

10.7 Czy istnieją granice poznania

Tekst przygotowany dla „Edukacji filozoficznej”

Koniec nauki? Na razie nam nie grozi!

Prof. Michał Tempczyk, kolega fizyk a przy tym filozof przyrody, stawia w numerze 50 EF istotne pytanie „Czy istnieje granica rozwoju nauki?” [1]. Czy w niedalekiej przyszłości osiągniemy wiedzę kompletną tak, że dalsze poznanie nie będzie konieczne i/lub możliwe? Pytanie pojawiło się w książce J. Horgana „Koniec nauki” [2] tłumaczonej przez prof. Tempczyka. Autor, dziennikarz Scientific American, w oparciu o wywiady z naukowcami z różnych dziedzin wywnioskował o końcu nauki. Horgan wyciąga wniosek z widocznego (ale właściwszym słowem byłoby *apparent*, czyli pozornego) stanu stagnacji, w jakim znalazły się nauki przyrodnicze wobec wielu nierozwiązanych zagadnień. Również prof. Tempczyk reasumuje swój tekst stwierdzeniem: „- Teza o zbliżającym się końcu nauki jest coraz bardziej uzasadniona”.

Pęknięć w strukturze współczesnej nauki jest wiele. Jednym z zagadnień jest na przykład teoria ewolucji. Świętowana niedawno rocznica darwinizmu nie odpowiada na wiele podstawowych zagadek, jak choćby przeżywalność form pośrednich (słonia ze *średnią*, nie długą ale i nie krótką trąbą), zagadnienie zbieżnej ko-ewolucji organów komplementarnych, czy choćby zbyt szybkie tempo ewolucji całości życia biologicznego, w porównaniu z wiekiem Ziemi i znanymi częstotliwościami powstania mutacji.

Przeświadczenie o końcu nauki było również powszechne pod koniec XIX stulecia, w mechanicystycznej filozofii Macha czy w głosach fizyków, że dalszego rozwoju można oczekiwać w postaci poprawiania kolejnych cyfr po przecinku w dobrze już poznanych wielkościach. Przewrót w postaci hipotezy kwantów Plancka a następnie mechaniki relatywistycznej wskazały jak dalece były to prognozy bezprzedmiotowe.

Czym sytuacja obecna, na przełomie tysiącleci przypomina tę sprzed stu lat? Podobnie jak wówczas, wiele z istniejących paradygmatów napotkało na granicę *fizyczną* rozwoju. Jednocześnie, podobnie jak pod koniec XIX wieku wiele wyników doświadczalnych pojawiło się zupełnie nieoczekiwanie i nie bardzo potrafimy je wyjaśnić.

1. Mechanika kwantowa pozwala dziś, prawie sto lat po jej powstaniu, nie tylko na wyjaśnianie ale i na *projektowanie* mikroświata. Na czym to projektowanie polega? Otóż, zamiast próbować setki leków, tak jak to było w przypadku antybiotyków, możemy strukturę leku wyliczyć. Jednym z najbardziej spektakularnych sukcesów mechaniki kwantowej jest *Viagra*. Wiedząc, że dla określonego działania fizjologicznego niezbędne jest uwolnienie cząsteczki tlenku azotu NO w określonym receptorze, zaprojektowano strukturę cząsteczki, która tę funkcję spełnia. Podobnie, nowoczesne ogniwa fotowoltaiczne muszą efektywnie zbierać energię światła słonecznego, w szerokim zakresie widma (tj. kolorów). Zazwyczaj barwnik o określonym kolorze absorbuje tylko wąski przedział światła – chlorofil jest w rozworze czerwony (a dokładniej dwa typy chlorofilu absorbują w komplementarnych zakresach energii). Jaki kolor powinien mieć barwnik dla uzyskania szerokiego zakresu absorpcji? Najlepiej jakiś brązowo-bury. I taki kolor ma skomplikowana cząsteczka, z atomem rutenu w środku, zaprojektowana specjalnie do ogniwa najnowszej generacji, następnie zsyntetyzowana a kosztująca setki dolarów za gram [3].

Anty 1. Ale, obliczenia mechaniki kwantowej wymagają rozwiązania równania Schrödingera, określającego ruch elektronów na orbitach dookoła jądra w atomie. Dla atomu wodoru, z jednym elektronem, dokonano tego zaraz na początku ery mechaniki kwantowej, w sposób analityczny. Ale już dla cząsteczki wodoru, z dwoma elektronami (i dwoma jądrami) poprawne wyliczenie zostało przeprowadzone dopiero w 1963 roku, przez Kołosa i Wolniewiczza [4] z użyciem pierwszych komputerów IBM do użytku cywilnego: należało uwzględnić oddziaływanie nie tylko elektronu z jądrem ale i z drugim elektronem. I tak, im więcej elektronów, tym więcej oddziaływań do wyliczenia (i wyników częściowych obliczeń do zapamiętania). Według Kohna, twórcy metody pozornie mniej dokładnej ale alternatywnej dla równania Schrödingera, już dla atomu z 10 elektronami (atomu neonu) ilość komórek pamięci komputera musiałaby przekroczyć ilość atomów we Wszechświecie.

1- Wniosek. Metoda stworzona przez Kohna nie daje informacji o pojedynczych elektronach, tylko o *sumarycznej* energii układu ale w zamian pozwala na obliczenie własności kwantowych dużych cząsteczek. Rezygnujemy więc z istotnej porcji informacji o mikroświecie (którą nazwalibyśmy informacją *dokładną*), ale uzyskujemy część dla nas *użyteczną*.

Mamy tu znakomity przykład „końca nauki” ale i jego obchodzenia: poznanie nasze napotyka na nieprzekraczalną granicę, ale rezygnujemy z części wiedzy (o chwilowych położeniach elektronów), adoptujemy nową metodę i dokonujemy kolejnego kroku, *ekonomizując* zakres wiedzy.

2. Innym, podobnie ograniczoną przestrzenią poznania są współczesne teorie cząstek elementarnych (i ten temat prof. Tempczyk precyzyjnie podejmuje). Tak naprawdę trwałych i niepodzielnych a znanych nam dziś cząstek jest jedynie kilka, wśród nich elektron z ekranu telewizora i fotony, np. we wiązce światła z lasera. Nawet protony, w jądrach atomowych, składają się z mniejszych obiektów, zwanych kwarkami. Rodzin kwarków jest trzy, od tych dwóch najbliższych, z których składają się proton i neutron aż do kwarków ważących tyle co atom żelaza. Wartości mas tych kwarków są bardzo dziwne, nie tworząc żadnej (na nasz ludzki gust) prawidłowości: $4,5 \pm 3$, 6 ± 3 , xxx

Skąd to wiemy? Z doświadczeń jak w akceleratorze w CERNie: w podziemnym tunelu o długości 27 km pędzą elektrony (lub protony) z prędkościami prawie równymi prędkości światła, w próżni jak w kosmosie a ich lot jest zakrzywiany potężnymi magnesami z nadprzewodników, utrzymywanymi w temperaturze minus 270°C.

Anty 2. Jedną z teorii cząstek elementarnych, teoria „strun” zakłada, że obserwowane przez nas cząstki, nie są pierwotnymi obiektami fizycznymi, ale drganiami własnymi (czyli o ściśle określonej częstotliwości) innych obiektów, zwanych strunami. Filozoficznie przypomina to poszukiwania harmoniki sfer przez Keplera, których nie znalazł, ale w zamian sformułował poprawne prawa mechaniki planet. Teoria strun jest więc jakby przejawem *platonizmu*; obserwujemy nie obiekty ale ich pobrzękiwanie w kosmosie.

2 – Wniosek. Niestety, po trzydziestu i więcej latach rozwoju teoria strun nie pozwoliła na „wyciągnięcie pająka z dziupli”, jak to dobrze oddaje włoskie powiedzenie. Nie potrafimy z teorii strun przewidzieć ani mas ani innych własności cząstek elementarnych. Zaś jej weryfikacja eksperymentalna, przy obecnym stanie wiedzy technicznej o magnesach nadprzewodnikowych wymagałaby akceleratora o średnicy Wszechświata [5]. „W tym sensie

– dodaje prof. Pitaevskii¹ – teoria strun nie jest weryfikowalna doświadczalnie”. W myśl przyjętych standardów naukowych, teoria strun nie zasługuje na miano *teorii* a jest jedynie *hipotezą*”. Granicą poznania, podobnie jak w mechanice kwantowej, staje się ograniczoność Wszechświata, a w zasadzie ograniczenie metody: poszukiwanie cząstek elementarnych za pomocą akceleratorów z odchyleniem magnetycznym. Potrzebna jest zarówno teoria alternatywna dla teorii strun jak i nowe metody doświadczalne.

3. Jeszcze „brutalniejsze” granice poznania nałożyła na nas natura w zakresie kosmologii. Pytanie, czy Wszechświat jest skończony czy nie, po odkryciu A. Michelsona stałej prędkości światła (1887 r.) jest w zasadzie bezprzedmiotowe. Horyzontem *przestrzennym* naszej wiedzy jest tu sam wiek Wszechświata. Potrafimy zajrzeć do granic przestrzennych Wszechświata, ale tylko do odległości, jaką przebyło światło w ciągu tych jakiś 13,7 mld lat. Jeżeli istnieje cokolwiek dalej niż ta odległość, jest dla nas niepoznawalne. Rację należy więc przyznać M. Kopernikowi, który pisał „Wszechświat, którego granic nie znamy, ani zapewne znać nie możemy” [xx]

Granica poznania jest jednak znacznie bardziej dotkliwa. Poznanie, przez ogląd docierającego światła jest poznaniem biernym. Wysłanie aktywnego obserwatora załamuje się na innym ograniczeniu, znanym już J. Buridianowi (xx). Jego prawo *impetusu* mówi, że ciało rozpędzone porusza się wiecznie. Z drugiej strony, jak zauważył Kartezjusz a za nim Newton, aby jakiegokolwiek ciała rozpędzić, musimy na nie działać *odpowiednio* długo. W dzisiejszej notacji mówimy, że zmiana $\Delta(mv)$ pędu ciała jest iloczynowi siły F przez czas jej działania Δt .

$$\Delta(mv) = F \Delta t$$

Niemożliwe jest, już na gruncie mechaniki *klasycznej*, uzyskanie przez ciało o niezerowej masie dowolnie wielkiej prędkości ciała, gdyż wymaga to nieskończenie długiego czasu.

Anty 3. Czy można wyobrazić sobie mechanikę, bez tych prawa bezwładności? Oczywiście że tak, taka była niejako mechanika Arystotelesa: do potrzymania ruchu było niezbędne stałe działanie siły. Tak jak można skonstruować matematycznie spójny świat z innymi formami prawa grawitacji niż to Newtona [1] można sobie wyobrazić świat, w którym rozpędzanie odbywałoby się natychmiastowo, jak wystrzał po zwolnieniu cyngla, i zatrzymanie też (a do utrzymania ruchu sfer niebieskich niezbędne stałe wachlowanie skrzydłami przez aniołów...). Prawo bezwładności jest więc bardziej prawem *filozoficznym*, wymagającym aby przyczyna i skutek były oddzielone czasem Δt działania niż prawem matematycznym. A mechanika Einsteina, w której *masa efektywna* ciała rozpędzanego do granicy prędkości światła rośnie *asymptotycznie* do nieskończoności, czyni ograniczenie czasowo-przestrzenne człowieka jeszcze bardziej dotkliwym.

Wniosek 3. Kosmologia szczególnej teorii względności nałożyła dodatkowe bariery na poznanie już ograniczone przez zasadę bezwładności Buridiana. *Ogólna* teoria względności jest natomiast czymś, czego konsekwencji nie potrafimy nawet dokładnie ocenić. Według profesora Hallera [5] w rozwiązaniu równania Einsteina „drzemie” zapewne dziesięć tysięcy składników, z których znamy tylko trzy lub cztery: i) promień światła odchyła się w pobliżu Słońca dwa razy więcej, niż to wynikałoby z teorii Newtona, ii) czas w polu grawitacyjnym się wydłuża (doświadczenie Ponsa- Rebke 1964), iii) promień światła dookoła Ziemi biegnie inaczej niż po linii prostej (efekt Sittera), iii) wirująca Ziemia pociąga za sobą czasoprzestrzeń, jak łyżka kisiel (efekt Turinga). I na tym w zasadzie koniec naszych

¹ Współautor największego, 10-tomowego kursu fizyki teoretycznej, przypuszczalnie najwybitniejszy w dzisiejszych czasach fizyk teoretyczny.

obecnych możliwości doświadczalnych weryfikacji teorii Einsteina. Potrzebne są nowe pomysły.

Doświadczalne stwierdzenie, że widzimy zaledwie 4% Wszechświata, bo resztę stanowi ciemna energia i ciemna masa, należy uznać za największą klęskę specjalistów tak od kosmologii jak od cząstek elementarnych. Z drugiej strony, ta klęska to wyzwanie i dla nowych metod doświadczalnych i dla teorii.

4. Kolejną klęskę i/lub wyzwanie przynosi kryptografia kwantowa. Kryptografia kwantowa bierze początek z pytania zadanego przez Rosena, Podolsky'ego i Einsteina w 1935 r [8]. Zanim to pytanie podamy, przedstawimy jedno z praw *zachowania* w fizyce, a mianowicie prawo zachowania momentu pędu. Mówi ono najkrócej, że rozpędzone koło lub kręcąca się wokół własnej osi kula ziemską zachowuje *kierunek* osi obrotu. To samo prawo dotyczy obiektów mikroskopowych, jakimi są atomy, a także kwanty światła – fotony.

Rosen, Podolsky i Einstein postawili pytanie następujące: jeśli zostanie wytworzona para fotonów (lub elektronów, atomów) w stanie o ustalonym momencie pędu i fotony te zostaną wysłane w przeciwne strony świata, to pomiar stanu jednego fotonu *natychmiastowo* dostarcza informacji o stanie drugiego fotonu. Mielibyśmy więc sposób na złamanie granicy prędkości światła w przekazie informacji. Niestety, informacja o stanie drugiego, odległego fotonu, jest znowu „bezużyteczna” – nic z tym odległym fotonem zrobić nie możemy. Zasada przyczynowości nie jest więc naruszona.

Anty 3. Dwa fotony pozostają *sprzężone*: operacje na jednym z nich wpływają na stan drugiego. Nie potrafimy informacji o jednym z fotonów wykorzystać do manipulowania drugim ale ingerencja w jeden, zmienia drugi. Ta zależność jest podstawą kryptografii kwantowej. W kryptografii kwantowej próba pochwycenia zakodowanego sygnału powoduje jego unicestwienie. Stoi za tym skomplikowana matematyka. Zapytałem jednego z twórców, prof. Pawła Horodeckiego, jak to działa. Odpowiedział: „No i z tym jest problem. Potrafimy wyliczyć, jak to działa, ale wyjaśnić – nie!” Kryptografia kwantowa w postaci gotowych urządzeń była wykorzystana np. w przesyłaniu danych między stadionami w trakcie Mundialu 2010 w RPA. Twórca gdańskiej szkoły kryptografii kwantowej, prof. R. Horodecki nazywa tę dziedzinę jednak „sukcesem komercyjnym a klęską intelektualną: „Działa, ale nie wiemy jak!”

Niestety, matematyka współczesna staje się tak skomplikowana, że o ile nie uruchomimy jakiś specjalnych zasobów struktur biologicznych w mózgu (85% jest ich w stanie beczynności), nie opanujemy specjalnych sposobów nauczania, lub nie wypracujemy nowych meta-teorii, prostszych do zrozumienia, będziemy musieli w coraz większym stopniu *zawierać* równaniom matematycznym. W tym samym numerze EF [7] opisany jest przypadek twierdzenia Fermata, zanotowanego na marginesie książki w 1639 roku a udowodnionego w 1996 roku. Udowodnionego, należy dodać, na 120 stronach, z wykorzystaniem komputerów do operacji logiczno- dedukcyjnych, oraz sprawdzonego, na zlecenie Międzynarodowej Unii przez pięciu wybranych matematyków świata. Według ich zgodnej opinii, dowód jest poprawny. Pozostaje tylko wierzyć, że tak jest.

5. Czy, widząc, że do tej pory fizyka współczesna radzi sobie dobrze z kolejnymi problemami nie należy się spodziewać rewolucji naukowych? Wręcz przeciwnie, czekają nas one, niezwykle szybko i niezwykle głębokie. Ścieżka tych rewolucji będzie taka sama jak zawsze: nowy aparat matematyczny zastosowany tam, gdzie się go nie spodziewaliśmy. Tak było z ogólną teorią względności, gdzie pojęcia geometrii wyjaśniają istnienie grawitacji, tak było z

mechaniką falową, gdzie pojęcia z akustyki zostały wprowadzone do opisu punktowych cząstek materialnych. Wiele z bardzo istotnych odkryć fizyki doświadczalnej ostatnich lat nie znajduje zadowolającej teorii.

Nie chodzi tu bynajmniej tylko o kosmologię. Od początku XX wieku wiemy, że niektóre metale, jak np. rtęć, ołów, w bardzo niskich temperaturach, niewiele powyżej zera bezwzględnego, stają się idealnymi przewodnikami – prąd płynie przez nie prawie wiecznie. Zjawisko zostało wyjaśnione dopiero w połowie XX wieku, na podstawie analogii z tzw. kondensatem Bosego- Einsteina (te ostatni to kolejna „specjalność” toruńskich laboratoriów). W 1986 r. G. Bednorz i K. Alex odkryli, że nadprzewodnikami, i to w znacznie wyższych temperaturach (nie pojedynczych kelwinów, ale około 100 K) stają się, o dziwo, nie metale, ale ceramiki, będące normalnie znakomitymi izolatorami. Mija ponad 20 lat, więcej niż między doświadczeniem Michelsona a jego wyjaśnieniem przez Einsteina, a teorii nadal brak. Być może, teoria taki nadprzewodników nie powinna opisywać świata jako trójwymiarowego, ale jako świat fraktalny, z wymiarem np. $2\frac{1}{4}$? Jak pisaliśmy w [5] potrzebna jest zapewne zupełnie nowa matematyka.

8. Przypomnijmy tu rewolucję Plancka: przed wprowadzeniem hipotezy kwantów, próbował on na różny sposób połączyć dwa działy- termodynamikę, czyli naukę o ciepłe oraz pojęcie fal elektromagnetycznych, wynikających z elektromagnetyzmu Maxwella. Udało mu się to zupełnie nieźle, wzór podany przez Plancka wyjaśniał obserwowane rozkłady natężenia promieniowania w zależności od jego długości fali (czyli koloru) bardzo dobrze. W październiku 1900 roku pojawiły się jednak nowe dane doświadczalne, jedynie niewiele różniące się od teorii Plancka. Planck przejął się krytyką, i w kilka tygodni stworzył nową teorię, która wbrew jego woli okazała się rewolucją. I tak, za początek fizyki współczesnej uważa się datę jego wykładu w Berlinie, 14 grudnia 1900 roku. Dla pokazania, z powodu jak niewielkich różnic runęła fizyka klasyczna, przedstawiamy oryginalny rysunek z artykułu Plancka.

Dziś, próbuje się połączyć teorie kwantów z kosmologią, ale „nadal pajak z dziupli wyjść nie zamierza”. Zapewne, szukać należy zupełnie gdzie indziej.

9. I wreszcie pytanie ostatnie, bardziej z *etyki* niż z *epistemologii*. Czy musimy wszystko wiedzieć? - pyta prof. L. Pitajevski. Pytanie o tyle zaskakujące, że od dawna, szczególnie w środowiskach intelektualnych panuje zgodność poglądów, że nie wszystko musimy *posiadać*. Wiedza wydaje się na tyle dobrym „nieszkodliwym”, że nasz pęd w kierunku nieograniczonego jej kumulowania wydaje się nie mieć końca, ani też wewnętrznych ograniczeń. Jesteśmy przekonani, w naszym ludzkim zadufaniu, że przekraczanie kolejnych barier wiedzy nie jest bynajmniej naganne, a jak najbardziej wskazane. Czy nie jest nadmierny przerost ambicji, coś w rodzaju nowej wieży Babel?

Natura narzuca naszemu poznaniu twarde ograniczenia. Potrafimy je jednak jakoś obejść, kolejnymi naukowymi rewolucjami. Wniosek jaki się nam nasuwa, to że ta pozorna cisza, to właśnie cisza na przedpolu nadciągającej rewolucji. Jak w przedśmionku burzy, zupełnie nie wiadomo skąd burza nadciągnie, ale nadejdzie na pewno.

[1] Tempczyk M., *Czy nauka się zestarzeje?*, „Edukacja Filozoficzna” 50, (2010) s. 123-138

[2] Horgan J., *Koniec nauki czyli o granicach wiedzy u schyłku ery naukowej*, przełożył M. Tempczyk, Prószyński i S-ka, Warszawa 1999.

[3] Graetzel

W. Kohn and L. J. Sham, *Self-Consistent Equations Including Exchange and Correlation Effects*, *Phys. Rev.* 137, A1697 (1965)

J. Wasilewski (Kohn)

Paweł Horodecki, Politechnika Gdańska, informacja prywatna

W. Kołos, L. Wolniewicz, *J. Chem. Phys.*, 1964, 41, 3663

Rev. Mod. Phys. 35, 473–483 (1963)

Nonadiabatic Theory for Diatomic Molecules and Its Application to the Hydrogen Molecule

[5] M. Traini, Uniwersytet w Trydencie, informacja prywatna

Heller, Zjazd Fizyków Polskich, Warszawa, Wykład zaproszony

Tirare il ragno dal bucco

Autor jest profesorem zw. fizyki doświadczalnej, recenzentem projektów badawczych UE, wykładowcą na Uniwersytetach w Trydencie i Udine.

*Ueber das Gesetz der Energieverteilung im Normalspectrum, von Max Planck. (In Andersen Form mitgeteilt in der Deutschen Physikalischen Gessellschaft **Strung** vom 19. October Und vom 14. December 1900, Verhandlungen 2. p. 202 und p. 237 1900.) Annalen der Physik. IV. Folge. 4. (1901)*

