

III.

Wybrane zagadnienia z zakresu dydaktyki fizyki

System nauczania a ewolucja wiedzy – sytuacja na początku XXI wieku i próby wyjścia z kryzysu

Tadeusz Wibig, Paweł Barczyński i Punsiri Dam-o

Uniwersytet Łódzki

Katedra Modelowania Procesów Nauczania

Streszczenie: Celem tej pracy nie jest opisanie aktualnego stanu nauczania przedmiotów ścisłych, który od strony efektów końcowych nie przedstawia się najlepiej. Praca ta jest próbą zdiagnozowania sytuacji, w jakiej znaleźliśmy się dokładnie dziś na początku nowego milenium. Punktem wyjścia jest zauważenie koincydencji zaistniałego kryzysu i gwałtownego przyspieszenia rozwoju tychże nauk. Zakładając, że jest ona nieprzypadkowa, wyprowadzamy dalej proste równanie różniczkowe opisujące ewolucję wiedzy/nauki. Pokazane zostanie, że w prosty sposób pozwala ono opisać podstawowe prawidłowości rozwoju wiedzy ludzkiej używając niewielu oczywistych parametrów określonych przede wszystkim przez uwarunkowania biologiczne i społeczne danego czasu. Uznając wyniki obliczeń modelowych za słuszne, możemy rozpocząć poszukiwania rozwiązań, jeśli takie w ogóle istnieją. Wiedza o prognozowanej ewolucji wiedzy/nauki daje nam możliwość odrzucenia pewnych rozwiązań od razu, a analiza potrzeb społecznych zdaje się prowadzić do tego, który nazwaliśmy „systemem trzech dróg”. Podstawowym jego założeniem jest odrzucenie przekonania o potrzebie powszechnej znajomości fizyki, ale nie tylko fizyki rzecz jasna, w jej dzisiejszym, szkolnym i powszechnym jej rozumieniu. System taki jest częściowo zgodny z planowanymi reformami systemu edukacji w naszym kraju, co może jednocześnie dziwić, a z drugiej strony napawać optymizmem.

Nauczanie fizyki i szerzej: nauk ścisłych, przyrodniczych u początku nowego tysiąclecia zgodnie z powszechnym odczuciem wymaga zdecydowanej rewitalizacji. W pracy tej przedstawiony zostanie opis systemu docelowego, biorącego pod uwagę najbardziej ogólne uwarunkowania cywilizacyjne. System ten można by nazwać „systemem trzech dróg”. Jego kształt wbrew pozorom nie wynika wcale z analizy ostatnich zmian w systemie nauczania w Polsce, ale wydaje się być logiczną konsekwencją ogólnej i obiektywnej analizy zapoczątkowanych jeszcze w końcowych latach minionego stulecia zmian kierunków rozwoju społeczeństw u progu XXI wieku.

Trendy te w sposób konieczny doprowadziły do zmiany zapotrzebowania społecznego na edukację naukowo-techniczną. Na paradoks zakrawa to, że nieobserwowanemu nigdy przedtem w tak krótkim czasie, jednego praktycznie pokolenia, rozwój nauk ścisłych sam stał się przyczyną załamania systemu edukacji, który wcześniej tenże rozwój napędzał.

Wyartykułowane wyżej sprzężenie zwrotne jest ostatecznym efektem długiego procesu. Dalsze skutki jego pojawienia się być może uda się nam zaobserwować, a być może doprowadzi ono do istotnych zmian jakościowych dopiero w skali następnych pokoleń. Odpowiedź na pytanie, dlaczego mechanizm ten dał o sobie znać właśnie teraz, jest kluczowa dla zrozumienia problemu i znalezienia właściwego rozwiązania. Co w splotcie aktualnych komplikacji społecznych

doprowadziło do trwającego od jakiegoś czasu kryzysu modelu edukacji? Modelu, który niezmienny trwa od, z grubsza, setek lat.

Rozważania nasze rozpoczniemy od weryfikacji pewnych idei zawartych w powstałej jeszcze w 1961 roku „Galaktyce Gutenberga” Marshalla McLuhana [1]. Zawarta w niej analiza wpływu medium komunikacji międzyludzkiej na kondycję ludzką może być podważana. Wykazanie związku przyczynowego między rozwojem środków komunikacji społecznej, a ewolucją sposobów percepcji i schematów procesów tworzenia wiedzy nie jest oczywiste i nie będziemy opierać się na tak wyrafinowanych konstrukcjach. Nie da się jednak nie zauważyć trafności podziału dziejów ludzkości na epoki związane ze sposobami komunikowania, także i sferze naukowej, na

- epokę mówiono/słuchaną (oral tribe culture),
- epokę manuskryptów (manuscript culture),
- epokę książki drukowanej (Gutenberg galaxy) i
- epokę elektroniczną (electronic age).

Istotnym jest zwłaszcza wyróżnienie tej ostatniej. Ponieważ miało to miejsce w roku 1962, nie mogło dotyczyć internetu i sieci WWW. McLuhan analizował jedynie możliwe, prawdopodobne konsekwencje zaistnienia na szeroką skalę radia i telewizji, a o komputerach wspomina jedynie na marginesie nie zauważając rodzącego się nowego, potężnego, cyfrowego medium.. Gdyby zaczekał chwilę, Galaktyka Gutenberga byłaby zapewne zupełnie inna. Niezależnie, czy wnioski McLuhana są słuszne, czy nie, po pół wieku możemy pójść dalej i skracając nieco, zastanowić się nad wpływem globalnej sieci komunikacyjnej, takiej, jaką jest dzisiaj, na zachowania społeczne, ze szczególnym uwzględnieniem zagadnień nauczania, a bardzo w szczególności: nauczania fizyki.

Nie jest istotne, na kiedy datować będziemy powstanie ludzkości w formie podobnej do dzisiejszej, początek epoki oralnej ginie w mroków dziejów i jest problemem w dużej mierze definicji, a nie rzeczywistości. Może to być równie dobrze 10000, jak i 3000 lat p.n.e. W epoce tej wiedza, czy też to, co jest odpowiednikiem dzisiejszych nauk ścisłych niewątpliwie wykryła się. Nie wchodząc w szczegóły, możemy uznać, że stanowił ją zestaw mityczno-religijnych opowieści, które przykładane do rzeczywistości życia codziennego na zasadzie analogii i podobieństwa sugerowały odpowiedzi na istotne pytania, jakie zadawali sobie ludzie tamtych czasów. Wydaje się dość odważnym stwierdzenie, że sens i natura najważniejszych pytań nie zmieniła się od tamtych czasów, to, co uległo zmianie, to oczywiście same odpowiedzi. Wydaje się jednak, że te z tamtych czasów mogły być dla ówczesnych ludzi daleko bardziej zadowalające niż te, jakie daje nam nasza nauka dziś. Do tego wątku powrócimy jeszcze w dalszym ciągu.

Wiedza wtedy magazynowana była w umysłach wybranych jednostek. Możemy nazwać ich tutaj mędrkami, a całą epokę epoką mędrków. Mędrzy przyswajali sobie wiedzę w młodości od swoich poprzedników i musieli ją w podobny sposób przekazywać następcom. Proces ten z konieczności mógł prowadzić do zniekształceń, które jednak można traktować, jako elementy rozwoju

wiedzy, wzbogacania jej w nowe treści, jeśli mędrcy czynili to świadomie, lub też, jako przypadkowe fluktuacje prowadzące do zubożenia wiedzy na skutek nieostrożności w kopiowaniu (przekazywaniu i zapamiętywaniu opowieści). Oczywiście mogły się zdarzać przypadki zaniku jakiejś linii, przerwania łańcucha wiedzy, wydaje się jednak, że problem przedwczesnego zejścia jakiegoś pojedynczego mędrca system epoki oralnej potrafił ominąć droga kontaktów między rozdzielonymi geograficznie strukturami. System taki ewoluował tysiące lat i osiągnął w fazie końcowej zapewne stan stabilny, w którym przypadkowe zanikanie jednych opowieści rekompensowane było ich powolnym powstawaniem. Zakres wiedzy w epoce mędrców z konieczności obejmował jedynie tyle, ile pomieścić mogła jedna, założmy, że szczególnie uzdolniona i wytrenowana głowa, czyli w sumie niewiele. Rozwój idei, myśli, koncepcji, jeśli w ogóle mógł następować, nie mógł osiągnąć znacząco wyższego stopnia skomplikowania.

Edukacja w epoce mędrców ograniczała się do procesu przekazywania wiedzy z pokolenia na pokolenie. Nie było żadnej społecznej potrzeby upowszechniania wiedzy w społeczeństwie. Na wszystkie pytania znał odpowiedź obecny niemal na miejscu i jak powiedzielibyśmy dziś on-line, mędrzec. Nauczanie było procesem prostym i jednotorowym. Jakże piękny obraz rzeczywistości bardzo dawno już minionej.

Epoka manuskryptów, którą można również nazwać epoką bibliotek, nastąpiła przez rewolucyjne przejście mędrców przez szkołę pisania. Wynalazek pisma, datuje się powszechnie na piąty wiek p.n.e., choć są tacy, którzy dopatrują się pierwszych notatek na kościach z górnego pleistocenu około 20000 - 30000 lat p.n.e. Tak, czy inaczej jest to historia na tyle odległa, że dla nas dziś nie ma żadnego znaczenia. Nie jest również ważne, jak długo trwało wprowadzenie nowego wynalazku do systemu gromadzenia wiedzy. W niektórych regionach świata proces ten zakończył się dopiero całkiem niedawno. Ważne jest, że w pewnej chwili nie było już konieczne zapamiętywanie treści opowieści, gdyż można było użyć zestawu znaków na trwałe (lub mniej trwałe, w zależności od potrzeb) kodujących pewne informacje. Tak istotne dla McLuhana rozróżnienie pisma znakowego i alfabetycznego i wynikających stąd podstawowych, jego zdaniem, różnic jakościowych zostawiamy na razie bez komentarza, choć może przy bardziej szczegółowej analizie, do problemu tego trzeba będzie wrócić. Tak, czy inaczej, mędrcy wymarli, ich opowieści zostały spisane tworząc wiedzę wyjściową systemu bibliotecznego. Manuskrypty gromadzone były w bibliotekach, gdzie wiedza zabezpieczona była przed zniekształceniami i zniszczeniem o wiele lepiej niż w głowach mędrców. Najistotniejszą cechą nowej epoki było jednak to, że biblioteki mogły przyjmować bez większych problemów nowo powstającą wiedzę. Ktoś, nazwijmy go uczonym miał szansę dopisać do systemu wiedzy swój własny wkład. Oczywiście system był „zabezpieczony na głupotę” i nie było możliwości dodania do niego czegoś, co nie byłoby rozwinięciem istniejącego stanu wiedzy. Uczony musiał zapoznać się z wiedzą zgromadzoną w systemie i na jej podstawie, najczęściej, jako komentarz, system ten rozszerzał. Z czasem ilość wiedzy rosła i konieczne stało się ze względu

na siły i środki skoncentrować biblioteki w naukowych centrach, gdzie z nauka mogli zapoznawać się uczeni poszukujący odpowiedzi na istotne pytania, jak i czasem chcący coś dodać, niekiedy sensownego, do ogólnoludzkich zasobów.

Edukacja w systemie bibliotecznym wymagała już specjalizacji: należało wykształcić odpowiednią liczbę ludzi potrafiących pisać i czytać. I nie byli to tylko uczeni, ale także skrybowie powielający wiedzę na użytek potrzebujących. Wśród potrzebujących byli przede wszystkim moi tego świata. Dla niektórych z nich być może nawet zgłębianie nauki było czymś ważniejszym niż posiadanie kolekcji zgrabnie zdobionych manuskryptów. Wiedza potrzebna też była i ludziom mniej piśmiennym, dostarczali jej, podobnie, jak to było w epoce mędrców ludzie wybrani posiadający dostęp do wiedzy – tym razem w formie pisanej. Edukacja społeczeństwa odbywała się nadal oralnie. Najwyższe zapotrzebowanie na wiedzę przejawiali, co oczywista uczeni. Ich edukacja była tak naprawdę dopuszczeniem do ksiąg i ewentualnie przybliżaniem ich treści przez osoby, które przeczytały w swym życiu już więcej. Pojawia się nowy parametr charakteryzujący stan zasobów wiedzy w epoce bibliotek. Jest nią ilość wiedzy zdobyta (lub potencjalnie możliwa do zdobycia) przez uczonego. Parametr ten, jak się okaże ma istotne znaczenie dla ilościowego opisu systemu.

Nowe idee przechodziły do systemu nauki powoli. O ile w epoce mędrców nowo wymyślona opowieść zaczyna swe życie natychmiast z chwilą opowiedzenia, o tyle nowo zapisane strony, musiały zostać odczytane, powielone i rozpowszechnione wśród wspólnoty bibliotecznej, globalnej w jakimś sensie, a to musiało trwać. Okres ten obejmuje formułowanie samej idei następujące po etapie poznawania wiedzy istniejącej, pierwotne spisanie samej idei, a następnie dotarcie z manuskryptem do potencjalnych czytelników, w tym, co oczywiście najważniejsze, innych uczonych. Oni dopiero, dokonują ostatecznej akceptacji nowej idei i to od głosu większości z nich zależy, czy nowa idea trafi do zbioru wiedzy ludzkości, czy zginie gdzieś zapomniana i porzucona. Opóźnienie to okaże się kluczowe w późniejszych rozważaniach. W epoce bibliotek czas rozpowszechniania idei można szacować nawet na kilkaset lat.

Galaktyka Gutenberga, czyli epoka słowa drukowanego z naszego punktu widzenia nie różni się jakościowo od wcześniejszej epoki manuskryptów. W tym miejscu mamy kolejną rozbieżność z koncepcją McLuhana. To, co naszym zdaniem przede wszystkim ulega zmianie, to jedynie wspomniane wyżej opóźnienie w proliferacji nowych idei. Książka w postaci drukowanej powielana jest w nakładzie odpowiadającym zapotrzebowaniu. Zmiany psychologiczno społeczne nie muszą pochodzić od medium przekazu, a mogą być efektem zmian środowiskowych związanych z łatwością i szybkością powielania idei. Znaczenie uzyskuje na przykład pozycja Autora, którym, w odniesieniu do interesującej nas problematyki funkcjonowania systemu wiedzy, jest nowoczesny uczonego. Powstawanie nowych idei oparte jest w dalszym ciągu o początkowy proces zapoznania się z istniejącą wiedzą, co coraz częściej zaczyna być dokumentowane stopniami naukowymi gwarantującymi słuszność tak metody, jak i zawartości prac uczonego. Czas

rozpowszechniania w świecie nowych idei jest teraz rzędu dziesiątek lat. Skrócenie to jest głównie skutkiem mnogości powstających niemal natychmiast, jednorazowo, kopii.

Ta pozornie ilościowa tylko różnica prowadzi musi do głębokich zmian jakościowych w społeczeństwie i w końcu doprowadziła do ukształtowania się systemu edukacji, jaki znamy dziś. Wiedza zgromadzona w książkach dostępna jest potencjalnie każdemu. Musi jedynie umieć czytać. Dążenie do powszechnej znajomości sztuki obcowania ze słowem pisanym pojawiło się w czasach rewolucji przemysłowej, jako efekt opóźnionej reakcji na rozwój nauki zapoczątkowany wynalazkiem Gutenberga. Po nauczeniu się czytania (i pisania) ludzie mogli zacząć domagać się poprowadzenia ich przez labirynty światowych bibliotek. Szczęśliwie istniał od początku zespół uczonych, który znał, opracowany na drodze błędów i doświadczeń, przypadkowego błędzenia i systematycznych studiów, kanon wiedzy, w szczególności wiedzy fizycznej. Nauka została usystematyzowana, nazwano jej poszczególne działy. Wiedza ta była znana, lecz ze względu na stopień jej skomplikowania nie była łatwo przyswajalna i zawsze wymagało to czasu, a czasem i wysiłku. Nauka była upraszczana w różnym stopniu dostosowanym do stopnia zaawansowania słuchaczy, mierzonego ilością pochłoniętej dotąd wiedzy, co dokumentowano w rozmaity sposób. Tak ukształtowany system edukacji był z natury liniowy. Każdy zaczynał od zera i miał do przejścia precyzyjnie zdefiniowaną drogę. Mógł ją opuścić w dowolnym momencie zadowolając się mniejszą lub większą ilością zdobytej wiedzy. Na końcu tej drogi leżał punkt, w którym uproszczenia wiedzy kończyły się i dalej były już oryginalne idee zapisane przez uczonych dla innych uczonych. W tym punkcie można było przystąpić do nich i także zostać uczonym.

System ten funkcjonował z powodzeniem w XIX stuleciu, do połowy XX też nie było z nim problemu. Pytanie, czy system taki mógłby istnieć w nieskończoność, jest pytaniem nierozsądnym. Można spytać, jak długo mógł funkcjonować jeszcze. System linearny z kanonem wiedzy prowadzi niestety do sytuacji, gdy pojawiające się nowe elementy nauki z czasem zostają do tego kanonu włączane, co samo w sobie nie jest niczym złym, na tym w końcu polega postęp, ale nagromadzona wiedza staje się już na tyle obszerna, że pojawiają się kłopoty z jednym z parametrów systemu wiedzy, a mianowicie z czasem niezbędnym kandydatowi na uczonego na dojście do etapu, w którym tym uczonym zostanie. W końcu XX wieku niebezpiecznie zbliżyliśmy się do tej granicy.

Na domiar złego nastąpił wtedy ostatni przełom w podziale historii ludzkości wg. McLuhana (z modyfikacjami): wynaleziono internet. Medium to, nieznanne autorowi "Galaktyki Gutenberga", zmieniło rzeczywistość w kilkanaście lat. Zmienił się także system funkcjonowania nauki. A cóż takiego stało się naprawdę? Znowu mamy do czynienia ze zmianą pozornie jedynie ilościową. Przez umożliwienie wymiany myśli poprzez Internet czas rozpowszechniania idei zmniejszył się do praktycznie zera. Każdego dnia w repozytoriach arXiv pojawia się na przykład kilkaset prac naukowych z dziedziny fizyki wysokich energii. Systemy powiadamiania natychmiast wysyłają zainteresowanym naukowcom alerty

o pojawieniu się pracy, która mogłaby ich potencjalnie zainteresować. Nie wszyscy, a najpewniej pomijalna mniejszość tylko przegląda choćby tytuły wszystkich prac (z ich dziedziny). Sytuacja jest nowa. Nikt nie był na nią przygotowany, a tym bardziej system edukacyjny. Ciągłe obracamy się w trybach maszyny, która świetnie się sprawdzała, ale w wieku XIX. W zdecydowanej większości opieramy się na podręcznikach z Galaktyki Gutenberga.

Przyspieszenie epoki informacyjnej, jeśli połączyć je z faktem, że i tak w końcu epoki przedinternetowej byliśmy już bliscy granicy wydolności systemu wiedzy (i edukacji), daje asumpt do podejrzeń, że być może granicę tę właśnie przekraczamy, albo przekroczyliśmy ją niebawem.

Można to oczywiście zanegować i poszukiwać przyczyn dzisiejszego kryzysu nauczania przedmiotów ścisłych gdzie indziej. Przykłady są znane i nie ma sensu omawiać tutaj rozwiązań typu: „należy dać więcej pieniędzy na pomoce naukowe”, „należy podnieść prestiż nauczyciela”, „należy uatrakcyjnić lekcje”, czy wreszcie: „należy zwiększyć ilość lekcji”. Były one już wielokrotnie artykułowane [2] (patrz np. tekst z pierwszorzecznego numeru Polityki z b.r.) i nie doprowadziły do spójnych rozwiązań. Co więcej, nie mogły do takich doprowadzić, co pokaże ilościowa analiza procesu gromadzenia i ewolucji wiedzy, jako takiej. Na otrzymanych wynikach, pewnych i niepodważalnych, można będzie oprzeć się poszukując rozwiązań problemu.

Chcąc przeanalizować problem rozwoju wiedzy (nauki) należy najpierw zdefiniować, co rozumiemy pod tym pojęciem. Jak zauważył E.P Wigner [3], nie jest to łatwe. Istnieją dwie proste definicje aktualnego stanu wiedzy ludzkości: jedna zbyt szeroka, druga zbyt wąska, żadna sama w sobie niezadowolająca, warto je jednak zacytować, gdyż prawda musi leżeć gdzieś po środku.

Pierwsza to zawartość tomów wszystkich dostępnych bibliotek świata. Przyjmując, że przeciętna książka może zostać zapisana w pliku ok. 5 Mb (100 stron po 50 linii po 100 znaków w każdej) Biblioteka Kongresu zawierająca około 30 mln książek jest w posiadaniu ok 150 Tb informacji. Biblioteka Brytyjska z ponad 13 milionami tomów to 75 Tb. Uwzględniając inne biblioteki na świecie i oczywiste powtórzenie (20-50%) daje to mniej więcej 250 Tb (nieskompresowanej) informacji tekstowej [4]. Czytając jedną stronę przez minutę, przeczytanie tego wszystkiego zajęłoby człowiekowi mniej więcej pół miliarda lat. Pół miliarda lat temu na Ziemi kończyła się proterozocna epoka prekambriu i świeżo uwolniony do atmosfery tlen otworzył dopiero co możliwość powstania na Ziemi życia, jakie znamy. Nie było jeszcze nikogo, kto umiałby czytać, jak i niczego do poczytania. Jak będzie wyglądał Świat za pół miliarda lat, trudno odgadnąć. Nie ma pewności, czy nadal ktoś będzie umiał czytać, jak i co do tego, czy będzie ciągle coś do czytania.. Samo posiadanie bibliotek nie oznacza zatem jeszcze niczego, a przynajmniej nie oznacza wszystkiego.

Według wąskiej definicji wiedzą ludzkości powinniśmy nazwać tylko te fragmenty bibliotek, które zostały poznane i znane są aktualnie wszystkim. Coś jest

nasze, kiedy każdy to ma. Oczywiście przy takiej definicji wiedza ludzkości jest niezwykle skromna. Nie jest to dobra definicja.

Może wystarczy zatem, by wiedzą uznać to, co przynajmniej jeden z członków społeczeństwa poznał i co aktualnie wie? I tę propozycję należy odrzucić z prostego powodu: często dwie różne książki zawierają sprzeczne informacje, wykluczające się interpretacje, a więc wiedza ludzkości pełna by była sprzeczności, a jako taka byłaby w dużej części bezwartościowa. Chcielibyśmy bardzo, by było inaczej.

Wigner zaproponował w końcu dość elastyczne podejście do definiowania aktualnego stanu wiedzy. Jest to wszystko, czego członkowie społeczeństwa mogliby dowiedzieć się, gdyby przyszło im to do głowy, przy czym istnieje powszechne przekonanie, pewność nawet, że wszystko to tworzy jeden spójny obraz całości zwanej rzeczywistością.

Definicja ta pasuje do sposobu tworzenia wiedzy opisanego przez nas wcześniej. Miarą tej wiedzy może być zwykła ilość bitów – jak to pokazano na przykładzie wielkich bibliotek. Dla innych celów wygodniejszym może być analizowanie logarytmu tej liczby pod nazwą negentropii. Jeszcze w czasie trwania drugiej wojny światowej Erwin Schrödinger wykładając w Dublin Institute for Advanced Studies w Trinity College [5] zwrócił uwagę na tę wielkość dla życia biologicznego w ogóle. Negentropia liczona z zawartości wiedzy zgodnie z definicją Wignera odgrywać może podobną rolę w odniesieniu do rozwoju cywilizacji. Bardziej szczegółowa analiza tego problemu wykracza jednak poza ramy tego tekstu.

Analizę ilościową problemu zacznijmy od epoki mędrców. Rozwój, a w zasadzie trwanie wiedzy przekazywanej metodą mówiono/słuchaną opisuje się prostym równaniem różniczkowym, opisującym zmianę ilości wiedzy, jako konkurencję dwóch procesów ginięcia (nazwijmy je zapominaniem) i kreacji. Odpowiedni model powinien zapewniać stabilność wiedzy, odporność na chwilowe wahania w górę i w dół. Możemy zaproponować najprostsze rozwiązanie w postaci równania

$$\frac{dN}{dt} = -\xi N + \alpha \beta N^k \quad (1)$$

N oznacza tutaj ilość wiedzy, t czas, $\frac{dN}{dt}$ jest zmianą ilości wiedzy w jednostce czasu, tempem przyrostu (ubytku jeśli ujemny) wiedzy. Po prawej stronie mamy człon ujemny opisujący zapominanie. Określone jest ono za pomocą jednego parametru ξ , który jest zdefiniowany jako odwrotność średniego czasu zaniku konkretnej informacji, gdyby nie istniało nic, co proces ten mogłoby odnowić. W epoce mędrców czas taki jest rzędu czasu życia mędrca. Dla uproszczenia przyjmijmy, że było to 100 lat. Drugi, dodatni człon opisuje przybywanie wiedzy. Parametr α określa liczbę osób zaangażowanych w proces tworzenia wiedzy. W epoce mędrców była to liczba mniej więcej stała. Na grupę rodzinną, plemienną, osadę wreszcie przypadają zapewne niewielu nosiciele wiedzy i możemy przyjąć, że była to wielkość rzędu jednośc. Drugi parametr β jest analogiczny do parametru ξ

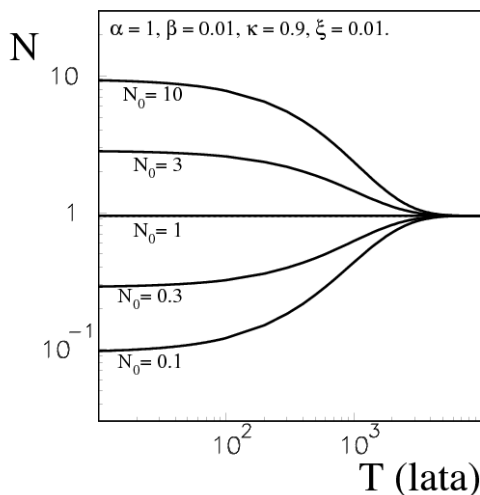
opisującego zapominanie, z tym, że ze znakiem przeciwnym. Jest to średnie tempo tworzenia nowych opowieści. Może być ono zarówno większe od tempa zapominania, jak i od niego mniejsze, nie może to mieć znaczenia dla poprawnie działającego modelu. Możemy przyjąć, że każdy mędrzec dokłada średnio do zasobu wiedzy, jaki przenosi jedną własną opowieść, jedną obserwację, jedno odkrycie, β jest wtedy także rzędu 0.01. Po prawej stronie występuje jeszcze jeden parametr κ . Jest on niezbędny, aby zapewnić stabilność rozwiązania. Gdyby go nie było (czyli dla $\kappa = 1$) w zależności od tego, czy $\alpha \times \beta$ jest większe, czy mniejsze od ξ , wiedza N rosła by szybko do nieskończoności, lub definitywnie zanikała do 0. Wartości $\kappa \neq 1$ zapewniają, że N po jakimś czasie musi osiągnąć poziom stabilności określony przez rozwiązanie równania

$$\frac{dN}{dt} = -\xi N + \alpha \beta N^\kappa = 0 \quad (2)$$

jako

$$N_{stab.} = \left(\frac{\alpha \beta}{\xi} \right)^{\frac{1}{1-\kappa}} \quad (3)$$

Sytuację tę ilustruje Rys.1.



Rys. 1: Ewolucja wiedzy (N) w epoce mędrców dla typowych parametrów dla różnych stanów początkowych. Jak widać niezależnie od wahań stan wiedzy stabilizuje się w dłuższej perspektywie czasowej.

Widać, że, niezależnie od tego, z jakim wahaniem mielibyśmy do czynienia, po jakimś czasie (kilku pokoleń dla tych parametrów modelu) osiąga się ponownie stan stabilny. O ile rola parametru κ pokazana w równaniu (3) i na rysunku, z matematycznego punktu widzenia, jest jasna, o tyle jego interpretacja i sens w świecie realnym wymagają dodatkowego komentarza. Zrozumienie, dlaczego tempo powstawania wiedzy nie jest zwyczajnie proporcjonalne do jej zgromadzonego zasobu, a proporcjonalne „odrobinę słabiej” nie jest oczywiste. Wyjaśnia to model śnieżnej kuli.

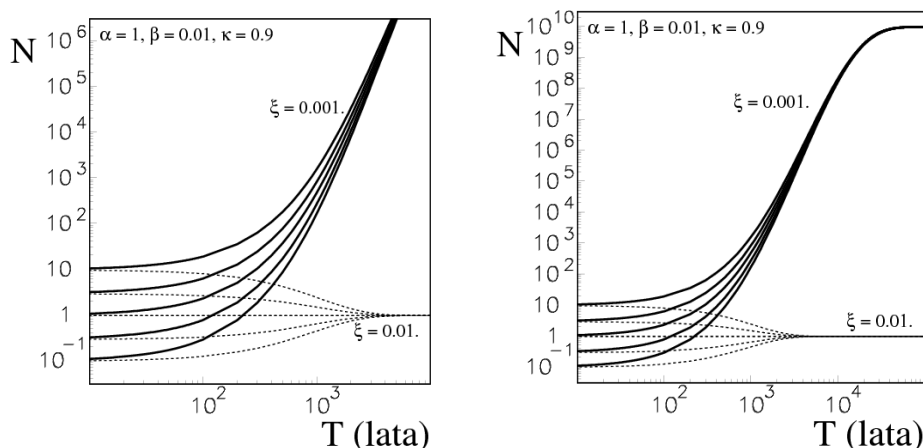


Rys. 2: Schemat wzrostu wiedzy w modelu śnieżnej kuli.

Wyobraźmy sobie jednak wiedzę, jako jakiś zbiór punktów, na przykład figurę na płaszczyźnie. Jak ktoś lubi symetrię, niech będzie to koło. Każdy fragment koła to część wiedzy, ktoś, kto zna całą, a więc mędrzec może starać się dopisać jakiś element do posiadanego zasobu. Element ten zostaje dopisany do brzegu obszaru wiedzy posiadanej. W ten sposób powiększa się tocząca się po śniegu kula (nie ważne, że na końcu stanie się bałwanem). Ilość miejsca na brzegu w stosunku do wielkości, objętości kuli jest z dwóch wymiarów dane jako

$2\pi r \sim V^{1/2}$ ($V = \pi r^2$) w przypadku trójwymiarowej kuli $4\pi r^2 \sim V^{2/3}$ ($V = 4/3 \pi r^3$) i tak dalej. W przypadku wiedzy nie ma sensu ograniczać liczby wymiarów. Jednak jeśli tylko jest on skończony (n), stosunek brzegu do wnętrza definiujący wykładnik κ będzie zawsze prowadził do rezultatu mniejszego od jedności ($\kappa = (n-1)/n$).

Wprowadzenie pierwszej rewolucji naukowej: wynalezienia i zastosowania pisma pozornie nie wymaga istotnych modyfikacji wyjściowego równania (1). Na pierwszy rzut oka mogłoby wydawać się, że jedynym efektem jest zdecydowanie zwiększenie „trwałości” wiedzy i wystarczy jedynie zmniejszyć tempo zapominania wiedzy i model będzie nadal poprawnie opisywał nową sytuację. Czas trwania znaków wrytych w kamieniu, rogu, kości, wyciśniętych w mokrej glinie, namalowanych na ścianie, czy kawałku kory, skóry, w porównaniu ze stałością struktur białkowych zamkniętych w czerepie dość nietrwałym, jest niewątpliwie dłuższy. Jeśli dłuższy jest już choćby dziesięć razy, wpływ członu zapominania staje się zdecydowanie mniejszy. Jest tym mniej istotny im wykładnik κ bliższy jest jedności, co wynika ze wzoru (3). Wartość graniczna jest liczbą większą od 1 podniesioną do bardzo dużej potęgi. Rozwiązaniem prostego równania jest wzrost niemal wykładniczy i szybko dochodzący do absurdu (nieskończoności). Efekty te pokazany jest na Rys. 3.



Rys. 3. Prawie wykładniczy wzrost ilości wiedzy przy zmianie o czynnik 10 szybkości zapominania ξ (lewy rysunek) i osiągnięcie wartości asymptotycznej 10 000 000 razy większej niż dla $\xi = 1/100$ (rysunek prawy). Dla porównaniu pokazano krzywe z Rys. 1.

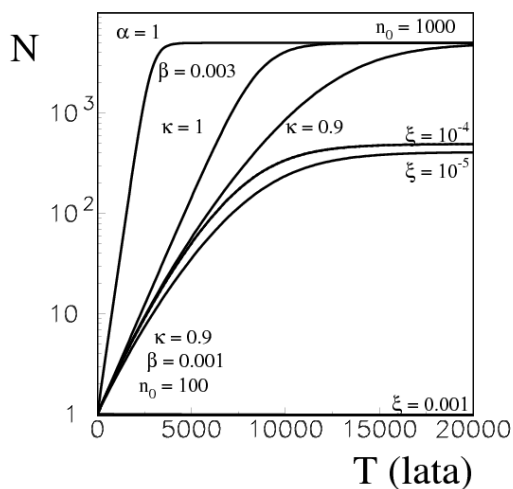
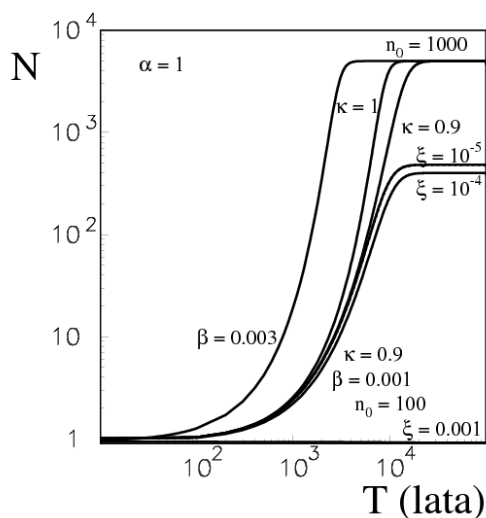
Przy naszej definicji nauki jest oczywistym, że jej objętość musi być ograniczona. Na jakim poziomie musimy się zatrzymać nie jest w tej chwili istotne, ale na pewno musimy uzupełnić wyjściowe równanie o czynnik hamujący, ale najpierw trzeba czynnikiem ten znaleźć w rzeczywistym świecie epoki bibliotek.

Zaproponowany model śnieżnej kuli dla wzrostu wiedzy poza tym, że uzasadnia istnienie mniejszego od jedynki wykładnika sugeruje właściwe rozwiązanie i tego problemu. Jak wspominaliśmy nowa wiedza przybywa, dopisywana jest do kanonu nauki wtedy, gdy "pasuje" do jej istniejącego obrazu. Tym samym, rozsądnym jest przyjąć, że stworzenie nowego elementu wiedzy wymaga zapoznania się z istniejącym jej stanem. Zatem każdy uczony zanim dokona odkrycia musi czas jakiś poświęcić na studia. Model ten z dość dobrym przybliżeniem sprawdza się i dzisiaj i raczej trudno by było przekonać kogokolwiek (poza ambitnymi uczniami młodszych klas), że można zrobić coś naprawdę mądrego nie ucząc się wcześniej niczego. Z drugiej strony każdy uczony ma ograniczony czas na uczenie się. Jeśli czas uczenia się zbliża się do dostępnego mu czasu życia w ogóle, jedynie wyjątkowo długo żyjące jednostki będą mogły tworzyć nową naukę. Oczywiście brzmi to zupełnie nielogicznie, ale niestety, ten właśnie proces z konieczności wyznacza kres możliwości rozwoju nauki (w szczególności danej jej dyscypliny).

Chcąc zapisać to w formie odpowiedniej dla naszych elementarnych rozważań przyjmijmy, że omawiane zależności są najprostszej, liniowej natury. Dodatkowy czynnik, przez jaki pomnożyć należy tempo przyrostu wiedzy zależy liniowo od czasu pozostałego naukowcowi na aktywność twórczą po studiach, a czas ten jest tym mniejszy, im więcej wiedzy jest już do poznania. Zmodyfikowane równanie wygląda teraz tak:

$$\frac{dN}{dt} = -\xi N + \alpha\beta \left(1 - \frac{N}{n_0} \frac{\tau_0}{\tau}\right)_{>0} N^\kappa \approx (\alpha\beta - \xi)N - \left(\frac{\alpha\beta\tau_0}{n_0\tau}\right)N^2 \quad (4)$$

Pojawiły się w nim trzy parametry opisujące dochodzenie do stanu nasycenia: τ_0 – czas niezbędny dla poznania jednej porcji wiedzy, n_0 – wielkość tej porcji, czyli ustawienie wielkości skali na osi pionowej i τ – czasu życia uczonego, średni oczywiście. Trzy te parametry wchodzą do równania (4) jedynie w kombinacji, a więc zastanawianie się nad każdym z nich z osobna w rozważaniach jakościowych nie ma sensu. We wszystkich obliczeniach poniżej przyjęliśmy $\tau_0 = 1$ i $\tau = 100$.



Rys. 4. Rozwój wiedzy w epoce słowa pisanego (w skali logarytmicznej i liniowej).

Jak widać równanie stało się teraz nieliniowe (przyjeliśmy $\kappa=1$) i jego rozwiązania dla różnych wartości parametrów pokazuje Rys. 4. Widoczny jest wzrost w zależności od parametru ξ opisującego zapominanie wiedzy. Widać też zależność od wykładnika κ ,

gdyby był on istotnie różny od 1. Jest ona dość oczywista. Mniejszy wykładnik oznacza wolniejsze narastanie wiedzy, nie obserwuje się jednak żadnych przeciwwskazań dla przyjęcia wartości granicznej równej 1.

Zależność od wartości β jest także oczywista. Parametr ten opisuje stopień aktywności uczonego i im aktywność ta większa, tym szybszy wzrost wiedzy. Dla dużych wartości osiągana jest, jak chcieliśmy, wartość asymptotyczną. Jest ona określona parametrem n_0 (w kombinacji z τ_0 i τ) opisującym pojemność wiedzy możliwą do przyswojenia przez uczonego. Dla większości krzywych na Rysunku 4 przyjęto $\beta = 1/1000$. W epoce mędrców, na rysunkach poprzednich było $\beta = 1/100$. Wydaje się to uzasadnione, gdyż twórczość uczonych w epoce niepiśmiennej musiała być na tyle duża, by zapewnić względną ciągłość wiedzy. W chwili, gdy wiedza była zapisywana, a więc bardziej trwała, zmniejszył się nacisk na kreatywność. W naszych rozważaniach nie jest to parametr krytyczny, gdyż występuje zawsze w iloczynie z parametrem α opisującym ilość osób, zaangażowanych w proces kreacji, który i tak przyjmujemy na razie stały, co nie jest zgodne z wzrostem populacji wraz z rozbudową systemów państwowych w epoce bibliotek. Do tego problemu wrócimy jeszcze.

Analizując szybkość wzrostu przedstawioną na wykresach Rys. 3 i 4 możemy zauważyć, że obraz ten nie jest jeszcze do końca zadowalający. Jeśli za początek epoki piśmiennej przyjmiemy 500 lat p.n.e., nie mówiąc nawet, co by było, gdybyśmy zgodzili się z granicą 20000 lat!), to pod koniec jej trwania, po 2000 lat powinniśmy obserwować niezależnie od przyjętych (w rozsądnych granicach) znaczący, wykładniczy rozrost bibliotek. Być może rzeczywiście pod koniec średniowiecza można by się dopatrzeć czegoś podobnego nie wydaje się jednak by coś podobnego miało miejsce dużo wcześniej, a krzywe wzrostu będące rozwiązaniami równania (4) od samego początku mają charakter wykładniczy. Obserwowany przez stulecia rozrost wiedzy wydaje się bardziej liniowy niż wykładniczy. Aby pojawiło się takie rozwiązanie, musimy wprowadzić jeszcze jedną, ostatnią na razie, modyfikację.

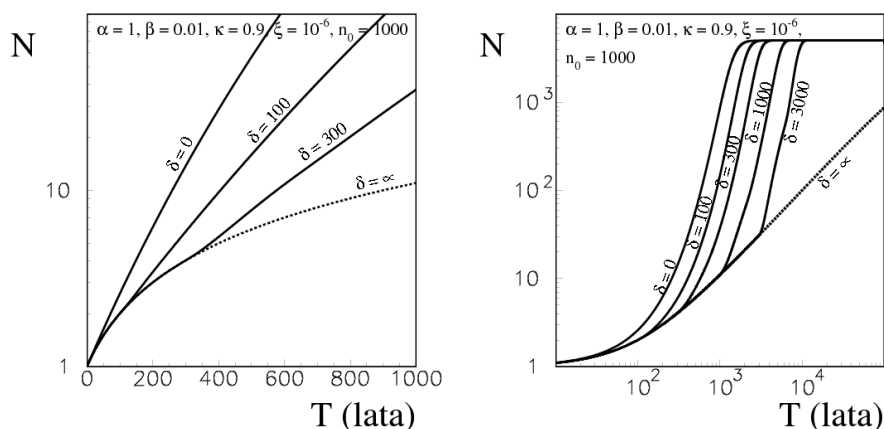
Proces rozprzestrzeniania się wiedzy w epoce mędrców, jak to już powiedzieliśmy, był w zasadzie natychmiastowy. Wymyślona historia, opowiedziana stawała się znana (całej grupie społecznej: grupie rodzinnej, klanowi, grupie plemiennej) niemal natychmiast. Odkrycie naukowe, czy jakkolwiek byśmy to nazwali, „wchodziło w życie” bez zbędnej zwłoki. Sprawa zmieniła się dramatycznie w chwili, gdy cywilizacja przekroczyła ciasne ramy mniej lub bardziej zorganizowanej, ale jednak wciąż grupy, gdy wiedzę trzeba było przetworzyć do postaci znakowej, zakodować i zachować. Wiedza taka wędrowała w postaci kopii, których ruchliwość, także ze względu na wartość, była niewielka, to raczej uczeni musieli podróżować dla nabycia wiedzy, a to musiało trwać, gdyż wszyscy zainteresowani musieli pojawić się i tu i tam, aby dowiedzieć się tego i tamtego. Różnie można oceniać długość procesu rozpowszechniania się wiedzy. Można to najlepiej prześledzić na przykładzie zapoznawania się „świata” z naukami Arystotelesa od końca XI wieku, po ich ponownym odkryciu dla świata łacińskiego, czy rewolucji kopernikańskiej rozpoczętej w 1543 (choć może należałoby zacząć z naszego punktu widzenia od

początku pisania księgi, jakieś czterdzieści lat wcześniej?). Nie był to czas krótki, w drugim przypadku sto lat po Koperniku Galileusz nie mógł jeszcze czuć się pewnie przed sądem Inkwizycji, a Newton napisał „Principia...”, dające jakieś wyjaśnienie sił działających w układach planet kolejne sto lat potem. I trzeba pamiętać przy tym, że los innych odkryć o mniej spektakularnych konsekwencjach, jako mniej znaczących, mógł pleść się zdecydowanie wolniej.

Efekt opóźnienia w rozprzestrzenianiu się nowej wiedzy można uwzględnić wprowadzając kolejny parametr δ . Ma on charakter czasu od zaistnienia nowego odkrycia do pierwszych efektów, jakie może on w systemie wiedzy spowodować.

$$\frac{dN(t)}{dt} = -\zeta N(t) + \alpha \beta \left(1 - \frac{N(t-\delta)}{n_0} \frac{\tau_0}{\tau}\right) (N(t-\delta))^{\kappa} \quad (5)$$

Rozwiązania tego równania pokazuje Rys. 5. Na obu wykresach pokazane są te same zależności w różnych skalach na osi czasu. Rodzina krzywych ciągłych pokazuje wyniki różniące się czasem opóźnienia δ . Asymptotyczna linia przerywana oznacza stały wzrost wiedzy osiągnięty dla nieskończenie długiego czasu δ . W taki przypadku nowo tworzone idee w ogóle nie mają wpływu na tempo przyrostu wiedzy. W pozostałych przypadkach widać, że opóźnienie wpływa nie tylko na fakt odejścia danej krzywej od asymptoty stałego wzrostu, ale i na jej nachylenie, czyli na tempo wzrostu.



Rys. 5 Rozwój wiedzy w epoce słowa pisanego w zależności od tempa proliferacji (czasu opóźnienia) nowych idei. Asymptotyczna linia przerywana oznacza stały wzrost wiedzy. Pozostałe krzywe pokazują przyspieszenie powodowane przyrostem wiedzy asymilowanym po czasie δ .

Wartość wiedzy osiągnięta dla bardzo długiego czasu jest stała, jednak jej ilości nie określa już równanie (2), ale (z grubsza)

$$(\alpha \beta - \zeta) - \left(\frac{\alpha \beta \tau_0}{n_0 \tau}\right) N = 0 \quad (6)$$

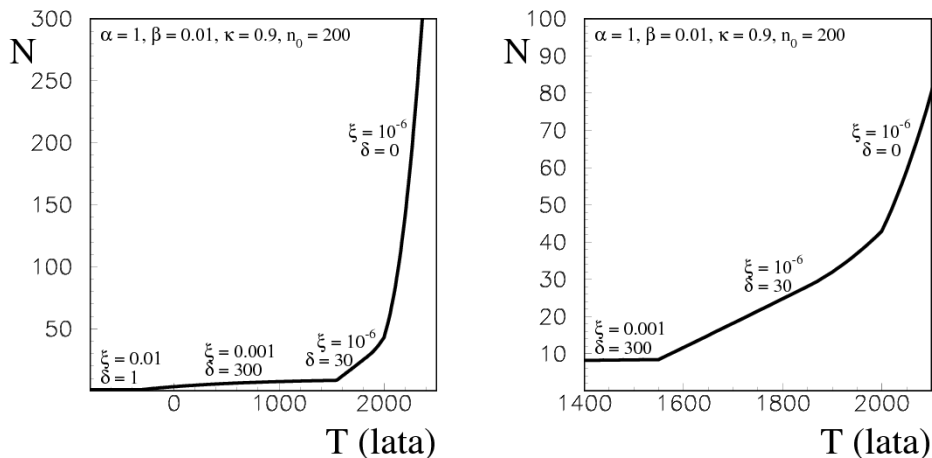
Dysponując kompletnym, wydaje się, równaniem opisującym rozwój wiedzy możemy pokusić się o zastosowanie go szczególnym przypadkiem ludzkości jako takiej. Wartości parametrów, jakie określają wymienione na początku wszystkie cztery epoki zebrane są w Tabeli I.

Tabela I. Wartości parametrów modelu w poszczególnych epokach.

epoka	lata	α	β	δ	κ	N_0	ζ
mędrców	- 500 p.n.e	1	.01	1	0.9	200	0.01
bibliotek	500 p.n.e.- 1550 n.e	1	.01	300	0.9	200	0.001
Gutenberg	1550 - 2000	1	.01	30	0.9	200	0.000001
dziś	2000 -	1	.01	0	0.9	200	0.000001

Wprowadzenie książek drukowanych dziesięciokrotnie przyspieszyło obieg informacji i jednocześnie spowodowało, że raz wydana książka praktycznie na zawsze trafiała do obiegu, a przynajmniej trwała w nim, dopóki ktokolwiek chciał ją czytać. Epoka dzisiejsza, epoka internetu sprowadziła czas proliferacji wiedzy praktycznie do zera. Zmiany te omówione zostały bardziej szczegółowo na wstępie. Wartości zaproponowane w Tabeli I nie są precyzyjnie dobrane, a raczej są jedynie wartościami wydającymi się rozsądnie zbliżyć do prawdy. Na tyle przynajmniej, aby otrzymane rozwiązanie można było porównać z obserwacjami rzeczywistego rozwoju nauki na przestrzeni wieków. Wartość parametru α dyskutowana będzie za chwilę. Na razie ustalono jego wartość na 1 we wszystkich epokach, czyli prezentowany wynik można interpretować, jako wiedzę przypadającą z grubsza "na głowę" ludności.

Wyniki rozwiązania równania (5) dla podanych parametrów pokazuje Rys. 6.



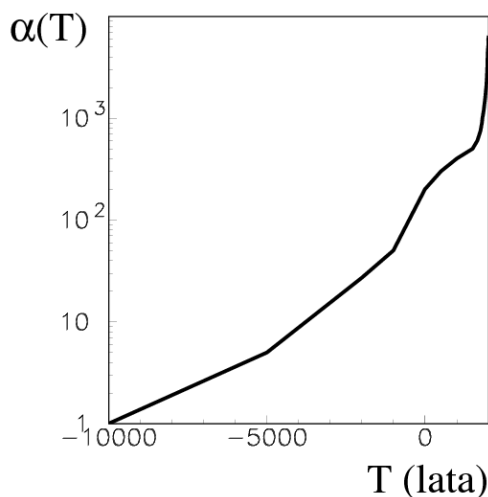
Rys. 6 Historia wiedzy ludzkości we wszystkich czterech epokach dla wybranych, rozsądnych wartości parametrów. Rysunek z prawej jest powiększeniem fragmentu XV-XXI wiek.

Oś pozioma na Rys. 6 dopasowana została do codziennej rachuby czasu.

Jak widać na lewym rysunku wynalezienie pisma nie wprowadziło znaczących rewolucji, wynalazek Gutenberga zaowocował rewolucją naukową i naukowo techniczną widoczną, jako szybki, ale z grubsza jeszcze liniowy niemal, wzrost w XVII wieku, widoczny wyraźnie na rysunku prawym.

To, co jest z naszego punktu widzenia najciekawsze to początek epoki dzisiejszej (i przyszłej) zapoczątkowany na przełomie tysiącleci gwałtownym przyspieszeniem obiegu informacji.

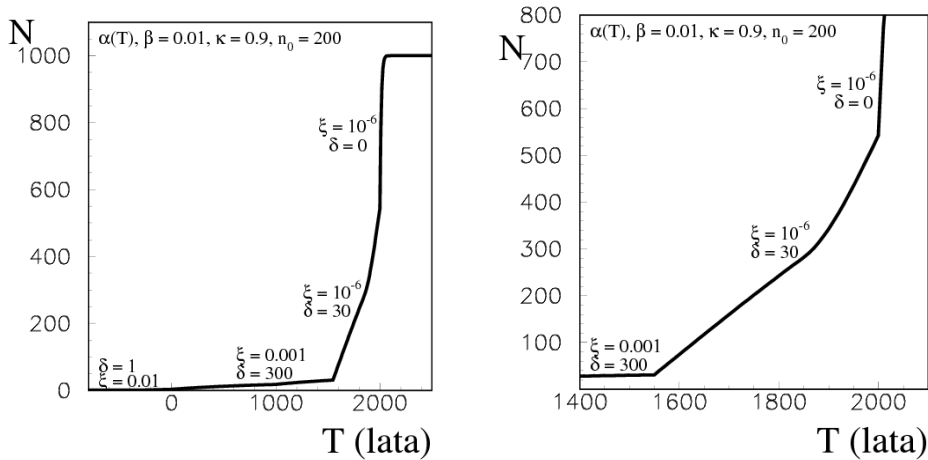
Pozostała jeszcze jedna modyfikacja modelu, a właściwie lepsze dopasowanie wartości parametru α . Jak było powiedziane, jest on związany z ilością osób zaangażowanych w działalność intelektualną w danej grupie społecznej, czyli z grubsza z ilością ludzi na „świecie”, przy czym słowo „świat” rozumieć należy, jako świat dostępny przeciętnemu indywiduum, w szczególności uczonemu. Możemy dość precyzyjnie oszacować wzrost liczebności populacji na przestrzeni dziejów. Przedstawiony jest on na Rys. 7.



Rys. 7. Liczebność populacji Europy (w milionach) na przestrzeni dziejów [6].

Wprowadzając wartość parametru α proporcjonalną do liczebności Europy otrzymujemy w wyniku ostateczny obraz ewolucji nauki od czasów najdawniejszych z ekstrapolacją na najbliższą przyszłość. Pokazany jest on na Rys. 8.

Widać na nim eksplozję epoki internetowej w całej pełni. Osiągnięcie stanu nasycenia następuje po mniej więcej 30 latach. Oczywiście wartości właściwie dobranych parametrów mogą zmienić ten czas, tym nie mniej faktem jest, że niezależnie, jak by się temu nie przyglądać, właśnie teraz zbliżamy się najpewniej do tej smutnej chwili, choć możliwe, że już nas niepostrzeżenie minęła.



Rys. 8 Historia wiedzy ludzkości we wszystkich czterech epokach z uwzględnieniem wzrostu demograficznego z Rys.7. Rysunek z prawej jest powiększeniem fragmentu XV-XXI wiek.

Pozornie wydawać by się mogło, że osiągnięcie stagnacji, ustabilizowania się wartości N powinno być zauważone i wywołać natychmiastową kontrakcję, lub choćby zdziwienie. Tak jednak nie jest. Pamiętajmy, że cały czas rozpatrujemy wzrost wiedzy w obrębie jednej dziedziny, w obszarze tez stwierdzeń i teorii powiązanych ze sobą i tworzących spójny obraz. Górne ograniczenie wzięło się stąd, że, aby posunąć się dalej, trzeba zapoznać się z tak wielką ilością informacji, że życia na to po prostu nie starcza. W takiej sytuacji i nieco wcześniej oczywiście, pojawiać się muszą koncepcje oparte na częściowej znajomości stanu wiedzy w danej dziedzinie. Są one, jeśli nie w oczywisty sposób błędne, nonsensowne, nietrafione, banalne itp., to na pewno niezależne od jakichś obszarów wiedzy zgromadzonej dotychczas. Jeśli z czasem powstaną inne idee oparte na tej nowej koncepcji i rozpocznie się budowanie wokół nich systemu wiedzy częściowo tylko wspólnego z kanonem wcześniejszym, powstanie nowa dyscyplina nauki, zacznie się ona rozbudowywać i rozrastać w taki sam sposób, jak do niedawna rozszerzała się dziedzina macierzysta. Jako początkowo mniej bogata, skromniejsza, daje ona pole do popisu uczonym zapełniającym to nowe pole z braku szansy na zasianie czegoś na starym. Wzrost nowej dziedziny następuje zgodnie z ogólnym równaniem (5) i parametrami właściwymi dla danej epoki. Jednocześnie nic nie ogranicza powoływania do życia, pączkowania ze starych, rozrosłych do granic systemów wciąż nowych dyscyplin i specjalności. Wszystkie one rozwijają się z grubsza tak samo szybko. Ewentualne różnice brać się mogą z różnic w parametrze α określającym społeczną atrakcyjność, „naukową” modę na daną dyscyplinę. Obszary bardziej modne rozwijają się szybciej.

Analiza ilościowa tego procesu doprowadzi do równania identycznego, co do głównej idei z równaniem (5), w którym wielkość N oznaczać już będzie nie

całkowitą ilość informacji, wiedzy dostępnej, a liczbę istniejących dyscyplin naukowych. Inna oczywiście będzie także interpretacja parametrów takiego modelu. Rozwiązania będą podobne do tych zaprezentowanych wyżej. Ilość dyscyplin rosnąć będzie lawinowo i nic dobrego z tego najpewniej nie wyniknie.

Proces fragmentowania systemu wiedzy na dyscypliny znacząco rozłączne, nie jest czymś nowym. Nauka o przyrodzie nieożywionej jej zmianach i istocie tych zmian, czyli wszystko, co dziś określamy z grubsza, jako nauki ścisłe zawierało się w starożytnej fizyce. Dziś mamy i astronomię, i chemię, meteorologię i biologię i nikt się temu nie dziwi. Podział taki, co jest oczywiste i wynika bezpośrednio z opisanego sposobu powstawania nowych dyscyplin prowadzi do specjalizacji. Trudno jest dziś znaleźć wspólny język botanikowi i astrofizykowi jądrowemu. Wspólne w tych dyscyplinach jest tak niewiele, że najnowsze osiągnięcia w obu wzajemnie są sobie obce i zupełnie od siebie niezależne. Proces fragmentacji nauki rozpędza się na tyle, że w obrębie na przykład samej fizyki specjalista od optyki kwantowej nie bardzo może podyskutować o swojej pracy z kosmologiem, jeśli zamierzają przejść do szczegółów. Panowie Kao, Boyle i Smith, którzy dostali nagrodę Nobla z fizyki w roku 2009 być może zrozumieliby doniosłość prac laureatów z tego roku, Geima i Novoselova, ale niewielu ludzi potrafiłoby chyba wyjaśnić, za co tak naprawdę wszyscy ci panowie zostali nagrodzeni. Dyscypliny, dziedziny specjalizacje współczesnej fizyki są już od siebie niezwykle odległe i przykłady można by mnożyć. Wszystko wskazuje na to, że weszliśmy już proces lawinowego wzrostu specjalizacji.

Rozważanie, czym ten proces się zakończy, jeśli w ogóle zakończy się jakoś, nie jest celem tych rozważań. Chcielibyśmy zadać pytanie, czy opisany wyżej stan i perspektywy jego dalszego rozwoju wpływają na system edukacji. A ponieważ odpowiedź jest dość oczywista, rozwińmy to pytanie: jaki jest ten wpływ i jak sobie z tym wszystkim poradzić.

System nauczania ma przygotowywać młodych ludzi do poruszania się w rzeczywistości możliwie sprawnie i bezkolizyjnie. Możemy przyjąć też ambitne założenie, że chcielibyśmy, aby z czasem świat stawał się coraz bardziej przyjazny. Aby taki był, dobrze byłoby go zrozumieć, a potem, w miarę możliwości, ulepszyć. Próby ulepszenia bez zrozumienia, albo i wbrew, prowadziły w historii do przykrych konsekwencji. Przyjmując takie postulaty dochodzimy do wniosku, że młodym ludziom należy przekazać wiedzę, jaką posiadamy, jaka istnieje w danej chwili, gdyż to wiedza, czyli rozum, używając nieprecyzyjnej terminologii, pozwala pojąć to, co nas otacza. Czasy, kiedy można było nauczyć kogoś wszystkiego, nim zestarzeje się za bardzo, aby tę wiedzę wykorzystać minęły definitywnie bardzo dawno temu. Wtedy to zapewne wymyślono, że wiedzę z jakiejś konkretnej dziedziny należy po pierwsze uporządkować. W tamtych czasach dyscyplin nauki było zaledwie kilka, a kilka to liczba rzędu 1, więc nie ma znaczenia, czy mówimy o nauczaniu tylko fizyki, czy nauk ścisłych w całości. Nauki po usystematyzowaniu ująć trzeba systematycznie i całościowo i spisać te podstawy w formie

podręczników obejmujących w sumie każdy dział, opisujących go od podstaw i rozwijających się ku coraz bardziej szczegółowym rozważaniom, przy czym kres szczegółowości zależałby od potrzeb przede wszystkim. Następnie tak stworzone podręczniki należy przycinać od góry, aż osiągną założoną z góry objętość, przy czym przycinanie to należy przeprowadzać równomiernie, aby na każdym etapie wszystkie istotne działy reprezentowały zbliżony poziom szczegółowości. Zadana objętość mierzona była ilością godzin nauczania z uwzględnieniem wieku i predyspozycji podmiotu uczonego. Tak przykrojone podręczniki przystosowane były do schematu nauczania wszystkiego i spełniały kryterium równości i powszechności. Uczeń mógł w określonych momentach przerwać proces edukacji i zostawał wtedy z wiedzą właściwą etapowi, jaki ukończył. Najwytrwalsi osiągaliby status uczonego i specjalisty w danej dziedzinie, stopnie i tytuły akademickie. Z założenia znalazłby oni daną dyscyplinę nauki. Założenie to sprawdzało się nieźle jeszcze sto lat temu, dziś jednak powiedzieliby tak chyba tylko skrajni optymiści.

Zgodnie z analizą procesu powiększania się zasobów nauki, wraz z powstawaniem na naszych oczach wielkiej liczby nowych specjalności i dyscyplin, system taki załamuje się. Powód jest prosty: stworzony na początku schemat nie jest już wystarczający. Nie może on obejmować wszystkiego (Wszystkiego), co zostało wymyślone i jest istotne z punktu widzenia wiedzy całej ludzkości. Wśród kilku tego powodów najistotniejszym jest ten, że nikt tego (Wszystkiego) nie wie. Nikt nie zna Całości wiedzy zawartej w istniejących dyscyplinach fizycznych, a jeśli nawet dziś istnieje ktoś taki jeszcze, to już za bardzo krótki czas przestanie istnieć. Można powoływać ciała kolegialne. I tak się próbuje robić. Mogą one wytworzyć pewien schemat, ale będzie on kompilacją i kompromisem, a więc z natury będzie czymś innym, niż miał być i niż być powinien. Kanon stworzony w taki sposób po wypełnieniu staje się na tyle obszerny, że uległszy opisanej redukcji dostosowanej do ucznia przestaje zawierać cokolwiek poza nieistotnym zestawem arbitralnych pojęć podstawowych i reguł, których prawdziwe poznanie, jeśli jest w ogóle możliwe, zajść może dopiero na którymś z dalszych etapów edukacji, po poznaniu się z mnóstwem pojęć i reguł.

Wyjściem z tej sytuacji jest odrzucenie dogmatu powszechnego nauczania (fizyki).

Odrzucenie starego schematu powoduje, że zbędny staje się kanon: usystematyzowany zbiór poglądów na Wszystko. Nie ma potrzeby, by każdy wiedział cokolwiek na każdy temat. Lepiej jest by wiedział coś na niektóre, istotne tematy. Problemem staje się wybór treści, jakich nauczać należy. Ponieważ nie można nauczyć wszystkiego, co obiektywnie jest ważne, choć w większości niepotrzebne (w wąskim, utylitarnym sensie), sensownym jest wybór ten maksymalnie zindywidualizować. Nie jest prawdą, że młodych ludzi wszędzie i zawsze interesuje to samo. Nawet, jeśli nie dotyczy to mody, czy muzyki, zmienność zainteresowań jest oczywista. Aby móc reagować na zapotrzebowanie społeczne w tym względzie, nauczyciel musi być do tego odpowiednio przygotowany. Rola nauczyciela w proponowanym modelu niewątpliwie wzrasta. Po pierwsze musi być posiadać wiedzę bardzo szeroką, solidnie ugruntowaną i

przetworzoną, przygotowaną do podania potrzebującym. Po drugie musi on posiadać meta-wiedzę o tym, co jest ważne i jak dokonywać selekcji treści, aby zachować spójny obraz rzeczywistości fizycznej. Zarówno pierwszy, jak i drugi aspekt tego przygotowania nie jest obecny w systemie dzisiejszego nauczania według schematu dziewiętnastowiecznego. Nie było w nim na nie miejsca po prostu. Stworzenie nauczycieli gotowych do pracy w nowej rzeczywistości jest procesem trudnym, wymagającym zasadniczej zmiany modelu, wydaje się jednak, że po opanowaniu metody, samo nauczanie i doskonalenie umiejętności już nabytych, nie będzie procesem bolesnym i specjalnie długotrwałym, a wręcz przeciwnie, może uczynić zawód nauczyciela (fizyki) znacznie ciekawszym, a na pewno bardziej twórczym.

Odrzucenie dzisiejszej powszechności kształcenia i zastąpienie starego systemu zarysowanym powyżej, spowoduje, szczególnie w okresie przejściowym brak tak zwanych „specjalistów”, czyli tych, którzy chcieliby, lub wręcz muszą wybierając określony zawód, dysponować wiedzą fizyczną definiowaną wedle dzisiejszych standardów. Zapotrzebowanie na takie zawody będzie zmniejszać się w dłuższej perspektywie czasu, jednak najpewniej zawsze musiała będzie istnieć grupa ludzi, którzy po zdobyciu ogólnego wykształcenia, także w dziedzinach nauk ścisłych, wg przedstawionego wyżej schematu. Wybiorą oni drogę kariery zawodowej wymagającą określonych umiejętności w posługiwaniu się aparatem ścisłych nauk przyrodniczych. Będą oni musieli przejść kurs fizyki zbliżony do tego, jaki dziś jest zalecany, jako na przykład matura na poziomie rozszerzonym. Oczywiście treści takiego nauczania powinny być zawężone po to, aby zdobyta wiedza reprezentowała jakiś poziom. Musi istnieć możliwość eliminacji, bądź włączania do programu całych bloków tematycznych istotnych z tych, czy innych względów. Pozostawienie realizacji takich wyborów nauczycielowi i na tym etapie podnosi zdecydowanie znaczenie jego i prestiż. Ponieważ ta droga kształcenia najbardziej przypomina system obecny, będzie ona najprostsza do wprowadzenia. Wymagać będzie jedynie przebudowy systemu bazy programowej i związanych z tym zmian w treściach poszczególnych bloków.

Trzecia droga kształcenia dotyczy tych, którzy zamierzają w swoim życiu zostać „uczonymi” w rozumieniu rozważań z początku tego tekstu. Dziś nazwać by ich należało naukowcami. Ludzie ci w przyszłości będą próbować zwiększyć zasób wiedzy ludzkości, będą próbować poznać niepoznane i niezbadane. W tym celu potrzebny jest im niewątpliwie wyraźny obraz całości, jak ten przygotowany dla każdego, jednak musi on zostać znacznie pogłębiony. Wiedza, jeśli to możliwe podana być powinna na głębszym poziomie zrozumienia, z tym, że nie należy przesadzać, szczególnie z formalnym ujęciem nauczanych treści. Nie zawsze jest to możliwe, ale należy próbować. Droga ta, jest rozdzielna z opisaną wyżej drogą drugą przewidzianą dla specjalistów nauk stosowanych. Przyszły uczyony może, ale nie musi umieć rozwiązywać problemy stawiane w dzisiejszych standardowych zbiorach zadań. Oczywiście nie jest prawdą, że nie musi on uczyć się rozwiązywania problemów, ale chodzi przede wszystkim o innego typu problemy. Metodologia fizyki, jako nauki poszukującej odpowiedzi, ale i pytań, na które

odpowiedzi nikt nie zna, jest czymś jakościowo różnym od poszukiwania rozwiązań problemów standardowych. Ktoś, kto wybrał tę drogę powinien zapoznać się z tą właśnie metodologią. Nie uczy się tego w dzisiejszej szkole. Najlepsi uczniowie potrafią rozwiązywać skomplikowane zadania ułożone złośliwie przez fachowców od wymyślania zadań, podczas, gdy zadania do rozwiązania, jakie stawia nam rzeczywistość rzadko są złośliwe, choć bywają trudne i wcale nie muszą być typowe. System kształcenia tego typu młodzieży praktycznie dziś nie istnieje. Działania z tak zwaną młodzieżą szczególnie uzdolnioną mają charakter wyrwykowy i często akcyjny. Z czasem można spodziewać się wzrostu nacisku na tę drogę kształcenia i dziś już pora najwyższa zastanowić się, jak przekazać młodym ludziom wiedzę niezbędną do tworzenia nowych wartości (naukowych). Najprościej jest „wziąć na przeczekanie”, póki co napychać umysły głodne wszelkiej wiedzy umiejętnościami nieprzydatnymi w większości do niczego, abstrakcyjnym aparatem matematycznym, który być może okaże się kiedyś przydatny i czekać, aż wyjdą ze szkoły, by popaść w kolejny schemat wyższej uczelni, które coraz bardziej dopasowują się do modelu szkolnego dnia dzisiejszego. Zepchnięcie odpowiedzialności za nauczanie młodzieży szczególnie zdolnej na wyższe uczelnie powoduje straty, które mogą być w wielu przypadkach nie do odrobienia. Umysły najbardziej chłonne i elastyczne przechodzą przez fazę uniformizacji ze szkodą dla kreatywności i rozwoju potencjalnych, ukrytych możliwości. Z drugiej strony trudne jest zorganizowanie zajęć na poziomie odpowiednim dla najambitniejszych w oparciu o szkołę jedynie i o jej skromne możliwości. Trzecia droga musi być realizowana wspólnie z wyższymi uczelniami, lub innymi placówkami, gdzie istnieje potencjalna choćby możliwość zetknięcia się z nauką *in statu nascendi*. Ucząc się tworzenia nowych wartości, metod posługiwania się współczesnymi narzędziami nie tylko intelektualnymi, ale i oprzyrządowaniem zbliżonym do współczesnego, młodzież musi wyjść ze szkół, gdyż nie sposób nawet pomyśleć o stworzeniu w każdej szkole nowoczesnych laboratoriów z rozmaitych dziedzin choćby tylko fizyki. Jest to zresztą niecelowe. Inna możliwość to odwiedzanie laboratoriów uniwersyteckich. W ten sposób spełni się postulat nowoczesności i bezpośredniego dostępu, ale automatycznie wprowadzi się element niepożądaną selekcji ze względu na odległość od miejsca zamieszkania do wiodących centrów naukowych. Trudno ograniczenie to ominąć, a tym samym nie można na nim oprzeć trzeciej drogi w edukacji. Jedynym wyjściem wydaje się tworzenie w ośrodkach uniwersyteckich, przy dużych laboratoriach naukowych również mniejszych laboratoriów edukacyjnych o zdalnym on-line dostępie internetowym. Korzystając z nowych technologii informatycznych młodzi ludzie z dowolnego miejsca mogą prowadzić lekcje, a w istocie badania w poszukiwaniu rozwiązań szczegółowych interesujących je problemów nieograniczeni lokalnymi możliwościami aparaturowymi, korzystając z bazy, a także pomocy uczonych z ośrodków akademickich.

Przed nauczyciel na trzeciej drodze nauczania stoją jeszcze bardziej wymagające zadania. Musi on być przewodnikiem dla młodzieży w ich poszukiwaniach, elementem pośrednim pomiędzy nimi, a ośrodkami

udostępniającymi internetowe laboratoria, musi wiedzieć, jak rozwiązuje się problemy. Z drugiej strony nie jest od niego wymagana szczególna wiedza fizyczna, o tę zawsze można zapytać, jeśli wie się tylko jak i kogo. Z czasem uczniowie sami nauczą się zadawać właściwe pytania, jednak to właśnie nauczyciel powinien pokazać im, jak się to robi. Nauczyciel na tym etapie powinien koordynować pracę uczniów, proponować kierunki poszukiwań. Stopień jego aktywności zależy musi oczywiście od grupy, z jaką pracuje. Grupy te nie będą, bo nie mogą być liczne. Niezależnie od tego, jak będziemy definiować „uczniów o szczególnych uzdolnieniach” w kierunkach fizycznych, nie należy spodziewać się, aby stanowili oni dużo więcej niż promil ogółu populacji. Zorganizowanie lekcji dla tak małej grupy jest pewnym problemem, jednak z tego samego powodu grupami takimi będą mogli opiekować się nauczyciele o szczególnych predyspozycjach, umiejętnościach i wyszkoleniu do takiej właśnie pracy z młodzieżą.

Włączenie się wyższych uczelni w proces nauczania na etapie przedakademickim wydaje się szczególnie cenne z kilku powodów. Po pierwsze uczelnie mogą udostępnić internetowo część swojego unikalnego wyposażenia, dysponują kadrą zdolną i potencjalnie gotową udzielić merytorycznej pomocy w rozwiązywaniu złożonych problemów, jakie mogą się pojawić w trakcie zajęć, mogą wreszcie pomóc w kształceniu kadry pedagogicznej. Z drugiej strony uczelniom powinno zależeć na wyłowieniu jednostek zainteresowanych nauką, potencjalnie wybitnych, którzy stanowiąc będą o ich rozwoju w przyszłości.

Opisany wyżej system "trzech dróg" może wprowadzić społeczeństwo XXI wieku w świat współczesnej nauki (ściślej). Zapewnia on wszystkim obraz racjonalnej rzeczywistości dając podstawy do naukowego oglądu świata fizycznego i rozumienia działających w nim praw. Umożliwia rozwój w kierunkach technicznych i pokrewnych pozwalając wprowadzić zdecydowanych na ten rodzaj kariery na ścieżkę kształcenia kwalifikowanych kadr w dziedzinach wyrafinowanych, nowych technologii o umiejętnościach wymagających szczegółowej wiedzy (ściślej). Daje on także możliwości rozwoju potencjalnych twórców nauki (ściślej) pozwalając im podjąć próbę zmierzenia się z wyzwaniami nauki możliwie wcześnie.

W porównaniu z systemem XIX wiecznym obowiązującym w ogólnych zarysach dziś jeszcze zwiększa się bardzo rola nauczyciela w procesie edukacji. Nauczyciel staje się twórcą realizowanego przez siebie programu nauczania, a zatem musi być do tego odpowiednio przygotowany, co oznacza, że należy zmienić system kształcenia nauczycieli. Nie może to być już student fizyki, który napisał pracę magisterską z badania dynamiki molekuł w komorach zeolitów metodami relaksacji magnetycznego rezonansu deutronów, czy struktury neutrono-nadmiarowych jąder w obszarze podwójnie-magicznego ^{208}Pb [prawdziwe tematy proponowane na rok akademicki 2010/11 w IFJ PAN] po przerobieniu bloku przedmiotów pedagogicznych. Przy prowadzeniu uczniów pierwszą z dróg, a więc istotne dla wszystkich uczestników procesu edukacji nie jest mu potrzebna szczegółowa wiedza w jednym bardzo specjalnym fragmencie wiedzy fizycznej. Nauczycielowi

wszystkich potrzebna jest szeroka wiedza ogólna i powinien ją zdobywać na studiach w specjalności edukacji fizycznej równej w prawach i praktyce specjalnościom takim jak fizyka teoretyczna, medyczna, ciała stałego, czy wysokich energii wraz z odpowiednim programem nauczania. Program ten musi też umożliwić zdobycie kwalifikacji nauczycielom, którym przyjdzie pracować z młodzieżą zainteresowaną i szczególnie zainteresowaną fizyką na drogach drugiej i trzeciej. Tu także zbędna, a może nawet i szkodliwa jest wąska specjalizacja. Skuteczne opanowanie podstaw fizyki jest niezbędne do właściwego szkolenia przyszłych fachowców na przykład politechnicznych, chemicznych, a nawet fizycznych, także w specjalności nauczycielskiej. Studia dla nauczyciela drogi trzeciej są najbardziej dyskusyjne, gdyż z jednej strony wąska specjalizacja powodowałaby łatwiejsze kierowanie uczniami, gdyby mieli oni podążać w tym samym kierunku. Należy jednak założyć, że z zasady tak nie będzie. Specjalistami na trzeciej drodze mają być pracownicy naukowcy uczelni i to ich zadaniem jest dostarczanie także nauczycielowi niezbędnej wiedzy w temacie, jaki mają do zaoferowania. Zamiast tego nauczyciel powinien opanować sztukę planowania i przeprowadzania doświadczeń, dokonywania obserwacji, analizy wyników i wyciągania wniosków. Umiejętności te są niezwykle ważne i to nie tylko w fizyce, a ich brak prowadzi czasem do przykrych nieporozumień, szczególnie, jeśli chodzi o analizę statystyczną i rozumienie statystyki w ogóle.

Wymagania w stosunku do nauczycieli w proponowanym systemie są wysokie i złożone, wydaje się jednak, że są one możliwe do zamknięcia w spójny system kształcenia. Nie jest to zadanie łatwe, ale jest to zadanie do wykonania konieczne, gdyż tylko właściwie wykształceni nauczyciele są w stanie bezboleśnie wyprowadzić fizykę i przedmioty ścisłe z kryzysu, w jakim się niewątpliwie i zupełnie obiektywnie znajdują, jak to zostało pokazane.

Bibliografia

- 1 M. McLuhan, *The Gutenberg Galaxy*, Univ. Toronto Press (1962).
- 2 M. Żylińska, *Polityka*, wrzesień 2010; także *XIX Jesienna Szkoła Problemy Dydaktyki Fizyki*, Krośnice 2010.
- 3 E. P. Wiegner, *Proceedings of the American Philosophical Society*, Vol.94, No.5 October, (1950).
- 4 <http://www.bl.uk/about/annual/2004to2005/pdf/statistics.pdf> .
- 5 E. Schrödinger, *What is Life? The Physical Aspect of the Living Cell*, Dublin, (1943); http://whatislife.stanford.edu/Homepage/LoCo_files/What-is-Life.pdf
- 6 V. Aubuchon wg US Department of Commerce i in. <http://www.vaughns-1-pagers.com/history/world-population-growth.htm> (2004)