



Annus mirabilis¹

Z Profesorem Piotrem Garbaczewskim z Uniwersytetu Zielonogórskiego

rozmawia Andrzej Politowicz

Redaktor miesięcznika *Uniwersytet Zielonogórski*

Panie Profesorze, dlaczego rok 2005 ogłoszono Światowym Rokiem Fizyki?

Jak wszyscy, fizycy lubią okrągłe rocznice. W 1905 roku w niemieckojęzycznych czasopismach (taki był ówczesny język nauki) ukazało się pięć² prac 26-letniego fizyka z Berna – Alberta Einsteina. Z dzisiejszej perspektywy nikt chyba nie ma wątpliwości, że właśnie Einstein był największym umysłem XX wieku w zakresie fizyki. Co więcej, okazał się być gigantem miary największego ze swoich poprzedników – Isaaca Newtona. Co najmniej trzy prace z roku 1905 wytyczyły nowe kierunki badań w fizyce – o dalekosiężnych konsekwencjach naukowych i pozanaukowych. Przy tym dwie z nich stanowiły przełom koncepcyjny w rozwoju fizyki, zapowiedź dwóch rewolucji w fizycznym obrazie świata: odrzucenie pojęcia absolutnego czasu (szczególna teoria względności) i hipoteza fotonu jako kwantu energii (niezamierzone ojcostwo teorii kwantów). Mimo że potocznie Albert Einstein kojarzy się z ogólną teorią względności i jej ezoteryczną otoczką – w roku 1905 nie było o niej nawet wzmianki. Nagrodę Nobla otrzymał Einstein za swój „kwantowy foton” (1921).

A co było w tych pracach tak naprawdę ważnego?

Odpowiem niechronologicznie, z dokładnością do kilku miesięcy roku 1905. Analizując wcześniejsze prace holenderskiego fizyka H. Lorentza (1900–1904) poświęcone elektrodynamice klasycznej, Einstein sformułował podstawy szczególnej teorii względności – dramatyczne uogólnienie mechaniki newtonowskiej. W kolejnej pracy podał wyjaśnienie tzw. zjawiska fotoelektrycznego – kolejne potwierdzenie, po hipotezie kwantowania energii koniecznej do wyprowadzenia słynnego wzoru M. Plancka (1900), że energia promieniowania elektromagnetycznego jest pochłaniana i emitowana w kwantach, w dobrze określonych porcjach. Kolejna niezwykła praca to sformułowanie podstaw teoretycznych tzw. ruchów Browna – odkrycie dla fizyki procesów losowych, ale wsparte ilościowymi przewidywaniami. Za ich weryfikację doświadczalną, a przy okazji określenie – m.in. na podstawie rozprawy doktorskiej Einsteina z roku 1905 – liczby Avoga-

¹ *Annus mirabilis* – rok osobliwy, nadzwyczajny, cudowny. W ten sposób określa się w historii fizyki rok 1905.

² Pięć prac łącznie z pracą doktorską.

dra, Nagrodę Nobla w roku 1926 otrzymał J. Perrin. Jako ciekawostkę warto wspomnieć trzystronicową notkę z 1905 roku, w której po raz pierwszy pojawił się znak firmowy teorii względności w postaci wzoru na równoważność masy bezwładnej i energii (w oryginale niełatwo zidentyfikować wyrażenie $E = mc^2$).

Jak dziś określa się obszar zainteresowań fizyki? Czy jest to w ogóle możliwe w dobie szalonej dezintegracji badań i coraz węższej specjalizacji, gdy wiele dyscyplin wyodrębniło się z fizyki i funkcjonują pod własnymi nazwami, jak choćby astrofizyka, biofizyka, fizykochemia, geofizyka?

Być może właściwą odpowiedzią jest upowszechniana przez specjalistów fizyki wysokich energii i niektórych astrofizyków „teoria wszystkiego”, która w jedną kwantową całość „sklei” różne rodzaje znanych fizykom oddziaływań: elektromagnetycznych, słabych, silnych i grawitacyjnych. Mnie osobiście bliskie jest rozumienie fizyki jako metody zarówno w sensie pragmatycznym, jak też w sensie wysublimowanej sztuki (dla szyderców może być też: „sztuki dla sztuki”) modelowania rzeczywistości. „Modelowanie rzeczywistości” to skądinąd tytuł książki autorstwa Iwo i Iwony Białynickich-Birula. Wówczas sama fizyka staje się „teorią wszystkiego” o nieograniczonym obszarze zainteresowań.

Myślę, że dla naukowca poważna skądinąd dyscyplina naukowa musi stanowić element po trosze zabawy, po trosze gry z naturą – jak interpretować niezrozumiałe na pierwszy rzut oka zjawiska w otaczającym świecie. Możemy wraz z K. Ernstem „posadzić” (przyszłego) Einsteina na huśtawce i zająć się fizyką zabaw, gier i zabawek. Można „grać w życie” z G.H. Conwayem. Można analizować procesy narastania płatków śniegu, żartować na temat „efektu motyla” E. Lorenza w przewidywaniach pogody. Nic nie przeszkadza analizować współczesnymi metodami fizyki prozaicznego (przynajmniej dla amerykańskich i meksykańskich hodowców bydła) „trasku z biczem” (P. Pierański) czy – jak zdarzyło się znużonemu doktorantowi w Santa Cruz, C. Shawowi – poprzez analizę wpływu kropeł wody z ciekącego kranu stworzyć teorię zachowań nieregularnych w dynamice tzw. iterowanych układów nieliniowych, wykazujących cechy chaosu deterministycznego.

Od analizy sieci neuronowych można przejść do modelowania zachowań społecznych – jednostka ludzka nie jest całkowicie przewidywalna, ale całkiem przewidywalna bywa w grupie podobnych sobie. Od psychologii czy socjologii możemy przejść gładko do zaawansowanej biologii i biochemii, bo w zainteresowaniach fizyków znajduje się jeszcze problem ludzkiej świadomości.

A co kryje się pod określeniem „fizyka klasyczna” i co odróżnia ją od fizyki nazywanej „kwantową”?

W zasadzie to, co nazywamy fizyką klasyczną, zaczęło się od badań Galileusza i Newtona. Kodyfikacja Newtona dotyczy mechaniki: zwykle przywołujemy „jabłko

Newtona” i jego podobno oryginalne pytanie – jak właściwie Księżyc spada na Ziemię – by ostatecznie dotrzeć do prawa powszechnego ciężenia. Oddziaływania elektromagnetyczne to wiek XIX – M. Faraday i J.C. Maxwell stworzyli elektrodynamikę klasyczną.

Trochę wbrew wyrażonemu wcześniej pogładowi, że to Einstein w XX wieku zamienił fizykę newtonowską na fizykę einsteinowską (relatywistyczną) i dodatkowo fizykę klasyczną na kwantową, prace A. Einsteina z roku cudów (1905) były głęboko osadzone w fizyce klasycznej. Dwie mieściły się w obszarze dziewiętnastowiecznej termodynamiki i tzw. teorii kinetycznej, dwie następne (szczególna teoria względności) uogólniały klasyczną mechanikę i elektrodynamikę. Dopiero piąta praca o kwantowaniu promieniowania elektromagnetycznego rozpoczęła rewolucję kwantową.

Kroki milowe: M. Planck (1900), A. Einstein (1905), N. Bohr (1917), E. Schrödinger (1926), to odejście od podstawowej koncepcji fizyki klasycznej, że wszystkie procesy fizyczne są ciągłe. Jest to opis całkowicie poprawny dla rzeczywistości makroskopowej. Fizyka kwantowa zaczyna się od spostrzeżenia, że istnieje świat zjawisk mikroskopowych, w których podstawowe procesy (np. wymiana energii) odbywają się w sposób nieciągły, porcjowany (stąd kwanty energii). I to doprowadziło do bomby atomowej, ale też do tranzystora i lasera, bez których trudno sobie wyobrazić współczesną technikę.

Obecnie dominuje pogląd, że u podłoża wszystkich procesów fizycznych leżą procesy kwantowe. Nieco to się kłóci z potocznym widzeniem świata: komputer jest obiektem „wyglądającym” klasycznie, można go bardzo „klasycznie” zniszczyć, np. zrzucając na podłogę, ale atomy go tworzące są obiektami mikroskopowymi i jak najbardziej kwantowymi, i niepodatnymi na zniszczenie poprzez proste rzucanie.

Niestety, nie istnieje precyzyjna, uchwytna dla laika granica między rzeczywistością klasyczną (podlegającą prawom fizyki klasycznej) a zjawiskami kwantowymi (rządzonymi prawami fizyki kwantowej). Jeszcze bardziej nieuchwytny jest podział na „małe” (mikroskopowe) i „duże” (makroskopowe). Model teoretyczny, jego stosowalność lub nie, są rozstrzygane (lub falsyfikowane) przez doświadczenie.

Fizyka jako sztuka modelowania rzeczywistości jest nauką o tym, jak najlepiej przybliżyć najczęściej niedokładne dane doświadczalne – jest czasem manufakturą, czasem taśmą produkcyjną (tu przydają się liczni, dobrze wyszkoleni doktoranci) do wytwarzania idealnych teoretycznych modeli zjawisk i poszukiwania ich zakresów przydatności.

W ramach teorii kwantów tzw. nanorurka czy molekula fullereny jest molekularnym obiektem mikroskopowym, na pograniczu cech kwantowych i klasycznych. Ale np. elektronowi przypisuje się brak mierzalnych rozmiarów (cząstka punktowa), atom miewa w przybliżeniu rozmiary od angstroma do (atomy

Rydberga) niemal mikrona. Jeśli się uprzeć, można Hyperion, jeden z księżyców Saturna (największy z nieregularnych (niekulistych) obiektów Układu Słonecznego) potraktować jako kwantowy megaatom. Tylko po co, jeśli prawa mechaniki klasycznej dostarczają wystarczających środków do rozumienia i opisu jego (skądinąd chaotycznej) dynamiki. Do przesuwania biurka niepotrzebna jest fizyka kwantowa, ale może się przydać do analizy procesu jego spalania (wraz z chemią).

Trochę podobnie dzieje się w ramach samej fizyki klasycznej. W fizyce relatywistycznej całość tzw. fizyki newtonowskiej jest uprawnionym przybliżeniem w zakresie małych prędkości. Termin „mała” jest nieco iluzoryczny, bo musi być ustalona względem prędkości światła. Dlatego małą prędkością jest zarówno metr na sekundę, jak i 20 tys. kilometrów na sekundę.

Fizyka najbliższego nam świata (nasze bezpośrednie otoczenie) jest oczywiście newtonowska i wcale nie jest jeszcze teorią zamkniętą. Wychodząc od dynamiki newtonowskiej, po pionierskich odkryciach H. Poincarégo (około 1900 r.) dopiero w latach 60. XX wieku uzyskano wiarygodne wyniki o klasycznej dynamice chaotycznej (W.I. Arnold – 1964). Dziś wiemy, że wzorzec regularności w życiu codziennym („obroty sfer niebieskich”), czyli planetarny układ dynamiczny, zwany słonecznym, jest układem niestabilnym. To techniczne pojęcie mówi, że jest układem o dynamice nieregularnej, chaotycznej, a więc znacznie mniej przewidywalnym, niż chcieliby astrologowie czy wróżki.

Wróćmy jeszcze na chwilę do historii. Czy fizyka miała taki okres rozwoju jak np. historia cywilizacji – epokę wielkich odkryć geograficznych? Wydaje się bowiem, że nie ma w zasadzie okresów застоju w dziejach fizyki, że ten rozwój jest ciągły, choć od przełomu XIX i XX wieku ulega gwałtownemu przyspieszeniu.

Rozwój fizyki tylko z pozoru można interpretować jako proces ciągły – narastającą kumulację doświadczeń i ujmowanie tych wyników w ramy stosownych modeli teoretycznych. W rzeczywistości decydujące są „przewroty pojęciowe” (teorie rewolucji naukowych T.S. Kuhna i K. Poppera).

W wieku XVIII i XIX dominował opis ciągły i falowy zjawisk. W wieku XX zwyciężył opis kwantowy. Przejście od dynamiki Galileusza (nierelatywistycznej) do dynamiki relatywistycznej dojrzało w XIX wieku w sposób niemal ciągły. Ale potrzebne było „ryzykanctwo” Einsteina, by postawić „kropkę nad i” i odrzucić absolutny układ odniesienia (eter) faworyzowany przez H. Lorentza. W XVII wieku Newton był zwolennikiem korpuskularnej teorii światła, ale jego wielkość nie wystarczyła do utworzenia „korpuskularnego” (kwantowego) paradygmatu. Ch. Huygens – zwolennik teorii falowej – argumentował bardziej przekonująco dla ówczesnej populacji badaczy przyrody. Wygrał paradygmat falowy. Atomy Demokryta (przełom V i IV w. p.n.e.) powróciły dopiero pod koniec XIX wieku, a potem nadeszła fizyka kwantowa.

W potocznym rozumieniu świat, który opisuje fizyka, jest światem doskonale uporządkowanym, w którym taka sama przyczyna wywołuje zawsze taki sam skutek, periodyzacja zdarzeń da się przewidzieć, bo jest powtarzalna, orbity ciał kreślą regularne figury geometryczne itd. Czy jest to obraz rzeczywisty, czy też uproszczony – dla lepszego rozumienia zjawiska?

Edukacja szkolna i znaczna część kształcenia uniwersyteckiego w zakresie fizyki tworzy przekonanie, że wszystkie ważne zjawiska fizyczne mają charakter regularny, w istocie okresowy. Okresowość zjawisk astronomicznych, zegarki mechaniczne, kwarcowe, zegary atomowe – utrwalają w nas przekonanie, że „wszystko” jest regularne: przewidywalne i powtarzalne. Tymczasem to przekonanie jest iluzją. Oczywiście, wiele ważnych układów fizycznych posiada wcześniej wymienione cechy, ale zarówno badania doświadczalne, jak i teoretyczne, zaburzają ten idealny obraz. Takie układy są wyjątkowe. Można sformułować tezę, że „prawie wszystkie” układy dynamiczne wykazują cechy nieregularności, niepowtarzalności.

Nawet jeśli model teoretyczny przewiduje, że wybrane dane początkowe prowadzą do jednoznacznie określonego stanu fizycznego po skończonym czasie, tzw. wrażliwość na warunki początkowe powoduje, że w ramach weryfikacji doświadczalnej, gdzie dane początkowe są określone z różnym od zera błędem (niepewnością), ta sama doświadczalna przyczyna może prowadzić do zasadniczo odmiennych skutków. To jest właśnie cecha chaosu deterministycznego, wspomniany wcześniej „efekt motyla” E. Lorenza (1964).

Warto też wiedzieć, że zachowanie układów ożywionych (mało eleganckie określenie, np. dla człowieka) wcale nie cechuje się nadmierną regularnością. Wśród tysięcy „rytmów życia” właściwym organizmom biologicznym przykładowo zbyt regularny rytm serca jest objawem choroby, rytm zaburzony nieregularnym szumem jest kanonicznym objawem zdrowia tego organizmu.

A gdyby Pana poproszono o résumé osiągnięć fizyki w ostatnich 20 latach, to na co Pan zwróciłby szczególną uwagę?

Próbując odpowiedzieć na to pytanie, w rzeczywistości prognozowałbym najbliższe Nagrody Nobla z fizyki. By hierarchizować ważność odkryć, trzeba znacznej perspektywy czasowej. Ponadto ograniczenia mojej własnej wiedzy o ogromnym skądinąd obszarze współczesnej fizyki uniemożliwiają w pełni wiarygodną odpowiedź na takie pytanie.

Sądzę, że łatwiejsze może być wskazanie niektórych odkryć, za które w minionym półwieczu przyznano Nagrody Nobla z fizyki. Przykładowo: 1956 – za wynalezienie tranzystora, 1964 – za skonstruowanie lasera, 1971 – za odkrycie holografii, 1979 – za jednolitą teorię tzw. elektroslabych oddziaływań cząstek elementarnych, 1985 – za odkrycie kwantowego efektu Halla, 1987 – za odkrycie tzw. nadprzewodnictwa wysokotemperaturowego, 1989 – za stworzenie techniki

pułapek jonowych, które pozwalają badać pojedyncze atomy, 1991 – za stworzenie teorii ciekłych kryształów (patrz na swój zegarek), 1997 – za rozwój chłodzenia i pułapkowania atomów za pomocą lasera, 1999 – za ostateczne sformułowanie teorii oddziaływań elektroslabych – model standardowy, 2001 – za doświadczalne odkrycie kondensacji Bosego-Einsteina, 2003 – za sformułowanie teorii nadprzewodnictwa i nadciekłości (W. Ginzburg uczynił to 50 lat temu! I miał szczęście dożyć nagrody), 2004 – teoria tzw. asymptotycznej swobody w silnych oddziaływaniach cząstek elementarnych.

Wszystkie nagrodzone osiągnięcia mieszczą się w ramach fizyki kwantowej. Zwykle od opublikowania osiągnięcia do Nagrody Nobla mijało czasem pięć, częściej 15–20, a także 50 lat. Przypominam, że na liście mamy: tranzystor, laser, holografię, ciekłe kryształy – to odkrycia fizyków!

Językiem fizyki jest matematyka. Interesuje mnie, czy obserwacja zjawisk i procesów jest częstszym sposobem na odkrycia naukowe, czy też zdarzały się przypadki, kiedy z dociekań matematycznych formułowano prawa fizyczne, które potem można było sprawdzić doświadczalnie?

Sądzę, że w fizyce najczęściej podstawą matematycznych uogólnień były skumulowane dane doświadczalne. Proszę pamiętać, że dla fizyka matematyka jest jedynie językiem, w którym formułowane i zapisywane są prawidłowości w obserwowanych zjawiskach. Mała dygresja: wcześniej mówiłem, że w zjawiskach fizycznych porządek wcale nie jest powszechny. Nieregularność i nieporządek wydają się ingerować wszędzie. Ale właściwie zadaniem fizyki jako „sztuki modelowania” rzeczywistości jest odnajdywanie elementów porządku (praw natury) w zasadniczo nieuporządkowanym świecie.

Nie chcę minimalizować roli matematyki w fizyce, ale tzw. estetyka, poczucie piękna struktur matematycznych było manifestowane jako powód odkrycia naukowego tylko wyjątkowo. Przykładem jest P.A.M. Dirac, odkrywca równania zwanego jego imieniem.

Często mozolne tworzenie poprawnego logicznie i niesprzecznego opisu zjawisk fizycznych skutkowało powstaniem nowych kierunków badań w matematyce. Współcześnie wybitni matematycy i matematycznie zorientowani fizycy próbują wykorzystać pewne idee teoretyczne fizyki w matematyce – i na odwrót. Wyróżniony Medalem Fieldsa (matematyczna Nagroda Nobla) był po trosze fizyk, po trosze matematyk – E. Witten, jeden z proroków „teorii wszystkiego”. Inny nagrodzony Medalem Fieldsa – A. Connes – pisał prace o tzw. geometrii nieprzemiennej jako możliwym matematycznym fundamentie „teorii wszystkiego”. Podobną drogą poszedł S. Woronowicz, współtwórca teorii tzw. grup kwantowych (mój przekorny komentarz: ani grup, ani kwantowych).

Myślę jednak, że dominuje priorytet doświadczenia. Przykładowo, w fizyce wysokich energii wielkie nadzieje wiąże się z nowymi, niesłychanie kosztownymi

konstrukcjami – „zderzaczami hadronowymi”, które mają być wkrótce uruchamiane w CERN-ie, Brookhaven i Stanfordzie.

Oczekuje się uporządkowania świata cząstek elementarnych, ale dopuszcza też myśl, że dotychczasowy porządek legnie w gruzach. W szczególności oczekuje się wyników falsyfikujących konkurencyjne teorie. Zaczyna się polowanie na niekoniecznie istniejącą cząstkę Higgsa i hipotetyczne, bardzo egzotyczne i też niekoniecznie istniejące tzw. cząstki supersymetryczne. A u progu mamy astrofizyczne rozważania o ciemnej energii i materii, o której współczesna fizyka nie ma jeszcze nic do powiedzenia, chociaż sporadycznie pojawiają się głosy, że „ciemność” jest w tym kontekście nadinterpretacją.

Fizyka to obszerna, ale i fascynująca dziedzina wiedzy. Wiedzy, która przybliży nam rozumienie świata. Dlaczego zatem zainteresowanie studiami na tym kierunku słabnie?

Zainteresowanie fizyką jako kierunkiem studiów podlega wahaniom, zarówno w Europie, jak i w USA. Oczywiście wiąże się to ze spektakularnością odkryć i możliwościami technologicznych zastosowań. Trudno codziennie odkrywać kolejny tranzystor czy laser, nie mówiąc o bombie atomowej. Sektor wojskowy lat 40. i 50. był żywotnie zainteresowany bombą atomową i wodorową, później technikami miniaturyzacji (tranzystor). Boom technologiczny lat 60. był związany z względnie łatwym dostępem do środków finansowych na badania podstawowe, a więc i dostępem do miejsc pracy dla fizyków.

Widziana z tej perspektywy fizyka wydaje się współcześnie mniej atrakcyjna niż jeszcze 20, 30 lat temu. Działa tu narastający kult pieniądza, model kariery zawodowej ocenianej z punktu widzenia stanu konta w banku, ale także zbyt pochopne i czasem nadmierne, kosztem innych dyscyplin, finansowanie przez agendy państwowe tzw. dyscyplin stosowanych (nauki techniczne, rolnictwo, ekonomia, informatyka/zarządzanie), których finansowanie powinno stanowić wynik zapotrzebowania na usługi badawcze szeroko rozumianego przemysłu, będącego skądinąd w zaniku w Polsce.

Nie będę tu rozwijał kwestii „usługowości” nauki w dziejach: trudno znaleźć technicznie lub rozrywkowo (*homo ludens*) interesujące zastosowanie Wielkiego Twierdzenia Fermata, nie wspominając o jego karkołomnym dowodzie (200 stron zaawansowanego matematycznie tekstu). A to właśnie należy do obszaru badań podstawowych, którymi parają się też fizycy.

W czasach nie tak odległych, na przykład w 1966 roku, gdy fizyka była postrzegana przez młodych ludzi jako atrakcyjny sposób poznawania świata, zdobywania wiedzy i rozumienia tego, co nas otacza, możliwa była sytuacja, gdy pierwszy rok uniwersyteckiej fizyki zaczynało 120 osób, kończyło pięć lat później – 90 osób. Z tego grona 26 osób uzyskiwało doktoraty, w tym było sześć habilitacji, a dwie osoby osiągały tytuł profesora. Jako ciekawostkę podam, że jeden z absol-

wentów został doktorem habilitowanym biochemii, a jedna z absolwentek – doktorem habilitowanym nauk medycznych. To był mój rok!

Sądzę, że do młodych ludzi w końcu dotrze, że ani wykształcenie uniwersyteckie, ani politechniczne, na ogół nie daje konkretnego zawodu i miejsca pracy. Nie da go też masówka (mówię o tzw. wielkich liczbach studentów na płatnych studiach dziennych i zaocznych) prawnicza lub zarządzająco-bankowa. Nie sądzę też, by dziesiątki tysięcy kształconych w Polsce pedagogów znajdowały łatwą pracę w tym zawodzie.

Należy myśleć o zdobywaniu wiedzy jako takiej, o zaspokajaniu młodzieńczej ciekawości, jeśli tylko nie została ona stępiona lub bezpowrotnie zniwelowana przez aktualny system kształcenia.

Zdobycie lub stworzenie sobie miejsca pracy staje się umiejętnością, która wymaga elastyczności w myśleniu i działaniu, podatności na zmiany, innowacyjności i niespokojnej duszy poszukiwacza. Znajdowanie rozwiązań problemów życiowych to tylko mały wyimek z tylokrotnie wymienianej „sztuki modelowania rzeczywistości”, nierozzerwalnie związanej z fizyką jako dyscypliną naukową i przedmiotem studiów.

Fizyka to kierunek trudny, ale wyjątkowo pożądanym i atrakcyjnym dla ludzi ciekawych świata, szukających trudnych wyzwań – przygody intelektualnej. Jej metodologia jest nastawiona na poszukiwanie prawidłowości i tworzenie modeli zjawisk, a następnie prognozowanie skutków wynikających z określonych przyczyn. To wykształca dużą elastyczność, ale też wzbogaca wyobraźnię.

Być może dlatego absolwenci fizyki sprawdzają się jako np. analitycy finansowi lub specjaliści od marketingu zaawansowanych technologicznie produktów. Ale przede wszystkim ta bardzo trudna – począwszy od gimnazjum – fizyka jest podstawą rozumienia procesów zachodzących w bardzo od fizyki odległych dziedzinach: modele zachowań społecznych, modele procesów ekonomicznych i giełdowych, modele zjawisk biologicznych, struktur i funkcji łańcuchów DNA, zagadka świadomości – to nieoczekiwane jest też obszar zainteresowań fizyki.

Z żalem stwierdzam, że w kształceniu powszechnym rola fizyki podlega minimalizacji ze szkodą dla kolejnych opuszczających szkoły średnie pokoleń. Podobny trend w postaci braku obowiązkowego egzaminu z matematyki na maturze jest znaczącym obniżeniem rangi tego, co nazywa się egzaminem dojrzałości. Bez wiedzy z podstawowego kanonu nauk ścisłych (dodajmy tu chemię) trudno mówić o przyzwoitym poziomie wykształcenia młodego człowieka.

Dziękując za rozmowę, wypada mieć nadzieję, że ambicje młodych ludzi skłonią ich do podejmowania trudnych studiów, stanowiących nie tylko intelektualne wyzwanie, ale i związanych ze świadomością, że rozwój takich dziedzin jak fizyka wcześniej czy później przekłada się na postęp cywilizacyjny. I jakość życia.