bardzo metody nauczania powinny zależeć od przedmiotu nauczanego? Jakie są ogólne prawa nauczania?

Ponieważ nas interesuje nauczanie i uczenie się zaawansowanej wiedzy formalnej, nie będziemy rozważać teorii Skinnera (behawioryzm).

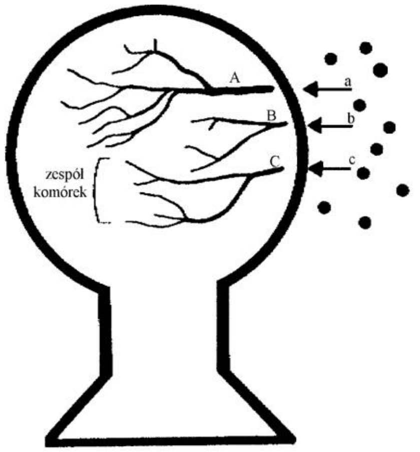
### 9.2. Podstawy rozumnego uczenia się według Josepha Novaka

Novak swoją teorię opiera na pracach Davida Ausubela (Assimilation Learning Theory). Novak, za Ausubelem używa pojęcia **meaningfull leraning** – czyli rozumne uczenie się, czy też uczenie się ze zrozumieniem.

Tak więc **rozumne uczenie** jest procesem, w którym nowa informacja jest powiązana i włączona w starą strukturę. Nie są jeszcze dokładnie poznane biologiczne mechanizmy przechowywania i przetwarzania informacji. W jednym z następnych Zeszytów Dydaktycznych omówimy przykładowe modele. Wiadomo jednak, że informacje są przechowywane w zlokalizowanych częściach mózgu i że wiele komórek jest zaangażowanych w ten proces.

Biologicznie to będą zmiany w pewnym zespole komórek. Uczenie się powoduje zmiany w komórkach mózgu, niektóre z komórek, których te zmiany dotyczą, są komórkami, w których już jest zgromadzona informacja, niejako przygotowana do zrozumienia nowej wiedzy. W procesie rozumnego uczenia się zespoły komórek neuronowych, w których była zgromadzona wiedza modyfikują się, prawdopodobnie tworzą się nowe połączenia przez synapsy.

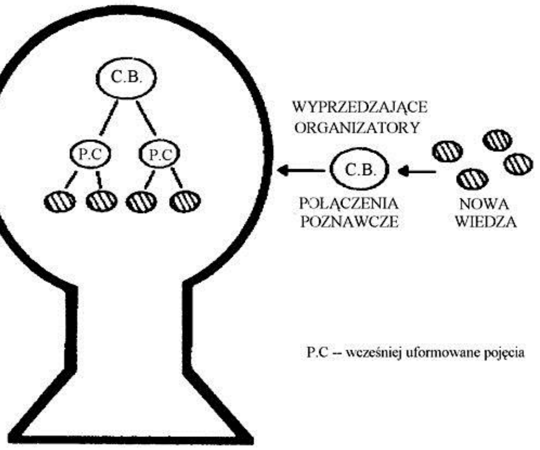
Poniższa rycina ilustruje uczenie się ze zrozumieniem.




W uczeniu się ze zrozumieniem nowe informacje a, b, c, są wiązane z posiadanymi odpowiednimi strukturami wiedzy (jednostkami bazowymi) A, B i C. Subsumer (jednostka bazowa) A jest bardziej zróżnicowana niż jednostki B i C. Z biologicznego punktu widzenia subsumery mogą być uważane za złożone zespoły komórek.

Psychologiczny opis to asymilacja nowej informacji do już istniejących, i odpowiednich do nowej informacji **jednostek bazowych** (subsumers). W zależności od historii osobniczej ta baza subsumerów może być szeroka i bogata, lub wąska. Początkowo gromadzona baza empiryczna jest słabo ustrukturyzowana (poziomo, drobnoskalowo), bez globalnych cech. Ta baza powinna być **bogata**, jak najszersza, by późniejsze nauczanie mogło z niej czerpać. Oczywiście Ausubel nie był pierwszym, który widział znaczenie rozumienia w procesie uczenia się. Przed nim podkreślali to D.O. Lyon (1916), M.C. Jones i H.B. English (1926), inni europejscy uczeni jeszcze wcześniej. W rzeczywistości dydaktycy, czyli ludzie zajmujący się nauczaniem, zawsze uważali to za fundamentalną cechę efektywnego uczenia się. Zatem rozważania Novaka brzmią trochę jak odkrywanie Ameryki paręset lat później. Ale być może to jest reakcja na behaviorystów.

Novak kontrastuje uczenie się rozumne z uczeniem się na pamięć, chociaż, jak sam przyznaje, granica nie jest ostra. Cechą uczenia się na pamięć jest brak wiązania nowych informacji ze starymi. Można powiedzieć, że przy uczeniu się na pamięć nowe rzeczy po prostu się dodają, a przy rozumnym wpasowują się w starą strukturę, często ją zmieniając. Jak widzimy, jest to powtarzanie tez Piageta.




Połączenia poznawcze (C.B.) służą ułatwieniu powiązania nowej wiedzy ze starą. Uczenie się czegoś nowego ze zrozumieniem na pamięć. Afektywnych struktur Ausubel nie określa, są nimi np. pamięć o emocjonalnych bodźcach przechowywania w mózgu.

## Formacja pojęć

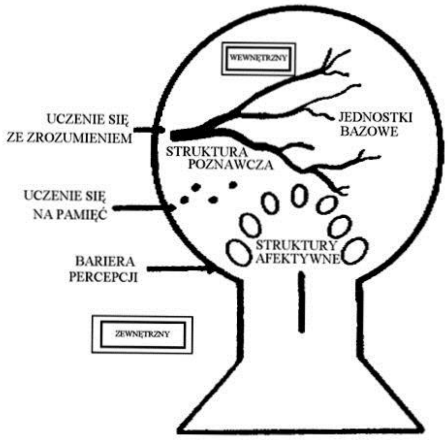
Proces formacji pojęć zaczyna się bardzo wcześnie, u małych dzieci. Odbywa się on równolegle, a raczej łącznie z uczeniem się języka. Świadczą o tym przykłady. Dzieci wrzucają nowe informacje do pamięci jak klocki do szuflady, pamięć mają taką, że nawet w pozornym chaosie każde zdobyte doświadczenie, czy informacja jest pamiętane i osiągane [31].

**Połączenia poznawcze: wyprzedzające organizatory** (Cognitive Bridging: Advance Organizers).

Do opisu procesu uczenia się Ausubel proponuje używanie tzw. wyprzedzających organizatorów (*advance organizers*), które określa jako „bardziej ogólne, bardziej abstrakcyjne i bardziej pojemne niż wiedza (materiał), którą uczeń w danej chwili przyswaja, uczy się”.

Te organizatory mają pomóc we wpasowaniu nowej wiedzy w strukturę poznawczą już istniejącą. I tak w przypadku, gdy uczący się nie zna jeszcze potrzebnych pojęć, wyprzedzający organizator ma spełnić funkcje zakotwiczającą nową wiedzę i pomóc w zbudowaniu odpowiedniej jednostki bazowej (tzw. subsumera), która ułatwi rozumne uczenie się.

Jeśli uczący się znał już potrzebne do uczenia się nowego materiału pojęcia, wyprzedzający organizator służy do połączenia tego nowego materiału z odpowiednią jednostką bazową. Novak uważa, że wyprzedzające organizatory ułatwiają uczenie wtedy, gdy osobnik „zna” już odpowiednie jednostki bazowe.




Schematy uczenia się. Afektywnych struktur Ausubel nie określa, są nimi np. pamięć o emocjonalnych bodźcach przechowywanych w mózgu.

Ausubel pisze, że podstawową funkcją organizatorów jest dostarczenie powiązania starej wiedzy z nową. Wiedza zdobywana przez rozumne uczenie jest pamiętana dłużej niż wiedza zdobywana w uczeniu się na pamięć.

### Stopniowe różnicowanie i hierarchia pojęć

W procesie uczenia się rozumnego następuje rozwój i „dopracowywanie" pojęć bazy (subsumerów). Ausubel twierdzi, iż proces ten zachodzi najlepiej, gdy szersze pojęcia są wprowadzane wcześniej. Uważam, iż w przypadku dzieci to z pewnością nie ma miejsca, w przypadku dorosłych, wprawnych w myśleniu – tak. Novak jako przykład podaje sposób wprowadzenia pojęcia **kultura**. Na początku mówi się, że wszystkie zwyczaje, wiedza i umiejętności, jakie rodzice przekazują dzieciom, stanowią kulturę. Następnie mówi się o kulturze Aborygenów, Indian i Amerykanów. Novak sam sobie przeczy, zaczyna bowiem od opisu jakiejś kultury, kultury swoich słuchaczy, czyli od konkretu. Aby chwycić sens pojęcia kultura, słuchacze muszą już wiedzieć o istnieniu innych grup ludzi, o innych obyczajach. Sądzę, iż najpierw trzeba opowiedzieć jeszcze np. o Murzynach i Amerykanach. Dopiero jak dzieci będą miały opis **paru** różnych kultur, nazwiemy to kulturą.

Wedle Novaka wyszukanie w swojej bazie (wolę używać tego określenia) w trakcie uczenia bardziej ogólnych pojęć oraz znalezienie relacji między nimi jest trudne. To, które pojęcia są bardziej ogólne i jakie są między nimi relacje dyktuje nauka (czyli, to czego się uczymy). Natomiast w procesie uczenia rzeczywiście nie wiadomo, co uczący się z tej bazy już posiada i jak ta baza jest ustrukturyzowana. Wiemy, że małe dzieci mają inną strukturę wiedzy. O tym będzie szerzej traktował następny zeszyt.

Sekwencja procesów, w których zachodzi różnicowanie pojęć jest bardzo bogata. Novak przytacza przykład z formacji pojęcia psy i ssaki przez małe dzieci. Otóż małe dzieci (do lat dwóch) mogą nazywać wszystko z czterema nogami i ogonkiem – pieskami. Otóż, wydaje mi się na podstawie obserwacji, że tak nie jest. Dzieci szybko uczą się rozróżniać między kotkami, króliczkami, krowami, końmi. Zachodzi to spontanicznie przy obserwacji otoczenia i współdziałaniu z dorosłymi (dobranie powszechnie przyjętej nazwy, aczkolwiek wiele dzieci dobiera własne nazwy, które zresztą czasami są akceptowane chwilowo przez dorosłych).

**Podporządkowane uczenie się**

Z chwilą otrzymania nowej informacji i powiązania jej z innymi informacjami bazy pojęcie „rośnie" i różnicuje się. Na przykład od momentu zauważenia przez dziecko, że nie wszystkie „psy" wyglądają tak samo, zaczyna się rozróżnianie kotów, koni i tak dalej.

Na pewnym etapie poznawania zwierząt, dziecko może zauważyć, że zwierzaki pokryte jakimś futerkiem nazywane są ssakami. Ssaki są pojęciem nadrzędnym do psów, koni... Takie nadrzędne pojęcie powstaje, gdy poprzednio zdobyta baza zyskuje nową strukturę, która definiuje pojęcie nadrzędne do znanych. Takimi nadrzędnymi pojęciami są owoce, warzywa.

**Całościowe zrozumienie i dysonans poznawczy** (Integrative Reconcilation i Cognitive Dissonance)

Novak, tak jak i Piaget podkreśla rolę dysonansu poznawczego.
Dysonans poznawczy występuje na przykład, gdy dziecko staje przed problemem: jak fasolka może być równocześnie jarzyną i owocem. Jak ziarenko kukurydzy może być owocem, kiedy wygląda na nasionko („ziarenko" – to słowo jest uważane za synonim nasionka). Dysonans znika, kiedy zostaje wyjaśniona relacja między podrzędnymi i nadrzędnymi pojęciami.

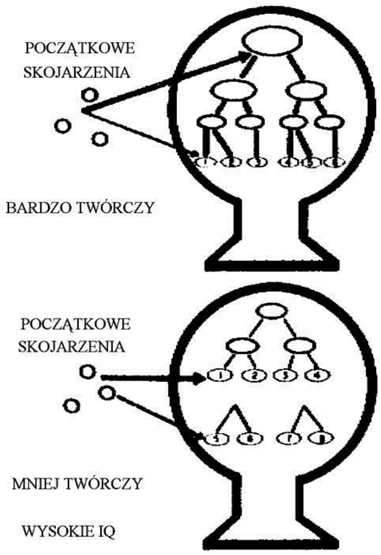
Wiele z tych dysonansów poznawczych bierze się z nieostrości języka i pomieszania ścisłych pojęć z językiem potocznym. Ale nie wszystkie. Dziecko uczy się nadrzędnego pojęcia nie przez definicje, tylko przez uogólnienie pewnej liczby przykładów. Jeśli przypadkiem przykłady zostały dobrane w „sposób wadliwy" to znaczy zbyt wąsko, lub przypadkiem z jakąś nieistotną dla definicji szerszego pojęcia cechę, ale dla dziecka wyróżniającą się, dziecko konstruuje pojęcie, które ma wprawdzie tę samą nazwę co pojęcie „dorosłych", ale ma inny sens.

Novak bardzo słusznie zwraca uwagę, że porządek, jak on to nazywa, logiczny nauki, nie pokrywa się z psychologicznym. Uważam, że **jest to podstawowa przeszkoda epistemologiczna w uczeniu się i nauczaniu dzieci**. W następnym zeszycie ten problem będzie szerzej omówiony.

### 9.3. Zakończenie. Wnioski praktyczne

Novak niewątpliwie ma rację uważając, że nie można całego nauczania oprzeć na tak zwanym twórczym uczeniu się. Niektóre tematy do tego się świetnie nadają, inne nie bardzo. Nie ulega wątpliwości, że twórcze myślenie, zwłaszcza młodszych dzieci, jest niesłychanie rozwijające i jeśli tylko można je stosować, to należy. Realistycznie biorąc, większość materiału będącego przedmiotem nauczania jest „odbiorcza". Tu mogą wystąpić różnice indywidualne. Z tym zagadnieniem wiąże się tak zwana „kreatywność", zdolności, inteligencja, umiejętność rozwiązywania problemów.

Różnice pomiędzy uczniem twórczym i mniej twórczym ilustruje Novak poniższym rysunkiem.




Schemat pokazujący różnicę między bardziej twórczym osobnikiem i mniej twórczym, który może posiadać wysoki IQ. Twórczy ludzie wiążą ze sobą pojęcia używając do tego pojęć „wyższego rzędu" i budują skomplikowaną strukturę hierarchiczną.
Osoby z wysokim IQ mają łatwość tworzenia wielu słabszych (bliższych) powiązań.

Novak, który rozwija idee Ausubela uważa, że jego teoria edukacji jest w opozycji do niektórych tez Piageta. To jednak, jak widzieliśmy, głównie w sferze wniosków; Piaget lansował nauczanie twórcze, a Ausubel i Novak odtwórcze, co nie znaczy pasywne.

Uczeń bowiem musi być gotowy do odbioru nowych informacji. Następuje to wtedy, gdy w strukturze poznawczej ucznia istnieją już ogólniejsze struktury wiedzy, odpowiednie do nowej informacji, jaka ma być włączona. Są wtedy sprzyjające warunki do asymilacji i adaptacji tej nowej wiedzy.

Ausubel twierdzi, że uczenie receptywne może aktywizować nie tylko myślenie reproduktywne, ale nawet może wyzwalać myślenie twórcze. Wedle Ausubela uczenie się twórcze wymagałoby na osiągnięcie tych samych celów znacznie więcej czasu.

Ausubel sformułował pięć zasad, które winno spełniać **nauczanie podające**, organizujące aktywne uczenie się odtwórcze [26]. Są nimi:

1. organizowanie postępu w uczeniu się ucznia (ukierunkowanie uczenia się na zainteresowanie ucznia danym tematem – motywacje, wskazówki, pytania),
2. progresywne różnicowanie jednego pojęcia od drugiego (uogólnianie, konkretyzacja),
3. integracja (związki między pojęciami, analogie, przypadki szczególne tego samego pojęcia),
4. systematyczność w organizowaniu uczenia się (kolejność realizacji tematów),
5. konsolidacja (utrwalanie przez ćwiczenie, powtarzanie i stosowanie).

Te zasady są przyjmowane w planowaniu procesu kształtowania pojęć matematycznych.

Przyspieszenie procesu rozwojowego ograniczone jest przez fakt, że rozwój struktur wiedzy niezbędnych do uczenia się ze zrozumieniem wymaga ogromnej ilości czasu i doświadczenia. Próby nadmiernego skrócenia czasu i ograniczenia doświadczeń, niezbędnego do rozwinięcia tych struktur prowadzą ucznia do mechanicznego uczenia się na pamięć.

Novak badał ze współpracownikami struktury poznawcze dzieci powstające przy uczeniu się fizyki poprzez konstruowanie i badanie dynamiki zmian tak zwanych map poznawczych. O tym napiszemy więcej w kolejnych zeszytach, w których omówimy bieżące badania dydaktyki fizyki. Jedną z dziedzin dydaktyki fizyki, która w ostatnich latach bujnie się rozwijała jest badanie błędnych koncepcji, czy po prostu innych koncepcji dzieci (*misconceptions*). O tym też w następnych zeszytach.

Do zagadnień omawianych w tym rozdziale powrócimy w następnych zeszytach np. okazji opisu formowania się nowych pojęć, (w szczególności pojęć fizycznych), jak również przy rozważaniu przeszkód poznawczych.

Studiując materiały zawarte w tym Zeszycie mogliśmy zauważyć, jak różni uczeni różnie opisują proces uczenia się i jego istotne cechy. W tym różnorodnym opisie występują jednakowoż pewne „niezmienniki”, które doświadczeni praktycy szkolni z łatwością rozpoznają.

## Co czytać

Ukazał się trzeci numer piątego tomu *Science & Education* (July 96), wydrukowanego przez Michaela R. Matthewsa.

Zeszyt ten zawiera wybrane prace z konferencji Europejskiego Towarzystwa Fizycznego, Międzywydziałowej Grupy zajmującej się historią fizyki i nauczaniem fizyki.

Konferencja odbyła się w sierpniu 1994 roku w Szombathely na Węgrzech. Organizował ją Profesor Lószló Kovacs ze Szkoły Pedagogicznej w Szombathely. Kształci się tam nauczycieli fizyki do szkół podstawowych oraz prowadzi badania w dziedzinach: metodologia nauczania fizyki i historia fizyki.

---

Ukazały się też materiały z konferencji *Thinking Physics for Teaching* (Rzym 1994), wydane przez Carlo Bernardiniego, Carlo Tarsitaniego i Matyldę Vincentini (Plenum Press, New York and London 1995). Gruby tom zawiera wiele cennych i interesujących czasami kontrowersyjnych materiałów. Postaramy się część przetłumaczyć i udostępnić czytelnikom *Fotonu*.

---

Nowy drugi zeszyt *Acta didactica Universitatis Comenianae* (Redaktorzy: Jan Pišút i Vaclav Koubek) zawiera:

- Computer aided time measurements on air track, I. Büll
- Numercial modelling in physics teaching, S. Jakubowicz, Z. Mazur, S. Plebański
- Measurments of thermal conductivity of metals by the temperature waves method, H. Szydłowski
- Modelling the ideal gas laws in Microcomputer Based Laboratory, V. Koubek

- Transient Phenomena in Circuits Containing R,L,C Pre-Laboratory Assignment Software, J. Degro, L'. Šnajder, J. Gajdušek
- The nontraditional physics problems with elements of creativity, J. Mazúrová
- Two examples from kinetics for the course of statistical mechanics, V. Černý

---

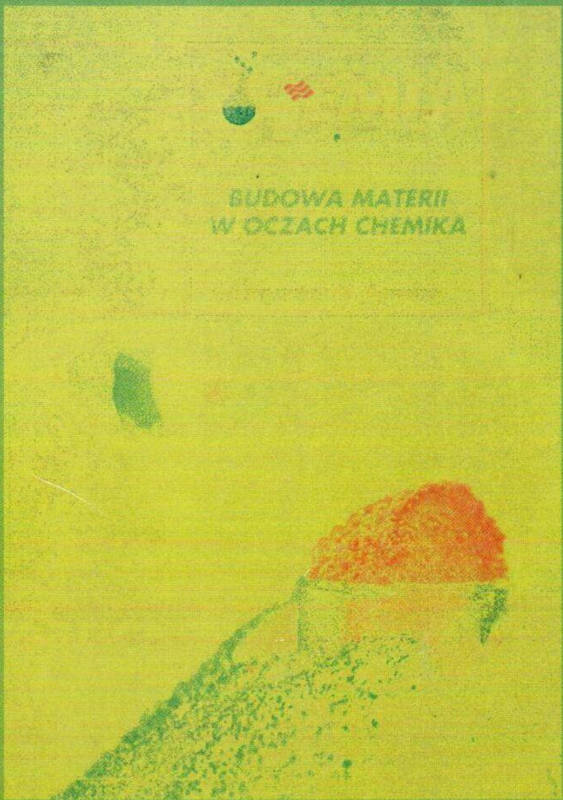
Adres wydawcy:

COMENIUS UNIVERSITY, FACULTY OF MATHEMATICS AND PHYSICS
DEPARTMENT OF PHYSICS EDUCATION
MLYNSKÁ DOLINA F-1, 842 15 BRATISLAVA
SLOVAKIA
PHONE: (427) 725 865; FAX: (427) 725882
e-mail: pisut@nic.fmph.uniba.sk
koubek@nic.fmph.uniba.sk

---

## Literatura


[1] Z. Gołąb-Meyer, *Poglądy Mariana Smoluchowskiego na nauczanie fizyki*, Fizyka w Szkole, 1983.
[2] Teske, *Marian Smoluchowski – Życie i Dzieło*, PWN, W-wa, 1955.
[3] W. Florek, *Gimnazjum Akademickie we Wiedniu, szkoła Schrödingera*, Foton 28, 1994.
[4] Marian Smoluchowski, *Poradnik dla samouków*, tom II, Michalski i S-ka, W-wa, 1917.
[5] H. Aebli, *Dydaktyka psychologiczna*, PWN, W-wa, 1982, wyd. II.
[6] Danuta Stachórska, *Prace Piageta a nauczanie fizyki*, Fizyka w Szkole, Nr 3, s. 149, 1981.
[7] Jean Piaget, *Narodziny inteligencji dziecka*, W-wa, 1966.
[8] Jean Piaget & Barbel Inhelder, *La géométrie spontanée de l'enfant*, Paris, 1948.
[9] J. Piaget et al., *L'enseignement mathématique*, Neuchătel, 1955.
[10] Archives Jean Piaget http: //www.unige.ch/piaget/
[11] Jean Piaget, *Les notions de mouvement et de vitesse chez l'enfant*, PUF, Paris, 1946.
[12] B. Inhelder, J. Piaget, *Od logiki dziecka do logiki młodzieży*, PWN, W-wa, 1970.
[13] J. Piaget, *Psychologia i epistemologia*, PWN, W-wa, 1971.
[14] J. Piaget, *Mowa i myślenie dziecka*, Książnica Atlas, Lwów–Warszawa 1929.
[15] K. Zamiara, *Epistemologia genetyczna Piageta a społeczny rozwój nauki*, PAN, Metodologia Nauk, tom XI, PWN, Poznań–Warszawa, 1979.
[16] Thomas S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolution*, The University of Chicago Press, Chicago 60637, 1970.
[17] M. Żebrowska, *Psychologia rozwojowa dzieci i młodzieży*, WSiP, W-wa, 1977.
[18] Charles Galloway, *Psychologia uczenia się i nauczania*, PWN, W-wa, 1988.
[19] R. Karplus, *Education and Formal Thought – A Modest Proposal* w: *New Direction in Piagetian Theory & Practice*, s. 285, Sigel, Brodziński, Galinkoff (Redaktorzy), Lawrence Erlbaugh. Assoc. Hillsdale, New Jersey, 1981.
[20] R.G. Fuller, R. Karplus, A.E. Lawson, *Can Physics develop reasoning?, Physics Today*, s. 23, Feb. 1977.
[21] J.S. Bruner, *W poszukiwaniu teorii nauczania*, PIW, W-wa, 1974.
[22] J.S. Bruner, *Poza dostarczone informacje, studia z psychologii poznania*, PWN, W-wa, 1978.
[23] J.S. Bruner, *Proces kształcenia*, PWN, W-wa, 1964.
[24] J.S. Bruner, *O poznawaniu, szkice na lewą rękę*, PIW, W-wa, 1971.
[25] D.J. Guilford, *Struktura intelektu*, PWN, W-wa.
[26] W. Nowak, *Konwersatorium z dydaktyki matematyki*, PWN, W-wa, 1989.
[27] Lew S. Wygotski, *Myślenie i Mowa*, PWN,W-wa, 1989.
[28] Joseph D. Novak, *A Theory of Education*, Cornell University Press, Ithaca and London, 1996.
[29] D.F. Ausubel, *Psychologie des Unterrichts*, tłum. z ang., Beltz, Weinheim, 1974.
[30] Hans Freudenthal, *Co znaczą struktury naukowe i struktura nauki w rozwoju poznawczym i w nauczaniu*, WN WSP Kraków, 333/M/84, 1984.
[31] Z. Gołąb-Meyer, *The Foundation of the Ability to Reach Conclusion*, Thinking, **9**, s. 43, 1992.




Budowa materii w oczach chemika, czyli "Chemia dla licealistów" to doskonały podręcznik. Autor Krzysztof Pazdro na 82 stronach zwarcie, logicznie i elegancko przedstawia historię atomistyki. Jest w niej wszystko, co potrzebne uczniowi. Rozdział "Atomy" zajmuje się budową atomów — zawiera to czego byśmy chcieli nauczyć. Książka zawiera doskonałe ilustracje, o dużych walorach dydaktycznych, parę różnych tablic Mendelejewa. Znaczna część materiału przerabianego na lekcjach fizyki jest tu jasno wyłożona. Chciałoby się, aby powstał dalszy ciąg podręcznika, może "Budowa materii w oczach fizyka", w której równie jasno wyłożone zostaną pozostałe elementy fizyki kwantowej. (ZG-M)

OFICYNA EDUKACYJNA
KRZYSZTOF PAZDRO

00-345 WARSZAWA
ul. Drewniana 5
tel. 635 51 31 w. 225