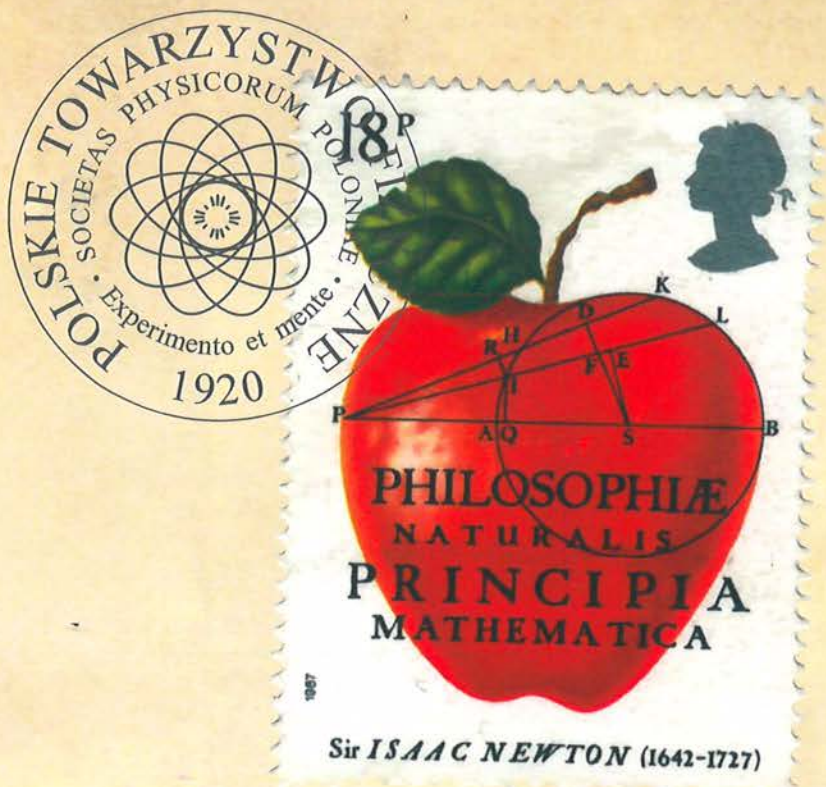


POSTĘPY FIZYKI

Dwumiesięcznik Polskiego Towarzystwa Fizycznego



Jan Czerniawski

Czy mamy już kanoniczny przekład „Scholium”?

Adam G. Riess

Moja droga ku rozszerzającemu się wszechświatu

Brian B. Schmidt

Dowód przyspieszonej ekspansji Wszechświata
wynikający z obserwacji gwiazd supernowych

Potwierdzenie jedności praw fizyki

Z profesorem Andrzejem Budzanowskim
rozmawiał Andrzej M. Kobos

ISSN 0032-5430



9 770032 543042

Scholium.

Hitherto I have laid down the definitions of such words as are less known, and explained the sense in which I would have them to be understood in the following discourse. I do not define time, space, place, and motion, as being well known to all. Only I must observe, that the common people conceive those quantities under no other notions but from the relation they bear to sensible objects. And thence arise certain prejudices, for the removing of which it will be convenient to distinguish them into absolute and relative, true and apparent, mathematical and common.

I. Absolute, true, and mathematical time, of itself, and from its own nature, flows equably without relation to anything external, and by another name is called duration: relative, apparent, and common time, is some sensible and external (whether accurate or unequable) measure of duration by the means of motion, which is commonly used instead of true time; such as an hour, a day, a month, a year.

II. Absolute space, in its own nature, without relation to anything external, remains always similar and immovable. Relative space is some movable dimension or measure of the absolute spaces; which our senses determine by its position to bodies; and which is commonly taken for immovable space; such is the dimension of a subterraneous, an aerial, or celestial space, determined by its position in respect of the earth. Absolute and relative space are the same in figure and magnitude; but they do not remain always numerically the same. For if the earth, for instance, moves, a space of our air, which relatively and in respect of the earth remains always the same, will at one time be one part of the absolute space into which the air passes; at another time it will be another part of the same, and so, absolutely understood, it will be continually changed.

III. Place is a part of space which a body takes up, and is according to the space, either absolute or relative. I say, a part of space; not the situation, nor the external surface of the body. For the places of equal solids are always equal but their surfaces, by reason of their dissimilar figures, are often unequal. Positions properly have no quantity, nor are they so much the places themselves, as the properties of places. The motion of the whole is the same with the sum of the motions of the parts; that is, the translation of the whole, out of its place, is the same thing with the sum of the translations of the parts out of their places; and therefore the place of the whole is the same as the sum of the places as the parts, and for that reason, it is internal, and in the whole body.

IV. Absolute motion is the translation of a body from one absolute place into another; and relative motion, the translation from one relative place into another. Thus in a ship under sail, the relative place of a body is that part of the ship which the body possesses; or that part of the cavity which the body fills, and which therefore moves together with the ship: and relative rest is the continuance of the body in the same part of the ship, or of its cavity. But real, absolute rest, is the continuance of the body in the same part of that immovable space, in which the ship itself, its cavity, and all that it contains, is moved. Wherefore, if the earth is really at rest, the body, which relatively rests in the ship, will really and absolutely move with the same velocity which the ship has on the earth. But if the earth also moves, the true and absolute motion of the body will arise, partly from the true motion of the earth, in immovable space, partly from the relative motion of the ship on the earth; and if the body moves also relatively in the ship, its true motion will arise, partly from the true motion of the earth, in immovable space, and partly from the relative motions as well of the ship on the earth, as of the body in the ship; and from these relative motions will arise the relative motion of the body on the earth. As if that part of the earth, where the ship is, was truly moved towards the east, with a velocity of 10010 parts; which the ship itself, with a fresh gale, and full sails, is carried towards the west, with a velocity expressed by 10 of those parts; but a sailor walks in the ship towards the east, with 1 part of the said velocity; then the sailor will be moved truly in immovable space towards the east, with a velocity of 10001 parts, and relatively on the earth towards the west, with a velocity of 9 of those parts.

Informacje dla autorów i tłumaczy:

Czekamy na artykuły przeglądowe i monograficzne pod warunkiem, żeby były przystępne dla ogółu fizyków. Układ pracy (tytuł, autor, afiliacja, streszczenie po polsku, tytuł angielski, streszczenie po angielsku, tekst, odnośniki literaturowe, podpisy pod ilustracjami itd.) powinien odpowiadać formie przyjętej w *Postęпах Fizyki* (patrz artykuły w ostatnich zeszytach). Prace złożone w systemie TEX (Microsoft Office, LibreOffice) z ilustracjami o rozdzielczości co najmniej 300 dpi prosimy nadsyłać e-mailem pod adresem postepy@amu.edu.pl albo ptomczak@amu.edu.pl. Prace są recenzowane. Publikowanie w *Postęпах Fizyki* wiąże się z nieodpłatnym udostępnieniem utworu autorskiego w Internecie na podstawie licencji Creative Commons. Materiałów nie zamówionych Redakcja nie zwraca.

Prenumerata:

1. Dla Członków PTF Redakcja rozsyła kolejne zeszyty do członków PTF, którzy wybrali wydanie typograficzne, natomiast wydanie elektroniczne będzie dostępne natychmiast po powstaniu zeszytu dla tych członków, którzy wybrali dostęp do wydania elektronicznego.

2. Prenumeratę dla osób/instytucji, które nie są członkami PTF prowadzi: RUCH (<http://www.prenumerata.ruch.com.pl>)

ADVANCES IN PHYSICS founded in 1949 is the magazine of the Polish Physical Society, addressed to the Polish community of physicists. Published bimonthly in Polish. For a subscription information visit www.prenumerata.ruch.com.pl

Okladka:

1. Znaczek upamiętniający 300-lecie pierwszego wydania *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, dziękujemy profesorowi Tadeuszowi Hilczerowi za dostarczenie znaczka
2. Tekst angielski *Scholium*, tłum. Andrew Motte (1729)
4. Tekst łaciński *Scholium*.

RADA REDAKCYJNA

Andrzej Kajetan Wróblewski (przewodniczący)
Mieczysław Budzyński
Andrzej Dobek
Witold Dobrowolski
Zofia Gołąb-Meyer
Józef Szudy

REDAKTOR HONOROWY

Adam Sobiczewski

REDAKCJA

Józef Barnas
Konrad Kapcia
Maria Marciniak (sekretarz redakcji)
Magdalena Staszal
Piotr Tomczak (redaktor naczelny)

ADRES REDAKCJI

Wydział Fizyki UAM
ul. Umultowska 85
61-614 Poznań
postepy@amu.edu.pl

KORESPONDENCI ODDZIAŁÓW PTF

Anna Go (Białystok)
Aleksandra Wronkowska (Bydgoszcz)
Wojciech Gruhn (Częstochowa)
Tomasz Jarosław Wąsowicz (Gdańsk)
Roman Bukowski (Gliwice)
Beata Kozłowska (Katowice)
Aldona Kubala-Kukuś (Kielce)
Małgorzata Nowina Konopka (Kraków)
Elżbieta Jartych (Lublin)
Michał Szanecki (Łódź)
Halina Pięta (Opole)
Maria Połomska (Poznań)
Małgorzata Pociąg (Rzeszów)
Anna Kamińska (Słupsk)
Janusz Typek (Szczecin)
Winiacusz Drozdowski (Toruń)
Aleksandra Miłosz (Warszawa)
Bernard Jancewicz (Wrocław)
Lidia Najder-Kozłowska (Zielona Góra)

POLSKIE TOWARZYSTWO FIZYCZNE

ZARZĄD GŁÓWNY

Wiesław A. Kamiński (prezes), Bohdan Grządowski (sekretarz generalny), Piotr Rączka (skarbnik), Mariusz P. Dąbrowski, Jacek P. Goc, Zofia Gołąb-Meyer, Jerzy Warczewski (członkowie wykonawczy), Jacek M. Baranowski, Maria Dobkowska, Henryk Figiel, Bernard Jancewicz, Stefan Kruszewski, Andrzej Ślebarski, Andrzej Zięba, Elżbieta Zipper (członkowie)

ADRES ZARZĄDU

ul. Hoża 69,
00-681 Warszawa,
tel. (22) 621 26 68

PRZEWODNICZĄCY ODDZIAŁÓW

Krzysztof Szymański (Białystok), Stefan Kruszewski (Bydgoszcz), Ewa Mandowska (Częstochowa), Jarosław Rybicki (Gdańsk), Marcin Miczek (Gliwice), Wiktor Zipper (Katowice), Małgorzata Wysocka-Kunisz (Kielce), Krzysztof Fiałkowski (Kraków), Jerzy Żuk (Lublin), Tadeusz Wibig (Łódź), Stanisław Waga (Opole), Alina Dudkowiak (Poznań), Marian Kuźma (Rzeszów), Włodimir Tomin (Słupsk), Mariusz Dąbrowski (Szczecin), Janusz Szatkowski (Toruń), Mirosław Karpierz (Warszawa), Antoni Mituś (Wrocław), Marian Olszowy (Zielona Góra)

Czasopismo ukazuje się od 1949 roku.

Dofinansowanie wszystkich zeszytów w roku 2012:
Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Wydawca: Polskie Towarzystwo Fizyczne
Skład i łamanie: Paweł Mleczeko (*dtp-art.pl*)

Druk i oprawa: Moś i Łuczak, Poznań

Nakład: 800 egzemplarzy

ISSN 0032-5430

W trakcie wkładu o oddziaływaniu światła z materią, wygłoszonego w 1979 roku w Auckland, Feynman, wyjaśniając częściowe odbicie światła od powierzchni szkła, zastanawiał się wstępnie, czy nie jest tak, że 96 procent powierzchni szkła stanowią „dziury”, przez które światło przechodzi, a 4 procent to „plamy”, które światło rozpraszają. Odwołał się wtedy do argumentu Newtona, że tak nie może być, ponieważ *można wypolerować szkło* i ta proporcja nie zmieni się. Weinberg, w najnowszej książce *Wykłady z mechaniki kwantowej*, podaje niezwykle prosto oryginalne sformułowanie Heisenberga mechaniki kwantowej zaczerpnięte z jego pracy z 1925 roku. Oglądając wykłady Leonarda Susskinda dostępne na *YouTube* – do czego gorąco zachęcam – możemy zauważyć, że i on używa wielu argumentów zaczerpniętych nie tylko od Boltzmanna czy Carnota ale i od Feynmana.

Wynika stąd że Feynman, Weinberg i Susskind bardzo dokładnie studiowali pisma poprzedników. Ci trzej fizycy, będący niewątpliwie mistrzami w przybliżaniu nie tylko *zwarowanych zawilosci mechaniki kwantowej* ale i innych trudnych koncepcji współczesnej fizyki, wygłaszający wykłady przypominające oglądanie podwodnego świata przez krystalicznie czystą wodę, szukali idei i sposobów rozumowania bezpośrednio u swoich wielkich poprzedników. Uważali oni, jak się wydaje, że niezwykle kształcące jest zapoznanie się z *nowymi ideami* bezpośrednio u ich twórców.

Pytanie czy warto czytać pisma wielkich fizyków zamienia się więc na pytanie o to, czy przekład, którym zamierzamy się posłużyć jest wierny? Możliwość zapoznania się bezpośrednio ze sposobem myślenia Newtona daje nam niedawno opublikowany polski przekład *Principiów*. Analizę części tego przekładu, dotyczącą objaśnień definicji używanych przez Newtona, przeprowadza w swoim artykule Jan Czerniawski.

Oprócz dwóch wykładów noblowskich i artykułu *Doktoraty dla nauczycieli* znajdują Państwo w tym zeszycie wywiad z trzecim fizykiem z krakowskiej *Trójcy*, mianowicie z profesorem Andrzejem Budzanowskim, przeprowadzony przed siedmiu laty przez Andrzeja Kobosa. Moją uwagę zwróciło szczególnie jedno zdanie Profesora: *Jak powiedziałem, przypadkiem było to, że zostałem fizykiem*. Zapraszam do lektury.

Piotr Tomczak

SPIS TREŚCI

- A. G. Riess, *Moja droga ku rozszerzającemu się Wszechświatu* • 194
B. P. Schmidt, *Dowód przyspieszonej ekspansji Wszechświata wynikający z obserwacji gwiazd supernowych* • 206
A. M. Kobos, *Potwierdzenie jedności praw fizyki – rozmowa z profesorem Andrzejem Budzanowskim* • 222
S. Urban, M. Massalska-Arodź, J. Krawczyk, *Profesor Jerzy A. Janik (1927–2012) – sylwetka uczonego i wychowawcy* • 229
J. Czerniawski, *Czy mamy już kanoniczny przekład „Scholium”?* • 234
G. Karwasz, *Doktoraty dla nauczycieli* • 236
W. Drozdowski, *Korespondencja z Torunia – marzec 2013* • 239
Nominacje profesorskie • 240

POSTĘPY FIZYKI TOM 63 ZESZYT 6 ROK 2012

Moja droga ku rozszerzającemu się Wszechświatu

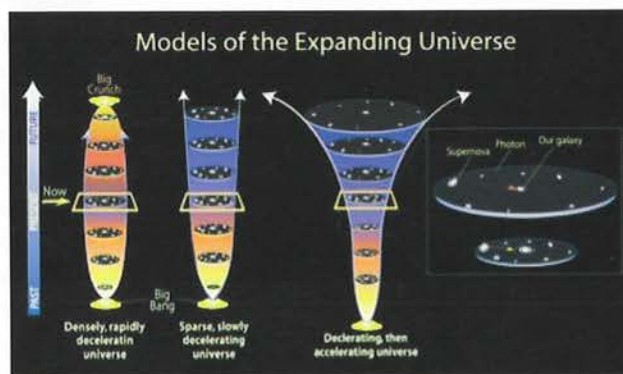
Adam G. Riess • Johns Hopkins University, Space Telescope Science Institute, Baltimore, USA

Wstęp

Jednym z najbardziej zdumiewających faktów dotyczących naszej wiedzy o Wszechświecie jest to, że on się rozszerza. Nigdy bym nie odgadł, że tak może być. Jeszcze jako student, mając trochę wiedzy z zakresu fizyki myślałem, że Wszechświat jest statyczny, wieczny i zawsze w równowadze. Kiedy dalej na studiach dowiedziałem się, że Wszechświat się rozszerza byłem zaskoczony. Wtedy nauczyłem się, że gdybyśmy potrafili mierzyć rozszerzający się Wszechświat tak, jak mierzy się rosnące dzieci odznaczając kolejno ich wzrost na framudze drzwi, moglibyśmy określić wiek Wszechświata i jego ostateczny los. To było oszalamiające! Wiedziałem, że to jest to, co chcę robić w życiu! Od tamtego czasu odmierzanie tempa rozszerzania się Wszechświata w celu poznania jego natury było moją pasją. Muszę jeszcze dodać, że wiedząc to co wiem dziś, że Wszechświat nie tylko się rozszerza, ale rozszerza się w sposób przyspieszony, czuję się jak Król Kastyli Alfonso X, który po lekturze teorii kosmosu Ptolemeusza podobno powiedział: „If the Lord Almighty had consulted me before embarking on creation thus, I should have recommended something simpler.” (Jeśli Bóg Wszechmogący skonsultowałby się ze mną przed stworzeniem, wtedy zarekomendowałbym coś prostszego – przyp. tłum.)

Edukacja kosmologa

Po pierwszym roku w liceum spędziłem lato w *New Jersey Governor's School of Science*. Rozpocząłem udział w programie w przekonaniu, że interesuje mnie inżynieria genetyczna, ale dla żartu zapisałem się na kurs ze szczególnej teorii względności. Kiedy dr Jimm Supplee z Uniwersytetu Drew wyjaśnił nam pojęcia dylatacji czasu, kontrakcji długości i względności równoczesności – połączyłem przynętę. Od 1988 do 1992 roku studiowałem fizykę w *Massachusetts Institute of Technology* (MIT). *Course 8* – tak nazywana była fizyka na MIT – rozciągnął mój umysł i jego możliwości bardziej niż jakiegokolwiek inne doświadczenie wcześniej czy później. Najtrudniejszym, ale najbardziej nagradzającym trudem kursem był kurs Junior Lab, podczas którego odtwarzaliśmy wielkie doświadczenia laureatów Nagrody Nobla z pierwszej połowy XX wieku. To podczas tego kursu nauczyłem się kochać proces podczas którego eksperymentatorzy



Ryc. 1. Modele rozszerzającego się Wszechświata. Używamy przesunięcia ku czerwieni i odległości (jasności) supernowych do pomiaru zmiany skali w czasie. Razem te pomiary dają historię ekspansji

i obserwatorzy zbierają surowe dane przy pomocy jakiegoś urządzenia i przekształcają je w podstawowe stwierdzenia o faktach i testy hipotez. Pozostanę gorliwym *data reductionist* (anizatorem danych – przyp. tłum.) do końca mojej kariery.

Kiedy kończyłem studia w MIT, Profesor Robert Kirshner, wówczas dziekan wydziału astronomii na Uniwersytecie Harvarda, zadzwonił do mnie z informacją, że zostałem przyjęty na kurs doktorancki z astronomii i jestem na liście oczekujących z fizyki. Zapytał, czy nie zechciałbym przyjechać do niego z wizytą i zaproponował, co było wtedy w zwyczaju, opłacić jej koszty. Biorąc pod uwagę bliskość obu instytucji (MIT i Uniwersytetu Harvarda) przesłał mi email bilet na metro typu „T”. Przejechałem zatem dwa przystanki wzdłuż czerwonej linii metra na Harvard. Podczas tej wizyty zostałem zaprowadzony do pokoju doktoranta, Briana Schmidta. W późniejszym okresie otrzymałem od niego bardzo wiele krytycznych uwag, ale wtedy dyskutowaliśmy o studenckim życiu doktoranta. Zdecydowałem, że będę robił doktorat z astronomii na Uniwersytecie Harvarda. Wtedy o astronomii i astrofizyce wiedziałem niewiele, ale gdzieś wewnątrz czułem, że chcę nauczyć się więcej. Tego lata, przed doktoratem, pracowałem nad projektem MACHO w Narodowym Laboratorium Lawrence’a Livermore (*Lawrence Livermore National Laboratory*), gdzie pobieżnie poznałem Saula Perlmuttera. W ten sposób zanim zacząłem pracę na studiach doktoranckich – już poznałem wielu ludzi, którzy w późniejszych latach mieli olbrzymi wpływ na przebieg i kształt mojej kariery.

W tamtych czasach był jeden wstępny egzamin na Harvard, który był oparty na wyborze książki Franka Shu *The Physical Universe*, którą szczęśliwie przeczytałem od deski do deski. Od czasu kiedy doszedłem do rozdziału 14 o rozszerzaniu Wszechświata i rozdziału 15 o grawitacji i kosmologii wiedziałem, że chcę pracować nad pomiarem tempa w jakim Wszechświat się rozszerza, albo raczej, tempa w jakim spowalnia rozszerzanie się Wszechświata. W tamtych czasach pomiary tempa rozszerzania się Wszechświata, jak i jednocześnie pomiary wieku Wszechświata, nie były możliwe z dokładnością lepszą niż co do czynnika 2. Co gorsza, jak było podkreślone w rozdziale 15 i było potwierdzone przez, wtedy aktualne, prace Allana Sandage'a i innych, niedokładność pomiaru wieku Wszechświata oznaczała brak możliwości wyznaczenia masy Wszechświata i czekającego go losu. Aby rozwiązać oba problemy należało precyzyjnie zmierzyć odległości rzędu miliardów lat świetlnych. W tamtym czasie najlepszymi obiektami do pomiaru odległości były najjaśniejsze galaktyki w gromadach galaktyk.

Wiosną 1993 roku udałem się na rozmowę do profesora Kirshnera w sprawie wyboru tematu moich badań. Kirshner, i jego student Brian Schmidt, kończyli pracę nad innymi obiektami służącymi do pomiaru odległości, gwiazdami supernowymi z zapadającym się rdzeniem. Profesor powiedział mi o pewnej nowej pracy Marka Philipsa z Inter-Amerykańskiego Obserwatorium Cerro Tololo (*Cerro Tololo Inter-American Observatory*), nad trzecim wyznacznikiem odległości, innego typu supernowymi znanymi jako supernowe typu Ia. Supernowe typu Ia miały powstawać kiedy węglowo-tlenowy biały karzeł kreował masę z gwiazdy towarzyszącej, urastał powyżej granicy Chandrasekara i eksplodował. Po eksplozji natężenie emitowanego światła najpierw rosło, osiągało pik, a potem malało. Ponieważ uważano, że wszystkie eksplozje supernowych typu Ia były takie same, więc jasność pików mogła być użyta do określania ich odległości: jasność maleje w określony sposób w funkcji odległości. Ponieważ supernowe typu Ia są najjaśniejszymi ze znanych supernowych – osiągają jasność rzędu 4×10^9 jasności słońca, to odległości na jakich mogą być obserwowane są ogromne. Oczywiście był w tym wszystkim pewien haczyk. Niektóre z tych supernowych nie były identyczne. Niektóre były wewnętrznie jaśniejsze niż inne, co powodowało, że astronomowie przeszacowywali, albo niedoszacowywali ich odległości. Mark odkrył, że wewnętrzna jasność w pikach była skorelowana z tempem w jakim emisja światła słabła po osiągnięciu pików. Supernowe były tym jaśniejsze im wolniej słabła ich jasność. Zatem znajomość tempa spadku emisji światła mogła posłużyć do poprawienia precyzji z jaką wyznaczana była odległość. Niestety pozostawał problem z tym, że zmiana ilości pyłu na drodze światła powodowała zmiany w obserwowanej jasności, a co za tym idzie spadek dokładności wyznaczenia odległości.

W celu zrozumienia tych zmian zespół prowadzony przez Mario Hamuy'ego z Markiem Philipsem, Nickiem Suntzeffem, Robertem Schommerem i Jose Maza w Chile prowadził pierwszy wielkoskalowy program, tzw. przegląd Calan / Tololo (*Calan / Tololo Survey*), polegający na mierzeniu krzywych jasności supernowych typu Ia. Ten program będzie przełomowy, dzięki zebraniu danych, które pozwoliły dowiedzieć, że supernowe typu Ia były idealnymi wyznacznikami odległości.

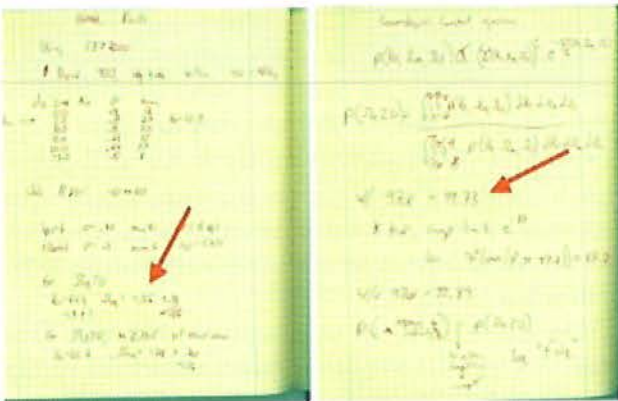
Bob Kirshner był ekspertem od obserwacji supernowych. Miał także zdrowy rozsądek, wycucie tego, co jest ważne i ponadprzeciętną zdolność do zarządzania zasobami – swoimi studentami – wszystko co jest potrzebne do osiągnięcia sukcesu. Zasugerował, że powinniśmy współpracować z innym profesorem z Harvardu, Williamem Pressem, ekspertem od rozwijania algorytmów – *Numerical Recipes*, to tytuł jego słynnej książki do analizy złożonych danych (patrz ryc. 2). Praca tego pierwszego lata szła powoli. Bill Press był daleko, a ja próbowałem zrozumieć z jego ostatniej pracy *Interpolation, Realization, and Reconstruction of Noisy, Irregularly Sampled Data* (Rybecki i Press 1992) i z preprintu Marka (Phillips 1993) sposób w jaki można byłoby wykorzystać krzywe jasności supernowych – to znaczy wzrost mocy, pik i osłabienie promieniowania – do wyznaczenia jej prawdziwej jasności. W tamtym czasie grupa Calan / Tololo nie skończyła jeszcze swojego przeglądu, więc dysponowaliśmy małym zbiorem danych do testowania naszych kodów do wyznaczania jasności supernowych. Było nawet gorzej, większość danych jakimi dysponowaliśmy było okrutnie zanieczyszczonych.

Bruno Leibundgut, nasz ważny przyszły współpracownik, skompilował atlas historycznych obserwacji supernowych sięgających wstecz do XIX wieku – większość z nich była obserwowana przy użyciu płytek fotograficznych. Niestety fotografia analogowa nie daje możliwości poprawnego odseparowania światła słabnącej supernowej od światła galaktyki, w której supernowa się znajduje. Aby mógł dokonać się postęp w pomiarze tempa rozszerzania się Wszechświata, obserwacje supernowych typu Ia musiały być prowadzone przy pomocy bardziej dokładnych cyfrowych detektorów CCD.

W tamtym czasie uczyłem się od Briana technik pomiaru jasności gwiazd przy użyciu przetworników CCD i wydeptałem ścieżkę w dywanie łączącym nasze biura. Później prowadziłem kilka wspólnych obserwacji z Brianem, Bobem i Peterem Challisem na Mount Hopkins. Razem z Bobem zdecydowaliśmy, że część mojej pracy doktorskiej będzie polegała na zebraniu dużej próbki krzywych jasności supernowych typu Ia, będzie to pierwsza próbka uzyskana przy użyciu kamer CCD na północnej półkuli nieba (pomiar Cerro Tololo były wykonywane na południowej półkuli nieba). Zaczęłem przeglądać doniesienia Międzynarodowej Unii Astronomicznej (*International Astronomical Union*, głównie od amatorów)

inne zespoły. Podsumowując, jesienią 1997 roku wiele z naszych nowych metod i osiągnięć zaczęło pracować razem i miało krytyczny wpływ na wiarygodność naszych nadchodzących nowych odkryć.

Mierzyłem supernowe, żeby określić obecne tempo rozszerzania się Wszechświata i tempo rozszerzania się w przeszłości i mogłem wyliczyć jak to tempo zmieniło się na przestrzeni ostatnich kilku miliardów lat. Znając tempo spowalniania ekspansji Wszechświata – wielkość zwaną q_0 , mogłem przewidzieć ilość masy jaka zawiera się we Wszechświecie – Ω_m . Im większa byłaby masa Wszechświata, tym bardziej oddziaływanie grawitacyjne działałoby przeciwko ekspansji Wszechświata i powodowałoby jej spowolnienie. Równanie, które to opisuje jest zaskakująco proste: $q_0 = \Omega_m/2$, ale to co początkowo zmierzyłem i napisałem w moim laboratoryjnym notesie było zdumiewające! Jedynym sposobem, żeby dopasować obserwacje do zmiany tempa ekspansji było dopuszczenie możliwości że masa Wszechświata jest „ujemna”. Innymi słowy, odczytując równanie we właściwy sposób, należy powiedzieć, że Wszechświat rozszerza się w sposób przyspieszony, a nie spowolniony (patrz ryc. 4)!



Ryc. 4. Notatnik autora. Lewa strona: Po przetestowaniu danych zdecydowałem przeanalizować jaką gęstość masy sugeruje tempo ekspansji. Odpowiedź jaką otrzymałem: $-0,36 \pm 0,18$ nie miała sensu, chyba że ekspansja Wszechświata przyspieszała! Prawa część: Kilka dni później policzyłem oszacowania poziomu istotności stałej kosmologicznej, otrzymałem wartości przedziałów ufności rzędu 99,7% do 99,8% nie zależnie od tego ile wynosiła gęstość materii. Dla gęstości masy o najmniejszej dopuszczalnej wartości $\sim 0,2$, poziom ufności rósł do $(4 - 5)\sigma$

To proste równanie zakłada, że jedynym składnikiem Wszechświata jest zwykła materia. Początkowo nie rozważałem obecności żadnej innej siły we Wszechświecie poza grawitacją materii i wyniki moich obliczeń komputerowych jednoznacznie wskazywały, że jedynie ujemna masa daje w efekcie przyspieszone rozszerzanie się Wszechświata i działa przeciwieństwo do przyciągania grawitacyjnego. Bardziej kompletne równanie na parametr spowolnienia q_0 , w ramach ogólnej teorii względności Einsteina ma postać $q_0 = \Omega_m/2 - \Omega_\Lambda$, gdzie Ω_Λ , albo omega lambda, jest gęstością energii pustej przestrzeni.

Einstein nazywał składnik Λ stałą kosmologiczną; efektywnie jest to grawitacja działająca odpychająco. Współczesny fizyk cząstek elementarnych nazwałby to energią próżni, to znaczy, „energiją punktu zerowego wyliczonego po zsumowaniu wszystkich możliwych cząstek w próżni”, a potem by narzekał, że jej oszacowanie daje nonsensownie błędną wartość.

Jako że coś takiego jak ujemna masa nie istnieje, zmieszany i zdesperowany (w tym samym duchu, w jakim Einstein wprowadzał ją dawno temu), ponownie wprowadziłem sławną stałą kosmologiczną do równania i natychmiast odkryłem, że jej odpychająca grawitacja może wyjaśnić przyspieszoną ekspansję, którą uparcie otrzymywałem w wyniku naszych obserwacji. Jej obecność była znacząca w sensie statystycznym i absolutnym – stała kosmologiczna miała stanowić 70% zawartości Wszechświata! To było nadzwyczajne, ale nawet moje skromne doświadczenie jako naukowca mówiło mi, że takie „odkrycia” są zwykle efektem jakichś prostych pomyłek. Spędziłem kilka tygodni na sprawdzaniu rachunków, ale nie znalazłem żadnego błędu. Potem intensywnie rozważałem możliwość jakichś niespodziewanych astrofizycznych źródeł zanieczyszczenia obserwacji. Tutaj pomocą była moja praca na temat rozpoznawania i poprawek ze względu na pył międzygwiazdowy. Mimo, że pył w dalekich galaktykach mógł imitować efekt przyspieszenia i powodować pociemnienie światła od odległych supernowych, użycie mojej metody MLCS i niezależnie kodu Marka Philipsa powodowały, że błąd w naszej analizie był niemożliwy. Z rosnącym zaufaniem do moich wyników w pierwszej kolejności poinformowałem Briana, który sprawdził moje ostatnie obliczenia. Na początku stycznia dał mi odpowiedź, że otrzymał taki sam wynik. Później media cytowały jego słowa: „Moja reakcja jest gdzieś pomiędzy osłupieniem, a przerażeniem”.

Byłem w stanie wyeliminować także kilka innych powodów do obaw o wyniki. Jednym z nich było to, że dalekie supernowe, które narodziły się kiedy Wszechświat był dużo młodszy, mogłyby być inne. Ale porównanie odległości bliskich supernowych w starych galaktykach eliptycznych i młodych galaktykach spiralnych ograniczało możliwy rozmiar ewentualnych różnic do mniej niż jednej trzeciej wartości sygnału przyspieszenia. Co więcej, moja metoda MLCS i algorytm Marka, dawały ten sam wynik: krzywe jasności i widma bliskich i dalekich supernowych były nierozróżnialne. Innym zmartwieniem egzotycznego typu była obawa, że pył w niektórych galaktykach mógł składać z nietypowo dużych cząsteczek i powodować pociemnienie widma, mimo, że nie był obserwowany. Wyliczyłem, że mały rozrzut dla odległych supernowych ograniczał możliwość obecności takiego pyłu do zanedbywalnej ilości. Trzecie zmartwienie było dobrze znanym efektem Malmquista, czyli tym, że astronomowie mają tendencję do znajdowania najjaśniejszych obiektów danego ty-

pu na niebie. Brian wykonał symulację, która pokazywała, że ten efekt także był zanedbywalny. Wyliczyliśmy nawet bardzo mało prawdopodobne wyjaśnienia takie jak: obecność lokalnej pustki we Wszechświecie, zanieczyszczenie próbki supernowymi innego typu oraz efekt znany pod nazwą soczewkowania grawitacyjnego. Wykluczaliśmy możliwość znaczenia któregoś z nich.

W tym samym czasie w moim życiu miało inne bardzo ekscytujące zdarzenie. Nancy Joy Schondford i ja pobraliśmy się 10 stycznia 1998 roku – był to najlepszy dzień mojego życia. Planowaliśmy miesiąc miodowy na Hawajach po następnych obserwacjach supernowych na Big Island.

W międzyczasie reszta zespołu sprawdzała rezultat i szukała możliwości popełnienia przez nas błędu. Zabawne jest odczytywanie emocji jakie towarzyszyły dyskusji rezultatu jaki otrzymaliśmy w mailach wymienianych między członkami grupy przez kilka dni w styczniu 1998 roku.

A. Filippenko, Berkeley, CA, 1/10/1998 10:11:
Adam pokazał mi fantastyczne wykresy nim wyszedł na swój ślub. Nasze dane wskazują na niezerową stałą kosmologiczną! Kto wie, to może być właściwa odpowiedź.

B. Leibundgut, Garching, Germany, 1/11/1998: 4:19:
Odnosnie stałej kosmologicznej chciałbym zapytać Adama, albo kogokolwiek z zespołu, czy czują się wystarczająco przygotowani na obronę wyniku. Nie ma sensu pisanie artykułu, jeżeli nie jesteśmy pewni, że otrzymaliśmy właściwą odpowiedź.

B. Schmidt, Australia, 1/11/1998: 19:13:
Jest prawdą, że nowe SNe mówią iż (stała kosmologiczna) jest większa od zera [...] jak pewni jesteśmy tego rezultatu? Ja myślę, że ten wynik jest bardzo kłopotliwy.

M. Phillips, Chile, 1/12/1998: 04:56:
Jako poważni i odpowiedzialni naukowcy (ha!) wiemy, że jest za wcześnie żeby wyciągać twarde wnioski na temat wartości stałej kosmologicznej [...]

R. Kirshner, Santa Barbara, CA 1/12/1998 10:18:
Martwię się. Sercem wierzyacie, że stała kosmologiczna jest błędem, umysł Wam mówi, że jesteście obojętni i po prostu raportujecie wyniki obserwacji. [...] Byłoby niepoważnym oświadczyć »stała kosmologiczna MUSI być niezerowa« tylko po to żeby za rok to odwoływać.

J. Tonry, Hawaii, 1/12/1998: 11:40: [...] *kto pamięta wykrycie magnetycznych monopoli i inne gafy? [...] z drugiej strony nie powinniśmy się wstydzić otrzymania naszych rezultatów przy odpowiednich zastrzeżeniach [...]*

A. Filippenko, 1/12/1998, 12:02:
Jeśli ostatecznie się mylimy, niech tak będzie. Najważniejsze, że nadal jesteśmy w wyścigu.

A. Riess, Berkeley, CA 1/12/1998 18:36: (wysłana w przeddzień naszego ślubu przy całkowicie lodowatym spojrzeniu mojej małżonki!)
Wynik jest bardzo zaskakujący, nawet szokujący. Unikalem mówienia komukolwiek, ponieważ chciałem sprawdzić ten rezultat (co uczyniłem) i chciałem pójść dalej i zacząć spisywać rezultaty zanim drugi zespół poczuje choćby zapach tego wyniku. [...] Dane wymagają niezerowej stałej kosmologicznej! Podchodźcie do tego rezultatu nie waszym sercem, czy rozumem, ale z waszymi oczami. Koniec końców jesteśmy obserwatorami!

A. Clocchiatti, Chile, 1/13/1998 7:30:
Jeżeli sam Einstein popełnił błąd ze swoją stałą kosmologiczną [...] to dlaczego my byśmy nie mogli?

N. Suntzeff, Chile, 1/13/1998 13:47:
Szczerze zachęcam Ciebie (Adam) do pracy nad tą publikacją. Wszyscy mają rację. Musimy być ostrożni, publikować dobre rzeczy z odpowiednio wyczerpującą dyskusją tak, żebyśmy sami byli pewni co do wyniku. Jeżeli naprawdę jesteś pewny, że stała kosmologiczna jest różna od zera – mój Boże – wypuśćmy te wyniki! Weź odpowiedzialność jako organizator – mówię to poważnie – najprawdopodobniej nigdy w przyszłości swojej kariery naukowej nie będziesz miał rezultatu, który będzie równie ekscytujący.

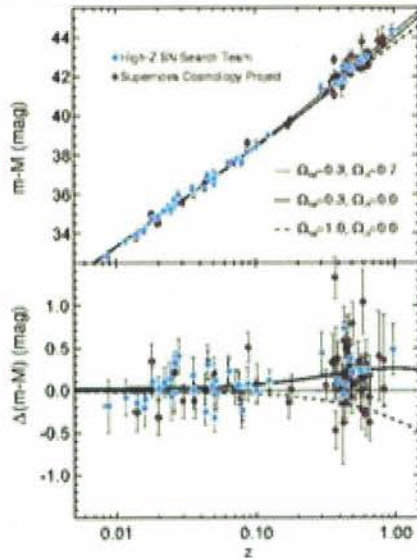
Nick miał rację!

20 lutego mieliśmy telekonferencję, w której uczestniczyła cała nasza grupa i mieliśmy podjąć decyzję, czy kontynuować prace nad publikacją, której szkielec wcześniej rozesłałem grupie. Zdecydowaliśmy, ażeby kontynuować. Jakimś sposobem – do dziś nie wiem jak to się stało – Jim Glantz z czasopisma Science miał przeciek na temat naszych rezultatów i zrobił wywiady z wieloma z nas. Alex Filippenko z naszego zespołu przedstawiał nasze wyniki na Konferencji o Ciemnej Materii na Uniwersytecie Kalifornijskim w Los Angeles, *UCLA Dark Matter Conference*, (Los Angeles) obok ludzi z grupy SCP. Obie grupy twierdziły, że odczytują z danych przyspieszanie Wszechświata. Podczas długich nocy ukończyłem naszą pracę z istotnym wsparciem pozostałych członków zespołu i wysłałem ją do czasopisma 13 marca: „Obserwacyjne dowody z supernowych wskazujące na przyspieszający wszechświat i stałą kosmologiczną” (zobacz ryc. 5). Praca została zaakceptowana 6 maja. Zespół SCP opublikował takie same wnioski 9 miesięcy później (Perlmutter 1998). Wyniki obu grup zostały przełomowym odkryciem roku 1998 magazynu *Science*.

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, 115: 1009–1016, 1998 September
 © 1998 The American Astronomical Society. All rights reserved. Printed in the USA.

OBSERVATIONAL EVIDENCE FROM SUPERNOVAE FOR AN ACCELERATING UNIVERSE
 AND A COSMOLOGICAL CONSTANT

ADAM G. RIESS,¹ ALBERT V. FILIPPICH,¹ PETER CHALKER,² ALEJANDRO CICCHETTI,¹ ALAN EMBICKA,¹
 PETER M. GARRAVITO,¹ RON J. GILLBERG,³ CHRIS J. HOLLAND,⁴ SAURABH JHA,⁵ ROBERT P. KILBINGER,⁶
 B. LAMINGONTE,⁷ M. M. PHILLIPS,⁸ DAVID REIS,⁹ BRIAN P. SCHMIDT,¹⁰ ROBERT A. SCHMIDT,¹¹
 K. CHRIS SMITH,¹² J. SPICERIANI,¹³ CHRISTOPHER STUBBS,¹⁴
 NICHOLAS B. SANDERS,¹⁵ AND JOHN TOBIN¹⁶
 Received 1998 March 21; revised 1998 May 6



Ryc. 5. Wykres z odkrywczej pracy grupy *High-Z* z supernowymi pomierzonymi przez obie grupy (*High-Z* i SCP)

Wyjątkowe twierdzenia wymagają wyjątkowych dowodów

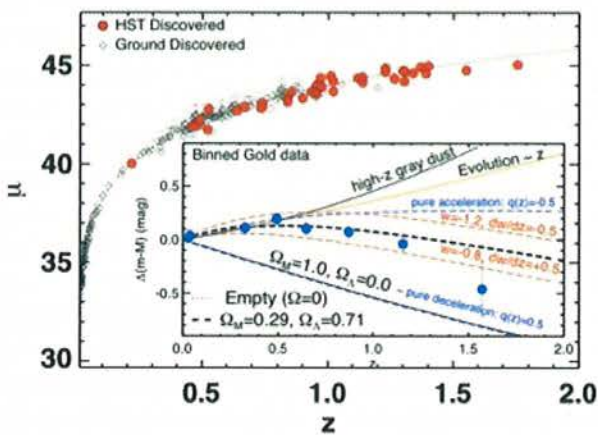
Nasze odkrycie, że Wszechświat obecnie rozszerza się w sposób przyspieszony sugerowało wprost bardzo głębokie wnioski. Bilans energetyczny Wszechświata jest zdominowany przez pewien rodzaj substancji jednorodnie wypełniającej przestrzeń, zwanej ciemną energią. Ciemna energia – nowy składnik Wszechświata z ujemnym ciśnieniem – powoduje przewagę oddziaływania odpychającej grawitacji nad przyciągającą grawitacją, której źródłem jest zwykła materia. Stała kosmologiczna byłaby wypracowanym dzieckiem ciemnej energii, dzieckiem, którego drzewo genealogiczne pochodzi od Einsteina. Czy przyspieszona kosmiczna ekspansja powodowana przez ciemną energię była właściwą interpretacją danych z obserwacji supernowych, czy popełniliśmy jakiś błąd w interpretacji wyników obserwacji? Wcześniejsze próby użycia odległych obiektów (takich jak najjaśniejsze gromady galaktyk) do pomiaru zmiany tempa rozszerzania się Wszechświata były niweczone przez zmiany wewnętrznej jasności obiektów. Jak często mówią naukowcy, wyjątkowe twierdzenia wymagają wyjątkowych dowodów.

Sytuacja w okolicach roku 2000 była dobrze podsumowana w popularnonaukowej książce Donalda Goldsmitha: *Uciekający Wszechświat*. Esencją tego, czego nauczyliśmy się z obserwacji dalekich supernowych w 1998 roku było to, że były one ciemniejsze o około 20% w sto-

sunku do tego, czego się spodziewaliśmy. Założyliśmy słusność dobrze znanej zasady, „ciemniej znaczy dalej” i doszliśmy do wniosku o przyspieszonej ekspansji i ciemnej energii. W 1999 Antony Aguirre z Centrum Astrofizyki na Harvardzie napisał serię otrzeźwiających prac wskazujących na to, że pociemnienie supernowych można wytłumaczyć szarym pyłem – mityczną substancją – czymś w rodzaju potwora z Loch Ness albo Yeti astronomii. Jego pomysł polegał na tym, że dodatkowo poza dobrze znanym pyłem międzygwiazdowym, który powoduje poczerwienienie i pociemnienie widma supernowych, przestrzeń jest wypełniona pyłem igieł, które miały długość jednej dziesiątej milimetra, i szerokość jednej dziesiątej ich długości. Aguirre wykonał dokładne rachunki pokazujące, że takie igły mogłyby pochłaniać widzialne promieniowanie równie skutecznie na wszystkich długościach, przez co powodowałyby, że obiekty wyglądałyby na szare. Szary pył byłby prawie niewykrywalny. Takie wyjaśnienie wydawało się dziwaczne, ale nie bardziej niż ciemna energia. Aguirre pokazał, że w tamtym czasie nie było żadnych obserwacji, które mogłyby wykluczyć istnienie szarego pyłu między galaktykami w ilościach, które wystarczyłyby do alternatywnego sposobu wyjaśnienia pociemnienia supernowych a zatem pozornej przyspieszonej ekspansji Wszechświata i ciemnej energii. W przypadku próby rozróżnienia dwóch nieprawdopodobnych opcji, brzytwa Okhama okazuje się tępym narzędziem.

Szczęśliwie pojawił się dobry test dla obu konkurujących teorii. Jeżeli odległe supernowe wydawały się ciemne nie z powodu przyspieszenia Wszechświata, ale z powodu jakiejś innej astrofizycznej przyczyny, takiej jak rozprzestrzenionego ekranu szarego pyłu powodującego, że supernowe wyglądają na ciemne, albo z powodu tego, że wcześniej powstałe supernowe są ciemniejsze – wtedy dodatkowe pociemnienie widziane w przypadku dalekich supernowych powinno stale rosnąć wraz z odległością od supernowej. To znaczy, że gdybyśmy patrzyli na supernową odległą dwa razy dalej przez jednorodną przesłonę szarego pyłu, to powinniśmy zaobserwować dwukrotnie mocniejsze pociemnienie. Ale jeżeli ciemna energia jest odpowiedzialna jedynie za obecne rozszerzanie się Wszechświata, wtedy bardziej odległe supernowe powinny być świadkami Wszechświata we wcześniejszym stadium rozwoju, w którym dominuje materia. W tym wcześniejszym stadium rozwoju Wszechświata, przyciągająca grawitacja materii powodowała spowalnianie rozszerzania się i formowanie się takich struktur jak galaktyki i gromady galaktyk. Podczas gdy przyspieszanie zwiększa odległości i powoduje osłabienie światła docierającego od supernowych, spowalnianie, przeciwnie, powoduje skrócenie odległości i pojaśnienie światła supernowych. Połączone efekty obu faz powinny w efekcie wyglądać inaczej, niż efekty obecności szarego pyłu, czy ewolucji supernowych, jeżeli mierzylibyśmy super-

nowe z przesunięciem ku czerwieni dla $z > 1$. Jak pisał Goldsmith w 2000 roku: „Szary pył i systematyczne zmiany mogą naśladować efekty niezerowej stałej kosmologicznej z dużą dokładnością tylko wtedy gdy badamy supernowe z relatywnie ograniczonego zakresu odległości. [...] Jeżeli jednak astronomowie obserwują dalekie supernowe ze znacznie większego przedziału odległości. [...] wtedy modele kosmologiczne pozwolą astronomom odróżnić wszystkie inne efekty od tego kluczowego jakim jest przyspieszona ekspansja Wszechświata powodowana niezerową stałą kosmologiczną. [...] zatem astronomowie nie mogą spocząć przy swoim obecnym zbiorze supernowych. [...] muszą zaglądać w najodleglejsze zakątki Wszechświata. Tylko wtedy będą mogli wyeliminować możliwość, że dali nabrać się przez szary pył i przekonać całą społeczność, że koncepcja rozszerzającego się Wszechświata zasługuje na powszechną akceptację.”



Ryc. 6. Supernowe $z > 1$ obserwowane przez teleskop Hubble'a potwierdzają dotychczasowe wnioski. Poprzez obserwacje przejścia od przyspieszenia do spowolnienia (patrzac wstecz w czasie) prace grupy *Higher-Z* mogły wyeliminować takie przyczyny pociemnienia supernowych jak obecność pyłu, czy ewolucję samych supernowych, co mogłoby być alternatywą dla wniosku o przyspieszonej ekspansji Wszechświata i obecności w nim mieszaniny ciemnej energii i materii

Niestety znalezienie tak odległych supernowych jest niezwykle trudne z tego powodu, że są one bardzo ciemne – świecą jak 60W żarówka w odległości 400 000 mil, dwa razy dalej niż wynosi odległość od Ziemi do Księżyca. Pięć lat prób obu zespołów udowodniło, że tak ciemne supernowe są zbyt trudne do obserwacji z Ziemi. Obie grupy znalazły tylko po jednej takiej supernowej: obie przy $z = 1,2$, SCP w 1998 roku, *High-Z Team* rok później. Teleskop Hubble'a mógł prowadzić obserwacje znacznie bardziej odległych obiektów niż jakiegokolwiek obserwatorium naziemne, ale bardzo małe pole widzenia jego głównej szerokokątnej kamery, WFPC2, powodowało, że znalezienie supernowej było mało prawdopodobne chyba, że we wczesnym Wszechświecie występowałyby one w dużo większej liczbie. W 1997 roku dwoje członków zespołu *High-Z*, Ron Gilliland i Mark Phillips zrobili obser-

wację głębokiego Wszechświata przeglądając ponownie z WFPC2 w 2 lata po tym, jak była przeprowadzona pierwsza obserwacja. Odkryli dwie supernowe: jedna z nich, SN 1997ff, wydawała się być odległą supernową typu Ia ponieważ znajdowała się w starej eliptycznej galaktyce. Będąc interesującą, ta jedna obserwacja nie pozwalała ani na pomiar krzywej jasności supernowej, ani kolorów widma w celu wyznaczenia jej odległości, a co za tym idzie wykonania testu hipotezy pociemnienia z powodu szarego pyłu albo ewolucji supernowych. Jednak w 2001 roku, po tym jak przenieśli się do STScI zacząłem szukać dodatkowych obserwacji supernowej SN 1997ff i dokonałem nieoczekiwanego odkrycia.

Główny badacz projektu NICMOS, Roger Thompson, konstruktor pierwszej kamery bliskiej podczerwieni umieszczonej na teleskopie Hubble'a używał tej kamery do głębokich obserwacji nieba. Przez niewiarogodnie duże szczęście SN 1997ff była obserwowana przez kilka tygodni po jej odkryciu w samym narożniku matrycy NICMOS. Była tak blisko krawędzi, że wpadała i wypadała z pola widzenia przez celowe potrząsanie obrazem w celu zmniejszenia pikselizacji obrazu. Spędziłem wiele miesięcy, aby zrekonstruować kolory i krzywą jasności tej supernowej, aby określić jej odległość i przesunięcie ku czerwieni. SN 1997ff była supernową typu Ia w $z = 1,7$ – zdecydowanie najodleglejszą supernową kiedykolwiek obserwowaną. Co najważniejsze, była 60% jaśniejsza niż byśmy się spodziewali w przypadku istnienia szarego pyłu albo starzenia się supernowych. To był dobry znak, który mówił, że kiedyś ekspansja wszechświata spowalniała, a supernowe wiernie śledzą jego dynamikę.

Jednak nie chcieliśmy uzależniać tak ważnej konkluzji od jednej tylko szczęśliwie i przypadkowo odnalezionej supernowej. Naprawdę chcieliśmy znaleźć ich więcej. To stało się możliwe w 2001 roku, kiedy nowa kamera miała zostać zamontowana na teleskopie Hubble'a, Zaawansowana Kamera do Przeglądu Nieba (*Advanced Camera for Surveys ACS*). Kamera była skonstruowana przez Hollanda Forda z uniwersytetu Johnsa Hopkinsa. ACS powiększyła pole widzenia obserwowane przez teleskop Hubble'a (powierzchnia razy głębokość) o cały rząd wielkości. W 2001 roku przygotowałem projekt wykorzystania ACS, w którym zakładałem znalezienie i obserwację pół tuzina nowych supernowych $z > 1$ przez lustrowanie wyników badania odległych galaktyk prowadzonego przez Wielkie Obserwatorium Początków Głębokich Przeglądów Nieba (*Great Observatories Origins Deep Survey, GOODS*) pod kierownictwem Mauro Giavalisco. Pomysł polegał na tym, że zespół GOODS wykonywałby powtórzenia obserwacji pola składającego się z 15 ustawień ACS co każde 45 dni. Nasza nowa grupa *Higher-Z* (z członkami: Tonry, Filippenko, Kirshner Leibundgut, Challis, oraz Jha ze starego zespołu *High-Z* i nowymi członkami Casertano, Strolger, Ferguson, Giavalisco, Mobasher i Dickinson) odejmowały od siebie te obrazy w celu znalezienia nowych

supernowych. Inaczej niż w przypadku poprzednich obserwacji naziemnych, mielibyśmy informację o typie supernowych z pomiaru ich koloru wykonanego przez grupę GOODS. Jeśli znaleźlibyśmy daleką supernową z $z > 1$ z określonymi kolorami, tak aby była supernową typu Ia, moglibyśmy przerwać harmonogram pracy teleskopu, żeby obserwować ją ponownie używając ACS i NICMOS. Nasz projekt został zaakceptowany, ale to nie gwarantowało sukcesu. Załoga NASA promu kosmicznego lotu STS 109 musiała najpierw zainstalować ACS! Jednym z największych przywilejów jakie miałem w swojej karierze naukowca była prezentacja planów naukowych obserwacji dla astronautów przed ich podróżą do teleskopu Hubble'a. Ci faceci (John Grunsfeld, Mike Massimino, Scott Altman, Jim Newman, Duane Carey, Nancy Curry, i Richard Linnehan) byli prawdziwymi bohaterami, którzy ryzykowali swoje życie żeby usprawnić działanie teleskopu Hubble'a. Ich misja zakończona sukcesem w marcu 2002 roku spowodowała, że można było w pełni wykorzystywać możliwości Hubble'a a my mogliśmy zacząć realizację naszego projektu.

W porównaniu do naszych naziemnych obserwacji, używanie do odnajdywania i śledzenia supernowych teleskopu Hubble'a miało swoje zalety i wady. Jeżeli chodzi o zalety, pogoda w przestrzeni kosmicznej była zawsze dobra, obrazy zawsze były ostre jak żyłki, a pełnia Księżycy nigdy nie zakłócała obserwacji. Jeżeli chodzi o wady, to teleskop Hubble'a nie ma ochrony w postaci atmosfery Ziemi i pola magnetycznego jaką mają teleskopy naziemne tak więc promieniowanie kosmiczne trafia w teleskop Hubble'a około 100 razy częściej niż w teleskopy naziemne. Trafienie promieniowaniem kosmicznym może wyglądać całkiem podobnie do wybuchu supernowej: oba zjawiska pokazują się jako nowe źródła, których jest brak na poprzednich obrazach. Dlatego, że promieniowanie kosmiczne ma wpływ tylko na 2% obrazu i szanse na kolejne uderzenia są małe, większość astronomów potrafi odróżnić prawdziwe źródło astronomiczne od uderzenia promieniowania kosmicznego, porównując zdjęcie z kolejnym obrazem. Ponieważ supernowa może pokazać się na dowolnym z 16×10^6 pikseli ACS określiliśmy, że potrzebujemy aż cztery kolejne zdjęcia żeby wyeliminować zaburzenia, nawet trzech kolejnych uderzeń promieniowania. Kolejnym wyzwaniem było poradzenie sobie ze sposobem ustalania harmonogramu obserwacji dla teleskopu, który był ustalany raz na tydzień. Mogliśmy mieć wpływ na zmianę harmonogramu jedynie we wtorek do południa, przed ustaleniem kolejnego harmonogramu obserwacji. Było ironią, że światło supernowej mogło lecieć 9 miliardów lat ale musiało dotrzeć do teleskopu Hubble'a tuż przed wtorkiem żebyśmy mogli je jakoś wykorzystać! Odkryliśmy, że jeżeli szuka się supernowych tylko w trakcie weekendu, to można w sposób naturalny spełnić te wymagania.

Nasz roczny program (2002–2003) pomiaru supernowych teleskopem Hubble'a był bardzo udany. Pomierzyliśmy 6 supernowych typu Ia z $z > 1,25$ i pozwoliło nam to na wykluczenie hipotezy o szarym pyłe i jednoznaczne określenie, że Wszechświat spowalniał zanim przeszedł w fazę przyspieszonej ekspansji (ryc. 6). W fizyce zmiana wartości, albo znaku spowalniania (która jest efektem zmiany działającej siły), nazywana jest „szarpnięciem” (*jerk*). Dlatego w 2003 roku, kiedy ogłaszaliśmy rezultat naszych nowych obserwacji opisaliśmy zmianę spowalniania Wszechświata na przyspieszone rozszerzanie jako dowód na obecne kosmiczne szarpnięcie (*cosmic jerk*). Zobaczyłem Denisa Overbyea z New York Timesa w pierwszym rządzie i kiedy przedstawiałem nasze rezultaty poprosiłem go, żeby nie publikował mojego zdjęcia z nagłówkiem „Cosmic Jerk Discovered” (w dosłownym tłumaczeniu – kosmiczny idiota został odkryty), niestety bezskutecznie.

Przez kolejne dwa lata kontynuowaliśmy zbieranie supernowych z $z > 1$ z użyciem teleskopu Hubble'a i do roku 2007 opublikowaliśmy próbkę 23 supernowych. Te dane nie tylko potwierdziły, że supernowe idealnie śledzą dynamikę Wszechświata, ale też mogły pomóc w wyjaśnieniu, czy własności ciemnej energii zmieniały się na przestrzeni ostatnich 10 miliardów lat. Jak dotąd te własności wydają się być nie zmienione co potwierdza słuszność stałej kosmologicznej Einsteina. Cytując Edwina Hubble'a z *Realm of the Nebulae*: „With increasing distance, our knowledge fades, and fades rapidly. Eventually, we reach the dim boundary – the utmost limits of our telescopes. There, we measure shadows, and we search among ghostly errors of measurement for landmarks that are scarcely more substantial. The search will continue. Not until the empirical resources are exhausted, need we pass on to the dreamy realms of speculation.” (Wraz z rosnącą odległością nasza wiedza szybko blednie i blednie. W końcu osiągamy nikłą granicę, najdalsze zasięgi naszych teleskopów. Tam mierzymy cienie i prowadzimy poszukiwania pomiędzy upiornymi błędami pomiarów i szukamy znaków, które są niewiele bardziej wyraźne. Poszukiwania nie ustaną. Nie ustaną dopóki nasze doświadczalne możliwości nie zostaną całkowicie wyczerpane, dopóki nie sięgniemy do sennych światów spekulacji. – przyp. tłum.)

Mimo, że Hubble nie wiedział o przyspieszaniu ekspansji Wszechświata, to jego opis pasuje do naszej pracy. Dzisiaj prowadzimy poszukiwania przyczyny obecnego przyspieszania ekspansji, poprawiając jakość szerokiego zakresu kosmologicznych obserwacji. Wielu uważa, że to wyzwanie jest jednym z największych dla kosmologii i fizyki fundamentalnej i ja się z tym zgadzam. Od około 2003 roku, dane z WMAP, pomiary barionowych oscylacji akustycznych (BAO), struktury wielkoskalowej, słabego soczewkowania grawitacyjnego, i scałkowanego efektu Sachsa–Wolfa, także dają silne dowody na obecność ciemnej energii w sposób niezależny od obserwacji

supernowych. Obecnie obserwacje BAO same niezależnie dają potwierdzenie, że obecna ekspansja Wszechświata przyspiesza. Jeżeli chodzi o moją teraźniejszą pracę – skupiłem się na poprawie pomiaru obecnego tempa ekspansji, znanego też pod nazwą stałej Hubble’a, ponieważ znajomość jej wartości do poziomu rzędu jednego procenta, znacząco wspomogło obecne wyzwania. Już udało nam się poprawić dokładność wyznaczenia stałej Hubble’a trzykrotnie do 3,5%. To, w połączeniu z pomiarami WMAP, jest wystarczające zarówno do pomiaru własności ciemnej energii w naszym otoczeniu jak i dalekich supernowych z dokładnością rzędu 10% i do dostarczenia kolejnego niezależnego testu naszych rezultatów.

Ambitnym celem jest osiągnięcie dokładności rzędu 1%. Nie spodziewam się kolejnej nagrody Nobla za te badania, ale powinno mi to zapewnić spokój, jeżeli chodzi o zachowanie mojej posady.

Chcę zakończyć wyrażając moją głęboką wdzięczność wszystkim wspianiałym ludziom, z którymi miałem przyjemność i honor pracować. Moim kolegom z zespołów *High-Z* i *Higher-Z* – to była przyjemność dzielić tę naukową przygodę razem z Wami. Dziękuję tym, którzy

budowali instrumenty i urządzenia w CTIO (*Cerro Tololo Inter-American Observatory*) po to, aby pozwolić nam odnajdować supernowe (Bernstein i Tyson) i zespołowi Calan / Tololo za pomoc i inspirację kolejnym projektem. Dziękuję wszystkim panom i paniom, którzy przyczynili się do uczynienia z teleskopu Hubble’a najwyższej klasy urządzenia pomiarowego naszych czasów i astronautom za ryzykowanie ich życia aby utrzymać go w działaniu. Najbardziej dziękuję mojej rodzinie, mojej żonie Nancy i moim dzieciom, za utrzymanie mnie przy zdrowych zmysłach i przypominanie, że świat na Ziemi jest co najmniej równie interesujący, jak otaczający ją Wszechświat.

Bibliografia

- Garnavich P.M., *et al.*, *Astrophysical Journal*, 493, L53 (1998).
Perlmutter S., *Astrophysical Journal*, 517, 565 (1999).
Perlmutter S., *et al.*, *Nature*, 392, 311 (1998).
Perlmutter S., *et al.*, *Astrophysical Journal*, 483, 565 (1997).
Riess A., *et al.*, *Astronomical Journal*, 116, 1009 (1998).
Riess A., *et al.*, *Astrophysical Journal*, 607, 665 (2004).

Tłumaczenie: Tomasz Denkiewicz

Wykład noblowski, wygłoszony 8 grudnia 2011 roku w Sztokholmie, został przetłumaczony za zgodą Autora i Nobel Foundation. Translated with permission. © The Nobel Foundation 2011.

Dowód przyspieszonej ekspansji Wszechświata wynikający z obserwacji gwiazd supernowych

Brian P. Schmidt • Australian National University, Weston Creek, Australia

Wstęp

To nie jest tylko opowieść o mojej własnej podróży naukowej, ale także wyrażenie mojego własnego poglądu na temat postępu jaki zrobiła kosmologia w XX wieku – postępu, który doprowadził do odkrycia przyspieszonej ewolucji Wszechświata. Jest to kompletna opowieść jeśli popatrzy się z perspektywy historii, która wpłynęła na moje życie. Z drugiej strony ja nawet nie starałem się zrobić niezależnej ode mnie oceny wydarzeń, które miały miejsce na całym świecie.

Modele kosmologiczne XX stulecia

W 1917 roku Einstein miał coś, co nazwał „wspaniałym pomysłem” polegającym na tym, że przyspieszenie w układzie inercyjnym oraz przyspieszenie spowodowane grawitacją są sobie równoważne. Zajęło Einsteinowi więcej niż 8 lat aby zebrać owoc tego pomysłu, czyli ogólną teorię względności w roku 1915 (Norton i Norton 1984). W następnym roku de Sitter zbadał następstwa kosmologiczne tej nowej teorii (de Sitter 1917), które przewidywały przesunięcie ku czerwieni linii widmowych dla różnych obiektów we Wszechświecie zależne od ich odległości do obserwatora. W 1917 roku Einstein opublikował swój własny model Wszechświata (Einstein 1917) – model, w którym pojawiło się dodatkowe pojęcie – stała kosmologiczna dająca ujemne ciśnienie, za pomocą której chciał on zrównoważyć przyciąganie grawitacyjne, a jej gęstość energii została przypisana próżni fizycznej. Ten dodatek był całkowicie spójny z jego teorią i pozwolił stworzyć statyczny model Wszechświata zgodny z wyobrażeniem o jego niezmienności w tamtych czasach. W 1922 roku, Friedmann opublikował swój własny zbiór modeli izotropowych i jednorodnych Wszechświatów (Friedmann 1922).

Kosmologia obserwacyjna faktycznie zaczęła się w 1917 roku, gdy Vesto Slipher (którego rodzinie zawdzięczam stypendium jego imienia wspierające moją edukację na studiach na Uniwersytecie w Arizonie) obserwował około 25 bliskich galaktyk, rozszczepiając ich światło w pryzmacie i rejestrując je na kliszy fotograficznej (Slipher 1917). Wyniki zaskoczyły zarówno jego, jak też innych astronomów tamtej dekady. Prawie każdy zaobserwowany obiekt miał widmo światła przesunięte ku kolorowi czerwonemu, co oznaczało, iż wszystko we Wszech-

świecie od nas się oddala. Odkrycie Sliphera stworzyło zagadkę dla astronomów tamtej epoki: Dlaczego nasze miejsce jako obserwatorów wydaje się odpychać resztę Wszechświata?

Wydaje się, że kontakt między teorią i obserwacjami w tamtych czasach był niezwykle słaby, nawet biorąc pod uwagę fakt braku internetu. W 1927 roku Georges Lemaître – belgijski zakonnik, który jako część swojej pracy doktorskiej przygotowywanej w M.I.T., niezależnie otrzymał rozwiązania kosmologiczne Friedmanna w ramach ogólnej teorii względności, przewidział ekspansję Wszechświata opisywaną dzisiaj za pomocą prawa Hubble’a. Zauważył także, iż wiek Wszechświata był w przybliżeniu równy odwrotności stałej Hubble’a i zasugerował, że obserwacje Hubble’a i Sliphera potwierdzają jego wnioski (Lemaître 1927). Jego praca opublikowana w belgijskim czasopiśmie początkowo pozostawała nieznana, ale nie umknęła uwadze Einsteina, który zauważył ją podczas konferencji w 1917 roku i skomentował do Lemaître’a: „Twoje obliczenia są poprawne, ale twoje rozumienie fizyki jest słabe.” (Gaither i Cavazos–Gaither 2008).

W roku 1928, Howard Robertson z Caltech (przy tej samej ulicy co biuro Edwina Hubble’a w Obserwatoriach Carnegie) przewidział istnienie prawa Hubble’a i obiecał, że udowodni je, gdy porówna wyniki przesunięć ku czerwieni dla obiektów Sliphera z pomiarami jasności galaktyk przez Hubble’a, ale jego twierdzenie nie zostało poparte dowodami (Robertson 1928). W końcu w roku 1929, Edwin Hubble zaprezentował pracę, która dowodziła ekspansji Wszechświata i zawierała klarowny wykres zależności odległości galaktyk od ich przesunięć ku czerwieni – to właśnie dzięki tej pracy uznano, że Hubble był odkrywcą ekspandującego Wszechświata (Hubble 1929). Zakładając, że najjaśniejsze gwiazdy jakie obserwował w danej galaktyce miały jednakową jasność absolutną, Hubble zauważył, że im szybciej obiekt oddalał się – biorąc pod uwagę pomiary Sliphera – tym słabsze były najjaśniejsze gwiazdy w tym obiekcie. Innymi słowy, im dalsza galaktyka, tym większa jej prędkość ucieczki. To dzięki tej zależności Hubble wysnuł wniosek o tym, że Wszechświat rozszerza się.

Wraz z ekspansją Wszechświata stanowiącą podstawę wszelkich rozważań, teoria skupiała się na tzw. mo-

delu standardowym do 1998 roku, czyli do roku odkrycia przez nas przyspieszonej ekspansji Wszechświata. Ten model był oparty na ogólnej teorii względności wraz z dwoma dodatkowymi założeniami: pierwszym, że Wszechświat jest izotropowy i jednorodny w dużej skali, i drugim, że jest zbudowany z „normalnej” materii – materii, której gęstość jest odwrotnie proporcjonalna do objętości przestrzeni zajmowanej przez nią. Przy tych założeniach było możliwe przeprowadzenie testów obserwacyjnych dla całościowej teorii, jak też wyliczenie wartości podstawowych stałych dla tego modelu – aktualny współczynnik ekspansji (stała Hubble’a) i średnią gęstość materii we Wszechświecie. W tym modelu, było również możliwe bezpośrednio powiązanie gęstości materii Wszechświata ze współczynnikiem kosmicznego spowolnienia: im więcej materii we Wszechświecie, tym większe spowolnienie ekspansji; oraz geometrii przestrzennej: powyżej gęstości krytycznej, Wszechświat ma skończoną (zamkniętą) geometrię, poniżej gęstości krytycznej ma hiperboliczną (otwartą) geometrię.

W bardziej matematycznym ujęciu: jeśli Wszechświat jest izotropowy i jednorodny w dużej skali, to relacje geometryczne pomiędzy przestrzenią i czasem są opisywane metryką Robertsona–Walkera,

$$ds^2 = dt^2 - a^2(t) \left[\frac{dr^2}{1 - kr^2} + r^2 d\theta^2 \right]. \quad (1)$$

W tym wzorze, który jest niezależny od grawitacji, linowa odległość (s) pomiędzy dwoma obiektami zależy od współrzędnych r i θ , oraz od odległości w czasie t . Zakładamy, że Wszechświat ma prostą topologię tzn. że jeśli ma odpowiednio krzywiznę ujemną, zerową lub dodatnią, to indeks k przyjmuje wartości $(-1, 0, 1)$. Wszechświaty te nazywamy kolejno otwartymi, płaskimi lub zamkniętymi przestrzennie. Metryka Robertsona–Walkera również wymaga dynamicznej ewolucji Wszechświata zadanej przez ewolucję czasową czynnika skali $a(t)$, który odpowiada promieniowi krzywizny Wszechświata, albo mówiąc prościej wskazuje jak zmieniają się wraz z czasem względne odległości punktów w pewnym obszarze przestrzeni. Tę dynamiczną ewolucję Wszechświata otrzymuje się na bazie ogólnej teorii względności. Po raz pierwszy była ona podana przez Friedmanna poprzez równanie nazywane obecnie jego nazwiskiem:

$$H^2 \equiv \left(\frac{\dot{a}}{a} \right)^2 = \frac{8\pi G\rho}{3} - \frac{k}{a^2}. \quad (2)$$

Współczynnik ekspansji Wszechświata (H), zwany parametrem Hubble’a (lub stałą Hubble’a H_0 , jeśli rozważymy jego wartość dla dnia dzisiejszego) ewoluuje wraz z czasem w zależności od zawartości materii we Wszechświecie. Przez cały wiek XX-ty uważano, że zawartość Wszechświata to głównie pojedynczy składnik materii ρ_i przyrównywany do tzw. gęstości krytycz-

nej ρ_{crit} . Iloraz średniej gęstości materii i gęstości krytycznej nazywamy parametrem gęstości Ω_M , i definiujemy jako:

$$\Omega_i = \frac{\rho_i}{\rho_{crit}} \equiv \frac{\rho_i}{(3H_0^2/8\pi G)}. \quad (3)$$

Gęstość krytyczna odpowiada takiemu efektowi przyciągania grawitacyjnego we Wszechświecie, że jego geometria przestrzenna jest płaska ($k = 0$ w równaniu (1)). Poniżej tej gęstości, Wszechświat ma otwartą geometrię hiperboliczną ($k = -1$); natomiast powyżej tej gęstości, zamkniętą geometrię sferyczną ($k = +1$).

Jako eksperycymentalści potrzebujemy obserwacji za pomocą których będziemy testować i narzucać ograniczenia na teorię. Kilka takich możliwych testów było zaproponowanych i szczegółowo opisanych w roku 1961 przez Allana Sandage’a (Sandage 1961) i zwykle nazywamy je klasycznymi testami kosmologicznymi. Testy te zawierają między innymi pomiar jasności obiektu jako funkcji jego przesunięcia ku czerwieni. Przesunięcie ku czerwieni z ukazuje nam jaka ilość światła została „rozcignięta” ze względu na ekspansję Wszechświata i jest definiowane za pomocą czynnika skali jako

$$1 + z = \frac{\lambda_{obs} - \lambda_{emit}}{\lambda_{emit}} = \frac{a(z=0)}{a(z)}. \quad (4)$$

To przesunięcie możemy wyliczyć mierząc długość fali zarejestrowanego przez obserwatora światła λ_{obs} oraz długość fali światła emitowanego λ_{emit} przez obiekt na niebie.

Odległość jasnościową D_L definiuje się za pomocą prawa odwrotności kwadratów dla obiektu o jasności L i obserwowanym strumieniu f jako

$$D_L \equiv \sqrt{\frac{L}{4\pi f}}. \quad (5)$$

Tę wielkość zwykle wyliczało się za pomocą rozwinięcia w szereg Taylora równań (1) i (2):

$$D_L \approx \frac{c}{H_0} \left[z + z^2 \frac{(1 - q_0)}{2} \right], \quad (6)$$

gdzie c jest prędkością światła, H_0 aktualnym współczynnikiem kosmicznej ekspansji mierzonym w jednostkach prędkości przez odległość, natomiast parametr q_0 jest zdefiniowany jako

$$q_0 \equiv -\frac{\ddot{a}_0 a_0}{\dot{a}_0^2} = \frac{\Omega_M}{2}. \quad (7)$$

Równość pomiędzy Ω_M oraz q_0 jest wynikiem zastosowania równania Friedmanna dla Wszechświata zawierającego jedynie normalną materię w postaci pyłu. Rozwinięcie w szereg Taylora daje dokładność rzędu kilku procent dla wartości przesunięć ku czerwieni którymi się wówczas interesowano i doskonale zostało wyrażone przez formułę Mattiga (1958)

$$D_L = \frac{c}{H_0 q_0^2} [q_0 z + (q_0 - 1)(\sqrt{1 + 2q_0 z} - 1)]. \quad (8)$$

Powyższe równania dostarczają jednego z najbardziej klasycznych testów w kosmologii – zależność między odległością jasnościową a przesunięciem ku czerwieni. Dla obiektu o znanej jasności absolutnej, pojedynczy pomiar jego (nie dużego) przesunięcia ku czerwieni [niezbyt małego, aby uniknąć wpływu lokalnych ruchów galaktyk przy $z \sim 0,002$; ani też niezbyt dużego, aby uniknąć wpływu członu kwadratowego w równaniu (6)] oraz jasności, może nam dać wartość H_0 . Przez pomiar jasności świecy standardowej (obektu o ustalonej jasności absolutnej) jako funkcji przesunięcia ku czerwieni, można dopasować krzywą teoretyczną do obserwacyjnej i wywnioskować jaka jest wartość q_0 .

W zasadzie pomiar H_0 z równania (5) nie wydaje się trudny. Dokładnie pomierzona odległość i przesunięcie ku czerwieni pojedynczego obiektu przy $0,02 < z < 0,1$ wydaje się wystarczająca aby uzyskać wynik. Jednak wykonanie dokładnego pomiaru odległości w astronomii jest nie lada wyzwaniem – jedynymi pomiarami geometrycznymi jakie były standardowo dostępne w astronomii to pomiary paralaksy zbioru bliskich gwiazd (pomiar zmiany pozycji otaczających nas gwiazd w wyniku zmiany pozycji Ziemi w ruchu dookoła Słońca). Mierząc paralaksy tych obiektów oraz niezależnie porównując jasność podobnych obiektów, krok po kroku, w procesie znanym jako pozagalaktyczna hierarchia odległości, badacze doszli do wyników, które różniły się o więcej niż czynnik 2 – ta niezgodność utrzymywała się aż do początku XXI wieku.

Wyznaczenie q_0 wymaga dokładnego pomiaru względnych odległości (absolutne odległości nie były wymagane, ponieważ stała Hubble'a mogła być znormalizowana za pomocą równań (5) i (8)). Próby pomiarów czynione w latach 50-tych (Humason, Mayall i Sandage 1956), oparte na najjaśniejszych obiektach na niebie – galaktykach-gigantach w centrach gromad galaktyk – dały spory rozrzut wyników. W końcu Tinsley (1972) pokazała, że te galaktyki powinny dramatycznie zmieniać swoją jasność, gdy będziemy cofać się w czasie. To czyniło te obiekty problematycznymi do zastosowania w kosmologii. Postęp przy pomiarze q_0 wymagał dobrej świecy standardowej wystarczająco jasnej, aby była widoczna ona przy $z = 0,3$, gdzie efekty krzywizny przestrzennej w relacji pomiędzy odległością jasnościową i przesunięciem ku czerwieni mogłyby być dokładnie zmierzone.

Moja kariera naukowa i supernowe

Początek mojej kariery jako astronoma miał miejsce w 1985 roku, kiedy dotarłem jako pełen optymizmu świeżo upieczony student na Uniwersytet w Arizonie, aby nauczyć się fizyki i astronomii. Na pierwszych zajęciach z astronomii poczułem się zniechęcony przez wszystkich

wykładowców, którzy wydawali się mieć wiedzę encyklopedyczną począwszy od białych karłów a skończywszy na kwazarach. Wówczas rozumiałem fizykę, ale nie wiedziałem zbyt wiele o tych wszystkich obiektach, więc zacząłem szukać czegoś do zrobienia w Obserwatorium Steward, ażeby powiększyć moją wiedzę. W efekcie zacząłem pracować dla Johna MacGraw nad jego teleskopem CTI (ryc. 1) z kamerą CCD (*charged coupled devices*). To urządzenie wyprzedzało swoją epokę o 15 lat i dzięki niemu wykonano pierwsze wielkie cyfrowe mapy nieba. Poprzez zastosowanie kamer CCD, Inter-amerykańskie Obserwatorium Cerro Tololo (*Cerro Tololo Inter-american Observatory – CTIO*) nie musiało śledzić gwiazd na niebie. Zamiast tego pozwalano, aby nocne niebo przemieszczało się przy jednoczesnej elektronicznej symulacji ruchu obrotowego Ziemi – ta technika była nazywana skanowaniem dryfującym. Została ona zastosowana z ogromnym sukcesem na początku 2000 roku przez projekt Cyfrowy Przegląd Nieba Sloana (Sloan Digital Sky Survey – SDSS). W 1985 roku kamery CCD były wciąż nowością, a ilość danych uzyskiwanych z ich pomocą w połowie lat 80-tych wciąż wymagała dużo czasu obserwacyjnego.



Ryc. 1. Teleskop CTI, Kitt Peak, Arizona

To słabe tempo zbierania danych zarówno w zakresie sprzętowym jak również oprogramowania uniemożliwiało pełne wykorzystanie możliwości obserwacyjnych tele-

skopu i tym samym uzyskiwania szybko ważnych rezultatów badawczych. Jak to bywa u wszystkich studentów pierwszych lat studiów, mój rozwój także był powolny. Jednak pod koniec 3-go roku otrzymałem porządne zadanie do wykonania polegające na tym, abym poszukał sposobu na odkrycie wybuchających gwiazd znanych jako supernowe w danych uzyskanych za pomocą teleskopu CTI. W nowo stworzonej klasyfikacji gwiazd supernowych, typ Ia uzyskał reputację tego, który może najlepiej służyć jako świece standardowe a teleskop CTI miał możliwość uzyskania pierwszych cyfrowych krzywych jasności dla obiektów o przesunięciach ku czerwieni $z > 0,01$ przy których mogłyby one służyć jako świece standardowe. To zadanie było bardzo trudne ponieważ zbiory danych były ogromne i ze względu na możliwości obliczeniowe mogliśmy tylko przeglądać katalogi obiektów. A supernowe zwykle występują w galaktykach więc przeglądając katalogi obiektów trudno jest je wyróżnić wśród innych obiektów w złożonej strukturze galaktyki. Zanim ukończyłem mój licencjat, to udało mi się znaleźć jeden obiekt, który był dobrym kandydatem na supernową. Niestety znalazłem go w danych sprzed roku i wobec tego nigdy nie został on potwierdzony jako supernowa.

Supernowe: Supernowe (SN) – to bardzo jasno świecące i podlegające zmiennym procesom fizycznym gwiazdy, cechujące się niezwykłą różnorodnością, która prowadzi do ich złożonej klasyfikacji. Historycznie zostały podzielone na dwa rodzaje w oparciu o ich widma. Supernowe typu I nie posiadają linii widmowych wodoru, natomiast supernowe typu II takie linie posiadają. Wraz z czasem te dwa typy supernowych zostały dalej podzielone na podklasy. Typ I, bogaty w krzem oznaczamy jako Ia; bogaty w hel jako Ib; a taki, który nie posiada ani krzemu ani helu, jako Ic. Typ II dzieli się na II-P, który ma $a \approx 100$ -dniowe plateau w krzywych jasności; na II-L, który ma „liniowy” spadek w krzywych jasności; oraz na II-n, który ma bardzo wąskie linie w widmach (Filippenko 1997).

Supernowe jako relikty gwiazd o dużej masie: Gwiazdy o dużej masie zwykle przechodzą przez fazę kolapsu ich jąder z powodu tego, że resztki krzemu są w tych jądrach przetwarzane na żelazo. Reakcje jądrowe wytwarzające ciepło zatrzymują się i gwiazda jest natychmiast pozbawiana wewnętrznego ciśnienia równoważącego siłę grawitacji przez co następuje jej kolaps i utworzenie wnętrza gwiazdy neutronowej. Natomiast na zewnątrz tworzy się fala uderzeniowa z energii zgromadzonej w postaci neutronów. Masywna gwiazda, która ma dużą i nienaruszoną powłokę wodorową produkuje supernową typu II-P. Inne warianty są wynikiem różnych sposobów utraty masy. Supernowa typu Ib reprezentuje masywną gwiazdę, która straciła swoją powłokę wodorową, natomiast supernowa typu Ic jest wynikiem wybuchu masywnej gwiazdy, która dodatkowo straciła jeszcze powłokę helową.

Termojądrowe detonacje: Te wybuchy są wynikiem szybkiego spalania się materii białych karłów. Cała gwiaz-

da jest spalana głównie na nikiel ^{56}Ni chociaż także powstają średniomasywne pierwiastki takie jak siarka i krzem. Zwykle zakładano, że faktyczny mechanizm eksplozji pojawia się, gdy następuje akrecja materii na białego karła z towarzyszącą mu gwiazdy i masa białego karła osiąga $1,38M_{\odot}$. W 1931 roku Chandrasekhar pokazał, że w tym momencie grawitacja białego karła zaczyna dominować nad podtrzymującym gwiazdę ciśnieniem zdegenerowanego gazu elektronowego (Chandrasekhar 1931). W momencie, gdy gwiazda osiąga ten krytyczny stan, wysokie ciśnienie oraz duża gęstość panująca w jądrze gwiazdy umożliwiają zapalenie się węgla w jej centrum, co doprowadza do pochłonięcia całej gwiazdy przez szybko ekspandujący front fali termojądrowej. Aktualnie podejrzewa się, że istnieje kilka dróg zainicjowania procesu wybuchu. Zawierają one eksplozje poniżej granicy Chandrasekhara inicjowane przez wybuch helu z powłoki, co powoduje skurczenie się centrum gwiazdy do stanu, w którym włączają się reakcje jądrowe oraz eksplozje powyżej tej granicy zawierające również układ dwóch białych karłów emitujących promieniowanie grawitacyjne.

Studia doktoranckie na Harvardzie

Pod koniec 1988 roku złożyłem kilka podań na różne uniwersytety w nadziei otrzymania stypendium doktoranckiego. Ponieważ słyszałem od innych wiele przerażających historii jak duża jest konkurencja przy rozpatrywaniu podań o takie stypendia, to mój optymizm nie był zbyt duży. Ku mojemu zaskoczeniu, w dzień moich 22 urodzin (24 luty 1989), otrzymałem informację od Boba Kirshnera z Uniwersytetu Harvarda o przyjęciu mnie tam na studia doktoranckie z astronomii. To był mój najlepszy prezent urodzinowy w życiu. Okazało się, że ta pierwsza akceptacja na studia otworzyła listę kolejnych nadchodzących w następnych godzinach i dniach i stało się tak, że stanąłem w obliczu trudnej decyzji: gdzie studiować? Albo mogłem zostać na zachodzie Stanów Zjednoczonych, gdzie czułem się całkiem swojsko, albo mogłem wyruszyć na wschód, który wydawał mi się zupełnie obcy. Po odbyciu wizyt na kilku kampusach uniwersyteckich, Harvard znalazł się na górze mojej listy preferencyjnej, co zostało dodatkowo sfinalizowane w trakcie wizyty Boba Kirshnera w Tucson, gdzie wygłosił on pierwszy wykład poświęcony pamięci Aaronsona i przy okazji osobiście spytał mnie, czy mógłbym pracować nad doktoratem pod jego opieką.

Kiedy dotarłem do Harvardu aby pracować z Bobem Kirshnerem, to postanowiłem raczej zająć się badaniem własności supernowych, niż ich odkrywaniem. Idea, aby zmierzyć dokładnie wartość stałej Hubble’a bardzo mnie pociągała i w ten sposób powstał temat mojej pracy doktorskiej – dokonać kalibracji jasności absolutnej supernowych typu II i użyć ich do pomiaru pozagalaktycznej skali odległości (Kirshner i Kwan 1975). Supernowa 1987A, jako najbliższa Ziemi, która wybuchła w ciągu ostatnich

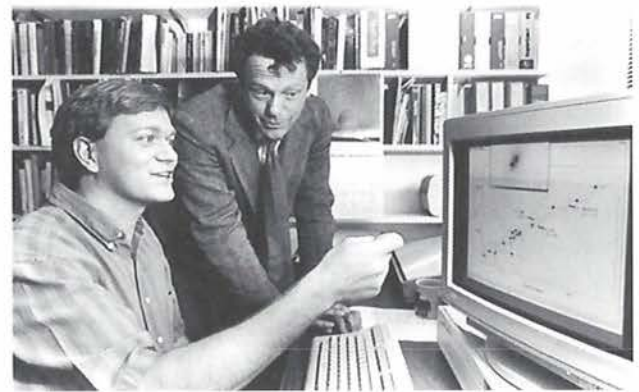
400 lat, doprowadziła do eksplozji zainteresowania badawczego tym tematem i Ron Eastman, mający na ukończeniu rozprawę doktorant Boba, napisał skomplikowany program komputerowy modelujący powstawanie promieniowania podczas jej wybuchu. Moja praca doktorska wykorzystywała teorię stworzoną przez Rona do kilku wystarczająco dalekich supernowych i w ten sposób mogliśmy dokonać dosyć dokładnego pomiaru stałej Hubble'a. Typ II-P doskonale nadawał się do tego celu, ponieważ posiada on atmosfery zawierające wodór, których promieniowanie było bliskie widmu promieniowania doskonale czarnego. Dodatkowo na jego wybuch nie ma wpływu grawitacja, co umożliwiło nam wyznaczenie jego promienia poprzez pomiar linii absorpcyjnych w widmach i w ten sposób określenie prędkości materiału, z którego było emitowane promieniowanie supernowej. Mówiąc inaczej, obliczenia strumienia promieniowania supernowej oraz tempa ekspansji pozwoliły na obliczenie odległości do supernowej jedynie za pomocą jej własności fizycznych. Tę metodę nazwaliśmy metodą ekspandującej fotosfery (*Expanding Photosphere Method* – EPM).

Oprócz lepszego wykorzystania obserwacji, metoda EPM ma istotny produkt, modele atmosfery, które pozwalają na wyliczenie poprawek do założonego spektrum ciała doskonale czarnego. Byłoby wspaniale, gdybyśmy mogli te obliczenia wykonywać indywidualnie dla każdej supernowej – jednak zajmowały one całe tygodnie w związku z czym użyliśmy przybliżenia, w którym zakładaliśmy, że poprawka ze względu na spektrum promieniowania ciała doskonale czarnego prawie całkowicie zależy od temperatury supernowej. Inne czynniki nie mają znaczenia. Tej techniki używałem w mojej pracy doktorskiej – zmierzyłem w ten sposób odległości do 14 supernowych typu II o przesunięciach ku czerwieni w zakresie $0,005 > z > 0,5$, co pozwoliło mi wyznaczyć wartość stałej Hubble'a $61 < H_0 < 85 \text{ km}/\mu\text{Mpc}$ na poziomie ufności 95%. Ten wynik był zupełnie niezależny od kosmologicznej hierarchii odległości – wyznaczania dystansu począwszy od naszego Układu Słonecznego do najbliższych galaktyk – i jednocześnie dawał niemal idealną zgodność z pomiarami odległości do galaktyk przy użyciu gwiazd zmiennych jakimi są cefeidy w Kluczowym Projekcie Hubble'a (Hubble Key Project). Wspomnę, że aktualnie uznawaną wartością dla stałej Hubble'a jest $67 < H_0 < 75 \text{ km}/\mu\text{Mpc}$, a praca nad użyciem supernowych typu II do pomiarów odległości jest kontynuowana i pomimo, że niektóre poczynione przeze mnie przybliżenia zostały zarzucone, to podstawowa metoda jaka jest używana pozostała taka sama. Po obronie mojej pracy doktorskiej następnym oczywistym zadaniem badawczym było zastosowanie moich wyników do pomiaru q_0 , ale supernowe typu II i metoda ekspandującej fotosfery miały trzy zasadnicze wady aby dokonać pomiaru globalnych własności Wszechświata. Po pierwsze supernowe typu II są trudne do zaobserwowania w zakresie

przesunięć ku czerwieni $z > 0,3$ za pomocą aktualnych narzędzi obserwacyjnych – po prostu zbyt słabo świecą. Po drugie wymagają długotrwałych obserwacji w celu wyznaczenia odległości do nich – konieczność uzyskania wielokrotnych wysokiej jakości widm przy jednoczesnych obserwacjach fotometrycznych czynią je naprawdę zbyt drogim narzędziem do pomiaru q_0 . Ostatnią wadą jest, że dokładność metody EPM, mimo, że jest na niezłym poziomie 15%, wymagałaby użycia dużo większej próbki supernowych w celu uzyskania precyzyjnego pomiaru q_0 . Największą zaletą metody EPM, która pozwalała na wykalibrowanie obiektów w sensie absolutnym – doskonale wpływała na dokładny pomiar H_0 , ale dla pomiaru q_0 była nieodpowiednia. Na szczęście podczas pracy nad moim doktoratem cały czas miałem wgląd w szybko rozwijającą się dziedzinę ukierunkowaną na pomiary odległości do supernowych typu Ia. Co najważniejsze, poznałem i pracowałem ze światowymi ekspertami w tej dziedzinie i te kontakty były główną bazą do utworzenia Zespołu Poszukiwania Supernowych z Dużym Z (*High-Z Supernova Search Team*).

Powstanie Zespołu Poszukiwania Supernowych z Dużym-Z

Kiedy przybyłem do Harvardu w 1989 roku, to pojawił się tam równocześnie Szwajcar – Bruno Leibundgut. Jednak Bruno zamiast studiować supernową SN1987A i jej bliźniacze siostry – supernowe typu II – tak jak czyniła to większość astronomów w owym czasie, skoncentrował się na zrozumieniu jakimi świecami standardowymi mogą być supernowe typu Ia. Supernowe typu Ia i jej poprzedniczki – supernowe typu I – uzyskały stopniowo reputację idealnych obiektów do badania, ponieważ były w zasadzie identyczne, co czyniło je bardzo dobrymi próbnikami kosmologicznymi.



Ryc. 2. Bob Kirshner sprawdza moje wyniki w 1993 roku na Uniwersytecie Harvarda

Dla realizacji swojej pracy doktorskiej Bruno spędził wiele nocy na teleskopach w Chile robiąc fotografie obiektów, które chciał odkryć w projekcie prowadzonym przez Gustava Tammanna i Allana Sandage'a. Pomimo, że projekt ten doprowadził do sukcesu w postaci odkrycia super-

nowych, to uzyskane wyniki okazały się bezużyteczne przy zastosowaniu supernowych jako świec standardowych. W związku z tym wziął do tego celu cały zbiór danych zebranych w czasie jego pięcioletnich badań oraz wcześniejszych badań innych grup i stworzył standardowy wzór uśrednionej krzywej jasności, która mogłaby być użyta jako krzywa odniesienia dla pokazania jednolitości całej rodziny supernowych typu Ia. Wyniki były niesłychanie zachęcające – wszystkie spośród supernowych typu Ia wydawały się posiadać jednakowy wzór tej krzywej (Leibundgut 1988). W międzyczasie na Harvardzie, Bruno mógł użyć nowego 1,2-metrowego teleskopu wyposażonego w kamerę CCD w celu monitorowania krzywych jasności świeżo odkrytych bliskich supernowych oraz Wielo Lustrzanego Teleskopu (*Multiple Mirror Telescope* – MMT) w celu otrzymania ich widm. Nasze pierwsze wspólne obserwacje z Bruno okazały się jedynymi kiedykolwiek występującymi nieporozumieniami między nami. Mieliliśmy problem, aby zrozumieć wzajemnie nasz entuzjazm, sądząc, że każdy z nas zna właściwy sposób na przeprowadzenie obserwacji. W dyskusji między nami fakt, że Bruno był wówczas postdokiem a ja tylko doktorantem nie miał dla mnie kluczowego znaczenia. Jednak w ciągu kilku miesięcy nauczyliśmy się szanować opinię drugiego i pozostało tak do dnia dzisiejszego, jeśli Bruno nie zgadza się z moim poglądem, to ja najpierw słucham, a potem dopiero zadaję pytania.

Pierwszy naukowy przełom Bruna na Harvardzie miał miejsce wraz z odkryciem w lecie 1990 roku supernowej 1990N w czasie, kiedy ja i Bob byliśmy w Europie na szkole letniej na temat supernowych w Les Houches w Alpach Francuskich. Obiekt ten został odkryty tuż po wybuchu, a jego widmo posiadało pewne dziwne własności, które nie zmieniały się wraz z czasem, i które były inne niż dla pozostałych supernowych typu Ia. Jednak supernowa 1990N miała widmo, które pasowało do wzoru Bruna (Leibundgut i inni 1991).

W Les Houches zdałem sobie dopiero sprawę jakie to szczęście być astronomem. W tym przepięknym miasteczku u stóp szczytu Mont Blanc spędziłem 5 tygodni wraz z grupą studentów z całego świata i wysłuchałem wykładów najlepszych specjalistów z mojej dziedziny. Uważam je za najwspanialsze 5 tygodni w moim życiu. Tam spotkałem młodego Chilijczyka, Mario Hamuy, który pracował w Inter-amerykańskim Obserwatorium Cerro Tololo jako asystent astronoma stamtąd – Nicka Suntzeffa. Znałem Mario z jego prac, w których wraz z Nickiem zgromadzili oni dane fotometryczne dla SN 1987A z Wielkiej Mgławicy Magellana – tej supernowej używałem do pomiaru odległości w mojej rozprawie doktorskiej.

Mario opowiedział nam o nowym projekcie, przeglądzie Calan//Tololo, w którym używano teleskopu Curtisa Schmidta z CTIO w celu odkrycia obiektów z przesunięciami ku czerwieni większymi niż supernowe jakie my stu-

diowaliśmy. Przy użyciu nowo odkrytych supernowych dla $0,02 < z < 0,1$ przegląd Calan–Tololo miał na celu przetestować je jako kandydatki do roli świec standardowych, używając przesunięcia ku czerwieni jako wskaźnika względnej odległości. Członkowie tego zespołu, Mario Hamuy, Nick Suntzeff i Mark Phillips z CTIO, wraz z Jose Maza z Uniwersytetu w Chile w tym roku właśnie rozpoczęli ten projekt. Oprócz pracy Nicka i Mario nad supernową 1987A, Jose Maza wcześniej prowadził zakończone sukcesem poszukiwania supernowych w Calan w latach 80-tych, a Mark wcześniej miał swój wkład do badań nad supernową 1986G w pobliskiej galaktyce Centaurus A. Supernowa 1986G była jednym z pierwszych obiektów zaobserwowanych za pomocą kamery CCD i posiadała krzywą jasności, która była powszechnie uznawana za nietypową, biorąc pod uwagę wzór krzywych jasności opracowanych przez Leibundguta.

W dużej mierze jako następstwo szkoły w Les Houches, chociaż głównie dzięki pracy Boba Kirshnera, Marka Phillipsa i Nicka Suntzeffa nad supernową 1987A, zaplanowałem 5-tygodniową wizytę w Cerro Tololo na koniec 1991 roku. Tam miałem zastosować wyniki obserwacji supernowych typu II z Calan//Tololo do mojej rozprawy doktorskiej oraz nauczyć się technik używanych w CTIO w celu dokładnego pomiaru krzywych jasności supernowych typu Ia za pomocą kamery CCD i zastosować je do badanych przeze mnie supernowych typu II. Aby nie doznać zbyt dużego szoku kulturowego związanego z pobytem w obcej mi kulturze, moja podróż została podzielona tak, abym najpierw mógł pozostać w CTIO z kolejnym doktorantem Boba Kirshnera – Chrisem Schmidtem, który miał właśnie zaczynać swój staż podoktorski w tym obserwatorium.

Po długim locie z Miami przyleciałem do Santiago, skąd zabrano mnie na dworzec autobusowy aby odbyć 6-godzinną podróż do La Serena. Tam spotkałem Peta Challisa z Instytutu Teleskopu Kosmicznego Hubble'a, który także podróżował do CTIO w celu odbycia długich obserwacji. W drodze do La Serena ucieliśmy sobie z Petem długą pogawędkę. Pete powiedział mi, że odbywał studia magisterskie w Michigan pod kierunkiem Boba Kirshnera, ale że był zainteresowany zmianą tematyki. Powiedziałem Petowi, że Bob poszukiwał kogoś, kto mógłby mu pomóc przy obserwacjach za pomocą teleskopu Hubble'a – w ten sposób Pete i Bob ponownie zaczęli pracować razem – i pracują razem po dziś dzień.

Kiedy dotarliśmy do La Serena, to czekali tam na nas Mario Hamuy i Mark Phillips, którzy oprócz odebrania nas mieli za zadanie zapakować do autobusu drewniane skrzynie wypełnione płytami fotograficznymi z Teleskopu Curtisa Schmidta aby je przewieziono do Santiago. W czasie kiedy ja spałem płyty fotograficzne pojechały na południe do Uniwersytetu w Chile, gdzie Jose Maza i jego zespół przeglądał je następnego dnia w poszukiwaniu supernowych.

W obserwacjach Calan//Tololo używano tej procedury, aby z dużą wydajnością odkryć ponad 50 supernowych w latach 1990–1993. Do obserwacji widm stale używano 4-metrowego i 1,5-metrowego teleskopu CTIO-4 i CTIO-1,5 a wyniki pojawiały się regularnie, bowiem obserwacje były z góry planowane. Co do fotometrii, która wymagała mniej czasu obserwacyjnego, proszono o wykonanie uzupełniających obserwacji współpracujących astronomów z CTIO – było dla nich dużą przyjemnością posiadanie możliwości obserwacji obiektu astronomicznego, który zmieniał swój obraz na przestrzeni kilku nocy.

Kilka dni po moim przyjeździe zapytałem Mario jak szła jego praca nad supernowymi typu Ia, a on mi na to odpowiedział, że jest załamany. Pokazał mi kilka swoich pierwszych obserwacji supernowych i jedna z nich – SN1990af – wyglądała całkiem normalnie jeśli wziąć pod uwagę jej widmo, natomiast w porównaniu z wzorcem Bruno Leibundguta, krzywa jasności wznosiła się i opadała zbyt szybko. Do tego była ona znacznie jaśniejsza niż inne obiekty w próbcie, pomimo że miała takie samo przesunięcie ku czerwieni. Mario odniósł wrażenie, iż program badawczy Calan//Tololo mający na celu użycie supernowych typu Ia do pomiaru H_0 i być może q_0 natrafił na poważny problem – obiekty jakich planowano użyć do pomiaru odległości nie wydawały się być odpowiednimi, tak jak wcześniej zakładano – one po prostu nie mogły być świecami standardowymi.

Rok 1991 okazał się rokiem przełomowym dla badań supernowych typu Ia. Na początku roku odkryto supernową SN1991T, która znajdowała się w niedalekiej galaktyce. W pracy opublikowanej przez Marka Phillipsa i współpracowników (Phillips i inni 1992), a potem w pracy Alexa Filippenko i współpracowników (Filippenko i inni 1992), wykazano, że obiekt ten był bardzo nietypowy. Jego widmo wykazywało początkowo doskonałe cechy, ale potem okazało się, że brakuje w nim najbardziej rozpoznawalnej cechy jaką mają obiekty tej klasy a jest to silna linia krzemiu przy 6130\AA . Oprócz tego, krzywa jasności wznosiła się i opadała znacznie wolniej niż średnia i wydawała się zbyt jasna jak dla supernowej znajdującej się w tej odległości galaktyce. Oprócz niepewności związanej z wpływem pyłu na krzywą jasności oraz z odległością do galaktyki w której ta supernowa się znajdowała, nie byliśmy też absolutnie pewni czy obiekt ten był jaśniejszy od innych supernowych typu Ia, pomimo udowodnienia przez Jasona Spyromillio z Obserwatorium Anglo-amerykańskiego, że SN1991T produkowała więcej żelaza, niż było to obserwowane dla zwykłych supernowych typu Ia (Spyromillio i inni 1992).

W tym samym roku, w bliskiej galaktyce spiralnej pojawił się jeszcze jeden obiekt – supernowa 1991bg. W pracach opublikowanych przez Leibundguta (Leibundgut i inni 1993) (grupy Harvard i Tololo) oraz Filippenko (Filippenko 1992) zostało pokazane, że obiekt ten ma spektrum odbiegające od normy – jego krzywa jasności

zanika szybciej niż średnia dla tego typu obiektów. Poza tym nie było wątpliwości, że obiekt nie jest zasłonięty pyłem międzygalaktycznym, a jego jasność jest mniejsza niż średnia.

W oparciu o badania całego zakresu obiektów w najbliższym otoczeniu Ziemi oraz zgodnie z obrazem jaki ujawniły wyniki obserwacji Calan//Tololo, Mark Phillips w 1993 roku napisał ważną pracę w której porównywał tempo w jakim dany obiekt zmniejszał swój blask do jego jasności wykazując, że obiekty ewoluujące szybciej były słabsze niż ich bliźniacze siostry ewoluujące wolniej (Phillips 1993). Byłem sceptycznie nastawiony do tego wyniku z tego powodu, że supernowa 1991bg była całkowicie inna, a do tego pomimo, że wszystkie inne obiekty opisane w pracy z 1993 roku znajdowały się niedaleko Ziemi, to pomiar ich odległości był bardzo niepewny. Wydawało mi się, że cała stwierdzona zależność okaże się niesłuszna jeśli odrzucimy z próbki supernową 1991bg. Jednak praca Phillipsa wzbudziła zainteresowanie na świecie, między innymi u Boba Kirshnera, którego nowy doktorant Adam Riess poszukiwał tematu do swojej rozprawy. Bob zalecił Adamowi pracę nad tematem korzystając z doświadczenia Billa Pressa (który pracował piętro niżej w Centrum Astrofizyki) w celu rozwinięcia techniki modelowania krzywych jasności supernowych typu Ia i oszacowania ich odległości.

Ja właśnie wykańczałem swój doktorat na temat supernowych typu II-P, równocześnie spędzając wiele czasu na dyskusjach z Adamem o jego projekcie. Obraz jaki się wyłaniał z naszych dyskusji na temat supernowych typu Ia był tak interesujący, że pomimo konieczności złożenia mojej rozprawy doktorskiej, nie mogłem powstrzymać się od myślenia nad tym, jak użyć supernowych typu Ia do pomiaru odległości. W końcu udało mi się obronić pracę doktorską w 1993 roku, po czym zostałem zatrudniony jako postdok w Centrum Astrofizyki Harvarda-Smitha (*Center for Astrophysics – CfA*), dzięki czemu miałem możliwość pracy nad tym, czym chciałem, będąc jednocześnie w stałym kontakcie z grupą Boba Kirshnera.

Na początku 1994 roku odwiedził mnie Mario Hamuy z grupy Calan//Tololo. Grupa ta powiększyła się o Boba Schrommera – astronoma z CTIO, który miał spore doświadczenie przy pomiarze stałej Hubble’a za pomocą metody Tully–Fishera – oraz o Chrisa Smitha (kolejnego studenta Kirshnera), którego szerokie doświadczenie w zakresie obserwacji i analizy danych przydało się do analizy krzywych jasności supernowych. Mario miał pomiary krzywych jasności i przesunąć ku czerwieni 13 supernowych wykonane przez grupę Calan//Tololo, co było dla mnie zaskakującym odkryciem. Po zastosowaniu relacji Marka Phillipsa do tej klasy obiektów, ich rozrzut wokół linii Hubble’a zmniejszył się dramatycznie. To pokazywało, że supernowe typu Ia pozwalały na wyznaczenie odległości z dokładnością poniżej 7% dla każdego obserwowanego obiektu. Było to o wiele więcej niż się spodzie-

wałem, że można było kiedykolwiek osiągnąć. Wyniki grupy Calan//Tololo pozwoliły Adamowi wypróbować jego nową metodę statystyczną – obiekty te znajdowały się w odpowiedniej odległości aby wyliczyć ich względne położenia z dużą dokładnością dzięki pomiarom ich przesunięć ku czerwieni – to rozwiązywało jeden z głównych problemów jaki pojawiał się przy wszystkich dotychczasowych badaniach nad supernowymi typu Ia.

Miesiąc później, podczas jednej z obserwacji na teleskopie MMT, Bob Kirshner, Adam Riess i Pete Challis odebrali telefon od Saula Perlmuttera z Projektu Kosmologicznego Supernowych (*Supernova Cosmology Project – SCP*), aby dokonać uzupełniających obserwacji supernowych o dużym przesunięciu ku czerwieni wskazanych przez jego grupę. Grupa SCP starała się znaleźć odległe supernowe przez ostatnie 5 lat, ale na mnie wielkie wrażenie zrobiło widmo supernowej uzyskane z teleskopu MMT następnego ranka. Pete zdążył już opracować dane i wstępnie ocenił, że mamy do czynienia z supernową typu Ia o przesunięciu ku czerwieni $z = 0,42$ – było to coś, co udało mi się potwierdzić w dalszym ciągu dnia pozostając w moim biurze w CfA. W przeciągu następnych kilku tygodni postanowiliśmy wspólnie z zespołem Saula opublikować widmo tej supernowej w okólniku Międzynarodowej Unii Astronomicznej, po czym zdaliśmy sobie sprawę z tego, że to nie była jedyna obserwacja supernowej – zespół SCP odkrył kilka takich obiektów w trakcie kilku poprzednich miesięcy.

Dwa wydarzenia: rozwój możliwości precyzyjnego pomiaru odległości za pomocą gwiazd supernowych oraz zdolności do odkrywania tych obiektów w odległym Wszechświecie, były dwoma głównymi czynnikami, które pozwoliły w końcowym efekcie przeprowadzić udaną kampanię w celu pomiaru parametru spowolnienia q_0 . Projekt Kosmologiczny Supernowych pracował nad tym zadaniem od roku 1988, ale stało się dla nas jasne, że oni mieli znacząco różniący się od naszego zespołu pogląd na to jak podejść do tego problemu – w szczególności, gdy chodziło o precyzyjny pomiar odległości.

Zespół Poszukiwania Supernowych z Dużym Z (*High-Z Team*): Pomiar parametru spowolnienia Wszechświata

W połowie roku 1994 pojechałem do CTIO na obserwacje gromad galaktyk, które nie wychodziły. W czasie, gdy pozostawałem w CTIO, Nick Suntzeff wraz ze mną wpadł na pomysł, aby użyć 4-metrowego teleskopu dla przeprowadzenia naszej własnej kampanii obserwacyjnej w celu pomiaru q_0 , głównie w oparciu o dwa istotne czynniki wymienione powyżej. Pomiar q_0 był zawsze częścią planu badań zespołu Calan//Tololo, ale teraz możliwość ta zastukała do naszych drzwi kilka lat wcześniej, niż zespół się spodziewał.

Supernowe typu Ia nie są zwykłymi obiektami, pojawiają się bowiem w galaktyce takiej jak nasza Droga



Ryc. 3. Brian Schmidt, Pete Challis i Nick Suntzeff omawiają poszukiwanie supernowych z dużym z w Cerro Tololo

Mleczna tylko kilka razy na tysiąclecie. Ponieważ supernowe typu Ia potrzebują tylko 20 dni, aby ich blask osiągnął maksimum od zera, to obserwacja tego samego kawałka nieba w odległości czasowej jednego miesiąca pozwala znaleźć obiekty, które są zwykle w okolicach swojego maksimum jasności i w związku z tym wystarczająco świeże, aby można było ich użyć do dokładnego pomiaru odległości. W tym celu 4-metrowy teleskop CTIO został wyposażony w najlepszą na te czasy kamerę CCD o rozdzielczości 2048×2048 pikseli, która była w stanie obserwować największy obszar nieba spośród wszystkich 4-metrowych teleskopów używanych w tamtym czasie. Pogoda w CTIO była nieskazitelna przez całe tamto chilijskie lato – w związku z tym nie było żadnej szansy na zakłócenie naszych obserwacji supernowych ze względu na jakieś niespodziewane jej pogorszenie się. Było to niezwykle istotne, ponieważ eksperyment wymagał wykonania zdjęcia określonego obszaru nieba na miesiąc przed pojawieniem się supernowej, a potem ponownie już w zaplanowanym terminie w celu porównania zdjęć i wybrania kandydatek na supernowe. Zła pogoda w dowolnej fazie tych obserwacji mogła mieć fatalny wpływ na ich wykonanie i mogła pozbawić nas możliwości znalezienia supernowych, pomimo długiego czasu zainwestowanego w te obserwacje. Był to problem, który według mojej wiedzy, wielokrotnie pojawił się przy obserwacjach grupy SCP.

Ja i Nick szybko zwerbowałem Marka Phillipsa, Mario Hamuy, Chrisa Smitha i Boba Schommara (CTIO) oraz Josego Maza (Uniwersytet w Chile) z zespołu Calan//Tololo. Zaprosiliśmy także do współpracy Bruno Leibundguta i Jasona Spyromillo, którzy byli w tym czasie w Europejskim Obserwatorium Południowym, jak również Boba Kirshnera, Pete'a Challisa, Petera Garnavicha oraz Adama Riessa z Harvardu. To umożliwiło pozyskanie przez nas ogromnego obserwacyjnego kapitału ludzkiego skierowanego w celu odkrycia supernowych typu Ia oraz opracowania następnie uzyskanych wyników.

Nasz wniosek o grant na badania supernowych został napisany w czasie, gdy urodziło się moje pierwsze

Observing Proposal Cerro Tololo Inter-American Observatory		
Date: September 29, 1994	Proposal number:	
TITLE: A Pilot Project to Search for Distant Type Ia Supernovae		
PI: N. Suntzeff CTIO, Casilla 603, La Serena Chile	Grad student? N	nsuntzeff@ctio.noao.edu 56-51-725415
CoI: B. Schmidt CIA/MSSSO, 60 Garden St., Cambridge, MA 02138	Grad student? N	brian@cfanewton.harvard.edu 617 495 7390
Other CoIs: C. Smith, R. Schommer, M. Phillips, M. Hamuy, R. Aviles (CTIO); J. Maza (UChile); A. Riess, R. Kirshner (Harvard); J. Spyromilio, B. Leibundgut (ESO)		
Abstract of Scientific Justification:		
We propose to initiate a search for Type Ia supernovae at redshifts to $z \sim 0.1 - 0.5$ in equatorial fields using the CTIO 4m telescope. This program is the next step in the Calán/Tololo SN survey, where we have found ~ 30 Type Ia supernovae out to $z \sim 0.1$. The proposed program is a pilot project to discover fainter SN Ia's using multiple epoch CCD images from the 4m telescope. We will follow up these discoveries with CCD photometry and spectroscopy both at CTIO and at several observatories in both hemispheres. With the spectral classification and light curve shapes, we can use our calibrations of the absolute magnitudes of SN Ia's from the Calán/Tololo survey to place stringent limits (Figure 2) on q_0 in a reasonable time-frame. Based on the statistics of discovery from the Calán/Tololo SN survey, we can expect to find about 3 SNe Ia per month.		

Ryc. 4. Oryginalny wniosek Zespołu Poszukującego Supernowe z dużym Z

dziecko – Kieran, a Nick Suntzeff i Bob Schommer kończyli przygotowywać zgłoszenie, które zostało wysłane 29 września 1994 (ryc. 4).

Moje zgłoszenie na pozycję podoktorską w Obserwatorium Mount Stromlo w Australii zakończyło się sukcesem, w związku z czym przez ostatnie kilka miesięcy mojego pobytu w CfA pod koniec 1994 roku rozpocząłem pisanie głównych założeń do projektu odkrywania supernowych. Supernowe zwykle nie są łatwe do zaobserwowania jako nowe gwiazdy w galaktykach, ponieważ większość czasu są one w tych galaktykach przyćmione innymi obiektami – w związku z czym trudno jest je zidentyfikować bez użycia jakiejś bardziej wyszukanej techniki. Na konferencjach dowiedziałem się, że grupa SCP rozwinęła metodę odejmowania obrazów sprzed i po wybuchu supernowych i ta technika doprowadziła ich do udanych odkryć.

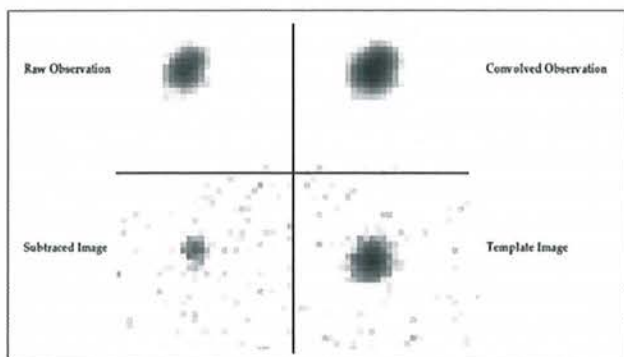
Jako część mojej pracy doktorskiej rozwinąłem techniki automatycznego ustawiania obrazów na jednej linii, jednak atmosfera ziemska rozmywa każdy obraz gwiazdy inaczej czyniąc go unikalnym – coś co opisujemy jako funkcja rozproszenia. W CTIO spotkałem Drew Phillipa, który rozwinął technikę obracania obrazów w celu dopasowania ich funkcji rozproszenia umożliwiając w ten sposób klarowne odejmowanie obrazów. Użyłem tej techniki jako podstawy naszych badań rozwijając całą serię programów do automatycznej redukcji olbrzymiej ilości danych, które uzyskaliśmy na początku 1995 roku. Programy te miały na celu zebranie wielu gigabajtów danych w postaci obrazów nocnego nieba, zestawienia ich z danymi uzyskanymi w trakcie poprzednich obserwacji, a następnie dopasowania i wyskalowania ich funkcji rozproszenia w obu fazach obserwacji po to, aby uzyskać dwie jak najbardziej identyczne fotografie. Wówczas oba obrazy były ze sobą odejmowane w poszukiwaniu nowych obiektów, które wyróżniały się na tle statycznych źródeł światła, gremialnie odrzucających w procesie redukcji.

W trakcie ostatnich miesięcy mojego pobytu w CfA przybył tam nowy postdoc Boba Kirshnera – Peter Garnavich. Peter w tym czasie głównie zajmował się supernową SN1987A, a także jeszcze jednym obiektem, supernową SN1993J, ale jako nowy kolega miał świeże pomysły o których mogłem dyskutować przedstawiając mu nasz program obserwacji supernowych o dużych przesunięciach ku czerwieni *High-Z*. Natychmiast zaprzyjaźniliśmy się i mimo, że przebywaliśmy w CfA wspólnie bardzo krótko, to Peter pozostał osobą, której mogłem ufać zarówno w dobrych jak i złych chwilach. Dzięki opracowywaniu pewnych danych testowych już przed moim wyjazdem do Australii miałem poczucie, że jestem w posiadaniu planu odkrywania supernowych, który powinien w mniejszym lub większym stopniu działać.

Od momentu mojego przyjazdu do Australii pozostawało mi kilka tygodni do terminu rozpoczęcia naszej pierwszej kampanii obserwacyjnej w Chile. Postanowiłem jednak tam pozostać i nie jechać do Chile ze względu na fakt, że byliśmy dopiero w połowie przeprowadzki. Do tego moja żona dopiero co rozpoczęła pracę, a nasz 4-miesięczny syn okazał się spać o wiele krócej w nocy, niż sądziliśmy. Natychmiast jak zaczęliśmy realizować nasz plan badań w CTIO, okazało się, że mamy problemy. System komputerowy w CTIO, o którym myślałem, że jest podobny do tego jaki miałem w Australii, niestety był inny i oprogramowanie nie działało. Co gorsza, połączenie internetowe pomiędzy Australią i Chile miało tempo 1 znaku na sekundę – to spowodowało, że było praktycznie niemożliwe, abym mógł pracować na odległość. Jednak współpracując z niezwykle cierpliwym Mario, powoli pokonywaliśmy problemy. Ja przesyłałem emailem kawałki kodu do Mario, który następnie wprowadzał je do programu redukującego obrazy, potem raportując mi jak to wszystko działało.

Nasze pierwsze obserwacje zostały wykonane 25 lutego 1995 roku a następne 6 marca. Opracowanie danych okazało się totalnym koszmarem – wydawało się, że nic nie działało, a ja nie mogłem odebrać danych w Australii ażeby zdiagnozować co było nie tak. Użyliśmy ekspresowej poczty kurierskiej ażeby przesłać dane do a Chile do Australii abym mógł poprawić błędy, ale przesyłka została zagubiona i nigdy do mnie nie dotarła. Pracując nad całością materiału uzyskanego ze współpracy z CTIO, powoli łączyliśmy kawałki w całość przesyłając niewielkie co bardziej interesujące obrazki o rozmiarach 16×16 pikseli do mnie do Australii. Te ubogie mini-obrazki, w połączeniu z ich werbalnym opisem przekazywanym mi za pomocą telefonu, były wszystkim, co mogłem otrzymać, aby stwierdzić co było źle wykonane, a co było wykonane dobrze. Mieliśmy dwie noce obserwacyjne: 24 marca oraz 29 marca. Poza tym musieliśmy napisać wniosek o grant na kontynuację programu do 30 marca. Około 27 marca obrazki jakie otrzymywałem zaczęły ukazywać obiekty, które wyglądały interesująco. Kilka z nich było

asteroidami – mogliśmy to stwierdzić, bowiem poruszały się – jednak jeden z nich znajdował się na peryferiach galaktyki. Ten obiekt został odkryty 6 marca, ale nie był widoczny na danych z 24 marca (dane z tej nocy były bardzo słabe i nie mogliśmy stwierdzić, że to nie była asteroida). Mając te kandydatki na supernowe, wysłaliśmy wniosek o przedłużenie projektu i rozpoczęliśmy badanie danych z 29 marca. Obrazek za obrazkiem dochodził do Australii, gdy nagle jeden z nich pod nazwą C14, okazał się wyglądać interesująco. Był to nowy obiekt ukryty w galaktyce spiralnej – nie poruszał się i wyglądał nieco słabiej, niż ten na naszych kiepskich danych z 24 marca (ryc. 5). Podekscytowany zadzwoniłem do CTIO i po tym jak tam jeszcze raz obejrzano całe zdjęcie, to uzyskałem pozytywny wynik. Tak, ten obiekt wyglądał jak supernowa.

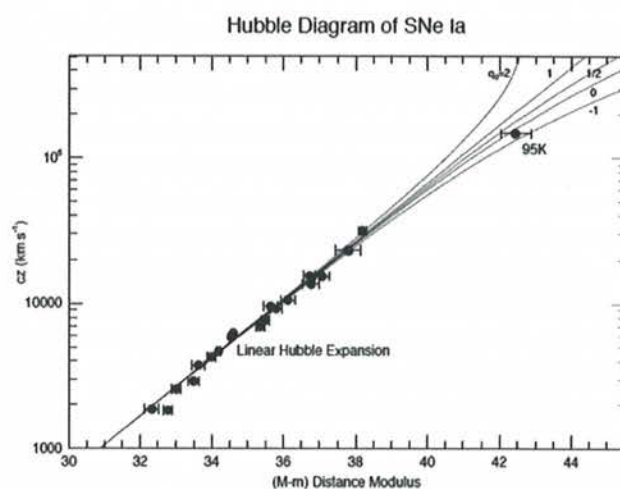


Ryc. 5. Oryginalne obrazy obiektu C14 – oznaczonego po potwierdzeniu jako SN 1995K przy $z = 0,479$. Była to najbardziej odległa supernowa Ia odkryta w kwietniu 1995 roku. Obserwacja z dnia 29 marca (górze, z lewej), została dopasowana (górze z prawej) do obserwacji wykonanej w lutym (dół z prawej) i odjętej (dół z lewej)

Przy zastosowaniu 4-metrowego spektrografu CTIO Mark Phillips był w stanie otrzymać widmo galaktyki – miało ono przesunięcie ku czerwieni $z = 0,48$ i mógł to być obiekt o największym przesunięciu ku czerwieni, jaki był do tej pory odkryty. Jednak to widmo nie posiadało żadnych cech supernowej – jego światło było przyćmione blaskiem galaktyki, w której się znajdował. Na szczęście, 3 kwietnia Bruno i Jason otrzymali czas obserwacyjny na Teleskopie Nowej Technologii (*New Technology Telescope* – NTT) w Południowym Obserwatorium Europejskim w La Silla, aby poobserwować ten obiekt ponownie. Wkładając w to heroiczny wysiłek (obserwowali obiekt całą noc i redukowali dane przez tydzień), na podstawie uzyskanego przez NTT widma mogli stwierdzić, że obiekt ten był faktycznie supernową typu Ia. Pisząc do biuletynu Międzynarodowej Unii Astronomicznej (IAU) potrzebowaliśmy jakoś nazwać nasz zespół. Z braku czegoś lepszego ustaliliśmy, że będziemy używać nazwy Zespół Poszukiwania Supernowych z Dużym Z (*High-Z Team*).

W następnych dniach Nick, Mark i Bob Schommer przekonali Allana Dresslera w Carnegie, aby wykona-

li serię zdjęć supernowej SN1995K za pomocą teleskopu DuPont w Las Campanas. Zdjęcia te skombinowane z innymi wynikami otrzymanymi w ESO i CTIO, pozwoliły uzyskać bardzo dobrą krzywą jasności tej odległej supernowej. Umieściliśmy krzywą jasności oraz jej położenie na diagramie Hubble’a we wrześniu 1995 roku na naszym wniosku o czas obserwacyjny na teleskopie. Mimo, że supernowa 1995 K sugerowała, iż $q_0 = -0,6$, to niepewności pomiarowe były tak duże, że potrzebowaliśmy co najmniej 10 dodatkowych obiektów, aby dokonać znaczącego statystycznie pomiaru. W związku z tym nie zwróciliśmy zbytnej uwagi na uzyskaną nieoczekiwaną wartość parametru spowolnienia q_0 (ryc. 6).



Ryc. 6. Supernowa 1995K na diagramie Hubble’a w naszym wniosku z września 1995 roku o dostęp do teleskopu

W 1995 roku do zespołu zostali zrekrutowani miłośnicy supernowych Alejandro Clocchiatti (Uniwersytet Katolicki), Alex Filippenko (Berkeley) oraz eksperci z innych dziedzin niż badanie supernowych tacy jak John Tonry (Hawaje), Chris Stubbs i Craig Hogan (Uniwersytet w Waszyngtonie) – wszyscy oni posiadali określone umiejętności oraz dostęp do dodatkowych teleskopów.

Alejandro Clocchiatti napisał rozprawę doktorską na Uniwersytecie w Teksasie na temat supernowych typu Ib i Ic – prawdopodobnych obiektów, które mogły zakłócić nasze badania i które mogliśmy kontrolować dzięki jego wiedzy eksperckiej. Alejandro pracował w Chile, dzięki czemu mogliśmy wykorzystać jego tam obecność w celu wykonywania obserwacji, a także w celu umożliwienia nam dodatkowego dostępu do chilijskich teleskopów.

Alex Filippenko, członek społeczności badającej supernowe, poprosił mnie o przystąpienie do naszego zespołu w 1995 roku. Odrzuciliśmy tę propozycję biorąc pod uwagę fakt, że nie chcieliśmy być uznani za poławiaczy członków konkurującego z nami zespołu. Jednak pod koniec 1995 roku okazało się, że wiedza Alexa oraz

nie było stałej kosmologicznej, to niepewność pomiaru supernowych typu Ia byłaby zbyt duża ażeby móc zrobić takie oszacowanie (patrz ich ryc. 2). Nie zrozumiałem problemu – tak mocne było moje uprzedzenie do stałej kosmologicznej – okazało się, że jeśli stała kosmologiczna faktycznie występuje (patrz ich ryc. 3), to rozsądny pomiar mógłby być wykonany.

Stała kosmologiczna nie była niczym nowym dla mnie. Sean Carroll pisał artykuł przeglądowy na ten temat w 1992 roku, gdy siedzieliśmy w tym samym pokoju podczas studiów (Carroll, Press i Turner 1992). Pamiętam, że w czasie gdy przeglądał setki zagryzłonych i poprzyklejanych do rękopisu żółtych karteczek pozostawionych przez jego recenzenta Allana Sandage'a, to docinałem mu mówiąc jak można pisać na temat czegoś tak dziwnego jak stała kosmologiczna. Jednak ten artykuł okazał się niezwykle użyteczny, gdy musiałem odpowiedzieć sobie na pytanie jak interpretować SN1995K wraz z ujemną wartością parametru q_0 , jaką ta supernowa implikowała.

Jako część mojej pracy opisującej poszukiwanie supernowych o dużych przesunięciach ku czerwieni, teoretyk zespołu – Craig Hogan – zachęcił mnie, aby wyjść poza pojęcie pomiaru q_0 . On był w szczególności zainteresowany złamaniem założenia, że Wszechświat jest zbudowany tylko z normalnej materii i postulował występowanie również innego typu materii. W naszej pracy zaadaptowaliśmy nasze pomiary do standardów astrofizyki cząstek. To znaczy, że przyjęliśmy równanie (2) z uwzględnieniem wszystkich rodzajów materii

$$H^2 \equiv \left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G \rho_{tot}}{3} - \frac{k}{a^2} \quad (9)$$

opisujące każdy z nich jako ułamek gęstości krytycznej

$$\Omega_i = \frac{\rho_i}{\rho_{crit}} \equiv \frac{\rho_i}{(3H_0^2/8\pi G)}, \quad (10)$$

wraz z jego równaniem stanu

$$w_i = \frac{P_i}{\rho_i c^2}. \quad (11)$$

Równanie stanu zwykłej materii ma $w = 0$, stała kosmologiczna ma $w = -1$, natomiast fotony mają $w = 1/3$. To sformułowanie prowadziło do mniej trywialnego wyrażenia na odległość janościową

$$D_L H_0 = c(1+z)\Omega_k^{-1/2} S\left\{\Omega_k^{1/2} \int_0^z dz' [\Omega_k(1+z')]^2 + \Sigma_i (1+z')^{3+3w_i}\right\}^{-1/2}, \quad (12)$$

gdzie $S(x) = \sin(x)$, x , $\sinh(x)$ dla odpowiednio zamkniętego, płaskiego i otwartego Wszechświata, ω_k jest parametrem krzywizny i definiuje się go jako $\Omega_k \equiv 1 - \Sigma_i \Omega_i$. Dla wieloskładnikowej materii formuła Mattiga

dana równaniem (8) wymaga uogólnienia¹, ale rozwinięcie w szereg (6) jest dalej dobre, pod warunkiem, że parametr spowolnienia q_0 będzie dany przez

$$q_0 \equiv -\frac{\ddot{a}_0 a_0}{\dot{a}^2} = \frac{1}{2} \Sigma \Omega_i (1 + 3w_i). \quad (13)$$

Odkrycie przyspieszenia ewolucji Wszechświata

W połowie 1997 roku zespół *High-Z* miał obserwacje 4 obiektów z teleskopu Hubble'a oraz 10 innych odległych obiektów wystarczających do tego, aby osiągnąć nasz podstawowy cel, jakim był pomiar q_0 . Jednak istniały pewne komplikacje związane ze statystyką, które wymagały uporządkowania. Zasadniczo pomiar q_0 , jeśli ma się dane kilka odległości do supernowych oraz ich przesunięcia ku czerwieni, jest prosty. Błąd pomiaru przesunięć ku czerwieni jest znikomy, natomiast pomiary odległości mają niepewności pomiarowe dobrze opisywane rozkładem normalnym. Stąd klasyczny test χ^2 wydaje się być całkowicie właściwym. Jednak nasze dane znajdowały się częściowo w przestrzeni parametrów wychodzącej poza zasięg zastosowań jawnej formuły Mattiga (8) a poza tym dla tak dużych przesunięć ku czerwieni, formuła wynikająca z rozwinięcia w szereg (6) nie była zbyt dokładna. Z drugiej strony równanie (12) miało zastosowanie do wszystkich możliwości, ale istniały obszary niedozwolone w przestrzeni parametrów, np. takie, które zawierały materię z ujemnym ciśnieniem. Podczas dyskusji w CTIO z członkami zespołu SCP w 1996 roku stało się jasne, że obie nasze drużyny zmagaly się z problemem jak rozwiązać te problemy statystyczne – nie chodziło tu o to, że one mogą być rozwiązane jako problemy naukowe – po prostu weszliśmy na zupełnie nowe pole badawcze i staraliśmy się intensywnie znaleźć rozwiązanie. Adam Riess, który dzięki swojej pracy doktorskiej stał się ekspertem od statystyki, podczas dyskusji z Billem Pressem doszedł do rozwiązania, które polegało na zamianie χ^2 na prawdopodobieństwo stosując *a priori* do utworzonej tak przestrzeni prawdopodobieństwa (np. bez materii o ujemnym ciśnieniu), następnie całkując po tej przestrzeni po to, aby znaleźć rozkład prawdopodobieństwa parametrów, które nas interesowały. Dzisiaj wydaje się to oczywiste, ale wówczas, w 1996 roku, nikt z nas nigdy wcześniej nie widział, aby ta technika była stosowana w astronomii. Rachunkowo to nie było łatwe przedsięwzięcie i zarówno Adam Riess jak i Peter Garnavich oraz ja, napisaliśmy nasze własne wersje kodów numerycznych, które wykonywały te obliczenia.

Dane z kosmicznego teleskopu Hubble'a, które analizował Peter Garnavich były bardzo dobrej jakości i w konsekwencji najprostsze od redukcji. Do września 1997 roku udało nam się ukończyć jego analizę – dane wyraż-

¹ Ta formuła została uogólniona na stałą kosmologiczną i inne składniki z ujemnym ciśnieniem w pracach M. P. Dąbrowski, J. Stelmach, *Astron. J.* 92, 1272 (1986) oraz M. P. Dąbrowski, J. Stelmach, *Astron. J.* 97, 978 (1989) – przyp. tłum.

nie wskazywały, że $q_0 \neq 0,5$, czyli, że płaski Wszechświat zawierający normalną materię w postaci pyłu był wykluczony, ale to kłóciło się z wynikami pracy, która została opublikowana przez zespół SCP w tym samym czasie (Perlmutter i inni 1997). Wstępna wersja pracy wykonana przez Petera spowodowała sporą reakcję w zespole – zadawano pytania o to jaka była nasza kontrola jeśli chodzi o błędy systematyczne i w jaki sposób możemy zademonstrować, że nasze wyniki są wystarczająco ogólne. To zmusiło nas do analizy wszystkich typów błędów systematycznych i mimo, że nigdy nie osiągnęliśmy pełnej zgody (Chris Stubbs, który miał wykształcenie z zakresu fizyki cząstek elementarnych był szczególnie krytyczny jeśli chodzi o naszą zdolność do kontroli wszystkich błędów), to jednak okazało się korzystne, że zespół przeszedł już przez te trudności w momencie, gdy sprawy zaczęły nabierać interesującego obrotu kilka miesięcy później. W tym czasie moja żona urodziła drugie dziecko i muszę przyznać, że nie wpłynąłem wystarczająco na zespół, aby zmusić go do konstruktywnej pracy nad tymi zagadnieniami.

W listopadzie 1997 roku Adam Riess właśnie skończył swoje pierwsze zadanie mierząc supernowe z jego kolekcji – to osiągnięcie było możliwe tylko dzięki jego wyjątkowej zdolności do skoncentrowania się na tej jednej rzeczy z całych swoich sił. Przysłał mi rysunek, którego linia tematu zawierała pytanie: „Co o tym sądzisz?” Spojrzałem na rysunek, który wskazywał, że jego kolekcja supernowych Ia bez wątplenia okazała się po uśrednieniu jaśniejsza niż w modelu z $q_0 = 0$. Wszechświat wydawał się przyspieszać. Pamiętam, że pomyślałem sobie: „Co ten Adam wyrabia?” i natychmiast rozpocząłem intensywną wymianę listów pomiędzy nami, sprawdzając wynik oraz poprawiając naszą analizę. W tym samym czasie pracowałem nad zakończeniem i wysłaniem pracy do druku, co zresztą obiecałem zrobić jeszcze w 1997 roku, czyli przed Sylwestrem. W końcu 8 stycznia 1998 roku (czasu australijskiego) zgodziliśmy się z Adamem we wszystkich szczegółach obliczeń, które wskazywały, że Wszechświat przyspiesza swoją ewolucję i przesłałem mu email z linią tematu „Witaj Lambda” („Hello Lambda”) oraz wykresem z moich obliczeń. Większość zespołu *High-Z* nie była poinformowana o tej analizie w tym momencie. Adam pokazał wynik swojej pracy Alexowi Filippenko, a następnie poinformowaliśmy o tym Petera Garnavicha, który miał referat na bazie pracy jaką przygotowywał na Mityng Amerykańskiego Towarzystwa Astronomicznego (*American Astronomical Society* – AAS) następnego dnia.

Rezultat wprowił mnie w osłupienie – stała kosmologiczna miała długą historię i była proponowana w celu wyjaśnienia pewnego zbioru danych obserwacyjnych, ale później została uznana za całkowicie błędną. A do tego był jeszcze wynik drugiego zespołu – SCP, którego praca z 1997 roku absolutnie nie zgadzała się z tym co my

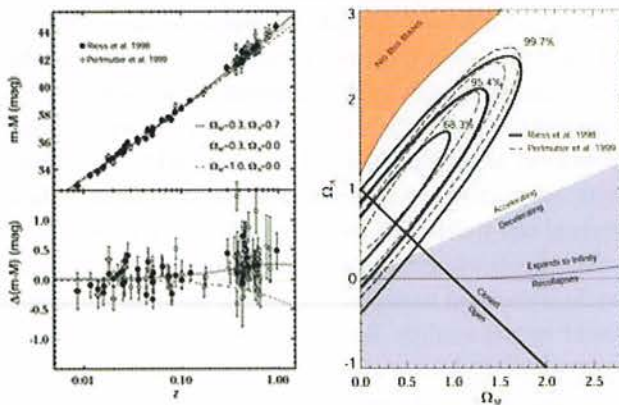
stwierdziliśmy – czułem, że nikt nie weźmie nas poważnie z takimi zwariowanymi wynikami. Czego jednak nie wiedziałem, to była nowa praca zespołu SCP, która ukazała się 17 grudnia na archiwach elektronicznych w sekcji astrofizyka, a której wyniki zostały oficjalnie podane na konferencji prasowej Amerykańskiego Towarzystwa Astronomicznego w dniu 8 stycznia 1998 (Perlmutter i inni 1998). W tej pracy było wykazane, że obecna wartość q_0 była znacznie mniejsza niż prezentowana w ich wcześniejszej pracy z 1997 roku.

9 stycznia przyszedłem do pracy aby wysłuchać raportu z konferencji prasowej AAS od Petera Garnavicha. Oprócz prezentacji swoich danych z teleskopu Hubble’a opublikowanych w pracy w *Nature* wskazującej, iż Wszechświat nie spowalnia ekspansji zbyt szybko, Saul Perlmutter pokazał zebranych całą kolekcję 40 supernowych – te obiekty jednoznacznie wydawały się wskazywać na ten sam wniosek, jaki my wyciągnęliśmy. Obiekty Saula były systematycznie jaśniejsze niż można byłoby wytłumaczyć to, gdyby Wszechświat był wypełniony tylko zwykłą materią. Jednak zespół Saula nie wprowadził poprawki ze względu na pył międzygalaktyczny, która była od początku wbudowana w naszą analizę. Adam wybrał ten tydzień na swój ślub, ale kiedy powrócił ze swojej krótkiej podróży poślubnej, musieliśmy udzielić wielu wyjaśnień naszemu zespołowi, opisując wszystkie kroki naszej analizy. Reakcje zespołu były różne – niektórzy byli podekscytowani, inni nie dowierzali, jeszcze inni sądzili, że jest przed nami długa droga aby wykazać, iż nasza analiza jest odporna na błędy. Mimo, że pozostawałem sceptykiem, to jednocześnie czułem, że byłoby błędem nie opublikować naszych wyników tylko dlatego, iż one mi się nie podobały. Zachęciłem zespół do przeprowadzenia testów, które jak oni sądzili, są potrzebne zanim wyślemy wyniki do publikacji. Przez resztę stycznia i cały luty, pod przewodnictwem Adama, zespół przeprowadził wszystkie testy sprawdzające tak, że pod koniec lutego wspólnie zgodziliśmy się co do zawartości publikacji i byliśmy gotowi do ogłoszenia naszych rezultatów. Alex Filippenko zaprezentował naszą pracę na konferencji w Kalifornii pod koniec lutego co spowodowało sensację medialną w Stanach Zjednoczonych. Nasza praca została wysłana tydzień później do *Astronomical Journal* i nosiła tytuł: „Obserwacyjny dowód na istnienie stałej kosmologicznej i przyspieszonej ekspansji Wszechświata”. W ciągu kilku następnych miesięcy, oprócz naszego druzgocącego programu obserwacji supernowych, Peter Garnavich wykonał pierwszą analizę w której pokazał, że cokolwiek co powoduje przyspieszenie Wszechświata musi mieć równanie stanu podobne do stałej kosmologicznej.

Mimo, iż czułem że zrobiliśmy wszystko co było możliwe z naszymi supernowymi aby zrozumieć wszelkie niepewności pomiarowe, to nie pomogło mi aby się nie przejmować tym, że pojawi się coś nieoczekiwanego i zruj-

nuje nasze wyniki. W języku amerykańskiego sekretarza obrony kontrolowaliśmy wszystkie znane niewiadome, ale zawsze są jakieś nieznanne niewiadome – a to był zważony rezultat. Oczekiwałem, że społeczność naukowa będzie sceptyczna i najprawdopodobniej zgryźliwa w ocenie naszych rezultatów.

W tym czasie zespół SCP pracował intensywnie nad ich własną publikacją – pojawiła się ona niebawem wskazując, że wyniki dwóch niezależnych eksperymentów były faktycznie takie same (Perlmutter i inni 1999). W ich obserwacjach użyto więcej supernowych niż w naszych, ale słabszy był sygnał od każdego obiektu – w końcowym wyniku ogólne znaczenie obu eksperymentów było porównywalne. Gdy te wyniki skombinować wzajemnie, to otrzymuje się dowód eksperymentalny na przyspieszenie ekspansji Wszechświata na poziomie 4σ (ryc. 7).



Ryc. 7. Góra z lewej: Diagramy Hubble'a supernowych Ia pochodzące z danych zespołów *High-Z* i SCP z trzema zestawami parametrów kosmologicznych.

Dół z lewej: Dane z górnego rysunku dla po odjęciu modelu zawierającego normalną materię (30% gęstości krytycznej).

Z prawej: kontury prawdopodobieństwa dopasowań do danych zespołów SCP i *High-Z*. Wyniki dwóch projektów wykazują niezwykle spójność we wniosku, że Wszechświat ma istotny składnik materii, zgodny z równaniem stanu ze stałą kosmologiczną

Ku mojemu zaskoczeniu idea przyspieszającego Wszechświata została odebrana znacznie cieplej, niż tego oczekiwałem. Jak sądzę, pozytywny odbiór był także wynikiem tego, że dwa mocno konkurujące ze sobą zespoły zupełnie niezależnie doszły do tych samych wyników. Jednak to odkrycie doprowadziło do rozwiązania głównych problemów obowiązującego wówczas modelu zimnej ciemnej materii (*Cold Dark Matter* – CDM) – modelu, dla którego warunki początkowe były określone za pomocą scenariusza inflacji kosmologicznej (Guth 1981). Ten model przewidywał płaski przestrzennie Wszechświat z rozkładem pierwotnych zaburzeń gęstości opisywanych przez prawie niezależne od skali długości statystyczne pole Gaussa. Model CDM był w sprzeczności z obserwacjami wielkoskalowego rozkładu galaktyk, a także z przewidywaniami skombinowanych pomiarów stałej Hubble'a, gęstości materii oraz wieku Wszechświa-

ta. Okazało się, że dodanie stałej kosmologicznej mogło rozwiązać wszystkie te problemy (Efsthathiou, Sutherland i Maddox 1990; Krauss i Turner 1995; Ostriker i Steinhardt 1995).

W roku 2000 misje satelitarne MAXIMA i Boomerang dokonały pomiarów kosmicznego mikrofalowego promieniowania tła, które wskazywały na to, że Wszechświat był płaski przestrzennie z dokładnością do 10% a to oznaczało, że $\Omega_k \sim 0$ (Hanany i inni 2000; Bernardis i inni 2000). Ten pomiar był praktycznie nie do uzgodnienia z naszymi wynikami pomiaru odległości do supernowych chyba, że założymy, iż we Wszechświecie występuje stała kosmologiczna. To był pierwszy moment, w którym zrozumiałem, że nasze wyniki przetrwają próbę czasu.

Wnioski końcowe

Przez 13 lat od odkrycia przyspieszonej ekspansji Wszechświata efekt ten został poddany gruntownej analizie fizycznej. Obserwacyjnie pojawiła się coraz większa próbka badawcza supernowych typu Ia, której pomiary były wykonywane coraz dokładniej aż do osiągnięcia punktu, w którym mamy do czynienia jedynie z ograniczeniami na błędy systematyczne, raczej niż na błędy statystyczne (Wood-Vasey 2007; Hicken i inni 2009; Kessler i inni 2009; Guy i inni 2010).

Pomiary mikrofalowego promieniowania tła dostarczyły coraz dokładniejszych pomiarów rozmiarów kątowych obiektów aż do przesunięcia ku czerwieni $z \sim 1090$ oraz określiły warunki fizyczne panujące we Wszechświecie od chwili tuż po Wielkim Wybuchu aż do rekombinacji ładunków (Komatsu i inni 2011). Także zrozumiano i wymodelowano barionowe oscylacje akustyczne (*Baryon Acoustic Oscillations* – BAO), które zostały wdrukowane w wielkoskalowy rozkład galaktyk. Astronomia łączy teraz skalę przesunięć ku czerwieni od $z \sim 1080$ do $z = 0,2$ (Percival i inni 2010), $z = 0,35$ (Eisenstein i inni 2005) oraz $z = 0,6$ (Blake 2011). Biorąc razem powyższe pomiary, wraz z wieloma innymi danymi, pojawia się konsystentny obraz Wszechświata przyspieszającego swoją ewolucję dzięki einsteinowskiej stałej kosmologicznej ($\Omega_\Lambda \sim 0,73$, $w = -1$), Wszechświata płaskiego geometrycznie, z pozostałą materią zdominowaną przez bezciśnieniowy ($w = 0$) pył (Sullivan 2011) składający się z barionów ($\Omega_B \sim 0,045$) i ciemnej zimnej materii ($\Omega_{CDM} \sim 0,225$). Ten podstawowy model jest często nazywany płaskim modelem Λ -CDM.

W odpowiedzi na odkrycie przyspieszonej ekspansji Wszechświata wykonano wiele badań teoretycznych. Niestety nie udało się uzyskać przełomu w zrozumieniu czym jest stała kosmologiczna – kosmiczne przyspieszenie pozostaje taką samą tajemnicą jaką było w roku 1998. W przyszłości zobaczymy większe i lepsze eksperymenty, które przetestują stopniowo zgodność naszego Wszechświata z modelem Λ -CDM. Jeśli pojawi się niezgodność,

która zaprzeczy istnieniu stałej kosmologicznej jako źródłu przyspieszenia Wszechświata, to teoretycy będą musieli szukać innego źródła tego zjawiska. Pewnie wkrótce po tym będziemy musieli czekać na rewelacje teoretyczne, które będą mogły wyjaśnić model standardowy, być może w oparciu o dane z nieoczekiwanego źródła.

Bibliografia

- Blake, C., 2011, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 415, 2892.
- Carroll, S. M., W. H. Press, and E. L. Turner, 1992, *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* 30, 499.
- Chandrasekhar, S., 1931, *Astrophys. J.* 74, 81.
- de Bernardis, P. i inni, 2000, *Nature (London)* 404, 955.
- de Sitter, W., 1917, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 78, 3.
- Efstathiou, G., W. J. Sutherland, S. J. Maddox, 1990, *Nature (London)* 348, 705.
- Einstein E., 1917, *Preuss. Akad. Wiss. Berlin, Sitzber* 1, 142.
- Eisenstein, D. J., i inni, 2005, *Astrophys. J.* 633, 560.
- Filippenko, A.V., 1992, *Astron. J.* 104, 1543.
- Filippenko, A.V., 1997, *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* 35, 309.
- Filippenko, A.V., i inni, 1992, *Astrophys. J.* 384, L15.
- A. Friedmann, 1922, *Z. Phys.*, D10, 377.
- Gaither, C. C., A. E. Cavazos-Gaither, *Gaither's Dictionary of Scientific Quotations*, 2008.
- Goobar, A., S. Perlmutter, 1995, *Astrophys. J.* 450, 14.
- Guth A., 1981, *Phys. Rev. D* 2, 347.
- Guy, J., i inni, 2010, *Astron. Astrophys.* 523, A7.
- Hamuy, M., M. M. Phillips, N. B. Suntzeff, R. A. Schommer, J. Maza, R. Aviles, 1996, *Astron. J.* 112, 2391.
- Hanany, S., i inni, 2000, *Astrophys. J.* 545, L5.
- Hicken, M., W. M. Wood-Vasey, S. Blondin, P. Challis, S. Jha, P. L. Kelly, A. Rest, R. P. Kirshner, 2009, *Astrophys. J.* 700, 1097.
- Hubble E., 1929, *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A* 15, 168.
- Humason, M. L., N. U. Mayall, A. R. Sandage, 1956, *Astrophys. J.* 61, 97.
- Kessler, R., i inni, 2009, *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 185, 32.
- Kim, A., A. Goobar, S. Perlmutter, 1996, *Publ. Astron. Soc. Pac.* 108, 190.
- Kirshner, R. P., J. Kwan, 1975, *Astrophys. J.* 197, 415.
- Komatsu, E., i inni, 2011, *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 192, 18.
- Krauss, L. M., M. S. Turner, 1995, *Gen. Relativ. Gravit.* 27, 1137.
- Leibundgut, B., 1988, *Praca doktorska (Universytet w Bazylei)*.
- Leibundgut, B., R. P. Kirshner, A.V. Filippenko, J. C. Shields, C. B. Foltz, M. M. Phillips, G. Sonneborn, 1991, *Astrophys. J.* 371, L23.
- Leibundgut, B., i inni, 1993, *Astron. J.* 105, 301.
- Lemaître, G., 1927, *Annales Société Scientifique de Bruxelles A* 47, 49.
- von Mattig W., 1958, *Astron. Nachr.* 284, 109.
- Norton, J., 1984, *Historical studies in the physical sciences* 14, 253–315; 1984, przedruk w: Howard, D., and Stachel, J. (eds.), *Einstein and the History of General Relativity: Einstein Studies (Birkhauser, Boston)*, Vol. I, s. 101–159.
- Ostriker, J. P., P. J. Steinhardt, 1995, *Nature (London)* 377, 600.
- Percival, W., i inni, 2010, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 401, 2148.
- Perlmutter, S., i inni, 1997, *Astrophys. J.* 483, 565.
- Perlmutter, S., i inni, 1998, *Nature (London)* 391, 51; 1998392, 311(E).
- Perlmutter, S., i inni, 1999, *Astrophys. J.* 517, 565.
- Phillips, M., 1993, *Astrophys. J.* 413, L105.
- Phillips, M. M., i inni, 1992, *Astrophys. J.* 103, 1632.
- Riess, A. G., W. H. Press, R. P. Kirshner, 1996, *Astrophys. J.* 473, 88.
- Robertson, H. P., 1928, *Philos. Mag.* 5, 835.
- Sandage, A. R., 1961, *Astrophys. J.* 133, 355.
- Schmidt, B. P., R. P. Kirshner, R.G. Eastman, M. M. Phillips, Suntzeff, B. Nicholas, M. Hamuy, J. Maza, R. Aviles, 1994, *Astrophys. J.* 432, 42.
- Schmidt, B. P., i inni, 1998, *Astrophys. J.* 507, 46.
- Slipher, V. M., 1917, *Proceedings of the American Philosophical Society* 56, 403.
- Spyromilio, J., W. P. S. Meikle, D. A. Allen, and J. R. Graham, 1992, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 258, 53.
- Sullivan, M., 2011, *Astrophys. J.* 737, 102.
- Tinsley, B., 1972, *Astrophys. J.* 178, 319.
- Wood-Vasey, W. M., 2007, *Astrophys. J.* 666, 694.

Tłumaczenie: Mariusz P. Dąbrowski

Wykład noblowski, wygłoszony 8 grudnia 2011 roku w Sztokholmie, został przetłumaczony za zgodą Autora i Nobel Foundation. Translated with permission. © The Nobel Foundation 2011.

Potwierdzenie jedności praw fizyki – rozmowa z profesorem Andrzejem Budzanowskim

Rozmawiał Andrzej M. Kobos

0 młodych latach

Andrzej Michał Kobos: *Panie Profesorze, na początek proszę opowiedzieć o swojej młodości.*

Andrzej Budzanowski: Przyjechałem ze Lwowa do Krakowa 3 listopada 1945 r. Od razu poszedłem do Gimnazjum im. Henryka Sienkiewicza, na rogu ul. Krupniczej i ul. Podwale. Poszedłem akurat do tego gimnazjum, bo dr Stefan Papée, który potwierdzał świadectwa szkolne z tajnego nauczania w okręgu lwowskim, polecił mojej macosze to gimnazjum jako dysponujące ówczesnie najlepszą kadrą nauczycielską. Moja macocha, Stanisława Matlachowska, była córką przedwojennego dyrektora słynnego gimnazjum w Chyrowie i stąd ta znajomość. Ojciec mój był lekarzem okulistą; przed wojną znakomicie operował zaćmy w klinice Uniwersytetu Jana Kazimierza we Lwowie.

Do tej samej klasy gimnazjalnej chodził ze mną Ryszard Gryglewski, obaj mieliśmy z góry na dół bardzo dobre stopnie. Myślę, że Gryglewski był zawsze nieco lepszy z chemii, a ja byłem troszkę lepszy z fizyki. To, że zainteresowała mnie fizyka, było całkiem przypadkowe, częściowo związane z wyposażeniem tego gimnazjum; na najwyższym piętrze mieściła się stara sala, wypełniona znakomitą aparaturą do demonstracji z fizyki. Ktoś podczas okupacji umieścił tam te przyrządy i cudem się zachowały. Ja się na nie wprost rzuciłem i tak miałem wspaniałe laboratorium do doświadczeń. Pamiętam, że była tam chyba najpiękniejsza cewka Ruhmkorffa, jaką widziałem. Ponieważ nasz profesor od fizyki zorientował się, że potrafiłem robić demonstracje, więc wysłał mnie tam przed swoimi lekcjami, bym zorganizował odpowiedni pokaz. Stąd moje zamiłowanie do fizyki i to eksperymentalnej.

W roku 1950 wstąpiłem na Uniwersytet Jagielloński, na fizykę. Z moim dostaniem się na fizykę była jednak cała historia.

Uniwersytet Jagielloński nie był wtedy (1950 rok!) wolny od wpływów komunistycznych. Ja w gimnazjum nie byłem członkiem komunistycznego Związku Młodzieży Polskiej, a nieprzynależność do ZMP w gimnazjum praktycznie była otwartym buntem. W mojej klasie, poza dwoma, mnie wliczając, wszyscy należeli do ZMP. Z należących, parę innych osób nie udzielało się. Rezultat był taki, że na

zakończenie gimnazjum, chociaż miałem z góry na dół bardzo dobrze, to nie otrzymałem świadectwa wolnego wstępu na uniwersytet. Dwie osoby z klasy mogły otrzymać takie świadectwo. O mnie napisano, że „brakuje mi działalności społecznej” – tak się to ładnie nazywało.

Zdałem egzamin wstępny, ale nie przyjęto mnie na fizykę z powodu braku miejsc. Oczywiście była to nieprawda. Zostałem wezwany na dłuższą rozmowę z profesorem Garbacikiem, który był opiekunem rekrutacji na studia ze strony ówczesnego ministra szkolnictwa. Był on profesorem historii na Uniwersytecie Jagiellońskim, ale podjął się funkcji niezupelnie zgodnych z jego, powiedzmy, godnością profesorską. Garbacik potwierdził mi, że choć zdałem egzamin wstępny, nie mogą mnie przyjąć z powodu braku miejsc. Ale zaproponował mi matematykę albo astronomię. I wtedy wybrałem matematykę. Przez pół roku studiowałem matematykę, a później skorzystałem z pewnych lwowskich koneksji, tzn. pewien wysoko partyjny lwowiak postanowił załatwić mi wstęp na fizykę. Poszedł do tego profesora Garbacika i wytłumaczył mu, żeby mnie jednak przyjął na fizykę. Udałem się do dziekanatu ze wszystkimi papierami od Garbacika i tam doszło do awantury. Sekretarka dziekanatu wyskoczyła na mnie, „wy studenci ciągle się przenosicie”. Odpowiedziałem jej dość ostro, „proszę pani, niech pani robi to, co pani kazano, mam tu podpis profesora Garbacika, że mam być przyjęty na fizykę, a kłopoty, które pani sprawiam nie są z mojej przyczyny, niechże pani to zrozumie”. Nieostrożność tej komisji, czy Garbacika, polegała na tym, że wydali mi wszystkie papiery i po drodze zdążyłem stwierdzić, że miałem z egzaminu wstępnego same bardzo dobre stopnie.

Czy również i Pan wspomina profesora Henryka Niewodniczańskiego jako swojego Mistrza? W ramach pracy magisterskiej u niego zrobił Pan pierwsze w Krakowie liczniki iskrowe cząstek naładowanych...

Profesor Niewodniczański niesłychanie nam – studentom – imponował tym, że był uczniem Rutherforda. Na wykładach bardzo ładnie przeprowadzał demonstracje fizyczne, czym mi jeszcze bardziej imponował. Muszę powiedzieć, że fizykę układałem sobie po swojemu i to był czysty przypadek, że zostałem fizykiem jądrowym, bo spodziewałam się, że profesor Niewodniczański da mi do

zrobienia jakąś pracę z eksperymentami optycznymi, bo słynd przed wszystkim z optyki atomowej. Nawet sprowadziłem sobie przez znajomych z Ameryki podręcznik Spectra of Diatomic Molecules Herzberga, bo sądziłem, że będę zajmować się widmami molekularnymi. Tymczasem Profesor wyciągnął czyjąś publikację i powiedział mi: „Tutaj zbudowano licznik iskrowy, zajmijcie się tym, kulego”. To było w roku 1953/1954, w ramach tzw. III Pracowni, a wiadomo było, że III Pracownia była wstępem do pracy magisterskiej.

Miałem ten fantastyczny przywilej, że nagle znalazłem się w gabinecie Profesora w Collegium Witkowskiego przy ul. Gołębiej 13. Profesor miał dwa pokoje połączone ze sobą z których jeden był magazynem urządzeń i części różnej aparatury, które on sam albo inni, np. Jerzy Gierula, przywieźli z sowieckiej strefy okupacyjnej w Niemczech. Profesor powiedział mi: „kulego, znajdźcie tu sobie kondensatory i wszystko inne, co potrzeba, i zbudujcie licznik iskrowy”. Zachodziłem w głowę, ale zbudowałem taki licznik. Działał, rejestrując cząstki α ze smółki uranowej, którą dał mi profesor Niewodniczański. Od razu stwierdziłem ciekawe rzeczy. Wykazałem, że przy tej elektronice, jaką dysponowaliśmy, nie mieliśmy szans na pełne wykorzystanie szybkości działania licznika. Pokazałem, że to były szybkości poniżej mikrosekundy – dziś wiemy, że to są czasy narastania rzędu nanosekund – a nie mieliśmy możliwości oglądania ani zliczania tak krótkich impulsów iskry. Ostatecznie rejestrację rozwiązałem przez całkowanie impulsu. Wtedy też zaczęły się wykopy w piwnicy Collegium Witkowskiego pod mały cyklotron, w których uczestniczyłem jako student. W budowie samego małego cyklotronu nie brałem udziału, budowali go ludzie starsi ode mnie o kilka lat.

O górach i grotach

Kiedy zaczął Pan chodzić po górach?

Oh, po górach zacząłem chodzić jeszcze w gimnazjum. Nie wspinalem się, ale przeszedłem najbardziej zaawansowane szlaki, zapuszczałem się na Drogę po Głazach, na Mięguszowiecki Szczyt Wielki – krótko mówiąc w drogi kopczykowane. We wszystkich wolnych chwilach, jeśli tylko mogłem pojechać do Zakopanego, to uciekałem w Tatry od otaczającej mnie rzeczywistości. W późniejszych latach, kiedy już pracowałem w Instytucie Fizyki UJ, zacząłem wspinąć się z użyciem sprzętu taternickiego, głównie z członkami Klubu Grotolazów, i wtedy całe Tatry a nawet Alpy stały przede mną otworem.

Wtedy właśnie, w 1948 roku w Morskim Oku zetknąłem się po raz pierwszy z profesorem Niewodniczańskim. Byłem jeszcze gimnazjalistą. Ścisłe mówiąc, zetknąłem się wtedy bliżej z jego synami, Tomkiem i Jerzym.

A po grotach?

Grotły były później. Gdy wykonywałem pracę magisterską poznałem Kazia Grotowskiego i zaprzyjaźniliśmy

się bardzo mocno. To Grotowski wciągnął mnie do grot. W narożnym pokoju nr 34 na drugim piętrze Collegium Witkowskiego, z widokiem na Planty, siedział Oleg Czyżewski, Kazik Grotowski, Dominik Kulgawczuk i ja. Po tem doszedł do nas jeszcze Staszek Ogaza. Oleg Czyżewski był wtedy jednym z czołowych grotolazów.

Dla mnie Oleg był najzdolniejszym fizykiem doświadczalnym i po części teoretycznym, jakiego znałem. To muszę szczerze powiedzieć. Fantastyczny eksperymentator, widziało się jego zdolności eksperymentalne. Ojciec jego był profesorem AGH i przyjaźnił się z profesorem Mięgowiczem. Stąd Oleg ciążył ku Marianowi Mięgowiczowi. Oleg znał kilka języków: biegle francuski, angielski, rosyjski, częściowo niemiecki. Umiał wszystko zaprojektować, także sprzęt jaskiniowy, np. drabinki aluminiowe. Oleg zbudował pierwszy akwalung do nurkowania, który zrekonstruował z opisu podanego przez francuskiego nurka i konstruktora Jacques'a Cousteau w popularnym czasopiśmie francuskim.

Chodziliśmy oczywiście do jaskiń w Tatrach. W tamtych czasach głównym terenem eksploracji była Jaskinia Zimna w Dolinie Kościeliskiej i Jaskinia Miętusia w Dolinie Miętusiej. Chodziło o odkrywanie *terra incognita*. To było jedyne miejsce, dostępne dla nas, gdzie stopa ludzka jeszcze nie stanęła. Eksplorowaliśmy jaskinie całkowicie nowe na ówczesne czasy. Wprowadziliśmy do jaskiń coś, co nazywa się taternictwem jaskiniowym i dzięki temu mogliśmy przejść więcej dotąd nieznanych korytarzy i kominów jaskiniowych, niż mogli to być przed wojną zrobić bracia Zwolińscy. Oni chodzili turystycznie, a my stosowaliśmy techniki wspinaczkowe, których nauczyliśmy się w podkrakowskich skałkach. Człowiek zawsze szuka czegoś nowego. Jaskinie dawały poczucie nowości.

Głównym motorem tych działań był Kazimierz Kowalski późniejszy prezes Polskiej Akademii Umiejętności w latach 1994–2000. Jego ojciec, Tadeusz, był Sekretarzem Generalnym PAU po wojnie, przed zawieszeniem Akademii przez władze komunistyczne. Wróżyliśmy wtedy Kazimierzowi Kowalskiemu prezesurę Polskiej Akademii Nauk, bo któż mógł się spodziewać, że zmieni się ustrój i odrodzi się Polska Akademia Umiejętności! A w jaskiniach zajmował się nietoperzami. Później zaczął interesować się drobnymi stworami, które żyły w jeziorkach jaskiniowych.

O pomiarach polaryzacji w reakcjach jądrowych

Przejdźmy do fizyki jądrowej. Wyjechał Pan do Liverpoolu, niedługo po Adamie Strzałkowskim.

Do Liverpoolu wyjechałem przed świętami Bożego Narodzenia roku 1959. Urzędnicy w Warszawie powiedzieli mi, „niech pan jak najszybciej wyjeżdża, bo od nowego roku stypendia mogą zostać wstrzymane”. A ja miałem polskie stypendium. Byłem u profesora Skinnera, u którego przede mną był Adam Strzałkowski.

Podobnie, jak Adam Strzałkowski, również Pan mierzył tam polaryzację w reakcji strippingu deuteronu...

Ja również zajmowałem się strippingiem, tylko musiałem zrobić coś innego niż Adam Strzałkowski. Zawsze mówię, że to była moja największa zhora. Strzałkowski jest świetnym fizykiem i zostawił po sobie w Liverpoolu bardzo dobre naukowe wspomnienie. Więc ja musiałem zrobić coś lepszego, lub przynajmniej równego, by też zostawić dobre wrażenie. Udało mi się zrobić rozpraszanie spolaryzowanych protonów, które otrzymywałem poprzez reakcję jądrową strippingu deuteronu na tarczy wewnętrznej w cyklotronie. Wewnętrzna tarcza węglowa była jeszcze dziełem Strzałkowskiego, ale trzeba było wyprowadzić wiązkę, w której były i deuterony z oryginalnej wiązki i protony z reakcji strippingu. Należało oddzielić te protony od deuteronów, więc zrobiłem system, kombinację pól magnetycznych i elektrostatycznych z dużego kondensatora i tak ta wiązka bardzo ładnie rozdzielała się. Do rejestracji protonów używaliśmy detektorów scyntylacyjnych. W 1961 r. uzyskałem na Uniwersytecie Jagiellońskim doktorat na podstawie prac doświadczalnych, które zrobiłem w Liverpoolu.

Z tymi Pańskimi pomiarami polaryzacji w reakcji strippingu była potem interesująca historia. Chodziło o problem zachowania albo złamania symetrii zachowania w odwróceniu czasu. Jak z tym dokładnie było?

Przez kilka następnych lat kontynuowaliśmy w Instytucie Fizyki Jądrowej [IFJ] w Krakowie badania polaryzacji protonów z reakcji strippingu, używając deuteronów z krakowskiego „dużego” cyklotronu U-120. Istotnym ulepszeniem, które zastosowaliśmy, było użycie układu magnetycznych soczewek kwadrupolowych w celu zogniskowania spolaryzowanych protonów na analizatorze helowym. Dzięki temu wykonaliśmy ówczesnie najdokładniejszy pomiar polaryzacji w reakcji $12C(d,p)13C$. Okazało się, że w świecie nie było zbyt wielu takich pomiarów.

Później, gdy rozpoczęły się pomiary używające źródeł spolaryzowanych jonów, pojawiły się prace, w których bardzo dokładnie zmierzono reakcję odwrotną, tzn. puszczając wiązkę spolaryzowanych protonów, mierzono przekroje czynne dla deuteronów wychodzących z reakcji $13C(p,d)12C$, czyli w tzw. odwróconym kanale reakcji, tj. w reakcji odwrotnej. Fizycy z Triangle University w Północnej Karolinie wykonali taki eksperyment, dokładnie odwrotny do naszego. Okazało się, że ich wyniki były zgodne z naszymi, niemal we wszystkich punktach, z wyjątkiem bardzo dalekich kątów, gdzie błędy eksperymentalne były duże. Czyli nie stwierdzono złamania symetrii odwrócenia czasu. Potwierdzono więc symetrię odwracalności czasu w oddziaływaniach silnych, bo reakcja strippingu zachodzi przez oddziaływania silne. To jednak przeczyło pomysłom dwóch fizyków, Slobodriana z Jugosławii i Conzetta z Berkeley

w Kalifornii, którzy twierdzili, że znaleźli reakcję, w której następowało złamanie symetrii odwrócenia czasu. Potem musieli się z tego wycofać, bo dokładne pomiary, powtórzone przez innych fizyków, potwierdziły, że i w tamtej reakcji miało miejsce zachowanie tej symetrii. Jednakże cała ta sprawa była związana z eksperymentami w Instytucie Fizyki Jądrowej w Krakowie i nie miała nic wspólnego z moimi wcześniejszymi pomiarami w Liverpoolu.

O „Trójcy”

W Instytucie Fizyki Jądrowej w Bronowicach, w Zakładzie I Reakcji Jądrowych profesora Adama Strzałkowskiego, bardzo szybko powstała – ze wspólnej wiedzy, ale również z przyjaźni – tzw. „święta trójca”: profesorowie Adam Strzałkowski, Kazimierz Grotowski i Andrzej Budzanowski. Wspólnie rzucaliście pomysły naukowe, robiliście eksperymenty, analizą wyników, i wspólnie publikowaliście prace naukowe. Trójca przetrwała przez wiele lat i to było niezwykłe, bo takie zespoły zwykle dość szybko rozpadają się, z różnych powodów, także i ludzkich, ambicjonalnych. Jak Wam udało się zgodnie pracować przez tyle lat?

Zawsze dzieliliśmy pracę pomiędzy siebie, każdy z nas przyjmował jakąś część pracy do wykonania i nigdy nie omawialiśmy, kto zrobił mniej, a kto więcej. Mieliśmy po prostu zasadę, że działamy razem, pomysły wysuwamy razem i publikujemy razem.

Mogę podać przykład pomysłu doświadczalnego, do którego doszedłem równocześnie z Kazikiem Grotowskim. Chodziło o to, że liczba przypadkowych koincydencji nie pasowała nam do liczby zmierzonej na wiązce z akceleratora. Siedzieliśmy kiedyś razem w laboratorium i nagle obaj z Kazikiem wykrzyknęliśmy: „przecież to na pewno jest skważność!” „Skważność” jest terminem rosyjskim i oznacza współczynnik wypełnienia wiązką czasu pracy cyklotronu. Jeśli np. wiązka ma skważność 2, to cyklotron pracuje praktycznie przez połowę czasu i stąd liczba koincydencji przypadkowych będzie większa, bo gęstość nadlatujących jonów jest większa, gdyż jony padają na tarczę w czasie dwa razy krótszym.

Oczywiście w innych przypadkach sprawy naszej wspólnej pracy mogły wyglądać inaczej, ale nigdy nie spieraliśmy się o pierwszeństwo.

Zaryzykuję pytanie: Czy Pan był mózgiem tej trójcy?

Wie Pan, to jest takie pytanie, jakby zapytał Pan profesora Janusza Zakrzewskiego o to, czy to Marian Danysz, czy Jerzy Pniewski był mózgiem tego, że oni odkryli hiperony związane. Ja sam Zakrzewskiego o to kiedyś zapytałem. Nigdy ani Danysz, ani Pniewski, ani tym bardziej Zakrzewski tego nie powiedzieli... I ja tutaj też byłbym nielojalny, gdybym próbował odpowiedzieć na Pana pytanie. Ale może Pan napisać w zapisie tej naszej rozmowy, co powiedziałem, bo przecież Pan zadał to pytanie.

Kto wprowadził model optyczny w Krakowie do analizy wyników?

Model optyczny to jest stara sprawa, wprowadzony został w Stanach Zjednoczonych przez Barshalla. To jest po prostu model rozpraszania na zespolonym potencjale danym funkcją Saxona–Woodsa. Tutaj nie było problemu odkrycia, tylko problem organizacji pracy, z którym dobrze radziliśmy sobie w trójkę. Pamiętam, że wzór na foldowany potencjał dla cząstki alfa wyprowadziliśmy trzej niezależnie a potem porównaliśmy wyniki, które były takie same. Historycznie, pierwszy program modelu optycznego w Krakowie napisał Stanisław Zubik w języku maszynowym na sowiecki komputer Ural w Warszawie, a potem na lepiej programowalne komputery wykonywała to najpierw pani Alicja Dudek, później inni. Także Pan był wśród nich.

O ALAS – Anomalous Large Angle Scattering

W Instytucie Fizyki Jądrowej wykryliście bardzo silny, oscylacyjny wzrost przekroju czynnego na elastyczne rozpraszanie cząstek α pod kątami do tyłu, tzw. ALAS – Anomalous Large Angle Scattering. W Krakowie powstał też model efektu glory w rozpraszaniu do tyłu jako efekt modelu optycznego. ALAS jest chyba jednym z tych krakowskich odkryć w fizyce jądrowej, które zostaną w monografiach czy nawet podręcznikach. Proszę powiedzieć coś „od kuchni” o kwestii ALAS. Jak wpadliście na to?

Historię ALAS-u mogę opowiedzieć dokładnie. W pewnym momencie stwierdziliśmy, że trzeba na naszym cyklotronie rozpocząć eksperymenty z cząstkami α , gdyż to, co dało się tutaj zrobić z deuteronomi, to już zrobiliśmy, a energia protonów była za niska.

Stwierdziliśmy, że cząstki α będą mieć energię w obszarze 23–29 MeV, więc nieco wyższym od zakresu energii ówczesnie budowanych akceleratorów typu tandem, które dawały energie cząstek α do 21 MeV. Więc można było zbadać cały obszar energii dostępnych z naszego cyklotronu. Najchętniej pracowaliśmy przy energii 24–25 MeV.

Jak doszliśmy do ALAS-u? To był przypadek. Kazik Grotowski powiedział kiedyś: „Słuchajcie, znalazłem pracę Pierre Macque’a, w której zmierzył on rozkłady kątowe elastycznego rozproszenia cząstek α na jądrach węgla i stwierdził, że przy kątach większych niż 160° przekrój czynny rośnie”. Zaciekawilo nas to, sądziliśmy wtedy, że były to stany rezonansowe, tj. schwytna cząstka krążyła w krótkożyłowym stanie rezonansowym, a potem wylatywała także i pod kątami wstecznymi i stąd duży przekrój czynny dla kątów do tyłu. Wspólnie postanowiliśmy mierzyć przekrój czynny do tyłu. Na jakim jądrze? Łatwo było zrobić tarczę z wapnia (Ca), który dodatkowo spodobał się nam, bo to jądro ma zamknięte powłoki nukleonów. Zaczęliśmy mierzyć elastyczne rozpraszanie $40\text{Ca}(\alpha,\alpha)40\text{Ca}$ aż do kątów bliskich 180° . Nie chcieliśmy wprawdzie wierzyć naszym wynikom: prze-

krój czynny ciągle rósł pod kątami do tyłu. I tak doszliśmy aż do 179° , co było eksperymentalnie możliwe w naszej starej, ale o dużym promieniu, komorze rozproszeń. Dalej sądziliśmy, że może to jest jakiś rezonans na wapniu i w roku 1970 pojawiła się nawet nasza pierwsza publikacja w postaci raportu IFJ, który zatytułowaliśmy „A Resonance in the Scattering of Alpha Particles on Calcium-40”.

I jak to dobrze, że raporty IFJ były rozsyłane po całym świecie, do wszystkich ośrodków fizyki jądrowej. Niedługo potem dostaliśmy list z University of Colorado w Boulder, Colorado, od panów Jarmiego i Bryanta, w którym napisali nam, że to, co obserwujemy, jest czymś podobnym do optycznego efektu glory w rozpraszaniu światła na kropelkach, tyle że w rozpraszaniu cząstek α , zaś efekt glory, znany też jako efekt Brockenu, daje się opisać przy pomocy funkcji Bessela, jednej z matematycznych funkcji specjalnych. Przysłali nam też oni kilka swoich opublikowanych prac na temat efektu glory w optyce. Oni byli fizykami optycznymi, ale szybko znaleźli prace o podobnym efekcie także w rozpraszaniu mezonów π na jądrach i nawet inne prace o rozpraszaniu cząstek α . Nasze prace spodobały się im, bo tu ten rozkład besselewski był bardzo wyraźny. Zacytowali naszą pracę w swoim artykule o optycznym efekcie glory w Scientific American w kwietniu 1974 r. Może z punktu widzenia polskiej centralnej komisji oceny działalności instytucji naukowych nie jest ważne, że komuś zacytowali pracę w Scientific American, ale dla nas, skromnych fizyków z Krakowa, cytowanie nas w Scientific American było bardzo mile.

Czasem zastanawiam się, co z modelu optycznego, w końcu pewnej modelowej parametryzacji od jądra do jądra, zostanie na stałe w fundamentalnej fizyce. Idziemy coraz wyżej z energiami, ale w końcu chcemy poznać jakieś fundamentalne oddziaływania, cząstki itd. W przyrodzie, myślę, nie ma cząstek α podróżujących z energią 25 MeV. Co więc fundamentalnego dowiadujemy się np. z rozpraszania do tyłu takich niskoenergetycznych cząstek α ?

Jest to dyfrakcyjny typ rozpraszania, który dostarcza informację strukturalną. W meteorologii, oglądając efekt Brockenu we mgle, dowiadujemy się, jakie są rozmiary kropel, z których złożona jest ta mgła. A tu ostatecznie można było powiązać pojawienie się silnego rozproszenia do tyłu z rozmiarami jądra. Istnieje pełna analogia pomiędzy kropelką wody, na której światło rozprasza się do tyłu, a jądrem atomowym, na którym rozpraszają się cząstki α , czyli ogólnie fale materii. Ten optyczny efekt można obserwować także w obszarze fizyki jądrowej. Gdybyśmy wyłączyli wszystkie inne odkrycia i badali strukturę Wszechświata, obserwując rozpraszanie wsteczne, to przy pewnych energiach cząstek α odkrylibyśmy jądro.

Czy jest to więc jedno z potwierdzeń istnienia jądra atomowego?

Tak, jedno z potwierdzeń istnienia jądra atomowego. A trochę ogólniej, potwierdzenie jedności praw fizyki. Co obowiązuje w optyce, obowiązuje i w fizyce jądrowej.

To bardzo ładne sformułowanie: jedność praw fizyki.

Dzisiaj przypuszczam, że można by kontynuować tę analogię i poszukać takiego efektu ALAS w rozpraszaniu np. światła o odpowiedniej długości fali na czarnych dziurach we Wszechświecie. Pojawiają się prace, dotąd dość nieśmiało, w których teoretycznie rozważa się rozpraszanie jakichś fal – jedni nazywają je falami skalarnymi, inni mówią o wysokoenergetycznych fotonach – na czarnych dziurach. Ale jestem ostrożny, nie chciałbym tu spekulować.

O współpracy międzynarodowej

Wróćmy do waszych prac. Cyklotron w IFJ już nie wystarczał z uwagi na za niską i prawie stałą energię. Zaczęliście wyjeżdżać i robić prace naukowe w Louvain-la-Neuve w Belgii, w Jülich w Niemczech i gdzie indziej...

Tak, ta tematyka przyłączyła się do nas. Wspólnie z fizykami z Louvain-la-Neuve, którzy dysponowali na swoim cyklotronie wyższymi energiami, i oczywiście z profesorem Sandy Wallem z University of Maryland i do pewnego stopnia z fizykami niemieckimi z Max-Planck Institut w Heidelbergu, Karlsruhe i KFA w Jülich, utworzyliśmy we wczesnych latach 70. program badania efektu ALAS. To nie był program oparty o środki przydzielane z jakichś fundacji, ale program współpracy głównie trzech ośrodków: Louvain-la-Neuve w Belgii, University of Maryland w USA i nas z Instytutu Fizyki Jądrowej w Krakowie. Ta współpraca szła bardzo dobrze i pomierzyliśmy wszystko, co dało się pomierzyć dla wielu jąder, i stwierdziliśmy, że efekt glory istnieje w rozpraszaniu cząstek α przy różnych energiach i na różnych jądrach i daje się on opisać przy pomocy modelu optycznego uzupełnionego głównie na powierzchni jądra.

Czy późniejsza współpraca z Niemcami rozpoczęła się od ALAS? Jak trafiliście do Niemiec?

To było proste. Czas życia cyklotronu U-120 w IFJ w Krakowie dobiegał końca, wiadomo było, że wiele więcej się już z niego nie uzyska. Natomiast w Niemczech budowano kilka cyklotronów izochronicznych dających znacznie wyższe energie. Abyśmy mogli z nich korzystać, trzeba było stworzyć możliwości wyjazdów do Niemiec i zdobyć pieniądze na to. Gdy tylko Willy Brandt i Józef Cyrankiewicz podpisali w grudniu 1970 r. układ o uznaniu przez Republikę Federalną Niemiec polskiej granicy zachodniej, to spojrzeliśmy na siebie, cała nasza trójka, i powiedzieliśmy do siebie: „to zbliża się czas, że trzeba pomyśleć o pracach w RFN. Budują tam cyklotrony w Karlsruhe, w Jülich. Będą warunki na rozszerzenie na-

szej tematyki na wyższe energie”. Wykorzystaliśmy stosunkowo łagodne warunki wyjazdów Polaków do RFN; można było uzyskać niemiecką wizę w przedstawicielstwie handlowym RFN w Warszawie. Pomogły nam znajomości, których najwięcej miał Adam Strzałkowski, i dostaliśmy zaproszenia do kilku niemieckich ośrodków fizyki: Monachium, Karlsruhe, Jülich, Heidelberg.

Czyli Niemcy byli chętni do tej współpracy?

Byli bardzo chętni. Nie chciałbym tego jakoś interpretować, ale jadąc tam samochodem, mówiliśmy do siebie półżartem: „Jedziemy odebrać reparacje wojenne”. Mieszkaliśmy tam w ten sposób, że gdy ktoś dał nam pieniądze za wykład, to szliśmy do hotelu, a gdy nie dostaliśmy pieniędzy, to podjeżdżaliśmy do najbliższego lasu i rozbijaliśmy namiot. I w ten sposób odbywaliśmy te wyprawy. Ja to nawet opisałem w materiałach dotyczących współpracy polsko-niemieckiej, po angielsku. To zresztą zostało przez tłumaczkę niemiecką źle „poprawione”. Zamiast jako o „physicists” pisała o nas jako o „physicians” lepiej jej to pasowało. I tak zostaliśmy lekarzami, co wywołało wiele śmiechu.

Mówiąc już o Pańskich późniejszych pracach, dużą rzeczą, którą zrobił Pan w Jülich, był break-up cząstki α , która ma wielką energię wiązania.

Tak, wielką energię wiązania. Dzisiaj wydaje się to trywialne, natomiast wtedy to było niespodziewane i nawet zabawne.

W Jülich fizycy wtedy pracowali nad wzbudzeniem w jądrach gigantycznych rezonansów monopolowych. Poszukiwali takiego rezonansu w szczególności w jądrze ołowiu, mieli teorię tego rezonansu, którą opracował profesor Speth. Ponieważ rezonans monopolowy ma bardzo silnie maksimum do przodu, wobec tego starannie przygotowali w ich cyklotronie wiązkę cząstek α o energii 172 MeV. Była bardzo dobrze zogniskowana do przodu: bardzo wąska, jak żyłotka. Można było mierzyć przy bardzo małych kątach, do 3° nawet. Siedziałem tam nocami i robiłem swoje pomiary z tą wiązką. Profesor Mayer-Böricke, dyrektor instytutu KFA w Jülich, powiedział kiedyś do mnie: „ty oczywiście nie szukasz momentu monopolowego, bo ty w tym eksperymencie nie uczestniczysz?”. Odpowiedziałam mu: „oczywiście, że nie. To jest wasz problem, ja mam swój”. Zauważyłem, że pojawia się ogromne maksimum, które istnieje jeszcze przy 10° , nawet 15° , a potem bardzo szybko maleje. Stwierdziłem, że to musi być nic innego, jak tylko odłamek cząstki α , czyli jądro ^3He , albo ^3H tryt. Zidentyfikowałem to w końcu jako jądro ^3He . Miałem szczęście, bo obok znajdował się zakład fizyki teoretycznej, w którym pracował Gerard Baur. Powiedziałem mu: „odkryłem to, co ty wyliczyłeś, peak do przodu od rozłamu cząstki α . Trzeba to szybko opublikować”. Naprawdę wyliczył to Shyam, doktorant Baura, bodajże z Kalkuty.

Opublikowaliśmy to, choć dopiero w 1979 roku, bo Mayer-Böricke nie bardzo wierzył, że tak prosty mechanizm mógł wytłumaczyć to maksimum.

Czy pracował Pan również z ciężkimi jonami?

Oczywiście, pracowałem z ciężkimi jonami. Później wyjechałem do Berkeley, gdzie spędziłem przepiękny okres. Pracowałem w Lawrence Berkeley Laboratory i na ich cyklotronie wykonałem prace z ciężkimi jonami. Można było przyspieszać różne jony. Przyspieszaliśmy jony tlenu 160, badałem głównie reakcje transferu wielu nukleonów.

Tam też poznałem Heinza Homeyera, który powiedział mi: „tu mamy pewne trudności techniczne, ale w Instytucie Hahna–Meitnera w Berlinie takich trudności nie ma, przyjeźdź do nas do Hahn–Meitner”. Po ostatnim pobycie w Berkeley pojechałem do Hahn–Meitner Institut w Berlinie. Mógłbym opowiadać zabawne historie o tym, jak można było pojechać do Berlina Zachodniego za niemieckie pieniądze, w czasach, kiedy Berlin był zasadniczo terytorium okupowanym. Mając zaproszenie z któregoś z instytutów niemieckich – np. w Monachium, z którym mieliśmy doskonałe stosunki – umawialiśmy się na eksperymenty w Berlinie. To już były lata 80.

O Instytucie Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego w Krakowie

Przejdźmy do Pańskiego dyrektorowania w Instytucie Fizyki Jądrowej w Krakowie przez prawie piętnaście lat...

Dokładnie przez czternaście lat. Po profesorze Zbigniewie Bochnackim i dokładnie tak długo, jak on był dyrektorem, od ustąpienia profesora Andrzeja Hrynkiwicza aż do swojej śmierci.

Co uważa Pan za swój największy sukces w kierowaniu IFJ?

Za największy swój sukces uważam to, że doprowadziłem ten Instytut w niezłym stanie do jego połączenia w formie zgodliwej z zespołem fizyków wysokich energii. Zawsze jest tak, że jedna grupa chce rywalizować z drugą, a mnie chodziło o dobrą współpracę. I oczywiście to, że doprowadziłem Instytut do Polskiej Akademii Nauk. Przygotowałem Instytut do przyjęcia funduszy z Unii Europejskiej. To była jedyna możliwość dla tzw. jednostki badawczo-rozwojowej. Tzn. trzeba było albo szukać jakiejś protekcji, by przetrwać, albo się rozpuścić. To wszystko było bardzo skomplikowane, choć ciągle jeszcze istnieje Państwowa Agencja Atomistyki. Drugim dużym sukcesem było uruchomienie akredytowanych laboratoriów dozymetrycznych.

A co się Panu nie udało?

Nie udało się mnie, ani też specjaliście cyklotronowemu, inżynierowi Edmundowi Bakewiczowi, przekonać ówczesnego dyrektora IFJ do budowy izochronicznego

cyklotronu protonowego o średnicy nabiegunków co najmniej 200 cm. Po upadku koncepcji zakupu cyklotronu zachodniego, mając wtedy do dyspozycji duże pieniądze, powinniśmy byli sami wybudować co najmniej dwumetrowy, jeśli nie 2,5-metrowy cyklotron. Polska była wtedy producentem bardzo dobrej stali typu armco. Nie mielibyśmy tych wszystkich trudności, które mamy teraz. Dopiero w tej chwili pracujemy na samej granicy możliwości przebudowanego starego cyklotronu, teraz o średnicy nabiegunków 144 cm, uzyskując energie protonów bliskie 60 MeV. A z takim nowym cyklotronem mielibyśmy bez trudu wiązkę protonów o energii 60 MeV i moglibyśmy swobodnie przeprowadzać terapię raka oka, która w tej chwili jest na krawędzi możliwości długo przebudowywanego cyklotronu. Fizycznych pomiarów nie robi się już na tym przebudowanym cyklotronie. Brak jest zainteresowania, bo niewiele otwartych problemów pozostało w tym zakresie energii, tj. około 50 MeV.

Co uznałby Pan ze swojej długoletniej perspektywy za największy sukces Instytutu Fizyki Jądrowej?

To na pewno był przede wszystkim okres wstępny, po powstaniu Instytutu. To było naprawdę jak uderzenie piorunu. Indywidualność profesora Niewodniczańskiego niezwykle odbiła się na IFJ. Nie było później tak dobrych i tak przyjaznych czasów, jak za niego, mimo że sam Profesor nie był przecież członkiem partii komunistycznej. Po cichu może nawet uchodził za opozycjonistę, ale wszyscy go bardzo szanowali, wiedzieli, że coś zrobi. Umiał z władzami rozmawiać. Dali mu szansę i ją wykorzystał. I rzeczywiście, zbudował ten Instytut. To jest ta niepowtarzalna rzecz.

O obecnym stanie fizyki jądrowej

Co odczuwa Pan teraz, widząc, wydaje się, zmierzch fizyki jądrowej niskich energii?

Nie można powiedzieć, że fizyka jądrowa umiera, gdyż teraz jest wiele jej powiązań z astrofizyką cała fizyka ciężkich jonów w połączeniu z astrofizyką jest fizyką jądrową. Oczywiście, że energie są wyższe niż kiedyś, ale jako całości jonu składającego się z wielu nukleonów. Np. to, co kiedyś było wielkim ewenementem, gdy w laboratorium Florowa odkryto radioaktywność protonową dzisiaj jest życiem codziennym fizyka, który zajmuje się akrecją protonów na gwiazdach neutronowych. Tutaj przekroje czynne na schwytanie protonu przez powierzchnię gwiazdy neutronowej wymagają przekrojów czynnych reakcji jądrowych, tj. z fizyki jądrowej.

Jeszcze pomęczę Pana. Czy odczuwa Pan pewną nostalgię, zadumę nad przemijaniem, czy może satysfakcję, że obecne pokolenie fizyków sięga w większości fizyki wysokich energii, fizyki cząstek, głównej fizyki obecnych czasów?

Nieeee. Nie ma fizyki wysokich energii i niskich energii. Jest tylko fizyka interesująca i nieinteresująca. Intere-

sująca jest ta, która zawiera jakiś element nowości. Budując nigdy licznik iskrowy, gdybym wtedy miał w sobie energię fizyków, którzy zaczęli zajmować się fizyką wysokich energii, to pewnie bym zaczął jako fizyk wysokich energii, ale albo nie miałem tej dostatecznej energii, albo nie miałem możliwości.

A może był to ten przypadek, że profesor Niewodniczański zaproponował Panu budowę licznika iskrowego?

Jak powiedziałem, przypadkiem było to, że zostałem fizykiem.

Tak jak przypadkiem było to, że mnie kiedyś na studiach zaimponował fizyk jądrowy, przepraszam, półśpiący Budzanowski, który wydawał się być gdzieś daleko w swoim świecie...

Wiem, wiem, jak to było. W pewnym sensie byłem w innym, swoim świecie. Ja Pana pamiętam jeszcze z Pańskiego egzaminu wstępnego na fizykę.

To miłe! Jak, teraz na emeryturze i po dramatycznych osobistych przejściach, spędza Pan wolny czas?

Jestem emerytowanym profesorem, więc oczywiście nie jestem już „w biegu”, jak to się mówi. Muszę się do tego przyzwyczaić. Najważniejszy jest dla mnie dostęp do literatury naukowej, który w znacznej mierze teraz realizuje się przy pomocy komputerów i Internetu. Na szczęście, IFJ poprzez PAN ma stosunkowo tani dostęp do podstawowych czasopism, ale nie wszystkich, ze względu na finansowych. Ważne są dla mnie seminaria z fizyki. Chciałbym wrócić do muzyki...

A grał Pan kiedyś?

O, kiedyś tak! Przez cały okres dzieciństwa we Lwowie grałem. Podczas kolejnych lat okupacji we Lwowie nie byłem w konspiracji, bo byłem za młody. Nie dane mi było walczyć z karabinem w ręce, więc coś musiałem robić.

Rozmowę przeprowadzono w 2005 roku.

Andrzej Budzanowski zmarł 27 maja 2011 roku.

Dziękujemy p. Andrzejowi M. Kobosowi za wyrażenie zgody na przedruk. Pierwodruk: *Po drogach uczonych*, T. 1, s. 123–137. Polska Akademia Umiejętności, Kraków 2007.

Zdjęcie wykonano w 2005 roku we Lwowie (fot. Maciej Budzanowski).

Uczyłem się grać na fortepianie i uczyłem się języków, co bardzo przydało mi się po wojnie. Niestety teraz nie gram, ostatnie lata opuściłem się w tym. Ostatni raz tak naprawdę grałem podczas pobytu w Berkeley na początku lat 80., trochę z pamięci, trochę z nut. Nawet to moje granie podobało się tam w niektórych kręgach. Teraz już nie grywam, choć fortepian stoi nadal w naszym mieszkaniu – rozstrojony. A fizyka, ze względu na wiek, zajmuje mi teraz więcej czasu niż dawniej. Tu jest paradoks tego okresu życia.

O Polskiej Akademii Umiejętności

Od momentu reaktywacji Polskiej Akademii Umiejętności w listopadzie 1989 r. jest Pan członkiem PAU. Od dawna jest Pan również członkiem PAN. Czym dla Pana jest Polska Akademia Umiejętności?

Najważniejsze, że PAU jest całkowicie niezależna od funduszy państwowych, więc wszelkie sprawy związane z wewnętrznymi koteriami, wewnętrzną konkurencją między naukowcami, rozbijają się o Polską Akademię Umiejętności. Nie ma walki o zdobycie funduszy na projekty badawcze, jak w PAN.

Można powiedzieć, że tutaj czyste rozumienie świata jest decydujące. Członkowie Polskiej Akademii Umiejętności nie mają z tego tytułu płacy; jeżeli wykonują jakieś opracowania, to bez wynagrodzenia. Opinie Polskiej Akademii Umiejętności mogą być wydawane na podstawach czysto naukowych. Np. opinie dotyczące szkodliwości czegoś, albo o jakości podręczników, itp. A w Ministerstwie Nauki ten, który np. wygra pieniądze na podręcznik, bardzo dużo wygrywa – więc dlatego mogą zostać zalecone nienajlepsze podręczniki.

W PAU jest pełna swoboda dyskusji, bardzo dobra atmosfera. Ludzie bardzo sobie cenią tradycje Akademii. A mówiąc szczerze, dla emerytowanych profesorów w PAU jest jeszcze pole do działania i zrobienia czegoś twórczego i pożytecznego bez potrzeby walki o pieniądze.



Profesor Jerzy A. Janik (1927–2012) – sylwetka uczonego i wychowawcy

Jan Krawczyk • Instytut Fizyki Jądrowej PAN

Maria Massalska-Arodź • Instytut Fizyki Jądrowej PAN

Stanisław Urban • Instytut Fizyki, Uniwersytet Jagielloński

Mija już pół roku od nagłej śmierci Profesora Jerzego A. Janika, jednego z filarów naukowych Instytutu Fizyki Jądrowej od momentu powstania Instytutu. Środowisko fizyków straciło w Jego osobie uczonego wielkiego formatu, nauczyciela i wychowawcę kilku pokoleń polskich fizyków i chemików, znakomitego wykładowcę fizyki, niezwyklego organizatora nauki, aktywnego na tym polu do ostatnich dni. Należał do grona wybitnych postaci, które stworzyły podwaliny pod rozwój fizyki, przede wszystkim krakowskiej, w okresie tuż po zakończeniu II wojny światowej. Był człowiekiem wielkiej szlachetności, którego przyjaźń nas ubogacała. Oddając ten artykuł w ręce Państwa pragniemy wyrazić serdeczną pamięć o naszym Profesorze, a także przybliżyć postać Profesora środowisku polskich fizyków.



Profesor Jerzy Janik podczas dyskusji (rok 2011)

Jerzy Antoni Janik urodził się 24 kwietnia 1927 roku w rodzinie lekarzy we Lwowie i tam spędził dzieciństwo i wczesną młodość, aż do początku wojny. Jego ojciec Alfred został zamordowany w Katyniu. Po zajęciu Lwowa przez Związek Radziecki, Irena Janikowa i 12-letni Jurek zdołali się przedostać w okolice Krakowa, na tereny okupowane przez hitlerowców. W Krakowie, na tajnych

kompletach Jerzy Janik zdał maturę, a następnie podjął studia na wydziale filozoficznym Uniwersytetu Jagiellońskiego w zakresie matematyki i fizyki. Ukończył je w roku 1948. Już jako student otrzymał etat młodszego asystenta u profesora Konstantego Zakrzewskiego w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego. Po śmierci K. Zakrzewskiego (1948) przeszedł pod opiekę profesora Henryka Niewodniczańskiego, który przydzielił mu zadanie stworzenia (dosłownie!) pracowni do badania efektów rozpraszania neutronów na próbkach materii skondensowanej. Jerzy Janik wywiązał się z tego zadania wyśmienicie, bowiem już w roku 1950 obronił pracę doktorską pt. *Rozpraszanie powolnych neutronów na selenie i arsenie*. Jako źródło neutronów służyła igła radowo-berylowa wypożyczona ze szpitala onkologicznego, natomiast resztę niezbędnego oprzyrządowania musiał zbudować sam. Na tym zestawie pomiarowym powstała także praca (z udziałem Włodzimierza Kołosa) dotycząca efektu obniżenia przekroju czynnego na rozpraszanie neutronów przy przejściu do fazy z zahamowaną rotacją grupy CH_3 w molekułach CH_3OH i CH_3SH . Wyniki zostały przedstawione na I Konferencji Genewskiej ds. Atomistyki w 1955 r. Była to pionierska praca wskazująca na możliwość zastosowania rozpraszania neutronów do badania efektów dynamicznych w materii skondensowanej i została wysoko oceniona przez specjalistów z Zachodu. Dzięki temu Janik otrzymał zaproszenie do Kjeller (Norwegia) i Brookhaven (USA) w celu kontynuacji badań w tym zakresie na tamtejszych reaktorach badawczych. Z chwilą uruchomienia w Polsce reaktora EWA w Świerku, zespół Janika zaczął badać przekroje czynne na rozpraszanie neutronów na różnych układach molekularnych, wykazujących rotacje całych molekuł (CH_4) albo fragmentów molekuł (CH_3), w funkcji energii padających neutronów. W następnych latach Jerzy Janik zorganizował dla swojego zespołu szerokie forum współpracy z wieloma ośrodkami reaktorowymi w Norwegii (Kjeller), USA (Brookhaven), Rosji (ZIBJ w Dubnej), Francji (Instytut Laue-Langevin w Grenoble), Niemczech (Jülich). Szczególną rolę w Jego działalności naukowej odegrały ośrodki w Dubnej i w Kjeller.

ZIBJ Dubna. Bardzo istotnym krokiem w kierunku zapewnienia reaktorowego źródła neutronów dla polskich

PROGRAM
XIII ZJAZDU FIZYKÓW POLSKICH
W KRAKOWIE

4. XII. — 9. XII. 1950

SPIS REFERATÓW Z PRAC WŁASNYCH.

1. M. Mięszowicz i M. Massalski (Kraków)	Lokalne promieniowanie gamma w pomiarach promieniowania ko-	12
2. L. Jurkiewicz (Kraków)	Widmo składowej elektronowej na poziomie laboratorium.	12
3. R. Kolodziejcki (Warszawa)	O formule dyspersyjnej dla procesów jądrowych.	15
4. J. Janik (Kraków)	Wyznaczenie widma absorpcji selektywnej powolnych neutronów w selenie i w arsenie.	12
5. A. Z. Hryniewicz (Kraków)	O rozkładzie kątowym par elektronowych wytworzonych w ołowiu przez promienie gamma ^{137}Cs .	12
6. A. Z. Hryniewicz (Kraków)	Absorpcja w aluminium elektronów par wytworzonych w ołowiu przez promienie gamma ^{137}Cs .	8
7. J. Gierula (Kraków)	Rozkład kierunkowy koincydencji comptonowskich.	15
8. B. Makiej (Kraków)	Badanie widma ciągłego promieni gamma tworzących promieniowanie beta w P i Sb .	12
9. J. Pniowski (Warszawa)	Widmo RaE w dziedzinie małych energii uzyskano metodą kiesz re-	15
10. S. Piętkowski (Warszawa)	Zgrupowania prom. enklidyczne w meteorytach.	12
11. S. Piętkowski i S. Zmysłowska (Warszawa)	O rozkładzie ciał promieniotwórczych w polskich granitach dolno-	12
12. M. Jeżowski (Kraków)	O pomiarach wilgotności materiałów metodami elektrycznymi.	12
13. J. Sulocki (Gdańsk)	Wytężalność, stała dielektryczna i przewodnictwo elektryczne w za-	10
14. M. Mięszowicz, L. Jurkiewicz, A. Mikucki (Kraków)	Sondowanie promieniotwórczości w otworach wiertlanych nową apar-	12
15. W. Majoński (Warszawa)	Otrzymywanie prostowniczych elementów kupyrtowych $\text{Cu-Cu}_2\text{O}$.	12
16. K. Dybowski (Warszawa)	Płytko miedziana dwustronna pokryta błyskiem miedzianym jako	8
17. Z. Rogalska (Kraków)	Wpływ czystości zmian oświetlenia na pracę komórki zaporowej.	8
18. P. Jaszczyn (Warszawa)	Z badań nad sumami świetlnymi fosforów.	10
19. K. Rosiński (Warszawa)	Termiczne zmiany fluorescencji roztworu białonafalidenu w silicjonie.	10
20. Z. Malkowski (Warszawa)	Wpływ pobudzenia manochromatycznego na świecenie roztworów	10
21. H. Cygan (Warszawa)	Pomiar energii wydzielonej przez elektrycznie pobudzony azot.	10
22. R. Mierzecki (Warszawa)	Z badań nad zasięgiem świecenia par metali w iskrze.	10
23. W. Żuk (Lublin)	Konstrukcja spektrometru masowego o zjawiska jonizacyjne.	20
24. J. Hannel (Kraków)	Budowa automatyzowanej komory Wilsona i jej zastosowanie do	15
25. B. Piekara (Gdańsk)	Wyznaczenia rozrzutu zasięgu cząstek α PoC .	10
	Z badań nad wyfodowaniami błyskawicami.	10

Program XIII Zjazdu Fizyków Polskich w Krakowie
z referatem Jerzego Janika

fizyków była budowa reaktora impulsowego w Zjednoczonym Instytucie Badań Jądrowych w Dubnej k. Moskwy, przeznaczanego w zasadzie do celów fizyki jądrowej. W roku 1958, w okresie projektowania reaktora IBR-1, Janik zaproponował, aby uwzględnić również potrzeby badań fazy skondensowanej. Początkowo kierownictwo projektu wyraziło jedynie zgodę na próbne pomiary na „jądrowym” kanale. Gdy wykazano, że tego typu pomiary przynoszą ciekawe rezultaty wydano decyzję o dobudowaniu kanału z odpowiednim pomieszczeniem na nowy spektrometr neutronowy. Spektrometr ten powstał z polskich funduszy i nazwano go Krakowsko-Dubieńskim Spektrometrem Odwrotnej Geometrii (KD-SOG). Był on dziełem polskich fizyków i inżynierów, głównie Antoniego Bajorka, Krzysztofa Parlińskiego, Ireneusza Natkańca (fizycy), Jana Pawelczyka i Adama Rapackiego (konstruktorzy) oraz grupy elektroników (Jacek Ściesiński, Wiktor Olejarczyk, Jerzy Brańkowski, Janusz Sokołowski) i techników (Tadeusz Sarga, Tadeusz Pukała). Spektrometr KD-SOG stanowił przez wiele lat bardzo efektywne i w wielu aspektach unikalne narzędzie badawcze dla fizyków krakowskich. Oprócz wyżej wymienionych dłuższe staże w Dubnej odbyli także: Marek Sudnik-Hryniewicz, Jacek Mayer, Stanisław Urban, Antoni Kulczycki, Jacek Domosławski, Jan Krawczyk, Wojciech Zając z Krakowa,

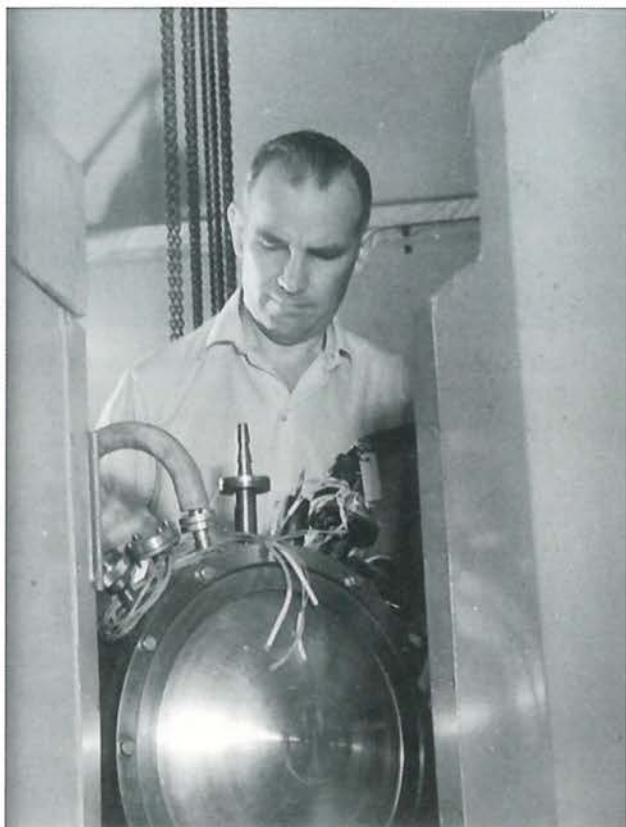


Pierre-Gilles de Gennes oraz Tormod Riste, wieloletni przyjaciel
z Norwegii, w rozmowie z Jerzym Janikiem
(początek lat 60-tych)

a także Wojciech Nawrocik, Jan W. Wąsicki, Leokadia Bobrowicz-Sarga, Krystyna Holderna-Natkaniec z Poznania i Janusz Chruściel z Siedlec. W zmiennej konfiguracji personalnej stanowili oni stałą polską grupę w ZIBJ. Po wybudowaniu nowego reaktora impulsowego IBR-2, skonstruowano też nowy spektrometr NERA na bazie 100 metrów z neutronowodem zwierciadlanym. Profesor Jerzy Janik sprawował ogólne kierownictwo nad oboma projektami i jako członek Rady Naukowej ZIBJ dbał o interesy i rozwój polskiej grupy. Władze ZIBJ doceniły ogromny wkład Jerzego Janika w rozwój spektroskopii neutronowej w tym ośrodku i przyznały mu tytuł doktora honorowego ZIBJ, a po Jego śmierci postanowiły nazwać Jego imieniem jedną z alei w instytucie.

Institute for Energy Technology, Kjeller. Współpraca z tym Instytutem trwała ponad 50 lat. Jerzy Janik wraz z małżonką Janiną (profesorem chemii na Wydziale Chemii Uniwersytetu Jagiellońskiego) niemal corocznie przebywali tam przez co najmniej miesiąc, często z młodszymi współpracownikami (Jacek Mayer, Jan Krawczyk, Małgorzata Nowina-Konopka), mając praktycznie nieograniczony dostęp do spektrometru neutronowego TOF (długi pobyt na początku współpracy i sabbatical w roku 1985). Wprawdzie zdolność rozdzielcza tego spektrometru nie była optymalna do badania procesów dynamicznych w układach molekularnych, ale uzyskane wyniki służyły jako pilotujące dla eksperymentów na innych źródłach neutronów, gdzie czas pomiarowy był ściśle limitowany. Owocem tej długoletniej współpracy było wiele ciekawych publikacji, członkostwo Jerzego Janika w Norweskiej Akademii Nauk i Literatury a także jego bliska przyjaźń z wieloma Norwegami.

Od początku swojej fascynacji spektroskopią neutronową (rozpraszanie quasi-elastyczne i nieelastyczne, a także dyfrakcja) Jerzy Janik zdawał sobie doskonale sprawę z korzyści jej stosowania dla poznania procesów



Jerzy Janik podczas pomiarów w ZIBJ w Dubnej (około roku 1977)

dynamicznych w materii skondensowanej, a jednocześnie z ograniczeń wynikających ze specyfiki tego narzędzia badawczego. Dlatego włożył wiele wysiłku w organizację badań dynamiki i przejść fazowych w Krakowie, z użyciem innych, komplementarnych metod eksperymentalnych. I tak, z jego inicjatywy rozwinięto w zespole, który prowadził wraz z żoną, takie metody jak: relaksacja dielektryczna, kalorymetria skaningowa i adiabatyczna, spektroskopia absorpcyjna podczerwieni. Takie kompleksowe podejście badawcze było przez długie lata unikalną cechą zespołu kierowanego przez Jerzego Janika. W ramach zespołu prowadzono także badania teoretyczne dynamiki molekularnej.

Stanowisko Jerzego Janika w sprawie prowadzenia badań naukowych można streścić następująco: Ważne są badania fundamentalne, których celem jest poznanie natury fazowości w molekularnej materii skondensowanej, czyli zbadanie relacji pomiędzy strukturą krystaliczną oraz liczbą i rodzajem przejść fazowych a dynamiką sieci krystalicznej (fonony) i/lub elementów składowych kryształów (molekuł, jonów). Warunkiem podstawowym jest zastosowanie do badania konkretnego zagadnienia lub substancji możliwie wielu technik eksperymentalnych uzupełnionych analizą teoretyczną (obliczenia *ab initio*, symulacje komputerowe, modelowanie potencjałów oddziaływań i dynamiki molekularnej,...). Jerzy Janik określał to jako *komplementarność badań*. Niemal od początku



Jerzy Janik przy aparaturze w Kjeller (od lewej: O. Steinsvoll, J. Krawczyk oraz J. Mayer, rok 2000)

kariery naukowej w badaniach swych starał się stosować wszystkie wymienione wyżej metody badawcze. *Tematyka badawcza* obejmowała: kryształy molekularne, kryształy jonowe, ciekłe kryształy i układy złożone. Dorobek publikacyjny Jerzego Janika to około 180 prac zamieszczonych w recenzowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym. Ponadto był on autorem lub współautorem pięciu rozdziałów w monografiach*. W czasie ponad 50-cio letniej pracy naukowej Profesor Jerzy Janik wypromował 32 doktorów, z grona których 14 osób habilitowało się, a dziesięcioro z nich uzyskało tytuł naukowy profesora. Większość profesorów utworzyła własne szkoły naukowe z następnymi pokoleniami doktorów nauk fizycznych. Prof. J. Janik był bardzo dumny, gdy dowiedział się, iż został kilkakrotnym „pradziadkiem doktorskim”.

Oto ważne daty w karierze naukowej Jerzego Janika, który do 20 marca 2012 roku był członkiem Rady Naukowej Instytutu Fizyki Jądrowej PAN:

- 1946 – młodszy asystent u Prof. Konstantego Zakrzewskiego
- 1948 – magisterium z filozofii w zakresie matematyki i fizyki
- 1950 – doktorat (*Rozpraszanie powolnych neutronów na selenie i arsenie*), adiunkt w IF UJ
- 1953 – równoległy etat w Zakładzie Fizyki Jądra Atomowego Instytutu Fizyki PAN, który został przekształcony w 1955 roku w Instytut Fizyki Jądrowej
- 1954 – docent
- 1954 – 1972 – kierownik Zakładu Badań Strukturalnych IF Uniwersytetu Jagiellońskiego
- 1955 – 1998 – kierownik Zakładu III Badań Strukturalnych w IFJ
- 1960 – profesor nadzwyczajny
- 1968 – usunięcie z Senatu UJ po wystąpieniu w obronie studentów (wydarzenia marcowe)
- 1972 – profesor zwyczajny

1973 – Członek korespondent PAN
 1983 – Członek rzeczywisty PAN
 1983 – Członek Norweskiej Akademii Nauk i Literatury
 1989 – Członek czynny PAU
 2002 – Doktorat honoris causa Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu
 2003 – Doktor honorowy Zjednoczonego Instytutu Badań Jądrowych w Dubnej

Ponadto Profesor Jerzy Janik był członkiem Rad Naukowych Zjednoczonego Instytutu Badań Jądrowych w Dubnej i Instytutu Fizyki Molekularnej PAN w Poznaniu oraz Rady do Spraw Atomistyki i Komitetu Fizyki PAN. Był też Przewodniczącym Komisji Filozofii Nauk Przyrodniczych PAU, Założycielem Polskiego Towarzystwa Rozpraszania Neutronów oraz Współzałożycielem Polskiego Towarzystwa Ciekłokrystalicznego.

Dużym uznaniem i wręcz podziwem cieszyły się seminaria organizowane przez Jerzego Janika. Pośród wielu tego typu spotkań naukowych Jego seminaria miały niepowtarzalny charakter. Składały się na to: a) cykliczność i wieloletnie ich trwanie w praktycznie niezmienionej formie (zwykle po kilka dekad); b) wysoki poziom naukowy i merytoryczny oraz dogłębna dyskusja w trakcie referatu; c) różnorodność tematyczna poszczególnych cykli; d) kompetencja i erudycja prowadzącego; e) swoista oprawa i atmosfera seminariów (np. serwowanie napojów i ciasta przez referującego, schroniska górskie jako miejsce obrad, wspólne wieczorne śpiewania przy gitarze, itp.).

Oto Seminaria zainicjowane i prowadzone przez naszego Profesora:

- Od końca lat 50-tych – cotygodniowe seminaria środowiskowe (trwają do dziś w Zakładzie Badań Strukturalnych IFJ PAN).
- Od lat 60-tych – międzynarodowe seminaria „Janik's Friends Meeting”, organizowane co dwa lata, ostatnie 27-JFM odbyło się w Zakopanem w 2011 r., a następne przygotowujemy na rocznicę śmierci Profesora.
- „Seminaria papieskie” – najpierw w latach 70-tych w prywatnym mieszkaniu przy ul. św. Marka Jerzy Janik wraz z żoną organizował regularne spotkania zaprzyjanych intelektualistów krakowskich z udziałem kardynała Karola Wojtyły. Po wybraniu Karola Wojtyły na Papieża Jerzy Janik organizował (na Jego polecenie) interdyscyplinarne seminaria „Nauka-Religia-Dzieje” w Castel Gandolfo. Odbyło się 12 takich seminariów w latach 1980–2003. Brali w nich udział fizycy, matematycy, chemicy, biologowie, lekarze, historycy, filozofowie i teologowie. Przedmiotem referatów i dyskusji były problemy „pogranicza” pomiędzy naukami przyrodniczymi a filozofią, a nawet teologią. Pokłosiem seminariów były, redagowane przez Jerzego Janika, książki pod powyższym tytułem. Po śmierci Papieża, seminaria te były kontynuowane w Lublinie pod patronatem arcybiskupa J. Życińskiego, a ostatnie odbyło się we wrześniu 2011 r. w siedzibie Polskiej Akademii Umiejętności w Krakowie.



Dyskusja profesora Jerzego Janika ze współpracownikami w IFJ (od lewej: A. Pacyna, J. Brańkowi, W. Zając, T. Wasutyński, I. Natkaniec, M. Massalska-Arodz oraz J. Krawczyk)

• W latach 70-tych i 80-tych Jerzy Janik zorganizował cykl seminariów dotyczących badań ciekłych kryształów Krakowskiego Zespołu Kryształów Molekularnych i Ciekłych Kryształów z analogicznym zespołem grupującym fizyków i chemików z Halle (H. Sackmann, D. Demus, H. Kresse) i Lipska (A. Lösche, S. Grande, R. Stannarius). Zespoły te były wiodącymi w dziedzinie badań ciekłych kryształów w tzw. obozie socjalistycznym. Obrady odbywały się zwykle w schroniskach górskich w Polsce i kurortach byłego NRD.

• Zainspirował cykl ogólnopolskich seminariów poświęconych neutronowym (i komplementarnym) badaniom fazy skondensowanej, organizowanych od 1997 roku (głównie przez profesora J. Chruściela, ucznia naszego Profesora). Seminaria odbywają się co dwa lata w domu pracy twórczej „Reymontówka” w Chlewickach k/Siedlec (7 spotkań, następne odbędzie się w czerwcu 2013 r.).

• Wspólnie z żoną profesor Janiną Janikową przez szereg lat organizował wielodniowe warsztaty naukowe dla doktorantów (zwykle w górach: Kalatówki, Rabka, Prehyba, Krawców Wierch, Zakopane); każdy referent miał do dyspozycji pół dnia na wszechstronne przedstawienie i przedyskutowanie przygotowywanej pracy doktorskiej oraz swoich osiągnięć badawczych i zamierzeń na najbliższą przyszłość.

• Ważną rolę integracyjną spełniało rodzinne kołędowanie w domu Państwa Janików, w organizacji których pomagały córki Barbara, Joanna i Małgorzata.

Bardzo trudno w krótkim artykule nakreślić sylwetkę naszego Profesora, z którym byliśmy związani na co dzień przez tak wiele lat. Może warto przypomnieć, co sam powiedział, podczas jednego ze swoich jubileuszy, a mianowicie że „miał dobre życie”. Mówiąc to nie myślał o zaszczytach[†], które były jego udziałem. Ważne było to, iż miał niezwykłą żonę, udane córki i wnuki. Wspominał często wspaniałego Mistrza Prof. H. Niewodniczańskiego. Mówił o gronie dobrych przyjaciół, wśród których był Jan Paweł II, a także o tym jak bardzo go cieszy, że ma wiele sposobności by mówić swoim przyjaciołom z zagranicy o historii oraz o kulturze Polski i pokazywać im piękno



Otwarcie Seminarium „Nauka Religia Dzieje”
w Castel Gandolfo w 2003 roku

naszej ojczyzny. Powiedział nam wreszcie jak wiele radości sprawia mu wykładanie[‡], dyskusje seminaryjne, a także sukcesy naukowe uczniów. Nasz Profesor zawsze cieszył się, że został fizykiem, ale drugim ważnym nurtem jego zainteresowań była filozofia, a może ściślej metafizyka. Wiele ze swoich przemyśleń zawierał w esejach[§], których pisanie sprawiało mu wielką satysfakcję, podobnie jak wydawanie cyklu monografii „Nauka Religia Dzieje”, z referatami i dyskusją z kolejnych spotkań papieskich.

To było rzeczywiście dobre życie. Fenomenem jest, że Profesor pozostawił we wszystkich niemal ośrodkach naukowych Polski ogromną liczbę uczonych, dla których był Nauczycielem i ważną busolą w trudach naukowego życia. Na pewno decydującą była jakość relacji Profesora z innymi. Traktował sprawy zawodowe bardzo osobiście i przechowywał w pamięci migawki różnych wydarzeń związanych ze spotkaniami, które odbywał[‡]. Pamiętał o życzeniach świątecznych i o Dniu Kobiet, doceniał zwyczajne wspólne obiady. Przy natłoku wydarzeń i pośpiechu naszego życia, sposób w jaki Profesor prowadził swoją wielką aktywność był niezwykle. Wydaje się, że dbał aby każdy powszedni dzień był przeżywany jak święto. Nie pozwalał na bylejakość i nigdy nie był „w biegu”. Był ciągle w drodze i może dlatego na ostatnim jej etapie towarzyszyło mu tak wielu przyjaciół. To z jaką pasją prowadził zainicjowane przez siebie Seminarium Zakładu Badań Strukturalnych IFJ PAN pokazuje fakt, że ostatni referat wygłosił na dwa tygodnie przed śmiercią. Po referacie powiedział, bardzo zadowolony, że dyskusja była wspaniała. Obiecał nam kolejny referat przed wakacjami. Miał zamiar mówić o substancji, pojęciu używanym w filozofii. Odszedł nagle, ciągle zainteresowany ludźmi i wydarzeniami świata nauki, w pełni sił twórczych. W osobie Jerzego Janika fizyka polska straciła wybitnego uczonego,

Nauczyciela i Opiekuna kilku pokoleń fizyków i chemików. W okresie powojennym stworzył on podwaliny pod rozwój fizyki fazy skondensowanej na Uniwersytecie Jagiellońskim, w Instytucie Fizyki Jądrowej i w Krakowie. Był pionierem w Polsce zastosowania metod rozpraszania neutronów, twórcą i konsekwentnym realizatorem wielu unikalnych cykli seminaryjnych trwających po kilka dekad. Wielu z nas utraciło nie tylko Mistrza, ale też serdecznego Przyjaciela. Pożegnaliśmy Wybitnego Fizyka, Człowieka Mądrego, Wielkiej Szlachetności.

* *Wydawnictwa książkowe*

J. A. Janik, A. Kowalska, „The Theory of Neutron Scattering by Molecules”, [w:] *Thermal Neutron Scattering*, P. A. Egelstaff (ed.), Academic Press, London, New York 1965.

J. A. Janik, „Incoherent Neutron Scattering Experiments on Hydrogen Bonded Systems”, [w:] *Recent Progress in Hydrogen Bonds*, North-Holland Publishing Company, Amsterdam 1976.

J. A. Janik, „Quasielastic Neutron Scattering Studies of Molecular Reorientations”, [w:] *Dielectric and Related Molecular Processes*, M. Davies (ed.), Burlington House, London 1977.

J. A. Janik, „Neutron Incoherent Scattering Studies of Liquid Crystals”, [w:] *Advances in Liquid Crystals*, Academic Press 1982.

J. A. Janik, T. Riste, „Liquid Crystals”, [w:] *Methods of Experimental Physics*, K. Sköld, D. D. Price (eds), Academic Press, 1987.

† *Odznaczenia i wyróżnienia*

1959 – Złoty Krzyż Zasługi

1964 – Krzyż Kawalerski Orderu Odrodzenia Polski

1996 – Krzyż Oficerski Orderu Odrodzenia Polski

1997 – Medal Odnowienia Uniwersytetu Jagiellońskiego

1999 – Nagroda Prezesa Rady Ministrów za całokształt działalności naukowej

2005 – Krzyż Komandorski Orderu Odrodzenia Polski

[‡] Państwo Janikowie zainicjowali i kierowali napisaniem podręcznika „Fizyka Chemiczna. Dynamika molekuł na tle różnych metod badawczych”, PWN 1989, który dotyczy tematyki wspaniałych wykładów Profesora i pokazuje znaczenie komplementarności badań fazy skondensowanej.

W 2010 roku, Polska Akademia Umiejętności wydała książkę Jerzego Janika „Ontologiczne aspekty fizyki”, która powstała w oparciu o wykłady jakie prowadził w Sekcji Filozofii Przyrody i Nauk Przyrodniczych Wydziału Filozofii Katolickiego Uniwersytetu Lubelskiego.

[§] „Prace Komisji Filozofii Nauk Przyrodniczych Polskiej Akademii Umiejętności” (tomy I-V pod redakcją Jerzego Janika wydane przez PAU w latach 2006-2011) zawierają również referaty wygłoszone przez Profesora.

[‡] Książka „Jerzy Janik – Migawki wspomnień”, wydana w 2006 przez Księgarnię Akademicką w Krakowie, pokazuje życie autora od „najwcześniejszych wspomnień z dzieciństwa”, a także wielu ciekawych ludzi epoki, których spotkał.

Czy mamy już kanoniczny przekład „Scholium”?

Jan Czerniawski • Instytut Filozofii, Uniwersytet Jagielloński

„Scholium” do definicji w „Principiach” Newtona jest jednym z najważniejszych tekstów źródłowych dla każdego historyka nauki i filozofa przyrody. Z różnych względów, w tym dydaktycznych, pożądanym byłby jego przekład na język polski na tyle zadowalający, by można było potraktować go jako kanoniczny. Do tej roli w naturalny sposób kandyduje odpowiednia część opublikowanego niedawno przekładu J. Wawrzyckiego całości głównego dzieła Newtona [1]. Abstrahując jednak od oceny poziomu przekładu całości „Principiów”, przekład tej ich części pozostawia wiele do życzenia. Pozostawiając na boku miejscami niezbyt strasny styl tekstu przekładu, należy z przykrością stwierdzić, że oprócz paru niefortunnych, ale w zasadzie nieszkodliwych innowacji językowych w stosunku do wcześniejszych przekładów, zawiera on istotne przeinaczenia, wypaczające sens tłumaczonych sformułowań, a czasem wręcz czyniące tekst niezrozumiałym.

Już w pierwszym akapicie pojawia się przeciwstawienie „matematycznemu” rozumieniu pojęć czasu, przestrzeni, miejsca i ruchu ich rozumienia „powszechnego” – mimo że utarło się już użycie w tym drugim przypadku określenia „potoczne” [2–4, 6, 7], ewidentnie odpowiadające intencji autora, który najwyraźniej przez „matematyczne” rozumiał raczej rozumienie ścisłe niż elitarne, bądź ezoteryczne, co mogłoby sugerować przeciwstawienie mu rozumienia „powszechnego”, czy choćby „pospolitego” [5]. Dwie strony dalej zresztą tłumacz sam pisze o czasie „w sensie potocznym”. W kolejnym akapicie pojawia się stwierdzenie, że czas absolutny płynie „równo w odniesieniu do wszystkiego zewnętrznego” (podkreślenie moje) – podczas gdy wszystkie pozostałe przekłady podkreślają właśnie brak odniesienia upływu czasu absolutnego do „czegokolwiek zewnętrznego”, co skądinąd jest spójne z analogicznym sformułowaniem dotyczącym przestrzeni absolutnej, również w tym przekładzie. Niefortunne wydaje się też określenie „równo”, zamiast „równomiernie” [2–6], czy „jednostajnie” [7], chociaż przynajmniej nie wypacza znacząco sensu oryginału. Innym względnie mało szkodliwym dziwactwem translatorskim jest zestawienie z przestrzenią podziemną i gwiazdną „powierzchni” – zamiast [przestrzeni] „powietrznej” [2, 3, 5–7], czy „nawierzchniej” [4].

Niestety, przekład Wawrzyckiego zawiera też przekłamanie znacznie bardziej doniosłe. Można w nim np. przeczytać (s. 191), że „Absolutna i względna przestrzeń są

takie same co do kształtu i wielkości, ale nie zawsze są ilościowo tymi samymi”. Występujące w cytacie słowo „ilościowo” czyni to zdanie niezrozumiałym, zwłaszcza wobec zawartego w nim stwierdzenia, że przestrzeń ta są „takie same co do [...] wielkości”. Niestety, tłumacz powielił tu błąd szeregu innych tłumaczeń [2, 5–7]. Właściwe jest tu słowo „numerycznie” [3, 4], gdyż użyte przez autora określenie „idem numero” stanowi techniczny termin z ontologii, „tożsame (identyczne) numerycznie”. Z kontekstu zresztą jednoznacznie wynika, iż Newtonowi chodziło właśnie o to, że przestrzeń względna nie pozostaje zawsze tożsama (tj. identyczna numerycznie) z przestrzenią absolutną, chociaż jest z nią taka sama (identyczna jakościowo), gdyż pozostawać w tym samym miejscu względnym i absolutnym znaczy to samo jedynie w przypadku, gdy chodzi o miejsce w przestrzeni względnej w absolutnie spoczywającym układzie odniesienia. Na niektórych tłumaczach najwyraźniej zemścił się brak wystarczającej znajomości terminologii filozoficznej. Wawrzycki zresztą w pewnym zakresie wzorował się tu na zasadniczo poprawnym tłumaczeniu Hellera [3], niestety akurat w punkcie, w którym pozostawia ono nieco do życzenia, używając słowa „kształt”, zamiast „postać” [2, 5–7], o co tu ewidentnie chodzi (obie przestrzenie są trójwymiarowymi przestrzeniami euklidesowymi).

Inne przekłamanie pochodzi z fragmentu „Scholium”, gdzie Newton próbuje uzasadnić nieruchomość części przestrzeni absolutnej (s. 192). Czytamy tam: „Przypuśćmy, że części przestrzeni poruszają się, zmieniając swoje położenie, i niech poruszają się [...] poza siebie” – co jest kompletnie niezrozumiałe. Tymczasem z kontekstu widać, że chodzi tu o sprowadzenie do absurdu założenia, iż absolutne miejsca mogą się poruszać, poprzez wskazanie, że w takim wypadku byłyby one „wyjęte”, bądź „przesuwane”, z samych siebie [4, 7] (w oryginale: „de seipsis”). Przekład można tu zresztą tanim kosztem skorygować, zastępując „i niech” przez „a”. W tym samym akapicie Wawrzycki na temat przestrzeni i czasu pisze: „Istotą przestrzeni jest to, że są one miejscami”, podczas gdy ewidentnie powinno być „Ich istotą...” („De illorum Essentia...” w oryginale), tj. chodzi tu nie tylko o przestrzeń, ale i o czas. Pisze też, że ruchy absolutne są „zmianami położenia” miejsc absolutnych, wbrew tezie bronionej w tym akapicie przez autora, z którą zresztą zgadzają się pozostałe cztery przekłady tego fragmentu,

w świetle których ruchami absolutnymi są przesunięcia z (nieruchomych na mocy tej tezy) miejsc absolutnych [2, 4, 6, 7].

Z największym nagromadzeniem błędów mamy do czynienia na pierwszych trzech stronach, gdzie są one też najpoważniejsze. Nietrafne sformułowania można jednak również na pozostałych stronach. Np. na dole strony 194 można przeczytać, że „ruchy względne [...] pozostają w różnych [...] relacjach z ciałami zewnętrznymi i relacje te są zupełnie pozbawione prawdziwych skutków do tego stopnia, do którego biorą one udział w prawdziwym jednoznacznie określonym ruchu” – co sugeruje brak realnych skutków w przypadku, gdy ruch względny ma udział w ruchu absolutnym, podczas gdy intencja autora jest bez wątplenia wręcz przeciwna, co zresztą w zasadzie oddają dwa z pozostałych trzech tłumaczeń całości „Scholium” [2, 6]. Niefortunne jest też przypisanie ruchom wchodzenia w relacje z ciałami, podczas gdy faktycznie to rozważane ciało wchodzi w te relacje, odpowiednio do których właśnie są określone jego różne ruchy względne, same zresztą w rezultacie będące pewnymi relacjami. Nie wiadomo również, dlaczego o rozważanych przez Newtona dwóch kulach połączonych sznurkiem (sznurkiem) [2, 6, 7] (struną [1]?) stwierdza się, że obracają się one wokół ich wspólnego „centrum grawitacji” (s. 195) – zamiast „środka ciężkości” [2, 6, 7] – mimo że oddziaływanie grawitacyjne autor w tym eksperymencie pomyślanym w ogóle nie bierze pod uwagę.

Należy podkreślić, że wytknięte tu błędy przekładu nie stanowią jedynie niedoskonałości jego językowej formy, lecz w mniejszym lub większym stopniu deformują treść tłumaczonego tekstu. Tymczasem przekład ka-

noniczny traktowany bywa nie tylko jako wiarygodne źródło dla niespecjalistycznych czytelników pragnących zapoznać się z treścią klasycznego tekstu, lecz również jako wzorzec wykładni oryginału dla odwołujących się do niego badaczy w miejscach, gdzie jego interpretacja budzi kontrowersje. Skutki nadania temu dalekiemu od doskonałości przekładowi takiego statusu mogłyby więc być oplakane. Być może wobec tego należałoby podjąć wysiłek na rzecz przygotowania nowego, wolnego od tych błędów przekładu tej części „Principiów”, który już bez zastrzeżeń mógłby zostać potraktować jako kanoniczny.

Literatura

- [1] I. Newton, *Matematyczne zasady filozofii przyrody*, przeł. J. Wawrzycki, Copernicus Center Press, Kraków 2011.
- [2] I. Newton, *Scholium*, przeł. A. Michalik, *Zagadnienia Filozoficzne w Nauce* 8, 88 (1986).
- [3] M. Heller, *Filozofia świata*, Znak, Kraków 1992 (rozdz. VI.4 – fragmenty).
- [4] M. Hempoliński (red.), *Ontologia: antologia tekstów filozoficznych*, ZN im. Ossolińskich, Wrocław 1994 (fragment, przeł. M. Hempoliński).
- [5] A. K. Wróblewski, *Historia fizyki: od czasów najdawniejszych do współczesności*, PWN, Warszawa 2006 (rozdz. 4 – fragmenty).
- [6] I. Newton, *Zasady matematyczne filozofii naturalnej*, przeł. S. Brzezowski, Biblioteka Inst. Fizyki UJ, Kraków 2009 (preprint); również w: Biblioteka Jagiellońska, zbiór fotokopii i kserokopii, sygn. Fot. 546.
- [7] I. Newton, *Matematyczne zasady filozofii naturalnej: Definicje* (w tym całość „Scholium” jako „Komentarz”), przeł. J. Sytnik-Czetwertyński, *Kwartalnik Filozoficzny* 39, z. 2, 132 (2011).

Doktoraty dla nauczycieli

Grzegorz Karwasz • Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

Streszczenie. Dyskutujemy przydatność / konieczność doktoratów z dydaktyki fizyki.

Zacznę parafrazą cytatu z historii „Widmo doktoratów dydaktycznych krąży po Polsce”.

Osób pytających bezpośrednio lub pośrednio jest wiele, regularnie pojawiają się też petycje i apele. Jest kilka przyczyn ku temu parciu. Zaczniemy od powodów makroekonomicznych a skończymy na oddolnych, personalnych.

I. Dlaczego?

1. **Nadążyc za koniecznymi zmianami w sposobach nauczania.** Pierwszy powód jest makroekonomiczny, tzn. istotny nie tylko dla systemu edukacji. Jakość edukacji jest istotnym elementem przyszłego sukcesu/ porażki ekonomicznego i cywilizacyjnego, jak to wynika np. z prognoz OECD [1]. Sprawna edukacja oznacza narodowy dobrobyt w sensie makro. Nauczanie fizyki – trudności w określeniu podstawy programowej do liceum, jakoś podręczników¹, brak implementacji zapowiedzianych przez MEN laboratoriów gimnazjalnych, hybrydowy (przypadkowy?) program nauczania przedmiotu *Science* świadczą, że możliwości podniesienia jakości dydaktyki są znaczne, czytaj: są społecznie niezbędne.

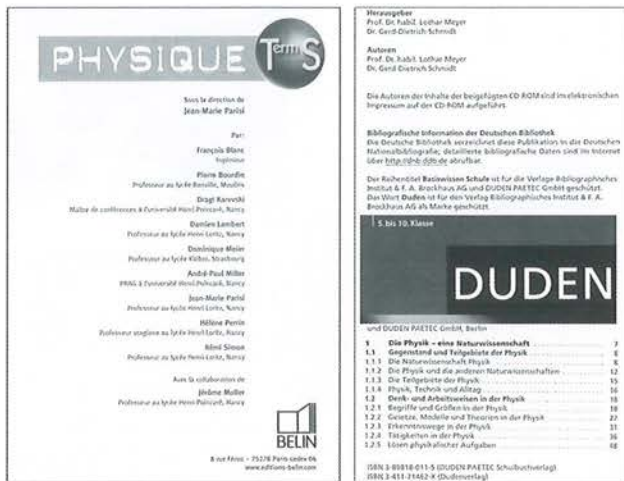
Mniemanie, że to nauczyciele, szczególnie ci z „dużym doświadczeniem” są właściwym podmiotem do wyznaczania zmian w systemach oświaty, w tym do przygotowania podręczników, jest jasno krytykowane w światowej literaturze tak dydaktyki fizyki, jak np. matematyki [2]. Nie oznacza to też, że zmiany powinny mieć charakter „top → down”. Jak pokazujemy na rys. 1 rozwiązaniem sprawdzonym za granicą są grupy mieszane – uniwersytecko-nauczycielskie. Kadry wykształcone na literaturze światowej (czytaj: naukowcy i/lub nauczyciele publikujący i uczestniczący w zagranicznych kongresach przedmiotu) byłyby jak najbardziej pożądane jako motor zmian w systemie oświaty.

2. Najbardziej widoczne jest oddolne, nauczycielskie zapotrzebowanie na doktoraty. Polski system edukacji, według ocen OECD należy, zaraz a Malezją, do najbardziej autorytatywnych na świecie [3]. Składnikami tego systemu jest lokalne finansowanie, ale przy państwowych „widelkach”, pozorna swoboda programowa, ale przy publicznych rankingach i centralnych egzaminach, gminne zatrudnienie nauczyciela, ale przy ministerialnie określonych stopniach kariery. Te ściśle wyznaczone stopnie kariery, niezrozumiałe, jeśli nauczyciel jest pracownikiem gminy, wymogły (umożliwiły?) „woluntarystyczny [4]” system szkoleń – do każdego stopnia kariery nowe zaświadczenie. Prof. Kwieciński, jeden z najbardziej zasłużonych polskich pedagogów nazywa to „bałkanizacją kształcenia nauczycieli” [4].

Nauczyciel, zaczynając z bardzo niskiego poziomu zarobków, szybko pnie się w stopniach kolejnych zaświadczeń (kolonisty, higienisty, instruktora obozów itd.) i w wieku 40 lat napotyka na nieprzekraczalną granicę maksimum kariery. Dla osób naprawdę ambitnych (i zawodowo niezwykle wartościowych) ta granica (i cały poprzedni *rat race*) są niezwykle frustrujące. Możliwość realizacji doktoratu byłaby wielce pożądana, tak dla nauczyciela jak całości systemu edukacji. We Włoszech to właśnie nauczyciele realizujący doktoraty (a uzyskujący 3-letni urlop sabatyczny ze szkoły) w największym stopniu przyczyniają się do postępu w dydaktyce, zob. np. [5].

3. *Last but not least*, to właśnie brak kadr z odpowiednim przygotowaniem i właściwie wysokimi tytułami jest powodem nieuznawania dydaktyki fizyki za dyscyplinę naukową. Do przewodu doktorskiego, a do niedawna i habilitacyjnego, niezbędna była wieloosobowa komisja tzw. samodzielnych. Kiedy można zaliczyć osobę za kompetentną do takiej komisji? Kiedy ma tytuł naukowy w tej dziedzinie, a mieć go nie może, bo nie jest to

¹ Odsyłamy Czytelnika do stron internetowych Sekcji Nauczycielskiej PTF – <http://www.ptf.agh.edu.pl/SN/Recenzje.html>.



Ryc. 1. Podręczniki są jednym z najważniejszych instrumentów w kształtowaniu poziomu edukacji.

- a) W podręczniku flandryjskim (a właściwie – francuskim, bo język ten sam) jest 12 autorów; w Polsce jest zazwyczaj 3–2 autorów ale wydawnictw jest 4–6
b) W Berlinie, wydaje się, jedynym uznanym podręcznikiem jest *Duden*, autorstwa prof. Dr. hab. L. Meyera, formatu A5, 230 stron, dla klas 5–10 (zbiory autora)

dziedzina oficjalnie uznana. Błędne koło się zamyka, ale tylko pozornie. Dlaczego pozornie?

Po pierwsze, do uznania osoby za kompetentną potrzebny jest tytuł *lub* dorobek naukowy w danej dziedzinie. Po drugie, komisje mogą (a nawet powinny) być mieszane lub nawet w większości pedagogiczne. Po trzecie, niekoniecznie fizyka musi mieć własną dydaktykę; mogą one być tylko dwie: nauk matematyczno-przyrodniczych i humanistyczno-społecznych. Z chemii, fizyki i biofizyki łącznie, jedna-dwie komisje w kraju zbierają się bez trudu.

Dochodzimy tu jednak do kolejnego problemu, z którym inne narody się uporały – nie każda uczelnia winna czuć się kompetentna w każdym przewodzie... Katedr dydaktyki fizyki jest we Włoszech kilka zaledwie. Nie potrzebna jest w tym ani kategoryzacja ani okręty flagowe lecz „udokumentowany dorobek naukowy w określonej dziedzinie”. A ponieważ chodzi o dydaktykę narodową – niekoniecznie dorobek międzynarodowy. Krajowe czasopisma dydaktyczne, o ile będą recenzowane i wydawane z zachowaniem standardów np. *Phys. Rev.*, winny do dorobku liczyć się jak Anglikom *Physics Teacher*.

II. Czy można?

Oczywiście że tak, ale niezbędnych jest kilka uszczegółowień. Przede wszystkim, czy dydaktyka fizyki jest dziedziną fizyki? Odpowiem za chwilę, ale przed tym uporajmy się z kolejnym mitem, „że to był przewód na pedagogię”.

Nie spotkałem się w Polsce, ani w środowisku dydaktyków fizyki ani pedagogów z cytowaniem epokowej pracy

L. S. Shulmana (mającej ponad 7 tys. cytowań na świecie) z Harvardu AD 1987. Praca ta jest podwaliną nowej (o ile przymiotnik ten można odnieść do pracy sprzed lat 25-tu) koncepcji dydaktyki, tzw. *pedagogical contents knowledge*, PCK. Nauczycielowi nie wystarczy znajomość matematyki ale, aby przeprowadzić lekcję, musi najpierw zaplanować czego i kogo nauczyć [2]. Umiejętności pedagogiczne nie są dodatkiem, czy „blokiem programowym” ale warunkiem wstępnym studiowania programu nauczania matematyki, fizyki itd. Dobry nauczyciel nie uczy tego co „sam dobrze umie”, ale tylko to, co uczniom będzie potrzebne do uzyskania kolejnego stopnia *postawionych im* kompetencji. Dydaktyka, to nie metodyka uczenia dodawania, odejmowania itd. ale umiejętność identyfikowania *powodów* głównych trudności koncepcyjnych ucznia, np. dlaczego uczniowie dodają licznik i mianownik ułamków.

Umiejętności zdobyte w trakcie rzetelnego, nadprogramowego uczestnictwa w „prawdziwych”, tj. prowadzonych dla pedagogów, wykładach kursowych psychologii i pedagogiki a nie „bloku” dla humanistomatematyków (tu znów odwołanie do pism Z. Kwiecińskiego [4]) są absolutnie niezbędnym wyposażeniem doktoranta-dydaktyka. Po drugie, dla nauczyciela (a pracownika uczelni lub ministerstwa również) to nie kolejny dyplom z fizyki powinien być cenny, ale właśnie interdyscyplinarność, wymagana w każdym projekcie UE.

A po trzecie, co najbardziej fizyków interesuje, niepotrzebna żadna uchwała ani petycja, aby dydaktyka fizyki została dyscypliną naukową, bo taką już jest. Nie musimy się przy tym odwoływać do Włoch (gdzie do niedawna historia i dydaktyka fizyki była², obok fizyki jądrowej i astrofizyki jedną z sześciu dyscyplin fizyki), ani do Niemiec, gdzie jest wiele katedr znaczących ośrodków naukowych dydaktyki fizyki a wystarczy zajrzeć do PASC [6]:

00 General;

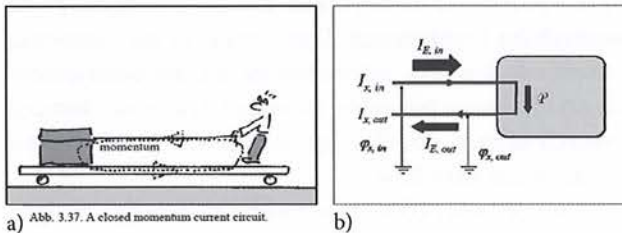
01 Communication, education, history and philosophy;
General physics (physics education), 01.55.+b.

III. Jak?

Tu dochodzimy do zasadniczej „kości niezgody”. Wychoząc z pobudek potrzeby kariery indywidualnej lub kadrowej, rodzi się niebezpieczeństwo, że doktorat z dydaktyki przedmiotowej będzie „skrótom” kariery naukowej. „Do zakładów metodyk przedmiotowych kieruje się często osoby, które nie miały znaczących osiągnięć naukowych w danej dyscyplinie” (Kwieciński, *op.cit.*, str. 293). Prawnie, jakikolwiek skrót, uproszczenie, ułatwienie byłoby próbą obejścia ustawy o stopniach naukowych, co znów byłoby argumentem do negacji miana dyscypliny naukowej.

² I nadal jest, tylko że razem z fizyką ogólną, zob. np. <http://congresso.sif.it/day/2012-09-21>.

Przypomnijmy na czym polega stopień naukowy – na istotnym wkładzie w *rozwój* danej dziedziny naukowej. Nie jest nowością naukową, że 15 lat po wprowadzeniu komputerów do szkół nauczyciel przeprowadził lekcję komputerową. Doktoraty z dydaktyki muszą mieć te same atrybuty co doktoraty z fizyki doświadczalnej czy teoretycznej: i) jasno postawione a nierozwiązane wcześniej w literaturze światowej zagadnienie³, ii) nowa aparatura/metoda obliczeniowa, iii) test i *output* z aparatury, iv) niezależna (przez recenzentów czasopisma) weryfikacja nowości i/lub poprawności wyników.



Ryc. 2. Nowe zagadnienia dydaktyczne w fizyce – KPK.

a) F. Herrmann i G. Job w *The Karlsruhe Physics Course* (2000) zaproponowali nowe, zintegrowane ujęcie procesów w fizyce: wielkości ekstensywne (np. pęd) i prądy ich przepływu (w tym przypadku siła),
b) analiza przepływów przypomina zagadnienia z elektryczności; w przypadku mechaniki nie są one jednak dostatecznie intuicyjne (analiza zagadnienia M. Colombo, nauczyciel fizyki z technikum w Padwie, PhD Università di Udine, 2011)

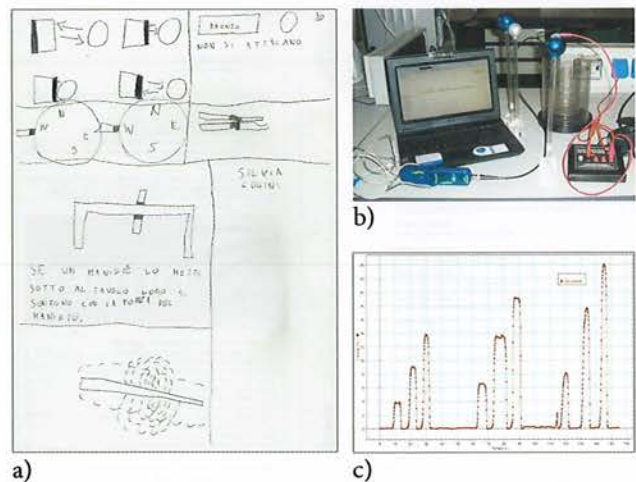
Nowa metodologia to np. autorska propozycja fragmentu podręcznika, ułamek CD-ROM, nowe zasoby internetowe w nieznanym temacie. Test – to badania efektywności dydaktycznej: *preliminary run* w pierwszym roku szkolnym, *improved measurements* w drugim, i z braku czasu w trzecim roku szkolnym (czyli czwartym roku doktoratu) wyniki sprawdzające, które w rozprawie się nie znajdują, ale zostaną przedstawione na samej obronie.

Na rysunkach 2–4 przedstawiamy wybrane strony włoskich prac doktorskich przygotowanych przez czynnych nauczycieli. Liczą one od 300 do 400 stron i każda z nich przekracza mniej więcej o 50% zakres „zwykłych” doktoratów z fizyki. Tak! Muszą mieć 100% doktoratu z fizyki plus 50% z pedagogiki lub *vice versa*. Doktorat z dydaktyki fizyki, nadążający za światową myślą jest więc zadaniem bardzo, bardzo trudnym, lecz w Polsce niezwykle potrzebnym.

Z satysfakcją należy odnotować, że takie doktoraty z ostatnich lat pojawiają się w coraz większym wachlarzu ośrodków akademickich. Z satysfakcją należy odnotować „odnawianie” kadry w dużych ośrodkach akademickich w całej Polsce, rosnącą liczbę konferencji i seminariów, w tym kongresy interdyscyplinarne, nowe wydawnictwa pokonferencyjne itd.

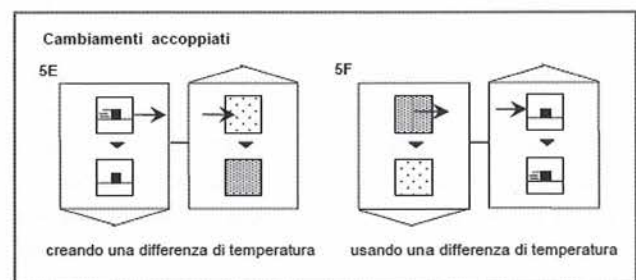
Reasumując, żadna rada wydziału fizyki nie ma prawa odmówić nadania stopnia doktora nauk fizycznych,

³ Oczywiście, np. przyczyny niepowodzeń dydaktycznych z fizyki w polskim gimnazjum są tak specyficzne, że wątpliwe aby były opisane w innych krajach.



Ryc. 3. a) Weryfikacja dydaktyki w ujęciu L. Shulmana (PCK), doświadczenia w zakresie magnetyzmu dla dzieci 10-letnich; dzieci identyfikują oddziaływania magnetostatische, bieguny magnetyczne a nawet pre-ideę pola magnetycznego (zestawy doświadczalne, projekt dydaktyczny i weryfikacja R. Viola, nauczycielka fizyki z liceum w Barleccie, PhD Udine, 2009),
b) Komputer w szkolnym laboratorium fizycznym – weryfikacja praw elektrostatyki za pomocą klatki Faradaya z zestawu Pasco – rosnący potencjał w miarę przenoszenia kolejnych porcji ładunku (koncepcja, wykonanie, weryfikacja dydaktyczna A. Mossenta, nauczycielka fizyki z liceum w Pordenone, PhD Udine 2011).

jeżeli *dorobek* i / lub przedstawiona *rozprawa* spełniają „zwyyczajowo przyjęte normy dla tej dyscypliny naukowej”. W dydaktyce fizyki (niestety - dla wielu nauczycieli) nie jest to „bo-mam-duże-doświadczenie-zawodowe” ani „bo-mam-nowy-pomysł-na-lekcję” ale *istotny wkład* w krajowy i / lub światowy rozwój danej dziedziny naukowej.



Ryc. 4. R. Boohan, J. Ogborn, *Energy and Change. Introducing new approach* (Association for Science Education, Hatfield). 5E) Pod wpływem tarcia ciało się zatrzymuje, co powoduje nagrzanie się podłoża. 5F) Czerpiąc energię ze źródła cieplejszego można zbudować silnik i rozprędzić ciało. [M.Colombo, PhD Thesis, Università di Udine, 2011, str. 66]

Czy doktoraty z dydaktyki fizyki są możliwe? Jak najbardziej, ale jak wszystko w nauce, wymagają i talentu i wielkiej pracy. Inne opinie przypiszmy strusiowi.

Sopot, 18.01.2012

P.S. Sposobem na „odświeżenie” dydaktyki krajowej byłoby przyjmowanie kandydatów z zagranicy, tak jak to robią

Francuzi do swojej *École Normale*. Kandydaci tacy, przez niedostosowanie do naszych rodzimych standardów, pośrednio wymuszają rozszerzenie horyzontów nauczania. Niestety, zgodnie z Ustawą, kandydat musi znać język polski, jak się to ostatnio okazało na znaczącej polskiej uczelni, która odrzuciła podanie włoskiego absolwenta. Oj, Kopernikowi to się w Bolonii udało...

Literatura

- [1] *Looking to 2060: Long-term global growth prospects. A going for growth report*, OECD, November 2012, OECD, 5k8zxpjsggf0.pdf.
- [2] L. R. Herrenkohl, T. Tasker, B. White, *Pedagogical Practices to Support Classroom Cultures of Scientific Inquiry*, *Cognition and Instruction*, 29 (2011), 1–41, <http://dx.doi.org/10.1080/07370008.2011.534309>
- [3] *Creating Effective Teaching and Learning Environments, First Results from TALIS*, Teaching and Learning International Survey, OECD 2009, http://www.oecd.org/document/0/0,3746,en_2649_39263238_38052160_1_1_1_1,00.html.
- [4] Z. Kwieciński, *Tropy – Ślady – Próby. Studia i szkice z pedagogii pogranicza*, Poznań–Olsztyn 2000.
- [5] S. Barbieri, M. Giliberti, „Mommy Comet” *Short Stories for Introductory Mechanics*, *Problemy Wczesnej Edukacji* 3(15), 2011 „Awangarda w szkolnej i pozaszkolnej edukacji”, 133–136.
- [6] *PACS 2010 Alphabetic Index*, http://www.aip.org/pacs/pacs2010/individuals/pacs2010_regular_edition/alpha_index.html#P.

Wybrane statystyki z cytowanych źródeł [1,3] znajdzie Czytelnik na stronie <http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Edukacja/>.

Korespondencja z Torunia – marzec 2013

Winicjusz Drozdowski • Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

XXVI Wykład im. Aleksandra Jabłońskiego

W czwartek 28 lutego 2013 r. w Instytucie Fizyki UMK odbył się dwudziesty szósty z corocznych Wykładów im. Aleksandra Jabłońskiego, organizowanych od 1988 r. w kolejne rocznice urodzin twórcy toruńskiej szkoły fizyki. Tym razem prelegentem był prof. Andrzej Udalski, dyrektor Obserwatorium Astronomicznego Uniwersytetu Warszawskiego, a tytuł wystąpienia brzmiał „Odkrywanie tajemnic nieba: Od pobliskich planet po najdalsze kwazary”.

III edycja „Święta liczby π ”

Toruński Oddział PTF wraz z Wydziałem Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej UMK zorganizował w czwartek 14 marca 2013 r. kolejną edycję „Święta Liczby π ”. W programie znalazły się kolejno: wykład prof. Andrzeja Blikle „Posłysz głos procesu losowego” (12:30), wykład prof. Adama Makowskiego „O przenikaniu się czystej matematyki i fizyki na przykładzie liczby π ” (13:30), spotkanie przy kawie, herbacie, cięście i pizzy oraz konkurs wyznaczania liczby π metodami Buffona i Buffona–Laplace’a (14:30), a także bieg na dystansie π (3,14 km) i 2π (6,28 km) w lasku na Bielanych (16:00).

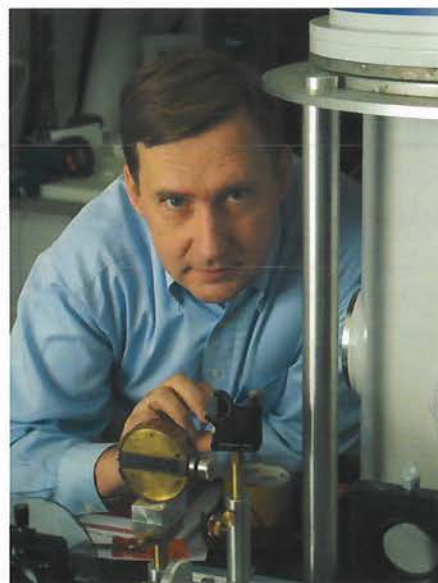
Nominacje profesorskie

Z rąk Prezydenta RP nominacje profesorskie w dziedzinie nauk fizycznych otrzymało trzech uczonych. Byli to: 30 listopada 2012 – Zygmunt Wasilewski (National Research Council Ottawa, Kanada); 7 grudnia 2012 – Maria Bałanda (IFJ PAN Kraków), Paweł Rudawy (UWr).

Źródło informacji: www.prezydent.pl

Piotr Kossacki

Piotr Kossacki urodził się w 1970 roku w Warszawie. Maturę zdał w roku 1989 w XLV LO im. Romualda Traugutta w Warszawie. Był uczniem profesora Stanisława Lipińskiego, któremu zawdzięcza zainteresowanie fizyką. W okresie studiów na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, pozostawał pod opieką naukową profesora Henryka Szymczaka. Z jego pomocą włączył się w badania magnesowania ferromagnetycznych stopów amorficznych. Temu tematowi poświęcony był jego pierwszy grant otrzymany w 1991 roku z KBN. Pracę magisterską przygotował w Zakładzie Fizyki Ciała Stałego na Wydziale Fizyki UW pod kierunkiem profesora Jana Gaja w roku 1994. Dalszą pracę prowadził w tej samej grupie i pod opieką profesora Jana Gaja. Zajmował się głównie magnetospektroskopią heterostruktur zawierających półprzewodniki półmagnetyczne. Początek tej aktywności przypadł na czas instalacji w Instytucie Fizyki PAN maszyny do epitaksji z wiązki molekularnej (MBE) w grupie prof. Jacka Kossuta. Dzięki temu możliwe były badania na heterostrukturach wyhodowanych w Warszawie. Wiodącymi tematami były spektroskopia naładowanych ekscytonów w studniach kwantowych i własności ferromagnetycznych studni kwantowych. W zakresie tych tematów intensywnie współpracował z Joëlem Cibertem i jego grupą z Grenoble. Po stażu post-doc odbytym na Politechnice w Lozannie (EPFL) w grupie prof. Benoit Deveaud-Pledran, zaczął rozwijać w Warszawie magnetospektroskopię rozdzieloną w czasie. Najpierw prowadzono pomiary typu pompa-sonda pozwalające określić dynamikę stanów ekscytonowych. Później w miarę zdobywania nowej aparatury tematyka została poszerzona o badania rezonansowo wzbudzanych kropek kwantowych, korelacji pojedynczych fotonów i pomiary dynamiki fotoluminescencji.



W latach 2008-2011 był wizytującym profesorem w Laboratorium Silnych Pól Magnetycznych w Grenoble w ramach projektu Marii Curie, co zaowocowało pracami na temat rozpraszania Ramana dla nanoalotropów węgla (głównie grafenu) w silnym polu magnetycznym. W 2011 r. został zatrudniony na stanowisku profesora na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. Tytuł profesora otrzymał w roku 2012. Na Uniwersytecie Warszawskim wypromował 3 doktorów.

Blisko związany z Olimpiadą Fizyczną, jako uczeń był trzykrotnym laureatem w tym dwukrotnym zwycięzcą olimpiady. Od 1990 roku pracuje w Komitecie Głównym olimpiady fizycznej, a obecnie jest jego przewodniczącym. W ciągu ponad 20 lat pracy, ułożył ponad 30 zadań doświadczalnych wykorzystywanych na różnych etapach zawodów.

Zbigniew Wasilewski

Zbigniew Wasilewski urodził się w Warszawie w 1955 r. Studiował na Uniwersytecie Warszawskim w latach 1974-1979 (Wydział Fizyki, specjalność Fizyka Ciała Stałego). W latach 1979-1986 zatrudniony był w Zakładzie Fizyki Wysokich Ciśnień PAN „UNIPRESS” (obecnie Instytut Wysokich Ciśnień PAN – IWC PAN). Zaprojektował tam pierwszą na świecie komorę wysokociśnieniową do pomiarów magnetoptycznych fotoprądu i po uzyskaniu stypendium naukowego od *Science and Engineering Research Council* spędził dwa lata (1981–1983) na Uniwersytecie St. Andrews w Wielkiej Brytanii w grupie Profesora Stradlinga, gdzie prowadził badania wpływu wysokiego ciśnienia na własności poziomów donorowych oraz elektronów swobodnych w InSb i GaAs. Obszerny materiał eksperymentalny uzyskany w trakcie tego stażu oraz podczas kolejnych krótkoterminowych pobytów w St. Andrews został wykorzystany do pracy doktorskiej, którą obronił w 1986 r. W lutym 1988 r., po 14-miesięcznym stażu naukowym w Imperial College w Londynie, podjął pracę w *National Research Council* (Ottawa, Kanada) gdzie zatrudniony był do czerwca 2012 r., od 2006 r. na stanowisku *Principal Research Officer*. Od lipca 2012 roku pracuje na stanowisku Profesora na Uniwersytecie Waterloo (Waterloo, Kanada), gdzie również obejmuje katedrę Nanotechnologii. Obszary działań naukowych: fizyka półprzewodników, epitaksja metodą wiązki molekularnej, wzrost i fizyka kwantowych urządzeń półprzewodnikowych (diody laserowe na studniach i kropkach



kwantowych w tym azotkowe lasery niebieskie i zielone, detektory podczerwieni na wielostudniach kwantowych, lasery kaskadowe), wzrost i fizyka samoorganizujących się kropek kwantowych, elementy informatyki kwantowej oparte na pseudomolekularnych systemach kropek kwantowych. Współautor ponad 400 szeroko cytowanych prac w czasopiśmie naukowych (ponad 6500 cytowań, h-indeks 41). Od 1978 r. szczęśliwy mąż Miry Wasilewskiej z domu Łobodzińskiej, ojciec Radka (1979) i Madzi (1984). Miłośnik sportów narciarskich i wodnych.

W roku 2012 z rąk Prezydenta RP nominacje profesorskie w dziedzinie nauk fizycznych otrzymali (w kolejności chronologicznej): 16.01 – Alina Judkowiak (PP), Romuald Janik (UJ), Bogdan Kowalski (IF PAN Warszawa), Zbigniew Trybuła (IFM PAN Poznań); 23.01 – Marek Kowalski (IFJ PAN Kraków), Danuta Makowiec (UG), Marek Wołczyr (INTiBS PAN Wrocław), Bogusław Zwięgliński (IPJ Świerk); 15.02 – Mariusz Dąbrowski (USz), Wiesław Płaczek (UJ), Vinh Hung Tran (INTiBS PAN Wrocław); 26.04 – Zenon Janas (UW), Zbigniew Łodziana (IFJ PAN Kraków), Paweł Machnikowski (PWr), Grażyna Nowak (IFJ PAN Kraków), Ryszard Stanisław Trawiński (UMK), Beata Ziaja-Motyka (IFJ PAN Kraków); 31.05 – Stanisław Kistryn (UJ); 04.10 – Piotr Kossacki (UW); 09.10 – Jerzy Dryzek (IFJ PAN Kraków), Andrzej Kozłowski (AGH), Ewa Łokas (CA PAN Warszawa), Marek Olechowski (UW), Hanna Pawłowska (UW), Jacek Semaniak (UJK Kielce), Magdalena Załuska-Kotur (IF PAN Warszawa); 24.10 – Tadeusz Domański (UMCS), Janusz Gluza (UŚ), Andrzej Golnik (UW), Jerzy W. Mietelski (IFJ PAN Kraków), Roman Puźniak (IF PAN Warszawa), Paweł Urbański (UW), Ilona Zasada (UŁ); 30.11 – Zbigniew Wasilewski (National Research Council Ottawa, Kanada); 07.12 – Maria Bałanda (IFJ PAN Kraków), Paweł Rudawy (UWr).

Źródło informacji: www.prezydent.pl

Scholium.

Hactenus voces minus notas, quo in sensu in sequentibus accipiendæ sunt, explicare visum est. Nam tempus, spatium, locum et motum ut omnibus notissima non definio. Dicam tamen quod vulgus quantitates hasce non aliter quam ex relatione ad sensibilia concipit. Et inde oriuntur præjudicia quædam, quibus tollendis convenit easdem in absolutas & relativas, veras & apparentes, Mathematicas et vulgares distingui.

I. Tempus absolutum verum & Mathematicum, in se & natura sua absq; relatione ad externum quodvis, æquabiliter fluit, alioq; nomine dicitur Duratio; relativum apparens & vulgare est sensibilis & externa quævis Durationis per motum mensura, (seu accurata seu inæquabilis) qua vulgus vice veri temporis utitur; ut Hora, Dies, Mensis, Annus.

II. Spatium absolutum natura sua absq; relatione ad externum quodvis semper manet simile & immobile; relativum est spatii hujus mensura seu dimensio quælibet mobilis, quæ a sensibus nostris per situm suum ad corpora definitur, & a vulgo pro spatio immobili usurpatur: uti dimensio spatii subterranei, aerei vel cælestis definita per situm suum ad Terram. Idem sunt spatium absolutum & relativum, specie & magnitudine, sed non permanent idem semper numero. Nam si Terra, verbi gratia, movetur, spatium Aeris nostri quod relative & respectu Terræ semper manet idem, nunc erit una pars spatii absoluti in quam Aer transit, nunc alia pars ejus, & sic absolute mutabitur perpetuo.

III. Locus est pars spatii quam corpus occupat, estq; pro ratione spatii vel absolutus vel relativus. Partem dico spatii, non situm corporis vel superficiem ambientem. Nam solidorum æqualium æquales semper sunt loci; Superficies autem ob dissimilitudinem figurarum ut plurimum inæquales sunt; situs verq; proprie loquendo quantitatem non habent, neq; tam sunt loca quam affectiones locorum. Motus totius idem est cum summa motuum partium, hoc est, translatio totius de ipsius loco eadem cum summa translationum partium de locis suis, adeoq; locus totius idem cum summa locorum partium, & propterea internus & in corpore toto.

IV. Motus absolutus est translatio corporis de loco absoluto in locum absolutum, relativus de relativo in relativum. Sic in Navi quæ velis passis fertur, relativus corporis locus est navis regio illa in qua corpus versatur, seu cavitatis totius pars illa quam corpus implet, quæq; adeo movetur una cum Navi; & Quies relativa est permansio corporis in eadem illa navis regione vel parte cavitatis. At Quies vera est permansio corporis in eadem parte spatii illius immoti in qua Navis ipsa una cum cavitate sua & contentis universis movetur. Unde si Terra vere quiescit, corpus quod relative quiescit in Navi, movebitur vere et absolute ea cum Velocitate qua Navis movetur in Terra. Sin Terra etiam movetur, orietur verus et absolutus corporis motus partim ex Terræ motu vero in spatio immoto, partim ex Navis motu relativo in Terra; et si corpus etiam movetur relative in Navi, orietur verus ejus motus partim ex vero motu Terræ in spatio immoto, partim ex relativis motibus tum Navis in Terra, tum corporis in Navi, et ex his motibus relativis orietur corporis motus relativus in Terra. Ut si Terræ pars illa ubi Navis versatur moveatur vere in Orientem, cum Velocitate partium 10010, et velis ventoq; feratur Navis in Occidentem cum Velocitate partium decem, Nauta autem ambulet in Navi Orientem versus cum Velocitatis parte una, movebitur Nauta vere et absolute in spatio immoto cum Velocitatis partibus 10001 in Orientem, et relative in Terra Occidentem versus cum Velocitatis partibus novem.