



## Czy fizyka cząstek elementarnych może być opłacalna?

Grzegorz Brona

Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

Od Redakcji:

Uaktualniony artykuł z *Postępów Fizyki* 5/2003, s. 202.

Czy inwestowanie w naukę jest opłacalne? Tak – nie ma co do tego żadnych wątpliwości! To przecież dzięki nauce mamy wydajniejsze komputery i bardziej pojemne dyski twarde, bezpieczniejszy i szybszy transport, nowe leki na dawniej nieuleczalne choroby itd. – nauka dostarcza rozwiązań, o których nikomu nawet się nie śniło jeszcze 20 lat temu. Dzięki odkryciom naukowców łączność z osobą znajdującą się po drugiej stronie globu może być nawiązana w niespełna sekundę, a informacje przekazywane są dzięki sieci Internet praktycznie bez żadnych ograniczeń. Nie ma więc wątpliwości, że pieniądze spływające do „kieszeni” instytucji naukowych nie są pieniędzmi straconymi. Ale czy aby na pewno powinno się wspierać naukę w każdej jej formie i postaci? Czy, na przykład, milionów euro lub dolarów wydawanych na lepsze zbadanie zagadkowego świata cząstek elementarnych, odkrycie praw rządzących strukturą materii na jej najbardziej fundamentalnym poziomie, nie lepiej byłoby przeznaczyć na rozwój onkologii, aby szybciej opracować wspaniały lek, który wreszcie pokona nawet najgroźniejsze nowotwory? Po co finansować badania prowadzone z czystej ciekawości, skoro ich rezultaty najprawdopodobniej nie wpłyną na nasz standard życia? Warto tutaj zwrócić uwagę na to, że najpotężniejsze państwa Starego Kontynentu (jak Niemcy, Francja i Wielka Brytania) najsilniej wspierają owe, wydawałoby się jałowe dla gatunku ludzkiego, przedsięwzięcia, finansując między innymi funkcjonowanie takich instytucji jak Europejska Organizacja Badań Jądrowych – CERN. Dlaczego tak się dzieje? Czy aby na pewno pieniądze wydane na finansowanie takich przedsięwzięć to pieniądze stracone?

CERN – największe laboratorium naukowe na świecie – zajmuje się badaniami cząstek elementarnych (elektronów, kwarków itd.). Laboratorium jest utrzymywane ze środków asygnowanych przez 20 państw europejskich. Całkowity roczny budżet CERN to przeszło 1 miliard franków szwajcarskich. Największy wkład mają Niemcy – ponad 200 milionów franków oraz Wielka Brytania – ponad 160 milionów franków. Te astronomiczne wprost sumy są niemal w całości przeznaczane na konstruowanie i utrzymywanie potężnych maszyn badających najmniejsze składniki materii. Ponadto z CERN-em współpracują liczne ośrodki naukowe na całym świecie (m.in. uniwersytety), które wnoszą swój wkład w postaci opracowanych i zbudowanych detektorów oraz dodatkowych pieniędzy. Dlaczego tak się dzieje, że ktoś, a w szczególności tak wyda-

wałoby się racjonalnie postępujące państwa, jak Niemcy i Wielka Brytania, wspierają rozwój czysto akademickiej dziedziny nauki? Czy wystarczającym powodem jest chęć zadowolenia wąskiej grupy kilku tysięcy naukowców realizujących swoje specjalizacje? A może jednak w tym szaleństwie jest jakaś metoda? Przyjrzyjmy się kilku dziedzinom życia i zastanówmy się, czy oraz co wniosły do nich badania nad strukturą mikroświata.

W ostatnim dziesięcioleciu dokonał się prawdziwy przełom informatyczny. Pierwsze komputery co prawda pojawiły się już po II wojnie światowej, ale przez wiele lat były one przeznaczone jedynie dla potrzeb organizacji rządowych i wielkich firm. W prywatnych domach zaczęły funkcjonować dopiero w latach osiemdziesiątych, zaś prawdziwą karierę zrobiły w latach dziewięćdziesiątych. Jedną z przyczyn tego przełomu było pojawienie się usługi WWW, do której dostęp był i jest stosunkowo niedrogi. Komputer przestał być postrzegany przez większość ludzi jako bardziej skomplikowana maszyna do pisania i stał się nowym oknem na świat. Jak to ma się do badań prowadzonych w CERN?

Otóż okazuje się, że World Wide Web narodził się w latach 1989–1990 w laboratoriach CERN właśnie. Opracowało go dwóch naukowców Tim Berners-Lee oraz Robert Cailliau. Pierwotnie WWW miało służyć fizykom pracującym w laboratorium do wymiany informacji i prezentacji osiągnięć. Jednak już kilka miesięcy później oprogramowanie potrzebne do obsługi zarówno serwerów WWW, jak i pierwsza przeglądarka internetowa, zostały udostępnione naukowcom na całym świecie. Zgodnie z dokumentem z 30 kwietnia 1993 roku oprogramowanie WWW opracowane przez CERN i współpracujące z nim instytucje zostało udostępnione bez żadnych opłat wszystkim, którzy chcieliby z niego skorzystać!

Serwery WWW zaczęły pojawiać się najpierw na uczelniach, na wydziałach fizyki, które współpracowały z CERN. Zbiegło się to w czasie z narodzinami, w marcu 1991 roku, polskiego potentata teleinformatycznego – NASKu (Naukowej i Akademickiej Sieci Komputerowej), którego pierwszym dyrektorem został znany fizyk specjalizujący się w badaniach nad cząstkami elementarnymi – prof. Tomasz Hofmokr. 17 sierpnia tego samego roku nastąpiło pierwsze połączenie przy pomocy protokołu IP pomiędzy Polską, a zachodnią Europą. W listopadzie 1993 roku uruchomiona została zaś Polska Strona Domowa, na pierwszym polskim serwerze WWW. Nieco wcześniej, bo w grudniu 1991 roku WWW dotarło do Stanów Zjednoczonych. Pierwszy serwer WWW znalazł się tam w jednym z amerykańskich odpowiedników CERN – w laboratoriach Stanford Linear Accelerator Center – SLAC. Lawina ruszyła...

Dziś z usług WWW korzysta codziennie wiele milionów ludzi. Powstały tysiące firm związanych z tym obszarem działalności, które dają pracę dziesiątkom tysięcy osób. Potężne korporacje teleinformatyczne prześcigają się w tworzeniu coraz lepszych, bardziej przyjaznych i atrakcyjnych przeglądarek stron

i innych aplikacji internetowych. Wybierając nowy komputer, kupujący kieruje się między innymi możliwościami dostępu do Internetu, a w tym przede wszystkim do WWW. Szacuje się, że pajęczyna WWW generuje obecnie kilkakilkanaście procent sprzedaży dużych firm. Większość użytkowników WWW jednak nie zdaje sobie sprawy, że powstało ono w laboratorium CERN, a szybki rozwój Sieci umożliwiony został przez nieodpłatne udostępnienie wynalazku wszystkim zainteresowanym. Ciekawe jak by wyglądał dostęp i rozwój WWW, gdyby standard ten został zapoczątkowany w jakiejś prywatnej firmie... No dobrze – to już było – co dalej?

Otóż „dalej” okazuje się, że CERN nie powiedział jeszcze ostatniego słowa w sprawie sieci komputerowych. Aktualnie opracowywany jest tam nowy projekt o nazwie GRID. Sieć GRID ma połączyć komputery różnych instytucji naukowych, firm i organizacji tak, aby mogły wspólnie działać przy rozwiązywaniu skomplikowanych zadań. Dzięki temu połączeniu naukowcy (na przykład szukający leku na raka) potrzebujący potężnej mocy obliczeniowej procesorów, będą mogli połączyć się z tysiącami komputerów rozproszonych na całym świecie i użyć ich niewykorzystywanych w danym momencie możliwości. Jeśli, na przykład, pewne laboratorium nie potrzebuje chwilowo swoich komputerów (powiedzmy w nocy), drugi zespół badawczy, pracujący w zupełnie innej części świata, będzie mógł wykorzystać ów sprzęt do realizacji swoich projektów. Sieć GRID będzie wykorzystywana między innymi przez fizyków cząstek elementarnych (do poszukiwania nowych cząstek elementarnych), lekarzy pracujących nad nowymi lekami oraz naukowców zajmujących się modelowaniem zmian klimatu na Ziemi. Wprowadzenie tego rozwiązania na szeroką skalę pozwoli znacznie skrócić czas potrzebny na uporanie się z wieloma problemami trapiącymi dziś ludzkość.

Istnieją też bardziej „bezpośrednie” i praktyczne osiągnięcia fizyki cząstek elementarnych. Obecnie na całym świecie pracuje około 10 000 różnych akceleratorów cząstek. Ponad 5000 z nich jest używanych do celów medycznych (dla porównania tylko około 100 jest używanych w badaniach podstawowych). Jednym z zadań tych maszyn jest produkcja promieniotwórczych izotopów, które następnie podawane są pacjentowi (badanemu na przykład pod kątem wykrycia ewentualnego nowotworu). Substancja rozprzestrzenia się po ciele człowieka i wchłaniana jest w różnym stopniu przez poszczególne tkanki i organy. Zwiększenie koncentracji atomów w danym obszarze może świadczyć o zmianach chorobotwórczych, w tym o zmianach nowotworowych. Koncentracja substancji może być wyznaczona poprzez rejestrowanie cząstek powstałych w wyniku jej rozpadu. Cząstkami rejestrowanymi są kwanty światła (fotony), a metoda nazywa się Pozytonową Tomografią Emisyjną (PET). Każdego roku diagnostyce z użyciem radiofarmaceutyków zostaje poddanych około 20 milionów ludzi. Wczesne wykrycie nowotworu ratuje setki tysięcy istnień ludzkich. Technologia PET została rozwinięta w Genewskim Szpitalu Kantonalnym, gdzie pierw-

sze detektory skonstruowali fizycy pracujący w CERN z wykorzystaniem urządzeń stosowanych do badania cząstek elementarnych.

Istnieje również drugi sposób wykorzystania akceleratorów w medycynie – radioterapia. Zamiast posługiwać się skalpelem, lekarze stosują zogniskowaną wiązkę wysokoenergetycznych cząstek, za pomocą której z dużą precyzją „wypalają” obszar zajęty przez komórki nowotworowe. Stosowane są tutaj zarówno wiązki promieni X (otrzymywane w czasie wyhamowywania wysokoenergetycznych elektronów), wiązki neutronów (otrzymywane za pośrednictwem zdezerowania wiązek protonowych z tarczami berylowymi), jak i wiązki elektronowe i protonowe pochodzące bezpośrednio z akceleratorów. Stosowanie tego typu zabiegów ma tę wielką przewagę nad standardową chirurgią, że energia padającej wiązki może być tak dobrana, by zniszczyć tylko chore tkanki znajdujące się na konkretnej głębokości w ciele człowieka. Szczególnie precyzyjne są wiązki protonowe, nad których zastosowaniem w medycynie pracuje właśnie CERN.

Czy badania prowadzone w CERN mogą przydać się jeszcze w jakiś inny sposób? Jednym z najpoważniejszych problemów, z którymi boryka się ludzkość jest zagrożenie ze strony śmiertelnych wirusów. Na świecie żyje dzisiaj ponad 33 milionów ludzi zakażonych wirusem HIV (niektóre źródła mówią o 46 milionach). Od początku epidemii choroba ta zabiła przeszło 26 milionów osób. Walka z wirusem toczona jest na wielu frontach, z wykorzystaniem wielu sposobów. Jednym z nich jest dokładne poznanie struktury owego wirusa. Powszechnie stosowaną metodą badania budowy bardzo małych obiektów (a takim jest również wirus) jest stosowanie promieniowania synchrotronowego. Technika ta polega na wykorzystaniu akceleratorów do produkcji wysokoenergetycznego promieniowania X. Akceleratory przyśpieszają elektrony do momentu osiągnięcia przez nie wysokich energii, a następnie zakrzywiają przy pomocy pola magnetycznego tor ich lotu, co powoduje emisję promieniowania – tzw. promieniowanie synchrotronowe (wysokoenergetyczne promieniowanie X). Promieniowanie to jest kierowane na badany obiekt i rozprasza się na nim. Naukowcy obserwując rozproszone fotony są w stanie odtworzyć obraz struktury obiektu. Obecnie na całym świecie istnieją 42 synchrotrony przeprowadzające takie badania, a wiele kolejnych jest w budowie.

Aktualnie fizycy zajmujący się akceleratorami przygotowują się do następnego kroku. Opracowywane są plany stworzenia nowego super-akceleratora przyśpieszającego elektrony. Maszyna ta, której długość przekroczy 30 kilometrów, ma powstać przed rokiem 2020. Jej lokalizacja jest jeszcze nieustalona. Przyśpieszane elektrony, będą przechodzić przez specjalne układy silnych magnesów, gdzie emitować będą spójną wiązkę wysokoenergetycznego promieniowania, wysokoenergetyczny odpowiednik wiązki laserowej. Ten, tak zwany, „laser na swobodnych elektronach”, dostarczy naukowcom nowego narzędzia, dzięki któremu stanie się możliwe badanie struktury mikroobektów z niespotykaną do tej pory dokładnością. Ultrakrótkie impulsy promieniowania, genero-

wanego przez ten laser, pozwolą poznać przebieg procesów zachodzących na poziomie atomowym.

Na tym nie koniec możliwości. Według znanego powszechnie prawa Gordona Moore'a moc obliczeniowa dostępnych na rynku procesorów komputerowych podwaja się co 18 miesięcy. Aby sprostać wymaganiom tego prawa, naukowcy zajmujący się układami scalonymi muszą stosować coraz bardziej zaawansowane techniki badania i wyrobu procesorów. Muszą oni między innymi z wielką precyzją badać półprzewodniki, które następnie wykorzystają. Właściwości półprzewodników w bardzo znacznym stopniu zależą od niewielkich domieszek różnych substancji (zanieczyszczeń). Domieszki te mogą być specjalnie wprowadzane, aby zmodyfikować charakterystykę danego półprzewodnika. Naukowcy muszą dokładnie wiedzieć, jak rozkłada się stężenie owych zanieczyszczeń. W tym celu zastępuje się zwykle domieszki domieszkami promieniotwórczego izotopu tego samego pierwiastka. Obserwując rozpady radioaktywne, do których dochodzi wewnątrz półprzewodnika, można ustalić, jak rozkładają się w nim domieszki. Izotopy te produkowane są przy pomocy akceleratorów, a rozpady badane przy użyciu detektorów pierwotnie opracowanych na potrzeby badań mikroświata.

Aby zwiększyć moc obliczeniową procesorów, na krzemowych płytkach umieszcza się coraz więcej elementów. W jaki sposób można je tam umieścić? Zadaniem tym zajmują się wielkie grupy naukowców pracujących dla potężnych przedsiębiorstw wytwarzających układy scalone. Aby wypalić na płycie krzemowej ścieżki o jak najmniejszej szerokości potrzebne są fale elektromagnetyczne o jak najwyższej energii. Obecnie opracowywane są techniki tzw. litografii synchrotronowej, która pozwoli zmniejszyć kilkukrotnie wielkość elementów nanoszonych na procesor, a tym samym zwiększyć jego wydajność. Dzięki wykorzystaniu akceleratorów, które pierwotnie zostały opracowane przez fizyków cząstek elementarnych, wymogi stawiane przez prawo Moore'a będą spełnione.

Czy to już wszystkie dziedziny życia i nauki, które wykorzystują technologie opracowane przez fizyków cząstek elementarnych? Oczywiście, że nie. Przykłady można by mnożyć w nieskończoność. Akceleratory cząstek są wykorzystywane do pokrywania silników samolotowych cienką warstwą chromu zabezpieczającą je przed korozją. Zaczynają być też stosowane na lotniskach, dzięki czemu możliwe staje się wykrywanie bomb, które terroryści ukrywają w bagażu. Używane są do wyjątkowo dokładnej sterylizacji narzędzi i do oblekania protez kości (np. sztucznych stawów biodrowych) specjalnymi warstwami, dzięki którym zmniejsza się ryzyko odrzucenia implantu przez organizm pacjenta. Pojawił się także pomysł zastosowania akceleratorów do przetwarzania odpadów promieniotwórczych w nieszkodliwe substancje. Zagadnieniem tym zajął się między innymi były dyrektor CERN-u i laureat nagrody Nobla – Carlo Rubbia. Prace nad tą ideą są w toku. Oczywiście technologie opracowane

w CERN to nie tylko akceleratory, detektory i sieci komputerowe. Są to również: metody otrzymywania i pracy z wysoką próżnią i w bardzo niskich temperaturach (kriogenika), zagadnienia związane z nadprzewodnictwem, elektrotechniką, a nawet geodezją (budowa 27 kilometrowego akceleratora umieszczonego kilkadziesiąt metrów pod powierzchnią była ogromnym wyzwaniem).

Można jednak zadać kolejne pytanie – czy bez finansowania badań nad cząstkami elementarnymi nie opracowano by owych, wymienionych wcześniej, technologii? Po co wydawać miliardy euro na utrzymywanie wielkich ośrodków naukowych, których jedynie „ubocznym” efektem działalności jest wprowadzanie nowych rozwiązań do innych dziedzin życia? Czy nie lepiej przekazać całą tę kwotę bezpośrednio biofizykom, informatykom, czy naukowcom zajmującym się elektroniką, a oni sami będą potrafili wypracować owe rozwiązania?

Kraje gotowe przeznaczyć ogromne sumy pieniędzy na rozwój takich ośrodków jak CERN zrozumiały, że odpowiedź na to pytanie brzmi – nie, i że przekazywane fundusze nie są pieniędzmi „utopionymi” w ambicjach garstki „szalonych” naukowców. Badania nad cząstkami elementarnymi są bowiem frontem badań naukowych i jako takie wymagają opracowywania wciąż nowych technologii. W ośrodkach badawczych gromadzą się najlepsi fizycy, informatycy i inżynierowie z całego świata. Tutaj mogą wymieniać bez przeszkód myśli, idee, razem szukać rozwiązań. Wszyscy pracują nad zgłębieniem wiedzy z dziedziny fizyki wysokich energii, ale, aby osiągnąć założony cel, muszą oni rozwikłać tysiące pojawiających się problemów i wymyślić setki nowych, oryginalnych rozwiązań. Gdyby naukowcy ci pracowali sami, oddzieleni barierami granic, wiele z idei, które wyeksportowały takie ośrodki jak CERN, czekałoby jeszcze na swoich odkrywców. Zrozumieli to nawet przywódcy znajdujący się swojego czasu (przed rokiem 1989) po obu stronach żelaznej kurtyny, którzy pozwolili swoim fizykom wysokich energii na praktycznie nieskrępowane kontakty z naukowcami z „wrogiego” obozu. Wielkie laboratoria takie jak CERN, czy DESY na długo przed upadkiem Muru Berlińskiego przyjmowały do siebie fizyków z państw komunistycznych, stając się zarazem dla tych państw jednym z niewielu „okien na świat”.

W historii nauki dwudziestego wieku można znaleźć dowody na to, że postawienie ambitnego celu przed silną grupą najlepszych naukowców owocuje rozwiązaniem nie tylko danego problemu, ale również licznymi innymi wynalazkami, które znajdują swoje zastosowania w wielu dziedzinach życia. Było tak zarówno w czasie II wojny światowej, jak i w okresie wyścigu na Księżyc. Ośrodki badawcze, takie jak CERN, dają możliwość osiągania rozwoju nauki w podobny sposób, jednak tym razem w ramach międzynarodowej współpracy i w celach pokojowych.

Jedynie niewielki procent budżetu CERN-u jest „przejadany” przez naukowców tam pracujących. Reszta, w postaci zamówień dla przemysłu, wraca do krajów inwestujących. Zamówienia te tworzą tysiące miejsc pracy i pozwalają

na rozwój wielu gałęzi przemysłu. Do krajów uczestniczących w przedsięwzięciu przepływają technologie z pozostałych państw. W ten sposób kraje takie jak Niemcy i Wielka Brytania nie inwestują bezpośrednio w swój przemysł i nie budują kolejnych przysłowiowych fabryk wytwarzających zapalki. Decydują się natomiast na inwestowanie w naukę i tym samym zapewniają rozwój przemysłu oraz gromadzenie technologii. A to procentuje, o czym chyba nie trzeba nikogo przekonywać. Wystarczy porównać poziom rozwoju gospodarczego tych państw z poziomem rozwoju chociażby Polski...

W Polsce bardzo często porusza się problem finansowania nauki i sensowności rozwoju niektórych jej dziedzin. Zarzuty nieprzydatności stawiane są przed wieloma naukami podstawowymi. Fizyka cząstek elementarnych jest tu przykładem, innym jest astronomia. Dyskusje takie odbywają się zarówno na poziomie instytucji finansujących naukę, jak również na poziomie zwykłych obywateli. Często doniesieniom o przełomowych odkryciach, umieszczanym choćby na portalach internetowych, towarzyszą liczne komentarze ludzi niezwiązanych z nauką sugerujące, że po raz kolejny, aby uszczęśliwić wąskie grono naukowców, zmarnowano miliony. Zapomina się o tym, że dana dziedzina nauki, której odkryć nie można w bezpośredni sposób przełożyć na poprawienie jakości życia obywateli, może w ciągu następnych kilkudziesięciu lat okazać się tą, która stworzyła idee i rozwiązania zmieniające cały świat. A fizyka cząstek elementarnych, pozostając na froncie badań naukowych jest właśnie taką dziedziną, która na każdym kroku wymaga dokonywania przełomów i wprowadzania innowacji. Zrozumiały i wykorzystują to największe potęgi gospodarcze świata. Może pora abyśmy i my to zrozumieli...

Polecamy stronę internetową CERN, którą w wersji polskiej prowadzi Zygmunt Ajduk.

Dr Grzegorz Brona, MBA, Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, Instytut Fizyki Doświadczalnej, Zakład Cząstek i Oddziaływań Fundamentalnych

Zajmuje się badaniami struktury wewnętrznej protonów i neutronów, a w szczególności zagadnieniami związanymi z ich spinem. Blisko współpracuje z laboratorium CERN, gdzie bierze udział w największym obecnie eksperymencie fizyki wysokich energii COMPASS. Interesuje się również zagadnieniami związanymi z transferem wiedzy pomiędzy ośrodkami naukowymi i komercyjnymi.

