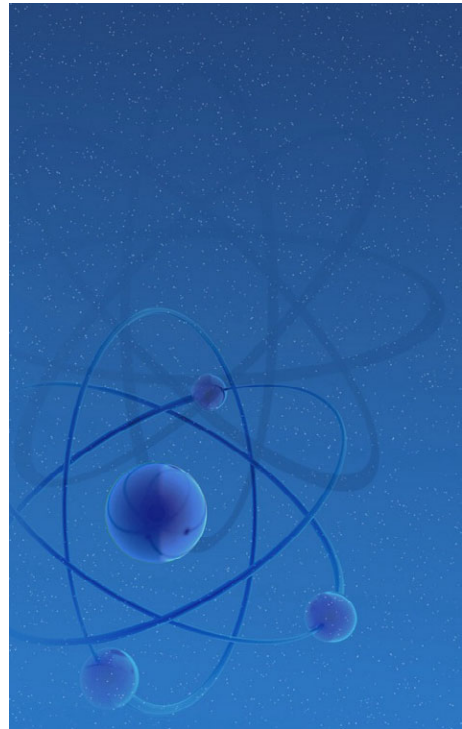


# Dwie wieże na zgliszczach

Refleksje w stulecie przewrotu w fizyce

**Powiadają, że życie pisze najlepsze scenariusze. W rzeczy samej, historia ostatniego stulecia fizyki jest tak niesamowita, że nie powstydziliby się jej renomowany scenarzysta, spec od thrillerów. Oto budowana przez z górą 200 lat misterna i zda się niewzruszona konstrukcja gmachu fizyki rozsypuje się niczym biblijna wieża Babel, a z ruin wyłaniają się zarysy dwóch nowych wież, niby bliźniaczych, lecz do siebie nie przystających. Zapraszam do prześledzenia tego dramatu poznania od początku, który jest, jak u Hitchcocka, trzęsieniem ziemi – poprzez rozpaczliwe próby scalenia antagonizujących wież na powrót w jeden spójny gmach (unifikację) – aż po stan dzisiejszy, który bynajmniej nie jest happy endem, lecz nieustanną wędrówką przez labirynty hipotez i spekulacji.**



Ten thriller oparty jest na faktach, nie fikcji – przeto nie oczekuj, Drogi Czytelniku, teleportacji, napędu WARP, maszyny czasu i innych tego typu gadżetów - one są w Hollywood, nie w fizyce! Nim jednak udasz się ze mną w podróż, mała przestroga. Gdy poczujesz frustrację, bo niewiele zrozumiałeś, nie zniechęcaj się! Zrozumieć istotę teorii, hipotez, modeli tworzonych przez fizyków niepodobna bez znajomości formalizmu matematycznego, której, *implicite* tu zakładam, statystyczny czytelnik nie ma. Dlatego tu nie może być mowy o zrozumieniu tylko o przyjęciu (na wiarę!) do wiadomości, że takie czy inne koncepcje/spekulacje powstają. A że większość z nich „nie mieści się nam w głowie”? Cóż, to też informacja, być może dla wielu czytelników nowa: oto poziom abstrakcji, na którym toczą się naukowe spekulacje, nie jest dla nas osiągalny, nawet w wersji opisowej. Inna sprawa, że w większości przypadków ta wersja nie oddaje pełnego sensu zawartego w formalizmie matematycznym (inaczej nie byłby on potrzebny do zrozumienia istoty rzeczy). Jest tu więc troszkę tak, jak w Ewangeliach, gdy Jezus serwuje przypowieści o Królestwie Niebieskim, którego nie można pojąć wprost, tylko w sensie przybliżonym, metaforycznym.

## Klaps 1: Trzęsienie ziemi

W noc sylwestrową przełomu XIX i XX w. fizycy mieli prawo do beztroskiej zabawy w poczuciu dobrze spełnionego obowiązku. Powszechnie uważano, że gmach fizyki został ukończony. Na jego nieskazitelnej konstrukcji, zbudowanej ze zweryfikowanych empirycznie matematycznych modeli, widniały jeszcze tylko dwie małe rysy. Pierwsza, na piętrze termodynamiki, wskazywała na niezgodność empirycznego widma promieniowania ciała doskonale czarnego z teoretycznym, opartym na prawach fizyki klasycznej, wzorem Rayleigha-Jeansa. Druga, na piętrze elektrodynamiki, objawiała się brakiem niezmienniczości solidnie zweryfikowanych doświadczalnie równań Maxwella względem transformacji Galileusza (ta niezmienniczość była w ówczesnym paradygmacie obowiązującym testem na falsyfikowalność teorii).

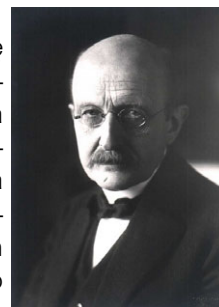
Nikt się tymi rysami zbyt nie przejmował. Co tam - drobiazg, który się dopracuje - dwa pociągnięcia pędzla i gmach gotowy - bagatelizowano problem.

Okazało się jednak, że te dwie małe rysy rychło zamieniły się w całkiem szerokie pęknięcia, rozwalając gmach newtonowskiej fizyki w proch. Co ciekawe, okazały się one zalążkami dwóch nowych budowli. Rysa pierwsza (nazwana później „katastrofą ultrafioletową”) stała się fundamentem

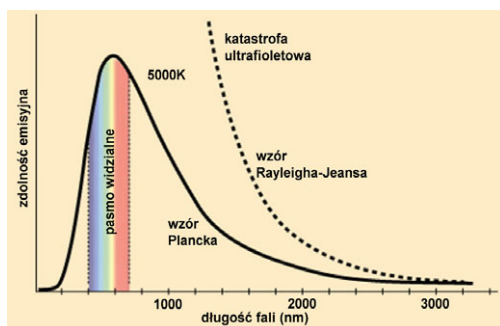
„wieży kwantowej”, która ukazała fizykom całkiem nowe oblicze mikroświata, druga zaś - „wieży relatywistycznej”: nowej teorii grawitacji, która zrewolucjonizowała wielkoskalowy (kosmologiczny) obraz rzeczywistości. I w jednym i w drugim przypadku nowa fizyka napotkała ograniczenia, które znacznie osłabiły optymizm poznawczy piewców deterministycznej mechaniki pokroju Laplace’a znanego z naśladowania Archimedesesa: „dajcie mi położenia i pędy wszystkich cząstek świata, a pokażę wam jego historię i przyszłe losy”.

## Klaps 2: Małe jest nieuchwytne, czyli niechciane kwanty

Wkrótce po Sylwestrze wprowadzającym świat w wiek dwudziesty na scenę wkroczył Max Planck, teoretyk z Berlina, ekspert od teorii ciepła. Szukając sposobu na zaspachlowanie pierwszej rysy, ślęczał nad wzorem Rayleigha-Jeansa i dumał, jak go zmodyfikować, żeby zechciał pokazywać w paśmie fal ultrafioletowych widmo zgodne z danymi empirycznymi. W pewnej chwili doznał olśnienia niczym pomysły Dobromir: zaraz zaraz, jeśli w tym członie w mianowniku dopisać „minus jeden”, to widmo teoretyczne zgadza się z obserwowanym w całym przedziale częstotliwości! No dobrze, ale jakie są tego konsekwencje? Okazało się, że dokonana przez Plancka modyfikacja wzoru Rayleigha-Jeansa wymagała



Max Planck



Spektrum promieniowania ciała doskonale czarnego

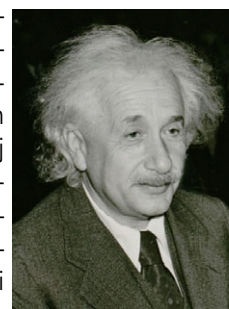
założenia, że materia **nie może** wypromieniowywać energii inaczej, niż w określonych, niepodzielnych porcjach, nazwanych później kwantami. Bardziej nie chcąc niż chcąc, Planck przyjął to nieprzystające do fizyki newtonowskiej założenie.

No i zaczęło się dziać. Pierwsze ćwierćwiecze ubiegłego wieku przebiegło pod znakiem dynamicznego rozwoju teorii kwantów, a fizycy raz po raz popadali w osłupienie lub co najmniej zakłopotanie, bowiem niektóre konsekwencje tej teorii zdawały się kpić ze zdrowego rozsądku. Okazało się np. że w świecie cząstek elementarnych nie rządzi determinizm, lecz probabilistyka, że materia ma charakter falowy, wreszcie - że w procesie poznania ist-

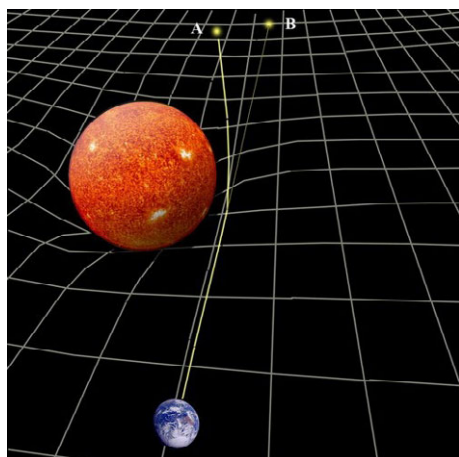
nieją immanentnie zawarte w mechanizmach funkcjonowania świata ograniczenia, których nigdy nie da się ominąć (zasada nieoznaczoności).

## Klaps 3: Duże jest nieosiągalne, czyli kres absolutów

Czas przejść do drugiej rysy. Matematyczną transformację, względem której równania Maxwella zachowywały się niezmienniczo, odkrył Konrad Lorentz, lecz dopiero Albert Einstein odważył się wprowadzić ją do fizyki jako uogólnienie transformacji Galileusza. Odważył się – bo, podobnie jak Planck, musiał złożyć w ofierze newtonowskie świętości: absolutny czas i absolutną przestrzeń, pogodzić się z istnieniem przeczących zdrowemu rozsądkowi relatywistycznych paradoksów (najbardziej znany to paradoks bliźniąt) a także zrezygnować z eleganckiej, prostolinijnej przestrzeni euklidesowej; w nowej teorii grawitacji, jaką jest ogólna teoria względności (OTW) Einsteina materia jawi się jako zakrzywienie czasoprzestrzeni (istotą OTW spektakularnie w jednym zdaniu streścił znany fizyk John Archibald Wheeler: *przestrzeń mówi materii, jak ma się poruszać a materia mówi przestrzeni, jak ma się zakrzywiać*<sup>1</sup>.



Albert Einstein



Przestrzeń mówi materii, jak ma się poruszać a materia mówi przestrzeni, jak ma się zakrzywiać

Podobnie jak „wieża kwantowa”, „wieża relatywistyczna” także przyniosła bardzo dokuczliwe ograniczenie. Dowiedzieliśmy się, że prędkość światła jest najwyższą z możliwych prędkości w przyrodzie, na dodatek osiągalną wyłącznie przez fotony posiadające zerową masę spoczynkową. Miłośnicy

podróży międzygalaktycznych wcale nie mają powodów do zadowolenia, ale nie ma co wierzyć przeciw Einsteinowi – on tylko odkrył to, co stanowiło dotąd ukryte mechanizmy funkcjonowania świata materialnego. Zresztą nie mają oni zamiaru wierzyć, lecz tego odkrycia po prostu nie przyjmują do wiadomości – widać to aż nadto w głównym nurcie fantastyki zwanej, często bez kozery, naukową – zarówno tej pisanej jak też tej „kręconej” (Star Trek i okolice).

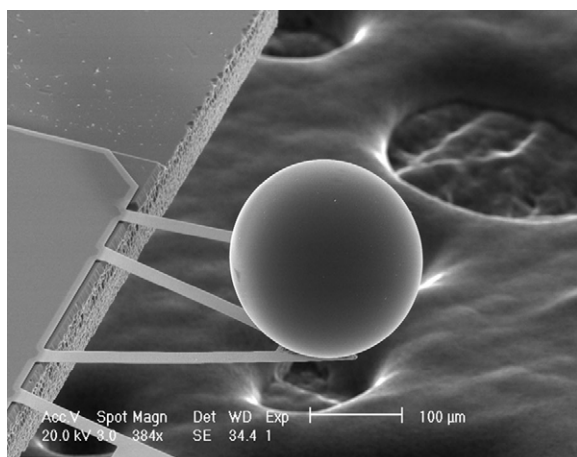
## Klaps 4: Dwie wieże rosą

Widzimy więc, że obie rysy nie tylko rozwały w perzynę gmach fizyki klasycznej, ale obróciły do góry nogami paradygmatykę fizyki. Przełom wieków był świadkiem rewolucji w fizyce na miarę kopernikańsko-newtonowskiej stanowiącej wręcz podręcznikową ilustrację koncepcji Thomasa Kuhna zawartej w epokowym dziele „Struktura rewolucji naukowych”. Kuhn uważał, że podczas rewolucji naukowej starszy paradygmat jest zamieniany w całości lub po części przez niezgodny z nim paradygmat nowszy, który nie jest modyfikacją starego tylko jego zamiennikiem, gdyż *„instytucjonalna tradycja naukowa wyłaniająca się z rewolucji naukowej jest nie tylko niezgodna, ale też niezgadnialna z tą, która pojawiła się przed nią”*<sup>2</sup>.

Rewolucje naukowe mają to do siebie, że pociągają za sobą dynamiczny wysyp nowych hipotez i teorii. Nie inaczej było po trzęsieniu ziemi w fizyce.

I tak mechanika kwantowa zaowocowała burzliwym rozwojem fizyki cząstek elementarnych. Odkrywano ich coraz więcej a obraz mikroświata miast się wyklarować, podlegał coraz większej komplikacji. Dyscyplina czekała na swego Mendelejewa – i czeka do dziś.

Mechanika kwantowa zmieniła też wyobrażenie fizyków o próżni. Okazało się, że nie jest ona nico-



Mierząca ok. 0,1 mm kula porusza się w kierunku gładkiej płyty reagując na fluktuacje energii próżni pustej przestrzeni. To przyciąganie znane jest jako efekt Casimira.

ścią, zupełną pustką, jak sądzono w fizyce newtonowskiej, lecz polem kwantowych fluktuacji, gdzie nieustannie dochodzi do kreacji par splątanych cząstek materii i antymaterii. Takie cząstki powstają więc „z niczego” jakby kpiąc sobie z uświęconych w fizyce zasad zachowania masy i energii, za to potwierdzając stare porzekadło, że natura nie znosi próżni. Nie jest to bynajmniej czysta spekulacja: w 1948 r. holenderski fizyk Hendrik Casimir wpadł na pomysł wykrycia tych cząstek, a w 1997 r. jego amerykański kolega po fachu Steve Lamoreaux pomysł ten zrealizował w laboratorium, wykazując tym samym czarno na białym, że fluktuacje próżni istnieją.

Konsekwencje mechaniki kwantowej zaprowadziły nas dalej, niż bylibyśmy skłonni przypuszczać. Badanie związków między świadomością a mechanizma-

mi kwantowymi zainicjowało nową dyscyplinę – parafizykę, która zajmuje się fizykalną naturą parapsychologii. Pewne fenomeny parafizyczne, na przykład psychokinezę, można wyjaśnić na gruncie nowej rozszerzonej fizyki kwantowej czy teorii chaosu.

Podobnie jak wieża kwantowa, tak i relatywistyczna błyskawicznie obrastała hipotezami i teoriami. Towarzyszyła im fala doniosłych odkryć w astronomii. Nowa dziedzina, astrofizyka spektralna, nie tylko przyniosła wiedzę o składzie chemicznym, a w konsekwencji ewolucji gwiazd; także zmieniła nasze wyobrażenie o strukturze Wszechświata. Badania widm galaktyk wykazały, że oddalają się one od siebie, co miałyby świadczyć o rozszerzaniu się Wszechświata. Nieuchronnie nasunął się wniosek, że cały kosmos powstał z Wielkiego Wybuchu (ang. Big Bang).

W latach międzywojennych OTW zaowocowała wysypem modeli kosmologicznych. Większość z nich oparta była na idei Wielkiego Wybuchu, która umocniła się w 1965 r., kiedy to Arno Penzias i Robert Wilson wykryli promieniowanie reliktywne tła zapostulowane jako konsekwencja Big Bangu już w 1948 r. przez George Gamow.

Jednym z problemów modeli kosmologicznych była niemal idealna izotropowość obserwowanego wszechświata. Wytłumaczenie znalazł w 1981 r. Alan Guth, proponując tzw. model inflacyjny. Zakłada on, że w drobnym ułamku sekundy po Wielkim Wybuchu wszystko to, co w nim powstało, rozrosło się i rozdziło tak bardzo, że wszelkie krzywizny zostały „wyprostowane” i „wygładzone”. Inflacja

zdumiewająco dokładnie (do 59 miejsca po przecinku!) dostroiła równowagę między grawitacyjnym hamowaniem a ekspansją energii<sup>3</sup>.

Jak wyglądał Wszechświat *in statu nascendi*? Fizycy obliczyli, że gdy miał zaledwie  $10^{-44}$  sekundy, jego rozmiary wynosiły  $10^{-33}$  cm a gęstość  $10^{93}$  g/cm<sup>3</sup>. Przy takich warunkach nie obowiązują znane nam prawa fizyki. Ten moment nazywa się progiem Plancka. Aby opisać Wszechświat w erze przed tym progiem, trzeba zintegrować teorię grawitacji z mechaniką kwantową – czyli połączyć wieże.

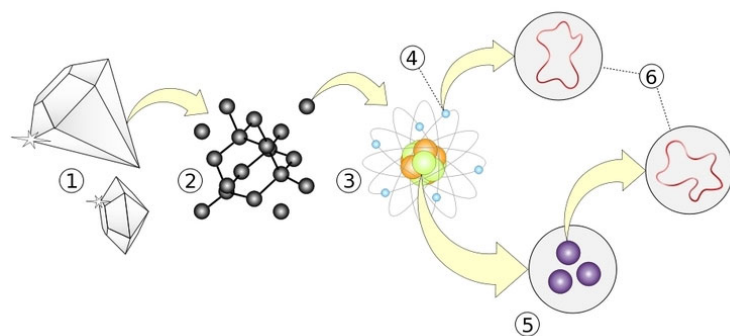
## Kłaps 5: Pomost między zwaśnionymi wieżami

Fizycy zawsze marzyli, aby model funkcjonowania świata był prosty i klarowny. Najchętniej widzieli by jedno równanie (no, ostatecznie układ równań) z którego, przez podstawienie odpowiednich parametrów, dałoby się wywieść wszystko: mechanikę, termodynamikę, optykę, etc. Takie rozwiązanie nosi nazwę teorii unifikacji. Niestety, zainicjowana ponad wiek temu rewolucja zamiast scalać, wprowadziła następne zróżnicowanie. Nowa dyscyplina: mechanika kwantowa i einsteinowska teoria grawitacji (OTW) rozwijały się, owszem, dynamicznie, lecz każda sobie. Wybitny polski kosmolog ks. prof. Michał Heller mówi obrazowo, że współczesna fizyka jest chora na schizofrenię: świat relatywistyczny jest dokładny i geometryczny, zaś świat kwantów niezdeterminowany i probabilistyczny<sup>4</sup>. Ale przecież świat jest jeden, więc powinien istnieć jeden spójny zestaw rządzących nim praw. Oczywiście, fizycy czynili co w ich mocy, żeby te światy „pożenić” ze sobą. Już Einstein pracował nad jednolitą teorią pola mającą opisywać siły grawitacji i elektromagnetyzmu jako dwa przejawy tego samego zjawiska. Jego wysiłki były skazane na niepowodzenie, gdyż w tamtych czasach nie wiedziano, że są jeszcze dwie siły: słabe i silne oddziaływania jądrowe.

Fizycy wykazali, że im wyższa energia oddziaływania cząstek, tym bardziej natężenia różnych oddziaływań zbliżają się do siebie, tak że przy pewnym progu energii rzeczywiście dochodzi do ich „złączenia się” (unifikacji) w jedno oddziaływanie. W 1967 r. Steven Weinberg, Sheldon Lee Glashow i Abdus Salam zaprezentowali teorię tzw. „małej unifikacji” integrującej oddziaływania elektromagnetyczne i słabe w jedno (nazwali je elektroslabe). Unifikacja ta zachodzi przy energiach przekraczających 100 GeV. Taki poziom energii był charakterystyczny dla Wszechświata liczącego  $10^{-12}$  sekundy, lecz jest osiągalny w akceleratorach jądrowych, dzięki czemu można było tę teorię zweryfikować empirycznie – a potem przyznać odkrywcom Nagrodę Nobla (1979 r.)

Pokrzepieni tym osiągnięciem fizycy poszukiwali unifikacji następnych oddziaływań. W latach 70. XX wieku powstał załączek Modelu Standardowego uważanego dziś za formalnie obowiązującą teorię fizyki cząstek elementarnych. Model opisuje trzy z czterech (bez grawitacji) oddziaływań podstawowych i został częściowo potwierdzony doświadczalnie, lecz do dziś nie zaobserwowano bozonu Higgsa – kluczowej cząstki przezeń przewidywanej.

Model Standardowy nie zadowolili fizyków, bo nie wyjaśnia wielu zjawisk. Dlatego nadal trwały poszukiwania, które zaowocowały teoriami Wielkiej Unifikacji (GUT) – unifikującymi oddziaływania silne i elektroslabe. Dzieje się to przy energiach rzędu  $10^{15}$  GeV, co odpowiada warunkom, w jakich znajdował się



Struktura materii. 1) kryształ, 2) sieć atomów, 3) pojedynczy atom, 4) elektron, 5) proton lub neutron składający się z trzech kwarków, 6) elektrony i kwarki mogą być tak naprawdę małymi drgającymi strunami (za Wikipedia Commons).

Wszechświat w  $10^{-35}$  sekundy. Kolejna teoria, tzw. Supersymetria, przy energiach rzędu  $10^{19}$  GeV ( $10^{-44}$  sekundy), unifikuje oddziaływania elektroslabe, silne i grawitację.

Warto dodać, że na poziomie Wielkiej Unifikacji istnieją już tylko dwa rodzaje cząstek: fermiony i bozony, zaś Supersymetria przewiduje istnienie cząstek tylko jednego rodzaju nazwanych – jakżeby inaczej! - supercząstkami.

Wielkie nadzieje wiążą fizycy z teorią superstrun. Jest ona obecnie najbardziej obiecującą kwantową teorią grawitacji i kandydatką na wymarzoną „teorię wszystkiego” – uogólnia bowiem w sobie wszystkie dotychczasowe unifikacje (Model Standardowy, GUT). Postuluje istnienie mikroskopijnej wielkości obiektów ( $10^{-33}$  cm), które można sobie wyobrazić na podobieństwo strun zwiniętych



w pętli. Obiekty te wirują, skręcają się i oscylują nie tylko w czterech znanych nam wymiarach (czas i przestrzeń), ale też w sześciu (lub siedmiu) dodatkowych. Gdy struny wpadają w rezonans, dają „czyste tony”, które obserwujemy jako oddziaływania i cząstki we Wszechświecie.

Sama idea jest prosta i piękna, choć abstrakcyjna. Lecz na takim etapie poznania znajduje się od stu lat fizyka; sięgając granic mikro- i makroświata spotykamy się z jego nieuchwytnością i niewyobrażalnością. Abstrakcja jest, być może, jedynym sposobem sięgnięcia rozumem w ten aspekt rzeczywistości, którego nigdy nie będziemy w stanie zobaczyć i bezpośrednio doświadczyć.

Ale to nie jest zmartwienie – wszak podobne sytuacje mieliśmy wcześniej – np. prądu elektrycznego też „nie widać”, a jego istnienia doświadczamy pośrednio na każdym kroku! Ważne jest tylko to, aby teoria, choćby najbardziej abstrakcyjna, dała się zweryfikować empirycznie... No właśnie, z tym też zaczyna być problem.

## Klaps 6: Zmagania z kapryśną Empirią

Weryfikacja empiryczna modeli matematycznych w fizyce jest warunkiem *sine qua non* uznania ich za teorie. O ile w makroświecie nie ma z tym większych problemów (pomiar odległości, czasu, temperatury etc.) o tyle w skalach kwantowej i kosmologicznej tak różowo już nie jest. Pomiar na poziomie cząstek elementarnych z jednej strony napotyka na barierę zasady nieoznaczoności (pomiar zakłóca doświadczenie) z drugiej na prozaiczne problemy związane ze skalą wartości mierzonych – czy to dotyczy dystansu, czy ładunku (energii), czy innych parametrów. Mimo tych kłopotów postępująca technologia otwiera przed pomiarami nowe horyzonty. Potrafimy dziś w sposób niewyobrażalnie dokładny mierzyć podstawowe wielkości fizyczne (niektóre z nich przedstawiono w tabeli obok), lecz mimo to nie mamy powodów do huraoptymizmu. Nie będziemy w stanie wytworzyć (sztucznie) warunków panujących w pobliżu ery Plancka. Podobnie nie będzie możliwe sięgnięcie obserwacją ani do wnętrza czarnych dziur ani do okresów młodego Wszechświata (choć astronomowie zaglądną w coraz dalszą przeszłość – niedawno np. zaobserwowali gwiazdę, która zgasła 13,7 mld lat temu czyli „ledwie” 630 mln lat po Wielkim Wybuchu).

W związku z tym opisane wyżej teorie supersymetrii i superstrun nie są, a niektórzy sceptycy twierdzą, że nigdy nie będą zweryfikowane empirycznie (Sheldon Lee Glashow ironizuje, że teoria superstrun jest „absolutnie bezpieczna”, jako że nie ma jakiegokolwiek sposobu by ją zweryfikować i ewentualnie obalić).

Czy nowy akcelerator cząstek, zwany Wielkim Zderzaczem Hadronów (LHC) zbudowany w CERN-ie może zmienić tę sytuację? Fizycy wiążą z nim spore nadzieje, licząc nie tyle osiągnięcie warunków młodego Wszechświata, ile na zbadanie tendencji zbliżania się do siebie oddziaływań dla energii wyższych, niż dotychczas osiągnane. LHC ma także potwierdzić istnienie bozonu Higgsa i pomóc wyjaśnić problem antymaterii.

### Częstotliwość

John Hall i Theodor Haensch (Nobel w 2005 r.) zbudowali laser umożliwiający mierzenie częstotliwości z dokładnością do jednej biliardowej (10-15) i przymierzają się do tysięcy razy dokładniejszego (10-18).

### Czas

W kwietniu 2008 r. naukowcy z USA zbudowali zegary mierzące czas z dokładnością 10-17sek. Taka dokładność nie jest nam potrzebna na co dzień – ani przy zmaganiach sprinterów, ani tym bardziej na dworcach kolejowych, ale w rzeczywistości mikroświata jest wciąż niewystarczająca; do czasu Plancka (5x10-44 sek), który jest uważany za kwant czasu, jeszcze sporo brakuje.

### Temperatura

Wysłany w maju 2009 r. w kosmos europejski satelita „Planck” bada mikrofalowe promieniowanie tła. Jest on w stanie wykryć fluktuacje temperatury tła rzędu milionowej części stopnia.

### Masa

Dla codziennych potrzeb wystarczy nam ważenie z dokładnością 1 grama. Aptekarze potrzebują już dokładności miligramowej (10-3 g). A fizykom udało się precyzyjnie określić masy spoczynkowe cząstek elementarnych: protonu (1,67262171x10-24 g), elektronu (9,109 3826x10-28 g).

### Prędkość

„Suszarki” policyjne mierzą prędkość z dokładnością ok. 3%, zaś zawrotną prędkość światła (299 792 458 m/s) znamy z dokładnością 0,4 m/s (0,00000013%).

### Odległość

Jeszcze dokładniej mierzymy odległość Ziemia – Księżyc: do 2 mm (0,0000000005%)

### Pomiary kątowe

System radioteleskopów VLBA (Very Long Baseline Array) umożliwia obserwację obiektów z rozdzielczością do 0,0001" (odpowiada to grubości ludzkiego włosa obserwowanego z odległości 400 km.).

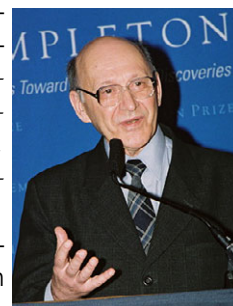
Trwają też prace nad interferometrycznym teleskopem optycznym. Dzięki złożeniu obrazów otrzymywanych w dwóch dziesięciometrowych teleskopach Keck I i Keck II znajdujących się na hawajskim szczycie Mauna Kea, astronomowie chcą osiągnąć rozdzielczość optyczną wynoszącą 0,001", a w projekcie TRIO przewidziano kosmiczny interferometr, składający się z trzech teleskopów optycznych, którego rozdzielczość kątowna ma sięgać 0,00001". Powstaje także instrument, który umożliwi pomiary prędkości radialnych obiektów odległych o lata świetlne z dokładnością 1 cm/s.

## Klaps 7: Fantazja czy wizjonerstwo?

Kaprysy Empirii sprawiają, że na froncie fizycznego poznania zaczynają dominować spekulacje. W samej spekulacji nie ma nic złego; pełno jej nie tylko w literaturze SF lecz także na kartach historii nauki. Istotą procesu naukowego jest bowiem tworzenie nowych idei, a potem ich akceptowanie albo odrzucanie. W naukach przyrodniczych arbitrem w tej sprawie jest, jakżeśmy już zauważyli, empiria. Dlatego gdy możliwości empirycznej weryfikacji nie ma, lub są one ubogie, poprawia się pogoda dla spekulacji.

### Siła modelu

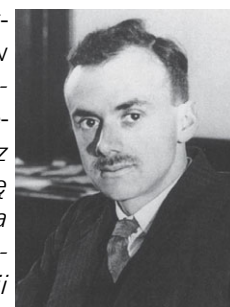
Inna sprawa, że nie są to spekulacje całkiem jałowe. W przeciwieństwie do pisarzy SF, fizyków ogranicza nie tylko empiria - również matematyka. Ponieważ świat można skutecznie badać przy pomocy metod matematycznych, panuje powszechny podgląd, że posiada on racjonalność typu matematycznego<sup>5</sup>. Pogląd ten narzuca istotne więzy epistemologiczne na badaczy, choć też osłabia ich zainteresowanie empiryczną weryfikacją. Bardzo wyraźnie mówi o tym prof. Michał Heller: *Co ciekawe, w pewnym momencie poczułem, że przestaje mnie interesować, czy świat rzeczywiście jest taki, czy nie. Budując jakiś model świata, który jest logicznie spójny, czuję się trochę jak artysta, który tworzy coś własnego. Ale oczywiście nie mam takiej wolności. Muszę dedukować. Obowiązują mnie żelazne prawa logiki*<sup>6</sup>.



Michał Heller

Nasz znany kosmolog nie jest w tym odosobniony. Sam Einstein uznawał prymat myśli nad doświadczeniem w procesie poznania naukowego. W napisanych pod koniec życia „Zapiskach Autobiograficznych” czytamy: *Teoria grawitacji nauczyła mnie jeszcze jednej rzeczy: nawet z najbardziej bogatego zbioru faktów empirycznych nie można wyprowadzić tak skomplikowanych równań. Teoria może być empirycznie potwierdzona, ale nie istnieje droga od doświadczenia do konstrukcji teorii. Równania tak skomplikowane jak równania pola grawitacyjnego mogą być sformułowane jedynie poprzez odkrycie logicznie prostej zasady matematycznej, która całkowicie lub prawie całkowicie określa równania*<sup>7</sup>.

Podobnie uważał Paul Dirac, specjalizujący się w dziedzinie cząstek elementarnych, w której rzeczywistość przedmiotów fizycznych i idei matematycznych w jakiś tajemniczy sposób zlewają się ze sobą. W wykładzie *O relacji między matematyką a fizyką* przedstawił on program dochodzenia do prawdy w fizyce teoretycznej, w którym zaleca: *Zacząć, wybrawszy dział matematyki, o którym można z uzasadnieniem przypuszczać, że będzie podstawą nowej teorii. Specjalną uwagę należy poświęcić matematycznemu pięknu tego działu. Zdecydowawszy się na dziedzinę matematyki, należy ją rozwijać we właściwym kierunku, cały czas patrząc czy nie wydaje się ona podpowiadać w naturalny sposób jakiejś interpretacji fizycznej*<sup>8</sup>.



Paul Dirac

W swej sympatii do modeli matematycznych niektórzy fizycy posuwają się bardzo daleko. Znany kosmolog amerykański Charles Misner zasłynął wypowiedzianym w 1978 r. zdaniem „hardware is software”, co oznaczało, że tak naprawdę to istnieją tylko matematyczne modele świata, materia jest ich konsekwencją. Pogląd ten zyskał sobie wielu zwolenników, zwłaszcza wśród fizyków teoretyków i sporo przeciwników, zwłaszcza wśród materialistów.

### Siła świadomości

Wdzięczną przestrzenią do rozwoju spekulacji jest wspomniana już parafizyka. Zdaniem wybitnego fizyka Rogera Penrose’a, do wyjaśnienia zjawiska świadomości konieczne jest odwołanie się do zjawisk występujących na poziomie kwantowym w mózgu. A fizyk i filozof przyrody David Bohm uważa, że na poziomie fundamentalnym istnienia świata wszystko jest obdarzone rudymenarną psychicznością - inaczej: podział na fizyczne i psychiczne znika. W głębi istnienia, na niewidzialnych obszarach świata, trwa gra świadomości ludzkiej ze świadomością rozczłonkowaną w całym wszechświecie<sup>9</sup>.

Problem istnienia i natury zjawisk psychicznych, a dokładnie świadomości ludzkiej jest najbardziej zagadkowym „węzłem przyrody”, w którym splątane są takie dyscypliny jak biologia, chemia, psychologia i określone działy medycyny. I to właśnie fizyka, a dokładnie mechanika kwantowa ów „węzeł przyrody”, jeśli nie rozwiązała, to dobrze oświetliła<sup>10</sup>.

Idąc tropami myśli Briana D. Josephsona (Nobel w 1973 r.) w poszukiwaniu związków między świadomością a procesami kwantowymi amerykański fizyk Evan H. Walker, proponuje następujący mechanizm: dopóki funkcja falowa nie jest przedmiotem obserwacji, zmienia się zgodnie z falowym równaniem Schrödingera, w którym jej ewolucję określa operator zwany hamiltonianem. Natomiast gdy jest obserwowana, hamiltonian zmienia się skokowo: funkcja falowa „ulega kolapsowi”, co Walker przypisuje podzbiorowi „zmiennych ukrytych”: atrybutów świadomości, które nazywa wolą. A to znaczyłoby, że świadomość obserwatora zmienia stan obiektu kwantowego!

Jeśli te spekulacje okazałyby się prawdziwe, zmieniłby się całkowicie paradygmat współczesnej nauki w aspekcie relacji między duchem i materią. Że takie efekty jak dematerializacja, teleportacja, zginanie metalu, mające dotąd rację bytu jedynie w fantastyce, nie są z istoty swej niemożliwe; do ich zajścia potrzeba tylko podtrzymywanej intensywnie siły woli, która prowadzi do kolapsu funkcji falowej na poziomie makroskopowym do skrajnie nieprawdopodobnego stanu<sup>11</sup>.

## Kosmologiczny supermarket

Niemniej wdzięczną przestrzenią sprzyjającą spekulacji jest kosmologia. Dzieje się tak, ponieważ wszystkie teorie kwantowania grawitacji nie mają licznych i dobrych odniesień do empirii, jako że dotyczą bardzo wczesnych etapów wszechświata (poblize ery Plancka), charakteryzującej się ekstremalnymi parametrami (wymiały rzędu  $10^{-26}$  m, temperatury rzędu  $10^{32}$  K i większe). Stąd weryfikacja tych teorii raczej na zawsze pozostanie poza bezpośrednim, ziemskim eksperymentem. A obserwacje... cóż, pokazują ledwie pozostałości po wczesnej fazie Wszechświata i mogą służyć weryfikacji jedynie w trybie, nazwijmy to „poszlakowym”. Do tych poszlak można „dopasować” wiele różnych konstrukcji teoretycznych – i tak np. rzesze fizyków udoskonalały wspomniany wyżej inflacyjny model Gutha. W 1997 r. istniało już 50 odmian tej teorii „wpasowujących” się w dane obserwacyjne. Nic więc dziwnego, że niektórzy odmawiają kosmologii miejsca wśród nauk przyrodniczych. Astrofizyk M. J. Disney z Uniwersytetu w Cardiff pisał, że słowo „kosmolog” winno być usunięte ze słownictwa naukowego, dotyczy bowiem kapłanów a nie naukowców<sup>12</sup>.

Popatrzmy na niektóre produkty fizyki spekulatywnej w kosmologii. Czego tu więcej? fantazji czy wizjonerskiego geniuszu? Proszę obstawiać, jak na wyścigach! Być może, czas próby jest bliski (jeśli, rzecz jasna, wszystko nie skończy się z hukiem w 2012 roku!)

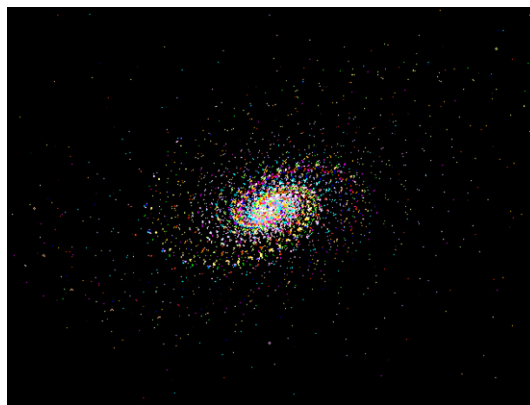
## Teoria względności do lamusa?

Profesor fizyki teoretycznej w londyńskim Imperial College João Magueijo jest autorem teorii zmiennej prędkości światła, która zakłada, że we wczesnym okresie istnienia wszechświata była ona większa niż obecnie. Tym samym autor kwestionuje dwie fundamentalne teorie wyjaśniające powstanie i istnienie wszechświata: teorię względności i kosmologiczną teorię inflacji.

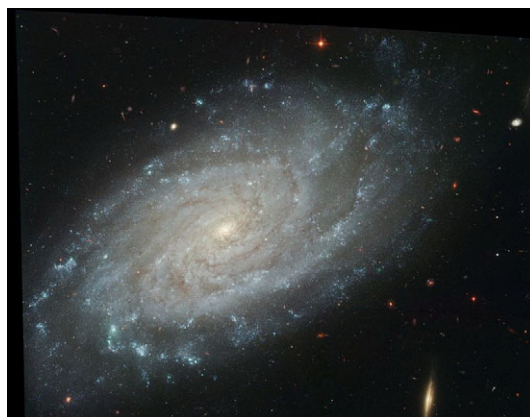
## Wszechświat jako fraktal

Fraktal w matematyce oznacza obiekt samo-podobny (tzn. taki, którego części są ciągle podobne do całości) albo ukazujący subtelne detale w wielokrotnym powiększeniu.

W 1977 r. francuski matematyk Benoit Mandelbrot wyraził pogląd, że galaktyki we Wszechświecie rozmieszczone są w sposób fraktalny i zaproponował dojrzały matematyczny model rozkładu materii, gdzie „nie ma środka, a jest hierarchia”. Już na początku lat 80. XX w. grupa włoskich astrofizyków pod kierownictwem Luciano Pietronero, zauważyła, że obserwowany rozkład galaktyk (w skali ok. pięciu megaparseków) wykazuje strukturę fraktalną, przewidzianą przez Mandelbrota.



Matematyczny fraktal



Galaktyka NGC\_3370



## Wieloświaty

Wygląda na to, że jeden wszechświat do badania fizykom nie wystarcza, bo coraz częściej pojawiają się bardziej lub mniej fantastyczne koncepcje wieloświata (multiverse). Oto trzy z nich.

### *Kwantowy multiwszechświat*

Amerykański fizyk Hugh Everett III uważał, że wszystko, co może się zdarzyć, zdarza się na pewno w jednej z odnóg rzeczywistości. Każde zdarzenie jest jednakowo realne, lecz zdarza się w innym, równoległym wszechświecie. Kwantowy multiwszechświat Everetta jest jak rozgałęziające się w nieskończoność drzewo. Oznacza to między innymi, że i my, przebywający na takim drzewie, chcąc nie chcąc, także się rozgałęziamy. Niestety, za tak ekscentryczne poglądy Everett został skazany na naukową banicję. Ale ma godnego kontynuatora: koncepcję kwantowego multiwszechświata rozwija dziś David Deutsch, fizyk z Uniwersytetu w Oxfordzie.



Artystyczna wizja multiwszechświata

### *Dobór naturalny wszechświatów*

„Na drzewo” odsyła także inny amerykański fizyk Lee Smolin. Nawiązuje on do koncepcji fraktalu, lecz w skali kosmologicznej: rzeczywistość jawi mu się jako nieskończony fraktal z wszechświatów, rozrastający się w wielkie drzewo i wyrastający z jakiegoś macierzystego wszechświata, w którym po raz pierwszy wystąpiła anomalia zwana „osobliwością”. Nasz Wielki Wybuch mógł być wynikiem „odbicia się” z czarnej dziury w innym wszechświecie. A jeśli tak, to „u nas” istnieje co najmniej tyle wszechświatów, ile jest czarnych dziur. Można przypuszczać, że te inne wszechświaty „pączkują” podobnie jak nasz. Rozwijając tę koncepcję, Smolin zbudował „teorię doboru naturalnego wszechświatów”. Gałęzie owego drzewa wszechświatów, które nie tworzą czarnych dziur muszą wymierać bardzo szybko. „Rozmnażają się” za to te wszechświaty, w których odpowiednie liczbowe parametry dają taką możliwość. Jeśli - powiada Smolin - światy w większości „rodzą” światy o parametrach zbliżonych do własnych, można z dużym prawdopodobieństwem założyć, że należymy do „rodziny” najludniejszej w „populacji” wszechświatów. Tym swoistym „doborem naturalnym” możemy więc tłumaczyć wartości liczbowe podstawowych parametrów naszego wszechświata, a także zasadę antropiczną.

### *Kolizja membran*

Innego rodzaju wieloświat bazuje na teorii strun. W tej koncepcji nasz i inne wszechświaty powstały w wyniku kolizji membran w 11-wymiarowej przestrzeni. W przeciwieństwie do wszechświatów w „multiwersum kwantowym” mogą one mieć zupełnie różne prawa fizyki.

Według obliczeń kosmologów-astrofizyków (A. Linde, V. Vanchurin) z Uniwersytetu Stanforda w Kalifornii liczba takich wszechświatów może wynosić  $10^{10^{10^7}}$ ; jest to liczba której nie da się zapisać w postaci dziesiętnej ze względu na liczbę zer większą od liczby atomów w obserwowalnym wszechświecie szacowaną na  $10^{80}$ . Cóż, trochę to przypomina obliczanie ilości diabłów na łebku szpilki. Nawet jeden z autorów koncepcji Paul Steinhardt z Princeton University (być może nie chcąc podzielić losu Everetta) studzi emocje: *Nasza koncepcja opiera się na nie popartych dowodami pomysłach zaczerpniętych z ciągle jeszcze niedokończonej teorii superstrun. Doceniając entuzjazm i zainteresowanie, z jakimi ją przyjęto, sugerowalibyśmy, by z jej rozpowszechnianiem poczekać na dokładniejsze opracowania, które umożliwią jej rzetelną ocenę*<sup>13</sup>.

### **Kwantowe teorie grawitacji**

Teorie te, będące *de facto* kandydatkami na łącznik między wieżą kwantową i relatywistyczną, mnożą się jak grzyby po deszczu. Można je uporządkować w następujący sposób:

- \* Teoria strun i M-teoria jako kwantowe teorie grawitacji (Wittem, Green, Schwarz)
- \* Pętlowa grawitacja kwantowa (Ashtekar, Smolin, Tiehmann, Wilson)
- \* Kwantowa grawitacja w modelu nieprzemiennej (Connes, Heller)



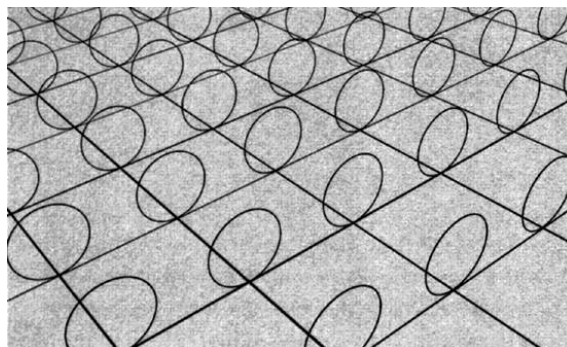
### **Superstruny i M-teoria**

Jak pisaliśmy, ambicją teoretyków pracujących nad teorią superstrun było zunifikowanie całej fizyki w jednej, spójnej strukturze matematycznej. Okazało się jednak, że ma ona aż pięć odmiennych wersji! Zamiast jedności znów mamy rozdrobnienie. Jeden z czołowych „supermanów” Edward Witten, zasugerował, że te wersje, pomimo odmiennych postaci matematycznych, mogą prowadzić do identycznych przewidywań doświadczalnych. Ten właśnie koncept uogólnienia 5 teorii superstrun w jedną nosi nazwę M-teorii. Zakłada ona istnienie 11-wymiarowej hiperprzestrzeni ze strunami, superstrunami, membranami, supermembranami, cząstkami, supercząstkami – jednym słowem – supermarket! Wszechświat ma tu kształt dwóch 10-wymiarowych membran, które łączy odcinek z osobliwymi końcami o nazwie orbifold. Można to interpretować jako dwa 10-wymiarowe wszechświaty oddziaływające między sobą za pomocą grawitacji, z których jeden to nasz wszechświat, a drugi składa się z ciemnej materii. Proste, nieprawdaż?

M-teoria przewiduje, że newtonowskie prawa grawitacji zmieniają się przy oddziaływaniach na odległość poniżej milimetra, oraz że efekty unifikacji dla grawitacji można zaobserwować już przy energii dostępnej akceleratorom. To dawałoby jej szansę na wyjście z getta spekulacji. Ale i ona zaczyna pączkować: doczekała się już dwóch odmian: 12-wymiarowej (F-teoria) i 13-wymiarowej (S-teoria).

### **Teoria pętli**

Grupa wybitnych relatywistów na czele z Abhay Ashtekarem i Lee Smolinem dopracowała się koncepcji, wedle której w skali Plancka (czyli 20 rzędów wielkości mniejszej niż promień jądra atomowego) przestrzeń wygląda jak sieć, czy też tkanina zrobiona z dyskretnych pętli. Jest ona gładka w skali makroskopowej tylko dlatego, że jest zbudowana z ogromnej liczby połączonych pętli, podobnie jak pozornie gładka tkanina składa się z oddzielnych nici. Koncepcja ma obiecującą cechę: prowadzi do obrazu zbudowanego wyłącznie z relacji. Tak właśnie Einstein chciał rozumieć geometrię czasu i przestrzeni - jako dynamiczną strukturę relacji, nie zaś jako coś danego a priori. Za pomocą koncepcji pętli udało się przenieść tę ideę do mechaniki kwantowej. W nowym ujęciu sformułowano także teorię supergrawitacji i teorię czarnych dziur, ale i tym razem spodziewany przełom nie nastąpił.



Graficzne wyobrażenie przestrzeni w teorii pętli

### **Kwantowa grawitacja w modelu nieprzemiennej**

Dla nieobytych z matematyką małe wyjaśnienie: nieprzemienność polega na tym, że przy zmianie kolejności mnożenia zmienia się wartość iloczynu np. w algebrze nieprzemiennej  $2 \times 3$  nie jest równe  $3 \times 2$ .

Geometria nieprzemienna powstaje, jeżeli zastosuje się algebrę nieprzemienną do reprezentacji geometrii. Otrzymuje się wówczas geometrię całkowicie globalną, pozbawioną punktów - czyli (przechodząc w obszar fizyki) znika pojęcie umiejscowienia zdarzeń zarówno w czasie jak i w przestrzeni. Taki właśnie globalny, bezczasowy i bezpunktowy model geometrii mógł obowiązywać w erze Plancka.

Wiedziona tą intuicją grupa pracująca pod kierunkiem polskiego kosmologa Michała Hellera zbudowała na bazie nieprzemiennej algebry równoważną geometrię nieprzemienną, która łączy pewne elementy OTW z pewnymi elementami mechaniki kwantowej. Tak o dokonaniach grupy mówi M. Heller:

*Konsekwencje tej metody są rzeczywiście daleko idące. Kiedy dokonaliśmy tego odkrycia, stanęliśmy przed poważnym problemem: czy można w ogóle uprawiać fizykę bez pojęcia zwykłej przestrzeni i czasu. Przecież ważnym aspektem fizyki jest dzianie się. Dynamika z kolei kojarzy się nam z ruchem, z następstwem czasowym. Ku naszej radości okazało się, że to nie jest konieczny warunek dla jej istnienia. W abstrakcyjnej, nieprzemiennej przestrzeni istnieje dynamika, z tym że ruch nie odbywa się od punktu do punktu, lecz zmieniają się stany, działają jakieś siły, choć nasz potoczny język nie potrafi ich opisać<sup>14</sup>.*

## Klaps 7: Quo vadis fizyko?

Jak widzimy, w kotle fizyki wrze. Czy cała para pójdzie w gwizdek, czy też zaowocuje jakimś nowym trendem? Nową rewolucją naukową, kolejnym przełamaniem paradygmatu? Czy znajdziemy sposoby, aby oddzielić spekulacje twórcze od jałowych? Czy uda się wreszcie połączyć obie wieże w jedną spójną całość? I ile trzeba na to czasu?

A fizyk teoretyk i filozof Marian Grabowski pyta jeszcze: czy też ta nadmierna spekulacja i rosnąca komplikacja nie zmarginalizuje w ogóle fizyki w ludzkiej kulturze?

Same pytania, na które brak odpowiedzi. Świat fizyków przypomina dziś grupę błądzących wędrowców, którym zabrakło przewodnika. Są zdani na własne siły, bo przecież bohaterowie rewolucji sprzed wieku mówiący o pięknie i prostocie opisu świata nie dali konkretnych wskazówek jak to należy rozumieć. Pojęcia te pozostają i dziś intuicyjną zasadą twórczości w dziedzinie fizyki teoretycznej, lecz wszelkie próby uchwycenia istoty fundamentalnych mechanizmów rządzących światem kończą się fiaskiem.

Wygląda na to, że zjawisko czysto spekulatywnej fizyki teoretycznej będzie nam jeszcze długo towarzyszyć. Więc bądźmy cierpliwi i wyrozumiali. A na koniec małe sursum corda.

Robert Oldershaw z Amherst College pisał:

*„Nie jesteśmy Panami Wszechświata. Co najwyżej jesteśmy skromnymi studentami przyrody. Nie powinniśmy przez to czuć się zaambarasowani. Przeciwnie, winniśmy być dumni z naszych wysiłków zrozumienia. Od czasów gdy Galileusz skierował swój teleskop ku niebu dokonano wielu cudownych odkryć<sup>15</sup>.*

I tym, raczej odbiegającym od standardów thrillera akcentem, przychodzi mi zakończyć naszą wędrówkę przez krajobrazy fizyki ostatniego stulecia. Jeśli Drogi Czytelniku, dotarłeś do tego miejsca, to bardzo Ci za towarzystwo dziękuję. Jeśli znalazłeś się tu, przeskakując z początku tekstu na jego koniec i czujesz się rozczarowany, powiem Ci, że fizyka to jednak nie thriller, w którym ostateczne rozwiązanie wątków znajduje się na ostatnich stronach (w ostatnich kadrach).

Tadeusz Solecki

<sup>1</sup> Za: [http://www.physicalworld.org/restless\\_universe/html/ru\\_4\\_24.html](http://www.physicalworld.org/restless_universe/html/ru_4_24.html)

<sup>2</sup> T. Kuhn, *Struktura rewolucji naukowych*, PWN, Warszawa 1963

<sup>3</sup> Owen Jay Gingerich, *Boski Wszechświat*, Wydawnictwa UW, 2009

<sup>4</sup> Michał Heller, *Kosmologia kwantowa*, Prószyński i S-ka, 2001

<sup>5</sup> Michał Heller, *Czy świat jest matematyczny?*, Zagadnienia filozoficzne w nauce, XXII/1998

<sup>6</sup> Katarzyna Janowska, *Piękna teoria wszystkiego - wywiad z ks. prof. Michałem Hellerem*, Polityka nr 18/2002

<sup>7</sup> A. Einstein, *Zapiski autobiograficzne*, Wydawnictwo Znak, 1996

<sup>8</sup> Cytat za: Helge S. Kragh, Dirac, *A Scientific Biography*, Cambridge University Press 1992

<sup>9</sup> D. Bohm, *The Undivided Universe*, London, 1993

<sup>10</sup> EINE, *Gra świadomości ze świadomością*, <http://autodafe.salon24.pl/65173,gra-swiadomosci-ze-swiadomoscia>

<sup>11</sup> Laurence M. Beynam, *Fizyka kwantowa i zjawiska paranormalne*, Literatura na świecie nr 141

<sup>12</sup> M. J. Disney, *The Case Against Cosmology*, Journal General Relativity and Gravitation, vol. 32, nr 6, 2000

<sup>13</sup> Michał Różyczka, *Sygnaly - Wielki Wybuch do lamusa?*, Wiedza i Życie nr 6/2001

<sup>14</sup> Michał Heller, *Początek jest wszędzie. Nowa hipoteza pochodzenia Wszechświata*, Wyd. Prószyński i S-ka, 2002

<sup>15</sup> Robert Oldershaw, *Janus-Faced Cosmology*, Sky and Telescope, vol. 95, nr 4 (1998)